

Jeotermal Kaynaklar sempozyumu ve sergisi

ODTÜ Kültür ve Kongre Merkezi
4-6 Kasım 2015

III. JEOTERMAL KAYNAKLAR SEMPOZYUMU
BİLDİRİLER KİTABI


TMMOB
JEOLJİ
MÜHENDİSLERİ
ODASI



Jeotermal Kaynaklar sempozyumu ve sergisi

ODTÜ Kültür ve Kongre Merkezi
4-6 Kasım 2015

**BİLDİRİLER
KİTABI**

Özgür C. ATEŞOĞULLARI
Nilgün DOĞDU
Çağrı KOLAT



Jeotermal Kaynaklar sempozyumu ve sergisi

BİLDİRİLER KİTABI

4-6 Kasım 2015
Ankara

Editörler

Özgür Cihan ATEŞOĞULLARI

Nilgün DOĞDU

Çağıl KOLAT



550.4

III. Jeotermal Kaynaklar Sempozyumu ve Sergisi Bildiriler Kitabı/
TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Ankara/2015

... pages photo, figure, table

Jeotermal, doğal mineralli su, seracılık, jeotermal enerji,

ISBN:

SEMPOZYUM YÜRÜTME KURULU

Prof. Dr. Nurkan KARAHANOĞLU

Başkan

İbrahim AKKUŞ

II. Başkan

Dr. Çağıl KOLAT

Sekreter

Dr. Nilgün DOĞDU

Sekreter

Özgür Cihan ATEŞOĞULLARI

Sekreter

Halil İbrahim YİĞİT

Sayman

Hafize AKILLI

Basın, Yayın, Reklam ve Halkla İlişkiler

Mukaddes BOLAT

Basın, Yayın, Reklam ve Halkla İlişkiler

İrem ÇİĞCİ

Basın, Yayın, Reklam ve Halkla İlişkiler

İlhan ULUSOY

Basın, Yayın, Reklam ve Halkla İlişkiler

SEMPOZYUM BİLİM KURULU

Servet AÇIKGÖZ	JMO	Dr. İsmail H. KARAMANDERESİ	JMO
Prof. Dr. Mustafa AFŞİN	AKSÜ	Prof. Dr. Filiz KARAOSMANOĞLU	İTÜ
Prof. Dr. Serhat AKIN	ODTÜ	Doç. Dr. Bülent KAYPAK	AÜ
Prof. Dr. Gülden Gökçen AKKURT	İYTE	Dr. Ali KOÇAK	JMO
Kemal AKPINAR	JMO	Prof. Dr. Ali KOÇYİĞİT	ODTÜ
Yrd. Doç. Dr. Özgür AVŞAR	MSKÜ	Prof. Dr. Halim MUTLU	AÜ
Prof. Dr. Can AYDAY	And. Ü	Doç. Dr. Sema OCAK	AÜ
Önder AYDOĞDU	JMO	Prof. Dr. Ender OKANDAN	ODTÜ
Prof. Dr. Alper BABA	İYTE	Prof. Dr. Mustafa ONUR	İTÜ
Prof. Dr. Ahmet Tuğrul BAŞOKUR	AÜ	Prof. Dr. Yüksel ÖRGÜN	İTÜ
Prof. Dr. Erdin BOZKURT	ODTÜ	Dr. Toros ÖZBEK	JKBB
Musa BURÇAK	MTA	Prof. Dr. H. Murat ÖZLER	İÜ
Yrd. Doç. Dr. Ali BÜLBÜL	PÜ	Prof. Dr. Mahmut PARLAKTUNA	ODTÜ
Prof. Dr. Zeki ÇAMUR	ODTÜ	Prof. Dr. Abdurrahman SATMAN	İTÜ
Prof. Dr. Mehmet ÇELİK	AÜ	Prof. Dr. Harun SÖNMEZ	HÜ
Hayrullah DAĞISTAN	MTA	Prof. Dr. Hasan SÖZBİLİR	DEÜ
Yrd. Doç. Dr. M. Ali DANIŞMAN	DEÜ	Prof. Dr. M. Lütfi SÜZEN	ODTÜ
Doç. Dr. Zeynel DEMİREL	ORYA	Dr. Fuat ŞAROĞLU	JMO
Prof. Dr. Mehmet EKMEKÇİ	HÜ	Prof. Dr. Mehmet ŞENER	NÜ
Prof. Dr. Hatim ELHATİP	AKS Ü	Dr. Nizamettin ŞENTÜRK	MASUDER
Prof. Dr. Nergis ERDOĞAN	İÜ	Prof. Dr. Şakir ŞİMŞEK	HÜ
Prof. Dr. Naci GÖRÜR	İTÜ	Prof. Dr. Gültekin TARCAN	DEÜ
Yrd. Doç. Dr. Ali GÖKGÖZ	PÜ	Yrd. Doç. Dr. Levent TEZCAN	HÜ
Prof. Dr. Nilgün GÜLEÇ	ODTÜ	Doç. Dr. Füsun TUT HAKLIDIR	İBÜ
Doç. Dr. Fatma GÜLTEKİN	KTÜ	Dr. Yusuf ULUTÜRK	AFJET
Nusret GÜNGÖR	MİGEM	Prof. Dr. Namık YALÇIN	İÜ
Prof. Dr. Hatice GÜRDAL	İÜ	Doç. Dr. Tolga YALÇIN	İTÜ
Prof. Dr. Halim GÜRGENCİ	QÜ	Metin YAZMAN	Türkerler
Doç. Dr. Hakan HOŞGÖRMEZ	İÜ	Prof. Dr. Hasan YAZICIGİL	ODTÜ
İsmail KARA	MTA	Prof. Dr. Orhan YEŞİN	ODTÜ
Prof. Dr. Zeki KARAGÜLLE	İÜ		

SEMPOZYUM DÜZENLEME KURULU

Hüseyin ALAN
JMO

Beril AÇIKGÖZ
JMO

İbrahim AKKUŞ
JMO

Yrd. Doç. Dr. Ali BÜLBÜL
JMO

Dr. İsmail H. KARAMANDERESİ
JMO

Prof. Dr. Mehmet ÇELİK
Ankara Üniversitesi

Prof. Dr. Şakir ŞİMŞEK
Hacettepe Üniversitesi

İsmail KARA
MTA

Bülent PEKER
MTA

Dr. Nizamettin ŞENTÜRK
MASUDER

Dr. Toros ÖZBEK
Jeoterm. Kayn Beld. Birl.

İrem ÇİĞCİ
Jeoterm. Kayn Beld. Birl.

Ökem ÇELEM
Jeoterm. Kayn Beld. Birl.

Dr. Yusuf ULUTÜRK
AFJET

Ufuk ŞENTÜRK
JESDER

ÖNSÖZ

Dünya genelinde artan enerji talebi, ülkeleri alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönlendirmekte ve dolayısıyla bu tür kaynaklardan kapsamlı bir biçimde yararlanma yollarını araştırmaya ve kaynakları verimli kullanmaya zorunlu kılmaktadır. Enerji üretiminin tüketimi karşılamadaki payının sürekli azaldığı ülkemizde de, enerji arzında giderek artan dışa bağımlılık nedeniyle ve yenilenebilir enerji kullanımı bilincinin gelişmesiyle jeotermal enerjiye olan ilgi artmakta ve bu konuda yapılan bilimsel ve teknik araştırmalar ivme kazanmaktadır. Tüm bu değerlendirmeler ülkemizin enerji ihtiyacına önemli oranda katkı sağlayacak bu tür araştırma ve çalışmaların, jeotermal enerji potansiyelimizi daha iyi belirlememiz açısından ne kadar gerekli ve önemli olduğunu vurgulamaktadır.

Jeotermal sektörü, son zamanlarda yatırımların hızlandığı ve yeni işletmelerin devreye sokulduğu bir dönemi yaşamaktadır. Aynı zamanda bu dönemde, idari ve teknik işleyişte önemli sıkıntıların yaşandığı sorunlu bir süreç söz konusudur. Bu olgudan hareketle, Jeotermal Enerji Kaynakları ve Doğal Mineralli Sular konusundaki araştırmaları ve bu konuda gelişmekte olan teknolojik bilgileri paylaşmak, yaşanan sorunları tartışmak, çözüm önerileri getirmek amacı ile “Jeotermal Kaynaklar Sempozyumu ve Sergisi” düzenlenmesi kararlaştırıldı. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası önderliğinde 4-6 Kasım 2015 tarihinde Ankara’da ODTÜ Kongre ve Kültür Merkezi’nde gerçekleştirdiğimiz “Jeotermal Kaynaklar Sempozyumu ve Sergisi”, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, MTA Genel Müdürlüğü, ODTÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Türkiye Jeotermal Kaynaklı Belediyeler Birliği, Jeotermal Elektrik Santral Yatırımcıları Derneği (JESDER), Türkiye Maden Suyu Üreticileri Derneği (MASUDER) ve Afyon Jeotermal A.Ş. (AFJET) tarafından ortaklaşa düzenlenmektedir.

Sempozyum çalışmaları kapsamında, enerji stratejisinde jeotermal kaynakların yeri; kaynak arama, işletme ve geliştirme süreçlerinde yeni eğilimler ve teknolojik gelişmeler; uzun vadeli geliştirme projeksiyonu oluşturulması ve kamu yararı gözetilerek kullanılması; eğitim ve ar-ge çalışmaları; proje yönetimi ve finansmanı; jeotermal ve çevre ilişkileri; kaynak yönetimi; kurumsal, idari ve teknik yapılanma; yaşanan teknik ve hukuki sorunlar gibi konuların paylaşılması öngörülmektedir. Ayrıca Sempozyum sergi alanlarında sektörde faaliyet gösteren makine ve malzeme üreticileri, enerji üreticileri, maden suyu üreticileri, termal tesis işletmecileri, belediyeler ve kamu kurumlarını bir araya getirmeyi planlayan görsel sunumlar yer almaktadır.

Ülkemiz genelinde birçok araştırmacının ilgi odağında olan ‘Jeotermal Kaynaklar Sempozyumu ve Sergisi’ nin, önemli çözümler üreterek eksiklikleri de giderecek bir amaca hizmet ettiğine inanmaktayız. Sempozyum, değerli bilim insanlarının, araştırmacıların, ilgili kurum ve kuruluşların, üniversitelerin, yerel yönetimlerin, meslek odalarının, jeotermal sektöründe faaliyet gösteren özel sektör temsilcilerinin, kısacası tüm sektör bileşenlerinin bildiri, poster ve sergi sunumları yanında Sempozyum çalışmalarına katılımla vereceği destek ve katkılarıyla zenginleşmiştir.

Saygılarımızla
Düzenleme Kurulu

İÇİNDEKİLER

ÇAĞRILI KONUŞMA	1
JEOTERMAL ELEKTRİK SANTRALLERİ VE KULLANIMLARI.....	21
MEVZUAT	57
COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ	95
HİDROJEOKİMYA.....	113
JEOTERMAL SERA UYGULAMALARI.....	241
JEOTERMAL ARAŞTIRMALARDA MODELLEME UYGULAMALARI.....	287
TEKTONİK	321
HİDROJEOKİMYA VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK.....	339
KAYNAK GELİŞTİRME.....	397
ARAMA.....	427
JEOTERMAL KAYNAK POTANSİYELİ.....	479
JEOTERMAL ALANLARDA YENİ TEKNOLOJİLER VE ISITMA SİSTEMİ.....	525
POSTER SUNUMLAR	563

DÜNYA'DA VE TÜRKİYE'DE JEOTERMAL GELİŞMELER

Şakir Şimşek

*Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji (Hidrojeoloji) Bölümü,
Beytepe, Ankara,
(ssimsek@hacettepe.edu.tr)*

ÖZ

Jeotermal, Türkiye gibi jeolojik yapıları nedeniyle zengin jeotermal kaynakların olduğu ülkelerde artan enerji ihtiyacının karşılanması amacıyla alternatif enerji kaynağı olarak araştırılmakta ve hızla geliştirilmektedir. Dünya Jeotermal Kongresi (WGC2015 Avustralya) değerlendirilmesine göre, 2015 yılı itibarıyla, Dünya'daki elektrik üretiminde toplam santral kurulu gücü 12635 MWe'ye ve doğrudan kullanım için ısı üretimi 70329 MWt'e ulaşmıştır.

Türkiye'de ilk jeotermal çalışmalar 1960 lı yıllarda MTA tarafından başlatılmış olup günümüze kadar 227 jeotermal sahanın keşfi yapılmıştır. Bu sahalarda yaklaşık 1500 sıcak ve minerali su kaynağı ve arama-işletme kuyusu mevcuttur. Türkiye'deki mevcut jeotermal kuyular ve kaynakların toplam jeotermal kapasitesi 8000 MWt değerinde olup hesaplanmış potansiyel ise 60000 MWt değerindedir. Türkiye'de elektrik üretimi kurulu gücü 2006 yılında Kızıldere'de 15 MWe iken 2014 yılı sonunda 33 misli artarak 9 jeotermal alanda yaklaşık 400 MWe a ulaşmıştır. Türkiye elektrik santral kurulu güç artış oranında 2010-2015 yılları arasında Dünya'da ilk sırayı almıştır. Jeotermal elektrik kurulu gücünün 2015 yılı sonunda 620 MWe ye ulaşması beklenmektedir. Jeotermal suların tedavi, banyo amaçlı kullanımının enerji karşılığı ise 1005 MWt'e ulaşmıştır. Toplam 400 kaplıca balneolojik amaçlı kullanılmaktadır. Jeotermal enerji ile konut ısıtıcılığı başlıca İzmir-Balçova, Narlıdere, Kırşehir ve Afyon şehir merkezleri olmak üzere 19 ilçe merkezinde yapılmaktadır. Konut ısıtıcılığı 829 MWt, termal amaçlı kullanımlar 420 MWt'a ulaşmıştır. Jeotermal sera ısıtıcılığında ise son 3 yılda önemli bir artış sağlanmış ve 3130000 m² ye ulaşmıştır. Jeotermalin doğrudan kullanımı, sıvı karbondioksit ve kuru buz üretimi (yıllık kapasite 160000 ton) olmak üzere toplam kurulu kapasite (ısı pompası uygulamaları da dahil) 2935,3 MWt değerindedir. Ülkemizde termal turizm kapasitesi çok yüksek olup yatırımlar hızla artmaktadır.

Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu 13 Haziran 2007 de yürürlüğe girmiştir. Kızıldere jeotermal elektrik santrali özelleştirilmiş ve elektrik üretimi, ısıtma amaçlı ve termal uygulamalara uygun sahalarda MTA tarafından 2008 yılından itibaren ihaleye açılmıştır. Bu bildiri, Dünya'da ve Türkiye'de jeotermal gelişim kronolojik olarak açıklanacak, mevcut durum ve hedefler değerlendirilecektir.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal Enerji, Elektrik Üretimi, Doğrudan Kullanım, Türkiye, WGC2015

GEOTHERMAL DEVELOPMENTS IN THE WORLD AND TURKEY

Şakir Şimşek

Hacettepe University, Engineering Faculty, Geological (Hydrogeological) Dept,
Beytepe, Ankara,
(ssimsek@hacettepe.edu.tr)

ABSTRACT

Geothermal energy is being investigated as a alternative energy source and is rapidly developing for energy requirements in countries like Turkey having rich geothermal resources because of the geological structures. According to World Geothermal Congress (WGC2015 Australia) assessment, total installed power plant capacity for electricity production has reached 12635 MWe and heat production capacity for direct use has reached 70329 MWt in the World as of 2015.

The first geothermal exploration studies in Turkey was initiated by the MTA in the 1960s and up to the present 227 geothermal fields have been discovered. At this field, approximately 1500 of hot and mineral springs and exploratory-production wells are present and the total proven geothermal capacity is 8000 MWt. Total calculated potential is 60000 MWt. While installed capacity of electricity production was at Kızıldere 15 MWe in 2006, it increased by 33 times and reached about 400 MWe in 9 geothermal fields at the end of 2014 in Turkey. Turkey is ranked as the 1st country in the World in terms of geothermal power plant install capacity increase during 2010-2015. The electricity capacity will be rise up to 620 MWe at the end of 2015. The energy equivalence of geothermal waters used for balneological purposes in Turkey has reached 1005 MWt. Total 400 spas are using geothermal waters for balneological purposes. The district heating with geothermal energy was founded at 19 district centers, mainly Izmir-Balcova, Narlıdere, Kirsehir and Afyon city centers. It has reached 829 MWt for district heating and 420 MWt for thermal uses. In geothermal greenhouse heating applications, a significant increase has been provided in the last 3 years and has reached 3130000 m². The total installed capacity of direct use of geothermal, including liquid carbon dioxide and dry ice production (annual capacity 160000 tonnes) and heat pump applications, is 2935,3 MWt. Thermal tourism capacity is very high in our country and the related investments are increasing rapidly.

The Law of Geothermal Resources and Natural Mineral Waters was issued in June 13, 2007. Kızıldere geothermal power plant was privatisated and the geothermal fields convenient for electricity generation, heating and thermal applications, has been opened to tender by the MTA since 2008. In this paper, the geothermal development in the World and Turkey will be announced chronologically, it will assess the current situation and targets.

Keywords: Geothermal Energy, Electricity Production, Direct Use, Turkey, WGC2015

1. GİRİŞ

Jeotermal enerji su, güneş ve rüzgar gibi Türkiye için önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Türkiye uygun jeolojik durumundan dolayı yüksek bir jeotermal potansiyele sahiptir. Türkiye’de ilk jeotermal çalışmalar 1960 lı yıllarda MTA tarafından başlatılmış olup günümüze kadar 227 jeotermal sahanın keşfi yapılmıştır. Bu sahalarda yaklaşık 1500 sıcak ve mineral- li su kaynağı ve arama-işletme kuyusu mevcuttur. Türkiye’deki mevcut jeotermal kuyular ve kaynakların toplam jeotermal kapasitesi 8000 MWt değerinde olup hesaplanmış potansiyel ise 60000 MWt değerindedir (TJD, 2015).

Son 50 yılda jeotermal araştırmalar elektrik üretimi ve doğrudan kullanımlar (ilçe, sera ısıtma ve termal turizm) açısından Türkiye’de önemli gelişmeler elde edilmiştir. Jeotermal Kanunu ve yönetmelikler Türkiye’de jeotermal faaliyetleri hızlandırmış, özellikle elektrik üretimi için tarife uygulaması ve MTA’nın faaliyetleri bu sektörün büyümesini sağlamıştır. WGC2005-Dünya Jeotermal Kongresi’nin Antalya-Türkiye’de yapılması, ulusal ve uluslararası bilimsel ve teknik toplantıların organizasyonu ayrıca önemli katkı sağlamıştır.

Türkiye’de elektrik üretimi kurulu gücü 2006 da (Kızıldere’de) 15 MWe iken 2014 yılı sonunda 33 kat artarak 9 jeotermal alanda yaklaşık 400 MWe değerine yükselmiştir (Mertoglu vd., 2015). Türkiye elektrik santral kurulu güç artış oranında 2010-2015 yılları arasında Dünya’da ilk sırayı almıştır (Bertani, 2015). Jeotermal elektrik üretiminin başlıca Denizli-Kızıldere, Aydın-Germencik, Aydın-Salavatlı, Aydın-Hıdırbeyli, Çanakkale-Tuzla, Aydın-Pamukören, Aydın-Gümüşköy ve diğer yeni sahalarda 2015 yılı sonunda 620 MWe olması beklenmektedir.

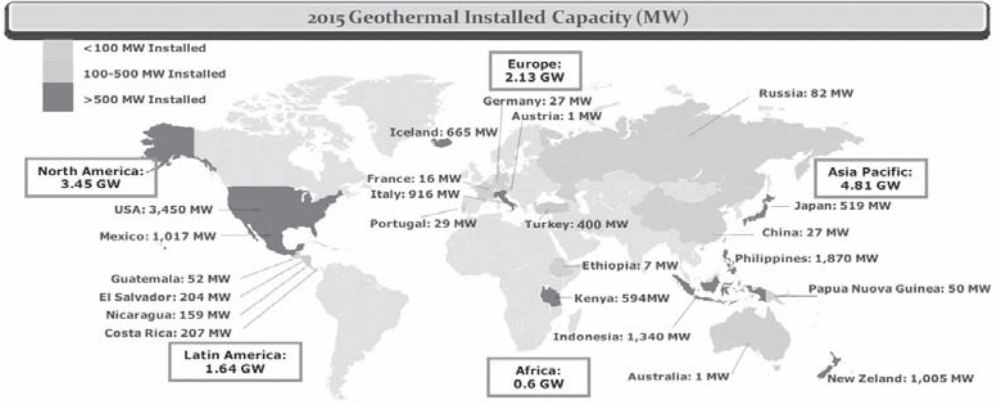
Jeotermal enerjinin konut, sera, termal tesis ısıtması gibi doğrudan kullanımında 2935,3 MWt’a ulaşılmış olup konut ısıtmacılığı 829 MWt, 3130000 m² sera ısıtması, 638,5 MWt, termal amaçlı kullanımlar 420 MWt, balneolojik kullanım 1005 MWt ve ısı pompası uygulamaları 42,8 MWt değerindedir. Ayrıca, Kızıldere (Zorlu) ve Salavatlı (Mege) jeotermal santrallerinde yıllık kapasitesi 160000 ton olan sıvı karbondioksit ve kuru buz üretimi yapılmaktadır.

2. DÜNYA’DAKİ DURUM

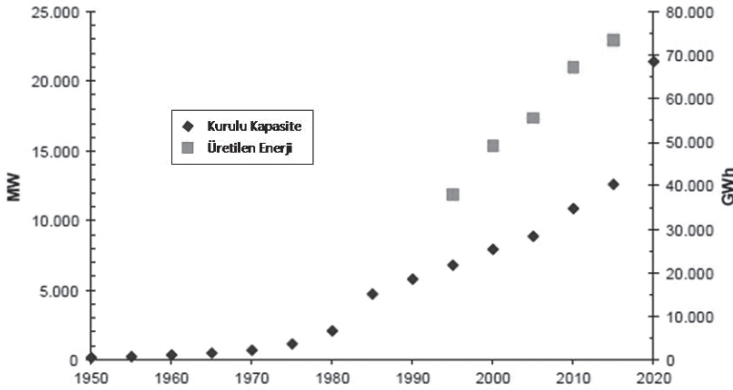
Jeotermal enerji, Türkiye gibi jeolojik yapıları nedeniyle zengin jeotermal kaynakların olduğu ülkelerde alternatif enerji kaynağı olarak araştırılmakta ve hızla geliştirilmektedir. Dünya Jeotermal Kongresi (WGC2015 Avustralya) değerlendirmelerine göre, 2015 yılı itibarıyla, Dünya’daki elektrik üretiminde toplam santral kurulu gücü 12635 MWe’ e ve doğrudan kullanım için ısı üretimi 70329 MWt’e ulaşmıştır (Şekil 1).

Dünya genelinde jeotermal elektrik üretimi kurulu kapasitesi Şekil 2 ve 3’ te verilmiştir. 2010-2015 arası 5 yıllık dönemde kurulu kapasite yaklaşık 1,7 GW (yaklaşık %16) artış göstermiştir (Bertani, 2015). Elektrik kurulu gücünün ise Dünya genelinde 2020 yılında 20443 MWe’ e ulaşması beklenmektedir.

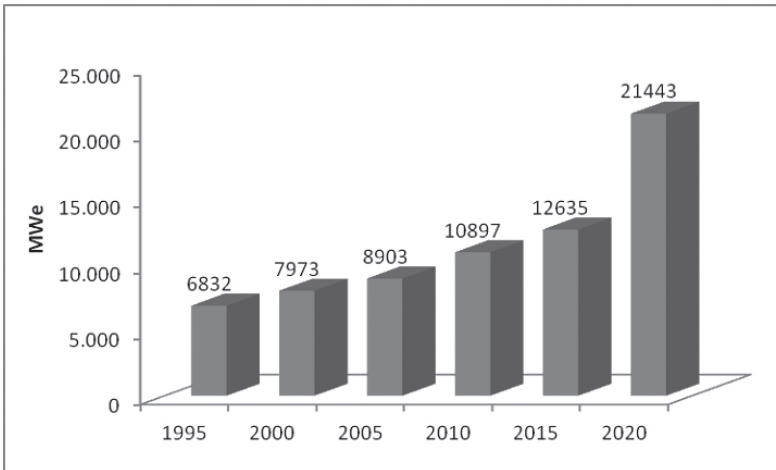
2014 yılı sonunda doğrudan kullanımı için kurulu termal güç 70329 MWt olup 2010 verilerine göre neredeyse % 45 artarak 0,265 kapasite faktörü ile yıllık% 7,7 bileşik büyüme hızına ulaşmıştır. Kullanılan termal enerji ise 587786 TJ / yıl (163.287 GWh/yıl) olup 2010 yılına göre yıllık yaklaşık % 38,7 artış olmuştur. Kullanılan termal enerjinin dağılımında toprak kaynaklı ısı pompaları yaklaşık % 55,3 yer kaplamaktadır (Şekil 4). Banyo ve yüzme (balneoloji dahil) % 20,3, alan ısıtması (% 89 konut ısıtması) % 15,0 sera ısıtması % 4,5 şeklinde dağılmıştır (Şekil 4). Son 20 yıl için kurulu kapasite ve yıllık enerji kullanımında yaklaşık sekiz kat büyüme olmuştur (Şekil 5) (Lund and Boyd, 2015).



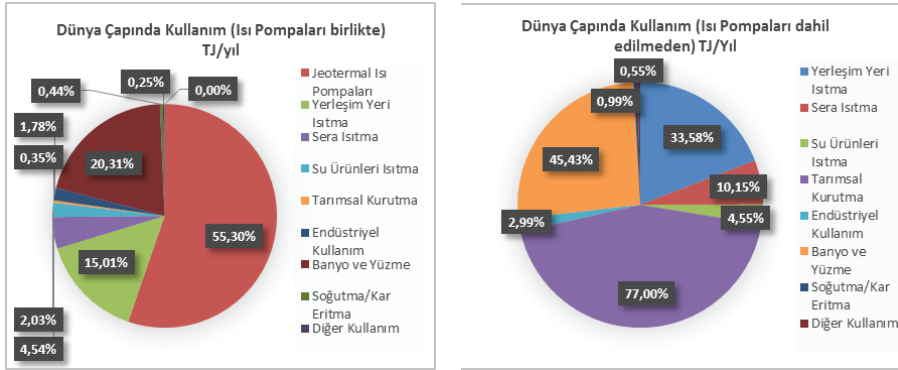
Şekil 1. Dünya çapında 2015 yılı itibariyle jeotermal kurulu kapasite (MWe)



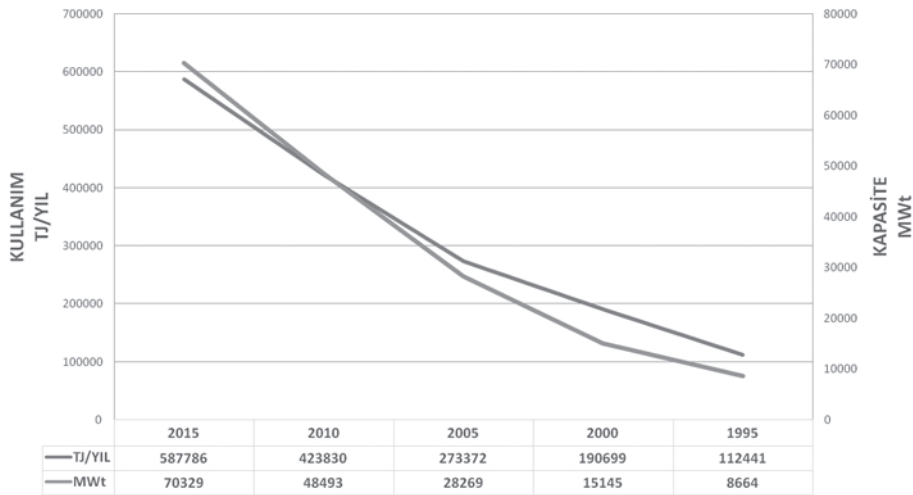
Şekil 2. 1950 den 2015 yılına kadar kurulu kapasite (MWe) ve elektrik üretimi (GWh) (Bertani, 2015)



Şekil 3. 2020 için öngörülen kurulu kapasite (MWe) (Bertani, 2015)



Şekil 4. Dünya’da jeotermal doğrudan kullanım kurulu kapasitesinin 2015 yılı dağılımı (Lund and Boyd, 2015)



Şekil 5. Jeotermal doğrudan kullanım kapasitesi ve 1995’den 2015’e yıllık kullanımı (Lund and Boyd 2015)

3. TÜRKİYE’DEKİ KRONOLOJİK JEOTERMAL GELİŞMELER

Türkiye’de yapılan jeotermal gelişmeler ve ilkler kronolojik olarak aşağıda verilmiştir.

MÖ ve MS tarihlerde-Jeotermal kaynaklar sağlık, yemek pişirme gibi amaçlarla başlıca; Hititler, Romalılar, Selçuklular, Osmanlılar ve Türkler tarafından kullanılmış ve bir kısmı halen kullanılmakta olan kaplıcalar yapılmıştır.

1926 -Sıcaksular, içmeye ve yıkanmaya mahsus şifalı sularla ilgili yasa çıkmıştır.

1935- Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü (MTA) kurulmuştur.

1947- Türkiye Maden Suları kitabı hazırlanmıştır (Çağlar, 1947).

1948- Nuriye Pınar, Ege bölgesinin tektoniği, sıcaqsu ve madensuyu kaynakları yayını yapılmıştır (Pınar, 1948).

1960 lı yıllarda MTA Genel Müdürü Doç.Dr.Sadrettin Alpan konuya önem vermiş ve jeolojik araştırmaları ve uluslararası işbirliği projelerini başlatılmış, sıcak ve mineralli sular envanteri yenilenmiştir.

1962- İzmir-Balçova'da ilk jeolojik etütler yapılmıştır.

1963- İlk jeotermal sondaj İzmir-Balçova'da yapılmıştır.

1966- Türkiye termomineral kaynaklar ve jeotermik enerji etütleri ile ilgili yayınlarına ile birçok meslektaşımızın katkısı olmuştur (Erentöz and Ternek, 1966).

1967- MTA-UNDP tarafından Batı Anadolu ve Denizli-Kızıldere jeotermal arama projesi başlatılmıştır.

1968- İlk yüksek sıcaklıklı jeotermal rezervuar Denizli-Kızıldere'de 540 m de 198°C sıcaklıkta keşfedilmiştir.

1974- İlk jeotermal elektrik deneme santrali Denizli-Kızıldere'de 0.5 MWe kapasiteli ve ilk 1000 m² deneme sera tesisleri kurulmuştur.

1975- İstanbul Üniversitesi Tıp Fakültesi tarafından Türkiye Maden Suları kitabı basılmıştır. Düzenli olarak Ulusal ve Uluslararası Balneoloji Kongreleri yapılmıştır (İstanbul Üniversitesi, 1975).

1979- İlk jeotermal yasa taslağı MTA tarafından hazırlanmıştır.

1982- Germencik (232°C) ve Tuzla sahaları (174°C) sondaj ile keşfedilmiştir.

1982- İlk Jeotermal düzenleme Maden Kanunu içinde yer almıştır.

1983- İlk kuyu içi eşanjörlü ilk jeotermal ısıtma sistemi İzmir'de (Balçova) kurulmuştur.

1984- İlk jeotermal elektrik santrali Tek buharlaştırmalı (Single flash) Denizli-Kızıldere (15 MWe) TEK tarafından hizmete açılmıştır.

1986- İlk CO₂ fabrikası Denizli-Kızıldere'de kurulmuştur.

1987- İlk jeotermal merkezi sistem şehir ısıtması Balıkesir-Gönen'de başlamıştır.

1990- Kabuklaşma sorunu çözümü sağlanmıştır. Isıtma uygulamaları için yatırımlar artmıştır.

1990 lı yıllarda ısıtma uygulamaları yaygınlaşmış, Afyon, Kırşehir, İzmir (Balçova, Narlıdere) il merkezleri ile Edremit, Bigadiç, Salihli, Sandıklı, Kızılcahamam, Sarayköy, Simav, Sorgun, Kozaklı, Diyardin'de merkezi ısıtmalar başlatılmıştır.

2000- 17 Ağustos ve 12 Kasım 1999 Doğu Marmara Depremlerinden sonra TÜBİTAK, Üniversiteler ve MTA tarafından jeotermal sahalardaki aktiviteler gözlemlenmiştir (Simsek and Yildirim, 2000).

2002- İlk reenjeksiyon çalışmaları 2002'de Kızıldere jeotermal alanında uygulanmıştır.

2003- İller Bankası jeotermal projelerinde araştırma ve kredi destek çalışmalarını başlatmıştır.

2005- Dünya Jeotermal Kongresi WGC-2005 Türkiye'de (Antalya) yapılmıştır.

2006- **İlk Özel Sektör santrali** (Mege) ve binary sistem santrali Aydın-Salavatlı'da kurulmuştur.

2007- Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu (13-06-20075686 sayılı Resmi Gazete) yayımlanmış ve ilgili yönetmelik (11-12-2007 tarihli 26727 sayılı Resmi Gazete) yürürlüğe girmiştir.

2008- Kanun gereği arama ruhsat başvuruları başlamıştır. Sahalarda arama -işletme ruhsatları verilmiş ve mevcut ruhsatlar için intibaklar yapılmıştır.

04-06 Kasım 2015 Ankara

2008- Denizli-Kızıldere jeotermal sahası özelleştirilmiştir.

2009- Toplam yaklaşık 3000 arama ve işletme ruhsatı alınmıştır. Jeolojik-jeofizik-sondaj ve testleri kapsayan arama ve üretim faaliyetleri artmıştır.

2009- İlk Çift buharlaşmalı (Double flash) elektrik santrali Aydın-Germencik'te (47,4 MWe) kurulmuştur.

2010-2011- MTA, keşfettiği jeotermal sahaları özel sektörün arama ve işletmesine olanak sağlamak üzere ihaleye çıkarmıştır.

2013- Denizli-Kızıldere jeotermal sahasında (Zorlu) 80 MWe yeni santral devreye girmiştir.

2014- Toplam kurulu elektrik santral kapasitesi 2014 yılı sonunda 400 MWe'e yükselmiştir.

2015-Aydın-Germencik Ömerbeyli sahasında (Gürmat) kurulu güç toplamı 162 MWe ve yıl sonunda Türkiye toplamı 620 MWe'e yükselmesi beklenmektedir.

Konuyla ilgili olarak MTA, Valilik Özel İdareleri, Belediyeler, Üniversiteler, Özel Sektör, Bankalar, araştırma, işletme, yatırım ve finans sağlama yönüyle çalışmalarını sürdürmektedir.

4. TÜRKİYE'NİN JEOTERMAL POTANSİYELİ

Türkiye'de sıcaklığı 20-287°C arasında değişen yaklaşık 2000 sıcak ve mineralli su kaynakları (kaynak boşalım ve rezervuar sıcaklıkları) ve ekonomik ölçekte kullanılabilen 227 jeotermal alan belirlenmiştir (MTA, 2015). Bu alanlar başlıca Batı Anadolu'daki ana grabenler boyunca, Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca, İç ve Doğu Anadolu'daki volkanik bölgelerde yer almaktadır (Şekil 6). Jeolojik, jeofiziksel, jeokimyasal araştırmalar ve MTA tarafından yürütülen sondajlı çalışmaların sonucu olarak jeotermal alanlardaki sıcaklıklar ve termal kaynakların debileri önemli oranda yükselmiştir.



Şekil 6. Ana neotektonik hatlar ve Türkiye'nin sıcak kaynak dağılımı

Türkiye'de MTA tarafından toplam 332000 m jeotermal sondaj yapılmıştır. Jeotermal arama amaçlı sondaj derinlikleri 4000 m'yi geçmiştir. Yapılan değerlendirmelere göre, Türkiye'nin jeotermal ısı kapasitesi yaklaşık 60000 MWt'dır (Yilmazer, 2009; TJD, 2015). Türkiye'de jeotermal elektrik üretiminde kurulu kapasite 400 MWe olup 2015 yılı sonunda 620 MWe'e yüksel-

mesi beklenmektedir. Doğrudan kullanımda kurulu ısı kapasitesi ise 2935,3 MW değerindedir. Kızıldere jeotermal santralinde üretilen sıvı karbondioksit ve kuru buz ise 160000 ton/yıl kapasitesine sahiptir.

Türkiye’de jeotermal teknik ve ekonomik elektrik üretim potansiyeli 2000 MWe (16 Milyar kWh/yıl) olarak hesaplanmıştır. Toplam teorik jeotermal elektrik üretim potansiyeli ise 4500 MWe olarak hesaplanmıştır (TJD, 2015). Türkiye Cumhuriyeti’nin 100. kuruluş yılı 2023 için jeotermal elektrik üretim kapasitesinin 1500 MWe’ e yükseltilmesi hedeflenmektedir (TJD, 2015).

2015 yılı itibariyle, MTA ve özel sektör tarafından, elektrik üretimi ve doğrudan kullanım için toplam 570 km derinlikte yaklaşık 1000 adet jeotermal arama/üretim/reenjeksiyon kuyusu açılmıştır (Dagistan vd., 2015). Jeotermal kuyuların yaklaşık %80’i Batı Anadolu Bölgesindedir.

Diğer yandan, sığ derinliklerde yüksek sıcaklıklı formasyon içeren zonlar için Sıcak Kuru Kaya (HDR) sistemleri üzerindeki çalışmalar sürdürülmektedir. Bu sistemlerin ekonomik olması halinde, Türkiye’nin jeotermal kaynaklarda yararlanma olanakları hızla artacaktır. Bu bakış açısından, İç Anadolu’daki Acıgöl ve Doğu Anadolu genç volkanik alanları olumlu alanlardır (Carella ve Simsek, 2001). Güneydoğu Anadolu’daki mevcut petrol araştırma kuyularında bazı jeotermal akışkan çıkışları belirlenmiştir. MTA tarafından açılan sondaj kuyularının dağılımı Batı Anadolu’da % 87, İç Anadolu’da % 11 ve Doğu Anadolu’da % 2’ye ulaşmıştır.

5. TÜRKİYE’DEKİ YÜKSEK SICAKLIKLIL JEOTERMAL SAHALAR VE UYGULAMALAR

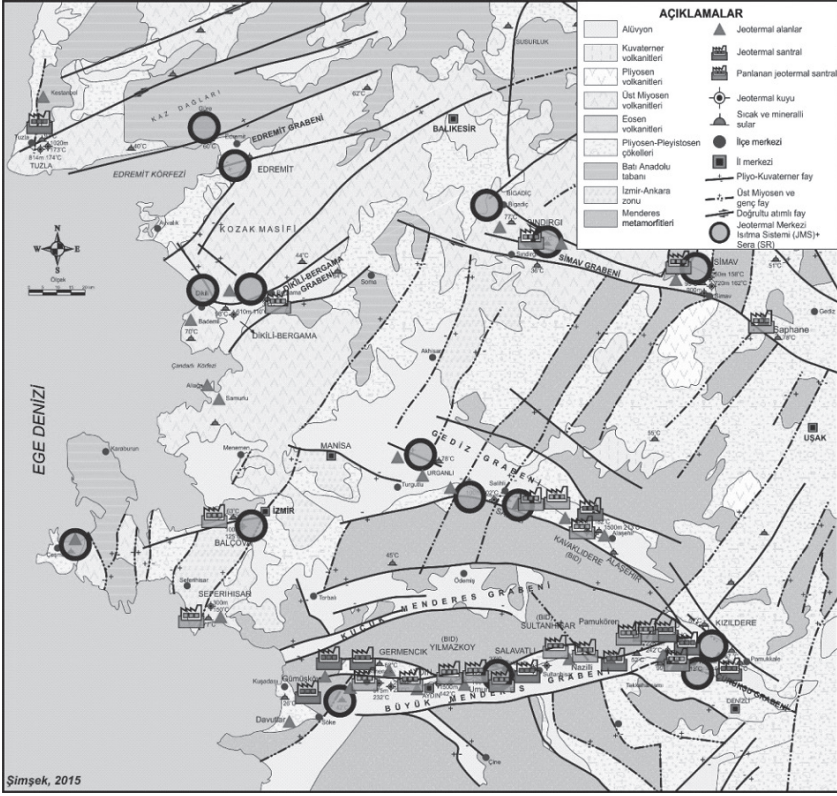
2015 yılı sonu itibariyle Türkiye’de 14 jeotermal sahada 25 adet jeotermal elektrik santral kurulması beklenmektedir (Çizelge 1). Bu santrallerin toplam kapasitesi yaklaşık 620 MWe’ dir (Çizelge 1). Bu sahalara ve santraller Şekil 7 ve 8’de gösterilmektedir. Ayrıca, Aydın-Gümüşköy, Buharkent ve Denizli-Tekkehamam sahalarda artezyen olmayan jeotermal kuyulardan jeotermal elektrik üretimi projeleri başlatılmıştır.

5.1 Kızıldere – Denizli Jeotermal Sahası

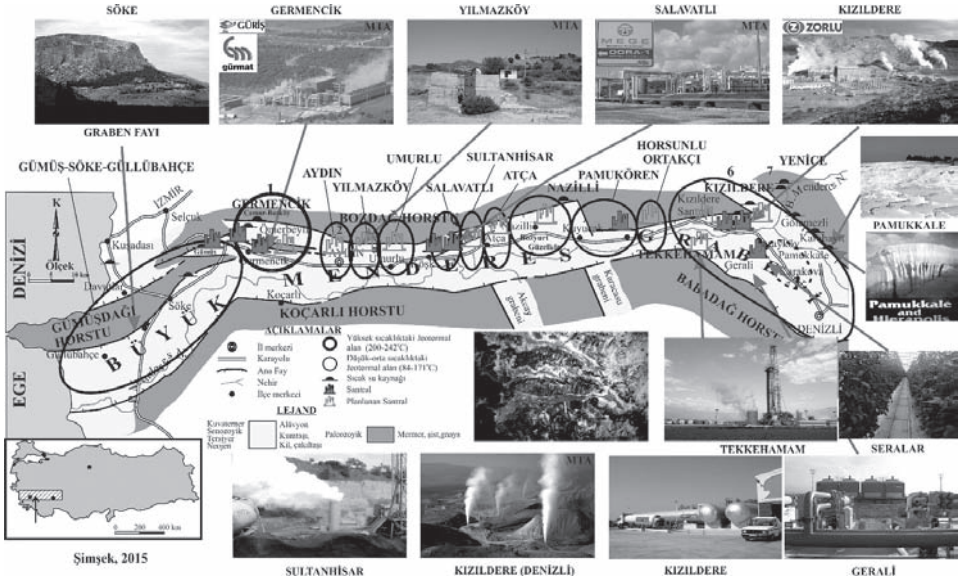
Türkiye’de elektrik üretimine uygun ilk jeotermal rezervuar 1968’de Kızıldere-Denizli sahasında keşfedilmiştir (Şekil 7, 8). Bu saha önemli jeotermal enerji potansiyeline sahip olup, Batı Anadolu’daki Büyük Menderes grabeninin doğu kısmında yer almaktadır. Bu alandaki ilk çalışmalar MTA-UNDP (Birleşmiş Milletler Geliştirme Programı) işbirliği çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Jeoloji, hidrojeoloji, jeofizik, jeokimya, etüdüleri ile 108 sığ gradyan (termal) sondajları tamamlanmıştır. Bunlardan sonra ilk derin sondaj (KD-1) ile elektrik üretimine elverişli yüksek sıcaklıklı jeotermal akışkan elde edilmiştir. Alanda toplam 13380 m’yi bulan 20 derin kuyu açılarak, iki rezervuar belirlenmiştir. Pliyosen kireçtaşlarının oluşturduğu I. rezervuar sıcaklığı 198°C’ dir (Simsek, 1985). Paleozoyik yaşlı mermer, kuvarsit ve şist ardalanasından oluşan ikinci rezervuarın derinliği 450-1100 m. arasında değişmekte olup sıcaklığı 212°C’ ye ulaşmıştır (Şekil 9). Elde edilen akışkanın buhar oranı % 10-12 ve elektrik üretim santralinde kullanılan kuyular bu rezervuardan üretim yapmaktadır. Sahada 1998 yılında, 2261 m derinlikte ve 242°C sıcaklıkta üçüncü bir rezervuar tespit edilmiştir (Simsek vd., 2005).

Çizelge 1. Jeotermal elektrik santrallerindeki jeotermal enerji kullanımı

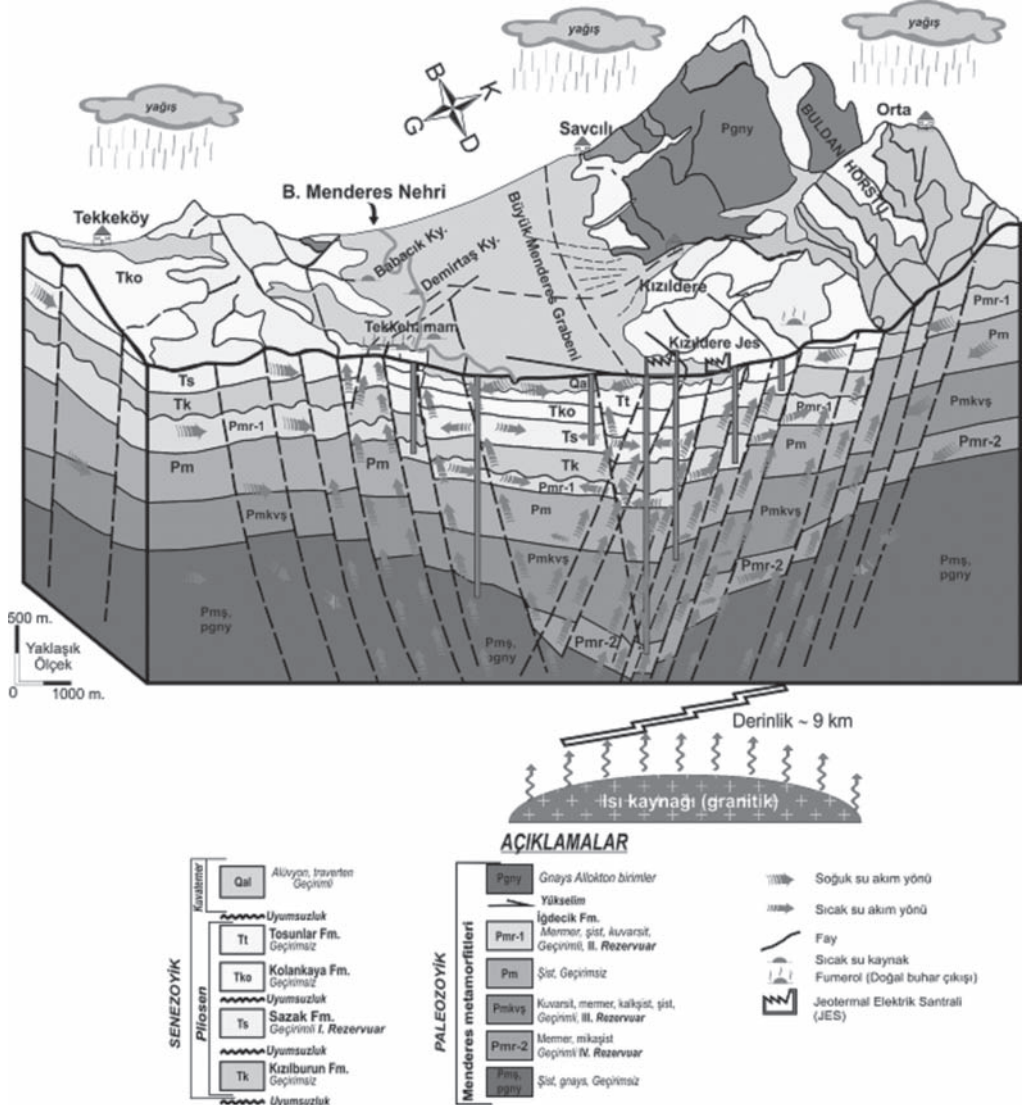
Bölge	Santral -Firma	Başlangıç yılı	Birim Sayısı	Birim tipi	Toplam Kurulu Kapasite (MWe)
Denizli	Kızıldere (Zorlu)	1984/2003	2	1F, 2F+B	80+15
Aydın	Salavatlı Dora 1,2,3 (MeGe)	2006/2013	3	B	50,86
Aydın	Germencik(Gürmat)	2009	1	2F	47,4
Çanakkale	Tuzla (Enda)	2010	1	B	7,5
Aydın	Hıdırbeyli (Maren)	2011/2013	3	B	92
Aydın	Pamukören (Çelikler)	2013	1	B	45
Denizli	Kızıldere (Bereket)	2007	1	B	6,85
Manisa	Alaşehir (Türkerler)	2014	1	B	24
Aydın	Gümüşköy (BM)	2014	1	B	6,6+6.6
Denizli	Gerali (Değirmenci)	2014	1	B	2,52
Aydın	Germencik(Gürmat)	2014	1	B	22,5
Denizli	Tosunlar (Akça)	2015	1	B	3,5
Aydın	Pamukören (Çelikler)	2015	1	B	22,5
Aydın	Germencik (Gürmat)	2015	3	2(B)+2F	22.5+22.5+47.4
Manisa	Alaşehir (Zorlu)	2015	1	B	45
Aydın	Umurlu (Kar-Key)	2015	1	B	12
Denizli	Tekkehamam (Greeneco)	2015	1	B	12,8
Manisa	Alaşehir –Kemaliye (Enerjeo)	2015	1	B	25
Toplam					620.03
<i>1F= Single flash, 2F=Double flash, B= Binary</i>					



Şekil 7. Batı Anadolu'da ana tektonik hatlar ve jeotermal alanların dağılımı.



Şekil 8. Büyük Menderes Grabeninde başlıca jeotermal alanları.



Şekil 9. Büyük Menderes grabeni jeotermal alanlarının kavramsal jeotermal modeli

EÜAŞ tarafından yaptırılan ve Şubat 1984'te devreye giren 15 MWe gücündeki pilot santral Türkiye'de ilk ticari jeotermal santral olmuştur. Saha 2008 yılındaki özelleştirme programı kapsamında Zorlu A.Ş.'ye devredilen sahada 80 MWe olan yeni santralle birlikte kurulu kapasite 95 MWe'e yükseltilmiştir. Ayrıca, sahada 240-245°C sıcaklıkta dördüncü bir rezervuar keşfedilmiş olup yeni santraller için sondaj çalışmaları devam etmektedir.

Sahada jeotermal akışkan ile Sarayköy ilçe merkezinde konut ısıtım çalışmaları yapılmakta ve 100000 m² sera alanı ısıtılmaktadır. 1986 yılında, elektrik üretimi yanında buhar içindeki kondense olmayan gazlardan (CO₂) kuru buz üretimi amacıyla 120000 ton/yıl kapasiteli bir tesis kurulmuş ve ticari üretime başlamıştır. Jeotermal akışkan, aynı zamanda turistik ve balneolojik olarak

ayrıca tekstil ürünlerinin yıkama ve kurutulmasında ve soğutmada kullanılmaktadır.

5.2 Germencik Jeotermal Sahası

Aydın-Germencik sahası MTA tarafından 1982 yılında keşfedilmiş olup elektrik üretimi açısından ikinci ekonomik jeotermal sahadır. Bu alan Büyük Menderes Grabeninin batısında ve Ege Denizine 40 km uzaklıkta yer almaktadır (Şekil 7, 8, 10). Sahada çalışmalara 1967 yılında başlanmıştır. Ayrıntılı jeolojik, hidrojeolojik, jeokimyasal ve jeofizik çalışmalarından sonra 1002 m derinlikteki ilk araştırma kuyusu açılmıştır (Gülay and Gürsoy, 1984; Sahin ve Sener, 1984; Simsek, 1984). Sahada 1982-1986 yılları arasında derinlikleri 285-2398 m arasında 9 adet araştırma kuyusu açılmıştır. Birinci ve ikinci rezervuarın sıcaklıkları 203-214°C ve 216-232°C aralığında ölçülmüştür. Birinci ve ikinci rezervuarlar sırasıyla Miyosen çakıltaşı ve Paleozoyik mermerlerden oluşmaktadır.

Sahada ilk santral (Gürmat-1) 47,4 MWe kapasite ile 2009 yılında double flash olarak devreye girmiştir (Şekil 9). 2014-2015 yıllarında EFELER grubu olarak daha sonra eklenen 3 binary santral (3x22,5 MWe) ve 1 adet 47,4 MWe kapasiteli bir double flash ile toplam kapasite 162,3 MWe'e yükseltilmiştir. Germencik sahasında en derin ve en yüksek sıcaklıktaki kuyu ÖB-88 olup 3206 m derinlikte ve 276°C maksimum sıcaklık ölçülmüştür.



Şekil 10. Aydın-Germencik GÜRMAT-1 jeotermal elektrik santrali (47,4 MWe)

6. DÜŞÜK SICAKLIKLI JEOTERMAL ALANLARDA UYGULAMALAR

Türkiye, doğrudan kullanım kurulu kapasitesi en fazla olan beş ülkeden biridir. Türkiye'de 19 adet jeotermal ısıtma sistemi mevcuttur ve bu sistemlerle 80453 konut ısıtılmaktadır. Türkiye'deki jeotermal gücün büyük kısmı ısı üretim amacı için çok uygundur. Jeotermal alan ısıtması yatırımı yerel yöneticiler, belediyeler ve özel sektör ile gerçekleştirilmektedir (Çizelge 2).

Doğrudan kullanımın kurulu kapasitesi (ısı pompası uygulamaları dahil) 2935,3 MWt enerji olup yıllık kullanım kapasitesi 45915,54 TJ/y değerindedir (Mertoglu vd., 2015).

Jeotermaldeki doğrudan kullanım uygulamalarında jeotermal ısıtma sistemi olan şehirler Çizelge 2 de verilmiştir. Türkiye’de bugün 40-45°C sıcaklıktaki jeotermal sular ile ısı pompası olmaksızın konut ısıtması yapılabilmektedir (Mertoglu vd., 2015).

Çizelge 2. Türkiye’deki jeotermal alan ısıtması

Bölge	Jeotermal ile ısıtılan konut sayısı	Başlangıç tarihi	Jeotermal Su Sıcaklığı (°C)	İşletme
Dokuz Eylül Univ. Kampüs+Balçova+Narlıdere	35000	1983	125-140	Valilik ve Belediye eşit ortaklı
Gönen	3400	1987	80	Başlıca Belediye
Simav	7500	1991	137	Belediye
Kırşehir	1900	1994	57	Başlıca Valilik + Belediye
Kızılcahamam	2500	1995	70	Başlıca Belediye
Afyon	8000	1996	95	Başlıca Valilik + Belediye
Kozaklı	3000	1996	90	Başlıca Valilik
Sandıklı	6000	1998	75	Başlıca Belediye
Diyadin	570	1999	70	Başlıca Valilik
Salihli	7292	2002	94	Belediye
Sarayköy	2200	2002	95	Başlıca Belediye
Edremit	4881	2003	60	Belediye + Özel Sektör
Bigadiç	1500	2005	96	Belediye
Sarıkaya	600	2007	50-60	Valilik + Belediye + Özel sektör
Sorgun	1500	2008	80	Belediye
Yerköy	1500	2009	65	Valilik + Belediye + Özel sektör
Güre	650	2010	55	Belediye
Bergama	450	2010	60	Belediye
Dikili	1160	2010	99	Belediye
Termal kullanım yaklaşık 3130 dönüm sera ısıtması (Şanlıurfa, Dikili, Balçova, Simav, Salihli, Sarayköy vd.)				Sahadaki yatırımlar:: Valilik Sera yatırımları: Özel sektör

Jeotermal sera ısıtması için kurulu kapasite 638,5 MWt ve yıllık enerji kullanımı 12,081 TJ/y’dır. Başlıca jeotermal sera ısıtma uygulaması, İzmir-Dikili, Bergama (1000000 m²), Manisa-Salihli, Urganlı (305000 m²), Kütahya-Simav (310000 m²), Denizli-Kızıldere-Tosunlar (200000m²), Şanlıurfa-Karaali (474000 m²), İzmir-Balçova (100000 m²) sahalarında yapılmaktadır.

Ülkemizde yılda 16 milyon yerli ve 10 bin yabancı turist balneoloji uygulamalarından faydalanmaktadır. Termal turizm ve balneoloji yatırımları son yıllarda artarak 1005 MWt’ a ulaşmıştır (TJD, 2015).

Jeotermal alan ısıtma sistemlerinin belirtilen elektrik üretimi üzerinde, sera ısıtması ve balneolojik uygulamalar (kademeli kullanım), yatırımın teknik ve ekonomik konularının birleşmesiyle daha karlı ve uygun olacaktır.

Bu yatırımlarla temiz ve ucuz jeotermal enerji birlikte kullanılması halinde insanların yaşam standartları yükseltilecektir. Dolayısıyla, yatırımcıların jeotermal yatırımları desteklemeleri parasal olarak jeotermal projelere inandıklarını göstermektedir.

Diğer taraftan, jeotermal ısı pompaları uygulaması kurulu kapasitesi yaklaşık 42,8 MWt'dır (Cetin and Paksoy, 2015). Günümüzde Metro Meydan M1 Alışveriş Merkezi/İstanbul (4,6 MWt) ve Dalaman'daki Terme Maris Tesisini içeren 15 üzerinde jeotermal ısı pompa uygulaması mevcuttur. Bu uygulamaların sayısı gelecekteki elektrik fiyatlarına ve bu sistemin tanıtımına bağlı olarak artması beklenmektedir.

7. JEOTERMAL ARAMA ÇALIŞMALARINI VE İŞLETMELERDE YENİ GELİŞMELER

Son dönemde Sıcak Kuru Kaya (Hot Dry Rock-HDR veya Enhanced Geothermal Systems-EGS) kaynaklarına yönelik çalışmalar artmaktadır. Yer altında geçirimsizliği olmayan, ancak yüksek sıcaklıkta olan kaya birimleri yerin 3000-4000m altında 300 oC ve 400 oC sıcaklıklara ulaşabilmektedir. Bu derinliklere yapılan sondajlar sonrasında buralara su enjeksiyonu gerçekleştirilerek kayalarda çatlamlar meydana getirilmekte ve oluşan çatlaklarda da yapay rezervuar oluşturulmaktadır. Bu alanda çalışma gerçekleştirmek için sıcak kuru kayalarda yapay bir rezervuarın oluşturulması için mühendislik jeolojisi alanında ayrıntılı çalışmalar yapılması gerekmektedir. Oluşturulacak çatlamlarda kayaların tepkileri, ne oranda çatlakların oluşturulacağı, yapay jeotermal alanların geliştirilmesi, kayaçların jeolojik özellikleri araştırılması gerekmektedir. Günümüzde başta ABD, Japonya, Almanya, Fransa olmak üzere birkaç ülkede Hot Dry Rock (HDR) olarak adlandırılan sıcak kuru kayalardan elektrik enerjisi elde edilmesine yönelik çalışmalar sürdürülmektedir. Ancak, üretilecek enerjinin ekonomik olabilmesi için teknolojik alanda yatırımların gerçekleştirilmesi ve uluslararası teknolojik işbirliği gerekmektedir.

Öte yandan, Isı Pompaları (Heat Pump) uygulamalarının dünyada oldukça yaygınlaşmaktadır. Yaklaşık 100 m derinliğindeki kuyulardan yer ısısının çekilmesi ile konutların, iş merkezlerinin ısıtılmasına Türkiye'de de başlanmıştır. Halen, 42,8 MWt kapasiteli ısıtma yapılmaktadır. Bunlardan en büyükleri İstanbul Ümraniye Meydan AVM binaları ve Sabiha Gökçen Havalimanı tesisleridir. Bu tesislerin ekonomik bir şekilde ülkemizde de artırılması için yine mühendislik jeolojisi ve hidrojeolojik çalışmaları gerektirmektedir.

Son yıllarda yapılan jeotermal aramalarda jeolojik (alterasyon etüdü vd.), hidrojeolojik (kuyu ölçümleri izotop vd), hidrojeokimyasal, jeofizik (MT, 2D ve 3D Sismik), sondaj ve test konularında yeni yöntemler kullanılmaya başlanılarak arama riskleri azaltılmıştır. Santral seçiminde de geliştirilen modern santrallerle enerji verimliliği artırılmıştır. Elektrik üretim sıcaklıkları 100°C nin altına kadar düşürülmüş ve verim artışı sağlanmıştır. Önceleri tek buharlaştırıcı santraller (single flash) yerine günümüzde modern binary santraller kullanılmaya başlanmıştır.

Türkiye'de petrol arama amacıyla açılan kuyularda jeotermal rezervuarlara rastlanmaktadır. Örnek olarak; Batman Kozluk-Taşlıdere'de 83°C üretim yapılan rezervuar belirlenmiştir (Dagistan ve Simsek, 2005). Ayrıca, Adıyaman ve Samsun (Çarşamba) petrol arama kuyularından çıkan sıcak su seracılıkta kullanım amacıyla çalışmalar yapılmaktadır.

Jeotermal rezervuarların korunması ile ilgili koruma alanları etütleri yapılmaktadır. Ancak, aynı rezervuardan üretim yapan çok sayıda ruhsat nedeniyle halen büyük sorunlar yaşanmaktadır. Yönetmelikte yapılan düzenlemeler yeterli olmamıştır.

Reenjeksiyon yapılmadan sadece üretim yapılan alanlarda Nevşehir-Kozaklı'da olduğu gibi yer

çökmeleri (obruklar) oluşmuştur. Bunun üzerine sahada reenjeksiyon yapılmaya başlanmıştır. UNESCO tarafından Dünya Kültür Mirası listesinde yer alan, doğal termal kaynakları ve travertenleri bulunan Pamukkale’de korumanın sürdürülmesi gerekmektedir (Şekil 11) (Simsek vd., 2000).



Şekil 11. Dünya Kültür Mirası olan Pamukkale termal suları ve travertenleri

8. TÜRKİYE JEOTERMAL KAYNAKLAR KANUNU

Jeotermal Kanun (Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Su Kanunu, No. 5686) 13 Haziran 2007’de yayınlanmış ve Türk Ticaret Kanunu’yla uyumlu olarak düzenlenmiştir. Arama ve işletme faaliyetleri ruhsata bağlanmıştır. Mevcut haklar için intibak yapılmış, yaklaşık 3000 adet ruhsat verilmiştir.

Yeni Jeotermal Kanun yasalara göre birçok hukuki problemleri çözmekte, yerli ve yabancı yatırımların için düzenlemeleri sağlamaktadır.

Kanuna göre, yerli ve yabancı şirketlere ruhsat süreleri ve yatırım garantileri ilk aşamada 30 yıla kadar geçerli daha sonraki aşamada 10 yıl boyunca genişletme olanağı sağlanmıştır.

Rezervuarların korunmasına yönelik reenjeksiyon zorunluluğu getirilmiştir. Halen kanun gereği elektrik üretimi ve merkezi ısıtma yapılan sahalarda enerji üretiminden dönen suların reenjeksiyonu yapılmaktadır.

Kanun kapsamında çıkarılan yönetmelik, arama ve işletme ruhsatları ile bitişik alanlarda rezervuarların korunmasına yönelik çıkan sorunlar nedeniyle sıkça değişmektedir.

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Jeotermal potansiyel açısından en zengin ülkelerden biri olan Türkiye’de 2010-2015 yılları arasında jeotermal etkinlik çoğunlukla elektrik üretimi ve alan ısıtma sistemleri üzerinde yoğunlaşmıştır.

2014 sonu itibariyle toplam kurulu elektrik güç üretim kapasitesi Türkiye’de toplam 400 MWe olmuştur. 2015 sonu itibariyle bu rakamın 620 MWe olması beklenmektedir.

Türkiye’de başta sera ve konut ısıtma sistemleri 1887,5 MWt, ısı pompası uygulamaları 42,8 MWt, balneoloji uygulamaları 1005 MWt olmak üzere doğrudan kullanım uygulamaları toplam 2935,3 MWt kapasiteye ulaşmıştır.

Kızıldere ve Salavatlı’da kurulan karbondioksit fabrikalarının kapasiteleri 160000 ton/yıl’a ulaşmıştır.

Türkiye’deki jeotermal kaynakların önümüzdeki yıllarda araştırma ve geliştirme çalışmalarının ana maddeleri aşağıda verilmiştir;

- Saha araştırma ve işletiminde yeni araştırma teknikleri ve yüksek verimli santraller kullanılmalıdır.
- Derin ve yüksek sıcaklıktaki rezervuarlar araştırılmalıdır.
- Yeni alanların araştırılması ve mevcut alanların kapasitesi ve karakteristiklerinin belirlenmesi için MTA, Yerel yönetimler, üniversiteler ve özel şirketlerin geliştirme ve uygulama projeleri desteklenmelidir.
- Jeotermal faaliyetler atık su problemi (reenjeksiyon olarak) için çözüm alternatifleri geliştirilmiştir. Bu gelişmelere göre kaynaklar çok hızlı bir şekilde faaliyete geçirilmelidir.
- Jeotermal enerjinin başarısını etkileyen kabuklaşma ve korozyon problemleri kimyasal inhibitörlerin enjeksiyonuyla çözülmüştür. Sonuç olarak, bu alanları faaliyete geçirmek için ve bu sektöre yatırımları hızlandırmak için gereklidir,
- Daha fazla jeotermal kuyu açılmalı ve kuyu riskleri devlet ve fonlar tarafından desteklenmelidir.
- Mümkün jeotermal alanların kullanımının belirlenmesi ve birleştirilmiş kullanım (elektrik üretimi, alan ısıtması, termal ve balneolojik uygulamalar) formundaki bu alanların planlanması ve jeotermal kullanımının teşvik edilmelidir.
- Türkiye’de jeotermal kaynaklar sıcaklık ve dağılım itibariyle ısıtmacılığa uygundur. Jeotermal alan ısıtması yatırımı yerel yöneticilerin, belediyeler, ve özel sektörlerin birlikteliğiyle düzenlenebilir.
- Termal turizm ve deniz/güneş/kültürel turizm ile balneolojik kullanım bölge ve ülke için önemli ekonomik gelişme sağlaması beklenmektedir.
- Daha fazla finansal destek sağlanmalı ve uluslararası jeotermal geliştirme projeleri desteklenmelidir.
- Bilgi üretimi ve teknoloji transferi (know how), eğitim, finans ve uluslararası şirketlerle beraber projeler yapılmalı ve malzeme ve ekipman temini konusunda desteklenmelidir. Petrol aramalarında olduğu gibi jeotermal arama ve işletmelerde kullanılan ekipmanlar gümrük vergisinden muaf tutulmalı ve jeotermal sondaj faaliyetlerinde kullanılan akaryakıttan KDV kaldırılmalıdır.

Türkiye’deki jeotermal kaynaklar ucuz, temiz ve ekonomik olmaları nedeniyle buldukları bölgedeki ana enerji kaynağı olarak kullanılmalıdır. Mevcut kullanımlar bu kaynakların bulunduğu yerlerde diğer enerji kaynaklarına oranla tercih edilmekte olduğunu göstermektedir.

10.KAYNAKLAR

- Bertani, R. (2015). Geothermal Power Generation in the World-2010-2015 Update Report, *World Geothermal Congress (WGC2015)*, No: 01001, Australia.
- Carella, R. and Simsek, S. (2001). HDR prospects Italy and Turkey, *International Geothermal Days, "Germany 2001"*, pp. 301-313, Germany.
- Cetin, A. and Paksoy, H. (2013). Shallow geothermal applications in Turkey, *European Geothermal Congress, EGC2013*, Pisa, Italy.
- Çağlar, K. Ö. (1947) *Mineral Water and Hot water Spring in Turkey*, (Mineral Research and exploration of Turkey (MTA) Publications, Ankara) (in Turkish).
- Dagistan, H. and Simsek, S. (2005). Geological and hydrogeological investigation of Kozluk-Taslıdere (Batman) geothermal field, *World Geothermal Congress (WGC2015)*, R-1902, (Ed.R.Horne & E.Okandan) ISBN 975-98332-0-4, Turkey.
- Dagistan, H., Kara, I., Peker, B., Celman, O., Karadağlar, M. (2015). Geothermal Explorations and Investigations by MTA in Turkey, *World Geothermal Congress (WGC2015)*, No: 11094, Australia.
- Erentöz, C. and Ternek, Z. (1966). *Thermo Resources and Geothermic Energy Studies in Turkey*, (Mineral Research and exploration of Turkey (MTA) Publications, Ankara) (in Turkish).
- Gülay, O. and Gürsoy, T. (1984). The Interpretation of gravity data in the Aydın-Germencik geothermal field, *U.N. Seminar on geothermal energy*, EP/R.39, Italy.
- İstanbul Üniversitesi. (1975). *Turkey Mineral Water*, (Istanbul University Faculty of Medicine, Chair of Medical Ecology and Hydroclimatology Press. İstanbul) (in Turkish).
- Lund, J., W. and Boyd, T. (2015). Direct utilization of geothermal energy 2015 worldwide review, *World Geothermal Congress (WGC2015)*, No: 01000, Australia.
- Mertoglu, O., Simsek, S. and Basarir, N. (2015). Geothermal country update report of Turkey (2010-2015), *World Geothermal Congress (WGC2015)*, Proceedings, No: 01046, Australia.
- Pınar, N. (1948). *Tectonics and Hot and Mineral Water Springs of Aegean Area*, (Ist. Univ.Science Fac Press, İstanbul) (in Turkish).
- Sahin, H. and Sener, C. (1984). Resistivity studies in Aydın-Germencik Geothermal Field. *Utilization of Geothermal Energy for Electric Power Production, Space Heating, United Nations Economic Commission for Europe*, EP/SEM.9/R.38, Florence-ITALY.
- Simsek, S. (1984). Aydın-Germencik-Ömerbeyli geothermal field, *Utilization of Geothermal Energy for Electric Power Production, Space Heating, United Nations Economic Commission for Europe*, pp.1-30, EP/SEM.9/R.37, Florence-ITALY.
- Simsek, S., (1985). Geothermal model of Denizli, Saraykoy-Buldan area, *Geothermics*, 14, pp. 393-417.
- Simsek, S. and Yildirim, N. (2000). Geothermal activity at 17 August and 12 November 1999 Eastern Marmara earthquake region, Turkey, *International Geothermal Association, Board of Directors Meeting*, 6-7, pp. 1-15, Antalya.
- Simsek, S., Günay, G., Elhatip, H. and Ekmekçi, M. (2000). Environmental protection of geothermal waters and travertines at Pamukkale, Turkey, *Geothermics*, 29, pp. 557-572.
- Simsek, S., Yildirim, N. and Gulgor, A. (2005). Developmental and environmental effects of the Kızıldere geothermal power project, *Geothermics*, 34, pp. 234-251.
- TJD. (2015). Geothermal Energy Development Report, Turkish Geothermal Association (TJD), Ankara (Unpublished).
- Yilmazer, S. (2009). Determining the potential of geothermal potential of Western Anatolia, 11th Turkey Energy Congress, İzmir (in Turkish).

JEOTERMAL ELEKTRİK SANTRALLERİ VE KULLANIMLARI

İŞLETME AŞAMASINDA JEOTERMAL ENERJİ SANTRALLERİNİN PERFORMANSINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Füsun S. Tut Haklıdır

*İstanbul Bilgi Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,
Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü Santral Kampüsü, Eyüp-İstanbul
(fusun.tut@bilgi.edu.tr)*

ÖZ

Günümüzde dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasına artan ilgiye paralel olarak, ülkemizde de son yıllarda özellikle rüzgar gücü ve jeotermal kaynaklardan enerji üretilmesi konusundaki çalışmalar ciddi oranda hız kazanmıştır. 2009 yılına dek 20 Mwe civarında olan jeotermal kurulu güç kapasitesi, bu tarihten sadece 5 yıl sonra 400 Mwe'a çıkmış, 2020'de ise 1000 Mwe'a ulaşılması beklenmektedir.

Jeotermal enerji santralleri %80-90 arasındaki yüksek kapasite faktörleri ile diğer yenilenebilir enerji kaynakları arasında ciddi bir öneme sahiptir. Ancak yüksek kapasite faktör değerlerine ulaşmak ancak jeotermal santrallerin optimum düzeyde ve uygun koşullarda çalıştırılabilmesiyle mümkün olabilmektedir. Özellikle ülkemizde gözlenen su baskın jeotermal sistemlerde jeotermal akışkanın yerin derinliklerinden sondajla yüzeye kadar ulaştırılması, ardından santralde yüzey ekipmanları vasıtasıyla basınç ve sıcaklığın değiştirildiği koşullarda, akışkanın fiziksel ve kimyasal özellikleri de değişmekte ve bu değişimlere dikkat edilmediği, gerekli şartlandırmaların yapılmadığı durumlarda bu canlı sistemin kısa vadede kapasitesinin düşmesine, daha uzun vade de ise sistemin tamamen çalışamaz hale gelmesine neden olmaktadır. Bu nedenle akışkanın jeotermal rezervuardan yüzeye çıkarılmasından, buhar üretimine kadar ilerleyen süreçte kabuklaşma ve korozyon oluşumunun engellenmesi, türbin ömrünün uzaması ve performansı için buhar kalitesi ve yoğunlaşmayan gazların sistemden uzaklaştırılması, türbinden gelen yoğunlaşmayan gazların soğutma kulesine aktarımı ve soğutma kulesinin performansının zamanla değişmemesi, jeotermal rezervuarlardan optimum akışkan üretimi yapılması, sistemin sürdürülebilirliğinin sağlanması, rezervuar basınçlarının korunması için reenjeksiyon uygulamasına önem verilmesi, jeotermal rezervuarlarda rezervuar ölçüm ve akışkanın jeokimyasal açıdan özelliklerinin izlenmesi gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal enerji santrali, kabuklaşma, inhibitör, soğutma kulesi, rezervuar, jeokimya

1. GİRİŞ

Enerji santralleri belirli kurulu güce sahip, elektrik üreten sistemler olup, yakıtlarına göre çalışma prensipleri değişmektedir. Ancak santraller için telaffuz edilen kurulu güç değerleri, santrallerin işletme döneminde o kapasiteye ulaşabileceklerini ifade eden değerler olmayıp, olası tam kapasitede üretebileceği değerleri işaret etmektedir. Santrallerde işletme döneminde tam kapasite değerlerine ulaşılmadaki güçlükler enerji kaynağına, çevresel etkilere, işletme koşullarına direkt olarak bağlı olup genel olarak kapasite faktörü ve verimlilik terimleriyle açıklanabilmektedir.

Jeotermal enerji santralleri diğer yenilenebilir enerji santralleriyle karşılaştırıldığında, prensip olarak santrallerin belli bir dönemde toplam enerjinin tam kapasitede üretebileceği enerjiye oranı olan en yüksek kapasite faktörüne sahip santrallerdir. Bir jeotermal santral işletme koşullarının ve kaynağın doğru yönetilmesiyle %80'leri aşabilen bir kapasite faktörüne sahip olup, bu değer rüzgar santralleri için yaklaşık % 25-40 arasında değişmektedir (YEK, 2015). Aradaki bu ciddi fark bir bölgede enerji üretimi için elverişli jeotermal kaynak potansiyeli varsa yatırımcı bu santralleri kurmaya yönlendirmektedir.

Her ne kadar jeotermal santraller diğer yenilenebilir enerji santraller arasında tam kapasiteye ulaşma konusunda ciddi bir alternatif olsa da, bu santrallerin işletilmesi yakıtın sıcak tek veya çift fazlı akışkan olması ve akışkanların P,T koşullarının kaynağın yerin altından çıkarılıp, en son enerji üretimine kadar oldukça değişken olması nedeniyle ve bu akışkanın kimyasal ve fiziksel özelliklerinin ortamla sistemle sürekli etkileşimde olması nedeniyle oldukça değişken ve karmaşık olabilmektedir. Her sahadaki jeotermal sistemin farklı özellik göstermesiyle işletme koşulları da her sahaya özgü olarak belirlenebilmekte bu nedenle dinamik, sürekli izleme ve kontrol gerektiren işletme koşullarıyla karşı karşıya kalınmaktadır.

2. JEOTERMAL SANTRALLERİN PERFORMANSINI ETKİLEYEN TEMEL FAKTÖRLER

Jeotermal santrallerin işletilmesini etkileyen faktörler ağırlıklı olarak;

- rezervuarın tanınması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması,
- kuyu üretim ve reenjeksiyon senaryolarının belirlenmesi,
- akışkanla uyumlu ekipman seçimleri,
- kuyularda ve yüzey ekipmanlarında farklı P,T koşullarında akışkandan kaynaklanacak kabuklaşma ve korozyon olasılıklarının işletme öncesinde belirlenmesi, uygun önlemlerin alınması,
- türbin performansının kontrolünü etkileyen proseslerin takibi (soğutma kulesi, buhar kalitesi gibi)

olarak değerlendirilebilir. Bunların dışında santral ve civarında hassasiyet oluşturabilecek bazı çevresel koşullar da sistemin çalışmasına etki edebilen konulardandır.

2.1 Jeotermal Rezervuarların Karakterlerinin Tanınması ve Sürdürülebilirliğin Sağlanması

Rezervuarlar jeotermal akışkanın kapanlandığı ve enerji üretimine giden yoldaki ilk ve en önemli yapılardır. Yatırım yapılacak kapasite için verilecek karar bu rezervuarlardan alınacak P, T akış-

kan özelliği ve kimyası ile yapılmaktadır. Bir jeotermal sistemde birden fazla rezervuar olabilir, bu nedenle gerekli yerbilimi çalışmalarının yapılması ardından belirlenen lokasyonlarda yapılacak sondajlardan alınacak verilerin çok ciddi bir şekilde yatırım devam ederken incelenmesi gerekmektedir. Bu çalışmalardan alınan veriler, kuyu tamamlama testleri sonrasında rezervuar mühendislerinin alacağı P,T değerleri rezervuarın ve jeokimya uzmanlarının akışkandan alacağı örneklerle ve akışkanın fiziksel, kimyasal özelliklerinin belirlenmesi ardından denetirerek, uzun süre işletilmesi planlanan rezervuarın özelliklerini belirlemede kullanılmaktadır. Bu verilerin alınmasıyla sahanın numerik rezervuar modellemesi ve hidrojeokimyasal modellemesinin yapılması yapılarak, uzun dönem işletme senaryoları oluşturulması ve ruhsat süresince hangi aşamalarda yeni kuyu açılması gerekliliği de ortaya konulacaktır.

2.2 Kuyu Üretim ve Reenjeksiyon Senaryolarının Belirlenmesi

Rezervuar üretim, geçirimsizlik ve etkileşim testlerinin ardından alınan verilerle kuyulardan üretilebilecek maksimum akışkan koşulları veya bir reenjeksiyon kuyusuna düşük sıcaklıkta akışkanın ne kadar gönderilebileceği, sahadaki üretim ve reenjeksiyon alanlarının etkileşimlerinin ortaya konulabilmesi ve kuyudaki hangi kuyudan hangi P,T koşullarda üretim yapılması gerektiğinin ortaya konulması uzun vadeli işletme koşulları için şarttır. Her kuyunun üretim kapasitesinin zorlanmadan saha genelinde optimum koşulların belirlenmesi ve işletme döneminde de bu koşullara göre enerji üretilmesi hem jeotermal sistemin dengesinin sağlanması hem de jeotermal rezervuarın basıncının korunması ve sistemin beslenmesi açısından önem arz etmektedir. Sahada reenjeksiyonun tam olarak gerçekleştirilmesi ağır metaller içeren atık sıcak su fazının çevreyi olumsuz etkilemesini engellemek için de gereklidir.

2.3 Jeotermal Akışkanla Uyumlu Ekipman Seçimi

Jeotermal akışkanın yeraltından yeryüzüne çıktığı ve oradan da borular, seperatör sistemleri, turbine doğru giderken geçirdiği ve reenjeksiyon kuyularına gönderileceği tüm farklı hatlar boyunca sıcaklık ve basınç değişiklikleri söz konusu olmaktadır (Haklıdır Tut vd., 2015). Termodinamik bu değişimler sırasında akışkanın fiziksel özellikleri (ph, T) yanısıra kimyasal kompozisyonu da değişmektedir. Bu nedenle akışkanın sıvı ve gaz+buhar fazının kimyasal kompozisyonlarının ayrı ayrı bilinerek, detaylı olarak irdelenerek, ihtiyaç duyulan metal malzemelerin bu kimyasal ve fiziksel özelliklerle uyumlu olacak standartlarda seçilmesi gerekmektedir. Örnek olarak yüksek NCG oranına sahip, H₂S oranı yüksek olan sistemlerde karbon çeliği bir malzeme hızla aşınma ve korozyona neden olacağından, hızla zarar görerek, sistemin bir parçasının çalışamaz hale gelmesine neden olarak üretim kaybına neden olacaktır. Bunun yerine güçlendirilmiş paslanmaz çelik malzemelerin kullanılması seçimi bu tip bir alanda önemli olacaktır. Akışkan kompozisyonuna göre seçilecek dayanıklı malzemeler yatırım sırasında maliyeti artırsa da, işletme esnasında çalışan bir sistemin durmasının çok daha fazla bir maliyet kaybına neden olacağı öngörülmelidir.

2.4 Kuyularda ve Yüzey Ekipmanlarında Kabuklaşma ve Korozyon Oluşumu

Çift fazlı rezervuarlarda yerin derinliklerinden yüzeye doğru ilerlerken kaynama noktasına ulaşmasından itibaren, tek faz ilerleyen akışkanın iki faz ayrılarak P_{CO₂}'nin düşmesi nedeniyle kuyu cidarlarında akışkanın içindeki minerallerin doyumluk derecelerinin değişmesi nedeniyle kabuklaşma olarak nitelendirilen, çökeltiler oluşmaktadır (Haklıdır Tut vd., 2011). Bu oluşuklar

oluşmaları engellemediği takdirde kısa sürelerde boruları tıkamakta ve kuyudan üretim yapılmasına engel olmaktadır. Genelde jeotermal sahalarda üretim kuyularında ve yüzey ekipmanlarında kalsiyum karbonat tipinde çökeltiler oluşmakta olup, akışkanın özelliğine göre bu çökeltilerin içerisinde farklı mineraller girebilmektedir. Akışkan fazın sıcaklığı düştükçe bu çökeltiler yerlerini daha çok silika türünde çökeltilere bırakmakta olup, zaman zaman sülfütlü bir takım çökeltiler de göze çarpmaktadır. Her jeotermal sistemi oluşturan kayalar ve buna bağlı rezervuardan gelen akışkanın kimyası sahadan sahaya değişkenlikten gösterdiğinden, kabuklaşma çalışmalarına yönelik jeokimyasal modelleme çalışmaları her saha için ayrı olarak yapılmaktadır. İşletme dönemi öncesinde akışkan kimyasına dayanarak sistemde P,T değişim noktaları ve değişim oranları bilindiğinde oldukça tutarlı sonuçların alındığı hangi tipte çökeltilerin hangi noktalarda beklendiği öngörülebilir.

Belirlenen çökelti tiplerinin ardından bu yapıların sistem içindeki farklı noktalarda oluşmadan engellenmesi için uygun kabuklaşma engelleyici inhibitör olarak bilinen kimyasalların seçiminin yapılması gerekmektedir. Pompa, inhibitör tankı, makara sistemi ve kapiler tübingden oluşan inhibitör sistemlerinin kuyu başlarına ve dozajlama yapılması planlanan noktalara yakın kurulması gerekmektedir. Bu çalışmalar, kuyularda kısa ve orta dönemli testlerle farklı kompozisyondaki kimyasalların üretim kuyuları veya sistemdeki basınç düşüm noktalarında kontrollü gözlem ve kimyasal analizlerin yapıldığı testlere dayanmakta olup, özellikle çoklu flaş sistemlerdeki basıncın düştüğü farklı noktalarda sistem genelinde birden fazla kimyasalla uygulanabilmektedir. Bu konuda dikkat edilmesi gereken önemli noktalar kimyasal pH'sının sistemde temas edeceği yüzey ekipmanlarla uyumlu olması, aşınma oluşturmaması ve kimyasal çözeltilinin optimum dozajının testler sırasında doğru tesbit edilerek, yetersiz veya aşırı doz verilmeden sisteme uygulanmasıdır.

2.5 Türbin Performansına Etki Eden Faktörler

2.5.1 Buhar Kalitesi: Buhar kalitesinin iyi olması bir türbinin ömrünü uzatacak etkenlerden biridir. Buhar fazının saf olması, içeriğinde düşük konsantrasyonlarda dahi mineral olmaması gerekmektedir. Buhar kalitesinin bozulması durumunda ince partiküller türbinin yüksek hızdaki rotasyon hareketi sırasında mermi gibi türbin kanatlarına çarparak, kanatlarda hem korozyona neden olabilecek hem de bakımda düzeltilmesinin ciddi zorluklar oluşturabileceği kabuklaşmalara neden olacaktır. Buhar kalitesi için turbine giden buhardan nozzle yardımıyla örnek alınmakta ve periyodik olarak kontrol yapılabilmektedir.

2.5.2 Soğutma Kulesi: Türbinde kullanılmayan ıslak buhar ve yoğunlaşmayan gazlar kondenser sistemi aracılığıyla soğutma kulesine aktarılmakta bu da hem sistemin soğutulmasına hem de sistemdeki emisyonun atmosfere bırakılmasına olanak sağlamaktadır. Soğutma kuleleri su ve hava soğutmalı olarak tasarlanmakta olup, genellikle yaz-kış sıcaklık ortalamaları ciddi farklı olan bölgelerde besleme suyu kullanılabilen su soğutmalı olarak seçilmektedir. Bünyesinde yüksek konsantrasyonda CO₂, H₂S bulunan, ıslak ve karanlık bir ortamda alglerin ve çeşitli bakterilerin üremesi için uygun koşulları sağlayan soğutma kulelerinin soğutma görevini yerine getirebilmesi için kimyasal şartlandırma yapılması gerekmekte, zaman zaman da santral duruşlarında içleri kontrol edilerek, fiziksel temizlik yapılması gerekmektedir (Haklıdır Tut vd., 2015).

SONUÇLAR

Jeotermal enerji santralleri diğer santraller içerisinde kurulu güçlerine en yakın üretimi gerçekleştirebilecek santrallerdir. Yatırım çalışmaları sırasında uygun tasarım ve malzeme seçimlerine

de bağılı olarak uygun işletme koşullarının belirlenerek, uygulanması ile 35-40 yıl süreyle bu santrallerin iyi koşullarda kullanılmaları mümkündür.

Kapasitelerinin düşürülmeden işletilmesi için jeotermal rezervuarların sürdürülebilirliklerinin sağlanması, akışkanın fiziksel ve kimyasal özellikleri gözetilerek malzeme seçiminin yapılması, sistemde kısa zamanda üretim kayıplarına yol açabilecek olan kabuklaşma ve korozyonun engellenmesi için ve soğutma prosesinde uygun kimyasalların kullanılarak şartlandırma yapılması gerekmektedir.

Yatırım aşamasında alınan ilksel rezervuar testlerinden alınan verilerle ve akışkanın ilksel kimyasal özelliklerinin periyodik olarak izlenmesi ve değişimlerin takip edilebilmesi, rezervuarda zaman içinde oluşabilecek değişimlerin zamanında farkedilmesi ve yeni kuyu açılması ya da üretim senaryolarının uygun şekilde revize edilerek sistemin uzun soluklu çalışmasını sağlamak için önemlidir.

Bir sonraki aşamada jeotermal santrallerinden çıkan bazı emisyonların biyofuel üretimi gibi hibrit sistem olarak çalıştırılması, emisyon değerlerinin de işletme döneminde azaltılmasına olanak sağlayabilecektir.

REFERANSLAR

Haklıdır Tut, F.S., Şengün, R. Uzun, A., Kılınçarslan S. 2015. "The Importance of Processing Geothermal Fluids for Sustainability of Geothermal Power Plants: With Kızıldere (Turkey) Geothermal Field Case", Proceedings of World Geothermal Congress, Melbourne-Australia, 19-24 April 2015.

Haklıdır Tut, F.S., Akın, T., Parlaktuna, Ç., Türk, D., Savaş, T., "İşletme Döneminde Jeotermal Sahalarda Kabuklaşma Tipleri ve Önleme, Kontrolü: Kızıldere Jeotermal Sahası". 64. Türkiye Jeoloji Kongresi, 25-29.04.2011, Ankara.

YEK, 2015 Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü websitesi

http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/ruzgar/ruzgar_turbin.html

DÜŞÜK SICAKLIKLI JEOTERMAL SAHALARDA ORGANİK RANKİN ÇEVİRİMİ (ORC) İLE ELEKTRİK ÜRETİMİ AFJET A.Ş. ÖRNEĞİ

Yusuf Ulutürk¹, Cihan Şahin¹

¹Afyon Jeotermal Tesisleri Elektrik Üretim AŞ.
(yusufuluturk@afjet.com.tr)

ÖZ

Jeotermal enerji, yenilenebilir ve sürekli bir enerji kaynağı olması, ülkemiz gibi jeotermal enerji açısından şanslı ülkeler için öz kaynak oluşturmaktadır, ucuz, temiz ve çevre dostu olması; sıfıra yakın emisyonu sebebiyle en önemli özelliklerindedir. Türkiye dünyada jeotermal enerji potansiyeli en yüksek ülkelerden biri olmasına rağmen, ne yazık ki sonsuz enerji kaynağı jeotermalde potansiyelin sadece küçük bir bölümünü değerlendirilebilmektedir.

Jeotermalde kullanılan potansiyelin artırılabilmesi düşük sıcaklıklarda da yenilikçi sistemlerin kullanılmasıyla mümkün olacaktır.

Bu ana fikirle çalışmalarını sürdüren şirketimiz, 3MWh kapasiteli ORC (Organic Rankine Cycle) sistemi ile elektrik üretimi yatırımına karar vermiştir. Yatırım Geri Dönüş hızı 4 yıldan azdır. Sistem Yatırım maliyetinin 4 yılın altında bir sürede geri kazanmakla birlikte; İlimiz ve Ülkemiz ekonomisine katkı sağlayacak, benzer veya yakın sıcaklıktaki bölgeler için örnek uygulama teşkil edecektir.

Anahtar Kelimeler: ORC, Jeotermal, Elektrik, Yenilenebilir Enerji,

***ELECTRICITY GENERATION WITH ORGANIC RANKINE CYCLE
(ORC) IN LOW TEMPERATURE JEOTERMAL FIELD AND MODELLING OF
AFJET A.Ş.***

Yusuf Ulutürk¹, Cihan Şahin¹

¹Afyon Geothermal Inc.
(yusufuluturk@afjet.com.tr)

ABSTRACT

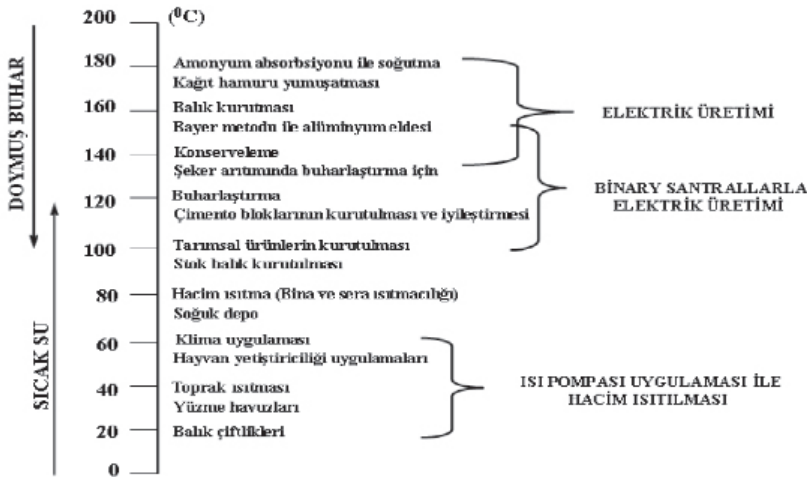
Geothermal energy; It is a renewable and constant energy source. As our country is to create equity fortunate countries in terms of geothermal energy. cheap, clean and environmentally friendly. one of the most important features give rise to emissions close to zero. Although geothermal energy potential of Turkey is one of the highest countries in the world, unfortunately, endless source of energy only small part of the geothermal potential can be assessed. Can rise to over of the geothermal potential will be possible through the use of innovative system also at low temperatures.

Our company continues to work on this main idea; Electricity production system by ORC (Organic Rankine System) has decided to invest with 3MWh capacity. ROI rate of less than 4 years. Investment cost of the system over a period of less than 4 years, but recovered; Our city and our country will contribute to the economy, will serve as best practices for regions in similar or close temperatures.

Keywords: ORC, Geothermal, Electrical, Renewable Energy,

JEOTERMAL ENERJİ:

Jeotermal enerji, yer kabuğunda depolanmış ısı enerjisinin tümünü kapsar, jeotermal enerjinin en önemli özelliği depolanmış olması ve yeryüzüne yakın bulunmasıdır. Bu kaynaklardan iletim ve taşınım yoluyla yeryüzüne ulaşan jeotermal akışkan; sıcaklığa bağlı olarak elektrik üretimi başta olmak üzere ısıtma, su ihtiyacı soğutma, seracılık balıkçılık, kurutma ve termal sağlık gibi amaçlar için kullanılmaktadır. Jeotermal enerjinin kullanım alanların Şekil-1 de gösterilmiştir.



Şekil-1: Sıcaklığa göre Jeotermal enerjinin kullanım alanları (Atalay 2004)

DÜNYADA JEOTERMAL ENERJİ

Jeotermal enerji başlangıçta sağlık amaçlı kullanılmış ve 1827 yılında İtalya'da asitborik elde edilmesinde kullanılmıştır. İlk enerji üretimi İtalya'da Lardello sahasında 1920 lerde kuru buhar üretimiyle başlamış ve ilk kurulan turbo jeneratör ile 250kW/h elektrik enerjisi üretilmiştir. 1930'larda ısıtma amaçlı olarak İzlanda'nın Reykjavik kentinde kullanılmıştır. 1950'lerde Yeni Zelanda'da ki Wairakei'de bir otel ısıtmasıyla başlayan sondajlar daha sonra elektrik enerjisi elde etmek için devam etmiştir. 1954'te 200MW kapasiteli bir santral kurulmuştur ve 1980'lerde Rankine çevrimiyle çalışmalar sürdürülmüştür. 1960'larda ABD, 1961 de Meksika ve 1966 da Japonya da santraller kurulmuştur. Tablo-1 de jeotermalden elektrik enerjisi üreten ülkelerin kurulu güçleri gösterilmiştir. (Serpen 2005)

Ülkeler	1995 (MW)	2000 (MW)	2005 (MW)	Artış (%)
Avusturya	0,2	0,2	0,2	-
Avusturya	0	0	1	Yeni Giriş
Çin	29	29	28	-
Kostarika	55	143	163	14
El Salvador	105	161	151	-
Etopya	0	7	7	-
Fransa	4	4	15	275
Almanya	0	0	0,2	Yeni Giriş
Guatemala	0	33	33	-

İzlanda	50	170	202	19
Endonezya	310	590	797	35
İtalya	632	785	790	1
Japonya	414	547	535	-
Kenya	45	45	127	182
Meksika	753	755	953	16
Yeni Zelanda	286	437	435	-
Nikaragua	35	70	77	10
Papua Yeni Gine	0	0	6	Yeni Giriş
Filipinler	1227	1909	1931	-
Portekiz	5	16	16	-
Rusya	11	23	79	244
Tayland	0,3	3,3	0,3	-
Türkiye	17,8	17,8	17,8	-
ABD	2817	2228	2544	3
Toplam	6797	7972	8910	12

Tablo-1: Dünyadaki elektrik santralleri kapasiteleri

Jeotermal Enerjideki kullanım 1973'teki petrol krizinden sonra artmış ve 1983-2003 periyodun da ise düşük petrol fiyatları nedeniyle biraz hızını azaltmıştır. Son zamanlardaki petrol fiyatlarındaki artış dünyadaki jeotermal enerji üretimini tetikleyebilir.

Dünyada jeotermal enerjinin ısıtma, soğutma ve termal tedavi gibi doğrudan kullanım kapasitesi 2000 yılı itibariyle 17174 MWt' dir. Türkiye 820 MWt doğrudan kullanım kapasitesi ile dünyada 5. sıradadır. Tablo-2 de Dünyada jeotermal enerjinin doğrudan kullanımının ülkelere göre dağılımı gösterilmiştir. (Arslan vd 2001)

Ülkeler	Kurulu Güç (MWt)	Üretim (GWh/yıl)
Çin	2814	8724
Japonya	1159	7500
ABD	5366	5640
İzlanda	1469	5603
Türkiye	820	4733
Yeni Zelanda	308	1967
Gürcistan	250	1752
Rusya	307	1703
Fransa	326	1360
Macaristan	391	1328
İsveç	377	1147
Meksika	164	1089
İtalya	326	1048
Romanya	152	797
İsviçre	547	663

Tablo-2 Dünyada Jeotermal enerjinin doğrudan kullanımı (Arslan vd 2001)
2004 sonu itibariyle doğrudan kullanım 27825MWt (Serpel 2005) dir.

TÜRKİYE'DE JEOTERMAL

Türkiye, Alp-Himalaya orojenik kuşağı üzerinde bulunması, magmatik ve volkanik aktivite-lerin çok olması nedeniyle jeotermal açıdan büyük bir potansiyele sahiptir. Ülkemizde aktif faylara ve volkanizmaya bağlı olarak başta Ege Bölgesi olmak üzere, Kuzeybatı, Orta Anadolu, Doğu ve Güney Anadolu bölgelerinde 600'ün üzerinde jeotermal kaynak vardır. Türkiye'deki jeotermal kaynak alanı dikkate alındığında teorik olarak muhtemel jeotermal potansiyel 31500 MWt tahmin edilmektedir (Arslan vd 2001). Buna göre 600 kaynak alanından sadece 124 ünde sondajlı çalışmalar yapılmıştır. Bu durum jeotermal arama çalışmalarının geliştirilip yararlanma alanlarının ve miktarlarının artabileceğini göstermektedir. Tablo-3 de önemli sahaların sıcaklık değerleri görülmektedir.

Saha Adı	Rezervuar Sıcaklığı (°C)
Kızıldere (Denizli)	242
Germencik (Aydın)	232
Salavatlı (Aydın)	171
Yılmazköy-İmamköy (Aydın)	142
Salihli-Caferbeyli (Manisa)	155
Salihli-Kurşunlu (Manisa)	96
Alaşehir –Kavaklıdere (Manisa)	116
Urganlı-Turgutlu (Manisa)	86
Simav (Kütahya)	162
Gediz-Abide (Kütahya)	97
Gölemesli (Denizli)	65
Karahayıt (Denizli)	55
Pamukkale (Denizli)	35
Seferihisar (İzmir)	153
Balçova (İzmir)	130
Dikili (İzmir)	130
Aliağa (İzmir)	96
Çeşme (İzmir)	62
Tuzla (Çanakkale)	174
Bigadiç (Balıkesir)	95
Hisaralan (Balıkesir)	100
Gönen (Balıkesir)	80
Saraycık (Manisa)	74
Emir-Kula (Manisa)	63
Kızılcahamam (Ankara)	86
Terme (Kırşehir)	57
Gecek-Ömer (Afyon)	98
Sandıklı (Afyon)	70
Kozaklı (Nevşehir)	93
Ziga (Aksaray)	65
Sıcak Çermik (Sivas)	49
Sorgun (Yozgat)	75
Erciş (Van)	80
Diyadin (Ağrı)	78
Nemrut (Bitlis)	59

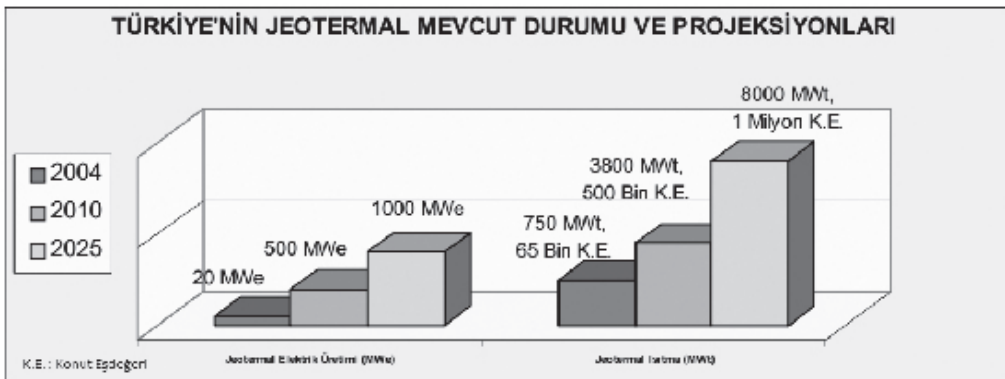
Çermik (Diyarbakır)	51
Karaaile (Şanlıurfa)	49
Çekirge (Bursa)	82
Armutlu (Yalova)	77
Terme (Yalova)	66
Kurşunlu (Çankırı)	54
Reşadiye (Çankırı)	47
Kaplıca (Bolu)	45
Ayder (Rize)	56

Tablo-3: Jeotermal Sahalar ve sıcaklıkları (Atalay 2004)

Türkiye’de jeotermal enerji uygulamaları, daha çok konut ısıtması sera ısıtması ve kaplıca amaçlı olarak yapılmaktadır. Elektrik enerjisi üretimine yönelik yüksek sıcaklıklı sahalar bulunmasına rağmen üretim düşük seviyelerde kalmıştır.

Bunun dışında Denizli Kızıldere sahasında karbondioksit üretimi yapılmaktadır. 2000 yılı itibarıyla Türkiye’nin ısıtma kapasitesi 52000 konut eşdeğeri olarak 493 MWt’ dir(Dönmez 2003) Ülkemizde jeotermal enerjinin doğrudan kullanımı daha çok merkezi ısıtma sistemleriyle yapılmaktadır. 1987’de kurulan ilk merkezi sisteme 1991-2004 yılları arasında kurulan 11 adet tesis daha eklenmiştir. Merkezi ısıtma sistemlerinin toplam ısıtma kapasitesi 250MWt olup yaklaşık 35000 konut ısıtıldığı tahmin edilmektedir.

Türkiye’nin jeotermal termal kaynak potansiyeli daha ayrıntılı olarak Serpen ve Mihçakan tarafından 1999 yılında incelenmiştir. Dönüştürülebilir jeotermal enerji kategorileri Tablo-4’de verilmiştir.(Serpen 2005) Tablo incelendiğinde en büyük potansiyel 2. sınıf jeotermal kaynakla olduğu görülür. Düşük entalpili akışkanlara sahip; mekan ve sera ısıtmacılığı, yiyecek kurutma, aquakültür ve diğer alanlarda kullanılabilecek çok miktarda kaynak bulunmaktadır.



Grafik-1: Türkiye’nin Jeotermal Mevcut Durumu ve Projeksiyonları

Sıcaklık Aralığı (°C)	Dönüştürülebilir Enerji (J)
1.Sınıf (<100 °C), doğrudan kullanım	4.9x10 ²¹
2.Sınıf (100-180 °C), doğrudan kullanım	8.0x10 ²¹
3.Sınıf (180-250 °C), dolaylı kullanım	1.3x10 ¹⁸

Tablo-4: Türkiye'nin dönüştürülebilir Jeotermal enerji kategorileri (Serpen 2005)

AFJET A.Ş. ve JEOTERMAL

Yenilenebilir ve sürekli bir enerji kaynağı olması; ülkemiz gibi jeotermal enerji açısından şanslı ülkeler için öz kaynak oluşturması; ucuz, temiz ve çevre dostu olması; sifıra yakın emisyonu sebebiyle vermesi; konutlarda, tarımda, endüstride, sera ısıtmasında ve benzeri alanlarda çok amaçlı ısıtma uygulamaları için ideal şartlar sunması; yerel niteliği nedeniyle ithalinin ve ihracının uluslararası konjonktür, krizler, savaşlar gibi faktörlerden etkilenmemesi en önemli özelliğidir. Türkiye dünyada jeotermal enerji potansiyeli en yüksek ülkelerden bir olmasına rağmen, ithal petrol, doğalgaz ve kömüre halen 30 milyar dolar harcamakta ve ne yazık ki sonsuz enerji kaynağı jeotermalde potansiyelin sadece yüzde 3'ü değerlendirilebilmektedir.

Yukarıdaki tablolarda ve şekillerden de görüleceği üzere 140°C ve üzeri geleneksel Jeotermalden Elektrik üretim yöntemi olarak görülürken; şirketimiz Organik Rankin Çevrimi yöntemi ile düşük sıcaklıklı sahalarında elektrik üretiminde değerlendirilmesi adına mevcut kapasitesinin bir bölümünü enerji üretimi alanında kullanmak üzere projelendirmiştir. Gerçekleşecek kapasite ilk etapta bürüt ~3 MWh dir.

Teknik Hesaplar ve Sistem Dataları:

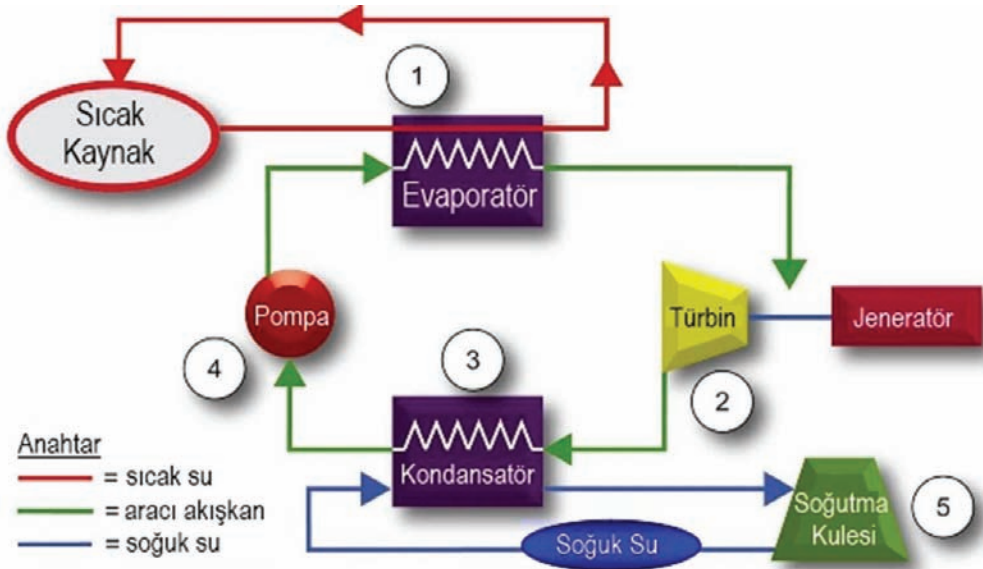
		Veri	Hesaplama
Jeotermal su giriş dizayn sıcaklığı	110°C	X	
Jeotermal su çıkış dizayn sıcaklığı	70°C	X	
Jeotermal su yoğunluğu	0.952kg/l	X	
Jeotermal su dizayn akış oranı	150 kg/sn	X	
Verilere göre hesaplanan Termal Güç	~25MWt		X
Soğutma akışkanı Dizayn Sıcaklığı (Giriş/Çıkış)	14/21°C	X	
Çevrim Akışkanı	R134A	X	
Ortalama Yaş Termometre Sıcaklığı Afyon	9.3°C	X	
Soğutma şekli	Su soğutmalı kondenser	X	
Tirbün bağlantısında ki çıkış Elektrik Gücü	2988kW/h		X
ORC iç ihtiyacı	359kW/h		X
ORC Net Elektrik Çıkış Gücü	2629kW/h		X
Termodinamik Bürüt Verim	%11.9		X
Termodinamik Net Verim	%9.9		X

Tablo 5: ORC sistemi için ayrılan kapasiteye göre güç hesaplama tablosu

Sistem düşük sıcaklıklarda yüksek basınca ulaşabilen R134A gazı ile tasarlanmış olup Afyon-karahisar ortam sıcaklıkları ve soğutma kulesi tasarımı ile (**14°C giriş 21°C çıkış sıcaklığı**) termodinamik bürüt veriminin %12'ye yakın olduğu hesaplanmaktadır. Ancak sistem emniyetli marjda tasarlanarak %10 verim sağlanması amaçlanmıştır.

Sistem Çalışma Yapısı:

Sudan daha düşük sıcaklıklarda kaynayan yardımcı akışkan kullanımından dolayı sistemimiz Tablo-1 de verilen giriş-çıkış dizayn sıcaklıklarımıza ve ayırdığımız termal kapasiteye göre tasarlanmıştır.



Resim 1. ORC Sistem Şeması

Isıdan elektrik üreten sistemi esas alan bir ORC teknolojisi , evaporatör (1) içerisinde ki organik çalışma sıvısını (yeşil çizgi) buharlaştırmak için sıcak kaynaktaki ısıyı kullanır (kırmızı çizgi). Seçilen çalışma sıvısı olarak silikon bazlı sıvılar, düşük sıcaklıklar için hidrokarbon veya soğutucu bazlı sıvılar olabilir. Basınçlı buhar daha sonra türbine (2) yollar ve jeneratörde elektrik üretilir. Buhar, kondanser içinde tekrar sıvı hale gelir (3). Burada su soğutma kulesi (5), ya da hava soğutmalı sistemler (mavi çizgi) soğutma aracı olarak kullanılır. Sonra bir pompa (4) çalışma sıvısını tekrar evaporatöre pompalar ve bu kapalı çevrim süreci tekrar eder.

ORC'nin Avantajları:

Buhar türbin sistemlerine kıyasla, ORC bazı özel avantajlara sahiptir. Buhar türbini yüksek sıcaklık ve basınçta kullanıldığı için genellikle daha verimli olsa da ORC kendine has bazı özellikler nedeniyle birçok uygulamada tercih edilebilmektedir.

- Düşük kaynak sıcaklıklarında çalışma
- Düşük basınçlarda çalışabilme
- Küçük boyutlar nedeniyle düşük MW aralığına izin verebilir, düşük yüklerde çalışma özelliği

- Kolay işletim, kolay başlatma/durdurma, sessiz çalışma
- Sıcak kaynak türbin ile temas halinde değildir
- Yüksek moleküler ağırlığa sahip çalışma sıvısı türbin pallerinin ömrünü uzatır
- Düşük devirli türbin kullanımı
- Basit kurulum, bakım kolaylığı, uzun ömür
- Yakıt maliyeti sıfır
- Yanma olmadığı için sıfır salınım

Sonuç ve Projede Geline Son Durum:

Jeotermal enerji, yenilenebilir ve sürekli bir enerji kaynağı olması, ülkemiz gibi jeotermal enerji açısından şanslı ülkeler için özkaynak oluşturmaktadır, ucuz, temiz ve çevre dostu olması; sıfıra yakın emisyonu sebebiyet vermesi en önemli özelliklerindedir. Türkiye dünyada jeotermal enerji potansiyeli en yüksek ülkelerden biri olmasına rağmen, ne yazık ki sonsuz enerji kaynağı jeotermalde potansiyelin sadece yüzde 3'ü değerlendirilebilmektedir.

Jeotermalde kullanılan potansiyelin yüzde 3'ün üzerine çıkabilmesi düşük sıcaklıklarda da yenilikçi sistemlerin kullanılmasıyla mümkün olacaktır.

Bu anafikle çalışmalarını sürdüren şirketimiz, 3MWh kapasiteli ORC (Organic Rankine Cycle) sistemi ile Elektrik üretimi yatırımına karar vermiş, satın-alma ve ihale süreçlerini ayrıca EPDK'dan da gerekli izinleri tamamlamış olup Temmuz 2016'da performans testlerini yapmayı planlanmaktadır.



Resim 2. Projemize benzer kapasitede, tamamlanmış bir ORC tesisi (Almanya)

Projenin yatırım Geri Dönüş hızı 4 (dört) yıldan azdır. Sistem Yatırım maliyetinin 4 (dört) yılın altında bir sürede geri kazanmakla birlikte; İlimiz ve Ülkemiz ekonomisine katkı sağlayacak, benzer veya yakın sıcaklıktaki bölgeler veya sahalar için örnek uygulama teşkil edecektir.

Kaynaklar

- Atalay, Ö. (2004) Jeotermal sistemlerin ekserji analizi: Kızıldere örneği, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Serpen, Ü., 2005, “Jeotermal Enerjinin Türkiye Ve Dünyadaki Kullanımı”, Jeotermal Enerji Seminer Kitabı
- Arslan, S., Darıcı, M., ve Karahan, Ç., (2001) Türkiye'nin Jeotermal Enerji Potansiyeli, Jeotermal Enerji Doğrudan Isıtma Sistemleri; Temelleri ve Tasarımı Seminer Kitabı
- Dönmez, E., (2003) Jeotermal bölgesel ısıtma sistemlerinin tasarım kriterleri, Diploma Projesi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,

KIZILDERE-II JEOTERMAL ENERJİ SANTRALİ' NİN PERFORMANS ANALİZİ

Ural Halaçoğlu¹, Ahmet Dağdaş²

¹Zorlu Enerji Grubu, Zorlu Holding, Levent-İstanbul

²Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı,
Beşiktaş-İstanbul
(uralhalacoglu@gmail.com)

ÖZ

Türkiye’ de ve dünyada artan enerji talebini karşılayabilmek için yeni santraller en son teknolojiler ile inşa edilmektedir. Çevresel etkiler, toplum sağlığı, küresel ısınma ve dünyanın geleceği söz konusu olduğunda enerji üretiminin de yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarından sağlanması zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Jeotermal enerji santralleri de Türkiye’ nin sahip olduğu potansiyele bakıldığı zaman oldukça büyük bir önem arz etmektedir.

Jeotermal enerji santrallerinde kullanılacak olan çevrim tipinin seçiminde rezervuar sıcaklıkları ve saha koşulları birinci derecede önemli rol oynamaktadır. Başlıca çevrim tiplerinden olan flaş çevrimi, binary çevrimi ve her ikisinin bir arada kullanıldığı kombine çevrim tipleri tüm dünyada yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Düşük sıcaklıklı kaynaklarda çoğunlukla binary çevrim tipi kullanılmakta iken orta ve yüksek sıcaklıklı kaynaklarda flaş ve kombine çevrim tipleri kullanılmaktadır. Jeotermal santrallerde kullanılan çevrim tipine bağlı olarak enerji ve ekserji analizlerinin gerçekleştirildiği pek çok literatür çalışması bulunmaktadır. Jeotermal kaynakların yüksek verimlilikle ve doğru çevrim tipi kullanılarak dizayn edilmesi oldukça önemlidir. Dizayn aşamasında da seçilen çevrim tipine göre enerji ve ekserji analizlerinin mutlaka yapılarak rezervuara en uygun çevrim tipinde karar kılınmalıdır. Bu çalışma kapsamında da Kızıldere-II Jeotermal Enerji Santrali’ nin EES (Engineering Equation Solver) programı kullanılarak enerji ve ekserji analizleri gerçekleştirilmiştir. Kızıldere-II santralinde kullanılan triple flaş+binary kombine çevrim tipinin seçilmesindeki ana kriterlerden söz edilerek EES program modelinden elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Klasik jeotermal enerji santralleri ile kıyaslandığında Kızıldere-II santralinde kullanılan çevrim tipine bağlı olarak daha yüksek verimlilikle hizmet verilmektedir. Verim artışının en büyük sebebi flaş çevriminin arkasında kullanılan binary çevrimidir. Binary çevrimi sayesinde yüksek basınç türbini çıkışındaki çürük buharın enerjisinden bir miktar daha faydalanılarak ekstra güç üretilmektedir. Bu sebeple jeotermal santrallerin dizaynında rezervuar sıcaklıkları ve saha koşullarına bağlı olarak en uygun çevrim tipinin seçilmesi gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal enerji santrali, EES, binary, flaş, kombine çevrim

PERFORMANCE ANALYSIS OF KIZILDERE-II GEOTHERMAL POWER PLANT

Ural Halaçođlu¹, Ahmet Dađdaş²

¹Zorlu Energy Group, Zorlu Holding, Levent-İstanbul

²Yıldız Technical University Graduate School of Natural and Applied Sciences, Beşiktaş-İstanbul

(uralhalacoglu@gmail.com)

ABSTRACT

New power plants, in Turkey and all over the world, with the highest technologies are being built to compensate the increasing need for the energy. When we think about the environmental impacts, community health care, global warming and the future of the world, we could easily see that renewable and clean energy sources are the only way to fulfill the above concerns. When we look at the geothermal potential of Turkey, geothermal power plants play very important role.

Reservoir temperatures and field conditions play primary role in the selection of cycle type to be used in the geothermal power plant. Flash cycle, binary cycle and combination of those two cycles which is also named as combined cycle, are commonly used all over the world. While binary cycle is being used in low temperature resources, flash and combined cycle types are used in medium and high temperature fields. There are a lot of literature studies regarding the energy and exergy analysis of cycle types used in geothermal power plants. It is very important to design the plant with the most suitable cycle type to increase the efficiency. Energy and exergy analysis as per the chosen cycle type, should absolutely be made at the design stage to decide the most convenient cycle type for the reservoir conditions. In this study, energy and exergy analysis of Kızıldere-II Geothermal Power Plant modeled by using EES (Engineering Equation Solver) program. Main criteria to choose the triple flash+binary combined cycle are taken into account and results taken from EES modelling are evaluated. Compared to conventional power plants, Kızıldere-II is now operating with higher efficiency. Main reason of the improved efficiency is the usage of bottoming binary cycle. Extra power is generated by the help of binary cycle that is using the exhaust HP steam. For this reason, reservoir temperatures and field conditions should be taken into account while deciding the most convenient cycle type.

Keywords: Geothermal power plant, EES, binary, flash, combined cycle

GİRİŞ

Türkiye’ de ve dünyada artan enerji talebini karşılayabilmek için yeni santraller en son teknolojiler ile inşaa edilmektedir. Çevresel etkiler, toplum sağlığı, küresel ısınma ve dünyanın geleceği söz konusu olduğunda enerji üretiminin de yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarından sağlanması zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Dünya üzerindeki ülkeler de çeşitli protokoller ve ortak anlaşmalar neticesinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını desteklemekte ve elektrik üretimindeki payının artırılması için çalışmalar yürütmektedirler. Jeotermal enerji de rüzgar, hidrolik, güneş ve biokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından olup elektrik üretimi için oldukça önem arz etmektedir. Jeotermal enerji kaynaklarının kullanımı neticesinde çevreye salınan emisyonların azaltılmasının yanı sıra, ülkenin enerji bakımından dışa bağımlılığı da azalarak milli sermayeye katkı sağlanmaktadır. Bildiriye referans oluşturan yüksek lisans tez çalışmasında(Halaçoğlu, 2015), jeotermal enerjinin tanımlanmasından başlanılarak, Türkiye’ nin jeotermal enerji kaynaklarının kullanımından ve jeotermal sahalarından bahsedilmiş ve dünyadaki jeotermal enerji kullanımıyla ilgili bilgiler verilmiştir. Türkiye’ nin en yüksek sıcaklıklı jeotermal sahalarından biri olan Denizli, Kızıldere sahasının gelişiminden ve Türkiye’ nin ilk jeotermal elektrik santrali olma niteliğini taşıyan 20,4 MWe kurulu gücündeki Kızıldere Jeotermal Enerji Santrali’ nden bahsedilmiştir. Kızıldere Jeotermal Enerji Santrali’ nin ve “Jeotermal Kaynak Arama Ruhsatı” nın 30 yıllık süre ile Zorlu Enerji Grubu’ na devredilmesi ve akabinde sahada gerçekleştirilen geliştirme çalışmalarına ilişkin bilgiler verilmiştir. Çalışmanın asıl amacı, Kızıldere sahasında Zorlu Enerji Grubu tarafından gerçekleştirilen fizibilite çalışmaları neticesinde kurulan 80 MWe kurulu gücündeki Kızıldere-II Jeotermal Enerji Santrali’ nin akış özellikleri, donanımları, santral teknolojisi hakkında bilgi vererek santralin enerji ve ekserji analizlerini gerçekleştirmektir. EES(Engineering Equation Solver) software programı kullanılarak yapılan analiz çalışmaları neticesinde sahanın daha verimli kullanılabilmesi için uygulanması gereken optimizasyonlar belirlenmiştir.

1. JEOTERMAL ENERJİDEN ELEKTRİK ÜRETİMİ

Jeotermal enerji kaynaklarının kullanımı hususunda en önemli maddelerden birisi elektrik üretimi amaçlı kullanımlardır. Kuyulardan elde edilen jeotermal akışkanın kuruluk derecesine, debisine ve sıcaklığına bağlı olarak farklı elektrik üretim teknolojileri geliştirilmiştir. Güncel olarak kullanılan 4 tip teknoloji mevcuttur. Bu teknolojiler sırasıyla; kuru buhar teknolojisi, flaş buhar teknolojisi, binary çevrim teknolojisi ve kombine çevrim jeotermal enerji santralleridir.

Kuru buhar teknolojisinin kullanıldığı santrallerde, jeotermal akışkanın içeriğinde sıvı fazda akışkan bulunmadığı için rezervuardan elde edilen buhar direct olarak buhar türbinine gönderilir. İçeriğinde sıvı fazda akışkan barındırmadıkları için flaşlı santrallere oranla daha ucuz ve basit yapıdadırlar (DiPippo, 2012).

Flaş buhar teknolojisi, jeotermal akışkanın çift fazlı olarak kuyubaşına ulaştığı rezervuarlarda kullanılan bir teknolojidir. Jeotermal akışkan yerin kilometrelerce altından yeryüzüne ulaşana dek içerisinden geçtiği sondaj borularının sürtünme etkisi, basınç düşümü vb. etkilerle sıcaklık ve basıncının bir miktarını kaybederek sürekli olarak faz değişimlerine uğrar. Akışkan yeryüzüne yani kuyubaşına ulaştığı zaman çoğunlukla buhar ve sıvı fazda karışık olarak bulunmaktadır.

Binary çevrimli jeotermal enerji santralleri, klasik fosil yakıtlı ya da nükleer enerji santrallerine termodinamik prensipleri olarak en yakın özellikteki santrallerdir. İş akışkanı kapalı bir çevrimde çalışmaktadır. Termodinamik olarak özellikleri en uygun olarak seçilen iş akışkanı

ısını jeotermal akışkandan alır, buharlaşır, bir türbin boyunca genişleyerek yoğunlaşır ve besleme pompası vasıtasıyla buharlaştırıcıya (evaporator) geri döndürülür.

Kombine flaş-binary çevrim santralleri, jeotermal akışkanın enerjisinden daha çok yararlanılması için oluşturulmuş sistemlerdir. Literatürde “Bottoming Binary Çevrimi” olarak da bilinen bu sistemlerde, seperatörde ayrılarak sıvı fazda kalan akışkan reenjeksiyon kuyusuna gönderilmeden önce ısını aktarmak üzere tekrar binary çevrimine gönderilir. Diğer bir alternatif ise çift flaş çevrimli santrallerde yüksek basınç türbininden ayrılan çift fazlı buhar basıncı akışkanın binary çevrimine katılarak enerji elde edilmesidir. (Halaçoğlu, 2015)

2. KIZILDERE-II JEOTERMAL ENERJİ SANTRALİ

2.1 Santral Ana Ekipmanları ve Özellikleri

Kızıldere-II Jeotermal Enerji Santrali’nde kullanılan başlıca ana ekipmanları şu şekilde sıralayabiliriz ; buhar türbini-generatör ve ilgili ekipmanları, binary türbini ve ilgili ekipmanları, soğutma kulesi ve ilgili ekipmanları, kondenser ve ilgili ekipmanları ile yoğunlaşmayan gaz alma sistemi ve ilgili ekipmanları.

2.1.1 Buhar Türbini ve İlgili Ekipmanları

Santralde kullanılan buhar türbini 2 gövdeli kondensasyon reaksiyon tipi türbindir. Santralde toplamda 3 adet türbin bulunmakla birlikte, orta ve alçak basınç türbinleri ortak bir gövde (casing) altında çalışmaktadır. Yüksek basınç türbini ise bu gruptan bağımsız bir ünite olarak işlevini devam ettirmektedir. Tüm bu türbin grupları tek bir shaft üzerinde ortak bir generatöre bağlanmakta ve elektrik enerjisi üretilmektedir. Buhar türbinini besleyen başlıca yardımcı ekipmanlar ise jeotermal akışkanın sıvı ve buhar fazının ayrıştırıldığı seperatörler (ayırıştırıcılar), seperatörde ayrılan buharın kalitesini arttıran ve içeriğindeki sıvı damlacıklarını tutan nem alıcılar (demisterler) ve buhar türbinine giden ana boru hatlarında meydana gelebilecek ani basınç yükselmelerinde buharın tahliyesinin yapıldığı kaya susturucular (rock muffler)’dir (Halaçoğlu, 2015).

2.1.2 Binary Türbini ve İlgili Ekipmanları

Triple Flash buhar türbini ile birlikte kullanılan binary çevrim ile HP türbininin atık ısısından faydalanılarak ikinci bir döngü elde edilerek toplamda yaklaşık olarak 20 MWe güç üretilmektedir. Santral içerisinde binary çevrimi gerçekleştiren 2 adet turbo-expander bulunmaktadır. Binary çevriminde iş akışkan olarak R-134a kullanılmaktadır. 2 adet turbo expander ve generator ünitesinin her birinden yaklaşık olarak 10MWe güç elde edilmektedir. Bu oran günümüz yenilenebilir enerji santralleri ve kapasiteleri göz önüne alındığında oldukça etkileyici bir rakamdır. Binary çevrimin nasıl gerçekleştiğini kısaca özetlememiz gerekirse; YB türbininden ayrılan ve YB exhaust olarak adlandırılan akışkan Shell&Tube tipi ısı değiştiricilerde ısının bir miktarını R-134a akışkanına aktararak görevini tamamlamış olur ve akabinde reenjeksiyon kuyularına geri basılmak üzere sistemden uzaklaştırılır. Daha düşük sıcaklıklarda buharlaşabilen R-134a akışkanı YB (yüksek basınç) exhausttan aldığı ısı ile birlikte buharlaşarak turbo expander ünitesine genişlemek üzere gönderilir ve proses tamamlanmış olur. Binary ünitesinde 2 adet turbo expander ile birlikte her bir expander ünitesini besleyen 2 adet ısı değiştirici (vaporiser) ve yine her bir expander ünitesinin soğutmasını sağlayan 2 adet kondenser olmak üzere toplamda 4 adet ısı değiştirici (vaporiser)

ve 4 adet kondenser bulunmaktadır. Bunlara ek olarak santral içerisinde 1 adet bölgesel ısıtma sistemlerinde kullanılmak üzere atıl vaziyette bekleyen bölgesel ısıtma eşanjörü ve 1 adet de sera ısıtmacılığını sağlayan sera ısıtma eşanjörü bulunmaktadır (Halaçoğlu, 2015).

2.1.3 Soğutma Kulesi ve İlgili Ekipmanları

Kızıldere-II santralinde kullanılmakta olan soğutma kulesi 8 ana hücreden oluşmakta ve tüm hücreler aktif bir şekilde çalıştırılmaktadır. Soğutma kulesinin tipi karşıt akışlı (counter-flow), mekanik ve su soğutmalı tiptir. Santral içerisinde kullanılan soğutma kulesinde yılın büyük bölümü boyunca dışarıdan su beslemesine ihtiyaç duyulmamaktadır. Santralin sağlamış olduğu yoğunlaşmış su ile soğutma prosesi sirkülasyonu sağlanmaktadır. Sıcaklığın arttığı yaz aylarında ise özellikle öğle saatlerinde bir miktar şebeke suyu ile besleme (make-up water) yapılarak soğutma kulesinin su dengesi sağlanmaktadır. Soğutma kulesine ait fanlardan her biri yaklaşık olarak 140 kWe tüketmektedir. Bu da toplamda 8 adet fan ile birlikte 1,15 MWe' lik bir iç ihtiyaca tekabül etmektedir. Soğutma kulesinin bir diğer işlevi ise NCG(Non Condensable Gases) gazları olarak adlandırdığımız yoğunlaşmayan gazların uzaklaştırılmasıdır. Kondenser kısmında oluşturulan vakum etkisiyle alınan yoğunlaşmayan gazlar soğutma kulesi vasıtası ile sistemden uzaklaştırılır (Halaçoğlu, 2015).

2.1.4 Kondenser ve İlgili Ekipmanları

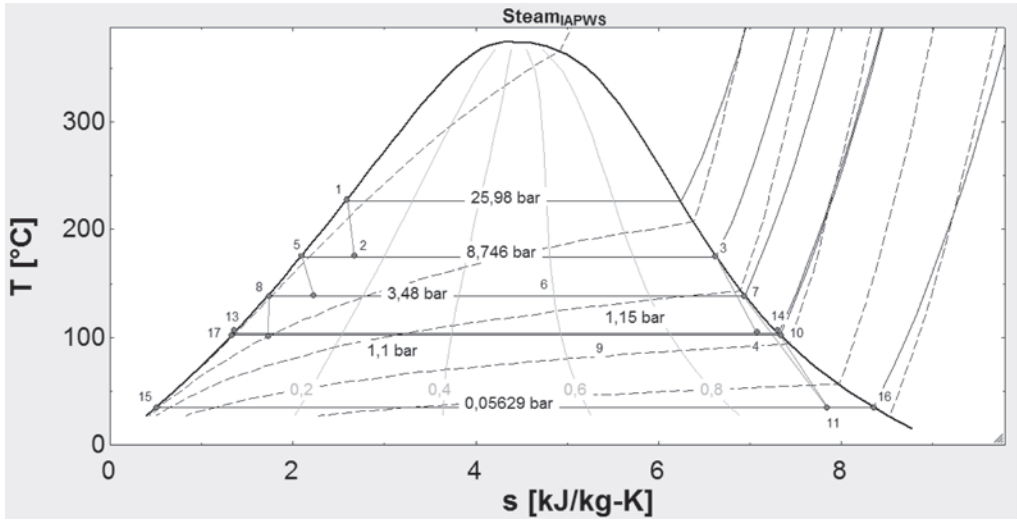
Santralde geliştirilmiş direkt temaslı yoğunlaştırıcı (ADCC : Advanced Direct Contact Condenser) tipi kullanılmaktadır. Santralin ilk planlamaları esnasında binary bottoming çevrimi eklenmesi planlanmadığı için YB kondenser ve OB(orta basınç)/AB(alçak basınç) kondenser olmak üzere iki adet kondenser kullanılması planlanmış fakat binary ünitesinin eklenmesi ile birlikte YB türbininden çıkan ıslak buhar binary eşanjörlerine gönderilerek YB kondenser kullanımı iptal edilmiştir. Santralde halihazırda OB/AB kondenser olmak üzere bir adet kondenser kullanılmaktadır. Kondenser tipinden de anlaşılacağı üzere OB/AB türbininden çıkan akışkan direkt olarak soğutma suyu ile temas etmekte ve soğuyarak aşağıya düşmektedir. Spray tipi soğutmanın yapıldığı sistem ile daha fazla temas yüzeyi sağlanarak soğutmanın en sağlıklı ve verimli şekilde gerçekleştirilmesi sağlanmaktadır (Halaçoğlu, 2015).

2.1.5 Yoğunlaşmayan Gaz (NCG) Alma Sistemi ve İlgili Ekipmanları

Kızıldere-II santralinde de 2 adet first stage (ilk aşama) inter(ara) kondenser, 1 adet after kondenser ve 1 adet vakum pompası kullanılmaktadır. Vakum pompası LRVP (Liquid Ring Vacuum Pump) tipi sıvı halkalı vakum pompasıdır. Vakum pompası kullanımı santral iç tüketiminin yaklaşık olarak 187 kWe' lik kısmına tekabül etmektedir. Gaz alma sisteminin prosesini şu şekilde sıralayabiliriz; YB türbininden çıkan bir miktar buhar ejektörlere gönderilerek kondenser çıkışında vakum etkisi oluşturularak yoğunlaşmayan gazların tahliyesi sağlanır. Ejektörün çalışma prensibine göre dış kısımdan iletilen YB türbin buharı ejektör iç kısmında vakum etkisi yaratarak yoğunlaşmayan gazlar tahliye edilir. Yoğunlaşmayan gaz içeriklerinden biri olan karbondioksit gazı seracılıkta ve ticaret hayatında oldukça sık kullanılmaktadır. Kızıldere-I santralindeki gazın büyük bir kısmı CO2 üreticisi bir firmaya satılmaktadır. Böylelikle çevreye karbondioksit salınımı mümkün olduğunca düşük seviyede tutulmaktadır. Kızıldere-II santralinden çekilen CO2 gazının da Kızıldere-I santralinin bitişiğinde tesisleri bulunan özel bir firmaya satılarak salınımın azaltılması için çalışmalar sürdürülmektedir (Halaçoğlu, 2015).

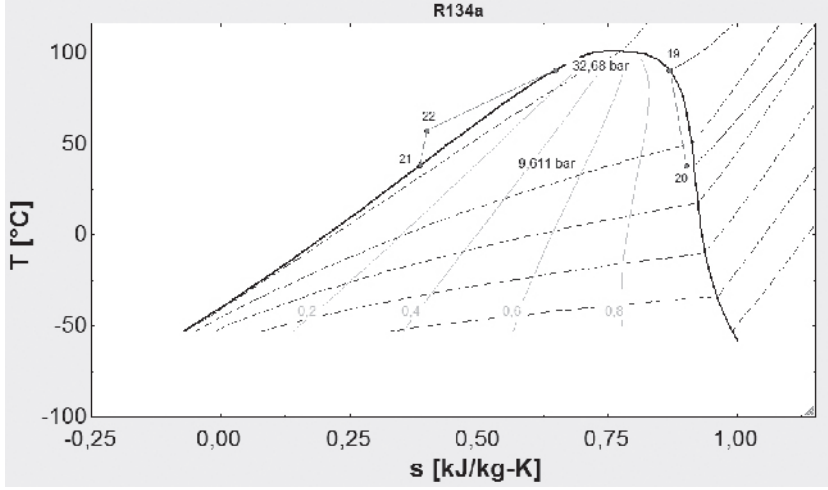
2.2 Kızıldere-II Jeotermal Enerji Santrali' nin Termodinamik Analizi

Kızıldere-II Jeotermal Enerji Santrali flaş çevriminde, günümüz modern jeotermal santrallerinde sıklıkla kullanılmaya başlanan triple (üçlü) flaş çevrimi kullanılmaktadır. Jeotermal akışkanın enerjisinden maksimum seviyede faydalanılması için tasarlanan triple flaş çevrimi, Kızıldere rezervuarının sıcaklık ve basıncına uygun olarak seçilen optimum gücü verebilecek flaş çevrim tipidir. Şekil 1' de santralde kullanılan flaş çevrim tipine ait T-S diyagramı gösterilmektedir (Halaçoğlu, 2015).



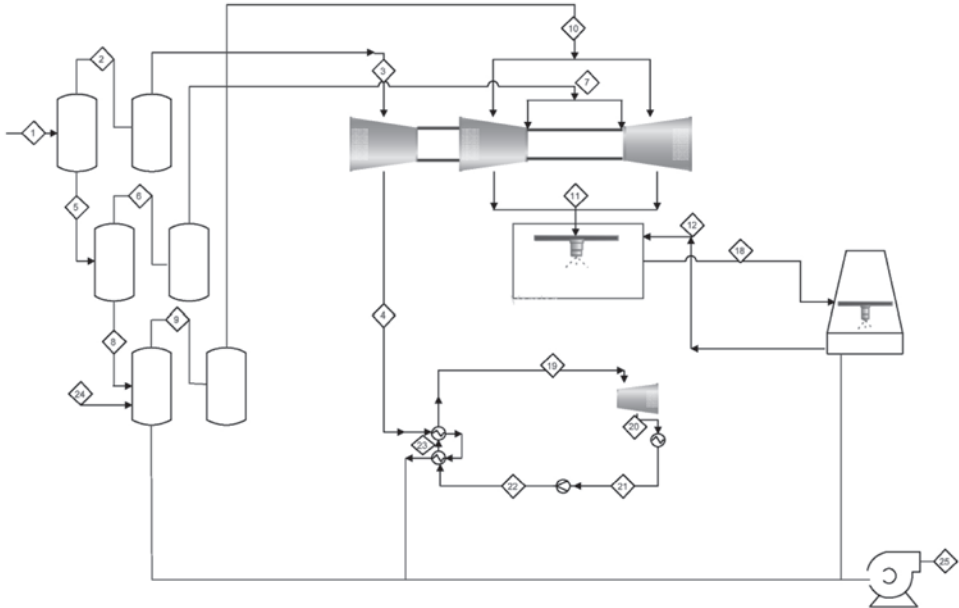
Şekil 1: Kızıldere-II Jeotermal Enerji Santrali Flaş Çevrimi T-s diyagramı

Kızıldere-II santralinde flaş çevrimi ile birlikte binary çevrimi de kombine olarak kullanılmaktadır. Santralin ilk dizayn çalışmalarında yalnızca triple flaş çevrimi kullanılması planlanmış ve santral dizaynı bu doğrultuda yapılmıştır. Akabinde Zorlu Enerji grubunun da tavsiyeleri doğrultusunda flaş çevrimi arkasına literatürde "Bottoming Cycle" olarak da bilinen Binary çevrimi eklenmesi kararı alınmıştır. Binary çevrimi eklenmesinin en büyük sebeplerinden birisi YB türbin çıkış basınç ve sıcaklıklarının ikincil bir akışkanı ısıtarak turboexpander vasıtası ile ekstra güç elde edilebileceğinin görülmesidir. Ayrıca Kızıldere-I santrali YB seperatör çıkışında elde edilen jeotermal akışkanın da direkt olarak reenjeksiyon kuyularına gönderilmek yerine Kızıldere-II JES AB seperatörlerine iletilmesi vasıtasıyla bir miktar daha buhar elde edilebileceğinin görülmesidir. Kızıldere-II Jeotermal Enerji Santrali' ne Binary çevrimi eklenmesi ile ekstra olarak yaklaşık 18 MWe civarında brüt güç üretilmesi sağlanmıştır. Şekil 2' de santralde kullanılan binary çevrimine ait T-s diyagramı gösterilmektedir (Halaçoğlu, 2015).



Şekil 2: Kızıldere-II Jeotermal Enerji Santrali Binary Çevrimi T-s diyagramı

Kızıldere-II santralinin EES (Engineering Equation Solver) programı kullanılarak modellenmesi neticesinde enerji ve ekserji analizleri gerçekleştirilmiştir. Literatürdeki enerji santral analizleri ile kıyaslandığında Kızıldere-II santralinin yüksek verimliliği açıkça görülmektedir. Geleneksel jeotermal santrallere kıyasla Kızıldere-II santralinde kullanılan triple flaş+binary kombine çevrim tipi günümüz jeotermal enerji santralleri arasında en verimli kullanılan santral tiplerinden birisidir. Şekil 3’ de santrale ait proses akış şeması gösterilmektedir(Halaçoğlu, 2015).



Şekil 3: Kızıldere-II Jeotermal Enerji Santrali Proses Akış Diyagramı

3. SONUÇ

Kızıldere-II Jeotermal Enerji Santrali Triple Flaş+Binary kombine çevrim tipine sahip Türkiye'nin ilk ve tek jeotermal enerji santralidir. Dünyada ise sayılı kombine çevrim santral tiplerinden birisidir. Bu çalışmada, Türkiye'de ilk defa kurulan ve Triple Flaş+Binary çevrim tipine göre çalışan santralin ilk defa termodinamik analizi gerçekleştirilmiştir. Türkiye'nin jeotermal enerji potansiyeli dikkate alındığında, bu tez çalışmasının ülkenin gelecekteki santral yatırımlarına referans olması amaçlanmıştır. Kızıldere-II Jeotermal Enerji Santrali'nin kombine çevrim olarak dizayn edilmesinde en büyük etken YB türbinden çıkan çürük buharın sıcaklık ve entalpisinin binary çevriminde ikincil bir akışkanı buharlaştırmak için yeterli olduğunun görülmesidir. Ayrıca Kızıldere-I santrali YB seperatöründen ayrılan sıvı fazdaki akışkanın da Kızıldere-II JES AB seperatörlerine gönderilerek bir miktar daha buhar elde edilebileceği görülmüştür. Triple flaş çevrimine binary çevriminin eklenmesi ilk yatırım maliyetlerini arttırmasına rağmen uzun vadede elde edilecek ekstra güç ve elektriğin satışıyla kendisini kısa sürede amorti edebilmektedir. Türkiye ve dünyadaki elektrik üretim santrallerine bakıldığında, jeotermal enerji santralleri MWe başına gerekli olan ilk yatırım maliyetleri açısından en yüksek seviyelerde bulunmaktadır. Dünyanın pek çok ülkesinde ve Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve elektrik üretimine ilişkin yönetmelikler ve teşvikler düzenlenmektedir. Ülkemizde yürürlükte bulunan YEKDEM kanunu uyarınca jeotermal kaynaklardan elektrik enerjisi üretimi desteklenmekte ve elektrik satışı günümüz itibarı ile 0,105 dolar/kWh seviyelerinden yapılmaktadır. Devletin bu hususta 10 yıl süre ile alım garantisi bulunmaktadır. Bu teşvik sayesinde Türkiye'de jeotermal santral yatırımlarında hızlı bir artış yaşanmış ve ülkenin jeotermale dayalı kurulu gücü arttırılmıştır. Kızıldere-II JES yatırım ve işletmecisi Zorlu Enerji Grubu da dahil olmak üzere pek çok şirket jeotermal yatırımlarına hızla devam etmektedir(Halaçoğlu, 2015).

REFERENCES

- DiPippo, Ronald, Geothermal Power Plants: Principles, Applications, Case Studies and Environmental Impact, Third Edition,2012
- Halaçoğlu, Ural, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2015

TURBODEN: THE REFERENCES AND THE LATEST SOLUTIONS FOR LARGE-SCALE GEOTHERMAL ORC POWER-PLANTS

Joseph Bonafin

Sales Manager – Geothermal, Turboden

ABSTRACT

Turboden, pioneer of ORC power-plant technology, stands as state-of-the-art ORC turbine manufacturer since 35 years. Turboden's core know-how includes fluid dynamic research and analysis, rotor dynamics, proprietary mechanical design.

An optimized solution has been designed for the typical reservoirs in Turkey. The presentation focuses on the type of thermodynamic cycle, and the optimization drivers.

It is demonstrated that for geothermal applications the optimal number of turbine stages is higher than one, due to the average enthalpy drop values across the turbine, and other boundary conditions like ambient temperature. Having reached an outstanding level of experience in multi-stage axial turbine design - up to 5 stages - the efficiency is maximized to the theoretical limit in the widest range of conditions. Moreover, this proven configuration increases the flexibility during power plants operation in off-design conditions.

The recognized reliability and robustness of Turboden's turbines is also due to the single drop-forged casing, solution that has been implemented worldwide in more than 300 ORC plants. In 35 years of history, Turboden has increased step-by-step the size limit of its turbines 20 times, scaling-up to 20 MW electric power per single shaft (40 MW per single train).

Turboden is strongly committed to improve the design of its power plants in order to increase the yearly energy output, thus maximizing customer's revenue. One possibility is to use, as cooling system, air condensers in parallel with wet cooling towers (where there is availability of make-up water). This hybrid condenser increases the energy production especially during the hot season, up to 10% more in a year.

Further to this, another possibility to increase the net energy is the production of electricity by means of expansion of the NCG gases in a dedicated turbine, fully engineered and manufactured by Turboden. In fact, most of the geothermal resources contain Non-Condensable Gases (NCG) in the steam phase that can be conveniently exploited according to the pressure and flow available.

On April 27th Turboden launched its daughter company Turboden Turkey ORC Turbo Jeneratör Sanai Anonim Şirketi in Ankara, to grant the access to the local content related incentives offered by the Turkish Government for renewable energy generation and to provide after-sales services with a local specialized team.

Such company will be the pillar for Turboden continuous growth in the Turkish market, fully supported by Mitsubishi Heavy Industries for the integration with combined flash and binary plants.

Keywords: ORC Turbine, Multi-stage axial, Hybrid condenser, NCG expander, Local content

SCALE PREDICTION AND INHIBITOR SELECTION FOR TURKISH GEOTHERMAL PLANTS

***Andras Baczoni, Jasbir Gill, Srinivasan Ramanathan, David Rodman, Logan
Muller***

Nalco | An Ecolab Company, Naperville, USA

ABSTRACT

As Geothermal power continues to increase in Turkey, the need for accurate brine chemistry modelling and risk mitigation has become more apparent. The Geomizer software is designed to predict mineral scale formation for geothermal power plants and helps identify preferred inhibition options. The web application is capable of modelling multiple configurations incorporating binary plants flash plants, reinjection systems, multiple well feeds and separators. This application is capable of predicting scaling issues that may result from the blending of multiple brines and predicts the distribution of gaseous contaminants at variable pressures and temperatures and the impact on the water chemistry. Based on the thermodynamic calculations and the various scale and corrosion inhibition models embedded into the software, an optimum dose of Scale and Corrosion inhibitors is predicted and identifies chemical inhibitors that won't perform in the subjects' environment.

Keywords: *Scaling prediction, simulation, deposition, inhibitor selection*

INTRODUCTION

Geothermal energy continues to gain popularity in Turkey as an alternative and renewable energy source to reduce the reliance on fossil fuels. Greenhouse Gas (GHG) emissions from a geothermal power plant are one of the lowest compared with other forms of power generation. Geothermal power is one of the fastest growing segments in the industry with generating capacity increasing by 80% within the next 16 months in Turkey. It is considered a renewable, green energy source with these plants using geothermal energy from hot brine brought to the surface via deep wells (1,800 – 3,000 m). At the surface, the brines enthalpy is released, through flash tanks and/or heat exchangers creating steam and/or vaporized iso-pentane to drive turbine-generators. The cooled brine is then pumped back into the earth through injection wells to replenish the geologic formation (Eylem et al, 2011).

Geothermal power companies are continuously striving to maximize the utilization of their resources, increase power generation and reduce the total cost of operation. One of the main limitations to this is that brine typically has very high levels of dissolved minerals, up to 30% in some cases, which can be concentrated to even higher levels as steam is removed in flash plants. Like many geothermal plants, Turkish plants suffer from calcite scaling in production wells that limits well life, production capacity and return on investment (ROI). Kaypakoğlu et al. (2015) presented on the impact of stibnite (antimony sulfide) scaling in a binary plant in Turkey.

The absence of accurate modelling and application of inappropriate scale inhibitors has resulted in deposits that have caused significant power loss in many Binary stations. This reinforces the need for accurate steam and brine analyses and improved modelling tools to reduce the risks in new power plants.

A number of geochemistry modelling tools exist that allow the user to estimate the scaling potential of individual wells. While very powerful, the applications are typically cumbersome to use and require significant geochemical knowledge to interpret the results.

Nalco has developed a web application, Geomizer, that is designed to predict mineral scale formation in geothermal power plants and the inhibition of the same using appropriate scale inhibitors. The web application is capable of modelling multiple system configurations or layouts for geothermal power plants and performs a complete process study. The application is also capable of predicting the chemistry that results from mixing of multiple brines, including the distribution of gases at variable pressures and then predicts the scaling and corrosion issues that may result. The application also has the capability to generate a temperature profile for individual wells or mixed brines. The software serves as a very powerful tool with the optimization of all the processes in a geothermal plant.

The web based tool delivers an output that includes all the integrated unit operations in a visually pleasing layout, with detailed pages for each separate unit operation. Based on the thermodynamic calculations and the various scale inhibition models embedded into the software, an optimum dose of the scale inhibitor is predicted. The details of how the modelling tool works was presented by Gill et al. (2015).

In this article, an overview of how the Geomizer application can be used to determine the source of scaling and identify appropriate treatment options.

APPLICATION OVERVIEW

Application Features

Geomizer is a web based application designed for the prediction of scale forming minerals primarily calcium carbonate, calcium sulfate, silica and fluorite that commonly affect geothermal power plants and provide product selection and optimization for these issues. The application gives the technical consultant the ability to further predict saturation indices of metal sulfides in combined brines. Unlike many geochemical models that are widely used amongst the Geothermal industry for modelling scaling issues from the source (production wells) through to brine disposal (reinjection well), the application provides stream mixing capabilities, optimal chemistry selection and dosage estimation.

The tool has the flexibility to model many configurations (layout) for geothermal power production applications and has the ability to input operational and chemical information to identify the system requirements. Geomizer was designed to cover most operating aspects of typical existing and probable future geothermal installations that includes all the unit operations in the geothermal power plant. These include binary versus flash; single versus multiple stage flashes; combined binary and flash. The application models the behaviour of all salts and gases for a wide range of temperature and pressure that cover typical operating limits.

Once the operational characteristics of each unit process along with brine and gaseous composition is input, the Geomizer will calculate the scaling potential at each unit process (from production well to injection well) and provide guidance for selection of the optimal solution.

Speciation Calculations

In Turkey, metal sulfide, including Stibnite and arsenic sulphide, calcite and silica have all presented major problems and costs to some plants. Geomizer uses WATCH 2.4 (Stefan et al, 1982), a well-recognised third party computer program to calculate aqueous speciation in natural waters. It then takes this base information and recalculates mixed brine and steam combinations based on the actual mechanical configuration of the plant. Additional modules have been developed for Geomizer to calculate the solubility of additional species that are not included in the Watch 2.4 calculation engine.

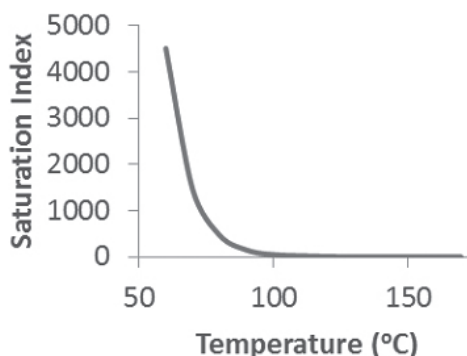


Figure 1:- Saturation indices for stibnite (pH 7.65, Sb 1.84ppm, H₂S 25ppm)

One of the more difficult aspects of calculating the chemistry of the mixed fluids is the estimation of the pH of the final mixture. pH has a strong influence on speciation of some solutes and therefore strongly affects the scale tendencies of these species. The mixing calculations also use the physical input data such as flows and enthalpies to calculate the temperature and pressure of the mixed fluid. Temperature also has a dramatic influence on the solubility of some species (Figure 1).

As a result, issues such as silica polymerisation, metal sulfide formation and Ostwald ripening can now be more accurately considered. This is of distinct advantage when predicting issues and solutions in the Turkish context.

In one Turkish power company, the use of an inhibitor was increasing the occurrence of scale. The data, together with the composition of the inhibitor was inputted into Geomizer and it predicted the impact this chemical combination would have on the plant. A product was selected that was appropriate for the brine and steam chemistry from Geomizer and the problem has stopped.

ADDRESSING SCALING

Defining the problem

In Geomizer, the scale issues are quantitatively described by using saturation index values. The saturation index is calculated based on the thermodynamic equilibrium solubility product constants (K) and ion activity products (Q) in the brine chemistry for the different minerals. The predicted saturation index is displayed in a simple tabular structure with data displayed visually to enable rapid identification of problem areas for different unit operations. Outputs are grouped by unit operations in rows and the columns display the primary encountered scale species and a final column for other minerals that are calculated but not typically encountered as scale and thus not displayed, however by clicking on the details button these minerals can also be uncovered. Figure 2, as an example, shows the saturation index for different minerals for different unit operations.

Session time left : 60 minutes. [Save](#) [Previous](#) [Next](#)

1. Scenarios 2. Plant Configuration 3. MOC Data Input **4. Analysis Result** 5. Product Selection

[Calculated Parameters](#)

Components		Scale				
		Calcite CaCO ₃ <input type="checkbox"/>	Anhydrite CaSO ₄ <input type="checkbox"/>	Fluorite CaF ₂ <input type="checkbox"/>	Silica SiO ₂ <input type="checkbox"/>	Others <input type="checkbox"/>
Production Well	1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Wet Steam		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Details
Flash Separator	2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Details
HP Flash		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Details
LP Flash		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Details
Injection Well	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Details
Injection Well		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Details

Figure 2:- Screen shot of the Saturation index summary web page for all the unit operations.

Saturation Index Profiling

Geomizer calculates the saturation indices for the common scale species for each unit operations at different temperatures and plots these as a chart. This chart has been termed as a saturation

index profile and is designed to be used to study the potential impacts of changes in temperature and pressure as the geothermal brine travels through the process.

Figure 3 shows an example of the well profile plotted for a production well. The saturation index profile can quickly help determine the point of scaling issue as a function of temperature. For production wells, an additional analysis based on the degassing coefficient constant values (10%, 50%, 100%) are available to chart. The degassing coefficient is a measure of how well the gases are separated from the brine and is useful when studying the effect of incomplete degassing on aqueous species distribution.

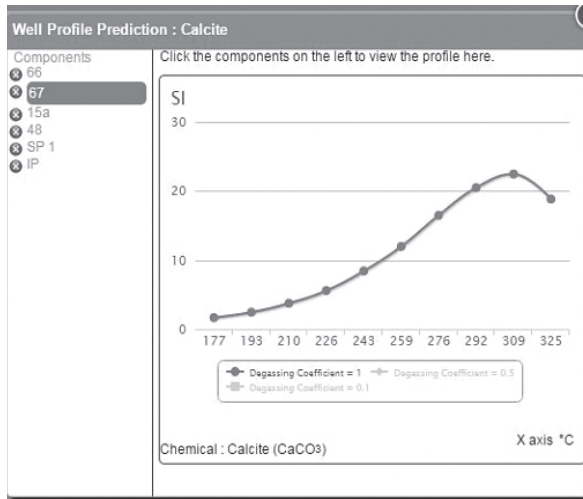


Figure 3:- Screen shot of the well profile plotted for a production well data.

Downstream brine chemistry calculations

For flash separators, the adiabatic boiling method is used to predict brine composition and potential scale issues for a range of operating temperatures/pressures that is determined from the user input reference temperature/pressure. For heat exchangers, the conductive cooling method is used. This feature of Geomizer allows the user to rapidly determine what, if any, chemistry problems will arise if the operating pressure of flash separator or temperature of a heat exchanger is adjusted. Geomizer can also be used during the design of the plant to more rapidly determine what the chemistry limitations are.

As previously mentioned, the application is capable of calculating the impact of mixing streams across a range of temperatures. This is particularly useful for studying the impact of adding other sources of water to the brine for reinjection. A typical example of this is determining the impact of co-disposal of cooling tower blow-down to the reinjection brine. Geothermal cooling water typically has very different characteristics to geothermal brine that will result in changes in temperature, pH, concentration and chemical composition that could lead to scale formation in the reinjection line.

Other potential uses for Geomizer is to assess the potential impact for co-disposal of wastewater or supplemental addition of an external water source to provide replenishment of geothermal aquifers that may not be self-sustaining through natural permeation.

INHIBITOR SELECTION

For those unit operations where scaling has been predicted, the application provides a list of inhibitors that are capable of preventing scale under the operating conditions provided and predicts the dosage using the calculated saturation index and other key operating parameters. The inhibitor recommendation is provided at the component level, meaning that different products and dosages can be specified for individual unit operations, e.g. individual production wells. For each unit operation the dosage is calculated for the maximum saturation index identified for the proposed operating conditions.

The inhibitor algorithms are derived from both laboratory studies (Gill, 2008) and field data. These algorithms take into account, saturation index, temperature and the residence time. If no inhibitors are capable of controlling the scale for the identified conditions, the application will provide a warning and will not allow a product to be selected.

In addition to the scale inhibition models, each inhibitor has been studied for hydrothermal stability (Dinesh et al., 2013) up to 320°C with respect to molecular structure (using NMR) and scale inhibition performance after subjecting to the target temperature. It is very important to establish the hydrothermal stability, as it is known that some traditional scale inhibitors, in particular phosphorus containing products, can degrade at high temperatures (Dinesh et al. 2013) and add to scale formation.

Calcium based scales are very typical in the geothermal environment and simple chemistries often work well without issue, but there are circumstances where the inhibitor can become part of the problem, even without thermal degradation. Calcium tolerance of inhibitors varies significantly and is highly sensitive to temperatures and pH. Calcium tolerance is a measure of a chemical compound's ability to remain soluble in the presence of calcium ions (Ca^{2+}) under both high pH and high temperature, such as in geothermal brines. As pH and temperature increases, calcium tolerance decreases rapidly.

Gill (2008) demonstrated that many traditional inhibitors had very poor calcium tolerance under the conditions of temperature and pH experienced in geothermal brines.

Importantly, the Geomizer application will only allow selection of inhibitors that have the capability, including thermal stability, to inhibit the scale at the maximum identified conditions for saturation index and temperature. The optimum inhibitor and its dose selection are very unique to this Geomizer tool.

CONCLUSION

The Geomizer application has been successfully used in a number of geothermal plants to identify the primary scale risks at each part of the plant and help choose the lowest risk solution.

In all Europe and Turkey no two brines are the same. Although ORMAT are using one prevalent design in Turkey, the issues encountered by each plant are clearly different. Geomizer has the ability to model the entire waterside of the power plant to predict the likely scale species that might arise and assist with the selection of the best scale prevention approach.

This professional approach to mitigating scaling in a holistic plant approach can save power producers considerable sums of money and reduce risk and improve ROI.

REFERENCES

- Stefán, A., Sven, S., and Hördur, S., 1982, The Chemistry of Geothermal Waters in Iceland. I. Calculation of Aqueous Speciation from 0°C to 370°C, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 46, pp 1513-1532.
- Eylem, K., Sadiq J. Z., and Michael, J. S., 2011, Reinjection in Geothermal Fields: A Review of Worldwide Experience, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, pp 47–68.
- Gill, J.S., 2008, Scale Control in Geothermal Brines – New Inhibitors for Calcium Carbonate and Silica Control, *Geothermal Resources Council Transactions*, 32, pp 207-212.
- Dinesh, M., Gill, J.S., Frederick, S., Vaideeswaran, S., and Srinivasan, R., 2013, Scale Inhibitors for High Temperature Geothermal Applications, *Proceedings, The 10th Asian Geothermal Symposium, Tagaytay, Philippines*.
- Kaypakoğlu, B, Aksoy, N, Serpen, U and Şişman, M, 2015, Stibnite Scaling in a Binary Power Plant in Turkey, *Proceedings World Geothermal Congress*
- Gill, J, Ramanathan, S, Rodman, D and Huynh, T, 2015, Geomizer - A Tool to Predict Optimum Dose for Mitigating Scale in Geothermal Systems, Especially Power Plants, *Proceedings World Geothermal Congress*



MEVZUAT

JEOTERMAL VE MADEN MEVZUATINDA CO₂ GAZI

Behzat Gökçen Demir¹, Akın Akbulut¹, Nusret Güngör¹,

¹Maden İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.

ÖZ

Doğadaki gazların kökeni ve bunların hangi mevzuata tabi olacağı hususu, değişik platformlarda geçmiş yıllarda oldukça tartışılan bir konu olmuştur. Ancak, son yıllarda tartışmalar mevzuattan ziyade köken ve teknoloji üzerinde yoğunlaşmıştır. Gazların jeolojik kökeni ile ilgili araştırma ve analizler, bazı gelişmiş ülkeler dışında kolay yapılabilen bir seviyeye ulaşmamıştır. Doğal karbondioksit gazı, ekonomik ve ticari alanda gazlar içerisinde en gündemde olan gazdır ve arama, işletme ve yatırım faaliyetleri bu gaz üzerinde yoğunlaşmıştır. CO₂, 5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu kapsamının 3. maddesinde yer alan jeotermal kaynak tanımında, 3213 sayılı Maden Kanununun 2. maddesinin III. grubunda, 6491 sayılı Türk Petrol Kanununun ise 9. maddesinde yer almaktadır. Bu bildiriye, Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu ve Maden Kanununda yer alan CO₂ gazı değerlendirmeye alınacaktır.

Anahtar kelimeler: CO₂, Jeotermal, Mevzuat

CO₂ GASE IN MINING AND GEOTHERMAL LEGISLATION

Behzat Gökçen Demir¹, Akın Akbulut¹, Nusret Güngör¹,

¹General Directorate of Mining Affairs, Ankara.

ABSTRACT

The origin of gases in nature and which will be subject to legislation has been a much discussed topic on different platforms in last years. However, debate is concentrated on origin and technology rather than legislation in recent years. Research and analysis related to the geological origin of the gas haven't reached a level that can be made easy except some developed countries. Natural carbon dioxide is on the agenda in gases on the commercial and economic fields and search, business and investment activities are focused on these gases. CO₂ is situated in geothermal resources in Article 3 of Geothermal Resources and Natural Mineral Waters Law no. 5686 and in group of Article 2 of Mining Law no. 3213 and in Article 9 of Turkish Petroleum Law no. 6491. In this paper, Natural carbon dioxide is situated in Geothermal Resources and Natural Mineral Waters Law and Mining Law will be taken.

Keywords: CO₂, Geothermal, Legislation

GİRİŞ

Yüzyıllar boyunca insanlar doğal gazla ilgi duymuştur ve bu ilgi gün geçtikçe artmıştır. Bu süreçte, insanların ilgisi çeken gazlardan birisi de doğal karbondioksit olmuştur. Karbondioksitin genel olarak iki yöntemle elde edildiği bilinmektedir. Dünyada ve ülkemizde kimyasal ve doğal yöntemlerle karbondioksit üretilmiştir. Günümüz ekonomisinde birçok alanda kullanımı olan karbondioksit ülkemizde az miktarda ve pahalı üretildiği için sanayinin pek çok dalındaki kullanımı yakın zamana kadar gerçekleşmemiştir. Bunun en önemli nedenlerinden birisi doğal karbondioksitin hangi mevzuata tabi olduğu konusunun uzun süre tartışılmış olmasıdır. Mevzuat alt yapısı uygun olmadığı için ruhsat alınamamış bu da beraberinde yakın zamana kadar yatırımın yapılamaması sonucunu doğurmuştur. Oysa Romalılar devrinde Anadolu’da özellikle Niğde-Bor Kemerhisar’daki eski Diana şehrindeki doğal karbondioksitli suyu bu yöreye gelen ziyaretçilerin içtiği ve dönüşlerinde beraberinde götürdüğü bilinmektedir. Aynı şekilde Anadolu’nun çeşitli yerlerinde gerek kuru gaz, gerekse sıcak ve mineralize sularla birlikte doğal olarak çıkan veya bazı tekniklerle çıkarılan gazların doğal karbondioksit olduğu görülmüştür. Ülkemizin bu yönü ile doğal karbondioksit açısından büyük bir potansiyele sahip olduğu ve aktif fay hatları boyunca bu gazın çıkışının olduğu bilinmektedir.

MEVZUAT VE DOĞAL KARBONDİOKSİT

Ülkemizde, doğal karbondioksit konusundaki detaylı ar-ge çalışmaları son on yılda hızlanmaya başlamıştır. Kimyasal yöntemle yan ürün olarak, baca gazlarından, kalsinasyon yolu ile alkol mayalaması ve amonyak fabrikaları gibi yerlerden elde edilirken, karbondioksitin doğal olarak daha hijyenik şekilde üretilmesi yönünde gerekli gayret ve irade son yıllara kadar gösterilememiştir.

Gazlar konusunda mevzuat tartışmaları; en çok menşei, rezervuar ve alana dayalı olarak gündeme gelmektedir. Bunlara yönelik yaygın ve genel anlamda kabul edilen bir değerlendirme vardır. Karbondioksitin menşeinin tespitinde kesin olarak kabul görmüş kriterler bulunmamakla birlikte, bu gazın petrol, jeotermal ve maden sahalarında olabileceği gibi karma bir jenerasyona sahip olabileceği bilinmektedir. Bu konuda en kesin çözüm gazın depolandığı rezervuara bakılmaksızın olduğu alan/havza/rezervuara dayalı olarak değerlendirme yapılması en uygun yöntem olarak değerlendirilmektedir. Eğer gaz maden yatağı içerisinde ise ve göç etmemiş ise; Maden Kanunu kapsamında, eğer göç edip başka bir rezervuara yerleşmiş ise Petrol Kanunu kapsamında değerlendirilebilmektedir.

1990’lı yıllara kadar yeterince anlaşılamayan doğal karbondioksit, 1991 yılında Denizli Kızıldağ’da üretilmeye başlanınca önemi artmaya başlamıştır. Bu tarihe kadar deneme üretimleri ve piyasa araştırmaları dışında yasal durum nedeniyle uzun süre yatırım yapılamamış ve ticari anlamda üretim de gerçekleştirilememiştir. Bu mevzuat boşluğunun giderilmesi için bu sektöre yatırım yapanlar ve sektörü destekleyen kişi ve kuruluşlar uzun soluklu bir mücadele vermiştir. Gazlar ve özellikle karbondioksit konusunda yapılan değerlendirmeler olumlu netice vermiş doğal karbondioksit 94/5442 sayılı Kararname ile 19/08/1994 tarihinde turba ile beraber Maden Kanunu kapsamına alınmıştır. Maden Kanununda şu şekilde yer almaktadır: “III. Grup madenler: Deniz, göl, kaynak suyundan elde edilecek eriyik halde bulunan tuzlar, karbondioksit (CO₂) gazı (jeotermal, doğal gaz ve petrollü alanlar hariç) Hidrojen Sülfür (7/3/1954 tarihli ve 6326 sayılı Petrol Kanunu hükümleri mahfuz kalmak kaydıyla).” Bu aşamadan sonra Maden ve Jeotermal mevzuatında başta doğal karbondioksit olmak üzere gazların da mevzuattaki yeri kesinleşmiştir. Bu gelişmelerin ışığında Maden Kanunu kapsamında ilk karbondioksit ruhsatı

Niğde-Bor-Kemerhisar/Havuzlu'ya verilmiştir. Maden Kanununa tabi karbondioksit için verilen ruhsatı, 500 hektara kadar verilebilmekte ve Maden Kanununa tabi karbondioksite yönelik faaliyetler doğrudan Maden İşleri Genel Müdürlüğü tarafından yürütülmektedir.

Doğal karbondioksit, Jeotermal mevzuatına ise 13/06/2007 tarihinde yürürlüğe giren 5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Sular Kanunu ile alınmıştır. Bu kanunun uygulanmasına dair yönetmeliğin 11/12/2007 tarihinde yürürlüğe girmesiyle jeotermal gazlardan doğal karbondioksite aranabileceği, üretilebileceği hükme bağlanmıştır. Hem 5686 sayılı Kanun hem de uygulama yönetmeliği esas itibariyle jeotermal kaynak, doğal mineralli sular ve jeotermal kökenli gazlar olmak üzere üç ana kaynağı kapsamaktadır. Bu Kanun ve Uygulama yönetmeliği kapsamında hem doğal mineralli suları ve hem de jeotermal kökenli gazları içerecek şekilde tek bir jeotermal kaynak ruhsatı alınabileceği gibi sadece doğal mineralli su veya jeotermal kökenli gaz ruhsatı olarak da ruhsat alınabilmektedir. Jeotermal kökenli gazlar, karbondioksit gazı, metan gazı, hidrojen sülfür gazı ve radon gibi gazlardan oluşmakta olup, jeotermal kaynakların en ağırlıklı gaz fazı doğal karbondioksittir. Bu gaz jeotermal kaynaklar ve mineralli sulara ağırlıklı olarak rastlanıldığı bilinmektedir. Doğal karbondioksite üretilmesi, ekonomisi ve ticareti jeotermal alanlarda jeotermal kaynak ile birlikte ele alınarak, jeotermal mevzuatına göre gerçekleştirilmektedir.

Doğal karbondioksite aranması ve özellikle üretilebilmesi için öncelikle köken itibariyle jeotermal alanında ve jeotermal kökenli bir gaz olması zorunludur. Aksi takdirde, bu gaz bulunduğu alana göre ya Maden Kanununa ya da Petrol Kanununa tabi gaz olarak üretilmesi gerekir. Jeotermal mevzuatına tabi karbondioksite aranması, ekonomikliğinin değerlendirilmesi ve ticarete konu edilebilmesi için, beş bin hektara kadarlık ruhsat alanında Maden İşleri Genel Müdürlüğü ile ilgili Özel İdaresi, Yatırım, İzleme ve Koordinasyon Başkanlıkları arasında işlemlerin yürütülmesi gerekmektedir. 5686 sayılı Kanun ile en çok ilişkili, ticarete en çok konu olan ve en fazla üretilen gaz doğal karbondioksit gazıdır. 10/08/2015 tarihi itibariyle doğal karbondioksit dışında jeotermal mevzuatına tabi hiç bir gaz ruhsata konu olmamış, aranmamış ve üretilmemiştir.

SONUÇ

Doğal karbondioksit oluşumu itibariyle hangi alanda oluşursa oluşsun her yönü ile yasal güvence altına alınmış durumdadır. Petrol, jeotermal ve maden havzalarındaki karbondioksit oluşumlarının yasal bir güvenceye kavuşturulması geç de olsa gerçekleşmiş ve buna dayalı olarak da arama, yatırım, üretimine yönelik modern tesisler kurulmaya başlanarak rekabet ortamı oluşmuş ve çok kısa sürede üretim miktarı da artmıştır. Esas itibari ile, ekonomiye katkısı olan ve ticarete konu alan doğal karbondioksit, Maden Kanunu ve Jeotermal mevzuatına tabi olmalıdır. 6491 sayılı Türk Petrol Kanununa tabi olan karbondioksit ise sadece kaliteli olmayan petrol üretiminin arttırılmasında değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

İnternet sitesi, www.mevzuat.gov.tr

Güngör, N., 2008. Jeotermal Kökenli Gazlar (CO₂), Jeoloji Mühendisleri Odası 1. Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Eğitim Semineri, 182-186, Ankara

(internet erişim: <https://jmobis.jmo.org.tr/uye/dosyagoster.php?dosya=42660&egitimkod=39>)

JEOTERMAL KAYNAKLARIN 5686 SAYILI KANUN KAPSAMINDA RUHSATLANDIRILMASI

Gülşen Akan¹, M. Fikret Harçvuran², Uğur Filik², Nusret Güngör²

¹*Antalya Valiliği, Yatırım İzleme ve Koordinasyon Başkanlığı, ANTALYA*

²*Maden İşleri Genel Müdürlüğü, ANKARA*

(gakan@ankara.edu.tr)

ÖZ

Jeotermal kaynaklar, devletin hüküm ve tasarrufu altında olup, kaynağa ilişkin faaliyetlerin yapılabilmesi için bu Kanuna göre ruhsat alınması zorunludur. Ülkemizdeki jeotermal aktiviteler, 5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu ve bu Kanuna dayalı Uygulama Yönetmelikleri'ne göre yürütülmektedir. 5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanununun 3. Maddesine göre jeotermal kaynak; jeolojik yapıya bağlı olarak yer kabuğu ısısının etkisiyle sıcaklığı sürekli olarak bölgesel atmosferik yıllık ortalama sıcaklığın üzerinde olan, çevresindeki sulara göre daha fazla miktarda erimiş madde ve gaz içerebilen, doğal olarak çıkan veya çıkarılan su, buhar ve gazlar ile yeraltına insan düzenlemeleri vasıtasıyla gönderilerek yer kabuğu veya kızgın kuru kayaların ısısı ile ısıtılarak su, buhar ve gazların elde edildiği yerler olarak tanımlanır. Bu çalışma ile; jeotermal kaynak ruhsatlandırma süreci ve bu süreçte koordineli olarak 5686 sayılı Kanun kapsamında Maden İşleri Genel Müdürlüğü (MİGEM) ile Valilikler tarafından yürütülen mevzuat alt yapısı ile ilgili işlemlerin ve yaşanan sorunların anlatılması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal kaynak, 5686 sayılı Kanun, ruhsat, MİGEM, Valilik.

LICENSING THE GEOTHERMAL RESOURCES UNDER LAW NO:5686.

Gülşen Akan¹, M. Fikret Harçvuran², Uğur Filik², Nusret Güngör²

¹*Antalya Governorship, Investment Monitoring & Coordination Directorate, ANTALYA*

²*General Directorate of Mining Affairs, ANKARA
(gakan@ankara.edu.tr)*

ABSTRACT

Geothermal resources shall be under the governance and execution of the State and it is mandatory to obtain a License per the hereby Law in order to carry out operations pertaining to the resource. Geothermal activities in our country is regulated by Law on Geothermal Resources and Natural Mineral Waters and its Implementation Regulations. According to the Article 3, geothermal resources are defined as the locations that have temperatures constantly higher than the annual atmospheric average temperature of the region with the effect of the temperature of the earth's crust depending on the geological structure, that may contain melted materials and gas in an amount higher than the surrounding water resources, where water, vapor and gas naturally erupt or are naturally extracted along with places where water, vapor and gas are obtained via heating by the earth's crust or heated dry rocks through man-made structures underground. By this study, it is aimed to mention about the process of licensing the geothermal resources and during the process applications related to infrastructure legislation of MIGEM and Governorships coordinately according to Law no:5686 and problems encountered .

Keywords: *Geothermal resource, Law no:5686, license, MIGEM, Governorship.*

1-JEOTERMAL KAYNAKLARIN RUHSATLANDIRMA SÜRECİ

5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanununun 13.06.2007 tarihinde yürürlüğe girmesi ile, jeotermal kaynak ve doğal mineralli sulara ilişkin hakların **tek mevzuat** çatısı altında yürütülmesi amaçlanmış ve Maden İşleri Genel Müdürlüğü (MİGEM) ile İl Özel İdarelerinin birlikte çalışma prensibi getirilmiştir. 11.12.2007 tarihinde ise Uygulama Yönetmeliği yürürlüğe girmiş olup, 24.09.2013 tarih- 28775 sayılı ve 30.04.2014 tarih-29015 sayılı Resmî Gazeteler ile bu yönetmeliğin bazı maddelerinde Büyükşehir Belediyesi olan otuz il için düzenlemeler yapılmıştır.

Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu Uygulama Yönetmeliği, belirlenmiş ve belirlenecek jeotermal kaynaklar ve çözünmüş katı madde içeriği en az 1000 mg/lit olan doğal mineralli sular ile jeotermal kökenli gazların aranması ve işletilmesi için ruhsatların verilmesi, devredilmesi, birleştirilmesi, faaliyetlerin, kaynağın ve çevrenin denetlenmesi, ruhsatın sona erdirilmesi, kaynak ve kaptajın korunması, ruhsat alanının terk edilmesi ile ilgili usul, esas ve yaptırımları kapsar.

5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanununun 4 üncü maddesi ile ilgili Yönetmeliğin 5 inci maddesi ikinci fıkrasına göre; Jeotermal kaynaklar ve doğal mineralli sulara ilişkin haklar, medeni hakları kullanmaya ehil Türkiye Cumhuriyeti vatandaşlarına, statüsünde jeotermal kaynaklar ve doğal mineralli sularla ilgili faaliyet yapabileceği hususu yer alan Türkiye Cumhuriyeti kanunlarına göre kurulmuş tüzel kişiliği haiz şirketlere, bu hususta yetkisi bulunan kamu iktisadi teşebbüsleri ile müesseselerine, bağlı ortaklıkları ve iştirakleri ile diğer kamu kurum, kuruluş ve idarelerine verilir. Jeotermal kaynaklar ve doğal mineralli sulara ilişkin haklar gerçek veya tüzel tek kişi adına verilir ve miras yolu ile intikal eder.

Jeotermal Kaynağa ilişkin faaliyetlerin yürütülebilmesi için ruhsat alınması zorunludur. Ruhsat verme aşamaları; Müracaat, Yatırım İzleme ve Koordinasyon Başkanlığı (YİKOB)/İl Özel İdareler tarafından MBYBS sistemine internette bilgi girişi, Maden İşleri Genel Müdürlüğü tarafından değerlendirme ve MBYBS sisteminde internette yayınlama, müracaat sahibine tebliğ, ruhsatlandırma şeklinde özetlenebilir.

5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanununun 5 inci maddesi ile ilgili yönetmeliğin 6. maddesine göre; arama ruhsatı müracaatları 1/25000 ölçekli pafta adı ve altı derecelik dilim esas alınarak yedi basamaklı koordinat sistemine göre 20 noktayı ve 5000 hektarı geçmeyecek şekilde hazırlanan ve ekinde Ek-9 formuna uygun hazırlanan Arama Projesini içeren müracaat formu EK-1 ile YİKOB/İl Özel İdarelerine yapılır. Müracaatlarda öncelik hakkı esastır. İlgili Yönetmeliğin 7 nci maddesine göre; müracaat sahibi, İdarenin tebligat tarihinden itibaren on beş gün içinde, gerçek kişiler için Ek-2, tüzel kişiler için Ek-3'te yer alan taahhütname ve mali yeterliliği içeren belgeleriyle birlikte İdareye teslim etmek zorundadır. Arama ruhsat süresi üç yıldır. Faaliyetlerin olumlu gelişmesi ve ilave etütlere ihtiyaç duyulması halinde revize proje verildikten sonra İdarece uygun bulunması halinde bir yıl uzatılır ve uzatma MİGEM'e bildirilir. Arama ruhsatı döneminde YİKOB/İl Özel İdarelerin bilgisi dahilinde, çevrenin kirletilmemesi kaydıyla sadece test amaçlı üretim yapılabilir. Birden fazla ili içine alan arama ve işletme faaliyetlerinde başvurular alanın büyük olduğu il idaresine yapılır ve işlemler alanın küçük olduğu il idaresine bildirilir.

5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanununun 6 ncı maddesi ile ilgili yönetmeliğin 9 uncu maddesine göre; işletme ruhsatı alabilmek için arama ruhsat sahibi, arama

ruhsat süresi son günü mesai bitimine kadar EK-5 de yer alan formata uygun olarak hazırlanmış başvuru formu, konusu ile ilgili bir mühendis tarafından EK-11 Formuna uygun olarak hazırlanıp imzalanmış işletme projesi, varsa koordinatları belirtilmiş bloke alan ve işletme ruhsatı harcı ile birlikte idareye başvurur. Varsa eksiklikler, İdarece en geç bir ay içerisinde ruhsat sahibine bildirilir ve bildirim tarihinden itibaren en geç üç ay içinde ruhsat harcı ve teminatı dahil eksikler tamamlanır. İşletme ruhsat müracaatları ile eksiklikleri tamamlattırılan müracaatlar İdare tarafından en geç bir ay içerisinde sonuçlandırılarak EK-6 daki forma göre düzenlenmiş “işletme ruhsatı” verilir. Eksiklerini verilen süre içinde tamamlamayanların işletme ruhsatı talepleri reddedilerek mevcut teminatları irat kaydedilir. İdarece verilen işletme ruhsatları, koordinatları ile birlikte onbeş gün içinde MİGEM’e bildirilir. İşletme ruhsatı sahipleri, işletme faaliyetine geçmek için ilgili kurumlardan gerekli izinleri almakla yükümlüdür. Gerekli izinlerin 3 yılda alınamaması durumunda ruhsat iptal edilerek teminatı iade edilir. İşletme ruhsatı süresi otuz yıldır. Süre sonunda ruhsat sahibinin talep etmesi durumunda onar yıllık dönemler halinde uzatılır.

Doğal çıkış halindeki jeotermal kaynaklar, doğal mineralli sular ve jeotermal kökenli gazlar için, gerekli kaptajı yapılarak İdareye doğrudan işletme ruhsatı talebinde bulunulabilir. Bu taleplerde, MİGEM’in kaynağın bulunduğu saha ile ilgili ruhsat ve hakların çakışması açısından değerlendirmesi bir ay içinde tamamlandıktan sonra bu Kanun hükümlerine göre İdarece doğrudan işletme ruhsatı en geç bir ay içinde verilerek MİGEM’e onbeş gün içerisinde bildirilir.

İşletme ruhsat sahibi işletme ruhsatı alındıktan sonra akışkanı üretime almadan önce kaynak koruma alanı etüdünü yaptırır. Ruhsat sahibi tarafından kaynak koruma alanı etüdü yaptırılmadan kaynağın işletmeye alınması durumunda faaliyetler durdurularak teminat irat kaydedilir ve altı ay içinde kaynak koruma alanı etüdünün yaptırılması ve eski teminatın üç katının yatırılması sağlanır. Yeni teminatın yatırılmadığı ve koruma alanı etüdü yaptırılmadığı sürece faaliyeti durdurma kararı kaldırılmaz.

2-YENİ KURULAN YİKOB’LARDA MEVZUATTAN KAYNAKLANAN SIKINTILAR

12/11/2012 tarih ve 28489 sayılı Resmi Gazete ile yürürlüğe giren “6360 sayılı On Dört İlde Büyükşehir Belediyesi ve Yirmi Yedi İlçe Kurulması İle Bazı Kanun Ve Kanun Hükmünde Kararnamelerde Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun” ile Büyükşehir Belediyelerinin bulunduğu illerde İl Özel İdareleri kapatılarak, Valiliklere bağlı olarak Yatırım İzleme ve Koordinasyon Başkanlıkları kurulmuştur. Büyükşehirlerde tüzel kişiliği kaldırılan Mülga İl Özel İdarelerinin 5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanununa göre; jeotermal ve doğal mineralli su kaynaklarının etkin bir şekilde aranması, araştırılması, geliştirilmesi, üretilmesi, korunması, bu kaynaklar üzerinde hak sahibi olunması ve hakların devredilmesi, çevre ile uyumlu olarak ekonomik şekilde değerlendirilmesi ve terk edilmesi ile ilgili yetki ve görevleri Başkanlığımıza verilmiştir. Maden İşleri Genel Müdürlüğü tarafından Gerçek ve Tüzel Kişilerin İl Özel İdarelerine yaptığı ruhsat müracaatlarının değerlendirilmesi yapılarak, yapılan değerlendirme sonuçları ilgili YİKOB/İl Özel İdarelerine bildirilmektedir.

MİGEM ile otuz ilde yeni kurulan YİKOB tarafından yürütülen mevzuat alt yapısı ile ilgili işlemlerde, gerek Kanun ve Yönetmeliğin çok açıklayıcı olmaması gerekse yeni oluşan kurumdaki personellerin tecrübesizliğinden dolayı bazı sıkıntılar başgöstermiştir. Aşağıda özetle bunlardan bahsedilecektir:

1-Farklı illerdeki uygulama farklılıkları

Büyükşehirlerde YİKOB diğer illerde İl Özel İdareleri tarafından verilen Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular ile ilgili ruhsatların her bir ilde farklı işlemler uygulanarak verildiği, yazışmalarda farklılıkların bulunduğu, istenilen evrak ve bilgilerde çeşitlilikler ortaya çıktığı görülmektedir. Bazı iller ruhsatlandırma işlemlerinin Genel Merkezi olarak bilinen MİGEM'e yazılı ya da telefon aracılığı ile danışarak işlemleri gerçekleştirirken, bazı illerin kendilerince geliştirdikleri prosedürler ile işlemlere devam ettiği bilinmektedir. İller arasındaki bu uygulama farklılıkları zaman zaman ruhsat müracaat sahibi firma ya da kişilerin kurumlara "diğer ilden ruhsat alınırken hiç bunlara (harita, imza, süre bitimi vb.) dikkat edilmiyor, bu evraklar istenmiyor. Siz neden zorluk çıkartıyorsunuz? Sizi şikayet edeceğiz" diye itiraz etmelerine, bunun da ilgili kurumlar ve müracaat sahipleri arasında tartışmalara yol açmasına neden olmaktadır.

2- Müracaatlarda öncelik hakkı

5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu gereği, Jeotermal kaynak ve doğal mineralli suların aranması ve işletilmesi için ruhsatlandırma işlemlerinin her bir aşaması, arama/işletme ruhsatını vermeye görevli ve yetkili olan kurumlar Büyükşehirlerde YİKOB, diğer illerde İl Özel İdareleri ve Maden İşleri Genel Müdürlüğü ile koordineli olarak gerçekleştirilmektedir. İlgili Yönetmeliğin 6 ncı Maddesinde; "İdare müracaat alanı hakkında bilgileri en geç onbeş gün içinde MİGEM'e bildirir. MİGEM tarafından arama ruhsatı talep edilen alan, mevcut haklar dikkate alınarak değerlendirilir, önceden ruhsata bağlanmış kısımlar varsa, bloke alanı kısmı ile birlikte çıkarılarak geride kalan ve uygun olan alan için arama ruhsatı verilebileceği en geç onbeş gün içinde İdareye bildirilir" hükmü yer almaktadır. Ancak gerek belirtilen MİGEM'in MBYBS sistemi üzerinden karşılıklı olarak yapılan onbeş (15) günlük sürelerdeki bilgi alışverişleri, gerekse İl Özel İdareler/YİKOB'lar tarafından MİGEM'e gönderilen ruhsat müracaatı projelerinin MİGEM ve İl Özel İdare/YİKOB tarafından koordineli bir şekilde incelenmesi, Kanun ve Yönetmeliğin yeterince açıklayıcı olmamasından dolayı sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilememektedir. MİGEM'in internet üzerinden diğer kurumlar ile bağlantı kurduğu MBYBS sistemindeki bağlantı kopuklukları ya da sistemin yeterince güncel olmaması nedeniyle sürekli hata veriyor olması da, Kanunda belirtilen onbeş (15) gün sınırlamasında zorunlu olarak gecikmelere sebebiyet vermektedir. Söz konusu durumlar, müracaatların zamanında sonuçlandırılmamasından ötürü, gerek kurumlar arasında gerekse kurum ile ruhsat müracaatında bulunan gerçek ve tüzel kişiler arasında yoğun bir iletişim trafiğine ve çoğu zaman da anlaşmazlıklara neden olmaktadır.

Diğer yandan 6360 sayılı Kanun ile yeni kurulan ve çalışan personelinin çoğu dış kurumlardan gelmiş olan YİKOB'larda, 5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu ve ilgili Yönetmeliği hakkında personele hiç bir eğitim verilmemiş olması da illerde birçok karmaşa ve gecikmelere neden olmaktadır. Gerek bu Kanun ve bağlı bulunduğu Yönetmeliğin uygulama şekline yeterince açıklık getirmemesi, gerekse yeni başlayan ve konuya tamamen yeni olan çalışanların deneyimsizliği nedeniyle ortaya çıkan karmaşalar, illerdeki ruhsatlandırma işlemlerini zorlaştırmaktadır. Örneğin müracaatlandırma işlemlerinde Yönetmeliğin 6. Maddesinde "Arama ruhsatı müracaatları, talep sahibi tarafından 1/25000 ölçekli pafta adı ve altı derecelik dilim esas alınarak yedi basamaklı koordinat sistemine göre yirmi noktayı ve beş bin hektarı geçmeyecek şekilde koordinatları belirtilerek, ekinde Ek-9 Formuna uygun olarak hazırlanan arama projesiyle birlikte üç nüsha olarak hazırlanan müracaat formu Ek-1 ile idareye yapılır...Müracaatlarda öncelik hakkı esastır. Talep sahibinin idareye müracaatı esnasında

müracaat tarihi, numarası, saati, dakikası, arama ruhsat müracaat formu Ek-1 üzerine kaydedilir. Müracaata esas olan bilgileri içeren belgenin bir nüshası müracaat sahibine, bir nüshası MİGEM'e gönderilir, bir nüshası da idarede saklanır. Müracaat formları üzerinde hiçbir şekilde değişiklik yapılamaz."denilmektedir. Ancak YİKOB'larda müracaat evraklarının verilmesi sırasında evrak birimlerinde Ek-1 üzerine kayıt edilmesi gereken bilgiler, çoğu kez kaydedilmeden ilgili mühendise kadar gönderilmektedir. Nedeni ise, Kanunda ve Yönetmelikte bu kaydın kimin tarafından yapılacağına açıkça yer verilmemesi ve evraktaki memura bu işin ciddiyetinin anlatılamamasıdır. İlgili mühendise kadar müracaat saat ve tarihi belirtilmeden ulaşan evraklar, müracaatların çok olması durumunda sıkıntılara yol açmaktadır. Diğer yandan bu durum, 15 günlük sürenin titizlikle takip edilememesinde de bir diğer etkidir. Örneğin tebligatla ve takipli olarak gönderilmesi gereken süreli evraklar, YİKOB'larda çoğu kez adi posta ile gönderilmekte ve bu durum müracaat sahibine haksız yere zaman kazandırmaktadır. Sonucunda ise teminat ve harçlar zamanında yatırılmamakta ya da tebligat geri bildirimini ilgili kuruma dönmediği için ilgili mühendisler tarafından evraklar takip edilememektedir. Bu durumda da aslında Kanuna göre müracaata tekrar açılması gereken sahalar, uzun bir süreliğine kapalı durumda görülmektedir. Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanununda ruhsatlandırma işlemlerinin öneminin uygulayıcıya yeterli derecede aktarılamamasından ötürü, çoğu ilde madencilik faaliyetleri ve madenlerin ruhsatlandırma işlemleri daha önemli olarak kabul edilmesine bu da Kanundan ve uygulama karmaşıklığından kaynaklanan mevcut sıkıntıların göz ardı edilmesine yol açmaktadır.

3-Projelerin kabul edilebilirliği

Arama ve işletme projelerinin içeriği, projede yer alması gereken bilgiler ve hangi belgenin hangi mühendisler tarafından imzalanması gerektiği hususlarına 5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu ve ilgili Yönetmelikte yer verilmemiştir. Dolayısıyla bu durum da projelerin kabul aşamasında iller arasında her kurumda farklılıklara yol açmaktadır.

4-Teknik sorumlunun yetkinliği:

5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanununun 7 nci Maddesi ile bu Kanuna bağlı Uygulama Yönetmeliğinin 10 uncu maddesinde "Arama ve işletme ruhsatı süresince projede belirtilen faaliyetlerin tümünün, ilgili mühendislik dallarından bir mühendisin sorumluluğunda sürdürülmesi zorunludur. Teknik sorumlu olmaksızın hiç bir faaliyette bulunulamaz..." hükmü yer almaktadır. Ancak ilgili mühendisin niteliği, deneyim süresi vb. özellikler belirtilmediğinden her kurum farklı dallarda mühendis ataması yapmaktadır. Diğer taraftan, teknik sorumlunun ne kadar sıklıklarda sahada olacağı ve onaylı bir sorumlu defteri tutup tutmayacağından da bahsedilmemiştir.

5- Ruhsat sahalarının denetimi ve alınması gerekli izinler

Kanunda arama ruhsatı verme aşamasında öncelikle kurumlardan alınması gereken izinler ile ilgili herhangi bir kısıtlayıcı madde bulunmadığından, özellikle kültürel varlıkların çok olduğu kentlerde, Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sularla ilgili alınan arama ruhsatları farklı amaçlarda kullanılabilir. Arama ruhsatı müracaatlarında ruhsatlandırma işlemi öncesinde, 3213 sayılı Maden Kanunundan farklı olarak sahanın ilgili kurumlarda görevli ve yetkili kişiler tarafından tetkik edilme zorunluluğunun olmaması, ruhsat verilmeden önce ilgili kurumlardan görüş ve izin alınma zorunluluğunun bulunmaması ve tüm bunların gerekliliğine dair

Kanunda herhangi bir maddenin olmaması hususu da gelişigüzel bir proje ile kurumlara müracaat eden ve gerekli mali yükümlülükleri yerine getiren her gerçek ve/veya tüzel kişiye kolayca ruhsat verilebildiğini açıkça göstermektedir.

Uygulama Yönetmeliğinin 9 uncu Maddesinde “İşletme ruhsatı alındıktan sonra, ruhsat sahibince Çevresel Etki Değerlendirmesi olumlu kararı veya Çevresel Etki Değerlendirilmesi Gerekli Değildir karar belgesi alınarak, ruhsat alanı ve faaliyete ilişkin diğer meri mevzuattan kaynaklanan gerekli izinlerin alınması için ilgili bakanlıklar, kamu kurum ve kuruluşları nezdinde en geç üç ay içinde girişimde bulunulması zorunludur. Çevresel Etki Değerlendirmesi işlemleri tamamlanmadan ve gerekli izinler alınmadan işletme faaliyetlerine başlanmaz. Gerekli olan işlem ve izinler için; İdare, ilgili bakanlıklar, kamu kurum ve kuruluşlarının yapacağı mahallindeki tetkiklere yönelik maddi yükümlülükler ruhsat sahibi tarafından karşılanır. Gerekli izinlerin üç (3) yılda alınmaması durumunda ruhsat iptal edilerek teminatı iade edilir.” denilmektedir. Diğer taraftan Kanunun 25 inci Maddesinin birinci fıkrasında ise “Kültür ve turizm koruma ve gelişim bölgeleri ile turizm merkezlerinde; Jeotermal kaynağın aranması, geliştirilmesi, işletilmesi ve terk edilmesi ile jeotermal akışkanın kullanılması hususundaki işlemlere ilişkin başvurular dâhil olmak üzere her türlü jeotermal faaliyetlerde veya ilgili İdare tarafından resen yapılacak işlemlerde İdare tarafından Kültür ve Turizm Bakanlığının görüşü alınır.”denilmektedir. Bu durumda eğer Kültür ve Turizm Bakanlığında olumsuz görüş verilse bile arama ruhsatının verilmesine engel olamamakta ve nitekim bir çok ilin de söz konusu kuruma işletme ruhsatı verme aşamasında görüş sorduğu görülmektedir. Dolayısı ile hangi aşamada hangi kurumlardan izin alınacağı hususlarının da Kanunda ve Yönetmelikte çok kapalı olduğu ve yol gösterici olmadığı düşünülmektedir. Aynı Yönetmeliğin 12 nci Maddesinde “Denetimler, denetlenen faaliyetin mahiyeti ve özelliğine göre ilgili mühendis veya mühendisler, mali uzman ile hukukçudan oluşturulacak en az üç kişilik bir heyet tarafından yapılır.” hükmü yer alsa da, mühendislerin dahi belirtilmediğinden denetimlerin mahiyeti yeteri derecede vurgulanamamaktadır.

İleride büyük sıkıntılara yol açabileceği düşünülen bu durumun önlenmesi için işletme ruhsatı alındıktan sonra istenilen izinler ve sahanın bu aşamada denetlenmesi işlemlerinin, ruhsat verilmeden önce yapılması gerektiği düşünülmektedir.

Sonuç olarak; arama ruhsatı verilen alan, özel bir alana tekabül ediyorsa (turizm alanı, sit alanı, milli park, havza koruma alanı vb.) hiçbir sınırlama getirilmeden, denetleme yapılmadan, ilgili kurumlardan gerekli izinlerin alınması talep edilmeden en az üç (3) yıl ruhsata bağlanmış olmakta, bu nedenle bu alanın ne amaçla kullanılacağı ya da çevreye/doğaya zarar verip vermeyeceği irdelenmeden, Kanun gereği uygulamalara devam edilmektedir. Çoğu zaman da işletmeye geçilmeden terk edilen sahalarda, yaklaşık 5000 hektarlık alan daha önce ruhsatlandırma aşamalarında hiç görülmediğinden, amacına ve Kanuna uygun çalışılıp çalışılmadığı ya da çevreye zarar verilip vermediği hususları yeterince izlenememektedir. Bu hususların, çevrenin korunması ve yatırımcının zamanında ve daha sağlıklı şekilde yönlendirilmesine yönelik olarak düzenlenmesi uygun olacaktır.

KAYNAKLAR

5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu ile İlgili Diğer Mevzuat. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası. Yayın no:101. Mayıs 2008.

Jeotermal Kaynaklar Ve Doğal Mineralli Sular Kanunu Uygulama Yönetmeliği. 11.12.2007 tarih ve 26727 sayılı Resmî Gazete.

Jeotermal Kaynaklar Ve Doğal Mineralli Sular Kanunu Uygulama Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik 24.09.2013 tarih ve 28775 sayılı Resmî Gazete.

Jeotermal Kaynaklar Ve Doğal Mineralli Sular Kanunu Uygulama Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik. 30.04.2014 tarih ve 29015 sayılı Resmî Gazete.

JEOTERMAL SEKTÖRÜNDE YEREL İDARELERİN YERİ VE ÖNEMİ

Toros Özbek

*T.C. Jeotermal Kaynaklı Belediyeler Birliği
(torosozbek@ttmail.com)*

ÖZ

Türkiye önemli bir jeotermal kaynak potansiyeline sahiptir. Yerel idarelerce jeotermal kaynaklar ısıtma (konut, tesis, şehir, sera), kurutma, kaplıca amaçlı olarak ya da bunların entegre uygulaması şeklinde değerlendirilmektedir.

2007 yılına kadar jeotermal kaynaklarla ilgili uygulamalar 927 sayılı Kanun (1926) kapsamında özel idarelerce devlet adına değerlendirilmiştir. Bu dönemde jeotermal kaynakların önemli bölümünün yerel idarelere (kamuya) ait olduğunu görmekteyiz.

Valiler ve belediye başkanlarının ileri görüş ve yerinde kararları, sağladıkları jeotermal su ve arazi tahsisi, özel sektörün yönlendirmesi sonunda kaplıcalar (çağdaş termal tesisler) ile jeotermal merkezi şehir ve sera ısıtma yatırımları hızla artmıştır. 16 yerde jeotermal merkezi ısıtma sistemi kurulmuş, pek çok kaplıca ve sera ısıtması, entegre uygulamalar yapılmıştır. Önemli ekonomi ve katmadeğer sağlayan yerel idarelere ait bu proje ve yatırımlar sayesinde, jeotermal akışkan arama, sondaj, üretim, taşıma, ısıtma, malzeme ve ekipman teknolojisi, yerli mühendislik ve imalat ile ilgili yatırım faaliyetleri oluşmaya başlamıştır.

Mevcut mevzuatın doğrudan ve dolaylı olarak jeotermal kaynak uygulamalarındaki yeni gelişmeler için yeterli olmaması nedeniyle 2007 yılında 5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu çıkarılmıştır. Kanunun uygulama ve denetleme yetkisi İl Özel İdareleri ile büyük şehirlerde Yatırımları İzleme ve Koordinasyon Başkanlığına verilmiştir. MTA tarafından keşfedilmiş ve keşfedilecek teknik ve ekonomik olarak değerlendirilebilecek önemli jeotermal kaynak alanları 5686 sayılı Kanunun yürürlüğe girdiği 2008 yılından sonra ihale ile özel sektöre devredilmiştir. Bu sayede jeotermal elektrik santrali, jeotermal sera ve termal tesis, kurutma tesisi yatırımlarında hızlı gelişmeler ve yatırımda artışlar olmuş ve jeotermal sektörü oluşmaya başlamıştır.

Belediye mücavir alanı içinde yapılacak olan yatırım ve işletme sahipleri; plan, proje, ruhsat, altyapı, vb. konularında mutlaka belediyeler ile muhatap olacak ve belediyelerin katkı ve hizmetlerinden (arsa, çevre, temizlik, altyapı vb.) yararlanacaktır. Sonuç olarak proje, yatırım ve işletmelerin yerel idarelerle entegre olarak sürdürülmesi gerekmektedir.

Jeotermal kaynağı olan belediyeler tarafından T.C. Jeotermal Kaynaklı Belediyeler Birliği kurulmuştur. Üye sayısı 94 olup, birliğin amacı; bilimsel, teknik, ekonomik, idari ve hukuki açıdan üyelerin sorunlarını çözmek, jeotermal ile ilgili yurtiçi ve yurtdışı gelişmeleri iletmek, jeotermal tanıtım, gerekli eğitim ve yönlendirmeyi sağlamaktır. Birlik yapmış olduğu çalışmalarla sektörde ve kamuda önemli bir konuma gelmiştir.

Anahtar kelimeler: Jeotermal kaynak, yerel idare, jeotermal sektör.

IMPORTANCE OF LOCAL GOVERNMENTS IN GEOTHERMAL SECTOR

Toros Özbek

*Geothermal Resources Association of Municipalities of Turkey
(torosozbek@ttmail.com)*

ABSTRACT

Turkey has an essential geothermal resource potential. Geothermal resources are utilized as heating (house, facility, city, greenhouse), drying and hot springs or as integrated implementations of these methods by the local governments.

Until 2007, geothermal practices have been monitored within the scope of Law No.927 by local governments. During this period, an essential part of geothermal resources were owned by local government.

With the foresights and appropriate decisions of governors and mayors, as a result of geothermal water and land allocation and guidance of private sector, hot spring (modern thermal facilities), central geothermal city and greenhouse heating investments have increased rapidly. Geothermal central heating system has been established in 16 locations and plenty hot spring and greenhouse heating and integrated practices have been implemented. By means of these economically essential and added value providing projects and investments of the local government, geothermal fluid research, drilling, production, transportation, heating, material and equipment technology, local engineering and investment activities will occur according to manufacturing sector.

Due to current legislation's for new assessments in direct and indirect geothermal resources applications not being sufficient, Geothermal Resources and Natural Mineral Water Law No. 5686 was introduced in 2007. Enforcement and supervision authority is given to Provincial Private Administrations and to Investment Monitoring and Coordination Department in metropolitans. After Geothermal Resources and Natural Mineral Water Law No. 5686 into force in 2008, important fields which discovered by MTA; those can be technically and economically utilized was transferred to private sector by tender. Thus, a rapid development is provided in geothermal power plant, greenhouse, thermal facility and drying facility investments.

Proprietors investing within the municipal rural area borders will certainly be dealing with municipalities for planning, license, infrastructure, etc. issues and benefiting from the services of municipalities (such as land allocation, environment, cleaning, infrastructure services). As a result, the projects, investments and management shall be carried out in corporation with local administrations.

Union of T.R. Municipalities with Geothermal Resources is established with 94 members, aiming to solve the scientific, technical, economic, administrative and legal problems, to transmit domestic and foreign developments in geothermal sector, to introduce geothermal and to provide required training and guidance. The Union occupies an important place in the sector.

Keywords: *Geothermal resource, local administrations, geothermal sector.*

JEOTERMAL ÇALIŞMALARDA İZİN SÜREÇLERİ VE ELEKTRİK ÜRETİMİ DIŞINDAKİ SAHALARDA YATIRIMCI SIKINTISI

Çetin Karahan¹

¹Megapol Elektrik Üretim A.Ş., İzmir-TÜRKİYE
(cekarahan@hotmail.com)

ÖZ

Jeotermal çalışmalar bilindiği gibi 5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu ve Kanununun Uygulama Yönetmeliğine göre yürütülmektedir. Kanunun uygulanması İl Özel İdareleri tarafından yürütülürken, İdarenin lav edilmesinden sonra bu görev Valiliklere bağlı Yatırım İzleme ve Koordinasyon Başkanlıklarına verilmiştir. Ancak eskiden İl Özel İdareleri bünyesinde jeotermalde çalışan tecrübeli kişilerin belediyelere ve farklı kurumlara dağılması nedeniyle, yeniden yapılanan Yatırım İzleme ve Koordinasyon Başkanlığı'na bağlı Doğal kaynaklar müdürlüğü bünyesindeki jeotermal birimi bir geçiş dönemi yaşamaktadır. Jeotermal kanun ilk çıktığında jeotermal sondajların yapılması için, 2009 yılında sadece sondaj koordinatlarının bildirildiği bir dilekçe ve sondaj yapılacak alanın tapusu yada kira sözleşmesi ile İl Özel İdarelerine başvurulup izin alınırken şu anda sondaj yapabilmek için, “ÇED gerekli değildir” belgesi, tarım durumu ve ilgili kurum görüşleri gibi bir çok belge istenmektedir. Bu belgeler içinde en uzun zamanı alan Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü tarafından verilen “ÇED gerekli değildir” yazısıdır. Belgenin alınması için önce yetkili çevre firmaları tarafından Proje tanıtım dosyasının hazırlanması istenmekte, bu dosya hazırlandıktan sonra Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü yetkilileri, arazide inceleme yaparak tutanak hazırlamaktadırlar. Daha sonra ilgili kurumlara görüş yazıları yazılmaktadır. Bu süreçte yazının ilgili kuruma gitmesi, kurumda görüşülmesi komisyona havale edilmesi Çevre İl Müdürlüğüne cevabının yazılması en erken 60 günde olmaktadır. Eğer o kurum bir başka kurumdan daha görüş alınmasını istemiş ise süreç tekrar başlamakta, bu şekilde geçen süre, Proje tanıtım dosyasının hazırlanması, araziye gelinmesi de eklendiğinde toplamda 150 günü bulmaktadır.

Bu durumda bir yatırımcı risklerle dolu, yeraltından ne kadar sıcaklık ve debide akışkan çıkacağı tam bilmediği 1000 m yada daha derin araştırma sondajı için tam 5-6 ay mücadele eder, ve yaklaşık 1.000.000 TL yatırımı? Bu nedenle araştırma sondajları, mutlaka “ÇED gerekli değildir” kapsamından çıkarılmalı bu konudaki ÇED yönetmeliği değişmelidir. Elektrik üretimine uygun yüksek sıcaklıktaki jeotermal sahalarda teşvik olması ve devlet alım garantisinden dolayı talep fazladır. Ancak sıcaklığı 100 derecenin altında olan sera, konut ısıtmacılığı ve termal turizme uygun sahalara fazla talep yoktur. Bunun üstüne birde yasal izinlerin zorlaşması yatırımcıyı sektörden uzaklaştırmaktadır. Ülkemizde özellikle Batı Anadolu da yer alan düşük sıcaklıktaki jeotermal sahalarda, işletmenin fazla karlı olmaması ve izin süreçlerinin uzun zaman almasından dolayı yatırımcı sıkıntısı bulunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: ÇED, sondaj izni, yatırımcı

PERMISSION PROCESSES FOR GEOTHERMAL STUDIES AND INVESTOR SCARCITY ON THE GEOTHERMAL AREAS OTHER THAN POWER GENERATION PURPOSE

Çetin Karahan¹

¹Megapol Electricity Generation Corporation, İzmir-TURKEY
(cekarahan@hotmail.com)

ABSTRACT

As is known, geothermal studies are conducted according to the natural mineral water law and governing regulations. While implementation of this law is executed by Provincial Special Administrations, after administrations are abrogated, this authorization has passed to the Department of Investment Tracking and Coordination with the Governorate. However, since experienced employees in the geothermal field of Provincial Special Administrations are dispersed to municipal services and other corporations, Geothermal Unit with Natural Resources Directorate of the Department of Investment Tracking and Coordination is being reorganized and passing through a transitional stage. In year 2009 as Geothermal Law first passed, geothermal drilling is required only an application to Provincial Special Administrations with drilling coordinates and land title or rental contract. Currently on the other hand, document of EIA is not necessary, agricultural status, relevant organization comments and so on are required to perform a geothermal drilling. Among these, document of EIA is not necessary from Provincial Directorate of Environment and Urbanisation takes the longest time. This process consists of requesting EIA preparation from an authorized environmental firm and after that, examination of the area and report preparation from Provincial Directorate of Environment personnel and writing letter of opinion to the relevant organizations. This process takes at least 60 days. On condition that firm needs another commendation from another firm, whole process starts again and lasts 150 days in total.

In that case, investors are forced to struggle for 5-6 months and invest 1.000.000 TL for an uncertain, risky research drill at 1000m depth which results cannot be known for sure in terms of fluid flow rate and temperature. Therefore, EIA regulations have to change and research drilling should be excluded from EIA is not necessary concept. Incentive campaign for high temperature geothermal areas that are suited for power generation and purchase assurance of government creates considerable demand. Yet, areas below 100 degrees which are used for plant-house, domestic heating and thermal tourism do not have enough demand. On top of that, aggravating legal permissions are driving out investors. Unnecessarily long legal permission processes and low profitability of low temperature geothermal areas that are located especially in Western Anatolia are the main reasons of investor scarcity in our country.

Keywords: EIA, Drilling permission, Investor

JEOTERMAL KAYNAKLI SERALARDA İLAVE ENERJİ İHTİYACI: SİMAV ÖRNEĞİ

Ahmet İlica¹ Hasan Şahin¹, Tahsin Güler¹,

¹Dumlupınar Üniversitesi Simav Meslek Yüksekokulu
(ahmet.ilica@dpu.edu.tr)

ÖZ

Jeotermal enerji; yenilenebilir, yerli, ucuz, temiz, sürdürülebilir ve mevsimsel değişim göstermemesi gibi özellikleri ile önemli enerji kaynaklarından biridir. Jeotermal enerji, doğrudan kullanım ile konut ve sera ısıtma, kültür balıkçılığı, kurutma ve kuru buz elde edilmesi gibi birçok alanda kullanılmakta, 80°C'den büyük sıcaklıklarda farklı çevrimler kullanılarak elektrik enerjisi üretilebilmektedir.

162°C yüksek sıcaklığa sahip Simav Eynal jeotermal kaynağı mevcut durumda konut ve sera ısıtmasında kullanılmakta olup elektrik enerjisi üretimine ilişkin çalışmalar devam etmektedir. Yörede jeotermal ısıtımali seracılık önemli gelir kaynaklarının başında gelmektedir. Ancak seralara özellikle kış aylarında yeterli ısı sağlanamadığında ürünlerde verim ve kalite kaybı meydana gelmektedir. Yine yeterli ısı sağlanamaması, yoğun kar yağışında seralarda kar birikmesine ve büyük maddi hasarlara neden olmaktadır. (2015 kış döneminde yoğun kar birikmesi nedeniyle seraların %44'ü zarar görmüş, yaklaşık 8 milyon TL zarar meydana gelmiştir.)

Bu çalışmada, öncelikle yaklaşık 30 MW elektrik üretimi kapasitesine sahip olduğu tahmin edilen yüksek sıcaklıklı jeotermal kaynaktan elektrik üretimi sonrası atık enerji ile sera ısıtılması entegre kullanımı araştırılmış daha sonra elektrik enerjisinin yetersiz ısıtmada ek ısı kaynağı olarak kullanılmasının ve sera bölgesine kesintisiz elektrik enerjisi sağlamanın faydaları tartışılmıştır.

Böylece seralarda eksik ısıtma nedeniyle oluşabilecek verim ve ürün kayıpları ile kar birikmesinin neden olduğu hasarların azaltılabileceği ve jeotermal kaynağın daha verimli kullanılabilceği değerlendirilmektedir. Ayrıca yıl boyunca yapılacak tarımsal üretimin yörenin ekonomik ve sosyal gelişimine önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal Enerji, Sera Isıtma, Elektrik Santrali, Ekonomik Katkı, Simav

ADDITIONAL ENERGY NEEDS IN GEOTHERMAL HEADED GREENHOUSE: SIMAV CASE STUDY

Ahmet Ilca¹ Hasan Şahin¹, Tahsin Güler¹

*¹Dumlupınar University Simav Vocational School
(ahmet.ilica@dpu.edu.tr)*

ABSTRACT

Geothermal energy is one of the most important energy resources. It has properties such as renewable, local, cheap, clean, sustainable and not vary seasonally. Geothermal energy is used to Heating building and greenhouse, fish farming, fruit drying, obtain dry ice. It is also used to generate electricity if it's temperature > 80°C used different cycles.

Simav Eynal geothermal resource which has high temperature 162 °C used for heating greenhouses and housing. The studies for the generation of electricity continues. geothermally heated greenhouse is one of the important sources of income in region. However, yield and quality loss may occur in product if it can not sufficient heat in greenhouses especially during the winter months. In addition, heavy snowfall can cause great damage in greenhouse without sufficient heat.

In this study, firstly were investigated generating electricity and heating greenhouses from high temperature geothermal resources about 30 MW of electricity generation capacity. Next, the benefits were discussed use of electrical energy in the heat source of the greenhouse inadequate heating and uninterrupted electricity supply. As a result, it is considered that reduce damage caused by the accumulation of snow due to deficient heating and can be used more efficiently of the geothermal resources. There will be held significant contribution to the region's economic and social development of agricultural production throughout the year.

Keywords: *Geothermal Energy, Greenhouse Heating, Power Plant, Economic Contribution, Simav.*

NEVŞEHİR-KOZAKLI JEOTERMAL SAHASINDA TEK ELDEN SU DAĞITIM PROJESİNİN UYGULANABİLİRLİĞİ

Yusuf Ulutürk¹, Ali Ulusoy¹, Mustafa Seçkin¹, Cihan Şahin¹

¹Afyon Jeotermal Tesisleri Elektrik Üretim AŞ.
(yusufuluturk@afjet.com.tr)

ÖZET

Kozaklı jeotermal sahası Orta Anadolu Bölgesinin en yüksek sıcaklığa sahip sahası olup (95°C) eski tarihlerden beri pek çok doğal termal su çıkışlarının olduğu bilinmektedir. Bölgede elde edilen verilere göre şu ana kadar derinlikleri 60 ile 1250 metre arasında olan yirmi dört adet jeotermal kuyu açılmıştır. Jeotermal sahada rezervuar kayalar Eosen yaşlı fosilli kireçtaşları olup, debileri 5-95 lt/sn arasında değişmektedir.

Kozaklı Jeotermal turizm sahasında kurulu toplam 179.590 m2 kapalı alana sahip 26 adet termal tesis bulunmaktadır. Yapımı devam edenlerle birlikte 30 tesis 301.245 m2 kapalı alana ulaşacaktır. Sahada şu anda her tesis kendi açtığı jeotermal kuyuyu kullanarak yaklaşık 200 lt/sn akışkan üretilmektedir. Bu jeotermal akışkanın büyük çoğunluğu, pompa çıkışında yada iletim hattında kaybolmaktadır. Bu durum sahanın yenilenebilir ve sürdürülebilir özelliğini tehdit etmektedir. Yapılacak termal su dağıtım projesi ile jeotermal su israfının önüne geçilerek, bütün tesisler için tahminen 138 lt/sn jeotermal akışkan üretilerek, fazlası uygun alıcı ortam olan kırıklı çatlaklı kireçtaşı zonuna reenjekte edilecektir.

Anahtar Kelimeler: Kozaklı, Termal Su Dağıtım Projesi, Termal Tesis, Jeotermal Kuyu, Re-enjekte

**APPLICABILITY OF WATER DISTRIBUTION PROJECT FROM A SINGLE
RESOURCE IN NEVSEHIR-KOZAKLI GEOTHERMAL FIELD**

Yusuf Ulutürk¹, Ali Ulusoy¹, Mustafa Seçkin¹, Cihan Şahin¹

¹Afyon Geothermal İnc.
(yusufuluturk@afjet.com.tr)

ABSTRACT

Kozakli geothermal field is the area of the Central Anatolia Region has the highest temperature (95°C), it is known that out of the many natural thermal water since ancient times. According to the data obtained in the region; Until now, twenty-four geothermal deep wells have been established between 60 to 1250 meters.

Geothermal reservoir rocks in the area are old fossils of Eocene limestone, flow rate range is changing between 5 to 95 liters/sec. There are 26 thermal facility in The Kozakli Geothermal Tourism Area and total area is 179 590 m². With 30 plants under construction will reach 301 245 m² closed area. Now each plant uses geothermal wells on the field as self-inflicted and about 200 l/sec fluid is produced. The majority of the geothermal fluid is lost in the pump outlet or in the transmission line. This situation threatens the field of renewable and sustainable features. Geothermal water waste by preventing by Water Distribution From A Single Resource project, for all facilities approximately 138 l/s of geothermal fluid will produced and the rest of the water will re-injected into the fracture-fractured limestone zones which are appropriate for re-injection.

Keywords: *Kozakli, Thermal Water Distribution Project, Thermal Facility Geothermal Well, Reinjection*

1.Giriş

Nevşehir Kozaklı ilçesi İç Anadolu Bölgesi'nin Orta Kızılırmak bölümünde yer almaktadır. İlçe merkezinin deniz seviyesinden yüksekliği 950 ile 1050 metre arasında değişmektedir. İlçe kuzeyinde Şefaathli (Yozgat), Doğuda Yeni Fakılı (Yozgat), güneyde Hacibektaş ve Avanos (Nevşehir), batıda ise Boztepe ve Mucur (Kırşehir) ilçeleri ile çevrilidir. İlçe Kayseri il merkezine 90 km, Ankara il merkezine 275 km karayolu mesafesinde bulunmaktadır. (Şekil 1).

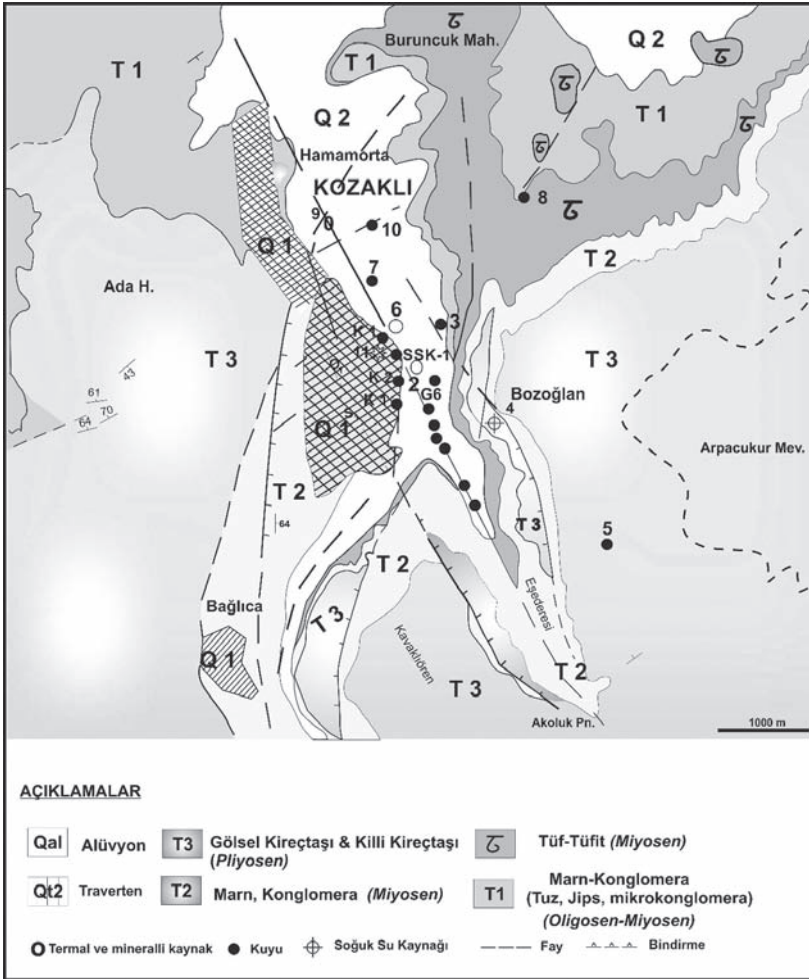
Kozaklı'da jeotermal kaynakların kullanımı Selçuklu dönemine kadar uzanmaktadır. Ancak yerli halk termal kaynaklardan havuzda banyo yapmak şeklinde yararlanmıştır.

2. Sahanın Jeolojik Özellikleri

Araştırma sahasında jeolojik yapı genel hatlarıyla Paleozoik yaşlı şist, kuvarsit ve mermerlerden oluşan temel üzerine Eosen yaşlı kumtaşı, kalker ve marn serisinden meydana gelmektedir (Şekil 2). Yukarıdaki serinin üzerine yer yer Oligosen'e ait jips, silt ve marnlar ile konglomera ve kumtaşı da bulunmaktadır. Neojen yaşlı tuf, ignimbirit, marnlı kalker ve kalkerlerden oluşan bir yapı eski formasyon üzerine gelmektedir. Traverten ve alüvyon örtü ise en üstte bulunan genç oluşumlardır (Soylu, 2003; Akkuş, 2005 ; Kopar, 2008).

Alüvyonlar, Bağlıca dere vadisi tabanında yer alan 4-5 metre kalınlığındaki kil, mil, silt, kum ve çakıl gibi birimlerden oluşmaktadır.

Arazi çalışmalarına göre sıcak akışkan üretebilecek rezervuar kayaların Eosen Kireçtaşları, Paleozoik mermer ve kireçtaşları ile bu rezervuar kayaları kesen fay zonlarıdır. Miyosen ve Oligosen marn ve killeri örtü kaya niteliğinde olup, ısıtıcı etkinliğin Erciyes volkanizması ile yakından ilgili yüksek gradyanlı magma kütlesi olduğu düşünülmektedir (Kara 1991). Kozaklı jeotermal kaynakları günümüzde termal turizm, konut ısıtılması ve seracılık uygulamasında kullanılmaktadır.



Şekil 1. Sahanın jeolojik haritası Özbek (1975) ve Kara (1991)'den değiştirilmiştir.

3. Kozaklı Jeotermal Sularının Genel Özellikleri

Sahadaki jeotermal sular genel olarak Taşlıbıyır sırtının doğu kenarı boyunca uzanan çöküntü tabanındaki KB-GD doğrultulu bir hat boyunca yüzeye çıkmaktadır. Çok farklı noktalardan çıkan bu jeotermal suların sıcaklıkları 40 °C ile 92°C arasında, değişmektedir (Tablo 1). Son yapılan kuyu geliştirme çalışmalarına göre sahadan üretilebilecek güvenli debi yaklaşık 150 lt/sn olarak hesaplanmıştır.

Kaynak verilerine göre hipotermal sular sınıfında yer alan Kozaklı Jeotermal Sahasının rezervuar sıcaklığı 105-125°C olarak silis jeotermometrelerine göre hesaplanmıştır. Kaplıca uygulamalarında yoğun şekilde kullanılan suların Alman Kaplıcalar Birliği Sınıflamasına göre suyun sodyumlu, kalsiyumlu, klorürlü ve radyoaktif özelliklere sahip A ve B grubu şifalı sular sınıfında yer aldığı tespit edilmiştir (Koldemir ve Ergül, 2007).

KAYNAK VERİLERİ			SONDAJ VERİLERİ			KULLANIM
Sıcaklık (°C)	Debi (lt/sn)	Potansiyel (MWt)	Sıcaklık (°C)	Debi (lt/sn)	Potansiyel (MWt)	Termal ve Isıtma (Konut-Sera Isıtma)
40-92	94.2	22.48	95	150	35.79	

Tablo 1. Kozaklı Jeotermal Sahası Tahmini Kapasite

4. Jeotermal Suların Kullanım Şekli ve Termal Tesisler

Bilindiği gibi jeotermal su çevreci, yenilenebilir ve geri basım şartları oluşturulduğunda sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır. Bu termal sular uzun yıllardır Kozaklı halkı tarafından termal tedavi amacı ile kullanılmaktadır. Fakat enerjinin giderek önem kazandığı günümüzde termal turizm yanında, konut ısıtması ve jeotermal seracılık alanında da yoğun şekilde kullanılmaya başlanmıştır.

Kozaklı merkezde yaklaşık 6000 yatak kapasitesine sahip termal tesislerin yanında yaklaşık 1500 KE konut ısıtma ve 100 dönüm sera ısıtılmaktadır. (Tablo 2).

5. Tek Elden Su Dağıtım Projesinin Gerekliği

13 Haziran 2007 tarihinde yayınlanan Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanununa göre “Jeotermal alanların etkin, verimli ve sürdürülebilir kullanımına yönelik öncelikli olarak imar planlarının ve bu planlara bağlı olarak jeotermal su dağıtım projesinin hazırlanması esastır” denilmektedir. Dolayısı ile Nevşehir-Kozaklı Jeotermal sahasında termal akışkanın daha verimli kullanılması ve ihtiyaç fazlası olan termal akışkanın re-enjekte edilmesi büyük önem taşımaktadır.

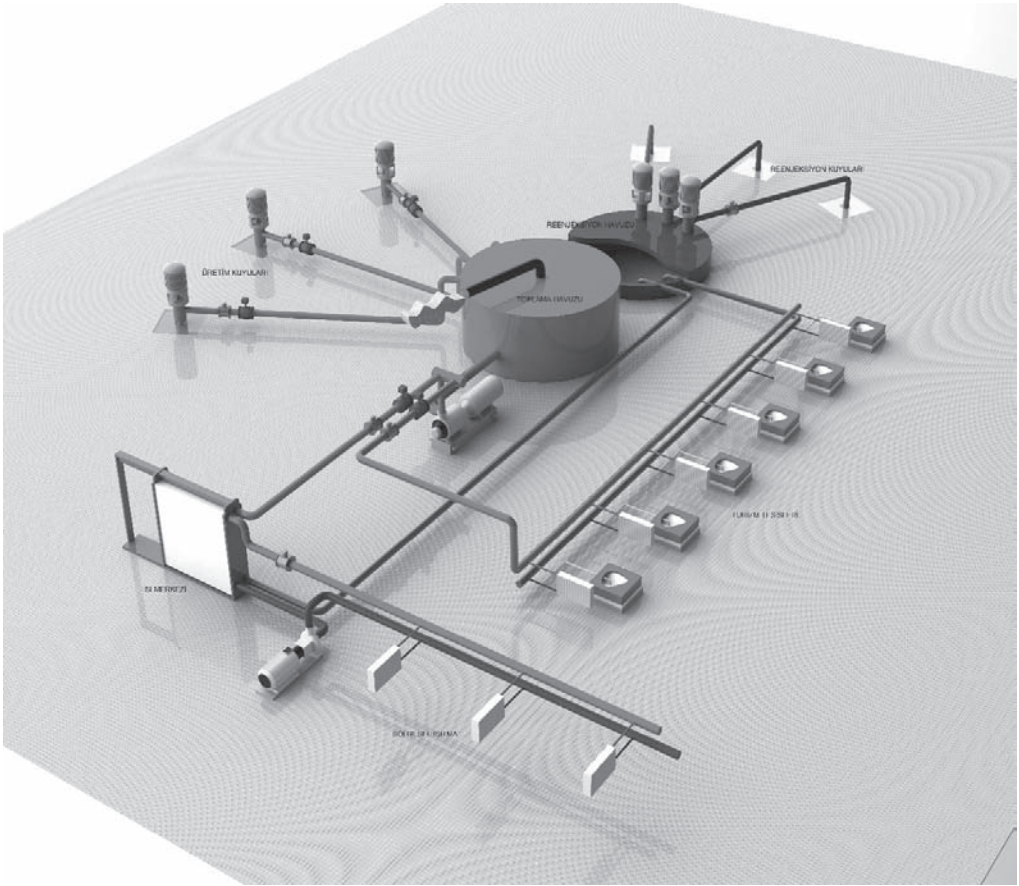
Daha önce Afyonkarahisar Ömer-Gecek jeotermal havzasında başarı ile uygulanan “tek elden su dağıtım” projesi AFJET AŞ. tarafından Kozaklı Havzasında da uygulanmıştır. AFJET AŞ. tarafından yapılan dağıtım projesine göre ø300’lük çelik borularla taşınacak jeotermal su termal tesislerde, konut ısıtma ve termal seracılıkta kullanılacak ve ihtiyaç fazlası geribasım kuyularına gönderilecektir (Şekil 2).

6. Dağıtım Projesi Tasarım Kriterleri

Jeotermal kaynaklı bölgesel ısıtma sistemlerinin tasarlanması ve dağıtımında jeotermal akışkanın genel özelliklerinin dışında sistemin tasarımında ekonomik ve uygulanabilir olması göz önüne alınmalıdır. Bu tasarımda bazı şartlar kısıtlayıcı olarak rol oynarken, bazı kriterlerin ise doğru olarak tespit edilmesi gerekir. Sistemin tasarlanmasında kısıtlayıcı faktörler; akışkanın kompozisyonu, kuyu başı çıkış debisi, akışkanın sıcaklığı, enerji kullanım yoğunluğu, kaynağın derinliği, kuyular arası uzaklık, eşlenik enerji kaynaklarının maliyeti ön plana çıkmaktadır (Gürses, 2003). Tasarım için;

- Kuyu başı ve kuyu içi pompa seçimi
- Jeotermal dağıtım sistemi
- Sıcaklık düşümü
- Sistemin yük faktörü ve toplam ısı yükü
- Son kullanıcı ekipmanları ve ısı değiştiriciler
- Uygun malzeme seçimi

Kozaklı jeotermal sahasında termal akışkanın daha etkin ve verimli kullanılması için hazırlanan dağıtım projesine göre pompajla üretime hazır hale getirilen kuyulardan basılacak termal su yaklaşık 2500 ton/saat kapasiteli toplama havuzlarında toplanarak, burada zararlı gazlardan arındırılarak bir kısmı termal tesislere, bir kısmı ise Kozturtaş ısı merkezine gönderilecektir (Şekil 4). Ø300”lük gidiş-dönüş iki borudan oluşan sisteme göre, termal tesislerin ısı merkezlerinde bulunan eşanjörlere 90°C olarak gönderilen termal su, enerjisi alındıktan sonra, yaklaşık 45°C’ye düşen akışkanın bir kısmı termal havuzlara tedavi için alınıp fazlası re-enjeksiyon (geri-basım) kuyularına gönderilecektir.

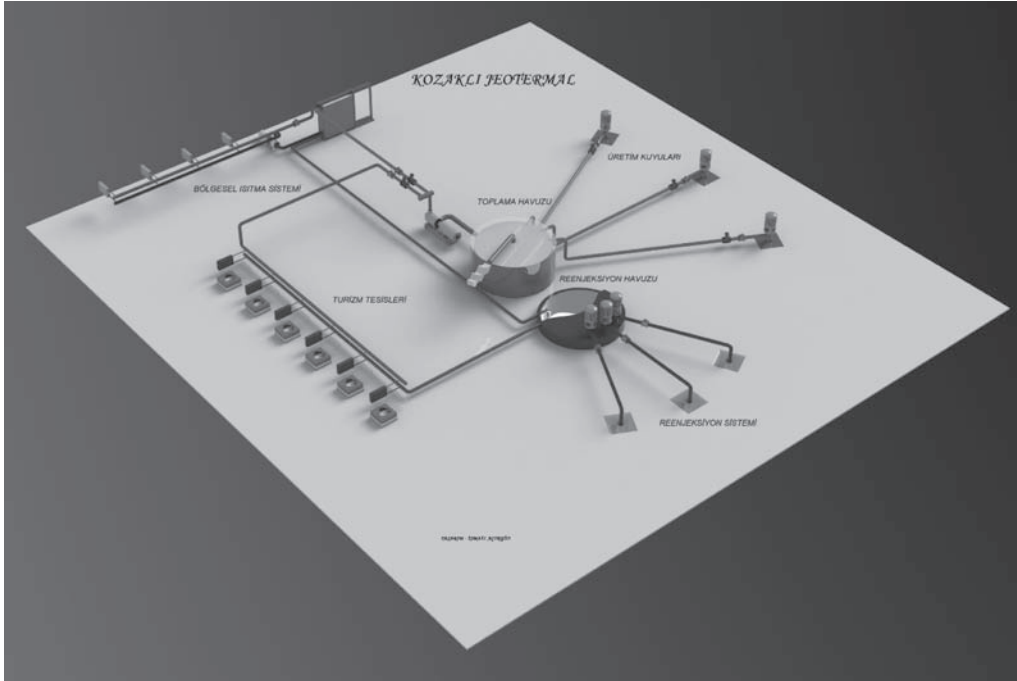


Şekil 2. Nevşehir-Kozaklı Jeotermal Sahası Su Dağıtım Projesi Tasarım Şekli

Projeye temel teşkil eden bilgiler, hizmet verilen mevcut bölgeden elde edilen pratik sonuçlar ve teknik esaslara göre tespit edilmiştir. Mevcut kurulu bölgesel ısıtma sistemi verilerine göre hesaplar yapılacaktır. Isıtma hizmeti verecek bölgesel tesisin kuruluşu, çalışma şartları, enerji aktarılması, enerjinin korunması, birim maliyetlerin ekonomik seviyelerde tutulması, ısı dağıtımının verimliliği ve sürekliliği, arızaların asgari seviyeye indirilmesi ve tamiratların kısa sürelerde gerçekleştirilmesi vs. konular, bölgesel ısıtma sistemi projesinin, temel esaslarını oluşturmaktadır.

Projenin en önemli hususlarından birisi de tesislerin ihtiyacı olan jeotermal su miktarının, bir anlamda da ısıtma hizmeti verileceğinden mevcut hava şartlarında sağlanması gereken yeterli düzeydeki ısı miktarının belirlenmesidir.

Isıtma hizmeti verilen bölgelerdeki binaların yaşı, yapım şartları, ısı yalıtım durumu, inşaat nizamı, kapalı açık balkonları, pencere büyüklükleri, yıpranma durumları, mevcut ısıtma tesisatının yapım şekli, malzemesi, boru kesitleri, kullanımdan ileri gelen yıpranmalar, kireçlenmeler vb. akla gelebilecek bütün etkenlere bağlı olarak, bölgede her türlü bina için, 70 watt/m².sa. birim alan ısı miktarının, Merkez İlçe kış iklimi şartlarında, yeterli olduğu tespit edilmiştir. Bu değerle yapılan hesaplamalarda bölgedeki tesislerin jeotermal kullanım amaçlı jeotermal su ihtiyaçlarının hiçbir dönemde ısıtma için gerekli olandan daha fazla olmadığı tespit edilmiştir. Bu nedenle boru çaplarının ve pompa seçim kriterlerinin tespitinde ısıtma yükleri önem taşımaktadır. Bu değer, bölgesel ısıtma sisteminin, 24 saat sürekli ve verimli çalışması ile gerçekleştirilmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Kozaklı Dağıtım Projesi Tasarım Şekli

Jeotermal suyun üretiminde Nevşehir İl Özel İdaresine ait 4 adet kuyudan faydalanılması planlanmaktadır. Kaç kuyunun çalışacağı ve hangi öncelikle çalışacakları dönemsel jeotermal su ihtiyacına bağlı olarak otomasyon kontrolü ile tespit edilecektir.

Termal suyun taşınmasındaki önemli bir diğer unsur ise taşıyıcı boru seçimidir. Projedeki su sıcaklıkları plastik türevli boru kullanımına izin vermediği için CTP- GRE Epoxy ve çelik alternatiflerinden; diğerlerinin montaj, üretim ve tamir bakım sorunları göz önünde bulundurularak çelik boru seçilmiştir. EN10025-2 ye göre S275JR kalitesinde spiral kaynaklı çelik borular seçilmiştir. Yeraltına dönecek olan boruların tamamı TS EN 253 2009-A1 standartlarına göre paket izolasyonlu olarak üretilecek olup tüm fittingsler ve sabit mesnetler yine TS EN 458 stan-

dartlarına göre yine paket izolasyonlu olarak üretilecek böylelikle ısı kayıpları asgariye indirilecek ve borunun korozyona uğraması engellenmiş olacaktır.

7. Sistemin Çalışma Prensibi

Jeotermal bölgesel dağıtımın ana temelini enerjinin kesintisiz işletmede kalması prensibi oluşturmaktadır. İşletmenin durdurulmasıyla birlikte tekrar sistemin çalışma rejimine oturabilmesi uzun sürmekte ve yeni arızalara yol açabilmektedir. Bunun sağlanabilmesi için arıza vb. gibi durumların oluşmamasının yanında jeotermal enerjinin de kesintisiz ve düzenli olarak üretilebilmesi gerekmektedir. Aynı zamanda dış hava sıcaklığının değişkenliğine göre jeotermal su üretiminin adaptasyonu da gereklidir. Bunu sağlanması jeotermal kuyu pompası sayesinde düzenli üretim ile mümkündür. Otomasyon senaryosunun ve sistemin düzenli çalışması tesislerden başlayarak kuyulara kadar birçok faktörün etkisindedir. Tesisin ana eşanjör ısı transfer kapasitesi sistemin çalışma rejimine uygun olarak seçilmelidir. Tesis girişinde bulunacak olan termostatik kontrollü motorlu vana kullanımı enerji verimliliği açısından önem taşımaktadır. Sistem yatay tek hat üzerine projelendirildiğinden dağıtım merkezinden uzaklaştıkça balans problemlerinin ortaya çıkması muhtemeldir. Ayrıca tesislerin ani pik yük kullanım taleplerinin sistemin kararlılığına etki etmesi de muhtemeldir. Bunun önüne geçilebilmesi için, her bina altında mutlak suretle debi limitleme valfleri konulmalıdır.

Tesis dönüş sıcaklıklarının istenilen sıcaklık değerine yaklaşması ile birlikte motorlu vanalar kısma işlemine başlayacaktır. Böylelikle dağıtım merkezindeki basınç yükselme eğiliminde olacaktır. Ters durumda ise vanalar tam açık pozisyona gelecek ve ısı merkezindeki basınç düşüş eğiliminde olacaktır. Isı Merkezi'ndeki pompaları gidiş kollektöründeki önceden set edilmiş basınç değerine göre devir değişimi suretiyle basınç set değerini sabit tutacaklardır. Buradaki set değerleri sistem karakteristiği ve mevsim verilerine göre operatör tarafından girilecektir. Böylelikle Tesislere gönderilen su debisi değişmiş olacaktır. Motorlu vanaların açma ya da kısma eylemine göre oluşacak basınç değişimleri pompalarının frekans değişimleri ile kontrol edilecek ve böylelikle jeotermal su daha verimli kullanılacaktır. Havuz seviyesi ise sürekli kontrol altında tutulacak ve kuyu pompaları havuz seviyesine göre çalışma devirleri frekans konvertörleri ile ayarlanacaktır.

8-Sonuç

Nevşehir Kozaklı Jeotermal Sahası eski tarihlerden beri jeotermal suyun farklı amaçlarla kullanıldığı önemli sahalarımızdan biridir. Bölgedeki termal tesislerin, bölgesel ısıtmanın ve jeotermal kaynaklı sera tesislerinin hızla artması ile oluşan aşırı su çekimi bölgenin sürdürülebilirliğini tehdit etmeye başlamıştır. Yapılacak olan tek elden su dağıtım projesi ile şu an yaklaşık 200 lt/sn olan jeotermal su kullanımı, 138 lt/sn'ye düşerek %45'e yakın su tasarrufu sağlanacaktır. Bunun yanında kimyasal özelliği bozulmamış olan sadece konut ısıtması ve serada kullanılan akışkan ise re-enjekte edilerek su seviyesi korunacak ve sahanın basınç düşmesinin önüne geçilmiş olacaktır.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

Akkuş, İ., vd., 2005 Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri, MTA Yayınları, Ankara 2005

Çetin, T., 2011, Termal Turizm Potansiyeli açısından Kozaklı (Nevşehir) kaplıcaları. International Periodical For The Languages literature and history of Turkish or Turkie Volume 6/1 Winter 2011. P.899-924, Turkey

- Gürses, A.Ç., 2003 Jeotermal Enerji Semineri Teskon 2003, Shf:119-127
- Kara, H., 1991, Kırşehir G-18 paftası, Türkiye Jeoloji Haritası Serisi. Ölçek 1:100.000, MTA, Ankara.
- Kara, İ., 2007, Nevşehir-Kozaklı K-4 Sondaj Kuyusu Bitirme Raporu. MTA, Ankara.
- Koldemir, M., Ergül , U., 2007, Kozaklı Hidrojeoloji Kaynak-Sondaj ve Kaptaj Teknik Raporu, Yer-Su Mühendislik, Nevşehir.
- Kopar, İ., 2007, Kozaklı (Nevşehir) Jeotermal Sahasında Oluşan Örtü Çökme Dolini'nin (Cover-Collapse Sinkhole) oluşumu ve Sonuçları Bakımından bir Değerlendirme. Türk Coğrafya Dergisi Sayı:49, Shf:73-88, İstanbul, 2007.
- Özbek, T., 1975, Nevşehir-Kozaklı Kaplıcası Hidrojeoloji Etüd Raporu, MTA Rap. No:5441, Ankara, Shf: 1-25.
- Soylu, H., 2003, "Türkiye"de Jeotermal Enerji Uygulamaları ve Kozaklı (Nevşehir) Örneği", Türk Dünyası Araştırmaları Dergisi, S:142 (2003), s. 99-120.

JEOTERMAL ENERJİ POLİTİKASI; RİSKLER, BELİRSİZLİKLER VE JEOTERMAL SİGORTA

Zeynel A. Demirel

Jeotermal Danışman Mersin
(*zdemirel@zeyneldemirel.com*)

ÖZ

Jeotermal enerji araştırma ve geliştirme çalışmaları yüksek risk yatırımlarıdır. Jeotermal geliştirme çalışmalarında kaynaktaki belirsizlikleri aydınlatmak için maliyetleri çok yüksek olan araştırma sondajları yapmadan, yatırıma başlamak oldukça risklidir. Risk özellikle ön araştırma ve araştırma safhasında çok yüksektir, ancak bu çalışmaların maliyetleri yüksek olmamaktadır. Araştırma sondajlarının açılması safhasına gelindiğinde ise belirsizliklerin çoğalması ile maliyetler yükselmekte ve bu esnada risk yüksek düzeyde halen devam etmektedir. Bazı ülkeler politikalarında riskin azaltılması/paylaşılması için fonlar oluşturmuş ve projelerin bu tehlikeli safhaları aşılmaya çalışılmıştır. Jeotermal geliştirme çalışmalarının riskleri; Arama/Araştırma Safhasındaki Riskler, Sondaj Riskleri ve Kaynağın sürekliliği riskleri olarak sıralanabilir.

Jeotermal enerji yatırımları ülkemizde oldukça büyük ve öngörülemeyen riskler içermektedir ve Özel Sektör Yatırımcısını cesaretlendirecek düzeyde geliştirilememiştir. Şu anda olduğu gibi sadece devletin karlı çıktığı bir politika jeotermal enerjinin ülkemizde gelişimini sağlayamaz.

Ülkemizde açılan derin kuyu sayısı çok azdır ve bunlardan elde edilen bilgilerle yer altı jeolojisi tam olarak ortaya çıkartılamamaktadır. Ülkemizde yürürlükte olan yasa ortaya çıkan sorunların çözümünde yetersiz kalmaktadır. Jeotermal yatırımcılar çok büyük ihale bedelleri ile aldığı sahalarda jeoloji kaynaklı riskler ile baş başa bırakılmakta ve risk paylaşılmamaktadır. Bu durumda kazanan sadece devlet olmaktadır, yatırımcılar büyük zararlara uğramakta ve ülkemizde jeotermal sektör gelişimini sürdürememektedir. Yer altı jeolojisindeki belirsizliklerin kaldırılmasını sağlayacak detaylı, amaca yönelik ilave jeofizik araştırma yöntemleri ile Avrupa jeotermal sahalarında olduğu kadar yeterli sayıda araştırma sondajlarının maliyetlerinin bir kısmını devlet tarafından karşılanmalıdır ve jeoloji kaynaklı, sondaj tekniği kaynaklı risklerin tazmin edilebilmeleri gerekir. Oluşturulacak bir fon'dan MTA ve İl Özel İdarelerinin ihalelerden elde ettikleri gelirler kullanılarak "European Geothermal Risk Insurance Fund (EGRIF) benzeri bir sigorta sistemi, Türkiye Jeotermal Risk Sigortası Fonu (TJRSF) kurularak, ortaya çıkan riskler yönetilmelidir.

Jeotermal projelerin finansmanı için gereken sermaye 4-7 mio euro/MWe arasında değişmektedir. Bu miktar diğer tüm yenilenebilir ve konvansiyonel teknolojiler için gerekenden daha yüksektir ve başlıca proje yeri ve uygulanacak teknolojiye bağlı olarak değişir.

Jeoloji kaynaklı başlıca iki grup risk vardır; Yeterince kaynak bulamamak ve kaynağın zaman içinde azalması. Jeoloji kaynaklı bu risklerin telafisi için günümüzde Fransa, Almanya, İzlanda, Hollanda ve İsviçre'de oluşturulmuş fon'lar mevcuttur.

Ülkemizde de jeotermal enerji yatırımlarının önünün açılması ve hız kazandırılması için özel sektörün desteklenmesi gereklidir, bu nedenle araştırma safhasının ve özellikle araştırma sondajlarının sigorta altına alınması gerekir, bunun için oluşturulacak EGRIF (Avrupa Jeotermal

Risk Sigortası) benzeri bir sigorta fonu kurulmalı ve bu fon öncelikle İl Özel İdarelerinin ve MTA Genel Müdürlüğünün ihalelerden elde ettiği gelirlerle finanse edilmelidir. Ayrıca açılan jeotermal kuyular kısa (kuyunun açılmaması) ve uzun süreli riskler (üretimde azalmalar) için garanti altına alınmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Jeoloji riskleri, sondaj riskleri, jeotermal risk sigortası

GEOTHERMAL ENERGY POLICY; RISKS, UNCERTANITIES AND GEOTHERMAL INSURANCE

Zeynel A. Demirel

*Geothermal Consultant Mersin
(zdemirel@zeyneldemirel.com)*

ABSTRACT

Geothermal exploration and development is an acknowledged high-risk investment. The risk in geothermal development is the uncertainty associated with a natural resource that cannot readily be observed or characterized without relatively large expenditures for drilling. The risk is greatest during the Preliminary Surveying and Exploration Phases, but in that part of the project the expenditures are relatively low. Moving forward to the test drilling phase requires an accelerated level of expenditure while there is still a high level of uncertainty and high risk. Risk mitigation funds have been established in some countries to assist projects through this phase. The risks in geothermal development are exploration risks, test drilling risks and resource degradation risks.

Geothermal market in Turkey is also a high-risk investment and does not encourage the private investors. Through current geothermal energy policy in Turkey only government is remunerative and this policy cannot provide the development. The number of deep wells is limited and correspondingly the underground geology is mostly unclear. The geothermal energy law is insufficient for current problems. Geothermal investors paid big prices for the licenses and they stay alone with the geological risks and these risks are not shared. Consequently only government is remunerative, investors are meeting with a loss and geothermal market cannot move on.

Government has to support the geophysical explorations and finance the deep drillings at the beginning phase as is in Europe. For the managing these risks, a fund has been established as is EGRIF (European Geothermal Risk Insurance Fund).

Geothermal development requires 4-7 mio Euro/MWe capital. This is much higher than the other renewable energy types.

There are two kind of geological risks; one of them is insufficient resource and the other related with sustainability. For these kinds of risks there are some funds in France, Germany, Iceland, Netherland and Switzerland.

Private investors have to be supported for a sufficient development in Turkey. Therefore risk mitigation funds have been established to assist projects through these risks.

Keywords: *Geological risk, drilling risk, sustainability risk*

GİRİŞ

Jeotermal enerji araştırma ve geliştirme çalışmaları yüksek risk yatırımlarıdır. Jeotermal geliştirmede kaynaktaki belirsizlikleri aydınlatmak için maliyetleri çok yüksek olan araştırma sondajları yapmadan yatırıma başlamak oldukça risklidir. Tüm elektrik üretim santrallerinde mevcut riskler jeotermal santraller için de geçerlidir buna ilave olarak jeotermal santraller için özel bazı riskler de mevcuttur. Jeotermal aramalarda risk, özellikle ön araştırma ve araştırma safhasında çok yüksektir, fakat bu çalışmaların maliyetleri yüksek olmadığından tahammül edilebilir sınırlar içinde kalmaktadır. Araştırma sondajlarının açılması safhasına gelindiğinde ise belirsizliklerin çoğalması sonucu maliyetler yükselmekte ve bu esnada risk yüksek düzeyde halen devam etmektedir. Araştırma sondajlarının açılmasındaki bu yüksek maliyet ve büyük risk dünyanın her yerinde jeotermal yatırımların önünde her zaman bir engel oluşturmaktadır. Bazı ülkeler yasalarında, riskin azaltılması/paylaşılması için fonlar oluşturmuş ve projelerin bu tehlikeli safhaları aşılına çalışılmıştır. Oluşturulan bu fonlar özel sektör yatırımlarının öngörülen sürede geri dönüşünü sağlamaya yöneliktir.

ARAMA/ARAŞTIRMA SAFHASINDAKİ RİSKLER

Sondajlara başlamadan önce, arama/araştırma çalışmalarının kalitesi yatırımcı açısından, yatırımının öngörülen sürede geri dönüşü için kritik bir faktördür. Jeoloji ve jeofizik yöntemlerin yeterince uygulanmasıyla kaynak sıcaklığı, rezervuar derinliği, üretim miktarı ve sürdürülebilirlik ile ilgili riskler minimize edilebilmektedir.

JEOTERMAL PROJELERDE JEOLOJİ RİSKLERİ

Jeotermal enerji aramalarında jeoloji kaynaklı başlıca iki grup risk vardır;

- Yeterince kaynak bulamamak kısa süreli risk
- Kaynağın zaman içinde azalması uzun süreli risk

Jeoloji kaynaklı bu risklerin telafisi için günümüzde Fransa, Almanya, İzlanda, Hollanda ve İsviçre’de oluşturulmuş bazı fon’lar mevcuttur. Bu fonlar vasıtasıyla jeoloji kaynaklı bu risklerin aşılmasında yatırımcı teşvik edilmektedir. Ülkemizde ise sadece elektrik üretimine geçilebildiğinde bazı teşvikler söz konusu olmaktadır. Bu teşvik ise ülkemizde olduğu gibi bazı Avrupa ülkelerinde de mevcuttur. Yüksek tarife alım garantisi gibi. En yüksek fiyat İsviçre’de olup fiyat ct 33 euro/kWh’tır. Bu fiyat Almanya için ct 25 euro/kWh kadardır, ancak EGS projeleri için buna ek olarak ct 5 euro/kWh verilmektedir.

JEOTERMAL PROJELERDE SONDAJ RİSKLERİ

Araştırma sondajlarının başlıca hedefi kaynağın projeye uygunluğunun onanmasıdır. Bu nedenle araştırmanın başlangıç safhalarında bile sondajlı arama yöntemleri uygulanmaktadır. Bu sondajlar ile rezervuar karakteristikleri, akışkan özellikleri ve rezervuar geometrisi, dolayısıyla sahanın potansiyeli ortaya konulur. Jeotermal rezerv için önemli bilgilerin toplandığı bu yöntemin yeter sayıda sondajdan alınması gerekir. Ülkemizde bir çok sahada olduğu gibi tek bir sondajdan elde edilen sonuçlar ile projelendirmeler gelecekte önemli olumsuz sonuçlara neden olabilir.

Sondaj aktiviteleri önemli riskler içerir. Söz konusu riskler sondaj kondisyonunun bir fonksiyonudur, lojistikte (lokasyon hazırlama, yol açılması, makinenin taşınma ve yerleştirilmesi, donanım ve servislerin zamanında temini vb) sırasında bir çok risk söz konusudur ayrıca tek-

nik konulara (makine ve pompaların kapasitesi, formasyon özellikleri, litoloji, kuyu stabilitesi, sondaj esnasında yaşanabilecek basınç değişimleri, yıkıntılar vb) bağlı çok çeşitli riskler de söz konusudur. Bu risklerin hemen tümü ülkemizde açılan kuyularda ortaya çıkmakta ve yatırımcıyı finansal açıdan zora soktuğu gibi projenin gecikmesine de neden olmaktadır.

Ülkemizde MTA Genel Müdürlüğü tarafından ihale edilen bir çok jeotermal saha, araştırma safhasında açılan tek bir kuyu ile belirlenmekte ve yatırımcı karşılaştığı jeoloji kaynaklı riskler sonucu yatırımdan cayabilmektedir.

Araştırma safhasında açılması gereken sondajların sayısı projelere göre değişebilmekle beraber her saha için en azından 3 adet araştırma kuyusunun açılması santral ve finansman risklerinin azaltılması için gereklidir.

KAYNAĞIN SÜREKLİLİĞİ

Jeotermal santral projeleri uzun süreli altyapı yatırımlarıdır ve tipik olarak 30 yıl tasarım ömrüne sahiptirler. Bu durumda kaynağın da bu uzun süre için sürdürülebilir özellikte olması gerekir. Kaynak sürekliliğinde olabilecek riskler;

- Üretim miktarında öngörülenden fazla düşüş,
- Rezervuarda zamansız soğuma (enjekte akışkandan kaynaklanabilir, yeraltı suyu karışımlarından olabilir)
- Ters kimyasal etki (kondanse olmayan gaz miktarında artış, rezervuar fizikokimyasal koşullarında değişimler, kabuklaşma vb)

Ülkemizde hemen tüm sahalarda bu riskler yaşanmaktadır. Kuyu üretiminde düşüş yaşandığında açılacak telafi kuyuları ek maliyetler gerektirecektir.

RİSKLERİN AŞILMASI İÇİN JEOTERMAL POLİTİKANIN TEMELİ NASIL OLMALIDIR?

Jeotermal enerji kullanımı, yenilenebilir bu kaynaktan stabil ve emniyetli enerji temini demektir. Jeotermal enerji, diğer yenilenebilir kaynaklardan rüzgâr, su ve güneş enerjilerinin aksine her saat diliminde ve her mevsimde kullanılabilir olmasıyla avantaj kazanan bir enerji kaynağıdır. Sürdürülebilir bu özelliği ve çevre dostu olmasıyla yenilenebilir enerji kaynakları içinde en önde yer almaktadır. Yapılan tahminler yer kabuğunun 3 km derinlikte sunduğu enerji potansiyelinin insanlığın 100000 yıllık enerji ihtiyacını garanti altına aldığı şeklindedir. Jeotermal enerji yatırımlarının dezavantajlarından biri, derin sondajlar, santral ve türbin maliyetlerinin büyüklüğü ve sondajlarda ortaya çıkan risklerdir.

Jeotermal market ülkemizde henüz oldukça büyük ve öngörülemez riskler içermekte ve tam olarak Özel Sektör Yatırımcısını cesaretlendirecek düzeyde geliştirilememiştir. Şu anda olduğu gibi sadece devletin karlı çıktığı bir politika jeotermal enerjinin ülkemizde gelişimini sağlayamaz. Jeotermal ihaleler ve yatırımlar dolar bazında yapılmaktadır ve son aylarda dolar kurunda yaşanan artışlar maliyetleri yaklaşık %50 oranında arttırmıştır. Özel sektör, yatırımlarının kısa sürede geri dönüşünü ister. Jeotermal politikamızın temelinde bazı değişikliklerin yapılması gereklidir;

1. Öncelikle Avrupa Topluluğunda olduğu gibi elektrik üretimi ile ilgili teşviklerin devam etmesi gereklidir. Yenilenebilir kaynak olması nedeniyle devletin satın alma garantisi var ve 13.2 cent\$/kWh ödeme yapmakta.

2. Sahaların hemen tümünde yer altı jeolojisinin tam olarak ortaya konulabilmesine olanak sağlayacak sayıda araştırma sondajları mevcut değildir. Ayrıca birçok sahada jeofizik yöntemler de ayrıntılı ve tam olarak uygulanmamış/sondajlarla denetlenmemiştir. Bu eksikliklerin giderilmesi oldukça yüksek maliyet getirmekte, Özel Sektör yatırımcılarının boyutunu zorlamakta ve araştırma/arama sonuçlarındaki belirsizlik ve riskler yatırımcının ilgisinin gittikçe azalmasını sonuçlandırmaktadır. Görevi ülkemizin yer altı kaynaklarını arama, ekonomiye katma olan MTA Genel Müdürlüğü'nün jeotermal ihalelerden para kazanma hedefi yerine bilgi birikimini ve bütçeden aldığı kaynakları bu eksiklikleri gidermeye yönlendirmelidir.

Ülkemizde yürürlükte olan yasa ortaya çıkan sorunların çözümünde yetersiz kalmaktadır. MİGEM, İl Özel İdareleri ve kısmen MTA Genel Müdürlüğü yasanın uygulanmasında gerekli kurumsal yapıyı oluşturamamıştır. İl Özel İdarelerinin rezervuar sınırlarını dikkate almadan sahaları ruhsatlandırmaları ve ihale etmeleri, MTA Genel Müdürlüğü'nün aynı şekilde rezervuarı dikkate almadan sahalarda açtığı tek kuyu ile sahaları ihale etmesi kısa sürede ülkede bir karmaşa oluşturmuş ve çözülmesi mümkün olmayan sorunları ortaya çıkartmıştır. Devlet yarattığı bu karmaşayı çözmek için yine aynı kurumları uzman olarak işaret etmektedir. Ayrıca yasada arama ruhsatları için öngörülen süre oldukça kısadır, İl Özel İdareleri faaliyetleri denetleyebilecek durumda değildir, Özel Sektör bu kısa süreyi aşabilmek için yeterince etüt yapmadan açılan çoğu göstermelik kuyular ile işletme ruhsatları almaktadır. Devamında potansiyeli belirlenmemiş sahalarda alınan işletme ruhsatları için verilen işletme projeleri de gerçeklerden uzak, sanal projeler olarak devlet arşivlerinde yer almaya devam etmektedir. Ciddi jeotermal yatırımcılar ise devlet tarafından alınan çok büyük paralar karşılığı aldığı sahalarda çoğu jeoloji kaynaklı riskler ile baş başa bırakılmakta ve risk paylaşılmamaktadır. Bu durumda kazanan sadece devlet olmaktadır, yatırımcılar büyük zararlara uğramakta ve ülkemizde jeotermal sektör gelişimini sürdürmemektedir. Her yıl alınan faaliyet raporlarında bir bilgi bankası dahi oluşturulamamıştır. Bilgiler denetimsiz ve işlenmemiş şekliyle Özel İdare ve MTA raflarında biriktirilmeye devam etmektedir.

Elektrik üretimine uygun olduğu öngörülen sahalardan başlamak üzere; yer altı jeolojisindeki bu belirsizliklerin kaldırılmasını sağlayacak detaylı, amaca yönelik ilave jeofizik araştırma yöntemleri ile Avrupa jeotermal sahalarda olduğu kadar yeterli sayıda araştırma sondajlarının maliyetlerinin bir kısmı devlet tarafından karşılanmalıdır. Bu sahalarda açılan araştırma/arama kuyuları ilerde üretim/reenjeksiyon kuyularına dönüştürülürse Özel Sektör yatırımcısından maliyetlerin bir kısmı talep edilebilir. Bu çalışmalar için finansman TÜBİTAK ya da Sanayi ve Yatırımlar Bakanlığı aracılığı ile sağlanması en doğru ve tarafsız yol olacaktır.

Jeoloji kaynaklı, sondaj tekniği kaynaklı risklerin tazmin edilebilmeleri gerekir. Oluşturulacak bir fon'dan MTA ve İl Özel İdarelerinin ihalelerden elde ettikleri gelirler kullanılarak "European Geothermal Risk Insurance Fund (EGRIF) benzeri bir sigorta sistemi, Türkiye Jeotermal Risk Sigortası Fonu (TJRISF) aracılığı ile ortaya çıkan riskler yönetilmelidir.

JEOTERMAL PROJELERİN FİNANSI

Jeotermal projelerin finansmanı için gereken sermaye 4-7 mio euro/MWe arasında değişmektedir. Bu miktar diğer tüm yenilenebilir ve konvensiyonel teknolojiler için gerekenden daha yüksektir ve başlıca proje yeri ve uygulanacak teknolojiye bağlı olarak değişir. Gereken sermayenin büyüklüğünde açılması gerekli sondaj sayısı ve sondajların derinliği önemli rol oynar. Örneğin

20 MWe kurulu güce sahip bir proje için;

- Jeoloji ve jeofizik araştırmalar 1-2 mio euro
- Araştırma sondajları 20-30 mio euro
- Üretim/Reenjeksiyon sondajları 30 mio euro
- Saha geliştirme 50-60 mio euro
- Santral maliyeti 30-60 mio euro

Bu tabloda ilk iki sıra risklerin azaltılması için gereken arama/araştırma maliyetlerini oluşturur.

- Diğer bir örnek 5 MWe EGS (Enhanced Geothermal System) için şöyledir;
- Planlama, danışmanlık,proje, sigorta 2-10 mio euro
- Jeoloji ve jeofizik araştırmalar 1-7 mio euro
- Sondaj ve stimulation 20-30 mio euro
- Saha geliştirme 25-50 mio euro
- Santral 10-15 mio euro

FON MEKANİZMASI

Bir jeotermal projenin geliştirilmesi en iyi koşullarda 3-6 yıl devam eder.

YIL	1	2	3	4	5	6	7	8
Arama/araştırma	x	x						
Araştırma sondajları		x	x					
Üretim sondajları			x	x	x			
Mühendislik/santral						x	x	
Operasyon								x

Avrupa Topluluğu jeotermal projelerde arama/araştırma, geliştirme ve uygulama için 2012 yılına kadar FP6 ve FP7 aracılığı ile 29.4 milyar euro destek sağlamıştır. Fotovoltaik piller için destek jeotermalin 10 misli kadardır.

JEOTERMAL FİNANS MEKANİZMALARI İÇİN ÖNERİLER

Jeoloji kaynaklı riskler için bölgesel jeoloji-tektonik özellikler dikkate alınmalıdır. Elektrik üretimine uygun sahaların en iyi ve doğru şekilde ortaya konulması devletin görevi olmalıdır. Sahalarda açılan tek kuyu ile sahalar ihaleye çıkartılmamalıdır. İhale raporlarında bilgiler doğru olmalı, sahanın sorunları, açılan kuyularda yaşanan sıkıntılara yer verilmeli ve Özel Sektör yaşayabileceği sıkıntılar konusunda yeterince uyarılmalıdır. Devlet ihalelerden para kazanmayı amaçlamak yerine jeotermal enerjinin Özel Sektör marifetiyle geliştirilmesini hedeflemelidir.

Oluşturulacak bir Jeotermal Bilgi Bankası içinde hem devlet hem de Özel Sektör tarafından açılan kuyulardan toplanan bilgiler bir sistematik içinde biriktirilmeli ve diğer kullanıcılara ücret karşılığı bu bilgiler paylaşılmalıdır.

AVRUPA JEOTERMAL RİSK SİGORTASI (EGRIF) İÇİN YÖNELİMLER

Derin jeotermal sondajlarda risklerin üstesinden gelebilmek ve jeotermal yatırımların sürdürü-

lebilirliği için daha 1996 yılında Almanya Bayern Eyalet Hükümeti, bu tarihte 20 yıldır süren araştırmaların kesintiye uğramaması için Straubing’te açılan bir jeotermal sondajda riskin bir kısmını üstlenmiştir. Bu sondaj için başarısız ya da kısmen başarısız olma riski için en fazla 4 mio Alman Markı olacak şekilde maliyetin %75’ini sigorta altına almıştır.

EGRIF için gerekçe; halen çok az sayıda jeotermal santral olduğundan istatistiksel bir başarı oranından bahsedilemediği ve Jeotermal yatırımcıların bu nedenle bir sigorta gereksinimlerinin olduğu şeklindedir. Aynı durum ülkemiz için de geçerlidir.

Ülkemizde jeotermal enerji yatırımlarının önünün açılması ve hız kazandırılması için özel sektörün desteklenmesi gereklidir, bu nedenle araştırma safhasının ve özellikle araştırma sondajlarının sigorta altına alınması gerekir, bunun için oluşturulacak EGRIF benzeri bir sigorta fonu öncelikle İl Özel İdarelerinin ve MTA Genel Müdürlüğünün ihalelerden elde ettiği gelirlerle finanse edilmeli. Ayrıca açılan jeotermal kuyular kısa (kuyunun açılmaması) ve uzun süreli riskler (üretimde azalmalar) için garanti altına alınmalıdır.

KAYNAKLAR

Best Practices Guide for Geothermal Exploration (2014); IGA (International Geothermal Association) Service GmbH

Dietrich Kramm (1998); Erneuerbare Energien in Bayern- Die Politik des Freistaates Bayern; Geothermie: Forschung-Entwicklung Markt-Tagungsband, 5. Geothermische Fachtagung, 12-15 Mai 1998, Straubing-Deutschland

Enerji Panorama (Nisan 2015); Türkiye Enerji Vakfı, Yıl 2, Sayı 22

Geothermal Exploration Best Practices (2013): A Guide to Resource Data Collection, Analysis, and Presentation for Geothermal Projects, IGA (International Geothermal Association) Service GmbH

COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ

GEDİZ GRABENİ İÇİN CBS TABANLI JEOTERMAL POTANSİYEL DEĞERLENDİRME

Hüseyin Uytun¹, Kerem Oğuz², Volkan Deniz¹

¹Manisa Valiliği Yatırım İzleme Koordinasyon Başkanlığı,
Akmescit Mah. İzmir Cad. 311 45001 Yunusemre/Manisa

²Salihli Belediyesi, Zafer Mh. Kurudere Caddesi, Salihli/Manisa
(huytun@gmail.com)

ÖZ

Çalışmanın amacı sayısal veri modeli geliştirerek Gediz Grabeni'nin jeotermal verilerini yorumlamak ve CBS aracılığıyla jeotermal potansiyelini tahmin etmektir. Çalışma alanı olan Gediz Grabeni Manisa İli'ndedir. Türkiye'nin Batı kısmında yer alan Gediz Grabeni jeolojik özelliklerinden dolayı zengin jeotermal kaynaklara sahip olmasına karşın "Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu" ve ilgili uygulama yönetmeliğinin yürürlüğe girmesine kadar sınırlı kalmıştır. Kanun ve ilgili yönetmeliğin yürürlüğe girmesinin ardından elektrik üretimi amaçlı faaliyetler hızlanmıştır. Hızlı gelişmeye bağlı olarak jeotermal faaliyetlerde birtakım sorunlar çıkmıştır. ancak kaynakların verimli ve güvenli aranmasında, işletilmesinde birtakım sorunlar yaşanmış, entegre kullanım yaygınlaştırılmamıştır. Jeotermal kaynakların verimli, bir şekilde kullanılması tüm grabende doğru veri sağlanması ve bu verinin doğru şekilde işlenmesi ile mümkündür. Jeotermal faaliyetlerin etkin ve güvenli bir şekilde işletilmesi ve denetlenmesi için çok değişik tipte ve büyük miktardaki verinin bir arada depolanması ve değerlendirilmesi coğrafi bilgi sistemlerinin kullanılması ile mümkün olacaktır. Bu amaca uygun bir coğrafi veri tabanı oluşturularak işletme sahipleri ve özellikle denetleme kurumları tarafından kullanılacak ortak bir araç geliştirilmiştir. Geliştirilen bu araç jeotermal potansiyelin değerlendirilmesini sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal, CBS, sayısal veri

GIS BASED GEOTHERMAL POTENTIAL ASSESSMENT FOR GEDİZ GRABEN

Hüseyin Uytun¹, Kerem Oğuz², Volkan Deniz¹

¹Manisa Governorship Investment Monitoring and Coordination Directorate

*²Salihli Municipality
(huytun@gmail.com)*

ABSTRACT

The aim of the study is to develop a digital data model and to interpret Gediz Graben's geothermal data and to estimate geothermal potential via GIS. The case study is conducted in the Gediz Graben, Manisa Province. Gediz Graben is located in the western part of Turkey, despite having rich geothermal resources due to the geological characteristics its geothermal resources utilization has been restricted to balneology, greenhouses and districted heating systems until geothermal "Law on Geothermal Resources and Natural Mineral Waters" and its Implementation Regulations released. Exploration of geothermal resources for electricity generation is increased after the Law on Geothermal releasing. Depending the rapid geothermal exploration some issues occurred. Resource efficient and safe exploration, exploitation in the number of problems experienced, integrated use has not spread. Geothermal resources are efficiently used in a way to ensure accurate data, and this data is possible with all graben be handled correctly. Efficient operation of many different types of geothermal and for monitoring and storing a combination of large amounts of data and evaluation will be possible through the use of geographic information system. Business owners by creating a favorable geographical database was developed specifically for this purpose and a common tool that can be used by supervisory authorities. This tool will allow improved assessment of the geothermal potential.

Keywords: *Geothermal, GIS, digital data,*

JEOTERMAL ARAMALARDA KULLANILAN DÜŞEY ELEKTRİK SONDAJİ METODU İÇİN QGIS EKLENTİSİ (QRES)

Halil Bölük, M. Erkan Karaman

*Akdeniz Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Konyaaltı, ANTALYA
(halilboluk@akdeniz.edu.tr)*

ÖZ

Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) gelişen teknoloji ile birlikte başta akademik çalışmalar olmak üzere hayatın her noktasında yerini almaktadır. Yere bağlı olarak yürütülen her çalışmada elde edilen verilerin koordinatlı bir şekilde kaydedilmesi ilk şarttır.

Jeotermal arama çalışmalarında kullanılan jeofizik yöntemlerden Düşey elektrik sondajı (DES), en eski ve en yaygın çalışmalardan biridir ve çoğunlukla arazide kâğıt üzerine kayıt alma ve elle grafik çizme yöntemi ile çalışılır. Bu veriler büro çalışmalarında ya elle yapılan çakıştırma yöntemleri ile ya da yorumlama programları aracılığı ile veriler değerlendirilir. Elde edilen sonuçlarla yine bilgisayar ortamında görünür öz direnç kesitleri ve eşdeğer derinlik haritaları oluşturulur. Yani CBS çalışmaları dolaylı olarak gerçekleştirilir ve bazen hassasiyet, veri kayıpları ve kayıt hataları ile işlem yapılır.

Yukarıda bahsedilen problemleri çözmek için bir verilerin direkt olarak CBS sistemine girilmesi gerekliliği öngörülerek, açık kaynak kodlu Quantum GIS (QGIS) isimli CBS programına bir eklenti yazılmasına karar verilmiştir. Farklı amaçlar için birçok eklenti kütüphanesi bulunan bu program, CBS yazılımları tarafından kullanılan birçok dosya formatı ile çalışabilmektedir. Ayrıca QGIS Linux, Windows ve Android işletim sistemlerinde sorunsuz çalışmaktadır. Yazılacak olan bu eklenti ile veri ve zaman kaybının önüne geçilmesi amaçlanmaktadır. Eklentinin temel mantığı birkaç adımda aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Alınacak ölçüye ait bilgiler (ölçü numarası, adı, derinliği vs.) girilir.
- Seçime bağlı olarak GPS aracılığı ile ya da manuel olarak konum elde edilir.
- Eğer harita katmanı girilmişse ilgili haritada konumlandırma yapılır.
- Alınan her ölçüme ile birlikte ölçü güzergâhı harita üzerinde çizilir.
- Sonuç R1D, IPI2WIN gibi yorumlama programları ile uyumlu çıktılar halinde kaydedilebilir.
- Yorumlanan veri tekrar program içerisinde aktararak görünür öz direnç kesitleri, elektrik yapı kesitleri ve istenen derinlikler için eşdeğer haritaları üretilebilir.

Sonuç olarak; bu çalışma kapsamında yukarıda bahsedilen problemleri çözmek için QGIS programına QRES adı ile bir eklenti geliştirilmiştir. Bu eklenti sayesinde elde edilen bilgiler veri toplama ile eş zamanlı olarak bilgisayar ortamına aktarılacaktır ve çalışma alanına ait tüm veriler aynı anda görüntülenebilmektedir. Böylece hata payı ve veri kaydı için harcanan zaman azaltılmaya çalışılmıştır. Ayrıca eklenti içerisine QGIS programında mevcut olup jeotermal aramalarda kullanılması planlanan bazı eklentiler için kısa yollar tanımlanmıştır. Daha önce yazarlar tarafından Eldivan (Çankırı)'da yapılan jeotermal sistem araştırması verileri girilerek de sistem test edilmiş ve olumlu sonuç alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: CBS, jeotermal arama, jeofizik, düşey elektrik sondajı, qgis

A QGIS ADDON (QGIS) FOR VERTICAL ELECTRICAL SOUNDING METHOD USING ON GEOTHERMAL RESEARCH

Halil Bölük, M. Erkan Karaman

*Akdeniz University, Department of Geological Engineering, Konyaaltı, ANTALYA
(halilboluk@akdeniz.edu.tr)*

ABSTRACT

Geographical Information System (GIS) is taking place on all over life notably academic researches by help on technological development. Saving data with a location info is the most important element of GIS for ground based studies.

Vertical Electrical Sounding (VES) is one of the oldest and most widely used geophysical methods in geothermal researches and researches uses paper based data logging and hand-drawn graphics on field generally. These data are interpreted using hand-made overlay methods or special interpretation software. Gathered results are used to create pseudo-resistivity sections and isogram maps for different depth. In other words, all GIS studies are made with an indirect way and this way can cause some resolution errors, data loss and data errors.

It was decided to create a QGIS add-on to solve problems that described above. This add-on provides logging data with directly to GIS. QGIS has a very rich add-on library for different purposes and it is compatible. In addition QGIS runs compatibly with Linux, Windows and Android. This study aims to preclude losing data and time with created add-on. The basic logic of this add-on can be described like below:

- *General info are saved like number and name of point.*
- *Position is saved by device's GPS hardware or manually (optional).*
- *Positioning is made on map if there is any map layer.*
- *Measuring profile is drawn with continuing process.*
- *Results can be saved in compatible format of RID, IPI2WIN or other software.*
- *Interpreted data can be import and pseudo-resistivity section, electrical – structural section and/or isograph maps can be create with this add-on.*

As a result of this study; an add-on is developed named QRES for QGIS software to solve some problems that described above. Consequently this add-on is made possible logging data to PC simultaneously with study and displaying all data at once. Also some shortcuts added to make easy some process with existing add-on in QGIS library. Created add-on is tested with data from a research in Eldivan (CANKIRI) conducted by authors and derived positive results.

Keywords: *GIS, geothermal research, geophysics, vertical electrical sounding, qgis*

JEOTERMAL SAHA ARAMALARINDA AÇIK KAYNAK KODLU CBS VE UZAKTAN ALGILAMA YAZILIMLARI KULLANIMI

Can Ayday¹, Hasan Ünal²

¹Coğrafi Veri Modelleme San. ve Tic. Ltd. Şti.,

Anadolu Üniversitesi, ETGB Teknoparkı, Kat:2 No:213 Tepebaşı/Eskişehir

²Jeokim Kimyasal Etüd Proje Dan. Jeotermal Çevre Mühendislik Lab. Hiz. San ve Tic. Ltd. Şti.

Barış Manço Cad. 1388 Sok. No:52/4 Balgat-Çankaya/Ankara

(cayday@cvm.com.tr)

ÖZ

Jeotermal enerji yerkürenin iç ısısı olarak tanımlanır. Bu ısyı yeryüzüne taşıyan en önemli unsur yeraltısuyudur. Yeraltısuyunun yüzeye çıkması jeotermal kaynakları oluşturur. Her yerde jeotermal kaynaklar açık şekilde bulunmaz. Bu gibi yerlerde öncelikle jeotermal saha aramaları gündeme gelmelidir. Jeotermal saha jeotermal rezervuarın üzerinde bulunan alana verilen isim olarak tanımlanır. Jeotermal saha olacak yerlerin bulunması, belirlenmesi bu konuda yapılacak çalışmaların başında gelir. Bu çalışmaların başında, jeotermal saha olabilecek bölgenin uydu görüntülerini kullanmak gelir. Uydu görüntüleri ile sahanın çizgisellik haritaları çıkartılarak jeotermal saha olasılıklarının yüksek olduğu yerler belirlenir. Bu amaçlı kullanılan uydu teknolojisindeki gelişmeler ile günümüzde jeotermal saha olma özelliğine sahip jeolojik birimlerin kısa sürede ayırt edilmesi ve toprak ısı haritalarının hazırlanması sağlanır. Jeotermal saha aramalarının bir sonraki aşaması ise, yüksek olasılığa sahip yerlerde gaz ölçümleri yapmak ve bu ölçümlere ait çok sayıda veriyi yorumlamak olmalıdır. Bu tür çalışmalar yapmadan, sahanın jeotermal özelliği konusunda bilgi sahibi olmadan ayrıntılı ve pahalı sondaj çalışmalarına girmek, çoğu kez başarısızlığı beraberinde getirir.

Sahadan çok sayıda değişik özelliklere sahip veri toplanması ve bu verilerin anlamlı bilgiye dönüşümü için kullanılan güçlü yöntem ise Coğrafi Bilgi Sistemleridir. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile kısa süre içinde çok sayıda konumsal veri analiz edilebilir ve yorum yapılabilir.

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri konusunda kullanılan yazılımların Açık Kaynak Kodlu yazılımlar olması çok sayıda kullanıcının bu yöntemi kullanmasını sağlayacaktır. Bunun nedenleri arasında bu yazılımların analiz olanaklarının yüksek olmasının yanı sıra, lisans ücretlerinin olmamasıdır.

Bu çalışmada Çanakkale İli güneyinde kalan bölge jeotermal saha açısından Uzaktan Algılama (UA) ve araziden elde edilen gaz ölçüm değerleri Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yöntemleri ile değerlendirilerek yorumlanmıştır. Sonuçta, bu bölgenin jeotermal saha olma olasılığı araştırılmıştır. Bu çalışmalarda açık kaynak kodlu UA ve CBS yazılımları kullanılmıştır. Jeotermal saha arama çalışmalarında Açık Kaynak Kodlu UA ve CBS yazılımları ile yapılan analiz sonuçlarının başarılı olduğu belirlenmiştir. Yüksek gaz değerlerinin kümelenme durumları incelendiğinde yüksek değere sahip yerlerin çizgiselliklerle ilişkili olduğu belirlenmiştir. Uzaktan Algılama görüntüleri üzerinde yapılan çizgisellik analizinde ise bu uzanımın bölgedeki çizgiselliklerle bir paralellik gösterdiği anlaşılmıştır. Yapılan ölçümler ve analizler sonucunda çalışılan sahada gaz ve toprak sıcaklık değerlerinin yüksek olduğu yerler jeotermal saha olma olasılığı yüksek yerler olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal saha, Uzaktan Algılama, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Açık Kaynak Kodlu Yazılım

USING OPEN SOURCE GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS AND REMOTE SENSING SOFTWARES FOR GEOTHERMAL EXPLORATIONS

Can Ayday¹, Hasan Ünal²

¹Coğrafi Veri Modelleme San. ve Tic. Ltd. Şti.,

Anadolu Üniversitesi, ETGB Teknoparkı, Kat:2 No:213 Tepebaşı/Eskişehir

²Jeokim Kimyasal Etüd Proje Dan. Jeotermal Çevre Mühendislik Lab. Hiz. San ve Tic. Ltd. Şti.

Bariş Manço Cad. 1388 Sok. No:52/4 Balgat-Çankaya/Ankara

(cayday@cvm.com.tr)

ABSTRACT

Geothermal energy is defined as the internal temperature of the earth. The most important transportation agent which carries this internal energy to the surface is groundwater. Geothermal resources were created when the groundwater reach to the surface. Geothermal resources can not exist obviously everywhere on the earth. In such places geothermal exploration should be considered first. Geothermal area is defined as the area located on the geothermal reservoir. Exploration of these area must come first for these studies. Use of satellite imagery of the region is the first step of the study. Lineament maps from satellite images of the region is obtained for subtracting the geothermal area where there is a high probability. Nowadays it is possible to distinguish geological units and soil temperature map which has the distinction of being the geothermal field by using satellite technology. Second step of the geothermal exploration is obtaining gas measurements and interpret these data for place likely to be the geothermal field. Begining to geothermal drilling operation without adequate knowledge about the area without these steps often ends with a failure.

Geographic Information System is the powerful method for the transformation of this field data into meaningful information. Large number of spatial data analysis and interpretation can be done by Geographic Information Systems (GIS) in a short time.

Open source software is software used in Remote Sensing and Geographical Information Systems will assure the use of a large number of users of this method. The high side of this software allows many analysis capability of the data, it is also lack of license fees.

In this study, the south of the Canakkale Province was interpreted according to geothermal field in terms of satellite imagery with remote sensing methods and gas measurement values obtained from the site with Geographical Information Systems. At the end, the possibility of geothermal field region was investigated. Open source Remote Sensing (RS) and Geographic Information System (GIS) softwares are used for this study. The results of analyses performed using open source RS and GIS softwares for geothermal explorations are found to be successful. When the clustering of high gas measurement values are investigated, it was observed that locations with high values are related with lineaments. Additionally, lineament analyses carried out by using Remote Sensing images show parallelism with the lineaments in the area. As the result of measurements and analyses, it is concluded that the possibility of being geotermal field is high where the gas measurement and soil temperature values are high.

Keywords: Geothermal area, Remote Sensing, Geographic Information Systems , Open Source Software

JEOTERMAL SAHA AMAÇLI GAZ ÖLÇÜM ANALİZLERİ MODELLEMESİ

Araştırmanın amacına yönelik olarak Ayvacık İlçesi Batısı Sahasına ait 177 noktada RAD-7 Radon cihazı ile Rn ve Tn gazları, GAS DATA GFM 435 cihazı ile CO₂ gazı ölçülmüş olup çalışma sonuçları aşağıda verilmiştir.

Yeryüzünde toprak gazlarının yoğunluk derecesine göre kırık zonlarını tespit etmek mümkün olmaktadır. Yeryüzünde yoğunlaşmanın izlenebilmesi için bu gazları üreten kaynağın ya yüzeye çok yakın olması veya bu gazların yüzeye aktarılmasında etkin olan akışkanın veya diğer yer içi gazlarının çok kısa sürede yüzeye ulaşmaları gerekmektedir. Bu iletimin en iyi gerçekleştiği yerler genel olarak aktif kırık zonları veya fay hatlarıdır. Çalışma sahasında aktif kırık zonlarını ve muhtemel fayları belirlemek için Toprak gazları (Rn, Tn, Rn+Tn, Rn/Tn, CO₂) ölçümleri yapılmış ve toprak sıcaklıkları ölçülmüştür.

Yapılan birçok çalışmada CO₂ gaz ölçümlerinin jeotermal sistemi ortaya çıkarttığı ve özelliklerini belirlediği anlaşılmıştır (Klusman ve diğerleri, 2000).

Ölçülen bu değerler Coğrafi Bilgi Sistemleri'nin veri modellemesi yöntemi ile koordinatlı olarak sayısal ortama yerleştirilmiştir. CBS yönteminin analiz araçları kullanılarak modellenmiştir. Aşağıda bu modellemeler verilmiştir.

Coğrafi Bilgi Sistemleri ve bu yöntemi kullanan özel yazılımlar ile koordinat sistemi belli olan gaz ölçüm noktalarından elde edilen veriler analiz edilmiştir. Bu analizde Inverse Distance Metodu kullanılmıştır. Çalışılan saha 10 X 10 m'lik karelere bölünerek analiz yapılmıştır.

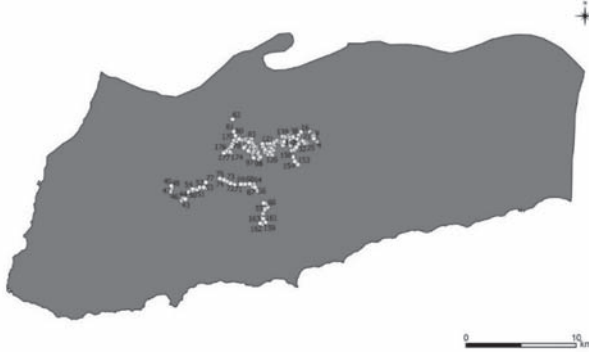
Sahaya ait Landsat 8 uydu görüntüleri elde edilerek belli band kombinasyonu kullanılarak sahanın ve civarının çizgisellikleri ortaya çıkartılmıştır.

Ayvacık İlçesi sahasından elde edilen CO₂, Rn, Tn ve Toprak sıcaklığı verileri aşağıda verilmiştir (Tablo 3). Sahada 177 farklı noktada ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3. Ayvacık Sahası Gaz Ölçüm Verileri (Rn, Tn ve Toprak sıcaklığı)

id	X	Y	CO ₂ (%)	Rn (pCi/l)	Tn (pCi/l)	Toprak Sıcaklığı °C	Rn+Tn (pCi/l)	Rn/Tn
1	447460	4383748	0,3	10,3	200	16,7	216,7	11,98
2	447464	4383668	0,5	60,8	437	16,1	453,1	27,14
3	447504	4383594	1,5	228	337	16,1	353,1	20,93
4	447584	4383569	0,7	149	187	17,6	204,6	10,63
....
....
172	439791	4383023	0,3	505	222	19,1	241,1	11,62
173	439565	4382780	0,3	474	2010	20	2030	100,50
174	439765	4382504	1,6	369	1730	20,4	1750,4	84,80
175	439641	4382593	0,8	711	1850	22,8	1872,8	81,14
176	439338	4382605	0,2	274	1400	24,9	1424,9	56,22
177	439125	4382461	2,6	460	1150	24	1174	47,92

Arazi çalışması sonucunda Ayvacak ilçe sınırları içinde elde edilen gaz ölçümlerinin mekânsal konumları aşağıda verilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Ayvacak ilçe sınırları içinde gaz ölçüm noktalarının konumları.

JEOTERMAL SAHA ARAŞTIRMALARINDA AÇIK KAYNAK KODLU UZAKTAN ALGILAMA ve COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ

Açık Kaynak Kodlu Yazılımlar

Açık Kaynak Kodlu Yazılım (AKKY); yazılımın kaynak kodunun incelenmesine ve değiştirilmesine olanak sağlayan, hızlı, güvenilir ve ücretsiz bir yazılım modelidir. AKKY'nin esneklik, performans, lisans maliyetlerinden tasarruf, belirli bir firmaya bağımlı olmama ve açık standartlara uygunluk gibi pek çok avantajı bulunmaktadır. Eğer teknik açıdan yeterli olanaklara sahip olunursa, hem zaman hem de parasal açıdan büyük kazançlar ve başarılar elde edilebilir. Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de yazılım konusunda bu yöne doğru bir gidiş gözlenmektedir. İspanya, İtalya, Fransa ve İngiltere'de yaklaşık 10 yıl önce başlayan ve hızla gelişen bu yazılım modeli son yıllarda Türkiye'de de önem kazanmaya başlamıştır.

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), bir taraftan çok sayıda konumsal veriye gereksinim duyan bir yöntem, diğer taraftan ise bu sistem için kullanılan yazılımların çok pahalı olması, bu konuda çalışanları açık kaynak kodlu yazılımlara yönelmelerine neden olmaktadır.

Kullanılan Uydu Verileri

Uzaktan algılama çalışmaları, yapılacak farklı niteliklerdeki hedef bölge çalışmalarına yardımcı olarak kullanılması gereken, iş gücü, zaman ve maliyet açısından büyük katkı sağlayan bir araçtır. Doğrudan hedef tespiti yapmaz, bu amaca yönelik bilgiler verir.

Bu kapsamda yapılan uzaktan algılama çalışmalarında kullanılan farklı uydular, bu uydulardan alınan uydu görüntüleri ve bu görüntüler üzerinde gerçekleştirilen çok sayıda işlem vardır.

Yerbilimlerinde spektral özellikler yardımıyla minerallerin ve yapısal özelliklerin elde edilmesinde uydu görüntülerinin kullanımı 1972 yıllarına kadar uzanır. Bu konuda kullanılan en eski uydu projesi olan Landsat Projesi 2013 yılı içinde kendini yenilemiş ve Landsat 8 uydusunu başarı ile yörüngeye yerleştirilmiştir. Bu uydu verileri şu anda kullanılmaktadır. Çalışmada Landsat 8 uydu görüntüleri kullanılmıştır. Kullanılan uydu verisinin görüntü numarası Sütun/Satır (Path/Row) 181/33'dür.

Bu çalışmada jeotermal saha araştırmalarında önemli yer tutan çizgisellik analizinden yararlanılmaya çalışılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Çalışılan yerin Landsat 8 uydu görüntüsü üzerinde konumu.

Uydu Görüntüsünden Çizgisellik Analizi

Günümüzde birçok uydu verisine ait farklı band kombinasyonları kullanılarak çalışılan sahanın jeolojik özellikleri ortaya çıkartılmaktadır. Bu çalışmada KYM/752 band kombinasyonu kullanılmıştır. Yine bazı özellikler ve yöntemler kullanılarak çalışma alanının yapısal jeolojik özellikler elde edilmektedir. Elde edilen bu veri setleri ise, jeotermal analizler için önemli bir bulgu oluşturmaktadır. Çalışma sahasını içine alan bölgenin Landsat 8 uydu verisi yardımı bölgede olası faylar belirlenmiştir. Yine Landsat 8 uydu görüntüleri üzerinde çizgisellik analizleri yapılmıştır. (Şekil 5).



Şekil 5. Landsat 8 uydu görüntüsü üzerinde çalışma yerini içine alan bölgesel çizgisellik analizi.

Bu uydu görüntüsü yorumlandığında bölgeye egemen olan çizgiselliklerin genellikle KD-GB olduğu ortaya konmuştur. Bu çizgiselliklerin K ile yaptıkları açı genellikle 50° - 60° arasındadır. K-G yönlü çizgisellikler sayısal bakımdan az olmalarına karşın bu çizgiselliklerin uzunlukları fazladır. Elde edilen çizgisellik haritası MTA'nın 1/250.000 ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası (Emre ve Doğan, 2010) ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

CBS ANALİZLERİ VE UA YORUMLAMALARI

Araştırmanın amacına yönelik olarak Ayvacic İlçesi Batısı Sahasına ait 177 noktada Rn, Tn ve CO₂ gazları ile toprak sıcaklığı ölçümleri yapılmıştır. Ölçülen noktalarda GPS ile koordinat değerleri elde edilmiştir. Bu değerler Açık Kaynak Kodlu CBS yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Uydu görüntüleri kullanılarak elde edilen çizgisellikler ile CBS analizi ile elde edilen yüksek değerler karşılaştırılarak jeolojik yapı ile ilişkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Gaz ölçüm değerlerine göre yapılan analiz ve yorumlamalar aşağıda verilmiştir.

CO₂ Gaz Değerleri Analiz ve Yorumlaması

CO₂ dağılımına ve çizgiselliklerle olan ilişkisine bakıldığında, çalışılan sahada en yüksek değer Gaz Ölçüm Noktası 5'de ölçülmüştür. Bu noktada ölçülen değer % 4.9'dür. Bu yer Ayvacic İlçesinin batısında bulunmaktadır. Çalışılan tüm sahada CO₂ değerinin ≥ 2.5 olduğu yerler analiz edilerek yorumlandığında belirgin olarak bu yerlerin Ayvacic İlçesi ile Tamiş Köyü arasındaki hattın kuzeyinde bir doğru boyunca uzandığı ortaya çıkmıştır (Şekil 6). Yüksek CO₂ değerinin uydu görüntülerinden yapılan çizgisellik analizleri sonucunda sahada saptanan en uzun KD-GB yönlü çizgiselliğin kuzeyinde bu çizgiselliğe paralel uzandığı anlaşılmıştır.

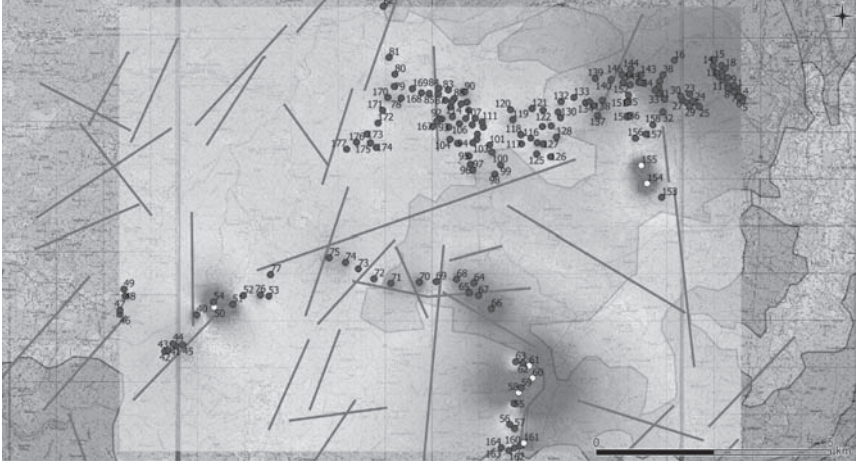
Yüksek CO₂ değerleri Ayvacic civarında Alt-Orta Miyosen yaşlı piroklastik kayalar, batıda ise Orta Miyosen yaşlı dasit, riyolit ve riyodasit türü kayalar içinde gözlenmiştir (Atabey ve Ilgar, 2004).



Şekil 6. CO₂ gaz ölçüm değerleri dağılımı ve çizgiselliklerin ilişkisi

Rn Gaz Değerleri Analiz ve Yorumlaması

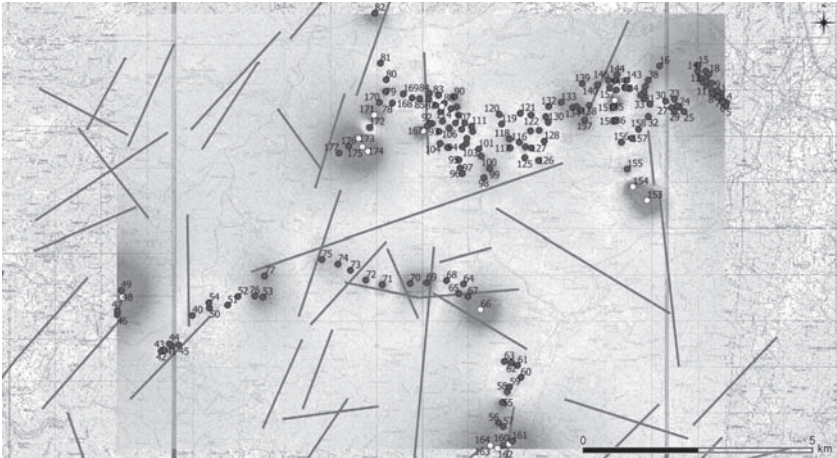
Gaz ölçümlerinden elde edilen Rn dağılımına bakıldığında en yüksek değerler sahanın güneyinde Erecek Köyünün yaklaşık 2.5 km GD'da, K-G uzanımlı bir hat boyunca olduğu anlaşılmıştır (Şekil 7). Yüksek Rn değerlerin ($Rn \geq 1000$ pCi/l) çizgiselliklerle ilişkili olduğu düşünülmektedir.



Şekil 7. Rn gaz ölçüm değerleri dağılımı ve çizgiselliklerin ilişkisi

Tn Gaz Değerleri Analiz ve Yorumlaması

Tn gaz ölçümleri sonucunda en yüksek Tn ölçümleri kümelenmesi araştırıldığında sahada farklı yerlerde olduğu gözlenmiştir. Fakat yine sahanın ortasına karşılık gelen ve sahayı KD-GB yönünde keşen uzun çizgiselliğin kuzey taraflarında Tn gaz ölçüm değerlerinin ≥ 1500 pCi/l olduğu anlaşılmıştır (Şekil 8). Yüksek Tn değerlerinin çizgiselliğe karşılık gelen bir fay sistemi ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 8. Tn Gaz Ölçüm Noktaları civarında Tn dağılım haritası ve çizgisellik ilişkisi

Toprak Sıcaklık Değerleri Analiz ve Yorumlaması

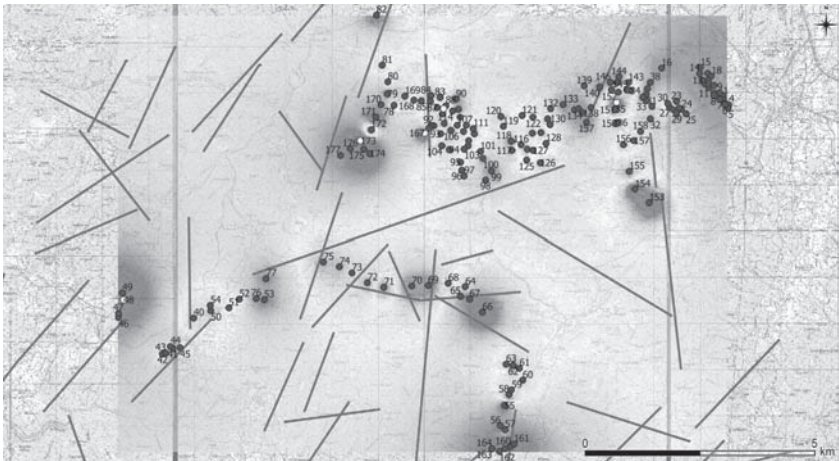
Toprak sıcaklık ölçümleri yorumlandığında Ayvacic İlçesinin batısında yüksek olduğu anlaşılmıştır (Şekil 9). Bu yüksek değer yine bu bölgede gözlenen K-G uzanımlı çizgisellik uzanımında yer almaktadır.



Şekil 9. Toprak sıcaklık dağılımı ile çizgisellik ilişkisi.

Rn+Tn Değerleri Analiz ve Yorumlaması

Rn+Tn değerinin dağılımı incelendiğinde yüksek değerlerin kümelendiği ($Rn+Tn \geq 2000$ pC/l farklı bölgeler ortaya çıkmaktadır (Şekil 10). Bu bölgeler Ayvacic İlçesinin batısında saptanan K-G yönlü çizgisellik boyunca yer almaktadır. Yine yüksek Rn+Tn değeri veren yer çalılışın bölgenin ortasında bulunan KD-GB yönlü çizgiselliğin kuzey tarafıdır. Sahanın batı tarafında bir noktada yüksek Rn+Tn değeri elde edilmiştir. Fakat bu yerde bir kümelenme söz konusu değildir.



Şekil 10. Rn+Tn değerlerinin dağılımı ve çizgisellikler ile ilişkisi.

Çalışma sonucunda yapılan öneriler;

- Jeotermal saha araştırmalarında öncelikle yapılması gelen işlerin başında sahanın uzaktan algılama görüntüleri ile araştırılması ve yorumlaması gelmelidir. Bu yöntem ile öncelikle jeotermal ruhsat saha sınırları daraltılabilir. Böylece araştırmada ayrıntılı araştırma yeri belirlenmiş olur. Uzaktan algılama verilerinin yorumlanması ve saha verilerinin Coğrafi Bilgi Sisteminde analizi doğru hedef bölge saptanmasının yanı sıra, iş gücü, zaman ve maliyet bakımından büyük katkı sağlayacağı önerilir.
- Bu tür çalışma sadece tek bir gaz ölçümü yerine farklı gaz ölçümleri yapılarak araştırılması gerekir. Farklı gaz ölçüm verileri birlikte değerlendirilerek yoruma gidilmesi gerekmektedir. Bu yöntem daha doğru sonuçlar verebilecektir.
- Bu yöntem ve yöntemlerin jeotermal araştırmaların ilk adımı olması gerekmektedir.
- Bu konuda yapılan çalışmalarda Açık Kaynak Kodlu yazılımların kullanılması teşvik edilmelidir.
- Bu konudaki yazılımların lisans ücretlerinin olmaması bu yöntemleri kullanan yer bilimcilere daha geniş kullanım olanağı sunacaktır.

Değinilen Belgeler

- Emre, Ö. ve Doğan, A., 2010, 1/250.000 ölçekli Türkiye Diri Fay Haritaları Serisi, Ayvalık (NJ 35-2) Paf-tası, Seri No:2, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye
- Atabey, E., ve Ilgar, A., 2004, Çanakkale Havzasının Orta-Üst Miyosen Stratigrafisi, Çanakkale, KB, MTA Dergisi, 128, s.79-97
- Klusman, R.W., Moore, J.N. ve LeRoy, M.P., 2000, Potential for surface gas flux measurements in exploration and surface evaluation of geothermal resources, Geothermics, Volume 29, Issue 6, Pages 637-670

HİDROJEOKİMYA

SAVCILI-BÜYÜKOBA (KAMAN-KIRŞEHİR) JEOTERMAL ALANININ HİDROJEOLJİK VE HİDROJEOKİMYASAL DEĞERLENDİRMESİ

Cansu Yurteri¹, Şakir Şimşek¹

¹Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Bölümü
06800 Beytepe/ Ankara
(cyurteri@hacettepe.edu.tr)

ÖZ

Bu çalışma, Kaman ilçesi Savcılı-Büyükoba kasabasında bulunan sıcak ve mineralli su kaynağında yapılan jeolojik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal incelemeleri içermektedir. Çalışma alanında temel kaya olan Paleozoyik yaşlı Kırşehir metamorfik birimleri genellikle geçirimsiz özelliktedir. Ancak, genç tektonik etkinliklerle ikincil gözeneklilik kazanmış olan mermerlerin ve granitoidlerin faylı ve kırıklı zonları yerel olarak geçirimlidir. Eosen ve Miyosen-Pliyosen yaşlı birimler örtü kayaç niteliğinde olup, çökel birimler içindeki taban çakıltaşları ve kireçtaşları yerel akifer oluşturmaktadır. Hamamözü dere yatağında yer alan çakıl, kum ve kilden oluşan alüvyonlar ise önemli soğuk su akiferleridir. Savcılı-Büyükoba jeotermal alanında genel süreksizlik doğrultuları KD-GB, KB-GD olup önemli yapısal oluşumlardır. Sıcak sular bu fayların birbirlerini kestiği yerlerde yüzeylenmektedir. Savcılı-Büyükoba sıcak su kaynağı Na-Cl su tipinde ve kalsedon, kuvars gibi silis mineralleri ile kalsit, dolomit, aragonit gibi karbonatlı mineralleri çöktürücü özelliğe sahiptir. Yapılan jeotermometre hesaplamaları ve hidrojeolojik-hidrojeokimyasal değerlendirmeler alanda düşük entalpili (69-72°C aralığında) akışkan içeren bir hidrotermal sisteminin varlığını göstermektedir. Savcılı-Büyükoba jeotermal alanında oluşturulan kavramsal hidrotermal modele göre; bölgede yer alan sıcak ve mineralli su kaynağı; meteorik kökenli suların kırık, çatlak ve fay zonları boyunca birimlerden yeraltına süzülmesi ve jeotermal gradyan etkisi ile ısınması, geçirimli sıcak su akiferinde depolanması ve yine fay zonlarından yüzeye çıkışı ile oluşmaktadır.

Anahtar kelimeler: Hidrojeokimya, jeotermal, Kaman, Savcılı-Büyükoba, sıcak ve mineralli sular

HYDROGEOLOGICAL AND HYDROGEOCHEMICAL EVALUATION OF SAVCILI-BÜYÜKOKBA (KAMAN-KIRŞEHİR) GEOTHERMAL AREA

Cansu Yurteri¹, Şakir Şimşek¹

¹Hacettepe University, Engineering Faculty, Geology (Hydrogeology) Engineering Department 06800 Beytepe/ Ankara
(cyurteri@hacettepe.edu.tr)

ABSTRACT

This study contains geological, hydrogeological and hydrogeochemical investigations about Savcılı-Büyükoba thermal and mineral water which are carried out Kaman-Savcılı-Büyükoba region. Paleozoic metamorphics of the Kırşehir Massif which are the basement rocks of the study area are generally impermeable. However, because of the secondary porosity developed due to active tectonics, faults and jointed zones of marbles and granitoids are permeable and show local aquifer character in the study area. Eocene and Miocene-Pliocene sediments exhibit cap rock properties and terrestrial units of formations which are consisted of conglomerates and limestones may have local importance as a local aquifer. Alluvium in the Hamamozu stream is part of the Savcılı-Büyükoba geothermal area which forms the main cold groundwater aquifers. Savcılı-Büyükoba geothermal area is controlled by mainly NE-SW and NW-SE faults. Thermal waters emerged along the intersection of the faults. Savcılı-Büyükoba thermal spring water is Na-Cl type and oversaturated with respect to carbonate and silica minerals. Geothermometry results, hydrogeological and hydrogeochemical assesments showed the hydrothermal system which has low enthalpy fluids (about 69-72 °C) are estimated. According to the conceptual hydrothermal model developed by geological, hydrogeological and geochemical data obtained in the research area, thermal waters in Savcılı-Büyükoba area are formed by precipitation infiltrated through faulted and fractured zones, then meteoric origin waters heated by the geothermal gradient and returned to the surface through permeable zones.

Keywords: Hydrogeochemistry, geothermal, Kaman, Savcılı-Büyükoba, thermal and mineral waters

pılmıştır. Yerel yeraltısuyu dolaşım sistemini temsil eden ve jeotermal sistemin beslenme alanında yer alması muhtemel soğuk su kaynaklarından, derelerden, gölet ve barajdan örnekler alınmış, kimyasal analizleri yapılmıştır. Örnekleme çalışmaları Mart 2014 ve Ağustos 2014, yağışlı ve kurak olmak üzere iki ayrı dönemde yapılmıştır. Mart 2014 döneminde bir tanesi kar olmak üzere 13 adet, Nisan döneminde 1 adet yağmur örneği, Ağustos döneminde ise toplam 13 adet örnek alınmıştır. İzotop çalışmaları kapsamında yerel meteorik su doğrusunun ve yeraltısularının ortalama beslenme yükseltilerinin belirlenmesi çalışmalarında kullanılmak üzere 1 adet yağmur ve 1 adet kar örneği alınmıştır. Sıcak su kuyularından örnekleme yapılamamış, değerlendirme ve yorum aşamasında bu kuyular için daha önce MTA tarafından yapılan analiz sonuçları kullanılmıştır. Soğuk su ve sıcak su kaynaklarından alınan su örneklerinin pH, Özgül Elektriksel İletkenlik (ÖEİ), Sıcaklık (T), Çözünmüş Oksijen (ÇO), Tuzluluk (S), Toplam Çözünmüş Madde Miktarı (TÇM) gibi fiziksel parametreleri kaynak başında ölçülmüş, laboratuvarında ise major iyon, kirlilik ve ağır metal analizleri ile çevresel izotop analizleri yapılmıştır. Çalışma alanından toplanan örnekler 250 ve 500 ml'lik özel polietilen şişeler içerisinde Hacettepe Üniversitesi Hidrojeoloji Mühendisliği Su Kimyası Laboratuvarı'na ulaştırılmıştır. Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , Fe, Mn, Ni, Pb, Cd, Li, Cu, Zn ve Cr analizleri Perkin Elmer Model 2280 Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. CO_3^{-2} ve HCO_3^- analizi titrimetrik metotla (hata sınırı ± 0.01 meq/l), yapılmıştır. Duraylı İzotop Analizleri Hacettepe Üniversitesi Uluslararası Karst Su Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi (UKAM) Duraylı İzotop Laboratuvarı'nda, trityum analizleri ise Hacettepe Üniversitesi Hidrojeoloji Mühendisliği Çevresel Trityum Laboratuvarları'nda gerçekleştirilmiştir.

3. BÖLGESEL JEOLJİ VE HİDROJEOLJİ

İncelenen alanda temelde, Kırşehir masifi olarak bilinen Paleozoyik yaşlı metamorfik birimleri gözlenmektedir. Kırşehir masifinin metamorfik serileri Üst Kretase yaşlı pelajik çökellerle ara katkılı bazik volkanoklastik kayalardan oluşan ofiyolitli melanj birimleri tarafından tektonik olarak üzerlenmektedir. Bu birimler magmatik etkinliğe bağlı olarak yüzeyleyen Mesozoyik (Üst Kretase-Paleosen?) yaşlı monzonitli granitler tarafından kesilmektedir. Bu birimleri, uyumsuzlukla taban konglomerası ile başlayıp kumtaşı, çamurtaşı ve kireçtaşı ile devam eden Eosen yaşlı (Lütesiyen) seri ile Miyosen-Pliyosen yaşlı Kızılırmak Formasyonu örtü birimleri üzerler (Kara ve Dönmez,1991). En üstte ise gevşek çimentolu kum ve çakıllardan oluşan en çok Hamamözü dere yatağı ve çevresinde gözlenen Kuvaterner yaşlı alüvyon birimler görülmektedir (Şekil 2).

Savcılı-Büyükoba jeotermal alanında genel süreksizlik doğrultuları KD-GB, KB-GD olup, bunlar önemli yapısal oluşumlardır. Sıcak sular bu fayların birbirlerini kestiği yerlerde yüzeylenmektedir. İnceleme alanında bulunan litolojik birimler su taşıma özelliğine göre geçirimsiz, yarıgeçirimli ve geçirimli birimler olarak belirlenmiş ve haritalanmıştır. Çalışma alanında temeli oluşturan Paleozoyik yaşlı Kırşehir Masifinin gnays, şist, mermer, amfibolit seviyelerinin kırıklı çatlaklı, faylı zonları hidrojeolojik açıdan geçirimlidir. İnceleme alanında rezervuar oluşturan birimlerden biri olan Üst Kretase-Paleosen? yaşlı granit, granodiyoritleri içeren Baranadağ granitoidlerinin altere kırıklı, çatlaklı zonları hidrojeolojik açıdan geçirimlidir. Eosen ve Miyosen-Pliyosen yaşlı örtü çökellerinin kireçtaşı seviyeleri yerel akifer oluşturabilme potansiyeline sahiptir. Hamamözü dere yatağında yer alan çakıl ve kumdan oluşan alüvyonlar geçirimli özellikte olup, hem sıcak su hem de soğuk su için önemli bir akiferdir. Bölgede çamurtaşı, kumtaşı, çakıltaşı, kireçtaşı ara düzeyli çamurtaşı aralanmasından oluşan Eosen ve Miyosen-Pliyosen

yaşlı çökeller örtü kayaç niteliğindedir. Ayrıca, temelde yer alan Paleozoyik yaşlı amfibol, şist, gnays ve kuvarsit gibi birimler ile Üst Kretase yaşlı diyabaz ve bazalt gibi volkanik kayaçların kırık-çatlak içermeyen bölümleri de geçirimsiz özelliktedir.

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	KAT	GRUP	FORMASYON	ÜYE	SİMGE	KALINLIK (m)	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR (Ölçeksizdir)			
SENOZOYİK	KUVATERNER						Qal-Qt			Alüvyon, traverten			
	TERSİYER	PLİYOSEN			Kocaeli			Tk		Uyumsuzluk	Çamurtaşı, çakıltaşı, kumtaşı, kireçtaşı, tuf		
		MİYOSEN				Meşeköy			Tm		Uyumsuzluk	Çakıltaşı, kumtaşı kireçtaşı ara düzeyli çamurtaşı	
		EOSEN					Arızlar		Tma			Kireçtaşı	
										Tm			Çamurtaşı, kumtaşı
										Tb			Çakıltaşı, çamurtaşı, kumtaşı
	MESOZOYİK	KRETASE	ÜST KRETASE	Mesenliçin		KF AF		Ka			Uyumsuzluk	Kireçtaşı, kumtaşı, çamurtaşı	
						KF		Kk			Uyumsuzluk	Çakıltaşı, kumtaşı	
						BG		Kb				Granit, granodiyorit, kuvars monzonit	
					Çiçek dağ		Kc				Diyabaz, bazalt, spilitik bazalt, spilit, Radyolarit, çört, pelajik çamurtaşı- kireçtaşı		
PALEOZOYİK				KIRŞEHİR MASIFI	KAF-KEF-BF-HF	KK	Pzh			Tektonik	Mermer, metagabro, amfibolit şist, gnays, kuvarsit		
			Pzb										
			Pzk										
			Pzkk										
									Gnayslar, şistler, amfibolit, kuvarsit				

Şekil 2. İnceleme alanı ve yakın çevresinin genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti (Kara ve Dönmez (1991)'den değiştirilerek hazırlanmıştır).

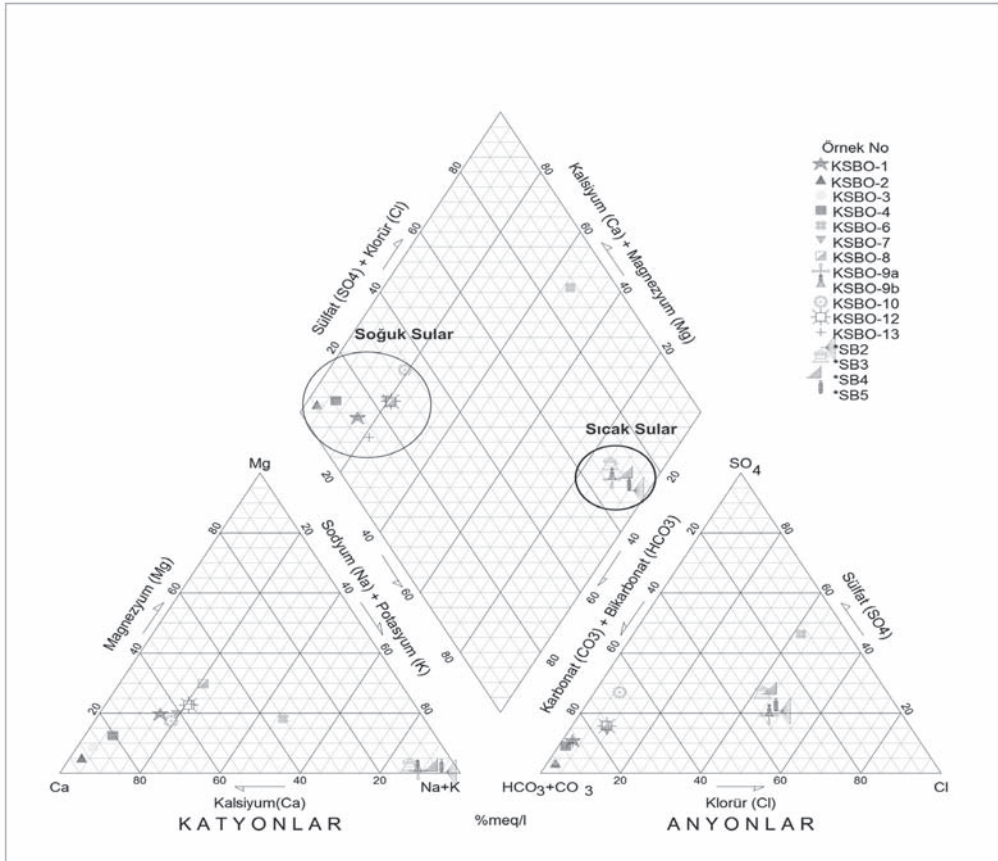
4. HİDROJEOKİMYA

4.1 Su Kimyası

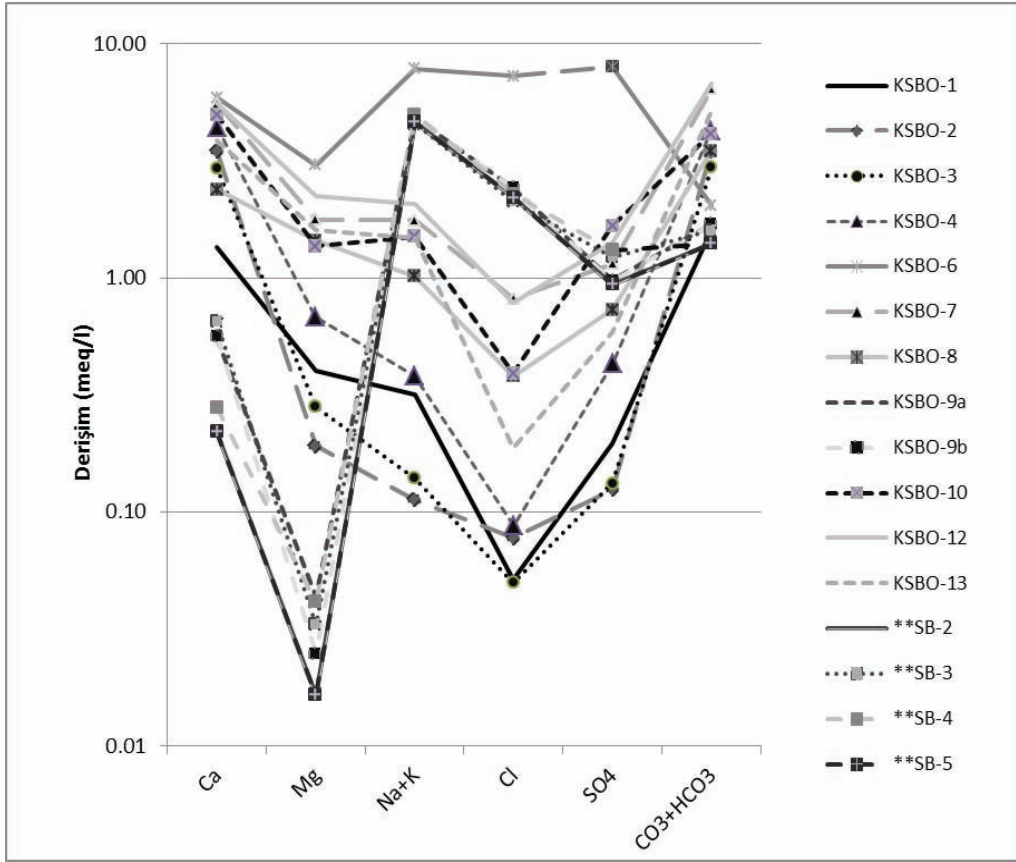
Bu çalışmada, inceleme alanında belirlenen 13 farklı su noktasından alınan örneklerin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.1' de verilmiştir. Kimyasal analizler olarak sadece Ağustos 2014 dönemi sonuçları verilmiştir. Su örneklerinin kimyasal analiz sonuçları her bir su noktası için akifer kimyası, mineral doygunluğu, hazne kaya sıcaklığı ve çevresel etkiler kapsamında ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Savcılı-Büyükoba sıcaksu kaynağının kimyasal analiz sonuçlarına göre; Mart 2014 ve Ağustos 2014 dönemlerindeki pH değeri 9,19-9,58, Elektriksel İletkenlik değeri (EC) 513-565 µS/cm ve sıcaklığı 30,01-34,6°C aralığında ölçülmüştür.

İnceleme alanındaki sıcak sular Na+K>Ca>Mg ve Cl>HCO₃>SO₄ kimyasal bileşiminde ve Na-

Cl fasiyesini, soğuk sular ise $Ca > Mg > Na + K$ ve $HCO_3 > SO_4 > Cl$ kimyasal bileşimde ve $Ca-HCO_3$ fasiyesini yansıtmaktadır. Analizi yapılan sıcak ve soğuk su örneklerinin anyon bakımından klorür (Cl) ve bikarbonat (HCO_3) iyonlarınca zengin oldukları, kationlar açısından değerlendirildiğinde ise sıcak su örneklerinin sodyum iyonlarınca (Na^+) soğuk su örneklerinin ise kalsiyum iyonları (Ca^{+2}) bakımından daha baskın oldukları görülmektedir. Baraj suyu örneği (KSBO-6) ise $Na-SO_4$ tipi sular sınıfındadır. İnceleme alanındaki sıcak sular (KSBO-9a, KSBO-9b, SB-2, SB-3, SB-4, SB-5) ile soğuk sular Schoeller diyagramında Savcılı-Büyükoba sıcak su kaynakları ile sıcak su kuyularının (KSBO9-a, KSBO-9b, SB-2, SB-3, SB-4, SB-5) kökensel benzerlikleri açıkça görülmektedir. Savcılı-Büyükoba sıcak su kaynakları ile sıcak su kuyularının birbirleri ile olan benzerliği bu kaynakların akifer kayaçlarının benzer olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte sıcak suların soğuk sulardan belirgin bir şekilde ayrıldığı görülmektedir (Şekil 4.1 ve Şekil 4.2).



Şekil 4.1. İnceleme alanındaki su kaynaklarının Piper diyagramında gösterilmesi (Ağustos-2014)



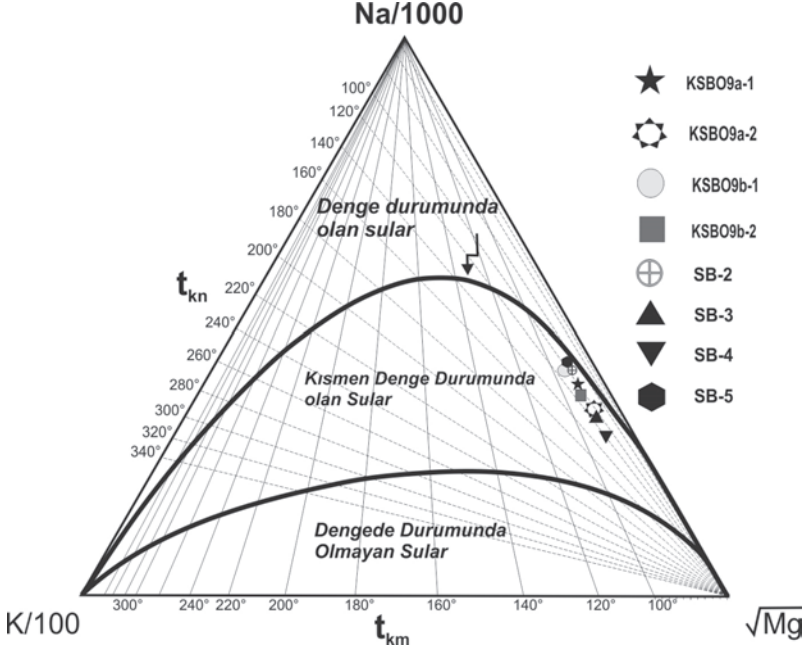
Şekil 4.2. İnceleme alanındaki su kaynaklarının Schoeller diyagramında gösterilmesi (Ağustos-2014)

4.2 Jeotermometreler

Jeotermal sular yeraltından yüzeye erişirlerken temas ettiği kayalarla ısı alışverişi, soğuk yer altı suları ile karışımı, örtü kayaların çok ince oluşu veya bulunmayışı gibi süreçler ve yapısal unsurlar nedeniyle soğurlar ve rezervuar içindeki sıcaklıklarından çok daha düşük sıcaklıklara sahip olurlar. Akifer içerisindeki akışkan sıcaklığının tahmin edilmesi amacıyla, kaynak ve kuyu başında yapılan kimyasal analizlerden yararlanılarak jeotermometre yöntemleri geliştirilmiştir. Kimyasal analizlerin sondajlara göre daha ucuz ve kısa sürede yapılabilmesi, jeotermal araştırmalarda rezervuar sıcaklığının tahmininde kimyasal jeotermometrelerin yaygın olarak kullanılmasını sağlamaktadır. Katyon jeotermometrelerinden Na-K-Mg Jeotermometre eşitlikleri jeotermal suların rezervuar sıcaklıklarının yanı sıra suların temasta olduğu kayalar, mineraller ile denge durumlarının belirlenmesi amacıyla geliştirilmiştir (Giggenbach 1988). İnceleme alanındaki sıcak suların (KSBO-9a, KSBO-9b, SB-2, SB-3, SB-4, SB-5) kimyasal analiz sonuçları Giggenbach (1988) Na-K-Mg diyagramında değerlendirilmiş, sıcak suların kısmen denge durumunda olan sular bölgesinde yer aldığı görülmüştür (Şekil 4.3).

Savcılı-Büyükoba jeotermal alanı içerisindeki sıcak su kaynağı ve sıcak su kuyularının “kısmen dengede olan sular” bölümünde yer almasından dolayı katyon jeotermometrelerinin bu kaynak-

larda uygulanması uygun görülmemiştir. Bu durumda, katyon jeotermometrelerinin rezervuar sıcaklığı tahmininde yanıltıcı sonuçlar verebileceği dikkate alınarak, silis jeotermometrelerinin daha sağlıklı sonuçlar verebileceği düşünülmüştür (Giggenbach, 1988). Kalsedon formuna dayalı jeotermometre eşitlikleri ile sıcak su kaynakları ve sıcak su kuyuları için 68-74°C aralığında rezervuar sıcaklıkları hesaplanmış ve daha güvenilir sonuçlar verdiği anlaşılmıştır.

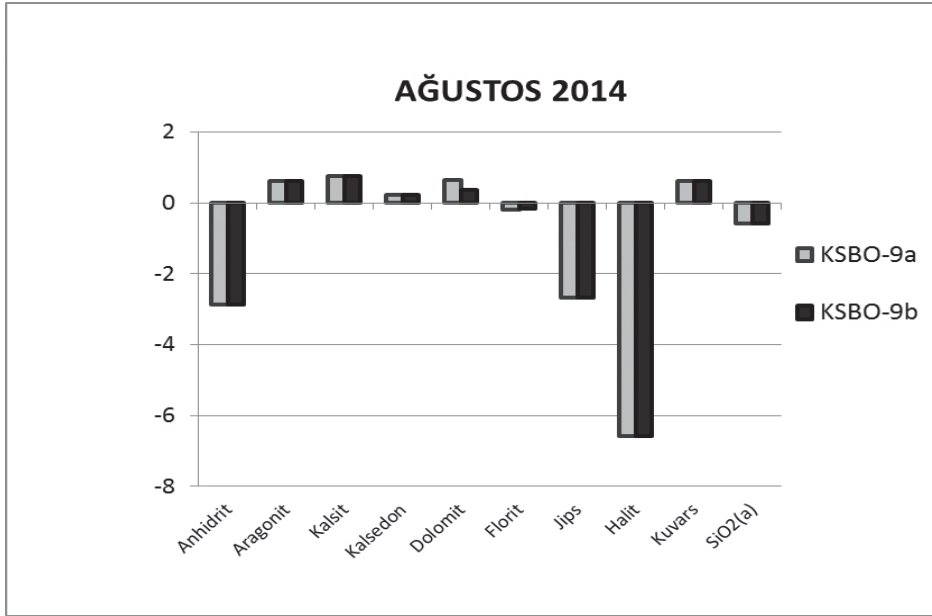


Şekil 4.3. Sıvı-Büyükoba sıcak su kaynaklarının Na-K-Mg üçgeninde Giggenbach (1988) denge durumları

4.3 Suların Mineral Doymuluk Özellikleri

Yeraltı suları etkileşimde buldukları kayaç minerallerini su-mineral dengesi oluşana kadar çözmeye devam etmektedir. Su-mineral dengesi kurulduğunda yeraltı suyu o minerale doymun hale gelmektedir. Su-mineral dengesi sağlandıktan sonra yeraltı suyunda o minerali meydana getiren iyon veya bileşik derişimlerinin artması, yeraltı suyunun o minerale aşırı doymun hale gelmesine neden olmakta ve mineral çökelmektedir. Doymunluk indisi (SI), İyonik Aktivite Çarpımı (IAP) ile denge sabitinin (K) oranının log (IAP/K) şeklinde gösterildiği logaritmik bir indistir. Su-mineral denge durumu, kısaca doymunluk indisi (SI) her mineral için özellikle sıcaklık ve kısmen de basınçla değişmektedir. Ayrıca suların mineral doymunluk durumlarının hesaplanması yeraltı sularında oluşan kimyasal tepkimeler, hidrokimyasal ortam ile bu suların üretim ve iletimi aşamasında oluşabilecek kabuklaşma ve korozyon problemlerinin önceden tahmin edilebilmesi açısından önem taşımaktadır. Çalışma alanındaki sıcak ve soğuk su kaynaklarının anhidrit, aragonit, kalsit, kalsedon, dolomit, jips, halit, kuvars ve silis minerallerine göre doymunluk durumu PHREEQC (Version 2) programı kullanılarak doymunluk indisi (SI) değerleri hesaplanmıştır (Parkhurst ve Appelo, 1999). Yapılan doymunluk hesaplamalarına göre bölgedeki sıcak su kaynaklarının anhidrit, jips gibi sülfatlı mineraller ile halit ve silise doymun olmadıkları, ancak bu suların kalsedon, kuvars gibi silis mineralleri ile kalsit, dolomit, aragonit

gibi karbonatlı minerallere doygun oldukları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, yüzeye çıkan sıcak suların kabuklaşma yapıcı özellikte olabileceğini göstermektedir (Şekil 4.4).

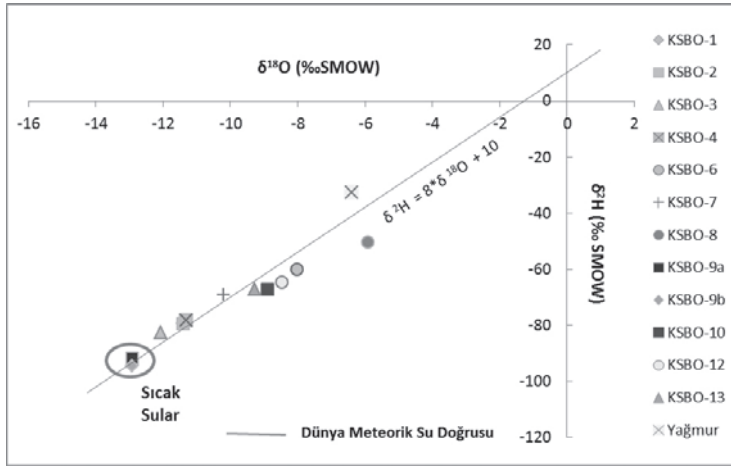


Şekil 4.4. Savcılı-Büyükoba Sıcaksu Kaynağının Mineral Doygunluk Diyagramı (Ağustos-2014)

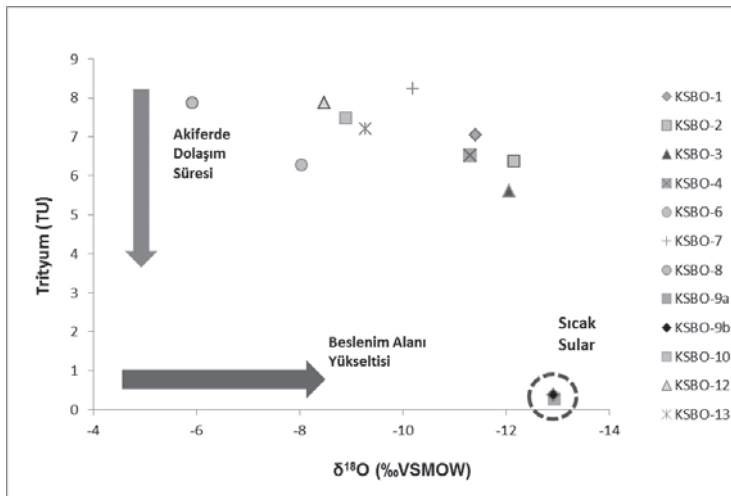
4.4. Çevresel İzotoplar

Hidrojeoloji çalışmalarında yararlanılan çevresel izotoplardan özellikle ^{18}O ve ^2H duraylı izotopları, akifer içindeki hidrojeokimyasal süreçlerden etkilenmezler ve jeotermal akışkanların kökenlerinin (meteorik, fosil, metamorfik) belirlenmesi, beslenme alanlarının ayırt edilmesi, yeraltısuyu-yüzey suyu ilişkilerinin açıklanmasında kullanılırken, radyoaktif trityum (^3H) izotopu ise jeotermal akışkanın yaşının belirlenmesinde kullanılmaktadır. İnceleme alanında yer alan sıcak su kaynağı ve sıcak su kuyuları ile soğuk su kaynaklarının çevresel izotop içerikleri incelenerek, sıcak suların kökenleri, beslenme alanları, akışkan bileşimini etkileyen su-kayaç etkileşim süreci ve soğuk su akiferleri ile hidrojeolojik etkileşim süreçleri açıklanmaya çalışılmıştır. Bu kapsamda, Mart-Ağustos 2014 tarihlerinde inceleme alanında yer alan sıcak su ve mineralli su kaynakları ile birlikte soğuk su kaynakları ve yüzey sularından izotop ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, ^3H) örnekleme çalışmaları yapılmıştır. Savcılı-Büyükoba sıcak sularının Dünya Meteorik Su Doğrusu üzerinde yer alması jeotermal sistemin meteorik yağışlardan beslendiğini göstermektedir. Buna göre, Savcılı-Büyükoba sıcak ve mineralli suları meteorik kökenli olup, yağış suları çatlak, kırık ve fay gibi süreksizlik düzlemleri boyunca derinlere süzülmekte ve bu süreçte ısınarak fay veya etkili çatlaklar boyunca hazne kayaya ve sonrasında yeryüzüne kadar ulaşmaktadır. Bununla birlikte sıcak suların (KSBO-9a, KSBO-9b) $\delta^2\text{H}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ değerleri kendi aralarında çok fazla bir değişim göstermemekle beraber $\delta^{18}\text{O}$ değerleri soğuk sulara göre daha negatif değerler sunmaktadır. Bu da sıcak su kaynaklarının daha yüksek kotlara düşen yağışlardan beslenen derin dolaşım sular olduğunu göstermektedir. Sıcak suların $\delta^{18}\text{O}$ değerlerinin birbirine yakın oluşu ve fazla sapma göstermemesi bu suların yaklaşık olarak aynı kotlardan, ortak bir bölgeden beslenmeye sahip olduklarını göstermektedir. İnceleme alanındaki soğuk su kaynakları ise

sıcak su kaynaklarına göre daha düşük kotlardan beslenmektedir. Ayrıca, trityum değerleri de göz önüne alındığında soğuk su kaynaklarının güncel yağışlardan beslenen sığ dolaşimli, sıcak su kaynaklarının ise derin dolaşimli kaynaklar olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 4.5 ve Şekil 4.6). İnceleme alanında $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ 'un yükselti ile değişimi düşük debili mevsimsel akış yapan kaynaklar olarak dikkate alınarak belirlenmiştir. Buna göre örneklerin izotop içeriğine bağlı olarak her 100 m'lik yükseklik artışına karşılık $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ içeriğinin % 0.47 ve % 2.43 azaldığı saptanmıştır. $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ ile hesaplanan ortalama beslenme alanı yükselti sonuçlarına göre; sıcak su kaynağının bölgedeki yüksek kotlara düşen yağışlardan beslendiği anlaşılmaktadır. Buna göre, Sıvacılı Büyükoba sıcak su kaynağının; inceleme alanının kuzeydoğusunda bulunan ve en yüksek noktası 1677 m olan Baranadağ granitoidinin ortalama 1561-1568 m arasında değişen yüksek kesimlerinden beslendiği söylenebilir.



Şekil 4.5. İnceleme alanındaki suların $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ grafiği (Ağustos-2014)



Şekil 4.6. İnceleme alanındaki suların Trityum (^3H) - Oksijen18 ($\delta^{18}\text{O}$) ilişkisi (Ağustos-2014)

Örnek No	Tür	Tarih	T (°C)	pH	EC (25°C) (µS/cm)	Na ⁺ (ppm)	K ⁺ (ppm)	Ca ²⁺ (ppm)	Mg ²⁺ (ppm)	Cl ⁻ (ppm)	SO ₄ ²⁻ (ppm)	HCO ₃ ⁻ (ppm)	CO ₃ ²⁻ (ppm)	F (ppm)	Li (ppm)	SiO ₂ (ppm)	B (ppm)
KSBO-1	Kaynak	16.08.2014	22.8	7.02	196	6.89	0.69	26.98	4.86	1.82	9.37	97.72	0	0.2	0.01	24.34	0.02
KSBO-2	Kaynak	16.08.2014	18.6	6.96	332	2.21	0.63	70.03	2.33	2.75	5.96	213.2	0	0.1	0	9.54	0.00
KSBO-3	Kaynak	16.08.2014	25.3	7.12	306	2.43	1.3	59.22	3.41	1.77	6.34	180.63	0	0.07	0	13.32	0.00
KSBO-4	Kaynak	16.08.2014	20.6	7.27	507	8.36	0.65	88.04	8.31	3.08	20.78	260.58	0	0.37	0.01	19.71	0.03
KSBO-6	Hirfanlı Barajı	16.08.2014	32.1	7.39	1628	175.65	6.93	117.96	36.86	258.05	385.9	124.37	0	0.2	0.04	9.64	0.11
KSBO-7	Kaynak	16.08.2014	18	7.18	890	33.41	12.1	111.8	21.59	28.98	55.16	390.87	0	0.32	0.02	28.44	0.05
KSBO-8	Savcılı-Büyükoba Göleti	16.08.2014	26	7.62	452	22.33	1.76	47.93	17.53	13.46	35.09	213.2	0	0.37	0.02	15.38	0.04
KSBO-9a	Sıcak Su Kaynağı	16.08.2014	34.3	9.21	565	110.34	1.23	11.05	0.53	85.76	47.1	68.11	17.48	7.4	0.07	48.68	0.11
KSBO-9b	Sıcak Su Kaynağı	16.08.2014	34.6	9.19	562	110.48	1.33	11.33	0.3	86.1	46.63	68.11	17.48	7.41	0.06	48.78	0.11
KSBO-10	Kaynak	16.08.2014	20.2	7.72	721	34	0.98	100.09	16.62	13.86	79.98	251.7	0	0.57	0.01	15.13	0.11
KSBO-12	Hamamözü Deresi	16.08.2014	20.3	7.61	865	45.78	2.96	111.89	27.28	27.82	68.13	414.56	0	0.74	0.03	24.84	0.07
KSBO-13	Kaynak	17.08.2014	16.3	7.6	623	33.84	0.44	77.06	19.37	6.65	28.07	313.88	0	1.19	0.03	19.81	0.05
SB-2	Kuyu	1986	34.5	8.5	500	106	1	4.4	0.2	78	45	61	12	7.9	*	51	*
SB-3	Kuyu	1986	25	8.5	478,3	104	1.1	13	0.4	75	59	73	12	7.3	*	47	*
SB-4	Kuyu	1986	19	8.82	483,7	114	1.3	5.6	0.5	81	63	61	12	7.9	*	50	*
SB-5	Kuyu	1986	20	8.83	478,3	106	1	4.4	0.2	78	45	61	12	<0.1	*	51	*

* Belirlenme limitlerinin altında

Çizelge 4.1. İnceleme alanındaki su noktalarından alınan örneklerin kimyasal analiz çizelgesi (Ağustos-2014)

5. KAVRAMSAL HİDROTERMAL MODEL

Jeotermal sistemler ısı kaynağı, beslenme alanı, rezervuar, örtü kayaç ve jeotermal akışkanın yüzeye çıkışını kontrol eden fay, kırık ve çatlak yapılarından meydana gelmektedir. İnceleme alanında yapılan jeolojik, hidrojeolojik ve hidrokimyasal veriler değerlendirilerek bölgedeki jeotermal rezervuar litolojileri belirlenmeye çalışılmıştır. Savcılı-Büyükoba jeotermal alanında yer alan sıcak suların yerel meteorik su doğrusu üzerinde yer almaları nedeniyle bölgedeki jeotermal sistemi meteorik kökenli suların beslediği belirlenmiştir. Ayrıca bölgedeki sıcak suların düşük trityum içerikleri bu suların jeotermal alandaki derin yeraltı suyu dolaşım sistemini göstermektedir. Yine izotop çalışmaları ile sıcak su kaynakları için belirlenen ortalama beslenme alanı yükseltisine göre, Savcılı-Büyükoba sıcak su kaynağının inceleme alanının kuzeydoğusunda yer alan Baranadağ granitoidinin yüksek kesimlerinden beslendiği saptanmıştır. Sıcak su kaynağı, Baranadağ granitoidinin yüksek kesimlerine düşen yağış sularının derinlere süzülmesi ve jeotermal gradyan ile ısınarak faylar boyunca tekrar yüzeye çıkması sonucunda oluşmuş bir fay kaynağı olarak düşünülmektedir. Buna göre Baranadağ granitoidinden süzülen ve başlangıçta HCO_3 fasiyesinde olan meteorik kökenli suların yeraltında derin dolaşımı, ısınması ve faylar yoluyla tekrar yüzeye ulaşması sırasında temelde yer alan ve granitoidler tarafından kesilen metamorfitle teması sonucu klorürce zenginleşmekte olduğu düşünülmektedir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Savcılı-Büyükoba jeotermal sistemi derin dolaşımli düşük entalpili bir sistemdir. Savcılı-Büyükoba sıcak su kaynağının sıcaklığı 34.6°C , debisi 4.5 l/s , $\text{pH}'ı$ $9.49-9.58$, elektriksel iletkenlik değeri (EC) $513-527 \mu\text{S/cm}'dir$. Çalışma alanında yer alan sıcak ve soğuk sular Schoeller ve Piper diyagramları ile Wilcox ve ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramları kullanılarak kimyasal bileşim (tuzluluk) ve kalite yönlerinden incelenmiştir. Savcılı-Büyükoba sıcak ve mineralli su kaynağı Na-Cl tipli sular sınıfında yer almaktadır. İnceleme alanı ve yakın çevresindeki soğuk sular ise Ca- HCO_3 tipli suları oluşturmaktadırlar. Schoeller diyagramına göre sıcak suların aynı kökenli olduğu ve benzer akiferlerden beslenen sular olduğu görülmektedir. Piper diyagramına göre ise sıcak sular tuzlu sular olup, bölgedeki soğuk suların ayrı bir grup oluşturmaktadırlar. Bölgede yer alan sıcak ve mineralli suların gerek Wilcox, gerekse ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramına göre tarımda doğrudan kullanılması uygun olmayacaktır. Sıcak su kaynağının rezervuar sıcaklığı, silis jeotermometresi ile $69-72^\circ\text{C}$ aralığında hesaplanmıştır. Mineral doygunluk hesaplamalarına göre, bölgedeki sıcak su kaynaklarının anhidrit, jips gibi sülfatlı mineraller ile halit ve silise doygun olmadıkları, ancak bu suların kalsedon, kuvars gibi silis mineralleri ile kalsit, dolomit, aragonit gibi karbonatlı minerallere doygun oldukları belirlenmiştir.

Bölgedeki sıcak su rezervuarının yayılımının, komşu rezervuarlarla ilişkisinin belirlenmesi ve hidrotermal modelin geliştirilmesine yönelik daha geniş alanda ayrıntılı jeofizik (rezistivite, MT vd.) çalışmaları ve sıcak su kaynağının geliştirilmesine yönelik kuyu testleri yapılmalıdır. Kuyu testleri ile rezervuar parametreleri, rezervuarın yapısı ve yayılımı gibi bilgiler elde edilebilir. Elde edilen bilgiler kuyu ve rezervuar ile ilgili yorumların yapılmasında, sürdürülebilirlik ve ileriye yönelik çalışmalarda kullanılmalıdır. Bölgedeki sıcak suların uzun dönemli fiziksel ve kimyasal değişimlerinin belirlenmesi amacıyla (olası beslenme alanlarındaki su noktalarında) izotop ölçümlerine periyodik olarak devam edilmelidir. Ayrıca, bölgedeki derin dolaşımli yeraltı sularının yaşının belirlenmesi amacıyla karbon izotop analizleri yapılmalıdır. Savcılı-Büyükoba jeotermal sisteminin bozulmasına, kirlenmesine ve sürdürülebilir özelliğinin yitirilmesine neden olacak dış etkenlerden korumak amacıyla ayrıntılı kaynak koruma alanı çalışmalarının yapılması gerekmektedir.

7. KATKI BELİRTME

Bu çalışmada, Hacettepe Üniversitesi'nin desteğiyle gerçekleştirilmiştir. Yazarlar, Duraylı İzotop Analizleri için Hacettepe Üniversitesi Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (UKAM) Müdürü Prof. Dr. Mehmet Ekmekçi'ye, Su Kimyası ve Duraysız İzotop analizleri için Su Kimyası Laboratuvarı sorumlusu Prof. Dr. Serdar Bayarı'ya ve laboratuvar çalışanlarına, raporlarından yararlanan MTA Genel Müdürlüğü'ne, İller Bankası Genel Müdürlüğüne ve Kırşehir Belediye Başkanlığı'na teşekkür eder.

8. KAYNAKLAR

- Giggenbach, W.F., 1988, Geothermal solute equilibria, Derivation of Na-K-Mg-Ca geoindicators, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, pp. 55, 2749-2765.
- Kara, H., Dönmez, M., 1990, 1/100.000 ölçekli açın-sama nitelikli Türkiye jeoloji haritaları serisi No. 34, Kırşehir G17 paftası, MTA yayını.
- Önder, İ ve Tanıdır, R., 1986, Kırşehir Kaman Savcılı-Büyükoba Kaplıcası Sıcak Su Aramaları Revisitivite Etüt Raporu MTA Der. Rap. No: 7992, Ankara.
- Parkhurst, D. L. and Appelo C. A. J., 1999, User's guide to PHREEOC (Version 2) a computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations, USGS Water Resources Investigation Report 99-4259, 312p.
- Tekin, A. G. ve Tekin, Z., 1986, Kırşehir Kaman Savcılı-Büyükoba sığ sıcaksu sondajları (SB-2, 3, 4, 5) kuyu bitirme raporu, MTA Derleme Rap. No: 8140, 8s., Ankara, (yayımlanmamış).
- Ürgün, S., 1979, Kırşehir Kaman Savcılı-Büyükoba Ilıcısı Hidrojeoloji Etüt Raporu, MTA Derleme Rap. No: 6629, 26s, Ankara (yayımlanmamış).

AKDAĞMADENİ (YOZGAT) JEOTERMAL SULARININ HİDROJEOKİMYASAL DEĞERLENDİRİLMESİ

Sevim Özulukale¹, Şakir Şimşek¹

¹Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Bölümü, 06800, Beytepe/Ankara
(sevimosulukale@hacettepe.edu.tr)

ÖZ

Bu çalışmada, Akdağmadeni jeotermal sahasındaki suyun fiziksel ve hidrojeokimyasal özelliklerinin araştırılmasıyla elde edilen bulgularla jeotermal rezervuardaki su-kayaç etkileşimiyle sahadaki suların kökenlerinin, olası rezervuar sıcaklığının ve suların doymunluk indeksinin hesaplanmasıyla kabuk yapıcı özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, Eylül 2014'te Akdağmadeni jeotermal sahası içerisinde, sıcak-soğuk su kaynaklarından ve MTA tarafından açılan Karadikmen jeotermal kuyusundan su örnekleri alınmıştır. Suların elektriksel iletkenlik, sıcaklık ve pH değerleri sahada yerinde ölçülmüş olup hidrojeokimyasal analizleri için toplanan su örneklerinin analizleri laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Çalışma sahasında toplanan jeotermal su örnekleri ve soğuk su örneklerinin majör iyon analizleri Schoeller ve Piper Diyagramı kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu su örnekleri diyagramlarda farklı kümelenmeler göstermektedir. Sahadaki jeotermal akışkan sıcaklıkları 27,3-47,7°C arasında değişmektedir. Jeotermometre değerlendirmelerine göre muhtemel rezervuar sıcaklığı 78-149°C olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hidrojeokimya, jeotermal enerji, jeotermometre, Akdağmadeni, Karadikmen, Yozgat.

HYDROGEOCHEMICAL ASSESSMENT OF AKDAGMADENİ (YOZGAT) GEOTHERMAL WATERS

Sevim Özulukale¹, Şakir Şimşek¹

¹Hacettepe University, Engineering Faculty, Geology (Hydrogeology) Engineering
Department 06800 Beytepe/ Ankara
(sevimoszulukale@hacettepe.edu.tr)

ABSTRACT

The aim of this study is to determine the origin of waters with water-rock interactions in the geothermal reservoir, and to calculate the probable reservoir temperature and scaling properties with saturation index using water's physical and hydrochemical characteristics. In this context, water samples were collected from hot-cold water springs and Karadikmen geothermal well drilled by MTA in Akdagmadeni geothermal field in September 2014. Electrical conductivity, temperature and pH values of water were measured in the field; Hydrochemical analysis of water samples were carried out in the laboratory.

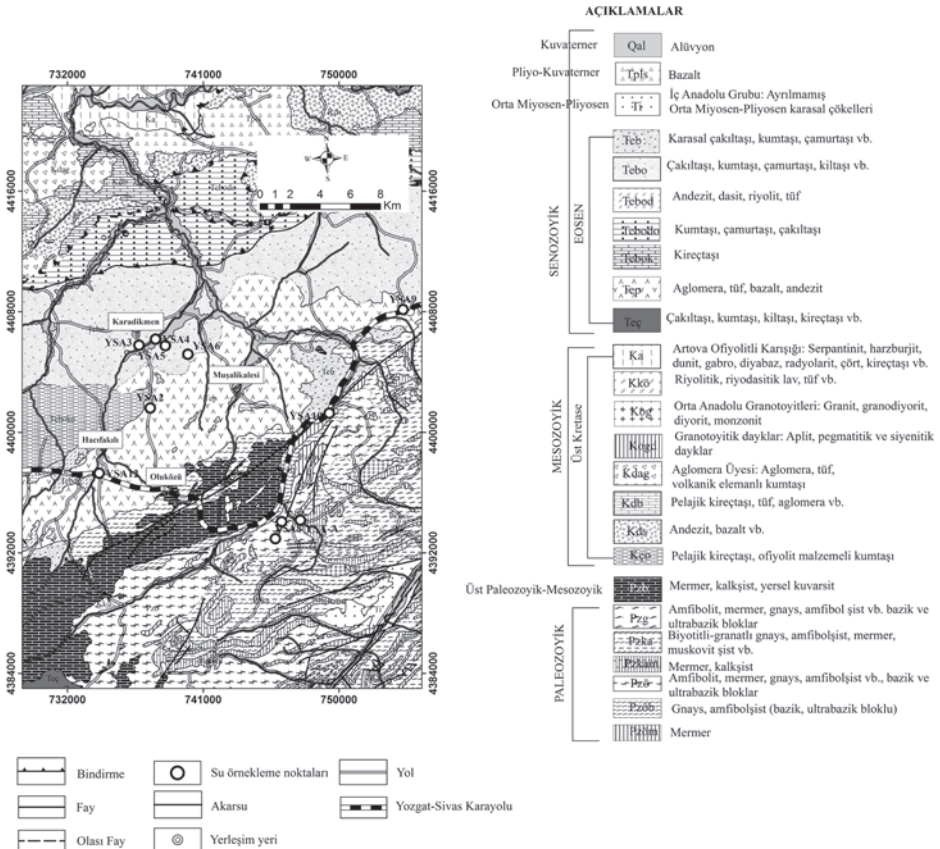
The major ion analyses of geothermal water samples and cold water samples collected in the field were evaluated by using Schoeller and Piper diagrams. These water samples were observed in different clusters on the diagrams. Geothermal fluid temperature has ranged from 27,3 to 47,7°C in the field. Possible reservoir temperature according to geothermometer assessment is calculated as 78-149°C.

Keywords: *Hydrogeochemistry, geothermal energy, geothermometer, Akdagmadeni, Karadikmen, Yozgat.*

mıştır. Suların sıcaklıkları, elektriksel iletkenlikleri ile pH değerleri sahada yerinde ölçülmüş olup anyon-kasyon analizleri için toplanan örneklerin analizleri Hacettepe Üniversitesi Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Su Kimyası Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Sahadaki jeotermal akışkanın yüzey sıcaklıkları 27,3-47,7°C arasında değişmektedir.

JEOLOJİ

Çalışma sahasında güneyden kuzeye doğru Kırşehir Masifi, İzmir-Ankara-Erzincan Zonu ve Sakarya Zonu olmak üzere üç ana yapısal birlik yüzelemektedir. Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı kabul edilen Kırşehir Masifi metamorfik kayalar, Kretase yaşlı ofiyolitler ve bunlara eşlik eden kayalar tarafından üzerlenmektedir. Sakarya Zonu'na ait metamorfizmaya uğramış kayalar ise ofiyolitler ile bunlara eşlik eden kayaları tektonik olarak üzerlemektedir. Bu üç yapısal birliğe ait birimler Eosen yaşlı birimler tarafından aşılabilir uyumsuzlukla örtülmektedir. Ancak Geç Eosen'de ve/veya Eosen sonlarında kuzeydeki İzmir-Ankara-Erzincan Zonu'na ait kaya birimleri Eosen yaşlı kaya birimleri üzerine itilmişlerdir (Şekil 2). Bölgede Orta-Geç Miyosen yaşlı göl ve akarsu ortamlarında gelişmiş İç Anadolu Grubu'na ait karasal kırıntılı kayalar, Pliyo-Kuvaterner bazalt ve Kuvaterner alüvyonlar en genç birimleri oluşturmaktadır (Ketin, 1955; Şimşek, 1993; Dalkılıç, vd., 2008).



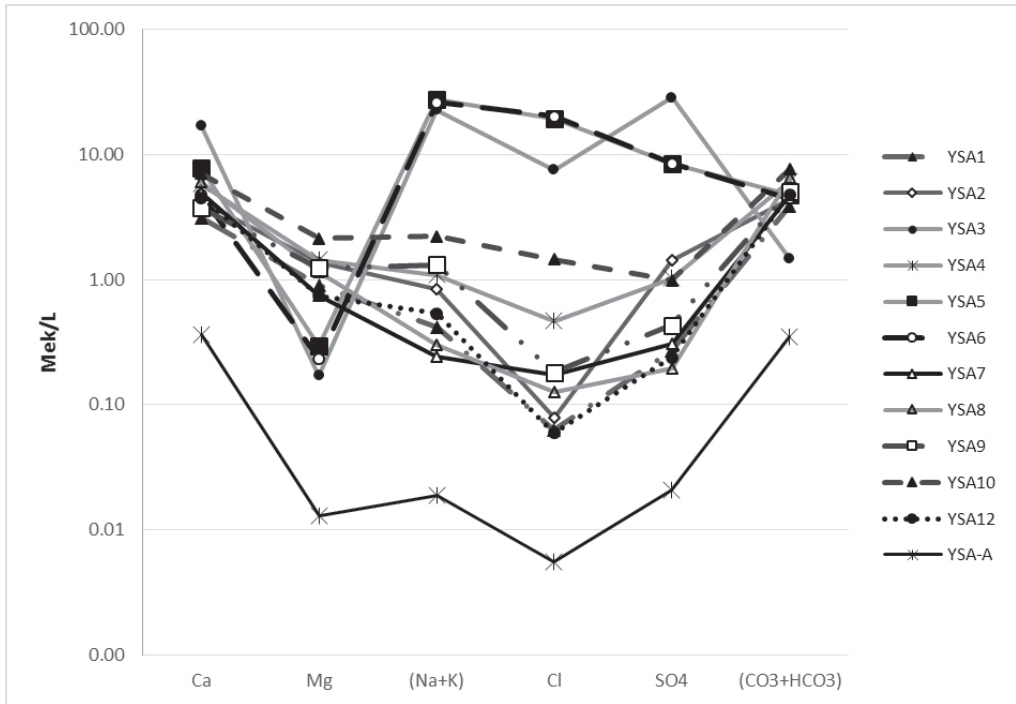
Şekil 2. Çalışma sahasının jeolojik haritası (Dalkılıç, vd., 2008) ve su örnekleme noktaları.

HİDROJEOKİMYA

Çalışma sahasında Akdağmadeni İlçe merkezi ve yakın çevresinde bulunan sıcak ve soğuk suların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin ortaya çıkartılması, bu kaynakların bağlı buldukları yeraltı suyu sistemi, kökenleri ve birbirleri ile olan ilişkilerinin belirlenmesi amacıyla 2014 Eylül ayında sahada su örnekleme çalışması yapılmıştır. Çalışma sahasındaki yerüstü ve yeraltı sularının örnekleme çalışmalarında pH, Elektriksel İletkenlik (EI) ve sıcaklık (T) gibi fiziksel parametre ölçümleri sahada yerinde belirlenmiştir (Çizelge 1).

3.1. Kökensele İncelemeler

Çalışma sahasındaki iyon derişimlerinin mek/L değerlerine göre çizilen Schoeller Diyagramı'nda 2 farklı su tipi dikkati çekmektedir (Şekil 3). Bunlar; Akdağmadeni yağmur suyu (YSA-A), soğuk su kaynakları ve akarsulardan alınan su örnekleri düşük iyon içeriği göstererek 1. grupta yer almaktadır. Sıcak ve minerali su örnekleri (YSA3, YSA5 ve YSA6) yüksek iyon içeriği göstererek 2. grupta toplanmaktadır. Çizelge 2'de çalışma sahasındaki suların iyon sıralaması görülmektedir.



Şekil 3. Çalışma sahasındaki Eylül 2014 dönemi su örnekleri analiz sonuçlarının Schoeller Diyagramı'nda gösterimi.

Çizelge 1. Çalışma sahasından toplanan su örneklerine ait fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları.

Saha Örnek kodu	Örnekleme türü (açıklama)	Örnekleme tarifi	T (°C)	pH	Ei (µS/ cm, 25 °C)	Değişim										
						Ca ²⁺ (ppm)	Mg ²⁺ (ppm)	Na ⁺ (ppm)	K ⁺ (ppm)	HCO ₃ ⁻ (ppm)	CO ₃ ⁻² (ppm)	SO ₄ ⁻² (ppm)	Cl ⁻ (ppm)	F ⁻ (ppm)	Br ⁻ (ppm)	
YSA1	Çeşme (Oluközü)	09.09.2014	14	7.55	446	62.79	10.97	9.55	0.22	238.05	0.00	13.03	2.24	0.21	0	
YSA2	Çeşme (konacı)	09.09.2014	20.8	7.72	513	85.21	16.67	18.59	1.10	267.80	0.00	69.19	2.76	0.31	0	
YSA3	Kuyu (karadikmen)	09.09.2014	47.7	7.70	3260	342.60	2.08	518.31	8.69	89.27	0.00	1370.25	267.36	2.43	0	
YSA4	Kaynak	09.09.2014	11.8	7.64	728	117.57	17.45	24.13	1.57	374.93	0.00	49.56	16.57	0.27	0	
YSA5	Sıcak Su kaynağı	09.09.2014	27.3	7.34	3300	155.92	3.60	625.65	23.33	291.61	0.00	409.42	691.41	5.10	0	
YSA6	Çeşme (Uyuz Hamamı)	09.09.2014	33.6	7.27	3200	95.46	2.83	579.73	33.55	273.76	0.00	407.80	717.74	5.66	0.79	
YSA7	Çeşme	09.09.2014	14	7.28	527	100.21	9.11	5.38	0.40	291.61	0.00	14.70	6.15	0.24	0	
YSA8	Çeşme	09.09.2014	13.3	7.32	611	120.72	14.10	6.48	0.77	398.73	0.00	9.43	4.48	0.20	0	
YSA9	Çeşme	10.09.2014	17.2	7.40	519	75.51	15.16	29.96	0.44	309.46	0.00	20.84	6.39	0.18	0	
YSA10	Akarsu (Özerözü D.)	10.09.2014	15.3	7.65	1038	141.44	25.91	45.56	8.98	464.20	0.00	47.64	51.64	0.22	0	
YSA12	Çeşme	10.09.2014	23.5	7.91	550	91.00	9.01	12.06	0.40	291.61	0.00	11.45	2.11	0.27	0	
YSA-A	Yağmur Suyu	29.09.2014	15.6*	7.49	23	7.24	0.16	0.19	0.14	21.35	0.00	1.00	0.20	0.01	0	

*Yozgat İli'ne ait (1950-2014) Eylül ayı sıcaklık ortalaması (http 1).

Çizelge 1'in devamı;

Saha	Örnek kodu	Örnekleme türü (açıklama)	T (°C)	Örnekleme tarihi	Li ⁺ (ppm)	NH ₄ ⁺ (ppm)	NO ₂ ⁻ (ppm)	Değişim			
								NO ₃ ⁻ (ppm)	PO ₄ ⁻³ (ppm)	SiO ₂ (ppm)	B ³⁺ (ppm)
Akdağmadeni	YSA1	Çeşme (Oluközü)	14	09.09.2014	0.00	0.00	0.00	30.72	0.00	25.30	1.0
	YSA2	Çeşme (Konacı)	20.8	09.09.2014	0.00	0.48	0.00	10.77	0.00	31.49	1.0
	YSA3	Jeotermal Kuyu (Karadikmen)	47.7	09.09.2014	0.39	1.65	0.00	0.00	0.00	56.51	2.73
	YSA4	Kaynak	11.8	09.09.2014	0.00	0.22	0.00	2.09	0.00	25.55	1.0
	YSA5	Sıcak Su Kaynağı	27.3	09.09.2014	0.97	1.41	0.00	0.00	0.00	139.07	3.05
	YSA6	Çeşme (Uyuz Hamamı)	33.6	09.09.2014	1.07	0.00	0.00	0.00	0.00	175.56	2.97
	YSA7	Çeşme	14	09.09.2014	0.00	0.16	0.00	18.28	0.00	21.22	1.0
	YSA8	Çeşme	13.3	09.09.2014	0.00	0.50	0.00	8.51	0.00	28.12	1.0
	YSA9	Çeşme	17.2	10.09.2014	0.00	0.32	0.00	9.21	0.00	33.50	1.0
	YSA10	Akarsu (Özerözü D.)	15.3	10.09.2014	0.00	1.79	8.58	13.19	0.00	24.09	1.0
	YSA12	Çeşme	23.5	10.09.2014	0.00	0.21	0.00	19.76	0.00	23.99	1.0
	YSA-A	Yağmur suyu	15.6*	29.09.2014	0.00	0.51	0.04	0.70	0.00	**	**

*Yozgat İli'ne ait (1950-2014) uzun yıllar Eylül ayı sıcaklık ortalaması (http 1),

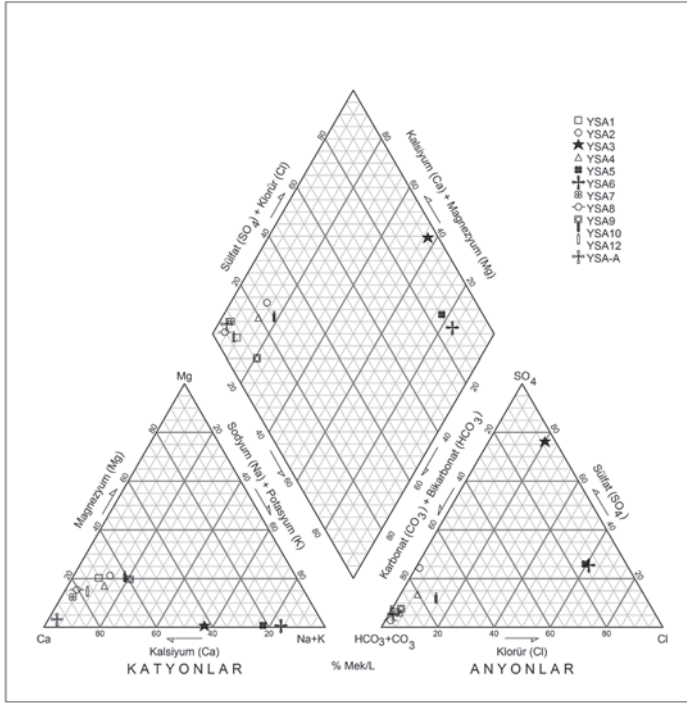
**Analizi yapılmayan verilerdir.

Çizelge 2. Çalışma sahasındaki Eylül 2014 dönemi su örneklerinin iyon sıralaması.

Saha	Örnek kodu	Açıklama	Katyon sıralaması (Mek/L)	Anyon sıralaması (Mek/L)	Su tipi
Akdağmadeni	YSA1	Çeşme (Oluközü)	Ca ²⁺ > Mg ²⁺ > Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ⁻² >Cl ⁻	Ca ²⁺ - HCO ₃ ⁻
	YSA2	Çeşme (Konacı)	Ca ²⁺ > Mg ²⁺ > Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ⁻² >Cl ⁻	Ca ²⁺ - HCO ₃ ⁻
	YSA3	Jeotermal Kuyu (Karadikmen)	Na ⁺ +K ⁺ > Ca ²⁺ > Mg ²⁺	SO ₄ ⁻² >Cl ⁻ >HCO ₃ ⁻	Na- SO ₄ ⁻²
	YSA4	Kaynak	Ca ²⁺ > Mg ²⁺ > Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ⁻² >Cl ⁻	Ca ²⁺ - HCO ₃ ⁻
	YSA5	Sıcak Su Kaynağı	Na ⁺ +K ⁺ > Ca ²⁺ > Mg ²⁺	Cl ⁻ > SO ₄ ⁻² > HCO ₃ ⁻	Na ⁺ - Cl ⁻
	YSA6	Çeşme (Uyuz Hamamı)	Na ⁺ +K ⁺ > Ca ²⁺ > Mg ²⁺	Cl ⁻ > SO ₄ ⁻² > HCO ₃ ⁻	Na ⁺ - Cl ⁻
	YSA7	Çeşme	Ca ²⁺ > Mg ²⁺ > Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻ > SO ₄ ⁻² > Cl ⁻	Ca ²⁺ - HCO ₃ ⁻
	YSA8	Çeşme	Ca ²⁺ > Mg ²⁺ > Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻ > SO ₄ ⁻² > Cl ⁻	Ca ²⁺ - HCO ₃ ⁻
	YSA9	Çeşme	Ca ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺ >Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻ > SO ₄ ⁻² > Cl ⁻	Ca ²⁺ - HCO ₃ ⁻
	YSA10	Akarsu (Özerözü D.)	Ca ²⁺ >Na ⁺ +K ⁺ >Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻ > Cl ⁻ > SO ₄ ⁻²	Ca ²⁺ - HCO ₃ ⁻
	YSA12	Çeşme	Ca ²⁺ > Mg ²⁺ > Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ⁻² >Cl ⁻	Ca ²⁺ - HCO ₃ ⁻
	YSA-A	Yağmur Suyu	Ca ²⁺ > Mg ²⁺ > Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ⁻² >Cl ⁻	Ca ²⁺ - HCO ₃ ⁻

Çizelge 2’de $Ca^{+2}-HCO_3^-$, $Na^+-SO_4^{-2}$ ve Na^+-Cl^- fasiyes grubunda olmak üzere 3 farklı su grubu ayırt edilmiştir. $Ca^{+2}-HCO_3^-$ fasiyes grubunda; YSA-A yağmur suyu ile YSA1, YSA2, YSA4, YSA7, YSA8, YSA9, YSA10 ve YSA12 kodlu su örnekleri görülmektedir. Bu gruptaki sular Piper Diyagramı’nda ve Schoeller Diyagramı’nda 1. grupta görülmektedir. Bu fasiyes grubu sığ dolaşımli yeraltısularını gösterebilir veya sahadaki mermer ya da kireçtaşı etkileşiminden oluştuğu düşünülebilir. $Na^+-SO_4^{-2}$ fasiyes grubunda; YSA3 kodlu sıcak su örneği görülmektedir. Bu gruptaki su örneği hem Piper Diyagramı’nda hem de Schoeller Diyagramı’nda 2. grupta görülmektedir. YSA3 kodlu sıcak su örneğinin derin dolaşımli yeraltısuyu olabileceği düşünülmektedir. Na^+-Cl^- fasiyes grubunda; YSA5 ve YSA6 kodlu sıcak su örneği görülmektedir. Bu gruptaki sular Piper Diyagramı’nda ve Schoeller Diyagramı’nda 2. grupta görülmektedir. YSA5 ve YSA6 kodlu sıcak su örneklerinin de derin dolaşımli yeraltı suları olabileceği düşünülmektedir.

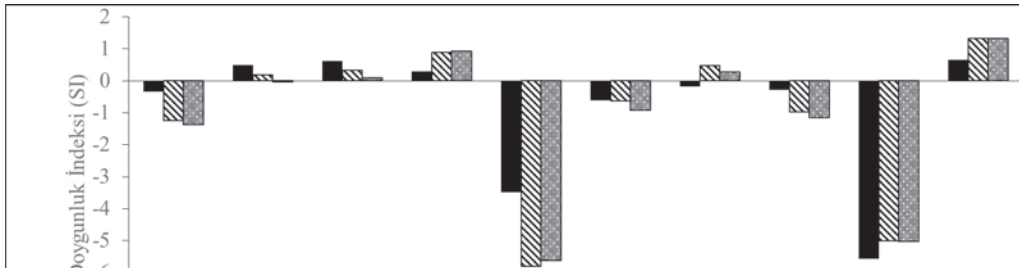
Piper Diyagramı’na göre, inceleme alanında 2 farklı grupta su tipi görülmektedir (Şekil 4). Akdağmadeni yağmur suyu (YSA-A), soğuk su kaynakları ve akarsulardan alınan su örnekleri Piper Diyagramı’nda sol tarafta tatlı sular (1. Grup) kısmında toplanmaktadır. Bu sular Ca^{+2} ve HCO_3^- iyonlarınca zengin olan bölgede yer almakta olup bölgedeki sığ dolaşım sistemini yansıttığı düşünülmektedir. Sıcak ve mineralli su örnekleri (YSA3, YSA5 ve YSA6) Piper Diyagramı’nın sağ tarafında tuzlu sular (2. Grup) kısmında toplanmış olduğu görülmektedir. Bu sular Na^+ ve K^+ iyonları ile SO_4^{-2} ve Cl^- iyonları ile zengin olan bölgede yer almakta olup derin dolaşım sistemini yansıttığı düşünülmektedir. Çizelge 1’de kirlilik göstergesi olan NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- ve PO_4^{-3} iyon derişimleri de yer almakta olup soğuk sularla özellikle NO_3^- değeri 8.51-30.72 ppm arasında değer almaktadır. Bu azot bileşiminin kaynağı tarımsal arazilerdeki gübreden gelebileceği düşünülmektedir. Sıcak su örnekleme noktalarında ise azot kaynaklı kirlilik göstergesi olan NH_4^+ bileşimine YSA3 ve YSA5 kodlu su örneklerinde görülmektedir. YSA10 kodlu akarsudan örneklenen su noktasında ise yüksek NH_4^+ , NO_2^- ve NO_3^- iyon derişimi dikkati çekmektedir, bunun nedeni olarak da tarımsal gübrelerin yüzeysel akışlarla akarsuya ulaşmaları sonucu olarak bu iyonlarda artış olduğu düşünülmektedir. Li^+ ve B^{+3} iyon derişimlerinin derin dolaşımli jeotermal sularla (YSA3, YSA5 ve YSA6) arttığı görülmektedir. B^{+3} iyonu sulara volkanitlerdeki veya Eosen yaşlı örtü birimlerindeki minerallerden yeraltısuyuna geçmiş olmalıdır. Br^- iyon derişimine ise sadece YSA6 su örnekleme noktasında rastlanılmıştır.



Şekil 4. Çalışma sahasındaki 2014 Eylül dönemi su örnekleri analiz sonuçlarının Piper Diyagramı'nda gösterimi.

Doğunluk İndeksi (SI) Hesaplamaları

PhreeqC (Parkhurst ve Appelo, 2013) programı ile yapılan doğunluk indeksi hesaplamasıyla oluşturulan doğunluk indeksi diyagramında sahadaki kayaç litolojileri de dikkate alınarak minerallerin jeotermal su örnekleme noktalarında kalsedon, kuvars, kalsit ve aragonite doğun; talka YSA3 ve YSA6'da, fluorite de YSA5 ve YSA6'da doğun oldukları belirlenmiştir. Bu durumda suların dolaşım süreleri boyunca metamorfitleme ait mermerler ve volkanitler ile uzun süre temas ettiği düşünülmektedir. Elde edilen bu sonuçlara göre, yüzeye çıkan sıcak suların doğun oldukları minerallerde kabuk yapıcı özellikte olabilecekleri de belirlenmiştir. Ayrıca, anhidrit, dolomit, jips, halit, sepiyolit ve silvin minerallerini ise çözme eğiliminde oldukları da belirlenmiştir.



Şekil 5. Çalışma sahası'ndaki (Akdağmadeni-Karadikmen (Yozgat)) su örneklerinin PhreeqC (Parkhurst ve Appelo, 2013) programı ile belirlenen doğunluk indeksinin grafiksel gösterimi.

3.3. Jeotermometre Uygulamaları

Akdağmadeni (Yozgat) jeotermal sularının muhtemel rezervuar sıcaklıkları, bu suların kimyasal analiz sonuçlarından yararlanılarak katyon ve silis jeotermometre eşitlikleriyle tahmin edilmeye çalışılmıştır (Çizelge 3 ve Çizelge 4).

Çizelge 3. Akdağmadeni jeotermal sularının katyon jeotermometreleriyle hesaplanan muhtemel rezervuar sıcaklıkları (°C).

	1	2	3	4	5	6	7	8 (b=4/3)
YSA3	52	53	64	106	100	90	121	52
YSA5	101	104	112	149	145	133	164	103
YSA6	136	140	145	176	174	162	192	130

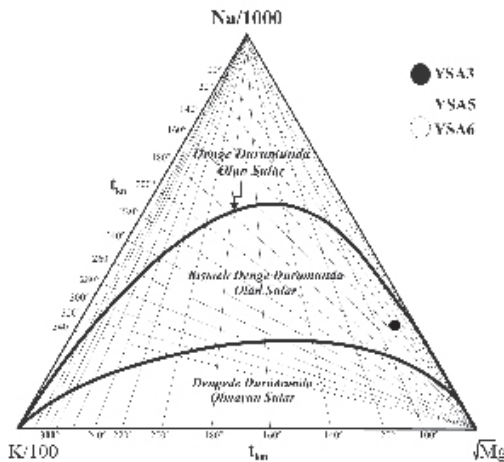
1. Truesdell (1976), 2. Tonani (1980), 3. Arnórsson vd. (1983), 4. Arnórsson vd. (1983), 5. Fournier (1979), 6. Nieva ve Nieva (1987), 7. Giggenbach (1988), 8. Fournier ve Truesdell (1973).

Çizelge 4. Akdağmadeni jeotermal sularının silis jeotermometreleriyle hesaplanan muhtemel rezervuar sıcaklıkları (°C).

	1 (Kuars)	2 (Kuars)	3 (Kuars)	4 (Kuars)	5 (Kalsedon)	6 (Kalsedon)
YSA3	108	108	108	94	78	79
YSA5	157	156	149	146	132	129
YSA6	172	171	161	162	149	144

1. Fournier ve Potter (1982), 2. Fournier (1977), 3. Fournier (1977), 4. D'Amore ve Arnórsson (2000), 5. Fournier (1977), 6. Arnórsson vd. (1983).

Burada, muhtemel rezervuar sıcaklığı katyon jeotermometreleriyle 52-192°C hesaplanmışken, silis jeotermometreleriyle 78-172°C olarak hesaplanmıştır. Giggenbach (1988) diyagramına göre sıcak ve mineralli sular “kısmen denge” durumunda olduğundan katyon jeotermometreleri ile hesaplanan değerlere şüphe ile bakıldığından dikkate alınmamıştır (Şekil 6). Çalışma sahasındaki sıcak suların akışkan sıcaklıkları 180°C'den düşük olduğundan Kalsedon Jeotermometreleriyle hesaplanan 78-149°C sıcaklık değer aralığı muhtemel rezervuar sıcaklığı olarak daha uygun görülmektedir.



Şekil 6. Akdağmadeni sıcak ve mineralli sularının Giggenbach (1988) diyagramındaki konumları.

SONUÇLAR

Akdağmadeni jeotermal akışkanlarının yüzey sıcaklıkları 27,3-47,7°C arasında değişmektedir. Yapılan hidrojeokimyasal analiz ve değerlendirmelere göre, Akdağmadeni jeotermal sularının aynı kökene sahip oldukları belirlenmiştir. $\text{Na}^+\text{-SO}_4^{-2}$ ve $\text{Na}^+\text{-Cl}$ tipi sular sınıfına girmeleri ise bu kaynakların derin dolaşımli sular olduğunu göstermektedir.

Akdağmadeni jeotermal suları kalsedon, kuvars, kalsit ve aragonite doygun, talk ve fluorit minerallerine bazı örnekleme noktalarında doygun olduğundan bu mineralleri çökeltme eğilimi belirlendiğinden kabuk yapıcı oldukları ve anhidrit, dolomit, jips, halit, sepiyolit ve silvin minerallerini ise çözme eğiliminde oldukları görülmektedir. Bu duruma göre suların dolaşım süreleri boyunca metamorfitlere ait mermerler ve volkanitler ile etkileşim içinde oldukları anlaşılmaktadır.

Jeotermal alanda kalsedon jeotermometre eşitliklerine göre muhtemel rezervuar sıcaklığı 78-149°C olarak hesaplanmıştır.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma, Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'nin 014D09602007 kodlu projesi olarak desteklenmiştir. Yazarlar, Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne, Su Kimyası Laboratuvarı çalışanlarına, raporlarından yararlanan MTA Genel Müdürlüğü'ne, gerekli izin ve yardımı sağlayan Yozgat Valiliği'ne ve Akdağmadeni Kaymakamlığı'na teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Arnórsson, S., Gunnlaugsson, E., Svavarsson ve H., 1983. The chemistry of geothermal waters in Iceland. III. chemical geothermometry in geothermal investigations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47, pp. 567-577.
- Dalkılıç, H., Dönmez, M. ve Akçay, A. E., 2008. 1/100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları No. 82, Yozgat I-35 Paftası. MTA yayını. Ankara.
- D'Amore F. ve Arnórsson, S., 2000. Geothermometry. Isotopic and chemical techniques in geothermal exploration, development and use. Arnórsson, S. (ed.), IAEA, Vienna. pp.152-199.
- Fournier, R.O., 1977. Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems. *Geothermics*. 5, pp. 41-50.
- Fournier, R.O., 1979. A revised equation for the Na-K geothermometer. *Geothermal Resources Council Transactions*, 3, pp. 221-224.
- Fournier, R.O. ve Potter, R.W. II, 1982. A revised and expanded silica (quartz) geothermometer. *Geothermal Research Council Bulletin*, 11, pp. 3-9.
- Fournier, R.O. ve Truesdell, A.H., 1973. An empirical Na-K-Ca geothermometer for natural waters. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 37, pp. 1255-1275.
- Giggenbach, W. F., 1988. Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca geothermometers. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 55, pp. 2749-2765.
- Nieva, D. ve Nieva, R., 1987. Development in geothermal energy in Mexico, part 12-A cationic composition geothermometer for prospecting of geothermal resources. *Heat recovery systems and CHP*. 7, pp. 243-258.
- Parkhurst, D.L. ve Appelo, C.A.J., 2013. Description of input and examples for PHREEQC version 3--A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical

calculations: U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 6, chap. A43, 497 p.

Ketin, İ., 1955. Yozgat Bölgesi'nin jeolojisi ve Orta Anadolu Masifi'nin tektonik durumu, TJK Bülteni, Cilt VI, s. 1-40.

Şimşek, Ş., 1993. Isotope survey of geothermal systems of Central Anatolia, Hacettepe University International Research and Application Center for Karst Water Resources. Ankara, HU-IAEA Research Contract 6716/RB.

Tonani, F., 1980. Some remarks on the application of geochemical techniques in geothermal exploration. Adv. Eur. Geoth. Res. Second Symp., Strasbourg, pp. 428-443.

Truesdell, A. H., 1976. Summary of section III geochemical techniques in exploration. Proc. of Second United Nations Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources, 1975, San Francisco, U.S. Gov. Print. Office, pp. 53-79.

http 1. <http://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=YOZGAT#sfB>, 13.08.2015.

KAPADOKYA JEOTERMAL PROVENSİNİN HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Mehmet Furkan Şener¹, Mehmet Şener¹

¹Niğde Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü,
51240 Niğde/Türkiye
(mfsener@nigde.edu.tr)

ÖZ

Bu çalışmada, Orta Anadolu Bölgesi'nin güneyinde yer alan ve Kapadokya Jeotermal Provensi olarak adlandırılan çalışma alanının jeolojik ve hidrojeokimyasal araştırmaları yapılarak sistemin jeotermal alan özelliklerinin ortaya konulmasına yönelik değerlendirmelerde bulunulmuştur.

Yapılan çalışmalar sonucunda Kapadokya jeotermal provensi içerisinde tektonik hatlarla kontrol edilen iki farklı jeotermal sistem tespit edilmiştir. Bu sistemler; Tuzgözü Fay Zonu ile Keçi-boyduran-Melendiz Fayı arasında kalan alanda bulunan jeotermal sistem ve Keçi-boyduran-Melendiz Fayı'nın kuzeyinde bulunan jeotermal sistemlerdir.

Çalışma alanına ait su örneklerinin kimyasal ve izotop analiz sonuçlarına göre, her iki jeotermal sistem içerisindeki soğuk sular Ca-Mg-HCO₃ ve Ca-HCO₃ tipinde mineralce fakir sulardır. Ancak sıcak sulardan birinci sisteme ait sıcak sular Ca-Na-SO₄ ve Ca-Mg-SO₄ iken ikinci sisteme ait sıcak sular Na-Cl-HCO₃ ve Ca-Na-HCO₃ tipinde mineralce fakir sıcak sulardır. İzotop hidrolojisi çalışmalarına göre çalışma alanındaki sular meteorik sulardan beslenmektedirler. Silis jeotermometre sonuçlarına göre Dertalan, Melendizdağ, Keçi-boyduran Dağı, Hasandağ (Keçikalesi), Ziga, Acıgöl ve Derinkuyu sahaları sırasıyla 150-173 °C, 88-117 °C, 91-120 °C, 94-122 °C, 131-156 °C, 157-179 °C; 152-174 °C ve 102-130 °C arasında değişmektedir.

Kapadokya jeotermal provensi ait numunelerden yapılan jeolojik, hidrojeokimyasal ve jeofizik verilere göre; alandaki jeotermal kaynaklar birincil ve ikincil tektonik kuşaklar tarafından kontrol edilmektedir. Ayrıca, Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı mermer ve gnayslar sistemin hazne kayasını, Geç Kretase yaşlı gabbro/granodiyorit sokulumları ile bölgesel tektonik sonucu gelişen muhtemel bir kabuk incelmeleri ile yüzeye yaklaşan ısı akıları sistemin ısı kaynağını ve Kapadokya volkanitlerine ait tüf ile ignimbritlerde sistemin örtü kayasını oluşturmaktadır.

Tüm bu çalışmalara göre, alanda önemli bir jeotermal potansiyel bulunduğu görülmektedir. Çalışma alanında bulunan jeotermal sistemin rezervuar veya hazne kayası ile örtü kayasında herhangi bir sorun bulunmamakta, sistemde jeotermal akışkan problemi bulunmamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kapadokya, jeotermal sistemler, jeokimya, hidrotermal alterasyon.

HYDROGEOCHEMICAL PROPERTIES OF CAPPADOCIA GEOTHERMAL PROVINCE

Mehmet Furkan Şener¹, Mehmet Şener¹

¹ Niğde University, Engineering Faculty, Department of Geological Engineering,
51240, Niğde/Turkey
(mfsener@nigde.edu.tr)

ABSTRACT

In this study, the geothermal characteristics of the system have been introduced with geological and hydrogeochemical research in the area named as Cappadocia Geothermal Province in the south of Central Anatolia.

As a result of studies, two different geothermal systems have been identified which are controlled by tectonic lines in Cappadocia geothermal province. These geothermal systems are located between Tuzgölü Fault Zone and Keçiboyduran-Melendiz Fault and located north of Keçiboyduran-Melendiz Fault.

According to water chemistry and isotope analysis, the cold waters of both area groups are Ca-Mg-HCO₃ ve Ca-HCO₃ type mineral poor waters but the hot waters of first group are Ca-Na-SO₄ and Ca-Mg-SO₄ type and the hot waters of second group are Na-Cl-HCO₃ and Ca-Na-HCO₃ type of mineral poor hot waters. According to isotope hydrology studies, the geothermal waters are fed from meteoric waters and according to the results of silica geothermometer, the reservoir temperature of Dertalan, Melendiz Mount, Keçiboyduran Mount, Hasan Mount (Keçikalesi), Ziga, Acıgöl, and Derinkuyu geothermal waters are 150-173°C, 88-117°C, 91-120°C, 94-122°C, 131-156°C, 157-179°C; 152-174°C and 102-130°C, respectively.

According to the geological, hydrogeochemical and geophysical data of Cappadocia Geothermal Province, the geothermal resources in the field area are controlled by primary and secondary tectonic belts. Also, according to this conceptual geothermal model, Paleozoic-Mesozoic marble and gneiss constitutes the reservoir rock. Late Cretaceous intrusions of granodiorite/gabbro and impending heat fluxes to the surface with a possible crustal thinning which developed after regional tectonism results constitutes the heat sources. Miocene-Pliocene and tuff and ignimbrites of Quaternary Cappadocia Volcanics also constitute the seal rock of the geothermal system.

As a result of all these studies, Cappadocia has a significant geothermal potential. There are no problems of reservoir or seal rock in the study area, but geothermal fluid of the system is problematic.

Keywords: Cappadocia, geothermal systems, geochemistry, hydrothermal alteration.

Çalışma Alanının Jeolojisi ve Tektonik Özellikleri

Şengör ve Yılmaz (1981) tarafından Orta Anadolu Ovalar Bölgesi ve (Göncüoğlu ve diğ., 1993) tarafından Orta Anadolu Kristalen Karmaşığı/Kompleksi olarak tanımlanan bölge içerisinde kalan çalışma alanında Paleozoyik, Eosen, Miyosen ve Kuvaterner yaşlı birimler yüzlek vermektedir (Şekil 1).

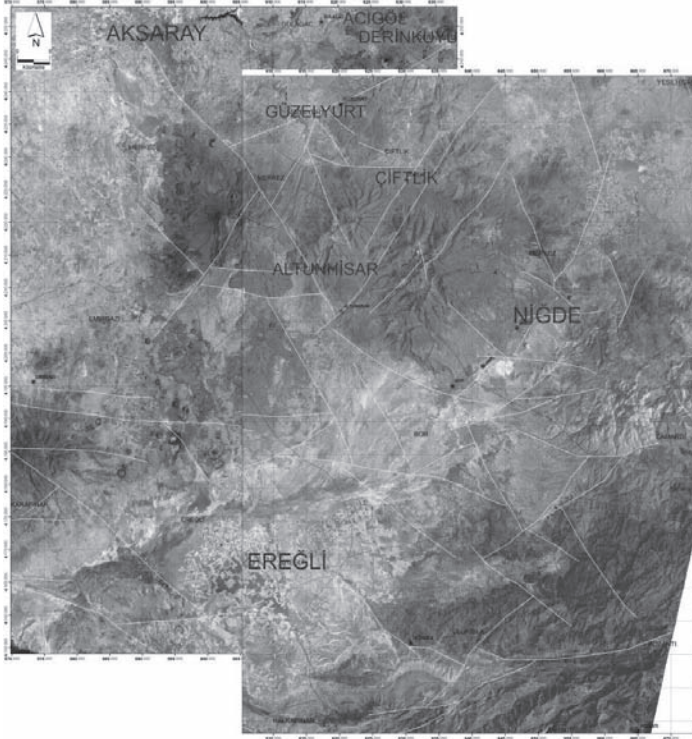
Niğde, Nevşehir ve Aksaray bölgeleri için günümüze kadar çeşitli araştırmacılar tarafından farklı formasyon isimleri ile nitelendirilen Kapadokya Jeotermal Provensinin genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti ilk kez bu çalışmada denetlenilerek Şekil 2’de sunulmuştur. Çalışma alanında, Paleozoyik yaşlı mermer, gnays ve şistler, Kretase yaşlı gabro ve diyoritler, Eosen yaşlı çökeller ve Miyosen-Pliyosen ile Kuvaterner yaşlı volkanitler gözlemlenmektedir (Şekil 2).

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	LİTOLOJİ	AÇIKLAMA
SENOZOYİK	KUVATERNER			Traverten, Alüvyon, Yamaç molozu Olivinli bazalt (<i>Acıgöl Volkaniti</i>); Bazalt, andezit (<i>Hasandağ Volkanitleri</i>); Andezit, bazaltik andezit (<i>Keçiboyduran Volkanitleri</i>); Riyolit, piroklastik kayalar (<i>Göllüdağ Volkanitleri</i>); Bazalt, andezit (<i>Çınarlı Volkanitleri</i>); Bazalt, andezit (<i>Tepeköy Volkanitleri</i>); Pomzalı camsı kül (<i>Kumtepe Külü</i>).
		MIYOSEN-PLİYOSEN		Gri, kırmızı, kahverengi ignimbirit (<i>Kızılıkaya İgnimbiriti</i>); Andezit, tuf, aglomera (<i>Melendizdağ Volkanitleri</i>); Melendizdağ aglomerası; Konglomera, kumtaşı, tufit (<i>Peçenek Formasyonu</i>);
	TERSİYER	EOSEN		Kalın tabakalı beyaz kireç taşı (<i>Kışladağ Üyesi</i>); Kızıl, kahverengi ignimbirit (<i>Incesu Üyesi</i>); Beyaz ignimbirit ve lahar (<i>Kavak Üyesi</i>); Kumtaşı, marn, kiltası (<i>Tuzköy Formasyonu</i>); İç Anadolu Grubu karasal çökel; Volkanik ara katlı gösel çökeller (<i>Ürgüp Formasyonu</i>)
				Gösel çökeller; Kiltası, silt taşı, şeyl (<i>Çamardı Formasyonu</i>); Tuf, aglomera, çakiltası (<i>Ulukışla Formasyonu</i>)
MESOZOYİK	KRETASE			Gabro, Diyorit (<i>Üçkaplı Granadyorit</i>)
PALEOZOYİK				Mermer, gnays, amfibolit (<i>Aşıgediği Formasyonu</i>); Mermer, gnays (<i>Gümüşler Formasyonu</i>); Gnays, mermer, amfibolit, kuvarsit (<i>Kaleboynu Formasyonu</i>)

Şekil 2. Çalışma alanının genelleştirilmiş bölgesel stratigrafisi (Göncüoğlu, 1981; Yetiş, 1984; Burçak, 2006 ve Kavurmacı, 2010’ dan geliştirilerek)

Bölgesel Tektonik

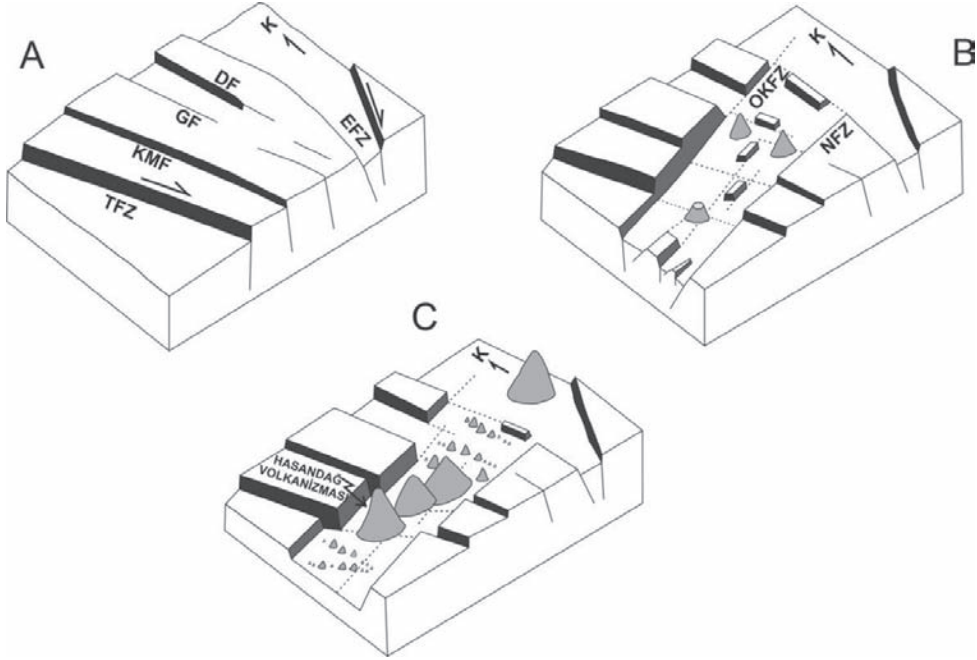
Çalışma alanı, kuzeyde İzmir-Ankara-Erzincan kenet kuşağı, batıda Tuz Gölü fayı ve doğuda ise Ecemiş fayı ile sınırlanmaktadır. Bu nedenle tektonik hareketlilik gerek stratigrafik gerekse volkanik oluşumları yakından etkilemiştir. Uydu görüntüleri üzerinde belirlenen çizgisellik hatlarından da anlaşılacağı üzere çalışma alanında genel tektonik hatlar KB-GD ve KD-GB doğrultuda gelişmiştir (Şekil 3). KB-GD doğrultusunun en belirgin olduğu tektonik hat Tuz Gölü fayıdır. KB-GD doğrultusunun en belirgin olduğu tektonik hat ise Ecemiş fayıdır. Bölgede hakim doğrultu olan bu sistemlere paralel gelişen diğer tektonik hatların kesişim yerlerinde volkanik çıkış merkezleri gelişmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Çalışma alanının uydu görüntülerinden elde edilen çizgisellik hatları

Bölgedeki jeodinamik ortamın değişimi, rotasyonel hareketler ve birbirini kesen fay sistemleri büyük olasılıkla ekstansiyon oranının değişmesine ve kabuk-ölçekli kırık sistemlerinin gelişmesine neden olmuştur (Dirik vd., 1999). Bu faylar ve kırık sistemleri 1) magma yerleşimi/erüpsiyonu için çıkış yollarıdır ve 2) magmanın yeraltında kalma süresini ve böylece kabuk materyaliyle olan etkileşimi kontrol ederler. Aynı volkanik komplekste geniş bir aralık sunan kayaç bileşimleri (kalk-alkalen, toleyit-alkalen geçişi ve alkalen) tektonik hareketlerle kontrol edilen magmanın yeraltındaki kalış süresiyle direkt olarak açıklanabilir. Bu yapısal özellikleri nedeniyle, Kapadokya jeotermal provansı içerisindeki hidrotermal suların ve bunların açığa çıkmasını sağlayan çatlak ve fayların zayıf gerilmeli bir tektonik rejimin ürünü olduklarını ve sistemi ısıtan magmatik unsurlarında yukarıda bahsedilen astenosferin yukarı doğru hareketiyle ilgili olduğu öngörülebilir.

Bölgede gelişen Paleotektonik dönem yapıları Orta Eosen öncesinde gelişmiş yapılar olup (1) metamorfizma öncesi oluşmuş uyumsuzluklar, (2) metamorfizma sırasında gelişen kıvrımlar ve (3) metamorfizma sonrası gelişen yapısal unsurlar olmak üzere üç alt grupta toplanmaktadır (Güncüoğlu ve Toprak, 1993) (Şekil 4).



Şekil 4. Miyosen'den günümüze bölgedeki fay sistemlerinin hareketleri, A) Geç-Orta Miyosen, B) Geç Miyosen-Erken Pliyosen C) Geç Pliyosen-Kuvater. (OKFZ: Orta Kızılırmak fayı; DF: Derinkuyu fayı; EFZ: Ecemiş fayı; KMF: Keçiboyduran-Melendiz fayı; NFZ: Niğde fayı; TFZ: Tuzgözü fayı) (Toprak ve Güncüoğlu, 1993)

Materyal ve Yöntem

Çalışma alanında alanı yansıtmak üzere arazi çalışmaları sırasında altere alanlardan 58 adet kayaç numunesi ve 11 adet su numunesi alınmıştır. Bu 58 kayaç numunesinin 14 tanesinden ince kesit, 58 numuneden tüm kaya XRD ve kil fraksiyonu analizleri yapılmıştır. Alınan 11 adet su numunesinin 7 tanesinden major anyon ve katyon, ve 4 tanesinden ise $\delta^{18}\text{O}$ ve δD analizleri yapılmıştır.

Çalışma alanından alınan alterasyon numuneleri Niğde Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Taş Kesme Laboratuvarında kayaç üzerinde belirlenen alandan kesilerek, Mineraloji ve Petrografi Laboratuvarında ince kesitleri hazırlanmış ve Mikroskop Laboratuvarında Nikon Eclipse E400 POL mikroskopta incelenmiştir.

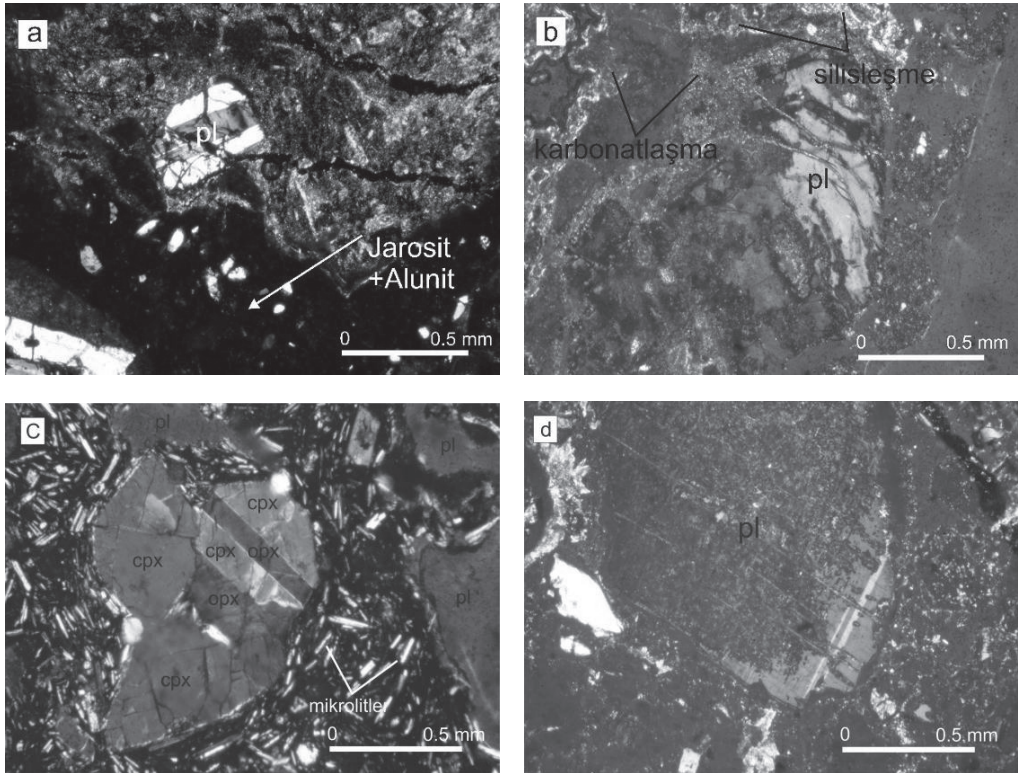
XRD (X-ışını kırınımı) analizi kil veya kil olmayan minerallerin incelenmesinde kullanışlı/yararlı bir tekniktir. Çalışma alanından alınan numunelerin XRD incelemeleri Avustralya'nın Queensland Üniversitesi X-Ray laboratuvarında analiz edilmiştir. Numuneler tüm kayaç XRD ve kil XRD olmak üzere iki basamakta incelenmiş ve kil minerallerinin orijinal XRD ölçümleri ($<2\mu\text{m}$, $<1\mu\text{m}$ ve $<0.5\mu\text{m}$) boyutunda yapılmıştır.

Hidrojeokimya yeraltı sularının kimyasal özelliklerinin ve kalitelerinin belirlenmesi, kökenlerinin araştırılması, yüzey ve yağış suları ile olası ilişkilerinin incelenmesi, yeraltı sularının kirlenmesi ve iyileştirilmesi gibi problemlerin çözülmesi ve benzeri araştırmalarda kullanılan hidrojeolojik çalışmaların vazgeçilmez bir parçasını oluşturur. Alandan derlenen sıcak ve soğuk su numunelerinin analiz sonuçları Aquachem jeokimya programında incelenmiş ve Piper, Schoeller, Durov ile Giggenbach diyagramları kullanılarak değerlendirilmiştir.

Bulgular

Mineralojik ve Petrografik Bulgular

Çalışma alanından derlenen altere kayaç örneklerinden yapılan mineralojik incelemelerde, Na bakımından zengin çözeltilerin, K feldispat ve plajiyoklazlarla etkileşimi sonucu gelişen albitleşmeler, epitermal damarlar çevresinde bulunan ve K-feldispatın veya feldispatoidlerin sülfatlı çözeltiler ile etkileşimi sonucu gelişen alüinitleşmeler veya kayaçların hidrotermal kökenli magmatik çözeltilerle silis getirmesi sonucu silisçe zengin bir durum almasını sağlayan süreç olarak tanımlanan silisleşmeler gibi hidrotermal alterasyon tipleri saptanmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Com-1 (a), Com-2 (b) ve altere andezit-dasit serisi, Ilı-1 (c) ve Nar-2 (d) bazaltik kayaçların ince kesit görüntüleri, +N, tamamen altere olmuş matriks, plajiyoklas (pl: bitovnit-labrador, killeşme (jarosit+alunit), kuvars (Q: silisleşme), klinopiroksenler (cpx: diyopsit) içerisinde ortopiroksen lameli (opx)

Çalışma alanı içerisindeki volkanitlere ait mineralojik incelemelerde numunelerin tamamen altere oldukları gözlemlenmektedir. A kesiti genelinde tamamen altere olmuş bir hamur içerisinde

de, kenarları alterasyona uğramış plajiyoklas mineralleri (andesin-oligoklas) gözlemlenmekte ve alterasyon kaynağının kayacın çatlaklı zonlarından geçtiği yerlerde sülfat içerikli malzemelerin (jarosit ve alunit gibi) çökeldiği gözlemlenmektedir. B kesitinde alterasyona bağlı olarak relik halde bulunan plajiyoklas, mineral kenarlarında killeşme, silisleşmeler (beyaz tonlarında olanlar) ve karbonatlaşmalar (renkli olanlar) görülmektedir. Az altere olmuş, ince mikrolitlerin oluşturduğu intersertel dokulu bir hamurdan oluşan bazaltik kayaç numunesi olan C kesitinin merkezinde eğik sönmesi yaklaşık 30-40° civarında olan, öz şekilli, yarı öz şekilli kristallerin oluşturduğu bir klinopiroksen (diyopsit) topluluğu gözlenmektedir. Bu klinopiroksenlerin içerisinde tipik ortopiroksen (enstatit) bandı (kuşağı) oluşmuştur. Olivinli bazalt ve andezit numunesi olan D kesitinin tamamı ileri derecede alterasyona uğramış mineraller ve altere olmuş camı bir hamur içermektedir. Kesit ileri derecede alterasyon bağlı albitleşme şeklinde alterasyonlar, kil minerallerine dönüşmüş ve sadece relik olarak kalmış plajiyoklaslar görülmektedir. Buna bağlı olarak Nar-2 numunesi muhtemel sıcak su kaynağına yakın olmasından dolayı ileri derecede alterasyona uğramıştır (Şekil 5).

Petrografik Bulgular

İnceleme alanındaki alterasyon zonlarından alınan numunelerde smektit, illit, opal, kalsit, alunit ve jarosit gibi alterasyon mineralleri ile plajiyoklas, amfibol, piroksen, biyotit ve kuvars gibi birincil mineraller gözlenmiş ayrıca çalışma alanı gruplara ayrılarak her grup kendi içerisinde irdelenmiş ve farklı alterasyon minerallerinin farklı seviyelerde meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Hidrotermal minerallerinden illit minerali, genellikle fay sistemlerinin etkin olduğu noktalardan alınan numuneler içerisinde daha yoğun miktarlarda olduğu saptanmıştır. Ayrıca XRD analizleri ile belirlenen kil minerallerinin yüzdelere bakıldığında inceleme alanındaki killi birimler ile volkanik birimler arasında kökensel bir ilişkinin varlığı düşünülmektedir.

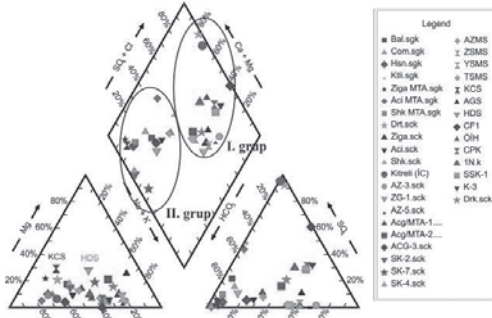
Hidrojeokimyasal Bulgular

Rezervuarın, sıcaklık ve kimyasal şartları hakkında öngörülerde bulunmak, beslenme alanı ve su kayaç ilişkilerini aydınlatmak amacıyla alanda yer alan sıcak ve soğuk sulardan 11 adet su numunesi alınarak kimyasal analizleri yapılmıştır. Daha önce de Emre, (2012) tarafından yapılan 2 adet, Burçak (2009) tarafından yapılan Acıgöl ve Ziga bölgelerine ait 12 adet ve Afşin vd. (2014) tarafından yapılan 7 adet analiz dahil olmak üzere toplam 32 adet su numunesinin kimyasal analizinden yararlanılmıştır.

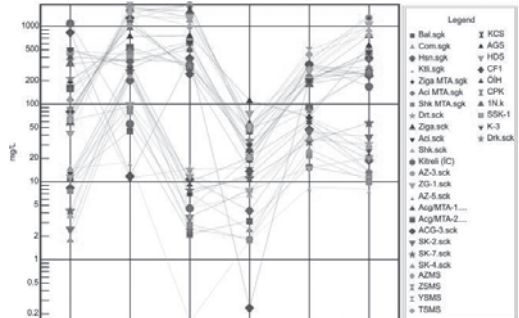
Su kimyası sonuçlarına göre, alandaki soğuk sular Ca-Mg-HCO_3 ve Ca-HCO_3 tipinde; Kitreli sıcak ve mineralli suları Ca-Na-SO_4 ; Dertalan sıcak ve mineralli suları ise Ca-Mg-SO_4 tipinde; Çiftahan sıcak ve mineralli suları ise Na-Ca-SO_4 tipinde; Acıgöl sıcak ve mineralli suları B içeren $\text{Na-Ca-HCO}_3\text{-Cl}$ tipinde; Ziga sıcak ve mineralli suları B içeren Na-Cl-HCO_3 tipinde ve Şahinkalesi sıcak ve mineralli suları Ca-Na-HCO_3 tipinde mineralce fakir sıcak sulardır. Ayrıca çalışma alanındaki Ziga, Acıgöl ve Derinkuyu suları hariç, diğer suların dağılımına bakıldığında Tuzgölü fayı zonu ve Keçiboyduran-Melendiz fayları arasında kalan alanda KB dan GD ya doğru gidildikçe sıcak sulardaki SO_4 değerlerinde bir artış olduğu gözlenmektedir. Dolayısı ile çalışma alanı içerisindeki sular Tuzgölü fayı ile Keçiboyduran-Melendiz fayı arasında kalan jeotermal sistem ve Keçiboyduran-Melendiz fayının kuzeyi olmak üzere iki farklı jeotermal sistem şeklinde incelenebilmektedir (Şekil 6).

04-06 Kasım 2015 Ankara

Çalışma alanı içerisindeki birinci jeotermal sisteme ait sulara KB'dan GD'ye doğru gidildikçe SO_4 miktarında artış olduğu gözlenirse de sulardaki hâkim anyon HCO_3 tür (Şekil 6). Buradan yola çıkılarak çalışma alanı içerisindeki suların KB'dan GD'ye doğru gidildikçe derin dolaşım- lı sular olduğu söylenebilmektedir.



Şekil 6. Çalışma alanına ait sıcak ve soğuk su numunelerinin Piper diyagramı (Piper, 1944)



Şekil 7. Çalışma alanına ait sıcak ve soğuk su numunelerinin yarı logaritmik Schoeller diyagramı (Schoeller, 1977)

Piper diyagramına göre birinci jeotermal sisteme ait çalışma alanından alınan su numuneleri, katyonlarına göre $Ca+Mg>Na+K$; anyonlarına göre $SO_4+Cl>HCO_3$ bölgelerinde yer alan Ca-Mg- SO_4 tipinde ve ikinci jeotermal sisteme ait çalışma alanından alınan su numuneleri, katyonlarına göre $Ca+Mg>Na+K$; anyonlarına göre $HCO_3+CO_3>Cl+SO_4$ bölgelerinde yer alan Ca-Mg- HCO_3 tipinde sulardır ve karışık sular grubuna düşmektedirler (Şekil 6). Yarı logaritmik Schoeller diyagramı, alanda toplanan soğuk suların birbirine paralel iyon konsantrasyonları ile aynı kökenli sular olduğunu göstermektedir. (Şekil 7).

Durov diyagramına göre, birinci jeotermal sisteme ait sulara belirleyici katyon Ca ve belirleyici anyon SO_4 iken ikinci jeotermal sisteme ait sulara belirleyici katyon Na^+ ve belirleyici anyon HCO_3 ve Cl dir. Keçiboyduran-Melendiz fayı'nın kuzeyinden alınan sulara Na^+ , HCO_3 ve Cl'nin en yüksek değerlerdedir ve çalışma alanı içerisinde de en yüksek sıcaklığa sahip sularında bu bölgede olduğu göz önünde bulundurulduğunda, ikinci jeotermal sisteme ait suların Cl içeriğinin yükseldiği bu alanda su kayaç etkileşiminin daha fazla olduğu ve suyun daha derin dolaşım- lı olduğu söylenebilir.

Jeotermometre Uygulamaları

Jeotermometrelerin genel amacı yeraltındaki akışkan sıcaklığının (yani suların akifer sıcaklığının, ya da hazne sıcaklığının) tahmin edilmesidir. Derinlerde (haznede) bulunan sıcak sular yüzeye erişinceye kadar önemli ölçüde soğuyarak ve soğuk yeraltı sularıyla değişik oranlarda karışarak yüzeye ulaşmaktadır. Suların yeraltında kat ettikleri yol, ne kadar kısa ve debisi yük- sekse sıcaklıkları o oranda hazne kaya sıcaklığına yakındır.

Kimyasal jeotermometreler

Jeotermal araştırmalarda akifer (hazne) sıcaklığının tahmininde kimyasal jeotermometrelerden yararlanılmaktadır. Kimyasal jeotermometre değerlendirmeleri niteliksel (kalitatif) ve sayısal (kantitatif) olmak üzere iki bölümde incelenebilir (Şahinci, 1991b).

Niteliksel (Kalitatif) kimyasal jeotermometre değerlendirmeleri

Akifer sıcaklığı hakkında en iyi bilgi veren silistir. Yüksek sıcaklıktaki suda, yaklaşık 180 °C de başlayan silis çökmesi, sıcaklığın düşmesi ile hızla artmaktadır. Klorürce fakir, asit sular 100 °C civarında kayalardaki silikatları altere ederek silisçe zenginleşebilir. Opal, kristobalit örtü kaya oluşturmuşsa düşük sıcaklığı belirler. Şahinci (1991b) çalışmasında akifer sıcaklığı 150 °C nin üzerindeki sularda, genellikle 150 ppm den fazla klorür (kökeni deniz suyu olanlar dışında) bulunması gerektiğini ve 50 ppm in üzerinde klorür bulunduran suların sıcak su sistemini gösterdiğini belirtmiştir. Buna göre, çalışma alanı içerisinde alınan sıcak su numunelerinden Drt, Shk, Kitrel, SK-2, SK-4, SK-7, YSMS, KCS ve HDS numuneleri dışındaki bütün sıcak su numuneleri 150 ppm den fazla klorür içeriğine sahiptir (Çizelge 1).

Tarcan (2002) çalışmasında Na/K oranının yüksekliğinin, genellikle akifer sıcaklığının fazla olabileceğini işaret ettiğini, özellikle bu oranın, 20/1-8/1 arasında anlamlı olduğunu ve bu oran ile hesaplanan akifer sıcaklığının, suyun geldiği başlangıç derinlik veya yatay uzaklığın sıcaklığını tanımlamakta kullanıldığını belirtmiştir.

Ayrıca, Tarcan'a (2002) göre yüzeydeki sıcak suyun kimyasal analizlerinde, silis jeotermometresi ile hesaplanan akifer sıcaklık değeri Na/K ile bulunandan değerden küçük ise, akışkanın hazne kayadan yüzeye gelişi sırasında soğuk sular ile karışmış olabileceğini göstermektedir. Çalışma alanından alınan numuneler Arnorson vd. (1983) çalışmasındaki Na/K için $t=933/(0.933+\log Na/K)-273.15$ sabitine göre hesaplandığında suların Na/K jeotermometresinde sıcaklık aralığı 240.76-617.15 °C çıkmakta ve bu aralık silis jeotermometre aralığı ile karşılaştırıldığında silis jeotermometresindeki sıcaklık aralığının daha az olması akışkanın hazne kayadan yüzeye gelişi sırasında soğuk sular ile karışmış olabileceğini göstermektedir (Çizelge 1).

Mg/Ca oranı bir den küçük ise akifer sıcaklığı yüksek olabilmektedir (Tarcan, 2002). Buradan yola çıkılarak Çizelge 5.2' deki Mg/Ca oranlarına bakıldığında çalışma alanı içerisinde bulunan suların akifer sıcaklıklarının da yüksek olabileceği söylenebilmektedir (Çizelge 1).

Cl/SO₄ oranı yüksek ise akifer sıcaklığı yüksektir (Tarcan, 2002). Kapadokya jeotermal provenisi içerisinde bulunan suların Cl/SO₄ oranları incelendiğinde Dertalan, Ziga ve Şahinkalesi sularının akifer sıcaklığının diğer alanlardaki akifer sıcaklıklarına oranla daha yüksek olabilecekleri söylenebilmektedir (Çizelge1). Ayrıca Dertalan, Ziga ve Şahinkalesi bölgelerinde Na/Cl oranı en yüksek değerde olmasına rağmen bölgedeki en yüksek sıcaklığa sahip suların bu bölgelerde olmadığı gözlemlenmektedir ve bu durum bu bölgeler için Cl içeriğinin derinlikle ilişkili olmak yerine çalışma alanı temelinde bulunan kayaçların tuzlu birimlerinden kaynaklanması ile açıklanabilir.

Çizelge 1. Çalışma alanından alınan sıcak su numunelerinin kimyasal içerik oranları

Örnek No	Cl ⁻	Na/K	Mg	Mg/Ca	Cl/SO ₄
Drt. sck	14.64	2.29	3.15	0.21	0.02
ÇF1	389	3.15	46.8	0.16	2.96
Drk. sck	318.46	1.93	2.41	0.09	0.48
Ziga. sck	1563.86	1.84	4.25	0.09	1.31
Acg. sck	273.54	1.73	1.75	0.20	0.00
Shk. sck	4.62	5.74	12.2	0.21	0.65
*Kitreli. sck	4.59	8.50	1.85	0.04	0.04
**AZ-3/ MTA. sck	1900	0.53	1.82	0.08	0.37
**ZG-1/ MTA. sck	1294	0.00	14.99	0.22	39.42
**AZ-5/MTA. sck	1900	4.06	35.41	0.40	1.48
**ACG MTA-1.sck	300	4.48	55.15	0.26	26.88
**ACG MTA-2.sck	299	2.93	29.9	0.11	3.17
**ACG-3/ MTA. sck	247	1.31	6.74	0.18	1.27
**SK-2/ MTA. sck	3.55	7.22	19.94	0.06	4.19
**SK-7/ MTA. sck	7.9	7.34	49	0.16	29.23
**SK-4/ MTA. sck	3.55	7.63	75.6	0.28	30.38
***ASMS	341.51	7.21	39	0.11	26.03
***ZSMS	1309.24	2.97	44	0.20	1.92
***YSMS	1.26	2.95	49	0.53	1.87
***TSMS	1007.14	2.89	13.9	0.04	3.08
***KCS	9.94	1.30	7.9	0.18	1.44
***AGS	756.15	2.89	11.1	0.34	1.85
***HDS	11.72	1.48	7.86	0.22	1.98
****ÖİH	505.6	6.75	49.68	0.10	19.91
****CPK	566.3	7.55	51.24	0.20	15.60
****1N.k	347.8	22.25	51.84	0.12	16.02
****SSK-1	632	3.29	20.64	0.33	0.83
****K-3	615	2.68	110.16	1.60	3.82

* Emre (2012); ** Burçak (2009); *** Afşin vd. (2014); **** Akkuş vd. (2006)

5.2.1.2 Sayısal (Kantitatif) kimyasal jeotermometre değerlendirmeleri

Sıcak sulardaki kimyasal maddelerin oluşması için gerekli kimyasal tepkimeler, akifer-su arasında gerçekleşmektedir. Sıcaklık saptanmasında gerekli maddelerin ortaya çıkması için oluşan kimyasal tepkimeler devamlıdır ve tepkimelerin hammaddesi hazne kayada boldur. Akifer sıcaklığında kaya-su arasında kimyasal denge gerçekleştirmektedir. Bu varsayımlar SiO₂ ve Na-K-Ca jeotermometreleri için kullanılmaktadır.

Çözünürlüğe bağlı jeotermometreler

Silis jeotermometreleri

Bu jeotermometreler 150-225 °C sıcaklıklar arasında iyi sonuç vermektedir. Daha yüksek sıcaklıklarda akiferden yüzeye doğru hareket eden sıcak akışkanda hızlı silis çökelişi gözlenmektedir. Bu nedenle sıcaklığı 225 °C nin üzerindeki hazne kayalardan gelen sularda gerçek sıcaklığı yansıtmamaktadır. Silis jeotermometreleri, kimyasal tepkimeyi etkileyen akifer sıcaklığına veya sıcak suyun yükselirken soğumasına dayanılarak hazırlanmaktadır. Sıcak sularda erimiş halde bulunan silisin, hangi tip silis modifikasyonu ile dengede olduğuna bağlı olarak değişik jeotermometre hesaplamaları kullanılmaktadır. Bu nedenle farklı silis tiplerinde farklı rezervuar sıcaklıkları hesaplanmaktadır. Çiftehane jeotermal alanındaki sulardan elde edilen ait silis 304-311°C sıcaklık aralığını sapma olarak kabul edilmiştir (Çizelge 2).

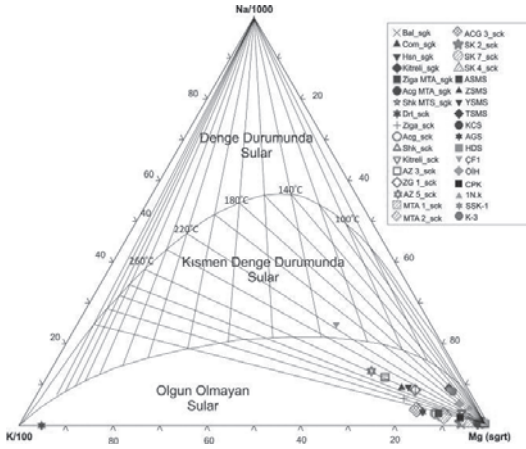
Kalsedon ve Kuvars jeotermometre hesaplamalarına göre beklenebilecek maksimum rezervuar sıcaklıkları Dertalan, Melendizdağ, Keçiboyduran Dağı, Hasandağ (Keçikalesi), Ziga, Acıgöl ve Derinkuyu sahaları sırasıyla 150-173 °C, 88-117 °C, 91-120 °C, 94-122 °C, 131-156 °C, 157-179 °C; 152-174 °C ve 102-130 °C aralığındadır (Fournier, 1977a) (Çizelge 2).

Çizelge 2. Niğde, Aksaray ve Nevşehir illerine ait jeotermal alanların jeotermometre hesaplamaları

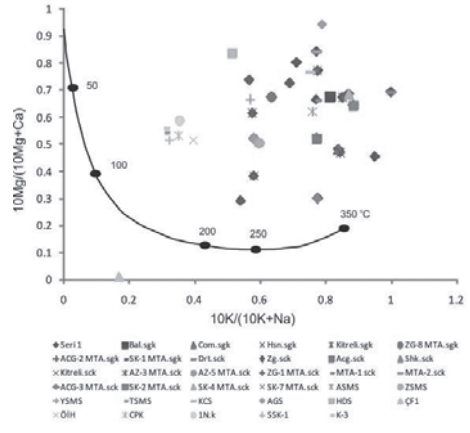
Numune No: Drt. sck	Yer: Dertalan	Yer: Çiftehane	Yer: Melendizdağ	Yer: Keçiboyduran	Yer: Hasandağ	Yer: Ziga	Yer: Acıgöl	Yer: Derinkuyu	Yer: Kozaklı
Jeotermometre	Hesaplanan Sıcaklık	Hesaplanan Sıcaklık	Hesaplanan Sıcaklık	Hesaplanan Sıcaklık	Hesaplanan Sıcaklık	Hesaplanan Sıcaklık	Hesaplanan Sıcaklık	Hesaplanan Sıcaklık	Hesaplanan Sıcaklık
SiO ₂ -Kristobalit α	123	266	66	69	72	105	129	124	79
SiO ₂ -Kristobalit β	73	219	19	21	24	56	79	74	31
SiO ₂ -Kalsedon	150	311	88	91	94	131	157	152	102
SiO ₂ -Kuvars	173	304	117	120	122	156	179	174	130
SiO ₂ -Kuvars buhar kaybı	162	265	115	118	120	148	167	163	126

Katyon jeotermometreleri

Giggenbach (1988) tarafından sıcak suların akifer (hazne) sıcaklıklarının saptanması ve suların ilişkide olduğu kayalarla olan denge durumlarının belirlenmesi için geliştirilmiş olan Na-K-Mg birleşik jeotermometresi ile hem sıcak suların hazne sıcaklığı hızlı olarak yorumlanabilmekte, hem de katyon jeotermometre uygulamalarının geçerliliği sınamaktadır. Diyagramda kısmen olgunlaşmış sularla, olgunlaşmamış suları birbirinden ayıran eğri olgunlaşma indeksinin (MI=maturity index) MI=2.0 olduğu eş kimyasal özellikteki noktaların birleşimiyle oluşmaktadır (Şekil 8).



Şekil 8. Çalışma alanına ait sıcak ve soğuk su numunelerinin olgunluk diyagramı (Giggenbach, 1988)



Şekil 9. Çalışma alanına ait sıcak ve soğuk su numunelerinin 10K/(10K+Na)-10Mg/(10Mg+Ca) karışım modeli (Giggenbach, 1988)

Olgunlaşma indeksi; $MI=0.315 \log [(K_2/Mg) - \log (K/Na)]$ bağıntısıyla tanımlanmıştır. Su-kayaç ilişkisinin kısmen dengede olduğu alanlar (karışmış sular) ve tamamen dengede olduğu alanlar ise eş kimyasal özellikteki noktalar ile K^+-Mg^{++} ve K^+-Na^+ jeotermometre eşitlikleri ile elde edilen eş sıcaklık (izoterm) değerlerinin kesişim noktalarının oluşturduğu eğriyle birbirinden ayrılmaktadır (Giggenbach, 1988).

Burada Kapadokya jeotermal provansı içerisinde bulunan jeotermal alanlardaki sular ele alınmıştır. Buna göre Na-K-Mg üçgen jeotermometre değerlendirmeleri sonucunda Kapadokya jeotermal provansı içerisinde bulunan jeotermal alanlardaki sular olgun olmayan sular bölgesine karşılık gelmektedir. Sıcaklık izotermi olarak da 100-125 °C arasına karşılık gelmektedir. Görüleceği üzere tatlı soğuk yeraltı suları ham sular bölgesinin en aşağı kesimlerinde Mg köşesinde yer almaktadır (Şekil 8). Kapadokya jeotermal provansı içerisinde bulunan jeotermal alanlardaki suların su-kayaç arasındaki dengenin sağlanamamış alana düşmesi büyük oranda soğuk sularla karışmış olması ile açıklanabilir. Ayrıca yine ham sular bölgesine karşılık gelmesi hazne sıcaklığı için de katyon jeotermometrelerine pek güvenilmemesi gerektiğini göstermektedir (Şekil 8).

Giggenbach'in (1988) karışım modelinde suda çözünen başlıca katyonlara dayalı olarak geliştirmiş olduğu diğer bir diyagramda ise su-kayaç dengesini Na-K-Ca-Mg katyonlarına bağlı olarak incelemektedir (Şekil 9). Bu birleşik diyagramda su noktalarının eğriye, uzak olmaları su kayaç ilişkisinin dengelenmediği şeklinde yorumlanmaktadır. Şekil 9'da çalışma alanı içerisinde yer alan sıcak ve soğuk su numunelerinin su-kayaç denge çizgisinden uzakta yer aldığı bu nedenle çalışma alanındaki suların su kayaç dengesine ulaşmadıkları söylenebilmektedir.

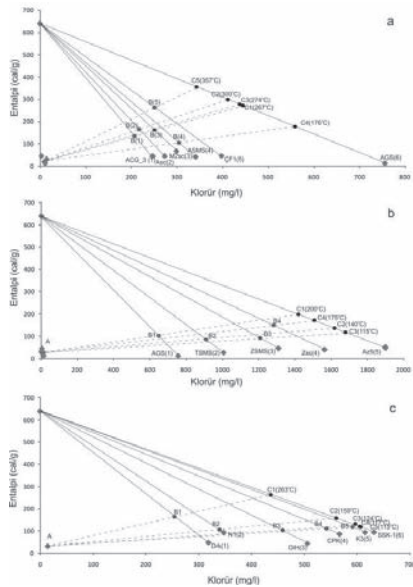
Karışım Modelleri

Birçok alandaki jeotermal sular daha önceki bölümlerde de irdelendiği gibi yüzeye erişirken belli oranlarda soğuk sularla karışarak, sıcaklıkları yeraltı sıcaklıklarından daha düşük değerlerle yüzeyler. Bu karışım ayrıca sıcak suyun kimyasal yapısında da değişiklikler oluşturur. Karışım sonucu sıcak suyun kimyasal özelliklerindeki ve sıcaklığındaki değişiklikler göz önüne

alınarak, jeotermal sistemin hazne kaya sıcaklığının ve karışım oranlarının saptanması için çeşitli karışım modelleri geliştirilmiştir. Bu tez çalışması kapsamında çalışma alanına ait suların Entalpi-Klorür ve Entalpi-Silis karışım modelleri incelenmiştir.

Entalpi-Klorür karışım modeli

Fournier (1977b) hazne kaya sıcaklığını ve sıcak-soğuk su karışım oranlarını bulmak için klorür karışım modelini önermiştir. Kapadokya bölgesinde bulunan sıcak ve soğuk suların kimyasal bileşimleri kısmi farklılıklar gösterdiklerinden dolayı, çalışma alanı içerisindeki suların karışım modelleri Niğde, Aksaray ve Nevşehir olmak üzere üç ayrı grup halinde incelenmiştir. Bu üç bölge için oluşturulan diyagramlarda düşey eksende entalpi (cal/g veya kJ/kg), yatay eksen ise klorür (mg/l) değerleri yer almaktadır (Şekil 10).



Şekil 10. Çalışma alanındaki sıcak suların entalpi-klorür diyagramı (Fournier, 1977b). a) Niğde iline ait sıcak suların diyagramı, b) Aksaray iline ait sıcak suların diyagramı, c) Nevşehir iline ait sıcak suların diyagramı

Ayrıca, buharın sıcak sudan ayrılma entalpisi olan 639 cal/g (2775 kJ/kg) değeri de düşey ekseninde buhar noktası olarak işaretlenmiştir. Kapadokya alanındaki sıcak suların boşalım entalpi ve klorür (mg/l) değerleri diyagrama işaretlenerek, elde edilen noktalar buhar noktası ile birleştirilmiştir. Bu doğru üzerine her bir sıcak su örneğinin kuvars buhar kaybı jeotermometresi Fournier'in (1977a) $t=1522/(5.75-\log \text{SiO}_2)-273.15$ sabiti ile hesaplanan hazne sıcaklıkları işaretlenmiştir (B noktası). B noktası bölgedeki soğuk suların ortalama değerini gösteren A noktası ile birleştirilerek karışım çizgisi elde edilmiştir. Karışım çizgisi uzatılarak en yüksek klorür değerine sahip olan örneğin doğrusu ile kesiştirilmiştir (C noktası). Bu doğru üzerinde elde edilen en yüksek ve en düşük değerler jeotermal sistemin olası maksimum ve minimum hazne (akifer) sıcaklığını vermektedir.

Bu verilere göre Kapadokya Jeotermal Provensi içerisindeki Niğde, Aksaray ve Nevşehir jeotermal alanlarının hazne kaya sıcaklıkları sırasıyla 176-357 °C, 115-200 °C, 115-263 °C aralığında-

dır (Şekil 10). Ayrıca, karışım çizgisi üzerindeki AB ve AC doğru parçaları kullanılarak, sıcak suların soğuk sularla yaptığı karışım oranları bulunmuştur. Burada AB/AC oranı karışımdaki sıcak su değerini vermektedir (Şekil 10).

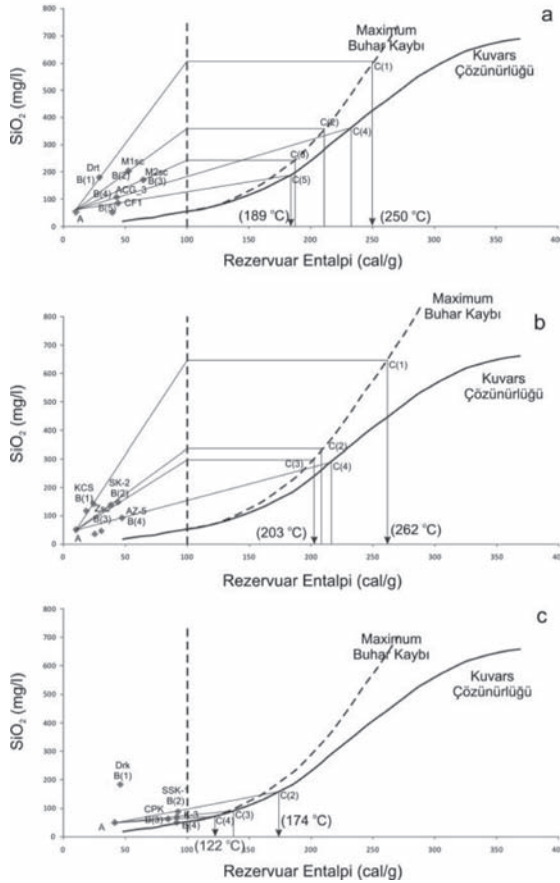
Bu yöntemle elde edilen karışım oranları Çizelge 3’de verilmiştir. Şekil 10 ve Çizelge 3 incelendiğinde kapadokya jeotermal provensi içerisindeki alanlarda en fazla karışım oranı Nevşehir en az ise Niğde dedir. Çalışma alanı ile ilgili diğer hidrolojik ve hidrojeokimyasal analiz sonuçlarında göz önüne alındıklarında Tuzgölü fay zonu ve Keçiboyduran-Melendiz fayı arasında kalan alanda (Niğde ve Aksaray) Keçiboyduran-Melendiz fayının kuzeyinde kalan alana oranla daha fazla su girişi olduğu ortaya konulmuştur.

Çizelge 3. Kapadokya Jeotermal Provensi içerisinde yer alan sıcak suların entalpi-klorür karışım modeline göre saptanan karışım oranları

Numune No	Niğde				
	1 ACG_3	2 Asc	3 M2sc	4 ASMS	5 ÇF1
Entalpi-Cl ⁻ (%)	50	56	58	58	74
Numune No	Aksaray				
	1 AGS	2 TSMS	3 ZSMS	4 Zsc	
Entalpi-Cl ⁻ (%)	51	62	81	84	
Numune No	Nevşehir				
	1 Drk	2 N1	3 OIH	4 CPK	5 K3
Entalpi-Cl ⁻ (%)	62	65	81	91	94

Entalpi-Silis karışım modeli

Sıcaklık ve silis dengesine dayalı olarak geliştirilmiş olan silis-entalpi karışım modeli (entalpi-silis diyagramı kullanılarak) karışım öncesi sıcaklık-buhar kaybının olduğu ve olmadığı her iki durumda da uygulanabilmektedir (Fournier, 1977b). Kapadokya bölgesinin Entalpi-Silis karışım modeli doğru sonuçlar vermesi için Entalpi-Klorür karışım modelinde olduğu gibi Kapadokya Jeotermal Provensi içerisindeki sahalar Niğde, Aksaray ve Nevşehir olmak üzere üç farklı grupta incelenmiştir. A noktası bölgenin soğuk sularını yansıtan silis (SiO₂) ve entalpi değeridir. Diyagramda inceleme alanındaki sıcak suların silis değerleri ve ölçülen sıcaklıkları işaretlenerek elde edilen noktalar (B noktası) A noktası ile birleştirilmiş ve bu doğru uzatılarak kuvars çözünürlük eğrisini kestiği noktadan (C noktası) yatay eksene dikme inilmek suretiyle dikmenin yatay ekseni kestiği nokta olan hazne kaya sıcaklıkları elde edilmiştir. C noktası karışım suyundaki sıcak suyun karışımdan önceki entalpi ve silis değerini vermektedir (Şekil 11).



Şekil 11. Çalışma alanındaki sıcak suların entalpi-silis diyagramı (Fournier, 1977b). a) Niğde iline ait sıcak suların diyagramı, b) Aksaray iline ait sıcak suların diyagramı, c) Nevşehir iline ait sıcak suların diyagramı

Buraya kadar anlatılan işlem karışımından önce sıcaklık-buhar kaybının olmadığı koşulları yansıtmaktadır. Karışımından önce buhar kaybı (adyabatik soğuma) durumunda ise diyagramda kesikli çizgi ile gösterilen maksimum buhar kaybı eğrisi dikkate alınmıştır. Bu durumda AB doğru parçası kuvars çözünürlüğü çizgisini kesmemiştir. Dolayısı ile Niğde, Aksaray ve Nevşehir bölgelerine ait jeotermal alanların entalpi-silis diyagramları incelendiğinde karışımından önceki hazne kaya sıcaklıklarının sırası ile 189-250 °C, 203-262 °C, 122-174 °C aralığında olduğu gözlenmektedir (Şekil 11).

Sonuçlar ve Tartışma

Kapadokya jeotermal provensi içerisinde beş adet aktif ve iki adet potansiyel olduğu düşünülen toplam yedi adet jeotermal saha/sistem saptanmıştır. Bu alanlardan, çalışma alanının güneyinde bulunan Dertalan jeotermal alanında akışkanın çıkış sıcaklığı 29.5 °C, kuzey batısında bulunan Ziga jeotermal alanında 51 °C, Ilısu jeotermal alanında 36 °C, Şahinkalesi jeotermal alanında 44.1 °C, Acıgöl jeotermal alanında 43.3 °C ve kuzeyinde bulunan Derinkuyu jeotermal alanında ise 45 °C olarak ölçülmüştür.

Çalışma alanından derlenen altere kayaç örneklerinden yapılan mineralojik incelemelerde, Na bakımından zengin çözeltilerin, K feldispat ve plajiyoklazlarla etkileşimi sonucu gelişen albitleşmeler, epitermal damarlar çevresinde bulunan ve K-feldispatın veya feldispatoidlerin sülfatlı çözeltiler ile etkileşimi sonucu gelişen alünilleşmeler veya kayaçların hidrotermal kökenli magmatik çözeltilerle silis getirmesi sonucu silisçe zengin bir durum almasını sağlayan süreç olarak tanımlanan silisleşmeler gibi hidrotermal alterasyon tipleri saptanmıştır.

Yapılan çalışmalar sonucunda Kapadokya jeotermal provensi içerisinde tektonik hatlarla kontrol edilen iki farklı jeotermal sistem tespit edilmiştir. Bu sistemler; Tuzgölü Fay Zonu ile Keçi-boyduran-Melendiz Fayı arasında kalan alanda bulunan jeotermal sistem ve Keçi-boyduran-Melendiz Fayı'nın kuzeyinde bulunan jeotermal sistemlerdir.

Su kimyası sonuçlarına göre, her iki jeotermal sistem içerisindeki soğuk sular Ca-Mg-HCO₃ ve Ca-HCO₃ tipindedir. Sıcak sularda ise birinci jeotermal sistem içerisindeki sular Ca-Na-SO₄ ve Ca-Mg-SO₄ tipinde iken ikinci jeotermal sistemde bulunan sular Na-Cl-HCO₃ ve Ca-Na-HCO₃ tipinde mineralce fakir sıcak sulardır. Elde edilen veriler, çalışma alanı içerisindeki suların KB' dan GD' ya doğru gidildikçe su kayaç etkileşiminin daha yoğun ve derin dolaşım olduğu göstermektedir. Na-K-Mg üçgen diyagramına ve Na-K/Ca-Mg diyagramına göre her iki sistem içerisindeki sular olgun olmayan sular grubuna düşmektedir. Rezervuar sıcaklığının belirlenmesi için kullanılan silis jeotermometre sonuçlarına göre Kapadokya jeotermal provensinde bulunan jeotermal sistemlerdeki sıcak suların rezervuar sıcaklıklarının; Dertalan, Melendizdağ, Keçi-boyduran Dağı, Hasandağ (Keçikalesi), Ziga, Acıgöl ve Derinkuyu sahaları için sırasıyla 150-173°C, 88-117°C, 91-120°C, 94-122°C, 131-156°C, 157-179°C; 152-174°C ve 102-130°C aralığında değiştiği saptanmıştır.

Bölgedeki paleoklimsel çalışmalar ve son 60 yıllık meteoroloji verileri göz önüne alındığında jeolojik dönemlerden günümüze kadar iklim koşullarında bir değişiklik olup olmadığı ve bu iklimsel koşulların jeotermal sistem üzerindeki etkisinin aydınlığa kavuşturulabilmesi için alanda paleoklimsel ve paleocoğrafik araştırmaların sürdürülmesi gerektiği düşünülmektedir.

Jeotermometrelerden, jeokimyasal çalışmalardan (özellikle alterasyon sonuçları) elde edilen veriler, bu alanda jeotermal sahaların yanı sıra, jeotermal sistemin devamlılığının takip edilmesi sonucunda benzer hatta daha sıcak (enerji üretimine uygun) jeotermal sahaların da ortaya çıkma potansiyelinin olduğunu göstermektedir.

Volkanizma-tektonizma ilişkisi ve bu ilişkiye bağlı gelişen hidrotermal alterasyon zonlarının yoğunluk artışları, çalışma alanını etkileyen fay sistemlerinin kesişim noktalarında maksimum seviyeye ulaşmaktadır. Bölgede özellikle Melendizdağ güneyinde Tuzgölü fayı ile Niğde fay zonunun kesiştiği, Ziga ve Şahinkalesi bölgelerinde Keçi-boyduran-Melendiz fayı üzerindeki alanlarda ve Nevşehir güneyinde Derinkuyu fayı ile Göllüdağ fayı arasındaki alanlarda derin araştırma sondajlarının yapılması öngörülmektedir.

Kaynaklar

- Afşin, M., Allen, D.M., Kirste, D., Durukan, U.G., Gurel, A. and Oruc, O., "Mixing processes in hydrothermal spring systems and implications for interpreting geochemical data: a case study in the Cappadocia region of Turkey", *Hydrogeol. J.*22(1), 7-23, 2014.
- Akkuş, İ., Akıllı, H., Ceyhan, S., Dilemre, A. ve Tekin, Z., Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri, *MTA*, Ankara, 627-647, 2006
- Arnorsson, S., Gunnlaugsson, E. and Svavarsson, H., "The element of geothermal waters in Iceland III

- chemical geothermometry in geothermal investigations”, *Geochim. Cosmochim. Acta.* 47, 567-577, 1983.
- Burçak, M., Aksaray Jeotermal Sahaları (Acıgöl-Ziga-Şahinkalesi) jeotermal ısı kaynaklarının araştırılması ve jeotermal sistemlerin kavramsal modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *N.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Niğde, s. 85, 2006.
- Burçak, M., “Aksaray Jeotermal Sahalarında (Acıgöl-Ziga-Şahinkalesi) Su kimyası ve izotopik çalışmalar, Aksaray-Orta Anadolu-Türkiye” *MTA Dergisi* 138, 45-68, 2009.
- Dirik, K. Göncüoğlu C. and Kozlu, H. “Stratigraphy and pre-Miocene tectonic evolution of the south western part of the Sivas Basin, Central Anatolia, Turkey”, *Geol. J.* 34, 303-319, 1999.
- Emre, M.Y., Kireli (Niğde) Jeotermal alanı ve çevresinin hidrojeokimyasal değişimi ve alterasyon özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, *N.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Niğde, s. 23, 2012.
- Fournier, R.O.. A Review of Chemical and Isotopic Geothermometers for Geothermal Systems. In: Proceedings of the Symp. on Geoth. Energy, Cento Scientific Programme, Ankara, 133- 143, 1977a.
- Fournier, R.O., 1977b, Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems. In: Proceedings of the Symposium on Geothermal Energy, Cento Scientific Programme, Ankara, 199-210.
- Giggenbach, W.F., “Geothermal solute equilibria, derivation of Na-K-Mg-Ca ge indicators”, *Geochim. Cosmochim. Ac.* 52, 2749-2765, 1988.
- Göncüoğlu, M. C., “Niğde masifinde Viridin-Gınaysın kökeni” *34. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, Ankara, TÜRKİYE, 24(1), s. 45-51, 1981.
- Göncüoğlu, M.C Yalınız, K., Kuşçu, I., Köksal, S. ve Dirik, K. Orta Anadolu Masifinin orta bölümünün jeolojisi, Bölüm 3: Orta Kızılırmak Tersiyer Baseninin jeolojik evrimi, *TPAO Raporu 3313*, Ankara, TÜRKİYE, 1993.
- Kavurmacı, M.M., Çorak, Karakaya ve Gümüşkent (Nevşehir) mineralli sularının ve kaynak alanlarındaki travertenlerin hidrojeokimyası, Yüksek Lisans Tezi, *A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Aksaray, s. 10, 2010.
- Piper, A.M., “A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis”, *T Am Geophy*, 1944.
- Schoeller, H., “Geochemistry of groundwaters, In Groundwater Studies and International Research and Practice” *UNESCO*, Paris 1977.
- Şahinci, A., Doğal Suların Jeokimyası, *Reform Matbaası*, Beyler-İzmir, s. 548, 1991a.
- Şahinci, A., Jeotermal Sistemler ve Jeokimyasal Özellikleri, *Reform Matbaası*, Beyler-İzmir, s. 247, 1991b.
- Şengör, A.M.C. and Yılmaz, Y., “Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach”, *Tectonophysics* 75, 181-241, 1981.
- Şener, M.F., Kapadokya Jeotermal Provensinin Jeotermal Kaynak Potansiyeli, Doktora Tezi, *N.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Niğde, s.198, 2015.
- Tarcan, G., Jeotermal Su Kimyası, *JENARUM Yaz Okulu Ders Notları*, İzmir, Türkiye, 230-272, 2002.
- Yetiş, C., “New observations on the age of the Ecemiş fault, İn: Teke, O. and Göncüoğlu, M.C., (Editorss) *Geology of the Taurus Belt da.*”, *Proceedings Int. J. Sym.* 26-29, 159-164, 1984.

AYDIN JEOTERMAL ALANLARININ KABUKLAŞMA ÖZEL- LİKLERİNİN İNCELENMESİ

Tuğbanur Özen Balaban¹, Gültekin Tarcan², Ünsal Gemici²,
Mümtaz Çolak², İ. Hakkı Karamanderesi³

¹Atatürk Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği, Oltu-Erzurum

²Dokuz Eylül Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği, İzmir

³Jeolojik Etüt Müşavirlik (JEM), İzmir

(tugbanur.ozen@atauni.edu.tr)

ÖZ

Kabuklaşma, jeotermal alanlarda üretimin azalmasına neden olduğu gibi oluştuğu yerlerdeki mekanik tesisatın çalışmasını engelleyerek ısı transferini olumsuz etkileyerek, daha az enerji üretilmesine neden olmaktadır. Bu çalışmada, Aydın ili jeotermal alanlarında karşılaşılan kabuklaşma özellikleri incelenmiştir.

İnceleme alanının jeolojisi, temelde Menderes Masifi metamorfik kayaları ve bunun üzerine Mi-yosen'den günümüze kadar devam eden dönemde çökelmiş sedimanter kaya topluluklarından oluşmaktadır. Bu birimleri, Kuvaterner yaşlı alüvyon üstlemektedir.

İnceleme alanında farklı yerlerden su örneklemesi yapılmıştır. Jeotermal akiferlerden gelen ter-mal sular genel olarak Na-HCO₃ su tipindedir. PHREEQC programıyla yapılan jeokimyasal modellemelere göre, inceleme alanında kalsit ve aragonit kabuklaşması üretim ve geri basım kuyuları ile yüzey donanımları için kaçınılmazdır. Amorf silis kabuklaşması ise çoğu sahada özellikle geri basım kuyularında tehlike oluşturmaktadır. Kabuklaşma türleri ve miktarlarıyla, kabuklaşmadan kaçınmak veya en aza indirmek için emniyetli kullanım sıcaklıkların belirlenmesi bu çalışmanın en önemli sonuçlarından. Kalsit ve amorf silis doygunluk durumları göstermektedir ki; alandaki jeotermal kuyu suları değinilen iki mineralden birisine ya da her ikisine birden (her sıcaklıkta) aşırı doygundur.

Anahtar Kelimeler: Kabuklaşma, Aydın, jeotermal araştırma, hidrojeokimya.

INVESTIGATION OF SCALING CHARACTERIZATIONS OF AYDIN GEOTHERMAL FIELDS

Tuğbanur Özen Balaban¹, Gültekin Tarcan², Ünsal Gemici²,
Mümtaz Çolak², İ. Hakkı Karamanderesi³

¹Atatürk University, Department of Geological Engineering, Oltu-Erzurum

²Dokuz Eylül University, Department of Geological Engineering, İzmir

³Geological Etude Consultancy (GEC), İzmir
(tugbanur.ozen@atauni.edu.tr)

ABSTRACT

Scaling causes the decreasing of fluid production and obstructions of mechanical instrument in geothermal fields and heat transfer is negatively affected causing the less energy production. Scaling properties in the geothermal fields of the Aydın city were investigated in this study.

Geology of the study area consists of metamorphic rocks of the Menderes Massif in basement and sedimentary rocks deposited during the rifting period of the Menderes Massif in the Mioocene. These units are overlain completely by Quaternary alluvium.

In the study area, water samples were collected from different area. Geothermal aquifer waters reflect generally the water type of Na-HCO₃ in the study area. Geochemical modeling by using PHREEQC speciation code shows that calcite and aragonite precipitations are inevitable for production and re-injection wells and surface equipment. Amorphous silica scaling is the important risk for re-injection wells of many fields. Determinations of the scaling types and amounts, and the safety using temperatures to be avoided or minimized the scaling problems are the most important parts of this study. Calcite and Amorphous silica saturation situations show that geothermal well waters are oversaturated with either of aforementioned minerals or both of them (every temperature).

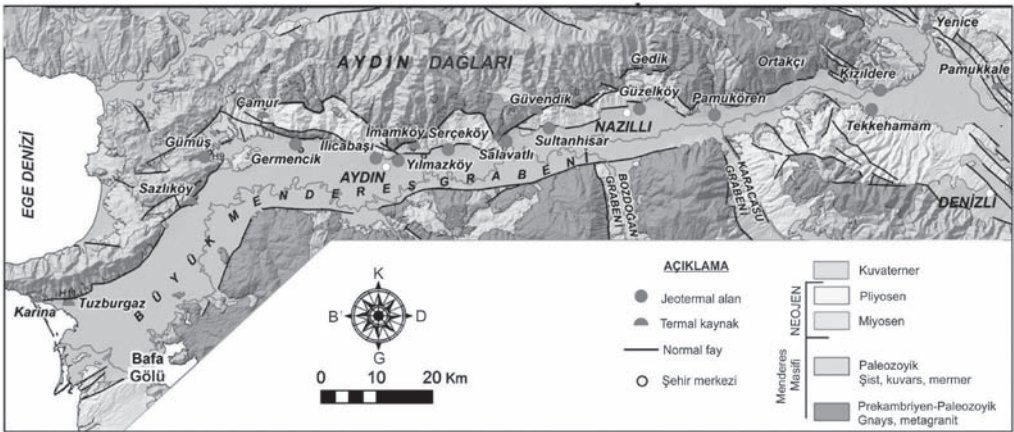
Keywords: Scaling, Aydın, geothermal research, hydrochemistry.

GİRİŞ

Aydın jeotermal alanları Büyük Menderes Grabeni içerisinde batıdan doğuya doğru: 1) Söke 2) Ortaklar 3) Germencik 4) Ilıcabaşı 5) İmamköy 6) Umurlu 7) Salavatlı 8) Sultanhisar ve 9) Nazilli olarak gruplandırılabilir (Şekil 1). Sıcak su kaynakları bakımından oldukça zengin olan Aydın ilinde jeotermal çalışmalar 1981 yılında başlamıştır. MTA'nın Türkiye çapında yaptığı sondaj çalışmasının büyük bir kısmı Aydın'da gerçekleştirilmiştir. Nitekim Türkiye'nin jeotermal potansiyelinin elektrik enerjisi üretimine uygun büyük bir kısmı da Aydın'da bulunmaktadır. Bu çalışmada, Aydın ili sınırları içerisindeki yüksek sıcaklıklı jeotermal alanlardaki termal suların kabuklaşma özellikleri ve mineral türleri incelenmiştir.

JEOLOJİ VE HİDROJEOLOJİ

Aydın jeotermal alanlarının temelini Paleozoik yaşlı metamorfik kayalar oluşturmaktadır. Menderes Masifi'ne ait bu kayalar alttan üste doğru gnays, şist ve mermer-kuarsit-şist birimlerinden yapıldır. Neojen yaşlı kayalar bu temel kayalarını uyumsuzlukla üstler. Neojenin tabanında Alt Pliyosen yaşlı kiltası, kumtaşı ve çakıltası litolojilerinden yapıldır. Üst Pliyosen yaşında olan birimler ise alttan üste doğru, çakıltası, miltası ve kumtaşı olarak 3 üyeye ayrılmaktadır. Kuvaterner yaşlı blok, çakıl, kum, silt ve killi malzemelerden yapıli gevşek tortullardan oluşan taraça ve alüvyon birimleri tüm birimleri uyumsuz olarak örter (Şekil 1).



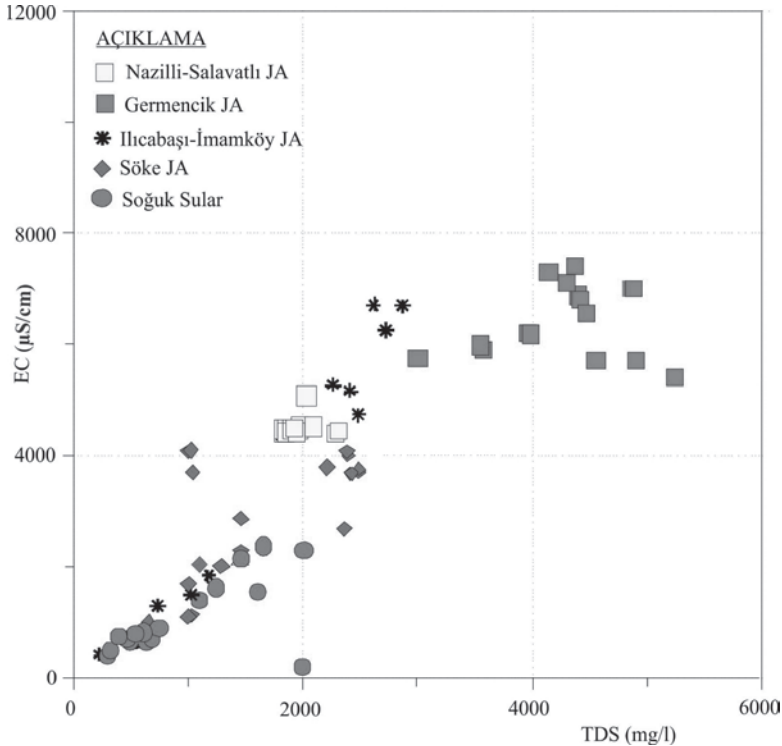
Şekil 1. Aydın jeotermal alanlarının jeolojisi (Karakuş ve Şimşek 2012'den değiştirilerek).

Yapılan sondajlar ve önceki çalışmalara (Karamandere vd., 2001, Karamandere ve Helvacı, 2003, Şimşek, 2003 ve Karahan, 2007) göre inceleme alanındaki jeotermal sistemlerin rezervuar kayaları çeşitlilik göstermektedir. Söke ve Ortaklar jeotermal alanında rezervuar kayalar Paleozoik kireçtaşları ve mermerlerdir. Germencik jeotermal alanlarında rezervuar kayalar Paleozoik mermer, şist ve alloktan gnays ve Miyosen çakıltasıdır. Ilıcabaşı ve İmamköy sahalarında Paleozotik mermer ve şistler rezervuar kayaları oluştururlar. Salavatlı, Sultanhisar ve Nazilli jeotermal alanlarında da Paleozoik mermer, şist ve gnayslar rezervuar kayalardır. Örtü kayalar ise genel olarak Neojen birimlerin killi düzeyleridir (Şimşek, 2003; Karakuş ve Şimşek, 2012). Jeotermal alanlardaki termal suların bazı genel fizikokimyasal özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. İnceleme alanındaki su noktalarının tanımı ve bazı genel fizikokimyasal özellikleri (T=sıcaklık, pH (-log H⁺), Eİ= elektriksel iletkenlik, TDS=Toplam çözülmüş madde miktarı).

Alan Adı	Rezervuar T(°C)	pH -log H	Eİ µS/cm	TDS mg/L	SU TÜRÜ
Söke-Ortaklar	21-38	6,4-7,1	1002-11230	1297.3-2488	Na-Cl-HCO ₃
Germencik	110-230	7,1-8,9	6230-7439	3943.3-4364.5	Na-Cl-HCO ₃
Ilıcabaşı- İmamköy	34-50	6,3-6,9	1509-6260	1022.3-2728	Na-HCO ₃
Salavatlı	162-174	7,1-8,4	4430-5110	1813-2020	Na-HCO ₃
Nazilli	41-86	7.1-7.7	1290-1846	732-1180.1	Na-HCO ₃ -SO ₄

Genel bir değerlendirmeye incelenen sıcak ve mineralli suların Eİ değerleri yanı sıra toplam çözülmüş madde miktarları (TDS) ve major, minör bileşenleri de yüksektir (Şekil 2). Suların elektriksel iletkenlik değerleri jeotermal sistemlerin çözüldüğü elementlerle ilişkilidir. Genellikle derin dolaşım ve yüksek sıcaklıklı alanlarda su kayaç etkileşimi de fazla miktarda olmakta ve jeotermal sular daha yüksek TDS ve Eİ değerleri içermektedir.



Şekil 2. İnceleme alanı sularının elektriksel iletkenlik (Eİ) ve hesaplanan toplam çözülmüş madde miktarları (TDS).

MİNERAL DOYGUNLUĞU VE KABUKLAŞMA

Dİ (SI) log (Q/K) veya log (AP/K) şeklinde de gösterilebilen logaritmik bir kavramdan oluşur. Her mineral için özellikle sıcaklık ve kısmen de basınçla değişen değerler içerir. Termodinamik yöntemlerle hesaplanan mineral doygunluk indeksi sonuçları aşağıdaki gibi yorumlanır.

$D\dot{I} (\log Q/K) = 0$ ise su, ilgili mineral ile dengededir (doygundur)

$D\dot{I} (\log Q/K) > 0$ ise su, ilgili mineralle aşırı doygundur (mineral çökeltici özelliktedir)

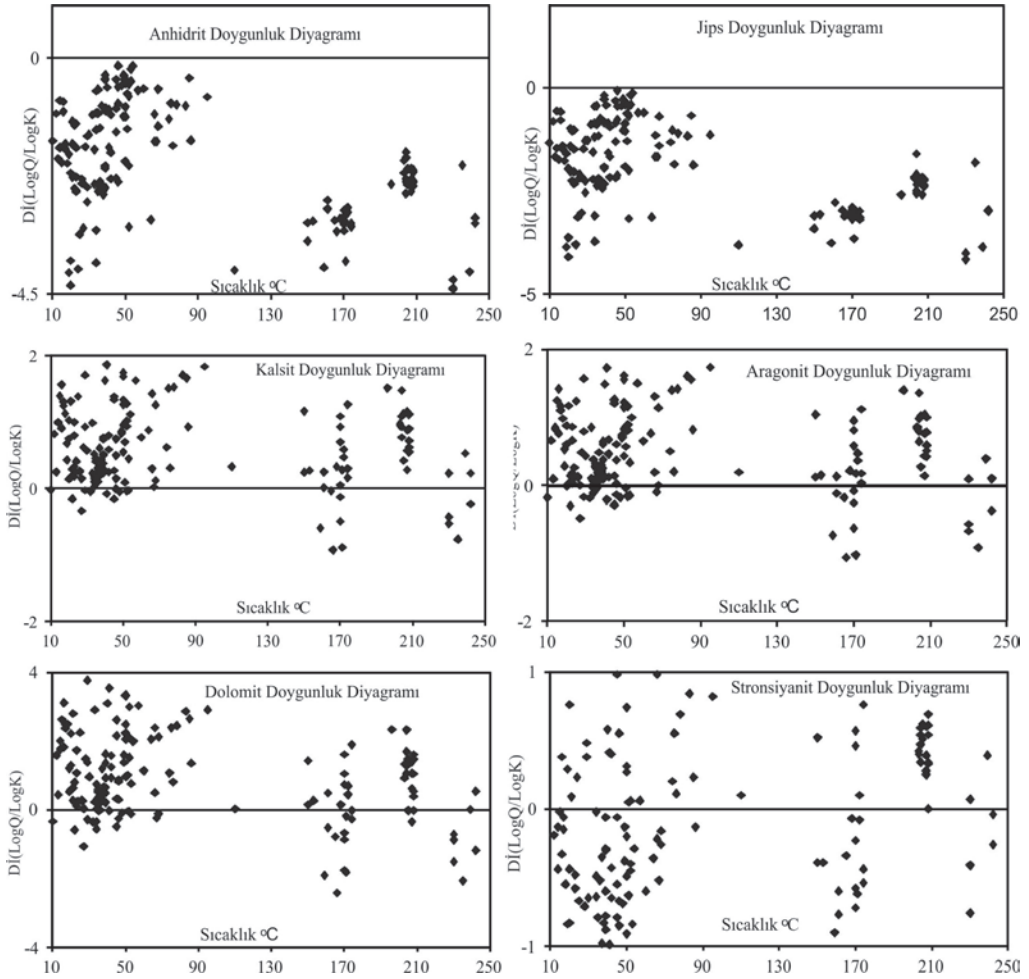
$D\dot{I} (\log Q/K) < 0$ ise su, ilgili mineralle doygun değildir (minerali çözündürücü özelliktedir)

Bu anlatılan mineral doygunluk indekslerinin hesaplanması suların üretim ve iletimi aşamasında olabilecek olası çökellerin önceden tahmin edilmesi üretim ve malzeme kaybı olmadan önce alınabilecek önlemler açısından çok önemlidir.

Kabuklaşma eğiliminin değerlendirilmesi için öncelikle kabuk oluşturabilecek minerallerin denge durumları incelenmelidir (Arnórsson, 1989; Kristmannsdóttir, 1989; Tarcan, 2001 ve 2003). İnceleme alanındaki jeotermal sulardaki seçilmiş hidrotermal minerallerin doygunlukları, örnekleme sıcaklığında, PHREEQC bilgisayar programı (Parkhurst and Appelo, 1999) kullanılarak hesaplanmıştır ve doygunluk indeksi-sıcaklık diyagramlarında gösterilmiştir. Bu gösterimler yukarıda kabuklaşmada sorun oluşturabilecek mineraller açısından her bir mineral için tüm örneklenen sular bir diyagramda işaretlenerek yapılmıştır. Bunlara göre doygunluk indeksinin sıfır olduğu değer çizilmiş ve negatif olan örnekler doygunluk altı değerinde olup, sıfır çizgisinin altında gözükmekte ve minerali çözücü özellikte olarak değerlendirilmektedir. Mineral doygunlukları pozitif olan örnekler sıfır çizgisinin üzerinde yer almakta ve doygunluk üstü yani o minerali çökeltmeye eğilimli olarak değerlendirilmektedir. Değerlendirmeler çoğunlukla örnekleme sıcaklığında, bazı kuyular için kuyu başı sıcaklıklar dikkate alınarak yapılmıştır.

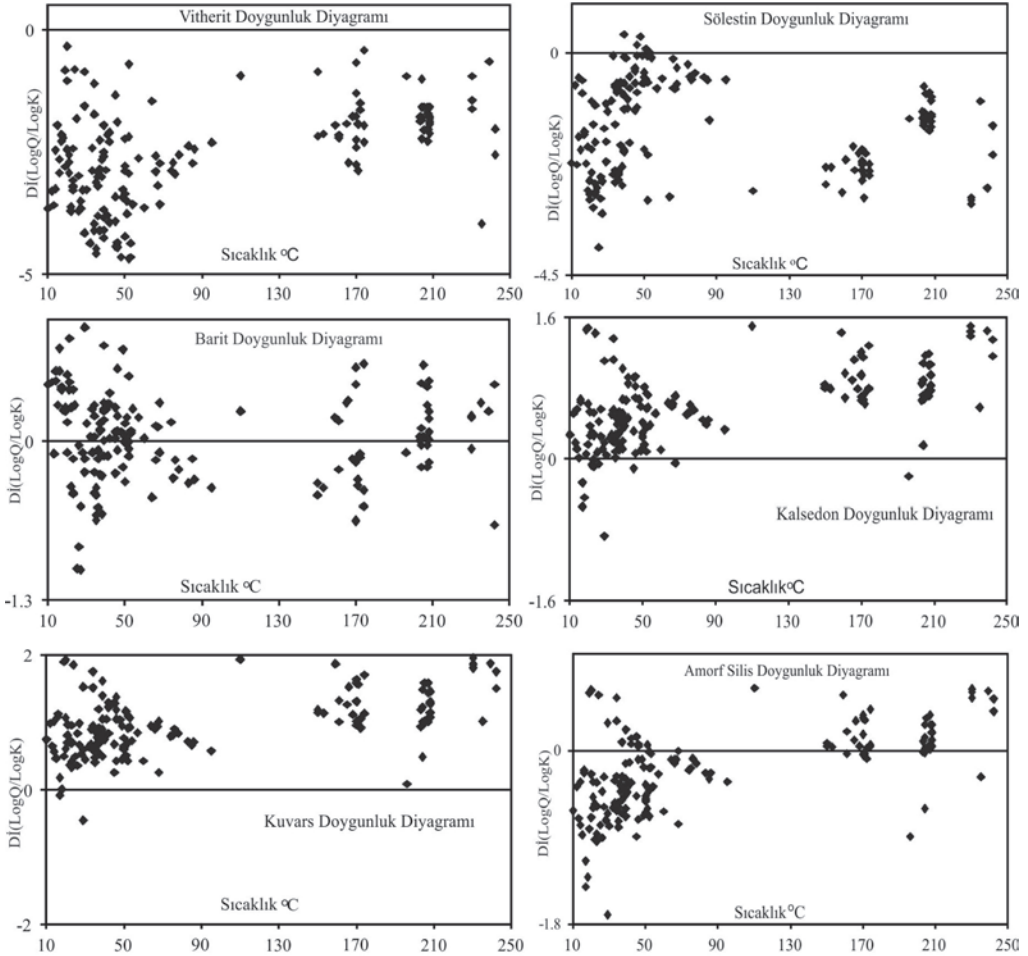
Sülfatlı minerallerden jips ve anhidrit iki CaSO_4 mineralidir. Jeotermal kuyularda görülebilen sülfat kabuklaşmalarının hemen hemen tamamı anhidrit olarak kaydedilmiştir. Bununla birlikte jips çökelimleri de zaman içinde olabilmektedir. Ancak Aydın jeotermal suları bu her iki mineraline göre de, örnekleme sıcaklığında, tamamen doygunluk altı değerler göstermektedir (Şekil 3).

Kalsit ve aragonit, CaCO_3 bileşiminde iki mineral, jeotermal sularda gözlenen en yaygın kabuklaşma yapan minerallerdendir. Kristal sistemleri birbirinden farklı bu minerallerin çökmesi basınç, sıcaklık, pH değişimiyle ilişkilidir. Aydın jeotermal suları genel olarak pozitif yani doygunluk üstü değerler vermektedir (Şekil 3). $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ bileşimli dolomit de kalsit ve aragonit benzeri bir doygunluk durumu göstermektedir (Şekil 3). Diğer karbonatlı minerallerden stronsiyanit (SrCO_3) hemen hemen yarı yarıya doygunluk üstü ve doygunluk altı değerler vermektedir (Şekil 3). Bir diğer olası çökme riski bulunan karbonatlı mineral viterit (BaCO_3) ise tamamen doygunluk altı değerler vermektedir (Şekil 4). Özetle, karbonatlı mineraller arasında bir değerlendirme yapılacak olursa kalsit, aragonit ve dolomit çoğunlukla, stronsiyanit kısmen doygunluk üstü değerler vermektedir. Viterit ise tıpkı jips ve anhidrit gibi tamamıyla doygunluk altı değerler vermektedir.



Şekil 3. Sülfatlı ve karbonatlı minerallerin mineral doymunluk-sıcaklık ilişkisi.

Diğer bir stronsiyum minerali olan sölestin ($SrSO_4$) de tamamen doymunluk altı değerler vermektedir (Şekil 4). Oysa diğer bir sülfat minerali olan barit ($BaSO_4$) kısmen doymunluk üstü, kısmen de doymunluk altı değerler vermektedir (Şekil 4). Silisyum mineralinden kalsedon ve kuvars mineralleri bir iki istisna dışında hemen hemen tüm örneklerde doymunluk üstü değerler gösterir (Şekil 4). Bununla birlikte jeotermal kuyularda kuvars ve kalsedon çökmesine pek rastlanılmaz. Bunun nedeni kuvars ve kalsedonun çözelti kinetiğiyle ilgilidir. Diğer bir deyişle kuvars ve kalsedon çökmesi için belirgin bir zaman geçmesi gerekmektedir. Jeotermal kuyularda akışkan hızla hareket ettiğinden ve sıcaklık değişimleri çok hızlı olduğundan silis kristalleşemez ve çökeltiler (kabuk örnekleri) amorf (şekilsiz) silis olarak çökelirler. İnceleme alanındaki örnekler amorf silise karşı kısmen doymunluk üstü, kısmen de doymunluk altı değerler verir (Şekil 4).



Şekil 4. Diğer minerallerin mineral doygunluk-sıcaklık ilişkisi.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bölgedeki jeotermal alanların hazne kayaları Menderes Masifi'nin mermer, şist ve gnays ile Neojen'in çakıltaşlarıdır. Neojen birimlerinin killi düzeyleri ise jeotermal sistemin örtüsünü oluşturmaktadır.

Oniki mineral için örnekleme sıcaklığında yalnız su kimyası verileri kullanılarak yapılan değerlendirmelerin özet sonucu göstermektedir ki; kalsit, aragonit, dolomit gibi karbonatlı mineraller ile kuvars ve kalseduan gibi silisli mineraller çoğunlukla; amorf silis, stronsiyanit ve barit kısmen doygunluk üstü değerler vermektedir. Jips, anhidrit, vitherit tamamen ve sölestin bir iki istisna ile doygunluk altı değerler verir. Özetle, en çok çökelebilecek kabuklaşma türünün kalsit, aragonit ve kısmen dolomit gibi karbonat mineraller olduğu; ikinci olarak kuvars, kalseduan ve amorf silis gibi bazı silisli mineraller olduğu ve çok ender olarak da barit ve sölestin minerallerinin kısmen çökelebilmeye riski taşıdığı görülmektedir.

Kalsit ve amorf silis doygunluk durumları göstermektedir ki; alandaki jeotermal kuyu suları değinilen iki mineralden birisine yada her ikisine birden (her sıcaklıkta) aşırı doygunudur. Üretim kuyularındaki kalsit çökmesi ölçülmüş akifer sıcaklığından biraz aşağıdaki sıcaklıklarda kaçınılmaz olarak başlamaktadır. Amorf silis kabuklaşması da geri basım kuyuları için önemli bir tehlike oluşturmaktadır.

KAYNAKLAR

- Arnórsson, S. 1989. Deposition of calcium carbonate minerals from geothermal waters-theoretical considerations. *Geothermics*, 18, 33-39.
- Karakuş, H., Şimşek, Ş. 2012. Tracing deep thermal water circulation systems in the E-W trending Büyük Menderes Graben, western Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 252 (2013) 38-52.
- Karahan, Ç. 2007. Aydın-Sultanhisar SH-1 ve SH-2 Sıcak Su Sondajları Kuyu Bitirme Raporu, MTA, Ankara, 53.
- Karamandesi, İ. H., Coşkun, S.B., Eşder, T., Yılmaz, S. 1982. Germencik – Ömerbeyli-1 Kuyu Bitirme Raporu, MTA Raporu, Ankara, 7746A.
- Karamandesi, İ. H., Helvacı, C. 2003. Geology and Hydrothermal Alteration of the Aydın-Salavatlı Geothermal Field, Western Anatolia, Turkey, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 12, 175-198.
- Kristmannsdóttir, H. 1989. Types of scaling occurring by geothermal utilization in Iceland. *Geothermics*, 18, 183-190.
- Parkhurst, D.L., Appelo, C.A.J. 1999. User's guide to PHREEQC (version 2)--A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 99-4259, 312.
- Şimşek, Ş. 2003. Hydrogeological and Isotopic Survey of Geothermal Fields in the Büyük Menderes Graben, Turkey, *Geothermics*, 32, 669-678.
- Tarcan, G. 2001. Aquifer chemistry and mineral saturation in selected high temperature geothermal areas. United Nations University Geothermal Training Programme, Orkustofnun, Reykjavik, Iceland. 12, 267-290.
- Tarcan, G. 2003. Jeotermal Su Kimyası. Jeotermalde Yerbilimsel Uygulamalar 11-21 Haziran 2002 Yaz Okulu Ders Kitabı (Eds) Savaşın, M.Y., Güleç, N., Şimşek, Ş., Parlaktuna, M., Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir, No:306, 198.

DÜŞÜK- ENTALPİLİ JEOTERMAL SİSTEMLERİN ÇEVRESEL İZOTOPLARLA İNCELENMESİ: AYAŞ-BEYPAZARI JEOTERMAL SAHASI ÖRNEĞİ

Mehmet Çelik

*Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06100 Tandoğan,
Ankara
(mehmetcelik@ankara.edu.tr)*

ÖZ

Ayaş-Beypazarı jeotermal sahası Ankara'nın batısında, 60-100 km mesafeler arasında yer almaktadır. Jeotermal saha Abdüselam Dağları'nın batısında yer almakta olup, saha güneyde Sakarya Nehri, kuzeyde Kirmir Çayı ile sınırlanmakta ve Sarıyar Barajı gölünde son bulmaktadır. Jeotermal sahada 7 farklı termal su noktası yer almaktadır. Bunlar; Karakaya hamamı (30°C), Çoban Hamamı (58°C), Ayaş İçmeceleri (51°C), Dutlu Kaplıcası (46°C), Ayaş Ilıcası (20°C), Kapullu Hamamı (41°C) ve Çağlayık Hamamı'dır (38°C). Hidrokimyasal analiz sonuçları alanda dört farklı temel su tipinin yer aldığını göstermektedir. Bunlar; bikarbonat baskın sular, sülfat baskın soğuk acı sular, sodyum bikarbonat baskın sıcak, ve sıcak ve mineralli sular, sülfat-klorür baskın sıcak ve mineralli sulardır. Bu çalışmanın amacı jeotermal suların yeraltı sirkülasyon ve kökeninin çevresel izotoplarla incelenmesidir.

Beypazarı granitoidinin etkisi altında, lokasyon olarak üzerinde konumlanan jeotermal kaynakların (Çoban Hamamı, Ayaş İçmeceleri, Dutlu Kaplıcası, Kapullu Hamamı ve Çağlayık Hamamı) beslenme yüksekliği 950-1150 m'ler arasındadır ve beslenme alanında jipsli Kirmir Formasyonu ve Beypazarı Granitoidi yüzlek vermektedir. Jeotermal kaynakların beslenme alanı yükseklikleri $d^{18}O$ ve d^2H ile belirlenmiş, beslenme alanındaki jipslerin varlığı ise $d^{18}O(SO_4^{-2})$ ve $d^{34}S(SO_4^{-2})$ izotopları ile doğrulanmıştır. Karakaya Hamamı ve Ayaş Ilıcası'nın Beypazarı Granitoidleri ile hidrolik ilişkisi bulunmamaktadır. $d^{13}C$ ve ^{14}C izotopları ile jeotermal kaynak sularının kökeni ve yer altı dolaşım suları hakkında bilgiler elde edilmiştir. Dutlu kaplıcası kaynaklarının çökeltiltiği travertenlerin denizel kökenli karbonatlardan, Çoban hamamı travertenlerinin ise denizel kökenli olmadığı, granitoidler üzerinde yer alan gölsel kireçtaşlarından kaynaklandığı belirlenmiştir. Jeotermal kaynak sularının yer altı dolaşım yaşları yaşlıdan genç doğru, Ayaş İçmeceleri 25.000 BP, Dutlu Kaplıcası 20.000 BP, Karakaya Kaplıcası 13.000 BP, Kapullu Kaplıcası 6.000 BP ve Ayaş-Ilıca Kaynağı 280 BP olarak yer almaktadır. Kapullu Kaplıcası ile Ilıca Kaynağı jeotermal suları yüzey suları ile karışmıştır. Jipsli formasyonlardan beslenen jeotermal kaynakların (Çoban Hamamı, Ayaş İçmeceleri, Dutlu Kaplıcası ve Kapullu Hamamı) H_2O-SO_4 jeotermometre hesaplamasında en yüksek rezervuar sıcaklığı 73°C ile Kapullu Hamamı'nda elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ayaş-Beypazarı Jeotermal Sahası, beslenme alanı, çevresel izotoplar, H_2O-SO_4 jeotermometresi, Beypazarı granitoidi, jipsli formasyonlar.

INVESTIGATION OF LOW-ENTHALPHY GEOTHERMAL SYSTEMS BY ENVIRONMENTAL ISOTOPES: A SAMPLE OF AYAŞ-BEYPAZARI GEOTHERMAL FIELD

Mehmet Çelik

Ankara University, Engineering Faculty, Geological Engineering Department, 06100
Tandoğan, Ankara
(mehmetcelik@ankara.edu.tr)

ABSTRACT

Ayaş-Beypazarı geothermal field is located about 60 to 100 kilometres west of Ankara. The geothermal field is situated on the west of Abdüsselam Mountains. The field is limited by Sakarya River and Kirmir Creek at north and south, respectively and it discharges to Sarıyar Dam lake. Seven different thermal water points are found at the geothermal field. These are Karakaya Bath (30°C), Çoban Bath (58°C), Ayaş Mineral Water (51°C), Dutlu Bath (46°C), Ayaş-İllica Bath (20°C), Kapullu Bath (41°C) and Çağlayık Bath (38°C). Results from hydrochemical analysis suggest that four different water types are present in the area: bicarbonate dominant water (I), sulfate dominant cold brine water (II), sodium-bicarbonate dominant thermal water and thermal and mineralized water (III), sulfate-chloride dominant thermal and, thermal and mineralized water (IV). The aim of the study was to investigate underground circulation and origin of the geothermal waters by environmental isotopes.

Geothermal springs of the Beypazarı granitoids are being affected and, located below the geothermal springs (Çoban Bath, Ayaş Mineral Water, Dutlu Bath, Kapullu Bath and Çağlayık Bath). The springs receive recharge from precipitation in the Beypazarı Granitoids and gypseous Kirmir Formation having elevations of about 950-1150 m. Recharge area elevations of the springs are being calculated by $d^{18}O$ ve d^2H isotopes. Isotopes ($d^{18}O(SO_4^{-2})$ ve $d^{34}S(SO_4^{-2})$) are being confirmed the presence of gypsum formations in the recharge area. Karakaya Bath and Ayaş-İllica Bath have no hydraulic connection with Beypazarı Granitoids. Results from $d^{13}C$ and $14C$ isotopes give an information about the origin of the geothermal springs and underground circulation waters. Travertines of Dutlu Bath springs are originated marine origin carbonates. However, Çoban Bath spring travertines are originated from lacustrine limestones overlying the granitoids. Underground circulation ages of the geothermal spring waters from old to young are: Ayaş Mineral Water 25.000 BP, Dutlu Bath 20.000 BP, Karakaya Bath 13.000 BP, Kapullu Bath 6.000 BP and Ayaş-İllica Bath 280 BP. Kapullu Bath and Ayaş-İllica Bath waters are mixed with surface waters. H_2O-SO_4 Geothermometer is applied to the geothermal springs (Çoban Bath, Ayaş Mineral water, Dutlu Bath and Kapullu Bath) which are recharged from the gypseus formations. The highest reservoir temperature measured was 73°C in Kapullu Bath.

Keywords: *Ayaş-Beypazarı Geothermal Field, Recharge Area, Environmental Isotopes, H_2O-SO_4 Geothermometers, Beypazarı Granitoids, Gypseus formations.*

SARMAŞIK (FATSA- ORDU) JEOTERMAL SULARININ HİDROJEOKİMYASI

Fatma Gültekin, Esra Hatipoğlu Temizel, Arzu Fırat Ersoy, İrfan Temizel

*Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 61080 Trabzon
(fatma@ktu.edu.tr)*

ÖZ

Sarmaşık (Fatsa- Ordu) jeotermal sahasında yer yer bazaltik dayklar tarafından kesilmiş olan Üst Kretase yaşlı tortul ara katkılı volkanik birimler yüzeylenir. Genellikle bazalt, andezit ve bazaltik tüfler şeklinde yüzeylenen volkanik birimlerde yoğun ayrışma gözlenmektedir. Volkanik birimler içerisinde yaklaşık 1 lt/sn debili 47°C sıcaklıkta bir kaynak boşalmaktadır. Na-Ca-SO₄ su tipinde olan sıcak su kaynağının pH'ı 8.9, elektriksel iletkenlik (EC) değeri ise 1930 µS/cm'dir. Giggenbach diyagramına göre kısmen olgunlaşmış sular sınıfında yer alan sıcak suyun hazne sıcaklığı silis jeotermometreleri ile yaklaşık 100-110°C olarak hesaplanmıştır. Sıcak suyun kalsit ve aragonite doymuş, jips, anhidrit ve kuvarsa doymuş olmadığı belirlenmiştir. Su-kayaç etkileşiminde silikat ayrışması, ferromagnezyen minerallerin ayrışması ve katyon değişimi olaylarının etkili olduğu tespit edilmiştir. Sıcak suyun oksijen-18 ve döteryum ilişkisine göre meteorik kökenli olduğu, çevredeki soğuk kaynaklara göre daha derin dolaşım izlediği belirlenmiştir. Jeotermal alana ait jeoloji, mineraloji, hidrojeoloji ve hidrojeokimya çalışmalarından yararlanarak sahanın kavramsal modeli oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal kaynak, Hidrojeokimya, Jeotermometre, Fatsa-Ordu

SARMAŞIK (FATSA- ORDU) JEOTERMAL SULARININ HİDROJEOKİMYASI

Fatma Gültekin, Esra Hatipoğlu Temizel, Arzu Fırat Ersoy, İrfan Temizel

Karadeniz Technical University Geology Engineering Department, 61080 Trabzon
(fatma@ktu.edu.tr)

ABSTRACT

In the Sarmaşık (Fatsa- Ordu) geothermal field, the Upper Cretaceous-aged volcanic rocks interbedded with sedimentary rocks which is cut by basaltic dikes in places crop out. The intensive weathering is observed in the volcanic units which is generally outcropped basalt, andesite and basaltic tuff. A thermal spring which has 1l/sec discharge and 47°C temperature flows out through volcanic rocks. The pH value is 8.9 and EC is 1930 $\mu\text{S}/\text{cm}$ of the thermal spring classified Na-Ca-SO₄ water type. The thermal spring is partially mature water class according to Giggenbach diagram. The reservoir temperature of the thermal spring was calculated as 100-10° C using silica geothermometer. It was determined that the thermal spring water was saturated with calcite and aragonite, and under-saturated with gypsum, anhydrite and quartz. In the water-rock interaction alteration of silicate and ferromagnesian minerals and cation exchange process were effective. $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ relations reveal that the thermal water is meteoric in origin and it has deeper circulation than the cold spring located surrounding. The conceptual model was developed for geothermal area using geology, mineralogy, hydrogeology and hydrogeochemistry study.

Keywords: Geothermal spring, Hydrogeochemistry, geothermometer, Fatsa-Ordu

1. GİRİŞ

Tektonik olarak oldukça aktif olan Alp-Himalaya sistemi içinde yer alan Türkiye jeotermal enerji açısından zengin bir ülkedir. Bu zenginliğin en büyük göstergesi, tüm ülkeye yayılmış olan çok sayıdaki doğal sıcak su kaynaklarıdır. 1960'larda MTA tarafından başlatılan jeotermal enerji arama ve geliştirme çalışmaları enerji üretimine uygun sahaların bulunması sonrası 1980'lerde ivme kazanmıştır. Jeotermal enerji amaçlı yapılan çalışmalar daha çok ülkenin batı kesiminde yoğunlaşmıştır (Şimşek, 1984; Şimşek ve Güleç, 1994; Tarcan vd, 2000; Gemici ve Tarcan, 2002; Karamaneresi ve Helvacı, 2003; Tarcan vd, 2005; Drahor ve Berge, 2006; Pasvanoğlu ve Gültekin, 2012). Orta ve Doğu Anadolu jeotermal sahalarının tarihsel volkanik aktivite ile, Kuzey Anadolu'daki düşük ve orta entalpili jeotermal sahalarının ise Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ile ilintili olduğu bilinmektedir (Şimşek 2001).

Karadeniz Bölgesinde az sayıdaki jeotermal kaynaktan birisi de Fatsa İlçesi, Ilıca Köyü sınırları içerisinde bulunan ve Sarmaşık Kaplıcası olarak tanınan sıcak su kaynağıdır. Sarmaşık sıcak su kaynağına yönelik ilk çalışma İstanbul Üniversitesi Tıbbi Ekoloji ve Hidro-klimatoloji Kürsüsü tarafından yapılmıştır. Yenal vd, (1976) tarafından yapılan bu çalışmada Sarmaşık sıcak su kaynağının 47.5°C sıcaklıkta dere yatağının kuzey yamacından 1.1 lt/sn debi ile tek noktadan çıktığı belirtilmiş, kaplıca kaynağı Sülfat, Sodyum, Kalsiyum, Bromürlü, hipertermal madensuyu olarak sınıflandırılmıştır. Sarmaşık Kaplıcası ve çevresine yönelik olarak Büyük (1978) tarafından hidrojeoloji raporu hazırlanmış ve 1980 ve 90'lı yıllarda bu alanda MTA tarafından sondaj çalışmaları gerçekleştirilmiştir. MTA'nın 2005 yılı Türkiye Jeotermal Envanterinde Sarmaşık kaplıca kaynağının sıcaklığının 48°C, debisinin 1.2 l/sn olduğu belirtilmiştir. Sahada 1985 ve 1992 yıllarında, sırasıyla, 598 ve 397 m derinliklerde iki kuyu açılmış ve kuyulardan 23°C ve 26°C sıcaklıkta 0.05 ve 0.048 lt/sn debi ile su elde edilmiştir (Erzenoğlu ve Tangaç, 1986; Akkuş vd, 2005). Sondajlardan çıkan suların debisinin oldukça düşük, sıcaklıklarının da kaynak sıcaklığından daha az olması nedeniyle kuyular kullanım dışı bırakılmıştır.

Bu çalışmada Sarmaşık (Fatsa- Ordu) kaplıcasının oluşum mekanizması, fiziksel ve kimyasal özellikleri, kaplıca sularının kökeni ve yüzey sularıyla karışımlarının olup olmadığı ve jeotermal açıdan önemini belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda çalışma alanının jeoloji ve tektonik haritaları hazırlanarak çalışma alanındaki normal, mineralli ve sıcak kaynak sularının mevcut jeolojik ve tektonik yapı ile ilişkisi belirlenmiştir. Kaynak başında (yerinde) sıcaklık, pH, TDS (toplam çözünmüş madde miktarı), EC (elektriksel iletkenlik) ve DO (Çözünmüş oksijen) gibi parametreleri ölçülmüştür. Ayrıca sıcak su kaynağından, soğuk su kaynağından ve yüzey sularından dört ayda bir örnekleme yaparak suların kimyasal bileşimi ve yılda iki kez örnekleme yaparak izotopik bileşimleri belirlenerek suyun kimyasal değişimi ve yeraltında dolaşım süreci araştırılmıştır.

2. ÇALIŞMA ALANI

İnceleme alanı Doğu Karadeniz Bölümünde, Ordu İli, Fatsa İlçesi sınırları içerisinde 1/25.000 ölçekli Giresun G39- a1 paftasında yaklaşık 50 km²'lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1). Sıcak su kaynak çıkışı Fatsa İlçesi, Ilıca Köyü'nde olup, Fatsa'ya yaklaşık 10 km uzaklıktadır. Doğu Karadeniz Kıyı sıradağları yayının kuzey yamacında yer alan çalışma alanı dağlık ve engebelidir. Kıyı düzlüğünün hemen gerisinde yükselti 150-200 m'ye kadar ulaşmaktadır. Bu kotlardan sonra arazi giderek daralan akarsu vadileri tarafından derin bir şekilde yarılmıştır. Çalışma alanındaki en önemli akarsu kısa menderesler çizerek güneyden kuzeye doğru akan, fakat kaplıca çevresinde doğu-batı yönünde akan Ilıca Dere'dir. İnceleme alanında genel olarak her mevsim

yağışlı, yazlar serin, kışları kıyılarda ılık, yükseklerde soğuk ve kar yağışlı olan Karadeniz İklimi hüküm sürmektedir. Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan son 64 yılın ortalamalarına göre Ordu ilinde yıllık ortalama yağış 1042 mm, yıllık ortalama sıcaklık ise 14.3°C'dir. Thornthwaite (1948) Yöntemi'ne göre yıllık potansiyel buharlaşma değeri 766.6 mm, yıllık gerçek buharlaşma-terleme değeri ise 653.9 mm'dir. Yağışın yaklaşık % 63'ü buharlaşma-terleme yolu ile tekrar atmosfere geri dönmektedir.



Şekil 1. İnceleme alanının yer belirleme haritası

3. JEOLJİ VE HİDROJEOLJİ

Çalışma alanındaki en yaşlı birimleri oluşturan Üst Kretase yaşlı genellikle bazaltlardan oluşan volkanik kayaların birincil gözeneklilikleri oldukça düşüktür. Tektonik faaliyetler sonucunda kazanmış oldukları çatlaklı yapı ikincil gözeneklilik kazandırmış ve yer yer geçirimsizlik sağlamıştır. Birimlerin genelinde homojen olmayan bu geçirimsiz düzeyler yüzey sularının faylar boyunca da derinlere inmesini sağlar. Eğimli bir topoğrafyanın egemen olduğu bu alanda, sığ derinliklere inen sular yamaçlardan küçük debili kaynaklar şeklinde boşalırlar. Dolayısıyla volkanik kayalar yeraltısuyu bakımından sadece çatlaklı oldukları yersel alanlarda önem taşımaktadır.

İnceleme alanında daha çok volkanik ürünlerle temsil edilen Turoniyen-Koniasiyen yaşlı Çatak Formasyonu andezit, bazalt, piroksenli andezit ve piroklastitleri türü kayaları içermektedir (Şekil 2). Bu volkanik kayaların birincil geçirimsizlikleri homojen olmayıp, çimentolanma derecesine göre değişiklik gösterir. Değişik ayrışma türlerinin gözlemlendiği bu kayalar da ayrışma derecesine göre geçirimsizlikleri değişir. Birim çimentolanmanın zayıf, ayrışmanın yoğun olduğu kısımlarda geçirimsiz özellik gösterir. Santoniyen-Kampaniyen yaşlı Demircili Formasyonu andezitik tüf-breş arakatkılı çamurtaşı, killi kireçtaşı, kumtaşı, silttaşı, kiltası, marn araldanmasından oluşmaktadır (Şekil 2). İnce ve orta tabakalı olan tortul birimler tabaka düzlemleri boyunca ve konglomera seviyelerinde geçirimsizdirler. Kumtaşı, marn, çamurtaşı ve tüf aradüzeyleli bazalt andezit ve piroklastitlerinden oluşan Kampaniyen-Maastrichtiyen yaşlı Çağlayan Formasyonu, volkanik kayaların yüzeylendiği alanlarda yarıgeçirimsiz özelliktedir. Çalışma alanında Üst Kampaniyen- Maastrichtiyen yaşlı trakit-trakiandezitik lav ve piroklastikleri (yer yer dasit ve riyodasit) Tirebolu Formasyonu olarak adlandırılmıştır ve birim yarıgeçirimsiz özelliktedir (Şekil 2). İnceleme alanının da yüzeyleyen Maastrichtiyen yaşlı Fatsa Formasyonu çakıltaşı ve aglomera arakatkılı kireçtaşı, killi-kumlu kireçtaşı ve tüfit araldanmasından oluşur (Şekil 2).

4. SULARIN HİDROKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Kimyasal ve izotop özelliklerinin belirlenmesi amacıyla inceleme alanındaki sıcak su kaynağından, dere suyundan ve soğuk kaynak suyundan örnekler alınmıştır. Alınan örnek noktalarının tanımlamaları, koordinatları ve kot değerleri tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. İnceleme alanındaki kaynaklardan yapılan örnekleme noktalarının koordinatları

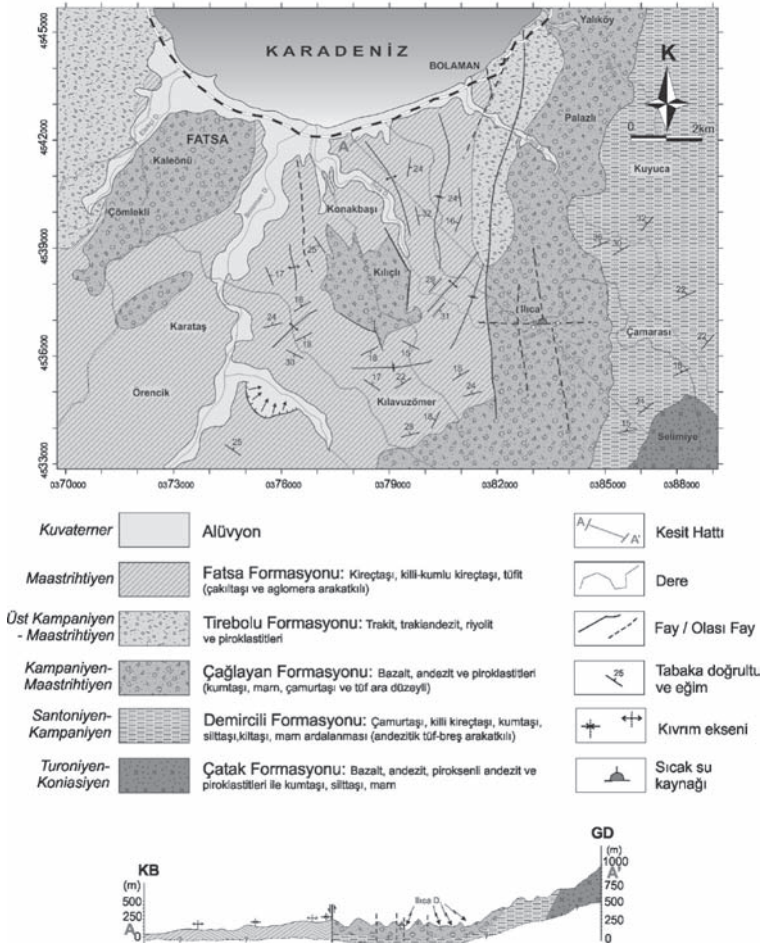
Örnek No	Koordinatı (UTM)	Kotu (m)
SS (Sıcak su kaynağı)	0383154 - 4536830	102
SKÇ (Soğuk su çeşmesi)	0383064 - 4536784	101
IDB (Ilıca Dere Batı)	0383071 - 4536795	100
IDD (Ilıca Dere Doğu)	0383619 - 4536877	104

Aynı su noktalarında pH, sıcaklık (T), çözülmüş oksijen (DO), elektiriksel iletkenlik (EC) ve toplam çözülmüş madde miktarı (TDS) değerleri arazide yerinde ölçülmüştür. Yerinde yapılan ölçümler ve kimyasal analiz sonuçları tablo 2’de verilmiştir. Elde edilen bu kimyasal analiz sonuçlarının hata oranlarının belirlenmesi için elektronötrallite denklemi kullanılarak katyon-an-yon dengesi (% e) hesaplamaları yapılmıştır. Bu hesaplamalara göre analiz sonuçlarındaki hata oranının $\pm 5\%$ ’i geçmemesi beklenir. İnceleme alanındaki suların kimyasal analiz sonuçlarında hata oranı (% e) -3.05-1.42 arasında değişmektedir ve bu hata oranları kabul edilebilir sınırlar içerisinde dir.

Farklı mevsimlerde yapılan ölçümlerde sıcak su kaynağının sıcaklığının (46.2-46.8°C) genel olarak değişmediği görülmüştür. Soğuk su kaynağının sıcaklığının ise 13.1-15.3°C arasında ve yaklaşık 2°C'lik bir değişimin olduğu görülür. Ancak bu değişimin kaynağın hazneli kaptajında meydana geldiği düşünülmektedir. Yüzeysel sularının sıcaklığı ise beklendiği gibi iklim koşullarına uygun olarak değişim göstermektedir.

Sıcak su kaynağının EC değerinin 1828-1931 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında olduğu; soğuk su kaynağının 259-317 $\mu\text{S}/\text{cm}$; yüzeysel sularının 159-218 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değiştiği görülür. Sıcak suyun pH değeri 8.3-8.9 arasında; soğuk suyun pH değeri 7.2 ile 7.8 arasında; yüzeysel suyunun pH değeri 8-8.8 arasında değişir.

Suların major iyon ve iz element analizleri Haziran ve Ekim aylarında olmak üzere iki kez gerçekleştirilmiştir. Sıcak su kaynağında hakim anyon ve katyonları Na ve SO₄ iyonları oluştururken, soğuk su kaynağında ve yüzeysel suda Ca ve HCO₃ oluşturmaktadır. Sıcak suda F değeri 3.24 mg/l iken soğuk sulara 1 mg/l'nin altındadır.

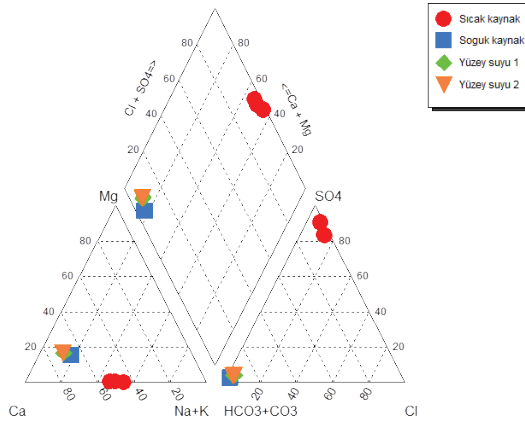


Şekil 2. İnceleme alanının jeoloji haritası ve A-A' jeolojik kesiti (Çınar vd., 1986; Güner vd., 1988'den değiştirilerek)

SiO₂ değeri sıcak suda 52 mg/l, soğuk su kaynağında 29 mg/l, yüzey suyunda yaklaşık 13 mg/l'dir. **Çalışma alanındaki suların** hidrokimyasal fasiyes kavramına göre sınıflamasında IAH (1979) sınıflaması kullanılmıştır. Yüzey suları, soğuk ve sıcak yeraltı sularını sınıflamak ve hidrojeokimyasal **işlevlerini tanımlamak için** Piper Diyagramı (1944), suların kimyasal içeriklerini karşılaştırmak amacıyla da Schoeller Diyagramı (1962) kullanılmıştır.

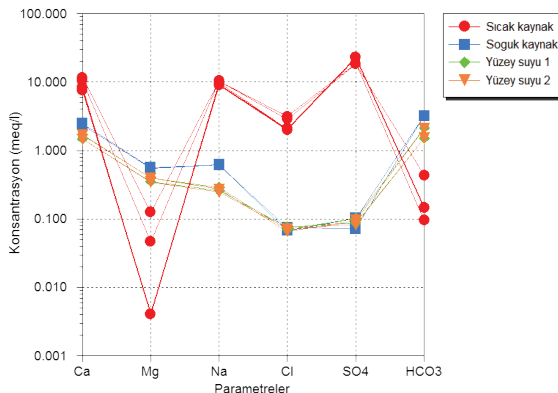
IAH (1979) sınıflamasına göre Sarmaşık jeotermal alanındaki suların su tipi incelendiğinde; jeotermal kaynak Na- Ca- SO₄, soğuk su kaynağı ve yüzey suları Ca- HCO₃ su sınıfındadır.

Piper Diyagramı değerlendirilmesine göre inceleme alanındaki soğuk su kaynağı ve yüzey suları Ca+Mg>Na+K karbonatlı ve sülfatlı sular, karbonat sertliği %50 den fazla olan sular sınıfında yer almaktadır. Sıcak su kaynağında ise Cl+SO₄>HCO₃+CO₃ şeklindedir (Şekil 4).



Şekil 3. İnceleme alanındaki su örneklerine ait Piper diyagramı

İnceleme alanına ait suların Schoeller Diyagramı'ndaki konumları Şekil 4'de gösterilmiştir. Schoeller Diyagramı incelendiğinde genel olarak tüm suların iyonlarının meq/l değerlerini birleştiren doğrulara bakıldığında jeotermal suların soğuk su kaynağından ve yüzey sularından bağımsız olduğu görülmektedir. Ayrıca beklenildiği gibi sıcak sular soğuk sulara oranla daha yüksek iyon konsantrasyonlarına sahiptirler.



Şekil 4. İnceleme alanındaki su örneklerinin Schoeller diyagramındaki konumları

Suların iz element analizleri incelendiğinde (Tablo 3) tüm sularda Al, As, Ba, Pb, Sr ve Zn değerlerinin kısmen yüksek olduğu görülür. Ayrıca sıcak sularda bunların yanı sıra Ga, Mo, Ni, Rb, Sb, Ta ve Zr değerleri de yüksektir.

Tablo 2. İnceleme alanından derlenen sıcak ve soğuk sulara ait fiziksel ve kimyasal özellikleri

Ölçülen Parametreler	SS					SKÇ				IDB			IDD		
	Haziran 2010	Kasım 2010	Kasım 2013	Haziran 2014	Ekim 2014	Kasım 2010	Kasım 2013	Haziran 2014	Ekim 2014	Kasım 2013	Haziran 2014	Ekim 2014	Kasım 2013	Haziran 2014	Ekim 2014
Sıcaklık (°C)	46.74	46.75	46.2	46.73	46.8	14.1	13.1	14.6	15.3	11.2	20.8	16.9	11.1	20.5	16.9
pH	8.73	8.92	8.9	8.05	8.3	7.38	7.68	7.18	7.8	8.86	8.2	8.07	8.83	8.3	8
EC (µS/cm)	1828	1835	1925	1931	2730	259	317	326	269	218	214	161	208	210	159
TDS	1190	1193	1251	1255	1253	169	212	212	214	141	139	124	137	137	122
DO (mg/l)	1.59	2.13	3.3	2.38	2.11	4.58	8.38	6.4	7.22	13.5	9.3	6.93	12	7.4	8.46
Ca ²⁺ (mg/l)	167	152		210.65	234.5	45		47.58	49.8		33.92	29.7		33.66	29.4
Mg ²⁺ (mg/l)	0.05	0.05		0.57	1.53	5.75		6.73	6.87		4.88	4.29		4.78	4.20
Na ⁺ (mg/l)	227	209		239.17	237.2	13.5		14.34	14.2		6.64	6.01		6.30	5.7
K ⁺ (mg/l)	1.2	1.5		2.89	3.9	1.3		0.65	0.9		0.71	0.53		0.71	0.62
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	9	9		26.65	5.81			195.44	197		130.29	92.9		127.33	92.9
CO ₃ ⁻ (mg/l)	6	6		8.74	17.14			0	0		5.83	11.4		5.83	11.4
SO ₄ ⁻² (mg/l)	1100	1100		879.28	895			4.92	3.45		4.95	4.2		4.61	4
Cl ⁻ (mg/l)	74	71		101.83	112	4		2.40	2.66		2.49	2.71		2.35	2.54
NO ₂ ⁻ (mg/l)				0.04	0.05			0	0.01		0.03	0.01		0.02	0.01
NO ₃ ⁻ (mg/l)				0.44	0.27			11.02	11.7		4.55	6.6		4.71	6.5
PO ₄ ⁻ (mg/l)				0	0			0	0		0	0		0	0
NH ₄ ⁺ (mg/l)				1.36	2.81			0	0.02		0.03	0.9		0.11	0.04
F ⁻ (mg/l)				3.19	3.24			0.29	0.22		0.11	0.07		0.10	0.09
Li (mg/l)	0.03	0.03		0	0.04	0.0005		0	0		0	0		0	0
Br (mg/l)	0.26	0.24		0.24	0.34	0.01		0.01	0.004		0	0.006		0	0.004
SiO ₂ (mg/l)	43.17	29.24		52.01	50.88	29.8		28.94	28.46		11.21	13.94		10.83	13.67
B (mg/l)	0.6	0.55			<0.25	0.02			<0.25			<0.25			<0.25
Tuzlk (mg/l)	0.89	0.9	-	0.95	0.94	0.16		0.16	0.16		0.1	0.09		0.1	0.09

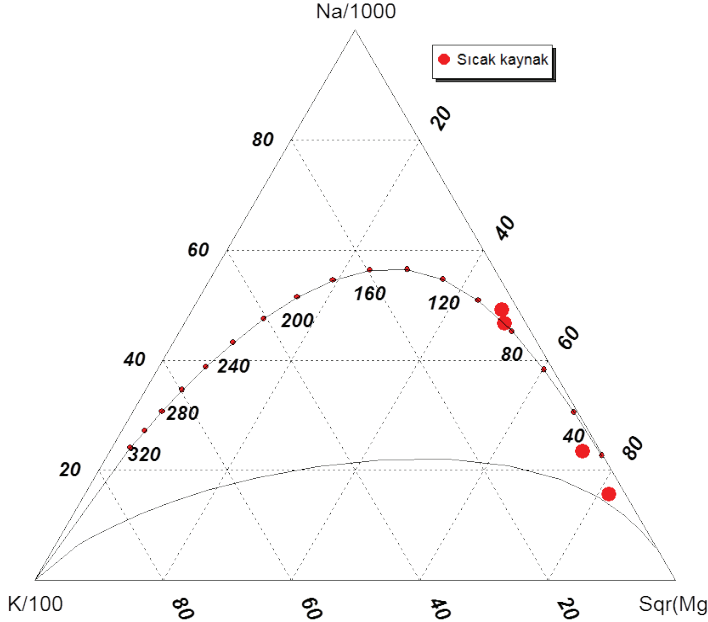
Tablo 3. İnceleme alanındaki sularda bulunan eser elementler (değerler ppb)

Ölçülen Parametreler	SS				SKÇ				IDB		IDD	
	Haziran 2010	Kasım 2010	Haziran 2014	Ekim 2014	Haziran 2010	Kasım 2010	Haziran 2014	Ekim 2014	Haziran 2014	Ekim 2014	Haziran 2014	Ekim 2014
Al	14	9	448.3	1300	41	23	29.46	49.25	215.3	45.99	1234	46.12
As	8.6	7.8	65.21	44.49	0.9	0.7	4.45	<0.001	3.28	<0.001	6.22	<0.001
Ba	8.18	7.45	579.7	1180	5.15	7.92	4.81	4.88	8.02	5.26	13.62	5.47
Be	<0.05	<0.05	1.04	0.23	<0.05	<0.05	<0.001	<0.001	<0.001	0.081	0.039	0.081
Cd	<0.05	<0.05	<0.001	0.48	<0.05	<0.05	<0.001	0.01	0.008	0.06	<0.001	0.03
Cr	<0.5	<0.5	11.28	12.22	<0.5	<0.5	1.26	<0.001	1.69	<0.001	2	<0.001
Cs	0.48	0.45	<0.001	0.78	<0.01	<0.01	<0.001	0.006	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Cu	2.9	3	<0.001	<0.001	2	0.6	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	6.21	<0.001
Fe	<10	<10	477.6	<0.001	<10	<10	70.26	<0.001	102.1	<0.001	101	<0.001
Ga	0.22	0.2	7.56	22.12	<0.05	<0.05	0.17	0.13	0.28	0.12	0.42	0.08
Ge	0.38	0.36	7.19	4.51	<0.05	<0.05	0.89	0.06	0.95	0.01	1.04	0.02
Mn	2.66	2.16	<0.001	1.42	0.89	0.38	<0.01	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Mo	15.8	14.8	2.32	30.8	0.3	0.3	<0.001	0.11	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Ni	<0.2	<0.2	49.04	19.07	<0.2	<0.2	5	<0.001	2.8	<0.001	3.2	<0.001
Pb	0.1	0.2	13.4	25.01	0.3	0.1	1.78	2.15	1.86	2.17	2.84	2.24
Rb	5.07	4.7	8.89	10.18	0.59	0.49	0.81	0.85	0.85	0.71	0.88	0.67
Sb	<0.05	<0.05	9.17	17.3	<0.05	<0.05	0.10	<0.001	0.09	<0.001	0.10	<0.001
Se	0.9	0.8	23.97	<0.001	<0.5	<0.5	4.59	<0.001	1.37	<0.001	4.64	<0.001
Sr	1168	1084	1801	1595	213	225	264.7	229.6	134.1	100	136.8	96.84
Ta	<0.02	<0.02	1.39	11.66	<0.02	<0.02	0.28	1.31	0.66	2.59	0.68	2.88
Ti	<10	<10	0.45	10.5	<10	<10	0.60	0.35	<0.001	<0.001	0.32	<0.001
U	<0.02	<0.02	<0.001	<0.001	0.66	0.78	0.9	1.08	0.02	0.09	0.06	0.07
V	0.2	0.3	1526	836	10.9	10.4	233.2	26.5	236	7.39	225	5.4
W	4.53	4.28	<0.001	12.24	0.02	0.02	<0.001	<0.001	<0.001	0.23	<0.001	<0.001
Zn	2.6	3.5	<0.001	14.88	3.7	0.7	<0.001	<0.001	38.15	<0.001	77.83	1.63
Zr	<0.02	<0.02	0.626	3.23	<0.02	<0.02	<0.001	0.21	<0.001	0.01	0.20	<0.001

5. JEOTERMOMETRE UYGULAMALARI

İnceleme alanındaki suların Giggenbach (1988) diyagramındaki yerleri Şekil 5’de görülmektedir. Bu diyagrama göre inceleme alanındaki sular kısmen dengelenmiş sular kısmına düşmektedir. Çalışma alanında hazne kaya sıcaklığını belirlemek için silis jeotermometreleri uygulanmış, uygulanan bağıntılar ve hesaplanan sıcaklıklar tablo 4’de verilmiştir. Tablo 4 incelendiğinde çalışma alanında hesaplanan hazne kaya sıcaklıklarının 52-103°C arasında olduğu görülmektedir.

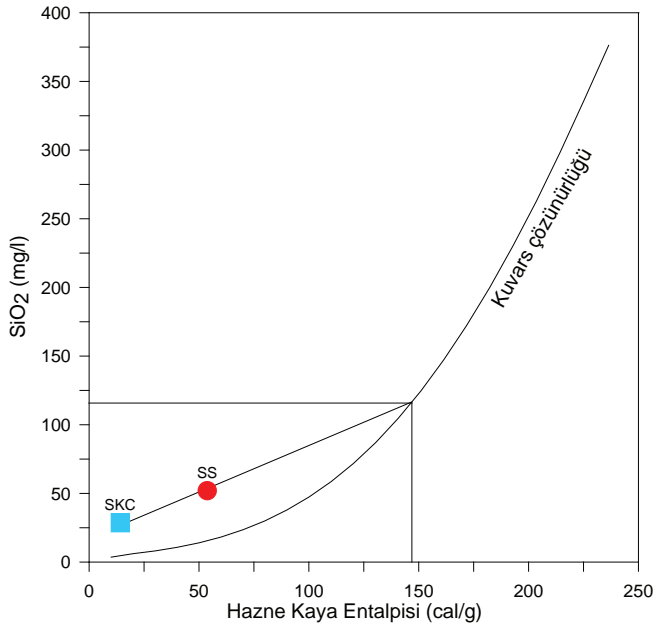
52°C kaynak sıcaklığına yakın bir değerdir. Kaynağın yüzeye çıkarken soğuk sularla karıştığı ve çevre kayalarla temas ederken soğuduğu dikkate alınırsa hazne sıcaklığının daha yüksek olması gerektiği sonucuna varılır.



Şekil 5. Çalışma alanındaki Jeotermal kaynağa ait Giggenbach (1988) diyagramı

Tablo 4. İnceleme alanında yer alan sıcak ve mineralli sulara ait silis jeotermometre uygulamaları (SiO₂: 55.88 mg/l)

Uygulanan Jeotermometreler	Bağıntılar	Değinen Belgeler	Hesaplanan sıcaklıklar
1. SiO ₂ (Amorf silis)	$t=731/(4.52-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Fournier, (1977)	-13.3
2. SiO ₂ (Ü Kristobalit)	$t=1000/(4.78-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Fournier, (1977)	52.2
3. SiO ₂ (â Kristobalit)	$t=781/(4.51-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Fournier, (1977)	5.4
4. SiO ₂ (Kalsedon)	$t=1032/(4.69-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Fournier, (1977)	72.8
5. SiO ₂ (Kuvars)	$t=1309/(5.19-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Fournier, (1977)	102.6
6. SiO ₂ (Kuvars buhar kaybı)	$t=1522/(5.75-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Fournier, (1977)	103.3
7. SiO ₂ (Kalsedon, kondaktif soğuma)	$t=1112/(4.91-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Arnorsson vd., (1983)	74
8. SiO ₂ (Kuvars buhar kaybı)	$t=1264/(5.31-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Arnorsson vd., (1983)	77.6
9. SiO ₂ (Kuvars buhar kaybı)	$t=1021/(4.69-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Arnorsson vd., (1983)	69.1
10. SiO ₂ (Kuvars buhar kaybı)	$t=1164/(4.9-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Arnorsson vd., (1983)	91.3
11. SiO ₂ (Kuvars buhar kaybı)	$t=1498/(5.7-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Arnorsson vd., (1983)	102



Şekil 6. Sarmaşık Jeotermal alanındaki sıcak ve mineralli suların entalpi-silis diyagramı

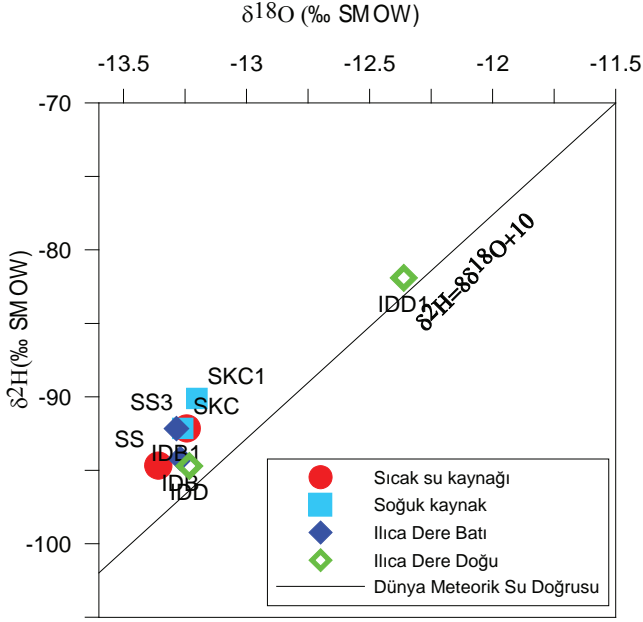
Şekil 6'ya göre Sarmaşık jeotermal alanında yer alan sıcak suların silis-entalpi karışım modeline göre hesaplanan karışım oranları %31 olarak hesaplanmıştır. Bu karışım modeline göre hesaplanan hazne kaya sıcaklığı ise $\sim 145^{\circ}\text{C}$ dir.

6. ÇEVRESEL İZOTOP HİDROLOJİSİ

Bu çalışmada duraylı izotoplardan oksijen-18 ve döteryum izotoplarından (Tablo 5) yararlanılmış ve sıcak suyun kökeni ve havzadaki yağış rejimi yorumlanmaya çalışılmıştır. Suların izotop analizleri için termal su, soğuk su kaynağı ve yüzey sularından kurak ve yağışlı mevsimlerde (Kasım ve Haziran) örnekler alınmıştır (Tablo 5). Çalışma alanındaki suların oksijen-18 döteryum içerikleri Dünya Meteorik Su Doğrusuna (DMD) (Craig, 1961) göre değerlendirilmiş (Şekil 7) ve bütün su noktalarının Dünya Meteorik Su Doğrusuna yakın konumda olduğu görülmüştür.

Tablo 5. İnceleme alanındaki sulara ait δD ve $\delta^{18}\text{O}$ değerleri

Örnek No	Tarih	Türü	δD v-SMOW (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ v-SMOW (‰)
SS-1	Kasım 2013	Sıcak su	-92,14	-14,2
SS-2	Haziran 2014	Sıcak su	-91,98	-14,3
SKÇ-1	Kasım 2013	Soğuk su	-59,51	-9,59
SKÇ-2	Haziran 2014	Soğuk su	-58,08	-9,58
IDB-1	Kasım 2013	Yüzey s.	-59,77	-9,75
IDB-2	Haziran 2014	Yüzey s.	-57,06	-9,52
IDD-1	Kasım 2013	Yüzey s.	-59,86	-9,84
IDD-2	Haziran 2014	Yüzey s.	-55,33	-9,26



Şekil 7. İncelenen suların δD ve $\delta^{18}\text{O}$ ilişkisi

7. KAVRAMSAL MODEL

Sarmaşık jeotermal alanında rezervuarın varlığını işaret eden 46°C 'lik sıcak su kaynağı bulunmaktadır. Çalışma alanında daha önce yapılan jeolojik, jeotermal ve jeofizik çalışmalara göre sıcak su kaynağının bir fay hattı boyunca yüzeye ulaştığı bilinmektedir. Alanın güney kısımlarında gerilme rejimi sonucu transtansiyonel karakterli bir havza oluşmuştur. Bu havzada Miyosen (15 My) yaşlı bazik karakterli lav akıntıları ve Orta Eosen (44-49 My) yaşlı ortaç- asidik karakterli volkanik domlar oluşmuştur (Temizel, 2008; Temizel ve diğ., 2012). Bu yörede ise Üst Kretase yaşlı volkanitler, volkano-tortul birimleri keserek yerleşmiştir (Terlemeç ve Yılmaz, 1980; Çınar ve diğ., 1987). Tüm bu volkanik kayalar litosferik manto kökenli malzemelerin kısmi ergimesinden oluşan magmalardan türemiş olabileceği düşünülmektedir (Temizel, 2008; Temizel ve diğ., 2012). Benzer şekilde derinlerdeki magma odalarından türeyen genç daykların Sarmaşık jeotermal alanındaki jeotermal gradyanın yüksek değerlere ulaşmasını sağlamaktadır.

8. SONUÇLAR

Sarmaşık jeotermal sahasındaki sıcak suyun pH'ı ortalama 8.5, EC değeri $1931\mu\text{S}/\text{cm}$, TDS değeri $1255\text{ mg}/\text{l}$ 'dir. Jeotermal kaynak $\text{Na}-\text{Ca}-\text{SO}_4$, soğuk su kaynağı ve yüzey suları $\text{Ca}-\text{HCO}_3$ su sınıfındadır. Schoeller Diyagramına göre jeotermal suların soğuk su kaynağından ve yüzey sularından bağımsızdır.

Sarmaşık jeotermal alanında yapılan izotop analizleri değerlerine göre alandaki suların tümü meteorik kökenlidir. Giggenbach diyagramına göre kısmen dengelenmiş sular sınıfında olan jeotermal suların silis jeotermometresi ile hesaplanan akifer sıcaklığı $\sim 145^\circ\text{C}$ olarak bulunmuştur. Sıcak sulara soğuk su karışımı oranı entalpi-silis diyagramına göre % 31 dir.

Suların iz element analizleri değerlerine göre Al, As, Ba, Pb, Sr ve Zn değerlerinin kısmen yüksek olduğu görülür. Ayrıca sıcak sularda bunların yanı sıra Ga, Mo, Ni, Rb, Sb, Ta ve Zr değerleri de yüksektir.

Vokano-tortul kayaçların yüzeylendiği alanda yer alan jeotermal sahada, sıcak suyun yüzeye ulaşımı faylarla sağlanmaktadır. Suların ısınmasını sağlayan yüksek jeotermal gradyan ise derinlerde oluşan magma odalarından türeyen genç dayklardan kaynaklanmaktadır.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma 10340 proje numarası ile Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Akkuş, İ., Akıllı, H., Ceyhan, S., Dilemre, A., Tekin, Z., 2005. Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri, Maden Teknik Arama Genel Müdürlüğü Envanter Serisi-201, Ankara.
- Arnorsson, S., Gunnlaugsson E., and Svavarsson, H., 1983. The chemistry of geothermal waters in Iceland. III. Chemical geothermometry in geothermal investigations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47, 567-577.
- Büyük, M., 1978. Fatsa (Sarmaşık) Kaplıcası Hidrojeoloji Etüdü, MTA Der. Rap. No: 6082, (yayımlanmamış), Ankara.
- Craig, H., 1961. Isotopic Variations in Meteoric Water, *Science*, 133, 1702-1703.
- Çınar, S., Yazıcı, E.N., Doksanbir, T., Boğuşlu, M., Genç, İ., Yağcı, A. ve Yıldırım, K., 1987. Ordu-Ulubey-Perşembe-Fatsa yörelerinin jeolojisi ile maden zuhurlarına ilişkin rapor, MTA yayını, Ankara.
- Drahor, M.G., and Berge, M.A., 2006, Geophysical investigations of the Seferihisar geothermal area, western Anatolia, Turkey: *Geothermics*, v. 35, p. 302-320.
- Erzenoğlu, Z., Tangaç, Ö.F., 1986. Ordu- Fatsa (Sarmaşık) Kaplıcası Ilıca-1 Sıcak Su Sondajı Kuyu Bitirme Raporu: MTA Der. Rap. No: 7890, (yayımlanmamış), 11s, Ankara.
- Fournier, R., O., 1977. A review of Chemical and Isotopic Geothermometers for Geothermal Systems, *Proceedings of the Symp. On Geoth. Energy, Cento Scientific Programme*, Ankara, 133-143.
- Gemici, Ü. ve Tarcan, G., 2002, Hydrogeochemistry of the Simav geothermal field, western Anatolia, Turkey, *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 116:3-4, pp 215-233.
- Giggenbach, W.F., 1988. Geothermal solute equilibria-derivation of Na-K-Mg-Ca geothermometers. *Geochim. Cosmochim. Acta* 52 (12), 2749-2765.
- IAH (International Association of Hydrogeologists) 1979. Map of Mineral and Thermal Water of Europe, Scale: 1:500.000, IAH, United Kingdom.
- Karamandereci, İ. H., and Helvacı, C., 2003, Geology and hydrothermal alteration of the Aydın-Salavatlı Geothermal Field, Western Anatolia, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences (Turkish J. Earth Sci.)*. Vol. 12. Pp. 1-27.
- Pasvanoğlu, S. and Gültekin, F., 2012, Hydrogeochemical Study of the Terme and Karakurt Thermal and Mineralized Waters From Kirsehir Area, Central Turkey, *Environmental Earth Sciences*, 66/169-182.
- Piper, A., M., 1944. A Graphic Procedure in Geochemical Interpretation of Water Analyses, *American Geophysical Union Transactions*, 25,914-923.
- Schoeller, H., 1962. *Les Eaux Souterraines*, Mason et cie, Paris, 642 p.
- Şimsek, Ş., 1984, Denizli-Kızıldere-Tekkehamam-Tosunlar-Buldan-Yenice Alanının Jeolojisi ve Jeotermal Enerji Olanakları, MTA Rapor No. 7846, Ankara.

- Şimşek, Ş., GÜLEÇ, N., 1994, GEOTHERMAL FIELDS OF WESTERN ANATOLIA. POST-CONGRESS EXCURSION B3, GUIDE BOOK, INTERNATIONAL VOLCANOLOGICAL CONGRESS, IAEVEİ-94 SPECIAL PUBLICATION NO. 8, 35P.
- Şimşek, Ş., An Overview of Geothermal Developments in Turkey. ITIT International Symposium, Extended Abstracts, 2001. p. 17-23.Japan.
- Tarcan, G., Filiz, S., Gemici, Ü. 2000, Geology And Geochemistry Of The Salihli Geothermal Fields, Turkey. In: Books of Proceedings, R-922. WGC-2000 World Geothermal Congress, Kyushu-Tohoku, Japan, 1829-1834.
- Tarcan, G., Gemici, Ü., Aksoy, N., 2005, Hydrogeological and geochemical assessments of the Gediz Graben geothermal areas, western Anatolia, Turkey, Environmental Geology, 47, 4: 523-534.
- Temizel, İ., 2008, Ulubey (Ordu-KD Türkiye) Yöresi Tersiyer Volkanitlerinin Petrografisi, Petrokimyası, 40Ar-39Ar Jeokronolojisi, Sr-Nd İzotop Jeokimyası ve Petrojenezi, Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Temizel, İ., Arslan, M., Ruffet, G., ve Peucat, J.J., 2012. Petrochemistry, geochronology and Sr-Nd isotopic systematics of the Tertiary collisional and post-collisional volcanic rocks from the Ulubey (Ordu) area, eastern Pontide, NE Turkey: Implications for extension-related origin and mantle source characteristics, Lithos, 128, 126-147.
- Terlemez, İ. ve Yılmaz, A., 1980. Ünye-Ordu-Koyulhisar-Reşadiye arasında kalan yörenin stratigrafisi, TJK Bülteni, 23/2, 179-192, Ankara.
- Thornthwaite, C.W. (1948). An approach toward a rational classification climate, Geographical Review Vol. 38 (No. 1): 55-94.
- Yenal, O., Usman, N. ve Kanan, E., 1976. Türkiye Maden Suları İstanbul Üniversitesi İstanbul Tıp Fakültesi Tıbbi Radyoloji ve Hidro-Klimatoloji Kürsüsü Kağıt Basım İşleri A.Ş., İstanbul.

MURADIYE-ÇALDIRAN (VAN) JEOTERMAL SAHASININ HİDROJEOKİMYASI

Hacer Düzen¹, Halil Murat Özler¹

¹*İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 34825,
Avcılar, İstanbul - Türkiye
(hcrduzen@gmail.com)*

ÖZ

İnceleme alanı, Van Gölü'nün kuzeydoğusunda yer alan Muradiye-Çaldıran sahasındaki soğuk ve sıcak suları kapsamaktadır. Bölgedeki stratigrafik istifin temelinde Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı metamorfik kayalar yer almakta olup bu birimler jeotermal sahadaki rezervuar kayaları oluşturmaktadır. Bölgede tavandan tabana doğru sırasıyla, Kuvaterner yaşlı alüvyonlar, Pliyo-Kuvaterner yaşlı bazalt, bazaltik tuf, tuf-bazalt, çakıl - bazalt gibi volkanik kayalar ile Üst Paleozoyik yaşlı metamorfik seri yer almaktadır. Kuvaterner yaşlı alüvyonlar ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı volkanik kayalar örtü kayaç özelliği göstermektedir. İnceleme alanında Orta Miyosen'de başlayan Neotektonik dönem ile birlikte oluşmuş KB-GD uzanımlı sağ yönlü doğrultu atımlı faylar önemli yapısal unsurlardır.

Bu çalışmanın amacı, Muradiye-Çaldıran jeotermal sahasındaki yeraltısularının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesidir. Önceki çalışmalar, Çaldıran ovası ve Çaldıran-Ayrancılar sahası içerisindeki jeotermal kaynaklarda yapılmış olup, Muradiye-Çaldıran havzası ilk kez bu çalışma kapsamında bir bütün olarak değerlendirilmiştir. Muradiye-Çaldıran jeotermal sahasında kaynak ve kuyular olmak üzere toplam 34 noktadan su örnekleri alınıp analiz ettirilmiştir. Bunlardan 8'i sıcak sular, 1'i mineralli su ve 25 nokta ise soğuk suları temsil etmektedir. Jeotermal kaynaklar söz konusu faylara paralel gelişmiştir. Fiziksel ölçümlerde sıcaklık, pH ve EC değerleri yerinde ölçülürken, kimyasal değerlendirme için alınan örnekler ise ICP-MS metodu kullanılarak analiz ettirilmiştir. Bazı kimyasal parametreler ise kimyasal küvet testleri kullanılarak analiz edilmiştir.

Sonuç olarak, fiziksel ölçümler sonucunda sıcaklık 8.8°C ile 34.7°C arasında, pH 6.80 ile 8.81 arasında ve EC 60-3420 µS/cm arasında değişmektedir. Kimyasal analiz sonuçları Piper, Schoeller ve Durov diyagramlarında değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirme sonucunda inceleme alanındaki suların, yüksek düzeyde HCO₃+CO₃'lü sular olduğu, örneklerin büyük bir kısmında Cl değerinin düşük olduğu, birkaç örneğin yüksek klorürlü sular sınıfında olduğu görülmektedir. İyon içeriklerine göre baskın su tipi Ca-HCO₃ ve Mg-HCO₃'lü sulardır.

Anahtar Kelimeler: Muradiye, Çaldıran, jeotermal, hidrojeokimya, yeraltısuyu

HYDROGEOCHEMISTRY OF MURADIYE-ÇALDIRAN (VAN) GEOTHERMAL FIELD

Hacer Düzen¹, Halil Murat Özler¹

¹*Istanbul University, Faculty of Engineering, Department of Geological Engineering, 34825, Avcılar, İstanbul - Turkey
(hcrduzen@gmail.com)*

ABSTRACT

The study area which is situated in northeast of the Lake Van contains hot and cold waters in the Muradiye-Çaldıran basin. There are Paleozoic-Mesozoic metamorphic units on the basis of the stratigraphic sequence in the region and that units include reservoir rocks in the geothermal field. There are Quaternary alluviums, Pliyo - Quaternary volcanic rocks such as basalt, basaltic tuf, tuf-basalt, gravel - basalt and Late Paleozoic metamorphic series in the field from top to base, respectively. Quaternary alluviums and Pliyo - Quaternary volcanic rocks show the cap rock features. Rigt-lateral faults trending NW-SE which are formed in Middle Miocene with Neotectonic period are important structural components in the study area.

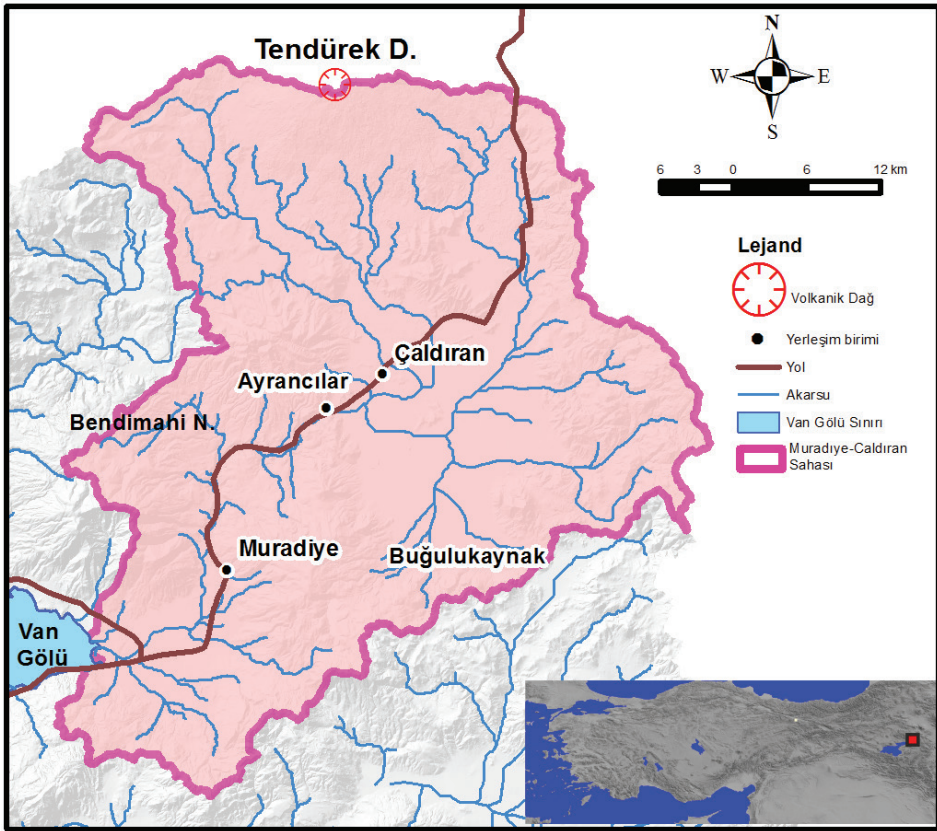
Aim of this study is determining of physical and chemical properties of groundwaters in Muradiye-Çaldıran field. Former studies were made in Çaldıran plain and Çaldıran -Ayrancılar field but Muradiye-Çaldıran basin was evaluated entirely first time in this study. Samples were taken from 34 points including springs and wells and analyzed in Muradiye-Çaldıran geothermal field. 8 of them are hot waters, 1 of them is mineralized water and 25 of them are cold waters. Geothermal springs are parallel to the faults. Temperature, pH and EC were measured in situ in physical measurements and samples which are taken for chemical evaluation were analysed by using ICP-MS method. Some chemical parameters were analysed by using chemical cuvette tests.

Finally, temperature changes between 8.8°C and 34.7 °C, pH changes between 6.80 and 8.81 and EC changes between 60 and 3420 µS/cm as a result of physical measurements. Chemical analysis results were evaluated by using semi-logaritmik Scholler, Piper and Durov diagrams. As a result of the evaluation, waters in study area include HCO₃+CO₃ at the high levels, Cl level is low at the most of the samples and only a few samples have high chlorine. Dominant water types are Ca-HCO₃ and Mg-HCO₃ according to ion contents.

Keywords: *Muradiye, Çaldıran, geothermal, hydrogeochemistry*

1. GİRİŞ

İnceleme alanı, Van Gölü'nün kuzeydoğusunda konumlanmaktadır. Muradiye - Çaldıran jeotermal sahası, Ayrancılar jeotermal kaynağı (Çaldıran) ve Buğulukaynak (Çaldıran) başta olmak üzere Muradiye'de yer alan küçük jeotermal kaynakları kapsamaktadır. Termal sular yüzme amaçlı kullanılırken, henüz kaplıca olarak işletilememektedir. Bölgedeki termal sular yüzyıllardır biliniyor olmasına rağmen söz konusu sulara ait bilgiye çok az bilimsel yayında rastlanmaktadır (Oruç et al., 1976; Aydın et al., 2013). Ayrıca, Muradiye - Çaldıran jeotermal sahası ve çevresinde önemli bir volkanik dağ olan Tendürek volkanı yer almaktadır (Şekil 1). Bölgedeki jeotermal aktivitenin kökeninde Tendürek Volkanizması bulunmaktadır. Bu nedenle, buradaki jeotermal alan "Tendürek Jeotermal Sahası" olarak da nitelendirilebilir.



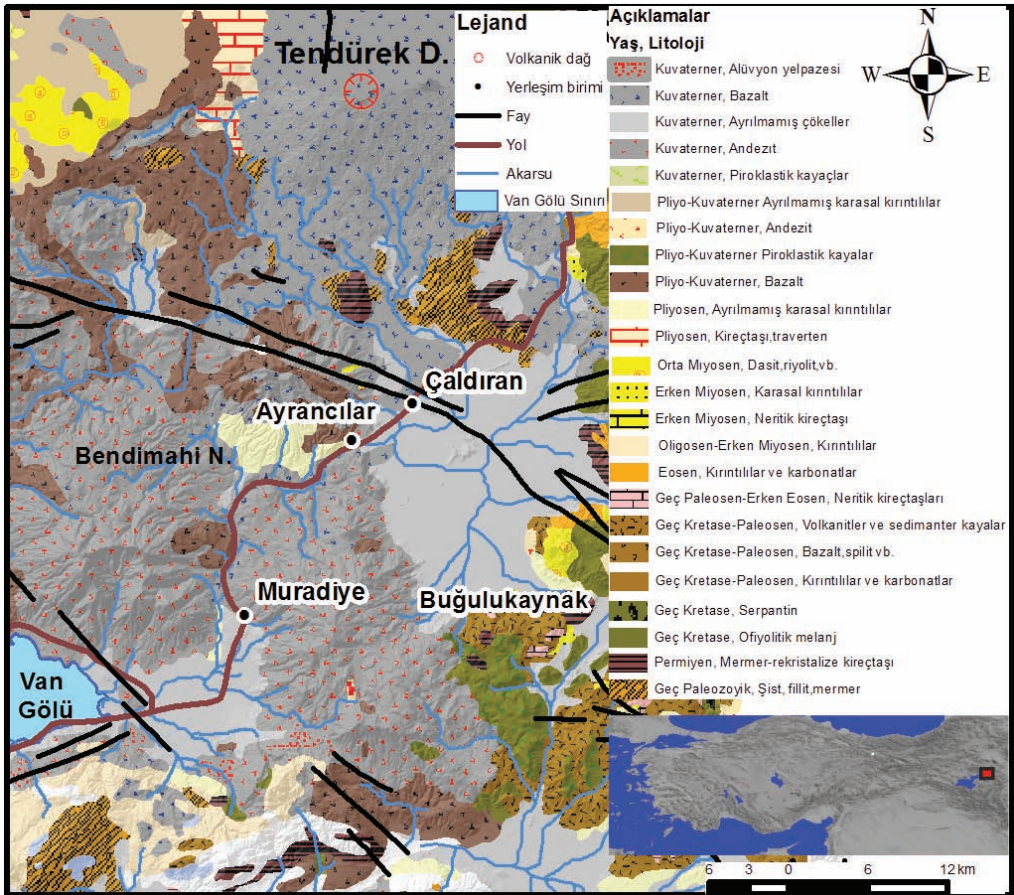
Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru haritası.

Bu çalışmanın amacı, Muradiye - Çaldıran jeotermal sahasının ilk kez bu çalışmada bir bütün olarak hidrojeokimyasal özelliklerinin araştırılmasıdır. Bu çalışma kapsamında 8'i sıcak su (15CA, 21CA, 29CB, 27CK, 28CB, 2MO, 8MU, 10MY adlı örnekler) ve 1 mineralli su (32CE adlı örnek) ile 11'i kuyu (1MO, 3MK, 7MU, 11M, 17CY, 22CY, 24CK, 26CK, 33CD, 35 CH, 36CA adlı örnekler), 14'ü kaynak (5MKS, 6MTPZ, 9MB, 12M, 13CA, 16CK, 18CY, 19CA, 20CY, 23CK, 25 CK, 30CS, 31 CE, 34CH adlı örnekler) olmak üzere 25 noktadan ise soğuk su örnekleri alınarak toplam 34 noktadan alınan örnekler ile sahanın hidrojeokimyası ortaya konul-

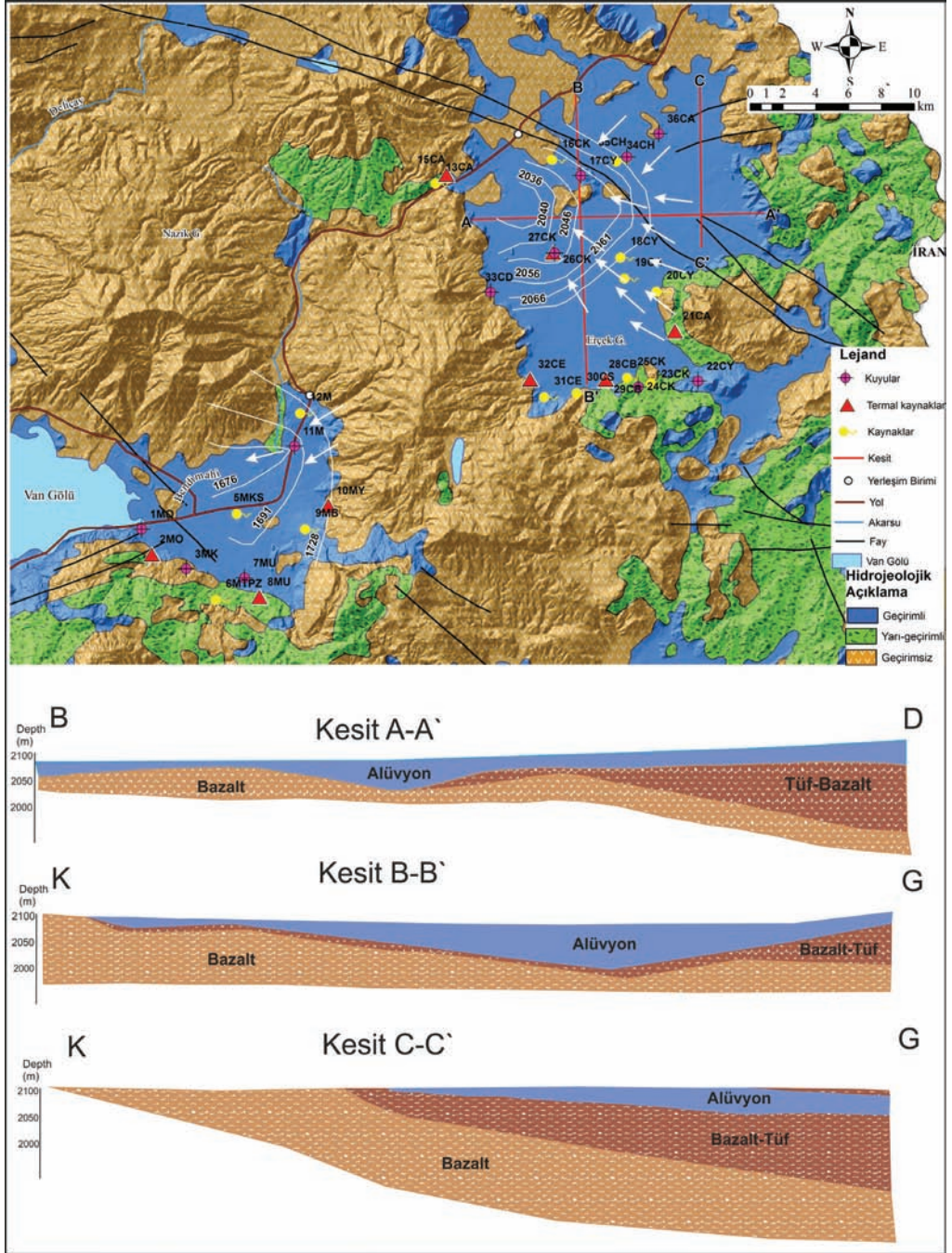
maya çalışılmıştır. Ayrıca sıcaklık, elektriksel iletkenlik ve pH değerleri yerinde ölçümler yapılarak belirlenmiştir. Kimyasal bileşenler ise ICP-MS metodu kullanılarak Kanada'daki ACME Laboratuvarlarında analiz ettirilmiştir. CO₃ (karbonat), HCO₃ (bikarbonat), SO₄ (sülfat) and F (flüorit) gibi bazı parametreler ise kimyasal küvet testleri kullanılarak analiz edilmiştir.

2. JEOLOJİ

Çalışma alanının tabanı Paleozoyik fişler, Gevaş ofiyolitleri, Tozutepe Formasyonu ve Çardak volkanitlerini içeren Bitlis metamorfiklerinden oluşur. Çardak volkanitlerinin üzerinde fiş içeren Van Formasyonu, Adilcevaz kireçtaşları ve konglomera içeren Ahlat Formasyonu yer alır. Bu sedimanter ve metamorfik kayaların üzerinde ise Pliyo-Kuvaterner bazalt, bazaltik tuf, tuf-bazalt, çakıl-bazalt ve Kuvaterner yaşlı alüvyonlar konumlanmıştır (Şekil 2). Muradiye-Çaldıran havzasında termal suların birçoğu KB-GD doğrultulu faylar boyunca boşalmı göstermektedir. Termal suların yayılımı, başlıca faylar ve kırık sistemleri ile yakından ilişkilidir. Çeşitli şistler ve özellikle mermerler gibi Bitlis Masifi'ne ait kırıklı metamorfik kayalar, Muradiye-Çaldıran termal sularının ana rezervuar kayaları olarak kabul edilebilir.



Şekil 2. Çalışma alanının Jeoloji haritası.



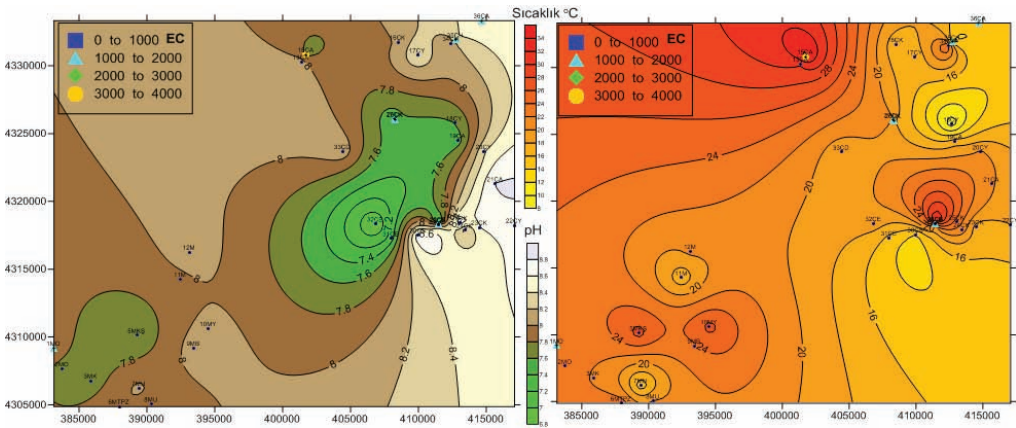
Şekil 3. Çalışma alanının Hidrojeoloji haritası ve Hidrojeofizik kesitler

3. HİDROJEOLOJİ

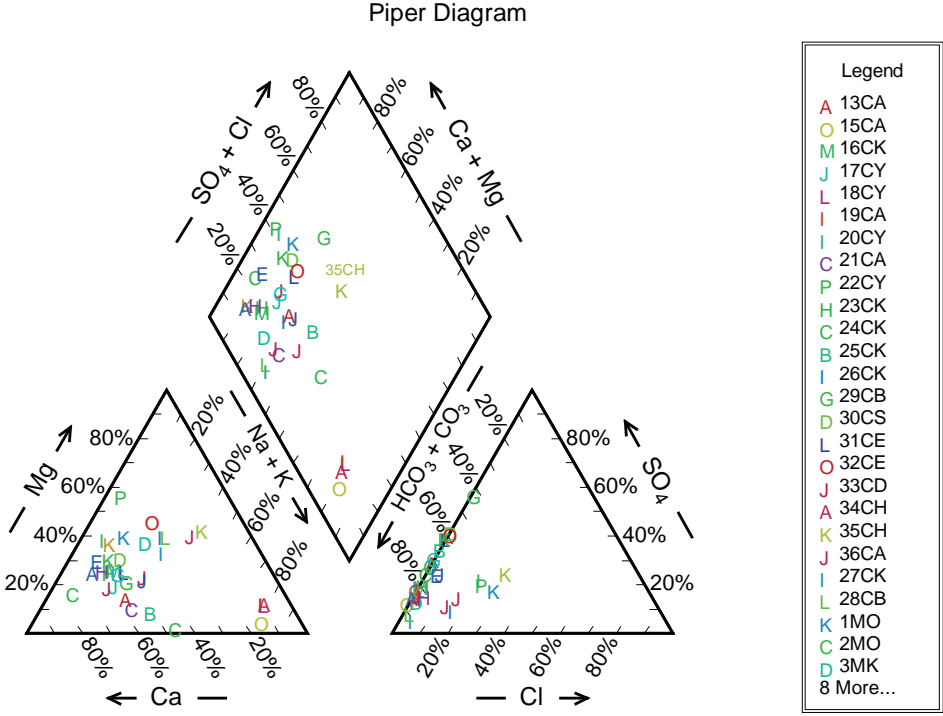
Muradiye-Çaldıran sahasında hidrojeolojik olarak; geçirimli, yarı geçirimli ve geçirimsiz olmak üzere 3 farklı kayaç tipi görülmektedir. Saha genelinde geçirimsiz kayaçları; bazalt, bazaltik tuf, tuf-bazalt, çakıl - bazalt ve ofiyolitik kayaçlar oluşturmaktadır. Geçirimli kayaçlar; alüvyon, kireçtaşları, karbonatlar ve mermerler şeklinde sahada yayılım göstermektedir. Yarı-geçirimli kayaçlar ise; kırıntılı kayaçlardan oluşmaktadır. Sahada yeraltısuyu seviyeleri genellikle yüzeyden 2-5 metre derinlikte ölçülmüştür. Belirlenen yeraltısuyu seviyeleri ve yeraltısuyu akım yönü Şekil 3'te gösterilmiştir. Yeraltısuyu akım yönü Çaldıran ovasında KB ve Muradiye ovasında ise B-GB yönünde olduğu görülmektedir.

4. SU KİMYASI

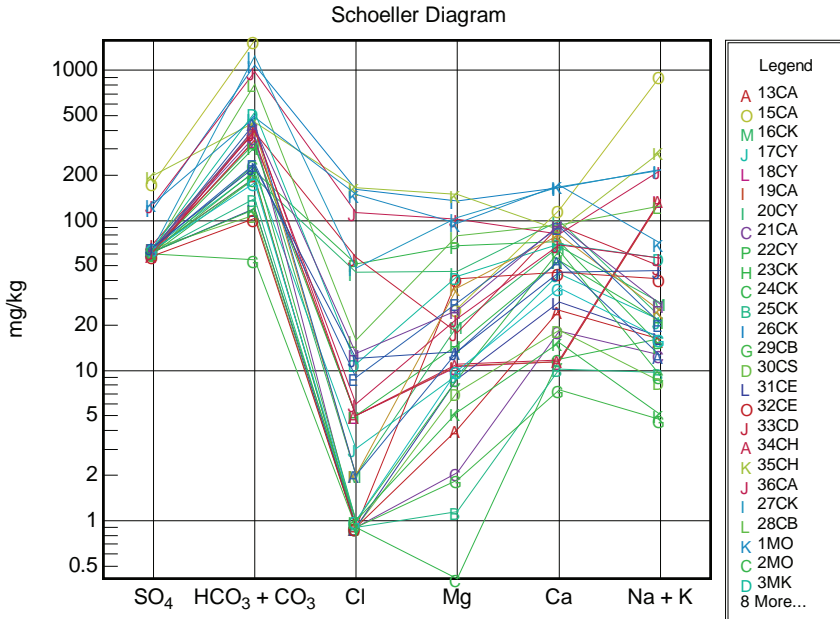
Muradiye-Çaldıran sahasında kaynak ve kuyular olmak üzere toplam 34 noktadan su örnekleri alınarak analiz edilmiş ve sahanın hidrojeokimyası ortaya konulmaya çalışılmıştır. Tablo 1, su örneklerinin kimyasal içeriklerini ve su tiplerini göstermektedir. Elde edilen sonuçlar, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı programlar kullanılarak Piper, Scholler ve Durov diyagramları gibi çeşitli diyagramlarda değerlendirilmiş ve sahanın hidrojeokimyası incelenmiştir. Ayrıca söz konusu diyagramlarla sulara mevcut iyonlar arasındaki ilişki de ortaya konulmuştur. Sahadaki sıcak ve soğuk sular iyon içeriklerine göre incelendiğinde 4 farklı su grubu görülmektedir. Birinci grubu, Durov diyagramında görüldüğü gibi TDS değeri 0-500 mg/l olan örnekler (29CB, 2MO, 31CE, 32CE, 25CK, 17 CY, 21CA, 16CK, 24CK, 6MTPZ, 9MB, 10MY, 12M, 13CA, 23CK ve 30 CS) oluştururken, ikinci grubu 500-1000 mg/l arasında olanlar (19CA, 33CD, 3MK, 5MKS, 7MU, 8MU, 11M, 18CY, 20CY, 22CY ve 34 CH), üçüncü grubu 1000-1500 mg/l arasında olanlar (1MO, 28CB ve 36 CA) ve dördüncü grubu ise 1500-2000 mg/l TDS değerine sahip sular (26CK, 27CK ve 35CH) oluşturmaktadır (Şekil 4). Kalan 15 kaynak ise soğuk suları oluşturmaktadır. Sıcak ve mineralli sular ve soğuk sular da dahil olmak üzere tüm örnek noktaları Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7'deki diyagramlarda gösterilmektedir.



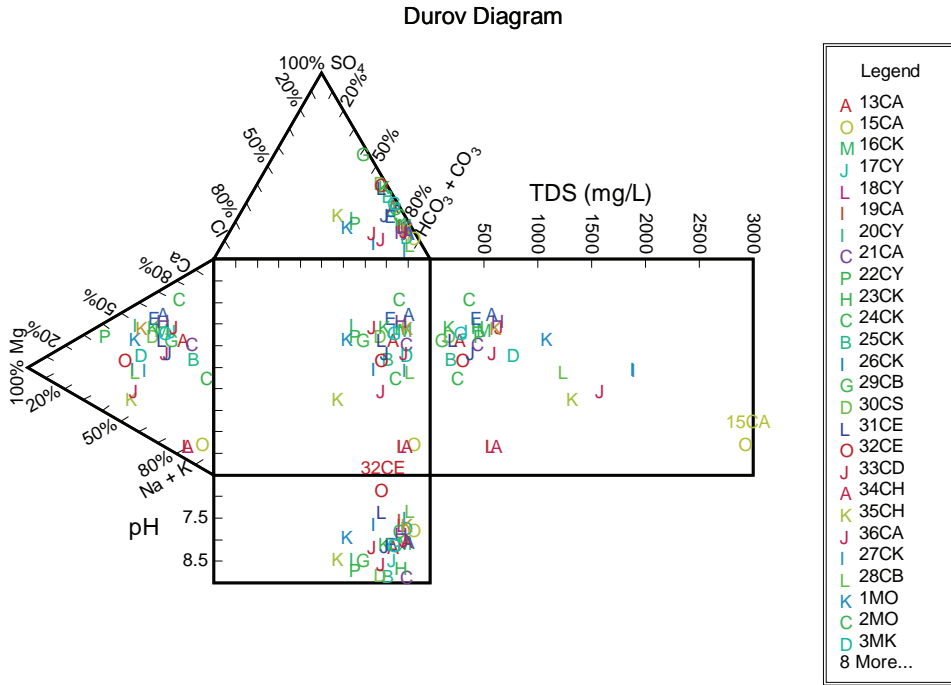
Şekil 4. Muradiye-Çaldıran sahası örnek noktalarının pH ve Sıcaklık haritalarında EC (Elektriksel İletkenlik) değerlerinin gösterimi.



Şekil 5. Muradiye-Çaldıran sahasında örnek alınan tüm noktaların Piper Diyagramında gösterimi.



Şekil 6. Muradiye-Çaldıran sahasında alınan örneklerin Scholler Diyagramında gösterimi.



Şekil 7. Muradiye-Çaldıran sahasında alınan örneklerin Durov Diyagramında gösterimi.

Tablo 1. Sıcak ve soğuk suların kimyasal analiz sonuçları (EC: Elektriksel İletkenlik).

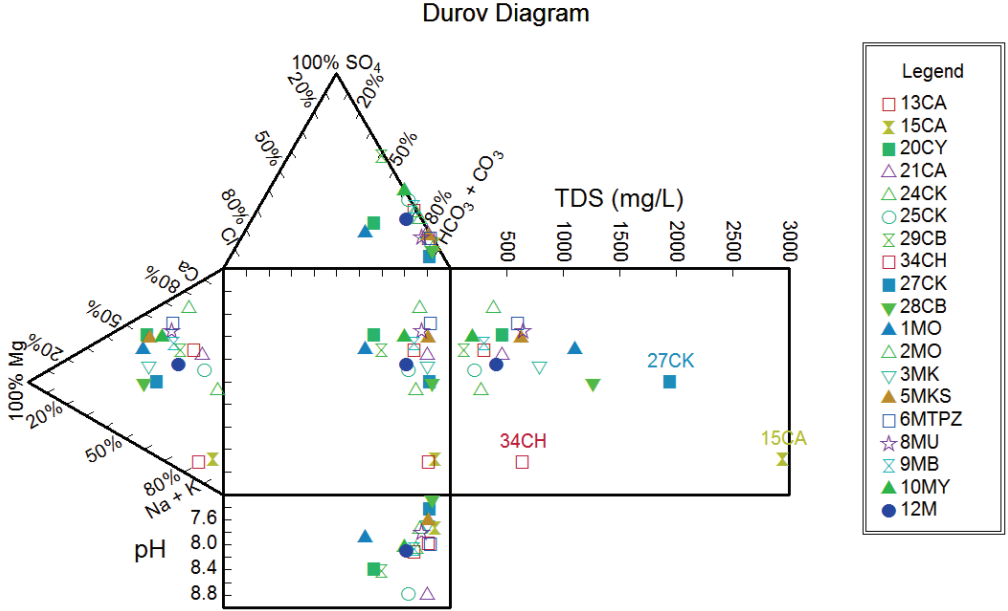
NO	pH	EC ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	HCO ₃ mg/l	SO ₄ mg/l	Cl mg/l	CO ₃ mg/l	F mg/l	B $\mu\text{g}/\text{l}$	Water Type
1MO	7.89	1465	22.1	170.63	95.35	65.65	4.41	498.9	129	149	0	1.58	553	Ca-HCO ₃
2MO	7.75	302	23.9	63.02	8.79	8.12	1.14	243.4	62.1	1	0	0.93	50	Ca-HCO ₃
3MK	7.69	636	21.6	69.96	42.51	45.43	10.69	547.6	66	11	0	1.44	839	Mg-HCO ₃
5MKŞ	7.61	608	26.8	79.99	35.61	17.24	7.71	425.9	65.2	2	0	1.42	171	Ca-HCO ₃
6MTPZ	8.00	344	23.3	54.22	13.31	10.43	2.03	456.3	64.5	2	0	1.24	62	Ca-HCO ₃
7MU	8.05	556	14.5	90.89	28.39	17.61	2.98	243.4	66.3	9	0	1.18	130	Ca-HCO ₃
8MU	7.82	568	20.2	93.40	25.11	25.75	1.93	425.9	64.6	13	0	1.39	175	Ca-HCO ₃
9MB	8.08	267	23.7	35.48	9.94	14.87	1.53	182.5	64.8	<1	0	1.01	245	Ca-HCO ₃
10MY	8.05	143	26.7	15.25	5.27	4.24	0.85	121.7	61.8	<1	0	0.89	13	Ca-HCO ₃
11M	7.96	543	16.5	68.53	22.14	49.09	6.90	407.6	62.4	6	0	1.7	549	Ca-HCO ₃
12M	8.10	366	20.5	45.10	13.33	19.89	26.57	231.2	66.6	12	0	1.37	135	Ca-HCO ₃
13ÇA	8.12	180	30.2	25.22	4.03	13.23	2.85	194.7	64.4	<1	0	1.8	39	Ca-HCO ₃
15ÇA	7.74	3420	34.7	117.30	26.00	724.0	195.0	11863.8	179	*	0	4.35	59363	Na-HCO ₃

Tablo 1. Sıcak ve soğuk suların kimyasal analiz sonuçları (EC: Elektriksel İletkenlik).

NO	pH	EC ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	HCO ₃ mg/l	SO ₄ mg/l	Cl mg/l	CO ₃ mg/l	F mg/l	B $\mu\text{g}/\text{L}$	Water Type
16ÇK	8.02	431	16.4	67.18	19.88	21.48	6.59	400.9	65.1	2	0	1.45	347	Ca-HCO ₃
17ÇY	8.41	320	16.4	43.78	9.38	16.78	4.79	291.4	66.2	3	0	1.23	104	Ca-HCO ₃
18ÇY	7.6	550	8.8	11.51	10.67	123.25	12.91	785.4	63	5	0	4.34	427	Na-HCO ₃
19ÇA	7.5	510	17	11.47	10.80	121.71	12.67	770.8	63	5	0	3.94	413	Na-HCO ₃
20ÇY	8.39	725	20.3	99.54	45.70	21.08	1.54	93.7	64	45	0	1.2	156	Ca-HCO ₃
21ÇA	8.81	136	20.2	18.26	2.09	11.98	0.66	40.2	66	<1	0	0.94	43	Ca-HCO ₃
22ÇY	8.67	711	18	72.61	67.88	13.32	1.29	78.5	62	51	0	0.97	93	Mg-HCO ₃
23ÇK	8.61	347	17	53.94	14.73	15.66	5.64	343.1	64	5	0	0.94	76	Ca-HCO ₃
24ÇK	8.07	103.6	21.3	11.94	0.41	15.95	0.39	23.7	60.3	<1	0	0.22	33	Na-HCO ₃
25ÇK	8.79	88.9	23	10.20	1.14	9.19	0.53	32.2	61	<1	0	0.92	34	Ca-HCO ₃
26ÇK	7.59	1938	18.1	164.29	134.60	144.33	73.15	4450.4	121	161	0	0.96	2104	Mg-HCO ₃
27ÇK	7.43	1696	20.7	168.00	104.83	167.89	48.42	2945.9	66.4	48	0	0.85	8717	Mg-HCO ₃
28ÇB	7.29	1155	33.5	93.59	79.25	98.86	26.72	1625.6	63.8	16	0	1.19	2082	Mg-HCO ₃
29ÇB	8.42	60	20.7	7.46	1.87	3.24	1.47	89.4	59.9	<1	0	0.89	54	Ca-SO ₄
30ÇS	8.76	145.9	13.7	18.58	7.15	7.38	1.00	60.8	65	<1	0	0.48	65	Ca-HCO ₃
31ÇE	7.30	202	15.4	28.62	8.79	12.26	4.47	272.0	62.2	<1	0	0.92	76	Ca-HCO ₃
32ÇE	6.8	496	19.1	45.41	40.84	31.20	9.83	598.1	58.4	<1	0	1.36	113	Mg-HCO ₃
33ÇD	8.12	610	18.4	91.49	17.87	16.12	33.43	2033.9	70.2	57	0	1.34	72	Ca-HCO ₃
34ÇH	7.98	503	24.5	11.74	11.05	124.92	12.74	775.1	59	5	0	4.16	453	Na-HCO ₃
35ÇH	8.38	1979	13.7	86.61	148.27	266.73	19.60	1192.5	199	166	0	3.23	1148	Mg-HCO ₃
36ÇA	8.51	1395	14.5	81.40	101.98	143.68	71.06	4323.3	128	113	0	2.82	814	Mg-HCO ₃

4.1. Sıcak sular

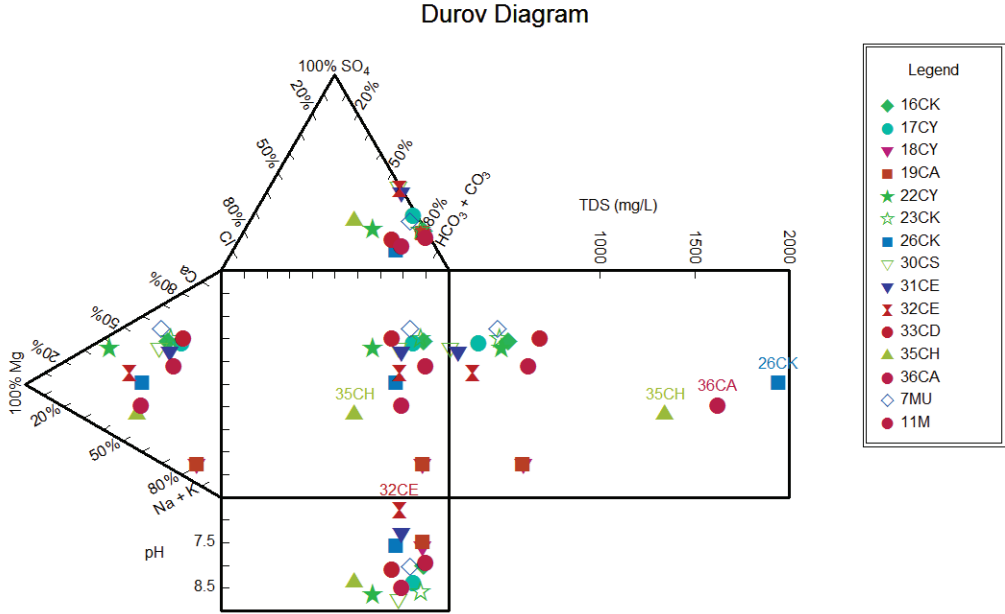
Sıcak sular; sıcaklığı 20.2 ile 34.7 arasında değişmekte olup, 19 adettir. Söz konusu örnekler; 1MO, 2MO, 3MK, 5MKS, 6MTPZ, 8MU, 9MB, 10MY, 12M, 13CA, 15CA, 20CY, 21CY, 24CK, 25CK, 27CK, 28 CB, 29 CB ve 34CH adındaki örneklerdir. Sıcak suların birçoğunda TDS değerleri 0-500 mg/l arasında olup, yüksek Ca-HCO₃ içermektedir (Şekil 8).



Şekil 8. Muradiye-Çaldıran sahasından alınan sıcak su örneklerinin Durov Diyagramında gösterimi.

4.2. Soğuk sular

Sıcak sular; sıcaklığı 8.8 ile 19.1 arasında değişmekte olup, 15 adettir. Söz konusu örnekler; 7MU, 11M, 16CK, 17CY, 18CY, 19CA, 22CY, 23CK, 26CK, 30CS, 31CE, 32CE (mineralli su), 33CD, 35CH, 36CA adındaki örneklerdir. Sıcak suların birçoğunda TDS değerleri 0-1000 mg/l arasında olup, Ca-HCO₃ ve Mg-HCO₃ içermektedir (Şekil 9).



Şekil 9. Muradiye-Çaldıran sahasından alınan soğuk su örneklerinin Durov Diyagramında gösterimi.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Muradiye-Çaldıran sahasında termal suların birçoğu KB-GD doğrultulu faylar boyunca boşalım göstermektedir. Termal suların yayılımı, başlıca faylar ve kırık sistemleri ile yakından ilişkilidir. Muradiye-Çaldıran sahasında hidrojeolojik olarak; geçirimli, yarı geçirimli ve geçirimsiz olmak üzere 3 farklı kayaç tipi görülmektedir. Yeraltısuyu seviye eğrileri belirlenmiş ve yeraltısuyu akım yönünün Çaldıran ovasında KB ve Muradiye ovasında ise B-GB yönünde olduğu görülmüştür. 34 noktada suların fiziksel ve kimyasal özellikleri incelenmiştir. Fiziksel ölçümler sonucunda sıcaklık 8.8°C ile 34.7°C arasında, pH 6.80 ile 8.81 arasında ve EC 60-3420 µS/cm arasında değişmektedir. Kimyasal analiz sonuçları Piper, Schoeller ve Durov diyagramlarında değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirme sonucunda inceleme alanındaki suların, yüksek düzeyde HCO₃+CO₃'lü sular olduğu, örneklerin büyük bir kısmında Cl değerinin düşük olduğu, birkaç örneğin yüksek klorürlü sular sınıfında olduğu görülmektedir. Sahadaki sıcak ve soğuk sular iyon içeriklerine göre incelendiğinde 4 farklı su grubu görülmektedir. Birinci grubu, Durov diyagramında görüldüğü gibi TDS değeri 0-500 mg/l olan örnekler (29CB, 2MO, 31CE, 32CE, 25CK, 17 CY, 21CA, 16CK, 24CK, 6MTPZ, 9MB, 10MY, 12M, 13CA, 23CK ve 30 CS) oluştururken, ikinci grubu 500-1000 mg/l arasında olanlar (19CA, 33CD, 3MK, 5MKS, 7MU, 8MU, 11M, 18CY, 20CY, 22CY ve 34 CH), üçüncü grubu 1000-1500 mg/l arasında olanlar (1MO, 28CB ve 36 CA) ve dördüncü grubu ise 1500-2000 mg/l TDS değerine sahip sular (26CK, 27CK ve 35CH) oluşturmaktadır. CaHCO₃ tipi sular (20 örnek), MgHCO₃ tipi sular (8 örnek), NaHCO₃ tipi sular (5 örnek) şeklindedir. Sadece 1 örnekte su tipi Ca-SO₄ olarak tesbit edilmiştir. İyon içeriklerine göre baskın su tipi Ca-HCO₃ ve Mg-HCO₃'lü sulardır. Kimyasal bileşenler, suların kaynağının karbonatlı kayaçların çözünümü ile kontrol edilen bir kökenden

geldiğini işaret etmektedir. Muradiye-Çaldıran sahasındaki iyon konsantrasyonu, pH ve EC parametreleri; yeraltı suyunu kontrol eden başlıca faktörün litolojik birimler ve iklim olduğunu göstermektedir. Su kalitesi değerlendirildiğinde, majör iyon içeriği açısından soğuk suların; içme suyu, evsel ve sulama amaçlı kullanılabilmesi görülmektedir. Sıcak sular ise 20 °C - 34.7 °C arasında olup; Lindal (1973) tarafından hazırlanan Lindal Diyagramı'na göre balık çiftlikleri, yüzme havuzları, fermantasyonlar ve damıtma işlemlerinde kullanılabilmesi görülmektedir.

6. KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Bu çalışma, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar ve Projeler Birimi (Proje No: 36796) tarafından desteklenmiştir. Yazarlar, İstanbul Üniversitesi araştırma fonuna katkılarından dolayı teşekkür eder.

7. KAYNAKLAR

- Aydın, H., Mutlu, H., Kazancı, A., 2013. Çaldıran (Van) jeotermal sahasının hidrojeokimyasal özellikleri. 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 71-90.
- Lindal, B., 1973. Industrial and other applications of geothermal energy, 135-148, Geothermal Energy, Armstead, H.C.H. (Ed.), UNESCO, Paris.
- Oruç, N., Alpman, N., Karamandereci, İ., H., 1976. Tendürek volkanı çevresindeki yüksek florür içerikli kaynak sularının hidrojeolojisi. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 19: 1-8.

AŞIRI TUZLU JEOTERMAL AKIŞKANIN HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ VE KABUK OLUŞUMU

Gonca Aksoy Koç¹, Aslı Çelik², Mustafa M. Demir², Alper Baba³

¹Tuzla Jeotermal Enerji A.Ş., 35220- Alsancak, İzmir

²İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, 35430- Urla, İzmir

³İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Jeotermal Enerji Araştırma ve Uygulama Merkezi, 35340- Urla, İzmir
(gaksoy@endaenerji.com.tr)

ÖZ

Bu çalışma kapsamında, Türkiye'nin kuzey batısında, Ege Denizi'ne 8 km uzaklıkta ve Çanak-kale'nin Ayvacık ilçesine bağlı Tuzla Jeotermal sahasındaki akışkanın hidrojeokimyasal özellikleri ve akışkandan kaynaklanan kabuklaşma problemleri irdelenmiştir.

Tuzla Jeotermal sahası, hidrojeokimyasal açıdan son derece kompleks olan yüksek sıcaklık (173 °C) ve tuzluluğa (EC= >91 mS/cm) sahiptir. Tuzla jeotermal alanı aktif termal rejimi temsil edip, Miyosen volkanizmasını izleyen hidrotermal aktivite ile ilişkili bir bölgedir. Bölgede hem MTA hem de Tuzla A.Ş. tarafından yapılan sondajlara göre bölgede şu aşamada iki rezervuar kaya saptanmıştır. Genel olarak, kırıklı-çatlaklı volkanitler I. Rezervuar ve metamorfik kayalar ile kireçtaşları tuzlu akışkanı II. Rezervuar kayalarını oluşturmaktadır. Rezervuar kayaları üzerleyen Miyosen yaşlı birimler ise geçirimsiz örtü kayaç özelliği taşımaktadır. Tuzla jeotermal sahasındaki sular Na-Cl içeriği yüksek tuzlu sulardır.

Jeotermal enerjinin kullanımındaki en önemli problemlerden bir tanesi kabuklaşma problemidir. Enerji üretimi esnasındaki sıcaklık ve basınçtaki düşüşü çökelmelere ve bazı jeotermal sistemlerde metal-silikat oluşumuna sebep olmaktadır. Tuzla jeotermal sahasında daha önceden yapılan çalışmalar sonucunda PbS (Galen) ve CaCO₃ (Aragonit ya da Kalsit) kristal yapısına sahip kabuklaşma çeşidi ile amorf yapıda magnezyum ve demir oksitlerini içeren silikat kabuklaşması görüldüğü saptanmıştır. Kabuk yapısının belirlenmesine rağmen şimdiye kadar yapılan çalışmalar sonucunda ortaya konan ticari inhibitörlerin de etkin bir verimi gözlenememiştir. Buna karşılık olarak, pH değişikliği ile kabuk oluşumu engellenmesi yönteminin, inhibitör kullanımında elde edilen sonuçlara göre daha fazla verim sağladığı saptanmıştır. Yapılan çalışmada dozajlama ayarlaması ve asitin enjekte edileceği bölgelerin saptanması önemlidir. CO₂'ye yakın olan kimyasal yapısı ve bilinen en basit, çevreye dost bir kimyasal olması açısından asitlendirme işlemi için formik asit uygun bulunmuştur. Silikat kabuklaşmasının ana nedeni olan karbondioksitin uzaklaşması sebebiyle formik asitin CO₂'ye yakın kimyasal yapısı avantaj kazandırmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal Akışkan, tuzlu sistemler, kabuklaşma, formik asit

HIGH SALINITY GEOTHERMAL FLUID'S HYDROGEOCHEMICAL PROPERTIES AND SCALE FORMATION

Gonca Aksoy Koç¹, Aslı Çelik², Mustafa M. Demir², Alper Baba³

¹Tuzla Geothermal Energy Inc. Alsancak, İzmir

²İzmir Institute of Technology, Materials Science and Engineering Department, 35430- Urla, İzmir

³İzmir Institute of Technology, Geothermal Energy Research and Application Center 35340- Urla, İzmir
(gaksoy@endaenerji.com.tr)

ABSTRACT

Hydrogeological properties and scaling problem of the Tuzla geothermal field (TGF) were investigated. TGF is located in Northwestern Turkey, 8 km from the Aegean coast and Ayvacık district of Çanakkale. Tuzla geothermal field has extremely complex features in hydrogeological perspective such as high temperature (173°C) and salinity (EC= >91 mS/cm) values.

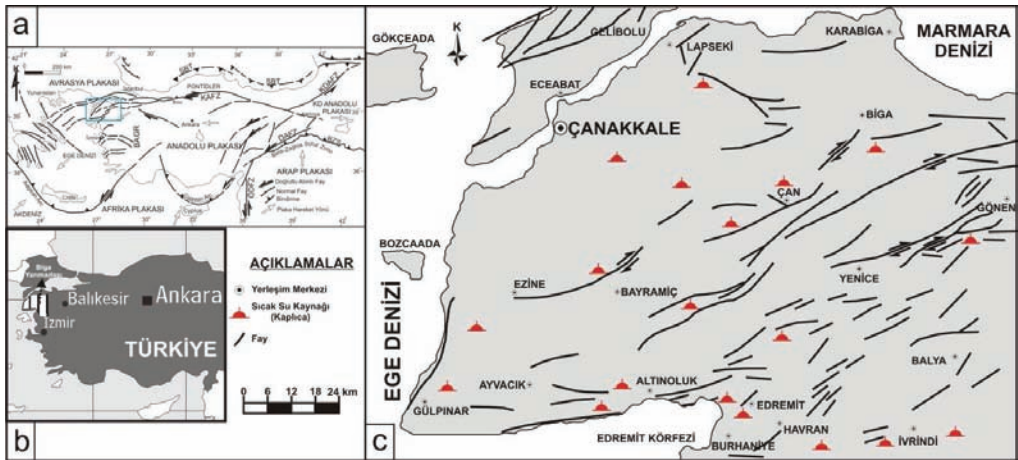
Tuzla geothermal field represents the active thermal regime and associated with Miocene volcanism, which is, followed the hydrothermal activity. In this region two reservoir rocks were investigated by drilling both MTA and Tuzla A.Ş. Jointed volcanic rocks have formed the first reservoir and second reservoir has generated from the marble. Reservoir's metamorphic rocks are overlain by Miocene a rock which is impermeable rock properties. Tuzla geothermal field contains high concentration of Na-Cl salt.

One of the most important problems in Tuzla plant is scaling. During the production of energy the temperature and pressure decreases and caused precipitation and formation of metalsilicates. PbS (Galena) and CaCO₃ (Aragonite or Calcite) crystal structures of scales and amorphous magnesium and iron oxides contained silica scales were the components of scales. Although the structure of scales have been identified, none of the commercial inhibitors succeeded to suppress scaling. In response to this, pH modification to prevent the scale formation resulted more successful. Formic acid is suitable for acidification, which has the closest structure to CO₂ and simplest, environmentally friendly chemical. In this study, the influence of formic acid will be evaluated.

Keywords: *Geothermal fluid, saline system, scaling, formic acid*

1. Giriş

Tuzla jeotermal sahası sıcaklık bakımından Türkiye'nin en önemli jeotermal sahalardan bir tanesi durumundadır. Gerek bölgenin istifinin belirlenmesi gerekse jeotermal sistemin özelliklerinin belirlenmesi açısından MTA Genel Müdürlüğü ve Tuzla Jeotermal A.Ş tarafından Tuzla ve çevresinde derin sondaj çalışmaları yapılmıştır. Açılan sondajlardan 173°C kuyu dibi sıcaklığı, 166°C kuyu başı sıcaklığı ölçülmüştür. Tuzla jeotermal sahası hidrojeokimyasal açısından Türkiye'nin en karmaşık bölgesidir. Jeokimyasal ve hidrojeokimyasal özellikleri nedeni ile diğer jeotermal sahalardan tamamen farklıdır (Şekil 1). Bu nedenle, bu jeotermal sahada farklı kabuklaşma problemleri görülmektedir. Bu çalışma, Tuzla Jeotermal sahasının gözlenen kabuklaşmaya yönelik çalışmaların yapılarak hem sahanın sürdürülebilirliğini artırmak hem de bölgede gözlenen kimyasal problemleri en aza indirmek amacıyla taşınmaktadır



Şekil 1: Biga Yarımadası'nın tektoniği ve jeotermal alanlar (a: Yiğitbaş ve diğ., 2004; c: Siyako ve diğ., 1989'dan değiştirilerek)

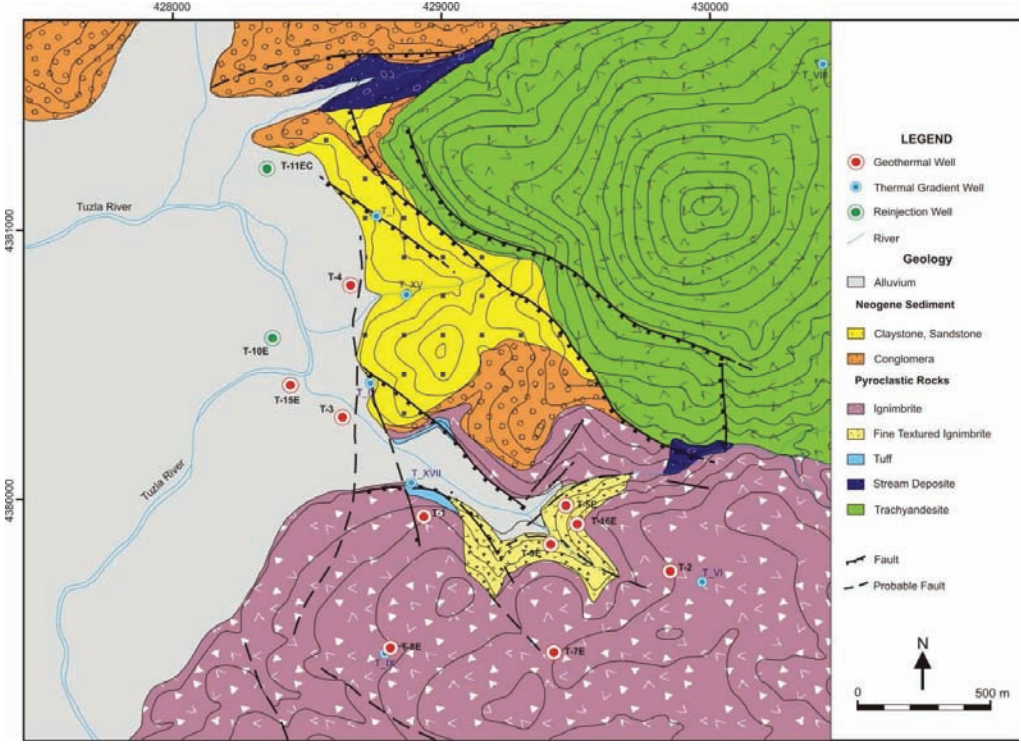
2. Tuzla Jeotermal Sahasının Jeolojik Özellikleri

Tuzla Jeotermal sahası Biga Yarımadasında yer almaktadır. Biga Yarımadası uzun yıllardan beri yerli ve yabancı araştırmacılar tarafından çalışılmış, özellikle 1960'lı yıllardan bu yana yerli araştırmacıların değişik görüş ve önerileri ile tartışmalı bir alan haline gelmiştir. Biga Yarımadası ile ilgili bilinen ilk araştırma (Kaaden 1957 ve Ketin, 1966) tarafından yapılmıştır. Biga Yarımadası'nın jeolojisi, doğal kaynakları ve aktif tektoniği ile ilgili olarak literatürde çok sayıda yayın bulunmaktadır. Bölgenin jeolojisi ve genç tektoniğiyle ilgili sorunlar başlıca MTA, TPAO ve üniversiteler tarafından değişik boyut ve ayrıntılarda incelenmiştir. Çalışmalar çoğu zaman belirli ve spesifik alan ve konulara (Kazdağ masifi, granitler, genç tektonik vb) özgü olarak yürütülmüş olmakla beraber tüm Biga Yarımadası'nın jeolojisi (Okay ve diğ., 1990; Okay ve diğ., 1996 ve Okay ve Satır, 2000) veya Biga Yarımadası'nın genç tektoniği ve magmatizmasına yönelik olarak (Yılmaz ve diğ., 2000) çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Biga Yarımadası'ndaki jeotermal alanlarda yapılmış olan çalışmalar çok eski yıllara gitmesine rağmen detaylı ve ciddi çalışmalar 1970 sonrasında başlar. Bu bölgede yüzeyleyen jeolojik birimler ile tektonik hatlar azda olsa irdelenmiş ve bu kaynaklardan çıkan sıcak suların kimyasal bileşimleri, oluşum mekanizmaları ve çevresel etkileri ile ilgili bir dizi çalışma (Erdoğan, 1966;

Şamilgil, 1966; Öngür, 1973; Karamandere ve Öngür, 1974; Karamandere, 1986; Karamandere, 1994; Gevrek ve Şener, 1985; Mützenberg, 1990; 1997; Şener ve Gevrek 2000; Baba, 2003; Baba ve diğ., 2005, Baba ve Ármannsson, 2006; Şanlıyüksel ve Baba, 2007; Baba ve diğ., 2007; Şanlıyüksel ve Baba, 2008; Baba and Deniz, 2008; Baba ve diğ., 2015) yapılmıştır.

Biga Yarımadasında yer alan Tuzla ve çevresi gerek aktif bir fay zonu üzerinde olması gerekse jeotermal açıdan Türkiye'nin en önemli jeotermal sahalarından biri olması nedeniyle daha önce çeşitli jeolojik araştırmalara konu olmuştur (Batık ve diğ., 2000; Ercan ve Türkecan, 1984; Gevrek ve diğ., 1986; Karamandere, 1986; Mützenberg, 1991; Şamilgil, 1966, 1983; Şener ve Gevrek, 1985, 2000). Çalışma alanının temelini Paleozoyik yaşlı metamorfik kayalar oluşturur. Metamorfitler başlıca kuvarsit, kalkışit, klorit, biyotit, muskovit şist ve mermerlerden oluşmaktadır. Çalışma alanındaki metamorfitler ilksel kayanın kimyasına, türüne, ortam ve fa-siyesine, geçirdikleri metamorfizmanın derecesine göre değişik tür kayalardan oluşmaktadır. Bölgedeki metamorfitler birbirleriyle yanıl ve dikey geçişlidir. Sahada görülen genel istif alttan itibaren çeşitli şistler, kuvarsit, kalkışit ve mermer arılanması şeklindedir. Çalışma alanındaki mermerler, Tuzla jeotermal sahasında olası II. rezervuarı oluşturan en önemli litolojik birim olarak belirlenen bu karbonatlı kayalar, Köseadağı kuzeybatısında Sakarkayası mevkiinde çok geniş bir alanda mostra vermektedir. Sahada mermerlerin kalınlıkları 200 m kadardır (Şimşek, 2008). Şistler içinde yeralan mermerler tek bir kalın seviye olarak görülebildikleri gibi genellikle şistlerle arılanmalı olarak ve birkaç seviye halinde de görülebilmektedir. Kalın mermer seviyeleri genellikle ak, iri kristalli, sert ve bol eklemlidir. Şistlerle arılanmalı seviyeler ise ak, gri, iri ve ince kristalli, mika pullu, kırılğan, bol eklemlili ve ince-orta belirgin katmanlıdır. Bu formasyon açısal uyumsuzlukla Miyosen yaşlı volkanik kayalar tarafından örtülmektedir. Volkanik kayalar, başlangıçta riyoitik tüf ve aglomeralarla etkin olan volkanizmadan daha sonra genel olarak latit türde lavlardan ve son olarak riyoitik tüf ve ignimbiritlerden oluşmuştur. Alanda T-10E kuyusunda 145-320 m, T-7E kuyusunda 350-870 m, T-8E kuyusunda 400-1100 m, T-1 kuyusunda 300-494m (174 °C), T-2 kuyusunda ise 250-500 m (171.7°C) arasında yer alan volkanik kayalar (andezit, trakiandezit ve dasit birimleri) Tuzla jeotermal sahasının I. rezervuarı oluşturmaktadır. Volkanizma birkaç evreli olarak tüm Miyosen zamanı boyunca etkin olmuştur. Bölgeye, Kestanbol plutonu (Kestanbol graniti) olarak adlandırılan bir sokulum kendinden yaşlı formasyonları keserek yerleşmiştir ve bu plutonun çevresinde yer yer milonitleşmiş siyenit daykları gözlenir (Ercan ve Türkecan, 1984; Gözler ve diğ., 1993). Plutonda K/Ar yöntemi ile yapılan yaş belirlemesi tüm kaya yaşını 28 my olarak vermektedir (Fytikas ve diğ., 1976). Stratigrafik istifin üst bölümü Miyosen yaşlı kalsik volkanizma ürünü olan riyoitik tüfler, ignimbirit, latitik lavlar ve riyoitik lavlardan oluşur (Şener ve Gevrek, 2000) (Şekil 2). Bölgedeki volkanizmanın son aşamasında oluşan ignimbiritler Üst Miyosen Pliyosen yaşlı, konglomera, kumtaşı, kireçtaşı ve killi kireçtaşı arılanmasından oluşan tortullar tarafından örtülmüştür. Stratigrafik istifin en üst bölümünde yeralan Kuvaterner yaşlı Alüvyon Tuzla ovasını oluşturmuştur. Tuzla çayı vadisinin kenarından ortasına kadar kalınlaşarak 100 m yi bulan ve başlıca tutturulmamış veya çok az tutturulmuş çakıl, kum, ve kilden oluşan alüvyon geçirimli birimlerden oluşmakta ve yeraltısuyu içermektedir.



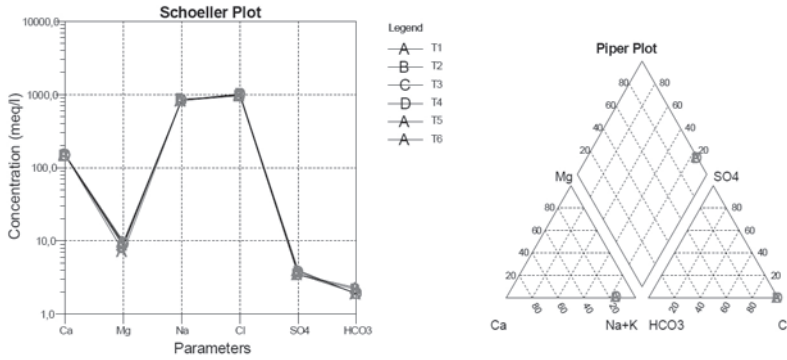
Şekil 2: Tuzla jeotermal sahasının jeoloji haritası (WES JEC, 2006; HU, 2008a and b’den değiştirilerek). Bölgedeki pluton jeotermal sistemin ısıtıcı kayasını, lavların altere kesimleri hazne kayayı, çalışma alanında yaygın olarak gözlenen ignimbiritik tüfler ve tortullar ise sistemin örtü kayasını oluşturmaktadır (Gevrek ve diğ., 1986). Tuzla jeotermal suyu aktif termal rejimi temsil edip, Miyosen volkanizmasını izleyen hidrotermal aktivite ile ilişkili bir bölgedir (Şener ve Gevrek, 2000). İnceleme alanında Miyosen yaşlı volkanik kayalar KB-GD doğrultulu faylardan etkilenmişlerdir. Sıcak su kaynaklarının oluşumunu sağlayan bu fayların çevresinde silisfiye ve arjilik alterasyon belirgin olarak gözlenmektedir (Şekil 3).



Şekil 3: Tuzla jeotermal sahasında gözlenen alterasyonlar

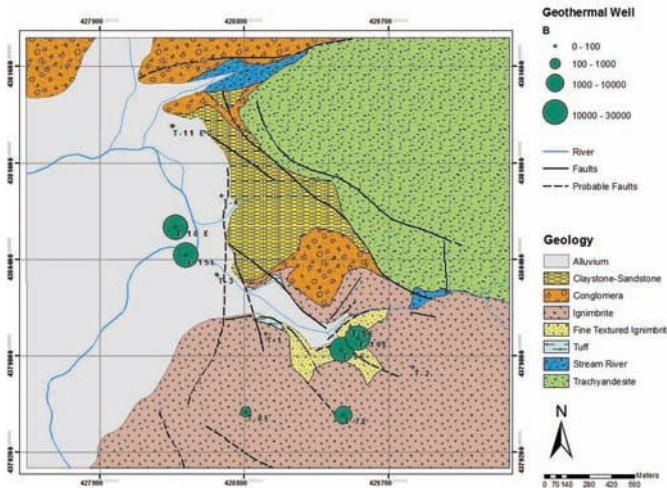
3. Tuzla Jeotermal Sahasının Hidrojeokimyasal Özellikleri

Tuzla jeotermal sahasında hidrojeokimyasal amaçlı çok sayıda çalışma yapılmıştır (Baba ve diğ., 2015; Demir ve diğ., 2014). Elde edilen major anyon ve katyon verileri, bölgedeki su kaynaklarının litoloji ile ilişkileri ve dolaşım sistemleri boyunca meydana gelen hidrojeokimyasal süreçler hakkında bilgi verebilmektedir. Bu amaçla bu veriler Piper ve Scholler diyagramlarında değerlendirilmiştir (Şekil 4). Bu verilere göre Tuzla jeotermal sahasındaki akışkan Na-Cl içeriği yüksek tuzlu sulardır. Diyagrama göre çizgilerin birbirine paralel olması bu suların aynı kökenli beslenime ve rezervuara sahip olduklarını göstermektedir. Yüksek Cl derişimlerinin ise kuyularda korozif etki yaratmaktadır.



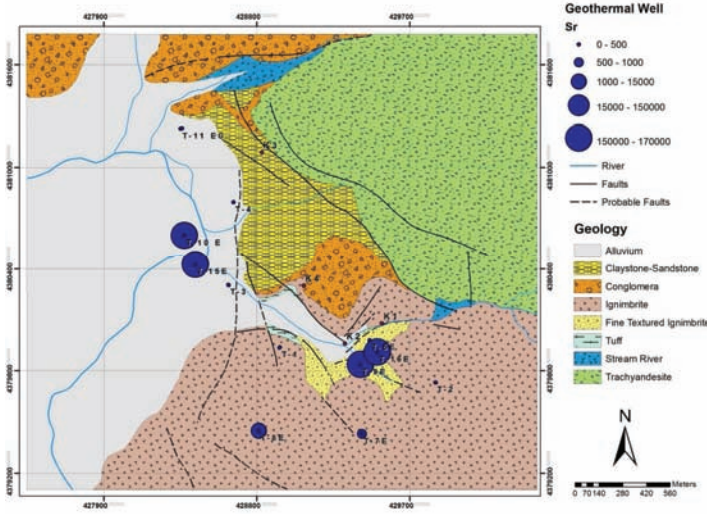
Şekil 4: Tuzla Jeotermal sahasındaki kuyulardaki akışkanın Schoeller ve Piper diyagramında değerlendirilmesi (Demir ve diğ., 2014).

Tuzla jeotermal sahasında akışkandaki ICP-MS (İndüklenmiş Çiftlenmiş Plazma Kütle Spektrometresi) cihazı ile minör analizleri yapılmıştır. Bu verilere göre, inceleme alandaki akışkan son derece yüksek Bor ve Stronsiyum içermektedir (Şekil 5 ve Şekil 6).



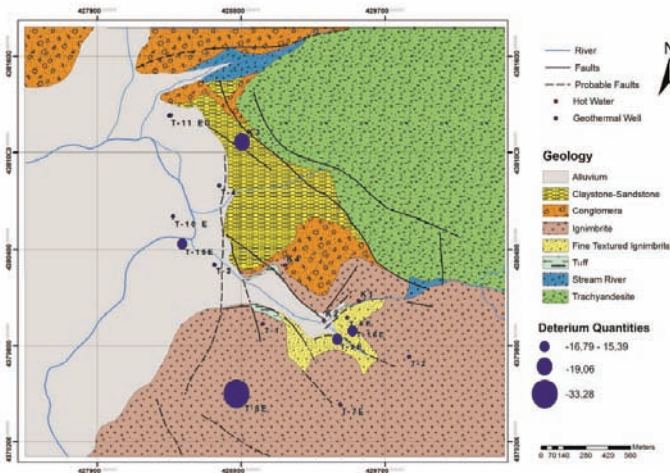
Şekil 5: Tuzla Jeotermal sahasındaki sularla Bor konsantrasyonu (ppm)

04-06 Kasım 2015 Ankara

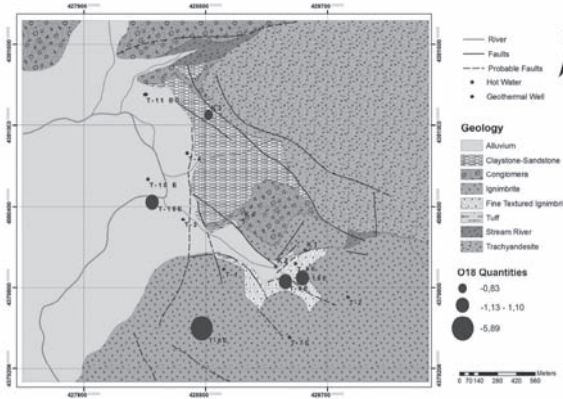


Şekil 6: Tuzla Jeotermal sahasındaki sularda Stronsiyum konsantrasyonu (ppm)

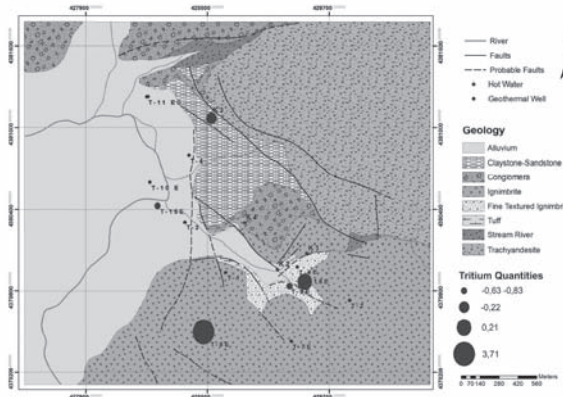
Bölgeden derlenen sıcak ve soğuksu numunelerinin izotopik açıdan değerlendirilmesiyle su-kayaç etkileşmesinden oluşan ^{18}O zenginleşmesi görülmektedir (Baba ve diğ., 2007; Baba ve Deniz, 2005; Mutzenberg, 1997). Yine bölgedeki sıcaksuların, yüksek Cl ve düşük 3H değerine sahip olması, derin ve uzun süreli (55 yıldan fazla) yeraltı dolaşımli sular olduğunu belirtmektedir (Şekil 7-9). Tuzla jeotermal suyunun 34S izotopu değeri ($\text{‰}12$) olup, Miyosen'deki deniz suyunkinden ($\text{‰}20$) daha düşük ve $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ oranı Tuzla için 0.709633 iken, Miyosen'de buharlaşmış deniz suyunkü 0.7081 ile oldukça farklıdır (güncel deniz suyunun $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ oranı 0.709'dur) (Vengosh ve diğ., 2002). Bu fosil suyun, denizel kökenli evaporitlerin çözünmesinden itibaren geldiği ve birtakım bozunma süreçleri ile daha yüksek mineralizasyona uğradığı düşünülmektedir.



Şekil 7: İnceleme alanındaki su kaynaklarında 2H dağılımı



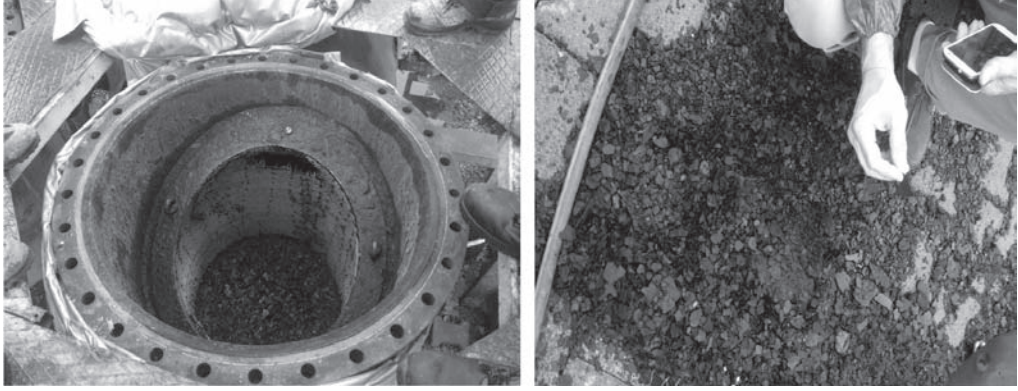
Şekil 8: İnceleme alanındaki su kaynaklarında 18O dağılımı



Şekil 9: İnceleme alanındaki su kaynaklarında 3H dağılımı

4. Tuzla Jeotermal Sahasında Gözlenen Kabuklaşmanın Morfolojik ve Kimyasal Özellikleri

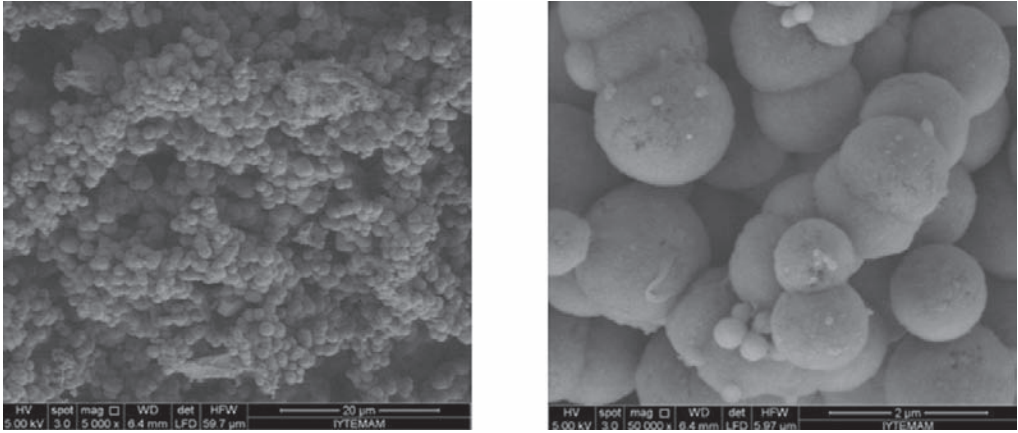
Tuzla jeotermal sahasında yaşanan önemli problemlerden biri kuyu içerisinde ve sistemde yaşanan kabuk oluşumudur (Şekil 10). Jeotermal sahada ve Tuzla Jeotermal Enerji Santralinden çeşitli noktalarından kabuk örneği alınmış ve örnekler detaylı olarak kimyasal ve morfolojik açılarından incelenmek üzere analizlere tabii tutulmuştur. Alınan örneklerde, XRD, XRF ve SEM analizleri yapılmıştır. Elde edilen veriler kabuğun heterojen ve karışık bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 10: Tuzla Jeotermal sahasında gözlenen kabuktan görünüm

4.1. Boru hattından oluşan kabuk.

Boru hattında 7 farklı noktadan örnek alınmıştır. Öz ağırlığı yaklaşık 2.1-2.3 g/cm³ arasında değişen siyah renkli bu mineralin düşük kristaliniteye sahip saponite/hektorite minerali olduğu anlaşılmıştır. Ana bileşen bu mineral olsa da, kabuk amorf silika tanecikleri ve katmanlı çift metal hidroksit yapısının da bulunduğu bir karışımdır (Şekil 11). Kütlece yaklaşık %40 demir, %10 magnezyum içeren kabuk magnezyum silikat olarak ifade edilebilir.

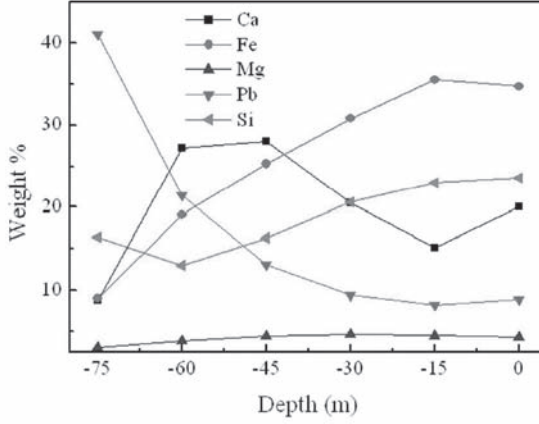


Şekil 11: Tuzla Jeotermal sahasında görülen amorf silika tanecikleri. Bu tanecikler sistemde oluşan kabuğun temel bileşeni ve nedenidir.

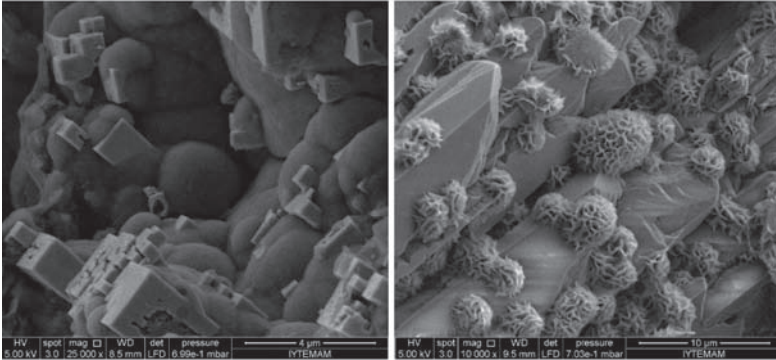
Tuzla jeotermal sahada rezervuar silisik asitçe zengindir ve içerisinde yüksek oranda çözülmüş CO₂ bulunmaktadır. CO₂ asidik bir gazdır. Jeotermal suyun yeryüzüne doğru yol alması ile basınç ve sıcaklık düşmekte, CO₂ sistemden ayrılmakta ve sistemine asiditesi yükselmektedir (pH=7.8). Ortamın asiditesinin azalması, yani suyun daha bazik olması, silisik asitin çözünlülüğü azalmaktadır. Silisik asit bünyesinde bulunan hidroksil gruplar yüksek pH'da polimerleşmektedir. Bu polimerik yapının kritik bir kütleye ulaşması ile amorf silika tanecikleri oluşmaktadır. Sistemin pH'sının yüksek olması, mevcut metal katyonlarını da hidroksitle çöktürmektedir, örneğin Fe(OH)₂ ve Mg(OH)₂. Jeotermal suyun yeryüzüne doğru çıkmasıyla metal hidroksitler amorf silika tanecikleri ile birleşerek kabuğu oluşturmaktadır.

4.2. Üretim Kuyularında Oluşan Kabuk.

Kuyu içerisine verilen inhibitor borusu üzerinde toplanan kabuktan değişik derinliklerde örnek alınmıştır. Kuyu kabuğunun öz ağırlığı $2.5-2.8 \text{ g/cm}^3$ aralığında olup sistemde görülen kabuktan daha ağır olduğu anlaşılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda boru hattında görülen kabuk kimyasının aksine, kuyu içerisinde PbS ve CaCO_3 'ün değişik formları (kalsit ve aragonit) saptanmıştır. Kabuk siyah ve beyaz renkli katmanlı bir yapıya sahiptir. Siyah renk PbS, beyaz renk ise CaCO_3 'ün polimorflarından oluşmuştur. Kuyu içerisinde değişik derinliklerde oluşan kabuğun kimyasal içeriği de incelenmiştir (Şekil 12 ve Şekil 13). Bu çalışmaya kuyubaşından rezervuara doğru jeotermal sistemde görünen ana elementlerin kabuk içerisindeki miktarları görülmektedir. Derinlik azaldıkça Fe, Mg, ve Si elementlerinin arttığı yani çöktüğü görülmektedir. Pb miktarının ise azaldığı görülmektedir.



Şekil 12: Kuyu içerisinde değişik derinliklerde oluşan kabuğun elementel kompozisyonu (Demir ve diğ., 2014).



Şekil 13: Kuyu içerisinde değişik derinliklerden alınan örneklerin elektron mikroskop görüntüleri. Sol resimde görünen küpler CaCO_3 , sağ taraftaki görülen kalın çubuksu yapılar PbS (galena), küresel ve gözenekli yapı ise katmanlı çift metal amorf yapılara aittir.

Sonuç ve Öneriler

Tuzla jeotermal sahası hidrojeokimyasal açıdan Türkiye'nin en karmaşık bölgesidir. Jeokimyasal ve hidrojeokimyasal özellikleri nedeni ile diğer jeotermal sahalardan tamamen farklıdır.

Tuzla ve çevresi gerek aktif bir fay zonu üzerinde olması gerekse jeotermal açıdan Türkiye'nin en önemli jeotermal sahalarından biri olması nedeniyle daha önce çeşitli jeolojik araştırmalara konu olmuştur. Yapılan jeolojik ve hidrojeolojik çalışmalara göre; Tuzla ve dolayındayeraltında gelişmiş olan sıcak ve mineralli sular, fosil ve güncel deniz suyu, yağmur ve kar yağışından yeraltına süzülen meteorik ve denizel kökenli suların jeotermal gradyan ile ısınması, kırıklar ve fay hatları boyunca yükselmeleri sonucu oluştuğunu göstermektedir.

Alandaki temel kayaçlar aşıl uyumsuzlukla Miyosen yaşlı volkanik kayaçlar tarafından örtülmektedir. Volkanik kayaçlar, başlangıçta riyolitik tüf ve aglomeralarla etkin olan volkanizmadan daha sonra genel olarak latit türde lavlardan ve son olarak riyolitik tüf ve ignimbritlerden oluşmuştur. Üretim kuyuları andezit, trakiandezit ve dasit birimlerinde oluşan volkanik birimlerde açılmıştır. Elde edilene jeolojik ve jeokimyasal verilere göre; inceleme alanındaki kabuklaşmanın ana nedeni sondajların açılmış bulunduğu kesimlerde fay zonu boyunca gözlenen aşırı altere olmuş volkanik kayaçlarda ki amfibol, biyotit gibi mineralleridir.

Hidrojeokimyasal verilere göre; Tuzla jeotermal sahasındaki sular NaCl içeriği yüksek tuzlu sulardır. Kuyulardaki hidrojeokimyasal veriler, suların aynı kökenli beslenime ve rezervuara sahip olduklarını göstermektedir. Yüksek Cl derişimlerinin ise kuyularda korozif etki yaratmaktadır. İnceleme alandaki sular son derece yüksek Bor ve Stronsiyum değerleri bulundurmaktadır. Tuzla jeotermal sahasında alınan akışkanda izotop analizleri yapılmıştır. Elde edilen veriler, su-kayaç etkileşmesinden oluşan ^{18}O zenginleşmesi görülmektedir. Ayrıca Tuzla sahasındaki akışkan yüksek Cl ve düşük 3H değerine sahip olması, derin ve uzun süreli (55 yıldan fazla) yeraltı dolaşımı sular olduğunu belirtmektedir.

Kabuklaşma jeotermal sistemlerin en önemli problemidir. Jeotermal akışkan mineralce oldukça zengin olup, bulunduğu yeraltı yataklarının kimyasına göre su ve kabuk kompozisyonu değişiklik arz etmektedir. Yapılan incelemelere göre jeotermal sahada kuyu içerisinde PbS ve CaCO_3 'ün değişik formları ile magnezyum silikatça zengin kabuk görülmektedir. Tuzla jeotermal sahasındaki kabuğun enaza indirilmesine yönelik bir dizi inhibitör kullanılmıştır. Yapılan incelemelere göre; formik asit kimyasal yapısı itibariyle jeotermal sistemlerle uyumlu bir organik asit olduğu ve jeotermal sahada iyi sonuçlar için umut vaat etmektedir.

Kaynaklar

- Baba, A., Deniz, O., Ozcan, H., Erees, S. F., and Cetiner, Z. 2007. Geochemical and radionuclide profile of Tuzla geothermal field, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment* 145, 1-3:361-374
- Baba, A., Ármannsson, H., 2006. Environmental Impact of the utilization of a geothermal area in Turkey, *Energy Source*, volume 1, pp. 267-278.
- Baba, A., Özcan, H., Deniz, O., 2005. Environmental impact by spill of geothermal fluids at the geothermal field of Tuzla, Canakkale-Turkey. In: *Proceedings World Geothermal Congress 2005*, Antalya, Turkey, 24-29 April 2005, pp. 1-8.
- Baba, A., Demir, M.M., Koç, G.A., Tuğcu, C., 2015. Hydrogeological properties of hypersaline geothermal brine and application of inhibiting siliceous scale via pH modification, *Geothermics*, 53, pp. 406-412.
- Baba, A., 2003. Geothermal Environmental Impact Assessment with Special Reference to the Tuzla, Geothermal Area, Canakkale Turkey. *Geothermal Training Programme Book*, Iceland, pp. 75-114.
- Baba, A., Deniz, O., 2005. Determine of potential, application and environmental properties of geothermal resources in Biga Peninsula. TUB İTAK Project, CAYDAG-104Y082.
- Baba, A., Deniz, O., Ozcan, H., Erees, S.F., Cetiner, S.Z., 2008. Geochemical and radionuclide profile of Tuzla geothermal field, Turkey. *Environ. Monit. Assess.* 145 (1-3), 361-374.

- Baba, A., Sözbilir, H., 2012. Source of arsenic based on geological and hydrogeo-chemical properties of geothermal systems in Western Turkey. *Chem. Geol.* 334,364–377.
- Baba, A., Yüce, G., Deniz, O., Uğurluoğlu, Y.D., 2009. Hydrochemical and isotopic composition of Tuzla Geothermal (Canakkale – Turkey) field and its environmental impacts. *J. Environ. Fresenius* 10, 144–161.
- Batik, H., Kocak, A., Akkus, I., Simsek, S., Mertoglu, O., Dokuz, I., Bakir, N., 2000. Geothermal Energy Utilization Development in Turkey-Present Geothermal Situation and Projections, Proceedings World Geothermal Congress 2000, Kyushu-Tohoku, Japan, pp. 85- 91. (2000).
- Demir, M.M., Baba, A., Atilla, V., Inanlı, M., 2014. Types of the scaling in hyper saline geothermal system in Northwest Turkey. *Geothermics* 50, 1–9.
- Ercan, T., ve Türkecan, A. 1984. Batı Anadolu-Ege Adaları-Yunanistan ve Bulgaristan'daki Plutonların Gözden Geçirilişi, Ketin Sempozyumu, TJK. say. 189-208, (1984).
- Erdogan, E., 1966. Geothermal energy possibility of survey and tectonic mapping of Tuzla hot springs and surrounding. MTA report, Ankara (unpublished).
- Fytikas, M., Gialiani, O., Innocenti, F., Marinelli, G., Mazzuoli, R. 1976. Geochronological Data on Recent Magmatism of the Aegean Sea, *Tectonophysics* 31, T29-T34
- Gevrek, A.I., Sener, M., 1985. The determination of hydrothermal alteration zones by clay minerals in Canakkale – Tuzla area. In: 2nd Turkish National Clay Symposium, Hacettepe University, Ankara, Turkey.
- Gevrek, A. İ, Şener, M, Ercan, T. 1986. Çanakkale-Tuzla Jeotermal Sahasının Hidrotermal Alterasyon Etüdü ve Volkanik Kayaçların Petrolojisi. *Bull. Miner. Res. Explor. Inst. Turk.* 103-104, say. 55-81.
- Gözler, M. Z., Ergül, E., Akçören, F., Genç, Ş.C., Akat, U. ve Acar Ş., 1984. Çanakkale Boğazı doğusu - Marmara Denizi güneyi- Bandırma- Balıkesir - Edremit ve Ege Denizi arasındaki alanın jeolojisi ve komplikasyonu. M.T.A. Rapor No: 7430, 25-98 (yayımlanmamış).
- HU, 2008a. Evaluation report on geological, hydrological properties of T-7E ve T-8E research/production well in Tuzla (Canakkale) geothermal field. Ankara.
- HU, 2008b. Evaluation report on geological, hydrological properties of T-10E production well in Tuzla (Canakkale) geothermal field. Ankara.
- Kaaden, G, 1957. Çanakkale, Biga, Edremit yarımadası bölgesindeki jeolojik saha çalışmaları ve maden yatakları hakkında, rapor, MTA, Ankara 1957
- Karamandere, I.H., Öngür, T., 1974. The Report of Gradient Wells Tuzla (Canakkale) Geothermal Field. MTA report, no.: 5524, Ankara
- Karamandere, I.H., 1986. Hydrothermal Alteration in Well Tuzla T-2, Canakkale, Turkey. Report 3: Geothermal Training Programme in Iceland 1986. UNU G.T.P., Iceland, pp.1-23.
- Ketin, İ, 1966. Anadolu'nun tektonik birlikleri M.T.A.Derg, No: 66, Ankara 1966
- Mützenber, S., 1997. Nature and Origin of The Thermal Springs in The Tuzla Area, Western Anatolia, Turkey, Active Tectonic of Northwestern Anatolia- The Marmara Poly-Project (edited by Schindler, C., and Pfister, M.), vdf hochschulverlag AG an der ETH, Zurich, pp.301-317.
- Mützenber, S.R., 1991. Westliche Biga-Halbinsel (Çanakkale, Türkei): Beziehung zwischen Nr.287, Zürich. *Geologie, Tektonik und Entwicklung der Thermalquellen. Mitteilungen Aus Dem Geologischen Institut Der Eidg. Technischen Hochschule und Der Universität Zuerich*, Geothermal Research 96, pp. 215-228.
- Okay, A.I., Siyako, M., Bürkan, K.A., 1990. Biga Yarımadası'nın jeolojisi ve tektonik evrimi. *TPAG Bull.* 21, 83–121.
- Okay, A.I., Satır, M., Maluski, H., Siyako, M., Monie, P., Metzger, R. ve Akyüz, S., 1996. Paleo-and Neotethyan events in northwest Turkey. In: Yin A, Harrison M (eds) *Tectonics of Asia*. Cambridge

- University Press, Cambridge, pp 420-441.
- Okay, A.I., ve Satır, M., 2000. Coeval plutonism and metamorphism in a latest Oligocene metamorphic core complex in northwest Turkey: Geological Magazine, 137,495-516.
- Öngür, T., 1973. Volcanology and Geological Report of Canakkale Tuzla Geothermal Area, MTA Report, Ankara (unpublished).
- Sener, M., Gevrek, A., 2000. Distribution and significance of hydrothermal alteration minerals in the Tuzla hydrothermal system, Canakkale, Turkey. J. Volcanol. Geotherm. Res. 96, 215–218.
- Simsek, S., 2003. Hydrogeological and isotopic survey of geothermal fields in the Buyuk Menderes Graben, Turkey. Geothermics 32, 669–678. Simsek, S., Yildirim, N., Simsek, Z.N., Karakus, H., 2002. Changes in geothermal resources at earthquake regions and their importance. In: Proceedings of Middle Anatolian Geothermal Energy and Environmental Symposium, pp. 1–13.
- Siyako, M.: Burkan, K.A. ve Okay A.I., 1989. Biga ve Gelibolu Yarımadaı Tersiye Jeolojisi ve Hidrokarbon olanakları: Turkish Association of Petroleum Geologist Bulletin. 1. 183-199.
- Şamilgil, E. 1983. Çanakkale Jeotermal Alanları ve Tuzla Sondajları, Türkiye Jeoloji Bülteni 4,147-148.
- Şamilgil, E. 1966. Çanakkalenin Tuzla ve Kestanbol Sıcaksu Havzalarında Jeotermal Enerji Araştırması Yönünden Hidrojeolojik Etüt, MTA Raporu. No: 4274, Ankara, (1966).
- Ürgun, S., 1971. The Geology of Tuzla–Kestanbol (Canakkale) Surrounding and Geothermal Energy Possibility. MTA Report, no: 4664, Ankara
- Vengosh A., Helvacı, C., Karamandersi, İ.H., 2002. Geochemical Constraints for the Origin of Thermal Waters from Western Turkey, Applied Geochemistry 17, 163–183
- WES JEC, 2006. Report on geothermal development survey in the Canakkale-Tuzla Field, Turkey. West Japan Engineering Consultants Inc
- Yılmaz, Y., Genç, Ş.C., Güre, F., Bozcu, M., Yılmaz, K., Karacık, Z., Altunkaynak, Ş., Elmas, A., 2000. When did the Western Anatolian grabens begin to develop? In: Bozkurt, E., Winchester, J.A., Piper, J.A.D. (Eds.), Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding Area: Journal of Geological Society of London, 173, pp. 131–162
- Yigitbas E, Elmas A, Sefunc A, Ozer N., 2004. Major neotectonic features of eastern Marmara region, Turkey: development of the Adapazari-Karasu corridor and its tectonic significance. Geol J 39:179–198

GÜNEYDOĞU ANADOLU BÖLGESİNDEKİ (GAP) JEOTERMAL KAYNAKLARIN HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Baba, A¹., Akkuş, İ²., Şaroglu, F²., Özel, N³., Yeşilnacar, M.İ⁴., Nalbantçılar, M.T⁵.,
Demir, M¹., Gökçen, G¹., Arslan, Ş⁵., Yazdani, H¹., Kuzgunkaya, E¹., Dursun, N⁴.

¹*Izmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir*

²*MTA Genel Müdürlüğü, Ankara*

³*GAP Bölge Kalkınma İdaresi, Şanlıurfa*

⁴*Harran Üniversitesi, Şanlıurfa*

⁵*Batman Üniversitesi, Batman*

(alperbaba@iyte.edu.tr)

ÖZ

Bitlis Sürüklenim Kuşağı güneyinde Arap kıtası üzerinde yer alan GAP Bölgesinde yaşları Paleozoyik'ten Kuvaterner'e kadar değişen kaya birimleri yüzlek verir. İnceleme alanının kuzeyinde yer alan Bitlis sürüklenim kuşağını oluşturan dağlık bölgelerde alloktan birimler, güneyde ise Arap kıtasına ait otokton kaya birimleri yüzeyler. Bölgede, neotektonik dönemde, üst Miyosen'den itibaren sıkışma tektoniğinin etkisiyle kıvrımlı yapılar gelişmiştir. Tektonizmadan etkilenen bölge jeotermal kaynaklar açısından oldukça zengindir. Bu jeotermal kaynakların bir kısmı termal turizm ve seracılıkta kullanılmaktadır. GAP illerinden Şanlıurfa (Karaali ve Kabahaydar), Diyarbakır (Çermik), Adıyaman (Çelikhan), Şırnak (Hısta, Besta, Nas faran ve Zümrütdağı), Batman (Taşlıdere), Siirt (Billoris ve Lif) ve Mardin (İhsu)'de sera ve termal turizm amaçlı olarak sıcak su kaynaklarından sınırlı oranda faydalanılmaktadır. Günümüzde, jeotermal enerjinin önemi GAP bölgesinde giderek artmıştır. Bölge'de jeotermal kaynakların yüzey sıcaklıkları 20- 84.5 °C arasında değişirken, yapılan sondajlarda kuyu dibi sıcaklıkları 140 °C civarında olan çok sayıda kuyu saptanmıştır. GAP Bölgesinde 2014 - 2015 yıllarında bazı jeotermal kaynakların hidrojeokimyasal özellikleri incelenmiştir. Hidrojeokimyasal çalışmalar sonucu sıcak sular Ca-Mg-SO₄, Na-HCO₃, Na-Cl, Ca-Mg-HCO₃, Ca-HCO₃, Ca-SO₄ gibi çok farklı su tipini yansıttığı görülür. Soğuk sular ise Ca-Mg-HCO₃ ve Ca-HCO₃'lü su tipini yansıtır. Bölgedeki jeotermal kaynakların rezervuar sıcaklıklarını belirlemek amacı ile katyon jeotermometreleri uygulanmıştır. Elde edilen veriler, bu kaynakların rezervuar sıcaklıklarının 50 ile 200 °C arasında değişebileceğini göstermiştir. Bölgedeki jeotermal kaynaklarının daha detaylı olarak incelenmesi ve buna yönelik stratejilerin yapılması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: jeotermal kaynaklar, jeotermal kullanımı, hidrojeokimya, GAP Bölgesi

HYDROGEOCHEMICAL PROPERTIES OF GEOTHERMAL SYSTEM IN THE SOUTHEASTERN REGION (GAP)

Baba, A¹., Akkuş, F²., Şaroglu, F²., Özel, N³., Yeşilnacar, M.İ⁴., Nalbantçılar, M.T⁵., Demir, M¹., Gökçen, G¹., Arslan, Ş⁵., Yazdani, H¹., Kuzgunkaya, E¹., Dursun, N⁴.

¹İzmir Institute of Technology, İzmir

²General Directorate of Mineral Research and Exploration, Ankara

³GAP Regional Development Administration, Şanlıurfa

⁴Harran Üniversitesi, Şanlıurfa

⁵Batman University, Batman

(alperbaba@iyte.edu.tr)

ABSTRACT

GAP Region is located on south of Bitlis thrust belt which is in the Arabian continent. Ranging from Paleozoic to Quaternary rocks is outcrops in this region. Allochthonous units can be seen north of the Bitlis thrust belt which is mountainous regions of the region, autochthonous rocks, which belong to Arabian continent, can be seen in the southern of the study area. During the neotectonic period, the curved structures have been developed under the influence of tectonic compression from the upper Miocene in GAP Region where is closely related to active tectonic. These tectonic activities produce more geothermal resources. In GAP region limited portion of the geothermal resource have been used both in thermal tourism and greenhouses. Also, limited proportion of the hot springs in Şanlıurfa (Karaali and Kabahaydar), Diyarbakır (Çermik), Adıyaman (Çelikhan), Şırnak (Hısta, Besta Meryem, Nasrafan and Zümürütağ), Batman (Taşlıdere), Siirt (Billoris and Lif) and Mardin (Darğeçit) are utilized for the purpose of greenhouse and thermal tourism in the region. Nowadays, the importance of geothermal energy has increased in the GAP region. Hydrogeochemical properties of some spring in GAP Region were investigated from 2014 to 2015. The result indicate that the surface temperature of geothermal fluids are ranging from 20 to 84.5 °C. A large number of wells, which temperature is reach 140 °C, are found in the region. Also hydrogeochemical results show that hot springs are enriched with Ca-Mg-SO₄, Na-HCO₃, Na-Cl, Ca-Mg-HCO₃, Ca-HCO₃, Ca-SO₄, and cold spring enriched with Ca-Mg-HCO₃ and Ca-HCO₃’li. Cation geothermometers was used for determining reservoir temperature of geothermal resources in region. The results show that reservoir temperature of these geothermal resources change between 50 and 200 °C. It is important to detail research should be done on geothermal resources and to prepare application sector of geothermal in the region.

Keywords: Geothermal resources, geothermal usage, hydrogeochemistry, GAP Region

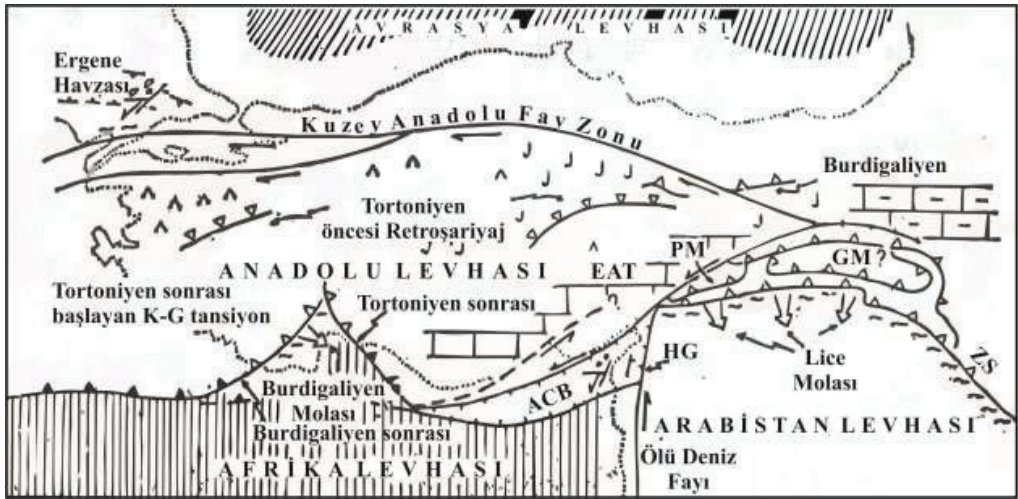
1. Giriş

Enerji, günümüzde tüm dünya ülkelerinin en başta gelen sorunları arasındadır. Bunun en önemli nedenleri nüfus artışı, sanayileşme ve yaşam standartlarının yükselmesi olarak gösterilmektedir. Tüm dünyada hızlı bir artış gösteren enerji gereksiniminin büyük bir kısmı ancak bir süre daha fosil yakıtlar ve hidrolik enerji ile karşılanabilecektir. Fosil yakıtların giderek azalan rezervlerinin kısa bir dönemde tükenmesi ve bir süre sonra bunların yerini yeni enerji kaynaklarının alması beklenmektedir. Son yıllarda bütün ülkeler yeni enerji kaynaklarının geliştirilmesine önem vermektedir. Bu enerjilerden en önemlisi ise yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında jeotermal enerji günümüzde ve yakın gelecekte ülkelerin en önemli enerji kaynağı konumuna gelecektir (Baba, 2015; Baba ve diğ., 2015). Türkiye'nin güneydoğusunda yer alan Güneydoğu Anadolu Bölgesi (GAP), ekonomik ve kültürel zenginliğe sahip, tarihsel önemi olan ve birçok medeniyete ev sahipliği yapmış bir coğrafyadır. Fırat - Dicle Havzası'ndaki geniş ovalardan oluşan Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Adıyaman, Batman, Diyarbakır, Gaziantep, Kilis, Mardin, Siirt, Şanlıurfa ve Şırnak illeri yer almaktadır. Güneyde Suriye, Güneydoğu'da ise Irak'la sınırı bulunan Bölge'nin yüzölçümü 75.358 kilometrekare olup, ülkemizin toplam yüzölçümünün yüzde 9,7'sini oluşturmaktadır. Türkiye'de sulanabilir 8,5 milyon hektar arazinin yüzde 20'si, GAP Bölgesi'nde yer almaktadır. Güney Doğu Anadolu'nun jeolojisi, doğal kaynakları ve aktif tektoniği ile ilgili olarak literatür de çok sayıda yayın bulunmaktadır. Bölgenin jeolojisi ve genç tektoniğiyle ilgili çalışmalar başlıca MTA, TPAO ve üniversiteler tarafından değişik boyut ve ayrıntılarda incelenmiştir. Çalışmalar çoğu zaman belirli ve spesifik alan ve konulara (petrol vb) özgü olarak yürütülmüştür. Bölgenin doğal kaynaklarına yönelik çalışmaları ise geçtiğimiz yüzyıldan beri çeşitli yerli ve yabancı şirketler tarafından sürdürülmektedir. Ancak bölgenin jeotermal kaynaklarına ilişkin çalışmaları, kaynakların bulunduğu alan bazında bazı sahalarda yapılan jeoloji, jeofizik etütler, kaynak analizleri ve sondajlar ile kaynaklarının özelliklerini irdeleyen (Özel, 2001; Özel ve Bekişoğlu, 2002; Baba ve diğ., 2015) incelemelerle sınırlı olup bölgenin jeodinamiğinin jeotermal sistemlerin gelişmesiyle ilişkisini belirlemeye yönelik kapsamlı araştırma bulunmamaktadır. Bu çalışma kapsamında, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan jeotermal sahalara hidrojeokimyasal özellikleri irdelenmiştir. Jeotermal kaynaklar açısından Güneydoğu Anadolu Bölgesi önemli bir paya sahiptir. Bölgede Diyarbakır (Çermik-Çarmelik), Batman (Taşlıdere), Siirt (Billoris), Şırnak (Hısta ve Zümrütağ), Şanlıurfa (Karaali- Kabahaydar), Mardin (Dargeçit-Germav) Adıyaman (Tilek-Çörmük), Kilis (MTA Kuyusu) ve Gaziantep (Kartalköy-Araban)'te önemli jeotermal sahalara bulunmaktadır.

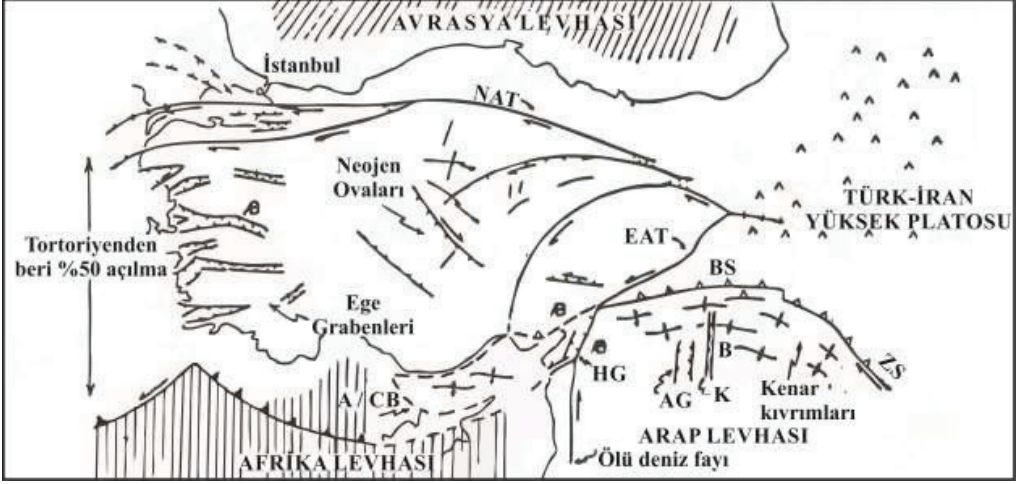
2. Metodlar

Bu çalışma kapsamında GAP bölgesinde jeotermal kaynaklardan ve kuyulardan hem fiziksel hem de kimyasal analizler için numune alınmıştır. Örneklemeye noktası seçimlerinde bazı hususlar dikkate alınmıştır. Örneklemeye noktaları mekânsal olarak alanı yansıtabilecek şekilde seçilmiştir. Tüm kalite örneklemeye noktalarında sıcaklık, pH ve elektriksel iletkenlik gibi fizikokimyasal parametre ölçümleri Hach-Lange HQ40D çoklu parametre probu ile yerinde yapılmıştır. Sahadaki su örneklemesi bu çalışmanın önemli bir kısmını teşkil etmektedir. Suların örneklemesi sırasında farklı hacimlerde (50, 100, 250 ve 1000 ml) sızdırmaz kapaklı polietilen örneklemeye şişeleri kullanılmış olup, örnek kapları doldurulmadan önce örneklemeye yapılan sularla üç kez çalkalanmıştır. Sularda major anyon ve katyon analizleri İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü ve ulusal standart kalite belgesine sahip Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Laboratuvarlarında, ağır metal analizleri uluslararası standart kalite belgesine sahip ACME laboratuvarlarında ya-

Güneydoğu Anadolu'da Üst Oligosen-Alt Miyosen döneminde var olan ve Tetis Okyanusunun en son artığı olarak kabul edilen Lice baseninin kapanması sonucunda, kıta-kıta çarpışması gerçekleşmiştir (Şekil 2). Ortaya çıkan kıtakita çarpışması Orta Miyosen'de oluşmuştur. Günümüzde halen devam eden bu çarpışma neotektonik dönemi (Şekil 3) ifade etmektedir (Şengör, 1980; Şengör ve Yılmaz, 1983; Şaroğlu, 1985) ve genel olarak bölge K-G yönde sıkışarak deformasyona uğramaktadır. Lice baseninde izlenen kaya topluluklarının bir kısmı okyanusal malzemeden meydana gelmektedir. Bu malzemelerin tümü, istifin içinde allohton olarak bulunmaktadır. Bu nedenle söz konusu okyanusal kabuk malzemesinin kayaların havza tabanından mı türediği yoksa havza dışından mı taşındığı konusu tartışmalıdır. Bu nedenle Lice havzasının tabanının okyanusal malzeme taşıyıp taşımadığı kesin olarak bilinmemektedir. Diğer bir deyişle, havza ürünleri Tetis okyanusuna ait mi yoksa okyanusun tamamen bölgeden çekilmesi sonrasındaki artık denizin ürünleri midir, net bir şekilde bilinmemektedir. Derinden gelişen bu levha boyutundaki hareketlerin bir suture zonu ile Anadolu ile Arap levhalarını karşı karşıya getirmesi ile yüzey jeolojisinde bile çarpışma net olarak izlenebilmektedir. Yani tektonik rejim, var olan nihai denizin Anadolu'dan çekilmesi yanında bölgede farklı paleocoğrafya, yapısal şekiller, yeni havzalar, değişik volkanik unsurlar ortaya çıkarmıştır. Anadolu neotektonik dönem deformasyonu süresince ortaya çıkan farklı yapısal tarzla karakterize edilebilen neotektonik bölgeler (örneğin Doğu Anadolu sıkışma, Orta Anadolu-ova, Batı Anadolu açılma veya genişleme bölgesi) ortaya çıkmıştır. Bu kriterlere göre Güneydoğu Anadolu, Doğu Anadolu ile aynı tür deformasyona uğradığından her iki bölgede Doğu Anadolu Sıkışma Bölgesi adı altında değerlendirilmektedir.



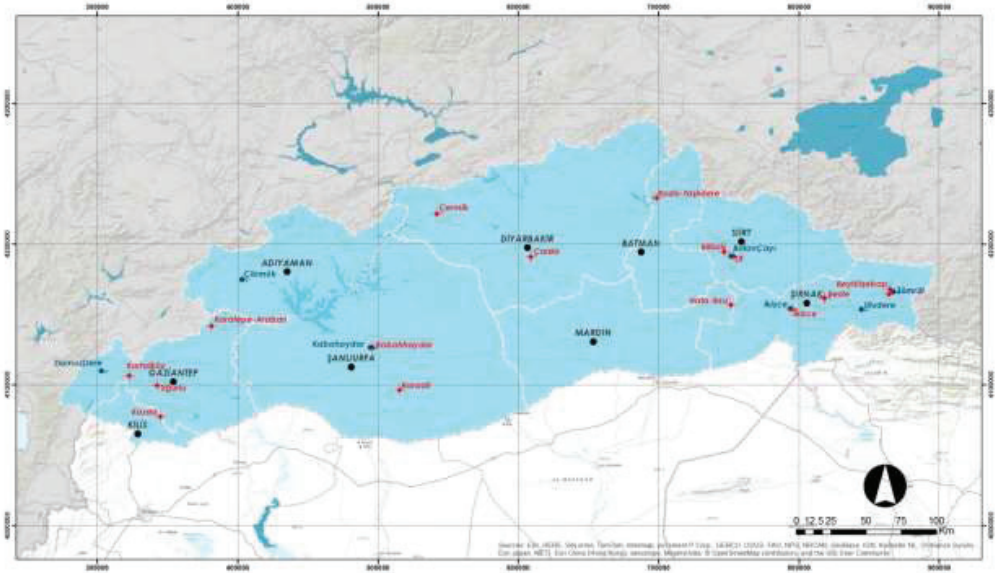
Şekil 2: Orta Miyosen-Pliyosen paleotektonik haritası (Şengör ve Yılmaz, 1983)



Şekil 3: Pliyosen-Günümüz neotektonik haritası (Şengör ve Yılmaz, 1984)

4. GAP Bölgesindeki Jeotermal Kaynaklar

Güneydoğu Anadolu Bölgesinde (GAP) jeoloji, tektonik ve petrolle ilgili çok sayıda çalışma (Wilson ve Krümmencher, 1957; Bolgi, 1964; Rigo De Righi, 1964; Schmidt, 1964; Sungurlu, 1972; 1974; Perinçek, 1979; Yılmaz, 1981; Perinçek ve Özkaya, 1981; Ketin, 1983; Şengör ve Yılmaz, 1981; Yazgan, 1984; Şaroğlu, 1987; Yazgan ve Chessex, 1991; Turan, 1995) yapılmıştır. Geçmişte jeotermal kaynakların özelliklerinin araştırılmasına yönelik çalışmalar ise son derece azdır (Erzenoğlu ve Özeke, 1984; Gök, 1984; Yücel, 1989a,b; Uzel ve Kalkan., 1992; Eşder ve Tümer, 1997; Eşder ve Buzkıran, 1998; Ertürk, 1999; Karlı, 2000; Özel ve Bekişoğlu, 2002; Eşder, 2004; Doğu ve Kırmızıtaş, 2006; Akkuş ve diğ., 2005; Mertoğlu, 2010; Özel, 2010). Çalışmaların önemli bir kısmı MTA tarafından gerçekleştirilmiştir. Ancak, yapılan çalışmalar sadece kaynağın varlığına yöneliktir. Son zamanlarda jeotermal enerjiden daha etkin bir şekilde yararlanmak için bölgede çalışmalar yapılmaktadır. Günümüzde jeotermal enerjinin önemi bölgede giderek artmış ve jeotermal enerji ile ilgili yatırımlar da başlamıştır. Sınırlı olsa GAP illerinden Şanlıurfa (Karaali)'da hem termal turizm hem de seracılık alanında yararlanılmaktadır. Diyarbakır (Çermik), Adıyaman (Çelikhan), Şırnak (Hısta, Besta Meryem, Nasrafan ve Zümrüdağ) Batman (Taşlıdere), Siirt (Billoris ve Lif) ve Mardin (Dargeçit)'de termal turizm amaçlı olarak sıcak su kaynaklarından faydalanılmaktadır. Adıyaman (Tilek, Rötükan, Bistikan ve Bigar) ve Gaziantep (Kartalköy) illerinde yer alan jeotermal kaynaklardan etkin bir şekilde yararlanılmaktadır. Şekil 4'te GAP bölgesinde jeotermal kaynakların olduğu yerler gösterilmiştir.



Şekil 4. İnceleme alanındaki jeotermal kaynakların bulunduğu kesimler

5. İnceleme Alanının Hidrojeolojik ve Hidrojeokimyasal Özellik ler

GAP bölgesinde gerek bölgedeki yaygınlıkları ve gerekse kalınlıkları nedeniyle Kretase yaşlı Mardin Grubu ile Eosen yaşlı Midyat Grubu kireçtaşları jeotermal sistemlerin ana rezervuarlarını oluşturmaktadır. Kretase yaşlı Şırnak Grubu'na ait Germav şeylleri, Miyosen yaşlı Lice ve Şelmo formasyonları da ana örtü kayalardır. Tanımlanan birimlerin altlarında bulunan Mesozyotik yaşlı karbonatlar ile aralarında gözlenen killi düzeyler ise ikincil rezervuar ve örtü kaya olarak kabul edilmektedir. Bu ayrımda kullanılan ölçütlerden biri de ikincil düzeyde düşünülen kaya birimlerinin daha genç birimler tarafından örtülü olması, aşınım evreleri ve farklı tektonik olaylar geçirmiş olması nedeniyle sınırlı yerlerde izlenmesi, yeraltında devamlılığının yorumlanamamasıdır.

Bölgede var olan jeotermal sistemle ısı kaynağı olarak ilişkilendirilebilecek tek volkanizma, Karacadağ volkanitleri ile bununla eş yaşlı yarık erüpsiyonları şeklinde çıkmış olan lavlardır. Jeotermal ısı kaynağı veya ısı taşıyıcı olarak volkanizmalar değerlendirilirken asidik karakterde (granit, riyolit vb.), derine doğru genişleyerek devam eden (dom veya batolit şeklinde) alan önem kazanmaktadır. Yöredeki volkanitlerin büyük bir kısmı çatlaktan çıkıp akan, derine doğru çatlak dolgusu şekline dönüşen bazaltik karakterdedir. Bu özellikleri nedeniyle volkanik etkinlik var ise de yerel olacağı düşünülebilecek yorumlamalar yapılabilmektedir. Karacadağ'ın kuzeybatısı, volkanizmanın krater türü çıkışlı olduğu ve yer yer dom yapıları kazandığı bölgedeki tek alandır.

Günümüzde kıtalar boyutunda ortaya çıkan sıkışmalı tektonik rejimde K-G yönlü açılma çatlakları jeotermal kaynakları yüzeye taşıyan akışkanın çıkışlarını sağlayan ana yapısal unsurlardır. Lavlar ile termal suların aynı veya benzeri çatlak sistemlerini kullandıkları arazide gözlemlebilmektedir. Buna dayanarak, her iki ögenin birbiriyle yakın ilişkili olabileceği söylenebilir.

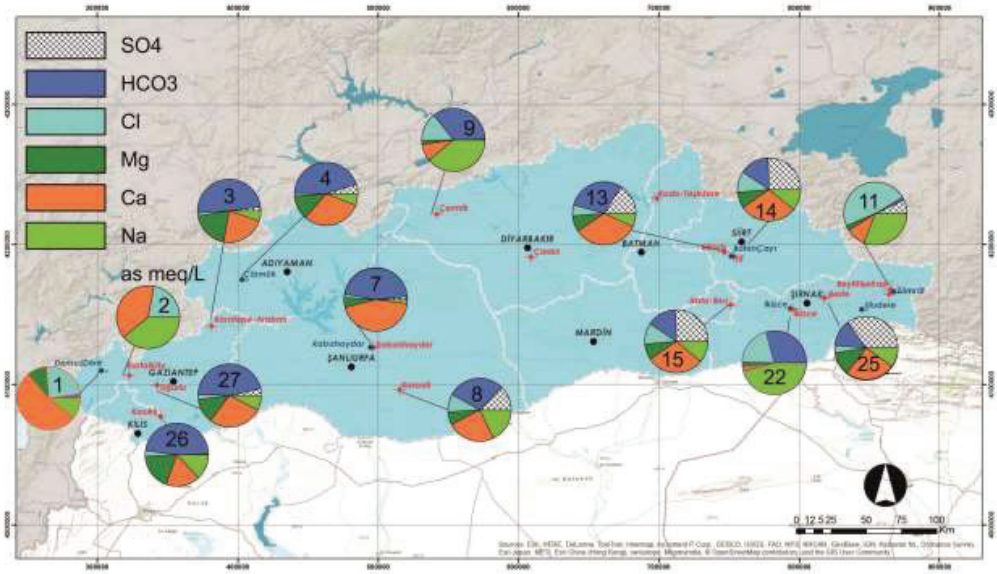
GAP bölgesinde Şekil 4’de gösterilen jeotermal lokasyonlarında hidrojeokimyasal amaçlı su numunesi alınmıştır. Alınan numunelerden bir dizi fiziksel ve kimyasal amaçlı analizler yapılmıştır. Bu verilere göre sıcak suların yüzey sıcaklığı 22.5 ile 84.5 °C arasında, Elektriksel İletkenlik değerleri ise 513 ile 18550 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmektedir. Alandaki sıcak sulara yakın kesimlerde ise soğuk su kaynaklarından numuneler alınmıştır. Bu soğuk suların sıcaklık ve EC değerleri sırası ile 9-15.9 °C ve 177.8-577 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmektedir (Tablo 1). Hidrojeokimyasal çalışmalar sonucu sıcak sular Ca-Mg-SO_4 , Na-HCO_3 , Na-Cl , Ca-Mg-HCO_3 , Ca-HCO_3 , Ca-SO_4 gibi çok farklı su tipini yansıttığı görülür. Soğuk sular ise Ca-Mg-HCO_3 ve Ca-HCO_3 ’lu su tipini yansıtır (Şekil 5).

Tablo 1: GAP Bölgesindeki jeotermal kaynakların su tipi

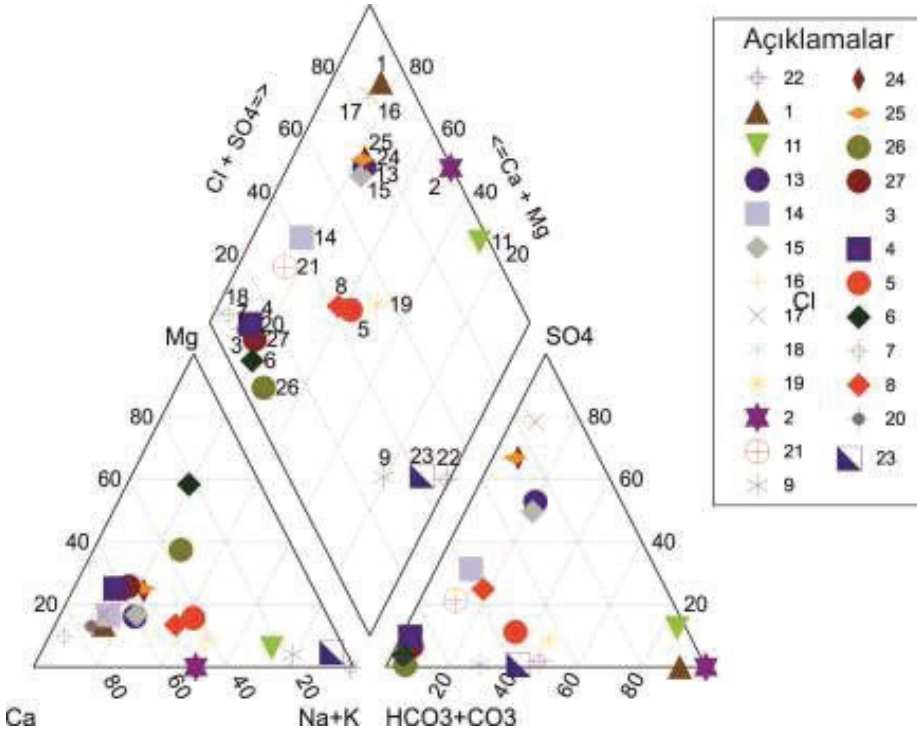
No	Şehir	Lokasyon	EI ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH	T(°C)	Su Tipi	Alındığı Yer
1	Gaziantep	Domuz Dere	177.8	10.5	14.5	Ca-Na-Mg-Cl	Soğuk su kaynağı
2	Gaziantep	Kartalköy	1486	11.65	22.5	Na-Ca-Cl	Jeotermal kaynak
3	Gaziantep	Karatepe-Araban	513	8.2	27.8	Ca-Mg-HCO ₃	Sondaj
4	Adıyaman	Çörmük	510	7.62	15.9	Ca-Mg-HCO ₃	Soğuk su kaynağı
5	Şanlıurfa	Kabahaydar	1105	7.23	29	Ca-Na-HCO ₃ -Cl	Sondaj
6	Şanlıurfa	Kabahaydar	589	7.38	23.8	Mg-HCO ₃	Sondaj
7	Şanlıurfa	Kabahaydar	635	7.44	18.3	Ca-HCO ₃	Soğuk su sondaj
8	Şanlıurfa	Karaali	792	7.41	41	Ca-Na-HCO ₃ -SO ₄	Sondaj
9	Diyarbakır	Çermik	1370	7.27	51	Na-HCO ₃ -Cl	Jeotermal kaynak
11	Batman	Kozlu-Taşlıdere	18550	6.16	84.5	Na-Cl	Sondaj
13	Siirt	Billoris	2310	6.40	33.1	Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃ -Cl	Jeotermal kaynak
14	Siirt	Botan Çayı	577	7.02	15.2	Ca-HCO ₃ -SO ₄	Soğuk su kaynağı
15	Siirt	Lif Kaplıcası	2390	6.50	33.7	Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃ -Cl	Jeotermal kaynak
16	Mardin	İlisu (Germav)	2220	6.55	56.6	Ca-SO ₄	Jeotermal kaynak
17	Şırnak	Belkısana (Hısta)	2260	6.77	62.2	Ca-SO ₄	Jeotermal kaynak
18	Şırnak	Uludere Beytülşebap	320	8.13	8.6	Ca-Mg-HCO ₃	Soğuk su kaynağı
19	Şırnak	Zümrüt Kaplıcası	1739	6.75	44	Na-Ca-Cl-HCO ₃	Jeotermal kaynak
20	Şırnak	Beytülşebap	260	7.87	9.0	Ca-HCO ₃	Soğuk su kaynağı
21	Şırnak	Kaniyagerm	817	7.21	21.1	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	Jeotermal kaynak
22	Şırnak	Nasfaran_ikizce	1739	8.96	20.04	Na-HCO ₃ -Cl	Jeotermal kaynak
23	Şırnak	Nasfaran_ikizce	1201	8.01	22.7	Na-HCO ₃ -Cl	Jeotermal kaynak
24	Şırnak	Beste	1070	7.18	26.5	Ca-Mg-Na-SO ₄ -HCO ₃	Jeotermal kaynak
25	Şırnak	Beste	1095	7.22	27.3	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃	Jeotermal kaynak
26	Kilis	Güvenli				Mg-Ca-Na-HCO ₃	Sondaj
27	Gaziantep	Uğurlu Kaplıcası			34.8	Ca-Mg-HCO ₃	Sondaj

Elde edilen hidrojeokimyasal verilerin istatistiki özetlerinin çıkarılması, iyonları topluca tek bir diyagramda görüntüleme kolaylığı açısından hidrojeolojide oldukça sık kullanılan Piper ve Schoeller diyagramlarına aktarılmıştır. (Şekil 6 ve Şekil 7). Piper sınıflamasına göre eşkenar

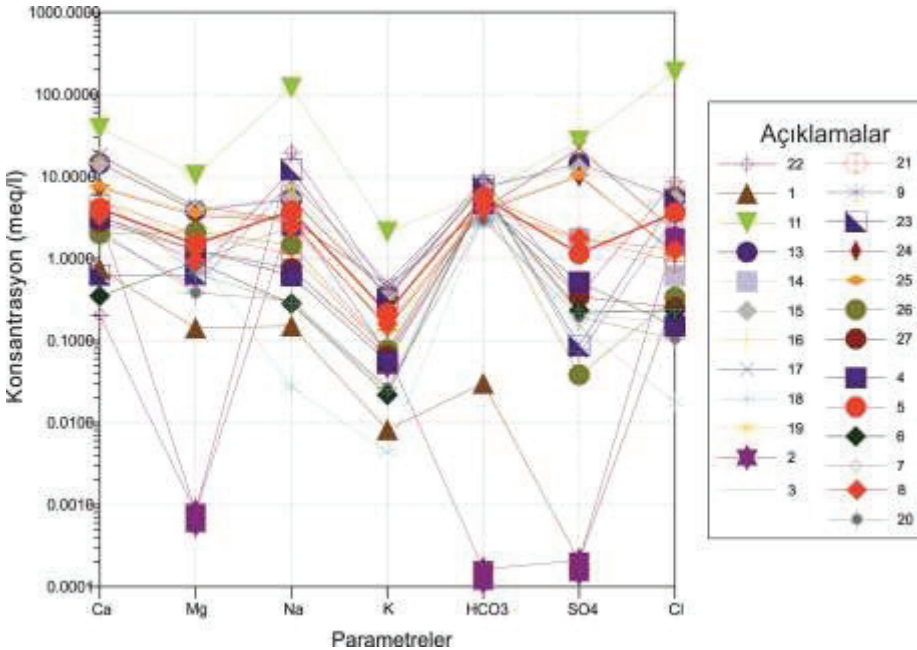
üçgenlerden meydana gelen katyon ve anyon üçgenine iyonların % meq/L değerleri işaretlenerek bulunan noktalar iki üçgenin üzerine çizilen bir eşkenar dörtgene taşınarak kesiştiği nokta ile suyun sınıfı belirlenmektedir. Üçgen diyagramlar suların fasiyes tiplerinin görülmesinde, dörtgen diyagramlar ise suların sınıflamasında ve karşılaştırılmasında kolaylık sağlamaktadır. İnceleme alanındaki su kaynakları Piper diyagramında da görüldüğü gibi farklı su tiplerini yansıtmaktadır (Şekil 6). Schoeller yarı logaritmik diyagramı ise, logaritmik ölçekli Y ekseninde element derişimlerinin meq/L olarak yer aldığı, X ekseninde sırasıyla Mg, Ca, Na+K, Cl, SO₄ ve HCO₃ iyonlarını gösteren bir diyagramdır. Bu diyagram üzerine işaretlenen element derişimlerinin oluşturduğu çizgilerin yorumlanması yoluyla suların kökenlerinin benzer olup olmadığı değerlendirilmiştir. Bu verilere göre su kaynaklarının önemli bir bölümü benzer kökenli (Ca-HCO₃) olduğu görülmektedir. Bu kaynakların rezervuar kayası Mardin ve Midyat grubuna ait karbonatlı kayalardır. Diğer su kaynakları ise farklı tiplerini (Ca-Mg-SO₄, Na-HCO₃, Na-Cl, Ca-SO₄) yansıtmaktadır (Şekil 6).



Şekil 5: GAP bölgesindeki jeotermal kaynakların kimyasal özelliklerinin pasta diyagramında gösterimi



Şekil 6: GAP Bölgesindeki jeotermal kaynakların Piper diyagramında gösterimi

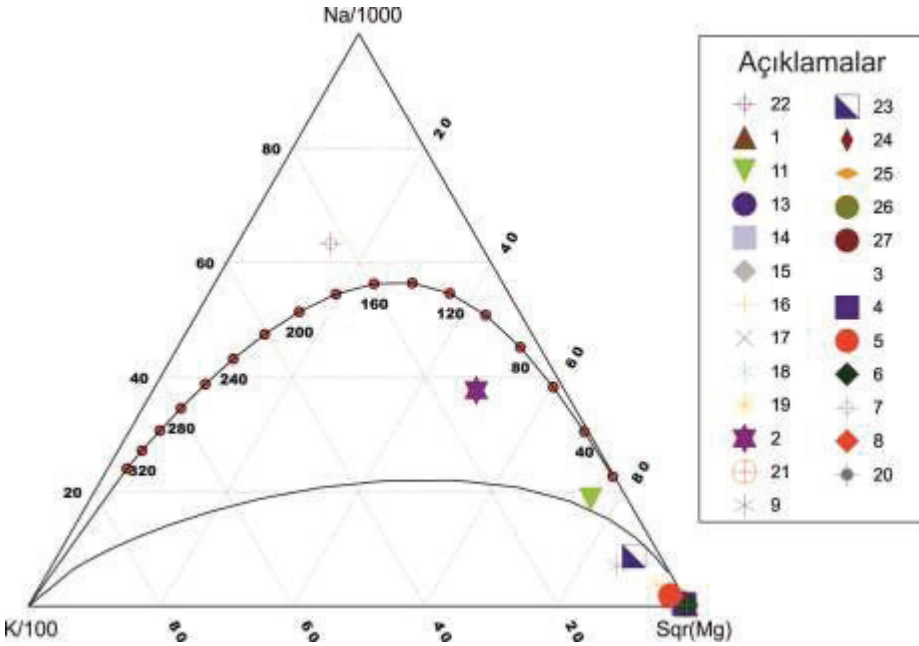


Şekil 7: GAP Bölgesindeki jeotermal kaynakların Schoeller diyagramında gösterimi

Çözünürlük jeotermometreleri ve diğer jeotermometreler akifer sıcaklığını belirlemek için kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında, Na/K, K/Mg, Na-K-Mg ve silis jeotermometreleri kullanılmıştır. Sodyum ve potasyumun sıcaklığa bağlı dağılımı bu elementler ile alkali feldispatlar arasındaki iyon değişimine bağlıdır (Nicholson, 1993).

Deneysel olan jeotermometre eşitlikleri Truesdell (1976), Fournier (1979), Giggenbach (1988) ve Arnorsson ve diğ., (1983) tarafından geliştirilmiştir. Mg derişimi sıcaklık artışıyla azaldığı için düşük sıcaklıklı su-kayaç dengesiyle ilişkili olduğu düşünülebilir (Nicholson, 1993). Na-K-Mg Jeotermometresiyle hem sıcak suların hazne sıcaklığı yorumlanabilmekte hem de katyon jeotermometrelerinin rezervuar sıcaklığının hesabı için jeotermal suya uygulanıp/uygulanmadığı kontrol edilebilmektedir. Ayrıca, Na-K-Mg diyagramı su ile kayaç arasındaki mineral denge ilişkilerinin incelemesinde kullanılan bir diyagramdır (Şekil 8). İnceleme alanında ölçülen hidrojeokimyasal verilere göre, inceleme alanındaki sıcak su kaynaklarının rezervuar sıcaklıkları 50 ile 200 °C arasında değişmektedir.

Na-K-Mg üçgen diyagramı göre 22 nolu dengelenmiş sular, 2 ve 11 nolu sular kısmen denge de olan sular, diğer su kaynakları ise dengede olmayan su sınıfına girmektedir.



Şekil 8: GAP Bölgesindeki jeotermal suların Giggenbach diyagramında gösterimi

5. Sonuç ve Öneriler

GAP bölgesinde gerek bölgedeki yaygınlıkları ve gerekse kalınlıkları nedeniyle Kretase yaşlı Mardin Grubu ile Eosen yaşlı Midyat Grubu kireçtaşları jeotermal sistemlerin ana rezervuarlarını oluşturmaktadır. Kretase yaşlı Şırnak Grubu'na ait Germav şeylleri, Miyosen yaşlı Lice ve Şelmo formasyonları da ana örtü kayalardır. Bölgede, volkanitlerin büyük bir kısmı çatlaktan çıkıp akan, derine doğru çatlak dolgusu şekline dönüşen bazaltik karakterdedir. Bu özellikleri nedeniyle volkanik etkinlik var ise de jeotermal kaynakların ısı kaynağı olarak yereldir.

GAP bölgesinde günümüzde kıtalar boyutunda ortaya çıkan sıkışmalı tektonik rejimde K-G yönlü açılma çatlakları jeotermal kaynakları yüzeye taşıyan akışkanın çıkışlarını sağlayan ana yapısal unsurlardır. Alandaki jeotermal kaynakların yüzey sıcaklığı 22.5 ile 84.5 °C arasında değişmektedir. Alandaki jeotermal kaynaklar Ca-Mg-SO₄, Na- HCO₃, Na-Cl, Ca-Mg-HCO₃, Ca-HCO₃, Ca-SO₄ gibi çok farklı su tipini yansıtmaktadır. GAP bölgesinde jeotermal kaynakların jeokimyasal, hidrojeoloji ve hidrojeokimyasal özellikleri ile ilgili çalışmalar çalışmalar son derece azdır. Bölge jeotermal potansiyel açısından zengindir. Ancak bu potansiyelin ekonomiye kazandırılması hususunda jeotermal amaçlı detay çalışmaların (hidrojeoloji, jeofizik ve sondaj gibi) yapılması gerekir.

Teşekkür

Bu çalışma GAP Başkanlığı tarafından desteklenmiştir. Çalışmanın süresince desteklerinden dolayı GAP Başkanlığı teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Akkuş, İ., Akıllı, H. , Ceyhan, S., Dilemre, A. , Tekin, Z. 2005. Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri, Envanter Serisi No:201 849 s, Ankara.
- Arnorsson, S., Gunnlaugsson, E. Svavarsson, H, 1983. The chemistry of geothermal waters in Iceland, III. Chemical geothermometry in geothermal investigations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47,567-577
- Baba, A., Akkuş,İ., Şaroğlu, F., Özel, N., Yeşilnacar, M.İ., Nalbantçılar, M.T., Demir, M., Gökçen, G, Arslan, Ş.,
- Dursun, N. ve Yazdani, H. 2015. GAP Jeotermal Kaynakları Geliştirme Projesi, GAP idaresi, Şanlıurfa.
- Baba, A., 2015. Doğal Kaynakların Korunması Ve Sürdürülebilir Yönetimi: Jeotermal Kaynaklar Örneği, Enerji Güvenliği Perspektifinden Türkiye'ye Bakış, Enerji Hukuku Enstitüsü, 85-100.
- Bolgi, T., 1964. Adıyaman Sahalarının Jeolojik Etüdü, TPAO Arşivi No.32 (Erişim Tarihi: 22 Nisan 2009)
- Doğdu M.Ş., Kirmizitaş, H., 2006. Karaali (Şanlıurfa-Yardımcı) Sıcak Suyunun Oluşumu Ve Rezervuar Sıcaklığının Tahmini, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi* 30 (1), 1-16
- Ercan, T., Şaroğlu, F., Turhan, N., Matsuda, J., Ui, T., Fujitani, T., Notsu, K., Bağırsakçı, S., Aktimur, S., Can, B.,
- Emre, Ö., Akçay, A.E., Manav, E., Gürler, H., 1991. Karacadağ Volkanitlerinin Jeolojisi ve Petrolojisi. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, S 6, S. 118-133.
- Ertürk, İ., 1999. Urfa-Karaali K-5 Kuyusu Kuyu Bitirme Raporu
- Erzenoğlu, Z. Özeke, H., 1984. Diyarbakır-Çermik Kaplıcası I Ve II Nolu Sıcak Su Sondajları Kuyu Bitirme Raporu: MTA Der. Rap. No: 7652, 7s. (Yayımlanmamış), Ankara.
- Eşder T., Buzkırın, M., 1998. Karaali (Şanlıurfa) Jeotermal Alanın Jeofizik (DES) Rezistivite Etüdü, JEOMAGMA, İzmir.
- Eşder T., Tümer, M., 1997. Karaali (Şanlıurfa) İl Özel İdaresine Ait Arazinin Jeofizik (DES) Etüdü, JEO-MAGMA, İzmir
- Eşder, T., 2004. Karaali (Şanlıurfa) İl Özel İdaresi Sahasında Açılan Jeotermal Enerji Üretim Kuyuları İle Jeotermal Alana İlişkin Rapor, JEO-MAGMA, İzmir.
- Foumier, R.O., 1979. A revised equation for the Na/K geothermometers. *Geothermal Resources Council Transactions*, 3, 221- 224.
- Giggenbach, W.F., 1988. Geothermal solute equilibria, derivation of Na-K-Mg-Ca geoindicators. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52, 2749-2765.
- Gök, C.,1984. Çermik İlçesi ve Çermik Kaplıcası İçmesuyu Temini Hakkında Hidrojeolojik Rapor. Çer-

- mik Belediyesi Arşivi.
- Günay, Y.; Fourcade, F.; Dercourt, J.; Azema, J.; Kozlu, H.; Bellier, J.P.; Cordey, F.; Cross, P.; Wever, P.; De-Enay, R.; Lover, J.P. Ve Vrielynck, B. 1990. Güneydoğu Türkiye'de Arap Plâformunun Kuzey Kenarı ve Bu Kenarın Mesozoyik'te Bir Tetis Okyanusal Alanına Geçışı: Stratigrafi-Paleocoğrafya: Türkiye 8. Petrol Kongresi Bildirileri, Ankara.
- Karli, R. 2000. Şanlıurfa-Karaali Sahası, Jeotermal Aramaları Jeofizik Rezistivite Etüdü, MTA, Ankara.
- Ketin, İ., 1983. Türkiye Jeolojisi'ne Genel Bir Bakış. İTÜ Vakfı, Kitap Yayın No:32, İstanbul, 309s.
- Mertoğlu, O. 2010. Şanlıurfa Karaali Jeotermal Sahası Muhtemel Teorik Potansiyel ve Ön Değerlendirme Raporu, T.C. Şanlıurfa Valiliği İl Özel İdaresi Su Ve Kanal Hizmetleri Müdürlüğü, Şanlıurfa.
- Nicholson, K., 1993, Geothermal Fluids; Chemistry and Exploration Techniques. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
- Özel, N., Bekişoğlu, Ş. 2002. Güneydoğu Anadolu Bölgesi Termal Su Kaynaklarının Seracılık ve Termal Turizmde Değerlendirilmesi. ÇESAV, Yayın No.1, Ankara, 158s.
- Özel, N., 2001. GAP Bölgesi'nin Jeolojisi Maden ve Enerji Kaynakları 2001, Şanlıurfa. Özel, N., 2010. Diyarbakır (Çermik) ve Şanlıurfa (Karaali) İllerinde Yer Alan Kaplıca Kaynaklarının Kökensele Olarak İncelenmesi, Çukurova Üniversitesi, Yüksek Lisans, Adana
- Pearce, J.A., Bender, J.F., De Long, S.E., Kidd, W.S.F., Low, P.J., Güner, Y., Şaroğlu, F., Yılmaz, Y., Morbath, S.,
- Mitchell, J.J. 1990. Genesis of collision volcanism in Eastern Anatolia Turkey. Journal of Volcanology and Geothermal Research 44, 189-229.
- Perinçek, D. ve Özkaya, I. 1981. Arabistan Levhası Kuzey 114 Kenarının Tektonik Evrimi: H.Ü. Yerbilimleri Enstitüsü Bült., 8, s. 91-101.
- Perinçek D., 1979. The Gology of Hazro-Korudağ-Çüngüş-Maden-Ergani-Elazığ- Malatya Area: Guide Book, T.J.K. Yayını, 33s.
- Perinçek, D. 1980. Arabistan Kıtası Kuzeyindeki Tektonik Evrimin Kıta Üzerinde Çökelen İstifteki Etkileri, Türkiye 5. Petrol Kong., Tebliğler, 77-93.
- Rigo De Righi, M ve Cortesini, A., 1964. Gravity Tectonics in Foothills Structure Belt of Southeast Turkey: AAPG Bult. Vol.48, No.12 pp, 1911-1937.
- Schmidt, G.C. 1964. Türkiye-İrak sınırlarında, Harbol Civarında Mevcut Permiyen ve Mesozoik Formasyonlar MTA Dergisi No. 62, Ankara.
- Sungurlu, O., 1972. VI. Bölge Gölbaşı-Gerger Arasındaki Sahanın Jeolojisi, TPAO Raporu. Arşiv No.802 (Yayımlanmamış).
- Sungurlu, O. 1974. IV. Bölge Kuzey Saha Jeolojisi: Türkiye 1. Petrol Kongresi Tebliğleri, 85-107.
- Şaroğlu, F., Emre, Ü. 1987. Karacadağ volkanitlerinin genel özellikleri ve Güneydoğu Anadolu otoktonundaki yeri: Türkiye 7. Petrol Kongresi Bildiriler Kitabı, 384-391.
- Şaroğlu, F. 1985. Doğu Anadolu'nun neotektonik dönemde jeolojik ve yapısal evrimi: İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora tezi, (yayımlanmamış).
- Şaroğlu, F., 1987. Doğu Anadolu'da Neotektonik Dönemdeki Jeolojik Evrim Ve Havza Modelleri. MTA Dergisi, 107, S.73-94.
- Şengör, A.M.C. Satır, M., Akkök, R. 1984. Timing of tectonic events in the Menderes Massif, western Turkey: implications for tectonic evolution and evidence for Pan-African basement in Turkey. Tectonics 4: 693- 707.
- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y. 1981. Tethyan evolution of Turkey: A Plate Tectonic Approach, Tectonophysics, 75, 181-224.

- Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y., 1983. Türkiye'de Tetis'in Evrimi, Levha Tektoniği Açısından Bir Yaklaşım T.J.K. Yerbilimleri Özel Dizisi, No: 1, 75s.
- Şengör, A.M.C. 1980. Türkiye'nin Neotektoniğinin Esasları, Türk. Jeol. Kur., Konf. Serisi, 2, 40.
- Truesdell, A. H., 1976. Summary of section III geochemical techniques in exploration. In: Proceedings, Second United Nations Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources. San Francisco, 1975, Vol.1, Washington D.C., U. S.Government Printing Office, IIII-IXXXIX.
- Turan, M. 1995. Doğu Torosların Jeodinamik Evriminin Elazığ Civarındaki Özellikleri, F.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, C.7/2, s.177-199, Elazığ.
- Uzel, Ö.F., Kalkan, İ., 1992. Şanlıurfa-Yardımcı-Karaali Kaplıcası Hidrojeoloji Etüdü, MTA Derleme No: 9419, 8s.
- Wilson, H.H., Krummenacher, R., 1957. Geology and Oil Prospects of the Gaziantep Region; Available Information in Technical Fields of NV Turkse Shell, 1963 Petroleum Activities In Turkey.Petroleum Administration Publication Bult.No.8
- Yazgan, E., Chessex, R., 1991. Geology and Tectonic Evolution of The Southeastern Taurides Inthe Region Of Malatya, T.P.J.D. Bült., 3/1,1-42.
- Yazgan, E., 1984. Geodynamic Evolution of the Eastren Taurus Region; Tekeli, O. and Göncüoğlu, M.C., Eds., "The Geology of the Taurus Belt", 199-208.
- Yılmaz, Y., Yiğitbaş, E. 1990. SE Anadolu'nun farklı ofiyolitik - metamorf birlikleri ve bunların jeolojik evrimdeki rolü; Türkiye Petrol Jeologları Derneği, Türkiye 8. Petrol Kongresi, Tebliğler, 128-140.
- Yılmaz, Y., 1981. Rift, Alakojen, İmpaktojen ve Türkiye'den Örnekler. TJK Konferans Dizisi 17, Ankara
- Yücel, B., 1989a. Çermik (Diyarbakır) Yöresinin Jeolojisi ve Jeotermal Enerji Olanakları: MTA Der. Rap. No: 8744 (Yayınlanmamış) Ankara.
- Yücel, B., 1989b. Siirt-Billoris Kaplıcası Dolayının Jeolojisi ve Jeotermal Enerji Olanakları: MTA Der. Rap. No: 8750 (Yayınlanmamış) Ankara.

POLATLI-KARAHAMZALI-ÖZHAMAMI-SABANCA SICAK SU KAYNAKLARININ HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Hafize Akıllı¹, Halim Mutlu²

¹MTA Genel Müdürlüğü, Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığı, 06800
ANKARA

²Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06100 Tandoğan
ANKARA

(hafizeakilli@gmail.com)

ÖZ

Bu çalışmada Ankara ilinin Polatlı ilçesi doğusunda yer alan Karahamzalı-Özhamamı-Sabanca sıcak su kaynaklarının hidrojeokimyasal özellikleri tartışılmıştır. Çalışma alanının temelini Ankara Grubuna ait Paleozoyik-Alt Triyas yaşlı düşük dereceli metamorfizma geçirmiş kayalar oluşturur. Bu birimin üzerine uyumsuz olarak Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Bilecik kireçtaşları gelir. Paleosen yaşlı Kartal ve Kırkkavak formasyonları, Eosen yaşlı Ilgınlıkdere formasyonu ile Üst-Miyosen-Alt Pliyosen yaşlı Alagöz formasyonu çakıltası, kumtaşı, marn, kireçtaşı ve volkanik birimlerden oluşmaktadır. Kuvaterner ise alüvyon ve sıcak su kaynakları civarında çökelmiş travertenler ile karakteristiktir. Bilecik kireçtaşları rezervuar kayayı, üst seviyelerdeki marnlı seviyeler ise örtü kayayı oluşturmaktadır. Sıcaklıkları 21.0-29.9°C arasında değişen Polatlı termal kaynakları düşük sıcaklıklı kaynak sınıfına girmektedir.

Bu çalışma kapsamında 6 adet sıcak ve 5 adet soğuk suyun kaynak başında fiziksel parametreleri ölçülmüş ve örnekler alınarak analizleri yapılmıştır. Karahamzalı bölgesindeki sıcak sular Paleosen yaşlı Kartal formasyonundan boşalmakta olup, Ca-Na-HCO₃ 'lı sular sınıfına girmektedir. Özhamamı bölgesindeki sular Üst Miyosen-Alt Pleyistosen yaşlı Alagöz formasyonundan boşalmakta olup, Özhamamı kaynağı Na-Cl-HCO₃, Ilica kaynağı Ca-Na-Mg-SO₄-HCO₃ 'lı sular sınıfına girmektedir. Sabanca sıcak su kaynağı ise Kırkkavak formasyonunun kireçtaşı seviyelerinden boşalım yapmakta olup, Na-HCO₃ bileşimiyle diğer su kaynaklarından farklılık göstermektedir. Polatlı sıcak suları dolomit, kalsit ve aragonite göre doygunken, jips, anhidrit ve halite göre doygunluk altı davranış gösterirler.

İnceleme alanında bulunan sıcak suların kimyasal jeotermometre kullanımına uygunlukları Na-K-Mg üçgen diyagramında incelenmiş ve suların olgun olmayan sular grubunda yer aldıkları görülmüştür. Bu nedenle katyon jeotermometreleri yerine silis jeotermometreleri tercih edilmiştir. Kalsedon jeotermometresi ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları Karahamzalı suları için 29-37°C, Özhamamı kaynağı için 39-42°C, Ilica kaynağı için 24-28°C ve Sabanca kaynağı için 57-62°C arasındadır.

Anahtar Kelimeler: Polatlı sıcak suları, hidrojeokimya, Jeotermometre, su tipi, Ankara.

HYDROGEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE POLATLI-KARAHAMZALI-ÖZHAMAMI-SABANCA THERMAL WATERS

Hafize Akullı¹, Halim Mutlu²

¹General Directorate of Mineral Research and Exploration, Department of Energy Raw material Research and Exploration, 06800 ANKARA

²Ankara University, Engineering Faculty, Geology Engineering Department, 06100 Tandoğan ANKARA
(hafizeakilli@gmail.com)

ABSTRACT

In this study hydrogeochemical characteristics of Karahamzali-Özhamami-Sabanca thermal waters located in the east of Polatlı district of Ankara are discussed. The slightly metamorphosed Upper Paleozoic-Lower Triassic rocks of the Ankara Group comprise the basement in the region. These units are unconformably overlain by the Upper Jurassic-Lower Cretaceous aged Bilecik Limestones. Paleocene aged Kartal and Kirkkavak formations, Eocene aged Ilınlıkdere formation and Upper-Miocene-Lower Pliocene aged Alagöz formation are made up of conglomerate, sandstone, marl, limestone and volcanite units. The Quaternary is characterized by alluvium and travertine that are currently precipitated around the hot springs sites. The Bilecik Limestone comprises the reservoir rock whilst marl in the upper levels forms the cap rock. The Polatlı thermal waters with discharge temperatures of 21 to 30°C are classified as low-temperature springs.

In this study, physical parameters of 6 hot and 4 cold waters were measured at spring sites and sampled for chemical analysis. Karahamzali thermal waters are of Ca-Na-HCO₃ type and discharged from the Kartal formation. Thermal waters in the Özhamami area are issued from the Alagöz Formation and Özhamami thermal water is Na-Cl-HCO₃ type and Ilica thermal water is Ca-Na-Mg-SO₄-HCO₃ type. The Sabanca thermal waters are discharged from limestone levels of Kirkkavak formation and differ from other waters with chemical composition of Na-HCO₃. The thermal waters of Polatlı are oversaturated with respect to dolomite, calcite and aragonite and slightly undersaturated with respect to gypsum, anhydrite and halite.

In order to determine reservoir temperatures, the Polatlı geothermal waters were first evaluated on the Na-K-Mg diagram and they are found to be immature in character. Therefore, rather than cation geothermometers silica geothermometers are preferred. Reservoir temperatures estimated by chalcedony geothermometers are 29-37 °C for Karahamzali, 39-42 °C for Özhamami, 24-28°C for Ilica and 57-62 °C for the Sabanca springs.

Keywords: Polatlı thermal waters, hydrogeochemistry, geothermometer

GİRİŞ

Son yıllarda yeni enerji kaynağına yönelik araştırmalar yapılırken, yenilenebilir enerji kaynaklarından jeotermal enerjide de çalışmalar hızlanmıştır. Ankara sıcak ve mineralli su kaynakları bakımından oldukça zengin bir ildir. Sıcaklıkları 20-80 °C arasında değişen sıcak ve mineralli su kaynakları yer almaktadır. Ankara ve civarında yapılan jeotermal etüt çalışmaları sonucunda çok sayıda yeni jeotermal saha keşfedilmiş, kaynak sıcaklığı düşük sahalarda açılan sondajlarla da daha yüksek sıcaklıklı akışkanların varlığı ortaya konmuştur.

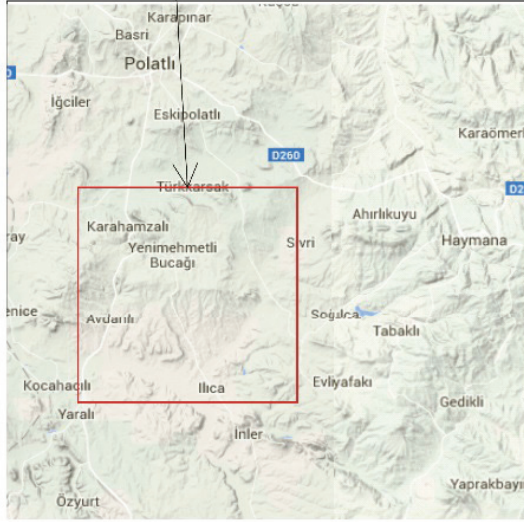
Polatlı'nın doğusunda sıcaklıkları 21-31°C arasında değişen Karahamzalı (PKH-2, PKH-4, PKH-5), Ilıca (PÖ-1), Özhamamı (PÖ-2) ve Sabanca (PSS-2) sıcak ve mineralli su kaynakları bulunmakta olup (Şekil 1), kaynakların herhangi bir kullanımı olmayıp, kendi halinde boşa aktarmaktadırlar. Sıcak suların Özhamamı ve Sabanca kaynakları birkaç noktadan çıkmakta olup, göl alanı oluşturmaktadırlar. Karahamzalı kaynakları da birkaç noktadan boşalım yapmakta olup, kaynakların debileri sızıntıdan 1 l/s debiye kadar ulaşmaktadır. Ilıca kaynağının debisi 1,5 l/s'dir. Söz konusu alanlar Polatlı Belediyesinin ruhsatlı sahaları olup, sıcak sulara ait prospeksiyon çalışması ile kaynakların değerlendirilmesine yönelik etüt çalışmaları yapılmıştır. Kaynaklarla ilgili yapılacak çalışmalar sonucu daha yüksek sıcaklık ve debi elde edilmesi durumunda bölgede özellikle kaplıca turizmine yönelik yatırımlar hız kazanacaktır. Ayrıca alanda inceleme alanının jeolojisine ve petrol aramaya yönelik çalışmalar da gerçekleştirilmiştir (Granit 1978, Gönenç 1978, Ünalın, vd, 1976, Bilgin vd, 2010).

Polatlı yöresinde yer alan sıcak ve mineralli sular ile çevredeki soğuk su kaynaklarının oluşumu, kökeni ve hidrokimyasal özellikleri ile sıcak suların kullanım alanlarının belirlenmesi bu çalışmanın ana amacını oluşturmaktadır.

MATERYAL VE METOT

Çalışma alanında bulunan soğuk ve sıcak su kaynaklarının, kaynak başında fiziksel parametreleri ölçülmüştür. Söz konusu kaynaklardan Ekim-Kasım 2014 ve Haziran 2015 tarihlerinde majör ve iz element analizleri için örnekler alınmıştır. Karahamzalı sahasında 3 adet sıcak su ve 2 adet soğuk su, Özhamamı-Sabancı sahasından 3 adet sıcak su ve 2 adet soğuk su örneği alınmıştır. Suların sıcaklıkları, pH, elektriksel iletkenlik, çözülmüş oksijen değerleri kaynak başında HAQ-multi prob cihazı ile ölçülmüştür. Hidrokimyasal analizler için 1 litrelik şişeler kullanılmıştır. Her su örneğinden iki adet örnek alınmış olup, örneklerden bir tanesine (katyon analizleri için) pH<2'yi sağlaması için HNO₃ ilave edilmiştir. Alınan su örneklerinin analizleri MTA Genel Müdürlüğü MAT Dairesi Başkanlığı Su Analiz Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. HCO₃⁻ ve CO₃⁻² analizleri titrasyon yöntemi ile yapılmıştır. Majör anyon ve katyonlar kütle spektrometresi ile analiz edilmiştir. Sıcak ve soğuk su örneklerinin iyon denge değerleri % 6 dan azdır. Sıcak ve soğuk su örneklerinin doygunluk indisi hesaplamaları Windows uyumlu PhreeqC programı ile yapılmış ve değerlendirilmiştir.

Oksijen-18, döteryum ve trityum analizleri DSİ Genel Müdürlüğü TAKK İzotop Laboratuvarlarında yaptırılmıştır. Sıcak su kaynakları ve kaynakların rezervuarını oluşturan kireçtaşları ile çöktelisini oluşturan travertenlerden örnekler alınarak ODTÜ Merkez Laboratuvarlarında ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr izotop ölçümleri yaptırılmıştır. Sıcak su örneklerinin sülfat bileşiminde kükürt ve oksijen (d34S-d18O) analizi yapılmak için yeniden örnekleme yapılmış, laboratuvarında gravimetrik yöntemle SO₄ iyonu çökteltilmiştir. Sıcak ve soğuk su örneklerinin ¹³C (DIC) ile sıcak su kaynakları ve çevresindeki karbonatlı birimlerden alınan örneklerde karbonat ve oksijen (δ¹³C-δ¹⁸O) analizi



Şekil 1- Çalışma alanı yer bulduru haritaları.

ÇALIŞMA ALANININ GENEL JEOLJİSİ

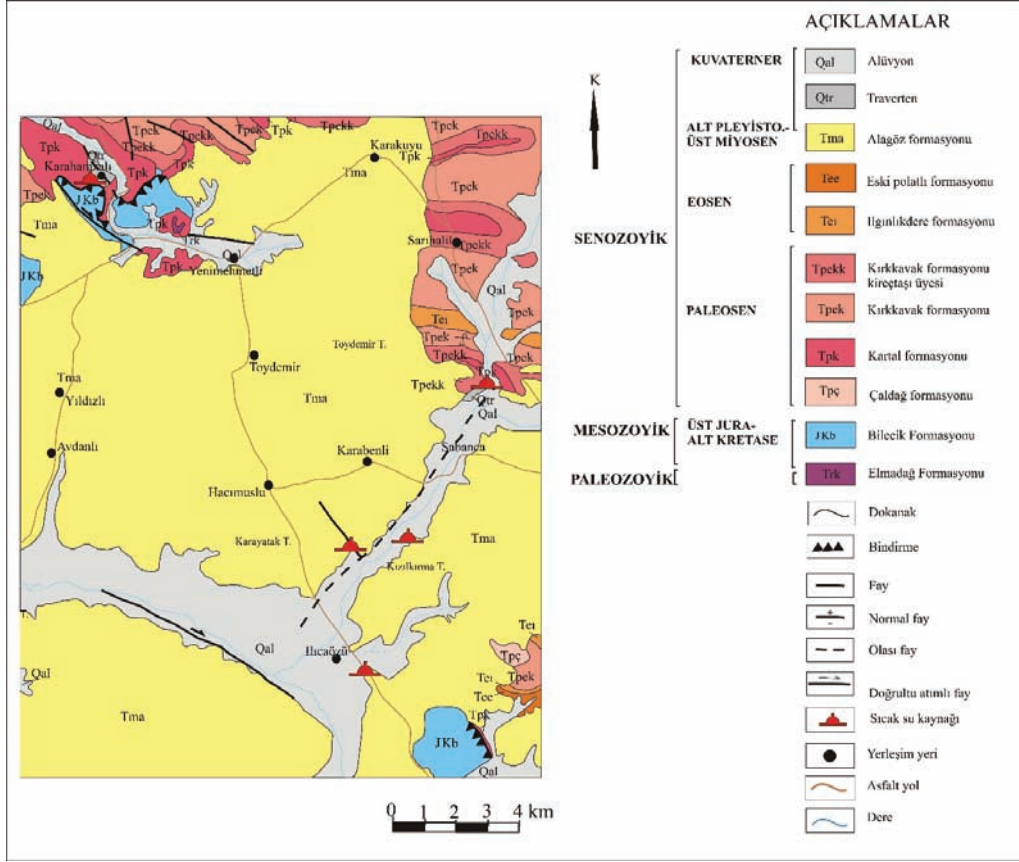
Çalışma alanının temelini Ankara Grubuna (Akyürek vd., 1986, 1996) ait Üst Permiyen-Alt Triyas yaşlı düşük dereceli metamorfizma geçirmiş kayalar oluşturur. Karahamzalı köyünün güneydoğusunda ve Yenimehmetli köyünün kuzeybatısında dar bir alanda yüzeyleyen metamorfikler metaçakıtaşı, meta kumtaşı, meta kilitaşı, meta volkaniklerden oluşmuştur (Şekil 2). Bu birimin üzerine uyumsuz olarak Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Bilecik kireçtaşları gelmekte olup, Karahamzalı köyünün güneydoğu-doğusunda ve Ilıca köyünün güneydoğusunda yüzeylenmektedirler. Rezervuar özellikle olan birim çok kaba tabakalı, masif görümlü blok şeklin-

de, krem, kirli beyaz, açık gri renkli, kristalize kireçtaşları ile temsil edilirler.

Senozoyik, Paelosen yaşlı Kartal formasyonu ile başlar. Birim kırmızı-bordo, kahverenkli birim çakıltaşı, kumtaşı, marn ve kireçtaşından oluşur (Ünalın vd, 1976 ve Bilgin vd., 2010). Karahamzalı ve Sabanca köyleri civarında yüzeylenen birimin üzerine, Karahamzalı köyü civarında tektonik dokanakla Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Bilecik kireçtaşları gelmektedir. Paleosen yaşlı Çaldağ formasyonu Kartal formasyonu ile yanall geçişli olup, algli kireçtaşlarından oluşmuştur. Doğuda Sabanca köyü civarında ise Kartal formasyonu ve Kırkkavak formasyonu arasındaki dokanak geçişlidir (Ünalın vd., 1976; Bilgin vd., 2010). Kırkkavak formasyonu marn ve algli kireçtaşı aralanmasından oluşmaktadır. Eosen yaşlı Ilgınlıkdere formasyonu olarak bilinen çakıltaşı, kumtaşı ve şeylden oluşan birim uyumlu olarak Kırkkavak formasyonu üzerine çökelmiştir. Eskipolatlı formasyonu Üst Paleosen-Eosen yaşlı olup, şeyl-kumtaşı aralanmasından oluşmuştur.

Çalışma alanında geniş alanlarda yüzeyleyen Alagöz formasyonu Üst Miyosen-Alt Pleyistosen yaşlıdır (Bilgin vd., 2010). Formasyon çakıltaşı, kumtaşı, kiltası, marn, çamurtaşı ve kireçtaşından oluşmuştur. Kuvaterner ise alüvyon ve traverten ile temsil edilmektedir. Alüvyon, akarsular boyunca çökelmiş olup kum, silt, çakıl ve kil boyutunda malzemedan oluşur. Traverten, sıcak su kaynaklarının çıkışı ile oluşmakta olup, Karahamzalı köyünde geniş bir alanda yüzeylenmiştir. Ayrıca Sabanca kaynağı civarında da kaynağın çıktığı alanda dar bir yüzlek vermektedir.

Alp-Himalaya tektonik kuşağı üzerinde yer alan Türkiye'nin neotektonik alanları, Kuzey Türkiye Bölgesi, Doğu Anadolu Daralma Bölgesi, Orta Anadolu "Ova" Bölgesi ve Batı Anadolu Genişleme Bölgesi olarak bölümlere ayrılmıştır (Şengör vd., 1985). Çalışma alanında K-G yönlü sıkışmanın etkisine bağlı olarak bindirme, kıvrımlar ve faylar gelişmiştir. Karahamzalı köyünün güneydoğusunda bulunan bir taş ocağında sağ yanall doğrultu atımlı fayın izleri gözlenmektedir (Şekil 3). Karahamzalı kaynaklarının yüzeye taşınmasında bu faya paralel olarak gelişen fayların etkisi bulunmaktadır. Karahamzalı PKH-2 sıcak su örneğinde yapılan radon ölçümlerinde 1399,44pCi/l değeri oldukça yüksek olan radon değerinin aktif tektonik hatlar boyunca yüzeye rahat çıktığını göstermektedir. Ilıca köyü civarında yapılan jeofizik çalışmalarında sağ yanall atımlı fayın etkisi Bülbül vd (2015) tarafından ortaya konulmuştur. Çalışma alanında KB-GD ve KD-GB yönlü normal faylar da yer almaktadır. Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Bilecik kireçtaşının Paleosen yaşlı Kartal formasyonu üzerine bindirmesi ile sahanın kuzeyindeki kıvrımlar bölgedeki K-G yönlü sıkışmanın etkisiyle oluşmuştur.



Şekil 2- Çalışma alanının jeoloji haritası (Bilgin vd., 2010'dan değiştirilerek alınmıştır).

SU KİMYASI ÇALIŞMALARI

İnceleme alanı su örneklerinin kaynak başında ölçülen fiziksel özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. İnceleme alanındaki sıcak suların pH değerleri 6,56-7,55, sıcaklığı 21,2-31 °C arasında değişmektedir. Soğuk suların sıcaklığı ise 11,2-18 °C arasındadır. Kaynak başında ölçülen elektriksel iletkenlik değerleri Karahamzalı sahasında 739-1222 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 1024-2600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmektedir.

İnceleme alanından alınan örneklerin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir. İnceleme alanında örneklenen sıcak su kaynaklarının birbirleri ve soğuk su kaynaklarıyla olan kökensel benzerlik ve farklılıklarının gösterilmesi amacıyla yarı logaritmik Schoeller diyagramı çizilmiştir (Şekil 4). Karahamzalı bölgesindeki tüm sular aynı kökenli olup, diyagramdaki eğriler birbiriyle paralellik göstermektedirler. Söz konusu paralellik, suların aynı akım yolu üzerinden geldikleri ve/veya aynı rezervuardan beslendiklerini göstermektedir. Sular Kartal formasyonundan boşalım yapmakta olup, $\text{Ca}^{+2}\text{-Na}^+\text{-HCO}_3^-$ sınıfındadır. PKH-3 kaynağı ise Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Bilecik formasyonunun kireçtaşlarından boşalım yapmaktadır. Özhamamı kaynağı ile Sabanca kaynağının iyon konsantrasyonları diğer kaynaklara göre biraz daha fazladır. Özhamamı-Sabancı bölgesindeki sular da ise, Özhamamı (PÖ-2) ve Ilıca kaynağı

(PÖ-1) sıcak suları aynı kökenden gelmektedir. Sabanca sıcak su kaynağı ise (PSS-2) yüksek Na^+ ve HCO_3^- değerleriyle diğer su kaynaklarından farklılık göstermektedir. Bu da suyun derin dolaşımı olabileceğini göstermektedir. Aynı zamanda Sabanca ve Özhamamı kaynaklarındaki yüksek Cl^- değeri de göze çarpmaktadır. Yüksek klorür değeri, suların beslenme alanında eğer evaporitik bir kaynak yoksa derin dolaşımı ifade etmektedir. Ayrıca klor, çözüldükten sonra başka minerallerin bünyesine kolay girmediği için doğrudan jeotermal suyu ifade eder. Ancak düşük sıcaklık değerleri, sıcak suların yüzeye çıkarken soğuk su ile karıştığı söylenebilir. Sabanca kaynağındaki düşük SO_4^{2-} konsantrasyonunun nedeni de sülfatın kükürt yiyen bakteriler tarafından tüketildiğini düşündürmektedir.

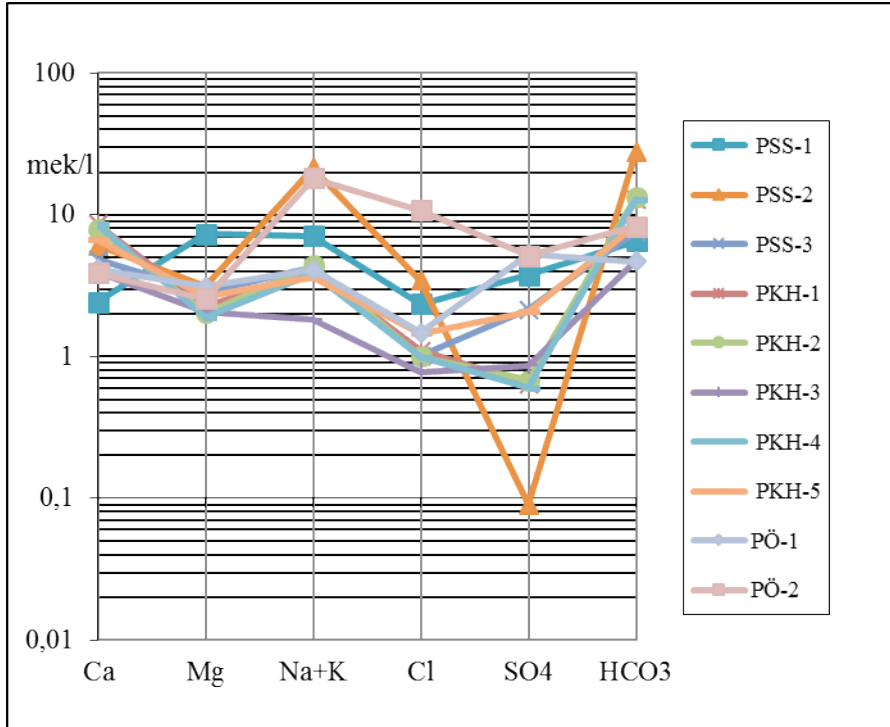
Piper diyagramındaki üçgen diyagramlar suların hidrokimyasal fasiyes tiplerinin görülmesinde, dörtgen ise suların sınıflandırılması ve karşılaştırılmasında kolaylık sağlamaktadır (Şekil 5). Karahamzalı bölgesindeki tüm sular $\text{Ca}^{+2}\text{-Na}^+\text{-HCO}_3^-$ fasiyesinde olup (Çizelge 3), Üst Jura-Alt Kretase yaşlı kireçtaşları ile Paleosen yaşlı Kartal formasyonunun çakıllı, ve kumlu seviyelerinden beslenmektedir. Özhamamı-Sabancıca bölgesindeki sıcak suların hepsi Piper diyagramında farklı bölgelere düşmektedirler. Sabanca sıcak suyu (PSS-2), doğada az bulunan yumuşak sular sınıfına girmektedir. PSS-1 nolu soğuk su örneğinin Mg ve Na değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Yüksek Mg değeri suların derinlere kadar süzülmediğini, yüzeysel yıkanma sonucu suda Mg'un zenginleşmiş olduğu düşünülmektedir. PSS-3 örneği ise $\text{Ca}^{+2}\text{-Na}^+\text{-Mg}^{+2}\text{-HCO}_3^-$ lı sular sınıfına girmektedir. Özhamamı kaynağı (PÖ-2) NaCl , NaSO_4 lı suların olduğu bölgede yer almaktadır. Ilica kaynağı ise (PÖ-1) iyonlarının hiçbirini % 50'yi geçmeyen karışık sular sınıfına girmektedir.



Şekil 3-Karahamzalı köyünün G-GD'dan geçen sağ yanal atımlı fayın izleri.

Çizelge 1- İnceleme alanından alınan su örneklerinin kaynak başı ölçüm değerleri.

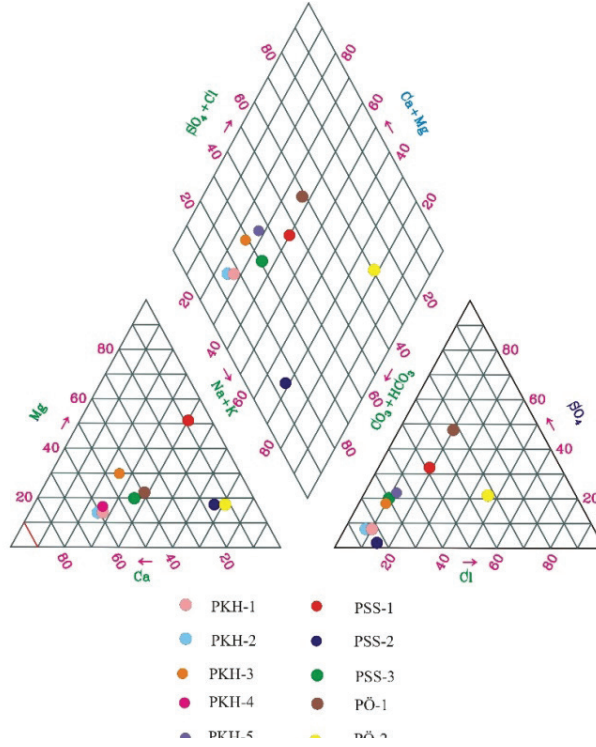
Örnek No	Örnek Adı	Alındığı Tarih	Q (l/s)	pH	EC (µS/cm)	Tuzluluk (ppt)	T °C	Çözünmüş O ₂ (mg/l)	
									TDS (mg/l)
PKH-1	Karahamzalı Köyü Soğuk su Kaynağı	07.11.2014	0,35	7,22	1222	0,5	11,8	1,08	794
PKH-2	Karahamzalı Sıcak Su Kaynağı-1	22.10.2014	0,3	6,7	1177	0,5	25,9	-	-
PKH-3	Yenimehmetli Soğuk Su Kaynağı	22.10.2014	0,23	7,17	739	0,3	15,1	-	-
PKH-4	Karahamzalı Sıcak Su Kaynağı-2	22.10.2014	0,2	6,7	1177	0,5	29,9	-	-
PKH-5	Karahamzalı Sıcak Su Kaynağı-2	22.10.2014	0,3	6,7	1115	0,5	28,6	-	-
PÖ-1	Ilıca Sıcak Su Kaynağı	22.10.2014	1,5	6,5	1029	0,5	21,2	-	-
PÖ-2	Özhamamı Sıcak Su Kaynağı	22.10.2014	-	7,43	2300	1,2	31,0	-	-
PSS-1	Hacımuslu Soğuk Su Kaynağı	07.11.2014	0,24	7,89	1446	0,7	11,2	8,45	940
PSS-2	Sabanca Sıcak Su Kaynağı	07.11.2014	-	6,89	2600	1,3	24,0	7,89	1693
PSS-3	Sabanca Soğuk Su Kaynağı	07.11.2014	1,3	7,11	1024	0,4	18,0	7,11	668



Şekil 4- İnceleme alanından alınan su örneklerinin Schoeller diyagramı.

Çizelge 2 – İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk su kaynaklarının majör iyon bileşimleri (Değerler mg/l cinsindedir, radon sonuçları pCi/l'dir.)

Alındığı Bölge	Örnek no	Örneğin Alındığı Tarih	Sıcaklık (°C)	pH (25 °C)	EC (25 °C) µmho/cm	Toplam sertlik (°Fr)	K	Na	Ca	Mg	SiO ₂	HCO ₃	CO ₃	SO ₄	Cl	B	F	Li	Rn
Polatlı-Karamazalı	PKH-1	07.11.2014	11,8	6,76	1213	54,1	7,27	89,8	172	27,4	18,6	785	<10	30,6	39	1,3	0,9	<0,1	-
	PKH-2	22.10.2014	25,9	6,90	1192	49,82	9,33	84,4	159	24,7	17,5	816	<10	32,7	35,5	1,2	1	<0,1	1399,44
	PKH-3	22.10.2014	15,1	7,17	746,15	29,82	6	38,8	78,7	24,9	20	293	<10	41,4	27,8	0,7	0,8	<0,1	-
	PKH-4	22.10.2014	29,9	6,56	1159,8	52,14	9,47	82,3	171	23	17	783	<10	29	35,2	1,2	1	<0,1	812,62
	PKH-5	22.10.2014	28,6	6,94	1117,6	46,78	6,68	79,1	134	32,2	15	514	<10	99,3	51,9	1,1	0,8	<0,1	851,23
Polatlı-Özhmamı-Sabancı	PÖ-1	22.10.2014	21,2	7,55	1034,2	36,07	6,35	90,3	82,6	37,7	13,3	285	<10	254	52,3	0,7	0,2	<0,1	80,37
	PÖ-2	22.10.2014	31,0	7,43	2335,2	32,32	15,1	408	77,9	31,1	20	508	<10	248	384	3,6	0,7	0,1	65,88
	PSS-1	07.11.2014	11,2	7,87	1452	48,75	1,28	161	48,5	89	22	399	17,8	180	83	0,7	1,5	0,1	-
Polatlı-Özhmamı-Sabancı	PSS-2	11.11.2014	24	6,78	2591	45,71	19,3	482	121	37,9	35,7	1698	<10	4,24	122	10,9	4	0,2	24,62
	PSS-3	11.11.2014	18	7,17	1035	38,39	9,74	92,3	96,4	34,6	16	466	<10	103	35,7	2,1	0,8	<0,1	-



Şekil 5- İnceleme alanından alınan su örneklerinin Piper diyagramı

Çizelge 3 -Sıcak ve soğuk suların anyon-kasyon sıralaması.

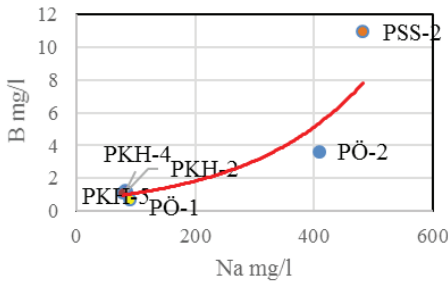
Örnek No	Kasyonlar	Anyonlar	Kaynağın Boşalım Yaptığı Formasyon	Su Tipi (IAH Sınıflaması)
PKH-1	$Ca^{+2} > (Na^{+} + K^{+}) > Mg^{+2}$	$HCO_3^{-} > Cl^{-} > SO_4^{-2}$	Kartal Formasyonu	Ca-Na- HCO_3
PKH-2	$Ca^{+2} > (Na^{+} + K^{+}) > Mg^{+2}$	$HCO_3^{-} > Cl^{-} > SO_4^{-2}$	Kartal Formasyonu	Ca-Na- HCO_3
PKH-3	$Ca^{+2} > Mg^{+2} > (Na^{+} + K^{+})$	$HCO_3^{-} > SO_4^{-2} > Cl^{-}$	Bilecik kireçtaşı	Ca-Mg-Na- HCO_3
PKH-4	$Ca^{+2} > (Na^{+} + K^{+}) > Mg^{+2}$	$HCO_3^{-} > Cl^{-} > SO_4^{-2}$	Kartal Formasyonu	Ca-Na- HCO_3
PKH-5	$Ca^{+2} > (Na^{+} + K^{+}) > Mg^{+2}$	$HCO_3^{-} > SO_4^{-2} > Cl^{-}$	Kartal Formasyonu	Ca-Na-Mg- HCO_3
PÖ-1	$Ca^{+2} > (Na^{+} + K^{+}) > Mg^{+2}$	$SO_4^{-2} > HCO_3^{-} > Cl^{-}$	Alagöz Formasyonu	Ca-Na-Mg- SO_4 - HCO_3
PÖ-2	$(Na^{+} + K^{+}) > Ca^{+2} > Mg^{+2}$	$Cl^{-} > HCO_3^{-} > SO_4^{-2}$	Alagöz Formasyonu	Na -Cl- HCO_3 - SO_4
PSS-1	$Mg^{+2} > (Na^{+} + K^{+}) > Ca^{+2}$	$HCO_3^{-} > SO_4^{-2} > Cl^{-}$	Alagöz Formasyonu	Mg-Na- HCO_3 - SO_4
PSS-2	$(Na^{+} + K^{+}) > Ca^{+2} > Mg^{+2}$	$HCO_3^{-} > Cl^{-} > SO_4^{-2}$	Kırkkavak Formasyonu	Na- HCO_3
PSS-3	$Ca^{+2} > (Na^{+} + K^{+}) > Mg^{+2}$	$HCO_3^{-} > SO_4^{-2} > Cl^{-}$	Alagöz Formasyonu	Ca-Na-Mg- HCO_3

Sıcak su kaynaklarındaki F konsantrasyonu 0,2-4 mg/l arasında değişmektedir. Sulardaki Ca konsantrasyonu ve düşük olan F değerleri, suların temas ettiği sedimanter kayaların varlığını ifade etmektedir.

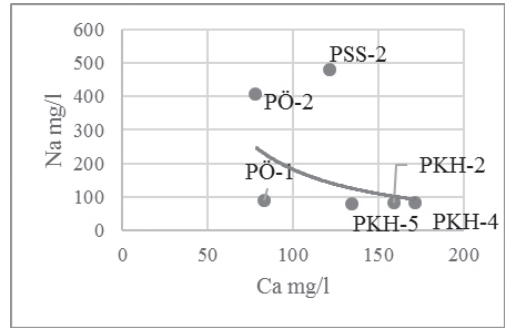
Sulardaki SiO₂ değerleri normal yeraltı sularında oldukça düşük, sıcak sularda ise yüksek değerdedir (Truesdell, 1984). İnceleme alanındaki soğuk sulardaki SiO₂ konsantrasyonu 15-22 mg/l arasında değişirken sıcak suların SiO₂ değeri 13,3-35,7 mg/l arasında değişmektedir. Sıcak sulardaki belirtilen SiO₂ değeri soğuk sularınkine yakın olup, soğuk su karışımının olabileceği söylenebilir.

Suların Na-Ca iyonlarının gösterildiği grafik (Şekil 6a) incelendiğinde Özhamamı ve Sabanca kaynaklarının daha derinden geldiği ve yüzey sularından çok etkilenmediği söylenebilir. Karahamzalı bölgesindeki sıcak suların ise soğuk yeraltı suları ile karıştığı ve karışım sularında kalsiyum iyonu artarken sodyum iyonunun azaldığı grafikte de (Şekil 6a) görülmektedir. Bor sıcak sularda bulunan özel elemanlardan birisidir. Bor-Na iyonlarının birbiriyle olan ilişkisini ortaya koymak için çizilen grafikte (Şekil 6b) Sabanca ve Özhamamı su kaynaklarının rezervuardaki suya daha yakın özellikte olduğu, Karahamzalı ve Ilıca kaynağı sularının ise bu suların soğuk sularla karışımından türediğini söyleyebiliriz.

Sıcak su kaynaklarından alınan örneklerde radon ölçümleri yapılmıştır (Çizelge 2). Yapılan ölçümlerde Karahamzalı kaynaklarının (PKH-2, PKH-4 ve PKH-5) radon değerleri yüksek olup, tam kırık hattı boyunca çıktıkları ortaya konmuştur.



(a)



(b)

Şekil 6- Sıcak suların Na-Ca (a) ve B-Na (b) arasındaki ilişki.

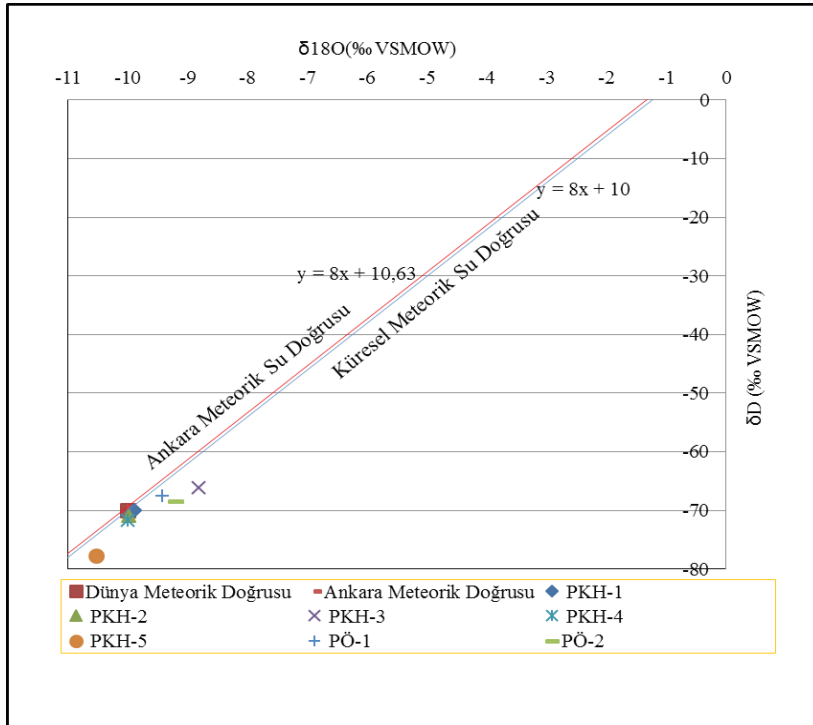
Duraylı İzotoplar

Çevresel izotopların jeotermal aramalarda kullanılması ile akışkanların kökenleri, akışkanların bileşimini etkileyen faktörler, akışkan içindeki bileşiklerin kaynakları, jeotermal akışkanın yaşı ve rezervuar sıcaklığı hakkında bilgi sahibi olunmaktadır. Craig (1961), tatlı yüzey sularında $\delta^2\text{H}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ arasında $\delta^2\text{H}=8 \delta^{18}\text{O}+10$ şeklinde bir ilişkinin olduğunu belirtmiştir. Bu bağıntı Küresel Meteorik Su Doğrusu olarak bilinir. Her bölgenin iklim durumuna, yüksekliğe bağlı olarak Küresel Meteorik Su Doğrusuna paralel Yerel Meteorik Su Doğrusu çıkartılabilir. Sayın ve Eyüpoğlu (2005), IAEA ve WMO işbirliği çerçevesinde Türkiye'deki Adana, Antalya ve Ankara yağış istasyonlarından Ocak 1963-Aralık 2000 tarihleri arasındaki aylık yağış örneklerine ait kararlı izotop içerikleri GNIP veri tabanından alarak bu illerin yerel meteorik doğrularını hesaplamışlardır. Ankara için hesaplanan değer $\delta\text{D}= 8*\delta^{18}\text{O}+10,63$ 'dir.

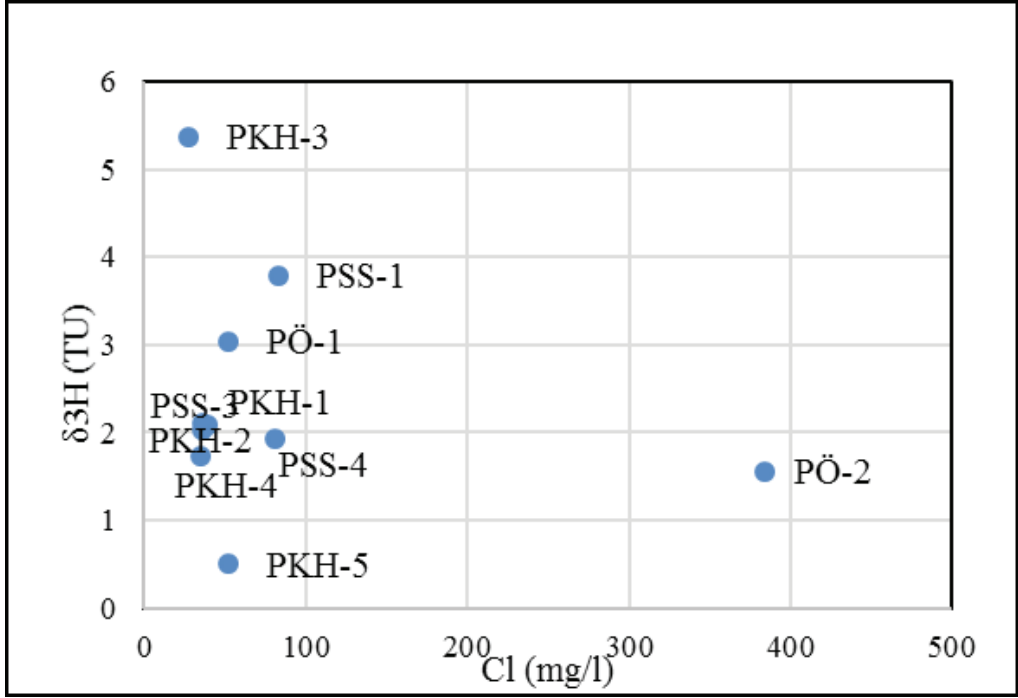
İnceleme alanından alınan sıcak ve soğuk su örneklerinin δD ve $\delta^{18}O$ değerleri, Ankara ve Küresel Meteorik Su Doğruları Şekil 7’de verilmiştir.

Grafik incelendiğinde tüm sıcak ve soğuk su kaynaklarının Ankara ve Küresel Meteorik Su doğrularının altında kaldığı görülmektedir. PÖ-1 ve PÖ-2 sıcak su kaynaklarındaki $\delta^{18}O$ değeri daha yüksek olup, diğer sıcak su kaynaklarına oranla derin dolaşımı ifade etmektedir. Karahamzalı sıcak suları meteorik su çizgilerine çok yakın olup, soğuk yeraltı sularının karışmış olabileceği söylenebilir.

Suların derin veya sığ dolaşımli olduğunu gösteren grafiklerden birisi de ^3H-Cl ’dir. Şekil 8’de su örneklerinin trityum içerikleri ve Cl (mg/l) değerleri verilmiştir. Derin dolaşımli sular, düşük trityum ve yüksek klorür içeriğine sahip olurlar. PÖ-2 örneğinin diğer su örneklerine göre daha derin dolaşımli olduğu, diğer suların ise sığ dolaşımli olduğu söylenebilir.



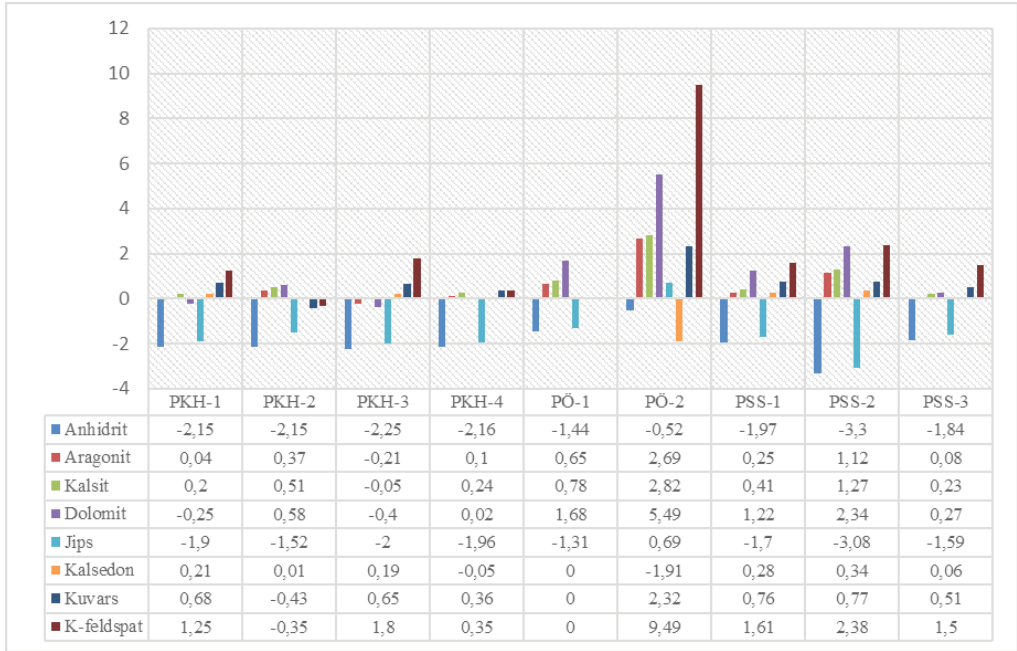
Şekil 7- δD - $\delta^{18}O$ grafiği.



Şekil 8-³H-Cl grafiği.

Doymuluk Hesaplamaları

Sularda doymuluk indeksi (SI) hesaplamaları ile suların hangi minerale doymun olduğu, hangi mineralin doymuluk altı davranış gösterdiği veya hangi mineral ile dengede olduğu tespit edilmektedir. İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk su örneklerinin doymuluk indeksi hesaplamaları Windows uyumlu PhreeqC programı ile yapılmış ve değerlendirilmiştir (Şekil 9). Grafikten de görüldüğü gibi tüm sular aragonit ve kalsite doymun, PKH-2 kaynağı dışında yine tüm sular kuvarsa doymundur. Sıcak suların rezervuar kayacının Üst Jura-Alt Kretase yaşlı kireçtaşları olmasından dolayı, suların kalsit ve aragonit minerallerine doymun olması beklenen bir durumdur. Soğuk su kaynaklarının tümü kalsedon, kuvar ve K-feldspata doymun, anhidrit ve jipse doymun değildir.



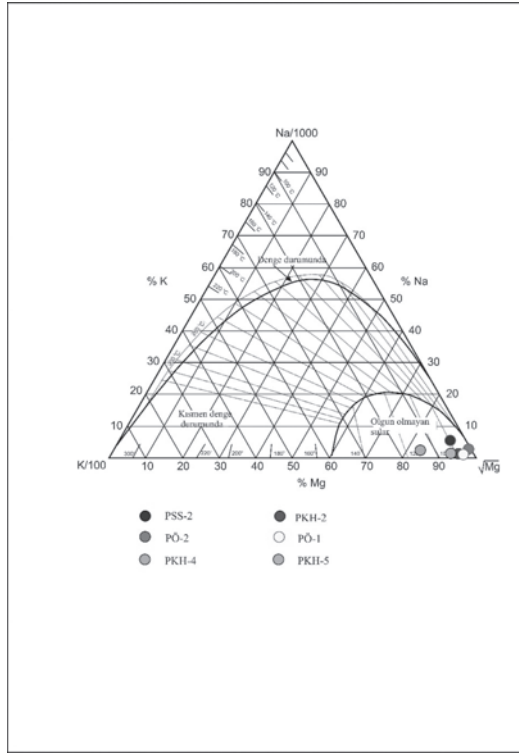
Şekil 9- İnceleme alanından alınan sıcak ve soğuk suların mineral doygunluk indisi (SI) değerleri.

Jeotermometre Hesaplamaları

Sıcak suların rezervuar sıcaklıklarının hesaplanmasında en çok kullanılan yöntem jeotermometrelerdir. Jeotermometre hesaplamalarında, sıcak suyun yeraltında dolaşım sırasında kazandığı kimyasal bileşim dikkate alınmaktadır. Jeotermometrelerin termal suya uygulanmasında temel varsayım, sıcaklığa bağlı olarak su-mineral dengesinin rezervuarda sağlanmış olduğu esasına dayanır (Andresdottir ve Arnorsson, 1995). İnceleme alanında bulunan sıcak ve mineralli su kaynaklarına ait kimyasal analiz sonuçları Çizelge 2’de verilmiştir. Sıcak suların kimyasal jeotermometre kullanımına uygunlukları Na-K-Mg üçgen diyagramında incelenmiştir (Şekil 10) (Giggenbach, 1991). Yapılan diğer bir hesaplama ise termal suya Na-K jeotermometrelerinin uygulanıp uygulanmayacağını gösteren olgunluk indeksi (MI) hesabıdır. Olgunluk indeksi aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır (Giggenbach, 1988).

$$MI = 0.315 * \log(K2/Mg) - \log(K/Na) \text{ (İyon derişimleri mg/l’dir)}$$

Karahamzalı (PKH-2, PKH-4, PKH-5), Ilıca (PÖ-1), Özhamamı (PÖ-2) ve Sabanca (PSS-2) su örneklerinin olgunlaşma indeksi (maturity index) 2’den küçüktür. Olgunlaşma indeksi 2’den küçük olan örnekler kation jeotermometrelerinin uygulanması hatalı sonuçlar verdiği için, mineral çözünürlüğüne dayalı olan ve düşük sıcaklıklarda iyi sonuçlar veren silis jeotermometreleri tercih edilmiştir. Çizelge 4’de belirtilen eşitliklerle hesaplanan jeotermometre değerleri Çizelge 5’de verilmiştir. Karahamzalı sıcak sularının rezervuar sıcaklıkları 21-57 °C arasında değişmektedir. Ilıca kaynağı 15-48 °C, Özhamamı kaynağı 31-64 °C, arasında değişmektedir. Sabanca kaynağının hesaplanan rezervuar sıcaklık değerleri ise 55-86 °C arasındadır. Yapılan jeotermometre hesaplamaları sistemin düşük-orta sıcaklık potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 10- Suların Giggenbach (1991) Na-K-Mg üçgen diyagramı.

Jeotermometre	Eşitlik	Kaynak
Kuvars-buhar kaybı yok	$t^{\circ}C = \frac{1309}{5.19 - \log SiO_2} - 273.15$	Fournier (1973)
Kuvars	$t^{\circ}C = C1 + C2S + C3S^2 + C4S^3 + C5 \log S$ Burada: C1=-4.2198x101, C2=2.8831x10-1, C3=-3.6686x10-4, C4=3.1665x10-7, C5=7.7034x101 (S= SiO2, mg/l)	Fournier ve Potter (1982)
Kalsedon-Buhar kaybı yok	$t^{\circ}C = \frac{1032}{4.69 - \log SiO_2} - 273.15$	Fournier (1977)
Kalsedon-Buhar Kaybı yok.	$t^{\circ}C = \frac{1112}{4.91 - \log SiO_2} - 273.15$	Arnorsson vd. (1983)

Çizelge 4- Silis jeotermometre eşitlikleri (S=mg/l olarak SiO₂ derişimidir)

JEOTERMAL SİSTEMİN KAVRAMSAL MODELİ

Bir jeotermal sistem hazne kaya, örtü kaya, ısı kaynağı ve akışkanın yeraltında dolaşımı ve/veya yüzeye iletimini sağlayan fay gibi süreksizlik düzlemlerinden oluşmaktadır.

Karahamzalı-Özhamamı-Sabanca jeotermal alanında Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Bilecik kireçtaşları ile Senozoyik yaşlı Kartal, Ilgınlıkdere ve Alagöz formasyonlarının çakıllı, kumlu, kireç-

taşı içeren seviyeleri rezervuar kayayı oluşturmaktadır. Kartal, Kırkkavak, Eskipolatlı ve Ala-göz formasyonlarının marn, çamurtaşı, silttaşı ve killi seviyeleri örtü kayayı oluşturur. Çalışma alanındaki jeotermal sistemin ısı kaynağının; inceleme alanı dışında yüzeyleyen Miyosen yaşlı volkaniklerin olduğu düşünülmektedir. Aynı zamanda faylarla kontrol edilen derin dolaşıma bağlı jeotermal gradyan ve genç volkaniklerin varlığı jeotermal gradyanın bu bölgede yüksek olmasına neden olmaktadır. Jeotermal sistem yüksek kotlara düşen yağışlarla beslenmektedir. Yeryüzüne düşen yağışlar yeraltına süzülmekte, inceleme alanının dışında yer alan Miyosen yaşlı volkaniklerin varlığı etkisiyle ısınmakta ve faylar boyunca yüzeye çıkmaktadırlar. Sıcak ve soğuk su kaynakları meteorik kökenlidir. Kaynak sıcaklıklarının düşük olmasının en önemli nedeni rezervuarı oluşturan kayaçların sığ derinlikte olması ve soğuk yer altı suyu ile karışımıdır. Yüksek sıcaklıklarda çözünen bor, lityum ve SiO₂ gibi elemanların düşük değerinde olması da yukarıda belirtilen düşük sıcaklığın göstergelerindedir.

Çizelge 5- Sıcak su kaynakları için silis jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları.

Örnek No	SiO ₂ (Kuars-Fournier, 1973) (Buhar Kaybı Yok)	SiO ₂ (Kuars-Fournier ve Plotter, 1982)	SiO ₂ (Kalsedon-Fournier, 1977) (Buhar Kaybı Yok)	SiO ₂ (Arnorsson vd.,1983) (Buhar Kaybı Yok)
PKH-2	57	57	25	29
PKH-4	57	57	25	29
PKH-5	53	53	21	25
PÖ-1	48	47	15	20
PÖ-2	63	64	31	35
PSS-2	86	86	55	57

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Polatlı-Karahamzalı-Sabanca ve Özhamamı kaynakları düşük sıcaklıklı jeotermal sistemleri oluşturmaktadır. Sıcak ve soğuk su örneklerinin kaynak başında fiziksel parametreleri ölçülmüş, analizleri yaptırılmak üzere örnekler alınmıştır. Karahamzalı bölgesindeki sular genel olarak AIH'ya göre Ca-Na-HCO₃ fasiyesindedir. Sabanca kaynağı Na-HCO₃, Özhamamı kaynağı ise Na⁺-Cl⁻-HCO₃⁻ lı özelliktedir. İnceleme alanındaki sıcak sular dolomit, kalsit ve aragonite göre doygunken, jips, anhidrit ve halite göre doygunluk altı davranış gösterirler.

İnceleme alanındaki Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Bilecik kireçtaşları ana rezervuar kayayı oluşturmaktadır. Paleosen yaşlı Kartal formasyonu içerisindeki çakıllı, kumlu, kireçtaşı seviyeleri de rezervuar olabilecek özelliktedir. Örtü kayayı ise Paleosen, Miyosen yaşlı formasyonların marnlı, siltli, killi seviyeleri oluşturmaktadır. Aktif tektonik bir hat üzerinde yer alan kaynaklar bu fay hatları boyunca yüzeye ulaşmaktadır.

Sıcak suların rezervuar sıcaklıklarının hesaplanmasında düşük kaynak sıcaklıkları için daha doğru sonuçlar veren silis jeotermometreleri kullanılmıştır. Özellikle Özhamamı ile Sabanca sıcak su kaynakları için silis jeotermometreleri kullanarak 64 ve 86 °C rezervuar sıcaklıkları hesaplanmıştır. Kaynak suları yeryüzüne yükselirken çevre kayaçlarla olan etkileşimi ve soğuk yer altı suyu karışımları nedeniyle sıcaklıkları düşmektedir. Sığ derinliklerdeki soğuk yer altı suyu karışımını engelleyecek şekilde bir kuyu programı hazırlanır ve akışkanı taşıyan fay hatları hedef alınırsa 50-60 °C arasında sıcaklığa sahip sıcak sulara ulaşılabileceği düşünülmektedir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma 15L0443008 Numaralı Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeler Birimi tarafından desteklenmektedir. Aynı zamanda MTA Genel Müdürlüğü tarafından yürütülen “Ankara Civarı Jeotermal Enerji Aramaları” adlı projenin bir parçasını oluşturmaktadır.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Akyürek, B., Bilginer, E., Çatal, E., Dağer, Z., Soysal, Y., ve Sunu, O., 1980, Eldivan-Şabanözü (Çankırı) Hasayaz-Çandır (Kalecik-Ankara) dolayının jeolojisi MTA Gen. Müd. Der. Rap. No:6741, 34s, Ankara (yayınlanmamış).
- Akyürek, B., Durur, M., Sütçü, Y.F., Papak, İ., Şaroğlu, F., Pehlivan, N., Gönenç, O., Granit, S., ve Yaşar, T., 1996, Ankara ilinin çevre jeolojisi ve doğal kaynaklar projesi, MTA Gen. Müd. Der. Rap. No:9961, 74s, Ankara (yayınlanmamış).
- Andresdottir, A. And Arnorsson, S. 1995. Studies of the chemical evolution of natural waters in the Hrepper-Land geothermal field, Iceland: an aid to geothermometry interpretation. Proceedings of the World Geothermal Congress, 18-31 May, International Geothermal Association (IGA), Vol.2, Florence, Italy. pp. 1001-1006.
- Arnorsson, S., Gunnlaugsson, E. and Svavarsson, H., 1983, The Chemistry of Geothermal Waters in Iceland III, Chemical Geothermometry in Geothermal Investigations, Geochim. Cosmochim. Acta, 47, 567-577.
- Bilgin, A. Z., Uğuz, M.F., Sevin, M., Erdem, Y., Parlak, O., Pekköz, M., Özden, U.A. 2010. Haymana ve Yenimehmetli (Ankara) güneyinin jeolojisi (Ankara J 28 Paftası). MTA Genel Müdürlüğü Rapor No: 11318, 262s., Ankara (yayınlanmamış).
- Bülbül, E., Lezgi, A., Çam, D. Ve İldeş, L. 2015. Ankara Polatlı Belediyesine Ait Ankara-Polatlı 06/2011/151 Nolu Karacaahmet-Çağlayık ve 06/2011/160 Nolu Karahamzalı Jeotermal Kaynak Arama Ruhsat Sahaları Jeoloji ve Jeofizik Etüt Raporu. MTA Genel Müdürlüğü Rapor No: 49s., Ankara (yayınlanmamış).
- Craig, H., 1961. Isotopic variations in meteoricwaters. Science, 133, 1702-1703.
- Fournier, R.O., 1973, Silica in Thermal Waters: Laboratory and Field Investigations. Proceedings of the International Symposium on Hydrogeochemistry and Biochemistry, Tokyo, Vol.1, Clark Co., Washington D.C., 122-139.
- Fournier, R.O., 1977, Chemical Geothermometers and Mixing Models for Geothermal Systems, Geothermics, 5, 41-50.
- Fournier, R.O. and Potter, R.W., 1982, A Revised and Expanded Silica (Quartz) Geothermometer, Geoth. Res.Council Bull., 11-10, 3-12.
- Giggenbach, W.F., 1988, Geothermal Solute Equilibria, Derivation of Na-K-Mg-Ca Geoinicators, Geochim. Cosmochim. Acta, 52, 2749-2765.
- Giggenbach, W.F., 1991, Collection and Analysis of Geothermal and Volcanic Water and Gas Discharge, in Application of Geochemistry in Geothermal Reservoir Development (edited by F. D'amore), p.119-144, Unitar, Rome.
- Granit, S., 1978, Haymana-Polatlı Havzasının Güneydoğu Bölgesinin Jeolojisi ve Petrol Olanakları, MTA Gen. Müd. Der. Rap. No: 6323, Ankara (yayınlanmamış).
- Gönenç, O., 1978, Haymana-Polatlı Havzasının Batı Bölgesinin Jeolojisi ve Petrol Olanakları, MTA Gen. Müd. Der. Rap. No: 6396, Ankara (yayınlanmamış).
- Sayın, M., ve Eyüpoğlu (2005). Türkiye'deki Yağışların Kararlı İzotop İçeriklerini Kullanarak Yerel Meteorik Doğruların Belirlenmesi. II. Ulusal Hidrojeolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu, 323-345s. İzmir.
- Şahinci, A., 1991, Doğal Suların Jeokimyası, İzmir.

- Şengör, A.M.C., Görür, N., Şaroğlu, F. 1985. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. The Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication 37, 227-264.
- Ünalın, G.; Yüksel, V.; Tekeli, T.; Gönenç, O; Seyirt,Z. ve Hüseyin,S., 1976, Haymana-Polatlı yöresinin (GB Ankara) Üst Kretase-Alt Tersiyer stratigrafisi ve paleocoğrafik evrimi: Türkiye Jeol. Kur. Bült., 19, 2, 159-176.



JEOTERMAL SERA UYGULAMALARI

JEOTERMAL ALANLARDA SERACILIK (AYDIN VE KÜTAHYA ÖRNEĞİ)

A. Nafi Baytorun¹, Zeynel A. Demirel²

¹ÇÜ Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü.

²Emekli öğretim üyesi
(baytorun@cu.edu.tr)

ÖZ

Seralarda yenilikçi teknolojilerin amacı; “Yaşam Döngüsü Kalitesinin” artırılması ve sürdürülebilirliğin sağlanmasıdır. Sürdürülebilir seracılık; kaynakları koruyan, sosyal destekli, ticari, rekabetçi, çevreci, güvenilir üretim teknolojisine sahip, enerji, su ve kimyasal ilaç gereksinimini azaltan ve mümkün olduğu kadar atık üretmeyen bir sistem olmalıdır.

Farklı dönemlerde ortaya çıkan enerji krizleri nedeniyle, seracılık iklimin uygun olduğu ılıman bölgelere doğru kaymıştır. Orta ve kuzey Avrupa ülkelerindeki seralarda enerji korunumu amacıyla yoğun çalışmalar sürdürülmekte, alternatif enerji kaynaklarının sera ısıtmasında kullanımı konusunda yoğun çabalar harcanmaktadır. Günümüzde tarımsal pazarın küreselleşmesi nedeniyle gün geçtikçe rekabet artmakta, bu durum üreticiyi kaliteli yüksek verim almaya zorlamaktadır. Seralardan kaliteli yüksek verimin elde edilebilmesi için seraların soğuk dönemlerde ısıtılması zorunludur. Seralarda ısıtma, üretim maliyetinin % 40-60'ını kapsamaktadır. Isı koruma önlemlerinin alınmadığı seralarda ısıtma ile elde edilen verim artışının ısıtma giderlerini ancak karşılayabilmesi nedeniyle, üretici sürekli olarak ılıman bölgelerde ısıtmanın ekonomikliğini sorgulamaktadır. Isıtılan seralarda enerji verimliliğinin artırılması, serada ısı korunumu ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile mümkün olabilecektir.

Bu çalışmada jeotermal kaynaklar bakımından zengin kaynaklara sahip Kütahya ve Aydın illerindeki seraların, Antalya koşullarındaki seralarla ısı enerjisi gereksinimi açısından karşılaştırılması yapılmıştır. Jeotermal bölgelerdeki seracılığın enerji verimliliği, jeotermal enerjinin birim fiyatına bağlı olarak değişim göstermektedir. Ancak jeotermal seracılıkta CO² salınımı yok denecek kadar az olduğundan çevreye duyarlı temiz üretim gerçekleşmektedir.

Anahtar kelimeler: Sera, Sera ısıtması, Seralarda enerji gereksinimi, Jeotermal sera.

GREENHOUSES IN GEOTHERMAL AREAS (AYDIN AND KÜTAHYA EXAMPLES)

A. Nafi Baytorun¹, Zeynel A. Demirel²

¹*Department of Irrigation and Agricultural Structures.*

²*Retired Faculty Staff
(baytorun@cu.edu.tr)*

ABSTRACT

Objectives of new technologies in greenhouses: Increasing “Quality of life cycle” and assuring sustainability. Sustainability in greenhouses implies resource protection, receive social support, promote trading and competitiveness, ensures environment protection, provides reliable production technology, requiring minimum energy, water, and agrochemicals and with minimum waste.

As a result of energy crisis occurred at different times in the past, greenhouses moved to areas with temperate climate. Intensive studies are being implemented in North and Central European countries for energy saving and testing alternative energy sources for greenhouse heating. Growers are under pressure for increasing high quality production because of globalization in agricultural trading and increase of competitive marketing. Greenhouses must be heated during cold periods for high yields and high quality crops. Heating of greenhouse constitutes 40% to 60% of whole cost of production. Growers continuously question economics of greenhouse heating when yield increase with heating can barely compensate heating costs in greenhouses in temperate climates. Increase of greenhouse-heating efficiency can only be achieved with heat saving measures and use of renewable energy sources.

The study undertaken here compares greenhousing possibilities in Kütahya and Aydın provinces with rich geothermal heating potential with greenhouses in Antalya in view of heating requirement. Heating efficiency of greenhouses in geothermal regions depend on unit price of geothermal energy used for the heating. However, greenhouse production is clean and environment friendly in geothermal regions because of low CO₂ emission.

Keywords: *Greenhouse, Greenhouse heating, Greenhouse energy requirement, Geothermal greenhouse.*

GİRİŞ

Türkiye’de seracılık 1940 yıllarında ilk defa Akdeniz bölgesinde, özellikle Antalya’da başlamış, buradan ekolojik koşullara bağımlı bir gelişme göstererek, Ege ve Marmara bölgelerine yayılmıştır. Farklı dönemlerde ortaya çıkan enerji krizleri nedeniyle, seracılık iklimin uygun olduğu ılıman bölgelere doğru kaymıştır. Günümüzde kuzey Avrupa ülkelerinde kurulan seralarda enerji korunumu amacıyla yoğun çalışmalar sürdürülmekte, alternatif enerji kaynaklarının sera ısıtmasında kullanımı konusunda çaba harcanmaktadır.

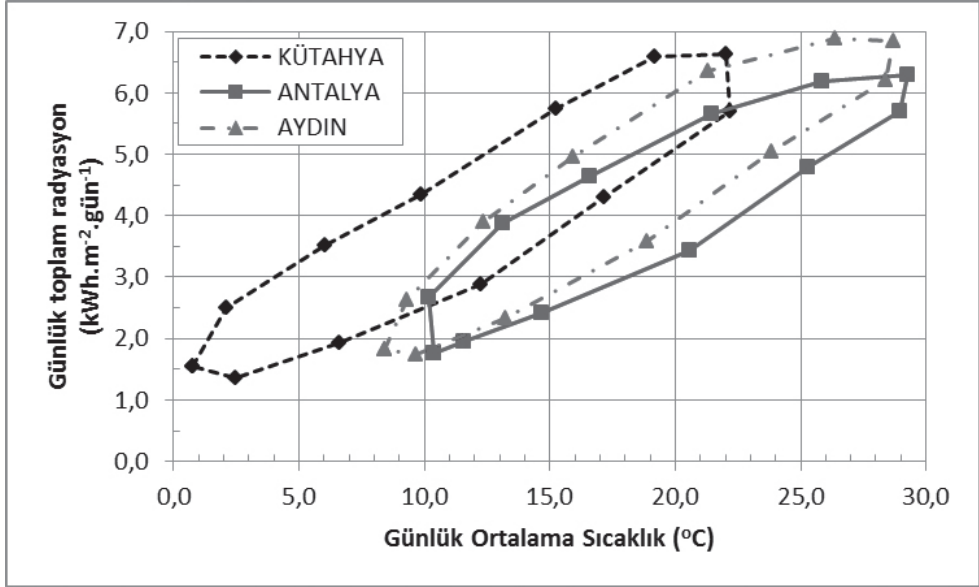
Türkiye’de örtü altı yetiştiriciliği, seralar ve plastik tünellerdeki üretimi kapsamaktadır. 2011 yılı itibariyle toplam örtü altı alanlarımızın 60.000 ha ulaştığı görülmektedir. Büyük yatırımcı grupların da sektöre girmesiyle hızlı bir gelişim gösteren modern seracılık, son on yıllık süreci göz önüne aldığımızda, büyük bir gelişme göstererek, günümüzde 1000 ha seviyelerine ulaşmıştır. Günümüzde sera alanlarımızın %3’ünde modern seracılık yapılmaktadır. Önümüzdeki on yıllık süreçte bu payın % 15 seviyelerine ulaşması hedeflenmektedir.

Seralarda yenilikçi teknolojilerin amacı; “Yaşam Döngüsü Kalitesinin” artırılmasıdır. Bu amaçla seracılıkta birim alandan elde edilecek üretim için, gerekli olan enerji ve diğer girdi ve çıktıların, sağlıklı bir şekilde analiz edilmesi sürdürülebilirlik açısından büyük bir önem arz etmektedir (Munoz ve Ark. 2008, Russo ve ark. 2008).

Sürdürülebilir seracılık sistemlerinin amacı; kaynakları koruyan, sosyal destekli, ticari, rekabetçi, çevreci, güvenilir üretim teknolojisine sahip, enerji, su ve kimyasal ilaç gereksinimini azaltan ve mümkün olduğu kadar atık üretmeyen bir sistem olmalıdır. Bu amaçla (Giuliano ve Ark., 2010);

- Bitkiler için uygun bir üretim ortamının yaratılması ve enerji tasarrufu için, serada güneş ışınımı, hava sıcaklığı, nem ve CO₂ konsantrasyonunun etkili bir yönetimle idare edilmesi,
- Enerji verimliliğinin artırılması ve fosil enerji kaynakları yerine, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması,
- Seralarda yeni teknolojilerle üretilmiş ve kullanıldıktan sonra parçalanabilen örtü malzemesinin kullanılması,
- Serada su ve bitki besin maddelerinin optimizasyonunun sağlanması,
- Serada bitki hastalıklarının daha az tarımsal kimyasallarla kontrolünü önermektedirler.

Seralardan kaliteli ve yüksek verimin elde edilebilmesi için, günlük ortalama sıcaklık değerlerinin 12°C’nin altına düşmesi durumunda, ısıtma yapılmalıdır (Nisen ve ark. 1988, Zabeltitz 1992, 2011). Türkiye’de seracılığın yoğun bir şekilde yapıldığı Antalya ve Jeotermal kaynaklar bakımından zengin Kütahya ve Aydın illerinin uzun yıllık ortalama sıcaklık ve günlük toplam radyasyon değerleri incelendiğinde, yılın belli aylarında sıcaklık değerlerinin 12°C’nin altında düştüğü görülmektedir (Şekil 1). Akdeniz bölgesinde bulunan aile tipi küçük işletmelerde, sera alanlarının küçük ve dağınık olması, mevcut sera yapılarının serada ısı enerjisini koruyacak nitelikte olmaması ve en önemlisi dış sıcaklık değerlerinin 7°C’nin altına düşmemesi nedeniyle, seralarda ısıtma yapılmamakta, tüm Akdeniz ülkelerinde olduğu gibi, bu bölgemizde de soğuk seracılık tercih edilmektedir. Ancak son yıllarda bu bölgemizde kurulan modern seralarda, ısıtma sistemleri inşa edilmektedir. Bu seralarımızda da, enerji koruma önlemlerinin tam anlamı ile uygulanmaması nedeniyle, ısıtma giderleri artmakta, en önemlisi ise fosil enerji kaynaklarının kullanılması nedeniyle atmosfere olan CO₂ salınımı çevreye ciddi anlamda zarar vermektedir.



A: Isıtma gerekli, B: Havalandırma gerekli, C: Sürekli havalandırma ve/veya soğutma gerekli

D: Serada üretim yapılamaz, E: Sadece gece saatlerinde ısıtma gerekli

Şekil 1. Antalya, Aydın ve Kütahya illeri ortalama günlük radyasyon ve sıcaklık değerleri.

Seralarda ısıtma, üretim maliyetini ciddi anlamda etkilemektedir. Isıtma giderleri bölge iklimine bağlı olarak, toplam işletme giderlerinin % 40-80'i arasında değişim göstermektedir. Üstün (1992), Baytorun ve ark. (2012) Adana, Önder (1998) Antakya için saatlik iklim değerlerinden giderek yakıt (Fueloil) tüketimlerini 16°C iç sıcaklık için 10 L.m⁻² hesaplamışlardır. Akdeniz iklim koşullarında ısıtılmayan seralardan alınan domates verimi 7-14 kg.m⁻² arasında değişirken, ısıtılan seralardan alınan verim 25-32 kg.m⁻²'ye yükselmektedir (Baytorun ve ark. 1999) (Çizelge 1). Ancak ısı koruma önlemlerinin alınmadığı seralarda ısıtma giderleri, elde edilen verim artışı ile karşılaştırıldığında ısıtmanın karlılığı üreticinin kafasında sürekli olarak soru işareti yaratmaktadır.

Çizelge 1. Serada kullanılan teknik donanımlar ve üretim periyodunun uzunluğuna bağlı olarak, seralardan elde edilen domates verimleri (kg.m⁻²).

Sera tipi ve üretim periyodu	Toplam üretim Kg.m ⁻²	1.Kalite (%)	Net üretim Kg.m ⁻²	Net üretim artışı (%)
Basit sera yapısı sonbahar üretimi (Ağustos-Şubat)	7-10	60	5,1	-
Basit sera yapısı ilkbahar üretimi (Ocak-Haziran)	8-11	65	6,2	21
Basit sera yapısı tek ürün (Ekim-Haziran)	12-15	60	8,1	58
Modern sera, koruma amaçlı basit ısıtma sistemi (Eylül-Haziran)	20-25	75	19,5	280
Modern sera + topraksız üretim + Modern ısıtma (Eylül-Haziran)	25-32	80	24	430
Yarı kapalı Bilgisayar kontrollü + Topraksız kültür + ısıtma + soğutma + CO ₂ gübreleme (12 ay üretim)	50	85	42,5	1000

Türkiye'nin farklı bölgelerinin iklim değerleri incelendiğinde, Akdeniz ve Ege bölgesi sıcaklık açısından belli dönemlerde serada üretim için uygun olurken, haziran ayından eylül ayının başına kadar, yüksek sıcaklıklar nedeniyle seralar boş bırakılmaktadır. Buna karşın soğuk bölgelerde kurulan modern seralarda tüm yıl kaliteli yüksek verim elde edilebilmekte, ancak bunun için de ciddi anlamda ısı enerjisi gereksinimi ortaya çıkmaktadır. Tüm yıl üretimin yapılabildiği modern seralardan, üretim periyodunun uzunluğuna bağlı olarak, 50 kg.m⁻² domates verimi alınırken (Çizelge 1), bu verimin elde edilebilmesi için bölge iklimine ve seranın teknik donanımına bağlı olarak gereksinilen ısı enerjisi 200-350 kWh.m⁻².a⁻¹ arasında değişim göstermektedir (Baytorun ve ark. 2015).

Seralardan beklenen kaliteli yüksek verimin elde edilebilmesi için seraların ısıtılması zorunludur. Ancak sera ısıtmasında kullanılan fosil enerji kaynaklarının en büyük sakıncası, atmosfere verdikleri CO₂ emisyonudur. Atmosfere karışan CO₂ sera etkisini artırmaktadır. Tüm bilim insanları atmosferdeki bu değişimin, yerkürenin iklimini olumsuz yönde değiştireceği konusunda hemfikirler. Günümüzde kutuplarda eriyen buzulların deniz seviyesini yükseltme yanında, yağış sistemindeki değişikliklerin yarattığı felaketler, günlük hayatımızda sıkça yer almaya başlamıştır. Yerkürede yaşamın sürdürülebilir olması için sanayi ülkelerinin atmosfere verdikleri CO₂ emisyonunu azaltmaları gerekmektedir. Bu da yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması veya toplumun enerji gereksiniminin azaltılması ile mümkün olabilecektir. Ancak bu kolay olmayacaktır. Çünkü gelişmekte olan ülkeler, gelişmiş olan ülkelerin standartlarına ulaşmak için uğraş verirken, artan dünya nüfusu da negatif bir etki olarak ortaya çıkmaktadır.

Ülkemiz, jeotermal ısı potansiyeli bakımından Dünyanın 7. Avrupa'nın 1. jeotermal kaynağa sahip ülkesi durumundadır (Hasdemir ve ark. 2014). Jeotermal enerji, kaynak sıcaklığına bağlı olarak başta elektrik üretimi olmak üzere, konut, sera ısıtması, termal turizm-tedavi ve endüstri alanlarında kullanılmaktadır. Ancak bu kullanım düzeyi, kaynakların yaklaşık %3'ü seviyesinde olup, ülke kapasitesine oranla oldukça düşüktür. Türkiye'de enerji ihtiyacı da dikkate alındığında jeotermal kaynakların kullanımının artırılması, ülke ekonomisi açısından oldukça önemlidir. Türkiye'de jeotermal enerji ile ısıtılan sera alanlarımızın büyüklüğü yaklaşık 280 ha olup, sera varlığımızın yaklaşık %1'i civarındadır.

Jeotermal seracılığın önemli avantajlarının bilinmesi nedeniyle birçok kamu kurumu farklı unsurlar ile jeotermal seracılığı desteklemekte ve teşvik etmektedir. Son yıllarda Aydın, İzmir, Denizli, Afyonkarahisar, Manisa, Kütahya, Kırşehir, Şanlıurfa ve Yozgat illerinde jeotermal seracılık konusu ciddi bir şekilde ele alınmaktadır. Türkiye'de jeotermal sera ısıtmasında kullanılan enerji 2000 yılında 101 MWt iken, 2005 yılında %90'lık bir artışla 192 MWt'a yükselmiştir (DPT 9.Kalkınma planı). Yapılmış olan değerlendirme ve hesaplamalara göre, Türkiye'nin jeotermal ısı potansiyeli 31.500 MWt'dir. Bu değer 15.000 ha'lık sera alanının ısıtılmasına eşdeğerdir. Tarım Bakanlığının 2012 yılından itibaren hayata geçirdiği "Alternatif Üretim Yöntemlerinin Geliştirilmesi Projesi" kapsamında jeotermal kaynakların bulunduğu illerimizde, modern seracılığı yaygınlaştırmak amacıyla mevcut durumun analiz edilmesi ve fizibilitelerinin hazırlanması amaçlanmaktadır.

Bu çalışmada, jeotermal kaynaklar bakımından oldukça zengin potansiyele sahip Kütahya ve Aydın illerimizde, seracılık olanaklarının tartışılması, ısıtma sistemlerinin planlanmasında gerekli olan maksimum ısı gücünün, üretim periyodu boyunca ihtiyaç duyulan ısı enerjisi gereksiniminin, farklı teknik önlemlerle tasarruf edilecek ısı enerjisi ve azaltılabilecek CO₂ emisyon miktarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Aydın ve Kütahya illerinin seracılık açısından karşılaştırılması

Aydın ilinin uzun yıllık ortalama sıcaklık ve günlük toplam radyasyon değerleri Akdeniz iklimi özelliğini gösterirken, Kütahya ilinin iklim değerleri, tipik karasal iklimi temsil etmektedir. Günlük ortalama sıcaklık 12°C'nin altına düştüğünde serada ısıtma, 22°C'nin üstüne çıktığında soğutma yapılmalıdır. Kütahya ilinin uzun yıllık ortalama sıcaklık değerlerinden görüleceği gibi, bu ilimizde Ekim-Nisan döneminde (7 ay) sıcaklık değerleri 0°C-12°C arasında seyretmektedir. Aydın ilinde ise Aralık-Mart döneminde sıcaklık 8°C-12°C arasında seyrettiğinden serada sadece gece saatlerinde ısıtma gereği ortaya çıkmaktadır (Çizelge 2). Kütahya ilinde, aylık ortalama sıcaklık değerleri 22°C'nin üstüne çıkmadığından, bu ilimizde ısıtma yapılması durumunda, yılın 12 ayında serada üretim yapılabilecektir. Aydın ilinde ise Haziran ayından sonra sıcaklık değerleri 22°C'nin üstüne çıktığından, seralarda soğutma yapmadan bitkisel üretimin devamı mümkün olmamaktadır.

Çizelge 2. Aydın ve Kütahya illerinin uzun yıllık aylık ortalama sıcaklık değerleri ve bu değerlere bağlı serada alınması gerekli olan iklimlendirme önlemleri

AYDIN												
Aylar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ortalama sıcaklık	8,2	9,3	11,9	15,8	20,9	25,9	28,4	27,5	23,4	18,4	13,3	9,6
Maksimum sıcaklık	13,2	14,6	17,9	22,4	28,1	33,4	36,0	35,5	31,9	26,3	19,8	14,5
Minimum sıcaklık	4,3	4,9	6,7	10,0	14,1	18,1	20,4	20,1	16,5	12,7	8,7	5,8
İklimlendirme	Isıtma			Havalandırma			Soğutma			Havalandırma		Isıtma
Sera durumu	ÜRETİM					BOŞ			ÜRETİM			
KÜTAHYA												
Aylar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ortalama sıcaklık	0,5	1,8	5,2	10,0	14,6	18,4	20,9	20,6	16,5	11,8	6,8	2,6
Maksimum sıcaklık	4,7	6,6	11,0	16,1	21,2	25,2	28,2	28,5	24,6	19,0	12,7	6,6
Minimum sıcaklık	-3,2	-2,4	0,0	4,1	7,9	11,1	13,4	13,2	9,3	5,7	1,9	-0,9
İklimlendirme	Isıtma				Havalandırma					Isıtma		
Sera durumu	ÜRETİM											

Kütahya ilinde yapılacak seracılık, ısıtma giderleri açısından büyük bir dezavantaj yaratmaktadır. Kütahya'da, sera ısıtmasında fosil enerji kaynaklarının kullanılması, üretim maliyetini yükselteceğinden, ılıman iklim bölgelerinde seralarda yapılacak üretim ile rekabet edemeyeceği gibi, atmosfere verilen CO₂ emisyonu çevre açısından zararlara neden olacaktır. Ancak sera ısıtmasında jeotermal kaynakların kullanılması durumunda, üretim maliyeti ciddi anlamda azalacak, ama en önemlisi, ısıtmada fosil enerji kaynaklarının kullanılmaması nedeniyle, çevre dostu bir üretim gerçekleşecektir.

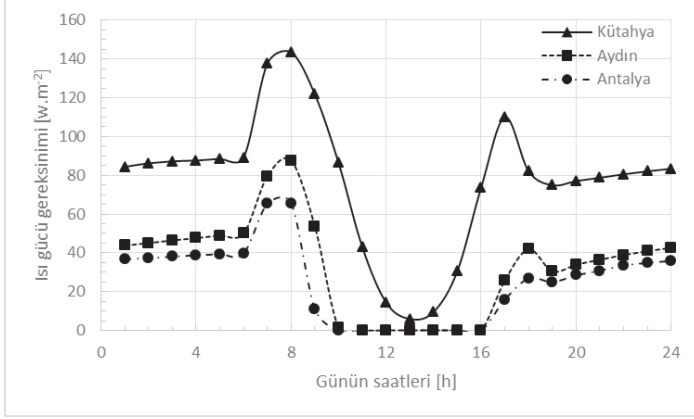
Çizelge 3. Kütahya ve Aydın illeri uzun yıllık iklim değerlerinden yılın aylarına bağlı olarak elde edilen sıcaklık yinelenmeleri (h) (Baytorun ve ark. 2015).

Sıcaklık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Kütahya ili sıcaklık yinelenme değerleri												
10°C altı	744	672	684	401	161	1	0	0	70	344	617	744
27°C üstü	0	0	0	0	0	0	38	46	0	0	0	0
34°C üstü	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aydın ili sıcaklık yinelenme değerleri												
10°C altı	581	454	318	25	0	0	0	0	0	174	493	
27°C üstü	0	0	0	0	95	313	410	377	226	36	0	0
34°C üstü	0	0	0	0	0	32	148	110	0	0	0	0

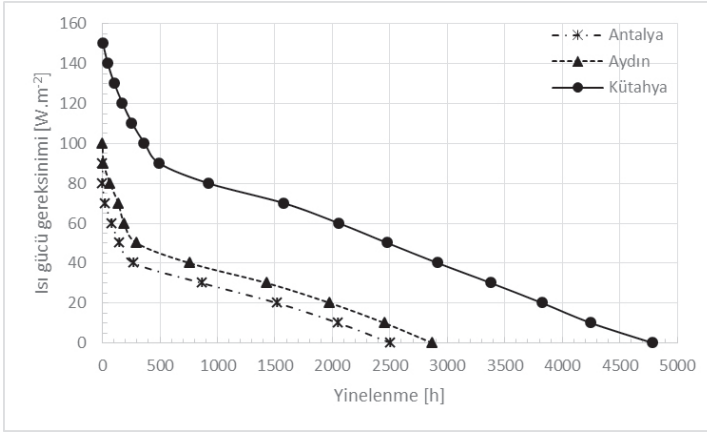
Çizelge 3'te Kütahya ve Aydın illerinin uzun yıllık saatlik sıcaklık değerlerinin yinelenmeleri verilmiştir. Çizelge 3'ten de görüleceği gibi Aydın ilinde Ocak ayının 744 saatinin 581 saatinde sıcaklık 10°C'nin altında seyrederken, Kütahya ilinde Ocak ayının tümünde sıcaklık 10°C'nin altında kalmaktadır. Çizelgeden de görüleceği gibi, Aydın ilinde Kasım-Mart döneminde serada ısıtma ihtiyacı ortaya çıkarken, Kütahya ilinde Eylül-Mayıs döneminde ısıtma ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Kütahya ilinde saatlik sıcaklık değerleri yılın hiçbir ayında 34°C'nin üstüne çıkmazken, Aydın ilinde Haziran-Ağustos döneminde sıcaklık 34°C'nin üstüne çıktığından seralar zorunlu olarak boş bırakılmaktadır.

Seralarda ısıtma sistemlerinin projelenmesinde gerekli olan ısı gücünün belirlenmesi

Seralarda iklimlendirme amacıyla kurulan sistemlerin doğru planlanması durumunda, arzulanan iç ortam sıcaklık ve nem değerlerinin optimum düzeyde tutulması mümkün olabilmektedir. Yapılan çalışmada seralarda ısı gücü ve ısı enerjisi gereksinimi, Baytorun ve ark. (2015) tarafından geliştirilen uzman sistem "ISIGER" yardımı ile hesaplanmıştır. Kütahya, Aydın ve Antalya illerinin, uzun yıllık saatlik iklim değerlerinden gidilerek, Ocak ayının saatlerine bağlı hesaplanan ısı gücü gereksinimi Şekil 2'de verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi serada sıcaklığın gündüz/gece 18/16°C'de tutulmak istenmesi durumunda, en yüksek ısı gücü gereksinimi (144 W.m⁻²) Kütahya ilinde ortaya çıkarken, bunu Aydın (88 W.m⁻²) ve Antalya (66 W.m⁻²) takip etmektedir. Şekilden de görüleceği gibi, Antalya ve Aydın illerinde Ocak ayında gündüz saatlerinde seralarda ısıtma ihtiyacı ortaya çıkmazken, Kütahya ilinde tüm gün ısıtmaya ihtiyaç duyulmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Kütahya, Aydın ve Antalya'da yan duvarları çift kat, çatısı tek kat PE plastik ile kaplı serada (AH/AG=1,53), sıcaklığın gece/gündüz 16/18°C'de tutulması durumunda, Ocak ayında günün saatlerine bağlı gereksinilen ısı gücü değerleri (W.m⁻²) (Havalandırma sıcaklığı 25°C).

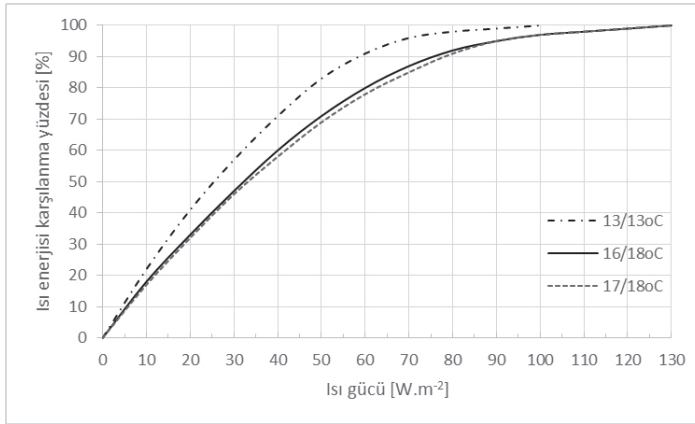


Şekil 3. Kütahya, Aydın ve Antalya'da yan duvarları çift kat, çatısı tek kat PE plastik ile örtülmüş serada (AH/AG=1,53) sıcaklığın gündüz/gece 18/16°C'de tutulması durumunda, yıl içinde ortaya çıkan ısı gücü tekerrürleri (Havalandırma sıcaklığı 25°C, ısıtma sistemi sera tabanına yakın yerleştirilmiştir).

Seralarda ısıtma sistemlerinin projelenmesinde üretim periyodu boyunca ortaya çıkan maksimum ısı gücü dikkate alınmaktadır. Ancak maksimum ısı gücüne yılın çok az bir zamanında ihtiyaç duyulmaktadır. Belirtilen nedenle seralarda gerekli olan maksimum ısı gücünün belirlenmesi yanında, ortaya çıkan ısı gücü yinelenmelerinin bilinmesi, ısıtma sisteminin projelenmesi açısından büyük bir önem arz etmektedir. Kütahya, Aydın ve Antalya illerinin saatlik iklim değerlerinden gidilerek yapılan hesaplamalarda, ortaya çıkan ısı gücü tekerrürleri şekil 3'te verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi, Kütahya ilinde iyi yalıtılmış PE plastik serada (AH/AG=1,53) sıcaklığın gündüz/gece 18/16°C'de tutulabilmesi için, gerekli olan maksimum ısı gücü değeri 156 W.m⁻², Aydın ilinde maksimum ısı gücü gereksinimi 97 W.m⁻² olmaktadır.

Ancak şekilden de görüleceği gibi maksimum ısı gücüne yılın çok az bir zamanında ihtiyaç duyulmaktadır. Seralarda temel ısı ihtiyacını karşılayacak kazan gücünün belirlenmesinde şekil 3'te verilen yinelenme eğrisi büyük bir önem arz etmektedir.

Jeotermal kaynaklarla ısıtılan seralarda ısıtma sistemlerinin projelenmesinde, seçilecek ısı değişimcilerinin (eşanjör) boyutlandırılmasında maksimum ısı gücü gereksiniminin dikkate alınması gereklidir. Ancak seralarda kurulacak ısıtma sisteminde seçilecek yedek kazan kapasitesi serada bitkilerin temel ısı gereksinimini karşılayacak kapasitede olmalıdır. Şekil 4'te Kütahya koşullarında yan duvarları yalıtılmış ısı perdeli serada farklı sıcaklık değerlerinde farklı ısı gücüne sahip ısıtma kazanlarıyla yıllık ısı enerjisi gereksiniminin karşılanma yüzdesi verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi 60 W.m^{-2} ısı gücüne sahip kazanın seçilmesi durumunda serada sıcaklığın gece/gündüz $16/18^\circ\text{C}$ 'de tutulmak istenmesi durumunda, sera ısı gereksiniminin %80'i serada sıcaklığın 13°C 'de tutulmak istenmesi durumunda yıllık ısı enerjisi gereksiniminin %90'ı karşılanabilecektir.



Şekil 4. Kütahya koşullarında yan duvarları çift kat PE plastik ile yalıtılmış ısı perdeli PE plastik serada farklı sıcaklıklarda, farklı ısı gücü ile yıllık ısı enerjisi gereksiniminin karşılanma yüzdesi.

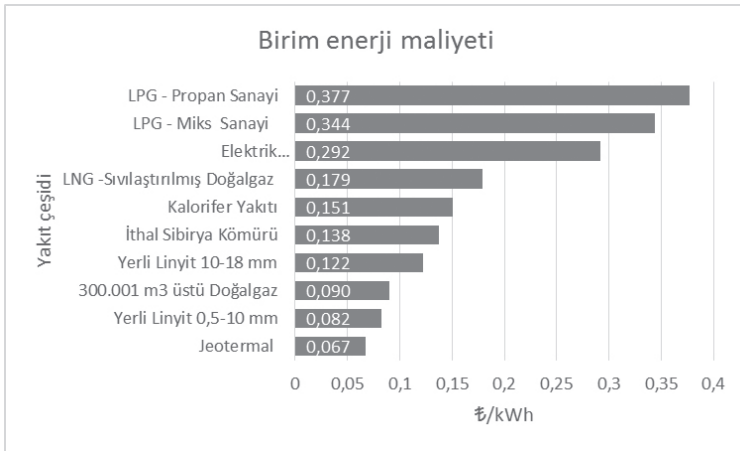
Kütahya ve Aydın illeri iklim koşullarında farklı donanımlara sahip seralarda farklı kültürler için ihtiyaç duyulan, yıllık ısı enerjisi gereksinimleri çizelge 4'te verilmiştir. Çizelgeden de görüleceği gibi, seralarda ısı enerjisi gereksinimi, yetiştirilen kültür çeşidine, serada arzu edilen sıcaklık değerine sera donanımına ve ısı koruma önlemine bağlı olarak değişim göstermektedir. Kütahya, Aydın ve Antalya illeri için saatlik iklim verileri kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda en yüksek ısı enerjisi gereksinimine ($459 \text{ kWh.m}^{-2}.\text{a}^{-1}$) Kütahya ilinde serada sıcaklığın gündüz/gece $18/16^\circ\text{C}$ 'de tutulduğu, tek kat örtü ile kaplanmış ısı perdelsiz serada, ısıtma borularının yan duvar ve tavana yakın yerleştirilmesi durumunda ulaşılmıştır. Aynı koşullarda seranın yan duvarlarında çift katlı örtü malzemesi, ısı koruma amacıyla ısı perdesinin kullanılması ve ısıtma borularının sera tabanına yakın yerleştirilmesi durumunda, gereksinilen ısı enerjisi $261 \text{ kWh.m}^{-2}.\text{a}^{-1}$ düşmektedir. Diğer bir ifade ile söz konusu önlemlerle yaklaşık %43 oranında ısı enerjisi tasarruf edilebilmektedir.

Çizelge 4. Kütahya, Aydın ve Antalya illeri iklim koşullarında farklı kültür bitkileri için farklı teknik önlemlere bağlı olarak ihtiyaç duyulan, maksimum ısı gücü ($W.m^{-2}$), yıllık ısı enerjisi ($kWh.m^{-2}.a$), yıllık yakıt gereksinimi ($kg.m^{-2}$ veya $m^3.m^{-2}$) ve CO_2 emisyonu.

Kültür Çeşidi	Sıcak Sera Bitkileri	Salon Bitkileri	Kesme Çiçek (Gül)	Saksı Bitkileri	Domates	Kışık sebzeler						
Gündüz/gece sıcaklık	18/16°C	10/8°C	18/16°C	5°C	18/17°C	3/3°C						
Çatı örtüsü	Tek katlı plastik											
Yan duvar örtü malzemesi	Tek kat plastik	Tek kat plastik	Tek kat plastik	Tek kat plastik	Çift kat plastik	Tek kat plastik						
Isı perdesi	Alüminyum katkılı	Yok	Alüminyum katkılı ısı perdesi	Yok	Alüminyum katkılı	Yok						
Sızdırmazlık	iyi Orta	-	iyi Orta İyi Orta	-	iyi Orta	-						
Havalandırma sıcaklığı	20°C	15°C	20°C	7°C	20°C	10°C						
Isıtma sistemi	Borulu ısıtma											
Isıtma boruları	Tavan ve yan duvar	Masa altı	Tabana yakın	Masa altı	Tabana yakın	Tabana yakın						
Üretim periyodu boyunca ısı enerjisi gereksinimi ($kWh.m^{-2}.a^{-1}$)												
KÜTAHYA	459	295	261	276*	314*	261*	295*	53	405	280	318	14
AYDIN	163	91	104	95*	110*	91*	104*	0	155	105	120	0
ANTALYA	102	66	77	68	81	66	77	0	124	79	93	0
Isıtma sisteminin projelenmesinde gerekli olan maksimum ısı gücü değerleri ($W.m^{-2}$)												
KÜTAHYA	204	156	104	167	167	156	144	67	168	158	158	37
AYDIN	128	98	32	105	105	98	98	0	105	98	98	0
ANTALYA	112	85	0	91	91	85	85	0	92	86	86	0
Isıtımda kullanılacak kömür (Soma 0,5 – 18 mm) miktarı ($kg.m^{-2}$)												
KÜTAHYA	145	83	39	87	99	83	93	17	128	89	101	5
AYDIN	52	29	33	30	35	29	33	0	49	33	38	0
ANTALYA	32	21	24	0	22	26	21	24	39	25	30	0
Isıtımda kullanılacak kömüre bağlı olarak atmosfere verilecek CO_2 emisyonu (CO_2 eşdeğeri $kg.m^{-2}$)												
KÜTAHYA	259	147	166	70	155	177	147	166	30	228	158	11
AYDIN	92	51	59	5	54	62	51	59	0	87	59	0
Jeotermal kaynakların kullanılmasında yaklaşık 0 emisyon												

* Serada Asimilasyon aydınlatması yapılıyorsa ışık şiddetine ($W.m^{-2}$) bağlı olarak serada kazanılan ısı enerjisi değeri düşülmelidir.

Kütahya, Aydın ve Antalya illerinde domates üretiminin yapıldığı ısı korumalı seralarda sıcaklığın gündüz/gece 18/17°C'de tutulmak istenmesi durumunda, Kütahya ilinde üretim periyodu boyunca ihtiyaç duyulan ısı enerjisi gereksinimi 280 kWh.m⁻².a⁻¹ olurken, bu değer Aydın için 105 kWh.m⁻².a⁻¹, Antalya için 79 kWh.m⁻².a⁻¹ olmaktadır (Çizelge 4). Kütahya'da üretim periyodunun uzunluğuna bağlı olarak modern bir seradan alınabilecek domates verimi 50 kg.m⁻² olarak kabul edildiğinde, bir kg domates üretimi için 5,6 kWh.kg⁻¹ ısı enerjisine ihtiyaç duyulacaktır. Aynı özelliklere sahip Aydın ilindeki seradan ısıtılmalı koşullarda 30 kg.m⁻² domates verimi elde edildiğinde, 1 kg domates üretimi için 3,5 kWh.kg⁻¹, Antalya'da 2,6 kWh.kg⁻¹ ısı enerjisine ihtiyaç duyulmaktadır. Elde edilen sonuçlardan görüleceği gibi, Antalya ilinde birim domates verimi için harcanan ısı enerjisi Kütahya ve Aydın illerine göre daha az olmaktadır.



Şekil 5. Isıtmada kullanılan farklı yakıtların birim enerji maliyetleri. (<http://www.tesisat.com.tr/yayin/yakit-fiyatlari/>) (http://www.izmirjeotermal.com.tr/islemler_ucret_tarifeleri_2013_2014_isitma_sezonu)

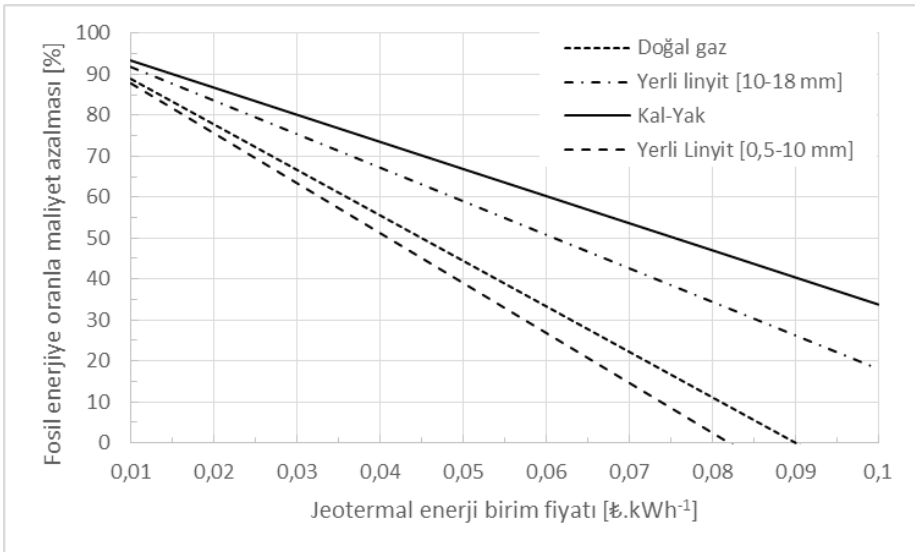
Isıtmada kullanılan farklı yakıtların birim enerji fiyatı şekil 5'te verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi, jeotermal enerjinin birim fiyatı 0,067 ₺.kWh⁻¹ olurken, 0,5-10 mm çapındaki yerli linyitin fiyatı 0,082 ₺.kWh⁻¹, 300 000 m³ üstü doğal gaz fiyatı 0,090 ₺.kWh⁻¹, kalorifer yakıtı 0,151 ₺.kWh⁻¹ olmaktadır (<http://www.tesisat.com.tr/yayin/yakit-fiyatlari/>). Bu fiyatların dikkate alınması durumunda, Kütahya'da hiçbir ısı koruma önlemi almadan serada domates üretimi için üretim periyodu boyunca gerekli olan ısı enerjisi ihtiyacının (405 kWh.m².a⁻¹) yerli linyitle (0,5-10 mm) karşılanmasıyla ödenecek yakıt bedeli 33,2 ₺.m⁻².a⁻¹ olacaktır. Aydın'da domates üretiminde bu değer 12,7 ₺.m⁻².a⁻¹, Antalya'da 10,3 ₺.m⁻².a⁻¹ olacaktır. Serada ısı perdelerinin kullanılması ve seranın yan duvarlarının çift kat örtü malzemesiyle yalıtılması durumunda, ısıtmada kullanılacak yerli linyit (0,5-10 mm) için ödenecek bedel, Kütahya'da 23,0 ₺.m⁻².a⁻¹, Aydın'da 8,6 ₺.m⁻².a⁻¹, Antalya'da 6,5 ₺.m⁻².a⁻¹ olacaktır. Yapılan hesaplamalardan görüleceği gibi sera ısıtmasında fosil enerji kaynaklarının (kömür) kullanılması durumunda, Antalya iline göre Kütahya'da 3,5 kat, Aydında 1,3 kat daha fazla enerji bedeli ödenecektir.

Ancak sera ısıtmasında jeotermal kaynakların kullanılması durumunda, kullanılan jeotermal ısı enerjisinin fiyatına bağlı olarak üretim karlı olabileceği gibi, çevre dostu üretim gerçekleştirilebilecektir. Jeotermal ısı enerjisinin fiyatı değişim göstermektedir. Jeotermal ısı enerjisi fiyatı 0,067 ₺.kWh⁻¹ olarak kabul edildiğinde (<http://www.izmirjeotermal.com.tr>), Kütahya koşullarında ısı korumalı serada yapılacak domates üretiminde ısıtma için ödenecek enerji bedeli 18,8

$\text{₺.m}^{-2}.\text{a}^{-1}$, Aydın'da $7,0 \text{ ₺.m}^{-2}.\text{a}^{-1}$ olacaktır. Seradan elde edilen domates verimi dikkate alındığında, Kütahya ve Aydın'da jeotermal ısı enerjisi kullanıldığında, birim verim için gereken ısıtma gideri Kütahya'da $0,376 \text{ ₺.kg}^{-1}$, Aydın'da $0,233 \text{ ₺.kg}^{-1}$, Antalya'da kömür kullanıldığında $0,217 \text{ ₺.kg}^{-1}$ olmaktadır. Isıtımda yerli linyit (0,5-10 mm) kullanılması durumunda, Antalya'da ısıtmalı seracılık Kütahya ve Aydın illerindeki jeotermal seracılığa e göre daha karlı olmaktadır. Ancak ısıtımda daha pahalı olan yerli linyit (10-18 mm) kullanılması durumunda, Antalya'da ısıtma için ödenecek bedel $9,6 \text{ ₺.m}^{-2}.\text{a}^{-1}$ olacaktır. Bu koşullarda Aydın'da jeotermal seracılık Antalya'ya göre daha avantajlı olacaktır. Belirtilen nedenle sera ısıtmasında kullanılan jeotermal enerjinin fiyatı karar verme aşamasında büyük bir önem arz etmektedir. Jeotermal enerji işletmecisi kurumlar tarafından farklı fiyatlarla pazarlanabilmektedir. Çizelge 4'te Balçova'da jeotermal enerjiyle ısıtılan seralarda aylık sıcak su bedelleri verilmiştir (Karacabey ve ark. 2009). Çizelgeden de görüleceği gibi sera ısıtmasında kullanılan enerji bedeli, sera alanlarına göre belirlenmektedir. Çizelge 4'te verilen enerji bedellerinin dikkate alınması durumunda, Kütahya koşullarında $3\ 000 \text{ m}^2$ büyüklüğündeki seranın 9 ay boyunca ısıtılması için ödenecek enerji bedeli $3\ 780 \text{ ₺.a}^{-1}$ olurken, Aydın'da $2\ 100 \text{ ₺.a}^{-1}$ olacaktır. Antalya'da $3\ 000 \text{ m}^2$ büyüklüğündeki seranın yerli linyit (0,5-10 mm) ile ısıtılması durumunda ödenecek yakıt bedeli $19\ 434 \text{ ₺.a}^{-1}$ olacaktır. Bu miktar Aydın'da ödenen ısıtma giderinin yaklaşık 9, Kütahya'nın 5 katına eşdeğerdir.

Çizelge 4. Balçova'da jeotermal enerjiyle ısıtılan seralarda aylık sıcak su bedelleri (Karacabey ve ark. 2009).

Sera alanı [m^2]	Birim alan ısıtma bedeli [$\text{₺.m}^{-2}.\text{ay}^{-1}$]
< 1 000	$0,160 \text{ ₺.m}^{-2}$
1 000 – 3 000	İlk $1\ 000 \text{ m}^2$ için 160 ₺.ay^{-1} , $1\ 000 \text{ m}^2$ 'nin üzeri $0,130 \text{ ₺.m}^{-2}.\text{ay}^{-1}$
3 000 – 10 000	İlk $3\ 000 \text{ m}^2$ için 420 ₺.ay^{-1} , $3\ 000 \text{ m}^2$ 'nin üzeri $0,100 \text{ ₺.m}^{-2}.\text{ay}^{-1}$
>10 000	İlk $10\ 000 \text{ m}^2$ için 1120 ₺.ay^{-1} , $10\ 000 \text{ m}^2$ 'nin üzeri $0,085 \text{ ₺.m}^{-2}.\text{ay}^{-1}$



Şekil 6. Farklı jeotermal enerji birim fiyatlarının, farklı fosil yakıtların maliyetlerine göre azalma oranı. Jeotermal enerjinin farklı birim fiyatlarıyla fosil enerji kaynaklarının birim fiyatlarına bağlı ısıt-

ma maliyeti azalması şekil 6'da verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi, jeotermal enerjinin birim fiyatı 0,067 olduğunda, seranın jeotermal enerji ile ısıtılması durumunda, doğal gazla ısıtmaya göre toplam ısıtma maliyeti %25 oranında azalacaktır. Seranın daha pahalı olan kal-yakla ısıtılması durumunda toplam ısıtma maliyeti %55 oranında azalacaktır.

Sonuç ve Değerlendirme

Türkiye'de seracılık iklimin uygun olduğu Akdeniz bölgesinde yoğunlaşmıştır. Ancak Akdeniz iklim verileri incelendiğinde, sıcak dönemlerde ortaya çıkan yüksek sıcaklıklar nedeniyle, seralarda tüm yıl üretimin yapılması mümkün olmamaktadır. Bu durum seralarda birim alandan alınan verimin azalmasına neden olmaktadır. Akdeniz sahil şeridinde, ortalama sıcaklık değerlerinin 70°C'nin altına düşmemesi nedeniyle, aile tipi küçük işletmeler, soğuk seracılığı tercih etmektedir. Bunun sonucunda, serada yüksek nem nedeniyle ortaya çıkan hastalıklara karşı aşırı kimyasallar kullanılmaktadır. Bu durum çevre ve insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir.

Seralardan kaliteli yüksek verimin elde edilebilmesi için seralar ısıtılmalıdır. Ancak artan enerji fiyatları araştırmacıları enerji-nötr seralar konusunda yoğun araştırmalara yönlendirdiği gibi, alternatif enerji kaynaklarının sera ısıtmasında kullanılmasını teşvik etmiştir. Günümüzde seracılık için en uygun alternatif alanlar, jeotermal kaynakların olduğu bölgelerdir. Jeotermal kaynakların yaygın olduğu Kütahya ve Aydın illerinin iklim değerleri incelendiğinde, Aydın ilinin tipik Akdeniz iklimi özelliğini gösterdiği, buna karşın Kütahya'nın karasal iklime sahip olduğu görülmektedir. Aydın ilinde sıcaklık değerlerinin Haziran ayının ortalarından itibaren 34°C'nin üstüne yükselmesi nedeniyle seralar, yaz aylarında boş bırakılmaktadırlar. Kütahya ilinde ise saatlik sıcaklık değerleri Temmuz ve Ağustos aylarında çok kısa bir süre için 27°C'nin üstüne yükselmektedirler (Çizelge 3). Bu dönemde iyi bir havalandırma ile birlikte seralarda yapılacak olan gölgeleme ile bitkisel üretimin tüm yıl serada gerçekleşmesi mümkün olabilecektir.

Sera ısıtmasında fosil enerji kaynaklarının kullanılması üretimin karlılığını etkilediği gibi, fosil enerji kaynaklarının kullanılması durumunda atmosfere verilen sera gazları nedeniyle karbon ayak izi büyümektedir. Belirtilen nedenlerle, Jeotermal kaynakların bulunduğu yerlerde kurulacak "Organize Seracılık" bölgelerinde, günümüz teknolojisine uygun modern sera yapılarının seçilmesi, enerji korunumu amacıyla teknik önlemlerin alınması ve jeotermal enerji fiyatlarının uygun koşullarda üreticilere pazarlanması koşuluyla, Türkiye'de seracılık sektörüne ve üreticilerine anlamlı katkı sağlanacaktır. Ancak, kurulacak işletmelerin fizibiliteleri yapılırken, kurulacak sistemlerin iyi planlanması ve tasarruf edilen birim enerji bedeline karşın, yapılan yatırım bedelinin iyi analiz edilmesi gereklidir.

KAYNAKLAR

- Baytorun,A,N., Topçu,S., Abak,K., Daşgan,Y. 1999. Growth and production of tomatoes in greenhouses at different temperature levels. *Gartenbauwissenschaft*,64 (1). s 33-39. Verlag Eugen Ulmer GmbH&Co., Stuttgart.
- Baytorun,A,N., Zaimoğlu,Z., Üstün,S. 2012. Akdeniz Bölgesi Seralarında Isı Enerjisi Gereksiniminin ve Enerji Artırım Önlemlerinin Etkisinin Belirlenmesi. II. Ulusal Sulama ve Tarımsal Yapılar Sempozyumu. Bornova, İzmir.
- Baytorun,A,N., Akyüz,A.,Üstün,S. 2015. Seralarda Isıtma Sistemlerinin Modellemesi ve Karar Verme Aşamasında Bilimsel Verilere Dayalı Uzman Sistemin Geliştirilmesi. Proje No: 114O533. Yayın aşamasında.

- Giuliano, V., Teitel, M., Pardossi, A., Minuto, A., Tinivella, F., Schettini, E. 2010. Sustainable greenhouse systems. Sustainable Agriculture. ISBN: 978-1-60876-269-9. Nova Science Publishers, Inc.
- Hasdemir, M., Hasdemir, M., Gül, U., Ataseven, Z.Y. 2014. Türkiye’de jeotermal seracılığın mevcut durumu ile karar verme süreçlerinde etkili olan faktörlerin analizi. TEPGE yayın no: 227. ISBN: 978-605-4672-60-8.
- http://www.izmirjeotermal.com.tr/islemler_ucret_tarifeleri_2013_2014_istima_sezonu
- <http://www.tesisat.com.tr/yayin/yakit-fiyatlari/>
- Karacabey, E., Yağcıoğlu, A. 2009. Seralarda katı yakıtlı ve jeotermal enerjili ısıtma sistemlerini oluşturan unsurların seçimi ve bu sistemlerin maliyet yönünden karşılaştırılması. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 5 (2), 175-182.
- Munoz, P., Anton, A., Nunez, M., Paranjpe, A., Arino, J., Castells, Y., Montero, J., Rieradevall, J. 2008. Acta Horticulturae. 801 (2), 1591-1596.
- Nisen, A., Grafiadellis, M., Jiménez, R., La Malfa, G., Martinez-Garcia, P.F., Monteiro, A., Verlodt, H., Villele, O., Zabeltitz, Chr.von., Denis, J.c., Baudoin, W., & Garnaud, J.C. 1988. Cultures protegees en climat mediterranean. FAO, Rome.
- Önder, D. 1998. Hatay ili samandağ ilçesindeki seraların yapısal ve teknik yönden incelenmesi ve yöre seraları için ısı yükünün belirlenmesi. Yüksek lisans tezi. Ç.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü. Adana
- Russo, G., Delucia Zeller, B. 2008 Acta Horticulturae. 801, 1597-1604.
- Üstün, S. 1993 Çukurova bölgesinde farklı sera içi iklim koşullarında ısı gereksiniminin hesaplanması üzerine bir araştırma. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi. Yüksek Lisans Tezi.
- Zabeltitz, Chr.von. 1992. Zabeltitz, Chr.von.1992. Energy-efficient greenhouse designs for mediterranean countries. Plasticsulture no.96 1992/24. s.6-16.
- Zabeltitz, Chr.von. 2011. Integrated Greenhouse Systems for Mild Climates. Climate Conditions, Desing, Construction, Maintenance, Climate Control. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

JEOTERMAL KAYNAK KULLANAN VE KULLANMAYAN SERALARIN MEVCUT DURUMLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Mehmet Hasdemir¹, Mine Hasdemir², Umut Gül², Zeliha Yasan Ataseven²

¹Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü

²Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü

(mehmet.hasdemir@tarim.gov.tr)

ÖZET

Hayatın her alanında gelişen teknoloji, enerji kaynaklarına olan gereksinimleri ve bu ölçüde bağımlılığı artırmaktadır. Tarım sektörü de azalan doğal kaynaklara karşılık, artan dünya nüfusunu beslemek üzere son yıllarda önemli gelişmeler göstermektedir. Kullanılan tarımsal üretim teknikleri enerji sarfiyatını artırmakta ve buna bağlı olarak toplam üretim maliyetleri içerisinde enerji maliyetleri önemli bir yer tutmaktadır. Enerji ihtiyacının karşılanmasına yönelik yaygın olarak kullanılan fosil yakıtların oluşturduğu çevre kirliliği nedeniyle, çevreci, sürdürülebilir ve yenilenebilir alternatif kaynakların önemi gün geçtikçe artmaktadır. Bu durum yaklaşık 31.500 MWt ısı potansiyeli ile Dünyanın 7. Avrupa'nın ise 1. jeotermal kaynağa sahip ülkesi olan Türkiye'de, özellikle örtüaltı üretimde jeotermal kaynağın kullanımını daha da önemli hale getirmektedir.

Jeotermal seracılık yapan işletmelerin yapısal durumunu belirlemek üzere yapılan bu çalışma, Türkiye'de jeotermal seracılığın yapıldığı toplam 10 ilde yürütülmüştür. Araştırma kapsamında, ısı kaynağı olarak jeotermal enerjinin kullanıldığı örtüaltı işletmeler ile birlikte, bu işletmelerin bulunduğu bölgede üretim yapan, ancak jeotermal enerjiyi kullanmayan diğer örtüaltı işletmeleri analiz edilmiştir. Jeotermal kaynak kullanan örtüaltı işletmeler için tam sayım yöntemi-ne göre, jeotermal kaynak kullanmayan işletmeler içinde oransal örnek hacmi yöntemine göre toplam 277 işletme ile anket çalışması yapılmıştır. Anket sonuçları doğrultusunda, jeotermal kaynak kullanan ve kullanmayan işletmelere ait özelliklerin birbiri ile olan ilişkilerini ortaya koymak üzere çoklu uyum analizi yapılmıştır. Çoklu uyum analizi sonuçlarına göre jeotermal kaynak kullanan işletmeler ile topraksız tarım arasında çok kuvvetli bir ilişki olduğu ve teknik personel çalıştırdıkları, jeotermal kaynak kullanmayan işletmelerin ise teknik personel çalıştırmadığı ve genelde plastik örtü kullandığı görülmüştür. Ayrıca jeotermal kaynak kullanan işletmelerin, kuruluştaki kamu desteğinden daha çok faydalandığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal seracılık, topraksız tarım, cam sera, çoklu uyum analizi

COMPARISON OF THE CURRENT SITUATION OF GREENHOUSES USING AND NON-USING GEOTHERMAL SOURCES

Mehmet Hasdemir¹, Mine Hasdemir², Umut Gül², Zeliha Yasan Ataseven²

¹Ministry of Food, Agriculture and Livestock, General Directorate of Vegative Production

²Agricultural Economic and Policy Development Institute

(mehmet.hasdemir@tarim.gov.tr)

ABSTRACT

Developing technology in every space of life has increased the need of energy resources and dependency for it. In response to decreasing natural resources, agricultural sector has showed important developments to feed increasing world population. The agricultural production technics used have increased the energy expenditure and therefore, energy costs have important a place in total production costs. Because environmental pollution that caused by fossil fuels which is commonly used for energy need; environmentalist, the important of sustainable and renewable alternative resources have increased day by day. This situation has made especially important the use of geothermal resources in greenhouses production in Turkey which has the value of approximately 31.500 MWt heating potential seventh of the World and first of the Europe.

This study was carried in 10 provinces that have done geothermal greenhouses in Turkey to determine structural situation of farms that have done geothermal greenhouses. In the scope of research, greenhouse farms that are used geothermal energy as heat resources and other greenhouse farms that produce in this region and don't use geothermal energy were analysed. According to Complete Inventory Method for greenhouse farms that used geothermal resource and Proportional Sample Method for greenhouse farms that don't used geothermal resource, it has totally done 277 greenhouses farm surveys. In accordance with the results of the survey, it has done Multiple Correspondence Analyses to determine relations between characteristics of farms that used and don't used geothermal resources. According to Multiple Correspondence Analyses, it has been seen that there is a very strong relationship between farms that used geothermal resources and soilless agriculture and employ technical staff, farms that don't used geothermal resources don't employ technical staff and generally used plastic cover. Also, it has been determined that farms that used geothermal resources benefit more public support in establishment phase.

Keywords: Geothermal greenhouse, soilless, glasshouse, multiple correspondence analyses.

1. GİRİŞ

Üretim süreçlerinin vazgeçilmez girdisi olan enerji kaynaklarına duyulan ihtiyaç her geçen gün artarak devam etmektedir. Ülkelerin kalkınma ve büyüme hızına bağlı olarak enerji ihtiyaçları da değişiklik göstermektedir. Küresel enerji ihtiyacının %78,2'si kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlardan elde edilmektedir (Anonim, 2013a). Ancak fosil enerji kaynaklarının azalmasının yanında, yakıldığında havaya verdiği yüksek orandaki karbondioksit nedeniyle kirlilik yaratması, alternatif enerji kaynaklarına olan ihtiyacı artırmaktadır.

İklim şartlarını kontrol ederek, tarımsal üretim sürecini yıl içerisinde daha geniş bir zamana yaymak üzere yapılan örtüaltı üretimde en önemli sorun ısıtmadır. Türkiye şartlarında, ısıtma giderleri ise sera karlılığını etkileyen en önemli unsurlardan biridir. Seracılık işletmelerinde ısıtma giderleri, yetiştirme mevsimi, bölge ve ürün tipine bağlı olarak değişmekle birlikte toplam maliyetin %40 ile %80'ini oluşturmaktadır. Sera ısıtmasında kullanılan fosil yakıtların maliyetlerinin yüksekliği nedeniyle, Türkiye'deki birçok serada düzenli bir ısıtma yapılamamakta, sadece bitkileri dondan korumaya yönelik ısıtma yapılmaktadır. Düzenli ısıtma yapılmaması, verim düşüklüğü, üretim çeşidinde sınırlama, tarımsal mücadele için ilaç ve hormon kullanma zorunluluğu gibi problemleri beraberinde getirmektedir (Kendirli ve Çakmak, 2010). Ancak bitkinin ihtiyaç duyduğu sıcaklığı sağlayacak yeterli bir ısıtma verimi %50-60 oranında artırabilmektedir. Bu nedenle jeotermal kaynak kullanılarak ısıtılan seralarda, bitki gelişimi ve döllenme için gereken sıcaklık daha ekonomik şartlarda sağlanmakta, bu sayede gerekli havalandırma yapılarak sera içi rutubet kontrol edilmekte ve bundan kaynaklanabilecek hastalıklar oluşmayarak, verim yükselmektedir.

Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı İl Müdürlükleri kayıtlarına göre Türkiye'de 2015 yılı itibarıyla 15 ilde 3.858,85 da alanda jeotermal kaynak kullanılarak örtüaltı üretim yapılmaktadır. Bu alanların büyük bir çoğunluğu İzmir (%21,25), Manisa (%16,22), Afyonkarahisar (%15,78) ve Denizli (%13,32) illerinde bulunmaktadır (Anonim, 2015). Bu veriler dikkate alındığında 2002 yılında 500 da olan jeotermal sera varlığının önemli bir artış gösterdiği görülmekle birlikte, hedeflenen jeotermal sera varlığına tam olarak ulaşılamamıştır. Onuncu Kalkınma Planı (2014–2018) Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Jeotermal Çalışma Grubu Raporu'nda sera ısıtma hedefi 2018 yılı için 6.000 da, 2023 yılı için de 15.000 da olarak belirlenmiştir (Anonim, 2013b).

Jeotermal kaynağın seracılıkta ısıtma amaçlı kullanılması, tarım sektörü için ekonomik ve çevresel fayda sağlayan bir yenilik olarak ele alınmak durumundadır. Yeniliklerin benimsenmesi süreci ise bir taraftan yeniliğin kendisiyle, diğer taraftan yeniliğin kullanıldığı sistem ve bireylerle ilgili çok değişkenli ve karmaşık bir süreçtir. Bu nedenle jeotermal sera alanlarının artırılmasına yönelik başlatılacak çalışmaların öncesinde, jeotermal seraların mevcut durumu ve karşılaştıkları sorunların tespit edilmesi büyük önem arz etmektedir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırma, 2012 ve 2013 yıllarında Türkiye'de jeotermal seracılığın yapıldığı Afyonkarahisar, Aydın, Denizli, İzmir, Kırşehir, Kütahya, Manisa, Nevşehir, Şanlıurfa ve Yozgat illerinin içerisinde olduğu toplam 10 ilde gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın ana materyalini oluşturan seralar, jeotermal enerji kullanan ve kullanmayanlar olarak iki gruba ayrılmıştır. Araştırma kapsamında incelenecek seraların tespitinde, jeotermal seralar için tam sayım yöntemi uygulanmıştır. Jeotermal kaynak kullanmayan seralar içinde jeotermal seracılığın yapıldığı illerdeki toplam işletme sayısı dikkate alınarak örnekleme yapılmıştır. Jeotermal kaynak kullanmayan işletmelere yönelik örnek-

lemede aşağıda formülü verilen oransal örnek hacmi yöntemi kullanılmıştır. Formülde; “ σ^2_{px} ” oranın varyansı, “n” örnek hacmi, “N” ana kitle, “p” oranı ifade etmektedir (Miran, 2007).

$$n = \frac{Np(1-p)}{(N-1)\sigma^2_{px} + p(1-p)}$$

Araştırmanın yapıldığı tarih itibariyle Türkiye’de ısıtma amaçlı jeotermal kaynak kullanan 122 örtüaltı üretim işletmesi mevcut olup bu işletmelerin tamamıyla anket çalışması yapılmıştır. Jeotermal kaynak kullanan işletmeler ile aynı bölgede üretim yapan, ancak jeotermal enerjiyi kullanmayan 823 işletme tespit edilmiştir (Anonim, 2012). Oransal örnek hacmi yöntemine göre %5 hata payı ve %95 güven aralığında jeotermal enerjiyi kullanmayanlar için örnek hacmi, 155 işletme olarak belirlenmiştir. Böylece toplam 277 işletme ile yüz yüze anket çalışması yapılmıştır.

Araştırma sonucunda jeotermal kaynak kullanan ve kullanmayan işletmelere ait özelliklerin bir-biri ile olan ilişkilerini ortaya koymak üzere Çoklu Uyum Analizi (Multiple Correspondence Analysis) yapılmıştır. Çoklu Uyum Analizi, basit uyum analizinin üç veya daha fazla kategorik değişken için bir genellemesidir. Çoklu Uyum Analizi, $r^2 \cdot c \cdot m \cdot \dots$ biçiminde iç içe değişik biçimlerde çaprazlanmış tablolarda yer alan değişkenlerin alt kategoriler arasındaki birlikteliği ve ilişkileri ortaya koymak için başvurulan bir yöntemdir. Çoklu Uyum Analizinde iki ya da daha fazla değişken bir boyutta temsil edilmektedir. Çoklu Uyum Analizi, sürekli değişkenler yerine kategorik değişkenleri kullanarak n adet bireyin p adet özelliğinden elde edilen verilere uygulanan temel bileşenler analizi olarak da değerlendirilebilir (Aktürk, 2004; Abdi ve Valentin, 2007).

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1 Üretim Sistemleri

Anket yapılan işletmelerin seralarında jeotermal kaynak kullanıp kullanmama durumu (jeotermal yapmayan, jeotermal yapan), kullandıkları sera malzemesi (cam, plastik, cam+plastik), işgücü (teknik personel çalıştıran, teknik personel çalıştırmayan), örtüaltı arazi büyüklükleri durumu (0-20 da, 21-50 da, 51 da ve üzeri) ve yetiştirme ortamları (topraklı ve topraksız üretim) değişkenlerinin, hem kendi aralarındaki hem de kategorize edilmiş kendi seviyeleri arasındaki ilişkileri ortaya koymak üzere yapılan çoklu uyum analizi sonucunda elde edilen burt matrisi Tablo 1’de verilmiştir. Her bir değişken için kategorilerde yer alan değerler toplamı, toplam işletme sayısına eşittir.

Tablo 1’de verilen değerler incelendiğinde işletmelerin 155’i jeotermal kaynak kullanmayan, 122’si jeotermal kaynak kullanan işletmeler olduğu görülmekte olup bu değerlere göre üretim sistemlerine ait özellikler aşağıdaki şekildedir.

- Jeotermal kaynak kullanmayan 155 işletmenin 146’sı 20 dekardan az, 7’si 21-50 dekar arasında ve 2’si 50 dekardan büyük alanda örtüaltı üretim yapmaktadır. Jeotermal kaynak kullanan 122 işletmenin ise 94’ü 20 dekardan az, 12’si 21-50 dekar arasında, 16’sı ise 50 dekardan büyük alanda örtüaltı üretim yapmaktadır. Bu verilere göre jeotermal kaynak kullanan işletmelerin %22,95’i 20 dekardan daha büyük bir alanda örtüaltı üretim yapmaktadır iken, jeotermal kaynak kullanmayan işletmelerin ancak %5,81’i 20 dekardan daha büyük bir alanda örtüaltı üretim yapmaktadır.
- Jeotermal kaynak kullanmayan işletmelerin 146’sı plastik sera, 5’i cam sera 4’ü de hem plastik hem de cam sera özelliğindedir. Jeotermal kaynak kullananların ise 102’si plastik, 15’i cam, 5’i de hem plastik hem de cam seradır. Bu verilere göre işletmesinde cam sera bulunma durumu jeotermal kaynak kullananlarda %16,39 iken jeotermal kaynak kullanmayanlarda %5,81’dir.

- Jeotermal kaynak kullanmayan işletmelerin 11'i işletmelerinde teknik personel çalıştırmakta iken jeotermal kaynak kullanan işletmelerin 55'inde teknik personel çalıştırıldığı görülmektedir. Buna göre jeotermal kaynak kullanan işletmelerin %45,08'i en az bir ziraat teknisyeni, teknikeri veya mühendisi istihdam etmektedir. Jeotermal kaynak kullanmayan işletmelerde ise teknik personel istihdam etme oranı sadece %7,10'dur.
- Jeotermal kaynak kullanmayan işletmelerin 147'si topraklı tarım yapmakta iken jeotermal kullanan işletmelerin 55'i topraklı üretim yapmaktadır. Bu verilere göre jeotermal kaynak kullanan işletmelerin %54,92'sinin yetiştirme ortamı olarak toprak kullanmadıkları ve topraksız tarım yaptıkları, jeotermal kaynak kullanmayan işletmelerin ise büyük bir çoğunluğunun (%94,84) toprakta üretim yaptıkları anlaşılmaktadır.

Tablo 1. İşletmelerin üretim sistemlerine ait burt tablosu (matrisi)

Burt Tablosu	Jeot.Kullanmayan	Jeot.kullanan	Cam Sera	Plastik Sera	plastik+Cam sera	Teknik Personel Çalışmıyor	Teknik Personel Çalışıyor	Ört. Alan 0-20 da	Ört. Alan 21-50 da	Ört. Alan 50+ da	Topraklı	Topraksız
Jeot.Kullanmayan	155	0	5	146	4	144	11	146	7	2	147	8
Jeot.Kullanan	0	122	15	102	5	67	55	94	12	16	55	67
Cam Sera	5	15	20	0	0	6	14	13	4	3	7	13
Plastik Sera	146	102	0	248	0	201	47	222	13	13	191	57
Plastik+Cam Sera	4	5	0	0	9	4	5	5	2	2	4	5
Teknik Per. Çalışmıyor	144	67	6	201	4	211	0	207	3	1	189	22
Teknik Personel Çalışıyor	11	55	14	47	5	0	66	33	16	17	13	53
Örtüaltı alan (0-20 da)	146	94	13	222	5	207	33	240	0	0	193	47
Örtüaltı alan (21-50 da)	7	12	4	13	2	3	16	0	19	0	6	13
Örtüaltı alan (50+ da)	2	16	3	13	2	1	17	0	0	18	3	15
Topraklı	147	55	7	191	4	189	13	193	6	3	202	0
Topraksız	8	67	13	57	5	22	53	47	13	15	0	75

İşletmelerin kullandıkları sera tipleri, eğitim, işgücü ve kayıt tutma durumu özelliklerine ait başlangıç matrisinin sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Başlangıç matrisinin analizi sonucunda Burt matrisinin rankı kadar boyut elde edilmektedir.

Tablo 2'de ele alınan beş değişkenin seviyelerinde (kategorilerinde) var olan değişimin (varyasyonun) ortalama ölçüsü olarak değerlendirilen toplam değişim (inertia) içerisinde, her bir boyuta düşen değişim miktarları gösterilmektedir. Her bir boyutun toplam değişimi açıklamadaki payları, yani yüzde değişimleri, her boyuttaki değişimin (inertia) toplam değişime oranlanması ile bulunur. Dolayısıyla, Tablo 2'den de görüleceği üzere, en yüksek açıklama oranı %38,1 değeri ile birinci boyuta aittir. Diğer boyutlarda açıklama oranları giderek düşmektedir. Toplam değişimi açıklamadaki eklemeli paylara bakıldığında; ilk iki boyutun toplam değişimi açıklamadaki payının %52,9 olduğu görülmektedir. Diğer bir ifade ile değişkenlerin seviyeleri arasın-

da var olan uzaklıklar 7 boyutlu uzaydan 2 boyutlu uzaya indirgenerek gösterilmek istendiğinde toplam değişimin ancak %52,9'luk bir kısmının açıklanması mümkün olmaktadır. Bu açıklama oranı uygulamada yeterli bir açıklama oranı olarak alınabilir (Greenacre, 1998; Aktürk, 2004).

Tablo 2. İşletmelerin üretim sistemlerine ait başlangıç matrisinin analiz sonuçları

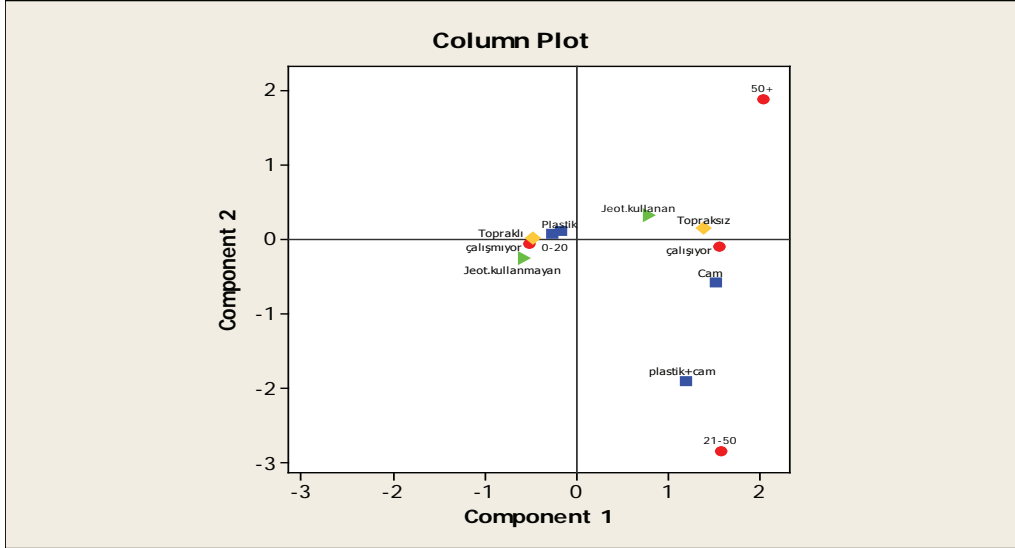
Boyut	Değişim	Pay	Eklemeli Pay	Histogram
1	0,533	0,381	0,381	*****
2	0,208	0,149	0,529	*****
3	0,204	0,146	0,675	*****
4	0,166	0,119	0,794	*****
5	0,148	0,106	0,900	*****
6	0,085	0,061	0,960	*****
7	0,056	0,040	1,000	***
Toplam	1,400			

Değişkenlere ait seviyeler arasındaki ilişkiyi iki boyutlu uzayda göstermek, toplam değişimi açıklayabilme bakımından yeterli değilse de sonuçların yorumlanmasını gösterebilmek için sadece iki boyut dikkate alınmış ve bu boyutların seviyeler ile olan korelasyon katsayıları, her bir seviyenin boyuta olan katkısı ve iki boyutlu uzaydaki koordinatı Tablo 3'de verilmiştir. Tablo 3 incelendiğinde birinci boyuta olan katkısı bakımından en yüksek katkının teknik personel çalışıyor ve topraksız tarım yapan kategorisinin olduğu, bunu 50 da üzeri sera arazisine sahip kategorisinin takip ettiği görülmektedir. Birinci boyuta en az katkısı olan kategorilerin sera malzemesi plastik ve plastik+cam kategorilerinin olduğu görülmektedir. Buna karşılık, ikinci boyuta olan katkılardan en yüksek olanı 21-50 da ve 50 da üzeri arazi kategorisinin olduğu görülmektedir. Teknik personel çalışmıyor ve topraklı tarım yapan kategorisinin bu boyuta katkısının yok deneye kadar az olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 3. İşletmelerin üretim sistemlerine koordinat, korelasyon ve katkı değerleri

Sütun Katkıları	Kütle	Değişim	Boyut 1			Boyut 2		
			Koordinat	Korelas.	Katkı	koordinat	Korelas.	Katkı
Jeot.Kullanmayan	0,112	0,063	-0,599	0,456	0,075	-0,259	0,085	0,036
Jeot.Kullanan	0,088	0,080	0,761	0,456	0,096	0,329	0,085	0,046
Cam Sera	0,014	0,133	1,515	0,179	0,062	-0,586	0,027	0,024
Plastik Sera	0,179	0,015	-0,166	0,235	0,009	0,116	0,115	0,012
Plastik+Cam Sera	0,006	0,138	1,196	0,048	0,017	-1,901	0,121	0,113
Teknik Per. Çalışmıyor	0,152	0,034	-0,488	0,763	0,068	0,028	0,003	0,001
Teknik Per. Çalışıyor	0,048	0,109	1,562	0,763	0,218	-0,090	0,003	0,002
Örtüaltı alan(0-20 da)	0,173	0,019	-0,277	0,497	0,025	0,084	0,446	0,006
Örtüaltı alan(21-50 da)	0,014	0,133	1,568	0,181	0,063	-2,842	0,595	0,533
Örtüaltı alan (50+ da)	0,013	0,134	2,034	0,287	0,101	1,877	0,245	0,220
Topraklı	0,146	0,039	-0,512	0,707	0,072	-0,058	0,009	0,002
Topraksız	0,054	0,104	1,380	0,707	0,193	0,156	0,009	0,006

Tablo 3’de verilen sayısal değerler bir diyagramda gösterilmek istendiğinde üreticilerin sosyo-ekonomik özelliklerinin çoklu uyum analizi diyagramı Şekil 1’deki gibi olmaktadır.



Şekil 1. İşletmelerin üretim sistemlerine ait çoklu uyum analizi diyagramı

Şekil 1’de verilen çoklu uyum analizi diyagramı incelendiğinde, jeotermal kullanan işletmeler ile topraksız tarım yapması arasında çok kuvvetli bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Jeotermal kullanan işletmelerin teknik personel çalıştırdığı ifade edilebilmektedir. Jeotermal kaynak kullanmayan işletmelerin ise teknik personel çalıştırmadığı ve genelde plastik sera kullandığı çok açık bir şekilde görülmektedir. Ayrıca jeotermal kaynak kullanmayan işletmelerin genelde 0-20 da büyüklüğünde bir sera arazisi olduğu ve bu işletmelerinde topraklı üretim yaptıkları tespit edilmiştir.

3.2 Yararlanılan Destekler

Anket yapılan işletmelerin jeotermal kaynak kullanıp kullanmama durumu (jeotermal yapmayan, jeotermal yapan), ilk kuruluşta kamu desteği (kuruluş desteği almıyor, kuruluş desteği alıyor), genel olarak tarımsal destek (tarım destek alıyor, tarım destek almıyor) ve mazot desteği (mazot desteği almıyor, mazot desteği alıyor) değişkenlerinin, hem kendi aralarındaki hem de kategorize edilmiş kendi seviyeleri arasındaki ilişkilerin incelenmesi amacıyla yapılan çoklu uyum analizi sonucunda elde edilen burt matrisi Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4 ‘de verilen değerler incelendiğinde işletmelerin 155’i jeotermal kaynak kullanmayan, 122’si kullanan işletmeler olduğu görülmekte olup bu değerlere göre işletmelerin desteklerden yararlanma durumları aşağıdaki şekildedir.

- Jeotermal kaynak kullanmayan 48 işletme ilk kuruluşlarında kamu desteği aldıklarını ifade ederken, jeotermal kaynak kullanan işletmelerin ise 56’sı ilk kuruluşlarında kamu desteği aldıklarını belirtmişlerdir. Bu veriler dikkate alındığında, jeotermal kaynak kullanan işletmelerin %45,90’ının kamu desteği ile kurulduğu anlaşılmaktadır.
- Jeotermal kaynak kullanmayanların 81’i, jeotermal kullananların ise 67’si genel itibarıyla tarımsal desteklerden yararlanmaktadır.

- Jeotermal kaynak kullanmayan 56 işletme, jeotermal kaynak kullanan 36 işletme mazot desteğinden yararlanmamaktadır. Bu durum jeotermal kaynak kullanan ve kullanmayan işletmelerin çoğunluğunun mazot desteğinden yararlanmadığını göstermektedir.

Tablo 4. İşletmelerin yararlandığı desteklere ait burt tablosu (matrisi)

Burt tablosu	Jeot.Kullanmayan	Jeot.Kullanan	Kuruluş Kamu Dest. Almıyor	Kuruluş Dest. Alıyor	Tarım Destek Alıyor	Tarım Destek Almıyor	Mazot Desteği Almıyor	Mazot Desteği Alıyor
Jeot.Kullanmayan	155	0	107	48	81	74	99	56
Jeot.Kullanan	0	122	66	56	67	55	86	36
Kuruluş Kamu Desteği Almıyor	107	66	173	0	97	76	111	62
Kuruluş Kamu Desteği Alıyor	48	56	0	104	51	53	74	30
Tarım Destek Alıyor	81	67	97	51	148	0	56	92
Tarım Destek Almıyor	74	55	76	53	0	129	129	0
Mazot Desteği Almıyor	99	86	111	74	56	129	185	0
Mazot Desteği Alıyor	56	36	62	30	92	0	0	92

İşletmelerin yararlandıkları desteklere ait başlangıç matrisinin sonuçları Tablo 5’de verilmiş olup, en yüksek açıklama oranı %41,93 değeri ile birinci boyuta aittir. Diğer boyutlarda açıklama oranları giderek düşmektedir. Toplam değişimi açıklamadaki eklemeli paylara bakıldığında; ilk iki boyutun toplam değişimi açıklamadaki payının %70,44 olduğu görülmektedir. Diğer bir ifade ile değişkenlerin seviyeleri arasında var olan uzaklıklar 4 boyutlu uzaydan 2 boyutlu uzaya indirgenerek gösterilmek istendiğinde toplam değişimin ancak %70,44’lük bir kısmının açıklanması mümkün olmaktadır.

Tablo 5. Yararlanılan desteklere ilişkin başlangıç matrisinin analiz sonuçları

Boyut	Değişim	Pay	Eklemeli Pay	Histogram
1	0,4193	0,4193	0,4193	*****
2	0,2851	0,2851	0,7044	***
3	0,2120	0,2120	0,9164	**
4	0,0836	0,0836	1,0000	*
Toplam	1,0000			

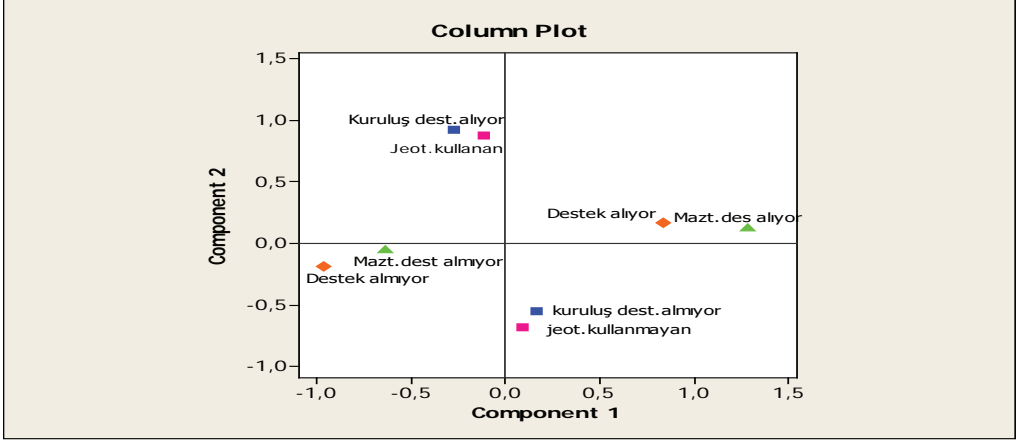
Değişkenlere ait seviyeler arasındaki ilişkiyi iki boyutlu uzayda göstermek, toplam değişimi açıklayabilme bakımından yeterli değilse de, sonuçların yorumlanmasını gösterebilmek için sadece iki boyut dikkate alınmış ve bu boyutların seviyeler ile olan korelasyon katsayıları, her bir

seviyenin boyuta olan katkısı ve iki boyutlu uzaydaki koordinatı Tablo 6’da verilmiştir. Tablo 6 incelendiğinde; birinci boyuta olan katkısı bakımından en yüksek katkının mazot desteği alıyor kategorisinin olduğu, bunu tarım desteği almıyor kategorisinin takip ettiği görülmektedir. Jeotermal kaynak kullanan ve kullanmayan işletmeler kategorisinin bu boyuta katkısını çok az olduğu tespit edilmiştir. Buna karşılık ikinci boyuta olan katkılardan en yüksek olanı jeotermal kullanan kategorisidir. Daha sonra ilk kuruluştaki kamu desteği alıyor ve jeotermal kaynak kullanmayan işletmeler kategorilerinin geldiği görülmektedir. Mazot desteği alıyor ve mazot desteği almıyor kategorilerinin bu boyutu katkısı çok az olduğu ifade edilebilir.

Tablo 6. Yararlanılan desteklere ait koordinat, korelasyon ve katkı değerleri

Sütun Katkıları	Kütle	Değişim	Boyut 1			Boyut 2		
			Koord.	Korelasy.	Katkı	Koord.	Korelasy.	Katkı
Jeot.Kullanmayan	0,140	0,110	0,094	0,011	0,003	-0,684	0,594	0,229
Jeot.Kullanan	0,110	0,140	-0,119	0,011	0,004	0,869	0,594	0,292
Kuruluş Dest. Almıyor	0,156	0,094	0,163	0,044	0,010	-0,553	0,509	0,167
Kuruluş Dest. Alıyor	0,094		0,156 -0,271 0,044		0,016	0,920	0,509	0,279
Tarım Destek Alıyor	0,134	0,116	0,837	0,804	0,223	0,165	0,031	0,013
Tarım Destek Almıyor	0,116	0,134	-0,960	0,804	0,256	-0,189	0,031	0,015
Mazot Desteği Almıyor	0,167	0,083	-0,638	0,818	0,162	-0,057	0,007	0,002
Mazot Desteği Alıyor	0,083	0,167	1,283	0,818	0,326	0,114	0,007	0,004

İşletmelerin yararlandıkları desteklere ilişkin çoklu uyum analizi diyagramı Şekil 2’de verilmiştir. Jeotermal kaynak kullanan ve kullanmayan işletmelerde tarımsal desteklerden ve mazot desteğinden yararlanma durumu arasında önemli bir ilişki olmadığı saptanmıştır. Bunun yanında, jeotermal kaynak kullanan işletmelerin ilk kuruluştaki kamu desteğinden daha çok faydalandığı söylenebilir.



Şekil 2. Desteklerden yararlanma durumuna ilişkin çoklu uyum analizi diyagramı

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Örtüaltı üretim maliyetlerinin en büyük kısmını oluşturan ısıtma giderlerinin hem azaltılmasında, hem de yenilenebilir kaynaklardan karşılanmasında jeotermal enerji büyük önem arz etmektedir. Teorik jeotermal ısı potansiyeli olarak, ısıtma ihtiyacının %30'unu karşılayabilecek potansiyele sahip olan Türkiye için bu kaynak daha da önemli hale gelmektedir (Anonim, 2013b). Bu nedenle Türkiye'de jeotermal sera alanlarının genişletilmesi, bir taraftan fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerji kullanımı artırırken, diğer taraftan güvenilir ürünlerin elde edilmesini sağlayacak iyi tarım uygulamaları gibi üretim sistemlerinin yaygınlaşmasına katkı sağlayacaktır.

Türkiye'de mevcut örtüaltı işletmelerin yapısı dikkate alındığında, küçük üreticilerin örgütlenmesinin sağlanması veya jeotermal seracılık organize bölgelerinin oluşturulmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca jeotermal kaynağın serada ısıtma amacıyla kullanılması, ilave yatırımlar gerektirmektedir. Bu yatırımların kuruluşta kamu tarafından desteklenmesi, jeotermal kaynağın kullanımını önemli ölçüde yaygınlaştıracaktır. Jeotermal kaynağın varlığı yanında, seracılık tecrübesine rağmen jeotermal seracılığın istenilen düzeyde olmaması böyle bir desteğe olan ihtiyacı açıkça göstermektedir. Ancak kamu desteklemeleri yanında, kaynakların doğru yönetilerek, sürdürülebilir jeotermal seraların oluşturulmasına yönelik stratejiler belirlenmelidir. Araştırma sonuçlarına göre bu stratejilerin oluşturulmasına yönelik öneriler başlıklar halinde özetle aşağıda sunulmuştur.

Mevzuat alt yapısına ilişkin öneri

- Ruhsatlandırılmış sahalardaki var olan kaynağın, jeotermal seracılıkta kullanılmasını özendirecek tedbirlerin alınması,
- Ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliğe ilişkin öneriler
- Kurulacak jeotermal seralarda; çevre, insan ve hayvan sağlığına zarar vermeyen bir tarımsal üretimin yapılması, doğal kaynakların korunması, tarımda izlenebilirlik ve sürdürülebilirlik ile güvenilir ürün arzının sağlanması için İTU veya organik tarım yapılarak, ürünlerin uluslararası standartlarda belgelendirilmesi,

- Teknik kurallara ve çevre mevzuatına uygun bir şekilde reenjeksiyon veya deşarjın yapılmasına yönelik yerel yönetimlerle işbirliği halinde etkin tedbirler alınması,
- Jeotermal seracılığın ihtiyaç duyduğu alt yapıları oluşturacak, ekonomik işletme büyüklüğünde jeotermal seraların kurulmasını sağlamak üzere, küçük üreticilerin örgütlenmesinin sağlanması veya jeotermal seracılık organize bölgelerinin oluşturulması,

İnsan kaynakları ve girdilerin yönetimine ilişkin öneriler

- Modern teknolojileri kullanan daha çok topraksız tarım yapan jeotermal seracılığın ihtiyaç duyduğu tecrübeli tarım danışmanı ihtiyacını karşılamak üzere, üniversiteler ve araştırma kuruluşlarının uygulamaya yönelik “topraksız tarım danışmanı eğitimleri” sertifika programları düzenlenmesi,
- Nitelikli kadın sera işçisi talebini karşılamak üzere, İş-Kur destekli sertifikalı eğitimler verilmesi.

Ek Bilgi: Bu çalışma 112O405 nolu TÜBİTAK projesinden elde edilen veriler kullanılarak hazırlanmıştır.

KAYNAKLAR

- Abdi, H. ve Valentin, D. 2007. Çoklu Uyum Analizi . Encyclopedia of Measurement and Statistics. The University of Texas at Dallas. Richardson, TX 75083-0688, USA.
- Aktürk, D. 2004. Çoklu uyum Analizi Tekniğinin Sosyal Bilim Araştırmalarında Kullanımı. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Bilimleri Dergisi, Cilt: 10(2), Sayfa: 218-221.
- Anonim, 2012. Örtü Altı Kayıt Sistemi Verileri. T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Anonim, 2013a. Renewables 2013 Global Status Report. REN21 Renewable Energy Policy Network for 21 nd Century. www.ren21.net. Erişim tarihi: 21.09.2013
- Anonim, 2013b. Onuncu Kalkınma Planı (2014-2018) Madencilik Politikaları Özel İhtisas Komisyonu, Enerji Hammaddeleri Grubu Jeotermal Çalışma Alt Grubu Raporu. Kalkınma Bakanlığı, Ankara.
- Anonim, 2015. Tarımsal Veriler. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Greenacre, M.J. 1998. Visualization of categorical data. 107-112, San Diego, USA.
- Kendirli B. ve Çakmak, B., 2010. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Sera Isıtmasında Kullanımı, Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi, 2, 1, 95-103s., Ankara.
- Miran, B. 2007, Temel İstatistik, Ege Üniversitesi. İzmir.

TÜRKİYE'DE JEOTERMAL KAYNAKLARIN SERACILIKTA KULLANIMI

Gürsel Küsek¹, Yüksel Şahin¹, H. Hüseyin Öztürk²

¹T.C. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Tarım Reformu Genel Müdürlüğü, Eskişehir
Yolu 9. km Lodumlu/Ankara

²Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği
Bölümü, 01330 Adana
(hhozturk@cu.edu.tr)

ÖZ

Seralarda yetiştirilen ürünlerden beklenen en yüksek verimin elde edilebilmesi için, sıcaklığın düşük olduğu dönemlerde seraların ısıtılması gereklidir. Ülkemiz koşullarında, ısıtma giderleri ise sera karlılığını etkileyen en önemli etmenlerden biridir. Seracılık işletmelerinde ısıtma giderleri, yetiştirme mevsimi, bölge ve ürün tipine bağlı olarak değişmekle birlikte toplam maliyetin %40 ile %80'ini oluşturmaktadır. Sera ısıtmada kullanılan fosil yakıtların maliyetlerinin yüksekliliği nedeniyle, ülkemizdeki birçok serada düzenli bir ısıtma yapılamamakta, sadece bitkileri dondan korumaya yönelik ısıtma yapılmaktadır. Sera ısıtma uygulamalarında, günümüz enerji varlığını korumak ve çevre kirlenmesini önlemek amacıyla fosil enerji kaynakları yerine alternatif enerji kaynaklarından yararlanılması öncelikli bir gereksinimdir. Bu çalışmada; ülkemizde jeotermal seracılığın mevcut durumu ve sorunları değerlendirilmiş ve jeotermal kaynakların seracılıkta kullanımını artırmak için gerekli önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Türkiye, Seracılık, Jeotermal enerji

USE OF GEOTHERMAL SOURCES FOR GREENHOUSE HEATING IN TURKEY

Gürsel Küsek¹, Yüksel Şahin¹, H. Hüseyin Öztürk²

¹Ministry of Food, Agriculture and Livestock, General Directorate of Agricultural Reform, Ankara

²Çukurova University, Faculty of Agriculture, Agricultural Machinery and Technology Department, 01330 Adana
(hhozturk@cu.edu.tr)

ABSTRACT

In order to obtain the highest yield of the expected product are grown in greenhouses, it is necessary to heat the greenhouse during periods of low temperatures. Conditions of our country, heating costs are one of the most important factors affecting the profitability of the greenhouse. Greenhouse heating costs, vary depending on the product type, growing season and the region, accounted for 40% and 80% of the total cost. Due to the high costs of fossil fuels used for heating greenhouses heating applications can not be done on a regular in many greenhouse of our country, heating is done only to protect plants from frost. Greenhouse heating applications, utilization of alternative energy sources instead of fossil energy sources is a priority need in order to today's energy assets and to protect the environment. In this study; current situation and problems of geothermal greenhouses in Turkey were assessed and the necessary suggestions were made to improve the utilization of geothermal resources in the greenhouse heating.

Keywords: Turkey, Greenhouse, Geothermal energy

1. GİRİŞ

Jeotermal enerji, yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş olan ısının oluşturduğu, sıcaklığı sürekli olarak 20 °C'den fazla ve çevresindeki normal yeraltı ve yer üstü sulara oranla daha fazla erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar içerebilen, elektrik üretiminde, ısıtmada ve soğutmada, çeşitli sanayi tesislerinde enerji hammaddesi olarak kullanılan, kimyasal madde üretimine elverişli olabilen ayrıca, sağlık ve turizm amacıyla da yararlanılabilen, basınç altındaki sıcak su ve buhar ile sürekli yüzeye taşınan ısı enerjisi olarak tanımlanır.

Jeotermal enerji, fosil yakıtların tüketimi ve bunların kullanımından doğan sera etkisi ve asit yağmurları gibi çevre sorunlarının önlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu durum öncelikle, jeotermal enerjinin çevre yönünden diğer enerji türlerine kıyasla sahip olduğu doğal üstünlüklerden kaynaklanır. Öte yandan, jeotermal enerjinin kullanımıyla ilgili olarak söz konusu edilebilecek çevre sorunlarının çözümü konusunda son zamanlarda önemli gelişmeler sağlanmıştır. Bu durum, jeotermal enerjinin çevre açısından önemini daha da artırmıştır.

Yerli kaynaklarımızdan olan jeotermal enerjinin, yurdumuzun içinde bulunduğu enerji açığının karşılanmasında petrole olan bağımlılığın azaltılması ve döviz kaybının önlenmesi için, öncelikle değerlendirilmesi gerekmektedir. Jeotermal enerji; hidrolik, güneş, rüzgar vb. enerjiler gibi tükenmez enerji kaynaklarından biridir. Bu nedenle, tükenilirlikleri kesin olan fosil enerji kaynaklarına oranla uzun ömürlü ve tükenmez bir enerji kaynağıdır.

Sera ısıtma uygulamalarında, günümüz enerji varlığını korumak ve çevre kirlenmesini önlemek amacıyla fosil enerji kaynakları yerine alternatif enerji kaynaklarından yararlanılması öncelikli bir gereksinimdir. Sera ısıtmada kullanılan alternatif enerji kaynaklarından bazıları; güneş enerjisi, jeotermal enerji ve sanayi tesislerinden çıkan düşük sıcaklıklı atık ısı enerjisidir. Bu çalışmada; ülkemizde jeotermal seracılığın mevcut durumu ve sorunları değerlendirilmiş ve jeotermal kaynakların seracılıkta kullanımını artırmak için gerekli önerilerde bulunulmuştur.

2. JEOTERMAL ENERJİ KULLANIMI

2.1. Türkiye'nin Jeotermal Enerji Potansiyeli

Türkiye, jeotermal kaynaklar bakımından önemli bir bölge olan Alp-Himalaya orojenik kuşağında yer alır. Jeotermal kaynak zenginliği bakımından dünyadaki ilk yedi ülke arasında yer alır. Türkiye Alp Tektonik Kuşağı üzerinde bulunması nedeniyle, jeotermal enerji bakımından önemli bir potansiyele sahiptir. Ülkemiz, batıda graben, ortada havza rejimi, doğuda sıkışma tektoniği ve kuzeyde ise Kuzey Anadolu Fayı (KAF) ile tektonik açıdan çok etkili bir zon üzerindedir. Bu tektonizmanın yarattığı kırık ve zayıflık zonları ile bu zonlardan kabuk içerisinde sığ derinliklere ve/veya yeryüzüne kadar ulaşan magma faaliyetleri sonucunda, magmatik ve volkanizma olayları doğmaktadır. Yer yer jeotermal akışkanlar oluşarak, diğer jeolojik ve meteorolojik olayların da yardımı ile jeotermal sistemler gelişmektedir. Ülkemizdeki teorik ve belirlenen jeotermal enerji potansiyeli Çizelge 1'de özetlenmiştir.

Çizelge 1. Türkiye'de Jeotermal Enerji Potansiyeli (Öztürk, 2015)

Enerji	Teorik Potansiyel	Belirlenen Potansiyel
Elektrik (MWe)	4 500	200
Isı Enerjisi (MWt)	31 100	2 250

Yüksek sıcaklıklı jeotermal akışkan içeren sahalar, genç tektonik etkinlikler sonucu oluşan grabenlerden dolayı Türkiye'nin batısında bulunur. Düşük ve orta sıcaklıktaki sahalar ise volkanizmanın ve fay oluşumlarının etkisiyle Orta ve Doğu Anadolu'da ve Kuzey Anadolu Fay hattı boyunca da Türkiye'nin kuzeyinde yer alır.

2.2. Jeotermal Enerji Kullanımı

Jeotermal enerji kullanımı, akışkan sıcaklığı ve bölge koşullarına bağlı olarak değişmekle birlikte, genel olarak 2 grup altında incelenebilir:

1. Elektrik üretimi
2. Jeotermal enerjinin doğrudan kullanımı

Isı değiştirici sistemler, kuyu başı ve kuyu içi ısı değiştiriciler şeklinde, sahanın özelliğine göre değişik tasarımlarda olabilir. Isıtma sistemlerinin verimliliği, sürekliliği veya başarısı teknolojisine uygun olarak kullanılmasına bağlıdır. Doğrudan kullanılmayacak kadar kimyasal madde içeren ve ısı değiştiriciler ile ısı enerjileri kullanılabilir temizlikteki şebeke suyuna aktarılmış olan jeotermal suların, çevreyi kirletmemesi için ortamdan uzaklaştırılmaları gerekmektedir. Jeotermal enerjinin doğrudan kullanımının sağladığı yararları şunlardır:

- Dönüşüm verimliliği yüksektir.
- Düşük sıcaklıktaki jeotermal kaynaklardan yararlanılabilir.
- Araştırma amacıyla açılan kuyulardan yararlanılabilir.
- Proje uygulama süreleri kısadır.
- Sondaj maliyetleri sığ derinliklerde ucuzdur.
- Jeotermal akışkan uzun mesafelere taşınabilir.

Jeotermal akışkanın kimyasal özelliğine bağlı olarak ısıtma sistemleri önemli farklılıklar gösterir. Jeotermal akışkan kimyasal içerik olarak sorun yaratmayacak özellikte ise, ısıtılacak alanda radyatör ve uygun borular sistemi aracılığı ile dolaştırılarak doğrudan kullanılabilir. Ancak, kullanılacak akışkan çok fazla mineral içeriyorsa ve kimyasal açıdan problem yaratacak özellikte ise (kabuklaşma, korozyon, vb. problemler), akışkanın ısı, ısı değiştirici aracılığı ile düşük kimyasal içerikteki suya (örneğin şehir şebekelerinde kullanılan su) aktarılır. Böylece, sistemde sorun yaratmayacak ısıtılmış su ile ısıtma sağlanır.

Jeotermal enerjinin doğrudan kullanımını dört grupta incelenebilir:

- Konut ve iş yerlerinde
- Endüstriyel uygulamalarda
- Tarım ve ilgili alanlarda
- Termal ve sağlık turizmi

3. TÜRKİYE'DE ÖRTÜALTI ALTI TARIMI

Seracılık yüksek yatırım ve endüstriyel etkinlik gerektirir. Türkiye'de 2014 yılı TÜİK verilerine göre, toplam 649 118 dekar örtüaltı alanı bulunmaktadır. Toplam örtüaltı alanının 298 651 dekarını plastik seralar, 80 976 dekarını da cam seralar oluşturmaktadır. Sera alanları daha çok güney illerimizde yoğunlaşmıştır. Bunun en büyük nedeni ise güney illerimizin diğer illere göre kış aylarında daha sıcak olmasıdır. Türkiye'de 2013 yılında Örtüaltı Kayıt Sistemine (ÖKS) göre, sera işletmelerinin % 44.8'i alan olarak 2-3 da arasındadır. Alan olarak 10 da ve daha geniş alana sahip sera işletmelerinin oranı sadece % 1.8 düzeyindedir. Modern koşullara sahip

toplam 9000 dekar sera bulunmaktadır. Modern seralarda ortalama sera büyüklüğü 27 dekadır (Öztürk ve vd., 2015).

Seralarda yetiştirilen ürünlerin % 95 gibi önemli bir bölümünü sebze türleri, az bir bölümünü de (% 5) meyve türleri oluşturmaktadır. Seralarda üretimi yapılan sebze türleri arasında, ilk sırayı % 50 oranındaki üretim miktarı ile domates almakta; bunu hıyar, karpuz, sivri biber ve patlıcan izlemektedir. Kavun, kabak fasulye, marul, gibi diğer sebze türlerinin üretimdeki payları giderek artmaktadır. Alçak plastik tünellerde yetiştiriciliği yapılan en önemli sebze türü ise karpuzdur. Ülkemiz örtüaltı tarımında yaygın olarak üretilen meyveler ise; muz, çilek, kayısı, üzüm ve nektarindir. Türkiye’de kesme çiçek üretimi hızla artmakta olup, Marmara, Ege ve Akdeniz bölgelerinde yapılmaktadır. Türkiye’de 2014 yılında, 6.5 milyon ton örtüaltı üretimi ile 10 milyar TL GSYH sağlanmıştır (Öztürk ve vd., 2015).

4. TÜRKİYE’DE JEOTERMAL SERACILIĞIN DURUMU

4.1. Sera Isıtmada Jeotermal Enerjinin Önemi

Esas olarak sezon dışı üretim amacıyla kullanılan seralarda yetiştirilen ürünlerin kalite, miktar ve gelişme süresi bakımından en uygun ortam koşullarının sağlanması için, kışın soğuk dönemlerde ısıtma ve yazın sıcak dönemlerde havalandırma gereklidir. Bitki büyümesi ve gelişmesi ile verim ve kalitesi üzerinde esas etkiye sahip olan ortam sıcaklığının kontrol altında tutulması, sera tekniğinde önemli bir etkidir. Seralarda yetiştirilen ürünlerden beklenen en yüksek verimin elde edilebilmesi için, sıcaklığın düşük olduğu dönemlerde seraların ısıtılması gereklidir. Kuzey Avrupa ülkelerinde sera ısıtma amacıyla kış ve yaz mevsimlerinde fazla miktarda enerjiye gereksinim duyulmasına karşın, Akdeniz ülkelerinin çoğunda ekolojik koşulların uygun olması nedeniyle, sadece soğuk kış gecelerinde gereksinim duyulan ısıtma uygulamaları yeterince yapılmamaktadır. Bu durumda, ürünlerin kalite, miktar ve hasat zamanına ilişkin olumsuzluklarla karşılaşmaktadır.

İklim şartlarını kontrol ederek, tarımsal üretim sürecini yıl içerisinde daha geniş bir zamana yaymak üzere yapılan örtüaltı üretimde en önemli sorun ısıtmadır. Ülkemiz koşullarında, ısıtma giderleri ise sera karlılığını etkileyen en önemli etmenlerden biridir. Seracılık işletmelerinde ısıtma giderleri, yetiştirme mevsimi, bölge ve ürün tipine bağlı olarak değişmekle birlikte toplam maliyetin %40 ile %80’ini oluşturmaktadır (Öztürk, 2015). Sera ısıtmada kullanılan fosil yakıtların maliyetlerinin yüksekliği nedeniyle, ülkemizdeki birçok serada düzenli bir ısıtma yapılamamakta, sadece bitkileri dondan korumaya yönelik ısıtma yapılmaktadır. Düzenli ısıtma yapılmaması, verim düşüklüğü, üretim çeşidinde sınırlama, tarımsal mücadele için ilaç ve hormon kullanma zorunluluğu gibi sorunları beraberinde getirmektedir. Ancak, bitkinin ihtiyaç duyduğu sıcaklığı sağlayacak yeterli bir ısıtma verimi %50-60 oranında artırabilmektedir. Bu nedenle, jeotermal enerji kullanılarak ısıtılan seralarda, bitki gelişimi ve döllenme için gereken sıcaklık daha ekonomik koşullarda sağlanmakta, bu sayede gerekli havalandırma yapılarak sera iç ortam havasının bağlı nemi kontrol edilmekte ve bundan kaynaklanabilecek hastalıklar oluşmaz ve verim yükselir.

Türkiye’de jeotermal elektrik üretimi ve jeotermal ısıtma ile ilgili mevcut durum ve 2013 yılı projeksiyonların yer aldığı Dokuzuncu Kalkınma Planı (2007–2013) Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Enerji Hammaddeleri Alt Komisyonu Jeotermal Çalışma Grubu Raporu’na göre jeotermal enerjinin özellikle üzerinde durulması gereken bir niteliğe sahip olduğu belirtilmektedir.

Aynı raporda, elektrik üretimi amaçlı kullanımı henüz sınırlı düzeyde olan jeotermal enerjinin, ısınma amaçlı olarak tüketiminde son yıllarda düzenli bir artış görüldüğü belirtilerek, 635 dekar olan jeotermal sera varlığı, 2013 yılında 5000 dekar olarak hedeflenmiştir. Ancak Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Örtüaltı Kayıt Sistemine (ÖKA) göre, 2013 yılı Eylül ayı itibariye, Türkiye'nin jeotermal enerji kullanan örtüaltı alanı varlığı, 10 ilde toplam 3202 dekara ulaşmıştır. Son yıllarda önemli bir artış göstermekle birlikte, hedeflenenin ancak %64'üne ulaşılmıştır.

Onuncu Kalkınma Planı (2014–2018) Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Jeotermal Çalışma Grubu Raporu'nda ise, sera ısıtma hedefi 2018 yılı için 6000 dekar, 2023 yılı için de 15000 dekar olarak belirlenmiştir. Jeotermal kaynağın seracılıkta ısıtma amaçlı kullanılması, tarım sektörü için ekonomik ve çevresel fayda sağlayan bir yenilik olarak ele alınmak durumundadır. Yeniliklerin benimsenmesi süreci ise bir taraftan yeniliğin kendisiyle, diğer taraftan yeniliğin kullanıldığı sistem ve bireylerle ilgili çok değişkenli ve karmaşık bir süreçtir. Jeotermal sera alanlarının artırılmasına yönelik yapılacak çalışmaların öncesinde, öncelikle hedef kitlenin bireysel özellikleri ve kaynakları ile iletişim kanalları, zaman ve sosyal çevre dikkate alınarak incelenmelidir. Bunun yanında ulusal ve uluslararası alanda gıda fiyatlarında yaşanan artışlar, geçmişte tarımdan tarım dışı sektörlerle olan sermaye transferini tersine çevirerek, tarım dışı sektörlerden tarıma olan sermaye transferini artırmıştır. Ayrıca, alternatif enerji kaynaklarına artan ilgi özellikle modern üretim teknikleriyle (topraksız tarım vb.) üretim yapan jeotermal sera yatırımlarını cazip hale getirmiştir. Çevre, insan ve hayvan sağlığına zarar vermeyen bir tarımsal üretimin yapılması, doğal kaynakların korunması, izlenebilirlik ve sürdürülebilirlik ile güvenilir ürün arzının sağlanması için örtü altında gerçekleştirilecek faaliyetlerde, bilgiyi kullanan insan gücü en önemli unsur haline almıştır. Ancak fizibilite çalışmaları yapılmadan daha önce tarımsal faaliyette bulunmamış taraflarca başlatılan yatırımlar, istenilen hedeflere ulaşamayabilmekte ve ülke için atıl kapasitelerin oluşmasına neden olmaktadır. Bu amaçla, üretimden pazarlamaya kadar ilgili tüm taraflarda ihtiyaç duyulan kapasitenin oluşmasını sağlayacak eğitim-yayım ve tanıtım çalışmaları ile insan kaynaklarının planlanması gereklidir.

4.2. Türkiye'de Jeotermal Enerjiyle Isıtılan Sera Alanları

Avrupa'da jeotermal enerjiyle sera ısıtma uygulamaları 1960'lı yıllarda Macaristan ve Yugoslavya'da başlamıştır. Ülkemizde, sera ısıtmada jeotermal enerjiden daha etkin olarak yararlanılması büyük önem kazanmış olmakla birlikte, uygulamada teknik ve ekonomik açıdan bazı sorunlarla karşılaşmaktadır. Jeotermal ısıtma, jeotermal kaynakların en yaygın olarak kullanıldığı yerlerden birisi olup, jeotermal sera ısıtması Türkiye'de gittikçe önem kazanmaktadır. Türkiye'deki jeotermal enerji ile sera ısıtma uygulaması ilk kez Denizli-Kızıldere'de 0.45 hektarlık alanda uygulanmıştır. Düşük entalpili jeotermal kaynaklardan daha doğru ve verimli faydalanabilmek için ileri teknolojilerden yararlanmak gerekecektir. Jeotermal enerji ile ısıtılan seralar, batı bölgelerde olup, ısıtma kapasiteleri 3.01 ile 101.72 milyon kJ/h arasında değişmektedir (Özgener ve Koçer, 2004).

Türkiye'de 2013 yılı ÖKS kayıtlarına göre, jeotermal enerjiyle ısıtılan sera alanları Çizelge 2'de verilmiştir. 10 ilde 3202 dekarlık bir alanda, jeotermal enerji kullanılarak örtüaltı üretim yapılmaktadır. Bu alanların yaklaşık yarısı İzmir (%24.48) ve Manisa (%23.42) illerinde bulunmaktadır. En fazla işletme 46 işletme ile Kütahya ilinde yer alırken, onu 26 ile Şanlıurfa ve Denizli illeri izlemektedir.

Çizelge 2'de verildiği gibi, Türkiye genelindeki seraların çok az bir bölümü jeotermal enerjiyle

ısıtılmaktadır. Jeotermal sondajlarla çıkarılan görünür ısı kapasitesi, 2002 yılında 3000 MW değerinde iken, % 230 oranında bir artış göstererek 2012 yılında 7000 MW değerine ulaşmıştır. 2002-2012 yılları arasındaki 10 yıllık dönemde, jeotermal enerjiyle ısıtılan sera alanlarımız % 406 oranında artmıştır (Hasdemir ve vd., 2014).

Çizelge 2. Jeotermal Enerjiyle Isıtılan Sera Alanları (Hasdemir ve vd., 2014)

İller	İşletme sayısı (Adet)	Sera alanı (da)	Toplam jeotermal sera alanı içerisindeki oranı (%)
Afyon	6	358	11.18
Aydın	17	173	5.40
Denizli	26	456	14.24
İzmir	15	784	24.48
Kırşehir	1	97	3.03
Kütahya	46	125	3.90
Manisa	7	750	23.42
Nevşehir	1	61	1.91
Şanlıurfa	26	373	11.65
Yozgat	2	25	0.78
TOPLAM	147	3202	100.00

4.2.1. Jeotermal Enerjiyle Isıtılan Seralarda Isıtma ve Deşarj Sistemi

Jeotermal kaynağın işletmelere olan uzaklığı işletmeler arasında çok farklılık arz etmektedir. Sıcak suyun taşınmasında en önemli etken kaynak sıcaklığıdır. Yüksek sıcaklıktaki sular, daha uzak mesafelere taşınarak ısıtmada kullanılabilir. Isıtmada kullanılan sıcak su, ortalama 541 m mesafedeki kuyulardan getirilerek kullanılmaktadır (Hasdemir ve vd., 2014).

Örtüaltı işletmeler jeotermal kuyulardan çıkardıkları sıcak suyu, eşanjör sistemi veya doğrudan sera içerisinde dolaştırmak suretiyle ısıtmada kullanılmaktadır. Örtüaltı işletmelerin %67.21'i sıcak suyu doğrudan kullanmakta, %32.79'u ise eşanjör sistemi kullanılmaktadır (Hasdemir ve vd., 2014). Sera içerisine alınan sıcak su çok büyük oranda, toprak üstünde ortam ısıtması şeklinde kullanılmaktadır. Sadece bir işletmenin toprak altı borularıyla ısıtma yaptığı görülmüştür (Çizelge 3).

Çizelge 3. Jeotermal Enerjiyle Isıtılan Seralarda Isıtma Sistemleri (Hasdemir ve vd., 2014)

Özellikler	İşletme sayısı (Adet)	Oran (%)
Doğrudan ısıtma	18	67.21
Eşanjör kullanımı	40	32.79
Toprak üstü ısıtma sistemi	121	99.18
Toprak altı ısıtma sistemi	1	0.82
Reenjeksiyon uygulama	21	17.21
Arıtma yapan	41	33.61
Araziye boşaltma yapan	60	49.18

Isıtmada kullanılan jeotermal kaynağın sürdürülebilirliği yanında içeriğindeki ağır metaller başta olmak üzere kimyasal yapının çevreye zarar vermesini engellemek için akışkanın tekrar ye-

raltına verilmesi (reenjeksiyon) önem arz etmektedir. Ancak işletmelerin %17.21'i kullandıkları akışkanı tekrar reenjekte etmektedir. Geri kalan %49.18'i doğrudan araziye terk etmekte, sadece %33.61'i arıtma yaparak suyu deşarj etmektedir (Çizelge 3).

4.2.2. Jeotermal Kaynakların İlave Sera Isıtma Durumu

Mevcut jeotermal kaynakların %67.21'i ile ilave sera ısıtma olanağı bulunmaktadır. Yeterli miktarda yüzeye çıkarılmış jeotermal akışkanın varlığına rağmen, işletmelerin ilave sera yapmama nedenleri şöyledir: İşletmelerin %32.93'ü arazi yetersizliğinden, %29.27'si yasal izin alınmamasından, %19.51'i sermaye yetersizliğinden, %4.88'i maliyetlerin yüksek olmasından, %2.44'ü pazarlama sorunlarından, %1.22'si işgücü eksikliği ve teknik nedenlerden, %8.54'ü ise çeşitli diğer nedenlerden dolayı ilave sera yapamadıklarını belirtmişlerdir (Hasdemir ve vd., 2014).

4.3. Türkiye'de Jeotermal Seracılığın Sorunları

4.3.1. Jeotermal Mevzuatın Elektrik Üretimi Öncelikli Olması

Ülkemiz, enerji sektöründe yaşadığı sorunlar nedeniyle, son yıllarda yerli kaynaklara yönelmiş ve bu amaçla özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi için bu alanda yatırım yapacaklara bazı teşvik ve destekler vermiştir. Bu kapsamda “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunu”nun 6. Maddesinin 1. Bendinde “Bu Kanunun yürürlüğe girdiği 18/5/2005 tarihinden 31/12/2015 tarihine kadar işletmeye girmiş veya girecek YEK Destekleme Mekanizmasına tabi üretim lisansı sahipleri için, bu Kanuna ekli I sayılı Cetvelde yer alan fiyatlar, on yıl süre ile uygulanır denilmekte ve 10 yıl süre ile yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilecek elektrik alım garantisi sağlanmıştır. Jeotermal kaynaklardan üretilecek elektrik devlet tarafından 10.5 \$ cent/kWh'a, yerli imalat kullanıldığı taktirde 13.2 \$ cent/kWh'a alınması taahhüt edilmektedir (Öztürk ve vd., 2015).

Bununla birlikte, verilen jeotermal kaynak arama ruhsatlarının 3+1 yıl ile sınırlı olması, yapılan sondaj araştırmalarının sonucunda jeotermal akışkan sıcaklığının yüksek olması yatırımcıları elektrik enerjisi üretmek için Jeotermal Enerji Santralleri (JES) kurmaya yöneltmektedir. Diğer alanlarda kullanımında bir kısıtlama olmamasına rağmen, bu alanlardaki kullanımındaki belirsizlikler jeotermal yatırımcıları elektrik üretimine yönlendirmektedir. Jeotermal kaynaklar seracılıkta veya konut ısıtmasında kullanılmak istendiğinde, sera yapacak kişilerin sayısı ve ısıtılacak sera alanının belirsizliği, konut ısıtmasında kullanılmak istendiğinde, belediye ile ve bunu kullanacak kişilerle yaşanabilecek problemlerin belirsizliği ve yapılacak yatırımların geri dönüş süresinin belirli olmayışı yatırımcıları, üretilen enerjinin alım garantisi olduğu ve yapılan yatırımın geri dönüşünün önceden öngörüldüğü elektrik üretimi yatırımlarına yönelmelerine neden olmaktadır. 2015 yılı sonuna kadar işletmeye giren YEK'nın 10 yıl süre ile devletçe alım garantisi olması sebebiyle, jeotermal kaynak sahipleri 2015 yılı sonuna kadar öncelikli olarak enerji yatırımlarını tamamlamak istemektedirler. Diğer alanlardaki yatırımlarını enerji yatırımlarını tamamladıktan sonraki dönemde planlamaktadırlar. Jeotermal kaynağın sıcaklığının elektrik üretimi için uygun olmadığı durumlarda, jeotermal kaynaklar seracılıkta kullanılabilmektedir. Jeotermal santral sahipleri, kendileri seracılık yapmak istediklerinde, elektrik ürettikten sonraki geri kalan ısıdan sera ısıtmasında kullanabilmektedirler (Özdemir ve vd., 2012).

4.3.2. Jeotermal Sahaların Ruhsatlandırılmış Olması

Jeotermal enerjinin seracılıkta kullanımının önündeki en büyük engel ise; jeotermal sahaların ihaleyle satılması sonucunda, bu sahaları alan kişilerle seracılık yapacak kişilerin farklı kişiler olmasıdır. Jeotermal sahaları alan kişiler kendileri seracılık yapmak istediklerinde, problem yaşanmazken başkaları seracılık yapmak istediğinde, değişik gerekçelerle jeotermal enerjiyi seracılara vermek istememekteler veya çok pahalıya verme eğiliminde olmaktadır. Jeotermal yatırımlarının yüksek olması ve seracılık yapacak kişilerin az olması veya seracılık yapılacak alanların farklı yerlerde olması nedeniyle, bu alanlara jeotermal ısının taşınması maliyetinin yüksek olması, jeotermal enerjinin seracılıkta kullanımını güçleştirmektedir. Jeotermal sahaya yakın bir yerde geniş bir alanda toplu şekilde seracılık yapılması durumunda, bu alana verilecek jeotermal ısı için yapılacak maliyetler ekonomik olacağından, firma sahipleri buna sıcak bakabileceklerdir. Bu açıdan, jeotermal sahaları alan firmaların seracılığa enerji verebilmesi için, sera bölgesinin öncelikle jeotermal kaynağa ne kadar uzakta olduğunu ve ne kadar alanda seracılık yapılacağını bilmeleri gerekmektedir. Jeotermal kaynak sahipleri, buna göre yapacağı yatırımı ve yıllık işletme maliyetlerini de hesaplayarak ne kadar yatırım yapacaklarını ve seralara hangi fiyattan enerji verebileceklerini belirlemeleri kolay olacaktır. Bunun için kaynağın bulunduğu yerlerde toplu seralar kurulmalıdır.

Jeotermal enerjinin diğer alanlarda kullanımını sağlamak açısından Kanunun hazırlanması sırasında jeotermal sahanın bulunduğu yerdeki yerel yönetimlere bölgenin ihtiyaçlarına göre öncelik belirleme inisiyatifi verilmesi veya yerel yönetimlere jeotermal enerji kullanma imkanları tanınması gereklidir. Kanunda bundan sonra bu kapsamda bir değişiklik yapılsa bile bundan sonra ihalesi yapılacak sahalar için faydası olacaktır. Kanunda değişiklik yapılmadığı durumda jeotermal sahaların kiralınması esnasında kira şartnamesine başka amaçlar için kullanım şartı getirilmesi jeotermal enerjinin bölge ihtiyaçlarına göre daha etkin kullanımını sağlayacaktır. Şu an için bu belirtilen hususlar yapılmadığı için jeotermal saha sahiplerinin sahip oldukları sahalardaki jeotermal enerjiyi başka alanlarda kullanırmak açısından kanunen hiçbir yaptırım veya zorlama söz konusu değildir (Özdemir ve vd., 2012).

Ayrıca, jeotermal saha sahiplerinin seracılara enerjiyi dekar başına kaç liradan verecekleri konusu da ayrı bir sorun oluşturmaktadır. Eğer, burada makul bir fiyat oluşmazsa, bu konu da jeotermal seracılığı olumsuz etkileyecektir. Jeotermal enerjinin seralara ücret karşılığı verilmesi konusunda, gerek ücretin belirlenmesi aşamasında, gerekse daha sonraki anlaşmazlıklar konusunda önlemler gereklidir.

Jeotermal sahaların ruhsatlandırılmış olması nedeniyle, diğer alanlarda ve seracılıkta kullanımı sahayı alan firmaların inisiyatifine kalmıştır. Bunu önlemek için jeotermal sahaların korunması amacıyla oluşturulan bu sahaların etrafındaki bloke alanların yerel yönetimlerin sosyal amaçlı kullanımına açılması gerekmektedir. Bu açıdan jeotermal kaynakların kullanımında bölgede yaşayan insanların da yararlanması yönünde kanunda mutlaka değişiklikler yapılmalıdır. Günümüze kadar devletin tasarrufunda olan kaynakların kiraya verilmekle, devamlı olarak bunu alan kişilerin tasarrufunda ve tekelinde kalması adil bir yaklaşım olmasa gerekir (Özdemir ve vd., 2012).

4.3.3. Sera İçin Arazi ve Jeotermal Kaynak Bulma

Jeotermal kaynakların jeotermal mevzuat ile beraber kullanılmaya başlaması sonucu, seracılığa yatırım yapmak isteyen müteşebbislerin sayısı her geçen gün artış göstermektedir. Müteşeb-

bisler çoğu zaman hem sera yeri bulma konusunda hem de jeotermal kaynaklardan faydalanma konusunda sıkıntılar yaşayabilmektedir. Bazen sera yeri bulurken, jeotermal enerji bulma konusunda problem yaşamaktalar, bazen de tam bunun tersi durumlar yaşanabilmektedir. Bu sebepten dolayı, jeotermal saha sahiplerinin başka alanlara ve seracılığa enerji vermelerini temin etmek için bu alanda yatırım yapmaları durumunda devlet desteği, teşviki veya ucuz kredi olanakları sağlanarak bu alanlara yönelmeleri sağlanmalıdır.

Jeotermal kaynak sahipleri, kendileri seracılık yapmak istediklerinde, enerji açısından problem yaşamazken, sera yeri bulma konusunda problemler yaşamaktadırlar. Zira bu alanlarda yeteri kadar hazine arazisi olmayışı ve mevcut arazilerin genelde şahıs arazisi olması nedeniyle sera kuracak yer bulamamakta, arazi almaya kalktığında arazi fiyatları normalin 10 katına kadar çıkabilmektedir. Bu durum jeotermal seracılığın olumsuz etkilemektedir (Özdemir ve vd., 2012).

4.3.4. Jeotermal Kaynak Arama ve Geliştirme Maliyeti

Jeotermal yatırımlarının çok maliyetli olması, jeotermal enerjinin seracılıkta kullanımını olumsuz etkilemektedir. Gerek, jeotermal kaynak bulmak için yapılan sondaj çalışmalarının gerekse, re-enjekte kuyularının açılması ve re-enjekte maliyetlerinin yüksek olması, jeotermal yatırımcıların, bu maliyetleri en kısa sürede geri dönüşü olan jeotermal santral yatırımlarına yönelmelerine neden olmaktadır. Jeotermal akışkanın içerdiği ağır metaller, özellikle bitkilere fitotoksik düzeyde bulunan bor nedeniyle, çevreye olumsuz etkilerinden dolayı, re-enjekte edilme zorunluluğu maliyetleri artırdığı için, seracılığın olumsuz etkilemektedir.

4.3.5. Sera Maliyetleri

Modern teknolojik topraksız kültür seraların maliyeti kullanılan teknoloji ve örtü malzemesine göre değişmektedir. Kenarları çift kat PC, çatısı PE olan çelik konstrüksiyonlu ve bilgisayar kontrollü seralarda maliyet 50-60 €/m²'den başlarken, bu rakam çelik konstrüksiyon cam seralarda 75-100 €/m² düzeyine çıkabilmektedir (Öztürk ve vd., 2015).

Ülkemizde kurulan modern topraksız kültür seraların çoğunun ithal veya dış patentli oluşu ile otomasyon sistemlerinin tamamına yakınının ithal olması maliyetleri artırmaktadır. Bunun için seracılık alanında gerek sera konstrüksiyonu konusunda gerekse sera otomasyonları konusunda yerli teknolojinin geliştirilmesi gerekmektedir. Sera maliyetlerinin yüksek olması seracılığın ve dolayısıyla jeotermal seracılığın olumsuz etkilemektedir.

4.3.6. Tarıma Dayalı İhtisas Organize Sanayi Bölgelerinden Kaynaklanan Sorunlar

Jeotermal kaynağın daha verimli kullanılması, daha sağlıklı üretim yapılması, üretimin denetlenebilirliği ve pazarlamanın daha sağlıklı organize edilmesi açısından en sağlıklı seracılık, Tarıma Dayalı İhtisas Organize Sanayi Bölgeleri (TDİOSB) kurulması şeklinde olabilecektir. Tarıma Dayalı İhtisas Organize Sanayi Bölgesi kurulması hususunda da gerek yasal gerekse yerel nedenlerden kaynaklanan problemler mevcuttur. Bu problemler de jeotermal seracılığın olumsuz etkilemektedir.

10.10.2009 tarih ve 27402 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan "Tarıma Dayalı İhtisas Organize Sanayi Bölgeleri Uygulama Yönetmeliği" Sanayi ve Ticaret Bakanlığı ile Tarım ve Köyişleri Bakanlığı tarafından birlikte yürütülürken 12/03/2012 tarihi itibarıyla bu Yönetmeliğin yürütülmesi Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı'na devredilmiştir.

Seracılığın geniş alanlarda yapılabilmesi için, Yönetmelikteki %75 hazine arazisi şartının seracılık yapılacak TDİOSB için kaldırılması seracılığın önünü açacaktır. Ancak bu durumda da TDİOSB kurulması için arazisi kamulaştırılan üreticilerin bundan sonraki durumları hususu endişe vericidir. Bu durumdaki çoğu üretici belki şehirlere göç edecek ve burada hem ekonomik olarak yaşamını devam ettirme konusunda hem de yeni şehir hayatını alışma konusunda problemler yaşayabileceklerdir. Bu durumda TDİOSB’nde yüksek gelir grupları, sera yatırımlarını yapacaklardır. Bunun için bölgede bulunan jeotermal kaynaklar, bölge halkının sosyo-ekonomik yaşamını olumsuz değil, olumlu yönde etkileyecek şekilde planlanmalıdır. Yönetmelikte, TDİOSB’lerinde arazisi kamulaştırılan kişilere yer tahsisinde öncelik verilmelidir. Bu üreticiler küçük aile işletmeleri olduğu için jeotermal seracılık maliyetlerini kendi öz kaynakları ile karşılamaları zor olacağından, bu yönde faaliyet göstermek isteyen üreticilere faizsiz olarak 2-3 yıl geri ödemesiz olmak şartıyla 7-10 yıl vadeli kredi imkanları veya hibe destekleriyle desteklenmeleri gerekmektedir.

Seracılık alanındaki son yıllardaki gelişmeler sonucu seracılık, daha ziyade son sistem teknolojilerin kullanıldığı modern topraksız kültür olarak yapılmaktadır. Bu tip modern seralar büyüdükçe maliyetler düşmektedir. Bu nedenle, ekonomik bir yatırım için, bu tip modern sera yapılacaksa, sera büyüklüğünün en az 20-25 dekar olması gerekmektedir. TDİOSB için en az 500 dekar alan olması ve en az 30 kişinin proje kapsamında yer alması gerektiği belirtilmektedir. TDİOSB’lerinde modern bir seracılık amacıyla, ekonomik sera büyüklüğünde sera yapabilmek için ya TDİOSB alanının büyütülmesi gerekmektedir ya da en az 30 girişimci koşulu azaltılmalıdır (Özdemir ve vd., 2012). Sera amaçlı TDİOSB’lerinde kurulacak seraların teknolojisine göre sera büyüklükleri belirlenmelidir. Ancak, topraksız kültürde modern seralar planlanıyorsa, bu tip TDİOSB’lerinde, seralar en az 20-25 dekar olarak planlanmalıdır. TDİOSB kurulacak yer planlanırken, seraların ısıtılmasında kullanılacak jeotermal kaynak ve serada kullanılacak temiz su göz önünde bulundurulmalıdır.

4.3.7. Jeotermal Kaynak Kullanan Tesislerin İdare Payı

İlgili Kanun ve Yönetmelikte, jeotermal akışkanı veya Kanuna tabi gazların da doğrudan ve/veya dolaylı olarak kullanıldığı tesislerden elde edilen gayrisafi hâsılâtın % 1’i tutarında idare payı alınacağı belirtilmektedir. Bu durumda, jeotermal kaynağın kullanıldığı seralardan gayri safi gelirin %1’i oranında Özel İdare payı ödemesi yapılacaktır. Jeotermal ısı kullandığı için %1 idare payı ödenmesi seralar için yüksek bir katkı payıdır. % 1 idare payı ödemesi, jeotermal kaynağı direk kullanan ve girdisi sadece jeotermal kaynak olan elektrik üretimi, CO₂ gazı üretimi gibi tesisler için olmalıdır. Bu kaynağı ikincil, üçüncül olarak dolaylı kullanan tesisler için bu %1 katkı payını ya tamamen ödememesi gerekir ya da bu oranın bu tesisler için düşürülmesi gerekmektedir.

4.3.8. İmar Kanunu ve Yapı Denetim Kanunu

Seralar “3194 sayılı İmar Kanunu”na göre ruhsata tabidir. Jeotermal enerji kullanmayan seralar, sadece Gıda, Tarım ve Hayvancılık İl Müdürlüğü ve Devlet Su İşlerinden izin alırken, jeotermal enerji kullanan seralar, aşağıda belirtilen kurumlardan izin alma durumunda kalmaktadır (Özdemir ve vd., 2012):

1. Kültür ve Turizm Müdürlüğü
2. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Müdürlüğü
3. Gıda, Tarım ve Hayvancılık İl Müdürlüğü

4. Devlet Su İşleri
5. Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü
6. Özel İdare
7. Elektrik Dağıtım A.Ş
8. İl Jandarma Komutanlığı
9. Karayolları

4.3.9. Seracılık Sektörünün Hukuki Statüsü

Seracılığın hukuki bir statüye kavuşturulması için, seraların planlanmasından, yapım aşamasına ve üretim aşamasına kadar olan tüm aşamalarının belirlendiği bir hukuki düzenlemeye ihtiyaç vardır. Bu durum, Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığının çıkaracağı bir yönetmelikle belirlenebilir. Konu ile ilgili diğer Kanun ve Yönetmelikler de bu hazırlanacak yönetmeliğe göre yeniden düzenlenmelidir.

Seralar, 1/100.000 ölçekli İl Çevre Düzeni Planına sadık kalınarak *İmar Kanunu* kapsamı dışında tutulmalıdır. Seralar, Yapı Denetim Kanunu kapsamı dışında tutulmalıdır. Bu seralar yeni mevzuatta tarımsal yapı olarak hukuki statüye kavuşturulmalı ve proje hazırlanması, onaylanması ve yapım esnasındaki ve sonrasındaki işlemler ve denetimleri tek elden yapılmalıdır. Bunun için en doğru uygulama, bu işlemlerin Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı'na yapılmasıdır.

4.4. Türkiye’de Jeotermal Seracılık İçin Devlet Teşvikleri

Modern seracılığın hızlı büyümesi beklenmekte, teknoloji kullanımı artışıyla verimlilik ve karlılık artmaktadır. Ülkemiz tarım sektörünün gelecekteki hedefleri için seracılık yatırımlarına cazip teşvikler sunulmaktadır. Son yıllarda ülkemiz tarım ve gıda yatırımları içinde; hayvancılık ve süt sektöründen sonra en fazla yatırım yapılan 3’üncü sektör seracılıktır. 2012 yılında da hayvancılık ve ilgili diğer sektörlerden sonra en fazla yatırım yapılan sektör olarak seracılık yer almaktadır.

Ülkemizdeki mevcut jeotermal kapasiteye rağmen, kullanımın yeterli düzeyde olmaması nedeniyle, jeotermal seracılık teşvik edilerek desteklenmektedir. Buna ilişkin yasal düzenlemeler aşağıda verilmiştir:

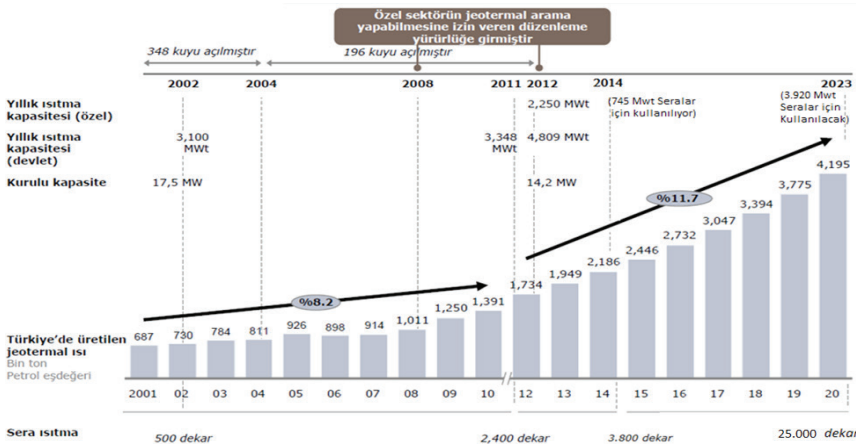
- 11.3.2011 tarih ve 27871 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Kırsal Kalkınma Yatırımlarının Desteklenmesi Programı Kapsamında Tarıma Dayalı Yatırımların Desteklenmesi Hakkında Tebliğ (2011/9)
- 28.2.2011 tarih ve 27857 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Mera Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılması Hakkında Yönetmelik
- 3.5.2007 tarihli ve 26511 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Hazine Arazilerinin Teknolojik veya Jeotermal Seracılık ve Organik Tarım Yatırımlarına Tahsisinde Uygulanacak Esas ve Usullere İlişkin Tebliğ
- 10.11.2009 tarih ve 27402 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Tarıma Dayalı İhtisas Organize Sanayi Bölgeleri Uygulama Yönetmeliği
- 26.4.2009 tarih ve 27211 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Milli Emlak Genel Tebliği (SN: 324)
- 10.4.2011 tarih ve 27901 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Milli Emlak Genel Tebliği (SN: 335)
- 16/7/2009 tarih ve 27290 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan 2009/15199 Yatırımlarda Devlet Yardımları Hakkında Karar

Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı “Kırsal Kalkınma Yatırımlarının Desteklenmesi Projesi” kapsamında, proje tutarı en fazla 3 milyon TL olan yenilenebilir enerji kullanılan seracılık yatırımlarını % 50 hibe oranında teşvik etmektedir. Bunlardan ayrı olarak jeotermal seracılığa destek olmak amacıyla 26/04/2009 tarih ve 27211 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan Millî Emlak Genel Tebliği (Sıra No:324) kapsamında hazine arazileri jeotermal seracılık yatırımı yapacak girişimcilere tahsis edilmektedir. Mera Kanununda yapılan değişiklikle meralar da jeotermal seracılık yatırımlarına tahsis edilebilmektedir.

5. JEOTERMAL SERACILIĞI GELİŞTİRMEK İÇİN ÖNERİLER

Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Örtüaltı Kuyut Sistemine göre 2013 yılı Eylül ayı itibariye, Türkiye'nin jeotermal kaynak kullanan örtüaltı üretim alanı varlığı, 10 ilde toplam 3.202 da ulaşmıştır. Son yıllarda önemli bir artış göstermekle birlikte, hedeflenenin ancak %64'üne ulaşılmıştır. Onuncu Kalkınma Planı (2014–2018) Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Jeotermal Çalışma Grubu Raporu'nda ise sera ısıtma hedefi 2018 yılı için 6 000 da, 2023 yılı için de 15 000 da olarak belirlenmiştir. Jeotermal kaynağın seracılıkta ısıtma amaçlı kullanılması, tarım sektörü için ekonomik ve çevresel fayda sağlayan bir yenilik olarak ele alınmak durumundadır. Yeniliklerin benimsenmesi süreci ise bir taraftan yeniliğin kendisiyle, diğer taraftan yeniliğin kullanıldığı sistem ve bireylerle ilgili çok değişkenli ve karmaşık bir süreçtir. Jeotermal sera alanlarının artırılmasına yönelik başlatılacak çalışmaların öncesinde, öncelikle hedef kitlenin bireysel özellikleri ve kaynakları ile iletişim kanalları, zaman ve sosyal çevre dikkate alınmalıdır.

Jeotermal kaynaklar bakımından zengin olan; Afyonkarahisar, Aydın, Denizli, Diyarbakır, İzmir, Kırşehir, Konya, Kütahya, Manisa, Şanlıurfa ve Yozgat illerinde kümelenme ile maliyetleri düşük, güvenilir, izlenebilir, rekabet şansı ve marka değeri yüksek, modern ve planlı örtüaltı üretimi için Organize Sera Bölgelerinin kurulması hedeflenmektedir.



Şekil 1. Türkiye'de jeotermal seracılığın hedefleri (Kutlu, 2015)

Türkiye, 31.500 MW ısı potansiyeli ile 2018 yılı için hedeflediği 6000 da, 2023 yılı için de hedeflediği 15 000 da jeotermal sera alanına ulaşma konusunda yeterli kaynaklara sahiptir. Ancak

bu kaynakların doğru yönetilerek, sürdürülebilir jeotermal seraların oluşturulmasına yönelik stratejiler belirlenmelidir.

5.1. Mevzuat Alt Yapısına İlişkin Öneriler

- Diğer tarımsal üretim dallarına göre, daha küçük alanda üretim yapan buna karşılık yüksek yatırım tutarına ihtiyaç duyan jeotermal seralar için mazot, gübre vb. alan bazlı desteklerin yerine yatırım desteklerine öncelik verilmesi, devam eden alan bazlı desteklerde açık alanlara göre farklılaştırmaya imkân tanıyan mevzuat düzenlemesinin yapılması, seracılığa ilişkin destekleme mevzuatlarında işletme büyüklüğünü artıracak veya örgütlenmeyi teşvik edecek düzenlemeler yapılmalıdır.
- Ruhsatlandırılmış sahalardaki var olan kaynağın, jeotermal seracılıkta kullanılmasını özendirerek önlemler alınmalıdır.
- Kullanımından dönen akışkana ilişkin değerlendirmelerin yapılarak, akışkanın re-enjekte edileceği rezervuara olumsuz etkilerinin olmaması ve ruhsat sahibinin belirli bir süre içerisinde bu akışkanı kullanmaması durumunda, kamu yararı açısından idarece belirlenecek bedelden ekonomik işletme ölçeğinde jeotermal seracılık yapmak isteyen bölgedeki kooperatif, birlik veya tarıma dayalı ihtisas organize sanayi bölgeleri oluşumları ile seracılıkta kullanılması sağlanmalıdır.
- 5686 sayılı Kanununun 10. maddesi gereğince düzenlenen ve akışkanın doğrudan ve/veya dolaylı kullanıldığı tesislerin gayrisafi hasılatının %1'i tutarındaki idare payı üreticiler lehine tekrar düzenlenmelidir.
- Bir tarım işletmesi olan, ancak üretim süreçlerinde kullandıkları elektriklerin faturalandırılmasında tarım işletmesi sayılmayarak ticarethane üzerinden tarifelendirilen örtüaltı işletmelerin, tüm üretim süreçlerinden kaynaklanan elektrik tüketimlerinin tarımsal sulama tarifesine uygun olarak tarifelendirilmelidir.
- 25 Ağustos 2010 tarihli ve 27683 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan Örtüaltı Üretimini Kayıt Altına Alınması Hakkında Yönetmelik ile Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığına ait 2011/1 ve 2012/1 nolu “Modern Seralarda Aranacak Asgari Şartlara Dair Uygulama Talimatları”, üretim aşaması için önemli hukuki düzenlemeler içermektedir. Seraların planlanmasından itibaren, yapım ve üretim süreçlerini düzenleyen bireysel bir yönetmelik hazırlanmalıdır (Hasdemir ve vd., 2014).

5.2. Jeotermal Seracılık Stratejik Planı İçin Öneriler

- Jeotermal kaynakların bulunduğu illerde, sektörün tüm temsilcilerinin katılımıyla, il bazında “Master Planların” yapılmalı ve “*Ülkesel Jeotermal Seracılık Stratejik Planı*” hazırlanmalıdır.
- Jeotermal kaynaktan optimum verimi elde edecek, diğer kullanım alanları ile entegre projeler geliştirilmelidir.
- *İl Jeotermal Master Planları* çerçevesinde, uygun yer tespiti ve yasal izinlerin alınmasına yönelik “*Jeotermal Sera Yatırımcı Destek Masaları*” oluşturulmalıdır.
- Fizibilite çalışmaları yapılarak, jeotermal kaynağın bulunduğu yerler, ürünler ve üretim

sistemlerine ilişkin yatırımcıya yönelik rehber dokümanlar hazırlanmalıdır.

- Jeotermal seracılık konusunda ilgili kamu kurumları nezdinde koordinasyonu sağlamak ve bu konuda yatırımda bulunacakları yönlendirmek amacıyla merkez teşkilatı bünyesinde “*Jeotermal Seracılık İzleme ve Yönlendirme Birimi*” kurulmalıdır (Hasdemir ve vd., 2014).

5.3. Ekonomik ve Çevresel Sürdürülebilirliğe İlişkin Öneriler

- Kurulacak jeotermal seralarda; çevre, insan ve hayvan sağlığına zarar vermeyen bir tarımsal üretimin yapılması, doğal kaynakların korunması, tarımda izlenebilirlik ve sürdürülebilirlik ile güvenilir ürün arzının sağlanması için İTU veya organik tarım yapılarak, ürünler uluslararası standartlarda belgelendirilmelidir.
- Üretilen ürünlerin yenilenebilir enerji kaynakları ile üretildiğini belgelendirmek, ayrıca ürünlerin yurt dışı piyasalarında katma değerini artırmak üzere “jeotermal sera ürünü-yeşil ürün” vb. logolar geliştirilmeli ve bölge itibarıyla coğrafi tesciller yapılmalıdır.
- Teknik kurallara ve çevre mevzuatına uygun bir şekilde re-enjeksiyon veya deşarjın yapılmasına yönelik yerel yönetimlerle işbirliği halinde etkin önlemler alınmalıdır.
- Jeotermal seracılığın ihtiyaç duyduğu alt yapıları oluşturacak, ekonomik işletme büyüklüğünde jeotermal seraların kurulmasını sağlamak üzere, küçük üreticilerin örgütlenmesini sağlamak veya jeotermal seracılık organize bölgeleri oluşturulmalıdır.
- Her aşamada yerel katılım sağlanmalıdır.
- Yaş meyve sebze sektöründe yüksek oranda kendine yeterliliğin olması nedeniyle, ihracat odaklı üretim planlaması, hedef ülke ve pazarlara yönelik çalışmalar yapılmalı ve pazarlama stratejisi oluşturulmalıdır.
- Jeotermal seralarda risk yönetimini sağlamak üzere, bu üretim sistemlerinin özelliklerini dikkate alan ve hasar oranlarını buna göre belirleyen bir sistemde tarım sigortası yaptırma oranı artırılmalıdır (Hasdemir ve vd., 2014).

5.4. İnsan Kaynakları ve Girdi Yönetimine İlişkin Öneriler

- Modern teknolojileri kullanan daha çok topraksız tarım yapan jeotermal seracılığın ihtiyaç duyduğu tecrübeli tarım danışmanı ihtiyacını karşılamak üzere, üniversiteler ve araştırma kuruluşları, uygulamaya yönelik “topraksız tarım danışmanı eğitimleri” sertifika programları düzenlenmelidir.
- Nitelikli kadın sera işçisi talebini karşılamak üzere, İş-Kur destekli sertifikalı eğitimler verilmelidir.
- Elektrik ihtiyacını karşılamak üzere, jeotermal kaynak ve güneş enerjisinin entegre kullanımına yönelik çalışmalar yapılmalıdır.
- Topraksız tarımda, çevresel sürdürülebilirlik içerisinde yerli katı ortam materyallerinin kullanımını teşvik edecek çalışmalar yapılmalıdır.
- Re-enjekt edilemeyen jeotermal kaynağın sulamada kullanılabilmesini sağlayacak arıtma olanaklarının araştırılmalı, ayrıca yağmur sularının depolanması konusunda işletmeler teşvik edilmelidir.

6. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Sera ısıtma uygulamalarında, günümüz enerji varlığını korumak ve çevre kirlenmesini önlemek amacıyla fosil enerji kaynakları yerine alternatif enerji kaynaklarından yararlanılması öncelikli bir gereksinimdir. Ülkemizde, sera ısıtmada jeotermal enerjiden daha etkin olarak yararlanılması büyük önem kazanmış olmakla birlikte, uygulamada teknik ve ekonomik açıdan bazı sorunlarla karşılaşmaktadır. Jeotermal ısıtma, jeotermal kaynakların en yaygın olarak kullanıldığı yerlerden birisi olup, jeotermal sera ısıtması Türkiye’de gittikçe önem kazanmaktadır. Jeotermal enerji santrallerinde re-enjeksiyon için geri gönderilen akışkandan da sera ısıtma amacıyla yararlanılmalı ve bu konuya ilişkin hukuksal düzenleme yapılmalıdır. Jeotermal kaynağın seracılıkta ısıtma amaçlı kullanılması, tarım sektörü için ekonomik ve çevresel fayda sağlayan bir yenilik olarak ele alınmalıdır.

KAYNAKLAR

- HASDEMİR, M., HASDEMİR, M., GÜL, U., YASAN ATASEVEN, Z., 2014. Türkiye’de Jeotermal Seracılığın Mevcut Durumu İle Karar Verme Süreçlerinde Etkili Olan Faktörlerin Analizi. 112O405 Nolu TÜBİTAK Projesinin Sonuç Raporu, TEPGE Yayın No: 227, ISBN: 978-605-4672-60-8.
- KUTLU, Ü.B., 2015. Ülkemiz Seracılığının Dünyadaki Yeri Ve Önemi. 1. Ulusal Seracılık Çalıştay 12-13 Mart 2015, Antalya.
- ÖZDEMİR, K., BABAEREN, F., GÖÇMEZ, A., ÇETİNKAYA, Z., SAYGILI, U., 2012. Jeotermal Enerjinin Seracılıkta Kullanımının Önündeki Engellerin Tespiti Projesi Araştırma Raporu. GEYKA.
- ÖZGENER, Ö., KOÇER, G. 2004, Geothermal Heating Applications. *Energy Sources* 26 (4):353-360.
- ÖZTÜRK, H.H., KÜSEK, G., GÜCÜK, T. 2015. Jeotermal Enerjiyle Sera Isıtma. Güneş Matbaası, Ankara, ISBN: 978-605-65719-1-6.
- ÖZTÜRK, H.H., 2015. Jeotermal Seracılık. Umuttepe Yayınları, Yayın No: 150, Mühendislik Dizisi: 19, ISBN: 978-605-5100-56-8, Kocaeli.
- TÜİK, 2014. Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara.

TÜRKİYEDE JEOTERMAL SERA VE UYGULAMALAR

Toros Özbek

*T.C. Jeotermal Kaynaklı Belediyeler Birliği
(torosozbek@ttmail.com)*

ÖZ

Örtü altı yetiştiriciliği olarak mevsimsel ve dış iklim faktörlerinin etkilerinden koruma amaçlı ışık geçirir örtü malzemeleri ile örtülmüş yapılar altında, bitki için en uygun koşullar ile dengeyi sağlanarak sebze, meyve, fide, süs bitkisinin mevsim dışı tüm yıl boyunca üretilerek taze olarak tüketime sunulması sera faaliyetlerini oluşturur.

Seralarda ısıtma maliyetleri yüksek olup işletme giderlerinin % 30-70'ini teşkil etmektedir. Jeotermal enerji ile ısıtılan modern teknolojik (topraksız kültür) seralarda ısıtma maliyeti çok düşük olup karlı işletmelerdir. Elde edilen ürün kalitesinin yüksek oluşu, 11 ay ürün alma, yetiştiricilik ve verim açısından sağladığı önemli avantajların yanısıra geleneksel sera uygulamasının 3 katı kaliteli ürün alınmasını sağlamaktadır. Kaliteli ve doğal ürünler iç ve dış pazarda talep görmektedir. Doğru yapılarak işletilen teknolojik jeotermal sera yatırımlarında geri ödeme süresi 3-4 yıldır.

Teknolojik jeotermal sera yatırımlarında arazi ve sürdürülebilir jeotermal su temini, uygun yer ve ürün seçimi, çevre ilişkileri, doğru projelendirme ve işletme önemli parametrelerdir. Teknik, ekonomik, ticari işletme için büyüklüğün en az 25 dönüm, dış dizayn sıcaklığının -15C den ve kış ayları dış hava ortalamalarının 0C'den daha düşük olmaması önerilmektedir

Türkiye önemli bir jeotermal potansiyele sahip olup jeotermal kaynaklarımızın % 34'ü ısıtma-ya uygundur . Kaynaklarımızın % 78' i batı Anadolu'da yer almaktadır.

Kaplıca tesislerinin jeotermal enerji ile ısıtılması ile birlikte jeotermal sera ısıtma uygulamalarına da başlanılmıştır. 1985'den sonra kimyasalların kullanılmaya başlanması ile kabuklaşma sorunları çözülmüş, jeotermal merkezi şehir ve sera ısıtma uygulamaları ve teknolojisi hızla gelişmiştir. İzmir, Aydın, Denizli, Afyon, Urfa gibi illerimizde 3200 dekarın üzerinde sera kurulmuş olup uluslararası düzeyde ihracat yapılmaktadır. Son yıllarda Aydın, Denizli, Yozgat gibi illerimizde organize sera bölgelerinin kurulması ile ilgili çalışmalar hızlanmıştır. Bu bölgelerde 500 dekarın üzerinde merkezi jeotermal ısıtma sistemi ile ısıtılan seralar kurulacaktır.

Mevcut teşvik sistemi ile teknolojik sera mevzuatı sektörün sorunlarını çözme açısından yeterli değildir.

Anahtar Kelimeler: Teknolojik sera, jeotermal enerji, jeotermal sera

GEOTHERMAL GREENHOUSING AND PRACTICES IN TURKEY

Toros Özbek

*Geothermal Resources Association of Municipalities of Turkey
(torosozbek@ttmail.com)*

ABSTRACT

Greenhouse growing consists of activities including out of season vegetable, fruit, seedling and ornamental plant growing and offering fresh products all year around, by stabilization under optimum conditions in order to grow plants under covered structures such as translucent cover materials used for protecting crop from the negative effects of seasonal and external climate factors.

Considering that it constitutes 30-70% of total operation costs, greenhouse heating costs can be very high. Heating costs of greenhouses with advanced technology (soilless culture), those being heated with geothermal energy are very low, therefore these are regarded to be profitable enterprises. Apart from providing high quality crops and gaining advantages in terms of productivity such as harvesting crop and farming for 12 months, geothermal energy heated greenhouses offer three times better quality when compared with traditional greenhouse practises. High quality and natural products are demanded in domestic and foreign markets. Payback period in technological geothermal greenhouses which are properly constructed and operated is 3-4 years.

Major parameters of technological geothermal greenhouse investments can be defined as land allocation and sustainable geothermal water supply, proper location and agricultural product selection, environmental relations, accurate project design and operation. For related enterprises, the acreage is recommended to be minimum 25 decares, provided that the external design temperature is not less than -15C and monthly average temperature in winter is not below 0C.

Turkey has an essential geothermal potential and 34% of our geothermal resources are suitable for heating. 78% of our resources are in West Anatolia.

Geothermal greenhouse practises started to take place with the initiation of hot spring facility heating with geothermal energy. After 1985, following solving the crustation issues with chemicals, geothermal city and greenhouse heating practises have developed rapidly. A great number of greenhouses were constructed on more than 3200 decares in provinces i.e. İzmir, Aydın, Denizli, Afyon, Urfa. In recent years, studies for establishing organized greenhouse zones gained acceleration in Aydın, Denizli and Yozgat. In these provinces, greenhouses with central geothermal heating system will be constructed on 500 decares.

Current incentives and legislation for technological greenhouse are insufficient to solve the problems of the sector.

Keywords: *Geothermal, greenhousing, Turkey*

JEOTERMAL ARAŞTIRMALARDA MODELLEME UYGULAMALARI

BALIKESİR'DEKİ EDREMIT JEOTERMAL SAHASININ SAYISAL MODELLEMESİ

Emre Günay¹, Nurkan Karahanoğlu¹

¹*Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, 06800, Ankara, Türkiye
(egunay@metu.edu.tr)*

ÖZ

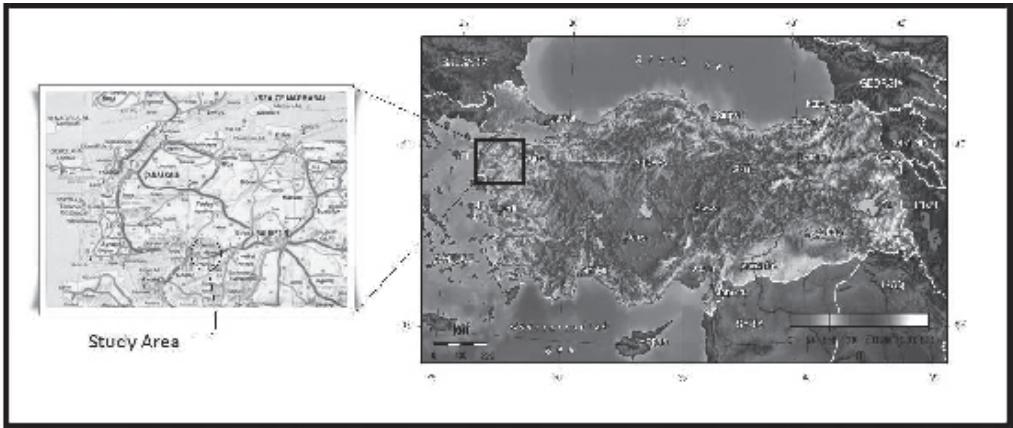
Kuzeybatı Anadolu'daki Edremit jeotermal sahasını simüle etmek amacıyla bir sayısal model oluşturulmuştur. Bu saha 40-60 °C sıcaklıkta sıcak su üretmektedir ve temel olarak ısıtma amaçlı kullanılmaktadır. Jeotermal su derinliği 220 ile 500 metre arasında değişen üretim kuyularından üretilmektedir. Bu sahanın potansiyelini ve bu sahadaki sıcak ve soğuk arasında muhtemel bir ilişkinin olup olmadığını araştırmak için bu sistemin simülasyonu iki boyutlu düşey kesit modeli ile formüle edilmiştir. Uygun sıcaklık ve basınç değerleri sınırlara konulmuş ve ardından model çalıştırıldıktan sonra da kararlı akım şartlarında gözlemlenmiş sıcaklık ve basınç değerleri kullanılarak kalibre edilmiştir. Daha sonra simülasyon çalışmalarında çeşitli tahmini üretim ve enjeksiyon senaryoları tartışılmıştır. Rezervuar tepkisinin bu senaryolara karşı yorumlanması, bu gibi bir simülasyon çalışmasının bu tür jeotermal sistemleri araştırması ve bu sahanın potansiyel ve sürdürülebilir üretimi ile ilgili bilgi sağlaması açısından uygun olduğunu göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Sayısal modelleme, jeotermal sistemler, Edremit jeotermal sahası

1. GİRİŞ

Türkiye enerji bakımından dışa bağımlı bir ülkedir. Kullandığı enerjinin yaklaşık %60'lık bir kısmını petrol ve doğalgaz yetersizliği nedeniyle dışardan ithal etmektedir. Türkiye'nin enerjideki bu dışa bağımlılığını azaltmak için temiz, yerli ve yenilenebilir kaynakları daha fazla kullanması gerekmektedir. Jeotermal enerji bu kaynaklardan birisidir. Türkiye Alp-Himalaya dağ oluşum kuşağı içinde bulunması ve volkanizma, fümerol ve hidrotermal alterasyonlardan yüksek seviyede etkilenmesi ve sıcaklığı 100 derecenin üzerinde yaklaşık 600 sıcak su kaynağına sahip olması nedeniyle Türkiye dünyanın en önemli jeotermal enerji potansiyeline sahip ülkelerden biridir. Türkiye'de ısıtma amaçlı ve elektrik üretimi için kullanılan pek çok jeotermal saha vardır. Edremit jeotermal sahası da düşük sıcaklığından dolayı bölgesel ısıtma amaçlı kullanılan önemli bir enerji sahasıdır. Bu saha 1990 ların sonundan beri üretimdedir ve Edremit şehir merkezi için bölgesel ısıtma amaçlı kullanılmaktadır. Jeotermal rezervuarın 2000 yılında Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından keşfin ardından, 2500 konutu ısıtmak için bir dağıtım sistemi tasarlanmıştır. Şu an bu sistem 5000 konutu ısıtmaktadır ve gelecekteki hedef bunu 7500 konuta çıkarmaktır (Avşar, 2011). Bu çalışma bu enerjiyi karşılamak için Edremit jeotermal sahasının potansiyelini ve sürdürülebilirliğini araştırmayı amaçlamaktadır.

Çalışma alanı Edremit ovasındadır. Bu bölge Anadolu'nun kuzeybatısındadır (Şekil 1). Bu alan Edremit körfezi ile Kaz Dağı arasında uzanmakta ve Kaz Dağları, Eybek Dağları ve Gürgen Dağları tarafından sınırlanmaktadır. Bölge yazları sıcak ve kurak kışları ise serin ve yağışlı geçen tipik bir akdeniz iklimine sahiptir. Devlet Meteoroloji İşleri (DMI) raporlarına göre yıllık ortalama sıcaklık 20°C dir. Kaydedilen en yüksek uç sıcaklık 42°C ve en düşük sıcaklık -19°C dir. Ortalama yıllık yağış 707 mm olarak tahmin edilmektedir. Ortalama nem oranı ise %65 dir. Bölgedeki tipik flora deniz seviyesinden başlayıp 500 m yüksekliğe kadar bir bölgeyi kapsayan zeytin ağaçlarıdır (DMİ, 2015). Edremit ovasının drenaj baseni ve yükseklik haritaları Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 1: Edremit jeotermal sahasının coğrafi konumu.

ERA	C E N O Z O I C			FORMATION	THICKNESS (m)	LITHOLOGY	DESCRIPTION	HYDROGEOLOGICAL PROPERTIES
	PERIOD	EPOCH	GROUP					
C E N O Z O I C	QUATERNARY	PLIOCENE		BALLICA	~100	ALLUVIUM Clay, sand, gravel		Pervious
					150	Loosely cemented conglomerate, sandstone, mudstone		Semipermeable Mudstone levels are impermeable
	NEOGENE	MIDDLE UPPER		BALLICA	60	Alternation of alkaline marl, conglomerate, sandstone, and clayey limestone		Impervious permeous along fault planes and fractures
					~30 ~40	VOLCANICS; Andesite, dacite, tuff, agglomerate GRANODIORITE; Grey-light grey colored and calc-alkaline character.		Pervious Highly porous along fault planes and fractures.
MESOZOIC	LOWER TRIASSIC			KARAKAYA	~120	LIMESTONE; Light grey - beige colored, medium thick bedded, sandy limestone.		Impervious Permeous along fault planes and fractures.
					~250	Splitic sand, sandstones, micaceous. Sandstone with feldspar, quartz, conglomerate, siltstone. Containing limestone blocks Units are slightly metamorphosed.		Semipermeable Permeous along fault planes and fractures.
PALEOZOIC			KAZDAĞ		1200-1500	METAMORPHICS; Schist, marble, orthogneiss, gneiss, granitic gneiss, amphibole gneiss, silimanite gneiss, melanitic, metagabbro, orthogneiss and migmatite		Impervious to semipermeable Marble is pervious along fractures and cracks.

Şekil 6: Edremit sahasının genelleştirilmiş kolon kesiti (Avşar, 2011).

3. SAYISAL MODELLEME

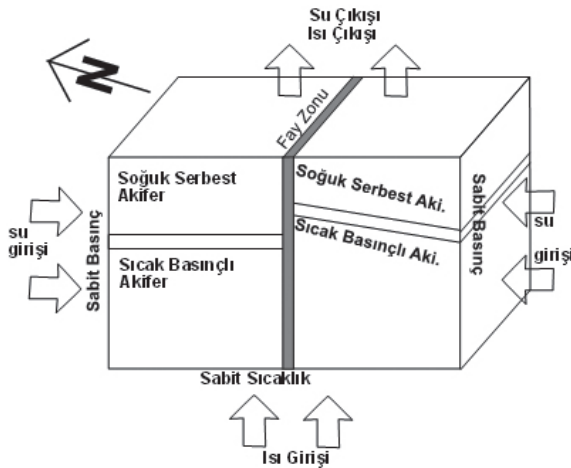
3.1 Kavramsal Model

Edremit vadisinde yapılan önceki çalışmalar ve Avşar (2011)'de önerilen jeolojik modellerden yararlanılarak jeotermal sistemin bir kavramsal modellenmesi yapılmıştır. Bu kavramsal model Edremit jeotermal sistemini bir soğuk serbest akifer, sıcak bir basınçlı akifer ve aralarında oldukça ince ve göreceli geçirimsiz bir tabaka içeren bir sistem şeklinde canlandırmaktadır (Şekil

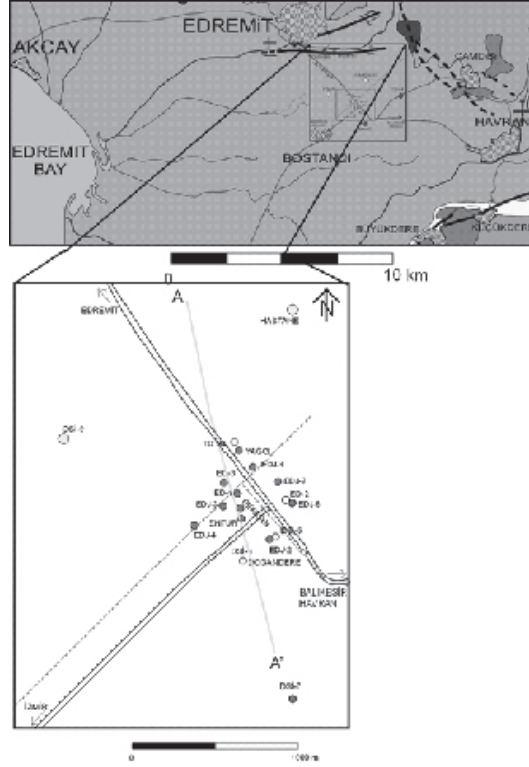
7). Üstteki birim soğuk su taşıyan ve alüvyon, konsolide olmayan çamurtaşı, kumtaşı ve konglomera içeren bir soğuk su serbest akiferidir. Alttaki basınçlı akifer ise sıcak su taşımaktadır ve oldukça geçirimli konglomera ve aglomera içermektedir. Bu iki akiferin arasında göreceli geçirimsiz oldukça ince bir tabaka bulunmaktadır. Bu katman diğer iki akifer için yarı geçirimsiz bir tabaka olarak hizmet vermektedir. Jeotermal sistem alttan ısınmakta ve enerji aşağıdaki akiferde depolanmakta ve bu kuyulardan aşağıya delinen sondaj kuyularından sıcak su üretimi yapımı sağlanmaktadır. Üstteki akiferi delen kuyulardan ise soğuk su çıkmaktadır. Fakat bu kuyulardan bazılarında ılık su üretimi de olmaktadır. Bunun sebebinin sıcak su ile soğuk suyun bazı yerlerde bir şekilde karışmasından kaynaklandığı olarak düşünülmektedir. İki akiferi de kesen bir fay sistemi bulunmaktadır. Karışımın bundan kaynaklı olabileceği düşünülmektedir ve fay sistemine yakın bölgelerdeki kuyulardan sıcak su çıktığı tespit edilmiştir.

Bölgede açılmış derinliğe göre değişen çeşitli sıcak ve soğuk su kuyuları mevcuttur. Edremit vadisinin günümüz koşullarının dikkatli bir şekilde incelendiğinde kuyuların merkez bölgesinde ve bütün vadiye göre küçük bir alanda kaldığı görülmektedir. Bu gerçek göze alınarak üretim kuyularına yakın küçük bir alan seçilmiş ve jeotermal sistem içerisindeki sıcaklık ve basınç değişimini incelemek için enine kesit bir sayısal model oluşturulmuştur. Bunun için basende çeşitli kuyuların yer aldığı bir kesit çizgisi (A-A') seçilmiş ve 14739 nod'dan 14400 dörtgen elemanlı bir enine kesit modeli yapılmıştır (Şekil 8). Bölgedeki 22 kuyudan bu hatta yakın 7 tanesi kalibrasyon çalışmaları için seçilmiştir. Enine kesit modeli 2600 metre uzunluğunda ve 500 metre derinliğindedir. Fay zonu (yaklaşık 80 derece eğimli) enine kesitte 20 metre genişliğindedir ve ağ yapımında dikey olarak farz edilmiştir (Şekil 7 ve Şekil 9).

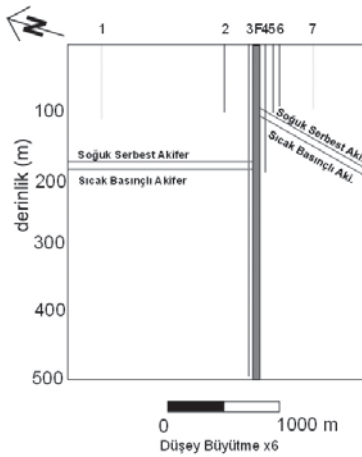
Salınımsız çözümler için ağ boyutlarını optimize etmek için çeşitli deneme çalışmaları yapılmıştır. Bunun sonucunda genellikle 10 metre x 10 metre boyutunun uygun olduğu görülmüştür. Fakat fay zonunda bu boyut 1 metre x 10 metreye ve fay zonuna yakın yerlerde ise 5 metre x 10 metre ye indirgenmiştir. Bu indirgenmenin sebebi fay zonu boyunca yüksek akış oranı ve ısı transferinin olmasıdır.



Şekil 7: Simüle Edilen Modeldeki Kavramsal Model ve Sınır Koşullarını Gösteren Blok Diagram (Ölçeksizdir).



Şekil 8: Kuyu lokasyonlarını gösteren harita (kırmızı daireler sıcak jeotermal kuyuları, sarı daireler ılık kuyuları ve mavi daireler soğuk su kuyularını göstermektedir, faylar kırmızı kesik çizgi ile kesit hattı A-A' ile belirtilmiştir) (Avşar, 2011'den yenilenmiştir)



Şekil 9: Modelin derinlik ve Akifer Tiplerini ve Fay Zonunu Gösteren Enine Kesit (Sayılar soldan sağa kuyu isimlerini belirtmektedir 1-DSİ-9, 2-YAĞCI, 3-ED-3, F-FAY ZONU, 4-ED-1, 5-DERMAN, 6-ENTUR, ve 7-DSİ-6)

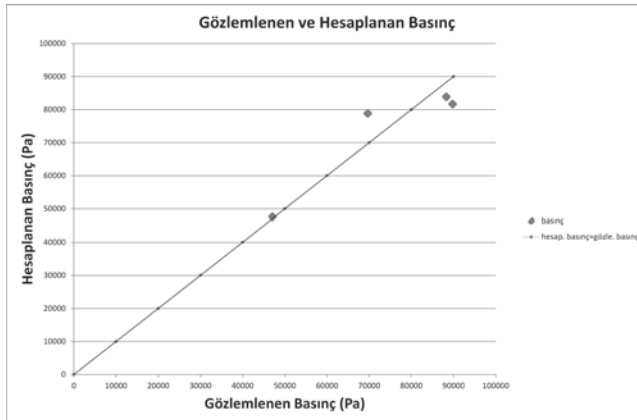
3.2 Sınır Koşulları

Sayısal modeli tamamlamak ve kalibrasyon çalışması yapabilmek için sıcaklık ve basınç değişkenleri için sınır koşulları tanımlanmıştır (Şekil 7). Basınç için kuzey ve güney sınırlara çeşitli basınç derinliğe bağlı olarak çeşitli basınç değerleri verilmiştir. Yakınlardaki gözlem kuyularından faydalanılarak A ve A'' da yüzeydeki hidrolik yük 10 metre ve 5 metre olarak farz edilmiştir. Bu yüzey sınır nodlarında başlayıp aşağıya kadar hidrolik basınç hesaplanmış ve bu iki sınıra sabit sınır basıncı olarak verilmiştir. Basınç değişkeni hesaplanırken yukarı yüzey nodları serbest sınır nodları olarak bırakılmıştır.

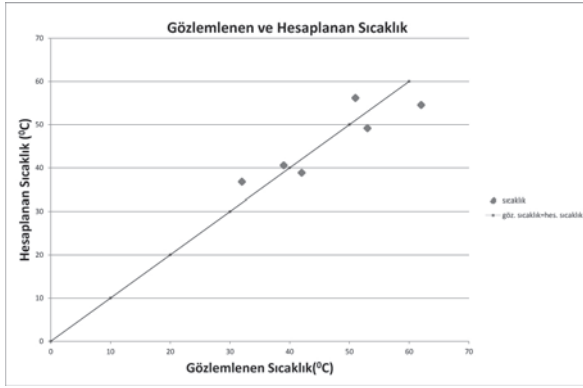
Kavramsal modelde sistemin alttan sürekli bir ısı kaynağıyla ısıtıldığı varsayılmıştır. Bu da aşağıdaki nodlara sabit bir sıcaklık, 60°C, uygulanmasını getirmiştir. Jeotermal sistem yüzeyden atmosfere ısı vermektedir. Güney ve kuzey sınırları boyunca model rezervuara gelen suyun sıcaklığına ihtiyaç duymaktadır. Jeotermal sistem düşünüldüğünde modelin yanlardan beslendiği ve sabit sıcakların gerekli sınır nodları boyunca verildiği gözükmemektedir. Bu sıcaklıklar aşağıdaki nodlarda 60°C dir ve kademeli bir şekilde yüzeye doğru azalmaktadır ve yüzeyde 30°C'dir.

3.3 Model Kalibrasyonu

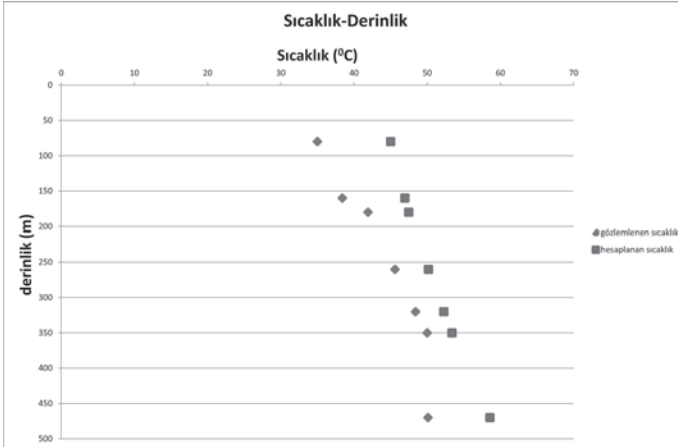
Sayısal modele gerekli sınır koşullarını uyguladıktan sonra bir jeotermal sistemin ilk halini simüle etmek için bir kalibrasyon çalışması yapılmıştır. Bu ilk başta serin ve boş bir rezervuar farz ederek başlatılmıştır ve sistemi aşağıdan devamlı ısıtarak bugünkü koşullara getirmesi sağlanmasını gerektirmiştir. Bu sayısal prosedüre sınır koşulları ve uygun fiziksel parametreler kullanılarak hesaplanan ve gözlenen değerler arasında bir uygunluğa varılana kadar devam edilmiştir. Kalibrasyon sırasında çeşitli fiziksel parametreler denenmiştir ve hesaplanan bu sıcaklık ve basınç değerleri gözlemlenen değerlerle karşılaştırılmıştır. Sonunda bu değerler arasındaki fark minimize edilmiş ve model kalibre edilmiştir. Bu arada modeldeki r^2 , %Bias, RMSE gibi değerlere bakılarak kalibrasyonun önemi belirlenmiştir. Kalibrasyon sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 10,11 ve 12'de gösterilmiştir. Bu şekiller net bir biçimde kalibrasyon çalışmasının başarısını ortaya koymaktadır ve hesaplanan ve gözlemlenen değerler arasında büyük bir uyum olduğunu göstermektedir.



Şekil 10: Hesaplanan ve gözlemlenen basınçlar arasındaki ilişki.



Şekil 11: Hesaplanan ve gözlemlenen sıcaklıklar arasındaki ilişki.



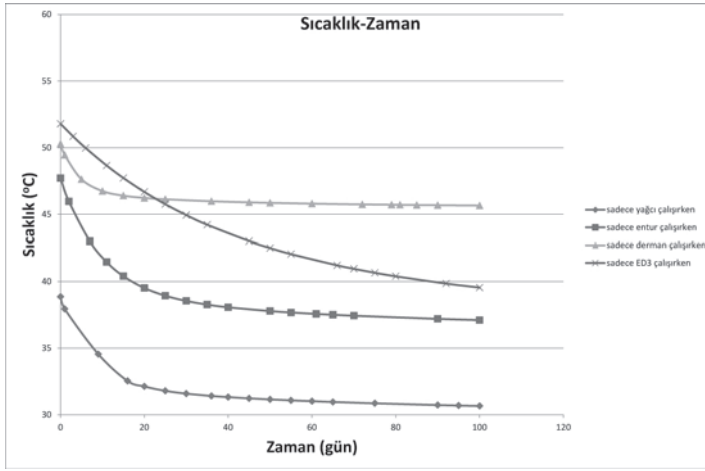
Şekil 12: ED-3 kuyusundaki derinliğe bağlı gözlemlenen ve hesaplanan sıcaklıkların karşılaştırılması.

4. ALTERNATİF SENARYOLAR

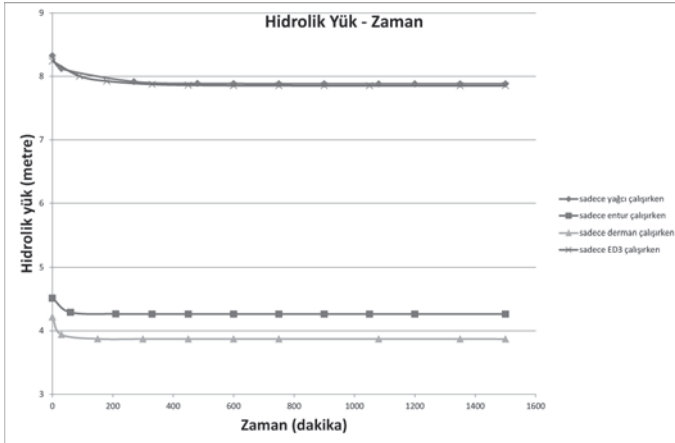
Kalibre edilmiş model daha ileriki simulasyon çalışmalarından önce 10 yıllığına test edilmiştir. Bu süreç boyunca model çalıştırılmış kalibrasyon şartları devam ettirilmiş ve basınç ve sıcaklıktaki değişimler not edilmiştir. Bu çalıştırmanın sonucu basınç değerlerinde bir değişim olmadığını sıcaklığın ise sadece 0.5 °C değiştiğini göstermektedir. Bu kalibre edilmiş modelin rezervuarın tepkisinin değişik üretim ve reenjeksiyon şartları için simulasyonuna yeterli olduğunu göstermektedir. Üç alternatif senaryo tasarlanmış ve simülasyon rezervuarın potansiyelini, sürdürülebilirliğini ve reenjeksiyon olasılıklarını araştırmak için çalıştırılmıştır. Bu simulasyon çalıştırmaları sırasında jeotermal sahadan alınan ortalama üretimi oranı olarak sabit bir pompalama oranı, 5 kg/s kullanılmıştır

Birinci senaryoda pompalama kuyuları Yağcı, Derman, Entur ve ED-3'den ayrı ayrı işletilmiştir. Her bir kuyudan ayrı ayrı 5 kg/s kütle oranı ile pompa yapılmış ve 4.182×10^5 J/s enerji sistemden çekilmiştir. Simülasyon çalıştırmalarında sistemin ayrı ayrı çalışma sonucunda bu üretimlere tepkisi incelenmiştir ve bu üretimlerin etkisi Şekil 13 ve Şekil 14'te gösterilmiştir. Şekil 13 Yağcı, Derman ve Entur'daki kuyulardaki sıcaklık düşüşlerindeki trendin benzerliğini

göstermektedir ve bu düşüş 100 günün sonunda dengeye ulaşmıştır. ED-3 kuyusundaki düşüşün ise diğer kuyulara oranla daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun sebebi ise muhtemelen bu kuyunun faya oldukça yakın olmasından kaynaklıdır. Sayısal simülasyonlar sırasında faya yakın olan elemanlara ve çevresine göreceli yüksek permeabilite değerleri verilmiştir. Üretimin etkisinin basınç değişkenine etkisi ise grafiksel kolaylık olması için hidrolik yüke çevrilerek analiz edilmiştir (Şekil 14). Bu sonuçlara göre Yağcı ve ED-3 kuyularındaki yük düşüşleri aynıdır ve bu düşüşler yaklaşık 6 saat sonra dengeye ulaşmıştır. Aynı şekilde Derman ve Entur kuyularındaki yük düşüşleri de benzer bir trend izlemektedir ve onlar da yaklaşık 6 saat içinde dengeye ulaşmıştır.



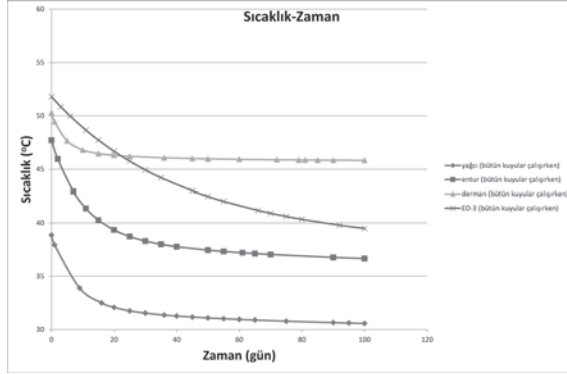
Şekil 13: Senaryo 1'deki bireysel üretimlerin sıcaklık değişkenine etkisi.



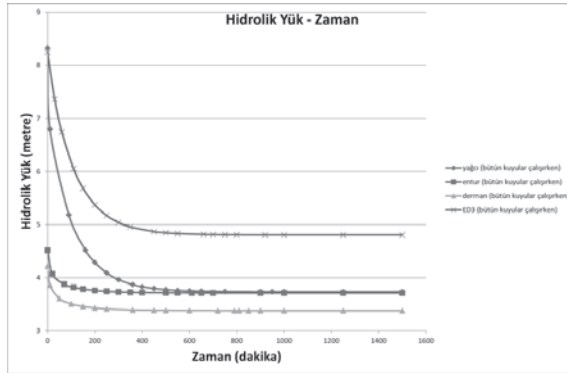
Şekil 14: Senaryo 1'deki bireysel üretimlerin hidrolik yük değişkenine etkisi.

İkinci senaryoda dört kuyu da aynı anda işletilmiş ve bunların rezervuara etkisi incelenmiştir. Aynı kütle ve enerji üretim miktarları kullanılmış ve kuyulardaki yük ve sıcaklık değişimleri incelenmiştir. Şekil 15 ve Şekil 16 incelenen kuyulardaki sıcaklık ve hidrolik yük değişimini göstermektedir. Sıcaklık değerleri Yağcı, Derman ve Entur kuyuları için üretimin ilk zamanlarında yüksek olduğunu sonradan dengeli bir hale geldiğini göstermektedir. ED-3'deki düşüş ise di-

ğerlerinden daha fazladır ve muhtemelen daha geç bir zamanda kararlı hale gelecektir. Hidrolik yükler birinci seneryoya benzer bir trende sahiptir. Ama düşüş miktarları birinci senaryoya göre daha fazla olmuştur. Bu iki seneryoya bakıldığında sıcaklık düşüşleri için çok fazla bir fark yoktur. Fakat hidrolik yük düşüşü ikinci seneryoda üretimin fazla olması nedeniyle daha fazladır.

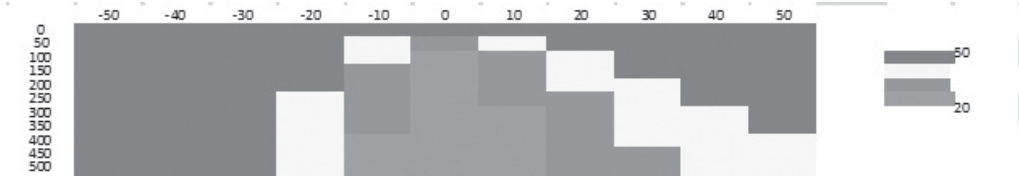


Şekil 15: Senaryo 2'deki bireysel üretimlerin sıcaklık değişkenine etkisi.

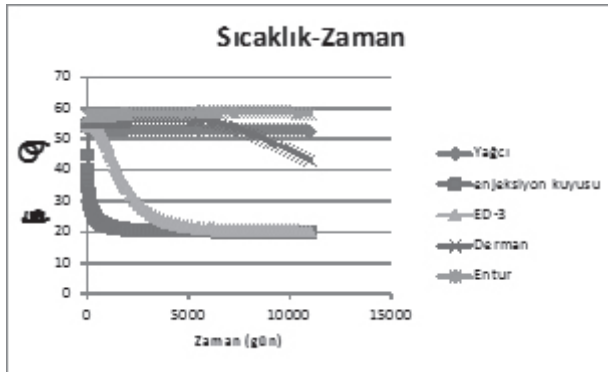


Şekil 16: Senaryo 2'deki bireysel üretimlerin hidrolik yük değişkenine etkisi.

Üçüncü senaryoda bir reenjeksiyon alternatifi denenmiştir. ED-3 kuyusuna 70 metre uzakta bir kuyu açılmış ve çekilmiş suyun % 80'i sisteme diğer kuyular çalışırken geri basılmıştır. Sayısal çalıştırmalarında bütün kuyular (ED-3 haricinde) çalıştırılmış ve 20 °C sıcaklıktaki su alttaki akifere reenjekte edilmiştir. Şekil 17 reenjeksiyonun kendisine ve çevresine etkisini göstermektedir. Bu şekil aynı zamanda enjekte edilmiş soğuk suyun yayılımının daha fazla akış yönüne doğru olduğunu gösterir. Yağcı, ED-3 ve reenjeksiyon kuyusundaki yük benzer bir şekilde hareket etmekte ve reenjeksiyon başladıktan yaklaşık 6 saat sonra dengeli bir hale ulaşmaktadır. Buna karşın reenjeksiyon kuyusunun Derman ve Entur kuyularına etkisi bu kadar sürede gözlenmemektedir. Aşağıdaki akiferdeki soğuma gözlemlenen kuyulardaki sıcaklık değişimine bakılarak Şekil 18'de gösterilmiştir. Bu kuyuların içerisinde ED-3 kuyusu reenjeksiyondan oldukça fazla etkilenmiş ve 6000 günün sonunda sıcaklığı 20°C'a düşmüştür ve Derman kuyusu ise 6000 günden sonra sürekli bir düşüşe geçmiştir. Diğer taraftan Yağcı ve Entur kuyuları bu 11000 günlük simülasyon sürecinden fazla etkilenmemişlerdir.



Şekil 17: Senaryo 3 'teki Reenjeksiyon kuyusu civarındaki sıcaklık cephesinin hareketi. Enjeksiyon kuyusu merkeze yerleştirilmiştir. Renkler kırmızıdan mavi sıcaklıktaki düşüşü göstermektedir (50°C'dan 20°C'a)



Şekil 18: Reenjeksiyon sırasında kuyular sıcaklık düşüşleri

5. SONUÇLAR

Bu araştırmadan aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır:

1. Edremit jeotermal sistemini modellemek için alanın kavramsal modeline dayalı bir sayısal simülasyon çalışması yapılmıştır
2. Sistemin tepkisini incelemek için yapılan simülasyonlarda uygulanan senaryolar basıncın hızlıca düştüğünü ve kısa bir süre içinde dengeli bir hal aldığını göstermektedir ve bu da rezervuarın bu kadar miktarda sıcak su üretmeye yeterli olduğunu anlatmaktadır.
3. Sıcaklık açısından bakıldığında günümüz üretim senaryoları kuyulardaki sıcaklıklarda düşüş içermektedir. Basınç düşüşleri gibi sıcaklık düşüşleri de dengeli değerlere ulaşmaktadır ve bu üretim oranlarının sistemin optimum kullanımı için tekrar revize edilmesini gerektirir. Öte yandan rezervuar gelecek üretim açısından verimli bulunmuştur. Çünkü dengeli periyoddaki sıcaklık ve basınçları yaşanan düşüşler önemsenmeyecek kadar azdır.
4. Bu çalışmada Edremit jeotermal sahasının başarılı bir modeli tamamlanmıştır. Fakat, bu model data eksikliği nedeniyle jeotermal sahanın küçük bir kesitine dayalıdır. İleride bütün alanı içeren 3D model oldukça daha iyi olabilir.
5. Bu modelde simülasyon süresinde kuyuların sürekli çalıştığına göre yapılmıştır. Eğer gerçek kuyu dataları kullanılırsa sonuç daha gerçekçi olabilir.

KAYNAKLAR

- Altınlı, E., 1973. Bilecik Jurasîği. *Proceedings, Cumhuriyetin 50. Yılı yerbilimleri kongresi*, Ankara, 103.
- Avşar, 2011, Geochemical evaluation and conceptual modeling of Edremit geothermal field, Ph. D. Thesis, *Middle East Technical University*, Ankara, p. 158.
- Bingöl, E., 1969. Kazdağ masifinin merkezi ve güneydoğu kesiminin jeolojisi. *MTA Journal*, 72, 110-124.
- Bingöl, E., Akyurek, B., Korkmazer, B., 1973. Biga yarımadasının jeolojisi ve Karakaya formasyonunun bazı özellikleri. *Proceedings, Cumhuriyetin 50. Yılı yerbilimleri kongresi*, Ankara p. 70-76.
- Bozkurt, E. ve Mittwede, S.K., 2001. Introduction to the geology of Turkey-535 a synthesis. *International Geology Review*, 43, 578-591.
- Bozkurt, E. ve Rojay, B., 2005. Episodic two-stage Neogene extension and shortterm intervening compression in Western Turkey: field evidence from the Kiraz Basin and Bozdağ Horst. *Geodinamica Acta*, 18, 299-316.
- Candan, O., Koralay, O.E., Akal, C., Kaya, O., Oberhansli, R., Dora, O.O., Konak, N., Chen, F., 2011, Supra-Pan-African unconformity between core and cover series of the Menderes Massif/Turkey and its geological implications, *Precambrian Research*, 184, 1-23.
- DMI, 2014, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, <http://www.mgm.gov.tr>, last visited on 25 August 2014.
- Dora, O.O., 2011, Menderes Masifindeki jeolojik araştırmaların tarihsel 559 gelişimi, *MTA Journal*, 142, 1-23.
- Duru, M., Pehlivan, S., Senturk, Y., Yavas, F., Kar, H., 2004. New results on the lithostratigraphy of the Kazdağ Massif in northwest Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 13, 177-186
- Ercan, T., Günay, E., Turkecan, A., 1984. Edremit – Korucu yoresinin (Balıkesir) Tersiyer stratigrafisi magmatik kayacların petrolojisi ve kokensel yorumu. *Bulletin of Türkiye Jeoloji Kurumu*, 27, 21-30.
- Erdoğan, B., Akay, E., Hasozbek, A., 2011, Menderes Masifi'ndeki (Batı Anadolu) gnaysik granitlerin yerleşim özellikleri ve masifin tektonik evrimindeki yeri; yeni arazi bulguları ve yas tayinleri, *MTA Journal*, 142, 167-193.
- Genç, C., Altunkaynak, S., 2007. Eybek graniti (Biga yarımadası, KB Anadolu) üzerine: Yeni jeokimya verileri ışığında yeni bir değerlendirme. *Journal of the Earth Sciences Application and Research Centre of Hacettepe University*, 28 (2), 75-98.
- Koç, S., Erdoğan, S., Kadioğlu, Y.K., 1994. Havran (Balıkesir) güneydoğusunda yer alan volkanitlerin epitermal cevherleşme potansiyeli. *MTA Journal*, 116, 65- 80.
- Koralay, O.E., Candan, O., Akal, C., Dora, O.O., Chen, F., Satır, M., Oberhansli, R., 2011, Menderes Masifi'ndeki Pan-Afrikan ve Triyas yaşlı metagranitoidlerin jeolojisi ve jeokronolojisi, Batı Anadolu, Türkiye, *MTA Journal*, 142, 69-121.
- Krushensky, R.D., 1976. Neogene Calc-alkaline extrusive and intrusive rocks of the Karalar- Yesiller area, Northvvest Anatolia. *Bulletin of Volcanology*, 40, 336- 360.
- MTA, 2007. 1:100 000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları No: 97 Balıkesir D18 paftası, *Gn. Directorate of Mineral Research and Exploration*, Ankara
- Sarp, S., Burcak, M., Yıldırım, T., Yıldırım, N., 1998. Biga yarımadasının jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları ile Balıkesir-Havran-Derman kaplıca sahasının detay jeotermal etudu ve gradyan sondajları, *Gn. Directorate of Mineral Research and Exploration*, Rep.No. 10537, yayınlanmamış.

SORGUN (YOZGAT) JEOTERMAL SAHASI SİMÜLASYON MODELİ

Elif Yılmaz Turalı¹, Şakir Şimşek¹

¹Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji (Hidrojeoloji) Müh. Böl., Beytepe, Ankara
(elifyilmz@hacettepe.edu.tr)

ÖZ

Sorgun (Yozgat) jeotermal sahasında Kasım 2007'den itibaren 2 kuyu ile üretim ve 1 kuyu ile reenjeksiyon yapılmaktadır. Jeotermal kuyular ile elde edilen termal su konut ve sera ısıtmacılığı ile kaplıcalarda kullanılmaktadır. Bu çalışmalar sonucunda Sorgun ilçe merkezinde 1500 konut eşdeğeri ve 25.000 m² sera alanı jeotermal su kullanılarak ısıtılmaktadır. Ayrıca ısıtmadan dönen su termal tesislere verilerek yeni ve modern tesislerin yapımına olanak sağlanmıştır. Sahada, derinlikleri 104 m ile 444 m arasında değişen toplam 11 adet jeotermal kuyu açılmıştır. Kuyu içi rezervuar sıcaklıkları 50-85.4°C arasında ölçülmüştür. Isıtmanın yapıldığı Kasım-Mayıs arası dönemde ortalama üretim debisi 75 l/s, reenjeksiyon debisi 35 l/s, ısıtmanın yapılmadığı dönemde ise üretim 45 l/s ve reenjeksiyon 5 l/s'dir. Sahada su seviyesi ısıtma döneminde yaklaşık 110 m ve ısıtmanın olmadığı dönemde yaklaşık 96 m olmaktadır. Bu çalışma ile jeotermal sistemin sahanın mevcut üretim/reenjeksiyon uygulamalarının sistem üzerindeki etkilerinin sayısal simülasyon programı kullanılarak gösterilmesi amaçlanmıştır. Model için gerekli parametreler ve sınır koşulları kavramsal model temelinde tanımlanmış ve doğal durum modeli oluşturulmuştur. Bu modelin sıcaklık ve basınç dağılımları sahadaki kuyularda ölçülmüş olan statik sıcaklık ve basınç verileri ile benzeştirilmiştir. Uygun bir benzeşim elde edildikten sonra kuyulardaki üretim koşulları modele aktarılarak üretim aşamasının modeli oluşturulmuştur. Model sonuçları üretim sonrası gözlem kuyusunda ölçülmüş basınç (su seviyesi) ve sıcaklık verileriyle karşılaştırılarak kalibre edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sorgun, Jeotermal Isıtma, Üretim, Su Seviyesi, Sıcaklık, Simülasyon.

SIMULATION MODEL OF SORGUN (YOZGAT) GEOTHERMAL FIELD

Elif Yılmaz Turalt¹, Şakir Şimşek¹

¹Hacettepe University, Geological (Hydrogeological) Engineering Dept., Beytepe, Ankara
elifyilmz@hacettepe.edu.tr

ABSTRACT

The sorgun geothermal field has been produced with two production wells and one reinjection well since November 2007. Thermal water produced from geothermal wells is used mostly for district heating, greenhouse heating and in spa facilities. This results heating of 1500 residences in the city center and also heating greenhouse area of 25 000 m². Thermal water that returns from heating is used in the spa facilities and this improves the investment in the region. A total 11 geothermal wells have been drilled ranging from 104 m to 444 m depth in the field and the borehole temperatures were measured between 50-85.4 °C. The average rates of production and reinjection are respectively 75 l/s and 35 l/s in the heating period between months of November and May. The production rate is decreased to 45 l/s and reinjection rate is 5 l/s during non heating period. The water level has been measured 110 m during heating period and in the non heating period it increases to 96 m. In this study, the effects of present production/reinjection applications to the geothermal system are analyzed by means of a numerical simulation program. A conceptual model of the geothermal field has been formed and the model parameters and the boundary conditions are defined accordingly. A steady state model has been formed and the model results are simulated with the measured values in the production wells. After steady state calibration production scenarios are applied in the model in order to simulate the production history of the geothermal field. The simulation results are compared with the observed pressures (water levels) and the observed temperatures and the model is calibrated to the field conditions.

Keywords: Sorgun, Geothermal Heating, Production, Water Level, Temperature, Simulation.

GİRİŞ

Sorgun Jeotermal sahası İç Anadolu Bölgesinde, Yozgat il merkezinin 35 km doğusundaki Sorgun İlçe merkezinin sınırları içinde yer almaktadır (Şekil 1). E88 Kara yolu (Yozgat-Sivas) üzerinde kurulan ilçe doğuda Akdağmadeni, Saraykent batıda Yozgat, kuzeyde Aydıncık, Çekerek, güneyde Sarıkaya ilçeleri ile komşudur.

Sorgun jeotermal alanı 1/25.000 ölçekli Yozgat İ34-a3 paftası içinde yer almaktadır. Yozgat, Sorgun, Yerköy ve Çiçekdağ merkezlerini de içerisine alan bölgenin jeolojisi ilk olarak Ketin (1955) tarafından çalışmıştır. Sorgun kaplıca alanı ve yakın çevresinin ayrıntılı jeolojik etüdü ise kömür arama ve geliştirme amacıyla yapılmıştır (Ağralı, 1965). Sorgun sahası kömür madeni yanı sıra termal su açısından da önemli bir potansiyele sahiptir. Sorgun sahasında sıcak sular uzun yıllardır kaplıca amacıyla kullanılmakta ve kaplıcaların sıcak su ihtiyacı Eğri Dere'nin alüvyonlarında açılan sıcaklıkları 50-61°C arasında değişen sığ sondaj ve keson kuyulardan (5-6 m) sağlanmıştır (Keskin ve Özeke, 1988). Sahada, derinliği 104.5 m olan ilk kuyu (YS-1) 1988 yılında MTA tarafından kaplıcalara sıcak su sağlamak amacıyla açılmıştır (Keskin vd., 1988). YS-1 kuyusunda oluşan teknik bir sorun nedeniyle 2003 yılında bu kuyunun hemen yanında 105 m derinliğinde Valilik-1 (V-1) üretim kuyusu açılmıştır.

Jeotermal alan içinde kömür şirketleri (Bilfer; Madsan, Yeniçeltek vd.) kömür aramalarına yönelik sondaj ve galeri açılması şeklinde çalışmalar yapmışlardır. Bu şirketler tarafından kömür işletilmesi amacıyla açılan bazı galerilerin jeotermal akışkan getiren fayları kesmeleri nedeniyle sıcak su çıkışları daha düşük kotta yer alan bu galerilere yönlendirilmiş ve galerileri sıcak su basmıştır. Madsan şirketi sahada sıcak su seviyesini kömür seviyesi altına düşürerek kömür üretimi yapabilmek için 2004 yılında araştırma kuyuları (YS-3, YS-4, YS-5) açtırmış ancak bir süre sonra üretimini durdurmuştur. Günümüzde sahada kömür açık ocak şeklinde işletilmektedir. Sahada jeotermal akışkanın entegre kullanımına öncelik verilmiştir (Şekil 2).

Sahada sıcak su potansiyelinin belirlenmesi amacıyla 2004 yılında H.Ü. ve ORME Jeotermal A.Ş. tarafından jeotermal araştırma projesi yapılmıştır (H.Ü. ve ORME, 2004). Çalışmalar sonunda 2004-2009 yılları arasında derinlikleri 275 m ile 444 m arasında değişen 5 adet jeotermal kuyu (SG-1, SG-2, SG-3, SG-4 ve SGR-1) açılmıştır (H.Ü, 2005a,b; H.Ü, 2006a,b; H.Ü, 2008). Kuyu içi rezervuar sıcaklıkları 50-80°C arasında ölçülmüştür. Sahada son olarak 2011 yılında İl Özel İdaresi tarafından 300 m derinlikte 85.4 °C sıcaklıkta SG-5 kuyusu açtırılmıştır (Yozgat İl Özel İdaresi, 2011).

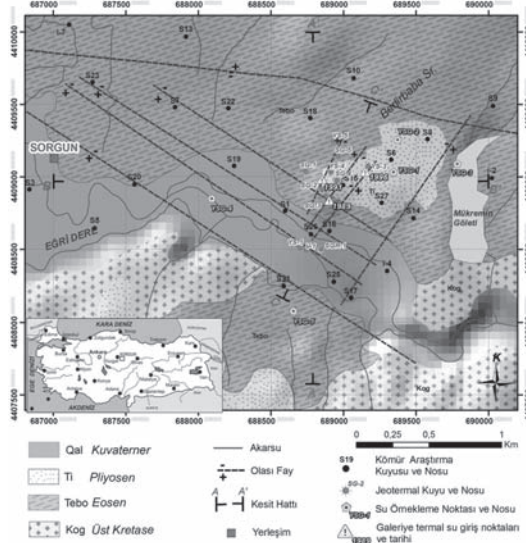
Jeotermal kuyular ile elde edilen termal su 2007 yılı Kasım ayından itibaren konut ve sera ısıtıcılığı ile kaplıcalarda kullanılmaktadır. Bu çalışmalar sonucunda Sorgun ilçe merkezinde 2015 yılı itibariyle 1500 konut ve 25.000 m² sera alanı jeotermal su kullanılarak ısıtılmaktadır (Şekil 2). Ayrıca ısıtmadan dönen su termal tesislere verilerek yeni ve modern tesislerin yapımına olanak sağlanmıştır.



Şekil 1. Sorgun jeotermal alanı çevresindeki yapılan uygulamaları gösteren uydu görüntüsü.

SORGUN JEOTERMAL SAHASI

Sorgun sahası kuzeyde ofiolitli melanj kütleleri ile güneyde Kırşehir masifi arasında sıkışmış dar ve uzun bir basendir (Nakoman, 1968). Sorgun ve çevresinde en altta Paleozoyik yaşlı Kırşehir masifine ait metamorfik birimler yer almaktadır. Bu birimler jeotermal saha ve yakın çevresinde yüzlek vermemekte olup sahanın güneyinde ve güneydoğusunda dar bir alanda yüzeylenmektedir. Sorgun kaplıcalarının ve ısıtma merkezinin bulunduğu alanda temeli Yozgat granodiyoritleri oluşturmaktadır (Şekil 2). Birim Orta Anadolu'da gözlenen ofiyolitlerin Kırşehir metamorfitlerini üzerlemesi ile oluşan kabuk kalınlaşması sonucu kısmi ergime ile oluşmuştur (Kara, 1997). Granodiyoritler jeotermal sahanın güneydoğusu ile güneyinde mostra vermektedirler (Şekil 2). Yerleşme yaşı Paleosen olarak kabul edilen granodiyoritlerin kırık çatlak sistemleri gelişmiş ve üst yüzeyleri ayrışmaya uğramıştır. Bu birimlerin üzerine Eosen yaşlı sığ denizel ve karasal ortamda çökelmiş killi, siltli ve marnlı kumtaşı, kireçtaşı birimleri gelmektedir. Eosen çökelleri üzerine uyumsuz olarak Pliyosen yaşlı kırıntılı çökeller ve Kuvaterner alüvyonlar çökelmiştir (Şekil 2).

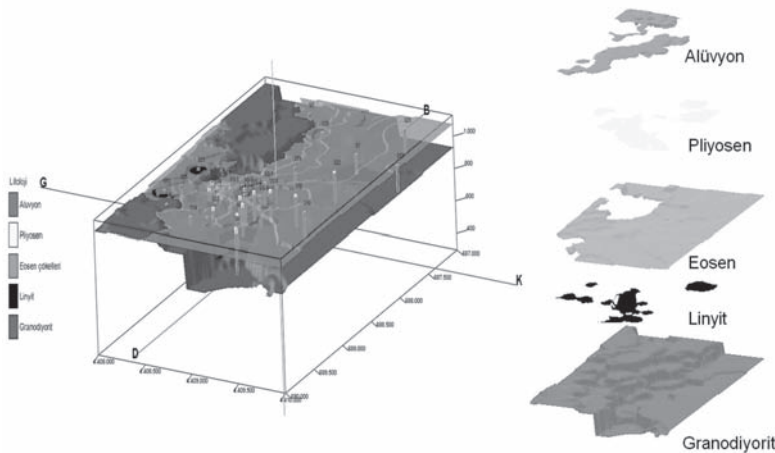


Şekil 2. Sorgun jeotermal sahası ve yakın çevresinin jeoloji haritası (MTA 2008' den değiştirilerek hazırlanmıştır)

Sorgun sahası kuzeyi çok faylanmış ve kıvrımlanmış bir bölge iken güney kesimleri hafif kıvrımlanmış ve uğramıştır. Bölgedeki bütün kıvrımlanmışlar muhtelif orojenik fazlarda sürekli olarak kuzeyden güneye yönelen itmeler sonucu oluşmuştur. Sahadaki faylar genellikle KB-GD doğrultulu normal ve ters faylardır (Şekil 1.2). Ters faylar kuzeyden gelen orojenik itmelerden kaynaklı oluşmuş olmalıdır. Görünür fayların hemen hepsi Alpin orojenezi ürünleridir ve atımları 20-70 m arasında değişmektedir (Nakoman, 1968). Kömür aramalarına yönelik açılan araştırma kuyularının ve sıcak su aramalarına yönelik arama ile üretim sondaj kuyularının verilerinin birlikte değerlendirilmesi sonucunda gömülü fay hatları ortaya çıkarılmıştır. Buna göre, jeotermal alanda sıcak suların çıkışını sağlayan en genç faylar BKB-DGD, KD-GB ve K-G doğrultulu ve eğim atımlıdır. Jeotermal kuyuların olduğu alanda ve kömür galerilerindeki patlama noktaları dikkate alınarak belirlenen üç fay KD-GB doğrultuludur (Şekil 1.2). Bu faylarla dilimlenen ve kırık çatlak sistemi gelişen zonlar sıcak su açısından potansiyel alanları oluşturmuştur.

Sorgun jeotermal sahasında 1965 yılından itibaren açılan 35 adet kömür araştırma kuyusu ile 11 adet jeotermal arama/üretim/reenjeksiyon kuyusu olmak üzere toplam 46 adet kuyunun elde edilen litoloji, sıcaklık ve basınç verileri incelenmiştir. Sahadaki 46 adet kuyunun litoloji verileri ile oluşturulan litolojik model ile Yozgat granodiyorit birimlerinin ve Eosen çökellerinin tavan topografyaları 6 km² lik model alanı için üç boyutlu olarak belirlenmiştir (Şekil 3).

Sahada jeotermal suyun alındığı birim Paleosen yaşlı granodiyorit birimlerdir. Geçirimsizliği düşük olan granodiyoritlerin altta olmuş kırık çatlaklı zonları ile fay zonları sıcak akışkan bulundurmaktadır. Granodiyoritlerin alt sınırı belirlenememiştir. Bölgedeki en derin kuyu (444 m) olan SGR-1 kuyusunda en geniş granodiyorit kalınlığı 345 m olarak belirlenmiştir. Killi kumlu ve marnlı birimler içeren Eosen çökelleri geçirimsiz özelliğiyle örtü kayayı oluşturmuştur. Eosen çökellerinin alt seviyelerinde taban çakıltaşları geçirimsiz olmakla birlikte kesilen kuyularda bu seviyelerde bir kaçak gözlenmemiştir. Sahanın güneyi basamak faylarla yükseldiğinden bu bölümde örtü kaya kalınlıkları düşüktür. Sahanın kuzeyinde üretim kuyularının açıldığı bölümde ise örtü kaya 200 m kalınlığa ulaşmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Jeotermal ve kömür kuyu lokasyonlarına ve litolojilerine göre oluşturulmuş 3 boyutlu litoloji modeli ile Eosen çökelleri ve Yozgat granodiyoritlerinin tavan topografyaları ve diğer litolojilerin tavan topografyalarının alansal yayılımları

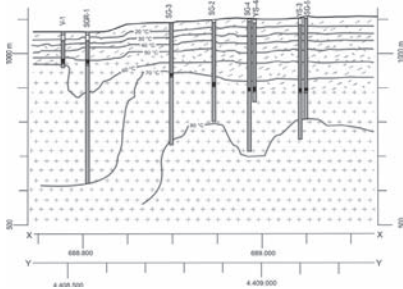
Bölgedeki termal sular alkali NaCl tipi derin dolaşmalı sular olup soğuk yeraltısularına göre daha yüksek kotlardan beslenen meteorik kökenli sulardır. Sahadaki jeotermal suların, trityum içerikleri 0.80 ile 3.01 TU arasında olup jeotermal kuyu sularının, 1952 yılı öncesi yağışlarla beslenen sular ile güncel yağışlarla beslenen suların karışımı olduğuna işaret etmektedir (Yılmaz Turalı, 2015). Geçirimli birim olan granodiyoritler sahanın güneyinde yüzeylenmekte ve gelişmiş kırık çatlak zonları ile faylar boyunca yüzey ve yeraltısuyunun derinlere süzülmesini sağlamaktadır. Derine süzülen yeraltısuları ısı kaynağı ve termal gradyanın etkisiyle ısınarak yine faylar ve kırık çatlak zonları boyunca konveksiyonel olarak yükselmektedir. Faylarla dilimlenen bloklarda yerel olarak sıcak su hareketi ve üretimi açısından verimli alanlar oluşmuştur. Kuyulara ait basınç ve sıcaklık verileri incelendiğinde derinliğe bağlı doğrusal bir değişim gözlenmemesi, sahada yüzeylenen birimlerin yeterince geçirimli olmaması ve kimyasal değerlendirmelerin *güncel sularla karışımı işaret etmesi*, fay hatlarının sistemin beslenimi/boşalımı/karışımı üzerinde etkili olabileceğini göstermektedir.

Sahada Eosen birimlerinden alınan kayaç örneklerinin ortalama ısıl iletkenliği 1.8 W/mK ve granodiyorit kayaç örneklerinin ısıl iletkenliği 2.3 W/mK ölçülmüştür (Yılmaz Turalı, 2015). Kuyulara ait sıcaklık verileri ve ısıl iletkenlik katsayısı dikkate alınarak granodiyoritler için ortalama gradyan $7\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ ve ısı akısı $0.167\text{ W}/\text{m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Silis entalpi diyagramına göre entalpi değeri 685 kJ/kg olup 160°C ilksel sıcaklık değerine karşılık gelmektedir. Jeotermometre hesaplamalarına göre de daha derinde olası bir rezervuarın sıcaklığının $197\text{ }^{\circ}\text{C}$ ye kadar olabileceği hesaplanmıştır. SiO_2 değerlerinin bölgedeki sulara göre yüksek oluşu, yüksek elektriksel iletkenlik değerleri ve ayrıca soğuk su karışım etkileri daha derinlerde yüksek ısı kazanmış olası bir rezervuarın varlığına işaret etmektedir (Şekil 8.1). Bu rezervuarın Kırşehir masifine ait metamorfik birimler olabileceği düşünülmüştür. Hesaplanan gradyan değerleri ve 160°C sıcaklık dikkate alındığında bu olası rezervuarın yaklaşık 1700 m derinlikte olacağı hesaplanmıştır. Isı kaynağı olarak daha derinlerde ısı kazanmış granitik bir magmanın olduğu kabul edilmiştir.

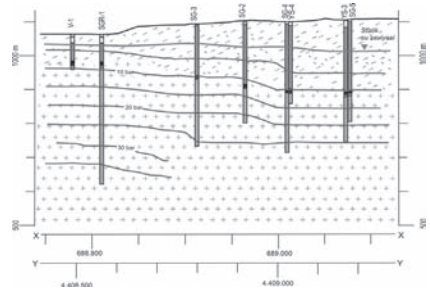
KUYU TESTLERİ VE ÜRETİM KOŞULLARI

Sorgun jeotermal sahasında açılan jeotermal araştırma kuyularında rezervuar parametreleri ve üretim potansiyellerini ortaya çıkarmak amacıyla kuyu tamamlama (statik sıcaklık, statik basınç, enjeksiyon testleri), pompa testleri ve girişim testleri yapılmıştır.

Sahadaki statik sıcaklık dağılımı eş sıcaklık eğrileri oluşturularak incelendiğinde sıcaklığın, granodiyoritlere girildikten sonra kuyu dibine kadar $70\text{-}85^{\circ}\text{C}$ aralığında kaldığı gözlenmiştir (Şekil 4). Bu durum ölçüm alınan altere granodiyoritlerdeki sıcak su dolaşımının bir sonucudur ve gradyanın azalmasına neden olmaktadır. Statik basınç dağılımı sınırlı sayıda veriyle incelenmiş ve derinlikle basıncın doğrusal olmadığı gözlenmiştir (Şekil 4). Bu durum sahadaki sıcak su dolaşımının fay kontrollü bir yapıda olabileceğine işaret etmektedir.



Şekil 4. Sahadaki statik sıcaklık (a) ve basınç (b) dağılımını gösterir (GB-KD) kesiti



Sahada kuyuların bazılarında enjeksiyon ve basınç düşüm testleri yapılmıştır (İller Bankası, 2005). Zaman ve basınç verileri kullanılarak SG-2, SG-3 ve SGR-1 kuyuları için rezervuara ait permeabilite değerleri 1 - 55 Dm arasında, enjektivite indeksleri ise 24 - 45 l/s/(kg/cm)² arasında hesaplanmıştır. Pompa testleri sonucunda kuyulardaki özgül verim değerleri 0.16 - 3.1 l/s/m arasında belirlenmiştir (Dem-Su, 2003; Kavukçu, 2004; İller Bankası, 2005, 2006). SG-2, YS-4, YS-3 ve SG-3 kuyularında yapılan üretim testleri sırasında kuyulardaki girişim olayları gözlenmiş ve kuyuların birbiri ile etkileşimde olduğu ve kuyulardaki statik su seviyelerinin 63 m civarında olduğu belirlenmiştir (İller Bankası, 2006).

Sorgun bölgesinde jeotermal merkezi ısıtma sistemi Kasım 2007 itibariyle devreye girmiştir. Isıtma dönemleri Kasım-Mayıs arası 6 aylık dönemdir. Isıtmadan dönen su sera ısıtmacılığında ve kaplıcalarda balneolojik amaçlı kullanılmaktadır. Isıtma dönemleri dışında üretim debileri düşürülmekte ve sular kaplıca ve seralara verilmeye devam etmektedir. Isı merkezinde eşanjör yardımıyla ısı transferi yapılan termal su 50°C sıcaklıkta reenjeksiyon kuyusuna (SGR-1) kendi akışı ile basılmaktadır. 2010-2011 ısıtma döneminde toplam 70 l/s üretimde ve 30 l/s reenjeksiyon ile düşümün 104 m' ye kadar olduğu, 2011-2012 ısıtma döneminde ise su seviyesinin 96 m olduğu gözlenmiştir. 2012 ve 2014 yıllarındaki ısıtma dönemlerinde 75 l/s üretim ve 35 l/s reenjeksiyon yapılmış ve su seviyesi 101 m ye kadar düşmüştür. Bu verilere göre kuyulardan yapılan 30 l/s üretim artışında seviyenin 5 m düştüğü belirlenmiştir (Yılmaz Turalı, 2015).

SİMÜLASYON MODEL ÇALIŞMALARI

Bugün ve geleceğe dönük üretim/reenjeksiyon uygulamalarının sistem üzerindeki etkilerinin tahmin edilmesi ve sürdürülebilir kullanımın sağlanması açısından sayısal simülasyon model çalışmaları önemli bir araçtır. Bu çalışma Sorgun jeotermal sahası için yapılmış olan ilk modelleme çalışması olup simülasyon programı olarak "TOUGH2", grafik arayüz programı olarak "PetraSim" kullanılmıştır (Pruess vd.,1999; Thunderhead).

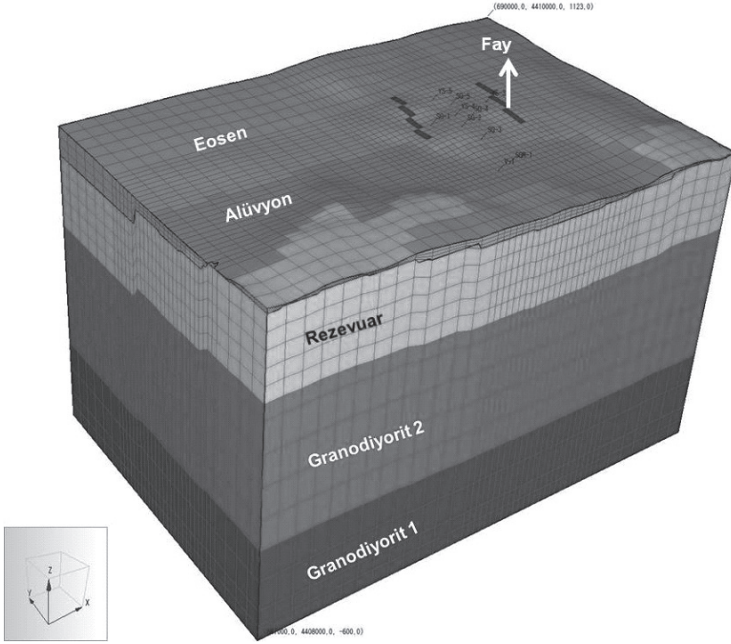
Sorgun jeotermal sahası üretim ve reenjeksiyon sistemiyle ve entegre kullanımlar (konut ve sera ısıtması, kaplıca) açısından önemli ve örnek bir sahadır. Sahadaki jeotermal kuyular Kasım 2007 itibariyle üretime geçirilmiştir. Toplamda 2 kuyu ile üretim ve 1 kuyu ile reenjeksiyon yapılmaktadır.

Sorgun Model Alanı

Model alanı X:687000-690000, Y:4408000-4410000 lokasyonları arasında kalan 6 km² lik bir alanı kapsar. Sahada en yüksek yüzey kotu 1123 m ve toplam derinlik 1700 m olarak alınmıştır. Model alanı X yönünde 45, Y yönünde 35 grid ve z yönünde 17 katmandan (ortalama 1100 m ile -600m arasında) oluşmaktadır. Toplam hücre sayısı 26775 dir. Örtü kayada 3, granodiyoritlerde 14 olan katman aralıkları kuyu verileri dikkate alınarak belirlenmiştir. Kuyuların olduğu alanda hücreler 40x40 m² diğer alanlarda ise 100x100 ve 40*100 m² lik alanlara sahiptir (Şekil 5).

Hidrotermal dolaşımın sağlanması için, sıcaklık gradyanının yanı sıra uygun permeabiliteye ve akışkana ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla modelde, hidrojeolojik özellikleri temelinde farklı permeabilite değerlerini temsil eden 5 kayaç türü ve 1 fay sistemi tanımlanmıştır. Alüvyon, Eosen çökelleri ve altere granodiyorit birimler yüzeyde gözlenirken, derinlere doğru altere granodiyoritlerden sonra daha düşük permeabiliteli iki granodiyorit seviye daha tanımlanmıştır. Burada, granodiyorit birimlerin derinlere gidildikçe kırık-çatlak sisteminin azaldığı ve daha masif olduğu kabul edilmiştir. Rezervuar olan altere granodiyoritlerin kalınlığı, en derin kuyu

olan ve 345 m granodiyorit kesen SGR-1 kuyusundaki kaçak zonları düşünülerek yaklaşık 400 m olarak alınmıştır.



Şekil 5. Model alanı grid tasarımı ve katmanları

Model parametreleri

Sahada farklı parametrelere sahip 5 adet kayaç türü ile 1 fay sistemi tanımlanmıştır (Şekil 5; Çizelge 1). Yoğunluk ve özgül ısı parametreleri tüm kayaçlar için aynı kabul edilmiştir. Isıl iletkenlik değerleri sahadan alınan örnekler analiz edilerek belirlenmiştir. Gözeneklilik değerlerinin tespiti amacıyla yapılmış kuyu içi herhangi bir log ölçümü olmadığından ve karot alınmadığından değerler literatür incelemeleri sonucu belirlenmiştir. Modelde girilen gözeneklilik değerleri 0.05 ile 0.10 aralığında değişmektedir. Rezervuar kaya olan kırık çatlaklı granodiyoritlerin permeabilite değerleri için sahadaya yapılan basınç düşüm ve enjeksiyon test sonuçlarından faydalanılmıştır. Programda permeabilite değerleri m^2 olarak girildiğinden 1-55 Dm aralığında hesaplanan kh değerleri rezervuar kayanın kesilen kalınlığına (h) bölünmüş ve ardından birim çevirmesi yapılmıştır. Sonuç olarak permeabilite (k) değerleri 1.09×10^{-14} ile $2.62 \times 10^{-13} m^2$ arasında hesaplanmıştır. Fay sisteminin permeabilitesinin belirlenmesinde Darcy eşitliği kullanılmıştır, burada k permeabilite (m^2) μ viskozite olup $80^\circ C$ rezervuar sıcaklığındaki değeri $3.73E-04 kg/ms$ ve $\Delta P/\Delta z$ basınç gradyanı olup kuyulardaki derinliğe bağlı basınç değişimi kullanılarak ortalama $9470 Pa/m$ hesaplanmıştır. 400 m kalınlığındaki granodiyoritlerin fay sistemiyle kesildiği varsayılmıştır. Fay genişliği 40 m (bir hücre boyutu) olarak alındığında alan (A) $16000 m^2$ hesaplanmıştır. Akışkan debisi (Q) ise kuyulardaki yaklaşık ortalamaya göre 50 l/s olarak alınmıştır. Bu değerlere göre fay için permeabilite değeri $1.57 \times 10^{-13} m^2$ olarak hesaplanmıştır. Modelde kullanılan diğer birimler içinse varsayımlar denenmiştir.

Çizelge 1. Modelde kullanılan parametreler

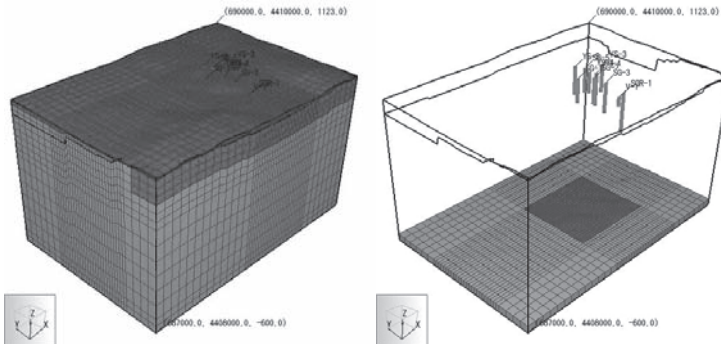
	Granodiyorit-1	Granodiyorit-2	Rezervuar	Eosen	Alüvyon	Fay
Yoğunluk (kg/m ³)	2650	2600	2600	2600	2400	2600
Gözeneklilik	0.05	0.05	0.10	0.05	0.20	0.10
Permeabilite (m ²) X,Y,Z	1.0E-14	1.0E-13	3,0E-13	1.0E-14	1.0E-11	0.5E-13
Isıl iletkenlik(W/m- °C)	2.3	2.3	2.3	2.0	2.0	2.3
Özgül ısı (J/kg-°C)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Renk	Koyu Yeşil	Yeşil	Açık Yeşil	Turuncu	Gri	Mavi

Sınır Koşulları

Model alanının yüzeyi olan 1. katman için, 1 atm basınç ve 10°C sıcaklık sabit durum (fixed state) olarak tanımlanmıştır. Sahada kuyuların olduğu alanda statik su seviyesi 63 m civarında olduğundan, alanda bu derinliğe kadar basıncın 1 atm olduğu varsayılmıştır (Şekil 6 (a)).

Model alanı tabanından granodiyoritine altere olmuş kırık-çatlaklı zonlarına doğru faylar boyunca taşınan bir akışkan beslenimi olduğu varsayılmış, bu nedenle tabanda (-600 m kotunda) ısı ve kütle kaynağı tanımlanmıştır. Bu kütle miktarı için entalpinin ve ısı akısının hesaplanması gerekmektedir. Entalpi, silis-entalpi modeline göre hesaplanan 160°C sıcaklık dikkate alınarak 685 kJ/kg olarak hesaplanmıştır. Isı akısı ise kuyu ve yakın çevresi için ortalama 0.167 W/m² olarak hesaplanmıştır. Kütle akısı miktarı (F), eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır. Burada, F kütle akısı (kg/s/m²), H entalpi (kJ/kg) ve q ısı akısıdır (W/m²). Bu eşitlik kullanılarak kütle akısı yaklaşık 73 kg/s/m² hesaplanmıştır. Model alanının tabanında bu akı sabit (constant flux) olarak ve hücre başına düşen alansal değeri ile tanımlanmıştır (Şekil 6 (b)).

Sahanın güneyinde kırık-çatlak sistemi gelişmiş altere granodiyoritler yüzeylenmiştir. Bu nedenle buradan bir beslenim olduğu varsayılmış ve model alanının güneyinde 6 katman boyunca sabit basınç sınır koşulu tanımlanmıştır (Şekil 6 (a)). Model alanının diğer yanlarında herhangi bir kütle ve ısı akısı tanımlanmamıştır.



Şekil 6. (a) Model alanı yüzey ve yanal sınırları ile (b) model alanı tabanı akı ve ısı sınır koşullarının tanımlandığı yüzeyler

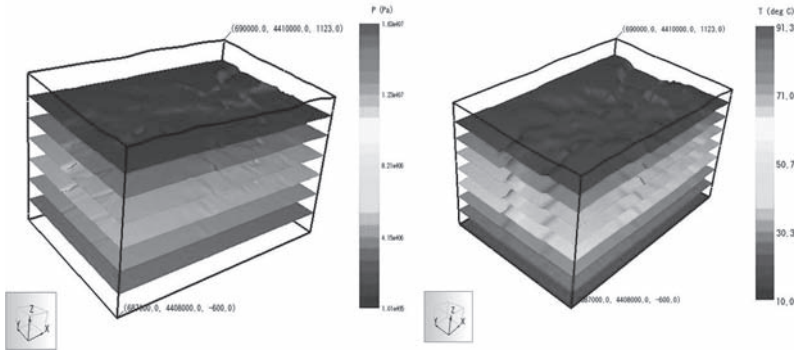
Doğal Durum Modeli ve Kalibrasyon

Doğal durum modeli, rezervuarın işletmeye açılmadan önceki durumunun modellenmesidir. İşletme olmadığı durumda termodinamik özelliklerin değişiminin minimum olduğu düşünülürse sistemin uzun jeolojik zaman boyunca sözde-kararlı hale ulaştığı kabul edilebilir (Swenson, 2003).

Model oluşturulurken öncelikle EOS seçimi yapılmıştır. Sıvı, buhar ve iki fazlı durumda saf suyun tanımlandığı en temel modül olan EOS1 seçilmiştir. Model gridlere ayrıldıktan sonra yüzeyde sıcaklık ve basınç tanımlanarak bir milyon yıl için çalıştırılmıştır. Model alanında başlangıç sıcaklık koşulu olarak 1. katman için 10 °C sabit sıcaklık ve bölgeye ait ortalama 53 °C/km olan jeotermal gradyan dikkate alınarak ilksel koşullar için,

eşitliği tanımlanmıştır. Burada Dz, kot (m) olarak ifade edilmiştir. Model sonucunda yüzeyde 10 °C ve tabanda 91.3 °C olacak şekilde sıcaklık dağılımı yapılmıştır (Şekil 7). İlksel basınç dağılımı için yüzeyde 1.013E05 Pa basınç tanımlanmış ve derinliğe bağlı hidrostatik basınç hesaplanmıştır. Model tabanında (-600 m) basınç 1.63E07 Pa hesaplanmıştır (Şekil 7).

Hesaplanan ilksel sıcaklık ve basınç verileri, parametrelerin ve sınır koşullarının tanımlandığı doğal durum modeline yüklenmiş ve model çalıştırılmıştır. Doğal durum model sonuçları kuyulardaki statik basınç ve sıcaklık ölçümleriyle karşılaştırılmıştır. Belirtilmiş parametrelere göre çalıştırılan model sonuçları kuyu ölçümleri ile farklılık gösterdiğinden parametre değerleri değiştirilerek farklı doğal durum modelleri denenmiştir. Benzeşimi sağlayan uygun parametreler Çizelge 1’de verilmiştir. Ayrıca model tabanında tanımlanan 73 kg/s/m² olan kütle akısı 50 kg/s/m² olarak değiştirilmiştir.



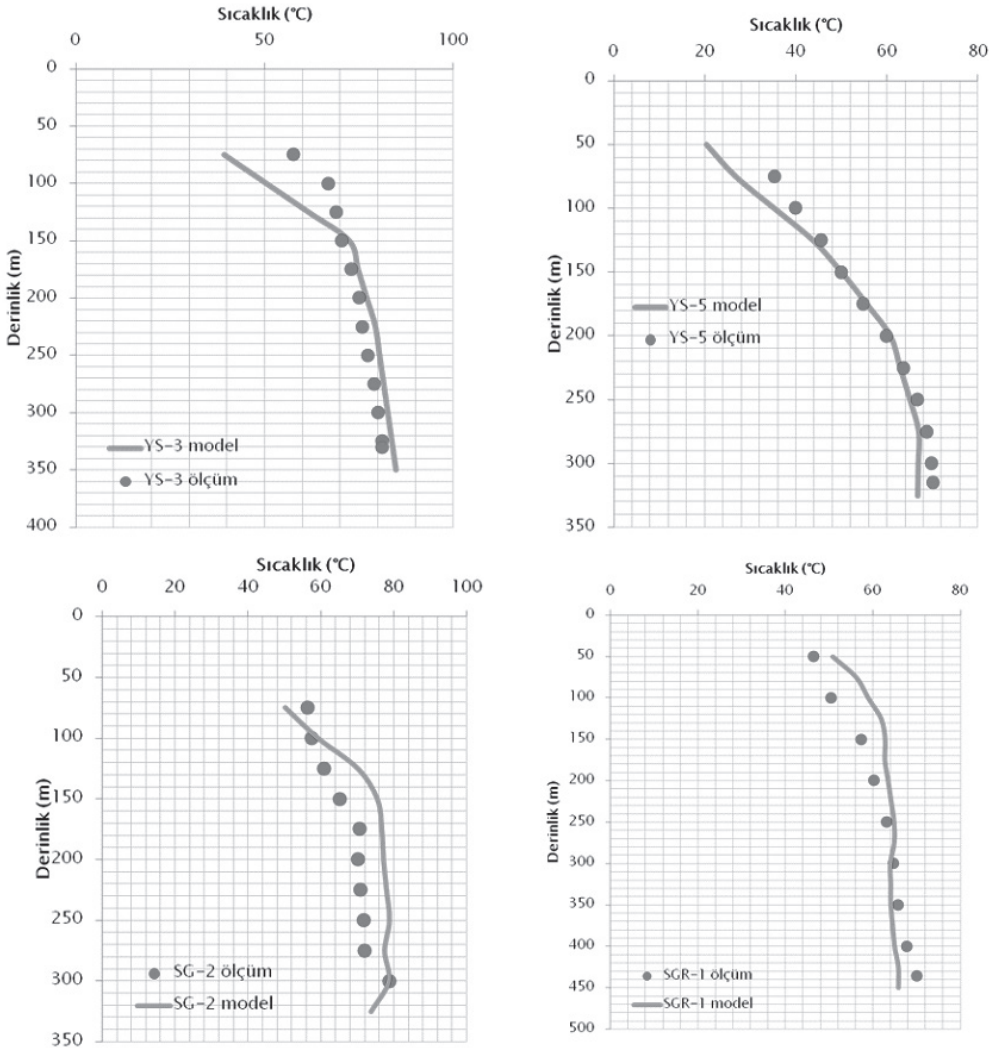
Şekil 7. Model alanı başlangıç koşulları için hesaplanan basınç ve sıcaklık dağılımı

Model sonuçlarından elde edilen veriler kuyuların olduğu hücreler boyunca incelenmiş ve bu hücrelerin derinliğe bağlı sıcaklık ve basınç grafikleri elde edilmiştir. Grafiklerdeki noktasal veriler kaydedilmiş ve kuyularda ölçülmüş sıcaklık ve basınç verileri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 8). Uygun benzeşim elde edilene kadar model bir çok kez tekrarlanmıştır.

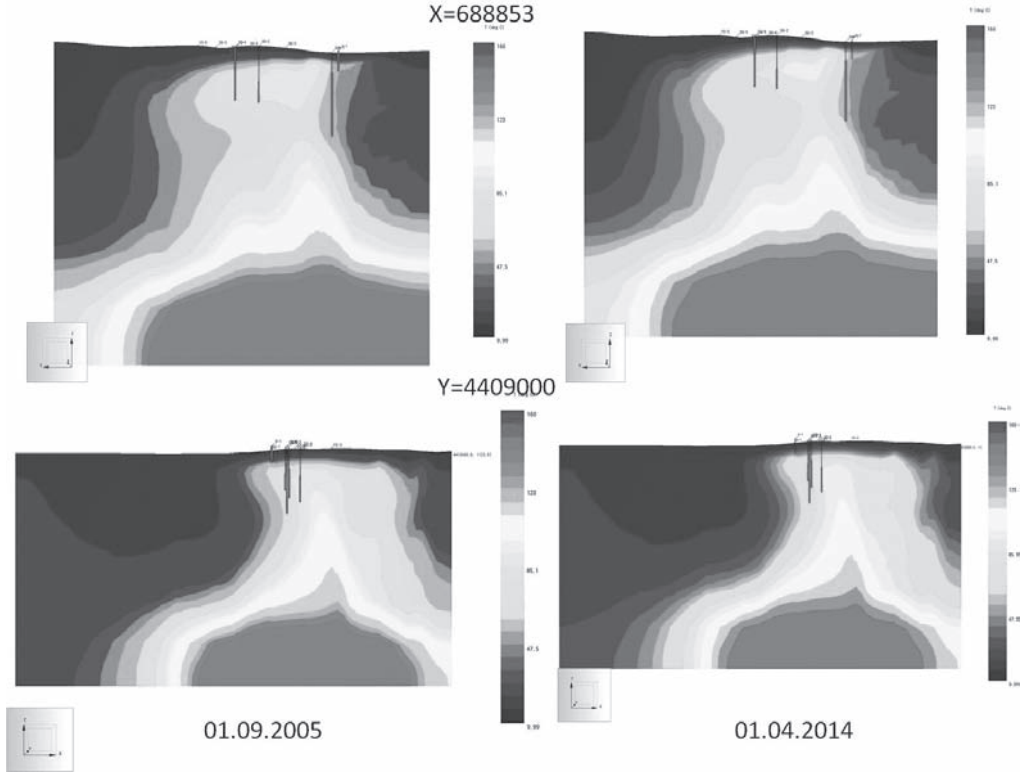
Tarihsel Çakıştırma

Doğal durum modeli sahadaki üretim verileri kullanılarak çalıştırılmış ve sistemin dinamik modeli oluşturulmuştur. Model sonuçları ile sahadaki ölçüm sonuçları karşılaştırılarak kalibrasyonun ikinci aşaması yapılmıştır. Kalibrasyon için sahada 2007-2014 yılları arasındaki üretim/reenjeksiyon verileri kullanılmıştır. Sahada 78 aylık (6.5 yıl) süre boyunca SG-2, SG-3 ve SG-4

kuyularından farklı debilerde üretim ve 58 ay (5 yıl) boyunca SGR-1 kuyusundan reenjeksiyon yapılmıştır (Çizelge 7.5). Modelde kuyulardan yapılan çekim ve reenjeksiyon filtre aralıkları boyunca uygulanmıştır. Sahada yıl (12 ay) boyunca sürekli üretimin olduğu tek kuyu SG-2 kuyusudur. SG-3 kuyusunda sadece 7 ay üretim yapılmıştır. SG-4 kuyusunda ise ısıtmanın yapıldığı dönemlerde üretim olmuştur. Reenjeksiyon kuyusundan enjeksiyonu yapılan akışkanın sıcaklığı 50 °C olup entalpisi 2.094E05 J/kg olarak modele girilmiştir. Model zaman aralıkları 1 ay olacak şekilde 78 ay için çalıştırılmıştır. Model sonuçlarının X ve Y kesitleri boyunca sıcaklık ve basınç dağılımları Şekil 9'da gösterilmiştir.

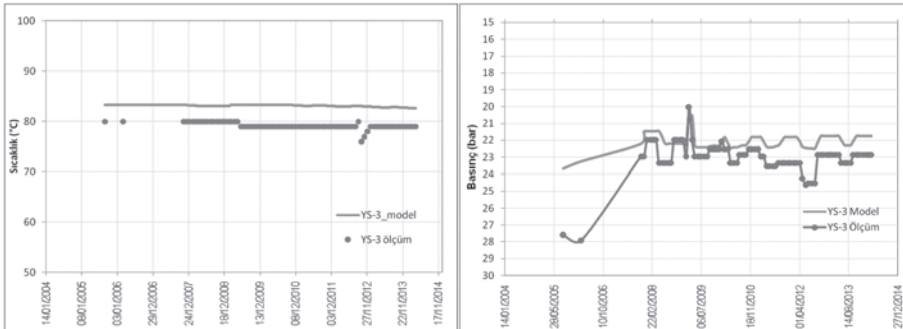


Şekil 8. Kuyularda derinliğe bağlı ölçülmüş statik sıcaklık değerlerinin doğal durum modeli sonucu ile karşılaştırılması



Şekil 9. Sahada üretime bağlı sıcaklık dağılımını gösterir X ve Y kesitleri

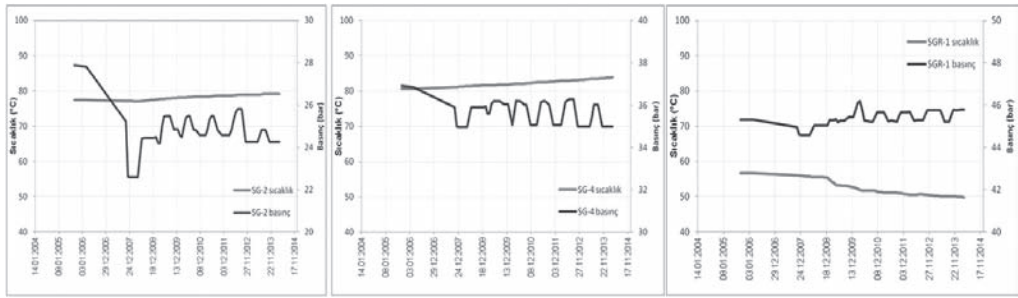
Sahadaki kuyularda basınç ve sıcaklık ölçümlerini kaydeden otomatik bir sistem bulunmadığından, girişim testlerinde üretim kuyuları ile etkileşiminin olduğu belirlenen YS-3 kuyusu gözlem kuyusu olarak kullanılmaktadır. İşletme çalışanları YS-3 kuyusundan 78 ay boyunca aylık olarak su seviye ve sıcaklık ölçümleri yapmıştır. Ölçülen su seviyeleri basınç olarak ifade edilmiş ve modelin basınç sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. YS-3 gözlem kuyusu için basınç ve sıcaklık ölçümlerinin model sonuçlarıyla karşılaştırılması grafiksel olarak gösterilmiştir (Şekil 10).



Şekil 10. YS-3 gözlem kuyusunda üretim boyunca meydana gelen sıcaklık ve basınç değişimleri

Model sonuçlarına göre YS-3 gözlem kuyusunda kuyu dibi sıcaklığı üretim öncesi 83.6 °C ve üretim boyunca 82.55-83.33 °C arasında hesaplanmıştır. Sahada üretim boyunca yapılan ölçümlere göre ise 76-80 °C arasında ölçülmüştür. YS-3 kuyusunda üretim boyunca su seviye ölçümleri yüzeyden 83-110 m derinlikleri arasında ölçülmüştür. Kuyu dibi basıncı olarak 21.97-24.62 bar olarak hesaplanmıştır. Model sonuçlarına göre ise basınç 21.7-23.6 bar olarak hesaplanmıştır. RMSE yöntemine göre model sonuçları ile ölçülmüş değerler arasında hata payı sıcaklık için 2.59, basınç için 1.27 olarak hesaplanmıştır. Bu değerlerin sıfıra yaklaşması modelin tahmin kabiliyetinin yüksek olduğunu göstermektedir.

Ayrıca sahada ölçümü yapılamayan diğer kuyuların model sonuçları da incelenmiştir. SG-2 kuyu dibi sıcaklığı üretim öncesi 78°C ve üretim boyunca 77-79 °C arasında ve SG-4 kuyu dibi sıcaklığı üretim öncesi 80.8 °C ve üretim boyunca 80.6-83.9 °C arasında hesaplanmıştır (Şekil 11). Bu değerler üretimle birlikte sahada bir sıcaklık artışı olduğunu göstermektedir. Sahada üretim yapılmaya başlandıktan yaklaşık 3 yıl sonra açılan SG-5 kuyusunda yapılan üretim testlerinde ölçülen 85.4 °C sıcaklık sahada ölçülmüş olan en yüksek sıcaklık değeridir. Bu sıcaklık değeri sahada üretimle birlikte bir sıcaklık artışı olduğunu desteklemektedir. SGR-1 reenjeksiyon kuyu dibi sıcaklığı üretim öncesi 66 °C ve üretim boyunca 50-57 °C arasında hesaplanmıştır (Şekil 11).



Şekil 11. SG-2, SG-4 üretim kuyuları ile SGR-1 reenjeksiyon kuyusuna ait 78 aylık üretim boyunca hesaplanmış sıcaklık ve basınç model sonuçları

SONUÇLAR

Bu çalışmada elde edilen veriler ve hesaplamalar dikkate alınarak sahanın mevcut üretim/reenjeksiyon uygulamalarının sistem üzerindeki etkilerinin sayısal simülasyon programı kullanılarak gösterilmesi amaçlanmıştır. Jeotermal sahada işletme olmadığı doğal durum model sonuçları kuyulardaki statik basınç ve sıcaklık ölçümleriyle karşılaştırılmış ve uygun sonuçlar elde edilene kadar deneme yanılma yöntemi ile parametre değerleri ve sınır koşulları değiştirilerek farklı bir çok doğal durum modeli denenmiştir. Uygun benzeşimlerin elde edildiği doğal durum modeli üretim verileri girilerek 78 ay için tekrar çalıştırılmıştır. Sahadaki üretim ve reenjeksiyon kuyularında sıcaklık ve basınç ölçümü yapılamadığından benzeştirme işlemi sahadaki tek gözlem kuyusu (YS-3) verileri ile yapılmıştır. Model sonuçlarına göre, YS-3 gözlem kuyusunda kuyu dibi sıcaklığı üretim boyunca 82.55-83.33 °C arasında hesaplanmıştır. Sahada üretim boyunca kuyu başında yapılan ölçümlere göre ise 76-80 °C olarak ölçülmüştür.

Elde edilen veriler doğrultusunda tanımlanan sınır koşulları ve parametrelerle yapılan simülasyon modeli sonuçlarının mevcut koşulları temsil ettiği belirlenmiştir. Ancak yeni verilerle

kavramsal modelin iyileştirilmesi/geliştirilmesi ve bu veriler doğrultusunda simülasyon modelinin de geliştirilmesi önem taşımaktadır. Bu amaçla yeni jeofizik (MT, CSAMT ve derin sismik vd.) etütlerin yapılması ve bunu takiben derin bir arama/üretim kuyusu/kuyuları açılması önerilmektedir. Yeni açılacak kuyulardan alterasyon minerallerinin ve kırık çatlak dağılımının belirlenmesi amacıyla karot örnekleri alınmalıdır. Alterasyon minerallerinin incelenmesi ve hidrojeokimya çalışmalarıyla birlikte değerlendirilmesi sahadaki hidrotermal dolaşım ve karışım süreçleri hakkında daha ayrıntılı bilgi edinilmesini sağlayacaktır. Bu sayede mevcut ve yeni açılacak kuyuların sistemin sıcaklık ve basınç dağılımında meydana getireceği etkilerin model aracılığıyla daha hassas bir biçimde öngörülmesi olanağı sağlanacaktır.

Modelin kalibrasyonu için tüm kuyulara ait düzenli kuyu dibi verilerinin elde edilmesi oldukça önemlidir. Bunun için öncelikle üretim ve reenjeksiyon kuyularındaki zamana bağlı debi, basınç ve sıcaklık kayıtlarının düzenli olarak tutulması gerekmektedir. Yeni açılacak kuyular otomatik ölçüm cihazlarının kullanımına olanak verecek şekilde dizayn edilmelidir. Ayrıca, sahada gözlem kuyularında da su seviyesi ve sıcaklık değişimlerini ölçen otomatik ölçüm cihazlarının kullanımı oldukça önemlidir.

KAYNAKLAR

- Ağralı, B., Yozgat-Sorgun Havzasının 1/10.000 Ölçekli Jeolojik Etüdü Ve 1965-66 Yıllarında Yapılan Arama Sondajları Verilerine Göre Bölgenin Kömür İmkanları, Rapor No : 3695, MTA, Ankara, 1967.
- Dem-Su Sondaj Ltd Şti., T.C.Yozgat Valiliği İl Özel İdare Termal Sondaj Üretim Kuyusu Üretim Raporu. Yozgat, 2003.
- H.Ü.-ORME Jeotermal A.Ş., Sorgun (Yozgat) Jeotermal Sahası Değerlendirme ve Sondaj Lokasyonu Belirleme Çalışması Raporu, Sorgun Kaymakamlığı Köylere Hizmet Götürme Birliği Başkanlığı, Yozgat, 2004.
- Hacettepe Üniversitesi, Sorgun SG-1 Kuyusunda Yapılan Jeolojik-Hidrojeolojik-Sondaj Ve Test Çalışmalarına İlişkin Danışmanlık Raporu, Sorgun Kaymakamlığı Köylere Hizmet Götürme Birliği Başkanlığı, Yozgat, 2005a.
- Hacettepe Üniversitesi, Sorgun SG-2 Kuyusunda Yapılan Jeolojik-Hidrojeolojik-Sondaj Ve Test Çalışmalarına İlişkin Danışmanlık Raporu, Sorgun Kaymakamlığı Köylere Hizmet Götürme Birliği Başkanlığı, Yozgat, 2005b.
- Hacettepe Üniversitesi, Sorgun SG-3 kuyusunda yapılan Jeolojik-Hidrojeolojik-Sondaj ve Test çalışmalarına ilişkin danışmanlık raporu, Sorgun Kaymakamlığı Köylere Hizmet Götürme Birliği Başkanlığı, Yozgat, 2006a.
- Hacettepe Üniversitesi, Sorgun SGR-1 Kuyusunda Yapılan Jeolojik-Hidrojeolojik-Sondaj Ve Test Çalışmalarına İlişkin Danışmanlık Raporu, Sorgun Kaymakamlığı Köylere Hizmet Götürme Birliği Başkanlığı, Yozgat, 2006b.
- Hacettepe Üniversitesi, Sorgun SG-4 Kuyusunda Yapılan Jeolojik-Hidrojeolojik-Sondaj Ve Test Çalışmalarına İlişkin Danışmanlık Raporu, Sorgun Kaymakamlığı Köylere Hizmet Götürme Birliği Başkanlığı, Yozgat, 2008.
- İller Bankası, Sorgun (Yozgat) Belediyesi SG-2 ve YS-3 Numaralı Jeotermal Kuyuları Test ve Ölçüm Raporu, Ankara, 2005.
- İller Bankası, Sorgun (Yozgat) Belediyesi SG-3 Numaralı Jeotermal Kuyusu Test Ve Ölçüm Raporu, Rapor No: İLB-JTE / 71, Ankara, 2006.
- Kara, H., 1/100000 Ölçekli Açınısama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Yozgat G19 Paftası, No:54, MTA, Ankara, 1997.

- Kavukçu S., Madsan Kömür İşletmesi Jeotermal Su Drenaj Projesi Raporu, Yozgat-Sorgun, 9-12, 2004.
- Keskin, B., ve Özeke. H., Yozgat Sorgun Kaplıcaları Hidrojeoloji Raporu, MTA rapor. No: Ankara, 1988.
- Keskin. B., Akpınar K., ve Ergin.Ç., Yozgat-Sorgun YS-1 sıcak su sondajı raporu, MTA rapor no: 8485. Ankara, 1988.
- Ketin. İ., Yozgat bölgesinin jeolojisi ve Orta Anadolu masifinin tektonik durumu, TJK Bülteni, Cilt IV, 1, 1-40, 1955.
- MTA, 1/100000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, İ34 Paftası, No:81, MTA, Ankara, 2008.
- Nakoman, E., Bilfer Ticaret ve Sanayi Limited Şirketi'nin Sorgun'Daki Ruhsatlı Sahalarının Jeolojik Etüdü, Rapor No:3961, MTA, Ankara, 1968.
- Pruess, K., Oldenburg, C., Moridis, G., TOUGH2 User's Guide, Version 2.0, Lawrence Berkeley University Press, California, 1999.
- Swenson, D., Hardeman, B., Persson, C., Thornton C., Using Petrasim to Create, Execute, and Post-Process Tough2 Models, TOUGH Symposium, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California, 2003.
- Thunderhead, PetraSim User Manual, USA.
<http://www.thunderheadeng.com/wp-content/uploads/downloads/2012/06/PetraSimManual.pdf>
- Yılmaz Turalı, E. Sorgun (Yozgat) hidrotermal sisteminin modellenmesi. Yayınlanmamış doktora tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 2015
- Yozgat İl Özel İdaresi, SG-5 Jeotermal Sondajı Kuyu Bitirme Raporu, Yozgat, 2011.

JEOTERMAL KAVRAMSAL MODELLERİN GELİŞTİRİLMESİNDE MANYETOTELLÜRİK VERİDEN ELDE EDİLEN ÖZDİRENÇ MODELLERİNİN KULLANIMI

A. T. Başokur

*Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Gölbaşı, Ankara
LEMNİS Yerbilimleri San. Tic. Ltd. Şti., Ankara Üniversitesi Teknoloji Geliştirme Bölgesi,
B-Blok No: 11/B, Gölbaşı Ankara
(basokur@ankara.edu.tr)*

ÖZ

Hidrotermal sistemlerde, akışkan ile doldurulmuş fay ve kırık-çatlaklar, alterasyon zonları düşük elektriksel özdirenç değerleri gösterirler. Elektrik ve elektromanyetik yöntemler, yeraltı özdirenç dağılımını betimleyebildiğinden 70-350°C sıcaklık aralığındaki jeotermal kaynak aramalarda başvurulan birincil jeofizik yöntemdir. Elektromanyetik yöntemler içerisinde, derin kaynakların aranmasında kullanılabilmesi, günlük ölçü sayısının yüksek tutulabilmesi ve üç-boyutlu modellemeye imkân vermesi, manyetotellürik (MT) yöntemi jeotermal aramaların standart yöntemi durumuna getirmiştir. Bu çalışmada, MT yöntemde kullanılan bir-, iki- ve üç- boyutlu modelleme ve ters-çözüm teknikleri ile yer altı özdirenç dağılımının elde edilmesi incelenmiş ve hesaplanan özdirenç modellerinin, hidrotermal modeller ile ilişkilendirilmeleri irdelenmiştir. Düşük özdirençli zonlar jeofizik yoruma yardım etmekle birlikte, sıcaklık ve jeokimya verileri ile denestirme, yorumun güvenilirliği için gereklidir. Sondaj kararları sadece düşük özdirenç belirtilerine güvenilerek değil, her türlü veri göz önüne alınarak geliştirilen bir kavramsal jeotermal model çerçevesinde alınmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Manyetotellürik Yöntem, Kavramsal Jeotermal Model, Özdirenç Modeli.

THE USE OF RESISTIVITY MODELS OBTAINED FROM THE MAGNETOTELLURIC DATA FOR THE IMPROVEMENT OF GEOTHERMAL CONCEPTUAL MODELS

A. T. Başokur

Ankara Univ., Engineering Faculty, Geophysic Engineering Department, Gölbaşı, Ankara
LEMNİS Geoscience Trade LLC., Gölbaşı Ankara
(basokur@ankara.edu.tr)

ABSTRACT

In hydrothermal systems, fractures and faults filled with conductive fluids and alteration zones are represented by low resistivity values. Electrical and electromagnetic methods could delineate the subsurface resistivity distribution and consequently they are the principal geophysical method for the investigation of geothermal resources between 70-350°C temperature ranges. Among the electrical and electromagnetic methods, magnetotellurics (MT) has become a standard method for the geothermal exploration because it permits deep investigation, high rate of daily production and three-dimensional modelling. This paper addresses the estimation of subsurface resistivity distribution by one-, two- and three-dimensional modelling and inversion techniques and examines the relations between resistivity and hydrothermal models. Although the low resistivity zones help the geophysical interpretation, a correlation with the temperature and geochemical data is necessary for the reliability of interpretation. A decision about a drill hole should be made in the view of geothermal conceptual model derived from all type of available data, not only by trusting low resistivity anomalies.

Keywords: Magnetotelluric Method, Conceptual Geothermal Model, Resistivity Model.



TEKTONİK

ALAŞEHİR GRABENİNDE JEOTERMAL AKTİVİTEYİ DENETLEYEN EDEN YAPISAL ETKENLER (GB TÜRKİYE)

Kerem K. Oğuz¹, James E. Faulds²

¹Salihli Belediyesi, 45300 Salihli, Manisa, Turkey

²Nevada Bureau of Mines & Geology, MS178, University of Nevada, Reno, NV 89557, USA
(keremoguz@icloud.com)

ÖZ

Yeni jeotermal sistemlerin aranması ve geliştirilmesi genellikle başarısız sondaj riski ile sekteye uğramaktadır. Sondaj yeri seçiminde önemli sorunların başında mevcut jeotermal sistemlerin elverişli ortamların, yapısal ve stratigrafik kontrollerin tam olarak tanımlanmamış olmasıdır. Genişleme tektoniği ortamlarında faylar jeotermal aktiviteyi kontrol eden ana unsurlardır, ancak jeotermal aktivite açısından hangi tür fayların ve fayların ve fayların hangi bölümlerinin daha elverişli olduğu konusunda halen belirsizlik devam etmektedir.

Kuvars şist, gnays, granodiyorit ve karstik mermerler gibi Menderes Masifinin çatlaklı kayaları Alaşehir Grabeni jeotermal alanlarının rezervuar kayaçlarıdır. Karadut sıyrılma fayı batıda Ahmetli doğuda Alaşehir'e kadar geniş bir alanda gözlenir. Kuzey Doğuya doğru yaklaşık 20° açı ile eğilimlidir. Jeotermal akışkan açısından örtü kayaçları Neojen Sedimanter birimlerinin kil yoğunluklu katmanları ve aktif ana graben fay ve daha eski sıyrılma fayı boyunca oluşan fay breşi olarak tanımlanabilir. Alaşehir jeotermal alanında çoğu kaynak ve kuyu Kuzeye eğilimli ana graben fayından eski olan sıyrılma fayı yakınında bulunur. Sıyrılma fayı boyunca breşleşmiş mermer zonları büyük olasılıkla ana çıkış zonunun uzağında jeotermal akışkan için uygun kanallar oluşturur. Kurşunlu jeotermal alanında 19 adet jeotermal kuyu ve 7 adet dar çaplı araştırma kuyusu kullanılarak yapılan çalışma ile kuyuların hepsinin sıyrılma fay yüzeyini kestiğini ve uygun geçirimsizliğin olduğu bölümlerde akışkan elde edildiği gözlenmiştir.

Kurşunlu Jeotermal alanında ciddi seviye düşümü problemleri yaşanmış kuyuların birbirini etkilediği gözlenmiştir. Buna bağlı olarak da sahanın geliştirilmesi mümkün olmamıştır. Bu problemler kuyuların jeotermal sistemin boşalım noktasını deldiklerini göstermektedir. Böylece Güneyde Kurşunlu'dan geçen sıyrılma fayını da kesen D-B doğrultulu fay boyunca ya da Kuzeyde ana graben fayının bir bölümü esas akışkan yükselim yeri konusunda iki ayrı model ortaya çıkmaktadır. Jeoloji ve Jeofizik çalışmaların birlikte yorumlanmasıyla Alaşehir grabenindeki jeotermal aktivite için tektonik yapı ortaya konulmaya çalışılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Yapısal kontrol, tektonik, Alaşehir, Jeotermal sistem

STRUCTURAL CONTROLS ON GEOTHERMAL ACTIVITY IN ALAŞEHİR GRABEN (SW TURKEY)

Kerem K. Oğuz¹, James E. Faulds²

¹Salihli Municipality, 45300 Salihli, Manisa, Turkey

²Nevada Bureau of Mines & Geology, MS178, University of Nevada, Reno, NV 89557, USA
(keremoguz@icloud.com)

ABSTRACT

Exploration and development of new geothermal systems is commonly hampered by the risk of unsuccessful drilling. A major problem in selecting drill sites is that existing geothermal systems are generally poorly characterized in terms of favorable settings and structural and stratigraphic controls. Faults are the primary control on geothermal activity in extensional tectonic settings, but questions remain concerning which type of faults and which parts of faults are most favorable for geothermal activity.

Fractured rocks of the Menderes Massif, such as quartz schists, gneiss, granodiorite, and karsitic marbles, are the reservoir rocks in the Alaşehir graben geothermal fields. Cap rocks for the geothermal fluids include clay-rich intervals within the Neogene sedimentary units and gouge along both the active main graben fault and older detachment fault. In the Kurşunlu field, most springs and hot wells lie near the gently N-dipping detachment fault, which predates the active main graben fault. Brecciated marble zones along the detachment provide good channel ways for flow, allowing springs to emanate possibly somewhat distal to the main upwelling zone. The Karadut detachment fault is observed in a wide area from Ahmetli in the west to Alaşehir in the east. It dips an average of 20° to the NNW. A study using 19 geothermal production wells and 7 slim-hole wells has shown that wells have penetrated the detachment plane, and production was obtained where adequate permeability has developed.

The Kurşunlu geothermal field has been plagued by serious draw-down problems, as production from individual wells typically reduces flow in nearby wells. Consequently, development of the field has been limited. The draw-down problems indicate that current wells tap an outflow portion of the geothermal system. Thus, a major question concerns the location of the main upwelling zone. Does it lie in the Bozdağ Mountains to the south, laterally along the secondary E-W-striking normal faults that cut the detachment, or possibly along a segment of the main E-W-striking, active main graben fault that lies to the north of the Kurşunlu area and bounds the present Alaşehir-Gediz graben on the South? Integrated geologic and geophysical study will elucidate the structural setting of the Kurşunlu area and will therefore permit careful assessment of these questions.

Keywords: Structural control, tectonic, Alaşehir, Geothermal system

FETHİYE-GÖCEK KÖRFEZİNDEKİ SUALTI HİDROTERMAL AKTİVİTENİN SEDİMANLAR ÜZERİNDEKİ JEOKİMYASAL İZLERİ

Ulaş Avşar¹, Özgür Avşar², Zeynep Anku², Şebnem Arslan³, Bedri Kurtuluş²,
Nilgün Güleç⁴

¹King Abdullah University of Science and Technology (KAUST), Thuwal/Suudi Arabistan

²Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 48000 Kötekli/Muğla

³Ankara Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara

⁴Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara
(ozguravsar@gmail.com)

ÖZ

TÜBİTAK destekli araştırma projesi (#112Y137) kapsamında yürütülen arama çalışmaları sonucunda Fethiye-Göcek körfezi İnce koyunda bir adet sualtı jeotermal kaynak tespit edilmiştir. Hidrotermal aktivitenin deniz tabanındaki sedimanların jeokimyasal özelliklerine olası etkilerinin araştırılması için, kaynağın yakın çevresinden 28 adet ve körfezin genelinden 71 adet karot alınmıştır. Alınan karotlar üzerinde Bremen Üniversitesi GEOPOLAR laboratuvarında ITRAX mikro-XRF taramaları yapılmıştır. ITRAX analizi sonuçlarından elde edilen yarı-nicel element konsantrasyon verileri istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve alansal dağılım haritaları hazırlanmıştır. Bu sonuçlar incelendiğinde, İnce koyundaki sualtı jeotermal kaynağın etrafındaki sedimanlarda S, Ca, Sr ve Cl zenginleşmelerine sebep olduğu gözlemlenmiştir.

İnce sualtı kaynağında değişik sıcaklıklarda hesaplanan doygunluk indeksleri dikkate alındığında, kaynak suyunun çıkış sıcaklığında (28 °C) Aragonit, Kalsit, Dolomit ve Florit minerallerine aşırı doygun olduğu görülmektedir. Bu minerallerin İnce kaynağından çıkan sudan çökmesinin çevre sedimanlardaki Ca ve Sr zenginleşmelerine sebep olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, kaynak yakınındaki sedimanlarda gözlenen yüksek S değerleri, İnce kaynağından Anhidrit çökelişi ile açıklanabilir. Ancak, bu mineral kaynağın çıkış sıcaklığında (28 °C) negatif doygunluk indeksi değerleri vermektedir, dolayısıyla kaynak etrafında Anhidrit çökelişi beklenemez. Sedimanlardaki S ve Sr zenginleşmelerini açıklayabilecek diğer bir mineral olan Selestit de bütün sıcaklıklarda negatif doygunluk indeksi değerlerine sahip olduğu için, bu mineralin de İnce kaynağı etrafında çökmesi beklenmez.

Cl elementinin suda çözüldükten sonra genellikle tekrar mineral forma geçip çökmesi olası değildir. Nitekim İnce suyunun Halit ve Silvit minerallerinin doygunluk indeksi değerleri hayli negatiftir. Kaynak yakınındaki sedimanlarda Cl zenginleşmelerini açıklamak için daha detaylı bir jeokimyasal araştırma yapılması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Fethiye-Göcek Körfezi, Sualtı jeotermal kaynak, ITRAX mikro-XRF taraması, Jeokimya, Doymunluk indeksi

GEOCHEMICAL TRACES OF SUBAQUEOUS HYDROTHERMAL ACTIVITY ON THE SEDIMENTS OF FETHİYE-GÖCEK GULF

Ulaş Avcı¹, Özgür Avcı², Zeynep Anku², Şebnem Arslan³, Bedri Kurtuluş²,
Nilgün Güleç⁴

¹King Abdullah University of Science and Technology (KAUST), Thuwal/Suudi Arabistan

²Muğla Sıtkı Koçman University, Department of Geological Engineering, Kötekli/Muğla

³Ankara University, Department of Geological Engineering, Ankara

⁴Middle East Technical University, Department of Geological Engineering, Ankara
(ozguravcsar@gmail.com)

ABSTRACT

Within the scope of a TÜBİTAK research project (#112Y137), a subaqueous geothermal spring was discovered in the İnce Bay of the Fethiye-Göcek Gulf. In order to evaluate the possible traces of this hydrothermal activity on the sediment geochemical properties in the bay, numerous sediment gravity cores were retrieved; 28 cores from the vicinity of the geothermal spring, and uniformly distributed 71 cores from the rest of the gulf. The cores were scanned using ITRAX micro-XRF core scanner at the GEOPOLAR Laboratory of the University of Bremen. Based on the statistical evaluations of the semi-quantitative elemental concentration data, spatial element distribution maps were produced. Accordingly, it was observed that the sediments in the vicinity of the subaqueous geothermal spring are enriched in S, Ca, Sr and Cl elements.

Based on the saturation index values calculated for different temperatures of the İnce spring, it was found that the spring water, at its emission temperature (28 °C), is highly saturated in minerals such as; Aragonite, Calcite, Dolomite, and Fluorite. Hence, Ca and Sr enrichments in the sediments can be attributed to the deposition of these minerals from the spring water. In addition, S enrichments in the sediments can be explained by Anhydrite deposition from the spring water. However, at 28 °C, this mineral has negative saturation index values implying that Anhydrite deposition from İnce spring is unlikely. Another mineral, which can result in S and Sr enrichments, is Celestite. Similarly, the saturation index values for this mineral are negative, and thus Celestite deposition from the spring is also not possible.

As for Cl, it is highly unlikely for this element to deposit in mineral form once it is solved in water. Indeed, İnce spring water has highly negative saturation index values for Halite and Sylvite minerals. Yet, Cl enrichments in the sediments are in contradiction with the above-mentioned geochemical phenomena. Therefore, more precise geochemical analyses are further needed to explain Cl enrichments.

Keywords: Fethiye-Göcek Gulf, Subaqueous geothermal spring, ITRAX micro-XRF scanner, Geochemistry, Saturation index

1. Giriş

TÜBİTAK destekli araştırma projesi (#112Y137) kapsamında yürütülen arama çalışmaları sonucunda Fethiye-Göcek körfezi İnce koyunda bir adet sualtı jeotermal kaynak tespit edilmiştir. Dünyanın çeşitli yerlerinde sualtı kaynaklar üzerinde yapılan çalışmalarda, kaynakların taban sedimanlarının jeokimyası ve mineralojisine etkisi bilinmektedir (Smith ve Cronan, 1982; Hannington vd., 2001; Glasby ve Notsu, 2003; McCarthy vd., 2005; Price ve Pichler, 2005; Varnavas ve Cronan, 2005; Miyabuchi ve Terada, 2009). İnce sualtı termal kaynağının deniz tabanı sedimanlarının jeokimyası üzerindeki etkilerinin alansal dağılımını incelemek üzere deniz tabanında karotiyer vasıtasıyla sediman örnekleri alınmıştır. Çalışmanın amacı İnce kaynağının taban sedimanları üzerindeki kimyasal ve mineralojik etkisini alansal olarak denetlemek yanında çalışma alanının geri kalanında olası benzer anomalilerin varlığının kontrol edilmesidir. TÜBİTAK projesi metodoloji olarak yatayda bir hat boyunca su sıcaklığı ölçümleri yaparak denizi tabanını taramayı esas almaktadır (Avşar vd., 2015). Böyle bir yöntemle su sıcaklığının ölçülemediği, hatlar arasında kalan alanlarda, tespit edilememiş sualtı termal kaynakların olması muhtemeldir. İnceleme alanında sedimanların jeokimyasının alansal dağılımının incelenmesi gözden kaçmış olası sualtı jeotermal kaynakların tespit edilmesine de yardımcı olacaktır. Bu amaçla karot örnekleme sadece tespit edilen sualtı kaynağın çevresinde yapılmamış; su kaynağının yakın çevresinde 28 adet, geri kalan alanada düzgün dağıtılmış 71 adet olmak üzere toplam 99 adet karot alınmıştır.

2. Yöntem

Fethiye-Göcek körfezi İnce koyunda tespit edilen sualtı jeotermal kaynağın deniz tabanındaki sedimanların jeokimyası üzerine olan etkilerini detaylı bir şekilde incelemek için körfezden alansal olarak mümkün olduğunca düzgün dağıtılmış, uzunluğu 20-40 santimetre arasında değişen toplam 99 adet gravite karot alınmıştır (Şekil 1). Karot işlemleri, tasarımı ve üretimi proje kapsamında gerçekleştirilen 4.5x5.5 metre boyutlarındaki yüzer platform ve gravite karotiyer kullanılarak yapılmıştır (Şekil 2).

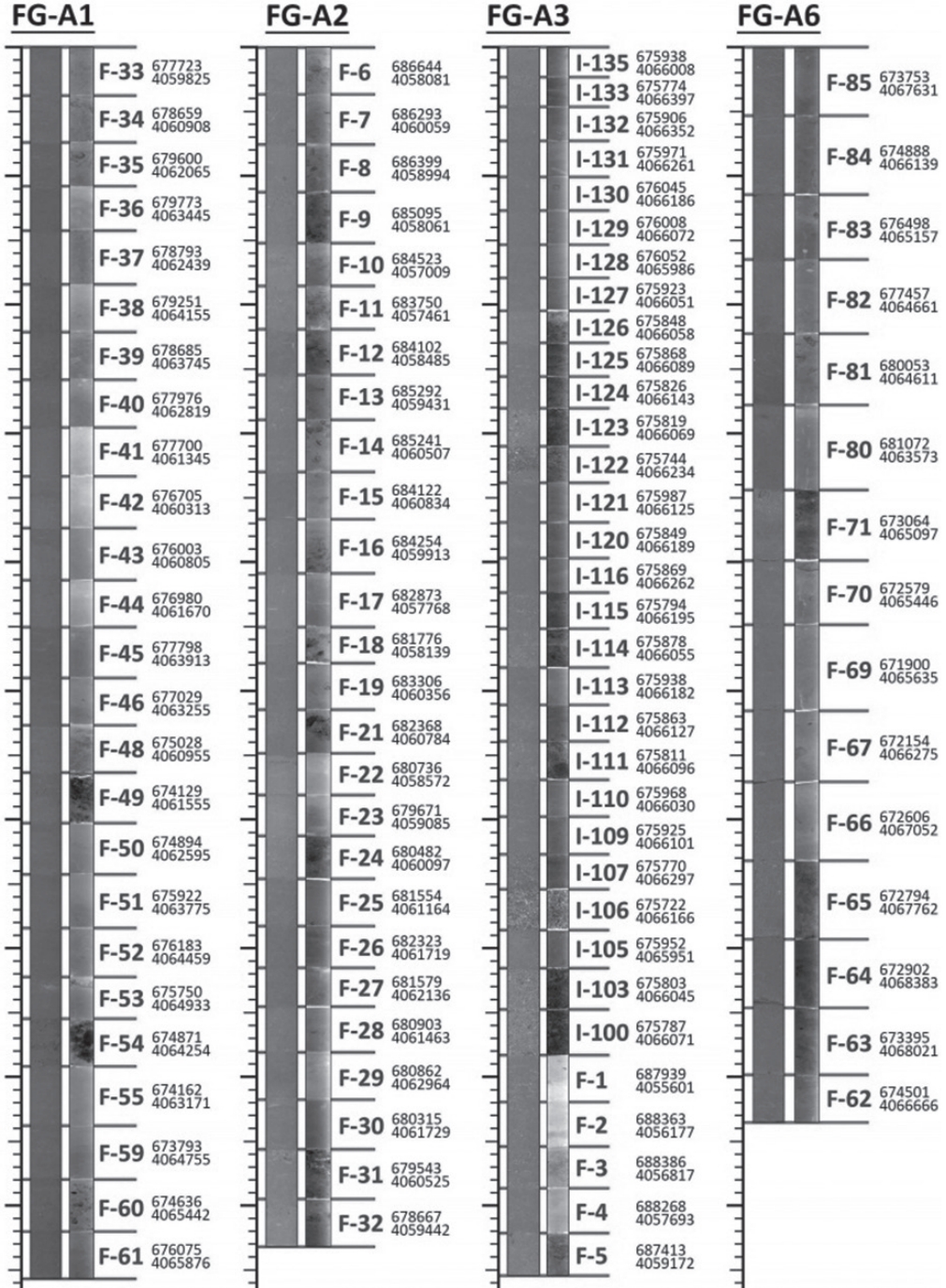
Sıcak su kaynaklarının yakınındaki örnekleme ek olarak sedimanların deniz tabanındaki dağılımını detaylı bir şekilde ortaya koyabilmek için alınan karotlar (Şekil 3) Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi laboratuvarında ölçüme hazır hale getirilerek Almanya'da bulunan Bremen Üniversitesi ITRAX laboratuvarına gönderilmiştir. Çalışma kapsamında alınan toplam karot sayısı dikkate alındığında bu karotları klasik tekniklerle ikiye bölünüp ITRAX laboratuvarına gönderilmesi imkansız olmuştur. Bunun yerine daha pratik bir yaklaşımla karotların her birinin üzerinden şırınga ile 5-6 cm'lik sediman alınmış, ayrı bir yarım PVC boruya (u-channel) uç uca yerleştirilerek yapay karotlar oluşturulmuştur ve analize bu şekilde gönderilmiştir (Şekil 4). Bu yöntem ile ağır bir kargolama yükü ve masrafının önüne geçilmesinin yanı sıra, laboratuvar personeline de çalışma rahatlığı sağlamıştır. Karotların üstten 5-6 cm'lik kısımlarının son 15-20 yılı kapsadığı düşünüldüğünde bu yöntem ile sualtı sıcak sularının sedimanlara güncel etkisinin daha kapsamlı bir şekilde araştırılması mümkün olmuştur.



Şekil 4 Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi laboratuvarında gerçekleştirilen yapay karot oluşturma işlemi.

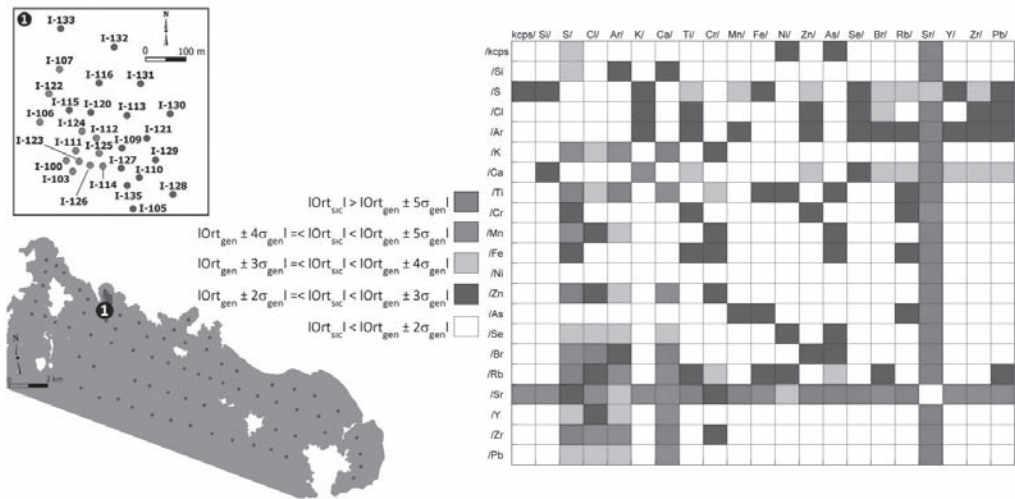
3. Bulgular

Çalışma kapsamında hazırlanan yapay karotlar ITRAX mikro-XRF tarayıcısı (Croudace vd., 2006) ile 1 mm ölçüm aralıklarında ve her ölçüm 12 saniye sürecek şekilde taranmış, ve 21 elementin sedimanlar içindeki konsantrasyonları hakkında yarı-nicel veriler elde edilmiştir. Taramalar sırasında XRF verilerinin yanında karotların optik ve radyografik görüntüleri de elde edilmiştir (Şekil 5). Yapay karotlar boyunca farklı lokasyonlardan alınan karotların kontak noktalarında ve genel sedimantasyonu temsil etmeyen seviyelerde (çatlak, türbidit, kavkı vb.) hatalı ölçümler olma olasılığı göz önünde bulundurularak, ITRAX mikro-XRF tarayıcısından elde edilen ham veriler dikkatli bir şekilde ayıklanmıştır. Daha sonra, her karota ait 21 adet elementten oluşan alt veri setleri oluşturulmuş ve bu setler içindeki 3-4 cm'lik sediman kalınlığına tekabül eden verilerin ortalaması alınarak her karot lokasyonu için jeokimyasal içeriği temsil eden değerler hesaplanmıştır.

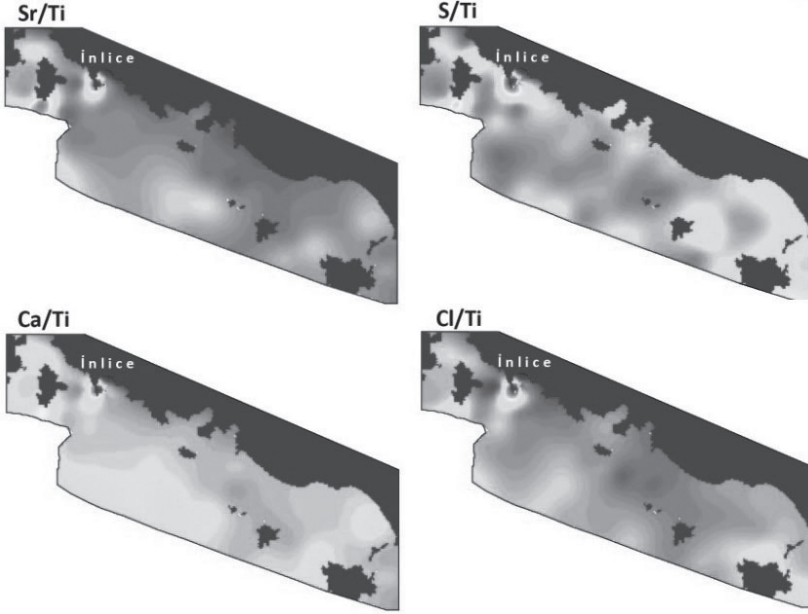


Şekil 5 Çalışma kapsamında alınan karotlardan oluşturulan yapay karotların optik ve radyografik görüntüleri ve koordinatları.

Sıcak su lokasyon karotlarında hangi elementlerin genel dağılım karotlarına kıyasla anomaliler verdiğini daha sistematik bir şekilde değerlendirebilmek için karşılaştırma matrisi hazırlanmıştır. Şekil 6'da Fethiye-Göcek körfezinden alınan genel dağılım karotları mavi noktalar ile, sıcak su lokasyon karotları (İnce koyu) ise kırmızı noktalar ile gösterilmiştir. Matriste ise hücre rengi, sıcak su lokasyon karotlarının ilgili element oran ortalamasının, genel dağılım karotlarındaki aynı elementlerin oran ortalamasından kaç standart sapma (σ) yüksek olduğunu göstermektedir. Örneğin; ikinci satır ile üçüncü kolonun kesişimine denk gelen hücre S/Si oranını temsil etmekte, bu hücrenin yeşil renkte olması ise sıcak su lokasyon karotlarındaki ortalama S/Si değerlerinin, genel dağılım karotlarındaki S/Si ortalamasının 3σ üstünde ve 4σ altında olduğunu göstermektedir. Matris dikkatlice incelendiğinde, sıcak lokasyon karotlarında özellikle Sr elementinin diğer tüm elementlere oranının genel dağılım karotlarından 5σ ya da daha yüksek olduğu görülmektedir. Sr kadar yüksek olmasa da S, Ca ve Cl elementlerinin de anomaliler gösterdiği anlaşılmaktadır. Şekil 7'de ilgili elementlerin Ti'ye oranlarının dağılım haritası verilmiştir. Sualtı termal kaynak bulunan İnce Koyu'nda anomaliler kırmızı tonlarda net bir şekilde görülmektedir. İnce Koyu'nun güneybatısında (Göcek Adası güneyinde) gözlemlenen anomalinin olası bir sualtı termal kaynağa işaret ettiği düşünülmektedir.



Şekil 6 Solda: Fethiye – Göcek körfezinden alınan sıcak lokasyon (kırmızı noktalar) ve genel dağılım (mavi noktalar) karotlarının lokasyonları. İnce koyunda tespit edilen sualtı termal kaynağın yakın çevresinde alınan karotların dağılımı daha büyük ölçekte “1” de sunulmuştur. Sağda: sıcak lokasyon karotlarının ortalama element oranları ile genel dağılım karotlarının ortalama element oranlarının karşılaştırma matrisi. Sıcak lokasyon karotlarının özellikle Sr, Ca, Cl ve S elementleri açısından oldukça zengin olduğu açıkça görülmektedir.

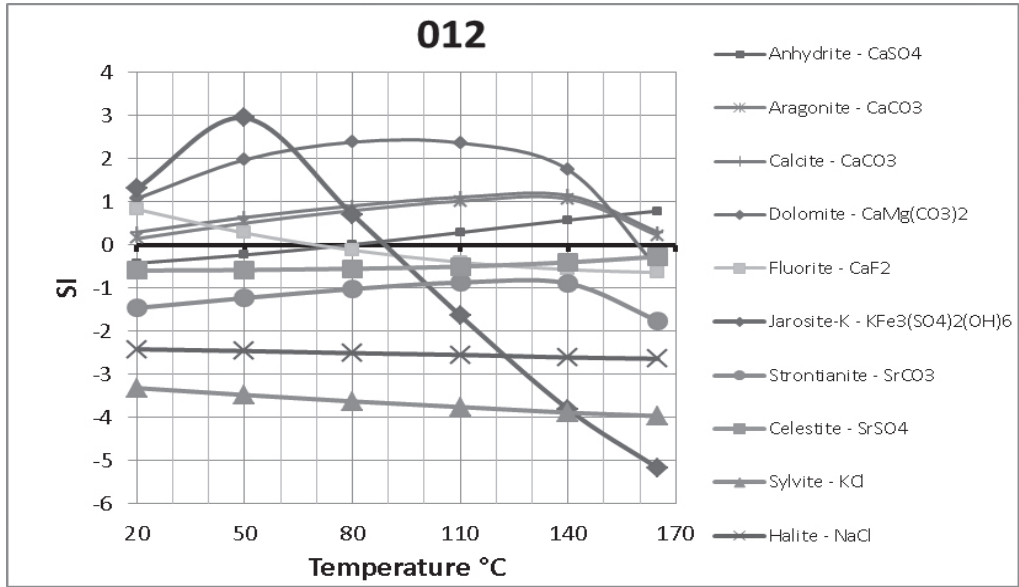


Şekil 7 Fethiye-Göcek körfezinden alınan karotlarda Sr, S, Ca ve Cl elementlerinin dağılım haritası. İnce Koyu'ndaki anomaliye ek olarak, koyun güneybatısında dikkat çekici bir anomali daha tespit edilmiştir.

Phreeq-c programı yardımıyla hesaplanan doygunluk indeksi sonuçlarına bakıldığında İnce koyundaki 012 kaynağı suyunun çıkış sıcaklığında (28 °C) Aragonit, Kalsit, Dolomit, Florit minerallerine aşırı doygun olduğu (pozitif doygunluk indeksi değerleri) görülmektedir (Şekil 8). Sedimanlarda ITRAX analizi sonucunda gözlenen Ca elementinin anomali vermesinin nedeninin yukarıda sayılan minerallerin muhtemelen 012 kaynağından çıkan sudan çökeliyor olması olduğu söylenebilir. Sr elementi Ca elementine benzer kimyasal özellik göstermektedir ve yukarıda sayılan minerallerin kristal yapısı içinde Ca elementinin yerine geçmesi muhtemeldir. İz element olarak kabul edilen Sr, Ca kadar doğada bol bulunmasa da Ca'nın anomali verdiği bir sistemde Sr'nin anomali vermesi normal karşılanmalıdır.

ITRAX analizlerinden gelen yüksek S değerlerini açıklayabilecek Anhidrit minerali 012 suyu çıkış sıcaklığında negatif doygunluk indeksi değerleri sunmasına rağmen 80 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda pozitif doygunluk indeksi değerleri vermektedir (Şekil 8). Çıkış sıcaklığı 28 °C olan 012 kaynağı etrafında mevcut kimyasal koşullarda Anhidrit mineralinin çökmesi beklenemez. Buna ek olarak hem S hem de Sr elementinin ITRAX ölçümlerindeki yüksekliğini açıklayabilecek Selestit minerali bütün sıcaklıklarda negatif doygunluk indeksi değerleri sunmaktadır (Şekil 8). Dolayısı ile Selestit mineralinin 012 kaynağının etrafında çökelmiş olması düşünülemez. Ancak şöyle bir nokta da gözden kaçırılmamalıdır: hem Anhidrit hem Selestit minerallerinin doygunluk indeksi değerleri incelendiğinde sıfırdan uzak (küçük/büyük) değerler sunmadığı görülmektedir. Su kimyası verileri günümüzdeki mevcut durumu verirken ITRAX analizinden gelen sonuçlar yüzeyden 5-6 cm derinlikteki sedimanların ortalama sonuçlarıdır ve geçmişte çökelmiş minerallerin de ortalamasıdır. Günümüz su kimyası bu minerallerin çökmesine izin vermese de geçmişteki su kimyasındaki küçük değişimler Selestit ve Anhidrit minerallerinin 012 suyundan çöküp bu kaynak etrafında anomali vermesine neden olmuş olabilir.

Cl elementinin genellikle bir kez mineral bağlarından kopup suya iyon olarak geçtiğinde tekrar başka bir elementle bağ yapıp mineral forma geçmesi neredeyse imkansız olarak bilinmektedir. Nitekim 012 suyunun Halit ve Silvit minerallerinin doygunluk indeksi değerleri hayli negatiftir (Şekil 8). Cl elementinin mineral halde ITRAX sonuçlarında anomali vermesi klasik jeokimya modellemesiyle açıklanamamaktadır ve bu çalışma kapsamının dışında kalmaktadır. Gelecekte daha detaylı bir çalışmanın konusu olabilir.



Şekil 8 İnce koyundaki sualtı jeotermal kaynağı için sıcaklığa karşı doygunluk indeksi grafiği.

4. Sonuç

Taban sedimanlarının kimyasal karakterinin alansal dağılımına bakıldığında Sr, S, Ca ve Cl gibi bazı elementlerin termal kaynaklara yakın alanlarda anomali verdikleri açıktır. Sualtı termal kaynaklar ile taban sedimanlarının bu ilişkisi gelecekteki başka çalışmalarda sualtı kaynakları tespit etmek için kullanılabilir bir metot niteliğinde olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Avşar, Ö., Avşar, U., Arslan, Ş., Kurtuluş, B., 2015. Fethiye-Göcek Körfezi İle Köyceğiz, Alagöl, Sülüngür ve Kocagöl Göllerinin Tabanındaki Termal Kaynakların Alansal Dağılımının ve Hidrokimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi, TÜBİTAK project (112Y137) Final report, p. 119, unpublished.
- Croudace, I.W., Rindby, A., Rothwell, R.G., 2006. ITRAX: description and evaluation of a new multi-function X-ray core scanner. In: Rothwell, R.G. (Ed.), New techniques in sediment core analysis. Geological Society London Special Publication, London, vol. 267, pp. 51-63.
- Glasby, G.B., Notsu, K. 2003. "Submarine hydrothermal mineralization in the Okinawa Trough, SW of Japan: an overview". Ore Geology Reviews, 23, 299-339.
- Hannington, M., Herzig, P., Stoffers, P., Scholten, J., Botz, R., Garbe-Schonberg, D., Jonasson, I.R., Roest, W. and Shipboard Scientific Party. 2001. "First observations of high-temperature submarine hydrothermal vents and massive anhydrite deposits off the north coast of Iceland". Marine Geology, 177, 199-220.
- McCarthy, K.T., Pichler, T., Price, R.E. 2005. "Geochemistry of Champagne Hot Springs shallow hyd-

rothermal vent field and associated sediments, Dominica, Lesser Antilles”, *Chemical Geology*, 224, 55-68.

Miyabuchi, Y., Terada A. 2009. “Subaqueous geothermal activity revealed by lacustrine sediments of the acidic Nakadake crater lake, Aso Volcano, Japan”, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 187, 140-145.

Price, R.E., Pichler, T. 2005. “Distribution, speciation and bioavailability of arsenic in a shallow-water submarine hydrothermal system, Tutum Bay, Ambitle Island, PNG”, *Chemical Geology*, 224, 122-135.

Smith P.A., Cronan, D.S.1983. “The geochemistry of metalliferous sediments and waters associated with shallow submarine hydrothermal activity (Santorini, Aegean sea)”, *Chemical Geology*, 39, 241-262.

Varnavas, S.P., Cronan, D.S. 2005. “Submarine hydrothermal activity off Santorini and Milos in the Central Hellenic Volcanic Arc: A synthesis”, *Chemical Geology*, 224, 40-54.

JEOTERMAL ARAŞTIRMALARDA İZLENECEK YOLLAR: SALİHLİ-ALAŞEHİR GRABENİNİN SARIGÖL KESİMİNDE (GB TÜRKİYE) UYGULAMALI BİR ÇALIŞMA

Ali Koçyiğit

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Teknik ve Deprem Araştırma Laboratuvarı, TR-06531 Ankara, Türkiye

ÖZ

Genel olarak, Güneybatı Türkiye’de jeotermal sistem fay denetimlidir. Herhangi bir sahada jeotermal sistemin gelişebilmesi için gerekli beş koşul vardır. Bunlar sırayla: (1) aktif tektonik ve ilgili faylar, (2) ısı kaynağı, (3) yüksek gözenekli rezervuar kayası, (4) geçirimsiz örtü kayası ve (5) yeterli miktarda meteorik su beslenmesi. Bu beş koşul, sondaj yeri belirleme çalışmalarından önce ayrıntılı olarak araştırılıp sonuçlandırılmalıdır.

Sarıgöl jeotermal sahası güneybatı Türkiye genişlemeli neotektonik bölgesi içinde yer alır. Aktif çekme tektoniği rejimi altında bulunan bu bölge bir seri graben-horst sistemi ve normal türde aktif kenar fayları tarafından şekillenip karakterize edilir. Sarıgöl jeotermal sahasında iki grup normal fay yüzeyler: (1) Bozdağ düşük açılı sıyrılma fayı (Küçükbahçe sıyrılma fayı segmenti) ve (2) Kuvaterner yaşlı neotektonik (modern) grabenin sınırlarını belirleyip denetleyen büyük açılı normal faylar (Bozdağ fay zonu). Sıcak su kaynaklarının büyük çoğunluğu, kataklastik-milonitik özellikteki düşük açılı sıyrılma fay kuşağı (zonu) içinde yer alır (örneğin: Simav, Salihli-Alaşehir, Denizli ve Büyük Menderes grabenlerinde olduğu gibi). Sıcak su kaynaklarının sıyrılma fay kuşakları boyunca yaygın oluşu yanısıra hidrotermal kayaç alterasyonları, daha yaşlı sıyrılma fayı segmentlerinin, yükselen sıcak jeotermal akışkanlar tarafından günümüzde hala kullanılmakta olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, düşük açılı sıyrılma fayları büyük açılı aktif normal faylar tarafından kesilip daha derine atılmakta (ötelenmekte) ve böylece sıcak jeotermal akışkanlar, derinlerde, düşük açılı ve daha yaşlı sıyrılma fayları ile büyük açılı normal faylar tarafından bölüşülmektedir. Bu yüzden sıcak akışkan miktarı hacimsel olarak, sıyrılma fay zonu ile büyük açılı fay zonlarının kesişme yerleri ile biraz daha aşağı seviyelerde daha yüksek, buna karşın, yüzeye yaklaştıkça akışkan gerek sıcaklık derecesi ve gerekse hacimsel olarak azalmaktadır (örneğin: yüzeyde gözlenen ılık su kaynakları gibi). Bu nedenle, yüksek basınç ve sıcaklık koşullarında hacimsel olarak yüksek jeotermal akışkan elde etmek için sondajlar, düşük açılı sıyrılma fayı ile yüksek açılı aktif normal fayların kesişme yerine ya da biraz daha alt seviyelere erişecek şekilde planlanmalıdır. Aktif çekme tektoniği alanları ve bu alanları şekillendirip karakterize eden normal fayların, gerek soğuk meteorik sular ve gerekse sıcak jeotermal akışkanlar için en uygun yeraltı dolaşım yolları olduğu bilinen bir gerçektir. Sonuç olarak, bu görüş ışığında, Salihli-Alaşehir grabeninin doğu kesiminin (Alaşehir-Sarıgöl kesimi) jeotermal potansiyeli, en azından grabenin orta kesimi kadar yüksektir (130°C). Bu durum, grabende açılan çok sayıda jeotermal kuyu verisiyle de kanıtlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Salihli-Alaşehir grabeni, Jeotermal saha, aktif tektonik, sıyrılma fayı.

MAJOR STEPS TO BE FOLLOWED IN GEOTHERMAL EXPLORATIONS: A CASE STUDY IN THE SARIGÖL SECTION OF THE SALIHLI-ALAŞEHİR GRABEN, SW TURKEY

Ali Koçyiğit

Middle East Technical University, Engineering Faculty, Department of Geological Engineering, Tectonic and Earthquake Research Laboratory, TR-06531 Ankara, Turkey

ABSTRACT

In general, the geothermal system is fault-controlled in southwestern Turkey. Five of the major criteria producing the well-development of a geothermal system in a given area are as follows: (1) the active tectonics and related faults, (2) source of heat, (3) reservoir rocks with high porosity, (4) the reservoir cap rocks with no /or low- permeability, and (5) meteoric water supply enough. These five criteria have to be studied well just before the beginning of the drilling process.

The Sarigöl geothermal area is included in the southwestern Turkey extensional neotectonic domain (is a region under the influence of a definite neotectonic regime) characterized and shaped by a series of grabens-horsts and their margin-boundary active normal faults. Two groups of normal faults are included in the Sarigöl geothermal area: (1) the Bozdağ low-angle detachment fault ("Küçükbağçe detachment fault segment) which determines incipient outline of the Miocene paleotectonic graben, and (2) the high-angle normal faults (Bozdağ fault zone) which determine and control the Quaternary neotectonic (modern) graben. Most of hot water springs occur within the low-angle detachment fault zone of cataclastic nature as in the case of Simav, Salihli-Alaşehir (Gediz), Denizli, and Büyük Menderes grabens. The widespread distribution of hot water springs and related rock alteration reveal that the older detachment fault segments are being still used by the rising geothermal fluids. However the low-angle detachment faults are crossed and displaced deeply by the high-angle active normal faults, and thus the geothermal fluids are shared by both detachment and high-angle normal faults at depth. For this reason, amount of geothermal fluids is much more in volume at/ or just below the intersection between detachment fault zone and high-angle normal faults, but decreases above it. Therefore in order to obtain huge volume of geothermal fluid under high-pressure and temperature conditions, the site of borehole has to be planned so that it penetrates the geothermal reservoir at a point just below or above the intersection of the low-angle detachment and high-angle normal faults. It is known well that the active tensional tectonic domains and related normal faults are more suitable areas and ways for the underground circulation of both cold meteoric waters and geothermal fluids. Consequently, from this point of view, the geothermal potential of the Alaşehir-Sarigöl section of the Salihli-Alaşehir graben quite high (up to 130°C) as much as its central section. This was proved once more by several geothermal wells drilled in this area.

Keywords: Salihli-Alaşehir graben, geothermal field, active tectonics, detachment fault.

BATI TÜRKİYE’DEKİ JEOTERMAL SİSTEMLERİN YAPISAL KONTROLÜ

Erdin Bozkurt

*Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Üniversiteler Mahallesi,
Dumlupınar Bulvarı No: 1, Ankara, 06800 Turkey
(erdin@metu.edu.tr)*

ÖZ

Batı Türkiye, Ege’deki dalma-batma zonunun güneye doğru geriye göçü nedeniyle gelişen yaygın K–G kıtasal gerilmenin etkisinde kalan bir bölgedir. Menderes çekirdek kompleksi ve D–B uzanan grabenler (örnek, Gediz ve Büyük Menderes grabenleri) bölgenin en önemli yapısal unsurlarıdır. Genişlemeli tektonizma geç Oligosen’de başlamış ve günümüze kadar devam etmiştir. Genişlemeli rejimin tarihçesi epizodik olup, başlıca iki aşamadan oluşmaktadır: kısa bir zaman boşluğu ile birbirlerinden ayrılan çekirdek kompleks ve rift modları. Masif düşük açılı sıyrılmaya fayının taban bloğunda hızla yükselip, yüzeye çıkarken, tavan bloğunda Miyosen karasal sedimanları çökmüştür. Çekirdek kompleks oluşumunu Pliyosen–Kuvaterner döneminde kıta kabuğunun gerilmesine bağlı gelişen rift modu takip etmiştir; bu dönemde D–B uzanımlı yüksek açılı normal fayların denetlediği grabenler oluşmaya başlamıştır. Kuvaterner fay sarplıkları ile güncel sismik aktivite normal fayların diri olduklarının verileri arasındadır.

Magmatizma ile ilişkili olmayan jeotermal aktivite Batı Türkiye’nin önemli unsurları arasındadır; bölgedeki normal faylar ile jeotermal sistemler arasında iyi kurulmuş bir bağlantı vardır. Normal fayların/zonlarının geometrisi, etkileşim/kesişimleri ile yapısal stilleri jeotermal sistemlerin oluşması ve lokalize olması için temel kontrolleri oluşturmaktadır. Birbirlerine paralel-yarı paralel uzanan fay segmentlerinden oluşan normal fay zonları boyunca gelişen etkin gevrek deformasyon çok sayıda kırıklar ile temsil edilen geniş hasar zonlarının oluşmasına neden olurlar. Gerek hasar zonları gerekse dik açılı normal faylar ile birlikte gelişen transtansiyonel bölgeler jeotermal akışkanlar için uygun alanları oluştururken faylar ve kırıklar jeotermal sıvıların akışı ile yukarı doğru göçünü denetlerler.

Batı Türkiye’deki jeotermal alanlar çoğunlukla kör ve/veya gizli oldukları ve hiçbir yüzeyel veri sunmadıkları için gerek jeotermal sistemleri keşfetmek gerekse kuyu lokasyonlarının sağlıklı bir şekilde tesbit edilebilmesi için yapısal stillerin iyi bir şekilde anlaşılması ve modellenmesi gerekmektedir. Batı Türkiye’de günümüze değin yapılan araştırmalar fay kesişimleri, örtüşen kademeli normal faylar, sonlanan ve ayrılan fay uçları, fay basamakları ile aktarım rampalarının üretim kuyuları için ümit veren hedef alanları oluşturduğunu göstermektedir.

STRUCTURAL CONTROLS ON GEOTHERMAL SYSTEMS IN WESTERN TURKEY

Erdin Bozkurt

*Middle East Technical University, Department of Geological Engineering, Üniversiteler
Mahallesi, Dumlupınar Bulvarı No: 1, Ankara, 06800 Turkey
(erdin@metu.edu.tr)*

ABSTRACT

Western Turkey is a region of widespread N–S-directed continental extension that commenced due to slab rollback in the Aegean. Menderes core complex and E–W-trending grabens (e.g., Gediz and Büyük Menderes grabens) form the most prominent features of the region. The extension commenced by the latest Oligocene and persisted to the present. The history of extension is episodic and comprises mainly two stages: core-complex and rift modes, separated by a short-time gap. The massif exhumed rapidly in the footwall of the presently low-angle detachment fault(s) while hanging-wall was the site of Miocene continental sedimentation. The core-complex mode of extension was followed by the Pliocene–Quaternary rift mode accompanying the late stretching of the crust, during which grabens bounded by approximately E–W-striking high-angle normal faults commenced to existence. The activity of the normal faults is evidenced by range-bounding Quaternary fault scarps and recent seismic activity.

Abundance of largely amagmatic geothermal activity forms one of the most important components of western Turkey where there is a well-established link between normal faulting and geothermal systems in the region. The geometry, interaction/intersection and structural styles of normal faults/zones form the main controls in forming and localizing geothermal systems. Brittle deformation along normal fault zone(s), defined by several parallel to sub-parallel fault segments, results in the formation of broad damage zone(s) of highly fractured rocks. The damage zones and transensional regions associated with the steeply-dipping normal faults form favourable settings for geothermal fluids where faults and fractures control fluid flow and upward migration.

Because the geothermal fields in western Turkey are mostly blind and/or hidden and have no surficial expressions, the complete understanding of structural styles of normal faults is highly required in discovering geothermal systems and in selecting wellbore sites. The research until today has shown that dilatant fault intersections, overlapping en-echelon normal faults, terminating and splaying out faults, fault steps and relay ramps form the most promising targets for production wells.

HİDROJEOKİMYA VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

HÜDAİ (SANDIKLI- AFYONKARAHİSAR) JEOTERMAL ALANINDAKİ JEOTERMAL SULARIN SÜRDÜRÜLEBİLİR KULLANIMI*

Mustafa Afşin¹, Ayşen Davraz², Fatma Aksever², Zehra Karakaş³, M. Ali Hınıs⁴

¹Aksaray Üni. Jeoloji Müh. Bölümü, Kampüs, 68100, Aksaray

²Süleyman Demirel Üni. Jeoloji Müh. Bölümü, Çünür, 32260, Isparta

³Ankara Üni. Jeoloji Müh. Bölümü, Tandoğan 06100, Ankara

⁴Aksaray Üni. İnşaat Müh. Bölümü, Kampüs, 68100, Aksaray
(mustafaafsin@aksaray.edu.tr)

ÖZ

Hüdaî jeotermal alanı (HJA), Sandıklı (Afyonkarahisar)'nın güneybatısında yer alır. Bu çalışmanın amacı, HJA'da bulunan Hüdaî jeotermal sularının (HJS) sürdürülebilir kullanımını değerlendirmektir. Bu kapsamda, HJA'nın hidrojeolojisi, HJS'nin kimyasal ve izotopik analiz sonuçları ile mevcut kullanım durumu ele alınmıştır.

HJA'da, temelden itibaren sırasıyla, Prekambriyen ve Paleozoyik yaşlı şist, kuvarsit, kireçtaşı ve dolomitler ile Mesozoyik'ten Kuvaterner'e kadar yaş aralığına sahip sedimanter ve volkanik kayalar yüzeylenmiştir. HJS'nin birincil akiferleri kuvarsit, kireçtaşı ve dolomitler; beslenme alanındaki soğuk su akiferleri Jura-Kretase yaşlı karstik kireçtaşları; örtü kayaları ise alandaki geçirimsiz birimlerdir. HJA'da bulunan soğuk ve sıcak suların sıcaklık, pH ve elektriksel iletkenlik değerleri sırasıyla 8-18°C / 20-82 °C; 4.50-7.90/6.2-7.00; 120-800/1552-2387 µS/cm arasında değişmiştir. Su tipleri; soğuk sulara Ca-Mg-HCO₃, karışım özellikli sulara Ca-Mg-HCO₃-SO₄/Ca-Mg-SO₄-HCO₃ ve HJS'de Na-Ca-SO₄-HCO₃/Na-Ca-HCO₃-SO₄ biçimindedir. ¹⁸O ve ²H izotop analiz sonuçlarına göre HJA'daki tüm sular meteorik kökenlidir. HJA'daki soğuk sular sıg ve hızlı; HJS ise derin ve yavaş dolaşımıdır. HJS'nin δ¹³C (‰PDB) değerlerine göre, sulardaki CO₂ çözülmüş inorganik karbon, tatlısu karbonatı, denizel karbonat ve metamorfik kökenlidir. Jeotermal suların ¹⁴C (pmc) değerleri HJS havzaya binlerce yıl önce düşmüş yağışlarla beslenmiş olduğuna işaret etmektedir. Silis jeotermometrelerine göre HJS'nin hazne kaya sıcaklığı 72-122°C dolayında hesaplanmıştır. HJS'nin ısı kaynakları ise, jeotermal gradyan, volkanizma ve derinlerde henüz tamamen soğumamış granitik (porfir) bir sokulum olabilir.

HJA'da 20'den fazla üretim ve 2 reenjeksiyon kuyusu bulunmaktadır. Söz konusu üretim kuyularından yapılacak uzun süreli (aşırı) su çekimi, havzaya binlerce yıl önce düşmüş yağışlarla beslenmiş jeotermal suların HJA'daki sürdürülebilir kullanımını ve mevcut termal turizm yatırımlarını olumsuz yönde etkileyecektir. Bu nedenle, HJA'da yeni sondaj kuyularının açılmasına karar verilmeden önce suların beslenme-boşalım dengesine dikkat edilmelidir.

Anahtar kelimeler: Jeotermal sular, izotop, sürdürülebilir kullanım, Hüdaî-Sandıklı, Türkiye

*Bu bildiri Afşin vd. 2014'Hüdaî (Sandıklı) jeotermal alanında jeotermal enerji kullanımının dünü, bugünü ve geleceği (Markakent Sandıklı Sempozyumu, Bildiri Kitabı, 265-279) başlıklı yayından yararlanılarak hazırlanmıştır.

THE SUSTAINABLE USAGE OF GEOTHERMAL WATERS IN HUDAI GEOTHERMAL FIELD, SANDIKLI, AFYONKARAHISAR

Mustafa Afşin¹, Ayşen Davraz², Fatma Aksever², Zehra Karakaş³, M. Ali Hınıs⁴

¹Aksaray University, Dept. of Geological Engineering, Campus, Aksaray, Turkey.

²Suleyman Demirel University, Dept. of Geological Engineering, Campus, Isparta, Turkey.

³Ankara University, Dept. of Geological Engineering, Hydrogeological Section, Beytepe, Ankara, Turkey

⁴Aksaray University, Dept. of Civil Engineering, Campus, Aksaray, Turkey
(mustafaafsin@aksaray.edu.tr)

ABSTRACT

Hudai geothermal field (HJA) is located in southwestern of Sandıklı, Afyonkarahisar. The aim of this study is to evaluate of sustainable usage of Hudai geothermal waters (HJS). In this context, it has been considered hydrogeological properties of HJA, and the results of chemical and isotopical analyses of HJS and their present usage.

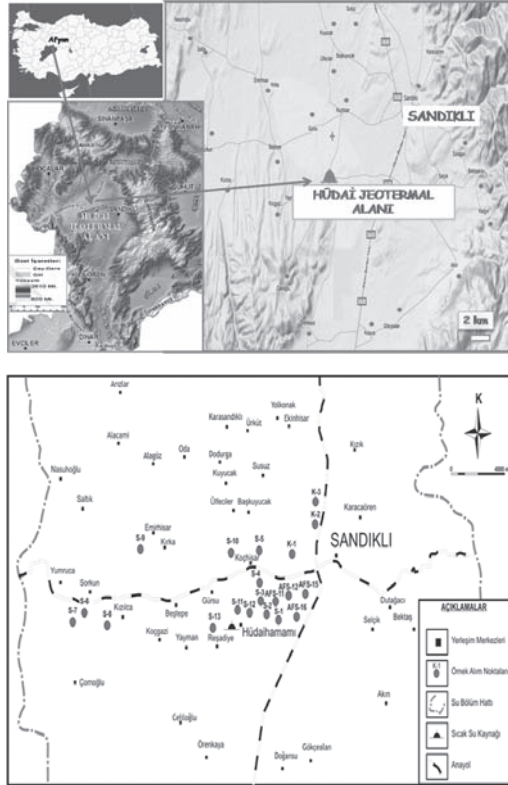
The basement rocks are schist, quartzite, limestone and dolomite of Precambrian and Paleozoic in age in HJA. The basement rocks are overlain by sedimentary and volcanic rocks ranging from Mesozoic to Quaternary age. The primary aquifers for HJS are the quartzite, dolomite and limestones, cold water aquifers are of limestones in Jurassic-Cretaceous age in recharge area, while impermeable units form the cap rocks in HJA. Temperature, pH and EC (electrical conductivity) values of the cold and thermal waters in HJA are changed between 8-18°C / 20-82 °C; 4.50-7.90 / 6.2-7.00; 120-800 / 1552-2387 µS/cm, respectively. Types of the waters are as Ca-Mg-HCO₃ for cold waters, Ca-Mg-HCO₃-SO₄/Ca-Mg-SO₄-HCO₃ for mixed waters and Na-Ca-SO₄-HCO₃/Na-Ca-HCO₃-SO₄ for HJS. The ¹⁸O-²H isotopes showed that the all waters are of meteoric origin. Cold waters have shallow and fast circulation, and whereas HJS have deep and slowly circulation in HJA. δ¹³C (‰PDB) values of HJS indicate freshwater carbonate, marine carbonate and metamorphic CO₂ input. ¹⁴C (pmc) values of the geothermal waters denoted that HJS had been recharged by rains which have been fallen by rainfalls to the basin thousands of years ago. Reservoir temperatures of the HJS are calculated between from 72 to 122 °C by silica geothermometers. In this regard, the geothermal energy potential of HJA will have sustainable usage if the balance of conservation and usage can be kept. Heat sources of the HJS may be suggested geothermal gradient, volcanism and deep-sealed granitic intrusive/porphyritic rocks which are still being cooled.

There are more than 20 production and 2 reenjection wells in HJA. In this regard, long term (overexploitation/overpumping) from the wells will effect adversely the sustainable usage of geothermal waters and present thermal tourism investments in HJA. Therefore, it must be cared the balance of recharge-discharge of the geothermal waters before deciding to drill new production wells in HJA.

Keywords: Geothermal waters, isotope, sustainable usage, Hudai-Sandıklı, Turkey

1. GİRİŞ

Hüdaî jeotermal alanı (HJA) Afyon'un yaklaşık 63 km, güneybatısında Sandıklı havzasının ortasında yer almaktadır (Şekil 1 A ve B). HJA ve çevresinde farklı amaçlı gerçekleştirilmiş çok sayıda çalışmadan bazıları Ronner (1962), Öngür (1973), Çakmakoğlu (1986), Cihan ve Koçyiğit (2000), Gürsu ve Göncüoğlu (2005), Özpınar (2008), Karamanderesi (2008), Afşin (1991), Afşin ve Canik (1996), Afşin (1997), Akan vd. (2008), Aksever (2011), Dağ (2012), Afşin vd. (2013, 2014)'dir.



Şekil 1. İnceleme alanının yerbulduru haritası (A ve B) (Aksever, 2011, Afşin vd. 2013)

2. HİDROJEOLJİ

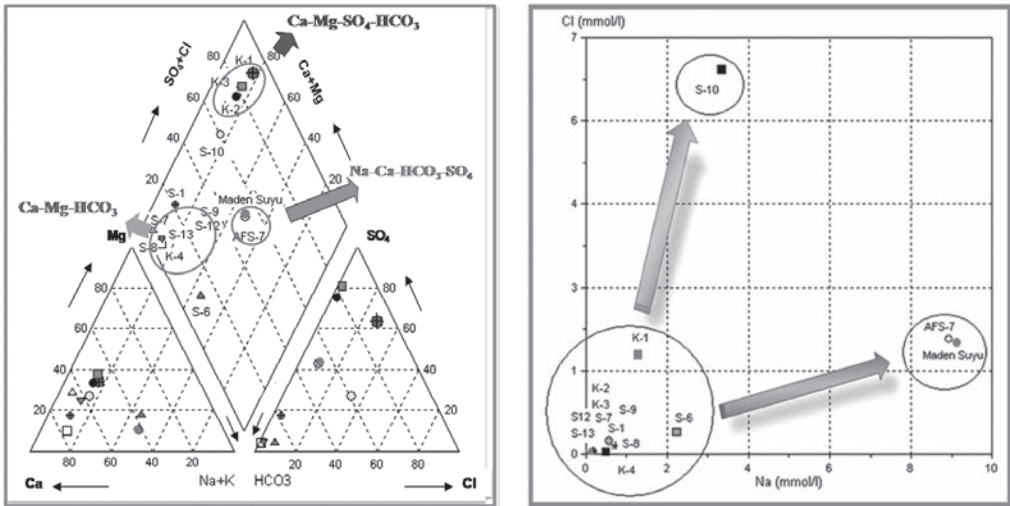
İnceleme alanında Prekambriyen, Paleozoyik, Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı birimler yüzeylenmiştir (Şekil 2) (Afşin, 1991; Aksever, 2011; Dağ, 2012; Afşin vd., 2013). Hidrojeoloji açısından; alüvyon ve Hamamçay formasyonu yaygın verimli akifer, havzada dar alanlarda yüzeylenmiş Karatepe formasyonu yersel verimli akifer, Akdağ ve Çaltepe formasyonları ise karstik akiferdir. Hüdaî formasyonuna ait kuvarsitler ile Çaltepe formasyonuna ait dolomitik kireçtaşları sıcak suların basınçlı akiferleri konumundadır (Şekil 2). Seydişehir ve Derealanı formasyonları ve Hamamçay formasyonunun kil ve marn gibi geçirimsiz seviyeleri ile Sandıklı lavları ve Soğucak piroklastikleri jeotermal sistemin örtü kayalarıdır (Afşin vd., 2013). Jeotermal sistemin ısı kaynakları ise, jeotermal gradyan, volkanizma ve derinlerde henüz tamamen soğumamış granitik bir sokulum olabilir (Afşin ve Canik, 1996).

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	FORMASYON	ÜYE	SİMGE	KALINLIK (m)	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR	HİDROJEOLOJİK ÖZELLİKLER					
										KUV.	PLI.	MİYÖSEN	ÜST	SANDIKLI
SENOZOYİK	KUV.	PLI.	HAMAM ÇAYI	Sandıklı Lav	Tsl	200-500	Pilov lavlar Andezit	Dismikrit Biyomikrit Kömür Marm Killi Kireçtaşı Kumtaşı Çakıtaşı	Akifer (Siltli, killi seviyeler, akiklüt)					
										Tsl	60-100	Tüf	(Killi, marmlı, kömürlü, tüflü seviyeler akiklüt)	
														Tşz
										Tşz	60-100	Tüf	(Killi, marmlı, kömürlü, tüflü seviyeler akiklüt)	
MESOZOYİK	KRETASE	ÜST KRETASE	AKDAĞ	Jka	500-700	Karstik, yer yer bloklu Dolomitik kireçtaşları Masif yer yer katmanlı kireçtaşı Breşik kireçtaşı Çoğunluğu mikritik kireçtaşı	Lapya, kaşık-kepçe dolin vb. karst şekilleri. İkincil poroziteye sahip akifer (masif kesimlerde porozite düşük)							
								JURA	ALT JURA	DEREALANI	Jd	300-450	Kireçtaşı, fosilli, killi, kumlu kireçtaşı Silttaşı, Marmlı kumtaşları	Akiklüt
PALEOZOYİK	ORDOV.	ÜST KAM. ORD.	SEYDİŞEHİR	es	300	Yer yer çapraz tabakalı killi kireçtaşı mercekleri Silttaşı	Akiklüt Akitard							
								KAMBRIYEN	ORTA	ÇALTEPE	HÜDAI	eç	350	Fosilli kireçtaşları, Orta katmanlı dolomitler
ALT	HÜDAI	eh	400-600	Şistler Yer yer çapraz tabakalı kuvarsitler	Akifer (şistler akiklüt)									
						PREKAMBRIYEN	KESTEL ÇAYI PORFİROYİD BİRLİĞİ	Prk	? 1200	Bazik spilitik metavolkanit Metakumtaşı Silttaşı Kuvars Serizit Şist	Akiklüt			

Şekil 2. HJA'nın genelleştirilmiş stratigrafi kesiti (Afşin, 1991)

3. HİDROJEOKİMYASAL VE İZOTOPIK DEĞERLENDİRME

HJA'da bulunan soğuk ve sıcak suların sıcaklık, pH ve elektriksel iletkenlik değerleri 8-18°C / 20-82 °C; 4.50-7.90 / 6.2-7.00; 120-800 / 1552-2387 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmiştir. Su tipleri; soğuk sulara (1) Ca-Mg-HCO₃, (2) Ca-Mg-HCO₃-SO₄/Ca-Mg-SO₄-HCO₃ ve HJS'de (3) Na-Ca-SO₄-HCO₃/Na-Ca-HCO₃-SO₄ biçimindedir. (1) beslenme alanında hızlı dolaşımli genç sular; (2) sığ/orta dolaşımli soğuk karışım sularını, (3) çok uzun dolaşımli yaşlı jeotermal suları temsil etmektedir (Şekil 3 a ve b) (Afşin, 1997; Afşin vd., 2013). S-10 no'lu örnek dışında, iki uç üyeden söz edilebilir (Şekil 3 b). Buna göre, grafiğin orijinine yakın olan soğuk sular uç-1, AFS-7 ve Maden Suyu olarak isimlendirilen jeotermal sular ise uç-2 üyeleri, diğer sular ise karışım suları olarak düşünülmelidir. Örneğin, S-10 no'lu suyun sıcaklık, EC, Cl- ve Na/Cl oranı değerleri sırasıyla 13-15 °C, 1600-2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 6.6 mmol/L ve 0.5'dir. Bu değerlere göre, bu suyun tuzlanmasının nedeni, jeotermal ısı getirmesinin aksine tuzlu kayalarla temas ve/veya evsel kaynaklı kirlenme olabilir. S-6 sıcak suyu ise, jeotermal sistemin sığ bölümünde yer alan sulara işaret etmektedir. Diğer jeotermal sulara, yağışlı dönemde HCO₃'ün SO₄ değerlerinden yüksek ve baskın su tipinin Na-Ca-HCO₃-SO₄ olmasının nedeni, jeotermal suların yüzeye çıkışları sırasında HCO₃'ce zengin sular ile karışımı olabilir.

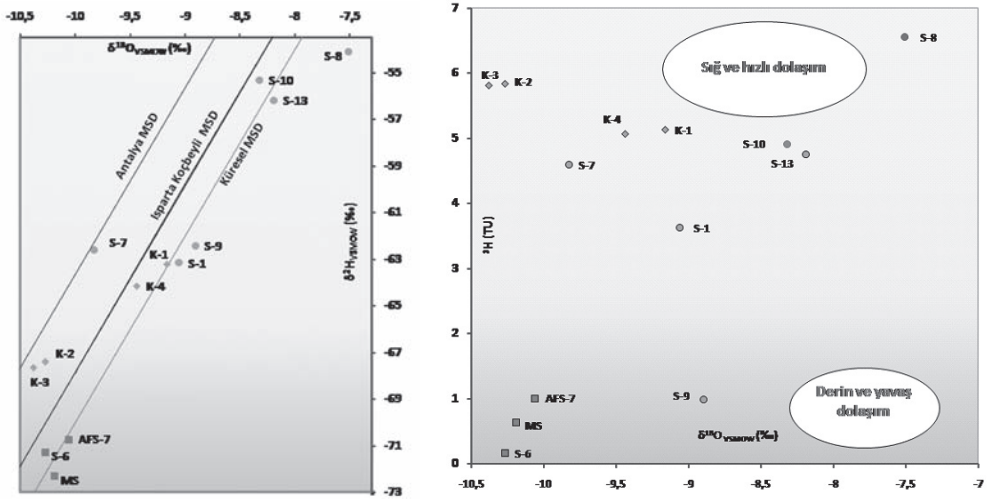


Şekil 3. Hüdai jeotermal alanındaki suların Piper (a) ve Na/Cl dağılım diyagramları (Afşin vd., 2013) [Soğuk su kaynakları: K-1, K-2, K-3, K-4, K-5, S-7, S-8; Soğuk su kuyuları: S-1, S-2, S-3, S-4, S-5, S-9, S-9, S-10, S-13; Jeotermal sondaj kuyuları/: S-6, AFS-7, Maden Suyu, S-12: Hamamçayı]

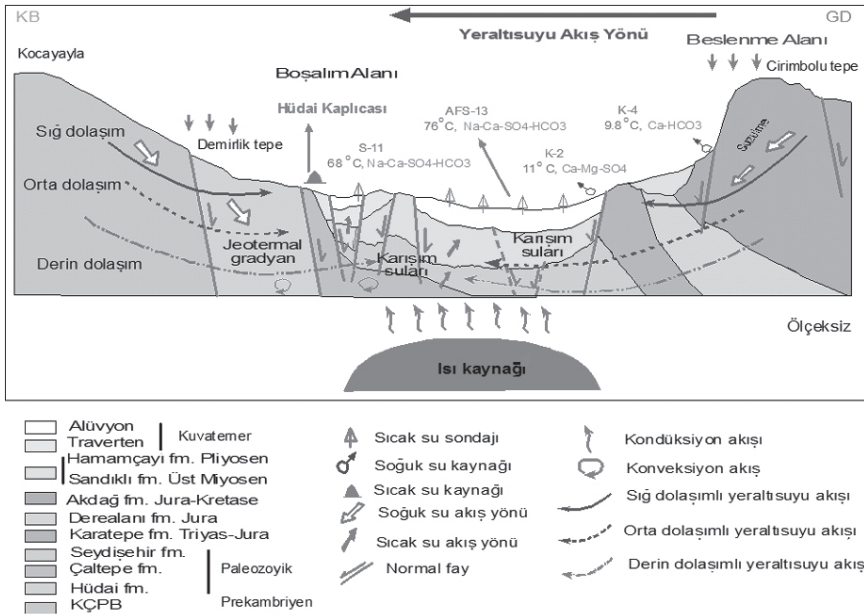
¹⁸O ve ²H izotop analiz sonuçlarına göre HJA'daki tüm sular meteorik kökenlidir (Şekil 4a). Suların çoğunluğu küresel meteorik su doğrusu yakınında yer almıştır. S-8 no'lu kaynak suyu ise buharlaşma etkisini yansıtmaktadır. S-10 no'lu örneğin ³H değerinin 4.9 TU olması bu suların sığ dolaşımli olduklarını doğrulamaktadır.

Jeotermal sular yüksek kotlardan (~2000m, Akdağ formasyonu) beslenen uzun ve derin, soğuk sular ise genelde düşük/orta kotlara düşen yerel yağışlarla beslenen sığ ve kısa dolaşımli sulardır (Şekil 4a ve b) (Afşin vd., 2013). Jeotermal sular yeraltı akış sistemi içinde karbonatlı kayaların (Çaltepe ve Akdağ formasyonları) yanı sıra dolaşım yolu boyunca diğer geçirgen kayalarla

da temas etmiştir (Şekil 2, 3, 4 ve 5). Bu bağlamda, HJS'nin $\delta^{13}\text{C}$ (‰PDB) değerlerine göre, sularındaki CO_2 çözülmüş inorganik karbon, tatlısu/gösel kireçtaşı (Sandıklı formasyonu, jeojenik denizel karbonat (Akdağ formasyonu) ve metamorf (Çaltepe/Hüdaî formasyonu) kökenlidir. Jeotermal suların 14C (pmc) değerleri HJS havzaya binlerce yıl önce düşmüş yağışlarla beslenmiş olduğuna işaret etmektedir. Karbon izotoplarına göre 20.000 yıldan daha fazla görünür yaşa sahip söz konusu jeotermal sular, Holosen döneminde beslenmiş olabilir (Afşin vd., 2012; Afşin vd., 2013).



Şekil 4. Hüdaî jeotermal sularının $\text{d}^{18}\text{O} / \text{d}^2\text{H}$ (A) ve $^3\text{H} / \text{d}^{18}\text{O}$ (B) ilişkileri (Kısaltmalar Şekil 3'deki gibidir.)



Şekil 5. Hüdaî jeotermal sularının basitleştirilmiş jeotermal alan modeli (Dağ, 2011; Afşin vd., 2013)

4. HJA'DA JEOTERMAL ENERJİNİN KULLANIMI

HJA'da 1994 yılından beri MTA Genel Müdürlüğü ve özel şirketler tarafından derinlikleri 50-1050 m, sıcaklıkları 54-82 °C arasında değişen 27 adet (7 özel) sıcak su üretim ve 1 adet re-enjeksiyon kuyusu açılmıştır (Tamgaç vd., 2012; Afşin vd., 2013). Bu jeotermal sular 9000 konutun ısıtılması, seracılık ve termal turizm için kullanılmaktadır.

Ronner (1962)'in yapmış olduğu çalışmada; Hüdayi kaplıca sularının debisinin 100 l/s civarında ve 67 °C olarak ölçülen sıcaklığının Müller (1955)'e göre aslında 85 °C'ye kadar yüksek olup, derinlerde soğuma öncesi sıcaklığın, 100 °C'den fazla olabileceğinden söz edilmiştir. Bu traverten çökeltten jeotermal sular için çok doğru bir yaklaşımdır. Ayrıca, silis jeotermometrelerine göre HJS'nin hazne kaya sıcaklığının 72-122°C dolayında hesaplanması (Afşin vd., 2013), HJA'nın jeotermal sondajlarla ulaşılan 82°C'den daha yüksek sıcaklıklı jeotermal akışkan potansiyeline sahip olduğuna işaret etmektedir.

HJA'da jeotermal su kuyularının fazla sayıda açılması, aralarındaki uzaklığın uygun olmaması ve bilinçsizce yapılan su çekimi, bu kuyulara soğuk suların karışmasına yol açmaktadır. Kontrolsüz şekilde birbirine yakın açılan kuyular, bu kuyuların sıcaklık, basınç, debi vb. şartlarını olumsuz yönde etkilemektedir (Tamgaç vd., 2012). Bu bağlamda, Karaman'daki (2008), HJA'daki jeotermal kuyularda su seviyelerinin 50-100m'lere kadar düşmüş olup, soğuk sular ile sıcak suların karışmakta olduklarını daha önceden belirtmiştir.

Kuyularda yapılan sıcaklık ve basınç ölçümlerinde, bütün kuyuların statik ve dinamik basınç profilleri doğrusal bir artış sunmuştur. Ayrıca, kuyulara soğuk su basılarak yapılan su kaybı testlerinde kuyularda farklı kaçak seviyeleri de tespit edilmiştir. Kuyulara yönelik enjektivite testi ile belirlenen enjektivite indeksi değerleri 14-62 (l/s)/bar arasında olup, girişim testleri sonucunda ise üretilebilecek optimum akışkan miktarı toplam 300 L/s dolayındadır. Son bir yıllık dönemde kuyulardaki seviye düşümleri üretim kuyularında optimum debiden fazla çekim yapıldığının ve jeotermal akışkanın sürdürülebilir kullanım açısından risk altında olduğunun göstergesidir (Tamgaç vd., 2012).

HJA'da iki re-enjeksiyon kuyusu bulunmaktadır. Bunlardan İnpınarı'ndaki 91/4 no'lu 1009 m derinlikli re-enjeksiyon kuyusunda Hüdayi, Çaltepe ve Seydişehir formasyonlarının geçişli olduğu istifte Hüdayi formasyonuna ait kuvarsitlere verilmekte olan jeotermal atık suyun debisi 100 L/s civarındadır. Bu kuyudan dönüş suyu sıcaklığı 45°C olup, çevre kuyularda yaklaşık 2°C sıcaklık düşümü ve 30 m'lik bir yükselim saptanmıştır (B. Seyman ile sözlü görüşme, 01.10.2015). Kaplıca yakınındaki diğer kuyuya (AFS-2) verilmekte olan jeotermal atık suyun debisi ise yaklaşık 25 l/s'dir. HJA'nın enerji potansiyeli dikkate alındığında iki re-enjeksiyon kuyusunun yetersiz olduğu anlaşılabacaktır.

HJA'daki jeotermal suları genelde karbonat ve kuvars minerallerine doygun olup, bunları çöktürme; evaporit minerallerine doygun olmayıp, bunları çözme eğilimlidir. Bu sonuçlara göre, HJA'daki jeotermal sularda eşanjör, inhibitör kullanımı vb gibi önlemler alınmazsa, kabuklanma nedeniyle jeotermal suların kullanımı sırası ve sonrasında ciddi problemler açığa çıkacaktır (Afşin vd., 2013).

Jeotermal kaynakların sürdürülebilirliğinin sağlanması bu kaynakların korunmasına bağlıdır. Bu durumda, hem jeotermal kaynağın dolayısıyla da jeotermal akışkanı bünyesinde bulunduran rezervuarın çevresel etkenlerle kirlenmemesi, hem de rezervuardaki basınç ve sıcaklık şartlarındaki olumsuz değişimlerin önüne geçilmesi için önlemler şarttır (Afşin vd., 2013). Bu bağ-

lamda, HJA'da jeotermal suların 2.000 m³ kapasiteli bir havuzda toplandıktan sonra merkezi dağıtımı için Sanjet A.Ş. tarafından yürütülen çalışmalar sürdürülmektedir (B. Seyman ile sözlü görüşme, 01.10.2015). Bu çalışma, jeotermal suların sürdürülebilir kullanımı için atılmış çok önemli bir adımdır.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

HJA'daki jeotermal üretim kuyularında rezervuardaki sıcaklık ve basınç şartlarında meydana gelebilecek değişimler, üç aylık dönemler halinde basınç, sıcaklık, girişim, basınç yükselim ve basınç düşüm testleri yardımıyla gözlenmelidir.

Üretim kuyularında 6 ayda bir, reenjeksiyon kuyularında ise en az 3 ayda bir alınacak su örneklerinin kimyasal analizleri yapılarak, kabuklaşma ve korozyon problemleri ile rezervuardaki çatlaklı zonların kısmen veya tamamen tıkanmasına yol açabilecek parametreler kontrol edilmelidir.

Hüdaı kaplıcası civarında DSİ Genel Müdürlüğü'nden soğuk su ruhsatı alınarak sulama amacıyla açılan 200-300m derinlikteki kuyularda 28-40 °C arasında su alınmakta olup, bu kuyuların kullanımını kısıtlanmalıdır.

İnceleme alanında jeotermal sular ısıtmacılık (merkezi ısıtma ve sera ısıtması) ve sağlık turizmi amaçları için kullanılmaktadır. Jeotermal suların alternatif kullanım imkanları (kurutma, soğutma, damıtma, buharlaştırma, deri işleme vb.) araştırılmalıdır.

HJA'da, koruma-kullanım/beslenme-boşalım dengesine uyulması halinde, gelecekte ısıtılan konut sayısı artırılabilir; sebze-meyva kurutmacılığı, kültür balıkçılığı yapılabilir ve 100°C'yi aşan akışkan elde edilmesi durumunda elektrik santrali kurulabilir.

Teşekkür: Yazarlar, bu çalışmayı 110Y034 no'lu proje ile maddî olarak destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK); arazi çalışmaları sırasında yardımlarından dolayı bursiyerler Jeoloji Yük. Müh. Tuğba Gültekin ve Jeoloji Müh. Orhan Gülveren; lojistik ve veri desteği sağlayan dönemin Sandıklı Belediye Başkanı İsmail Elibol; Sanjet A.Ş.'den Jeoloji Müh. Bahadır Seyman, Hüdaı Kaplıcası İşletme Yetkilileri, MTA Genel Müdürlüğü'nden Ömer F. Tamgaç; projenin malî işlemlerini titizlikle yürüten Aksaray Üniversitesi Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı ile emeği geçen herkese teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Aduybim, 2009. İnternet Sitesi. <http://www2.aduybim.org/cbswebs/acbs.asp>. Erişim Tarihi: 09.06.2009.
- Afşin, M., Davraz, A., Aksever, F., Karakaş, Z., Hınıs, M.A., Erdoğan, N., Gürdal, H., 2014. Hüdaı (Sandıklı) jeotermal alanında jeotermal enerji kullanımının dünü, bugünü ve geleceği Markakent Sandıklı Sempozyumu, 15-18 Ekim 2014) Afyon Bildiri Kitabı, Editör Y. Karaca, 265-279. Sandıklı.
- Afşin, M., Davraz, A., Karakaş, Z., Hınıs, M.A., Aksever, F., 2013. Hüdaı (Sandıklı-Afyonkarahisar) Jeotermal Alanı ve Çevresinin Hidrojeolojik, Hidrojeokimyasal ve İzotopik İncelemesi. TÜBİTAK 110Y034 no'lu proje, 124 s. (yayımlanmamış).
- Afşin, M., Dağ, T., Davraz, A., Aksever, F., Karakaş, Z., 2012. The Origin and Sustainability of Hudai Geothermal Waters, Sandikli, Afyonkarahisar, Turkey, 39th IAH Congress (16-21 September, 2012), Niagara Falls, Canada, p.288-289.
- Afşin, M., 1997. Hydrochemical Evolution and Water Quality Along the Groundwater Flow Path in the Sandıklı Plain, Afyon, Turkey, Environmental Geology, 31¼, 221-230.

- Afşin, M., Canik, B., 1996. Hüdai (Sandıklı/Afyon) Sıcak ve Mineralli Su Kaynaklarının Hidrojeoloji ve Hidrokimyasal İncelemesi ve Kökensel Yorumu, *Yerbilimleri Dergisi (Geosound)*, 28,69-86, Adana.
- Afşin, M., 1991. Afyon Sandıklı Kuruçay Ovası ve Hüdai Kaplıcasının Hidrojeoloji İncelemesi, Ankara Üniversitesi, Doktora Tezi, 330s, Ankara.
- Akan, B., Tamgaç, Ö.F., Ünal, H., 2008. Afyon - Sandıklı Jeotermal Sahası Koruma Alanlarının Belirlenmesi, *Termal Mineralli Sular Konferansı*, 376-389, Nisan 2008, 51-62, 5th World Water Forum, Afyonkarahisar.
- Aksever, F., 2011. Afyon-Sandıklı Havzası Hidrojeoloji İncelemesi, S. Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta, 231s.
- Cihan, M., Koçyiğit A., 2000. Neotectonic Characteristics of Sandıklı (Afyon) Graben. *The Proceeding of Seismicity of Western Anatolia BADSEM 2000*. 166-174.
- Çakmakoğlu, A., 1986., Çivril- Banaz- Sandıklı- Dinar Arasındaki Bölgenin Jeolojisi (K23-c1,c2,c3,c4d3; K24-d3,d4; L23-a2,a3,b1,b2,b3,b4; L24-a1,a2,a3,a4), MTA Rap. Derleme No: 8062, Ankara.
- Dağ, T., 2012. Hüdai (Sandıklı-Afyonkarahisar) Jeotermal Sularının Kökeninin ve Sürdürülebilir Kullanımının Değerlendirilmesi, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enst Yüksek Lisans Tezi, (yayımlanmamış).
- Gürsu, S., Göncüoğlu, M., C., 2005. Batı Torosların (Sandıklı GB'sı, Afyon) Geç Neoproterozoyik ve Erken Paleozoyik Yaşlı Birimlerinin Jeolojisi ve Petrografisi, *MTA Dergisi*, 130, 29-55, Ankara.
- Karamanderesi, İ.H., 2008, Afyonkarahisar Jeotermal Sahalarının Jeolojik ve Mineralojik Evrimi, *Termal ve Maden Suları Konferansı*, 24-25 Nisan 2008, 51-62, 5th World Water Forum, Afyonkarahisar.
- Müller, G., 1955. Afyon Vilayetindeki Termal Kaynaklar. MTA Rap. No. 2220, yayımlanmamış, Ankara.
- Öngür, T., 1973. Sandıklı (Afyon) Jeotermal Araştırma Bölgesine İlişkin Jeolojik Durum ve Jeotermal Enerji Olanakları, *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No:5520*, Ankara, (yayımlanmamış).
- Özpinar, Y., 2008. Sandıklı (Afyon) Yöresinde, Şabazit ve Fillipsit Minerali İçeren Tüflerin Mineralojik, Petrografik ve İyon Değiştirme Özellikleri ve Tarımda Kullanılması (Güneybatı Anadolu, Türkiye), *MTA Dergisi* 137, 27-47.
- Ronner, F., 1962. Sandıklı Ovası Çöküntüsü-Genç Tektonik ve Volkanik Durumlar. *MTA Enstitüsü Dergisi*, 59, 69-88, Ankara.
- Tamgaç, Ö.F., Doğdu, N., İncegil, F., Ünal, H., Akar, M., 2012. Sandıklı (Afyonkarahisar) Jeotermal Alanına ait Revize Jeotermal Kaynak Koruma Alanları Etüt Raporu, MTA Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi, 105 s, Ankara (yayımlanmamış).

CO₂ DEPOLAMA SAHALARININ DOĞAL BENZERLERİ OLARAK TÜRKİYE'DEKİ JEOTERMAL SAHALAR: GAZ JEOKİMYASI VE CO₂ KAPANLANMA MEKANİZMALARINA İLİŞKİN ÇIKARIMLAR

Nilgün Güleç¹, David R. Hilton²

¹Jeoloji Müh. Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, 06800 Ankara

²Fluids and Volatiles Laboratory, Geosciences Research Division, Scripps Inst. of Oceanography, UCSD, La Jolla, CA 92093-0244, USA
(nilgun@metu.edu.tr)

ÖZ

Küresel ısınma sorununun, başlıca, termik santraller ve endüstriyel tesislerden salınan CO₂ gazından kaynaklandığı bilimsel çevrelerce kabul edilen bir olgudur. Karbonun yakalanması ve yeraltında depolanması (Carbon Capture and Storage, CCS), sorunun kısa vadede çözümü için önerilen stratejilerden biridir. Konvansiyonel yakıtlara alternatif, temiz, yenilenebilir enerji kaynağı olan jeotermal sistemler, CO₂ gazının yeraltında depolanabileceği başlıca rezervuarlardan biri kabul edilen derin- tuzlu akiferlerin de doğal benzerleri konumundadır. Bu bağlamda, jeotermal enerji üretimi ve CO₂ depolanması konularını bütünleşik ele alan AR-GE projeleri, son yıllarda sanayi-üniversite ortaklığı çerçevesinde yürütülmesi planlanan öncelikli projelerden biri konumunu kazanmıştır.

Bu çalışma, Türkiye jeotermal sistemlerine ilişkin olarak gaz jeokimyası ve izotop verilerinin, derin akiferlerde CO₂ kapanlanma mekanizmalarının belirlenmesi bağlamında değerlendirilmesine odaklıdır. Batı Anadolu bölgesi ve Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) boyunca yerleşik jeotermal sahalarla ilişkin CO₂-He gaz sistematiği (d¹³C, CO₂, ³He/CO₂), başlıca kimyasal kapanlanma mekanizmaları olan “çözünme” ve “kalsit çökelişi” süreçlerinin ayırt edilebilmesi amacıyla, modelleme çalışmalarında kullanılmıştır. Modelleme çalışmalarında, CO₂ ve He gazları ile ¹³C ve ¹²C izotopları arasında sıcaklığa ve pH'a bağlı olarak değişen fraksiyonlaşma ve bu süreç için geliştirilmiş olan *Rayleigh Fraksiyonlaşma* eşitlikleri temel alınmıştır. Daha önceki çalışmalarımızda izleme amaçlı olarak yılda 3 kez örneklenmiş olan KAFZ civarındaki sahalar için yeterli veri sözkonusu olmakla birlikte, bölgesel ölçekte örnekleme sözkonusu olduğu ve dolayısıyla belli bir sahaya ilişkin verilerin tek bir örneğe indeksli bulunduğu batı Anadolu bölgesindeki sahalar, sıcaklık ve tektonik konumları bazında gruplanarak modellenmiştir. Bu bağlamda, uzun vadedeki potansiyel CO₂ depolama projeleri için bir ön araştırma niteliği taşıyan bu çalışma sonuçları, çoğu sahada CO₂ gazının “çözünme” süreci yoluyla yeraltında tutulduğunu işaret etmektedir; rezervuar sıcaklıklarına yakın sıcaklıklarda “kalsit çökelişi” sürecinin de çözülmeye eşlik ettiği görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: CO₂ Depolanması, Kapanlanma Mekanizması, Jeotermal Saha, Gaz Jeokimyası, İzotop Bileşimi

TURKISH GEOTHERMAL FIELDS AS NATURAL ANALOGUES OF CO₂ STORAGE SITES: GAS GEOCHEMISTRY AND IMPLICATIONS FOR CO₂ TRAPPING MECHANISMS

Nilgün Güleç¹, David R. Hilton²

¹Dept. of Geological Eng., Middle East Technical University, 06800 Ankara

²Fluids and Volatiles Laboratory, Geosciences Research Division, Scripps Inst. of
Oceanography, UCSD, La Jolla, CA 92093-0244, USA

(nilgun@metu.edu.tr)

ABSTRACT

It is widely accepted by scientific community that CO₂ emission from thermal power plants and industrial activities is the main cause of global warming. Carbon Capture and Storage (CCS) is one of the strategies proposed for solution of this problem in the short term. Geothermal systems, being clean, renewable energy sources alternative to conventional fuels, comprise natural analogues of deep-saline aquifers which are accepted as one of the potential reservoirs for CO₂ storage. In this respect, R&D projects embracing both geothermal energy production and CO₂ storage have recently become one of the priority projects to be implemented by university-industry collaboration.

This study is focused on assessment of gas geochemistry and isotope composition of Turkish geothermal systems in terms of CO₂ trapping mechanisms involved in deep aquifers. CO₂-He gas systematics (d¹³C, CO₂, ³He/CO₂) of geothermal fields located in western Anatolia and along the North Anatolian Fault Zone (NAFZ), are used in modelling studies to achieve a distinction between different chemical trapping mechanisms, mainly, “dissolution” and “calcite precipitation”. Modelling is essentially based on the use of Rayleigh fractionation equations for temperature- and pH-dependent fractionation between CO₂ and He gases, and ¹³C and ¹²C isotopes. The available data are adequate for modelling of fields located along NAFZ where samples were collected 3 times per year per locality for monitoring purposes. In western Anatolia, owing to regionwide distribution pattern of sampling, the available dataset is restricted to a single sample from each specific location, hence modelling for this region is based on grouping of fields according to their temperature and tectonic setting. The present study comprises, in this respect, a preliminary research for potential storage projects in the long-term, and points to “dissolution” as the major trapping mechanism in most fields; “calcite precipitation” accompanies dissolution at temperatures close to those at reservoir conditions.

Keywords: CO₂ storage, Trapping Mechanism, Geothermal Field, Gas Geochemistry, Isotope Composition

JEOTERMAL SAHALARA YÖNELİK YÜKSEK BASINÇ VE SICAKLIK ALTINDA YAPAY METAL (FE, MG) SİLİKAT ELDESİ VE METAL SİLİKAT KABUKLAŞMASINA YÖNELİK POLİMERİK İNHİBİTÖR GELİŞTİRİLMESİ

Aslı Çelik¹, Alper Baba², Mustafa M. Demir

¹ İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Urla, İzmir

² İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Jeotermal Enerji Araştırma ve Uyg. Mrk., Urla, İzmir
(aslicelik@iyte.edu.tr)

ÖZ

Son yıllarda artan enerji talebi ve kısıtlı fosil yakıt rezervlerine sahip olması nedeni ile Türkiye yenilenebilir enerji kaynaklarına ağırlık vermiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemlilerinden bir tanesi jeotermal enerjidir. Jeotermal enerji, yer kabuğunun farklı derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına göre daha sıcak ve fazla çözülmüş madde içeren akışkanlardan (sıcak su, buhar ve gaz) elde edilen çevre dostu bir enerji türüdür. Türkiye jeotermal enerji kaynakları bakımından zengin olmasına rağmen hem enerji üretiminde hem de doğrudan kullanımda (ısıtma, sera, termal turizm vb) ciddi silikat kabuklaşması problemi ile karşı karşıyadır. Kabuklaşma problemi karbondioksit gazının düşen sıcaklık ve basınç ile birlikte ayrılması sonucu pH'nın yükselmesinden kaynaklanmaktadır. Jeotermal sistemlerde akışkanı yüzeye taşıyan yapılar zamanla oluşan karbonat, silikat ve metal-silikat kabuğu ile daralmakta hatta tıkanmaktadır. Literatürde silikat kabuklaşması problemine ilişkin henüz çevre dostu ve sisteme zararsız kesin bir çözüm bulunamamıştır. Örneğin, günümüzde metal-silikat kabuklaşmasına çözüm olarak çok kuvvetli bir asit olan hidroflorik asit kullanılmakta ya da sistem durdurularak mekanik temizleme yapıp oluşan kabuk geçici süreli giderilmektedir. TÜBİTAK 114Z940 nolu projesi tarafından desteklenen bu çalışma kapsamında, jeotermal akışkanında bulunan koşulları laboratuvar ortamında sağlayabilmek adına pH, basınç ve sıcaklık kontrolü yapabilecek bir otoklav cihazı ile sentetik kabuk oluşturulması planlanmıştır. Otoklav cihazı ile gerçek saha koşulları tatbik edilmekte ve metal-silikat kabuklaşmasının tepkime kinetiği araştırılmaktadır. Bu projenin başlangıç aşamasında, yapay metal-silikat kabuğu sentezi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Na_2SiO_3 , $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, Na_2CO_3 tuzlarının çözeltileri, 90°C sıcaklıkta, 6 saat süre ile pişirilmiştir ve morfolojik ve elementel kompozisyonu açısından doğal kabuk ile karşılaştırılmıştır. Tuz çözeltileri eklenme sırası ve derişim anlamında farklı kombinasyonlar halinde denenmiştir. Tuzla jeotermal sahasında meydana gelen kabuk kompozisyonu morfolojik yapısı ve elementel kütlece bileşimi analiz edilmiş olup, elde edilen bilgilerin ışığında laboratuvar koşullarında geri akış (reflux) sisteminde denemeler gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda hem engelleyici hem de dağıtıcı özelliklere sahip terkopolimer molekülü sentezi hedeflenmektedir. Bunun için polietilenglikol, polivinilpirrolidon, fosfonik asit, akrilamid vb. gibi daha önce çalışılmış ve inhibitör ya da dispersant etkinliğini kısmen göstermiş makro ve mikro moleküllerin tepkime kinetikleri otoklav kullanılarak irdelenecek ve hedefe uygun moleküllerin türevleri ya da tamamen farklı yapıların inhibitör etkinlikleri çalışılacaktır. Çalışmanın son aşamasında ise istenilen seviyede verim gösteren inhibitör ve dispersant özellikte moleküllerden oluşan terkopolimer sentezlenecektir.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal akışkan, kabuklaşma, metal-silikat, inhibitör

SYNTHESIZING OF ARTIFICIAL METAL (FE, MG) SILICATE DEPOSITS UNDER HIGH PRESSURE AND TEMPERATURE CONDITIONS AND DEVELOPMENT OF POLIMERIC INHIBITOR FOR METAL SILICATE SCALING

Aslı Çelik¹, Alper Baba², Mustafa M. Demir

¹Izmir Institute of Technology, Material Science and Engineering Department, Urla, Izmir

²Izmir Institute of Technology, Geothermal Energy Research and App. Center, Urla, Izmir
(aslicelik@iyte.edu.tr)

ABSTRACT

In recent years, Turkey searches for alternative energy sources, because of lacking of fossil fuels. Turkey has rich sources of geothermal reservoirs. Geothermal energy is one of the most important renewable and environmentally friendly energy sources and is formed by the heat of molten rocks, which is accumulated at different level of the crust. This fluid has more dissolved matter and hotter than it's environment of under and above ground waters (hot water, steam and gases). Although Turkey has high installed geothermal potential capacity, the producers are faced with a serious scaling problem for both producing electricity and direct use (heating, thermal tourism etc.). Silicate problem is resulted with decrease in both temperature and pressure when fluid carried from down to top, which means also releasing the carbon dioxide gas and increase in pH. Geothermal power plant's components are clogging in time with calcite, silicate and metal-silicate scale. Unfortunately there isn't any solution which is not harmful for both environment and the power plant's system. For example, cleaning mechanically or washing with hydrofluoric acid (one of the strongest acid), is today's temporary solution for scaling problem. This process requires shut-down the system to apply.

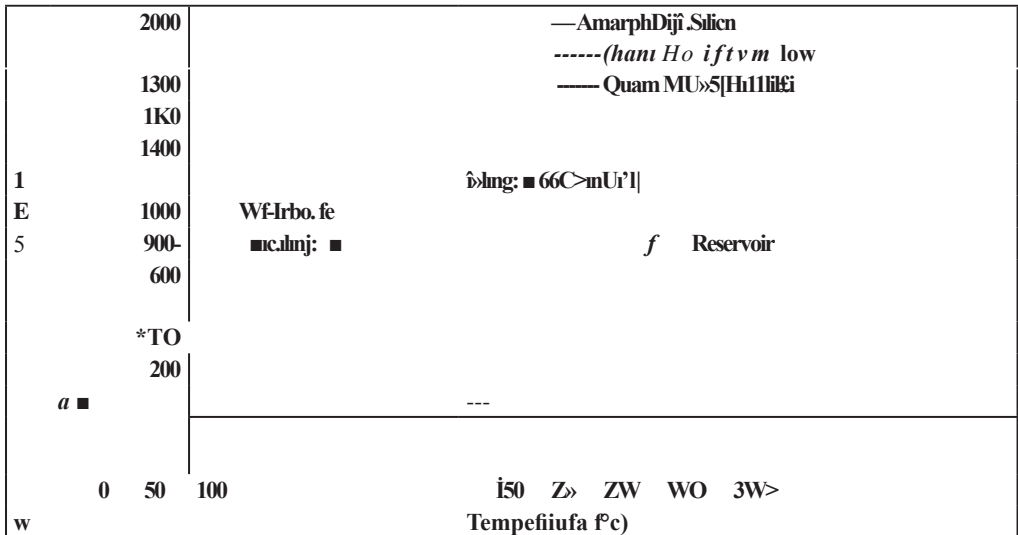
This work is supported by TÜBİTAK 114Z940 project and to be aimed to provide exact conditions of fluid in laboratory conditions by controlling pH, temperature and pressure with autoclave device to produce synthetic scale. Optimum conditions are provided and reaction kinetics of metal-silicate scaling is investigated with the help of autoclave. In the beginning of this study, formation of metal-silicate scale was examined. Aqueous solutions of Na_2SiO_3 , $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, Na_2CO_3 were used and reacted at 90°C for 6 hours. The scale's elemental compositions and morphological properties were compared with natural scale. Metal-salt solutions were experimented with different concentrations and addition order. The scale's composition of elements and morphological properties were analyzed that formed in Tuzla geothermal field. In light of this information the trials were performed with reflux system at laboratory conditions. In this project, synthesizing a tercopolymer molecule aimed which has both inhibitory and dispersing properties. For this purpose, polyethylene glycol, polyvinyl pyrrolidone, phosphonic acid, acrylamide, etc. molecules, that their inhibitory or dispersing activities were investigated in previous works in literature, will be examined with autoclave device to understand their inhibition efficiencies. After this step, known molecules that have the closest efficiency or totally different macro and micro molecules will experimented for the purpose which are then selected to synthesize tercopolymer macromolecule that have both inhibitor and dispersant activity.

Keywords: Geothermal fluid, scaling, metal-silicate, inhibitor

GİRİŞ

Artan enerji talebi ve kısıtlı fosil rezervlerine sahip olması nedeni ile Türkiye güneş, rüzgâr, jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına ağırlık vermiştir.^{1,2} Bu kaynaklardan en önemlilerinden bir tanesi jeotermal enerjidir.^{3,6} Jeotermal enerji, yeraltı sularının magmaya yakın ısıtıcı kayalardan alarak yerkabuğunda depolanan enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülebildiği döngüsel ve sürdürülebilir bir enerji türüdür. Jeolojik ve tektonik özellikleri nedeni ile Türkiye jeotermal enerji kaynakları bakımından zengin olmasına rağmen hem enerji üretiminde hem de doğrudan kullanımda ciddi kabuklaşma problemi ile karşı karşıyadır.^{7,8} Metal-silikat ve silikat kabuklaşmasının ana nedeni, jeotermal sistemlerde akışkanı yeryüzüne taşıyan sistem bileşenlerinde düşen basınç ve sıcaklık değeri ile pH'nın artmasıdır.⁹⁻¹⁰ Şekil 1'de silikatın sıcaklık değişimi ile birlikte jeotermal sistemlerde silikatın çözünürlüğü ile ilgili grafik verilmiştir. Sıcaklık azaldıkça SiO₂'ın çözünürlüğü de azalmaktadır. Günümüzde metal-silikat kabuklaşmasının gideriminde hidroflorik asit kullanımı ya da mekanik temizleme yöntemleri kullanılmaktadır. Fakat bu durum hem sisteme ve çevreye çok zararlı hem de kesin bir çözüm değildir.”⁹

Jeotermal enerji kaynağından tam verimle yararlanılabilmesi için tüm dünyadaki uygulamalarda ortak bir sorun olan kabuklaşmanın engellenmesi son derece önemlidir. Düşen sıcaklık ile birlikte pH'nın artması, düşük pH (pH 5-6) değerlerinde çözünür olan silikanın Fe, Mg, Al gibi alkali metalleri ile birlikte amorf yapıda kolloidal bir yapı oluşturmaya sebep olmaktadır.⁰ Kabuklaşma problemini çözmek amacı ile metal-silikat kabuk oluşum mekanizmasını anlamaya yönelik çalışmaların yapılması son derece önemlidir. Ülkemizde de metal-silikat kabuklaşmasına yönelik problemler son dönemlerde artmıştır. Türkiye'nin kuzeybatısında Biga Yarımadasında yer alan yüksek tuzluluğa sahip Tuzla jeotermal sahasındaki metal-silikat kabuklaşması buna bir örnektir. Bu çalışma kapsamında, bu alanda oluşan metal-silikat kabuk yapısının irdelemesi, bu kabuğa benzer kompozisyonda sentetik kabuk sentezlenmesi ve bu kabuğun en aza indirgemeye yönelik literatürde daha önce çalışılmış polimerik yapıların etkinliğinin araştırılması hedeflenmiştir.



Şekil 1: Silikanın sıcaklık değişimine göre çözünme grafiği

ÇALIŞMA ALANI

Bu çalışma kapsamında, Türkiye'nin kuzeybatısında Biga Yarımadasında yer alan Tuzla jeotermal sahasındaki akışkan incelenmiştir. Tuzla Jeotermal Sahası (TJS), Çanakkale'nin 80 km güneyinde ve Ege Bölgesine 5 km uzaklıkta bulunmaktadır (Şekil 2). Tuzla jeotermal sahası sıcaklık bakımından Türkiye'nin en önemli jeotermal sahalardan bir tanesi durumundadır. Gerek bölgenin istifinin belirlenmesi gerekse jeotermal sistemin özelliklerinin belirlenmesi açısından 1966 yılından bu yana hem MTA Genel Müdürlüğü hem de Tuzla Jeotermal A.Ş tarafından Tuzla ve çevresinde derin sondaj çalışmaları yapılmıştır. Açılan sondajlardan 174°C kuyu dibi sıcaklığı, 166°C kuyu başı sıcaklıkları ölçülmüştür. Sığ bir volkanik rezervuara yakın olan jeotermal saha hem sıcaklık hem de içerdiği çözülmüş iyon derişimi yönünden özel bir bölgedir. NaCl içeriği bakımından neredeyse deniz suyuna göre iki kat derişiktir.¹⁵

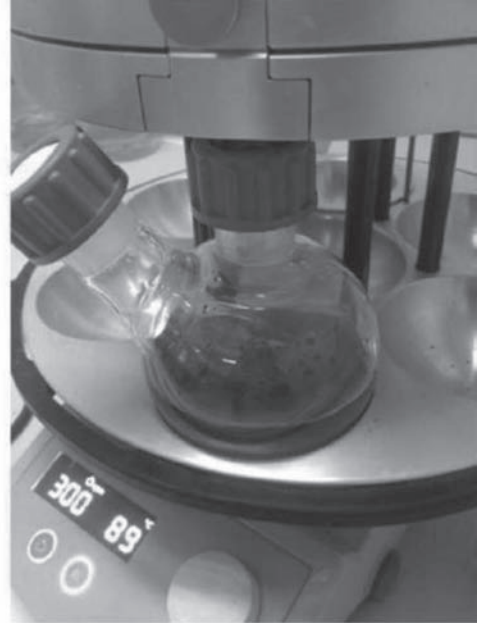
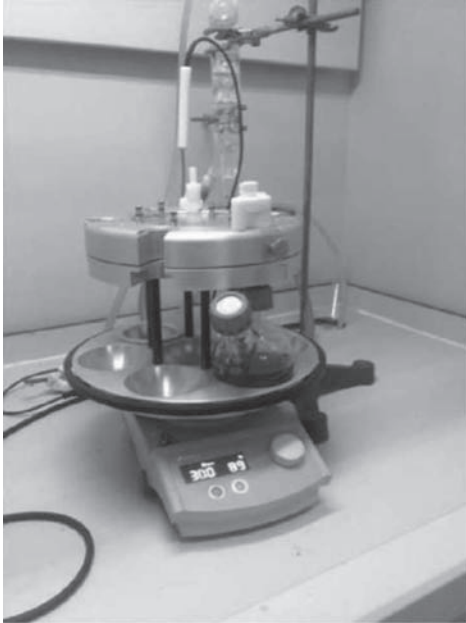


Şekil 2: İnceleme alanının yer buldum haritası

METOD VE MATERYAL

Bu çalışma kapsamında, Tuzla Jeotermal Sahasındaki akışkandan kaynaklanan kabuğun özelliklerinin araştırılması ve bir otoklav cihazı ile benzer sentetik kabuğun oluşturulması planlanmıştır. Bu nedenle, Gallup (2002) tarafında da yaygın olarak kullanılan prosedürler dikkate alınmıştır¹⁶. Öncelikle, çalışmaya 1000 ppm Siü₂ derişimi ile başlanılıp, diğer iyonların derişimi molce (1:1) oranında eklenmiştir. Tuzla jeotermal sahasındaki akışkanda yüksek oranda klorür iyonunun bulunması nedeni ile karşıt iyon olarak klorür seçilmiş ve Fe, Mg ve Ca iyonlarının klorürlü bileşikleri kullanılmıştır. Şekil 3' te gösterilen geri akış (reflux) methodu ile sentezle-

nen kabuğun morfolojik yapısı X-ışını kırınımı (XRD) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) yöntemleri ile belirlenmiştir. Toz halinde öğütülerek hazırlanan örnekler $20 = 5-80^\circ$ aralığında taranarak XRD analizi, altın kaplanarak ve yüksek vakumda SEM görüntüleri alınmıştır. Tepkime sonucunda elde edilen kabuk ve akışkanın elementel kompozisyonu X-ışını floresans (XRF), indüklenmiş eşleşmiş plazma atomik emisyon spektrometri (ICP-AES) ve ultraviyole silicamolibdat spektrofotometre analizleri ile hesaplanmıştır. Sentezlenen kabuklar hidroklorik asit içinde çözülerek ICP-AES analizine hazırlanmıştır. Yapılan denemelerin analizlerinde su iyon derişimleri için UV-silikamolibdat spektrofotometre ile silikat iyonu derişimi, ICP-AES analizi ile de sırasıyla Fe^{2+} , Ca^{2+} Mg^{2+} ve Na^+ derişimleri hesaplanmıştır.^B Bu çalışmalara ek olarak toz halindeki kütlece (%) kabuk elementel kompozisyonu XRF metodu ile belirlenmiştir.



Şekil 3: Çoklu ısıtıcılı geri akış (reflux) sistemi.

ÖN SONUÇLAR

Tuzla jeotermal sahasında (TJS) bulunan jeotermal santralinin bazı noktalarında kabuklaşma oluşmaktadır (Şekil 4). TJS'deki sistemin buharlaştırıcı bileşeninde meydana gelen kabuk örneklerinin XRD analizi sonucuna göre, iki çeşit kabuk yapısı görülmektedir. Kristal olan yapının PbS (Galena) ve kalsitten oluştuğu, amorf yapının ise katmanlar halinde silika, demir ve magnezyum oksit ile sodyum klorür içerdiği saptanmıştır. Tuzla jeotermal sahasının kuyu dibi sıcaklığı $174^\circ C$ 'dir ve bu veri bize silikatça derişik bir akışkan yapısına sahip olduğu önbilgisini sağlamaktadır.¹⁵ Alandaki jeotermal akışkan iyon derişimi Tablo 1' de, kabuk elementel yüzde kompozisyonu da Tablo 2'de verilmiştir. Kabuk yapısını belirlemeye yönelik olarak yapılan XRD analizi ile amorf bir yapıda olduğu anlaşılmıştır. XRF yöntemi ile kabuğun yaklaşık yüzdesel elementel kompozisyonu belirlenmiştir. Tuzla jeotermal sahasından elde edilen bu veriler ışığında, gerçeğe en uygun kabuk yapısı eldesi için gerekli parametreler üzerinde çalışılmaya başlanmıştır. Üzerinde çalışılan parametreler: iyon derişimi, sıcaklık ve zamandır. Tablo 3'te sentetik olarak sentezlenen jeotermal akışkanın Tuzla jeotermal sahasındaki akışkan iyon deri-

şimine yaklaşmak için yapılan deneyleri göstermektedir. Yapılan denemelerde zaman ve iyon derişimi parametreleri irdelenmiştir. Alınan sonuçlara göre (Tablo 5) 6 saatlik tepkime süresinin 4 saate göre daha yakın sonuç verdiği ve metal iyon yüzdesinin kabuk kompozisyonunda arttığı görülmüştür. Tablo 5' teki 3 ve 4 nolu çalışmalarda başlangıç prosedüründe elde edilen sonuçlardan yola çıkılarak, kabukta kütlece bulunma yüzdesi arttırılmak istenen SiO_2 ve Mg^{2+} iyonlarının oranları arttırılmıştır. Şekil 5'te sentezlenen metal-silikat kabuklarının SEM görüntülerinden sentetik kabuğun mikronaltı çapa sahip küresel kristaller içerdiğini ve bu kristallerin amorf bir matris içerisinde olduğu düşünülmektedir. Küresel tanecikler doğal kabuğun morfolojisi ile benzerlik göstermektedir. Bu deneylere paralel olarak gerçekleştirilen tepkimelerin su ve kabuk analizleri ile birlikte bunların morfolojik olarak kabuk özellikleri de incelenmiştir. Şekil 6'da XRD analizleri yapılan metal-silikat kabuklarının kristal yapıda olup olmadıkları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, doğal kabuk ile karşılaştırılan XRD verilerinden amorf yapıda kabuk sentezlendiği anlaşılmıştır. Tablo 4'te sentetik kabuk eldesi için elde edilen iyon derişimlerinin sonuçları, Tablo 5'te sentetik olarak elde edilen kabukta bulunan iyonların yüzdesel bileşimi ve Tablo 6'da ise gerçek kabuğa en yakın kompozisyona sahip denemenin sonuçları verilmektedir. Şekil 5 ve Şekil 6'da ise sahadan alınan kabuk, literatürden sağlanan kabuk örneği ve bu çalışma sonucu elde edilen kabuk örneklerin morfolojik özellikleri sunulmuştur. Yapılan XRD, XRF ve SEM analizlerine göre TJS'de oluşan kabuğa en yakın sonucun 3 numaralı denemede elde edilen kabuk kompozisyonu ile sağlandığı saptanmıştır.



Şekil 4: Tuzla Jeotermal Sahasında gözlenen kabuklardan görünüm

Tablo 1: Tuzla Jeotermal Sahasından alınan kabuğun iyon derişimi

Bileşenler	Derişim (ppm)
SiO_2	201,8±14
Fe^{2+}	2,99±0,8
Ca^{2+}	5,43±0,04
Mg^{2+}	106,8±11,4
Na^+	19,2±0,15

Tablo 2: Tuzla Jeotermal Sahasında oluşan metal-silikat kabuğunun analizi.

Elementler	Kütlece (%) Kompozisyon
Si	12,3
Fe	27,7
Ca	2,7
Mg	3,7
Na	5,0

Tablo 3: Sentetik olarak sentezlenen jeotermal akışkanın TJS'deki akışkanın iyon derişimine yaklaşmak için yapılan denemelerde başlangıç derişimleri

Denemeler	Başlangıç Derişimleri (ppm)					Zaman (saat)
	SiO ₂	Fe ²⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	
Literatür	1000	927	665	403	381	4
1			133	806		6
2			133	806		4
3			10000	665		4030
4	5000			2015		6

Tablo 4: Sentetik kabuk eldesi için yapılan çalışmalarda elde edilen iyon derişimlerinin ICP-AES ve uv-silikamolibdat (renklendirme) metodu ile analizleri

Deneme	SiO ₂	Fe ²⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
TJS Akışkanı	201,8±14	2,99±0,8	5,43±0,04	106,8±11,4	19,2±0,15
Literatür	257,3±29,7	37,4±10,9	66,5±7,8	81,8±10,4	77,6±6,2
1	97±4,2	92,7±12,5	80,3±1,03	142,5±19,3	45,3±1
2	104,4±0,9	104,6±3,1	80,6±10,2	158,4±8,5	44,4±3,1
3	927,9	18	81,6	522,8	268
4	448,8	2,22	107,2	368,87	189,8

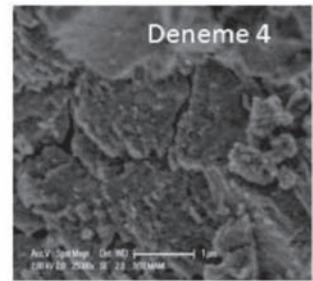
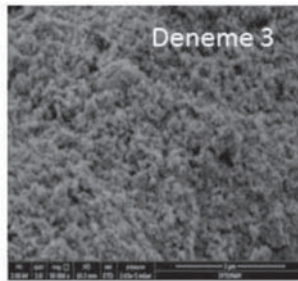
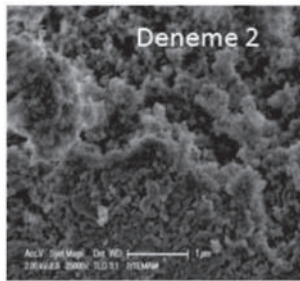
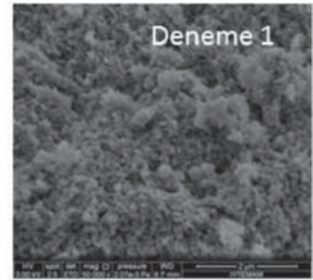
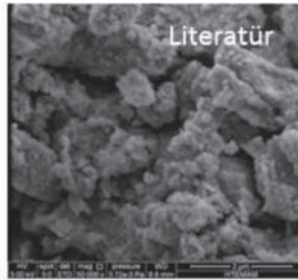
Tablo 5: Sentetik olarak elde edilen kabukta bulunan iyonların ICP-AES metodu ile ölçülen yüzdesel bileşimi.

Kütlece (%) Kompozisyon

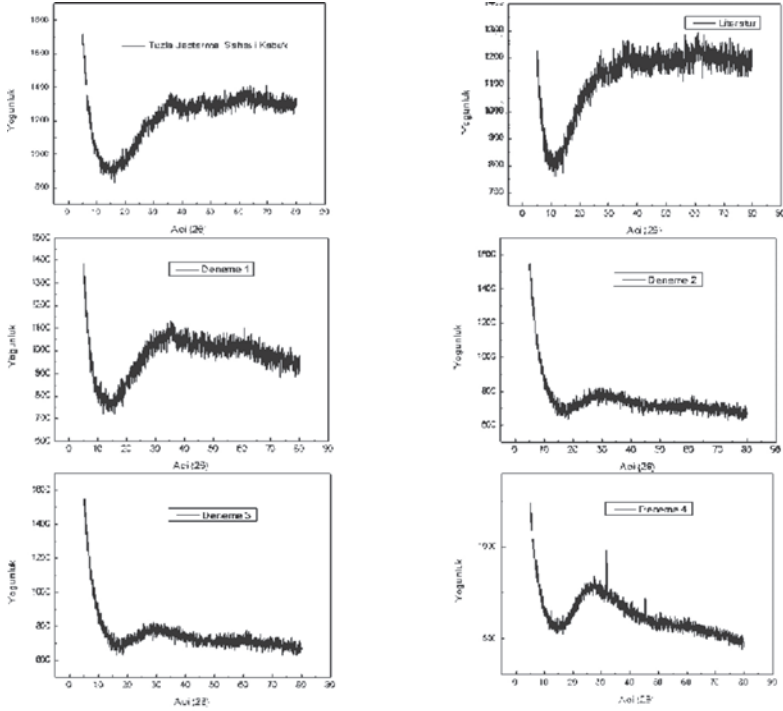
Deneme	SiO ₂	Fe	Ca	Mg	Na
TJS kabuk	12,3	27,7	2,7	3,7	5,0
Literatür	1,1	8,4	0,14	0,21	0,11
1	5,54±0,1	59,2±0,32	1,66±0,46	0,11±0,1	0,15
2	5,31±0,37	54±1,76	1,6±0,52	0,13±0,02	0,15
3	7,8	3,78	0,32	2,88	1,14
4	2,0	5,36	0,62	1,92	0,96

Tablo 6: Yapılan çalışmalarda gerçek kabuğa en yakın kompozisyona sahip denemenin XRF sonucu.

Deneme (3) XRF Sonuçları	
Elementler	Kütlece (%) Kompozisyon
Si	4,0
Fe	20,0
Mg	13,2
Ca	1,5
Na	12,8
Cl	11,0



Şekil 5: Tuzla jeotermal sahasında oluşan kabuk ve yapılan denemelerde elde edilen sentetik kabukların SEM görüntüleri



Şekil 6: TJS’de oluşan kabuk ve sentezlenen sentetik kabukların kristal yapı tayini (XRD)

SONUÇ VE ÖNERİLER

Jeotermal sistemlerde kabuklaşma ekonomik anlamda şirketler için çok büyük bir yükür. Oluşan kabuğun oluşum mekanizmasının bilinmesi son derece önemlidir. Sorunların en aza indirilmesi için öncelikle akışkanın ve oluşan kabuğun özelliklerinin çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Sistemlerde kabuğu önlemek için direkt olarak uygulanan inhibitörler çoğu zaman mekanik ve ekonomik problemler yaratabilmekte ve yeni jeokimyasal sorunlar oluşturmaktadır. Bu nedenle, laboratuvar koşullarında jeotermal sistemlerdeki gibi benzer sentetik kabuğun oluşturulması ve bu kabuğun giderimine yönelik testlerin yapılması hem ekonomik hem de çevre açısından önemli avantajlar sağlayabilir. Bu çalışma kapsamında Tuzla jeotermal sahasındaki akışkan ve oluşan kabuk esas alınarak, buradaki doğal kabuğa en yakın kabuk sentezi geri akış yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Karmaşık bir akışkan kimyasına sahip Tuzla sahasındaki metal-silikat kabuğu oluşum mekanizmasının anlaşılması örnek bir alan olması açısından önem arz etmektedir. Yapılan araştırmalar ve deney sonuçları doğrultusunda tepkime süresi ve başlangıç iyon derişimi irdelenmiştir. Gerçeğe en yakın kabuk kompozisyonu deneme 3 ile elde edilmiştir. İnhibitör çalışmaları devam etmektedir. Literatürde formik asit, okzalik asit, polivinil alkol, poliakrilik asit, poliakrilamid, poli (vinil sülfat, potasyum tuzu), poli (akrilamid-ko-dialildimetilamoniyumklorid), polivinilpirrolidon, polietilenglikol ve poli (akrilamid-ko-akrilik asit) gibi makro ve mikro moleküllerin silikat kabuklaşması üzerinde engelleyici ve dağıtıcı özelliklerine yönelik çalışmalar mevcuttur.¹⁷ Dağıtıcı ve engelleyici özellikleri test edilecek bu moleküllerin aktif grupları belirlenerek alternatif, hem dağıtıcı hem de engelleyici aktivite gösteren bir terkopolimeri sentezi üzerinde çalışılacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 114Z940 Nolu proje tarafından desteklenmektedir.

KAYNAKÇA

- Baba, A., 2015. "Doğal Kaynakların Korunması ve Sürdürülebilir Yönetimi: Jeotermal Kaynaklar Örneği", Enerji Güvenliği Perspektifinden Türkiye'ye Bakış (Editor: M.E. Biresselioğlu), Enerji Hukuku Araştırma Enstitüsü, Ankara. 85-100.
- Avner, V., Helvacı, C., Karamandereci, İ. H. 2002. "Geochemical constraints for the origin of thermal waters from western Turkey", Applied Geochemistry, 17.39, 163-183.
- Gadalla, M. A., Olujić, Z., Jansens, P. J., Jobson, M., Smith, R. 2005. "Reducing CO₂ emissions and energy consumption of heat-integrated distillation systems", Environmental Science & Technology, 39, 6860-6870
- Godfrey, B. 2004. Renewable energy. OXFORD university pres
- Barbier, E. 2002. "Geothermal energy technology and current status: an overview", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 6.1, 3-65.
- Lund, J. W., Freeston D. H. 2001. "World-wide direct uses of geothermal energy 2000", Geothermics, 30.1, 29-68.
- Koçak, A. 2000. "Türkiye'de Jeotermal Enerji Armaları ve Potansiyeli", Türkiye 8. Enerji Kongresi, 109-124.
- Çelik, M., Sabah E. 2002. "The geological and technical characterisation of Ömer-Gecek geothermal area and the environmental impact assessment of geothermal heating system in Afyon, Turkey", Environmental Geology, 41.8, 942-953.
- Gallup, D. L., Sugiaman, F., Capuno, V., Manceau, A. 2003. "Laboratory investigation of silica removal from geothermal brines to control silica scaling and produce usable silicates", Applied Geochemistry, 18.10, 1597-1612.
- Wilk, G. D., Wallace, R. M., Anthony, J. M. 2000. "Hafnium and zirconium silicates for advanced gate dielectrics", Journal of Applied Physics, 87.1, 484-492.
- Carter, J. P., McCawley, F. X. 1982. "Corrosion tests in brine and steam from the Salton sea KGRA", Journal of Materials for Energy Systems, 3.4, 30-38.
- Stathouloupoulou, A., Demadis, K. D. 2008. "Enhancement of silicate solubility by use of "green" additives: linking green chemistry and chemical water treatment", Desalination, 224.1, 223-230.
- Fischer, P. W., Zilch, H. E. 1977. "Inhibition of scale deposition in high temperature wells", U.S. Patent No. 4,032,460. 28 Jun.
- Utami, W. S., Herdianita, N. R., Atmaja, R. W. 2014. "The effect of temperature and pH on the formation of silica scaling of Dieng geothermal field, Central Java, Indonesia" Thirtieth-Ninth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford, California, February 24-26, 2014.
- Demir, M. M., Baba, A., Atilla, V., İnanlı, M. 2014. "Types of the scaling in hyper saline geothermal system in northwest Turkey", Geothermics, 50, 1-9.
- Gallup, D. L. 2002. "Investigations of organic inhibitors for silica scale control in geothermal brines", Geothermics, 31.4, 415-430.
- Zhang, B., Chen, Y., Li, F. 2011. "Inhibitory effects of poly (adipic acid/amine-terminated polyether D230/diethylenetriamine) on colloidal silica formation", Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 385.1, 11-19.

BÜYÜK MENDERES GRABEN SİSTEMİNDEKİ JEOTERMAL SAHALARIN JEOLJİK, HİDROJEOLJİK VE JEOKİMYASAL ANALİZİ

Hatice Güdücü Baytekin¹, Nurkan Karahanoğlu²

*Kült. Turz. Uzm., Kültür ve Turizm Bakanlığı, Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü,
İzmir Rölöve ve Anıtlar Müdürlüğü*

*Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü
(haticeguducu@gmail.com)*

ÖZ

Fosil yakıtların tükenmekte olması ve çevreye verdiği geri dönülemez zararların etkisiyle, özellikle son yıllarda yenilenebilir enerji kaynakları sadece dünyada değil ülkemizde de enerji üretimi araçları arasında kayda değer bir yere sahip olmuştur. Sürdürülebilir enerji potansiyeline bakıldığında ise tektonik olarak genç bir bölgede olan Türkiye, jeotermal enerji potansiyeli bakımından dünyada ilk on ülke içerisinde yer almaktadır. Özellikle Batı Anadolu, jeotermal enerji potansiyeli açısından gelecek vadeden bir bölgedir. Büyük Menderes Graben sistemi, Türkiye’de bulunan en yüksek jeotermal enerji potansiyeline sahip ve enerji üretebilme potansiyeli ilk keşfedilen sistemlerden biridir. Büyük Menderes Graben sistemi tektonik olarak aktif bir açılma bölgesidir ve jeotermal sahaların oluşmasını sağlayan K-G doğrultusunda açılma geçirmektedir. Son on yılda, jeotermalle ilgili kanunun yürürlüğe girmesiyle jeotermal aramalar, incelemeler ve yatırımlar çok hızlı yükselmiştir.

Bu çalışmanın amacı, graben sisteminde yer alan jeotermal alanları jeolojik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özellikleri ve rezervuar karakteristikleri açısından analiz etmektir. Ulaşılabilen arşivlerden, yayınlan makalelerden ve dokümanlardan bir veri grubu oluşturularak birçok değişken, grabendeki her saha için araştırılmıştır. Değişkenler, akışkan sıcaklığı, denize olan uzaklık, rezervuar derinliği, rezervuar litolojisi, kimyasal bileşenler ve benzeri gibi parametreleri içermektedir. Bu değişkenler göz önünde tutularak sahalarda benzerlikler ve farklılıklar karşılaştırılmış ve genel karakteristikleri belirtilmiştir. Veri grubunun yorumlanması sonucunda, sahaların bir kısmının ortak özellik ve karaktere sahip oldukları ancak bir kısmının ise dikkate değer farklılıklar gösterdikleri ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Büyük Menderes Grabeni, Jeoloji, Hidrojeoloji, Hidrojeokimya, Veri Grubu

1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze kullanılagelen enerji kaynaklarının tükenmesi endişesi ve bu kaynakların iklim üzerine etkileri gibi sebeplerden dolayı dünya ülkeleri yenilenebilir, sürdürülebilir ve çevreye daha duyarlı enerji kaynaklarına yönelmiştir. Bu kaynaklardan biri de tektonik olarak daha genç olan, aktif fay sistemlerinin bulunduğu sahalardan elde edilen jeotermal enerjidir. Ülkemiz de tektonik olarak genç bir bölgede yer almasından dolayı birçok fay zonu boyunca çeşitli sıcaklıkta jeotermal kaynaklar bulunmaktadır. Büyük Menderes Jeotermal Sistemi ise, Kızıldere ve Germencik sahalarıyla birlikte Büyük Menderes Graben Sisteminde yer alan Ege Bölgesi'nin ve Türkiye'nin en yüksek jeotermal enerji potansiyeline sahip sistemidir.

Büyük Menderes Jeotermal Sisteminde, Türkiye'de ilk keşfedilen Denizli ve Aydın illerinin kapsadığı birçok jeotermal saha mevcuttur. Bunlardan bazıları elektrik enerjisi üretimine açılmış, bazıları ise başka alanlarda kullanılmaktadır.

Türkiye'de en yüksek enerji potansiyeline sahip bu havzada otuz yılı aşkın bir süredir birçok araştırma yapılmış; sayısız jeotermal kuyusu açılmış; birçok su analizleri yapılmış ve saha hakkında birçok rapor, makale ve tez yayımlanmıştır. Bu çalışmada, ulaşılabilen raporlar, makaleler, tezler ve çalışmalar derlenmiştir. Elde edilen veriler ışığında, Büyük Menderes Graben Sisteminde bulunan sahalanın jeolojik, hidrojeolojik ve jeokimyasal özellikleri açısından birbiri arasındaki ilişkiler incelenmiş ve analiz edilmiştir.

2. METODOLOJİ

Bu çalışmada, Büyük Menderes Graben Sistemi'nin yer aldığı Denizli ve Aydın illerine bağlı jeotermal sahalara araştırılmış ve analiz edilmiştir. Öncelikli olarak arazi araştırma sonuçlarını, deneysel çalışmaları, kuyu raporlarını, resmi kurumlara ait yıllık raporları, tez ve bilimsel makaleleri içeren bir kaynak taraması yapılmıştır. Üniversite ve devlet kurumlarının yanında Türkiye'de jeotermal kaynakların araştırılması ile ilgili olarak en çok çalışmayı yapan kurum olan Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nün çalışmaları sıklıkla veri kaynağı olarak kullanılmıştır.

Büyük Menderes Graben Sistemi'nde birçok saha girişimcilere işletme amaçlı devredildiğinden dolayı birçok saha hakkında da yeterli veriye ulaşılamamıştır. Bundan dolayı sadece kamuya açık olan veriler kullanılabilmiştir. Bu çalışmada 2012 yılına kadar yapılmış ve yayımlanmış çalışmaların sonuçları kullanılmıştır.

Ulaşılabilen veriler ışığında, her saha için bazı jeotermal parametreler incelenmiş ve analiz edilmiştir. Kuyu derinliği (m), akışkan sıcaklığı (°C), denize olan uzaklık (m), fay kesip kesmediği, hazne birimi, örtü kaya birimi, suyun iyon içeriği (mg/l), toplam çözünmüş katı madde (TDS) (mg/l), jeotermal suyun kökeni, pH ve elektriksel iletkenlik ($\mu\text{mho/cm}$) ulaşılabilen verilerden en çok elde edilen ve analiz aşamasında kullanılan jeotermal değişkenlerdir.

3. VERİ TABANI VE ANALİZLER

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Büyük Menderes Graben Sistemi içerisinde on sekiz adet jeotermal saha tanımlamıştır (Serpen et al., 2000). Bu çalışmada, konumları ve belirgin benzerliklerine göre çalışma alanı on yedi ayrı saha olarak incelenmiştir. Veri toplama aşamasında, bu sahalarda, açılan yüzden fazla sondaj kuyusu tespit edilmiştir. Ayrıca tekrar belirtmek gerekmektedir ki, sunulan ve analiz edilen veri tabanı, 2012 yılına kadar toplanan verilerden oluşan derlemedir.

Rezervuar Karakteristiğine Göre Veri Analizleri

Bu bölümde, tanımlanan on yedi jeotermal sahada, rezervuar özellikleri, hazne ve örtü kaya birimleri, yaşları ve kuyuda fay kesiminin bulunup bulunmadığı incelenmiş, kıyaslanmış ve karşılaştırılmıştır.

Büyük Menderes Jeotermal Sisteminde, genel olarak, Paleozoik metamorfik kayalar ve Neojen tortul kayalar hazne birimlerini oluştururken, tortul kayaların geçirimsiz tabakaları örtü kaya birimlerini oluşturur (Şimşek, 1984; Filiz vd., 2000; Özler, 2000; Tamgaç, 2010).

Büyük Menderes Jeotermal Sisteminde, Kızıldere sahası dışında, diğer bütün sahalarda birincil ve ikincil olmak üzere iki adet rezervuara sahiptirler. Kızıldere sahasında ise üretim potansiyeli olan 3 adet rezervuar mevcuttur. Bu rezervuarlardan, genel olarak, en derindeki hazne kayayı oluşturan birim Paleozoik yaşlı kuvarsit ve gnays içerikli temel kayalardır. İkincil hazne kaya kuvarsit, şist ve mermer birimlerinden oluşurken Neojen yaşlı kireçtaşları ise en üstteki hazne kayayı oluşturur. En üstteki rezervuara örtü kaya görevi gören birimler kumtaşı ve silttaşı iken ikinci rezervuarın örtü kaya elemanları konglomera, kumtaşı ve kiltası birimlerinden oluşan tortul kayalardır. En alt tabakadaki örtü kaya ise mikaşistlerden oluşur (Şimşek, 1984).

Genel oluşumdan farklı olarak, Denizli ilinde bulunan Pamukkale-Karahayıt ve Gölömezli jeotermal sahalarının ikincil hazne kaya özelliğindeki kayalarında travertene rastlanmaktadır (Özler, 2000).

Araştırma verilerine göre, özellikle, Aydın ilinde bulunan Pamukören, Nazilli-Bozyurt-Güzelköy, Atça-İsabeyli, Salavatlı-Sultanhisar Umurlu ve İmamköy-Yılmazköy-Ilıcabaşı-Kalfaköy sahaları birincil ve ikincil hazne kayaları ve örtü kayaları içerik bakımından birbirine çok benzemektedir (Karahan, 2007; Turalı & Karahan, 2009; Atmaca, 2010; Karahan, 2010a; Purlul, 2010; Yolal, 2010). Menderes metamorfiklerinin gnays ve mermer birimleri ile Neojen tortul tabakalar hazne kayayı; Tersiyer çökellerinin killi, siltli bölümleri ve Menderes Masifinin şist tabakaları örtü kayayı oluştururlar (Karahan & Güdücü, 2008; Karahan & Dönmez, 2009; Karahan vd., 2009; Karahan, 2010b; Purlul, 2010).

Ayrıca, Tekkehamam jeotermal sahası dışındaki sahalarda Büyük Menderes Graben sisteminin kuzey yamacında yer almaktadır. Büyük Menderes Jeotermal Sistemi'nde yer alan sahaların oluşmasında bölgede Kuzey-Güney yönlü açılıma bağlı olarak genel eğilim gösteren Doğu-Batı ve Kuzeydoğu-Kuzeybatı doğrultulu faylar etkili olmuştur (Dewey & Şengör, 1979; Gürer vd., 2009).

Söke-Davutlar jeotermal sahasında karstik mermerler ve bazaltik volkanikler, jeotermal akışkana hazne kaya görevini görürler. Kuşadası Formasyonunun killi seviyeleri ise örtü kaya olarak işlev yapar (Tarcan vd., 2000).

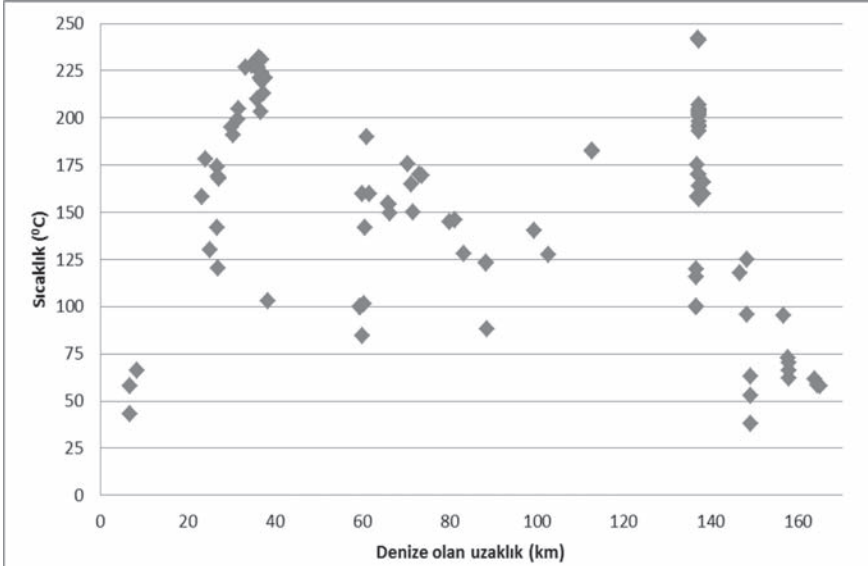
Bu çalışma kapsamında, fay kesimi ile ilgili olarak 61 kuyuda veri elde edilmiştir. Bu kuyulardan elde edilen en yüksek akışkan sıcaklığına sahip litolojik birim ve fay kesiminin olup olmadığına dair veriler analizde kullanılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, fay kesiminin bulunduğu sondaj kuyularında ortalama akışkan sıcaklığı 162 °C iken, fayın rastlanmadığı kuyularda ortalama akışkan sıcaklığının 125 °C olduğu tespit edilmiştir (Güdücü, 2012).

Akışkan Sıcaklığına Göre Veri Analizleri

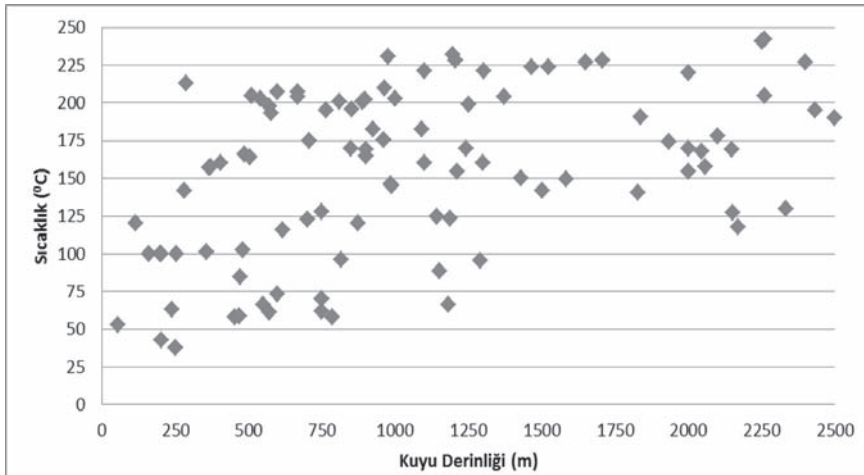
Büyük Menderes Jeotermal Sisteminde bulunan sahalarda, Türkiye'de en yüksek rezervuar sıcaklıkları ölçümlerine sahiptir. Sıcaklık değerlerine ait veriler 17 sahadan 102 sondaj kuyusundan

toplanmıştır. Sistemde, en yüksek ortalama sıcaklık değerlerine sahip 3 saha Kızıldere, Ömerbeyli–Alangüllü ve Pamukören sahaları; en düşük ortalama sıcaklığa sahip sahalarda ise Söke–Davutlar, Yenice ve Pamukkale–Karahayıt sahalarıdır.

Bunun yanında, sahalara denize olan uzaklıklarına göre sıcaklık arasında bir bağıntı olup olmadığı da araştırılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, sahalara denize olan uzaklıkları ile ortalama sıcaklıklar arasında herhangi bir bağıntı tespit edilmemiştir (Şekil 3.1). Ayrıca, sıcaklık ile kuyu derinliği arasındaki ilişkiye bakıldığında, genel olarak kuyu derinliği artarken elde edilen sıcaklık değerleri de yükselmektedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.1. Sıcaklığın denize olan uzaklık değişimi ile ilişkisi



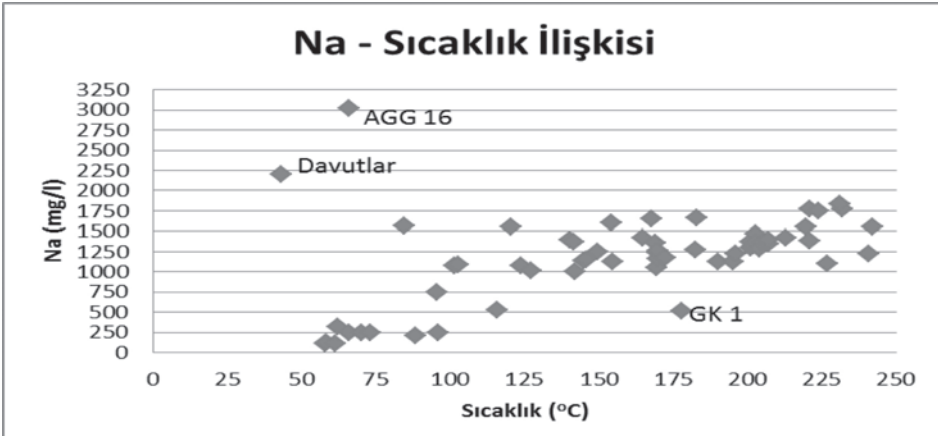
Şekil 3.2. Sıcaklığın kuyu derinliği değişimi ile ilişkisi

Hidrojeokimyasal Özelliklere Göre Veri Analizleri

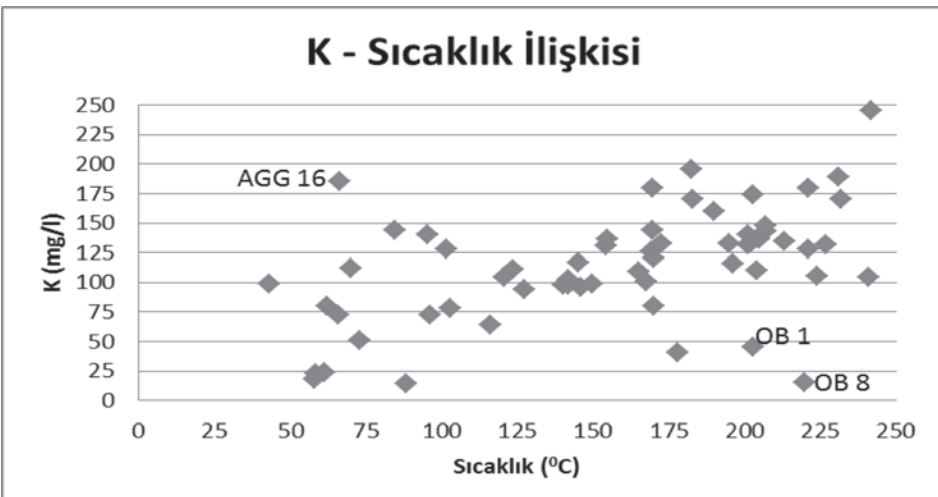
Bu bölümde sahaların, ulaşılabilen veriler doğrultusunda hidrojeokimyasal özelliklerine göre analizler yapılmıştır. Sahadaki 60 kuyunun iyon içerikleri (SiO_2 , B), toplam çözünmüş katı madde (TDS), pH ve elektriksel iletkenlik (EC) incelenmiştir. Kimyasal parametrelerin, yeterli veri olmamasına karşın, sıcaklık, kuyu derinliği ve denize olan uzaklık değişkenleri ile olan ilişki incelenmiş ve sahalar arasındaki benzerlikler ve farklılıklar ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Başlıca katyonlar, Na^+ (Sodyum), Ca^{2+} (Kalsiyum), K^+ (Potasyum), NH_4^+ (Amonyum) ve Mg^{2+} (Magnezyum) ve başlıca anyonlar, Cl^- (Klor), HCO_3^- (Bikarbonat) ve SO_4^{2-} (Sülfat) analiz edilmiştir.

Katyon iyonları ve sıcaklık değerleri ilişkilerini tespit etmek için yapılan analizlerde, sıcaklık yükselirken Na^+ ve K^+ konsantrasyonlarının genellikle arttığı belirlenmiştir (Şekil 3.3 ve 3.4). Bunun yanında, sıcaklık artışıyla Ca^{2+} ve Mg^{2+} konsantrasyonlarının ise azaldığı görülmüştür.

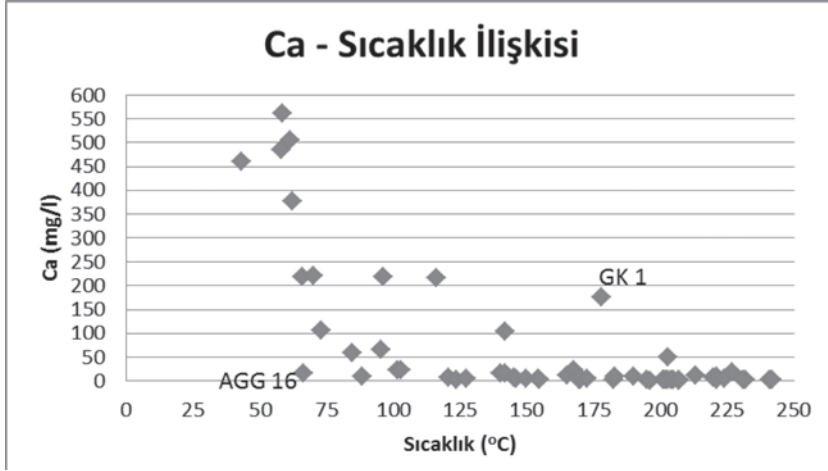


Şekil 3.3. Na^+ miktarının sıcaklık ile değişim ilişkisi



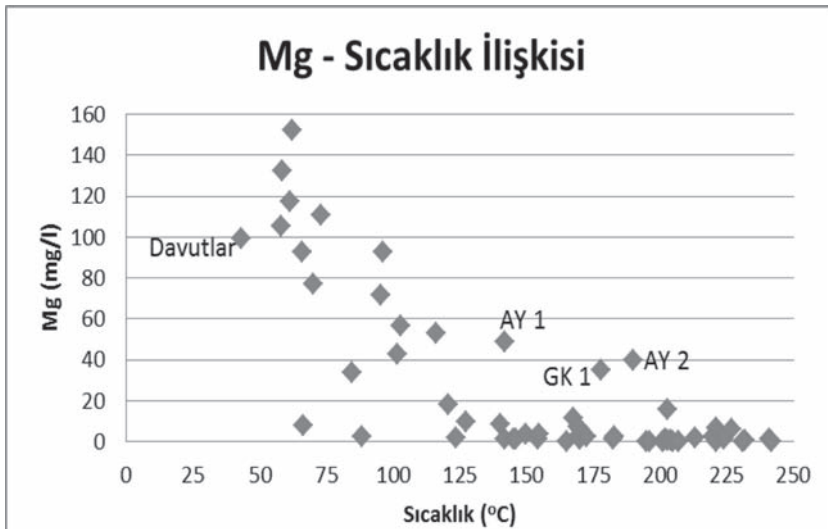
Şekil 3.4. K^+ miktarının sıcaklık ile değişim ilişkisi

AGG 16 (Ortaklar–Gümüşköy) kuyusunun sıcaklık değerleri düşük olması nedeniyle, Na^+ ve K^+ konsantrasyonlarının da düşük olması beklenirken yüksek olduğu tespit edilmiştir (Çağlayan & Dünya, 2012). Bunların yanında Ömerbeyli – Alangüllü sahalarında açılan yüksek akışkan sıcaklıklı ÖB 1 ve ÖB 8 kuyularının K^+ miktarlarının da düşük olduğu görülmüştür (Karakuş, 2010). AGG 16 kuyusunda, düşük sıcaklığa bağlı olarak Ca^{2+} konsantrasyonunun yüksek olması beklenirken, Ca^{2+} konsantrasyonu bu kuyuda düşüktür (Şekil 3.5). Aynı zamanda Gümüşköy sahasında yüksek sıcaklığa sahip GK 1 kuyusuna ait Na^+ miktarının genel eğilimden farklı olarak düşük olduğu; Ca^{2+} konsantrasyonunun ise yüksek olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3.5. Ca^{2+} miktarının sıcaklık ile değişim ilişkisi

Mg^{2+} konsantrasyonları ise genel olarak sıcaklık artışı ile düşer (Gunnlaugsson, 2008). Aydın ilindeki AY 1 ve AY 2 ve GK 1 kuyularının Mg^{2+} konsantrasyonları, bu kuyulardan elde edilen sıcaklıklarda beklenen konsantrasyon eğiliminden farklı olarak yüksektir (Şekil 3.6).



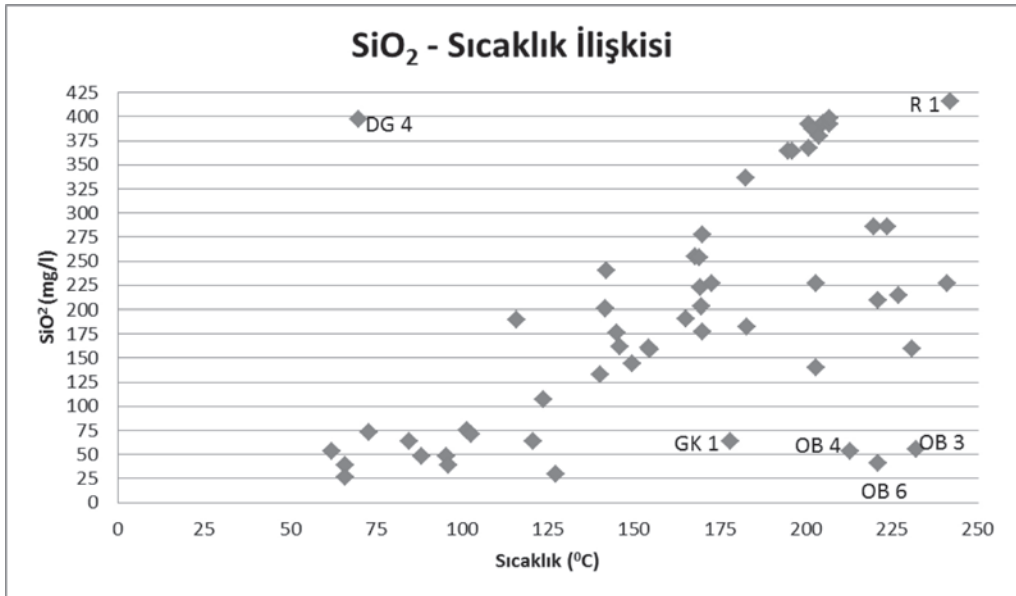
Şekil 3.6. Mg^{2+} miktarının sıcaklık ile değişim ilişkisi

Kasyon iyonları ile kuyu derinlikleri ve kuyuların denize olan uzaklıkları arasındaki ilişkiye bakıldığında ise, birbiriyle bağıntı kurulabilecek ya da paralellik veya farklılık gösteren herhangi bir ilişki tespit edilmemiştir. Sadece, denize olan uzaklık azaldıkça Na^+ konsantrasyonunun arttığı gözlemlenmiştir. Bu konsantrasyon artışının sebebi sahayı besleyen yer altı suyunun deniz suyu ile karışmış olması olabilir.

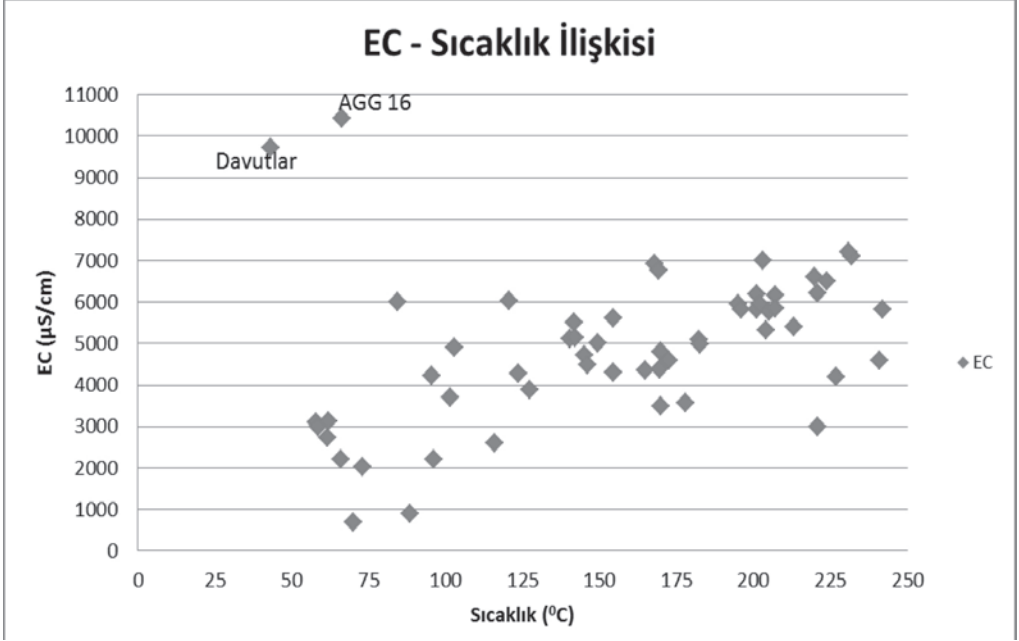
Anyon iyonları ile sıcaklık ve derinlik ilişkilerini değerlendirmek için yapılan analizlere bakıldığında anyon konsantrasyonlarının sıcaklık ve kuyu derinliğinden bağımsız olarak değiştiği gözlemlenmiştir. Anyon iyonları ile denize olan uzaklık arasındaki ilişki incelendiğinde ise Cl^- ve SO_4^{2-} miktarlarının denize olan uzaklık ile belirgin bir ilişki içinde olduğu tespit edilmiştir. Denize olan uzaklık azaldıkça, bazı kuyularda istisnalar görülse de Cl^- konsantrasyonu artmakta; SO_4^{2-} ise azalmaktadır.

Hidrojeokimyasal analizler bölümünde kation ve anyon iyonlarına ait değerlendirmelerin yanında, 60 adet sondaj kuyusuna ait veri grubunda Silisyum Dioksit (SiO_2) minerali ve iz element bor (B), toplam çözülmüş katı madde (TDS), pH ve elektriksel iletkenlik (EC) incelenmiştir.

Sıcaklık artışıyla beraber; SiO_2 miktarının ve pH değerinin de paralel olarak arttığı belirlenmiştir (Şekil 3.7). Bor miktarı ve elektriksel iletkenliğin de sıcaklık değişimi ile aşağı yukarı doğrusal bir bağıntı gösterdiği görülmüştür. Davutlar ve AGG 16 (Ortaklar-Gümüşköy) kuyularının yüksek elektriksel iletkenlik değerlerine sahip olmasının sebebinin ise deniz suyu karışımına bağlı olarak tuzluluk oranının artması olarak yorumlanmıştır (Şekil 3.8). Bunun yanında, toplam çözülmüş katı madde miktarının, sıcaklık artışıyla birlikte kısmen bir artış gösterdiği tespit edilmiştir.



Şekil 3.7. SiO_2 konsantrasyonunun sıcaklık ile değişim ilişkisi



Şekil 3.8. Elektriksel iletkenlik değerinin sıcaklık ile değişim ilişkisi

Ayrıca, silisyum dioksit, bor, toplam çözülmüş katı madde, pH ve elektriksel iletkenlik parametrelerinin değişimi kuyu derinliklerine bağlı olarak da incelenmiştir. Bu parametrelerin kuyu derinliğine bağlı olarak gösterdiği herhangi bir korelasyon tespit edilmemiştir.

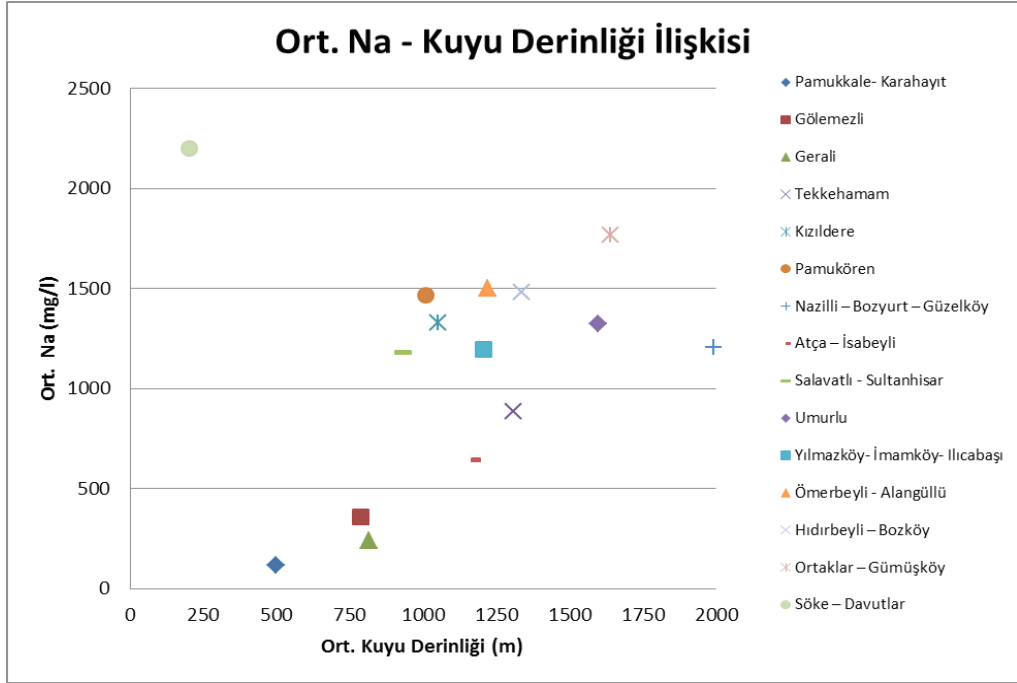
Silisyum dioksit, bor ve toplam çözülmüş katı madde miktarlarının, pH ve elektriksel iletkenliğin değişimi kuyu konumlarının denize olan uzaklığı ile analiz edildiğinde, elektriksel iletkenliğin ve bor miktarlarının denize olan uzaklıkla iyi bir korelasyon gösterdiği belirlenmiştir. Denize daha yakın olan kuyularda elektriksel iletkenliğin daha yüksek ve bor miktarlarının daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Analiz çalışmasının ikinci aşamasında, kimyasal parametrelerin ortalama değerleri ile ortalama sıcaklık, ortalama kuyu derinliği ve sahalarda bulunan kuyuların denize olan ortalama uzaklığı arasındaki ilişki incelenmiştir. Çalışmada 17 ayrı saha tanımlanmış olsa da Yenice ve Buharkent-Ortakçı sahalarının hiçbir kuyusunda jeokimyasal veriye ulaşılamaması nedeniyle bu parametrelerin ortalama değerleriyle ilgili yapılan analizlerde bu sahalara yer verilmemiş ve 15 sahanın ortalama değerlerinin analizleri yapılmıştır.

Jeotermal sahaların ortalama değerlerine ait yapılan analiz çalışmasının sonuçlarına göre ilk aşamada ulaşılan sonuçlara paralel ve aynı zamanda daha anlamlı ve belirgin ilişkiler elde edilmiştir. Analiz aşamasında ortalama değerlerin kullanılmasının veri grubu içerisindeki hata payını en aza indirmesi beklenen bir sonuçtur. Bunun yanında sahalara ait kuyuların ortalama değerlerinin kullanılması sahalanın bir bütün halinde incelenmesine olanak sağlamıştır.

Ortalama iyon konsantrasyonları ile sahaların ortalama kuyu derinlikleri ilişkisi değerlendirildiğinde katyon iyonlarının ortalama miktarları ortalama derinliklerle ilgili iyi bir korelasyon

göstermekle birlikte, anyon iyonlarının ortalama derinliklerle herhangi bir ilişkisi belirlenememiştir. Ortalama Na^+ ve K^+ konsantrasyonlarının derinlik arttıkça arttığı tespit edilmiştir (Şekil 3.9). Kuyu derinliği arttıkça, Na^+ ve K^+ iyonlarını içeren Menderes Metamorfikleri, genellikle, hazne kayayı oluşturduğu için, bu konsantrasyonların artması beklenen bir sonuç olarak kabul edilebilir.



Şekil 3.9. Sahalardaki ortalama Na^+ konsantrasyonunun ortalama kuyu derinliği ile değişim ilişkisi

TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada, Büyük Menderes Graben Sisteminde yer alan ve ulaşılabilen veriler doğrultusunda tanımlanan 17 sahanın jeolojik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özellikleri incelenmiş, analiz edilmiş, benzer ve farklı yönleri karşılaştırılmıştır. İncelenen bu özellikler, rezervuar birimleri, kuyuda fay kesişinin olup olmadığı, akışkan ya da kuyu sıcaklıkları, kuyu derinlikleri, sahalardan denize olan uzaklıkları, Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , NH_4^+ , Mg^{2+} ve Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} ve SiO_2 , B konsantrasyonları ve TDS, pH ve elektriksel iletkenliktir.

Bu parametreler kullanılarak ve ulaşılabilen verilerle oluşturulan veri gruplarının analizleriyle aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1. Büyük Menderes Graben Sistemindeki sahalardan, genel olarak, hazne kaya ve örtü kaya litolojileri açısından benzer rezervuar karakterlerine sahiptirler. Sahalardan, genellikle 2 adet rezervuar bulunmaktadır. Bunlardan derinde olanı, Menderes metamorfiklerinden oluşan ve daha yüksek sıcaklıklar üretebilen, diğeri ise daha sığ seviyede bulunan ve tortul çökellerinden oluşan daha düşük sıcaklık üreten rezervuardır. Örtü kaya ise, Men-

deres Metamorfiklerinin şist tabakaları ve tortul çökellerinin geçirimsiz birimleridir.

2. Rezervuar karakterleri birbirine benzemesine karşın, fay ile kesilmiş kuyulardan daha yüksek sıcaklıklar elde edilmektedir.
3. Kuyu derinlikleri arttıkça sıcaklıklar yükselmektedir.
4. Jeokimyasal analizler göstermektedir ki akışkan sıcaklıkları Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SiO_2 ve pH değerlerini etkilerken, kuyu konumları Cl^- ve SO_4^{2-} değerlerini etkilemektedir. Sıcaklık arttıkça, Ca^{2+} ve Mg^{2+} konsantrasyonları azalmakta; SiO_2 ve pH değerleri ise artmaktadır.
5. Katyon, anyon, SiO_2 , bor, toplam çözünmüş katı madde, elektrik iletkenliği değerleri kuyu derinliğine bağlı olarak değişiklik göstermezler.
6. Analizler sonucunda, bor, toplam çözünmüş katı madde ve elektrik iletkenliği içeriklerinin denize yakın sahalarda daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.
7. Sahaların ortalama iyon miktarları ile ortalama derinlikleri karşılaştırıldığında, ortalama Na^+ ve K^+ konsantrasyonlarının derinlik arttıkça arttığı tespit edilmiştir. Kuyu derinliği arttıkça, Na^+ ve K^+ miktarlarının artmasının nedeni, Na^+ ve K^+ iyonlarının içeren Menderes Metamorfiklerinden oluşan hazne kayanın genellikle, daha derin seviyelerde bulunması olarak yorumlanmıştır.

KAYNAKLAR

- Atmaca, İ., (2010). Resource Assessment in Aydın – Pamukören Geothermal Field. M.Sc. Thesis, Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
- Çağlayan, İ. and Dünya, H., (2012). Aydın-Germencik-Gümüşköy AGG 2010/16 Jeotermal Enerji Araştırma Sondajı Kuyu Bitirme Raporu. MTA Raporu, No. 11499.
- Dewey, J. F. and Şengör, A. M. C., (1979). Aegean and Surrounding Regions: Complex Multiplate and Continuum Tectonics in a Convergent Zone. Geological Society of America Bulletin, 90, 84–92.
- Filiz, S., Tarcan, G. and Gemici, Ü., (2000). Geochemistry of the Germencik Geothermal Fields, Turkey. Proceedings World Geothermal Congress, Kyushu-Tohoku, Japan.
- Gunnlaugsson, E., (2008). Importance of Chemistry in Geothermal Exploration and Utilization. Workshop for Decision Makers on Direct Heating Use of Geothermal Resources in Asia, China.
- Güdücü, H., (2012). Geological, Hydrogeological and Geochemical Analyses Of The Geothermal Systems in the Büyük Menderes Graben. M.Sc. Thesis, Middle East Technical University, Ankara, Turkey
- Gürer, Ö. F., Sarıca-Filoreau, N., Öburan, M., Sangu, E. and Doğan, B., (2009). Progressive Development of the Büyük Menderes Graben Based on New Data, Western Turkey. Geological Magazine, Cambridge University Press, 1- 22.
- Karahan, Ç., (2007). Aydın Sultanhisar SH-1 ve SH-2 Sıcak Su Sondajları Kuyu Bitirme Raporu. MTA Raporu, No. 10957.
- Karahan, Ç. ve Güdücü, A., (2008a). Aydın Atça AT-1 Sıcaksu Sondajı Kuyu Bitirme Raporu. MTA Raporu, No. 11086.
- Karahan, Ç. ve Dönmez, H., (2009). Aydın-Umurlu AU-1 Jeotermal Sondajı Kuyu Bitirme Raporu. MTA Raporu, No. 11185.
- Karahan, Ç., Dünya, H. ve Gökmenoğlu, O., (2009). Aydın-Umurlu AU-2 Jeotermal Sondajı Kuyu Bitirme Raporu. MTA Raporu, No. 11186.
- Karahan, Ç., (2010a). Aydın-İsabeyli İS-1 Sıcak Su Sondajı Kuyu Bitirme Raporu. MTA Raporu, No. 11295.

- Karahan, Ç., (2010b). Aydın-Nazilli Güzelköy NG-1 Jeotermal Sondajı Kuyu Bitirme Raporu. MTA Raporu , No. 11294.
- Karakuş, H., (2010). Investigation of Geothermal Systems in Büyük Menderes Graben by Using Geochemical and Isotopic Techniques. Ph.D.Thesis, Hacettepe University, Ankara, Turkey.
- Özler, H. M., (2000). Hydrogeology and geochemistry in the Çürüksu (Denizli) hydrothermal field, Western Turkey. Environmental Geology, 39 (10), 1169–1180.
- Purtul, E., (2010). Aydın-Nazilli-Bozyurt NB-1 Sıcak Su Sondajı Kuyu Bitirme Raporu. MTA Raporu, No. 11308.
- Serpen, U., Yamanlar, Ş. and Karamandereci, İ. H., (2000). Estimation of Geothermal Potential of Büyük Menderes Region in Turkey. Proceedings World Geothermal Congress, Kyushu-Tohoku, Japan.
- Şimşek, Ş., (1984). Denizli, Kızıldere-Tekkehamam-Tosunlar-Buldan-Yenice alanının jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları. MTA Raporu, No. 7846.
- Tamgaç, Ö. F., (2010). Denizli-Gölemezli DG-1 Sıcak Su Sondajı Kuyu Bitirme Raporu. MTA Raporu, No. 11257.
- Tarcan, G., Filiz, S. ve Gemici, Ü., (2000). Davutlar Kaplıcası (Kuşadası- Aydın) Çevresinin Hidrojeolojisi ve Hidrojeokimyası. Dokuz Eylül University Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi, 2(1), 91–110.
- Turalı, Ü. ve Karahan, Ç., (2009). Aydın Atça AT-2 Sıcaksu Sondajı Kuyu Bitirme Raporu. MTA Raporu, No. 11184.
- Yolal, A., (2010). Aydın Pamukören AP-2 Jeotermal Sondajı Kuyu Bitirme Raporu. MTA Raporu, No. 11281.

JEOTERMAL SAHALARIN İŞLETİLMESİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİN TABİİ FİZİKOKİMYASAL VE YAPISAL İZLEYİCİLERLE KONTROLÜ

Nazım Yıldırım, Ali Yıldırım

*Yıldırım Jeotermal Çevre, Mühendislik ve Müşavirlik Ofisi, Cevizlidere Mah Cad 1247 Sokak
No 16/7 Balgat/ANKARA
(nazimy@gmail.com)*

ÖZET

Bir jeotermal sahadan üretilmekte olan jeotermal akışkanın başlangıçla aynı fizikokimyasal ve termodinamik özelliklerle sürdürülebilmesi ancak ve ancak dengeli üretim-beslenme stratejisiyle mümkündür. Reenjeksiyon jeotermal sahaların olumlu ve olumsuz işletilmelerinde çok önemli rol oynayan bir faktördür. Jeotermal sahadan aşırı çekimleri telafi etmek üzere yapılan gereğinden fazla reenjeksiyon, bazen basınç düşümünü telafi ettiği halde, akışkanın sıcaklığında düşme, kimyasal yapısında değişme yaratır. Bu nedenlerle sahada açılmış kuyulardan üretilen akışkanların başlangıçtaki fiziksel ve kimyasal özellikleri sürekli gözetim altında tutulması, başlangıç değerlerine yakın değerlerde tutulmaya çaba harcanması son derece önemlidir. Sürdürülebilirlik için, kontrol mekanizması rezervuar basıncı, rezervuar sıcaklığı ve üretim-renjeksiyon miktarları yanında üretilen-basılan akışkan özelliklerini de kapsamalıdır. Jeokimyasal ve termodinamik takiplerin başka bir amacı da geri dönüşümü olmayan rezervuar kirlenmeleri ve zamanında üretim ve reenjeksiyon stratejilerine müdahaleyi de içerir. Üretim ve reenjeksiyon stratejileri takipten elde verilere göre şekillendirilir.

Doğal beslenme, reenjeksiyon ve üretim üçgeninde yaratılan dengesizlik, ilk önce kendisini basınç değişimi, sonra su kimyasında seyrelme-derişme ve daha sonra ısınma-soğuma şeklinde belli eder. Bu nedenle, ilerleyen yıllarda akışkan kimyasında oluşması muhtemel değişimler, sistem soğuması ve basınç düşüşlerinin olacağına dair erken bir uyarı olarak ele alınmalıdır. Optimum reenjeksiyon stratejisi jeotermal sitemin tipi ve reenjeksiyon suyunun rezervuarda yarattığı etkiye bağlıdır. Genelde saha içi reenjeksiyon basınç yükselimi sağlayarak üretim potansiyelini yükseltirken, saha dışı üretim reenjeksiyon suyunun çabuk dönüşümünü geciktirerek soğuma riskini azaltır. Tabii fizikokimyasal ve suni izlemeler, geniş çaplı üretimli sahalarda rezervuarda oluşması muhtemel olayların önceden tahmini idaresini sağlar. Kimyasal izleme, suyun kendi doğal yapısında bulunup çevresel izleyicilerle yapılabildiği gibi dışarıdan reenjeksiyon suyuna katılan kimyasal ve radyoaktif izleyicilerle (tracers) de yapılabilir. İzleyici kullanımında kural minimum dozajla, kuyu ve geçirgen birimler arasında hidrolik bağlantı olup olmadığını belirlemektir.

Bu çalışmada, bir jeotermal sistemin sürdürülebilirliğinin sağlanmasında yürütülen çalışmalar ve basılacak reenjeksiyon suyunun kontrolünde tabii fizikokimyasal ve yapısal kimyasal izleyici kullanımları tartışılarak doğal parametrelerden elde edilen bilgiler ve izlemedeki fonksiyonlar yanında, suni izleyicilerin kullanılma koşulları ve kimyasal yapıları hakkında bilgiler verilmektedir. Ayrıca Pamukören sahasında yapılan izleme sonuçları hakkında sınırlı bilgi sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal Alan, Sürdürülebilirlik, Reenjeksiyon, Beslenme, İzleyici, Florescein, Spektrofotometre

SUSTAINIBILTY CONTROL OF OPERATED GEOTHERMAL AREAS WITH NATURAL PHYSICOCHEMICAL AND ARTIFICIAL TRACERS

Nazım Yıldırım, Ali Yıldırım

*Yıldırım Jeotermal Çevre, Mühendislik ve Müşavirlik Ofisi, Cevizlidere Mah Cad 1247 Sokak
No 16/7 Balgat/ANKARA
(nazimy@gmail.com)*

ABSTRACT

The sustainability of an operated geothermal field with the same original thermodynamical and physicochemical futures can only be maintained by balanced natural recharge, production and reinjection strategies. Reinjection is a very important part of any geothermal development and it may become the key factor in the success or failure of the field. In maintaining over exploited reservoirs excess reinjection rate than required can induce cold water breakthrough in the reservoir and causes cooling and chemical characteristic changes in geothermal fluid. So, the permanent monitoring is an important element of the practical implementation of reinjection during the operation of geothermal reservoirs. This must include the monitoring of the reservoir pressure, temperature, quantity of production, and the chemical features of produced and the reinjected water. Also, the objective of monitoring is to prevent an irreversible pollution of the well area and a thermal breakthrough, and to discover on time the changes in the geothermal system. The production and reinjection strategy can be modified according to the acquired data.

An unbalanced creation in natural recharge, reinjection and production angel may show itself firstly by pressure changes, than by dilute-dense fluids formation and finally by cooling phenomena. The chemical changes in reservoir fluids should be considered as a sign for soon coming cooling event in the reservoir. The optimum reinjection strategy depends on the respond and type of geothermal system. In general, infield reinjection provides pressure support and thus reduces drawdown and the potential for subsidence, whereas outfield reinjection reduces the risk of cold water returning to the production area. The tracing test provides important and reliable reference for large-scale geothermal production. The tracer can be classified as chemical tracer, environmental tracer, and radioactive tracer. The principle of selecting a tracer is to use a minimum dosage to make sure the hydraulic connection between pore permeability and geothermal well.

In this paper, reinjection rate control for sustainability of a geothermal system by means of natural physicochemical parameters and artificial tracers will be fully discussed. The obtained information from natural tacers and using conditions, open formula of some artificial tracers with sample practical monitoring in Pamukören will be shortly explained.

GİRİŞ

Jeotermal santrallerde sürdürülebilirlik, jeotermal kaynağı ekonomik olarak uygulanabilir durumda üretimde tutma gayreti ve önlemler dizisini kapsar. Jeotermalde sürdürülebilirlik, gerçeğe yakın saha modellerinin oluşturulması, sistemin çevreden etkilenmeden yenilenebilirliğinin sağlanması işlemlerini gerektirir (Arnórsson and Gudmundsson 2003). Jeotermal sahadan aşırı çekim ve gereğinden fazla reenjeksiyonla besleme, akışkanın sıcaklığında düşme, kimyasal yapısında değişme ve etrafta fümerol ya da doğal buhar çıkışları var ise bunların kesilmesine neden olur. Bu nedenlerle sahada açılmış kuyulardan üretilen akışkanların başlangıçtaki fiziksel ve kimyasal özellikleri sürekli gözetim altında olmalı, başlangıç değerlerine yakın değerlerde tutulmaya çaba gösterilmelidir (Yıldırım ve Şimşek 2003).

Uzun süreli ve kontrolsüz üretimin birçok jeotermal sahada basınç düşüşü ve buna bağlı olarak sistemde soğuk su istilası ile sonuçlandırığının örnekleri vardır. Beslenme, reenjeksiyon ve üretim üçgeninde yaratılan dengesizlik, ilk önce basınç düşüşü, sonra su kimyasında seyrelme-değişme ve daha sonra ısınma-soğuma şeklinde belli eder. İyi korunan bir rezervuarda Şekil 1'de görüldüğü gibi doğal beslenme+reenjeksiyon ikilisi rezervuar başlangıç üretim parametrelerini farklılaştırmamalıdır. Bu nedenle, ilerleyen yıllarda akışkan kimyasında oluşması muhtemel değişimler, sistem soğuması ve basınç düşüşlerinin olacağına dair erken bir uyarı olarak ele alınmalıdır. Jeotermal akışkanın üretim beslenme reenjeksiyon orantısızlığında kimyasal Öney (chemical front) daima sıcaklık Öney'inden önce belirti verir (Satman ve Serpen 1997). İşletilen bir jeotermal sahada sık aralıklarla yapılan kimyasal analizler, gerek düşük sıcaklıklı ve gerekse yüksek sıcaklıklı jeotermal sahaların olumsuz etkilerden korunmasında önemli araçlardan biridir. Kaynakların doğal beslenme ve doğal çıkış hallerindeki düzeylerinin korunup korunmadığı günlük, haftalık ve yıllık analizlerle takip edilir:



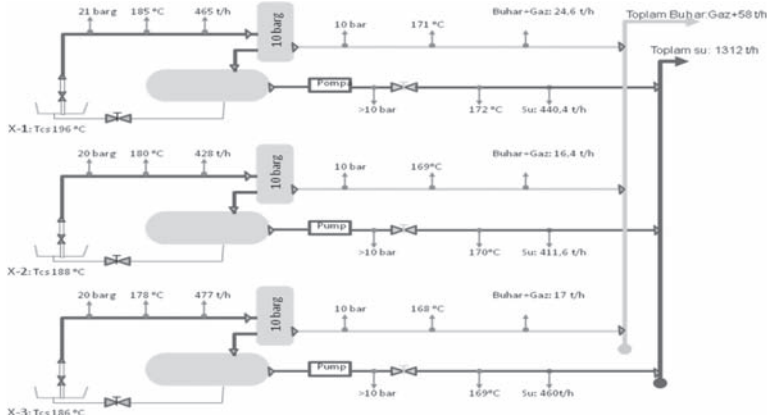
Şekil 1. Jeotermal sahalarda üretim reenjeksiyon su dengesi balans parametreleri (Karahan ve Yıldırım 2015)

Doğal ve suni izleme sonuçlarına riayet edilirse sahanın ekonomik ve verimli bir şekilde işletilmesi sağlanmış olur. Aksi takdirde çözümü olanaksız ya da çok pahalıya mal olan sorunlarla karşılaşmak kaçınılmazdır. Zira Jeotermal enerji yenilenebilir bir enerji kaynağı olmasına karşın aynı özelliklerle sürdürülebilir sonsuz bir enerji değildir. Jeotermal kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlamak, ancak yapılacak testlerle rezervuar parametrelerini doğru izlemekle mümkündür. Yapılacak izlemelerle sahanın potansiyeli doğru olarak ortaya konabileceği gibi, rezervuar davranışlarının önceden kestirilmesi, gerekli önlemlerin zamanında alınması, sahanın kullanım ömrünün ve potansiyelinin uzun vadeye yayılması sağlar.

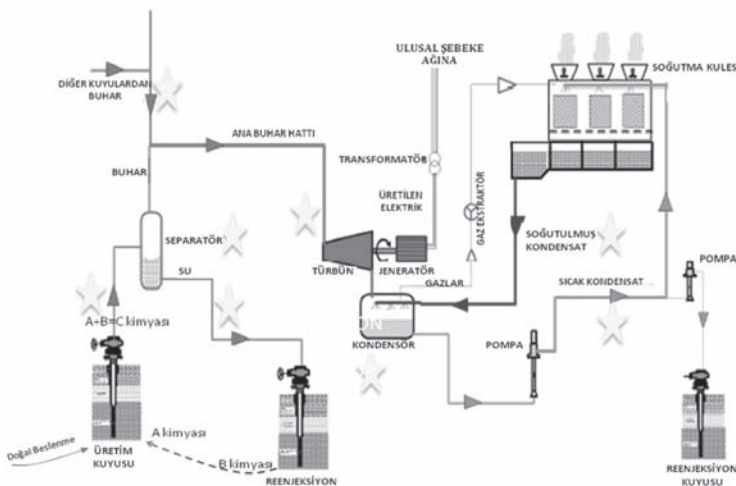
İzleme Periyotları

İzleme programı ortaya konulmadan önce amaç ve alınması gerekli sonuçlar belirlenmelidir. Program saha idaresi ve saha verimi ile ilgili bütün detayları kapsamalıdır. Ele alınması gerekli faktörler arasında saha ve çevresinde bulunan buhar çıkışları fümerol, kaynak ve kuyular olmalı ve izleme örneklemeleri, analizleri, ölçümleri için bütün lojistik destekler hazır hale getirilmelidir.

İzleme çalışmalarını yürütecek personel amaç ve elde edilecek sonuca vakıf değilse izleme programlarından yeteri fayda sağlamak olası değildir. İzlemede mevsimsel dalgalanmalar ve üretimdeki kuyuların tüm hidro-termal sistemi etkileyip etkilemediği gerçekleri sürekli göz önünde tutulmalı, net değerlerle yola çıkılmalıdır. Şekil 2 ve Şekil 3 akışkanın kullanımı sırasında kimyasının değişime maruz kaldığı operasyon noktalarını göstermektedir. İzleme akışkanının değişikliğe uğradığı noktalardaki analiz sonuçlarına göre değerlendirilmelidir.



Şekil 2. Çift akışkanlı çevrimde akışkanın değişikliğe uğradığı operasyon noktaları



Şekil 3. Flaş sisteminde akışkanın değişikliğe uğradığı operasyon noktaları

İzleme saatlik, günlük, haftalık ve yıllık analizler bazında yapılır. Her kategori analiz parametresi farklı amaçlara hizmet eder.

1. Günlük analizler: Uygulanan inhibitörle kuyularda kabuklaşma olup olmadığını denetlemek ve inhibitör yetersiz ise inhibitör cinsi ve dozajlarını ayarlamak için her gün yapılması gerekli analizlerdir. Bu kapsamda yapılan analizler Toplam Sertlik, alkalinite analizleri ve pH-kondüktivite ölçümlerini kapsar.
2. Haftalık analizler: Üretim, doğal besleme ve reenjeksiyon üçgeninde saha rezervuarından çıkan akışkanın kimyasında başlangıca göre bozulma ve dengesizlik olup olmadığını takip için yapılır. Bu kapsamda asgari kondüktivite, pH ölçümleri, Cl⁻, Alkalinite ve SiO₂ analizleri yapılır.
3. Aylık analizler: Kondüktivite, pH, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, SiO₂, Cl⁻, SO₄²⁻, Fe, Al, HCO₃⁻, Hg, F, Rb, Cs, Zn, analizleri geçici/kalıcı değişiklikleri ayırt etmek üzere aylık bazda yapılmalıdır.
4. Yıllık takipler: Oksijen-18, Döteryum ve Trityum analizleri ile yapılmalıdır. Doğal beslenme-üretim çevirimini takip etmek için yapılmalıdır. Gaz konsantrasyonlarındaki değişimleri ve atmosferik kirlenmeleri saptamak üzere yıllık analizlere CO₂, H₂S O₂, CH₄ parametreleri de ilave edilmelidir.
5. Tracer analizleri: Doğal takibe ilave olarak sahanın üretim-reenjeksiyon dengesinde bozulma olup olmadığını takip için reenjeksiyon suyuna suni izleyici ilave edilmiş ise izleyici analizlerini kapsar.

Doğal Jeokimyasal İzleme Parametreleri

Doğal jeokimyasal izleme işlemlerinde hangi elementin hangi amaçla analiz edildiği aşağıdaki Tablo'1 de verilmektedir.

Tablo 1. Rezervuar izlemede element analizleri ve gaz ölçümlerinin yapılış sebepleri (Malimo 2013)

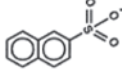

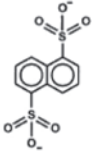
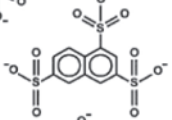
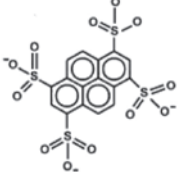
Element/gaz	Seçim için sebep
Kondüktivite	Akışkanın total kimyasal konsantrasyonunda değişiklik olup olmadığı konusunda kaba bir fikir edinmek üzere kondüktivite ölçümünden ibaret basit bir yöntemdir. Akışkanda yüksek toplam mineralizasyon yüksek kondüktivite değeri ölçtürür. Kondüktivite ölçümleri mevcut sistem kuyuları ve kaynaklarında derişme ve seyrelme olup olmadığı konularını yanında akışkanın sabit kimyasal özelliklerle sürdürülmediği ve kuyuya akış sağlayan damarların taşıma kapasitelerinde değişim olduğu bilgilerini sağlar.
pH	Derin jeotermal suyun sığ su karışım oranına göre değişiklik gösterir. pH değerlerinde kaydedilen değişiklikler jeotermal akış yönlerinde ve sıcaklığında bir değişme olduğunun ve olacağının bir işareti olarak algılanır. Karbon dioksit kaybı ve antropojenik akivitlerde değişikliklerine de işaret eder.
Na ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ , SiO ₂	Rezervuar sıcaklığında zamanla değişiklik olup olmadığını kontrol amaçlı jeotermometre hesaplamalarında kullanılırlar.
Mg ²⁺	Nispeten düşük sıcaklıklı sığ suların derin jeotermal akışkana karışıp karışmadığını saptamada ayırt edici parametre olarak kullanılır.

Cl ⁻	Derin jeotermal akışkanın seyrelmesi ya da üst rezervuarlara soğuk su istilası hakkında bilgi sağlar.
SO ₄ ²⁺ , Fe, Al	Buhar ısıtılmalı yer altı suyun ana jeotermal akışkana katılımını belirtir. Yer altı mineralojisindeki değişikliklere işaret ederler.
HCO ₃ ⁻	Cl ⁻ ve SO ₄ ²⁻ ile birlikte değerlendirildiğinde derin kökenli buhar ısıtılmalı jeotermal akışkan ile sığ yer altı suları arasında cereyan eden karışımlar hakkında bilgi sağlar.
Hg, F, Fe, Al, B	Jeotermal suların çevreye olan etkileri dikkate alınmak istendiğinde analiz edilirler.
Rb, Cs, Zn, Au	Jeotermal akışkanın yeraltında dolaştığı kayaç bileşimlerinde zamanla değişiklik olup olmadığı veya akışkanın sirkülasyonda yol değiştirip değişmediği konularında bilgi sağlarlar.
CO ₂ , H ₂ S	Jeotermal gazların majör bileşenleridir. Rezervuar sıcaklık değişimlerinin saptanmasında jeotermometre olarak kullanılırlar. Bu gaz miktarlarında azalma rezervuar basınç düşümlerinin yaşanacağına dair ön bilgi sağlarlar.
O ₂	Derin jeotermal akışkanda bulunmaz. Jeotermal akışkan içindeki varlığı atmosferik karışımı belirler. Akışkana korroziflik özellik kazandırır.
CH ₄	Jeotermal akışkan içindeki varlığı akışkanın organik bozunma ihtiva eden kayaçlarla teması olduğunu bildirir
He	Konsantrasyon değişimleri akışkanın zamanla kabukla ilintisinin kesilip kesilmediği hakkında bilgi sağlar.
İzotoplar	<ul style="list-style-type: none"> • ³He/⁴He akışkan-kabuk ilişkisinin devam edip etmediği • ¹⁵N, ¹⁸O/¹⁶O, ²H, ¹³C, ³⁴S jeotermal kaynak orijininin değişip değişmediği • ³H, ¹⁴C, ³⁶Cl zamanla akışkanın çevirim (cycle) süresinin değişip değişmediği konuları hakkında bilgi sağlarlar

Rezervuardaki Değişikliklerin Suni İzleyicilerle İzlenmesi ve Kullanılan İz Maddeler

Rezervuar parametrelerinde meydana gelen değişikliklerin saptanması amacı ile izleyici testleri (tracer tests) yapılmaktadır. Suni izleyici testleri ana jeotermal akışkanda olmayan reenjeksiyon kuyularından atık su ile birlikte basılan izleme maddelerinin üretim kuyuları ve varsa doğal çıkışlardan gelişi zaman ve miktar olarak saptanarak gerçekleştirilir. İzleme maddeleri kimyasal, radyoaktif ve flouresine izleme maddeleri olmak üzere üç ana grupta toplanmaktadır. Flourescein izleme maddeleri spektrofourometre analizleri ile takip edilmektedir. LS30 spektrofouromtereleri bu amaçla en yaygın kullanılan spektrofourometrelerdir. Sıcaklığı 180 °C olan jeotermal sahalarda flouresine, Rodamin WT, Brilant ve uranine boya maddeleri tracer olarak kullanılabilir. Daha yüksek sıcaklıklı sahalarda karboksilik ve benzen sulfonik asitler gurubu iz maddeleri kullanılmak zorundadır. Bu grup izleyiciler yüksek performans sıvı kromatograf (HPLC) cihazı izlenebilir. Başlıca karboksilik ve benzen gurubu iz maddeler şöyle sıralanabilir:

- Benzen sulfonik asit, poli aromatik sulfonik asit, naftalin, antrosen, piren
1,3,6,8 piren tetraüfonat, 1,5 naftalin disülfonat, 2-naftalin sülfonat, 1,3,6 naftalin tri-sülfonat, 2,7-naftalin disülfonat. Bu izleyicilerin analiz dalga boyları ve açık formülleri aşağıdaki şekilde verilmiştir (Şekil 4).

Compound	Structure	Excitation / Emission (nm)
2-naphthalene sulfonate		220 / 336
2,7-naphthalene disulfonate		226 / 339
1,5-naphthalene disulfonate		218 / 334
1,3,6-naphthalene trisulfonate		228 / 342
1,3,6,8-pyrene tetrasulfonate		346 / 386

Şekil 4. Sıcaklığı 200 °C üstü jeotermal sahalarda kullanılabilir izleyicilerin açık formülleri ve analiz dalga boyları (Rose v.ç a. 2011)

Tracer Uygulamalarına Bir Örnek

Pamukören sahasında reenjeksiyon suyunun yeraltındaki hareketini izlemek üzere tracer izleme testi gerçekleştirilmektedir. Testte üç ayrı izleyici kullanılmıştır. Bu tracerler seçilirken maddelerin inert, sıcaklıkla bozulmayan ve arazi koşullarında kolaylıkla analiz edilebilir olmasına dikkat edilmiştir.

Bu maddeler;

- Na Fluorescein (Renk takibi ile 210 °C 'ye kadar kullanılabilir)
- NaBr (Halojen takibi -analizi kolay 250 °C 'ye kadar kullanılabilir)
- NaCl (Halojen takibi- ucuz ve analizi kolaydır). Klor içeriği düşük sahalarda 250 °C'ye kadar kullanımı uygundur.

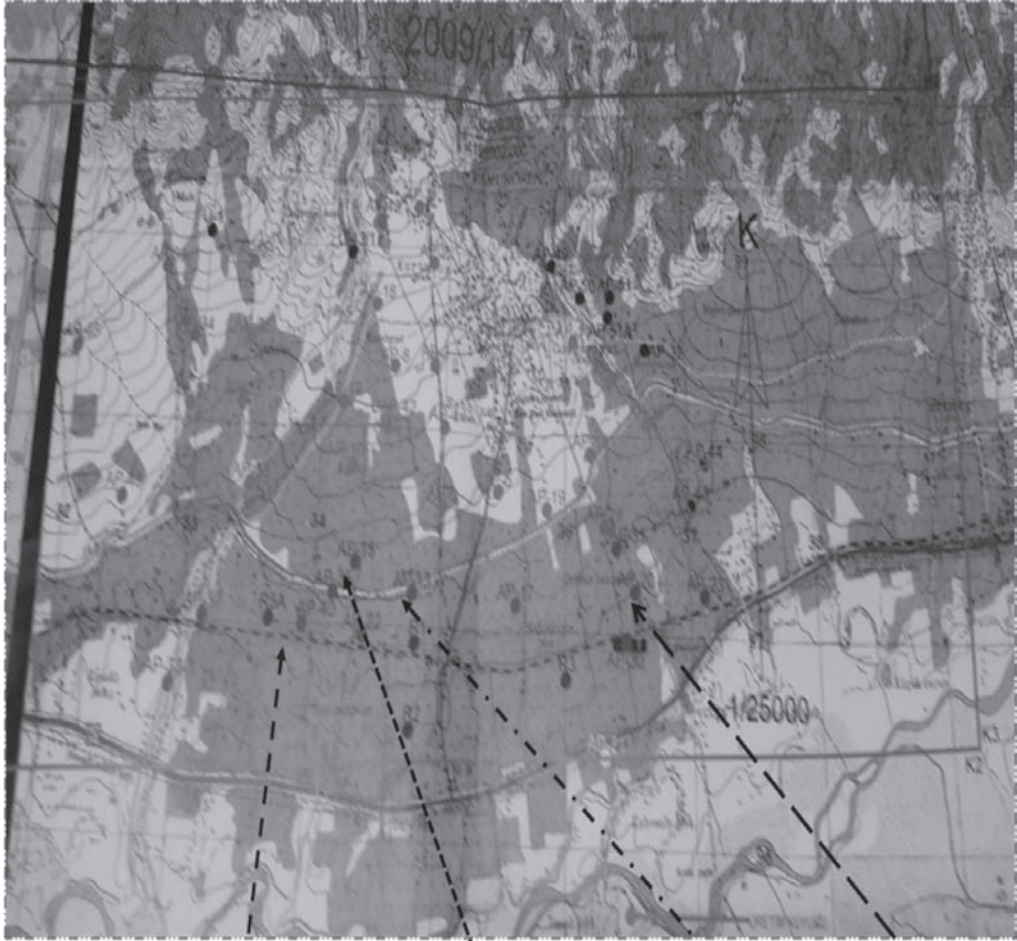
Pamulören saha idaresinde kullanılan izleyiciler verildikleri kuyular (Şekil 5) ve alınan sonuçlar (Karahana ve Yıldırım 2015):

Na-Fluorescein: Sahanın orta güneyinde bulunan AP-13 kuyusuna 100 kg olarak atılmış ve takibe alınmıştır. Çatlak-fay sistemi ile birbirine bağlı ve onunla aynı basamak Fay'da bulunan AP-6, AP-5 kuyularına boya hemen ulaşmış ve kuyular tepki olarak biraz soğumuştur.

NaCl: 30 000 kg olarak yarım saat zarfında AP-15 reenjeksiyon suyuna karıştırılmış ve Klor analizleri ile saha üretim kuyularında takip edilmiştir. Klor artışı 15 gün içerisinde en yakın

kuyu olan AP-10 Kuyusunda kaydedilmiştir. Birkaç gün sonra kuyuda soğuma olduğu tespit edilmiştir.

NaBr (500 kg): Sahanın batısındaki K-G fayı üzerinde bulunan üretim kuyuları ile reenjeksiyon kuyuları arasında olası girişimi saptamak üzere üretim kuyuları aynı fay doğrultusunda bulunan AP-40 kuyusuna verilmiştir. Aynı fay üzerinde bulunan üretim kuyularından gelişini analizlerle takip altındadır.



NaBr 800 kg

NaCl 30 ton

Flourescein 100 kg

NaCl 15 ton

Şekil 5. Pamukören sahasında izlenen üretim kuyuları ve izleyicilerin verildiği kuyu lokasyonları

Sonuç

Jeotermal enerji kaynağına uygun sürdürülebilir jeotermal santral projelerinin takibi oldukça önemlidir. Sahanın optimum ve verimli işletilmesi için kaynakla ilgili olarak kuyular, rezervuar ve jeotermal sistem hakkındaki önemli bilgiler doğal ve suni jeokimyasal yollarla izlenmelidir. Jeokimyasal kuyu izlemelerinde kuyu performansı ile ilgili elde bilgiler rezervuar parametre-

lerinin aynı veya ayrı fiziksel ve kimyasal özelliklerle sürdürülebilirliğine ışık tutmalıdır. Elde edilen bilgiler kuyu ve rezervuar ile ilgili kararların alınmasında, ileriye yönelik performans tahminlerinin yapılmasında ve modelleme çalışmalarında kullanılabilir, ışık tutar nicelik ve nitelikte olmalıdır. Pamukören sahasında yapılan suni ve doğal izleme testleri, kısa sürede reenjeksiyon suyunun yakın üretim kuyularını etkilediği, soğumalara neden olacağı işaretini ve reenjeksiyon politikasının yeniden ele alınması gerçeğini ortaya çıkarmış ve olası olumsuzluklara erken müdahale imkânı tanımıştır.

KAYNAKLAR

- Arnórsson, S., and Gudmundsson, B.T., 2003: Geochemical monitoring of the response of geothermal reservoirs to production load – examples from Krafla, Iceland. *International Geothermal Conference, IGC2003, Reykjavík, Sept*
- Arnórsson, S. (editor), 2000: *Isotopic and chemical techniques in geothermal exploration, development and use: sampling methods, data handling, interpretation*. International Atomic Energy Agency, Vienna, 351pp.
- Rose, E.P., Benoit R. W., Phaedra M. K., The application of the Polyaromatic sulfonates as tracers in geothermal reservoirs Geothermics, 12 July 2011.
- Karahan Ç., Yildirim N., Production and Re-injection Strategies at Celikler Holding First 45 GPP on Pamukören-Aydin Geothermal Field. WGC 2015 Melbourne, Australia, 19-25 April 2015
- Malimo J.S. Geochemical Monitoring Practices UNU-GTP,GDC and KenGen, at Lake Navivasha, Kenya, Oct 31-Nov 22, 2013.
- Satnman, A. Serpen, U. Ugur, Z. Turkmen, N. Kızıldere Jeotermal Rezervuarı Üretim Performansının ve TekrarBasma Testinin Analizi, Türk Petrol ve Doğal Gaz Dergisi, Vol. 3, No. 2, 5664, Şubat 1997.
- Yildirim, N. 1989. Scaling Problem in The Geothermal Fields of Turkey and Its Alternative solution. Seminar on New Development in Geothermal Energy, 22-25 May
- Yildirim N. ve Simsek S. 2003. Determination of Appropriate Injection Conditions for Kizildere Geothermal Waste Fluid to Avoid Scale Formation and Cooling. European Geothermal Conference, Szeged, Hungary.

SARIKAYA (YOZGAT) JEOTERMAL ALANINDA JEOTERMAL KAYNAKLARIN SÜRDÜRÜLEBİLİR KULLANIMI VE HİDROJEOKİMYASAL DEĞERLENDİRİLMESİ

Nilgün Dođdu¹, Oktay Çelmen¹, Barbaros Erduran¹, Noyan Güner¹, H. İbrahim Erdoğan¹, Cahit Özgür¹, Hande Özsoy¹, Murat Akar¹, Yunus Duran¹

¹MTA Genel Müdürlüğü, Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi, Ankara
(nilgün.dogdu@mta.gov.tr)

ÖZ

Çalışmada, Sarıkaya(Yozgat) jeotermal alanında 2011-2015 yılları arasında MTA Genel Müdürlüğü Kurumsal Danışmanlık çalışmaları kapsamında gerçekleştirilen hidrojeokimyasal çalışmalar değerlendirilmiştir. Alanda bir doğal çıkış ve beş adet kuyu bulunmakta olup mevcut durumda iki kuyu termal aktiviteler için kullanılmaktadır. Jeotermal kaynakların (doğal çıkış ve kuyular) sıcaklıkları 31°C ile 51°C arasında değişmektedir. Sıcak sular Ca-HCO₃ karakterinde olup elektriksel iletkenlik değerleri 471 ile 913 µS/cm arasında değişmektedir. Sözleşme döneminde kuyuların kullanım durumuna göre hidrojeokimyasal değişimler bu çalışmada değerlendirilmiştir. Geçmiş dönemlerde açılan kuyuların aynı anda kullanımı ile birbirini etkilediği, kuyularda seviye düşümü ve sıcaklıkta azalma olduğu görülmüş, sonuçta sadece iki kuyunun kullanılmasına karar verilmiştir. Kurumsal Danışmanlık çalışmasının başladığı Mayıs 2011 döneminde alanda yer alan Roma Hamamı içindeki Uyuz doğal çıkışında akış görülmemiş bu nedenle ölçüm yapılmamıştır. Mart 2012 döneminde doğal çıkışın yeniden akmaya başladığı, kuyularda seviye yükselmesi ve sıcaklıkta azalma olmaması gibi olumlu durumların gerçekleştiği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sarıkaya, Yozgat, Jeotermal Enerji, Hidrojeokimya

SUSTAINABLE USAGE AND HYDROGEOCHEMICAL EVALUATION OF THE GEOTHERMAL RESOURCES IN SARIKAYA (YOZGAT) GEOTHERMAL FIELD

**Nilgün Dođdu¹, Oktay Çelmen¹, Barbaros Erduran¹, Noyan Güner¹, H. İbrahim Er-
doğan¹, Cahit Özgür¹, Hande Özsoy¹, Murat Akar¹,
Yunus Duran¹**

¹General Directorate of Mineral Research and Exploration, Head of Energy Raw Materials
Research and Exploration
(nilgün.dogdu@mta.gov.tr)

ABSTRACT

In this study, hydrogeochemical studies in Sarıkaya (Yozgat) geothermal area which assessed by General Directorate of MTA as Corporate Consultancy works in 2011-2015 are evaluated. Geothermal field comprises one hot spring and five geothermal wells that only two wells are currently used for thermal activities. Geothermal resources (hot springs and wells) temperatures vary between 31 ° C to 51 ° C. Geothermal waters are in Ca-HCO₃ facies and have 471 µs/cm to 913 µs/cm electrical conductivity values. Hydrogeochemical changes of wells have been assessed due for case of use in the contract periods. In the previous periods, it has been observed that, using thermal wells together, influenced each other by means of temperature and water level changes and therefore as a result, two wells decided to use at the same time. In the May-2011 contract period, Uyuz spring that takes part in Rome Bath haven't been analyzed because of no discharge of spring observed. Besides in March 2012 period, Uyuz spring observed to have discharged again and temperatures and water levels of the wells observed to have been increased

Keywords: Sarıkaya, Yozgat, Geothermal Energy, Hydrogeochemistry

GİRİŞ

Sarıkaya jeotermal alanında yer alan kaplıcalardan Roma devrinden beri (M.Ö. 1. yüzyıl) tedavi amaçlı yararlanıldığı tahmin edilmektedir. Alanda iki doğal çıkış ve sekiz adet kuyu bulunmakta olup mevcut durumda iki kuyu termal aktiviteler için kullanılmaktadır (Şekil 1). Jeotermal kaynakların (doğal çıkış ve kuyular) sıcaklıkları 31°C ile 51°C arasında değişmektedir. Sıcak sular Ca-HCO₃ karakterinde olup elektriksel iletkenlik değerleri 471 ile 913 µS/cm arasında değişmektedir.

Yozgat İl Özel İdaresi yetkililerinden alınan bilgilere göre; Sarıkaya jeotermal alanında özel şirket ve Hacettepe Üniversitesi tarafından yapılan etütler sonucu 2004 yılında jeotermal kuyu lokasyonları belirlenmiş, toplam 8 kuyu açılmış, 2006 yılı proje değerlendirmelerine göre 2 kuyudan ortalama 45-50 C sıcaklık ve 100 lt/sn akışkan eldesi ile 200 konut ısıtma olarak başlamış ve 2009 Ocak itibari ile 400 konutun ısıtması yapılmıştır. Sarıkaya örnek jeotermal konut ısıtma uygulamasında özel taban ısıtma sistemi başarıyla işlenmiş, 44 °C jeotermal ısıyla bile en soğuk havada (-18°C) ortam sıcaklığı 25-26°C elde edilmiştir. Ancak 2009 yılı verilerine göre SK-1 kuyusu sıcaklığı 51 °C'den 30 °C'ye, SK-5 kuyusu sıcaklığı 45 °C'den 28 °C'ye, SK-6 kuyusunun sıcaklığı 60 °C'den 43 °C'ye düşmüştür.

26.03.2010 tarihinde Sarıkaya jeotermal alanında yapılan incelemelerde SK-1 kuyusunda akışkan sıcaklığı 28,1oC, elektriksel iletkenlik değeri (EC) 565 µS/cm ve SK-6 kuyusunda akışkan sıcaklığı 43,6°C, elektriksel iletkenlik değeri (EC) 800 µS/cm olarak ölçülmüştür. Aynı tarihte SK-5 kuyusunun reenjeksiyon amaçlı kullanıldığı, diğer kuyuların kullanılmadığı belirlenmiştir. Alanda, birbirine yakın kuyuların açılması ve reenjeksiyonun da sahadaki mevcut yakın kuyulara bilinçsizce yapılması nedeniyle, kuyularda su sıcaklıklarının düştüğü ve üretim debi değerlerinin de değiştiği muhtemel olarak kuyuların birbirlerini etkilediği düşünülmüştür (Doğdu ve Kara, 2010). Bu çalışma sonrası sürdürülebilir üretim miktarının belirlenmesi, kaynakların kullanım durumlarının değerlendirilmesi, debi tespiti, rezerv durumları ve jeotermal kaynakların (kuyu ve doğal çıkış) birbirleriyle olan etkileşimlerinin araştırılması amacıyla pompa testleri yapılmıştır. 02.11.2010-11.11.2010 tarihleri arasında Sarıkaya Jeotermal Alanı içerisinde bulunan jeotermal kaynaklarda (kuyular ve doğal çıkış) yapılan pompa testleri sonucunda alanda bulunan iki kuyunun kullanılması ve ısıtmanın sona erdirilmesi önerilerinde bulunulmuş ve İl Özel İdaresi tarafından bu öneriler dikkate alınmıştır. Daha sonra Yozgat İl Özel İdaresi'nin talebi doğrultusunda imzalanan sözleşme ile Sarıkaya(Yozgat) jeotermal alanında 2011-2015 yılları arasında MTA Genel Müdürlüğü adına Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi elemanları tarafından Kurumsal Danışmanlık çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Kurumsal Danışmanlık çalışmasının başladığı Mayıs 2011 döneminde alanda yer alan Roma Hamamı içindeki doğal çıkışta akış görülmemiş bu nedenle ölçüm yapılmamıştır. Mart 2012 döneminde doğal çıkışın yeniden akmaya başladığı, kuyularda seviye yükselmesi ve sıcaklıkta azalma olmaması gibi olumlu durumların gerçekleştiği gözlenmiştir. Ancak kuyularda düzenli seviye ölçümü yapılamadığından dolayı seviye değişimleri sayısal olarak gözlenememiş ve değerlendirilememiştir.



Şekil 1. Sarıkaya jeotermal alanında yer alan kuyular ve doğal çıkışlar

JEOLOJİ

Alanın jeolojisi Özmutaf, 1988 ve Karaca, 2013'den derlenen bilgilere göre özet olarak verilmiştir.

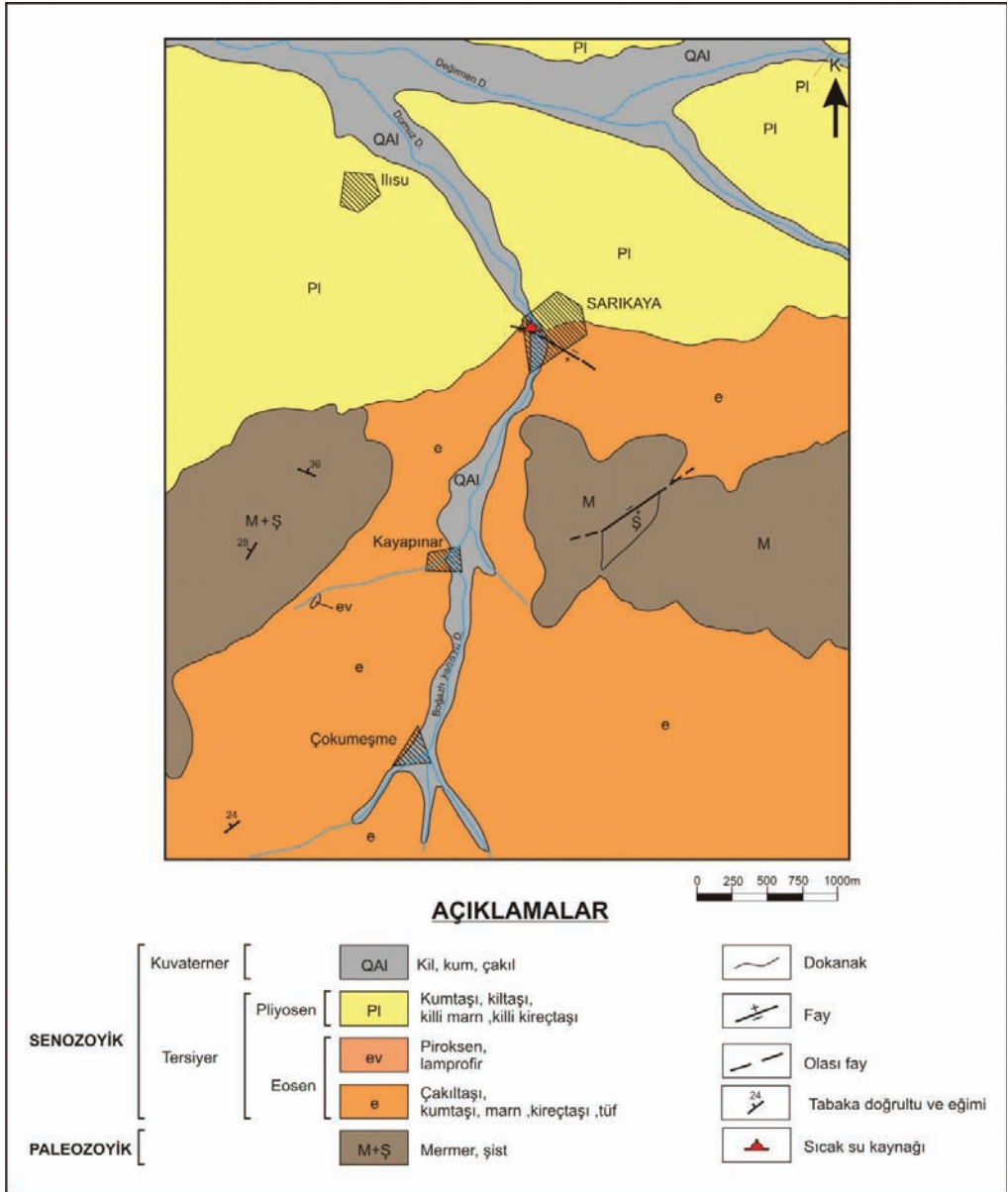
Temelde Paleozoyik yaşlı Bozçaldağ formasyonuna ait mermerler ve kuvarsit bantlı şistler yer alır. Bunun üzerine açısız uyumsuzlukla Eosen yaşlı Çayraz formasyonuna ait altere bazalt parça ve blokları içeren, konglomera, kumtaşı, marn, kireçtaşı, piroksen; lamprofir ve tüfler gelir. Eosen istifini de yine açısız uyumsuzlukla Pliyosen yaşlı İç Anadolu Grubu'na ait kumtaşı, killi marn, killi kireçtaşı ve marn serisi örter. En genç birim Kuvaterner yaşlı alüvyonlardır (Şekil 2).

Alanda genellikle KD-GB ve KB-GD doğrultulu fay sistemleri yer almaktadır. Sahada Kırşehir Masifine ait Bozçaldağ Formasyonu ile genç çökelleri birlikte etkileyen ve KD-GB doğrultulu fayın jeotermal akışkan taşıma özelliğine sahip olabileceği öngörülmüştür (Karaca, 2013).

HİDROJEOLOJİ

Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri

Eosen ve Pliyosen yaşlı killi marnlı birimler genellikle geçirimsiz olup örtü kaya özelliğindedir. Paleozoyik yaşlı mermerler, kuvarsitler ve Kuvaterner alüvyonlar geçirimli birimler olup sıcak sular kırık ve fay hatları boyunca yükselerek alüvyon içinden yüzeye çıkmaktadırlar.



Şekil 2-Sarıkaya jeotermal alanının jeoloji haritası (Özmutaf, 1988)

Sıcak su kaynakları ve kuyular

Bölgede debileri önceki yıllara göre azalmış, mevsimsel olarak değişen 2 adet sıcak su kaynağı ve 1 tanesi (SK-6) kullanılan 8 adet kuyu mevcuttur (Çizelge 1, Şekil 3 ve 4).

Çizelge 1- Sarıkaya jeotermal alanındaki sıcak su kaynakları ve kuyular (*ruhsat bilgileri)

Kaynak/Kuyu Adı	Ta- rih*	Derin- lik* (m)	Sıcak- lık* (C°)	Debi* (1/s)	Pafta Adı	Koordinatlar		Açıklama
						y* sağa	y* yukarı	
Roma Hamamı	-	-	48	15	J34b2	704411	437568	Debide azalma (5-6 lt/sn)
Uyuz	-	-	48	7	J34b2	704258	437545	Debide azalma (5-6 lt/sn)
SK-1	2005	130	30	42,5	J34b2	704326	437626	kullanılmıyor
SK-3	2005	292	24-25	86	J34b2	704302	437572	kullanılmıyor
SK-4	2005	190	36,5	45	J34b2	704331	437595	kullanılmıyor
SK-5	2006	190	28	59	J34b2	704421	437595	kullanılmıyor
SK-6	2008	190	43	59	J34b2	704460	437595	termal
SK-7	2009	-	-	-	J34b2	704438	437498	verimsiz
SK-8	2009	-	38,8	0,1	J34b2	704431	437589	kullanılmıyor

Şekil 3- SK-6 kuyusundan görünüm

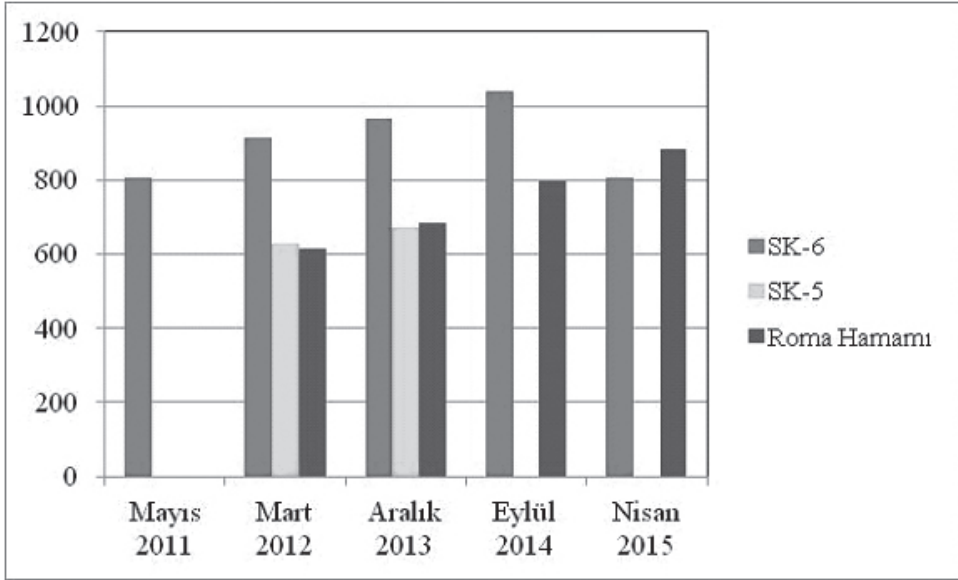


Şekil 4- Doğal çıkış (Roma Hamamı)

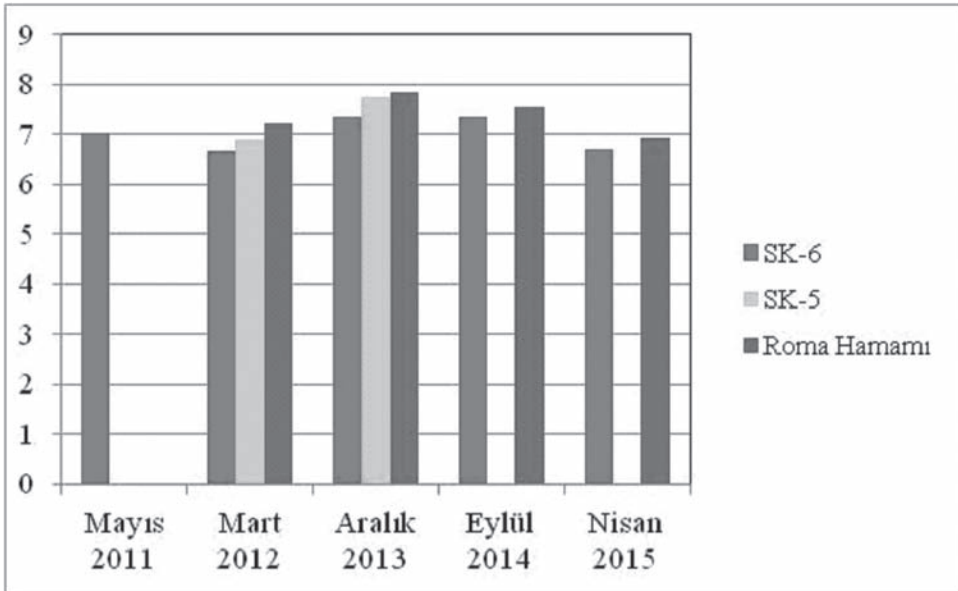


Hidrojeokimyasal Çalışmalar

Sarıkaya jeotermal alanında Mayıs 2011 döneminde başlayan ve Nisan 2015 döneminde tamamlanan MTA Genel Müdürlüğü Kurumsal Danışmanlık Çalışmaları kapsamında yapılan analizlerde çalışılan SK-5 ve SK-6 kuyuları ile Roma Hamamı doğal çıkışından su örneği alınmış, fizikokimyasal parametreler ölçülerek kimyasal analizleri yapılmıştır.



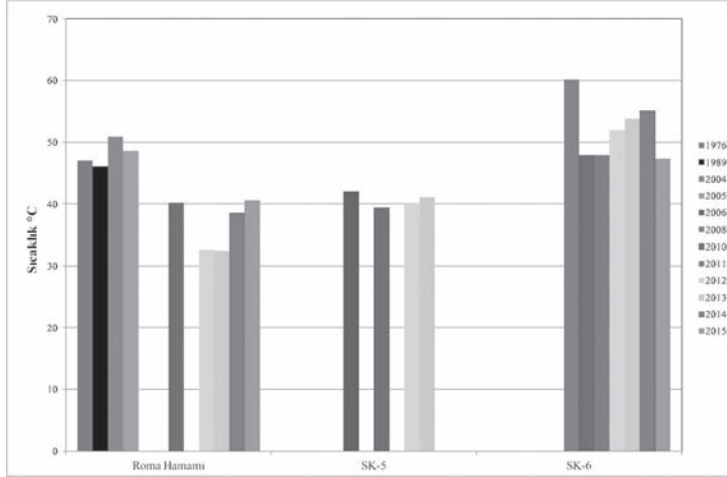
Şekil 5-Sarıkaya ruhsat alanında yer alan sıcak sulardan alınan örneklerin elektriksel iletkenlik (EC) değerleri (µS/cm)



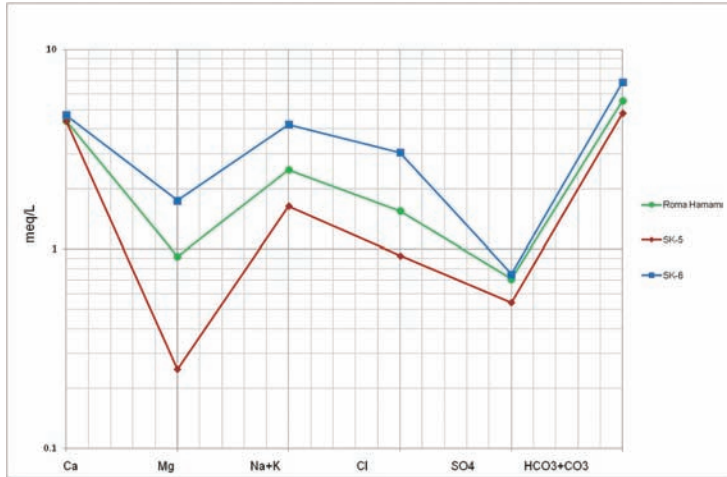
Şekil 6-Sarıkaya ruhsat alanında yer alan sıcak sulardan alınan örneklerin pH değerleri

İnceleme alanında yer alan SK-5, SK-6 kuyularından ve Roma Hamamı doğal çıkışından alınan sıcak su örneklerinin EC (Elektriksel iletkenlik) değerlerinin her yıl arttığı pH değerlerinde çok fazla değişim olmadığı görülmüş olup son dönemde alınan örnek doğrudan kuyudan değil depodan alındığı için farklılık göstermektedir (Şekil 5 ve 6). 1976 yılından itibaren farklı dönemlerde alınan sıcaklık ölçümlerine göre Roma Hamamı sıcaklık değerlerinin 2013 yılına kadar düştüğü

sonra kuyu kullanımlarının azalması ve reenjeksiyonun kesilmesi gibi olumsuz nedenlerle arttığı düşünülmektedir. SK-6 kuyusu sıcaklık değerlerinin 2011 yılından itibaren artış gösterdiği görülmektedir (Şekil 7).

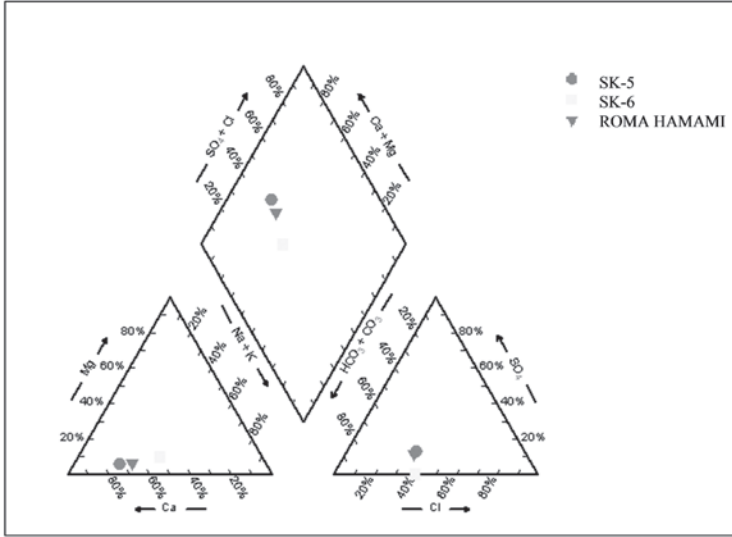


Şekil 7- Sarıkaya alanındaki iki kuyu ve doğal çıkışta yıllara göre ölçülen sıcaklık değerleri (°C)



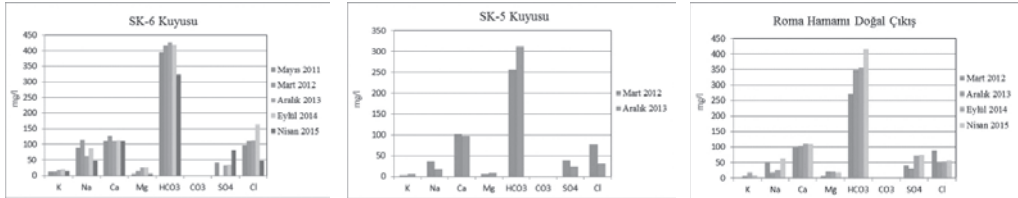
Şekil 8-Sarıkaya ruhsat alanında yer alan sıcak sulardan Mart 2012 döneminde alınan örneklerin Schoeller diyagramı ile değerlendirilmesi

Mayıs 2011, Mart 2012, Aralık 2013, Eylül 2014 ve Nisan 2015 döneminde yapılan teknik incelemelerde; Sarıkaya jeotermal alanında kullanılan sıcak su kuyularından alınan numunelerin kimyasal analiz sonuçları Schoeller ve Piper diyagramları ile değerlendirilmiş olup Schoeller diyagramında değerlerin birbirine paralellik gösterdiği ve Piper diyagramında sıcak suların genel olarak aynı bölgede yer aldığı SK-6 kuyusunun diğerlerinden bir miktar ayrıldığı görülmektedir belirlenmiştir (Şekil 8 ve 9). Buna göre, sıcak sular Ca-HCO³ karakterinde olup bölgedeki sıcak suların aynı beslenme ve dolaşım mekanizmasına bağlı olarak oluştuğu anlaşılmaktadır. Mermerlerin rezervuar kaya olması nedeniyle sıcak suyun su tipini oluşturan Ca ve HCO³ iyonlarının kökeninin mermerler olduğu düşünülmektedir.



Şekil 9-Sarıkaya ruhsat alanında yer alan sıcak sulardan Mart 2012 döneminde alınan örneklerin Piper diyagramı ile değerlendirilmesi

Sarıkaya jeotermal alanında yapılan kimyasal analiz sonuçlarına göre major anyon-kasyon konsantrasyonu değerleri grafiksel olarak Şekil 10’da gösterilmektedir. Bu diyagramlarda görüldüğü üzere kurumsal danışmanlık dönemlerinde (2011, 2012, 2012, 2013, 2014, 2015) genel anlamda mineral değerlerinde artış olduğu sadece K (potasyum) değerinin azaldığı görülmektedir.

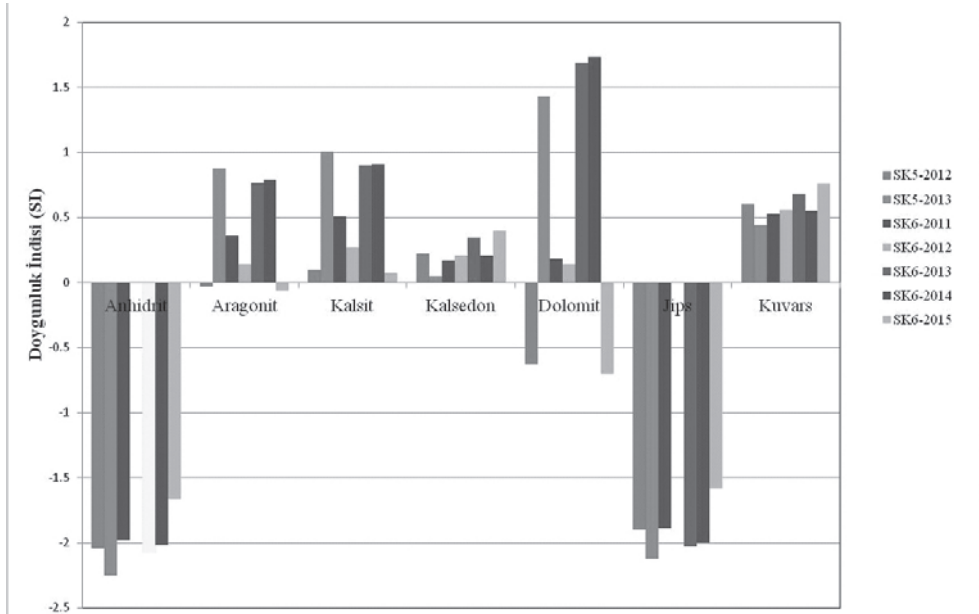


Şekil 10- Sarıkaya ruhsat alanındaki sıcak suların major anyon-kasyon konsantrasyonlarının karşılaştırılması

Doğunluk Indisi (SI) Çalışmaları

Jeotermal kuyularda karşılaşılan önemli problemlerden biri kabuklaşma problemidir. Kabuklaşma, sıcak suyun içerdiği kabuk yapıcı elementlerin belirli koşullarda doymuluğa ulaşması ve çökerek mineral ve bileşik oluşturması ile oluşur. Karbonat ve silis çökmesi sonucu oluşan kabuklaşma problemi jeotermal kuyularda sıklıkla görülen bir durumdur. Bunun yanında sıcak suyun içerdiği pek çok element, suyun kimyasal ve fizikokimyasal özelliklerine göre çeşitli mineraller oluşturabilmekte ve bu mineraller sıcak su kuyusunda veya sistemde kabuklaşma oluşturabilmektedir. Bu sebeple örnekleme noktalarından alınan numunelerin gerek kimyasal, gerekse fizikokimyasal parametreleri değerlendirilerek, jeotermal suyun, kabuklaşma riski ile ilgili kullanılan parametrelerden biri olan doymuluk indisleri hesaplanmıştır. Elde edilen bu veriler ile sıcak su kuyularında ve/veya ısıtma sisteminde bir kabuklaşma riski olup olmadığı değerlendirilmiştir

SK-5, SK-6 kuyuları ve Roma Hamamı doğal çıkışından 2011, 2012, 2013, 2014 ve 2015 yıllarında alınan su örneklerinin analizinde kaynaklardan elde edilen akışkanın anhidrit (CaSO_4) ve jips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) minerallerine doymun olmadığı, aragonit (CaCO_3), kalsit (CaCO_3), kalsedon (SiO_2) ve kuvars (SiO_2) minerallerine doymun olduğu görülmektedir. Sadece 2012 yılında SK-5 kuyusundan ve 2015 yılında SK-6 kuyusundan alınan örneklerde dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) mineraline doymun olmadığı görülmektedir (Şekil 11). Bu durumda alanda yer alan suların kabuklaştırıcı özelliğe sahip olduğu, silis doymunluklarının (kalsedon, kuvars) özellikle reenjeksiyon kuyularında jelleşmeden dolayı çatlaklarda tıkanma vb. sorun yaratabileceği düşünülmektedir. Karbonatların çökeliminde (aragonit, kalsit, dolomit vb.) diğer etkin parametre pH'dır. pH'ın yüksek olması çözeltideki karbonat iyonlarının derişimini arttıracacağı için çökelmeyi artırır. Çözünmüş CO veya CO_2 'in kısmi basıncı çözeltide karbonik asit oluşmasına neden olduğu için pH değerini düşürmekte dolayısıyla CaCO_3 'ün çökmesini önlemektedir. Silis çökmesi (kuvars, kalsedon vb.) pH, sıcaklık, silis konsantrasyonu gibi etkenlere bağlı olarak değişir. Silis çökeli mi, daha çok eşanjör sistemlerinde ve reenjeksiyon kuyularında görülmekle birlikte, reenjeksiyon kuyularında kuyu-formasyon arasında çökelererek iletimliliği azaltabildiği düşünülmektedir.



Şekil 11. Sarıkaya jeotermal alanında yer alan SK-5 ve SK-6 kuyularının yıllara göre hesaplanan doymunluk indisleri

3.5. Pompa Testleri

Yozgat-Sarıkaya Kaplıca Tesislerinin SK-1, SK-5 ve SK-6 sıcaksu kuyularının debi tesbiti, rezerv durumları ile kuyuların ve kaynakların birbirleriyle olan etkileşimlerinin araştırılması amacıyla pompa testleri yapılmıştır. SK-6 Kuyusunda 45 l/s sabit debi ile 9 saat süreli, SK-1 Kuyusunda 45 l/s sabit debi ile 11,5 saat süreli düşüm testleri ile bu testleri takip eden yükselim deneyleri yapılmıştır. Ayrıca SK-5 Kuyusunda artezyen halinde (25 l/s) 5 gün süre ile gözlem yapılmıştır.

SK-1 kuyusunda sıcaklığın başlangıçta 45 °C civarında olduğu ve pompaja bağlı olarak bu ku-

yuların soğuduğu göz önüne alınırsa; SK-1, SK-3 ve SK-5 kuyularından her ne şekilde olursa olsun herhangi bir amaca yönelik şekilde (evsel, şebeke, tarımsal vs. amacıyla) pompa ile su çekilmemelidir ve/veya artezyen debisinden faydalanılmamalıdır. Ayrıca, halen termal tesislerde kullanılan ve SK-6 kuyusundan doğal artezyen olarak boşalan sıcak suyun miktarının gelecekte, kuyuya pompa inilerek artırılmasına yönelik bir çalışmada yapılmamalıdır. Çünkü geçmişte kaynaktan boşalan sıcaksu, şu an doğal dengenin bozulması nedeni ile kaynaklar yerine SK-6 kuyusundan boşalmaktadır.

Jeotermal sahalarda ve kuyularda üretim yapıldıkça sıcaklıkta artışın oluşması beklenir ve sistem belirli bir sıcaklıkta dengeye ulaştıktan sonra da jeotermal alandan üretim gerçekleştirilir. Ancak bu saha için bu güne kadar yapılan tüm çalışmalar yukarıda bahsedilen durumun tam tersi bir durumu göstermektedir. Sahadan üretim yapıldıkça sıcaklıkta önemli düşüşler gözlenmekte, sisteme soğuk su girişi olmaktadır (Erduran vd.). Bu çalışmanın sonuçlarına göre termal tesislerde kullanılmak üzere SK-6 kuyusundan faydalanılabilir, ancak kuyudan kontrollü üretim yapılması gerekmektedir (Doğdu vd, 2011).

Alanda, (Erduran vd.,2010) tarafından yapılan pompa testleri sonucuna göre konut ısıtmasından vazgeçilip sadece termal amaçlı kullanılması jeotermal kaynağın verimli kullanılmasını sağlamıştır. Kurumsal Danışmanlık çalışmasının başladığı Mayıs 2011 döneminde alanda yer alan Roma Hamamı içindeki doğal çıkışta akış görülmemiş bu nedenle ölçüm yapılmamıştır. Mart 2012 döneminde doğal çıkışın yeniden akmaya başladığı, kuyularda seviye yükselmesi ve sıcaklıkta azalma olmaması gibi olumlu durumların sağlandığı gözlenmiştir. Geçmiş dönemlerdeki ölçümlerde doğal çıkışın sıcaklık değerlerinin İÜTF,1976'ya göre 47 °C, Özmutaf, 1988'e göre 44-48 °C olduğu görülmektedir. Alanda jeotermal kaynakların sürdürülebilirliğin sağlanması için sıcaklık, debi ve seviye kontrolünün yapılması, değişimlerin kaydedilmesi ve 6 aylık dönemlerde hidrojeokimyasal analizlerin yapılması uygun olacaktır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sarıkaya ruhsat alanında 2004 yılından günümüze kadar MTA Genel Müdürlüğü ve özel şirketler tarafından derinlikleri 130-292 m, sıcaklıkları 25-60°C arasında değişen 8 adet sıcak su üretim kuyusu açılmıştır.

Sarıkaya jeotermal sahasının jeotermal ısı potansiyeli, reenjeksiyon şartları da gözönüne alınarak ve ısıtmadan dönen su sıcaklığı 40 °C kabul edilerek ve hacim yöntemi kullanılarak hesaplandığında sahanın ısı potansiyeli %20 kurtarım faktörü için yaklaşık 1 MWt olarak bulunmuştur. ısıtmadan dönen akışkanın reenjekte edilmesi koşullarında bu potansiyel tek başına yaklaşık 100 konut eşdeğeri ısıtmaya veya yaklaşık 5 dönüm sera ısıtmacılığına denk gelmektedir. Bu sahada yapılan ısıtma uygulamasının, saha için hesaplanan jeotermal potansiyel değeri gözönüne alındığında, mevcut teknik koşullarda, sürdürülebilir nitelikte bir uygulama olmayacağı düşünülmektedir. Sahadan üretilen akışkanların ısıtma uygulamalarından ziyade termal turizmde kullanılması sürdürülebilir verimin sağlanması açısından daha doğru bir uygulama olacaktır. Sahadan üretilen jeotermal akışkanların termal tesislere yönlendirilmesi halinde, saha için belirlenen ısı potansiyeli değerine göre, yaklaşık 40 °C ile termal turizm uygulamaları için kaplıca veya termal tesislere gönderilen jeotermal akışkanın, 1 ton/gün.kişi baz alınarak, yaklaşık 1500 kişi/gün yatak kapasitesine denk geleceği belirlenmiştir. Sahada bulunan termal tesislere ait mevcut yatak kapasitesi yaklaşık 340 kişi/gün civarındadır.

Sarıkaya ilçe merkezinin -kaynaklar dikkate alındığında- geçmişte var olan toplam 34 l/s debi

ve 48 0C olan sıcak su potansiyelinde, ısıtmaya yönelik olarak yapılan bir dizi sondajlar sonucunda sıcaklık artışı sağlanamamış, buna karşılık bir miktar debisi arttırılabilmektedir. Bu debi artışı da (yaklaşık 10 l/s) sisteme soğuk su girişine neden olmuş ve sistemi soğutmaya başlamıştır.

Alanda açılan sıcak su kuyularının fazla sayıda ve birbirine yakın olması kontrolsüz su kullanımı bu kuyulara soğuk suların karışmasına yol açmakta olup bu kuyuların sıcaklık, basınç, debi vb. şartlarını olumsuz yönde etkilemektedir. Dolayısıyla söz konusu alan içerisinde kesinlikle yeni kuyu açılmasına izin verilmemelidir.

Sonuç olarak, kuyularda yapılan test çalışmalarında mevcut kuyularda ölçülen sıcaklık ve debi değerlerinin konut ısıtması için düşük ve yetersiz olduğu belirlenmiştir. Bu kuyuların termal turizm amaçlı değerlendirilmesinin jeotermal kaynağın verimli kullanılması bakımından daha uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

Ayrıca Sarıkaya jeotermal alanına ait 1988 yılında yapılan kaynak koruma alanı çalışması bulunmaktadır. Alanda ve bitişik ruhsat alanında yeni kaynak arama çalışmaları devam ettiği için kaynak koruma alanı çalışması güncellenememiş olup yakın zamanda 5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu ve Uygulama Yönetmeliği hükümlerine göre güncel kaynak koruma alanı çalışması yapılacaktır.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

- Erduran B., Güner N., Erdoğan H.İ., Özgür C., Özsoy H., 2010, Sarıkaya Jeotermal Sahası Sıcaksu Kuyularında Pompa Testleri, (yayımlanmamış) Ankara
- Doğdu, N ve Kara, İ., 2010, Yozgat-Sarıkaya jeotermal sahası teknik inceleme notu, Ankara (yayımlanmamış)
- Doğdu N., Özsoy H., Ünal H., Akar M., 2011, Yozgat İl Özel İdaresi Adına Yozgat İli Ruhsat Alanları Kurumsal Danışmanlık Çalışması Mayıs 2011 Dönemi Teknik İnceleme Raporu(yayımlanmamış)Ankara
- Doğdu N., Çelmen O., Akar M., Duran Y., 2012, Yozgat İl Özel İdaresi Adına Yozgat İli Ruhsat Alanları Kurumsal Danışmanlık Çalışması Ekim 2011, Mart 2012, Temmuz 2012 Dönemleri Teknik İnceleme Raporu(yayımlanmamış) Ankara
- Doğdu N., Çelmen O., Akar M., Duran Y., 2015, Yozgat İl Özel İdaresi Adına Yozgat İli Ruhsat Alanları Kurumsal Danışmanlık Çalışması Aralık 2013, Nisan 2014, Eylül 2014 Dönemleri Teknik İnceleme Raporu(yayımlanmamış) Ankara
- Doğdu N., Çelmen O., Akar M., Duran Y., 2015, Yozgat İl Özel İdaresi Adına Yozgat İli Ruhsat Alanları Kurumsal Danışmanlık Çalışması Kasım 2014, Şubat 2015, Nisan 2015 Dönemleri Teknik İnceleme Raporu(yayımlanmamış) Ankara
- İÜTF, 1976, Türkiye Maden Suları, İç Anadolu Bölgesi, İstanbul Üniversitesi Tıp Fakültesi Tıbbi Ekoloji ve Hidroklimatoloji Kürsüsü.
- Karaca, S., Duman Ö., Akdoğan G., Kesgin Ö. Ve Ünal H., 2013, Yozgat İl Özel İdaresine ait yedi adet jeotermal enerji arama ruhsat sahasına ilişkin jeoloji ve jeofizik etüt raporu: MTA Derleme Rapor No: 11589, (yayımlanmamış) Ankara
- Özmutaf, M., 1988, Yozgat - Sarıkaya Kaplıcası Hidrojeoloji Etüdü : MTA Derleme Rapor No: 8728, 12 s (yayımlanmamış) Ankara
- Özmutaf, M., Yücel, Z., Demirci, S. ve Büyük, M., 1985, Yozgat - Boğazlıyan Bahariye (Cavlak) Kaplıcasının Hidrojeoloji İncelemesi: MTA Derleme Rapor No: 7794, 20 s (yayımlanmamış) Ankara

KAYNAK GELİŞTİRME

SON DÖNEMDE YAPILAN ÇALIŞMALARLA BİRLİKTE ANKARA TERMAL TURİZM BAŞKENTİ OLABİLİR Mİ?

Engin Bülbül¹, Düzgün Çam¹

*MTA Genel Müdürlüğü Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi, 06520, Ankara, Türkiye
(e.bulbul08@gmail.com)*

ÖZ

Son dönemde MTA Genel Müdürlüğü tarafından “Ankara ve Cıvırı Jeotermal Enerji Aramaları Projesi” kapsamında Ankara ve yakın civarında yoğun jeoloji ve jeofizik arama faaliyetleri yürütülmüş ve bu faaliyetler sonucunda yaklaşık 13000 m arama sondajı gerçekleştirilmiştir. Genel Müdürlüğümüz tarafından yapılan bu arama faaliyetleri sonucunda Ankara-Sincan, Polatlı, Ayaş, Beypazarı, Çubuk, Kızılcahamam, Çamlıdere, Güdül ilçelerinde ayrıca Kazan Belediyesi tarafından yapılan çalışmalarla da Kazan ilçesinde önemli jeotermal potansiyelin olduğu görülmüştür. Halen proje kapsamında çalışmalarımız devam etmekte olup, bu bildiriyle Ankara'nın yeni yapılan çalışmalarla birlikte özellikle seracılık ve termal turizm potansiyeli hakkında bilgiler verilecektir.

Anahtar kelimeler: Ankara, jeotermal, termal turizm, seracılık.

CAN ANKARA BE THE CAPITAL OF THERMAL TOURISM IN THE LIGHT OF NEW STUDIES DONE DURING THE LAST DECADE?

Engin Bülbul¹, Düzgün Çam¹

*Department of Energy Raw Material Research and Exploration 06520, Ankara, Türkiye
(e.bulbul08@gmail.com)*

ABSTRACT

Some intensive geological and geophysical studies have been carried out in Ankara and its vicinity by the General Directorate of Mineral Research and Exploration of Turkey within the context of “Ankara and its Vicinity Geothermal Energy Exploration Project” and 13000 m exploration drilling have been done during these studies in the last decade. As a result of these exploration studies carried out by both the General Directorate in Ankara-Sincan, Polatlı, Ayaş, Beypazarı, Çubuk, Kızılcahamam, Çamlıdere, Güdül districts, and by the Kazan Mayoralty in Kazan district, it has been understood that there is a great geothermal potential in those districts of Ankara. The studies are still ongoing and in addition to the studies done in Ankara and its close vicinity, particularly greenhousing and thermal tourism is going to be discussed in this proceeding.

Keywords: *Ankara, geothermal, thermal tourism, greenhousing.*

TÜRKİYE MİNERALLİ SU POTANSİYELİ VE SORUNLARIMIZ

Nizamettin Şentürk, İbrahim Akkuş

ÖZ

Madensuyu (Mineralli su), yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde, uygun jeolojik koşullarda doğal olarak oluşan ve bünyesinde en az 1000mg/l çözülmüş mineraller ve/veya eser elementler bulunduran, yeryüzüne kendiliğinden veya teknik usullerle çıkarılan sıcak veya soğuk sulara denir. Ülkemiz Alp-Himalaya orojenik kuşağında oluşu nedeniyle madensuları yönünden dünyanın en zengin ülkeleri arasındadır. Ayrıca maden sularımızın mineral konsantrasyonları 1500-3000 mg/lt arasında değişmektedir. Bu durum kullanımı özendirilmektedir.

Madensuları, genellikle jeotermal kaynaklarla aynı kırık sistemi içinde yer almaktadır. Sıcak suların hemen yakınından çıkan madensuları kimyasal olarak jeotermal kaynaklara benzer, Jeotermal alandan uzakta çıkan madensuyu kaynağı ise karışımın etkisiyle daha seyrelmiş bir birleşim gösterir.

Türkiye’de 225 adet madensuyu kaynağı ve/veya kaynak grubu belirlenmiştir. Bunların çoğunluğu Na-HCO₃ tipindedir. Envanter çalışması sonucu belirlenen toplam debi 63.330.000 Litre/gün’dür.

Ülkemizde madensuyu tüketimi yılda kişi başı 8,5 litre dolayındadır. Oysa Avrupa’da kişi başı yıllık tüketim 150 litre’dir. Avrupa’ya göre çok daha kaliteli madensularına sahip olmamıza karşın tüketimin az oluşu sorgulanmalıdır.

Ülkemizde, Sağlık Bakanlığı’ndan ruhsatlı 40 madensuyu işletmesi vardır. Bunlardan ulusal boyutta faaliyet gösterenlerin sayısı 10-12 dolayındadır.

Madensuyu, dış satımı da son derece yetersizdir. Oysa kaliteli maden sularımızın dış satımı teşvik edilse ülkeye önemli miktarda döviz sağlanabilir.

Madensularımız 13.Haziran.2007 tarihinde yürürlüğe giren 5686 sayılı “Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu”na göre belli bir düzen altına alınmıştır. Ancak bu kanunun da yaratmış olduğu birtakım sıkıntılar mevcuttur.

Bu bildiri de ülkemiz madensuyu (mineralli su) potansiyeli aktarılacak, sektörel bazda yaşanan sorunlara değinilerek çözüm önerileri tartışılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Mineralli su, orojenik kuşak, potansiyel, debi, kişi başı tüketim,mineral konsantrasyonu.

POTENTIAL OF TURKISH MINERAL WATER AND ISSUES

Nizamettin Şentürk, İbrahim Akkuş

ABSTRACT

Mineral water to be formed naturally when appropriate conditions occur in various depth of earth's crust and it contains at least 1000 mg/l of decomposed minerals and/or rare elements. Mineral water is taken out by some technical methods or comes out itself as a hot or cold water. Because Turkey is on the Alp-Himalayan orogenic zone, it is one of the richest country in terms of mineral waters. Also Turkish mineral water concentrations are between 1500-3000 mg/lt.

Usually mineral waters are in the same fault system with geothermal sources. Mineral water that comes out near to hot waters is chemically similar to geothermal sources and the ones that come out far from geothermal zone shows rarefy combination with the mixture's effect.

It is identified that there are 225 mineral water source and source group in Turkey. Most of them are Na-HCO₃. As a result of inventory study the total flow rate is found which is 63.330.000 liters per day.

The consume rate of mineral water in Turkey is 6 liters per person per year. However this number is 150 liter per person per year in Europe. It should be questioned that even though we have better quality mineral water, the consumption is very low.

We have 38 mineral water manufacturers that hold license from Ministry of Health in Turkey. 10-12 of them operates nationwide.

Export of mineral water is very insufficient in Turkey. However if there would be a incentive for export, it would bring significant amount of foreign currency to the country.

Turkish mineral waters have been regulated according to Law 5686, "Geothermal Sources and Natural Mineral Waters Law" which enters into force by 13th June 2007. However there are some issues which have been caused by this law.

Turkish mineral water potential, market issues and its solutions are going to be discussed in this statement.

TANIM

- Yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde, uygun jeolojik şartlarda doğal olarak oluşan, en az 1000mg/L çözülmüş mineraller ve/veya eser elementler bulunduran, doğal yapısında karbondioksit ve radyoaktif elemente sahip olan, yeryüzüne kendiliğinden çıkan veya teknik usuller ile çıkartılan sıcak veya soğuk yeraltı sularına, mineralli su veya Ülkemizde kullanılan isimlendirme ile madensuyu denir.
- Sıcak ve soğuk mineralli suların genellikle aynı kökenli oldukları, soğuk mineralli suların kondüktif (ısı kaybı) soğuma ile sıcaklıklarının düştüğü ve/veya çeşitli oranlarda soğuk yer altı suları ile karışmalarından kaynaklandığı bilinmektedir (Castany.1969).
- Mineralli sular genellikle sıcak su kaynağı ile aynı fay grubu üzerinde veya jeotermal alan çevresinde, aynı kırık sistemi içerisinde yer almaktadır. Sıcak suların hemen yakınında oluşan maden suları daha fazla CO₂ içermekle beraber, sıcak sulara benzer bir kimyasal bileşim göstermektedir. Ancak aralarındaki uzaklık arttıkça, karışım nedeniyle önemli derecede etkilenmekte ve sıcak sulara göre seyrelmiş bir bileşim göstermektedir (Truesdell 1991.).
- Mineralli suları, sıcak sulara göre daha dar kırık ve çatlaklar boyunca ve daha fazla mesafe kat ederek yüzeye ulaşmaktadır. Genellikle hidrotermal oluk şeklindeki yükselim ve düşük akış hızı nedeni ile soğumaktadırlar.
- Ülkemizdeki mineralli suların çoğunluğu Na-HCO₃ tipindedir. Bununla beraber Ca-HCO₃, Mg-HCO₃ ve NaSO₄ tip sulara da rastlanmaktadır. Suların pH değerleri 5,38-8,79, sıcaklıkları ise 10-27 C arasında değişmektedir

TARİHÇE

Arkeolojik araştırmalar, Türkiye'deki sıcak veya soğuk mineralli suların sağlık amacıyla kullanılmalarının M.Ö.1200-700 yılları arasında bugünkü Kütahya ve Eskişehir'i kapsayan bölgede yaşamış olan Frigyalılar ve daha sonra ise tüm Anadolu da hüküm süren Roma, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı İmparatorlukları dönemlerini de kapsayarak günümüze kadar uzandığını göstermektedir.

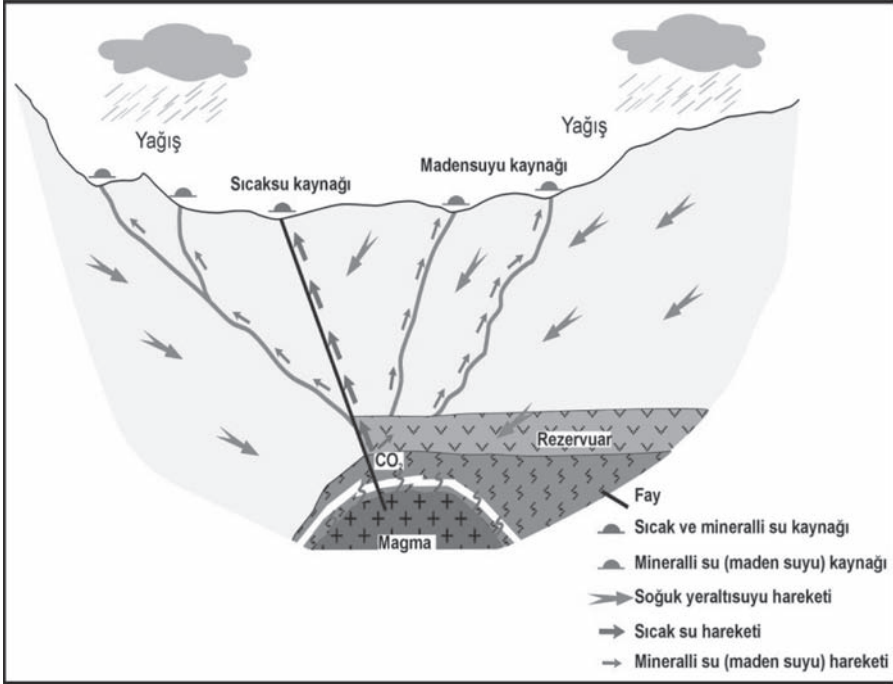
Ülkemizde ilk madensuyu şirketi Keşişdağı adı ile faaliyet göstermiştir. Daha sonra 1926 yılında Atatürk'ün emri ile Afyon Gazlıgöl'de Kızılay Derneğine imtiyaz verilerek madensuyu işletmesi başlatılmıştır. 1950'li yıllardan itibaren ülkemizin değişik yörelerinde madensuyu işletmeleri açılmaya başlanmıştır.

Mevzuat yönüyle düzenleme Avrupa'da 1781 yılında başlamış olmasına karşın, 1980'li yıllara kadar başka kanunlar içerisinde düzenlemeleri yapılan madensuyuna yönelik ilk yönetmelik T.C. Sağlık Bakanlığı tarafından 1988 yılında yayınlanmıştır.

MADENSUYU(MİNERALLİ SU) OLUŞUMU

Yağmur ve kar suyu gibi yüzey suları kayaların yarık ve çatlaklarından derinlere sızarak uzun bir yolculuğa çıkarlar(Şekil-2). Suların bu yolculukları 10 yıl hatta 100 yıl gibi sürelerdir. Derinlere süzülen bu sular rezervuar olarak tanımlanan hazne kayada depolanır. Rezervuardaki basınç ve sıcaklığın etkisiyle sular, bulduğu en kolay yoldan(genellikle fay hatları veya hidrotermal kanallar) yukarıya doğru hareket ederek kaynak şeklinde yüzeye çıkar. Sular yeraltı-

na sızarken ve yukarıya çıkarken temas ettikleri değişik türdeki kayalardan farklı mineralleri bünyelerine alırlar. Böylece mineralli su özelliği kazanmış olurlar. Bu suları diğer sulardan ayıran en önemli özellik ise bünyelerinde en az litrede 1000mg. Erimiş madde bulundurmalarıdır. Madensularının bünyelerinde bulundurdıkları minerallerin oranları, onların hangi kayalarla temasta olduklarının göstergesidir. Örneğin; kalsiyum ve bikarbonatça zengin bir madensuyu, kireçtaşı rezervuarından geliyor denilebilir.



Şekil 2: Sıcak ve mineralli su (maden suyu) kaynaklarının oluşumu

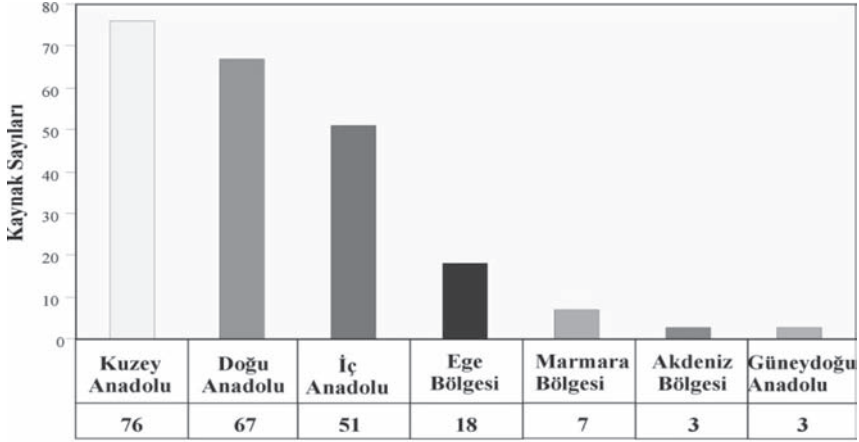
ÜLKEMİZ MADENSUYU (MİNERALLİ SU) POTANSİYELİ

- Türkiye, Dünyanın önemli jeotermal kuşaklarından olan Alp-Himalaya orojenik kuşağında bulunması nedeniyle mineralli sular açısından zengin ülkeler arasındadır. Türkiye’de mineralli suların bulunduğu alanlar genellikle Paleozoyik masiflerin kenarındaki kırık zonlarıdır. Ayrıca etkin Kuvaterner-Üst Tersiyer volkanizmasının önemli ısı kaynağı oluşturması ana faktörlerdendir.
- Türkiye’de mineralli su alanları, Ege Bölgesinde genellikle graben yapılarına bağlı olarak, Orta ve Doğu kesimlerde, Neotektonizmanın etkisiyle Anadolu Levhasının uğradığı değişiklik nedeniyle gelişmiştir. Anadolu Levhasında yer alan, Kuzey Anadolu Fay Zonu ve buna bağlı aktif açılma yapıları ile Marmara ve Güney Doğu Anadolu bölgelerindeki tortul havzaların derinliklerinde önemli jeotermal alanlar bulunmaktadır, dolayısıyla bu alanlarda aynı zamanda bol mineralli su bulunmaktadır(Şekil 2).



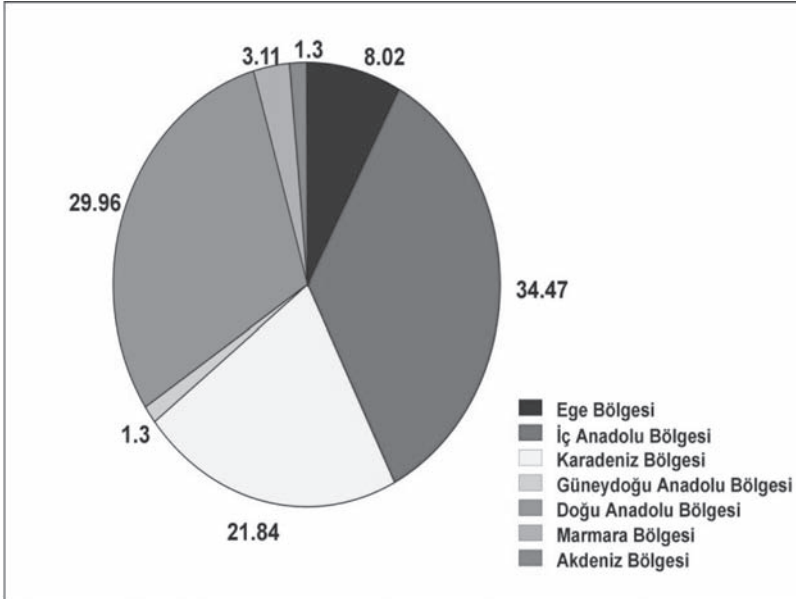
Şekil 2: Türkiye'de genç tektonik hatlar, sıcak ve mineralli su (maden suyu) kaynaklarının dağılımı

- Mineralli Su Kaynak ve/veya Kaynak Grubunun Bölgesel Dağılımı(Şekil -3).
- Kuzey Anadolu 76 Adet
- Doğu Anadolu 67 Adet
- İç Anadolu 51 Adet
- Ege 18 Adet
- Marmara 20 Adet
- Akdeniz 3 Adet
- G. Doğu Anadolu 3 Adet
- Ülkemizde yaklaşık 225 madensuyu kaynağı ve/veya kaynak grubu vardır.
- Maden suyu kaynaklarından günlük boşalım (debi) ise 63.331.000 lt/gün olarak tahmin edilmektedir. Bu rakam üretim bazında düşünüldüğünde yıllık 100 milyar şişeye karşılık gelmektedir (Oysa 2014 yılı madensuyu üretimi yaklaşık 3 milyar şişedir. Diğer bir söyleyişle ancak potansiyelimizin %6'sini değerlendiriyoruz.Geriye kalan %94 oranındaki potansiyel boşa akmaktadır, ancak bunların tümünün işletmeye elverişli olduğu analizler sonucu ortaya çıkarılabilir



Şekil 3:Türkiye'de maden suyu kaynak sayılarının bölgelere göre dağılımı

- Debiye göre bölgesel dağılım ise;(Şekil-4)
- İç Anadolu %35
- Doğu Anadolu %30
- Kuzey Anadolu %22
- Ege % 8
- Marmara % 3
- Akdeniz – G.D.Anadolu % 2



Şekil 4: Türkiye'de Maden suyu kaynaklarının bölgelere göre toplam debi dağılımı

TÜRKİYE'DEKİ MADENSUYU(MİNERALLİ SU) İŞLETMELERİ

- Türkiye'de Sağlık Bakanlığı'ndan ruhsatlı 42 mineralli su işletmesi bulunmaktadır. 2004 yılında çıkarılan yönetmelikten sonra şu anki rakama göre 10 adet kaynak suyu işletmesi mineralli su ismini alarak üretim yapmaktadır.
- Bizim tanımlamamıza göre (önceki yönetmeliğe göre) 32 işletme madensuyu statüsünde olup bunlardan 10-12 adedi ulusal boyutta faaliyet göstermekte olup geriye kalanların bir kısmı bölgesel faaliyet göstermekte bir kısmı da şimdilik faaliyetini durdurmuştur.
- Ülkemizin önemli madensuyu işletmelerinden bir kısmı aşağıda gösterilmektedir (Alfabetik sıralamaya göre).
 - Akmina
 - Beypazarı
 - Çaldağ
 - Çamdibi
 - Çınar
 - Efe
 - Flores
 - Fresa
 - Kaman
 - Kınık
 - Kızılay
 - Kızılcahamam Çamlık
 - Kiserna
 - Kristal
 - Kula
 - Özkaynak
 - Özgü
 - Sarıkız
 - Selendi
 - Sırma
 - Sodaş
 - Şifa
 - Uludağ

Ülkemizdeki Madensuyu Tüketiminin Diğer Bazı Ülkelerle Karşılaştırılması

Kaynak bakımından zengin olmamıza rağmen ne yazık ki madensuyu tüketimimiz son derece azdır. Bu az tüketimin birçok nedeni olmakla beraber en önemli neden, madensuyunun tanıtım yetersizliğidir. Türk insanı madensuyunu sadece hazmı kolaylaştırıcı bir içecek olarak tanımakta ve bir nevi ilaç niyetine kullanmaktadır. Son yıllarda sektörü temsil eden Türkiye Madensuyu Üreticileri Derneği (TÜRKMASUDER)'nin yapmış olduğu çalışmalar neticesi ve ayrıca ürün

çeşidi olarak aromalı madensuyunun da piyasaya çıkmasının etkisiyle tüketimde önemli bir artış gözlenmiştir. Ancak aşağıdaki tablodan da görülebileceği gibi gelişmiş ülkelerle kıyaslandığında çok düşük tüketimimizin olduğu görülmektedir.

<u>Ülke</u>	<u>Kişi Başı Yıllık Tüketim(Litre)</u>
İtalya	158
Meksika	139
Belçika	124
Fransa	116
Almanya	100
İspanya	99
İsviçre	96
Avusturya	78
Portekiz	43
İrlanda	20
Hollanda	18
Türkiye	8

Madensuyu sektörü olarak belirlenen hedef 2016 yılında kişi başı yıllık madensuyu tüketiminin 15 litreye çıkarılmasıdır.

- Coğrafiik Lokasyon: Kaynaklar batıdadır
- Demografik: Yaşa göre tüketim değişmektedir
- Yaşam Tarzı: alışkanlıklar, kültür
- Kişilik: bilinçli olarak tüketimin avantajları ve tadının sevilmesi
- Hazır olma aşaması: Avantajları hakkında bilgi sahibi olan insanlar
- Maden suyu içeriğinde bulundurduğu doğal mineraller nedeniyle insan sağlığı açısından son derece önem arz etmektedir. Bir kişinin günde ortalama 3 lt su tüketmesi önerilmekte olup bunun yarıya yakını maden suyu olarak tüketilirse günlük alınması gereken minerallerin belli bir bölümü doğal olarak maden suyundan alınmış olur.

Madensuyundaki bazı minerallerin sağlık açısından önemleri şu şekilde sıralanmaktadır (Karağülle, Z., 2002).

- Kalsiyum: Kemik ve diş sağlığı, kan pıhtılaşması, sinir uyarılarının iletimi
- Magnezyum: Kalp sağlığı, kas ve sinir sağlığı ve enerji üretimi
- Sodyum: Su-elektrolit dengesi, sindirim, asit-baz dengesi, uyarı iletimi
- Potasyum: Hücre metabolizması, su dengesi
- Florür: Diş ve kemik sağlığı
- Klorür: Su-elektrolit dengesi
- Bikarbonat: Sindirim, asit- baz dengesi
- Sülfat: Sindirim, safra kesesi fonksiyonlarının uyarılması

DEĞERLENDİRME

- Alp-Himalaya orojenik kuşağında bulunan Türkiye jeotermal kaynaklarda olduğu gibi mineralli sular yönü ile de dünyanın ilk 7 ülkesi arasında bulunmaktadır.
- Zengin mineralli su kaynaklarına sahip olunmasına karşın kaynakların değerlendirilmesinde yetersiz kalınmış, Avrupa'da kişi başı yıllık tüketim ortalama 150 litre civarında iken ülkemizde bu oran sadece 8 litre civarındadır. Oysa bilinmektedir ki; gelişmiş ülkelerde madensuyu tüketimi haklın bilinçli olması nedeni ile yüksek orandadır. Yukarıdaki sonuçta bunun göstergesidir.
- Madensularımız, mineral konsantrasyonu yönüyle de, oldukça zengindir. Ülkemizdeki maden sularının mineral değerleri 1500-3000 mg/Litre arasında değişmektedir
- Türkiye'de Sağlık Bakanlığı'ndan ruhsatlı 42 madensuyu firması bulunmakta olup, bunlardan 10-12 adedi ulusal boyutta faaliyet göstermektedir. Geriye kalanlar bölgesel çapta faaliyetini sürdürmektedir.
- Bu sektördeki en önemli kriter pazarlama iletişimidir. Çünkü sektör ancak ihtiyaçlarını karşılayabilmektedir, şirketler herhangi bir promosyon yapamamaktadırlar. Bu yüzden pazarlama iletişiminde bulunan şirketler, diğer rakiplerinden bir adım öne çıkabilmektedirler.
- Ücretlendirme bir anahtar rol oynamamaktadır, çünkü ücretler genelde aynıdır. Ek olarak, talepteki eksiklik fiyatları yükseltmez.

PAZAR PAYLARI

- Beypazarı %36
- Kızılay %21
-
- Uludağ & Özkaynak %12
- Diğer %29

KURUMSAL YAPI

- Herhangi bir pazarlama iletişimi bulunmamaktadır, çünkü sektör ancak kendi ihtiyaçlarını karşılayabilmektedir.
- Bugünlerde Beypazarı ve Freşa (Bu ürün kategorisinin liderleri) TV reklamları yayımlamaya başladılar.
- Cam Şişe'nin endüstriyel reklamları Türkiye'deki bütün maden suyu sektörüne yardımcı olmaktadır.
- Bunlar Türkiye'deki madensuyu sektörünün pazarlama iletişimi konusundaki ilk adımlarıdır.
- Ülke genelinde yıllara göre madensuyu tüketimi 2004 yılında 323 milyon litre, 2005 yılında 355 milyon litre, 2006 yılında 398 milyon litre, 2007 yılında 471 milyon litre ve 2008 yılında 469 milyon litre, 2009 yılında yaklaşık 600 milyon litre, 2014 yılında ise

850 milyon litredir. Ayrıca şimdilik olması gereken yerde olmayan yurtdışı satışlarda her yıl artış göstermekte olup, ABD, AB ülkeleri, Türk Cumhuriyetlerine satışlar yapılmaktadır.

MİNERALLİ SULARIN MEVZUAT YÖNÜ İLE DEĞERLENDİRİLMELERİ

- Doğal Mineralli Sular Hakkında Yönetmelik (T.C. Sağlık Bakanlığı tarafından 12.11.2004 tarihinde yayınlanmış)
- 5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu (13.Haziran.2007 tarihinde yayınlanmış)
- Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu Uygulama Yönetmeliği
 - (T.C.Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından 11.12.2007 tarihinde yayınlanmış)
 - TSE 9130, Doğal Mineralli Su (Madensuyu) Standardı

SORUNLARIMIZ

- Madensuyu kaynakları genellikle yerleşim alanları dışında olup, buraya yatırım yapmak alt yapı hizmetlerinin olmayışı nedeni ile yüksek maliyet içermektedir. Bu maliyetler içerisinde çoğu zaman yol, elektrik ve diğer hizmetlerde yatırımcı tarafından karşılanmaktadır.
- Madensuyu işletmelerinin en önemli sorunu; devlet desteğinin olmayışıdır. Son yıllardaki kanun ve yönetmelikler desteğin ötesinde getirmiş oldukları yükümlülükler ile işletmecileri zora koşturmaktadır.
- Ayrıca, yönetmelikler ile mineral konsantrasyonları düşük kaynak suyu işletmelerine mineralli su isminin verilmesi madensuyu işletmelerine yönelik haksız rekabet ortamı yaratmaktadır.

ÖNERİLER

- Madensuları ülkemizin jeolojik yapısından kaynaklanan bir zenginliğimiz olarak düşünülmesi, oluşturulan mevzuatlarda bu duruma göre hareket edilerek ülkemize katma değer sağlama için gerekli düzenlemeler yapılmalıdır.
- 5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu'nda işletmecilere getirilen ve gerekçesi açıklanamayan mali yükler (idare payı, harçlar v.b.g.) olabilecek noktaya çekilmelidir.
- Kaynak sularına madensuyu çağrışımı yapacak şekilde mineralli su ruhsatı verilmesi uygulaması durdurulmalıdır

KAZAN - ANKARA (TÜRKİYE) DA YENİ BİR JEOTERMAL HAVZA

Kemal Akpınar¹, Furkan Akpınar¹, Ayşegül Cetin², Fikri Oztürk², Özen Türker²

¹*Jeoson Jeoloji Jeofizik Sondaj Ltd. Şti.*

²*İller Bankası Genel Müdürlüğü Ankara / TÜRKİYE
(jeoson1985@hotmail.com)*

ÖZ

Kazan jeotermal alanı (KJA) Saha yeni bir jeotermal alan olup Ankara Esenboğa Havalimanına çok yakın olması nedeniyle ekonomik ve turizm yönünden oldukça önemlidir. KJA İller Bankası A.Ş.de görevli jeoloji mühendislerince yapılan jeolojik hidrojeolojik, tektonik, jeofizik araştırmalarla keşfedilmiş olup 400±50 m derinliğinde bir adet sondaj kuyusu açılmıştır. Bu sondajda karşılaşılan çeşitli nedenlerden dolayı istenilen verim elde edilemediğinden Jeoson şirketince yapılan araştırmalar sonucunda 6 adet kuyu lokasyonu belirlenmiştir. Kuyuların açımında karşılaşılan problemler çözümlenmiş ve İKJ-2 no'lu kuyu 256m derinliğinde, 29 °C 7 lt/sn debide , İKJ-3 no'lu kuyu 396m derinliğinde, 50 °C 35 lt/sn debide, İKJ-5 nolu kuyu 460m derinliğinde, 55 °C derece sıcaklıkta, 60 lt/sn debide, İKJ-6 nolu kuyu 492m, 43 °C 60 lt/sn debide su İKJ7 nolu kuyu 210m, 50.5 °C a 60 lt/sn debide su elde edilmiştir. Kuyulardan alınan su örneklerinin tıbbi değerlendirmeleri yapılmış bikarbonatlı, karbondioksitli, florürlü,silisyumlu, içilebilir ve özel balneolojik su olarak sınıflanmıştır. Tıbbi değerlendirme raporunda bir çok hastalığa şifa olduğu, çeşitli banyo ve İçme uygulamaları ile sağlığı koruyucu ve geliştirici, hastalıkları tedavi edici olarak etkin bir şekilde kullanılabileceği belirtilmiştir. Sahada modern bir spa tesisi kurulmuş olup tedavi ve dinlenme merkezi olarak turist ve küristlere hizmet etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kazan (Ankara), jeotermal, direk kullanım, balneoloji, sondaj

NEW GEOTHERMAL FIELD IN KAZAN - ANKARA (TURKEY)

Kemal Akpınar¹, Furkan Akpınar¹, Ayşegül Cetin², Fikri Oztürk², Özen Türker²

¹Jeoson Geology Geophysic, Drilling Inc.

²Provincial Bank General Directorate, Ankara / TÜRKİYE
(jeoson1985@hotmail.com)

ABSTRACT

Kazan geothermal area is a new geothermal area and it is located very close to Esenboga airport, important region in terms of tourism and economical Geothermal area has been discovered through geological, tectonical, hydrogeological and geophysical studies performed by Iller Bank geologists and a first geothermal well, depth of 400 m, was drilled. Due to encountered variety reasons in first drilling, following research conducted by the company's Jeoson and location of 6 wells were determined.

The problems encountered in first well were solved and hot water, 38,5°C temperature and 0,35 l/s yield, was obtained from IKJ-2 well depth 252 meter. Detph of wells ranges between 220 and 496 meter, temperatures varies from 29 to 55 °C and yields of them ranges between 7 and 60 l/s. According to medical evaluation hotwater obtained from wells has bicarbonate, carboniocide, florur, silisium properties and drinkable, balneological water.

These waters cure a lots of disease and It can be used as protecting from some disease and improve human health. In the area a modern Thermal Hotel and Congress Center has been established to tourist and curists as a therapy and human health.

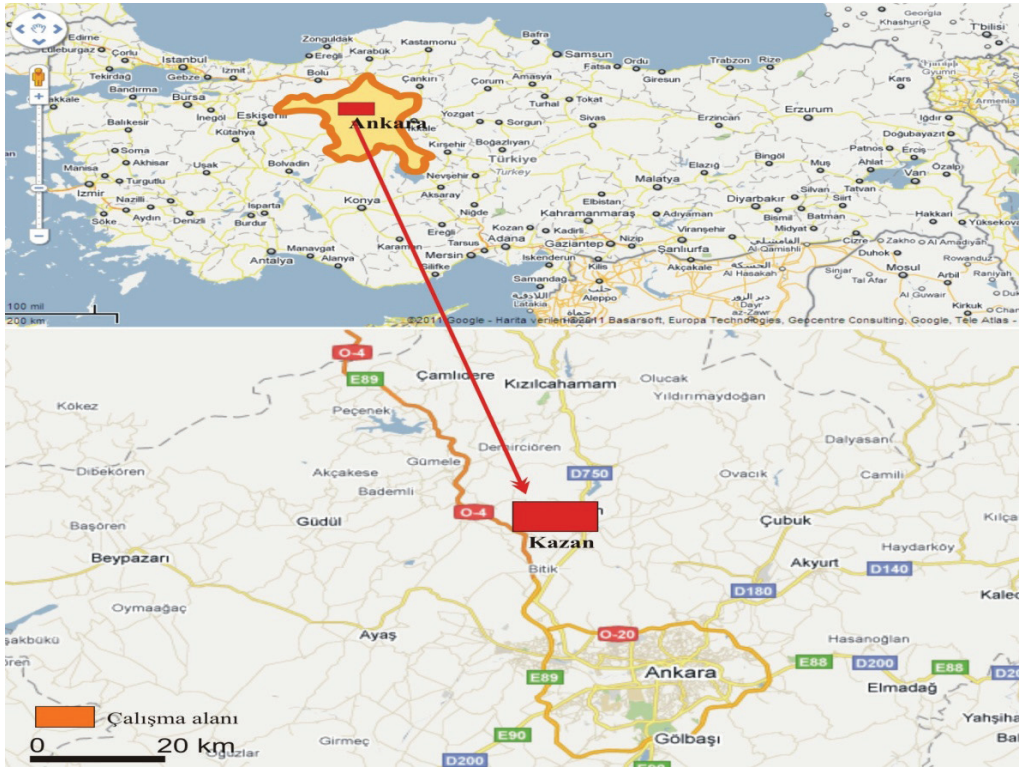
Keywords: *Kazan (Ankara), geothermal, direct use, balneology, drilling*

04-06 Kasım 2015 Ankara

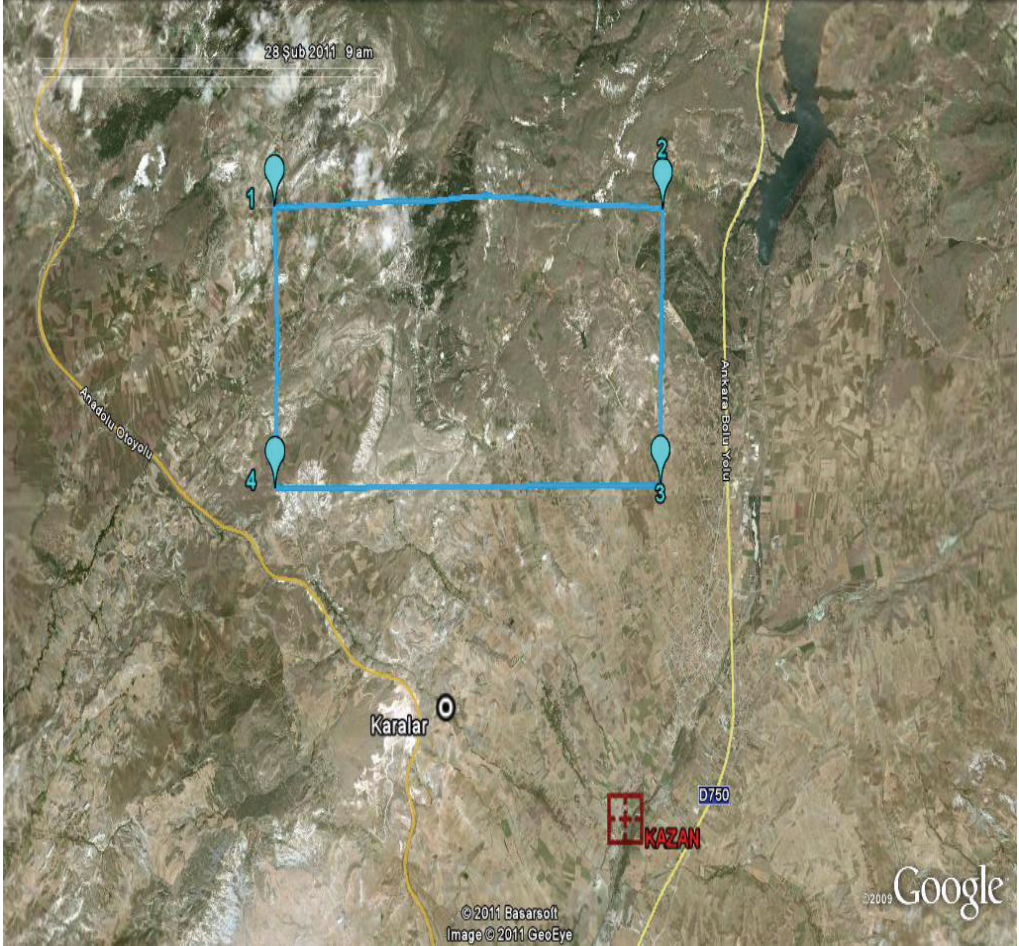
1.GİRİŞ

Kazan ilçesinde sıcaqsu varlığının tespiti amaçlanmış olup jeolojik hidrojeolojik, tektonik, jeofizik etütler ile jeotermal sondaj yöntemi kullanılmıştır.

KJA jeotermal kaynak ruhsatı 5000 hektardır. Ankara ya 40 km uzaklıktadır. Jeotermal kaynak ruhsatı içerisinde sıcaqsu kaynağı bulunmamaktadır. Kazan'ın 2013 yılı nüfusu yaklaşık 45000'dir., Ankara'nın kuzeybatısında yer alan Akıncı Ovası üzerine kurulmuştur. Kazan'ın denizden yüksekliği 890 metredir. Karasal iklimin hakim olduğu ilçede ortalama yağış miktarı 350-400 mm'dir. İlçenin en büyük akarsuyu Akıncı ovasından geçen Ova çayıdır. En yüksek nokta Karyagdı Dağının Keklik doruğu tepesi 1484 m en alçak kesim ise 830 m olup, Kışla köyünün güneyinde bulunmaktadır (Şekil 1 ve 2)



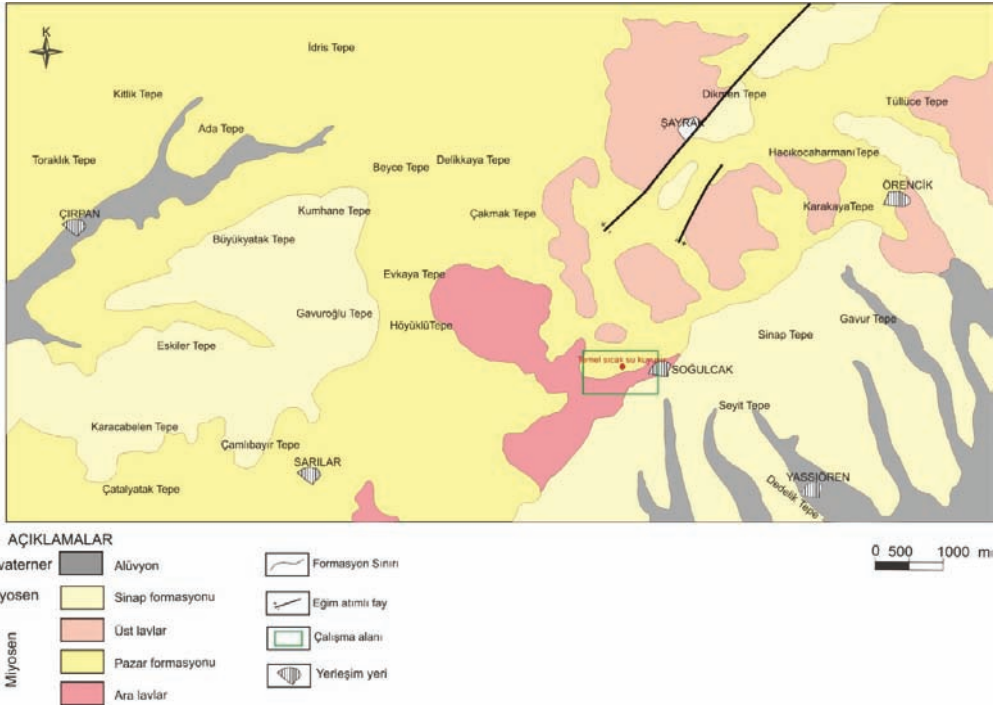
Şekil 1. KJA'nın yer buldu ruharitası



Şekil.2. KJA Ruhsat alanı sınırlarının google earth haritası

GENEL JEOLJİ

İller Bankası Genel Müdürlüğü'nde görevli jeoloji mühendislerince yapılan jeolojik araştırmalarda ruhsat alanında Miyosen yaşlı volkano klastikler ile tuf, killi kireçtaşı, konglomera, tüfit, silisleşmiş kireçtaşı birimlerinden oluşan Miyosen yaşlı Pazarlar Formasyonu, Pliyosen yaşlı konglomera, kumtaşı, kil-silt aralanmasından oluşan Sinap Formasyonu, Kuvaterner yaşlı alüvyonlar yer almaktadır. (Şekil 3).



Şekil.3. KJA ve çevresinin jeoloji haritası

2.1 Hidrojeoloji

Hidrojeolojik araştırmalarda bazaltların kırıklı çatlaklı seviyeleri ile Pazar Formasyonuna ait kireçtaşı, konglomera ve aglomera seviyeleri, Sinap Formasyonu'na ait konglomera ve kumtaşı seviyeleri akifer özelliği göstermektedir (Şekil 3). Alüvyon da soğuk su için akifer özelliği sunmaktadır. Pazar formasyonu'na ait tuf-tüfit seviyeleri ile killi ve marnlı seviyeler geçirimsiz birimleri oluşturmaktadır.

2.2 Tektonizma

KJA'da Alpin Orojenezi'nin etkisiyle gelişen faylar doğu-batı, kuzeydoğu-güneybatı ve kuzeybatı-güneydoğu uzanımlıdır. Bu fay sistemini dik veya dike yakın kesen daha genç olan ikinci fay sistemleri gelişmiştir (Şekil 4).



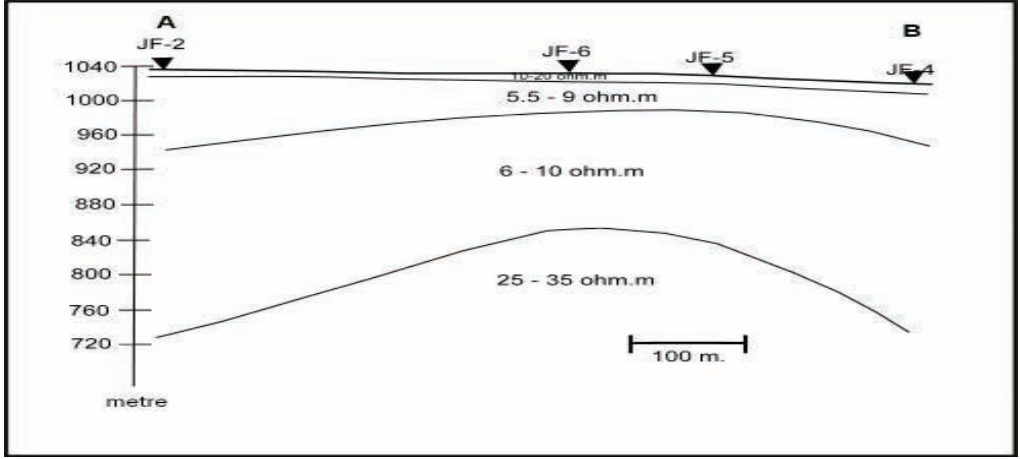
Şekil.4. KJA'da ve çevresin de saptanan çizgisellikler,

JEOFİZİK

Jeotermal kaynak araştırmasına yönelik olarak yapılan jeofizik etüt yöntemlerinden en yaygın olarak kullanılanı elektrik öz direnç (Düşey Elektrik Sondaj-DES) yöntemidir (Şekil 5, 6 ve 7). Bu yöntemde yeraltındaki tabakaların derinlikleri hesaplanan gerçek öz direnç farklılıklarından faydalanılarak belirlenmeye çalışılır. Ruhsat alanında 6 adet İller Bankası, 3 adet Jeoson Jeoloji, Jeofizik Sondaj Şirketince yapılan toplam 9 adet jeofizik öz direnç ölçü alınmış olup AB/2: 500m – 1750m arasındadır.



Şekil.5. KJA ruhsat alanı içerisinde Soğucak köyünde alınan jeofizik ölçüler



Şekil.6. KJA'da DES ölçümleri yer yapı kesiti

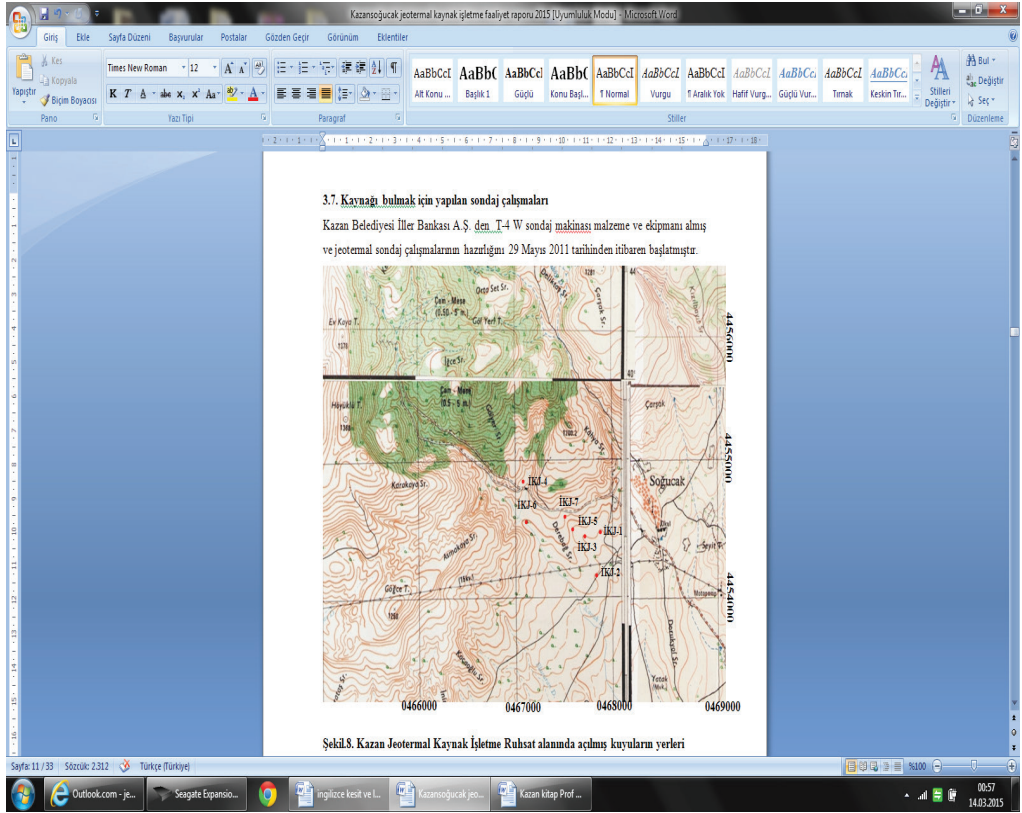




Şekil.7. KJA'da Jeoson Jeoloji Sondaj Şirketine Ait Jeofizik Aletlerle Kazan da DES Ölçüsü

JEOTERMAL SONDAJ

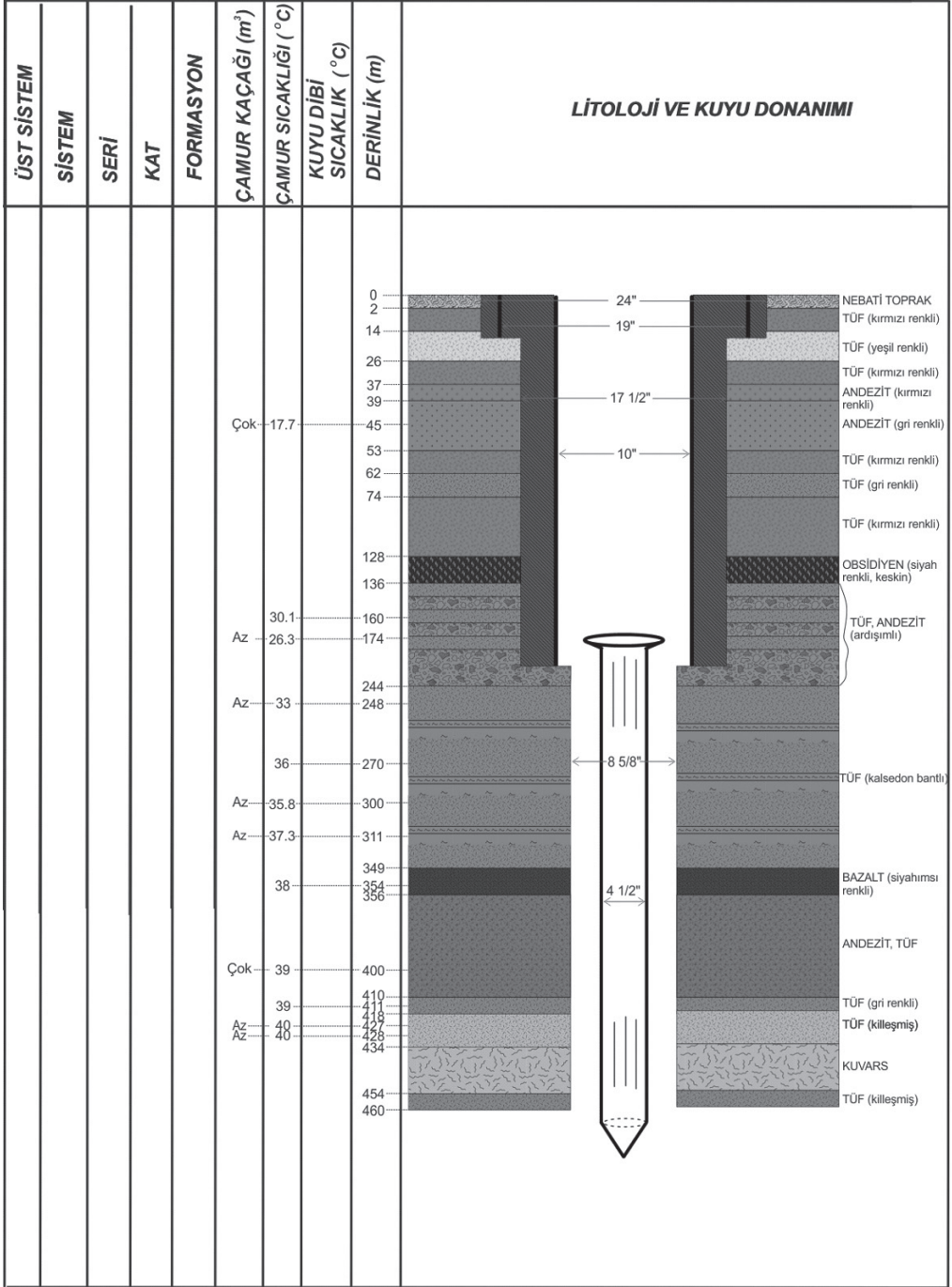
İller Bankası Genel Müdürlüğü 'nde görevli jeoloji mühendislerince yapılan jeolojik hidrojeolojik, tektonik, jeofizik araştırmalarla Y:0467859 X:4454442 Koordinatların da bir adet 400±50 m derinliğinde İKJ-1 nolu jeotermal sondajın açılması önerilmiştir (Şekil 8, Tablo 1, Şekil 9). Kazan Belediyesince bu kuyunun açılması için 1 sondör, 4 işçiden T4-W kombine sondaj makinası ve ekipmanını kullanmak üzere tek vardiya çalışabilen bir ekip oluşturulmuştur. Kazan Belediyesince bu kuyunun açılması için 1 sondör, 4 işçiden T4-W kombine sondaj makinası ve ekipmanını kullanmak üzere tek vardiya çalışabilen bir ekip oluşturulmuştur.



Şekil .8. KJA'da ruhsatında açılmış sondajların topoğrafik haritadaki yerleri

Tablo.1. KJA'da Kazan - ANKARA ruhsatında açılmış jeotermal sondajlara ait bilgiler

Kuyu No	Derinlik	Sıcaklık	Debi	Statik su seviyesi	Dinamik Su Seviyesi
İKJ-1	220 m	38,5 °C	0,35 l/s	36	132
İKJ-2	252 m	29 °C	7 l/s	+0.5	-
İKJ-3	396 m	50 °C	35 l/s	41 m	64 m
İKJ-5	460 m	55 °C	50 l/s	47 m	68
İKJ-6	496 m	43 °C	60 l/s	61	78
İKJ-7	210m	50.5 °C	60 l/s	62	80



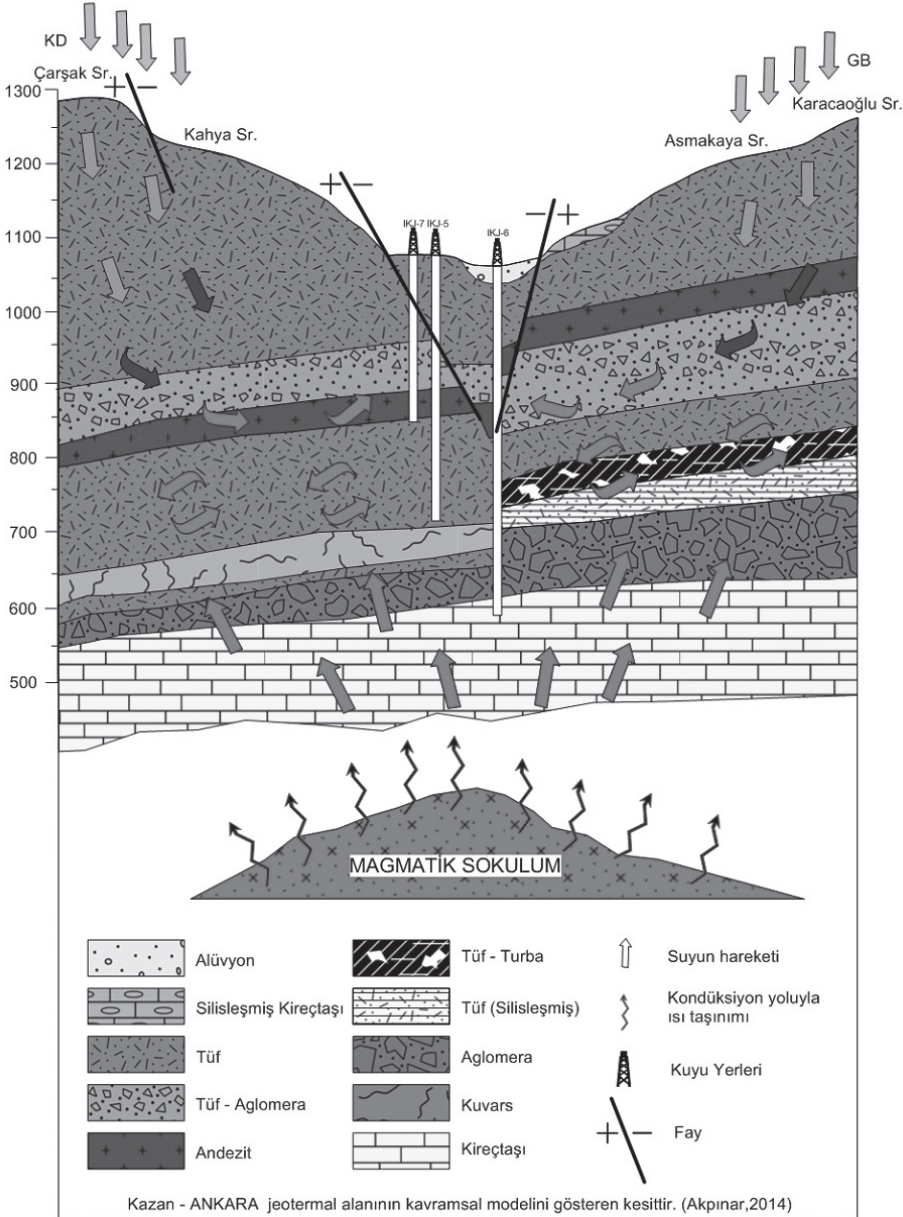
Şekil 9. KJA'da Kazan belediyesi tarafından 2013 yılında açılmış İKJ-5 no'lu en sıcak ve yüksek debili kuyunun loğu [Y:sağa 467609 X: yukarı 4454509, Derinlik: 460 m Sıcaklık:55oC, Debi: 50 l/s, Statik seviye:47.5m Dinamik seviye: 58m, Çizim: Jeoson Ltd Şti)

KJA'NIN HİDROJEOLOJİK KAVRAMSAL MODELİ

KJA' da beslenme alanı çok geniş olup yağın yağmur ve kar suları faylar yardımıyla derinlere inerek ısınmakta ısınan bu sular tekrar yarı basınçlı akifer olarak açılan jeotermal sondajlarda statik su seviyesine ulaşmaktadır.

BESLENME ALANI

BESLENME ALANI



Şekil.10 . KJA'nın kavramsal model kesiti (Akpınar, 2014)

6.TEST VE ÖLÇÜM ÇALIŞMALARI

Açılan jeotermal kuyularda Kazan Belediyesi ne ait dik milli yüksek verimli sıcaksu pompası ile test ve ölçüm yapılmış olup İKJ-3 nolu kuyuda statik su seviyesi: 41m dinamik su seviyesi: 64m berrak su ölçülmüştür. İKJ-5 nolu kuyuda statik su seviyesi: 47m dinamik su seviyesi: 6 berrak su ölçülmüştür. İKJ-3 ve İKJ-5 nolu kuyularda yapılan test çalışmalarının sonucunda kuyuların çok yakın olmasına rağmen birbirlerini etkilemediği etkilemediği gözlenmiştir.



Şekil.11. KJA'da İKJ 5 nolu Sondaj da dik milli pompa yardımıyla su tecrübe çalışmaları yapıp su örneklerin alınması



Şekil.12. KJA'da İKJ 3 nolu Sondaj da pompa testi çalışmaları ve arkada İKJ5 nolu Sondaj da hava ile inkişaf yapılırken kuyular biri birini etkilememektedir

ÖRNEKLEME VE ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

İKJ-5 ve İKJ-6 nolu jeotermal sondajlar dan alınan su örneklerinin fiziksel ve kimyasal ve bakteriyolojik Sağlık Bakanlığı hıfzısıhha enstitüsü ve İstanbul Üniversitesi Hidroklimalatoloji Bölümün deki laboratuarlarda Fiziksel ve Kimyasal, Bakteryolojik analizleri, Radyoaktivite analizleri Atom Enerjisi Kurumunda yaptırılmıştır. Bakteryolojik yönden temiz ve kusursuz bulunmuştur. Fiziksel ve Kimyasal sonuçların da litrede toplam mineralizasyon 2472 miligram, Termomineralsu ve bikarbonatlı, karbondioksitli, florürlü, silisyumlu, içilebilir ve özel balneolojik su olarak sınıflandırılmıştır. Tıbbi değerlendirme raporunda bir çok hastalığa şifa olduğu, Çeşitli banyo ve İçme uygulamaları ile sağlığı koruyucu ve geliştirici, hastalıkları tedavi edici olarak etkin bir şekilde kullanılabilceği belirtilmiştir.

İÇME KÜRLERİNDE KULLANIM

Bikarbonat ve karbondioksit içeriğine bağlı olarak;	Florür içeriğine bağlı olarak;
1) Mide ve bağırsakların fonksiyonel rahatsızlıkları, Diyabet hastaları,	1)Yetişkinlerin günlük Florür ihtiyacının karşılanması
2) <i>Kronik idrar yolları enfeksiyonları, Gut hastalığı tedavisinde,</i>	2)Çocuklar ve gençlerde diş çürüklerinin önlenmesi, 7 Yaş dışında
3) <i>Üriner taşların oluşmasının önlenmesi,</i>	3)Hamilelik ve yetişkinlerde Florür eksikliğinin giderilmesi
4) <i>İdrar yolları ve safra kesesinde taşların kırılmasından sonra ve ameliyat olduktan sonraki dönemde içme kürleri olarak kullanımı faydalıdır.</i>	4)Sağlıklı kemik gelişiminin oluşturulması ve sürdürülmesi

BANYO KÜRLERİNDE KULLANIM

1)Özellikle karbondioksitli su olması nitliğinden dolayı beklenen yararlı etkisi nedeniyle 36 dereceye kadar soğutularak banyo ve kuvvet uygulamaları şeklinde yapılan banyo kürlerin de aşağıdaki kalp ve damar hastalıklarına yararlı olduğu belirtmektedir.

2)Hipertansiyon, Damar sertliği, Atardamar hastalıkları, toplardamarlarda yetmezlik ve varis

3)Termal havuzlarda; Su içi egzersiz uygulamaları 38 derece su içerisinde yapıldığında romatizmal hastalıklar, eklem hastalıkları, Kronik bel ağrısı yumuşak doku romatizma hastalıklarının tedavisinde kullanılabilceği belirtilmiştir.

Aşağıdaki tabloda sıcaklık dikkate alınarak sıcaksuyun kullanımı ideal değerleri verilmiştir ancak jeotermal yatırımlarda sıcaksuyun debisinde çok önemlidir.

KAZAN' DA YAPTIRILAN SICAKSUYA DAYALI TESİSLER

Kazan Belediyesince yaptırılan kent kaplıcası faaliyete başlamış olup çok az bir eksiği bulunan termal otelin 2015 yılı sonuna doğru faaliyete geçmesi beklenmektedir (Şekil 13). Geleneksel Selçuklu mimarisi ile yapılan tesis, 2 kral dairesi ve 6 suit odanın da bulunduğu 255 kişilik konaklama kapasitesine sahip olacaktır (Tablo 2). Tesiste açık ve kapalı yüzme havuzları yanında 400 kişilik konferans salonu ve 4 adet çok amaçlı salon; SPA merkezi, fin hamamı, Türk hamamı, özel aile jakuzileri, kil, tuz, maske ve solaryum odaları da bulunmaktadır.



Şekil.13. Soğucak köyünden Kazan'a 9km taşınan sıcaksuyun kullanıldığı termal otel, kaplıca

Tablo.2. Kazan - ANKARA ruhsatında açılmış jeotermal sondajların değerlendirilmesi

No	(m)	(lt/sn)	(°C)	KULLANIM ALANLARI
İKJ-2	252	7	28	Maden suyu, soda olarak şişelenebilir
İKJ-3	396	35	50	Termal tesis ısıtma, kaplıca, termal otel, soda, Süs Balıkçılığı
İKJ-5	460	50	55	Sera, Meyve kurutma, Termal tesis ısıtma, kaplıca, termal otel, soda
İKJ-6	496	60	43	Kaplıca, termal otel, Maden suyu, Soda, Süs Balıkçılığı
İKJ-7	210	60	51	Termal tesis ısıtma, kaplıca, termal otel, soda, Süs Balıkçılığı
Toplam	1814	212		Su sıcaklığı 28 - 55 oC

Mevcut Sıcak suyla son yıllarda kabul gören 1 kişinin bir günlük ihtiyacı olan termal su 1 ton kabul edildiğinde yaklaşık 17.712 yatak kapasitesine sahip termal tesis kurulabilecektir. Bir yılda 6.464.880 kişi hizmet alabilir. Şayet bir kişinin 350 lt/sn kullandığı na göre hesaplanırsa bir günde 50,605 kişi sıcak sudan faydalanabilir. Bir yılda 18.470.825 kişi hizmet alabilir. Kazan Termal Otel Kongre ve Sağlık Merkezi ne bir günde bir kişi 1000 lt su kullandığını kabul edersek 3lt/sn yetecektir. Kazan şehir kaplıcasına 2lt/sn su yeterli olacaktır. Yani Kazan merkezde

400 yataklı termal yatırım yapacak 3 işletmeciye daha sıcaksu tahsis etme imkanı bulunmaktadır. Kazan, Yassıören, Soğucak, Tekke ormanlarında termal yatırımlar için 300 yataklı 60 termal tesise su kullanım hakkı verilebilir. Yatırım talebinde bulunan tüm termal yatırımcılarına sıcaksu tahsisi yapılabilir.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

KJA'da Ruhsat alanı çok geniş olup jeotermal kaynak potansiyelinin tam olarak belirlenebilmesi için detaylı jeolojik, hidrojeolojik, tektonik, jeofizik jeotermal sondaj çalışmaları devam etmelidir.

KJA'da açılan 7 adet jeotermal kuyuların derinlikleri 210 ile 496 m ile sıcaklıkları 29 ile 55 derece arasında değişmektedir. Açılan kuyulardan toplamda 212 l/s jeotermal akışkan elde edilmiştir. Jeotermal akışkan Sodyum-Bikarbonat özelliğinde olup çeşitli banyo ve içme uygulamaları ile sağlığı koruyucu ve geliştirici, hastalıkları tedavi edici özelliği bulunmaktadır.

Sıcakusunun 20 litrelik kısmı 9 km taşınarak Kazan girişinde bulunan termal otel ve tedavi merkezine ile kaplıca kullanılmakta olup bir kısmında Özel İdarenin yapmış olduğu yüzme havuzların da kullanılmaktadır, tesislerin ısıtılması, arta kalan kısmının Kazan merkezde yatırım yapmayı düşünen yatırımcılara su kullanım hakkı vererek Kazan ilçesin de termal yatırımların artması planlanmaktadır.

Jeotermal sera yatırımcılarının Soğucak köyü veya yakın bölgesinde örnek jeotermal sera yatırımı ile jeotermal sebze ve meyve kurutma fabrikası yapmalarını planlanmıştır.

Ciddi projeleri olan termal sağlık yatırımları yapabilecek şirketlerin yurt dışı başta olmak üzere yurt içi termal sağlık yatırımlarını orman içinde doğal güzelliği olan ve belediyesine tahsis edilen bölgede Fizik tedavi ve rehabilitasyon merkezleri, yaşlılar ve özürülüler bakım evi beş yıldızlı termal tedavi otellerinin yapılması için yatırımcıların ilçeye termal yatırım yapmasını teşvik edilmektedir.

KJA, Ankara çevresinde sıcaksuyu bulunan bir çok yerden çok farklı avantajı bulunmaktadır. Öncelikle Ankara gibi 4 milyon nüfusa sahip bir başkente 30 dakikada ulaşım sağlanabilmektedir. KJA'da tamamlanmış modern tesislerin termal suyundan faydalanmak isteyenler için Ankara Esenboğa Havalimanı'ndan karayoluyla bir saatte ulaşım mümkündür.

9.YARARLANILAN KAYNAKLAR

- Akkaya, R. (2011), Soğucak - Kazan (Ankara) 1. Dönem Arama Faaliyet raporu.
- Akpınar, K. (2012), Soğucak - Kazan (Ankara) Jeotermal Kaynak Arama Ruhsatı jeolojik, hidrojeolojik, tektonik, jeofizik araştırma ve sondaj lokasyonu belirleme raporu. Jeoson jeoloji jeofizik sondaj madencilik san.tic.ltd.şti
- Akpınar, K. (2014), Soğucak - Kazan (Ankara) Jeotermal Kaynak hidrojeolojik modelleme . Jeoson jeoloji jeofizik sondaj madencilik san.tic.ltd.şti
- Çetin, A. vd. (2011), İller Bankası A.Ş. Kazan (Ankara) Jeotermal etüt raporu
- Doğan, L., 1981, Hidrojeolojide su kimyası, DSİ yayınları, 178s, Ankara
- Erişen, B.,-Ünlü, M.R., 1980, Ankara, Çubuk, Kızılcahamam, Kazan alanının jeolojisi ve jeotermal jeolojisi ve jeotermal olanakları, MTA Gn.Md. Derleme Rapor no:9949, Ankara.
- Hem, J.D., 1985, Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water, USGS Water

Supply Paper 2254, US Gov. Print. Office, 263 p.

Keskin, B., 1974, Ankara Vilayeti Kazan Nahiyesi Güney Batısında Mürtet Jeotermal Enerji Arama Alanında Yapılan MT-1 Derin Sondajı Bitirme Raporu. MTA Gn. Md.Derleme Rapor no:5223, Ankara.

Özgür, İ.B., 2007 Kazan (Ankara) Jeotermal Ön Etüt Raporu. İller Bankası Genel Müdürlüğü 7. Bölge Müdürlüğü Rapor No:399, Ankara.

Öngür, T., 1976 Kızılcahamam-Çamlıdere-Çeltikçi-Kazan Dolayının Jeoloji Durumu ve Jeotermal Enerji Olanakları. MTA Gn.Md. Derleme Rapor no:5669, Ankara.

Söylemez, H., (2013), Soğucak - Kazan (Ankara) 3. Dönem Arama Faaliyet raporu.

Mc. Neely, R., N., Neımanıs, V., P., Dwyer,L., 1979, Water Quality Source Book-A Guide to Water

TSE, 2005, İnsani Amaçlı Tüketim Suları Standartları, TS 266, Ankara.



ARAMA

KÜTAHYA SİMAV JEOTERMAL SAHASININ ÖZELLİKLERİ KAVRAMSAL MODELİ VE KIZGIN KURU KAYA OLANAKLARI

Musa Burçak

MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, 2015

ÖZET

Çalışma alanı Kütahya ilinde Simav ilçesi çevresini kapsamaktadır. Eynal, Çitgöl ve Naşa olarak üç alanda toplanan ve sıcaklıkları 25-96 °C arasında değiştiği bilinen Simav jeotermal kaynaklarının birçoğu yapılan sondajlar sonucu kurumuştur. Çalışma alanında temeli Menderes masifinin kuzey kanadına ait Prekambriyen-Alt Paleozoyik yaşlı gnays, Üst Paleozoyik-Orta Triyas yaşlı şist ve mermer ardalanmasından oluşmaktadır. Bunlar üzerinde bindirme ile Dağardı ofiyolitik melanji yer alır. Bu birimler Oligosen-Alt Miyosen yaşlı Eğrigöz ve Koyunoba granitoidleri tarafından kesilmektedir. Bu temel kayalar üzerinde diskordansla Neojen ve Kuvaterner yaşlı gölssel karasal fasiyeste gelişmiş kırıntılı birimler ile bunlarla eş yaşlı volkanitler gelmektedir. Çalışma kapsamında 1/25.000 ölçekli 900 km² detay jeoloji çalışması gerçekleştirilmiştir. Su kimyası çalışmaları için analizi yapılan 67 adet su örneği, 37 adet izotop örneği kullanılmıştır. Sahanın beslenme alanı sırları topoğrafik veriler, hidro kimyasal haritalar ve izotop çalışmaları ile belirlenmiştir. Simav jeotermal sahası ve çevresinde yapılan jeoloji, su kimyası ve jeofizik çalışmalarını kapsayan bu çalışma ile sahanın ısı kaynağı, beslenme alanı, rezervuar yayılımı araştırılarak kavramsal modelinin oluşturulması yanında yüksek yeraltı sıcaklığına sahip, kızgın kuru kaya çalışmalarına uygun olabilecek hedef alanlar belirlenmiştir. Jeotermal sistemin ısı kaynağının araştırılması için manyeto tellürik yöntem uygulanmıştır. 5-8 km uzunluklarda ve 1,5-2 km profil aralığında 4 profil üzerinde 47 noktada Manyeto tellürik (MT) çalışma yapılmıştır. Manyeto tellürik kesitlerde profil boyunca ve düşey yöndeki rezistivite değişimi iki boyutlu olarak modellenmiştir. Kesitlerde 6-8 km derinlikte yer alan düşük rezistivite ile belirgin anomali alanlarının ergimiş veya sıcaklığını henüz kaybetmemiş katı/yarı katı mağmatik sokumlara karşılık gelebileceği düşünülmektedir. Isı kaynağı oluşturacağı düşünülen ve gömülü sokumlara yorumlanan anomali alanlarında, rezervuar koşullarının veya kondaktif ısı imkanlarının araştırılması önerilir. Bölgede yüksek kondaktif ısı beklenen bu gömülü sokumların çevresinde gnays migmatit ve granit gibi kırılğan kayaların bulunması nedeniyle kızgın kuru kaya (Hot dry rock; HDR) sistemlerinin geliştirilebileceği düşünülmektedir. Derin ısı kaynakları, beslenme alanı genişliği, bölgenin topoğrafik yapısı, kayaların hidrojeolojik özellikleri ile bölgenin kırıklı yapısı düşünüldüğünde Simav bölgesinin hem konvansiyonel jeotermal aramalar ve hem de HDR sistemlerinin geliştirilmesi için uygun bir bölge olduğu düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Simav, Jeotermal, izotop, manyeto tellürik, ısı kaynağı, kızgın kuru kaya (HDR), konveksiyon sistemi ve kondaktif sistem.

KÜTAHYA SİMAV JEOTERMAL SAHASININ ÖZELLİKLERİ KAVRAMSAL MODELİ VE KIZGIN KURU KAYA OLANAKLARI

Musa Burçak

General Directorate of Mineral Research and Exploration, Ankara, 2015

ABSTRACT

Studied area is consisting of around Simav prefecture. Simav geothermal hot springs had temperature between 25-96 °C. Almost all of them were dried after drilling. The basement in area is constituted by Paleozoic-Precambrian aged gneiss and Upper Paleozoic-Middle Triassic aged interlayered schist's and marbles belonging to northern margins of Menderes massif. These basement rocks are overlain by Cretaceous aged Dağardı ophiolitic melange these basement rocks were intruded by Oligocene-Miocene aged granites called Eğrigöz and Koyunoba. All these basement rock units are discordantly covered by Neogene-Quaternary sedimentary and volcanic rocks deposited in lacustrine-continental environment. This research studies have consist of 900 km² 1/25.000 scaled geological investigation. Chemistry studies have carried out analyzed 67 water samples and 37 hydrological isotope samples which have been collected from the studied area. The boundary of recharging area on the field was detected by topographical data, hydro chemical and isotopic studies. Besides exposing conceptual model by means of related studies such as heat source, recharging area, existing reservoir studies also target area which might high underground temperature suitable for using hot dry rock studies have been found out with respect to this studies consist of geology, water chemistry and geophysics. To investigate the heat source of the geothermal system magneto telluric method has been carried out. Total of 47 measurement points were taken along 4 profiles which them 1.5-2.0 km with each other in magneto telluric measurements. Resistivity change of these profiles in two dimensional MT section is observed both along profiles and vertical direction. Low resistivity anomaly surrounded by high resistivity was interpreted as magmatic intrusion which has not yet lost their heat, as partly melt and/or as solid state at depths of 6-8 km. It is considered that these intrusions form the heat source of geothermal system. It is proposed that investigate the possibilities of reservoir and conductive heat above this buried intrusion. Because of existing brittle rocks such gneiss, migmatite and granite surrounding expected high heat storage around these buried intrusions these area is appropriate for investigating hot dry rock systems. Having deep heat source, widely existing recharge area, topographical feature, hydrogeological properties and young tectonic activity indicated that Simav is appropriate area both investigating conventional convective geothermal and HDR systems.

Keywords: Simav, geothermal, isotope, magneto telluric, heat source, hot dry rock (HDR), convection systems and conductive systems.

1.GİRİŞ

Çalışma alanı Kütahya ilinde Simav ilçesi çevresini kapsamaktadır (Şekil 1). Sahaya ulaşım Kütahya üzerinden 150 km'lik, ya da Uşak üzerinden 90 km asfalt yolla sağlanır. Bu çalışma Simav jeotermal sahası ve çevresinde yapılan jeoloji, jeokimya ve jeofizik çalışmalarını kapsamaktadır. Bu çalışma ile sahada jeotermal ısı kaynağının belirlenmesi, beslenme alanı ve beslenme yüksekliğine yaklaşımda bulunulması, sıcak sular ile soğuk suların sınıflandırılması, kökensel ilişkilerinin kurulması, jeofizik çalışmalar ile muhtemel rezervuarın yeraltı yayılımının belirlenmesi jeotermal kaynak alanları dışında gömülü durumda olabilecek bir potansiyel alanların bulunması hedeflenmiştir. Çalışma sonucunda MTA Genel Müdürlüğü adına J-461 3, 4, 5 ve 6 nolu ruhsatları jeotermal arama ruhsatları alınmıştır (Şekil 1). Bu çalışma 2005 ve 2007 yıllarında MTA Genel Müdürlüğü adına Simav ve çevresinde 2005-33-13-06 ve 2007-33-13-04 no.lu Batı Anadolu jeotermal sahalaları geliştirme ve ısı kaynağı araştırmaları projesi kapsamında yapılan etüt ve çalışmalarını kapsamaktadır.

Çalışma alanı ve çevresinde çok sayıda araştırmacının jeolojik çalışmaları bulunmaktadır. Schuiling (1958-1962), Menderes masifindeki gnaysların migmatit cinsinden olup, metamorfize olmuş bir tortul seriye alkali fazlalıklı kuvars-feldispat içeren sıvıların girmesiyle oluştuğunu ifade etmiştir. İzdar (1971), Menderes masifinin iki metamorfizma geçirdiğini, ilkinin Varistik fazda bittiğini, ikincisinin ise Alpin orojenezle başladığını ileri sürmüştür. Gün, (1975), Gediz civarında yaptığı çalışmasında, temeli oluşturan metamorfite üzerine yerleşme yaşı Üst Kretase olan allokon ultramafik kayaçların bulunduğunu, yörede Tersiyer birimlerinin Miyosen ile başladığını ve Miyosenin genellikle akarsu ortamı nitelikli kaba ve ince taneli detritiklerden oluştuğunu, renkleri bakımından karakteristik olan bu detritiklerin akarsu oluşuklarının değişik evrelerine ilişkin modeller gösterdiklerini saptamışlardır. Yazar, Miyosen detritiklerinin üst düzeylere doğru tuf katkıları da içerdiğini ve tuf ve aglomeralardan oluşan bir volkanik kuşağın, Miyosen'i daha üstteki Pliyosen'den ayırdığını ifade etmiştir. Akdeniz ve Konak (1979), çalışma alanının yakın civarını da içine alan bölgenin ayrıntılı stratigrafisini ortaya koymuş, Güneybatı Anadolu bölgesinde geniş bir alan kapsayan Menderes masifinin gözlü gnays, granitik gnays ve migmatitlerden oluşan bir çekirdek ile çevresini saran örtü şistlerinden oluştuğunu ifade ederek çalışma alanında da gözlenen ofiyolit melanjı Dağardı melanjı olarak adlandırılmış ve Kretase yaşı vermişlerdir. Ercan ve diğerleri (1981, 1982), Simav ve çevresinde Miyosen-Kuvaterner süreçli karasal volkanizmanın, zamana bağlı olarak kalkalkalen karakterden, geçişli, daha sonra alkali bazaltik jeokimyasal değişim gösterdiğini; Orta-Üst Miyosen döneminde şiddetli patlamalarla başlayan ve öncelikle dasitik, riyodasitik, riyolitik türde tuf püsküren volkanizmanın yer yer aglomera ve giderek geniş yayılımlar gösteren andezitik, dasitik, riyodasitik ve riyolitik bileşimli lav domları ve lav örtülerine dönüştüğünü tespit etmişlerdir. Günay ve diğerleri (1986), çalışma alanının özellikle de Murat Dağı civarının jeolojisini ayrıntılı çalışarak sahanın stratigrafisi ve tektoniği ile ilgili yorumlar getirmişler ve volkanik birimleri ayrıntılı olarak ayırtlamışlardır. Candan ve Dora, 1998 Çekirdek kayalarının Pan-Afrikan yüksek basınç (eklojit), yüksek sıcaklık granülit metamorfizmasından etkilendiğini ileri sürmüşlerdir. Candan ve diğ., 2001, Dora ve diğ., 2001 Menderes Masifinin çekirdek kayalarının paragnays ve bunları kesen ortognays kökenli kayalardan meydana geldiği ileri sürülmüştür.

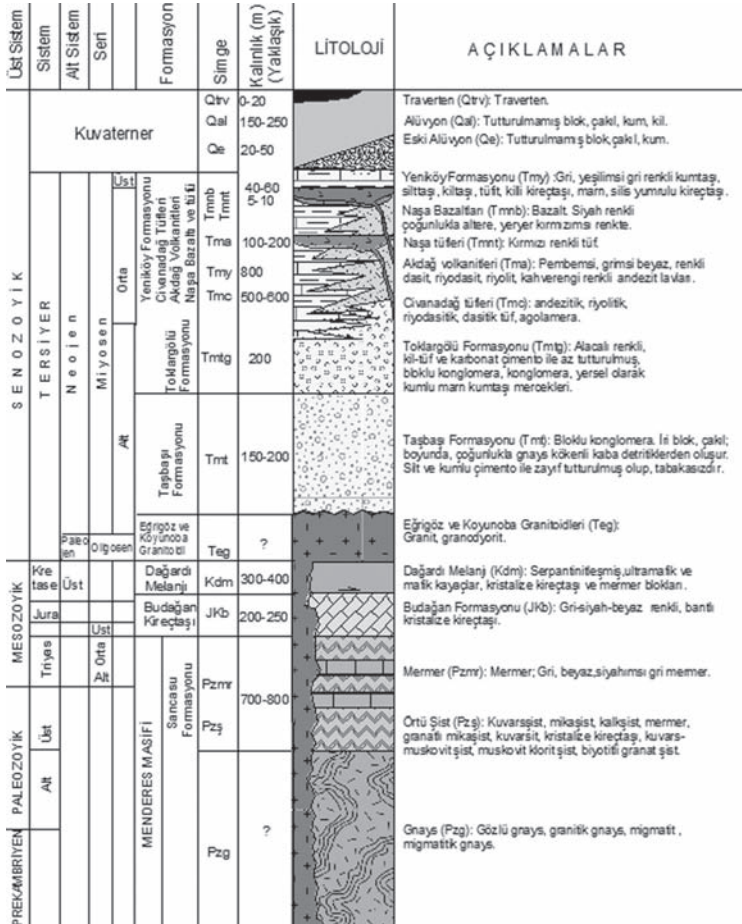
Jeotermal amaçlı da bir çok çalışma bulunmaktadır. Yücel ve diğerleri (1983), Simav ve yöresinin jeotermal jeolojisini ayrıntılı olarak araştırmışlar, sonuçta Simav Grabeni Eynal, Çitgöl ve Naşa alanlarında önemli ölçüde jeotermal potansiyelin varlığını ön görmüşlerdir. Öktü (1985), Eynal, Çitgöl ve Naşa jeotermal alanında 1/25.000 ölçekli hidrojeoloji etüdü yapmış,

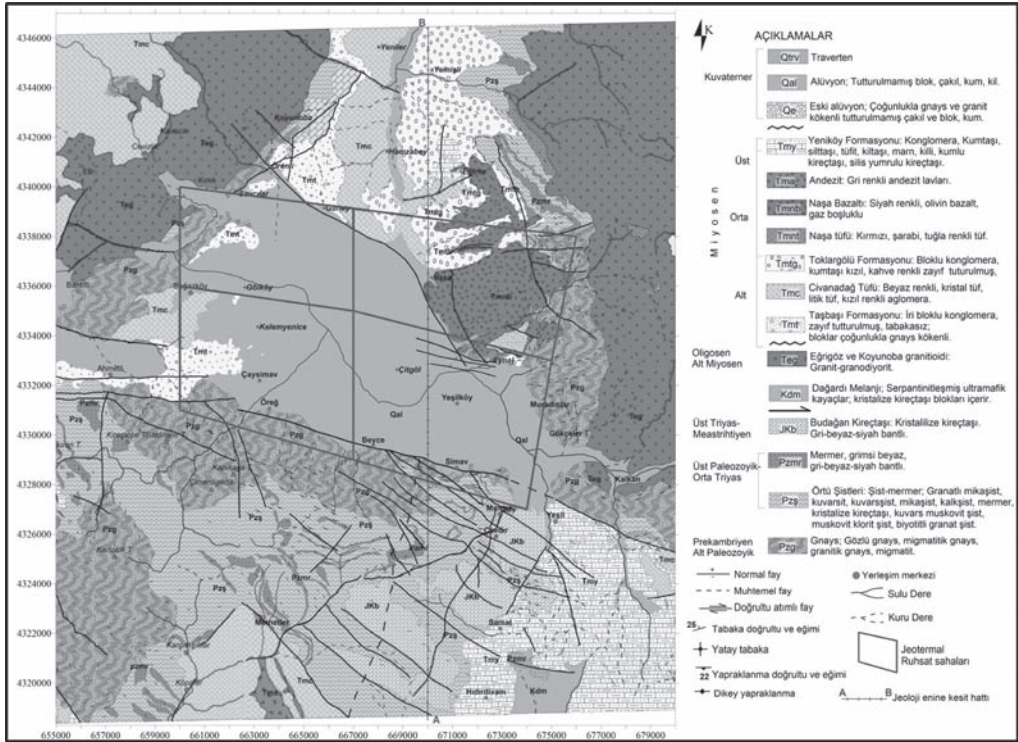
yörede mevcut sıcak su kaynaklarını tespit ederek, sıcak suların fiziksel, kimyasal özelliklerini araştırmış ve kaplıca kaynaklarının koruma alanlarını belirlemiştir. Erişen ve diğerleri (1985), Simav jeotermal alanında yaptıkları araştırma ve jeotermal üretim sondaj kuyusu bitirme raporlarında, Simav Grabeni jeotermal enerji alanlarını sınırladıkları ve belirlenen alanlarda yapılan sondajlarla beklenen jeotermal üretiminin sağlandığını ileri sürmüşlerdir. Özen (1988), Simav Grabeninde Çitgöl, Naşa, Hüsüm Semerköy'de Rezistivite etütlerini yapmışlardır. Burçak ve diğerleri (2007a, 2007b, 2010, 2013), Şaphane sahasında yapılan jeolojik, jeokimyasal ve jeofizik çalışmalar (rezistivite ve MT) ile gömülü jeotermal ısı kaynaklarının yerlerini belirlemişler ve yapılan araştırma sondaj çalışmaları sonucu Simav'ın 20 km kadar doğusunda Şaphane yakınlarında 109 ve 181 °C sıcaklıklarda iki adet yeni gömülü jeotermal saha keşfetmişlerdir. Burçak ve diğerleri (2008), Simav ovasının BKB-DGD, doğrultulu faylarla kontrol edilen graben havzası durumundadır. Simav graben havzasını kontrol eden faylardan güneyde ova kenarını oluşturan fayın sağ yönlü oblik atımı olan normal bir fay özelliğinde olduğu, bu fayın güneyinde normal özellikli çok sayıda basamak fayların bulunduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada birincil (ana) rezervuarı, Üst Paleozoyik yaşlı mermerlerin kırık ve çatlaklı zonları ile erime boşlukları, Üst Paleozoyik-Orta Triyas yaşlı şistlerin kırık zonları, Alt Paleozoyik yaşlı gnaysların kırık ve çatlak zonları, Üst Triyas Meastrihtiyen yaşlı Budağan kireçtaşlarının kırık çatlak zonları ve erime boşluklu kesimleri; ikinci rezervuarı ise Taşbaşı, Yeniköy ve Toklargölü formasyonlarının iri bloklu konglomeratik kesimleri ile Naşa bazaltlarının kırık ve çatlak zonları oluşturduğu ifade edilmiştir. Sahada yapılan su kimyası ve izotop çalışmaları ile sahanın beslenme alanı belirlenmiş, ısı kaynağının araştırılması amacıyla manyetotellürik araştırma yapılmıştır. 6-8 km derinliklerde kabuk içerisine sokulmuş, derinlik ve konumları 2 boyutlu olarak belirlenen yüksek rezistiviteli kabuk kesimi içinde düşük rezistivite ile kendini belli eden anomalilerin, ergimiş/yarı ergimiş ya da katılaştı fakat henüz sıcaklığını kaybetmemiş mağma sokulumlarına yorumlanarak (muhtemelen granitik bileşimli) Jeotermal sistemin ısı kaynağını oluşturduğu ileri sürülmüştür.

Çalışma alanında sıcaklıkları 25-96 °C arasında değiştiği bilinen sıcak su kaynaklarından birçoğu yapılan sondajlar sonucu kurumuştur. Bu kaynak alanları yerel olarak üç grupta toplanır. 1) Eynal Sıcak Su Kaynakları: Simav'ın 4 km kuzeydoğusundaki Eynal kaplıcaları yöresinde kaynakların sıcaklıkları 25-96 °C arasında olan 55 adet sıcak kaynağın yapılan sondajlardan sonra hemen hemen tamamı kurumuştur. Ancak bataklık alanlarda sızıntılar şeklinde çıkışlar mevcuttur. 2) Çitgöl Sıcak Su Kaynakları: Eynal sıcak su kaynaklarının 2,5-3 km BKB'sında, sıcaklıkları 77-83 °C arasında olan kaynaklardır. Sondajlardan sonra kaynaklar kurumuşlardır. 3) Naşa Sıcak Su Kaynakları: Yine Eynal sıcak su kaynaklarının 2,5-3 km KB'sında yüzeyleyen sıcak su kaynaklarında maksimum sıcaklık 63,5 °C'olan kaynaklar bataklık alanlarda sızıntılar şeklinde çıkış yapmaktadır. MTA ve Belediye tarafından açılan jeotermal sondajlar yer almakta olup yaklaşık EJ-1 no.lu kuyuda 600 m derinlikte 162,4 oC rezervuar sıcaklığına ulaşılmıştır. Sıcaklığı itibari ile elektrik enerjisine uygun olan sahada 7500 konut eşdeğeri ve 310.000 m2 sera jeotermal enerji ile ısıtılmaktadır. Alanda çalışma kapsamında yaklaşık 900 km2 (1/25.000) detay jeoloji çalışması gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Bu çalışmalar ile sahanın stratigrafik yapısı, tektonik özellikleri, kaya birimlerinin hidrojeolojik özellikleri belirlenmiş, sahanın kavramsal modeli oluşturulmuş, stratigrafik dizilim ve faylar ile rezervuar örtü kayaç ve ısı kaynağı bu model üzerinde gösterilmiştir. Sıcak ve soğuk sulardan 67 adet su örneği, 37 adet izotop örneği alınarak kimyasal analizleri yapılmış ve sonuçları çeşitli diyagramlarda değerlendirilerek sınıflandırılmış, birbirleriyle kökensel olarak karşılaştırılmıştır. (Şekil 1).

dokanakla (bindirme) kristalize kireçtaşı, mermer blok ve olistolitleri içeren serpantinitleşmiş mafik-ultramafik kayalardan oluşan Dağardı melanji yer alır. Bu temel kayalar Oligosen-Alt Miyosen yaşlı Eğrigöz ve Koyunoba granitoidi tarafından kesilmektedir. Temel birimler üzerinde diskordansla Alt Miyosen yaşlı karasal fasiyede gelişmiş bloklu konglomera, kumtaşından oluşan Taşbaşı formasyonu ile bunun üzerinde yine karasal fasiyede gelişmiş, tüfit ara seviyeleri içeren alacalı renkli, bloklu konglomera, kumtaşı, kiltaşından oluşan Toklargoğlu formasyonu, bunun üzerinde uyumlu olarak Orta-Üst Miyosen yaşlı Yeniköy formasyonu, bunlarla yatay ve düşey yönde geçişli volkanik kayalardan oluşan Akdağ volkanitlerine ait Civanadağ tüfleri ile Orta Miyosen yaşlı Naşa tuf ve bazaltı yer almaktadır. İstifin en üstünde ise Kuvaterner yaşlı taraça çökelleri, alüvyon ve güncel traverten oluşumları yer alır (Şekil 2, Şekil 3).

Jeolojik çalışmalara göre KB-GD uzanımlı Simav graben havzası güneyden Simav Dağı yamaçlarından eteklere doğru çok sayıda basamaklı normal faylarla sınırlamakta, kuzeyden ise temel yükselimi önünde yer alan normal bir fayla sınırlanmaktadır. Sahada yer alan, ancak açılan sondajlardan sonra kurumuş olan jeotermal kaynaklar grabenin kuzey kanadında yer almaktadır (Şekil 3).





Şekil 3-Çalışma alanının jeoloji haritası (Burçak ve diğ., 2008)

3.SU KİMYASI ÇALIŞMALARI

Sıcak ve soğuk sulardan 67 adet su örneği, kimyasal analizleri yapılmış ve sonuçları çeşitli diyagramlarda değerlendirilerek sınıflandırılmış, birbirleriyle kökensel olarak karşılaştırılmıştır (Çizelge 1). Su kimyası ve izotop çalışmaları ile sahadaki suların beslenme alanı sınırları belirlenmiş, beslenme yaşları ve beslenme alanı yükseklikleri hesaplanmıştır. Ayrıca beslenme alanı sınırlarının belirlenmesinde su kimyası çalışmaları ile elde edilen hidrojeo-kimyasal haritalar da kullanılmıştır.

3.1. Suların Kimyasal Analiz Sonuçlarının Diyagramlarla Değerlendirilmesi

3.1.1. Schoeller Diyagramında Değerlendirme

Su kimyası çalışmalarına göre sahadan alınan soğuk su ve düşük sıcaklıklı (20 °C civarı) ve soğuk su örnekleri, sayının fazla olmasından dolayı Schoeller diyagramlarında akifer kayalarına göre gruplara ayrılarak değerlendirilmişlerdir (Şekil 4, 5, 6.). Buna göre 1) gnaylardan ve granitlerden boşalım yapan sular, 2) mermer ve şistlerden boşalım yapan sular, 3) tuf ve kırıntılılardan boşalım yapan sular olarak üç grupta incelenmişlerdir. Gnays ve granitlerden boşalan soğuk sular kendi aralarında benzer kökene sahip sulardır (Şekil 4). Bunların genelinde baskın katyon Ca ve ikinci olarak Mg, baskın anyon ise HCO₃'dir. Mermer ve şistlerden boşalan sular paralel giden iyon konsantrasyonları ile kendi aralarında benzer kökenli sular oldukları belirlenmiş olup, bunlarda da baskın katyonlar Ca ve Mg, baskın anyon ise HCO₃'dir (Şekil

5). Bazı düşük sıcaklıklı örneklerde Na ve K daha derin dolaşımı işaret edecek şekilde kısmen artmaktadır (Şekil 6).

Sahadan alınan yüksek sıcaklıktaki sular ise paralel gidişli iyon konsantrasyonları ile aynı kökenli oldukları görülmektedir. Bunlarda baskın katyonlar Na+K, anyon ise HCO₃ olarak görülmektedir (Şekil 7).

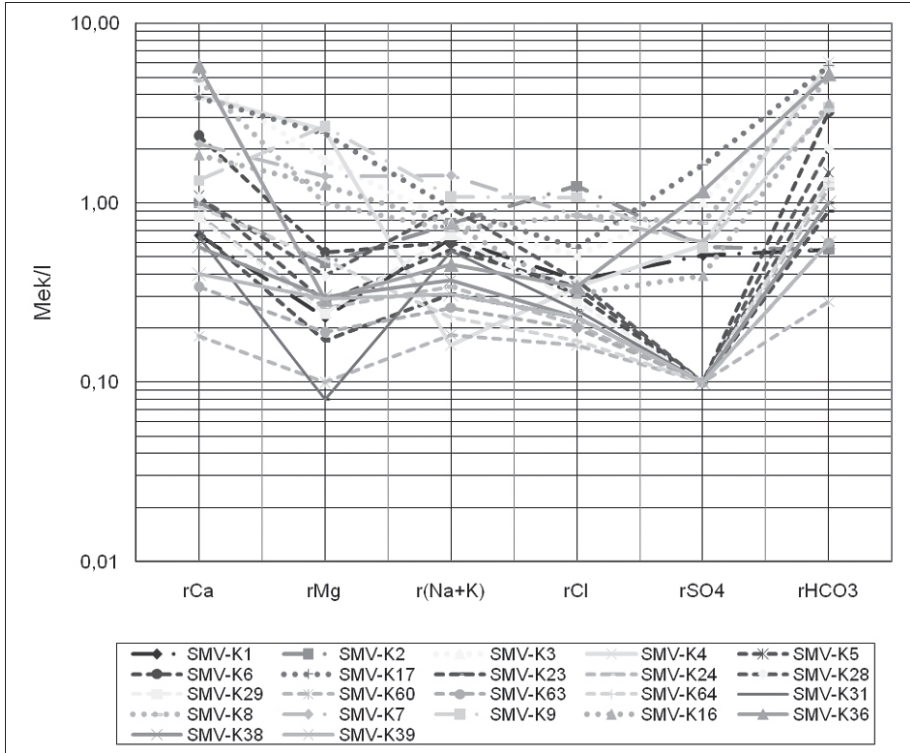
Çizelge 1- Su örneklerinin kimyasal analiz sonuçları.

Örnek No	Y	X	Z	Temp C	pH	Ca		Mg		Na		K		Cl		SO4		HCO3		B	Li	SiO2	EC
						mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l				
SMV-K1	677603	4334896	1124	19,00	7,0	13,2	0,7	2,8	0,2	14,4	0,6	0,0	0,0	13,0	0,4	24,7	0,5	34,0	0,6	0,0	0,0	38,5	153,0
SMV-K2	676174	4335469	1152	19,20	7,0	20,0	1,0	5,6	0,5	16,8	0,7	1,3	0,0	44,0	1,2	27,2	0,6	34,0	0,6	0,0	0,0	18,2	234,0
SMV-K3	675504	4336681	1128	18,20	7,2	96,4	4,8	21,0	1,7	15,8	0,7	3,5	0,1	18,0	0,5	48,6	1,0	371,0	6,1	0,0	0,0	6,0	644,0
SMV-K4	676738	4339218	1318	11,60	7,5	78,7	3,9	31,0	2,6	3,0	0,1	1,1	0,0	12,0	0,3	28,0	0,6	371,0	6,1	0,0	0,0	7,5	576,0
SMV-K5	679023	4337998	1364	13,80	6,6	21,9	1,1	3,4	0,3	12,0	0,5	1,2	0,0	12,0	0,3	0,0	0,0	90,0	1,5	0,0	0,0	33,2	161,0
SMV-K6	680220	4337515	1317	11,40	7,5	47,5	2,4	6,5	0,5	13,0	0,6	1,3	0,0	11,0	0,3	0,0	0,0	196,0	3,2	0,0	0,0	30,0	301,0
SMV-K7	676005	4333516	1063	20,70	6,9	42,6	2,1	17,2	1,4	30,0	1,3	4,5	0,1	30,0	0,9	28,8	0,6	202,0	3,3	0,0	0,0	32,0	452,0
SMV-K8	674823	4333234	958	20,00	7,6	96,4	4,8	12,0	1,0	14,6	0,6	2,6	0,1	30,0	0,9	37,1	0,8	303,0	5,0	0,0	0,0	18,0	607,0
SMV-K9	675861	4334438	995	19,10	7,0	112,0	1,3	53,5	2,7	22,0	1,0	4,9	0,1	38,0	1,1	26,8	0,6	208,0	3,4	0,0	0,0	18,0	456,0
SMV-K10	672983	4343830	928	16,30	7,1	112,0	5,5	20,0	1,6	2,0	0,1	1,0	0,0	12,0	0,3	21,6	0,5	433,0	7,1	0,0	0,0	10,7	595,0
SMV-K11	671601	4337204	597	17,20	7,2	94,0	4,6	16,6	1,4	8,1	0,4	4,0	0,1	15,0	0,4	17,3	0,4	360,0	5,9	0,0	0,0	42,8	521,0
SMV-K12	671085	4336734	888	11,80	7,6	67,0	3,3	11,9	1,0	7,5	0,3	1,8	0,1	12,0	0,3	16,8	0,4	262,0	4,3	0,0	0,0	24,4	394,0
SMV-K13	668819	4337998	828	18,30	7,2	97,0	4,8	41,3	3,4	14,0	0,6	3,4	0,1	12,0	0,3	22,1	0,5	506,0	8,3	0,0	0,0	33,8	688,0
SMV-K14	667298	4345400	852	13,40	6,4	9,2	0,5	1,0	0,1	10,2	0,4	3,9	0,1	11,0	0,3	0,0	0,0	49,0	0,8	0,0	0,0	85,8	102,0
SMV-K15	675823	4331297	922	17,30	7,9	32,3	1,6	5,8	0,5	25,4	1,1	2,3	0,1	16,0	0,5	0,0	0,0	183,0	3,0	0,0	0,0	32,7	282,0
SMV-K16	678568	4327241	962	18,70	7,3	37,6	1,8	15,2	1,3	15,0	0,7	4,2	0,1	11,0	0,3	18,7	0,4	220,0	3,6	0,0	0,0	33,8	335,0
SMV-K17	680807	4328819	933	19,00	7,5	78,9	3,9	29,6	2,4	19,6	0,9	3,0	0,1	20,0	0,6	77,8	1,6	354,0	5,8	0,0	0,0	23,1	618,0
SMV-K18	683410	4330115	1153	14,10	7,2	104,0	5,1	13,3	1,1	4,0	0,2	0,0	0,0	13,0	0,4	28,8	0,6	366,0	6,0	0,0	0,0	12,8	539,0
SMV-K19	681528	4323877	1012	19,30	7,4	80,6	4,0	22,0	1,8	6,2	0,3	0,0	0,0	12,0	0,3	15,4	0,3	348,0	5,7	0,0	0,0	19,9	500,0
SMV-K20	680491	4325700	1051	21,00	7,6	84,3	4,1	16,0	1,3	14,3	0,6	1,9	0,1	16,0	0,5	19,7	0,4	354,0	5,8	0,0	0,0	26,2	519,0
SMV-K21	674907	4326871	846	17,90	7,6	69,1	3,4	41,2	3,4	6,2	0,3	1,3	0,0	11,0	0,3	72,5	1,5	354,0	5,8	0,0	0,0	12,8	576,0
SMV-K22	676068	4321861	1037	12,70	7,0	225,0	11,0	140,0	11,5	32,5	1,4	5,4	0,1	12,0	0,3	579,0	12,1	763,0	12,5	0,1	0,3	12,8	1696,0
SMV-K23	674200	4344036	1121	18,50	6,6	14,0	0,7	2,1	0,2	6,3	0,3	1,7	0,0	8,0	0,2	0,0	0,0	55,0	0,9	0,0	0,0	8,6	105,0
SMV-K24	663816	4342909	1222	16,70	6,9	17,4	0,9	3,1	0,3	7,9	0,3	0,0	0,0	7,5	0,2	0,0	0,0	73,0	1,2	0,0	0,0	13,9	132,0
SMV-K25	658817	4346165	1586	11,10	6,6	5,0	0,2	0,0	0,0	6,0	0,3	2,8	0,1	6,0	0,2	0,0	0,0	31,0	0,5	0,0	0,0	55,6	56,0
SMV-K26	660483	4345666	1392	12,70	6,3	7,5	0,4	1,0	0,1	6,8	0,3	5,5	0,1	9,0	0,3	0,0	0,0	43,0	0,7	0,0	0,0	57,8	85,0
SMV-K27	666050	4338308	805	15,00	7,4	300,0	14,7	26,0	2,1	60,0	2,6	3,1	0,1	189,0	5,3	255,0	5,3	494,0	8,1	0,1	0,0	6,6	1750,0
SMV-K28	660901	4340647	878	16,00	6,9	21,9	1,1	4,8	0,4	2,4	0,9	1,6	0,0	13,0	0,4	0,0	0,0	122,0	2,0	0,0	0,0	36,8	205,0
SMV-K29	661220	4341051	950	15,00	6,6	17,0	0,8	2,9	0,2	14,4	0,6	1,1	0,0	10,0	0,3	0,0	0,0	79,0	1,3	0,0	0,0	34,2	149,0
SMV-K30	659838	4341837	1008	16,00	6,5	8,0	0,4	1,1	0,1	7,9	0,3	1,5	0,0	9,0	0,3	0,0	0,0	37,0	37,0	0,0	0,0	38,1	83,0
SMV-K31	657410	4340721	939	21,60	7,3	13,1	0,6	1,0	0,1	10,6	0,5	3,0	0,1	9,0	0,3	0,0	0,0	61,0	1,0	0,0	0,0	42,8	107,0
SMV-K32	656295	4341947	1147	15,80	6,9	16,6	0,8	1,1	0,1	13,6	0,6	3,7	0,1	10,0	0,3	0,0	0,0	85,0	1,4	0,0	0,0	47,7	134,0
SMV-K33	655334	4338276	721	17,80	6,6	7,5	0,4	0,0	0,0	47,0	2,0	6,3	0,2	15,0	0,4	0,0	0,0	140,0	2,3	0,0	0,0	61,0	229,0

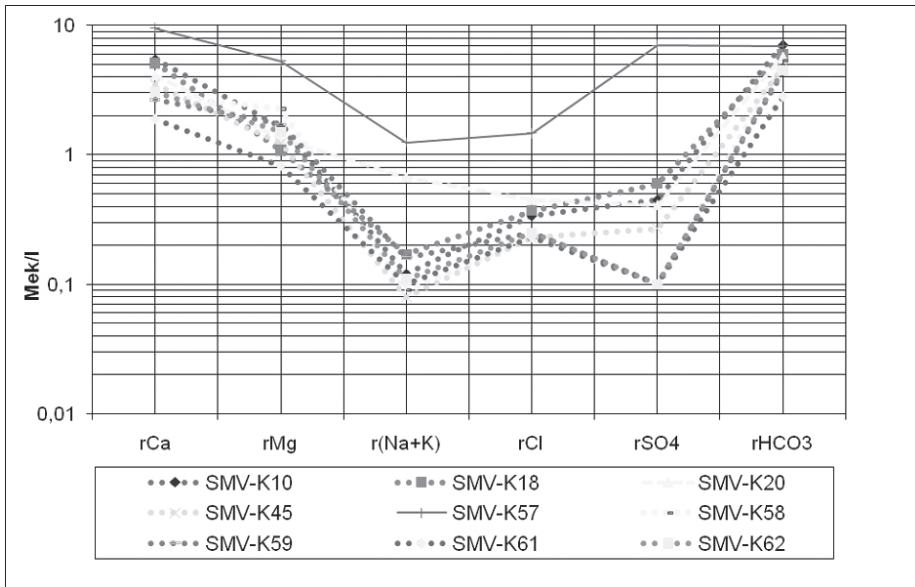
04-06 Kasım 2015 Ankara

Çizelge 1-Su örneklerine ait analiz sonuçları (devam ediyor).

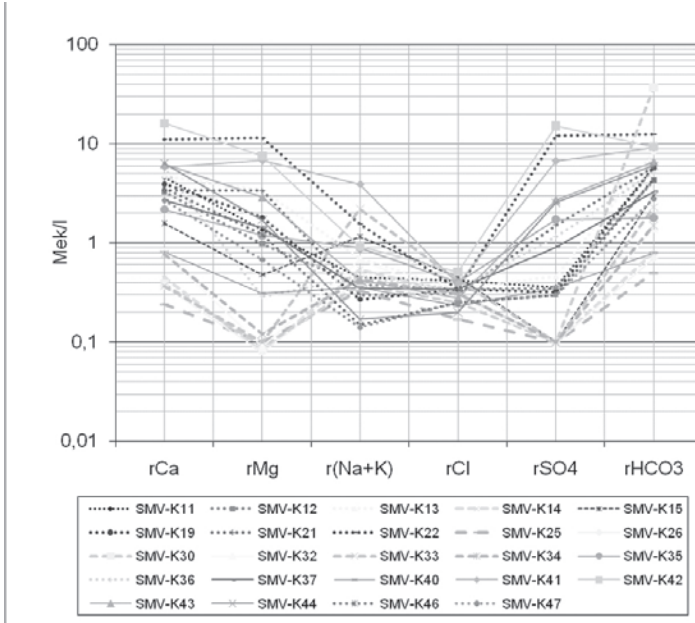
Örnek No	Y	X	Z	Temp °C	pH	Ca		Mg		Na		K		Cl		SO4		HCO3		B	Li	SiO2	EC
						mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l				
SMV-K34	651737	4341249	1032	19,30	6,8	15,7	0,8	1,4	0,1	17,0	0,3	3,5	0,1	11,0	0,3	0,0	0,0	92,0	1,5	0,0	0,0	53,5	150,0
SMV-K35	662297	4337538	825	18,50	6,7	43,6	2,2	14,5	1,2	19,7	0,9	1,0	0,0	14,1	0,4	83,2	1,7	110,0	1,8	0,0	0,0	34,0	408,0
SMV-K36	660848	4334783	824	17,20	7,1	116,0	5,8	3,5	0,3	6,9	0,3	5,9	0,2	12,0	0,3	55,6	1,2	317,0	5,2	0,0	0,0	52,0	577,0
SMV-K37	662989	4333840	787	12,30	6,9	54,0	2,7	17,4	1,4	6,1	0,3	3,2	0,1	12,0	0,3	43,6	0,9	201,0	3,3	0,0	0,0	17,0	415,0
SMV-K38	661298	4330920	1006	17,00	6,3	11,5	0,6	3,6	0,3	7,2	0,3	2,5	0,1	8,0	0,2	0,0	0,0	61,0	1,0	0,0	0,0	21,0	126,0
SMV-K39	659723	4331389	939	19,70	6,8	7,9	0,4	3,5	0,3	6,3	0,3	1,7	0,0	8,1	0,2	0,0	0,0	37,0	0,6	0,0	0,0	20,0	107,0
SMV-K40	659256	4332647	788	13,20	6,1	16,3	0,8	3,8	0,3	7,3	0,3	1,7	0,0	8,0	0,2	16,9	0,4	49,0	0,8	0,0	0,0	18,0	143,0
SMV-K41	651458	4333590	711	18,50	7,2	117,0	5,8	82,5	6,8	87,5	3,8	4,4	0,1	14,0	0,4	324,0	6,8	561,0	9,2	0,1	0,0	17,0	1246,0
SMV-K42	652508	4331948	837	16,70	7,4	325,0	16,2	92,0	7,6	19,0	0,8	3,6	0,1	18,0	0,5	730,0	15,2	574,0	9,4	0,0	0,0	31,0	1729,0
SMV-K43	658448	4330061	1257	18,20	7,4	125,0	6,2	35,2	2,9	7,6	0,3	3,6	0,1	10,0	0,3	130,0	2,7	403,0	6,6	0,0	0,0	18,0	763,0
SMV-K44	658470	4328459	1277	13,30	7,3	127,0	6,3	20,8	1,7	2,5	0,1	2,4	0,1	7,0	0,2	123,0	2,6	366,0	6,0	0,0	0,0	11,0	688,0
SMV-K45	655746	4328350	1605	11,80	7,5	69,8	3,5	14,8	1,2	1,8	0,1	0,0	0,0	8,0	0,2	12,8	0,3	287,0	4,7	0,0	0,0	4,0	415,0
SMV-K46	652239	4327101	1433	12,30	7,6	72,2	3,6	14,8	1,2	2,8	0,1	1,2	0,0	9,0	0,3	14,4	0,3	268,0	4,4	0,0	0,0	9,0	438,0
SMV-K47	653513	4328310	1428	15,20	7,2	54,0	2,7	8,3	0,7	2,5	0,1	1,2	0,0	9,0	0,3	14,4	0,3	171,0	2,8	0,0	0,0	17,0	316,0
SMV-K56	655737	4321903	1315	18,20	7,4	20,2	1,0	7,9	0,7	8,5	0,4	3,1	0,1	9,0	0,3	0,0	0,0	98,0	1,6	0,0	0,0	35,0	205,0
SMV-K57	672278	4326849	860	17,80	7,8	191,0	9,5	64,5	5,3	26,8	1,2	3,6	0,1	52,1	1,5	336,0	7,0	421,0	6,9	2,0	0,0	9,0	1316,0
SMV-K58	672366	4325856	864	13,40	7,9	59,5	3,0	27,5	2,3	2,0	0,1	0,0	0,0	8,0	0,2	0,0	0,0	323,0	5,3	0,0	0,0	5,0	468,0
SMV-K59	670371	4326786	1110	14,60	8,1	53,6	2,7	21,0	1,7	2,5	0,1	2,0	0,1	9,0	0,3	0,0	0,0	262,0	4,3	0,0	0,0	11,0	400,0
SMV-K60	667956	4327320	1475	8,00	6,8	3,6	0,2	0,0	0,0	3,3	0,1	1,4	0,0	5,5	0,2	0,0	0,0	17,0	0,3	0,0	0,0	10,0	43,0
SMV-K61	666917	4325934	1571	7,60	7,9	37,7	1,9	10,0	0,8	1,6	0,1	1,2	0,0	8,0	0,2	0,0	0,0	171,0	2,8	0,0	0,0	7,0	262,0
SMV-K62	665913	4326366	1652	9,90	7,8	61,5	3,1	18,3	1,5	1,8	0,1	1,0	0,0	9,0	0,3	0,0	0,0	275,0	4,5	0,0	0,0	5,0	408,0
SMV-K63	664814	4328656	1500	11,00	6,7	6,7	0,3	2,3	0,2	4,6	0,2	2,2	0,1	7,0	0,2	0,0	0,0	37,0	0,6	0,0	0,0	17,0	77,0
SMV-K64	666565	4329651	887	15,40	7,2	19,1	1,0	5,9	0,5	3,9	0,2	2,2	0,1	6,0	0,2	0,0	0,0	79,0	1,3	0,0	0,0	11,0	153,0
SMV-N1	669421	4334659	789	68,00	7,0	47,1	2,4	5,3	0,4	324,0	14,1	32,5	0,8	61,1	1,7	315,0	6,6	539,0	8,8	3,2	1,0	145,0	1495,0
SMV-Ç1	670063	4333620	814	86,70	8,4	12,1	0,6	0,0	0,0	400,0	17,4	42,2	1,1	68,1	1,9	372,0	7,8	493,0	8,1	4,0	1,4	158,0	1694,0
SMV-Ç2	669938	4333657	818	78,30	8,5	7,2	0,4	0,0	0,0	388,0	16,9	41,5	1,1	70,1	2,0	381,0	7,9	402,8	8,0	3,9	1,3	172,0	1667,0
SMV-Ç3	670038	4333500	792	97,30	8,8	4,9	0,2	0,0	0,0	400,0	17,4	46,5	1,2	77,1	2,2	383,0	8,0	442,8	8,5	4,5	1,4	167,0	1733,0
SMV-Ç4	669541	4333670	794	80,10	7,6	40,7	2,0	2,3	0,2	325,0	14,1	27,5	0,7	56,1	1,6	299,0	6,2	528,0	8,7	3,4	1,0	171,0	1456,0
SMV-EJ1	672015	4332697	827	98,00	8,0	41,1	2,1	7,3	0,6	290,0	12,6	38,2	1,0	53,1	1,5	277,0	5,8	522,0	8,6	2,7	1,1	147,0	1410,0
SMV-E6	672707	4332875	838	98,00	8,6	13,9	0,7	0,0	0,0	500,0	21,8	64,9	1,7	88,1	2,5	466,0	9,7	655,3	12,1	4,9	2,0	240,0	2150,0
SMV-E9	672472	4332929	844	98,00	7,8	6,4	0,3	0,0	0,0	465,0	20,2	55,3	1,4	81,1	2,3	442,0	9,2	616,6	10,8	4,7	1,8	216,0	1957,0
SMV-E10	672218	4332879	840	98,00	8,5	6,4	0,3	0,0	0,0	485,0	21,1	59,7	1,5	84,1	2,4	415,0	8,6	593,8	11,0	4,7	1,8	227,0	2010,0
SMV-E11	671750	4332943	834	98,00	7,9	22,2	1,1	0,0	0,0	356,0	15,5	47,4	1,2	54,1	1,5	202,0	4,2	679,0	11,1	3,1	1,5	233,0	1520,0
SMV-E12	672995	4332751	825	87,00	8,6	4,5	0,2	0,0	0,0	420,0	18,3	41,5	1,1	61,1	1,7	296,0	6,2	615,8	11,5	3,1	1,4	129,0	1699,0



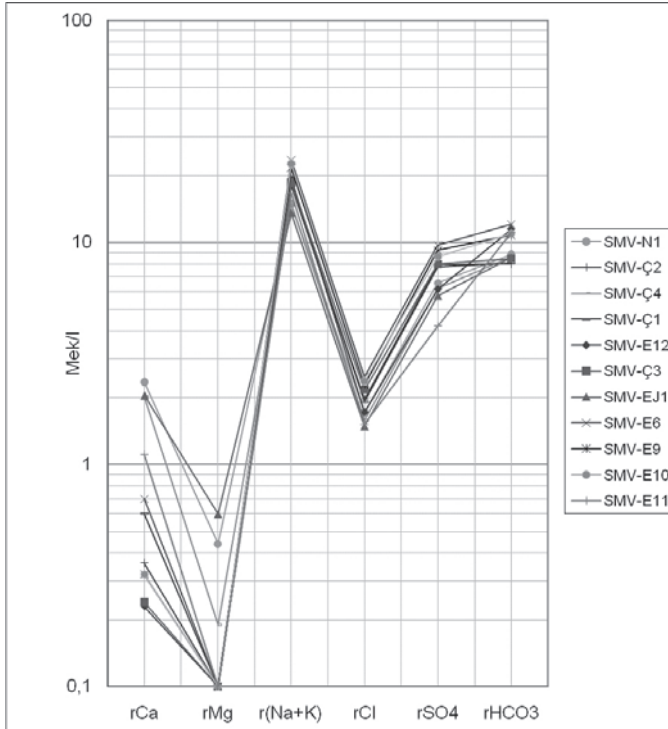
Şekil 4- Gnays ve granitlerden boşalım yapan soğuk ve bazı ılık sulara ait Schoeller diyagramı.



Şekil 5- Mermer ve şistlerden boşalım yapan soğuk ve bazı ılık sulara ait Schoeller diyagramı.



Şekil 6- Tüf ve kırıntılılardan boşalım yapan soğuk sulara ait Schoeller diyagramı.

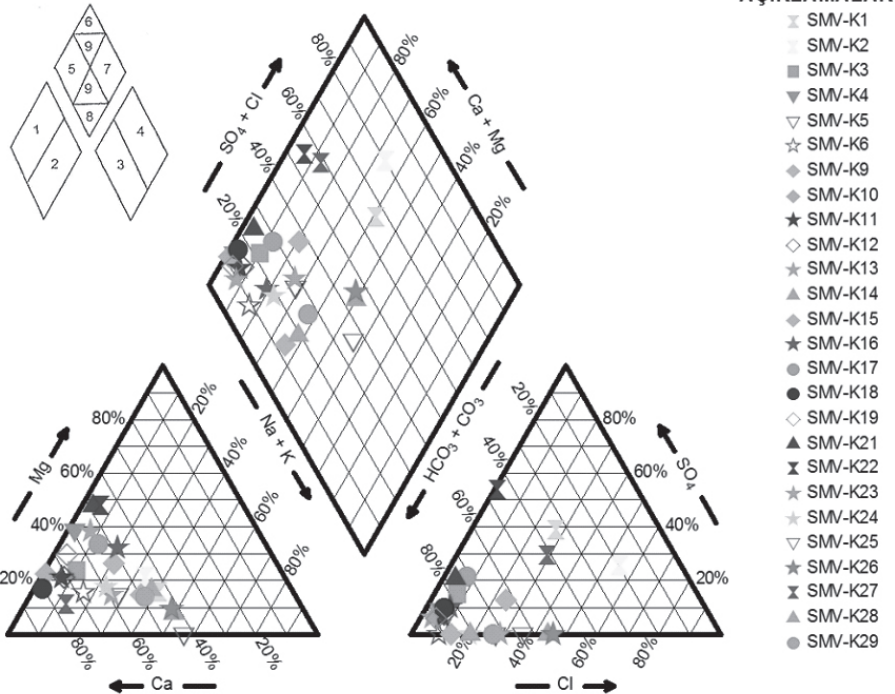


Şekil 7-Sahadan alınan sıcak su örneklerine ait yarı logaritmik Schoeller diyagramı.

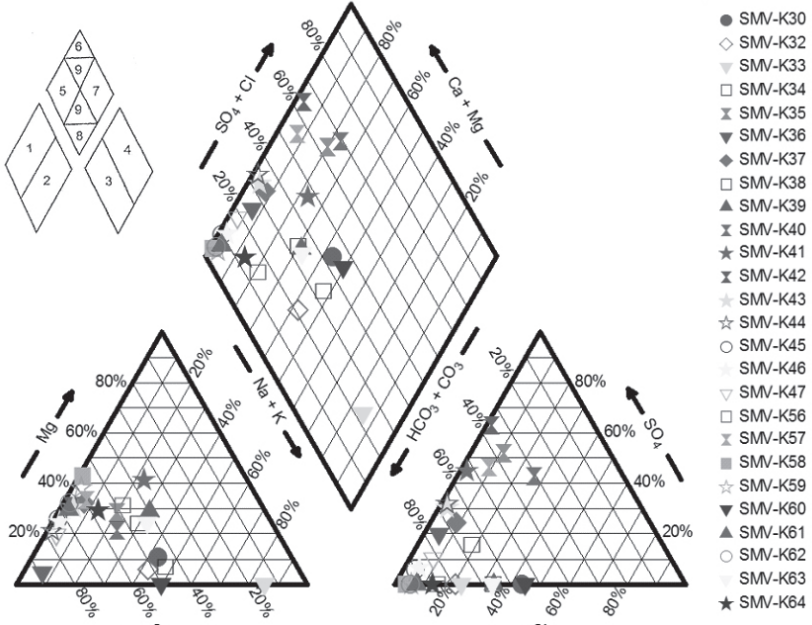
3.1.1. Piper Diyagramında Değerlendirme

Sahadan alınan soğuk su örnekleri çokluğu nedeniyle iki adet Piper diyagramında değerlendirilmiştir (Şekil 8, 9). SMV-K14, SMV-K25 nolu örnekler katyonlara göre ikinci bölgeye ($Na+K > Ca+Mg$) diğer örneklerin tümü ise birinci bölgeye ($Ca+Mg > Na+K$) düşmektedir. Anyonlar bakımından ise SMV-K1, SMV-K2, SMV-K22 SMV-K27 (Şekil 8), SMV-K35, SMV-K40, SMV-K42 ve SMV-K57 no.lu örnekler (Şekil 9) no.lu örnekler 4 bölgede ($Cl+SO_4 > HCO_3+CO_3$) diğer örnekler 3 bölgede yer almaktadır ($HCO_3+CO_3 > Cl+SO_4$). SMV-K1, SMV-K35, SMV-K57 ve SMV-K40 no.lu sular 9 bölgede, SMV-K2, SMV-K22 ve SMV-K27 nolu örnekler 9 nolu bölge sınırına çok yakın bir yerde bulunan karışık sulardır (Şekil 7 ve 8). SMV-K42 no.lu örnek Piper diyagramında 6 no.lu bölgede bulunan karbonat sertliği düşük, Ca-Mg SO_4 bileşimli bir sudur. SMV-K33 no.lu örnek ise 8. bölgeye düşen alkali karbonat bileşimlidir. Diğer örneklerin tümü beşinci bölgeye düşen karbonat sertliği yüksek olan sulardır.

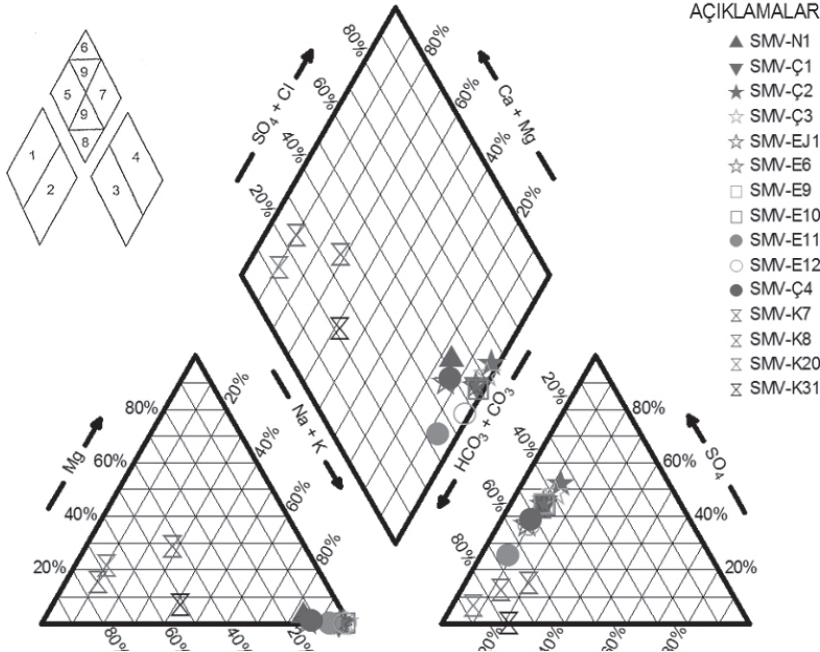
Sıcak sulardan düşük sıcaklıklı suları temsil eden SMV-K7, SMV-K8, SMV-K20, SMV-K31 no.lu örnekler birinci bölgede bulunan, Ca-Mg bakımından zengin sulardır ($Ca+Mg > Na+K$). Yüksek sıcaklıklı suları temsil eden Simav-Eynal-Çitgöl ve Naşa alanlarından sondajlardan alınan sıcak sular ise İkinci bölgede yer alan sulardır ($Na+K > Ca+Mg$). Düşük sıcaklıklı (ılık) sular beşinci bölgede yer alan karbonat sertliği yüksek sulardır. Sıcak sulardan SMV-E11, SMV-12 no.lu örnekler sekizinci bölgeye düşen yumuşak özellikte alkali-karbonat sular, SMV-EJ1 ve SMV-Ç4 no.lu örnekler 9. bölgeye düşen karışık sular, diğer örnekler ise yedinci bölgeye düşen karbonat alkaliliği, karbonat olmayan alkalilikten düşük olan sulardır (Şekil 10).



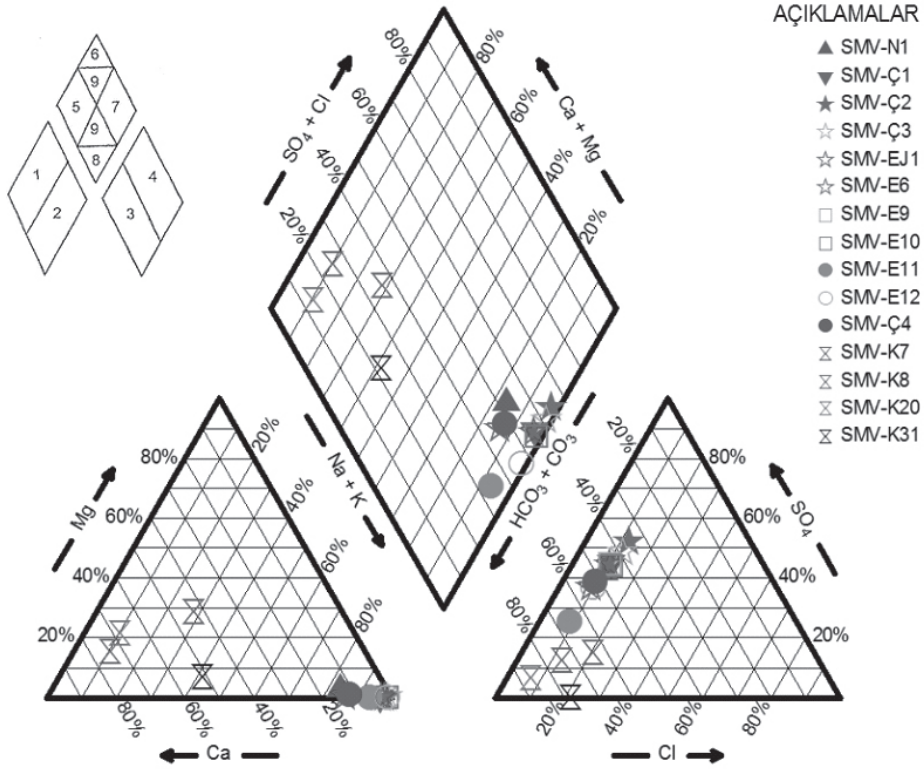
04-06 Kasım 2015 Ankara



Şekil 8- Soğuk sulara ait Piper diyagramı.



Şekil 9- Soğuk sulara ait Piper diyagramı.



Şekil 10- Sıcak sulara ait Piper diyagramı.

4. İZOTOPIK ÇALIŞMALAR

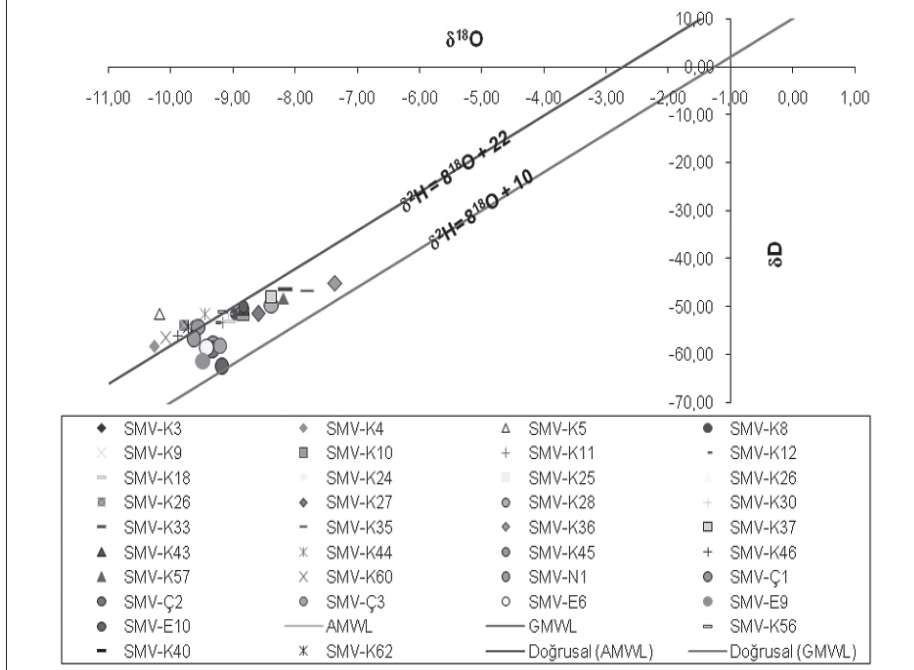
Sahadan kurak döneme ait 37 adet izotop örneği alınarak analizleri DSİ TAKK (Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol) Daire Başkanlığı İzotop Şube Müdürlüğü laboratuvarlarında yapılmıştır. Düşük trityum değerli örneklerden 9 tanesinin trityum izotop analizi yağışlı dönemde tekrar yapılmıştır (Çizelge 2).

4.1. Oksijen-18 ve Döteryum Sonuçlarının Değerlendirilmesi

O-18/Döteryum sonuçları grafikte Dünya Meteorik Su Doğrusu (GMWL) ve Doğu Akdeniz Meteorik Su Doğrusu (AMWL) kullanılarak değerlendirilmiştir. İzotop sonuçlarına göre, sıcak su örneklerinin O-18 bakımından zenginleşerek Akdeniz meteorik su doğrusundan sağa doğru sapma gösterdikleri anlaşılmaktadır. Bu durum su-kayaç etkileşimi ile O-18 bakımından zenginleşmeyi işaret etmektedir. Eynal bölgesinde yer alan sondajdan alınan (E-10) no.lu örneğin meteorik doğrudan en fazla, Naşa sıcak su sondajından (SMV-N1) alınan örneğin ise en az sapma gösteren örnek olduğu görülmektedir (Şekil 11).

Simav jeotermal sahası ve çevresinden, değişik kotlardan alınan 25 adet örneğin döteryum değerleri grafikte yüksekliğe karşılık olarak işaretlendiğinde bulunan eğilim çizgisinin eğimi beslenme yükseklik denklemi (1) olarak alındığında, sıcak suların beslenme alanı yüksekliklerinin

1500-2300 metreler arası yükseltiler olduğu belirlenmiştir (Şekil 12, Çizelge 3). Bu yükseklik değerlerinin beslenme alanında güneyde Simav Dağı ile kuzeyde Katrancı Dağı zirveleri olduğu belirlenmiştir. Buna göre sıcak suların Döteryum değerleri dikkate alındığında sahanın en yüksek kotlarından beslendikleri söylenebilir.



Şekil 11 Sulara ait O18-Döteryum grafiği.

Çizelge-2-İzotop analiz sonuçları.

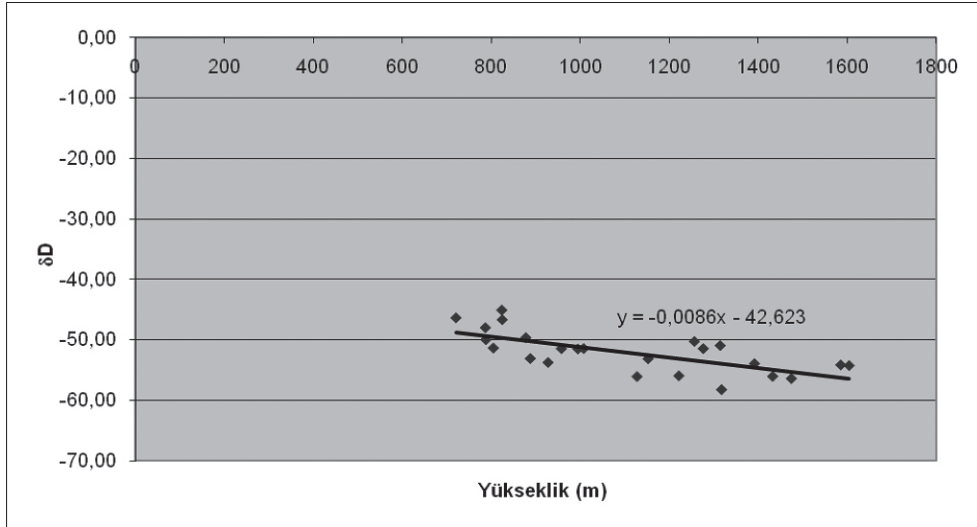
Sıra No	Numune No	Alındığı Yer	Tarih	Koordinatlar			T (°C)	Debi l/s	pH	O ¹⁸	δD	TU	Belirsizlik	TU (Yağışlı)
				Y	X	Z								
1	SMV-N1	Kütahya-Simav Naşa 1 (Sj)	01.09.2005	669421	4334659	789	68	9		-9,63	-56,68	3,55	2,00	0,53±0,24
2	SMV-Ç1	Kütahya-Simav Çitgöl 1 (Sj)	01.09.2005	670063	4333620	814	86,7	32	7,62	-9,32	-57,88	4,35	2,05	
3	SMV-Ç2	Kütahya-Simav Çitgöl 2 (Sj)	01.09.2005	669938	4333657	814	78,3	20	7,62	-9,34	-58,96	2,20	2,05	0,70±0,18
4	SMV-Ç3	Kütahya-Simav Çitgöl 3 (Sj)	01.09.2005	670038	4333500	792	97,3	20	8,27	-9,21	-58,19	0,00	1,9	0,47±0,18
5	SMV-E11	Kütahya Simav-Eynal E11 (Sj)	01.09.2005	672015	4332697	827	98	72	7,44	-8,83	-55,44	2,05	2,05	
6	SMV-E6	Kütahya Simav-Eynal E6 (Sj)	01.09.2005	672707	4332875	838	98	50	7,56	-9,43	-58,51	0,00	1,95	
7	SMV-E9	Kütahya Simav-Eynal E9 (Sj)	01.09.2005	672472	4332929	844	98	60	-	-9,49	-61,39	0,00	1,85	0,51±0,18
8	SMV-E10	Kütahya Simav-Eynal E10 (Sj)	01.09.2005	672218	4332879	840	98	80	8,15	-9,18	-62,43	1,70	2,05	
9	SMV-K3	Kütahya -Simav K.Ören	01.09.2005	675504	4336681	1128	18,2	0,1	6,47	-9,60	-56,13	2,05	2,05	4,59±0,24
10	SMV-K4	Kütahya -Simav K.Armut	01.09.2005	676738	4339218	1318	11,6	0,1	-	-10,26	-58,29	5,15	2,15	5,82±0,26
11	SMV-K5	Kütahya-Simav-Y. Gölcük	01.09.2005	679023	4337998	1364	13,8	0,04	7,54	-10,18	-51,57	6,80	2,2	
12	SMV-K8	Kütahya-Simav-Gölcük	01.09.2005	674823	4333234	958	20	0,02	7,65	-8,97	-51,53	1,50	1,9	
13	SMV-K9	Kütahya-Simav-H. Ahmetoğlu.	01.09.2005	675861	4334438	995	19,1	0,25	-	-8,84	-51,58	3,90	2,1	
14	SMV-K10	Kütahya-Simav-Laledere	01.09.2005	672983	4343830	928	16,3	0,35	7,61	-9,90	-53,81	4,55	2,05	
15	SMV-K11	Kütahya-Simav-Bayramdağı	01.09.2005	671601	4337204	597	17,2	0,2	7,49	-9,17	-53,43	3,65	2,05	
16	SMV-K12	Kütahya-Simav-Baykuş S.	01.09.2005	671085	4336734	888	11,8	0,27	7,55	-9,27	-53,16	4,35	2,1	4,94±0,24
17	SMV-K18	Kütahya-Simav-Şenköy	01.09.2005	683410	4330115	1153	14,1	1,1	7,44	-9,05	-53,19	8,35	2,15	
18	SMV-K24	Kütahya-Simav-Orman Bakımevi	01.09.2005	663816	4342909	1222	16,7	0,02	6,91	-9,56	-56,00	7,70	2,15	

Çizelge-2-İzotop analiz sonuçları (devam ediyor).

Sıra No	Numune No	Alındığı Yer	Tarih	Koordinatlar			T (°C)	Debi l/s	pH	O18	δD	TU	Belirsizlik	TU (Yağışlı)
				Y	X	Z								
19	SMV-K25	Kütahya-Simav-Gölcük Pn.	01.09.2005	658817	4346165	1586	11,1	0,11	6,2	-9,76	-54,22	6,70	1,95	
20	SMV-K26	Kütahya-Simav-Kocayayla	01.09.2005	660483	4345666	1392	12,7	0,04	5,95	-9,79	-54,01	2,70	1,9	
21	SMV-K27	Kütahya-Simav-Budaklar Çş.	01.09.2005	666050	4338308	805	19,3	0,03	6,77	-8,59	-51,42	9,05	2,15	
22	SMV-K28	Kütahya-Simav-Cankurtaran Çş.	01.09.2005	660911	4340647	878	19,7	0,01	6,09	-8,39	-49,71	7,20	2,1	
23	SMV-K30	Kütahya-Simav-Kayacık	01.09.2005	659838	4341837	1008	13,8	0,1	6,03	-9,07	-51,51	3,25	1,95	
24	SMV-K33	Kütahya-Simav-Kusumlar	01.09.2005	653534	4338276	721	17,8	0,07	-	-8,16	-46,44	3,30	1,95	
25	SMV-K35	Kütahya-Simav-Kocaburun	01.09.2005	662297	4337538	825	18,5	0,05	-	-7,81	-46,75	4,35	1,9	
26	SMV-K36	Kütahya-Simav-Kovan Çş.	01.09.2005	660848	4334783	824	17,2	0,04	-	-7,36	-45,16	2,80	1,95	
27	SMV-K37	Kütahya-Simav-Üyücek T.	01.09.2005	662989	4333840	787	12,3	0,07	-	-8,39	-48,06	1,75	1,9	
28	SMV-K39	Kütahya-Simav-Sarpdere	01.09.2005	659723	4331389	939	19,7	0,025	-	-9,19	-50,07	3,05	1,9	
29	SMV-K40	Kütahya-Simav-Ahmetli yolu	01.09.2005	659256	4332647	788	13,2	0,4	-	-8,83	-50,05	4,05	1,95	
30	SMV-K43	Kütahya-Simav-Baldıranlıtepe	01.09.2005	658448	4330061	1257	18,2	0,03	7,22	-9,14	-50,34	4,25	1,95	
31	SMV-K44	Kütahya-Simav-Sarıtaş	01.09.2005	658470	4328459	1277	13,3	0,04	7,67	-9,45	-51,52	2,30	2,0	
32	SMV-K45	Kütahya-Simav-Subatan	01.09.2005	655746	4328350	1605	11,8	0,01	7,4	-9,56	-54,31	4,05	1,95	
33	SMV-K46	Kütahya-Simav-Kumpınarı	01.09.2005	652239	4327101	1433	12,3	0,01	7,64	-9,89	-56,10	3,60	1,95	
34	SMV-K56	Manisa-Demirci-Tozlugedik	01.09.2005	655737	4321903	1315	18,2	0,04	-	-9,16	-51,01	2,35	1,85	
35	SMV-K57	Kütahya-Simav-Mamak	01.09.2005	672278	4326849	860	17,8	0,4	7,9	-8,19	-48,37	5,40	2,0	4,46±0,24
36	SMV-K60	Kütahya-Simav-Apdilo Tarlası	01.09.2005	667956	4327320	1475	8,0	0,2	7,72	-10,08	-56,46	3,60	1,8	4,64±0,28
37	SMV-K62	Kütahya-Simav-Domrukiyaret	01.09.2005	665913	4326366	1652	9,9	0,2	7,9	-9,72	-54,22	5,35	1,85	

Çizelge 3- Yükseklik hesaplanmasında kullanılan izotop örneklerinin yükseklik-döteryum grafiği değerleri.

Numune	Yükseklik (m)	δD
SMV-K45	1605	-54,31
SMV-K25	1586	-54,22
SMV-K60	1475	-56,46
SMV-K46	1433	-56,10
SMV-K26	1392	-54,01
SMV-K4	1318	-58,29
SMV-K44	1277	-51,52
SMV-K56	1315	-51,01
SMV-K43	1257	-50,34
SMV-K24	1222	-56,00
SMV-K18	1153	-53,19
SMV-K3	1128	-56,13
SMV-K30	1008	-51,51
SMV-K9	995	-51,58
SMV-K8	958	-51,53
SMV-K10	928	-53,81
SMV-K12	888	-53,16
SMV-K28	878	-49,71
SMV-K57	860	-48,37
SMV-K35	825	-46,75
SMV-K36	824	-45,16
SMV-K27	805	-51,42
SMV-K40	788	-50,05
SMV-K37	787	-48,06
SMV-K33	721	-46,44



Şekil 12- Döteryum-yükseklik grafiği.

$Y = \delta D$ ve $X =$ Örneğin alındığı noktanın rakımı olmak üzere

$Y = -0,0086X - 42,623$ (1)'dir.

Sıcak suların döteryum sonuçları (1) denkleminde yerine konulduğunda beslenme alanı yükseklikleri şu şekilde hesaplanmıştır (Çizelge 4).

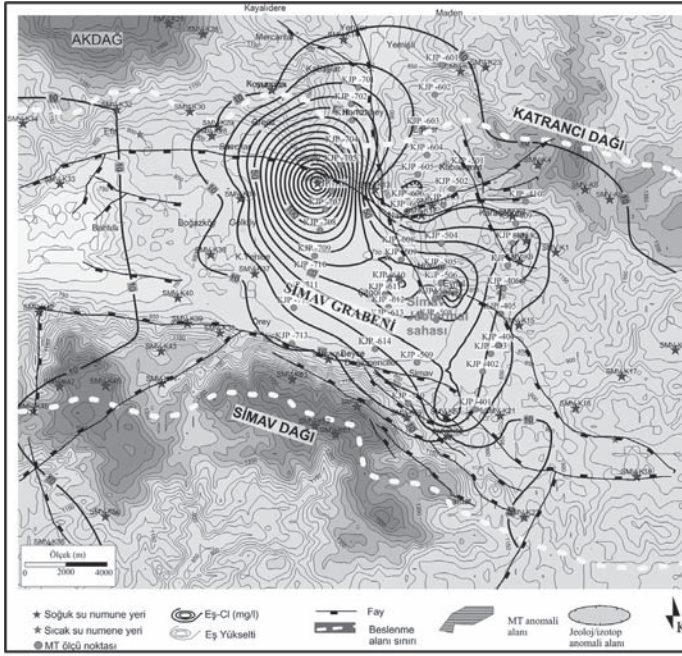
Çizelge 4- Sıcak su örneklerinin hesaplanan beslenme yükseklikleri.

Örnek No (Sondaj)	Kod (Z)	Döteryum	Beslenme Yüksekliği (m)
SMV-N1	789	-56,68	1634
SMV-Ç1	814	-57,88	1774
SMV-EJ1	827	-55,44	1490
SMV-E6	838	-58,51	1847
SMV-E9	844	-61,39	2182
SMV-E10	840	-62,43	2303
SMV-Ç2	818	-58,96	1899
SMV-Ç3	792	-58,19	1810

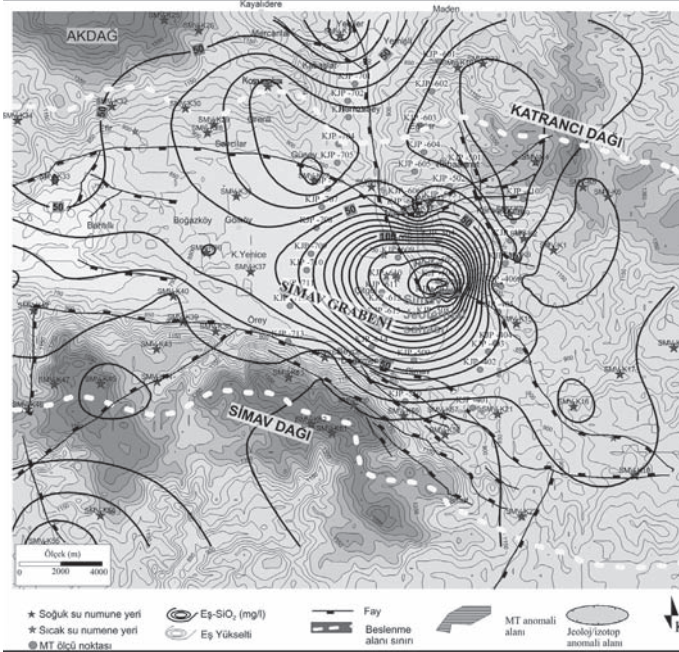
5. BESLENME ALANI ÇALIŞMALARI

Beslenme alanı bölgenin topoğrafyasına bağlı yüzeysel beslenme alanı sınırı dikkate alınarak topoğrafik harita üzerine çizilmiştir. Beslenme alanı sınırının belirlenmesinde Beslenme akışı yönünde artış göstermesi beklenen Cl, SiO₂ konsantrasyon değişimi ile beslenme alanı yüksekliği ile azalma eğilimi gösteren döteryum konsantrasyon hariyalarından da yararlanılmıştır. Yüzeysel beslenme alanı sınırının Eş-SiO₂ ve Eş-Klor dağılım haritaları ile eş konsantrasyon izotop (döteryum) kontur haritaları ile uyum içinde olduğu görülmektedir. Bu çalışmaya göre

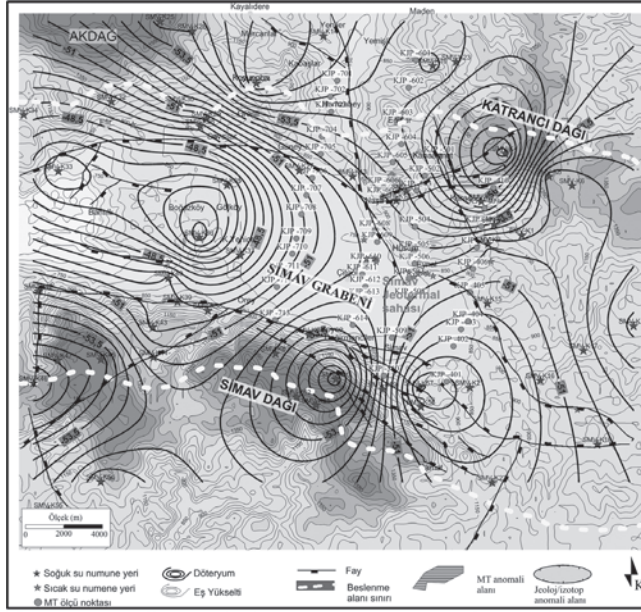
saha yaklaşık 500 km² yüzeyel beslenme alanına sahiptir (Şekil 13)



Şekil 13-Yükseklik Eş kontur, Eş-Cl dağılım haritası ve beslenme alanı sınırı haritası



Şekil 14-Yükseklik Eş kontur, Eş-SiO₂ dağılımı ve beslenme alanı haritası.

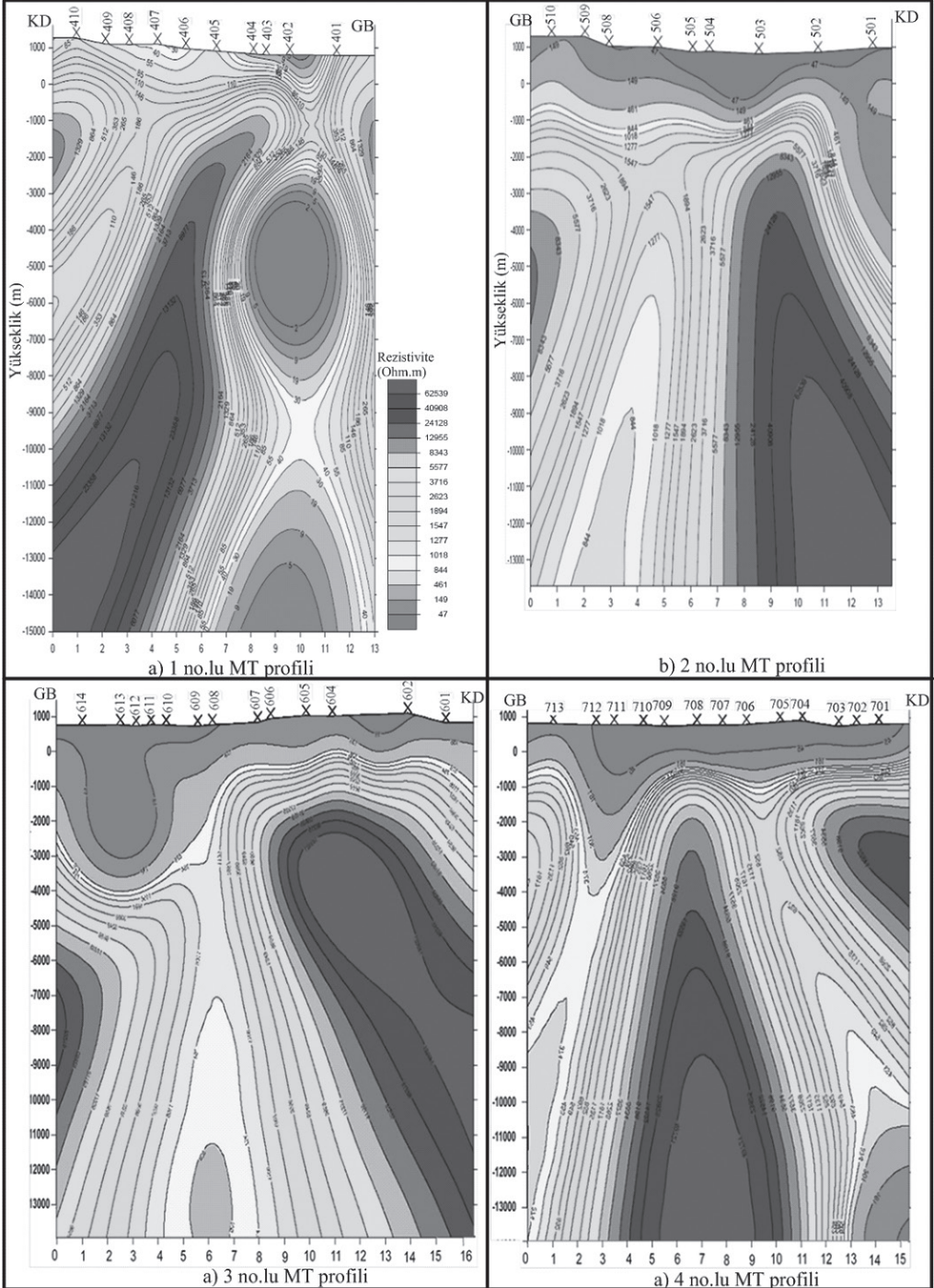


Şekil 15- İzotopik (döteryum eş konsantrasyon değişimi ve beslenme alanı sınırı).

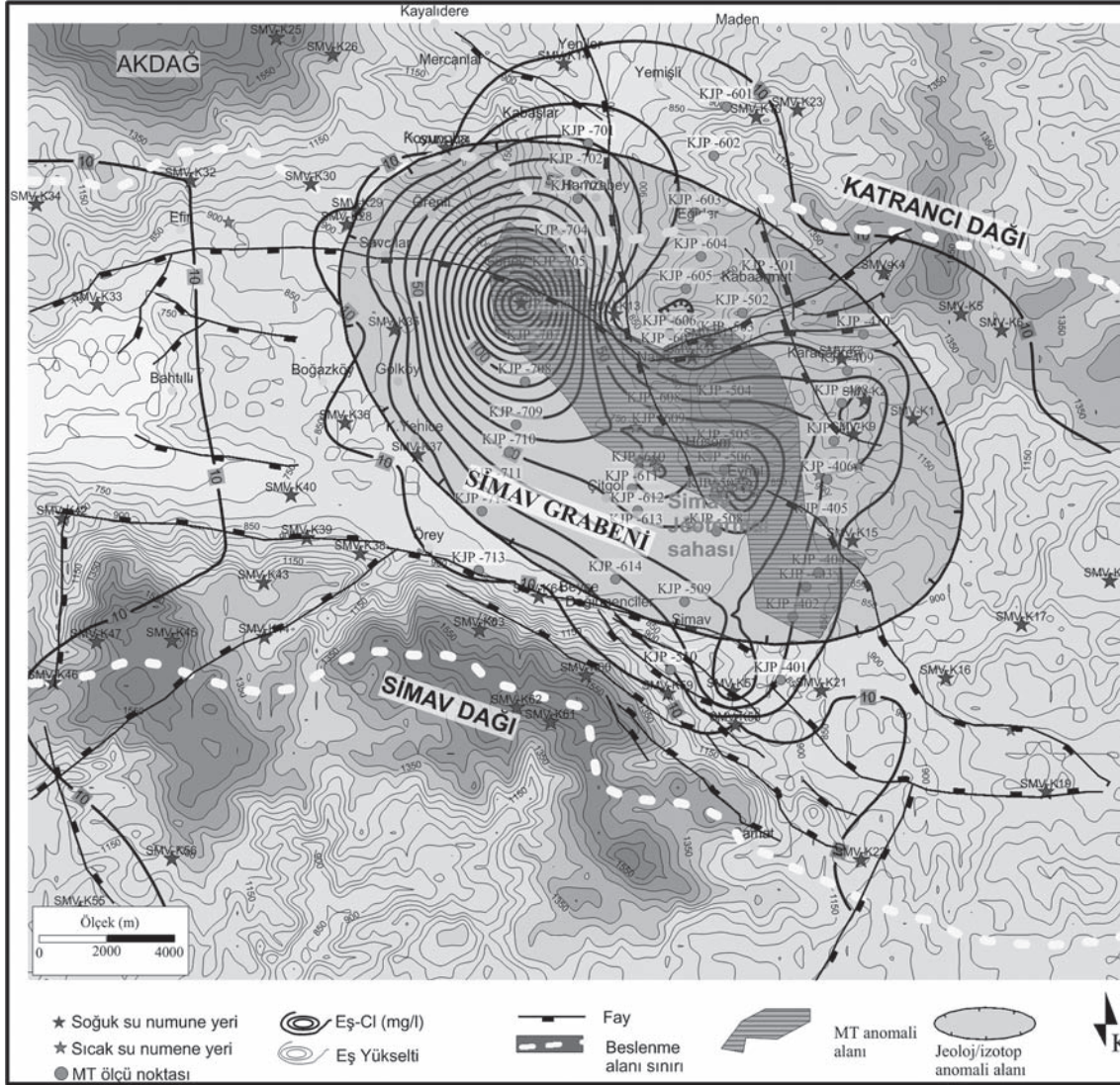
6.MANYETO TELLÜRİK (MT) ÇALIŞMALARI

Proje kapsamında çalışma alanında örtülü alanlarda ısı kaynağının araştırılması için 5-8 km uzunluklarda ve 1,5-2 km profil aralığında 4 profil üzerinde 47 noktada Manyeto tellürik (MT) çalışma yapılmıştır (Şekil 1). MT ölçü sonuçları değerlendirilerek oluşturulan iki boyutlu MT kesitlerde yüzeyden itibaren üç farklı rezistiviteye sahip seviyesin bulunduğu görülmektedir (Şekil 16). Profillerde en üstte düşük rezistivite (14-45 ohm.m) ile temsil edilen, Miyosen çökel ve volkanitlerine karşılık gelen, kalınlığı kuzeyde 500-500 m iken, güneye doğru artan ve 2 km'ye ulaşan daha çok örtü kayaç nitelikli birimler; bunun altında yüksek rezistivite ile karakterize olan (100-5000 ohm.m) Menderes metamorfitlerine ait temel kayalara (ganys,şist, mermer) karşılık gelen kesim; daha altta bu yüksek rezistiviteli (5000 ohm.m) kabuk içinde 6-8 km derinliklerde daha lokal alanlarda kesit boyunca 2-3 km'e ulaşan genişlikte düşük rezistivite ile belirgin (20-100 ohmm) kesim yer almaktadır. 6-8 km derinlikte yer alan düşük rezistivite ile belirgin bu anomali alanlarının ergimiş veya sıcaklığını henüz kaybetmemiş katı/yarı katı magmatik sokulumlara karşılık gelebileceği düşünülmektedir (Burçak ve diğ., 2008).

Manyetotellürik çalışmalar ile kesit hatları üzerinde 6 bölgede jeotermal ısı kaynağı oluşturduğu düşünülen sokulum belirlenmiştir. İlk ikisi mevcut jeotermal kaynak ve kuyuların bulunduğu alanlar çevresinde, diğer ikisi jeotermal gösterge bulunmayan alanlarda olmak üzere, 1) Eynal civarı ve kuzeyinde, 2) Naşa Çitgöl arasında 3) Naşa-Güney arasında ve güneyde 4) Doğuda Muradinlar çevresinde jeotermal ısı kaynağına yorumlanan anomaliler belirlenmiştir. Bu alanlarda örtülü jeotermal sistemlerin gelişebileceği düşünülmektedir. Simav grabeninin kuzeyinde Simav Jeotermal sahasını (Eynal-Çitgöl-Naşa) içine alan ve 2 km kadar kuzey ve 5 km kadar batı ve 2 km kadar doğuya doğru uzanan Jeolojik veriler (fay gidişleri), su kimyası (eş-klor ve eş-SiO₂) izotop (eş döteryum) ile anomali alanlarının çakıştığı KB-GD uzanımlı bu alanın gerek konvansiyonel gerekse EGS ve HDR çalışmaları için uygun alan olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 16-İki boyutlu MT rezistivite kesitleri



Şekil 17-Jeotermal araştırmalar için hedef alan (Jeolojik/Su kimyası anomali alanı ve MT anomali alanı çakışma bölgesi).

7.KAVRAMSAL JEOTERMAL MODEL

Beslenme alanını enine kesen, Simav-Dağı-Katrancıdağı arasında 1/25.000 ölçekli haritadan stratigrafik enine bir jeolojik enine kesit oluşturulmuştur. Bu kesit üzerinde jeotermal unsurlardan ısı kaynağı, rezervuar, su kaynağı (beslenme alanı) verileri ile mevcut sondajlar işaretlenerek kavramsal model oluşturulmuştur. Modelde jeolojik birimlerin sınırları işaretlenmiş, birimlerin kalınlıkları ise jeolojik mostra, jeofizik ölçüler ve sondaj verileri dikkate alınarak belirlenmiştir. Oluşturulan jeolojik kesit üzerinde Manyetotellürik ölçüler sonucu belirlenen ısı kaynağına yorumlanan, derinlerdeki düşük rezistivite anomali alanları ısı kaynağı olarak işaret-

Oligosen-Alt Miyosen yaşlı granit intrüzyonları tarafından kesilmektedir. Bu istif Tersiyer-Kuvaterner yaşlı karasal çökeller ile bunlarla geçişli volkanitler tarafından diskordansla örtülmektedir.

Simav jeotermal sahası ve çevresinde yapılan jeoloji, su kimyası ve jeofizik çalışmalarını kapsayan bu çalışma ile sahanın ısı kaynağı, beslenme alanı, rezervuar yayılımı araştırılarak kavramsal modelinin oluşturulması yanında yüksek yeraltı sıcaklığına sahip, kızgın kuru kaya çalışmalarına uygun olabilecek hedef alanlar belirlenmiştir.

Su kimyası çalışmaları için analizi yapılan 67 adet su örneği, 37 adet izotop örneği kullanılmıştır. Sahanın beslenme alanı sırları topoğrafik veriler, hidro kimyasal haritalar ve izotop çalışmaları ile belirlenmiştir. Isı kaynağının belirlenmesi amacıyla MT çalışması yapılmış, bu kapsamda 4 profil üzerinde, 47 noktada MT ölçüsü alınmıştır. Sonuçlar iki boyutlu rezistivite kesitleri oluşturularak değerlendirilmiştir.

Masifin derine gömülmesi kısmi ergimeye kadar sıcaklığın yükselmesi ve genç (Alt Miyosen yaşlı) anateksitik granitlerin (Eğrigöz ve Koyunoba granitoidleri) oluşması süreci düşünüldüğünde, bu süreçlerle ilişkili olarak, MT çalışmaları ile varlıkları konusunda önemli ipuçları elde edilen gömülü intrüzif kütlelerin bulunması beklenmektedir. Bunlardan ikisi üzerinde kaynak alanı ve sondajların bulunduğu bölgedeki mevcut konveksiyon sisteminin gelişmiş olduğu düşünülmektedir. MT çalışmalara göre tespit edilen ısı kaynağı oluşturacağı düşünülen gömülü sokulumlara yorumlanan anomali alanlarında, rezervuar koşullarının veya kondaktif ısı imkanlarının araştırılması önerilir. Bölgede yüksek kondaktif ısı beklenen gömülü sokumlar çevresinde gnays migmatit ve granit gibi kırılğan kayaçların bulunması nedeniyle HDR sistemlerinin geliştirilebileceği düşünülmektedir. Derin ısı kaynakları, beslenme alanı genişliği, bölgenin topoğrafik yapısı, kayaçların hidrojeolojik özellikleri ile bölgenin kırıklı yapısı düşünüldüğünde Simav bölgesinin hem konvasiyonal jeotermal aramalar ve hem de HDR sistemlerinin geliştirilmesi için uygun bir bölge olduğu düşünülmektedir.

9. DEĞİNİLEN BELGELER

- Akdeniz, N. 1985. Akhisar-Gölmarmara-Gördes-Sındırgı arasının jeolojisi. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Ana Bilim Dalı, 254s. (yayımlanmamış).
- Akdeniz, N. ve Konak, N. 1979. Menderes Masifinin Simav dolayındaki kaya birimleri ve metabazik, metaultramafik kayaların konumu. TJK Bülteni, 22, 175-183.
- Boray, A, Akat, U., Akdeniz, N, Akçören, Z, Çağlayan, A, Günay, E, Korkmazer, B, Öztürk, E.M ve Sav, H. 1973. Menderes masifinin güney kenarı boyunca bazı önemli sorunlar ve bunların muhtemel çözümleri. Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi Tebliğler Kitabı, 11-20.
- Burçak, M., Kılıç, A.R. ve Hacısalihoğlu, Ö. 2007a. Kütahya Gediz-Abide, Şaphane-Üçbaş-Karacaderbent sahaları jeotermal etüt (jeoloji-jeofizik) ve KŞÜ-1, KŞÜ-2 jeotermal sondajları kuyu bitirme raporu. MTA Genel Müdürlüğü Rapor No: 11516. Ankara (yayımlanmamış).
- Burçak, M., Sevim, F., Hacısalihoğlu, Ö. 2007b. Jeolojik, jeofiziksel ve jeokimyasal yöntemlerle yeni bir jeotermal sahanın keşfedilmesi, Üçbaş-Şaphane-Kütahya. MTA Dergisi, 135, 45-64.
- M.Burçak, A.R.Kılıç, Ö.Hacısalihoğlu, 2008, Simav Sahası Jeotermal Etüt (Jeoloji-Jeofizik) raporu. MTA Genel Müdürlüğü Rapor No: 11524. Ankara (yayımlanmamış).
- Burçak, M. ve Dünya, H. 2010. Kütahya-Şaphane-Karacaderbent sahaları KŞÜ-3 jeotermal sondajı kuyu bitirme ve test raporu. MTA Genel Müdürlüğü Rapor No: 11503, Ankara (yayımlanmamış).
- Burçak, M. ve Dünya, H. 2010 ve Hacısalihoğlu, Ö. 2013. Örtülü sahaların aranmasında yeni yaklaşımlar: Kütahya-Şaphane-Karacaderbent gömülü jeotermal sahası. MTA Dergisi, 147, 127-151..

- Candan, O. ve Dora, O. 1998. Menderes Masifi'nde granülit, eklojit ve mavi şist kalıntıları: Pan-Afrikan ve Tersiyer metamorfik evrimine bir yaklaşım. Türkiye Jeoloji Bülteni, 41, 1, 1-35.
- Candan, O., Dora, O.Ö., Oberhansly, R., Çetinkaplan, M., Partzsch, J.H., Warkus, F ve Dürr, S. 2001. Pan-African high-pressure metamorphism in the Precambrian basement of the Menderes Massif, Western Anatolia, Turkey. International Journal of Earth Science, 89, 4, 793-811.
- Çağlayan, A., Öztürk, M., Öztürk, Z., Sav, H. ve Akat, U. 1980. Menderes masifi güneyine ait bulgular ve yapısal yorum. Jeoloji Mühendisliği, 10, 7-19.
- Dora, O. Ö. 1981. Menderes Masifi'nde petroloji ve feldspat incelemeleri. Yerbilimleri Dergisi 7, 54-63.
- Dora, O. Ö, Candan, O., Kaya, O., Koralay, E. ve Dürr, S. 2001. Revision of the so-called leptit gneisses in the Menderes Massif: a supra crustal metasedimentary origin. International Journal of Earth Science (Geologische Rundschau), 89/4, 836-851.
- Ercan, T, Dinçel, A., Metin, S, Türkecan, A. ve Günay, E. 1978. Uşak yöresindeki Neojen havzalarının jeolojisi. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni, 21, 97-106.
- Ercan T., Günay, E ve Savaşçın, M. Y. 1981,1982. Simav ve çevresindeki Senozoyik yaşlı volkanizmanın **bölgesel yorumlanması**. MTA Dergisi, 97-98, 86-101.
- Ercan, T., Satır, M., Sevin, D. ve Türkecan, A. 1996. Batı Anadolu'daki Tersiyer Kuvaterner yaşlı volkanik kayalarda yeni yapılan radyometrik yaş ölçümlerinin yorumu. MTA Dergisi, 119, 103-112.
- Ercan, T., Türkecan, A, Dinçel, A. ve Güney, E. 1983. Kula-Selendi (Manisa) dolaylarının jeolojisi. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 17, 3-28.
- Erdoğan, B., Akay, E. 2007. Yeni gözlemler ışığında menderes masifindeki gözlü gnaysların yerleşim özellikleri ve masifin tektonik evrimindeki yeri. Menderes Masifi Kolokiyumu, 5-10 Kasım 2007, DEÜ DESEM Bordo Salonu Genişletilmiş Bildiri Özleri Kitabı, 14-16, İzmir.
- Erdoğan, B. ve **Güngör**, T. 1992. Menderes Masifinin kuzey kanadının stratigrafisi ve tektonik evrimi. TPJD Bülteni, 4/1- 9-34.
- Erişen, B., Taşkın, İ. ve Yıldırım, N. 1985. Kütahya Eynal jeotermal alanı Eynal-2 ve Eynal-3 sondajları kuyu bitirme raporu. MTA Genel Müdürlüğü Rapor No: 7916, Ankara (yayımlanmamış).
- Gün, H. 1975. Gediz İlçesi (Kütahya İli) Neojen havzası ve güneyinin jeolojisi. MTA Genel Müdürlüğü Rapor No: 6276, Ankara (yayımlanmamış).
- Günay**, E., Akdeniz, N., Şaroğlu, F. ve Çağlayan, A. 1986. Muratdağı-Gediz dolayının jeolojisi. MTA Genel Müdürlüğü Rapor No: 8046, Ankara (yayımlanmamış).
- İça**, M. 1976. Murat Dağı (Gediz) civarının hidrojeolojisi. MTA Genel Müdürlüğü Rapor No: 5869, Ankara (yayımlanmamış).
- İzdar**, K. E. 1971. Introduction to geology and metamorphism of Menderes Massif of western Turkey, Campel A.S., ed., Geology and history of Turkey, Petroleum Exploration Society of Libian, Tripoli, 495-500.
- Öktü, G. 1985. Eynal, Çitgöl, Naşa Simavkaplıcalarının hidrojeoloji incelemesi. MTA Genel Müdürlüğü Rapor No:7737, Ankara (yayımlanmamış).
- Özen, N. 1988. Kütahya Simav-Çitgöl-Naşa-Hüsüm Eynal Semerköy alanları jeotermal enerjisi aramaları rezistivite etüdü. MTA Genel Müdürlüğü Rapor No: 8524, Ankara (yayımlanmamış).
- Schuling, R. D. 1958. Menderes masifine ait bir gözlü gnays **üzerinde** zirkon etüdü. MTA Dergisi, 51, 38-42.
- Schuling, R. D. 1962. Türkiye'nin güneybatısındaki Menderes migmatitik kompleksinin petrolojisi, yaş ve yapısı hakkında. MTA Dergisi, 58, 71-85.
- Yücel, B. ve Diğerleri 1983. Simav yöresinin jeoloji ve jeotermal enerji olanakları. MTA Genel Müdürlüğü Rapor No: 8219, Ankara (yayımlanmamış).

İZMİR METROPOLÜNDE YENİ JEOTERMAL ALANLAR ÇİĞLİ-MAVIŞEHİR- KARŞIYAKA SAHASI

Çetin Karahan

*Megapol Elektrik Üretim A.Ş., İzmir-TÜRKİYE
(cekarahan@hotmail.com)*

ÖZ

İzmir metropol alanında körfezin güneyinde bulunan İzmir fayına bağlı olarak Balçova jeotermal sistemi yer almaktadır. Balçovada eski çağlardan beri jeotermal kaynakların kullanılması ve sondajlarda 140 dereceyi bulan yüksek sıcaklık nedeniyle, İzmir metropolünde jeotermal çalışmalar bu bölgede yoğunlaşmış ve diğer alanlarla fazla ilgilenilmemiştir. Oysa İzmir körfezinin kuzeyinde yaklaşık doğu-batı uzanımlı Karşıyaka fayı ve bu fayı kesen kuzeydoğu-güneybatı doğrultulu fay sistemlerine bağlı olarak gelişmiş Çiğli-Mavişehir-Karşıyaka jeotermal sistemi bulunmaktadır.

Çiğli-Karşıyaka bölgesindeki jeotermal sistemin en önemli belirtileri, Altın zuhurlarının da bulunduğu Altın-tepe, Çilektepe ve Sancakköy civarında bulunan hidrotermal silis ve demiroksit alterasyonlarıdır. Bunun dışında kuzeydoğu-güneybatı yönlü Menemen-Ulucak fayının düşen bloğunda yapılan sondajda 55 derece ve Karşıyaka fayının düşen bloğunda Çiğli-Balatçıkta yapılan sondajda 42 derece sıcaklık elde edilmesi, Karşıyaka-Doğancay bölgesinde yapılan sondajlarda 78 derece sıcaklık bulunması da jeotermal sistemin tektonik kontrollü olarak Karşıyaka-Çiğliden Menemen'e kadar uzandığını göstermektedir.

Oluşturulan jeotermal modellemede; yüksek sıcaklıktaki akışkanın Karşıyaka fayınının düşen bloğunda, Karşıyaka- Mavişehir ve Çiğli organize bölgesinde bulunabileceği öngörülmüştür. Balçovada kuzeydoğu-güneybatı yönlü gözlenen Agememnon-2 fayının, körfezin kuzeyindeki uzanımı, Çiğli-Egekent Sazlıcadere boyunca gözlenmiş ve bu fay hattı üzerinde 23 derece sıcaklıkta doğal çıkışlar saptanmıştır. Agememnon-2 fayının Balçovadan kuzeye doğru devamında, körfezin doğusunda derinleşme olması ve Çiğli organize bölgesinde açılan soğuk su kuyularında 34 dereceye varan sıcaklıkların ölçülmesi bu tektonik hattın alüvyonda ve İzmir körfezinde deniz içinde de devam ettiğini göstermektedir.

İzmir metropolünde doğu-batı ve kuzey-güney fayların birlikte çalıştığı ve jeotermal akışkanı taşıdığı gözlenmiş, Mavişehirin batısında, Karşıyaka fayı ile Balçovadan Çiğliye uzanan fayın kesişme zonunda 1500 metrelik bir araştırma sondajı planlanmıştır. İzin işlemleri için uğraşılan sondajın gerçekleşmesi durumunda, İzmir körfezinin kuzeyinde yeni bir jeotermal potansiyelin bulunması ve işletmeye geçilmesi hedeflenmektedir.

Anahtar kelimeler: Jeotermal, Agememnon-2 fayı, Karşıyaka fayı, sondaj.

NEW GEOTHERMAL AREAS IN İZMİR METROPOLITAN ÇIĞLI-MAVIŞEHİR-KARŞIYAKA AREA

Çetin Karahan

Megapol Electricity Generation Corp. İzmir-TÜRKİYE
(cekarahan@hotmail.com)

ABSTRACT

Balçova geothermal system is located at the south side of the bay in Izmir metropolitan area. This area is connected to Izmir fault line and it has been used as a geothermal resource since ancient ages. Temperature findings in this area can rise up to 140 degrees. For this reason, geothermal studies in Izmir metropolitan has been concentrated on this specific area and thus the other areas were deprived of attention. However, near the north side of Izmir Bay, Karşıyaka faultline lies from east to west and Çiğli-Mavişehir-Karşıyaka geothermal system is developed according to another northeast-southwest oriented faultline crossing Karşıyaka fault.

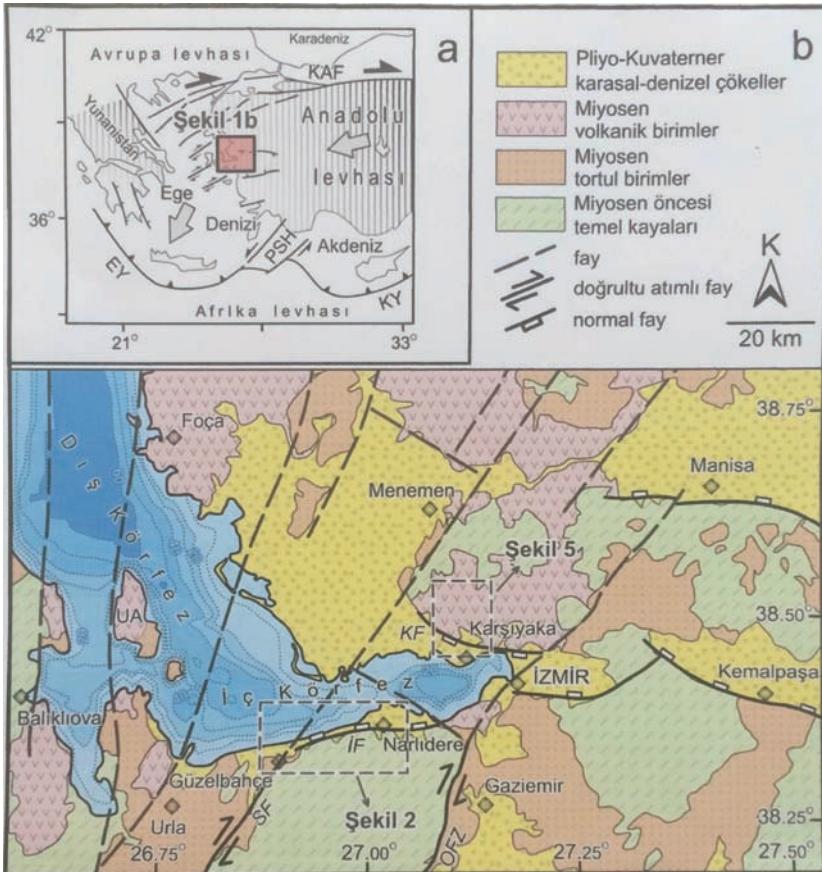
Most important indications of Çiğli-Karşıyaka geothermal system are hydrothermal silisium and ferrous oxide alterations found near Altintepe, Çilektepe and Sancakköy which also contain gold appearances. Beside that, during drills on the falling block of northeast-southwest oriented Menemen-Ulucak fault and falling block of Karşıyaka fault 55 and 42 degrees are obtained respectively. Also, 78 degrees temperature is obtained in Karşıyaka-Doğançay area during drills and all of these findings show that geothermal system extends tectonic controlledly from Karşıyaka Çiğli to Menemen. In the generated geothermal prototype it is foreseen that high temperature fluid can be found at falling block of Karşıyaka fault, Karşıyaka-Mavişehir area and Çiğli organized industrial area. Extension of the northeast-southwest oriented Agememnon-2 fault in Balçova is observed through Çiğli-Egekent-Sazlıcadere and on this fault line 23 degrees natural outlets are spotted. Near the extension of Agememnon-2 fault from Balçova to north, deepening at the east of Izmir Bay is observed with the measurements up to 34 degrees at cold water wells in Çiğli organized industrial area. These facts indicate that tectonic line continues through alluvion and also water in Izmir bay 1

To conclude, it is observed that in Izmir metropolitan both east-west and north-south fault lines are working together, transporting geothermal fluid. 1500m depth research drilling is programmed in the intersection area of Karşıyaka fault and Balçova-Çiğli fault. As permission process is worked on, a new geothermal potential is expected to be found and put into operation in case drilling is performed.

Keywords: Geothermal, Agememnon-2 fault, Karşıyaka fault, Drilling.

GİRİŞ

İzmir körfezi, Batı Anadolu da etkin olan D-B yönlü sıkışma ve K-G yönlü açılma hareketlerinin oluşturduğu graben sisteminin en batı ucunda yer almaktadır. İzmir metropol alanının genel tektonik yapısını, Seferihisar'dan İzmir'e doğru uzanan kuzeydoğu güneybatı yönlü Seferihisar fayı, Tuzla fayı ile İzmir körfezini şekillendiren doğubatu uzanımlı İzmir fayı ve bu fayın antiteği olan kuzeydeki Karşıyaka fay hattı oluşturmaktadır (Şekil 1). Bölgede kuzey-güney uzanımlı tektonik hatlarla bunlara dik gelişen doğu-batı yönlü fay sistemlerinin kesişme noktaları jeotermal aktivitenin olduğu zonlar olup İzmir ve çevresinde bu hareketlere bağlı olarak Balçova, Seferihisar, Çeşme, Aliğa, Dikili gibi jeotermal sistemler bulunmaktadır. İzmir körfezinin kuzeyinde yer alan Çiğli-Karşıyaka bölgesinde, 1998 yılında MTA tarafından Çiğli Belediyesi adına jeotermal çalışmalar yapılmış ancak sondaj aşamasına geçilememiştir. Bölgede 1997 yılında İzmir Valiliği tarafından yaptırılan ve 55 derece sıcaklıkta jeotermal akışkan elde edilen Ulukent kuyusunun dışında 2011 yılına kadar jeotermal amaçlı sondaj yapılmamıştır. Yeni yapılan jeotermal çalışmaların ışığında, Çiğli-Mavişehir-Karşıyaka sahasında, yaklaşık doğu-batı uzanımlı Karşıyaka fayı ile Balçovadan kuzeye doğru İzmir körfezini geçerek devam eden kuzeydoğu-güneybatı doğrultulu fay hattının kesişme zonunda jeotermal sondaj lokasyonları belirlenmiştir.



Şekil 1- İzmir metropol alanı ve çevresi genel tektonik hatları (Sözbilir v.d., 2008).

GENEL JEOLJİ

Çalışma alanı İzmir-Ankara zonu kenet kuşağında yer alır. Bölgenin genel stratigrafik kesiti Şekil-2' de verilmiştir. En altta Üst Kretase yaşlı İzmir flişli yer alır. İzmir flişli hafif metamorfizma geçirmiş kilitaşı, kumtaşı, silttaşı yer yer kireçtaşı, split, radyolarit bloklu kayalardan oluşmuş karmaşık bir birimdir. Bunun üzerine açılal diskordansla Miyosen yaşlı çökel kayalar gelir. Bölgede alt miyosenden başlayan zaman zaman duraksamalı olarak devam eden volkanizma mevcuttur. Neojen kaya birimleri genel tektonik gidiş olan KD-GB Doğrultulu, graben tektoniğine bağlı olarak şekillenmiş ve volkanik işlevler gelişmiştir. İzmir metropolitan alanı ve çevresinde yüzeyden derine doğru alüvyon, gölsel kireçtaşları, tuf, tüfit, piroklastikler, kumtaşı, kilitaşı, andezitler ve tabanda fliş birimleri yer almaktadır.

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	FORMASYON	ÜYE	KAYA TÜRÜ	SİMGESİ	KALINLIK	AÇIKLAMALAR		
MEZOSÖYİK	ÜST KRETASE	TERSİYER	MİYÖSEN	İZMİR FLİŞİ		Mkt		Kçt bloklu, metakumtaşı, metakilitaşı, metasilttaşı ardalalanması		
				YENİKÖY FORMASYONU	ÜYESİ		Myk	100 - 150 m	Kırmızımsı kahverengimsi epilastik çakilitaşı, kumtaşı, çakıllı çamurtaşı	
				RAFETBEY ÜYESİ			Myr	32 - 100 m	Beyazımsı kireçtaşı, kırmızımsı çamurtaşı, kalkerli kumtaşı, çakilitaşı	
				BOZALAN ÜYESİ			Tm2b	80 - 150 m	Kireçtaşı, tabana doğru kalkerli kumtaşı, çamurtaşı, kilitaşı, çakilitaşı	
				DOĞRUTEPE FORMASYONU			Tmd	~20	Çakilitaşı, çakıllı kumtaşı, çamurtaşı, kilitaşı, kçt	
				YAMANLAR VOLKANİK KARMAŞIĞI			Tmyo3		Andezit, lav, oglomera, lav, lav breşliği, bloktası	
				GEREN FORM.			Tmgy		Volkanoklastik kumtaşı, tuf, merceksi kçt	
				ALİAĞA KÇT.			Tma		Siyah renkli bazaltik lav	
				Yeni alüvyon, eski alüvyon, Yamaç molozu			Gal Ym		150 m - 250 m	Beyazımsı kireçtaşı, kalkerli çamurtaşı, kilitaşı, volkanoklastik, kumtaşı, çakilitaşı, çamurtaşı, tuf

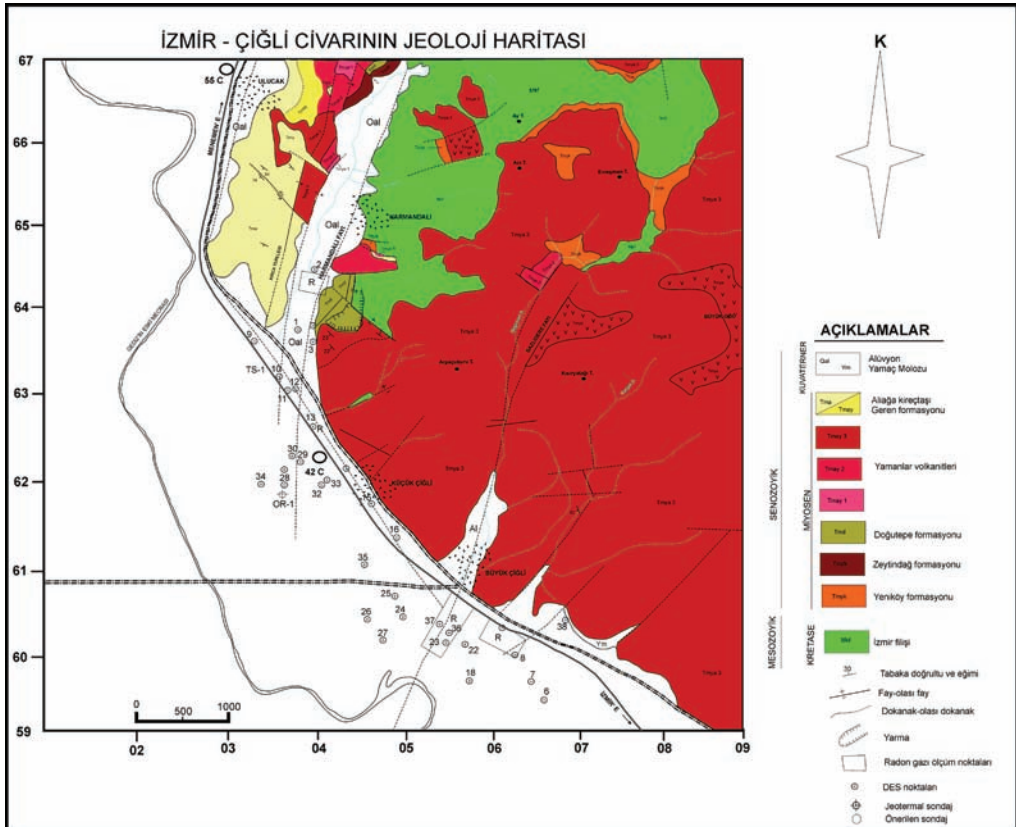
Şekil 2- Çiğli-Karşıyaka bölgesinin genel stratigrafik kesiti (MTA 1998).

YAPISAL JEOLJİ

Çalışma alanındaki genel tektonik hatlar KD-GB, KB-GD, K-G, D-B yönlüdür. KD-GB uzanımlı Seferihisar fayı Seferihisar dan başlayıp İzmir körfezini geçerek Çiğli Menemen ve Aliağa doğrultusunda devam etmektedir. Seferihisar fayı ile aynı doğrultuda olan ve İzmir körfezini kat ederek kuzeydoğu yönünde devam eden Agamemnon-2 fayı ve buna paralel fay sistemleri aynı zamanda jeotermal açıdan da önem arz etmektedirler. Ocakoğlu vd. (2005) İzmir Körfezi ve çevresinde denizde yaptıkları sismik çalışmalarda, K-G' den KD-GB ya kadar değişen doğrultularda ters bileşenli, doğrultu atımlı ve D-B uzanımlı normal fay sistemlerini tanımlamışlardır.

İzmir körfezinin güney sınırını oluşturan İzmir fayı eğim atımlı normal fay olup Pınarbaşıdan başlayarak çeşitli sıçramalarla Güzelbahçeye kadar yaklaşık 40 km devam eder.

Körfezin kuzey sınırını oluşturan Karşıyaka Fayı, Bayraklıdan Karşıyaka'ya kadar D-B uzanımlı olup Miyosen yaşlı volkanik birimleri ve Holosen çökelleri keser. Karşıyaka Çiğli Menemen arasında fay KB-GD yönünde devam eder ve volkanik birimler ile düşen blokta bulunan alüvyon sınırını oluşturur. Fayın yükselen bloğundaki Miyosen yaşlı volkanik birimler KD-GB uzanımlı doğrultu atım bileşenli faylarla kesilmiştir (Sözbilir v.d., 2008). Çiğli- Egekent sazlıcadere boyunca gözlenen KD-GB uzanımlı fay, Balçova dan KD-GB yönünde İzmir Körfezini geçerek devam eden Agamemnon-2 fayının uzantısında yer almaktadır(Şekil 3).



Şekil 3. Çiğli (İZMİR) Civarının Jeoloji Haritası (Karahan 1998, MTA).

JEOTERMAL SİSTEM VE SAHA ÇALIŞMALARI

İzmir ve çevresinde eski çağlardan beri diri fayların neden olduğu yoğun depremler yaşanmıştır. Bu diri faylar ve deprem odak noktaları, aynı zamanda jeotermal aktivitenin olduğu bölgelerle çakışmaktadır. Bölgede D-B doğrultulu sıkışma K-G yönlü açılma tektoniğinin etkisiyle oluşan Menderes ve Gediz Grabenleri ve İzmir Körfezinin oluşumu sonrasında meydana gelen depremler, hareketin devam ettiğini ve bu farklı yönlerdeki bu diri fayların birlikte çalıştığını göstermektedir. Aletsel dönemde Batı Anadolu'da elde edilen deprem kayıtlarında episantırların KD-GB doğrultulu hatlar boyunca dizilmesi bu zonların günümüzde de aktif olduğunu göstermektedir (Sözbilir vd.,2007).

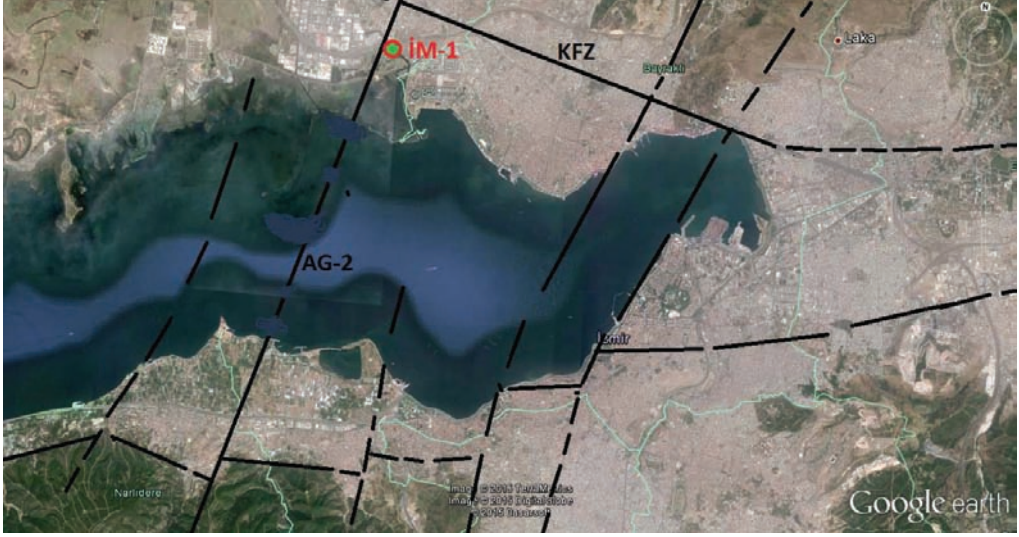
Yerkabuğunun derinliklerine kadar inen diri faylar, kabuk incelmeye bağlı olarak yüzeye yaklaşan mağma faaliyetlerinden, ısıyı üst zonlara transfer ederek Jeotermal sistem için gerekli olan ısı kaynağını oluştururlar. Çiğli- Karşıyaka jeotermal sisteminin rezervuar kayaçları çatlaklı kırıklı andezit ve bazaltlar ve bu kayaçların fay zonlarıdır. Örtü kaya genelde neojen yaşlı kayaçların killi kısımları ve tüflerdir. Jeotermal sistemin büyük oranda kuzeyde bulunan Yamanlar dağından beslendiği öngörülmektedir. Denize yakın olan Mavişehir bölgesinde ise Yamanlar dağının dışında bir miktar denizden de beslenme olmaktadır.

İzmir metropol alanında körfezin güneyinde İzmir fayına bağlı olarak Balçova jeotermal sistemi yer almaktadır. Balçovada eski çağlardan beri jeotermal kaynakların kullanılması ve sondajlarda 140 dereceyi bulan yüksek sıcaklık nedeniyle bu bölgede çok miktarda sondaj açılmış ve bölgesel ısıtma sistemi devreye alınmıştır.

İzmir körfezinin kuzeyinde yaklaşık doğu-batı uzanımlı Karşıyaka fayı ile kuzeydoğu-güneybatı doğrultulu fay sistemlerine bağlı olarak gelişmiş Çiğli-Mavişehir-Karşıyaka jeotermal sistemi bulunmaktadır (Şekil 4). Bölgede, Altın zuhurlarının da bulunduğu Altın-tepe, Çilektepe ve Sancakköy civarında bulunan hidrotermal silis ve demiroksit alterasyonları yaygındır. Alterasyonların olduğu Doğançay mezarlığının batısında kalan alanda yapılan 75 m. derinliğindeki Mega-1 sondajında 75 derece kuyu ağız sıcaklığında 20 lt/sn debide pompalı üretim sağlanmıştır. Sahada yapılan 1310 m. derinliğindeki 2. kuyuda(Mega-2) 68 derece sıcaklıkta 15 lt/sn debide akışkan alınmış daha sonra asitleme ile yapılan kuyu geliştirmesi sonucunda üretim 25 lt/sn ye çıkmıştır. KD-GB yönlü Menemen-Ulucak fayının düşen bloğunda İzmir Valiliği tarafından yapılan 800 m. derinliğindeki sondajda 55 derece kuyu dibi sıcaklığında ve 10 lt/sn debide ve Karşıyaka fayının düşen bloğunda Çiğli-Balatcıkta yapılan 500 m derinlikte sondajda 42 derece sıcaklıkta pompa ile 14 lt/sn debi elde edilmesi, jeotermal sistemin tektonik kontrollü olarak Karşıyaka-Çiğliden Menemen'e kadar uzandığını göstermektedir (Şekil 5.).

Çiğli organize sanayi ve Mavişehir bölgesinde soğuk su amaçlı açılan sondajlarda sıcaklık ölçümleri yapılmış ve KD-GB uzanımlı tektonik hatlar üzerinde açılan kuyularda diğerlerine göre daha yüksek sıcaklıklar ölçülmüştür. Alüvyon içinde radon gazı ölçümleri ve jeofizik SP yöntemi ile fay hatları belirlenmeye çalışılmış ve KD-GB gidişli tektonik hatların genel sisteme uygun olarak devam ettiği gözlenmiştir (Karahana 1998). Balçovada kuzeydoğugüneybatı yönlü gözlenen Agememnon-2 fayının, körfezin kuzeyindeki uzanımı, Çiğli-Egekent Sazlıcadere boyunca karada gözlenmiş ve bu fay hattı üzerinde 23 derece sıcaklıkta doğal çıkışlar saptanmıştır. Agememnon-2 fayının Balçovadan kuzeye doğru devamında, körfezin doğusunda derinleşme olması ve Çiğli organize bölgesinde açılan soğuk su kuyularında 34 dereceye varan sıcaklıkların ölçülmesi bu tektonik hattın alüvyon altında ve İzmir körfezinde deniz içinde de devam ettiğini göstermektedir.

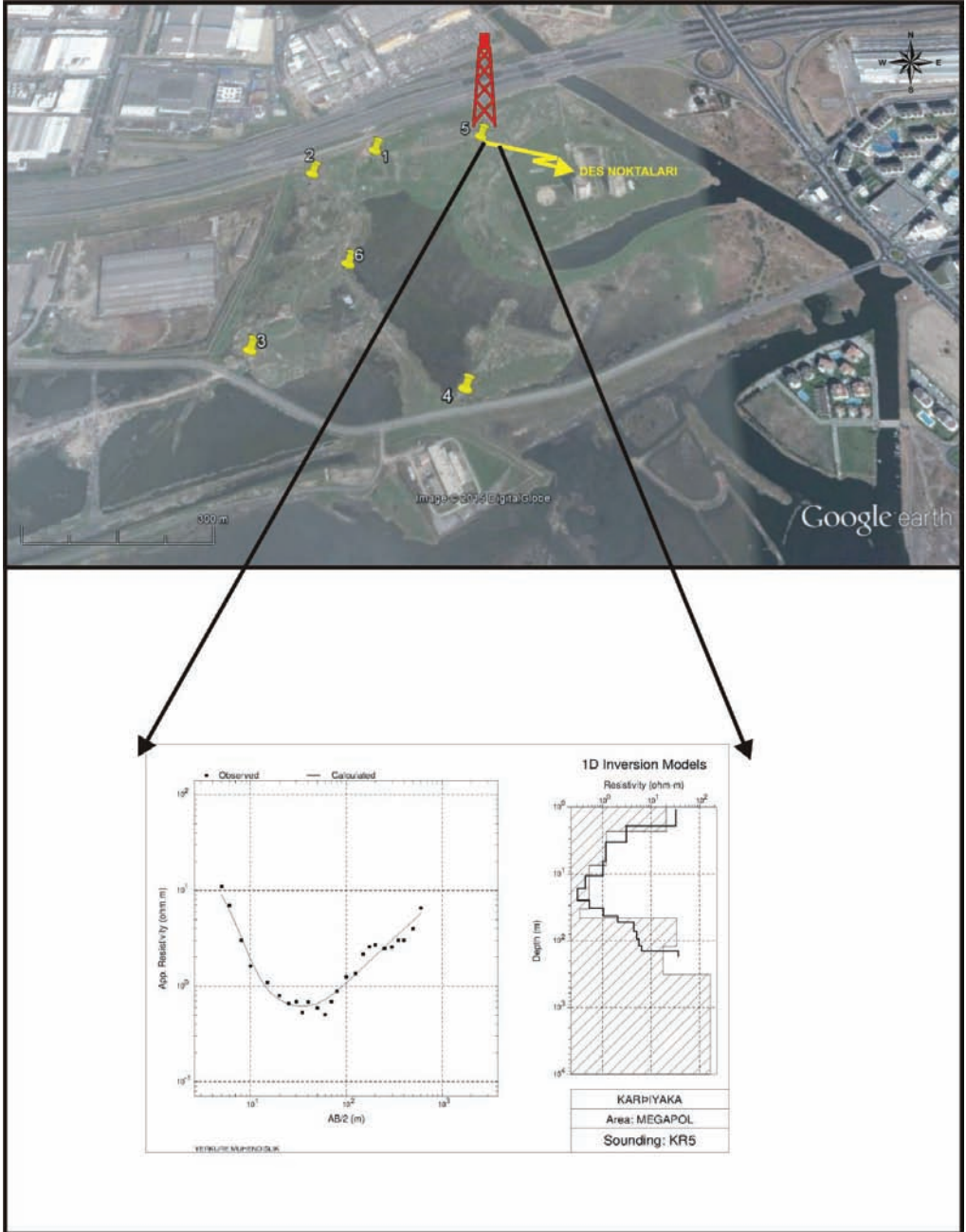
Çiğli-Mavişehir-Karşıyaka sahasında Karşıyaka fayının yükselen bloğunda yapılan sondajlarda 78 derece sıcaklık elde edilmesi, daha genç olan ve jeotermal sistemin asıl boşalım alanı olabilecek Karşıyaka fayının düşen bloğunda yer alan Mavişehir-Çiğli organize sanayi bölgesinde, daha yüksek sıcaklık ve debi elde edilebileceği öngörüsünü kuvvetlendirmiştir. Tüm jeotermal veriler ve yeni yapılan jeofizik rezistivite ve SP çalışmaları değerlendirilerek Şekil- 6 da görülen KD-GB uzanımlı Agamemnon-2 fayının etki alanı içinde bir adet 1500 metre derinlikte araştırma kuyusu planlanmıştır.



Şekil 4. İzmir körfezi uydu görüntüsü, olası tektonik hatlar ve önerilen sondaj lokasyonu



Şekil 5. İzmir metropol alanı olası tektonik hatlar (Karahan 2015).



Şekil 6. Karşıyaka-Mavişehir Sahası Jeofizik Ölçüm Eğrisi ve Sondaj lokasyonu.

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

1. İzmir metropolünde D-B KD-GB, KB,GD ve K-G fayların aktif olduğu, birlikte çalıştığı ve jeotermal açıdan önemli olduğu gözlenmiştir.
2. İzmir körfezinin iki yakasında açılan kuyularda yapılan sıcaklık ölçümleri ve deniz içindeki morfolojik farklılıklar, Seferihisar'dan başlayıp, İzmir körfezinin güneyine kadar izlenen KD-GB yönlü fayların, körfezi geçerek İzmir'in kuzeyinde de devam ettiğini ve jeotermal akışkanı taşıdığını göstermektedir.
3. İzmir körfezinin kuzeyinde yer alan Altıntepe ve Çilektepe de altın zuhurları ve hidrotermal alterasyonların bulunması, jeotermal sistemin up-flow zonunun bu bölgede olabileceğini göstermekte olup, daha yüksek sıcaklıktaki aktif jeotermal sistemin Mavişehir-Karşıyaka bölgesinde bulunabileceği öngörülmektedir.
4. Yapılan jeotermal çalışmaların değerlendirilmesi sonucunda, Mavişehir yerleşim alanının batısında, Karşıyaka fayı ile Balçovadan Çiğliye uzanan AG-2 fayının makaslama zonunda, 1500 metrelik bir araştırma sondajı planlanmıştır. İzin işlemleri ve ÇED gerekli değildir belgesinin alınması için sekiz aydır uğraşılan sondajın gerçekleşmesi durumunda, İzmir körfezinin kuzeyinde yeni bir jeotermal potansiyelin bulunması ve bölgedeki konutların bir bölümünün jeotermal enerji ile ısıtılması hedeflenmektedir.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Emre, Ö., Özalp, S., Dogan, A., Özaksoy, V., Yıldırım, C., Göktaş, F., 2005. İzmir Yakın Çevresinin Diri Fayları ve Deprem Potansiyelleri. MTA rapor no:10754 ANKARA.
- Karahan, Ç., 1998 Çiğli (İZMİR) Sahası Jeotermal Enerji Olanaklarının Araştırılması. MTA Genel Müdürlüğü ANKARA (yayımlanmamış).
- Ocaoğlu, N., Demirbağ, E., Kuşcu, İ., 2005 Neotectonic Structures in İzmir Gulf and Surrounding Regions (Western Turkey): Evidences of strike-slip faulting with compression in the Aegean extensional regime. Marine Geology 219, 155-171.
- Sözbilir, H., Sümer, Ö., Uzel, B., Özkaymak, Ç., Ersoy, Y., Erkül, F., İnci, U., Helvacı, C., 2007 Batı Anadolu'da İzmir-Balıkesir transfer zonu içinde kalan aktif doğrultu atımlı faylarla sınırlı havzaların jeolojik özellikleri. 11. Meeting of Active Tectonics Research Group Abstracts, p. 42
- Sözbilir, H., Uzel, B., Sümer, Ö., İnci, U., Ersoy, Y., Kocer, T., Demirtaş, R., Özkaymak, Ç., 2008. D-B Uzanımlı İzmir Fayı İle KD-Uzanımlı Seferihisar Fayı'nın Birlikte Çalıştığına Dair Veriler; İzmir Körfezini Oluşturan Aktif Faylarda Kinematik ve Paleosismolojik Çalışmalar, Batı Anadolu. Türkiye Jeoloji Bülteni, Çilt 51, Sayı 2, 91-110

BURSA HAVZASINDAKİ JEOTERMAL ENERJİ KAYNAKLARININ GELİŞTİRİLMESİ AÇISINDAN İNCELENMESİ

Halil Murat Özler¹, Merve Öger²

¹*İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Müh. Bölümü, İstanbul, Türkiye*

²*TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Erzincan İl Müdürlüğü (ozlerhm@istanbul.edu.tr)*

ÖZ

Bu incelemede, Bursa akiferi'nin beslenme alanını oluşturan havzanın jeolojisi, tektonizması, jeotermal potansiyeli, yeraltısuyu ve jeotermal kaynakların hidrojeokimyası incelenmiş ve jeotermal potansiyel oluşturabilecek yeni alanlar belirlenmiştir. Bursa havzası jeotermal sisteminde, Uludağ granodiyoriti ısıtıcı kaynağı, karstik yapı sunan Uludağ mermeri hazne kayayı, Uludağ bölgesi beslenme alanını, Karacaoba formasyonu ile Kuvaterner yaşlı kilce zengin çökeltiler örtü kayayı oluşturmaktadır. Bu jeotermal sistemin ürünü olan pek çok sıcak su kaynağı bulunmaktadır. İnceleme alanına ait sıcak sular iki ayrı hidrojeokimyasal fasiyeste olup, Çekirge grubu sıcak su kaynakları Ca-HCO₃ ve Kükürtlü grubu sıcak su kaynakları Na-HCO₃ tipi sulardır. Çekirge ve Kükürtlü grubu sularının sıcaklıkları sırasıyla 42,6-45,10C ve 56,3-79,3⁰C arasındaki çok sıcak su sınıfındadırlar. Suların sıcaklığı arttıkça EC değeri artmakta, pH değeri ise azalmaktadır. Sıcak suların kalsit ve dolomite doygun olmaları beslenmelerinin ve hazne kayasının kireçtaşı ve dolomitler olduğunu göstermektedir. Sıcak sular, Na-K-Mg üçgen diyagramında sıcak ve soğuk suların karışımından oluşan ham sular bölümünde yer almakta olup dengeye ulaşmadan yüzeye erişmektedirler. Sıcak sulara soğuk yeraltısularının karıştığı, bu sebeple de sıcaklıklarında ve kimyasal özelliklerinde değişimlerin olduğu gözlenmiştir. Düşük Na/K oranı ile sıcak suların yüzeye hızlı çıkma eğiliminde oldukları görülmektedir. HCO₃⁻ değerlerinin her iki grup suda yüksek olması doğrudan derinden beslenmediklerini işaret etmektedir. Kaynarca kaynağında yüksek sıcaklık ve yüksek SO₄⁻² miktarı, hidrojen sülfidin (H₂S) oksidasyonu sonucudur. Sulardaki düşük Cl⁻ konsantrasyonu bu sulara soğuk yeraltısularının karıştığını bir kez daha desteklemektedir. Jeotermal potansiyeli belirlemek için yapılan toprakta CO₂ gazı ölçümü sonucunda, özellikle Soğanlı'nın batısı ve güneyindeki alanlar, Odunluk'un güneydoğusunda, Dobruca'nın kuzeydoğusunda CO₂ gazı daha yüksek değerlerde bulunmaktadır. Değerlerin bu alanlarda yüksek olmasının sebebi, gömülü fay ve/veya kırıkların bulunması ve bölgede bulunan faylara yakınlıkla ilişkilidir. CO₂ gazı yüksek değerlere ulaşılan bölgelerin yeni jeotermal alanları işaret etmektedir, araştırmalara bu alanlarda yoğunlaşılmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Bursa, jeotermal, hidrojeokimya ve CO₂ gazı

A RESEARCH FOR THE DEVELOPMENT OF GEOTHERMAL ENERGY RESOURCES IN BURSA BASIN

Halil Murat Özler¹, Merve Öger²

*1, Istanbul University, Engineering Faculty, Geology Department, Avcılar Campus, Istanbul
2 TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Erzincan İl Müdürlüğü*

ABSTRACT

Groundwater potential of Bursa aquifer, hydrogeochemistry of groundwater and hot springs, and new areas were researched for geothermal potential. Catchment area of Bursa aquifer has a 793,317 km², and the aquifer area is of 208 km². Geological units have been estimated according to the hydrogeological properties. The units are called as primary porosity high permeable, primary porosity less permeable, secondary porosity high permeable, secondary porosity less permeable, less permeable and impermeable. There are 187 boreholes opened in Bursa aquifer. Groundwater flow direction is from east and south to west. In addition, the diminish of groundwater level was determined in arid periods. According to chemical analysis of groundwater is Ca-HCO₃ and Na-HCO₃ facies; according to SAR classification well waters are 'excellent for irrigation'. According to %Na classification very good, good and available; USA salinity laboratory classification depends on C2S1 ve C3S1 and very good-good usable water according to result of Wilcox diagram. Groundwater is generally comply with drinking water standards. Geothermal systems in Bursa are Uludağ granodiorite heating source, Uludağ marble reservoir rock, offering karstic structure, Uludağ Mountains and major faults recharges to the aquifer, with Karacaoba formation Quaternary rich deposits of old clay forms cover rocks. These are the product of many hot springs geothermal system. The types of thermal waters are Ca-HCO₃ in Çekirge and Na-HCO₃ in Kaynarca. Çekirge and Kükürtlü group thermal waters temperature is between 42,6-45,10C and 56,3- 79,3°C, respectively. According to Bogomolow, thermal waters are very hot water class. The temperature of the thermal waters increase the value of the EC increases, decrease the value of the pH. Thermal waters are saturated calcite and dolomite and shows that limestone water supply and reservoir rock. Na-K-Mg triangular diagram is situated in the raw water portion consisting of a mixture of hot and cold water are accessible to the surface before reaching equilibrium. Thermal waters are mixed with groundwater, therefore they are temperature and chemical characteristics of the changes that were observed. Low Na / K ratio is observed with thermal waters to the surface they tend to rise quickly. Both thermal waters group don't indicate the directly deeply nutrition that have high HCO₃-value. As a result of CO₂ measurement in the soil to determine the geothermal potential, especially in the western and southern areas of Soğanlı, in the southeast of Odunluk, in the northeast of Dobruca CO₂ gas is available in higher values.

Keywords: Bursa, Aquifer, geothermal, hydrogeochemistry, CO₂ gas

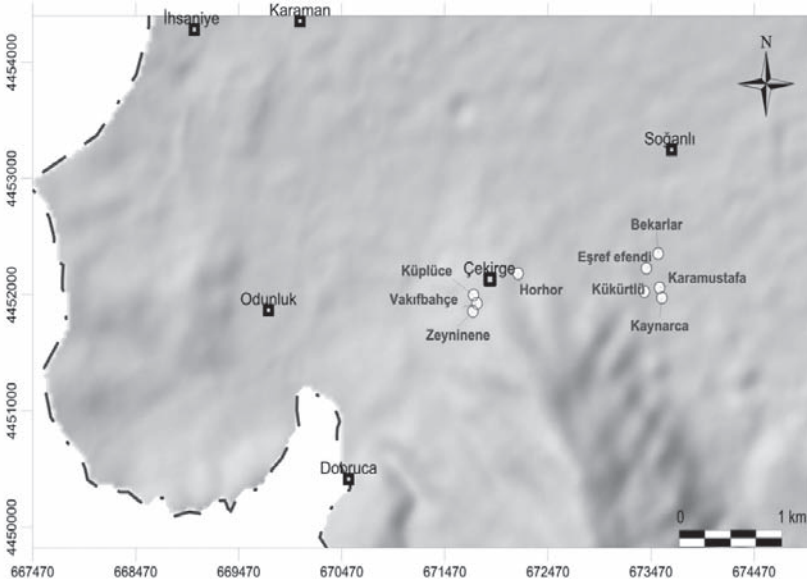
yen başında bölgedeki volkanizma sonucu Çanakpınar bazaltı (Teç) oluşmuştur. Bu birimi, Lütesiyen yaşlı birbirleri ile geçişli Sarıkaya (Tes), Dürdane (Ted) ve Kayacıkkayırı formasyonları (Tek) uyumsuz olarak örtmektedir.

İnceleme alanında yüzeylenen bu birimler Oligo-Miyosen yaşlı granodiyoritler (Tgr) tarafından kesilmiştir. Orta-Üst Miyosen yaşlı sığ denizel çökelleri içeren Köprühisar formasyonu (Tmk) ve Geç Miyosen-Erken Pliyosen yaşlı sedimenter birimlerden oluşan Mudanya formasyonu (Tmm) daha yaşlı birimleri uyumsuzlukla örter. Volkanik kumtaşı, konglomera, tüf ve aglomerallardan oluşan Pliyosen yaşlı Karacaoba formasyonu (Tmka), Mudanya formasyonunu (Tmm) uyumsuzlukla örter ve traverten (Qtr) tarafından da uyumsuz olarak örtülmektedir. Kuvaterner yaşlı yamaç molozu (Qym), akarsu yelpazesi (Qay) ve alüvyon (Qal) inceleme alanındaki tüm birimleri uyumsuz olarak örter (Şekil 1).

3.JEOTERMAL KAYNAKLAR

İnceleme alanının Çekirge ve Kükürtlü bölgelerinde toplam 19 adet sıcak su kaynağı mevcuttur. Bunlar Çekirge ve Kükürtlü grubu sıcak su kaynakları adı altında toplanmıştır. Kentte oluşan yapılaşma ve kapte edilemeyen kaçak sular nedeniyle yararlanılan sıcak su kaynakları 12 adetle sınırlıdır. Çalışma alanında çıkış yapan sıcak su kaynaklar; Çekirge bölgesinde, Vakıfbahçe, Zeyninene, Küplüce, Horhor (42 °C, 2,5 l/sn), Rıfatbey (28 °C, 2,5 l/sn), Havuzlupark (38 °C, 6,5 l/sn), SSK (35 °C), Kükürtlü bölgesinde ise Kaynarca, Karamustafa kaynakları yanı sıra pompa ile alınan ve Uludağ Üniversite Hastanesi'nde kullanılan Kükürtlü (79 °C, 2 l/sn), kaptaıda toplanan Muhittin Baha (79 °C, 0,8 l/sn), Eşref Efendi (56 °C) kaynaklarıdır (MTA, 2003) (Şekil 2).

İnceleme alanında ısıtıcı kaynağı Uludağ granodiyoriti, hazne kaya karstik yapı sunan Uludağ mermeri, beslenme alanı Uludağ bölgesi (Imbach, 1997) ve alanda bulunan faylar, örtü kayacı ise Karacaoba formasyonu ile Kuvaterner yaşlı kilce zengin çökellerdir.



Şekil 2 İnceleme alanında bulunan sıcak su kaynakları

3.1 Jeotermal Suların Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Çalışma kapsamında Çekirge grubu kaynaklarından Vakıfbahçe, Zeyninene, Horhor ve Kükürtlü grubu kaynaklarından Kaynarca ve Karamustafa kaynaklarının fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları değerlendirilmiştir (Tablo 1). Jeotermal suların en önemli özelliklerinden biri sıcaklıklarıdır ve genel olarak soğuk, ılık ve sıcak olmak üzere üçe ayrılırlar. Sular farklı araştırmacılar tarafından sınıflandırılmıştır. Bu çalışmada IAH (1979) sınıflaması ile sular sınıflandırılmıştır.

Tablo 1 Jeotermal suların kimyasal analizi

KAYNAK ADI	ÇEKİRGE GRUBU			KÜKÜRTLÜ GRUBU	
	VAKIFBAHÇE	ZEYİNENE	HORHOR KADINLAR HAMAMI	KAYNARCA	KARAMUSTAFA
x	671781	671742	672180	673576	673554
y	4451925	4451856	4452181	4451972	4452060
Debi(lt/S)					
Yükseklik (m)	217	203	179	117	107
Sıcaklık	45,1	42,6	42,1	79,3	56,3
pH	7,22	7,12	7,32	6,89	7,11
EC ($\mu\text{mho/cm}$)	552	565		1361	1140
TDS (mg/l)	444	456		1091	922
Çözünü O ₂	3,17	3,21		4,06	4,85
Ca ²⁺ (mg/l)	59,3	59,8	63,53	67,75	69,54
Mg ²⁺ (mg/l)	19,84	19,89	19,31	6,48	6,23
Na ⁺ (mg/l)	31,46	32,2	27,88	168,2	141,3
K ⁺ (mg/l)	4,56	4,6	4,1	22,4	17,2
CO ₃ ⁻² (mg/l)					
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	326	312	366	585,6	585,6
Cl ⁻ (mg/l)	13,47	13,82	21,2	15,6	27,6
SO ₄ ⁻² (mg/l)	54	54	66	123	115
F ⁻ (mg/l)	0,48	0,49	0,41	0,93	0,86
H ₂ SiO ₃ (mg/l)	52,39	48,1	45,11	28,85	35,45
Tarih	02.05.2011	02.05.2011	05.05.2011	23.05.2011	23.05.2011
Veri Kaynağı	İl Halk Sağlığı	İl Halk Sağlığı	İl Halk Sağlığı	İl Halk Sağlığı	İl Halk Sağlığı

Çekirge grubu sıcak su kaynakları sıcaklıkları 42,6-45,1°C arasında TSE (2005) standartlarına göre hipotermal su ve düşük sıcaklıklı sahalar olarak adlandırılır. IAH (1979)'a göre çok sıcak su sınıfindadırlar. Kaynarca grubu sıcak su kaynakları ise 56,3- 79,3°C arasındadır. TSE (2005) standartlarına göre hipotermal su ve düşük sıcaklıklı sahalar olarak adlandırılır. IAH (1979)'a göre çok sıcak su sınıfindadırlar.

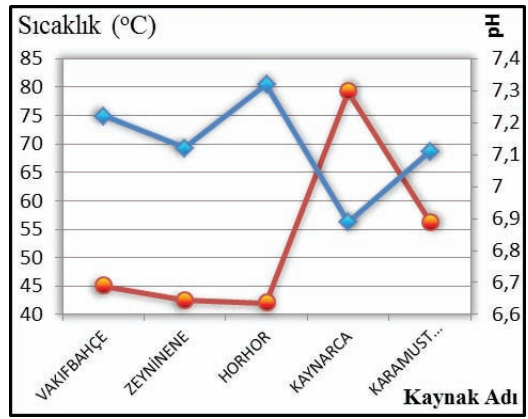
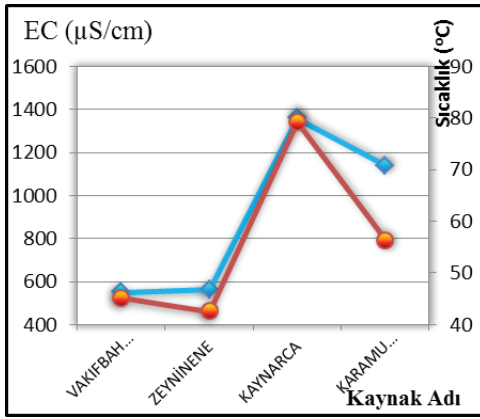
Jeotermal suların pH değerleri kaynamaya bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Karbondioksitin ortamdan uzaklaşması akışkanın daha alkali olmasına neden olur. pH akışkanın tuzluluk ve sıcaklığından da etkilenmektedir (Nicholson, 1993). Çekirge grubu sıcak suların pH değeri 7,12-7,32, Kaynarca grubu sıcak suların pH değeri 6,89-7,11 arasındadır.

Çekirge grubu sıcak su kaynaklarının EC değeri 552 ve 565 $\mu\text{mho/cm}$, Kükürtlü grubu sıcak su kaynaklarının ise 1140 ve 1361 $\mu\text{mho/cm}$ değerindedir. Erguvanlı ve Yüzer (1984)'in EC sınıflamasına göre Çekirge grubu sıcak suları iyi, Kükürtlü grubu sıcak suları ise kullanılabilir sınıfindadır. Çekirge grubu sularına soğuk su karışımının fazla olması nedeniyle EC değerleri

düşüktür. Alandaki sıcak suların EC-Sıcaklık ve Sıcaklık-pH ilişkileri Şekil 3 ve 4’de grafiklerle gösterilmiştir. Buna göre, sıcaklık arttıkça EC değeri artmakta, pH değeri ise azalmaktadır.

Sodyum jeotermal akışkanlardaki ana katyon olup, konsantrasyonu 200–2000 mg/l arasında olabilmektedir. Potasyum da jeotermal akışkanlarda major iyon olmasına karşın, akışkanda K+ konsantrasyonu Na+ konsantrasyonunun kabaca 10’da biri kadardır (Nicholson,1993).

Kükürtlü grubu sıcak su kaynaklarının Na+ ve K+ değerleri diğer sıcak sulara oranla daha yüksektir. Çekirge grubu sıcak su kaynaklarının Na+ değerleri 27,88-32,2 mg/l, Kükürtlü grubu sıcak su kaynaklarının ise 141,3 ve 168,2 mg/l arasındadır. Çekirge grubu sıcak su kaynaklarının K+ değerleri 4,1-4,6 mg/l, Kükürtlü grubu sıcak su kaynaklarının ise 17,2 ve 22,4 mg/l arasındadır.



Şekil 3 Sıcak suların EC-Sıcaklık ilişkisi

Şekil 4 Sıcak suların Sıcaklık-pH ilişkisi

Jeotermal sularda Na+ ve K+ iyonlarının konsantrasyonları sıcaklığa bağlı mineral-akışkan dengesi ile kontrol edilmektedir. Bu özelliği ile Na/K oranı yüksek sıcaklık zonlarını belirlemede etkilidir. Düşük Na/K oranı (~<15) suların yüzeye hızlı bir şekilde çıkma eğilimi ve yükselme yapıları ya da geçirimli zonlarla ilgilidir. Yüksek oranlar ise yanıl akış, yüzeye yakın reaksiyonlar ve iletimli soğuma ile ilgilidir (Nicholson, 1993). İnceleme alanındaki sıcak suların Na/K oranı Tablo 2’de gösterilmiştir. Bu değerlere göre sıcak sular düşük Na/K oranına sahip olup, yüzeye hızlı çıkma eğilimindedirler.

Tablo 2 İncelenen Sıcak suların Na/K oranları

KAYNAK ADI	VAKIFBAHÇE	ZEYİNİNE	HORHOR KADINLAR HAMAMI	KAYNARCA	KARAMUSTAFA
Na (mg/l)	31,46	32,2	27,88	168,2	141,3
K (mg/l)	4,56	4,6	4,1	22,4	17,2
Na/K	6,89	7	6,8	7,5	8,21

Jeotermal sularda Ca⁺² konsantrasyonu genellikle 50 mg/l’den daha düşük değerlerdedir. Ancak bazı etkenler bu değerlerin yükselmesine neden olmaktadır. Bunlar; jeotermal akışkanlarda karbondioksit kısmi basıncının (PCO₂) düşmesiyle kalsit çökelişi oluşması, sıcaklık, ortamın asitliği ve tuzluluğun artması kalsiyum iyonunun konsantrasyonunun artmasına neden olmaktadır. Ayrıca, Na/Ca oranının yüksekliği akışkanın doğrudan rezervuardan beslendiğini göstermekte-

dir (Nicholson, 1993). Çekirge grubu sıcak su kaynakları, Kükürtlü grubu sıcak su kaynaklarına oranla daha düşük Ca^{+2} derişimlidir. Çekirge grubu sıcak su kaynaklarının Ca^{+2} değerleri 59,3-63,53 mg/l, Kükürtlü grubu sıcak su kaynaklarının ise 67,75 ve 69,54 mg/l arasındadır.

Yüksek sıcaklıklardaki jeotermal sular genellikle düşük miktarlarda (0,01-0,1 mg/l) Mg^{+2} iyonunun konsantrasyonu içermektedir. Yüksek konsantrasyonlar yerel kayadan gelen yıkanma ile zenginleşmeyi gösterir (Nicholson, 1993). Kükürtlü grubu sıcak su kaynaklarının Mg^{+2} derişimi 6,28 ve 6,43 mg/l, Çekirge grubu sıcak su kaynaklarının ise 19,31-19,89 mg/l arasındadır. Kükürtlü grubu sıcak su kaynaklarının Na^+ , K^+ ve Ca^{+2} derişimleri, Çekirge grubu sulara göre daha yüksek değerlerde olmasına rağmen, Mg^{+2} derişimi düşük değerlerdedir. Bunun nedeni, Çekirge grubu sıcak su kaynaklarına soğuk suların karışmasıdır.

Doğrudan derinden beslenen jeotermal sularda HCO_3^- miktarı azdır. HCO_3^-/SO_4 oranının artması sıcaklık yükselim zonundan uzaklaşmayı işaret etmektedir (Ellis ve Mahon, 1977). HCO_3^- değerleri Çekirge grubu sıcak su kaynaklarının 312-366 mg/l, Kükürtlü grubu sıcak su kaynaklarının ise 585,6 mg/l dir. HCO_3^- değerlerinin her iki grup suda yüksek olması doğrudan derinden beslenmediklerini ifade eder.

Derin kökenli jeotermal sularda SO_4^{-2} miktarı genellikle 50 mg/l'den azdır, bu durum hidrojen sülfidin (H_2S) oksidasyonu sonucu SO_4^{-2} miktarının artmasıyla değişir. Yüzeydeki yüksek SO_4^{-2} miktarı (Cl^- miktarına eşit veya daha fazla olması) yüzeye yakın sulardaki buhar yoğunlaşması sonucu oluşur (Nicholson, 1993). Sülfidin yüzeydeki oksidasyonu ve sülfat minerallerinin yüksek sıcaklıkta çözünürlüklerinin az olması nedeniyle Cl^-/SO_4 oranı genellikle derin sularda fazladır (Ellis ve Mahon, 1977). Çekirge grubu sıcak su kaynaklarının SO_4^{-2} değerleri 54-66 mg/l, Kükürtlü grubu sıcak su kaynaklarının ise 115 ve 123 mg/l arasındadır. Bölgede evaporitik kayaların bulunmaması, sıcaklığın yüksek olması ve özellikle Kaynarca kaynağında bu değerlerin yüksek olması hidrojen sülfidin (H_2S) oksidasyonu sonucu SO_4^{-2} miktarının arttığını (Göknül, 1975) gösterir.

Jeotermal sularda Cl^- konsantrasyonu sıcak akışkanın doğrudan derinden beslendiği ya da soğuk yeraltı sularıyla karıştığını belirlemede etkilidir. Yüksek Cl^- konsantrasyonu (200 mg/l) sıcak akışkanın derin kökenli olduğunu göstermektedir. Düşük Cl^- konsantrasyonu ise bu sulara soğuk yeraltı sularının karışımına işaret etmektedir (Şahinci, 1991). Çekirge grubu sıcak su kaynaklarının Cl^- değerleri 13,47-21,2 mg/l, Kükürtlü grubu sıcak su kaynaklarının ise 15,6 ve 27,6 mg/l arasındadır. Her iki grup suda düşük Cl^- değerleri soğuk suların karıştığını göstermektedir.

Doğal sularda florun kaynağı florit, apatit, biyotit ve amfibol gibi mineraller ile riyolit, pomza gibi volkanik kayalardır (Mahon, 1964). Jeotermal akışkanlarda flor içeriği genellikle 10 mg/l'nin altında bulunmaktadır (Nicholson, 1993). Çalışma alanında bulunan sıcak suların F içeriği 1 mg/l'nin altındadır.

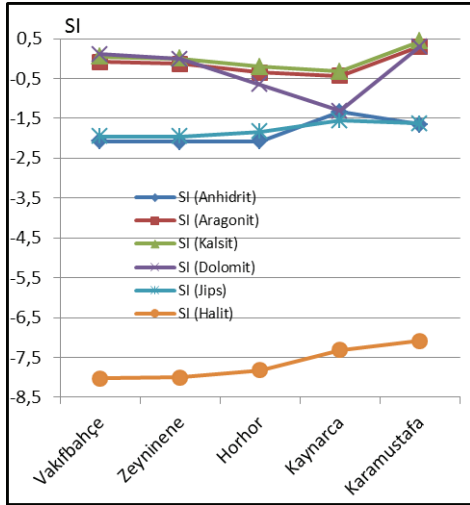
3.2. Sıcak Suların Mineral Doygunlukları

Sular, hidrolojik döngü sırasında kayalarla kimyasal tepkimeye girerler ve hidrokimyasal ortam hakkında bilgi verirler. Bunun için suların çeşitli mineraller bakımından doygunlukları incelenmektedir. Doygunluk indeksi (SI), suların çözülmüş mineraller açısından denge durumundan sapmalarını sayısal olarak belirtir (Apello ve Postma, 2005; Drever, 1996; Langmuir, 1997). İnceleme alanında bulunan sıcak suların mineral doygunluk indeksleri hesaplamasında Aquachem 2011.1 (Schlumberger, 2011) programı kullanılmıştır. Hesaplamalar sıcak suların fi-

züksel ve kimyasal analiz sonuçlarıyla yapılmıştır (Şekil 5 ve Tablo 3).

Tablo 3. Suların Doygunluk Indisi değerleri

	Vakıfbahçe	Zeyminene	Horhor	Kaynarca	Karamustafa
Sı (Anhidrit)	-2,07	-2,09	-2,08	-1,34	-1,65
SI (Aragonit)	-0,08	-0,13	-0,35	-0,43	0,3
SI (Kalsit)	0,05	0	-0,21	-0,32	0,43
SI (Dolomit)	0,11	-0,01	-0,65	-1,32	0,3
SI (Jips)	-1,96	-1,96	-1,84	-1,56	-1,63
SI (Halit)	-8,02	-8	-7,82	-7,31	-7,09



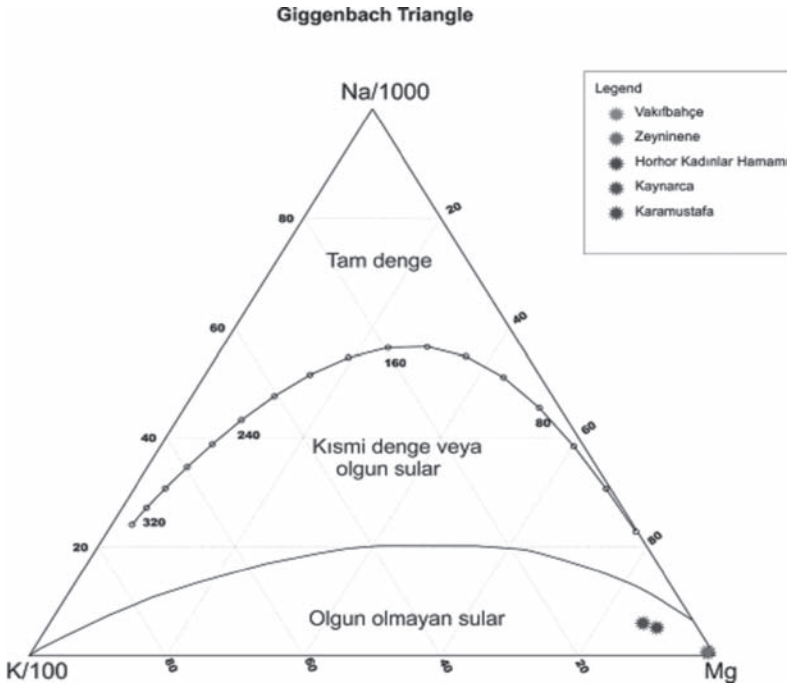
Şekil 5 İnceleme alanındaki sıcak suların çeşitli minerallere göre doygunluk değerleri

İnceleme alanındaki sıcak suların biriktirme potansiyeline sahip olmadıkları ortak mineraller; anhidrit, jips ve halit mineralleridir. Vakıfbahçe sıcak suyu kalsit ve dolomit minerallerini suda biriktirebilir, aragonit mineraline doyma noktasındadır. Zeyminene sıcak suyu kalsit mineraliyle dengede, dolomit mineraliyle de doyma noktasındadır. Horhor Kadınlar Hamamı ve Kaynarca sıcak sularının bu mineralleri biriktirme potansiyelleri yoktur; ancak, kalsit ve dolomit mineralleri diğerlerine oranla doyma noktasına daha yakındır. Karamustafa sıcak suyu kalsit, dolomit ve aragonit minerallerini suda tutabilir. Sıcak suların genel anlamda kalsit ve dolomite doyma olması beslenmelerinin ve hazne kayasının kireçtaşı ve dolomit olduğunu göstermektedir.

3.3. Jeotermometreler

Çekirge grubu sıcak su kaynakları Na-K-Ca jeotermometresine göre 154-159°C, Na-K-Ca (Mg düzeltilmeli) jeotermometresine göre 44-47 °C, Na-K jeotermometresi için farklı araştırmacıların geliştirmiş olduğu formüller kullanılarak hesaplanan akifer sıcaklıkları 228-508 oC arasında değişmektedir. Kükürlü grubu sıcak su kaynakları Na-K-Ca jeotermometresine göre 176-184°C, Na-K-Ca (Mg düzeltilmeli) jeotermometresine göre 128-131°C, Na-K jeotermometresi için farklı araştırmacıların geliştirmiş olduğu formüller kullanılarak hesaplanan akifer sıcaklıkları 224-482

°C arasında değişmektedir. Çekirge ve Kükürtlü sıcak su grupları Na-K-Mg üçgen diyagramında, sıcak suların soğuk sularla karışımından oluşan ham sular bölümünde yer almaktadır (Şekil 6). Karışım halinde olan bu sular tekrar dengeye ulaşmadan yüzeye çıkmaktadırlar. Ham sular da katyon jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları karışımından sonraki sıcaklığı vermesi nedeniyle tümü güvenilir olarak kabul edilmemelidir. Imbach (1997), her iki termal su grubunun Cl⁻ değerinin 10 mg/l'den düşük olmasıyla akifer sıcaklığının 200°C az olması beklendiği, kalsedon jeotermometresi uygulanan, trityum analiziyle iki farklı sistem olduğunu (Trusdell, 1975) ve bunların sonucunda Kükürtlü grubu termal suları için minimum rezervuar sıcaklığının yaklaşık 111°C, Çekirge grubu termal suları için ise yaklaşık 52°C olduğunu tespit etmiştir.

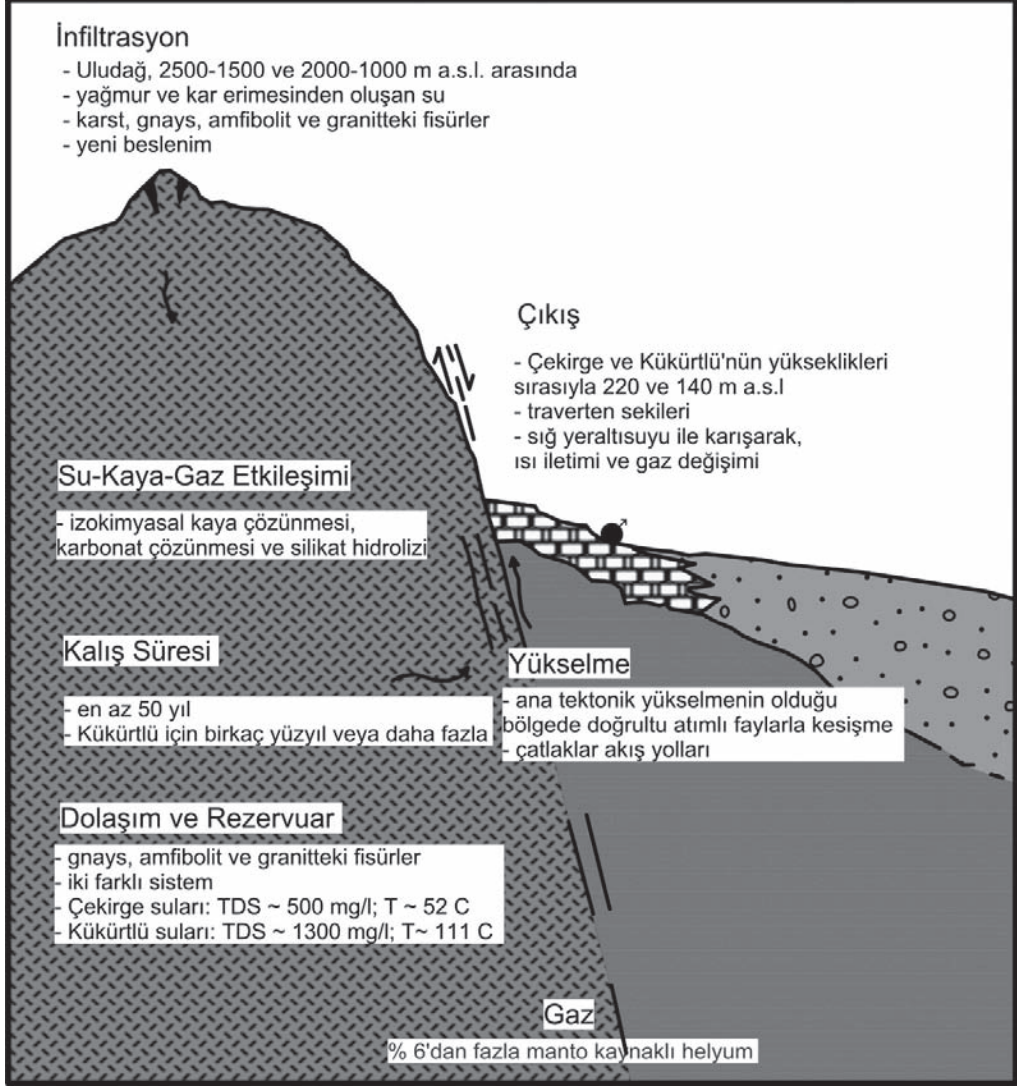


Şekil 6 Sıcak suların Na-K-Mg üçgeni

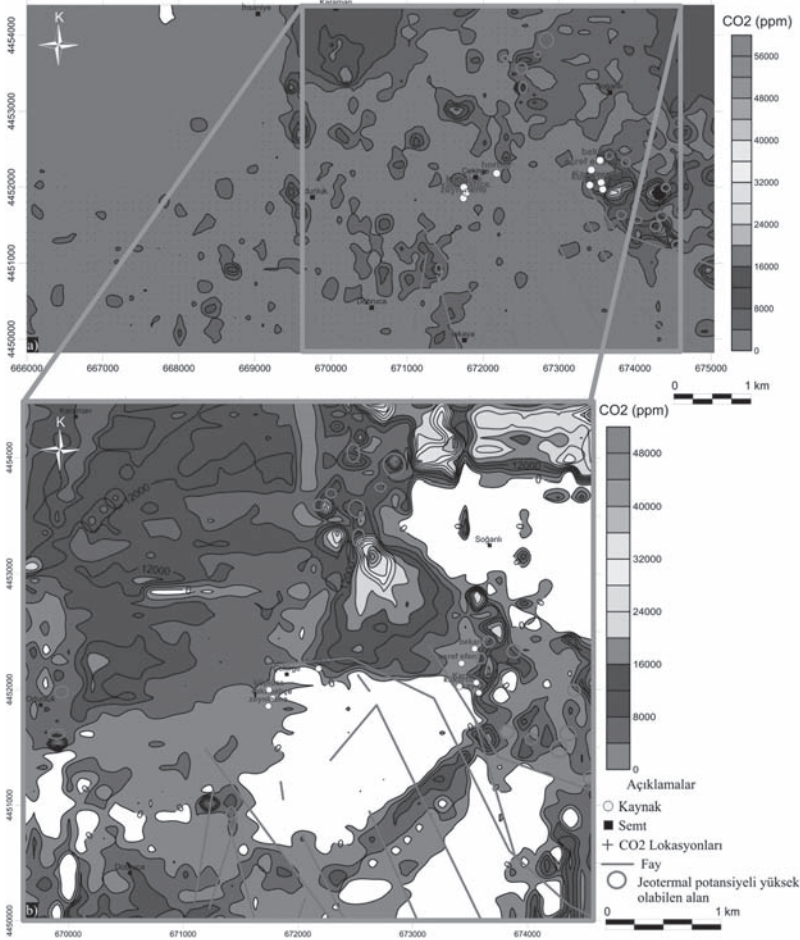
3.4. Jeotermal Suların Hidrojeolojik Dolaşım Modeli

Uludağ'a yağın kar ve yağmur suları (meteorik sular) süzülmeyle derinlere ulaşmakta ve ısınmaktadır. Bölgedeki sıcak suların Uludağ'dan beslenimi farklı kotlardan dolayısıyla farklı litolojilerden olmaktadır. Kükürtlü grubu sıcak suları 2500-1500 m yükseklikte Uludağ mermerinden beslenirken, Çekirge grubu sıcak suları 2000-1000 m yükseklikte muhtemelen Uludağ plato bölgesindeki lökogranitten beslenmektedir. Her iki su grubu da Uludağ metamorfitlerinde su-kaya-gaz etkileşimiyle mineralize olmuşlardır. Su-kaya etkileşiminde kalsit çözünmesi ve silikat hidrolizi baskındır ve iki su grubu da kendi dolaşımı sırasında kabuk ve mantodan gelen gazlar ile etkileşim halindedir. Kükürtlü grubu sıcak sularının su-kaya-gaz etkileşiminde mineralizasyonu 120°C'den az sıcaklıkta CO₂ basıncı tarafından yönetilmekte olduğu ve dolaşım süresinin 50 yıl ve daha fazla olması gerektiği beklenmektedir. Çekirge grubu sıcak sularının etkileşimi 50°C'den az sıcaklıktaki çevre koşullarında atmosferik CO₂ basıncı tarafından kontrol

edilmekte ve dolaşım süresinin 50 yıldan daha az olduğu düşünülmüştür (Imbach, 1997a) (Şekil 7). Çekirge jeotermal sisteminin bölgesel basınç alanı doğrudan yağışların etkilediği sığ yeraltı suyundan etkilenmiştir (Imbach, 1997b).



Şekil 7 Jeotermal suyun dolaşım modeli (Imbach, 1997)



Şekil 8 İnceleme alanında 25 m aralıklı ölçülen CO₂ gazı (ppm) haritası

3.5. Jeotermal Sahada CO₂ Gazı Ölçümü

Yüzye belirgin özellikler göstermeyen fay ve kırıkların belirlenmesi için toprak gazı ölçümlerinden yararlanılmaktadır. Bu tekniklerden biri olan toprakta CO₂ gazı ölçümü bu çalışmada kullanılmıştır. İnceleme alanında toprakta Ekim-2011 döneminde 25 m aralıklarla 4500 noktada CO₂ gazının ölçülmüştür. Şekil 8’de CO₂ gazının yüksek değerler göstererek kapanım yaptıkları alanlar daha net görülebilmektedir. Özellikle Soğanlı’nın batısı ve güneyindeki alanlar ile Odunluk’un güneydoğusunda CO₂ gazının daha yüksek değerlerde bulunmasının sebebi, alüvyon ve yamaç molozunun örttüğü gömülü fay ve/veya kırıkların bulunması ile ilişkili olabilir. Ayrıca, Dobruca’nın kuzeydoğusunda CO₂ gazının yüksek değerlerde olması bölgede bulunan faylara yakınlıkla bağlantılı olabilir.

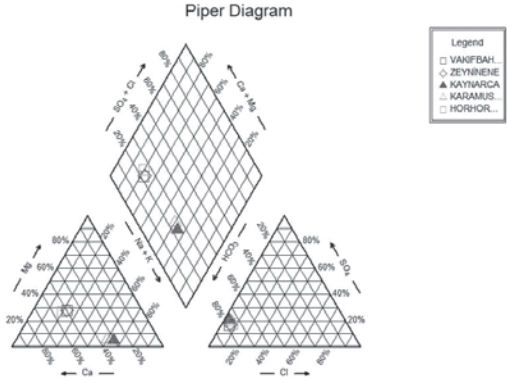
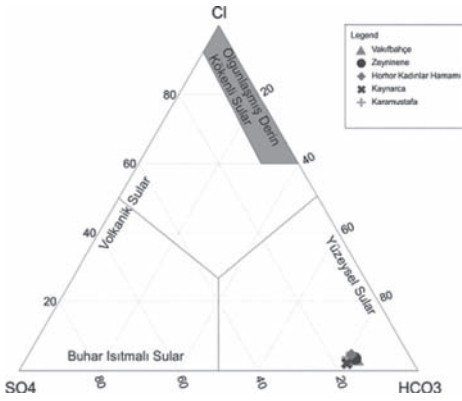
3.6. Sıcak Suların Fasiyes Tipleri ve Sınıflaması

Çalışma alanında derlenen sıcak su örneklerinin analiz sonuçları Cl-SO₄-HCO₃, Piper ve Scho-

eller diyagramlarında değerlendirilmiştir.

3.6.1. Cl-SO₄-HCO₃ Diyagramı

İnceleme alanındaki sıcak sulara baskın iyon HCO₃ olup ve Cl-SO₄-HCO₃ üçgen diyagramına (Giggenbach, 1988) göre yüzeysel sulardır (Şekil 9). Bu sonuç sıcak suların soğuk sularla karışım halinde olduğunu doğrulamaktadır.



Şekil 9 Sıcak suların Cl-SO₄-HCO₃ sınıflaması Şekil 10 Jeotermal suların Piper Diyagramı (Giggenbach, 1988)

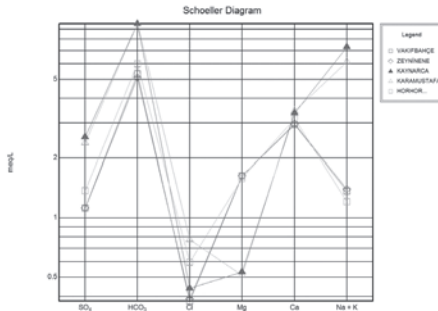
3.6.2. Piper Diyagramı

Sıcak sular Piper diyagramına göre; Vakıfbahçe, Zeyninene ve Horhor Kadınlar Hamamı suları CaCO₃ ve MgCO₃'lü sularlardır; Kaynarca ve Karamustafa kaplıca suları karışık sulardır. Ca-Mg-Na+K üçgeninde Vakıfbahçe ve Zeyninene suları baskın tip yok, Horhor Kadınlar Hamamı suyu Ca tipli sular, Kaynarca ve Karamustafa suları ise Na tiplidir. Cl-SO₄-HCO₃ üçgeninde ise sıcak sular HCO₃ tiplidir (Şekil 10).

3.6.3. Yarı Logaritmik Schoeller Diyagramı

İnceleme alanındaki sıcak sular klorür sınıflamasına göre olağan klorürlü sular, sülfat sınıflamasına göre olağan sülfatlı sular, karbonat-bikarbonat sınıflamasına göre Vakıfbahçe, Zeyninene ve Horhor Kadınlar Hamamı suları olağan karbonatlı sular, Kaynarca ve Karamustafa suları hiperkaronatlı sular sınıfındadır. Çalışma alanındaki sıcak ve soğuk suların yarı logaritmik Schoeller diyagramında aynı alandan beslenen aynı akifer kökenine işaret etmektedir.

Çalışma alanındaki Vakıfbahçe, Zeyninene ve Horhor Kadınlar Hamamı sıcak sularının baskın iyonları Ca²⁺ ve HCO₃⁻; hidrokimyasal fasiyesi Ca-HCO₃'tür. Kaynarca ve Karamustafa sıcak sularının ise baskın iyonları Na⁺ ve HCO₃⁻; hidrokimyasal fasiyesi Na-HCO₃'tür (Şekil 11). Yarı logaritmik Schoeller diyagramlarına göre sıcak suların iyon (meq/l) dizilimleri Tablo 4'te verilmiştir.



Sıcak Su	Fasiyes	Katyonlar	Anyonlar
Vakıfbahçe	Ca-HCO ₃	r(Ca ²⁺)> r(Mg ²⁺)> r(Na ⁺)	r(HCO ₃ ⁻)> r(SO ₄ ²⁻)> r(Cl ⁻)
Zeyninede	Ca-HCO ₃	r(Ca ²⁺)> r(Mg ²⁺)> r(Na ⁺)	r(HCO ₃ ⁻)> r(SO ₄ ²⁻)> r(Cl ⁻)
Horhor Kadınlar Hamamı	Ca-HCO ₃	r(Ca ²⁺)> r(Mg ²⁺)> r(Na ⁺)	r(HCO ₃ ⁻)> r(SO ₄ ²⁻)> r(Cl ⁻)
Kaynarca	Na-HCO ₃	r(Na ⁺)> r(Ca ²⁺)> r(Mg ²⁺)	r(HCO ₃ ⁻)> r(SO ₄ ²⁻)> r(Cl ⁻)
Karamustafa	Na-HCO ₃	r(Na ⁺)> r(Ca ²⁺)> r(Mg ²⁺)	r(HCO ₃ ⁻)> r(SO ₄ ²⁻)> r(Cl ⁻)

Şekil 11 Jeotermal suların YL Schoeller Diyagram

4.Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada, Bursa akiferi'nin beslenme alanını oluşturan havzanın jeolojisi, tektonizması, jeotermal potansiyeli, yeraltısuyu ve jeotermal kaynakların hidrojeokimyası incelenmiş ve jeotermal potansiyel oluşturabilecek yeni alanlar belirlenmiştir. Bursa havzası jeotermal sisteminde, Uludağ granodiyorit ısıtıcı kaynağı, karstik yapı sunan Uludağ mermeri hazne kayayı, Uludağ bölgesi ve alanda bulunan faylar beslenme alanını, Karacaoba formasyonu ile Kuvaterner yaşlı kilce zengin çökeller örtü kayayı oluşturmuştur. İnceleme alanında bu jeotermal sistemin ürünü olan pek çok sıcak su kaynağı bulunmaktadır. İnceleme alanına ait sıcak sular iki ayrı hidrokimyasal fasiyeste olup, Çekirge grubu sıcak su kaynakları Ca-HCO₃ ve Kükürtlü grubu sıcak su kaynakları Na-HCO₃ tiplidir. Çekirge ve Kükürtlü grubu su kaynaklarının sıcaklıkları sırasıyla 42,6-45,1°C ve 56,3- 79,3°C arasındadır. Sıcak sularIAH (1979)'a göre çok sıcak su sınıfındadırlar. Suların sıcaklığı arttıkça EC değeri artmakta, pH değeri ise azalmaktadır. Sıcak suların kalsit ve dolomite doygun olmaları beslenmelerinin ve hazne kayasının kireçtaşı olduğunu göstermektedir. Sıcak sular, Na-K-Mg üçgen diyagramında sıcak ve soğuk suların karışımından oluşan ham sular bölümünde yer almakta olup dengeye ulaşmadan yüzeye erişmektedirler. Sıcak sulara soğuk yeraltısularının karıştığı, bu sebeple de sıcaklıklarında ve kimyasal özelliklerinde değişimler vardır. Düşük Na/K oranı ile sıcak suların yüzeye hızlı çıkma eğiliminde oldukları görülmektedir. HCO₃⁻ değerlerinin her iki grup suda yüksek olması doğrudan derinden beslenmediklerine işaret etmektedir. Özellikle Kaynarca kaynağında sıcaklığın yüksek olması ve yüksek SO₄²⁻ miktarı hidrojen sülfidin (H₂S) oksidasyonunun göstergesidir. Sulardaki düşük Cl⁻ konsantrasyonu bu sulara soğuk yeraltısularının karıştığını bir kez daha desteklemektedir. Jeotermal potansiyeli belirlemek için yapılan toprakta CO₂ gazı ölçümü sonucunda, özellikle Soğanlı'nın batısı ve güneyindeki alanlar, Odunluk'un güneydoğusunda, Dobruca'nın kuzeydoğusunda CO₂ gazı daha yüksek değerlerde bulunmaktadır. Değerlerin bu alanlarda yüksek olmasının sebebi, gömülü fay ve/veya kırıkların bulunması ya da bölgede bulunan faylara yakın olması olarak düşünülmelidir. CO₂ gazı yüksek değerlere ulaşılan bölgelerin yeni jeotermal alanlar olabileceği düşünülmeli ve ileride yapılacak çalışmalar bu alanlarda yoğunlaştırılmalıdır.

5. Referanslar

- APELLO, C.A.J. ve POSTMA, D., 2005, *Geochemistry Groundwater and Pollution*, 36-37.
- AquaChem 2011.1, Schlumberger Water Services 460 Phillip Street - Suite 101 Waterloo, Ontario, CANADA, N2L 5J2
- DAY, B. A. ve NIGHTINGALE, H.I., 1984, Relationships between ground- water silica, total dissolved solids, and specific electrical conductivity, *Ground Water*, 22, 1, 80- 85.
- DREVER, J.I., 1996, *The Geochemistry of Natural Waters (3rd ed.)*, Prentice Hall, New Jersey, ss. 436.
- ELLIS, A.J., 1979, Chemical geothermometry in geothermal systems, *Geothermics*, 25, ss. 219-226.
- ERGUVANLI, K. ve YÜZER, E., 1973, *Yeraltı Suları Jeolojisi*, İTÜ Maden Fakültesi.
- GİGGENBACH, W.F., 1988, Geothermal Solute Equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca Geoindicators, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 57, 2749-2765.
- GÖKNİL, M.H., 1975, *Bursa'daki Yeni Kaplıca, Kara Mustafa, Küükürtlü Termal Sularının Fizikokimyası Üzerine Bir Araştırma*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 135.
- HEM, J. D., 1985, Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water, *U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2254*, 26, ss.3.
- IMBACH, T., 1997a, Deep Groundwater Circulation in The Tectonically Active Area of Bursa Northwest Anatolia, Turkey, *Geothermics*, 26; N.2; pp. 251-278.
- IMBACH, T., 1997b, Geology of Mount Uludağ with emphasis on the genesis of Bursa thermal waters, Northwest Anatolia, Turkey, *Active Tectonics of Northwestern Anatolia-The Marmara Poly-Project*, B, 4, ss. 239-266
- IAH'a (International Association of Hydrogeologists):. Map of Mineral And Thermal Water of Europe, scale 1:500 000, International Association of Hydrogeologists, London (1979)
- LANGMUIR, D., 1997, *Aqueous Environmental Geochemistry*, Prentice-Hall Publication, USA.
- MAHON, W.A., 1964, Silica of hot water discharged from drill holes at Wairakie, *N.Z.J. Sci.*, 9, 144-165p. New Zeland.
- MTA, 2003, *Türkiye Termal ve Mineralli Sular Envanteri*, Bursa, 46.
- MTA, 2009, *Bursa ili kentsel alanların (il-ilçe merkezleri) yerbilim verileri*, MTA Rapor No: 11163, Ankara.
- MTA, 2011, *1/ 250 000 ölçekli Türkiye diri fay haritası serisi, Bursa (NK 35-12) paftası*, Seri No:9, Ankara.
- NICHOLSON, K., 1993, *Geothermal Fluids Chemistry and Exploration Techniques*, Berlin: Springer-Verlag. (Şahinci, 1991).
- TSE 266, 2005, *İnsani Tüketim Amaçlı sular*, Birinci Baskı, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Truesdell, A. H., 1976. Summary of Section III. Geochemical techniques in exploration. 2nd UN Symposium on the development and use of geothermal resources, San Francisco, 1975, 1, liii-lxxix.

JEOTERMAL KAYNAK POTANSİYELİ

JEOTERMAL POTANSİYELİN, MEVCUT JEOTERMAL BULGULAR VE JEOLJİK FAKTÖRLER İLE MEKANSAL OLARAK İNCELENMESİ: BÜYÜK MENDERES GRABENİ ÖRNEĞİ

Osman Şen¹, Hüseyin Dünya², Gözde P. Yal¹, Selim Cambazoğlu¹, Arif Mert Eker¹

1 SDS Enerji A.Ş., Ankara

2 MTA Ege Bölge Müdürlüğü, İzmir

ÖZ

Çalışmanın kapsamı, Büyük Menderes Grabeni'nin Aydın İli sınırları içerisinde kalan, jeotermal bölgelerinin sayısal olarak karşılaştırılmasını içermektedir. Türkiye'nin yüksek jeotermal potansiyele sahip olmasına ve dünyada bu konuda ilk on içinde yer almasına karşın, ana enerji temini halen fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Sahip olduğu avantajlı jeolojik koşullar, teknolojik gelişmeler ile Türkiye'nin jeotermal enerjiye dair yasa ve ilgili yönetmelikleri, jeotermal enerjiden yararlanılmasının hem ekonomik hem de teknik yönden uygulanabilir olmasına imkân sağlamıştır. Ancak, günümüzde, kurulu jeotermal enerjinin Türkiye'deki toplam elektrik üretiminin %1'inden daha az bir paya sahip olması bu enerji türünden yeterince faydalanılmadığının bir göstergesidir.

Bu çalışma Büyük Menderes Grabeni Aydın İli'nde bulunan bölümü için mevcut jeotermal bulgular ile jeolojik, sismo-tektonik, topoğrafik ve bitki örtüsü verilerinin mekânsal ilişkilerin incelenmesini kapsamaktadır. Çalışma kapsamında Aydın İli sınırı içerisinde tamamlanan 100'ün üzerinde jeotermal sondajdan elde edilen derinlik ve sıcaklık verileri termal gradyan haritasının oluşturulmasında kullanılmıştır. Her bir veri setinin değerlendirmesi Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yardımıyla, bölgenin tamamını kapsayan detaylı bir veri tabanı oluşturularak gerçekleştirilmiştir. Bu değişkenler istatistiksel olarak değerlendirilip karşılaştırılarak jeotermal gradyan ile olan ilişkileri belirlenmiştir.

SPATIAL ASSESSMENT OF GEOTHERMAL POTENTIAL WITH CURRENT GEOTHERMAL DATA AND GEOLOGICAL FACTORS: BÜYÜK MENDERES GRABEN EXAMPLE

Osman Şen¹, Hüseyin Dünya², Gözde P. Yal¹, Selim Cambazoğlu¹, Arif Mert Eker¹

¹SDS Energy Corporation, Ankara

²General Directorate of Mineral Research and Exploration, Aegean Region Directorate, İzmir

ABSTRACT

The scope of the study covers quantitative correlation and comparison of geothermal regions located within Aydın Province, Büyük Menderes Graben. Although Turkey have considerably high geothermal potential and is within top ten in the World, the main power generation resource is still fossil fuel. The advantageous geological conditions in Turkey along with technological developments as well as regulations issued on geothermal energy has allowed geothermal energy to be both economically and technically utilized. On the other hand, power generation from geothermal energy to have less than 1% ratio within total power generation of Turkey is a clear indication that utilization of geothermal energy is highly limited.

This study explores spatial and statistical comparison of current geothermal regions with geological, seismo-tectonic, topographic and vegetation data for Büyük Menderes Graben within Aydın Province. Bottom hole temperature and depth data from more than 100 geothermal wells were used for generation of thermal gradient map. Assessment of each dataset was performed by generating a detailed database within Geographical Information Systems (GIS) environment. These explanatory variables were statistically evaluated and their relation and correlation with thermal gradient has been identified.

Keywords: *Büyük Menderes Graben, geothermal energy*

1. Giriş

Jeotermal enerjinin hızla artan enerji gereksinimlerini karşılayabilmek gibi ekonomik ve sosyal hedeflere ciddi katkı yapma potansiyeline sahiptir. Jeotermal elektrik santralleri yüksek kapasiteleri ve kolay kurulabilirliği sayesinde çevreye çok az olumsuz etki yaratır ve jeotermal santraller yerleşim yerlerine ve yakınına inşa edilebilirler. Bu sayede, enerji iletimi ve altyapı masraflarının daha düşük olmasını sağlarlar. Günümüzde 24 ülke jeotermal enerji kullanarak elektrik enerjisi üretmekte ve bunların çoğunluğu klasik jeotermal yöntemlerini uygulamaktadır.

OECD (2012) raporuna göre Türkiye'nin önümüzdeki 5 yıl içerisinde %5.2 oranında büyümesinin beklenmesi bu gelişim Türkiye'deki enerji tüketiminin büyük bir hızla artış göstermesine neden olacağı olasılığını yükseltmektedir. Bu ekonomik gelişmeye bağlı olarak, Harte (2011) ile Jeotermal Enerji Kurumu'nun (2012) tahminleri enerji ihtiyacında %6 ile 8 yıllık artış olacağı öngörmekte ve bununda 2020 yılına kadar şebekeye 50.000 MW artışın olması anlamına geldiği ifade edilmektedir.

Türkiye'nin çok yüksek jeotermal potansiyele sahip olmasına ve dünyada bu konuda ilk on içinde yer almasına karşın (Holm ve diğ., 2010; Jeotermal Enerji Kurumu, 2012), ana enerji temini halen termik santrallerden sağlanmaktadır. Türkiye'nin sahip olduğu avantajlı jeolojik koşullar, teknolojik gelişmeler, Türkiye'nin jeotermal enerjiye dair çıkardığı teşvik yasalar ve yönetmelikler jeotermal enerjiden yararlanılmasının hem ekonomik hem de teknik yönden uygulanabilir olmasına imkân sağlamıştır. Ancak, Türkiye'deki jeotermal sahaların enerji üretim kapasitesi kurulu güç olarak yaklaşık 437 MWe mertebindedir ve Türkiye'deki toplam elektrik üretiminin %1'inden daha az bir paya sahiptir (TEİAŞ, 2015). Jeotermal enerjinin toplam enerji üretimindeki payının artırılması için sahaların geliştirilmesi ve yeni potansiyel alanların keşfi sağlanmalıdır.

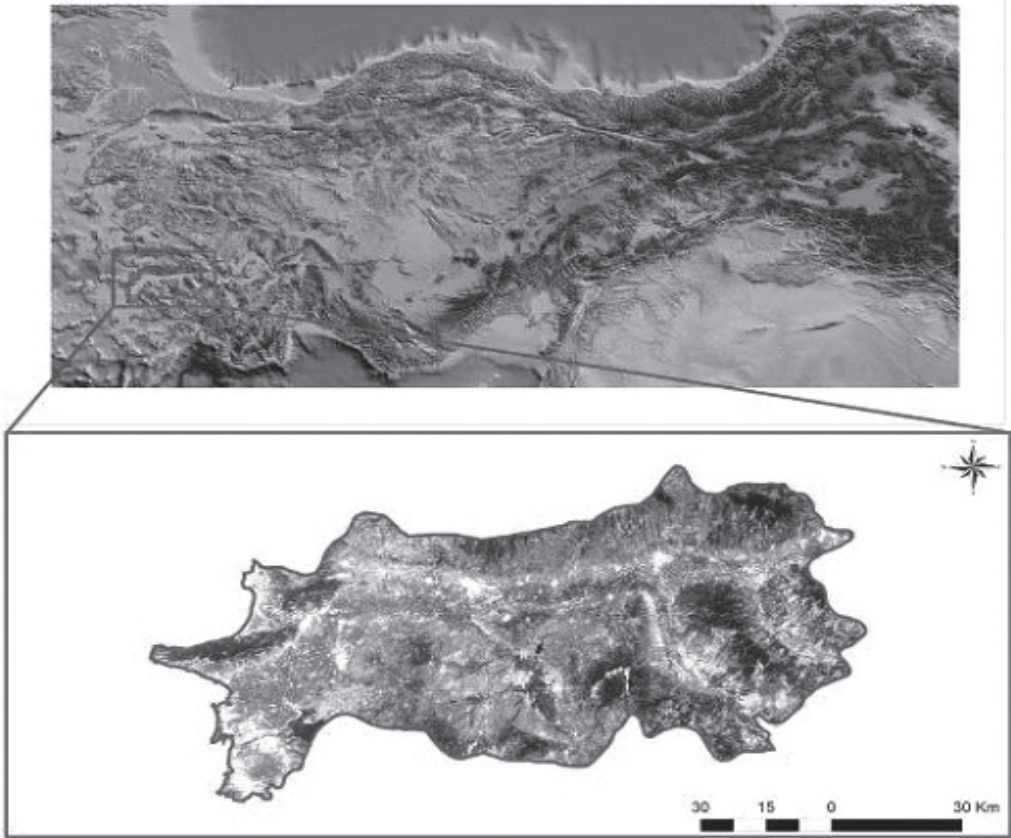
Bu doğrultuda, bu çalışma kapsamında, Aydın İli'nin özellikle Türkiye'nin aktif olarak jeotermal enerjinin büyük bir bölümünün çıkarıldığı ve işletildiği Büyük Menderes Grabeninin tamamı için jeotermal enerjinin jeotermal gradyana bağlı olarak jeoloji, jeomorfoloji, sismisite ve bitki örtüsü gibi diğer faktörler ile denetlenmesinin yapılmasını amaçlamaktadır. Bu kapsamda, potansiyel jeotermal anomaliler, jeotermal bulgular ile jeolojik faktörlerin mekânsal ilişkilerin incelenmesi ile tespit edilecektir. Bu çalışma kapsamında kamuya açık verilerin işlenmesiyle hazırlanan veri setleri açıklayıcı değişken olarak kullanılmıştır. Bu veri setleri; çizgisellik, manyetik anomali, Bouguer gravite anomali ve deprem merkez üssü bilgileri olarak sıralanabilir. Yararlanılan haritaların bir kısmı direk olarak kullanılmayıp, oluşturulacak katman haritaların hazırlanmasına ve bunların üretilmesine temel teşkil etmiştir. Örneğin; deprem merkez üssü, çizgisellik, manyetik ve Bouguer gravite anomali gibi veri setleri kullanılarak Gutenberg-Richter (1949, 1954) b-değeri haritası, grabenlere uzaklık, fay yoğunluk haritaları üretilmiştir. Çalışma kapsamında jeotermal gradyan değerinin interpolasyon haritası bağımlı değişken; açıklayıcı değişken olarak jeoloji, fay yoğunluğu (aktif ve aktif olmayan faylar ile birlikte), grabene uzaklık, b-değeri, eğim, yükseklik ve normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi (NDVI) katmanları oluşturulmuştur.

Bu çalışmanın ana veri seti, özellikle Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü ve alanda aktivite gösteren bazı büyük ve küçük özel sektör tarafından bölgede açılan sondajların derinlik ve kuyu dibi sıcaklıkları derlenerek lokasyonların jeotermal gradyan değeri olarak normalize edilerek oluşturulmuştur. Her bir çalışmanın değerlendirmesi Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yardımıyla, bölgenin tamamını kapsayan detaylı bir veri tabanı oluşturularak gerçekleştirilmiş-

tir. Analizler jeotermal gradyan ile diğer açıklayıcı değişkenlerin ikili karşılaştırılması sonucu yapılmıştır.

2. Çalışma Alanı ve Jeolojisi

Çalışma alanı, Aydın İl sınırlarını kapsamakta olup, yaklaşık 8000 km²'lik bir bölgeyi kapsamaktadır. (Şekil 1). Özellikle alanın orta ve doğu kısmında doğu-batı uzanımlı, alanın batısına doğru kuzeydoğu-güneybatı yöneliminde Büyük Menderes Graben sistemini ve bu sisteme bağlı paralel uzanan horst ve graben sistemleriyle, bu ana sisteme dik uzanan küçük ölçekli graben horst yapılarını içermektedir.



Şekil 1. Çalışma alanı a) Gölge rölyef yükseklik haritası üzerinde Aydın il sınırları, b) 20 Temmuz 2015 tarihli Landsat 8 görüntüsü gerçek renk kompoziti.

Çalışma alanı, dünyada kıtasal kabukta gözlemlenen sismik aktivitenin en yoğun olduğu ve genişlemenin hızlı bir şekilde gözlemlendiği bölgelerden batı Anadolu sınırları içerisinde yer almaktadır. Güncel olarak kıtasal genişleme bölgesel olarak yaklaşık K-G yönünde (Bozkurt ve Sözbilir, 2006) ve yaklaşık 3-4 cm aralığındadır (Ferill ve diğ., 1996; Kahle ve diğ., 2000), bu açılmanın büyük bir bölümü bir çok deprem üreten aktif normal faylar üzerindeki kayma ile karşılanmaktadır (Eyidoğan ve Jackson, 1985).

Bölgedeki tektonik durum karmaşık bir yapı sunar. Kıtasal genişlemenin nedenleri ve başlangıcı ile ilgili tartışmalar devam etmekte olup, araştırmacılar tarafından farklı modeller ileri sürülmüştür (Bozkurt ve Sözbilir, 2006). Tektonik Kaçış Modeli (Şengör ve diğ., 1985; Görür ve diğ., 1995), Yay Arkası Açılma Modeli (McKenzie, 1978), Orojenik Çökme Modeli (Seyitoğlu, ve diğ., 1991) ve Episodik Model (Koçyiğit ve diğ., 1999) sunulan bu modellerin başlıcalarıdır.

Stratigrafik olarak bölgede en altta Paleozoyik yaşlı Menderes Masifi metamorfikleri bulunmaktadır. Menderes Masifi Metamorfikleri çalışılan bölgenin en yaşlı kayalar grubudur. Yanal ve düşey olarak düzenli bir litolojiye sahip olmayan metamorfik kayalardan meydana gelmişlerdir. Genel anlamda mermer, muhtelif şist kuvarsit ve gnayslarla temsil olunur. Tabanı ve kalınlığı bilinmeyen bu metamorfiklerin üzerine, Senozoik çökelleri diskordansla oturur. Temel üzerine gelen Neojen yaşlı çökeller Miyosen ve Pliyosen yaşlı birimlerden oluşmaktadır. En üstte ise Menderes Grabeni boyunca geniş yayılım gösteren Kuvaterner yaşlı birimler yer almaktadır. Menderes Masifi bölgesel, geniş ölçekli, uzun eksenli KD-GB yönünde olan bir metamorfik çekirdek kompleksidir (Verge, 1995; Bozkurt ve Park, 1997; Bozkurt, 2001 ve Koçyiğit, 2015). Çalışılan bölgenin en yaşlı jeolojik birimidir. Yanal ve düşey olarak düzenli bir litolojiye sahip olmayan metamorfik kayalardan meydana gelmişlerdir. Genel anlamda mermer, çeşitli şist (mika-şist, grafit-şist, kuvars-şist, kalk-şist), kuvarsit, gnays ve migmatitler ile temsil olunur. Tabanı ve kalınlığı bilinmeyen bu metamorfiklerin üzerine, Senozoik çökelleri aşılal uyumsuzlukla gelirler (Koçyiğit, 2015).

3. Veri Setlerinin Oluşturulması ve Yöntem

Bilindiği üzere, bir alanın jeotermal enerji potansiyeline sahip olduğu kanaatine başlıca dört faktör aynı alanda eşzamanlı olarak gözlemlenirse varılabilir. Bu dört ana faktör; i) soğuyan magma gibi doğal büyük bir ısı kaynağı, ii) yeterli su temini, iii) akifer veya geçirgen bir rezervuar, iv) geçirimsiz örtü kaya olarak sıralanabilir (Özgüler v.d., 1983).

Hidrotermal bir sistem için ısı kaynağı genç dayklar ve plütonlar (Elders ve diğ., 1984; Henley ve Brown, 1985; Wohletz ve Heiken, 1992; Embley ve diğ., 1995); tektonik aktiviteden dolayı yeraltı sıcaklık değerlerinin yükselmesini (McKenzie, 1978; Henley ve Brown, 1985) ve fay üzerindeki hareketten ötürü sürtünme ısısını (Lachenbruch, 1980; Scholz, 1980) kapsamaktadır. Bu tür suların yüzeye çıkmak için kullandığı yüksek geçirimli hatlar, serbest akiferler, tabaka düzlemleri (Person v.d., 1996), volkanik kontaklar (örn: sil, dayk) (Martel ve Petersen, 1991; Boullier ve diğ., 1994) oluşturabilirken, küresel ve bölgesel ölçekte yapılan çalışmalar baz alındığında (Curewitz ve Karson, 1997; Micklethwaite ve Cox, 2004; Faulds ve diğ., 2011) yapısal jeolojik unsurlar ile sıcak su kaynakları arasında kuvvetli bir bağ olduğu görülmektedir. İnceleme bölgeleri kapsamında, yapısal unsurlardan fayların etkileşim alanlarının ve fayların sonlandırıldığı bölgelerin sıcak su kaynaklarıyla yüksek oranda denetleştirilebildiği gözlemlenmiştir.

Literatür incelediğinde, yapısal jeolojinin jeotermal suların dağılımında oynadığı rolün öneminin yanı sıra, diğer jeolojik faktörler (Prol-Ledesma, 2000; Noorollahi ve diğ., 2008; Yousefi ve diğ., 2007), güneş ışınımı etkisi (Voulgaris ve diğ., 2004), hidrotermal alterasyon tipleri (Yousefi ve diğ., 2007; Noorollahi ve diğ., 2008; Marques ve diğ., 2010), manyetik anomali (Tüfekçi, ve diğ., 2010), gradyan sıcaklığı (Voulgaris ve diğ., 2004), sıcak su çıkışı lokasyonlarının tayini (Prol-Ledesma, 2000; Coolbaugh ve Shevenell, 2004; Yousefi ve diğ., 2007, Carranza ve diğ., 2008), potansiyel rezervuar kayalarının tayini (Prol-Ledesma, 2000; Carranza ve diğ., 2008; Tüfekçi, ve diğ., 2010), göreceli yüzey sıcaklığı anomalilerinin belirlenmesi (Coolbaugh ve diğ., 2002; MacKnight ve diğ., 2004; Voulgaris ve diğ., 2004; Calvin ve diğ., 2005; Eneva ve

diğ., 2006, 2007; Coolbaugh ve diğ., 2007a; Haselwimer ve Prakash, 2013) çalışmalarından elde edilecek bulguların da bir o kadar önem arz ettiğini göstermektedir.

Bu çalışma kapsamında jeotermal kaynaklar olarak yüzeye çıkan bulgulardan yararlanılacağı ve gerekli mekansal korelasyonun bu kaynakların yerleri göz önünde bulundurularak yapılacağı düşünüldüğünde, çalışma kapsamında jeolojik faktörler ile mekansal olarak denetleştirilecek olgunun daha çok hidrotermal aktiviteden kaynaklı yüzey sıcak su çıkışlarının olduğu söylenebilir. Bu çalışma kapsamında, jeotermal gradyan değeri, jeoloji, fay yoğunluğu, grabene uzaklık, b-değeri, eğim, yükseklik ve normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi (NDVI) katmanları GIS ortamında hazırlanmış ve mekansal olarak dağılımları denetleştirilmiştir (Şekil 2). Bu veri setlerine dair kullanılan kaynaklar ve ölçek bilgileri Tablo 1’de verilmiştir. Tablo 1’den de görülebildiği üzere kullanılan veri setleri farklı ölçeklere sahiptir. Dolayısıyla bu veri setlerinin tamamının mekansal olarak uyumunun sağlanması için aynı raster bazlı veriler ve haritalar 25mx25m olacak şekilde aynı piksel boyutlarına ölçeklendirilmiştir.

Hazırlanan veri setlerinden sayısal yükseklik modeli (SYM) 1:25.000 ölçekli Harita Genel Komutanlığı topoğrafik haritalarından münhanilerin sayısallaştırılması ve sayısal olarak elde edilen vektör haritaların 25 m x 25 m çözünürlükte işlenmesi sonucu elde edilmiştir (Şekil 2a). Çalışma alanındaki yükseklik değerleri 0 ila 2300 m arasında değişmektedir. Eğim haritası ArcGIS 9.3 yazılımı ile 25 m x 25 m çözünürlükteki SYM kullanılarak elde edilmiştir ve eğim değerleri 0 ila 62 derece arasında değişim göstermektedir (Şekil 2b).

Genelleştirilmiş jeoloji haritası için MTA (2002) tarafından hazırlanan 1:500.000 ölçekli İzmir ve Denizli paftalarından faydalanılmıştır. Bu haritalar sayısallaştırılarak yaş ve litoloji tipine göre genelleştirilmiş ve vektör verisi olarak derlenmiştir (Şekil 2c).

Tablo 1. Analizlerde kullanılan veriler ve ölçekleri.

Veri Seti	Veri Kaynağı	Ölçek
Jeotermal Gradyan Haritası	MTA, Bazı büyük ve küçük ölçekli işletmeler	25 m x 25 m
NDVI	LandSat 8 OLI-TIRS	30 m x 30 m
b-değeri Haritası	KRDAE	1 km x 1 km
Jeoloji	MTA Jeoloji Haritası	1:500 000
Fay Yoğunluğu	Gürer, 2012	1:500 000
	Duman, v.d.,2011	1:250 000
	Koçyiğit, 2015	1:100 000
Sayısal Yüksek Modeli	HGK	1:25.000
Eğim		1:25.000
Graben Merkezine Uzaklık	Arslan v.d., 2010	1:1.250.000

Landsat 8 OLI&TIRS İz:180 - Satır:034 30 m x 30 m çözünürlüklü ve 20 Temmuz 2015 tarihli uydu görüntüsünün kırmızı (KIR, Bant 4) ve yakın kızıl ötesi (YKÖ, Bant 5) bantlarından; (YKÖ-KIR)/(YKÖ+KIR) denklemi ile Normalize Edilmiş Bitki Örtüsü Farklılık Endeksi (NDVI) elde edilmiştir. Bu veri yeşil biyo-kütlenin yoğunluğunu vermekte ve -1 ile +1 arasında değişmektedir. Artan değer bitki örtüsü sağlamlığını göstermektedir (Şekil 2d).

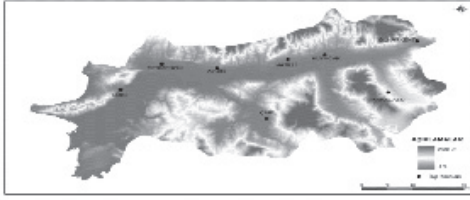
Daha sonra alanın sismo-tektonik özelliklerinin ortaya konması amacıyla fay yoğunluğu ve b-değeri haritaları üretilmiştir. Fay yoğunlu haritasının oluşturulması için çeşitli kaynaklardan fay verileri sayısallaştırılarak (MTA, 2002; Duman v.d., 2011; Gürer, 2012 ve Koçyiğit, 2015) çalışma alanına dair ortak bir fay haritası oluşturulmuştur. Çalışma alanı dahilindeki depremlerin ortalama odak derinliği 11 km'dir. Bu derinlik değeri ve bölgedeki fayların normal fay olmaları göz önünde bulundurulduğunda, 70°'lik bir açı hesaba katılarak 4 km'lik bir tarama yarıçapı değeri elde edilmiş ve bu değer kullanılarak 25 m x 25 m çözünürlüğünde fay yoğunluğu haritası hazırlanmıştır (Şekil 2e).

Bunun yanı sıra, alanın deprem aktivitesinin belirlenmesi amacıyla MapSeis v1.1 yazılımı kullanılarak (Eberhard, 2014) Gutenberg-Richter (1949) b-değeri haritası oluşturulmuştur. b-değeri sismo-tektonik bir parametredir ve depremlerin gerçekleşmesi ile doğrudan ilişkilidir (Gutenberg ve Richter, 1949). Gutenberg ve Richter (1949) tarafından önerilen $\log(N) = a - b(M)$ denklemi kullanılarak ve nihai katalog parametreleri göz önünde bulundurularak "a" ve "b" regresyon katsayıları elde edilir. Bu denklemde N: M'ye eşit veya büyük büyüklüğe sahip depremlerin sayısıdır. Gutenberg-Richter (1949) b-değerinin belirlenmesi ve b haritasını oluşturulmasında 1900-2015 yılları arasındaki depremleri kapsayan Kandilli Deprem Kataloğu (KR-DAE, 2015) kullanılmıştır

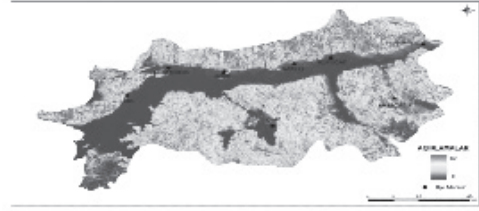
Çalışma alanı için b haritasının hesaplanmasında alana düşen depremlerden, bölge için Moho derinliğini 29 km civarında olduğu bilindiğinden (Akyol v.d., 2006) 30 km derinlikten sığ olan depremler kullanılmıştır. Depremlerin hem karşılıklı dışlamalarını (mutually exclusive) yansıtmak hem de katalogun deprem fenomenini zaman uzayında açıklamak için kullanılan Poisson ilişkisini temsil ettiğini kesinleştirmek üzere ikincil deprem analizi (de-clustering) yapılmıştır (Gardner ve Knopoff, 1974). İlk aşamada çalışma alanı dahilindeki 4616 adet deprem üzerinde Gardner ve Knopoff (1974) tarafından önerilen zaman ve mekan pencerelerine göre öncü-artçı şok (de-clustering) analizi gerçekleştirilmiş ve bu analizin ardından 3345 adet deprem elde edilmiştir. Daha sonra 30 km derinlik için eleme işlemi de gerçekleştirilmiş ve analizlerde çalışma alanı dahilindeki 3281 adet deprem kullanılmıştır. Karelaj aralığı 1 km x 1 km olan noktalar için 15 km'lik yarıçap tarama açıklığı kullanılarak b-değerleri haritası oluşturulmuştur (Şekil 2f).

Bir diğer veri seti çalışma alanını kapsayan 1:1.250.000 ölçekli gravite haritası baz alınarak ve jeoloji haritası da göz önünde bulundurularak elde edilen graben merkezi ve buna olan uzaklık verisidir. Bu veri için aynı şekilde 25 m x 25 m çözünürlük kullanılmıştır ve Şekil 2g'de görselleştirilen bu veri seti haritasında alüvyon sınırı açık gri renkte yarı-saydam olarak uzaklık değerleri üzerinde gösterilmiştir.

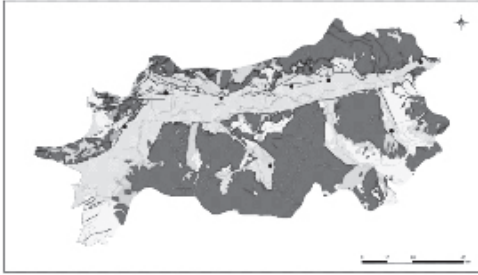
Üretilen son veri seti jeotermal gradyan haritasıdır. Bu haritanın üretilmesi için mevcut sondaj verilerinden faydalanılmıştır. Çalışma alanındaki 200 m veya daha derin ve kuyu dibi sıcaklığı 25°C'den yüksek olan kuyular dahil edilerek ve yüzey sıcaklığı 25°C alınarak, 102 adet sondajın bilgileri kullanılarak elde edilen gradyan haritası 100 m'lik jeotermal gradyanı temsil etmektedir. Bu veri, verinin normal dağılımı prensibine dayanan Normal (Ordinary) Kriging interpolasyon tekniği kullanılarak elde edilmiştir. Verinin normal dağılımını elde etmek üzere analiz öncesinde veri üzerinde logaritmik dönüşüm ve ikinci derece yönelim kaldırma (trend removal) işlemi uygulanmıştır. Ayrıca sonuç haritasında dış-değer (extrapolation) tahminlerinin önüne geçilmesi için analiz kapsamı mevcut verilerin dağılımına göre sınırlandırılmıştır (Şekil 2h).



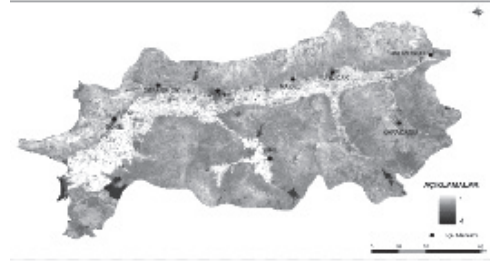
a. Sayısal Yükseklik Modeli



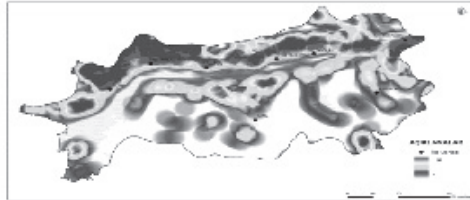
b. Eğim Haritası



c. Genelleştirilmiş Jeoloji Haritası



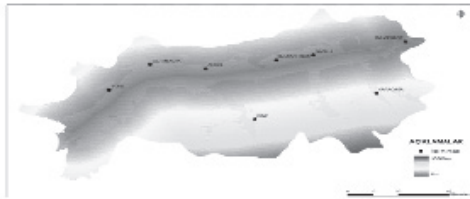
d. Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü Endeksi



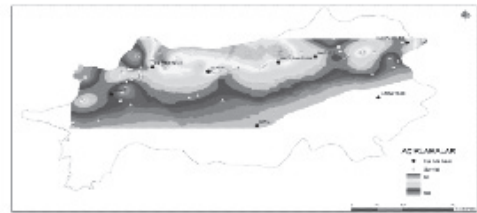
e. Fay Sıklığı Haritası



f. b-değeri Haritası



h. Jeotermal Gradyan Haritası



g. Graben Merkezine Uzaklık Haritası

Şekil 2. Analizlerde kullanılan veri setleri ve haritaları.

Uygulanan İstatistiksel Analizler

Üretilen verilerin tamamı CBS ortamında mekansal olarak tutarlı bir şekilde bir araya getirilerek istatistiksel analizler gerçekleştirilmiştir. Bağımlı ve bağımsız değişkenlerin arasındaki ilişkiyi ve bu ilişkinin derecesini belirlemek için Pearson korelasyon katsayısı kullanılmıştır (Pearson, 1895). İstatistikte Pearson korelasyon katsayısı X ve Y gibi iki değişken arasındaki doğrusal korelasyonun bir ölçütüdür ve -1 ile 1 arasında sonuç verir. Bu analiz sonucunda 1 tam pozitif korelasyon, 0 korelasyonun olmadığı ve -1 tam negatif korelasyon olduğunu gösterir. Bu katsayı iki değişken arasındaki doğrusal bağımlılık (linear dependence) derecesinin ölçütü olarak sıklıkla kullanılmaktadır ve aşağıdaki denklem ile temsil edilir:

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2][n\sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

İki-değişkenli (bivariate) normal dağılım varsayımı değişkenlerden birinin normal dağılıma sahip olduğu ve iki değişkenin bağımsız olduğu varsayımı ile değiştirilebilir (Hogg ve Craig, 1978). Ayrıca, aykırı değerler Pearson korelasyonu üzerinde büyük etki yaratabilir. Bu nedenle veri setleri ayrı olarak incelenmiş ve gerekli dönüşümler (transformation) uygulanmıştır. Bu iki değişkenli analiz yöntemi uygulanmadan önce değişkenler arasında herhangi bir eş-doğrusallık olup olmadığını belirlemek için PASW Statistics V.18.0 yazılımı kullanılarak tüm değişkenler arasında çoklu eş-doğrusallık analizi yapılmıştır. Çoklu eş-doğrusallık analizinde tolerans değeri, diğer bağımsız değişkenler tarafından açıklanamayan belirli bir bağımsız değişkendeki değişim yüzdesidir. Dolayısıyla düşük tolerans değerleri belirli bir bağımsız değişkendeki değişimlerin (variance) %70-90'ının diğer bağımsız değişkenlerce açıklanabildiğini göstermektedir. Tolerans değerinin 0'a yakın olması yüksek çoklu eş-doğrusallık olduğunu gösterir ve regresyon katsayılarının standart hata değeri olması gerekenden çok daha yüksek çıkar. 2'den yüksek varyans büyüme faktörü (VIF) genellikle sorunlu olarak kabul edilir (Rossi v.d., 2010).

5. Tartışma ve Sonuçlar

İstatistiksel analizler kapsamında bağımlı değişken olan jeotermal gradyan verisi ile jeoloji katmanı hariç sürerli veriden oluşan altı bağımsız değişken olan 1) yükseklik, 2) eğim, 3) NDVI, 4) fay yoğunluğu, 5) b-değeri ve 6) graben merkezine uzaklık verileri arasındaki ikili ilişki Pearson korelasyon katsayısı belirlenerek incelenmiştir. Jeoloji verisi kategorik bir veri olduğundan Pearson istatistiksel yöntemi varsayımları gereği analizlere dahil edilmemiştir. Ancak yükseklik ve eğim verisi jeolojik dağılımla özellikle Kuvaterner alüvyon ve pliyosen sedimanlar ile daha yaşlı jeolojik birimlerin mekansal dağılımını temsil edebildiğinden, jeoloji katmanının analizlere dahil edilmemesi çalışmanın bütünlüğüne ve açıklayıcılığına etkisi önemsizdir.

Pearson korelasyon katsayısı, yukarıda açıklandığı üzere karşılaştırılan ikili değişkenler arasındaki ilişkinin doğrusal olduğu varsayımına sahip olduğundan, yapılan bu çalışmada birbirini temsil edebilen gereksiz veri setlerinin kullanılmasının ve istatistiksel olarak yanlış yorumlamaların önüne geçilmesi için ilk aşamada çoklu eş-doğrusallık analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analizin sonuçları doğrultusunda bu çalışma kapsamında kullanılan açıklayıcı değişkenler arasında herhangi bir doğrusallık olmadığı gözlenmemiştir (Tablo 2). Bu nedenle bütün bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken olan jeotermal gradyana göre ilişkileri ayrı ayrı olarak Pearson korelasyon katsayısı ile ortaya konmuştur. Tablo 3 incelendiğinde, ikili karşılaştırmaların genelinde istatistiksel olarak anlamlı ($p < 0.05$) olduğu görülmektedir.

Tablo 2. Kullanılan bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki eş-doğrusallık analizi sonucu

Değişkenler Tolerans	Eş-doğrusallık İstatistiği	
	VIF	
Fay yoğunluğu	0.547	1.829
NDVI	0.853	1.172
b-Değeri	0.976	1.024
Eğim	0.456	2.191
Yükseklik	0.335	2.988
Graben Merkezine Uzaklık	0.706	1.416

Evans (1996) tarafından ortaya konulan derecelendirmeye göre Pearson korelasyon katsayı sonuçları değerlendirildiğinde, jeomorfolojik parametrelerin (eğim ve yükseklik) jeotermal gradyan ile orta derece güçlü bir pozitif ilişkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bunun en önemli nedeni sondaj parametrelerinin %72.5'lik bölümünün rakımın düşük ve eğimin az olduğu alüvyon birimlerin içerisinde yer almasıdır (Tablo 4). Ayrıca sonuçlar, gradyanın normalize edilmiş bitki fark indeksi ile orta derece güçlü negatif bir ilişkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Bunlar ile birlikte fay yoğunluğu ve graben merkezine uzaklık değişkenlerinin bağımlı değişken ile sırasıyla zayıf güçte pozitif ve negatif bir ilişki kurduğu gözlemlenmiştir. b-değeri ise diğerlerine göre jeotermal gradyan ile daha düşük güçte ilişkilidir.

Tablo 3. Pearson korelasyon katsayısı tablosu ve bunların tanısal değerleri

Değişkenler	Jeotermal Gradyan	P(< 0.05)
Fay yoğunluğu	0.266	0.007
NDVI	-0.413	0.000
b-Değeri	0.164	0.043
Eğim	0.501	0.000
Yükseklik	0.542	0.000
Graben Merkezine Uzaklık	-0.285	0.004

Tablo 4. Sondajların jeolojik birimlere göre dağılımı

Jeolojik Birimler	Frekans	Yüzde
Kuvaterner Sedimanlar	74	72.5
Menderes Metamorfikleri Çekirdek Kompleksi Sınırı	3	2.9
Miyosen Sedimanları Sınırı	11	10.8
Paleozoik Sedimanları Sınırı	2	2.0
Pliyosen Sedimanları Sınırı	12	11.8

KAYNAKLAR

- Akyol, N., Zhu, L., Mitchell, B., Sözbilir, H. & Kekovali, K., 2006. Crustal structure and local seismicity in western Anatolia. *Geophysical Journal International* 166, 1259–1269.
- Arslan, S., Akın, U., & Alaca, A. (2010). Gravite Verileri ile Türkiye'nin Kabuk Yapısının İncelenmesi. *MTA Dergisi*, 140, 57-73.
- Boullier, A.-M., Charoy, B., Pollard, P.J., 1994. Fluctuation in porosity and fluid pressure during hydrothermal events: textural evidence in the Emuford District, Australia. *J. Struct. Geol.* 16(10), 1417–1429.
- Bozkurt, E., & Park, R. G. (1997). Evolution of a mid-Tertiary extensional shear zone in the southern Menderes Massif, western Turkey. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 168(1), 3-14.
- Bozkurt, E. (2001). Neotectonics of Turkey—a synthesis. *Geodinamica acta*, 14(1-3), 3-30.
- Bozkurt, E., & Sözbilir, H. (2006). Evolution of the large-scale active Manisa Fault, Southwest Turkey: implications on fault development and regional tectonics. *Geodinamica Acta*, 19(6), 427-453.
- Calvin, W.M., Coolbaugh, M., Kratt, C., Vaughan, R. G., Calvin, W., 2005. Application of remote sensing technology to geothermal exploration. *Geological Survey of Nevada*.
- Carranza E.J.M., Wibowo, H., Barritt, S.D., Sumintadireja, P., 2008. Spatial data analysis and integration for regional-scale geothermal potential mapping, West Java, Indonesia. *Geothermics* 37, 267-299.
- Coolbaugh, M. F., Taranik, J. V., Rains, G. L., Shevenell, L. A., Sawatzky, D. L., Bedell, R., & Minor, T. B. (2002). A geothermal GIS for Nevada: defining regional controls and favorable exploration terrains for extensional geothermal systems. *TRANSACTIONS-GEOTHERMAL RESOURCES COUNCIL*, 485-490.
- Coolbaugh, M. F., & Shevenell, L. A. (2004). A method for estimating undiscovered geothermal resources in Nevada and the Great Basin. *Geothermal Resources Council Transactions*, 28, 13-18.
- Coolbaugh, M. F., Kratt, C., Fallacaro, A., Calvin, W. M., & Taranik, J. V. (2007). Detection of geothermal anomalies using advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER) thermal infrared images at Bradys Hot Springs, Nevada, USA. *Remote Sensing of Environment*, 106(3), 350-359.
- Curewitz, D., Karson, J.A., 1997. Structural settings of hydrothermal outflow: Fracture permeability maintained by fault propagation and interaction. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 79, 149 - 168.
- Duman, T.Y., Emre, Ö., Doğan, A., Özalp, T., & Elmacı, H. (2011). 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi. Pafta No: NJ35-11. Maden Tetkik Arama (MTA), Ankara-Turkey.
- Eberhard, D. (2014). Multiscale Seismicity Analysis and Forecasting: Examples from the Western Pacific and Iceland (Doctoral dissertation, Diss., Eidgenössische Technische Hochschule ETH Zürich, Nr. 21897).
- Elders, W.A., Bird, D.K., Williams, A.E., Schiffman, P., 1984. Hydrothermal flow regime and magmatic heat source of the Cerro Prieto geothermal system, Baja California, Mexico. *Geothermics* 13, 27 - 47.
- Embley, R.W., Chadwick, W.W., Jonasson, I.R., Butterfield, D.A., Baker, E.T., 1995. Initial results of the rapid response to the 1993 CoAxial event: Relationships between hydrothermal and volcanic processes. *Geophys. Res. Lett.* 22(2), 143–146.
- Eneva, M., Coolbaugh, M., Bjornstad, S., Combs, J., 2007. Detection of surface temperature anomalies in the Coso geothermal field using thermal infrared remote sensing. *Geothermal Resources Council Transactions*, 31, 335-340.

- Eneva, M., Coolbaugh, M. Combs, J., 2006. Application of satellite thermal infrared imagery to geothermal exploration in east central California. *Geothermal Resources Council Transactions*, 30, 407-411.
- EPDK, 2012. Elektrik piyasası raporu, 55p.
- Evans, J.D., 1996, *Straightforward statistics for the behavioral sciences*, Pacific Grove, CA: Brooks/Cole.
- Eyidoğan, H., Jackson, J.A., 1985. A seismological study of normal faulting in the Demirci, Alasehir and Gediz earthquake of 1969–1970 in western Turkey: Implications for the nature and geometry of deformation in the continental crust. *Geophys. J. Royal Astron. Soc.* 81, 569 - 607.
- Faulds, J.E., Hinz, N.H., Coolbaugh, M.F., Cashman, P.H., Kratt, C., Dering, G., Edwards, J., Mayhew, B., McLachlan, H., 2011. Assessment of favorable structural settings of geothermal systems in the Great Basin, Western USA. *Geothermal Resources Council Transactions* 35, 777-783.
- Ferrill, D.A., J.A. Stamatakos, S.M. Jones, B. Rahe, H.L. Mckague, R.H. Martin, A.P. Morris, Quaternary slip history of the Bare Mountain Fault (Nevada) from the morphology and distribution of alluvial fan deposits, *Geology* 24 (1996) 559–562.
- Gardner, J.K. and Knopoff, L. (1974). Is the Sequence of Earthquakes in Southern California, with Aftershocks Removed, Poissonian? *Bulletin of the Seismological Society of America*. 64, 1363-1367.
- Görür N., Şengör A.M.C., Sakıncı M., Tüysüz O., Akkök R., Yiğitbas, E., Oktay F.Y., Barka A.A., Sarıca N., Ecevitöğlü B., Demirbağ E., Ersoy Ş., Algan O., Güneysu C., Akyol A., Rift formation in the Gökova region, southwest Anatolia: implications for the opening of the Aegean Sea, *Geol. Mag.* 132 (1995) 637–650.
- Gutenberg, B., and Richter, C.F., 1949, *Seismicity of the Earth and Associated Phenomenon*, Princeton University Press, Princeton, New York.
- Gutenberg, B., Richter, C.F., 1954. Earthquake magnitude, intensity, energy and acceleration. *Bull. Seism. Soc. Amer.* 63, 501-516.
- Gürer, F. G., Sarıca-Filoreau, N., Özbüran, M., Sangu, E., & Doğan, B. (2009). Progressive development of the Büyük Menderes Graben based on new data, western Turkey. *Geol. Mag.* 1-22.
- Haldane, J. B. S. (1949). A note on non-normal correlation. *Biometrika*, 36, 467-468.
- Harte, J., 2011. Italy's Green Giant Enel to Tap Turkey's Geothermal Reserves.
- Haselwimmer, C., Prakash, A., 2013. Thermal Infrared Remote Sensing of Geothermal Systems. In *Thermal Infrared Remote Sensing*, 453-473.
- Henley, R.W., Brown, K.L., 1985. A practical guide to the thermodynamics of geothermal fluids and hydrothermal ore deposits. In: Berger, B.R., Bethke, P.M. (Eds.), *Geology and Geochemistry of Epithermal Systems*. *Rev. Econ. Geol.* 2, 25 - 43.
- Hogg, R.V., Craig, A.T., 1978. *Introduction to Mathematical Statistics*, Macmillan Publishing Co., Inc., Newyork.
- Holm, A., L. Blodgett, D. Jennejohn, and K. Gawell (2010). *Geothermal Energy: International Market Update*. The Geothermal Energy Association, Washington, DC, USA, 77 p. Available at: www.geo-energy.org/pdf/reports/
- Jeotermal Enerji Kurumu, 2012. *Geothermal: International marketoverview report*, Washington D.C., USA, 26p.
- Kahle, H.-G., M. Cocard, Y. Peter, A. Geiger, R. Reilinger, A.A. Barka, G. Veis, GPS-derived strain rate field within the boundary zones of the Eurasian, African, and Arabian Plates, *J. Geophys. Res.* 105 (2000) 23353–23370.

- Koçyiğit A., Yusufoglu H., Bozkurt E., Evidence from the Gediz graben for episodic two-stage extension in western Turkey, *J. Geol. Soc., London* 156 (1999) 605–616.
- Koçyiğit, A. (2015). An overview on the main stratigraphic and structural features of a geothermal area: the case of Nazilli- Buharkent section of the Büyük Menderes Graben, SW Turkey. *Geodinamica Acta*, 27:2-3, 85-109.
- Kowalski, C. J. (1972). On the effects of non-normality on the distribution of the sample product-moment correlation coefficient. *Applied Statistics*, 1-12.
- KRDAE, 2015, Deprem Kataloğu (<http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/earthquake-catalog/>, erişim tarihi, 01.08.2015)
- Lachenbruch, A.H., 1980. Frictional heating, fluid pressure, and the resistance to fault motion. *J. Geophys. Res.* 85, 6097 - 6112.
- MacKnight IV, R.B., Silver, E., Kennedy-Bowdoin, T., Pickles, W.L., Waibel, A., 2004. Remote sensing analysis of structure and geothermal potential of the Humboldt Block, Nevada. In *Geoscience and Remote Sensing Symposium, IEEE International* 1.
- Marques, J.M., Matias, M.J., Basto, M.J., Carreira, P.M., Aires-Barros, L.A., Goff, F.E., 2010. Hydrothermal alteration of Hercynian granites, its significance to the evolution of geothermal systems in granitic rocks. *Geothermics* 39, 152-160.
- Martel, S.J., Petersen, J.E., 1991. Interdisciplinary characterization of fracture systems at the USrBK Site, Grimsel Laboratory, Switzerland. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci., Geomech. Abstr.* 28(4), 295–323.
- McKenzie, D., 1978. Some remarks on the development of sedimentary basins. *Earth Planet. Sci. Lett.* 40, 25–32.
- Micklethwaite, S., Cox, S.F., 2004. Fault-segment rupture, aftershockzone fluid flow, and mineralization: *Geology* 32(9), 813-816.
- MTA, 2002, 1/500.000 Ölçekli Jeoloji Haritası, İzmir ve Denizli Paftaları.
- Noorollahi, Y., Itoi, R., Fujii, H., Tanaka, T., 2008. GIS integration model for geothermal exploration and well siting. *Geothermics* 37, 107-131.
- OECD, 2012. Economic outlook, Chapter 4: Medium and long-term scenarios for global growth and imbalances I, 34p.
- Özgüler, M.E., Turgay, C., Şahin, H., 1983. Geophysical studies in Denizli geothermal field. *MTA J.* 99–100:129–142 (in Turkish).
- Pearson, K., 1895, “Notes on regression and inheritance in the case of two parents, *Proceedings of the Royal Society of London*, 58, 240–242 ((20 June 1985).
- Person, M., Raffensperger, J.P., Ge, S., Garvin, G., 1996. Basin-scale hydrogeologic modeling. *Rev. Geophys.* 34(1), 61–87.
- Prol-Ledesma R.M., 2000. Evaluation of the reconnaissance results in geothermal exploration using GIS. *Geothermics* 29, 83–103.
- Rossi, M., Guzzetti, F., Reichenbach, P., Cesare, M.A. ve Silvia, P., “Optimal Landslide Susceptibility Zonation Based on Multiple Forecasts”, *Geomorphology*, Cilt 114, 129–142, 2010.
- Scholz, C.H., 1980. Shear heating and the state of stress on faults. *J. Geophys. Res.* 85, 6174 - 6184.
- Şengör A.M.C., Görür N., Şaroğlu F., Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study, in: Biddle K.T., Christie-Blick N. (Eds.), *Strike-slip Faulting and Basin Formation*, Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Sp. Pub., 37, 1985, pp. 227–264.

- Seyitoğlu G., Scott B., Late C., enozoic crustal extension and basin formation in west Turkey, *Geol. Mag.* 128 (1991) 155–166.
- Stepp, J.C., 1973. Analysis of completeness of the earthquake sample in the Puget Sound area. In *Contributions to seismic zoning: U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration Technical Report ERL 267-ESL 30* (edited by Harding, S. T.), 16-28.
- TEİAŞ, 2015. Türkiye elektrik enerjisi 10 yıllık üretim kapasitesi projeksiyonu (2011 kesinleştirilmiş verileriyle). AKP dairesi başkanlığı, 111p.
- Tüfekçi, N., Süzen, M.L., Güleç, N., 2010. GIS based geothermal potential assessment: A case study from Western Anatolia, Turkey. *Energy* 35, 246-261.
- Verge, N. J. (1995). Oligo-Miocene extensional exhumation of the Menderes Massif, western Anatolia. In *Terra abstracts* (Vol. 7, p. 117).
- Voulgaris, N., Parcharidis, I., Pahoula, M., Pirlis, E., 2004. Correlation of tectonic, seismicity and geothermics of Lesbos Island using remote sensing data and geographical information system. *Bulletin of the Geological Society of Greece* 36, 938-947.
- Wohletz, K., Heiken, G., 1992. *Volcanology and Geothermal Energy*. Univ. California Press, Berkeley and Los Angeles, CA, 432 p.
- Yousefi, H., Ehara, S., Noorollahi, Y., 2007. Geothermal potential site selection using GIS in Iran. *Thirty-Second Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, SGP-TR-183*.

YENİ VERİLER IŞIĞINDA BATI ANADOLU’NUN OLASI JEOTERMAL POTANSİYELİNİN GÜNCELLENMESİ

Servet Yılmaz

*Gayzer Yerbilimleri Ltd. Şti.
(gayzerservet@gmail.com)*

ÖZET

Batı Anadolu, Ülkemizde jeotermal kaynakların yoğunlaştığı bir bölümdür. Türkiye’nin olası jeotermal enerji potansiyeli bundan 45 yıl kadar önce MTA tarafından 31500 MWt olarak hesaplanmıştır. Aradan geçen süre içerisinde 2009 yılında tarafımızdan yeni bir hesaplama yapılmış ve Batı Anadolu’nun olası jeotermal potansiyeli 40550 MWt olarak saptanmıştır. Buradan hareketle Türkiye’nin olası jeotermal potansiyelinin 55000 – 60000 MWt arası bir düzeyde olabileceği belirtilmiştir. Türkiye’nin batısında bulunan 18 il için gerçekleştirilen bu çalışma son yıllarda hız kazanan derin sondaj verileri ışığında yeniden güncellenmiştir.

Batı Anadolu’nun olası jeotermal potansiyeli hesaplanırken, Batı Anadoluda bulunan tüm iller değerlendirmeye alınmış olmakla beraber esas olarak Aydın, Balıkesir, Bursa, Çanakkale, Denizli, İzmir, Kütahya, Manisa, Muğla, Sakarya, Afyon Uşak, ve Yalova ön plana çıkmıştır. Yapılan potansiyel hesaplamalarında yararlanılan en düşük su sıcaklık değeri 35°C olarak alınmıştır. Diğer taraftan hazne kaya sıcaklıkları olarak sondajlarda ölçülen en yüksek sıcaklıklar esas alınırken, sondaj olmayan bölgelerde doğal kaynak sıcaklıkları hazne kaya sıcaklığı olarak kabul edilmiştir. Hesaplamalarda kullanılan sıcaklık, rezervuar kalınlığı ve porazite gibi parametrelerin belirlenmesinde olabildiğince titiz hareket edilmiştir. Değişkenlerden hiç birisi abartılmadan gerçek değerlerin verilmesine gayret edilmiştir. Böylece hesaplanan olası jeotermal potansiyel değerlerinin gerçeğe daha yakın olması hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Batı Anadolu, jeotermal enerji, potansiyel

WESTERN ANATOLIA'S POSSIBLE GEOTHERMAL POTENTIAL UNDER THE LIGHT OF UPDATED DATA

Servet Yilmazer

*Gayzer Geoscience Inc.
(gayzerservet@gmail.com)*

ABSTRACT

Western Anatolia is a region where geothermal potential is densely located. 45 years ago, by MTA, the possible geothermal potential of Turkey was calculated to be as 31500 MWt. In 2009, Yilmazer carried out another survey and Western Anatolia's (including 18 city) geothermal potential was reported to be 40550 MWt. Based on this result, Turkey's possible geothermal potential is calculated and reported to be in between 55000 – 60000 MWt. The possible geothermal potentials reported and calculated above for the previous years, are updated with the help of deep drilling data that are obtained in the latest years.

During the calculation of Western Anatolia's possible geothermal potential the following cities are considered: Afyon, Usak, Aydin, Balikesir, Bursa, Canakkale, Denizli, Izmir, Kutahya, Manisa, Mugla, Sakarya and Yalova.

For these calculations, the lowest temperature limit is taken as 35 °C. On the other hand, as the temperature of reservoir rocks, the highest temperature data measured from the drillings are assigned. For the regions that drilling has not been performed, the temperatures of the natural hot springs are taken as the temperatures of the reservoir rocks.

For the goal of obtaining a high precision report for the Western Anatolia's possible geothermal potential, the parameters that are used in the calculations, such as, temperature, reservoir thickness and porosity are cautiously treated.

Keywords: *Western Anatolia, geothermal energy, potential.*

1. GİRİŞ

Batı Anadolu, Türkiye'nin batısını oluşturan coğrafi bir bölgedir. Bu bölge aynı zamanda jeotermal kaynakların yoğunlaştığı bir kısımdır. Türkiye'nin olası jeotermal enerji potansiyeli bundan 40 yıl önce 31500 MWt olarak hesaplanmıştır. Geçen zaman içerisinde ülkemizde pek çok araştırma ve sondaj çalışmaları yapılmıştır. Buradan hareketle, Batı Anadolu'da bulunana jeotermal alanlar ve gelişmeler değerlendirilerek 2009 yılında Türkiye'nin muhtemel jeotermal potansiyeli tarafımızdan 55-60000 MWt olarak hesaplanmıştır. Ülkemizde 2007 den bu yana jeotermal çalışmalar büyük bir sıçrama yapmıştır. Bu nedenle 2009 yılında verilen Türkiye muhtemel jeotermal potansiyelinin yeniden güncellenmesi gerekli olmuştur. Bu noktadan hareketle Batı Anadolu'da bulunan 18 il için olası jeotermal potansiyel hesaplamaları 2015 yılında yeniden güncellenmiştir (Şekil 1).

Batı Anadolu'nun olası jeotermal potansiyelinin hesaplanmasında kullanılan parametreler (alan, ölçülen sıcaklık, son kullanm sıcaklığı, rezervuar kalınlığı) her saha için ayrı ayrı titiz bir şekilde belirlenmiştir. Değişkenlerden hiç birisi abartılmadan, çoğu kez gerçek değerinin altında seçilmiştir. Böylece hesaplanan olası potansiyel değerleri ile olabilecek en gerçekçi sonuç verilmeye çalışılmıştır.

2. MUHTEMEL POTANSİYEL HESAPLAMA YÖNTEMİ

Batı Anadolu'nun muhtemel jeotermal potansiyelinin hesaplanmasında, Hochstein, M.P.,1975, Geophysical exploration of the Kawah Kamajang geothermal field. W.Jawa.Proc.2 nd UN symposium on Development of geothermal resources, 1049-10580 çalışmasından ve Westjec Japan Engineering Consultants, INC) şirketinin Türkiye'de yaptığı (The Feazibility Study on Geotermal and Fresh Water Reseource Survey for İzmir District Heating System and on (Manisa, Salihli, Turgutlu, Balıkesir, Susurluk, Bigadiç) District Heating Systems For Surrounding Municipalities in Turkey, Japon External Trade Organization (JETRO) March of international Trade and Industry, WESTJEC (West Japon Engineering İng Consultants, İNC), çalışmalarından yararlanılmıştır.

Hochstein,M.P.,1975 tarafından verilen formül aşağıda işaretlenmiştir.

$$MW_t = \frac{(A \cdot 10^9 \cdot TH)(Tr \cdot Tf) \left((1 - \Phi) \cdot prCpr + \Phi pwCpw \right) 0,3 \times 0,95 \times 0,000000278}{25 \times 365 \times 24}$$

Bu formüle ilişkin parametreler ve birimleri aşağıdaki gibidir.

A:Area	km ²
TH:Thickness	km
Tr:Reservoir Temperature	°C
Tf:Final Temperature	35 °C
Φ:Porosity	0.1
pw:Density of geothermal water	900 kg/m ³
pr:Density of Rock	2600 kg/m ³
Cpw:Specific Heat of geothermal water	4.2 kJ/kg°C
Cpr:Specific Heat of Rock	0.8 kJ/kg°C
RF:Recovery Factor	0.3
CE:Conversion Efficiency	0.95
DP:Development Period	25 years
STORED HEAT	0.000.E+00 kJ 0.000E+00 kJ
THE CAPACITY OF THE RESERVOIR	0.0 MWth

A	: Area	– Rezervuar Alanı
TH	: Thickness	– Rezervuar Kalınlığı
Tr	: Reservoir Temperature	– Rezervuar Sıcaklığı
Tf	: Final Temperature	– Suyun son kullanım Sıcaklığı
Φ	: Porosity	– Gözeneklilik
pw	: Density of geothermal water	– Jeotermal suyun yoğunluğu
pr	: Density of Rock	– Kayaç yoğunluğu
Cpw	: Specific Heat of geothermal water	– Jeotermal suyun özgül ısı
Cpr	: Specific Heat of Rock	– Kayacın özgül ısı
RF	: Recovery Factor	– Kurtarım Faktörü
CE	: Conversion Efficiency	– Çevrim Faktörü
DP	: Development Period	– Proje Süresi
Stored Heat		– Depolanmış Isı
The Capacity of the Reservoir		–Rezervuar Kapasitesi (Muht. potansiyel)
Load Factor		–Yük Faktörü

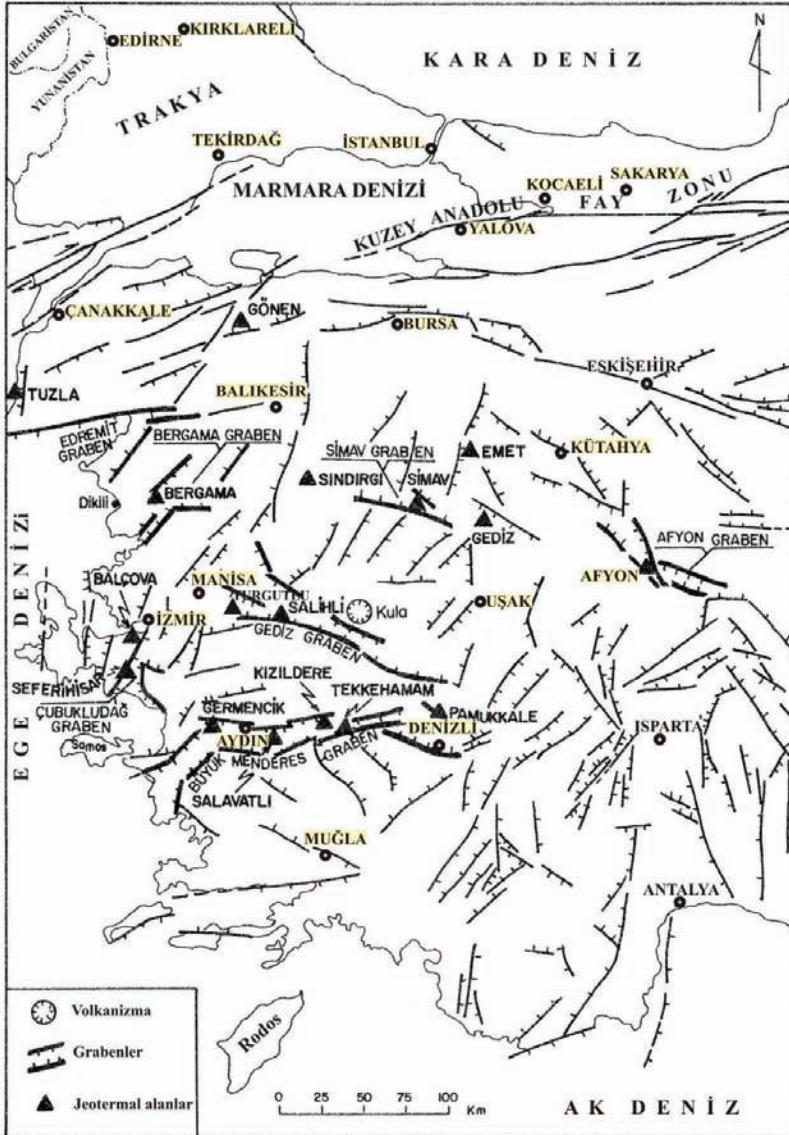
Bu çalışmada, rezervuar kapasitesi muhtemel potansiyel olarak kabul edilmiş olup, hesaplamalarımızda tabloda verilen parametreler kullanılmıştır. Böylece rezervuar kayanın ısı kapasitesi(-muhtemel potansiyel) bulunmaktadır. Bu sonuç görünür potansiyele daha yakın bir değer ifade etmekle birlikte, rezervuar alanı, rezervuar kalınlığı ve porazite gibi parametrelerde yüzde yüz homojenlik olamayacağından dolayı muhtemel potansiyel olarak kabul edilmiştir.

Bu araştırmada hesaplama yapılan alanın seçiminde jeoloji, tektonik, hidrotermal alterasyon, jeofizik sonuçlar ve jeotermal sondaj verilerinden yararlanılmıştır. Bu nedenle hesaplama için seçilen alanlar oldukça gerçekçi olmuştur. Hesaplamalarda gerçek rezervuar sıcaklığı yerine,

04-06 Kasım 2015 Ankara

ölçülen en yüksek rezervuar sıcaklığı alınmıştır. Sıcak suyun son kullanım sıcaklığı ise 35 °C olarak seçilmiştir.

Rezervuar kalınlığının belirlenmesinde, sıcaksuyu veren veya verebilecek konumda olan formasyonların oluşturduğu ortamlar esas alınmıştır. Rezervuarın porozitesi formülde verildiği şekilde 0.1 olarak kabul edilmiştir. Burada 0.1 olarak kabul edilen porozite değerinden daha küçük kabullerle hesaplamalar tekrarlanmış ancak sonuç çok değişmemiştir. Bu çalışmada parametrelerin derlenmesinde MTA kaynaklarından, Özel sektör çalışmalarından ve kendi çalışmalarımızdan yararlanılmıştır.



Şekil 1: İnceleme alanı yer bulduru haritası.

3. İLLERİN OLASI JEOTERMAL POTANSİYELLERİ

Batı Anadolu'nun olası jeotermal potansiyelinin hesaplanmasında, Türkiye'nin batısında bulunan 18 il seçilmiştir. Bu iller Afyon, Aydın, Balıkesir, Bursa, Çanakkale, Denizli, Edirne, İstanbul, İzmir, Kırklareli, Kütahya, Manisa, Muğla, Sakarya, Tekirdağ, Uşak ve Yalova'dır. Burada işaret edilen illerden 5 tanesinde (Edirne, İstanbul, Kırklareli, Kocaeli, Tekirdağ) bulunan jeotermal kaynakların sıcaklıkları 35°C'nin altında olduğundan değerlendirmeye alınmamıştır. Bunun dışında kalan 13 il'e ait (Şekil. 1) olası jeotermal potansiyel hesaplamaları Tablo.1, 2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13 te ayrı ayrı aşağıda verilmiştir. Aynı şekilde 13 il'in sıcak su kaynaklarının dağılımı da Şekil.2,3' te işaret edilmiştir.

Tablo 1: Afyon ili jeotermal kaynakların olası jeotermal potansiyelleri

İL	Jeotermal Alanın Adı	Yüzey Alanı (km ²)	Kuyu-Kaynak Ölçülen Sıcaklık (°C)	Son Kullanım Sıcaklığı (°C)	Rezervuar Kalınlığı (km)	Olası Potansiyel (MWt)
AFYON	Ömer-Gecek Kızık	6	96	35	0.4	119
	Gazlıgöl	4	74	35	0.4	51
	Heybeli Çay	4	56	35	0.3	20
	Sandıklı	10	76	35	0.4	134
1	OLASI TOPLAM POTANSİYEL					324

Tablo 2: Aydın ili jeotermal kaynakların olası jeotermal potansiyelleri

İL	Jeotermal Alanın Adı	Yüzey Alanı (km ²)	Kuyu-Kaynak Ölçülen Sıcaklık (°C)	Son Kullanım Sıcaklığı (°C)	Rezervuar Kalınlığı (km)	Olası Potansiyel (MWt)
AYDIN	Ortakçı - Horsunlu	50	161	35	0.5	2564
	Pamukören-Kuyucak	50	191	35	0.5	3175
	Nazilli çevresi	60	127	35	0.5	2246
	Atça-İsabaylı	40	124	35	0.5	1489
	Sultanhisar-Salavatlı	60	185	35	0.5	3663
	Köşk-Umurlu	80	180	35	0.5	4721
	Aydın-İncirliova	100	18	35	0.5	5901
	Ömerbeyli	40	240	35	0.5	3337
	Bozköy-Hıdırbeyli	50	180	35	0.5	2950
	Ortaklar-Gümüüş	40	178	35	0.5	2328
	Davutlar-Kuşadası	20	60	35	0.5	203
	Söke-Bağarası	50	80	35	0.5	916
	Üzümlü-Turanlı	80	150	35	0.5	3745
2	OLASI TOPLAM POTANSİYEL					37238

Tablo 3: Balıkesir ili jeotermal kaynakların olası jeotermal potansiyelleri.

İL	Jeotermal Alanın Adı	Yüzey Alanı (km ²)	Kuyu-Kaynak Ölçülen Sıcaklık (°C)	Son Kullanım Sıcaklığı (°C)	Rezervuar Kalınlığı (km)	Olası Potansiyel (MWt)
BALIKESİR	Edremit-Güre	10	58	35	0.3	56
	Havran-Devran	6	65	35	0.3	44
	Gönen	10	84	35	0.3	120
	Kepekler	3	64	35	0.3	21
	Kızık	2	50	35	0.2	5
	Balya	3	60	35	0.3	18
	Pamukçu	3	58	35	0.3	17
	Hisaralan	4	107	35	0.4	94
	Bigadiç-Hisarköy	2	98	35	0.3	31
	Susurluk	3	85	35	0.3	36
	Pelitköy-Uyuz-Ayvalık-İvrindi-Kepsut- Susurluk Gökçeler-Ömerköy-Emendere	-	<35	Değerlendirmeye alınmadı		
3	OLASI TOPLAM POTANSİYEL					442

Tablo 4: Bursa ili jeotermal kaynakların olası jeotermal potansiyelleri

İL	Jeotermal Alanın Adı	Yüzey Alanı (km ²)	Kuyu-Kaynak Ölçülen Sıcaklık (°C)	Son Kullanım Sıcaklığı (°C)	Rezervuar Kalınlığı (km)	Olası Potansiyel (MWt)
BURSA	Kaynarca	3	88	35	0.3	39
	Dümbüldek	3	51	35	0.3	12
	Inegöl Oylat	2	40	35	0.2	2
	Orhaneli	2	64	35	0.2	9
	Osmangazi-Gemlik	-	<35	Değerlendirmeye alınmadı.		
4	OLASI TOPLAM POTANSİYEL					62

Tablo 5: Çanakkale ili jeotermal kaynakların olası jeotermal potansiyelleri

İL	Jeotermal Alanın Adı	Yüzey Alanı (km ²)	Kuyu-Kaynak Ölçülen Sıcaklık (°C)	Son Kullanım Sıcaklığı (°C)	Rezervuar Kalınlığı (km)	Olası Potansiyel (MWt)
ÇANAKKALE	Yenice Hıdırlar-Uyuz	10	84	35	0.5	199
	Tuzla	10	174	35	0.5	566
	Ezine Kestenbol	6	75	35	0.5	98
	Çan	2	49	35	0.2	3
	Biga-Kırgeçit	10	58	35	0.5	94
	Çan-Etili-Tepeköy-Bardakçılar	10	60	35	0.3	61
	Küçük Çetmi-Lapseki- Bayramiç	-	<35	Değerlendirmeye alınmadı		
5	TOPLAM POTANSİYEL					1021

Tablo 6: Denizli ili jeotermal kaynakların olası jeotermal potansiyelleri

İL	Jeotermal Alanın Adı	Yüzey Alanı (km ²)	Kuyu-Kaynak Ölçülen Sıcaklık (°C)	Son Kullanım Sıcaklığı (°C)	Rezervuar Kalınlığı (km)	Olası Potansiyel (MWt)
DENİZLİ	Kızıldere	20	240	35	1	3337
	Tekkehamam-Sarayköy	20	168	35	0.6	1299
	Bölmekaya	10	85	35	0.5	203
	Yenice-Kamara	5	67	35	0.5	65
	Gölemezli	5	88	35	0.5	108
	Karahayıt-Pamukkale	10	60	35	0.5	102
6	TOPLAM POTANSİYEL					5114

Tablo 7: İzmir ili jeotermal kaynakların olası jeotermal potansiyelleri

İL	Jeotermal Alanın Adı	Yüze Alanı (km ²)	Kuyu-Kaynak Ölçülen Sıcaklık (°C)	Son Kullanım Sıcaklığı (°C)	Rezervuar Kalınlığı (km)	Olası Potansiyel (Mwt)
İZMİR	Bayındır-Torbalı Kemalpaşa	20	60	35	0.5	203
	Menderes-Ürkmaz Gümüldür	30	140	35	0.5	1282
	Seferihisar-Cumalı Karakoç Doğanbey	20	153	35	0.5	960
	Çeşme-Şifne-İldır Alaçatı	20	60	35	0.3	122
	Balçova-Narlıdere Güzelbahçe	20	140	35	0.5	855
	Dikili çevresi Kaynarca Nebiler Bademli çevresi	20	130	35	0.5	773
	Karşıyaka-Çiğli Bayraklı	20	77	35	0.5	342
	Aliağa ve çevresi	10	96	35	0.5	248
	Menemen çevresi	10	56	35	0.3	51
	Bergama çevresi	15	65	35	0.3	110
7	OLASI TOPLAM POTANSİYEL					4946

Tablo 8 : Kütahya ili jeotermal kaynakların olası jeotermal potansiyelleri

İL	Jeotermal Alanın Adı	Yüze Alanı (km)	Kuyu-Kaynak Ölçülen Sıcaklık (°C)	Son Kullanım Sıcaklığı (°C)	Rezervuar Kalınlığı (km)	Olası Potansiyel (Mwt)
KÜTAHYA	Simav-Eynal-Naşa-Çitgöl	10	162	35	0.5	517
	Gediz-Abide-	4	97	35	0.3	60
	Şaphane	4	181	35	0.5	238
	Muratdağ	1	39	35	0.2	1
	Yoncalı-Geven	4	55	35	0.5	33
	Emet	4	49	35	0.3	14
	Hisarcık	2	51	35	0.2	8
	Emet Yeniceköy	1	41	35	0.2	1
	Emet Dereli	1	42	35	0.5	1
	Ilıca Harlek	1	41	35	0.2	1
	Göbel	-	<35	Değerlendirmeye alınmadı		
8	OLASI TOPLAM POTANSİYEL					874

Tablo 9: Manisa ili jeotermal kaynakların olası jeotermal potansiyelleri

İL	Jeotermal Alanın Adı	Yüze Alanı (km ²)	Kuyu-Kaynak Ölçülen Sıcaklık (°C)	Son Kullanım Sıcaklığı (°C)	Rezervuar Kalınlığı (km)	Olası Potansiyel (MWt)
MANISA	Sarıgöl- Alaşehir	150	60	35	0.5	1526
	Alaşehir-Kavaklıdere arası	90	287	35	0.5	9230
	Kavaklıdere-Salihli arası	120	200	35	0.5	8058
	Salihli-Ahmetli arası	100	100	35	0.5	2645
	Ahmetli-Urganlı	40	90	35	0.5	895
	Yılmaz Taytan arası	100	150	35	0.5	2238
	Kula çevresi	6	65	35	0.5	73
	Borlu-Saraycık	6	75	35	0.5	98
	Menteşe	2	60	35	0.5	20
9	OLASI TOPLAM POTANSİYEL					24783

Tablo 10: Muğla ili jeotermal kaynakların olası jeotermal potansiyelleri.

İL	Jeotermal Alanın Adı	Yüze Alanı (km ²)	Kuyu-Kaynak Ölçülen Sıcaklık (°C)	Son Kullanım Sıcaklığı (°C)	Rezervuar Kalınlığı (km)	Olası Potansiyel (MWt)
MUĞLA	Köyceğiz-Sultaniye	4	41	35	0.3	6
	Yarağan Bozhüyük	1	37	35	0.2	0.3
	Fethiye Girmeler	2	42	35	0.3	3.5
	Bodrum Karada Gebeler Ortaca-Dutçu		<35		Değerlendirmeye alınmadı	
10	OLASI TOPLAM POTANSİYEL					10

Tablo 11: Sakarya ili jeotermal kaynakların olası jeotermal potansiyelleri

İL	Jeotermal Alanın Adı	Yüzey Alanı (km ²)	Kuyu-Kaynak Ölçülen Sıcaklık (°C)	Son Kullanım Sıcaklığı (°C)	Rezervuar Kalınlığı (km)	Olası Potansiyel (MWt)
SAKARYA	Akyazı Kuzuluk	4	84	35	0.5	80
	Taraklı	2	41	35	0.2	2
	Gevye		<35	Değerlendirmeye alınmadı		
11	OLASI TOPLAM POTANSİYEL					82

Tablo 12: Uşak ili jeotermal kaynakların olası jeotermal potansiyelleri

İL	Jeotermal Alanın Adı	Yüzey Alanı (km ²)	Kuyu-Kaynak Ölçülen Sıcaklık (°C)	Son Kullanım Sıcaklığı (°C)	Rezervuar Kalınlığı (km)	Olası Potansiyel (MWt)
UŞAK	Banaz	2	72	35	0.3	18
	Emirfakı, Ulusaz	2	37	35	0.3	1
12	TOPLAM POTANSİYEL					19

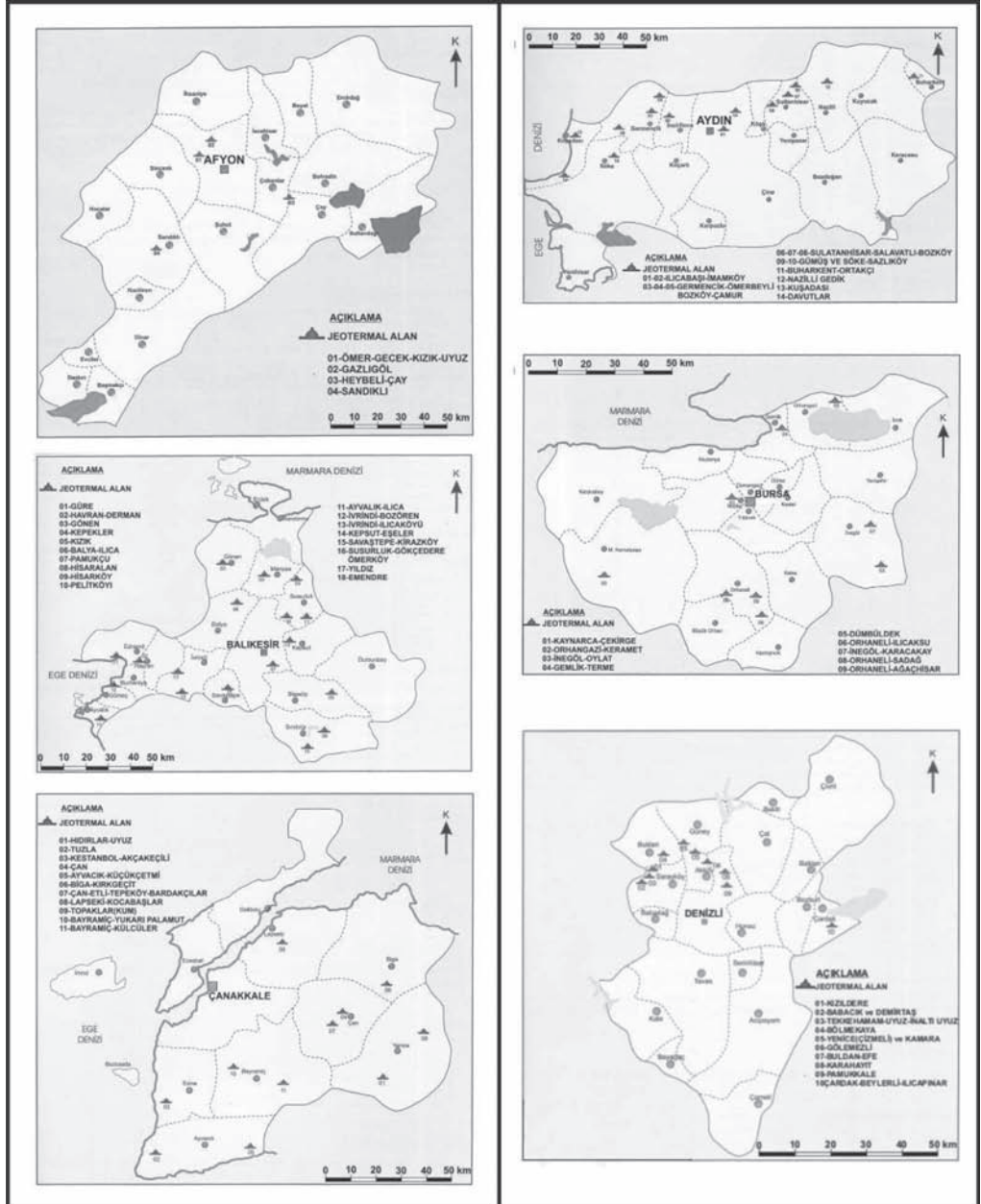
Tablo 13: Yalova ili jeotermal kaynakların olası jeotermal potansiyelleri

İL	Jeotermal Alanın Adı	Yüzey Alanı (km ²)	Kuyu-Kaynak Ölçülen Sıcaklık (°C)	Son Kullanım Sıcaklığı (°C)	Rezervuar Kalınlığı (km)	Olası Potansiyel (MWt)
YALOVA	Termal	4	66	35	0.3	30
	Armutlu	3	66	35	0.3	23
13	TOPLAM POTANSİYEL					53

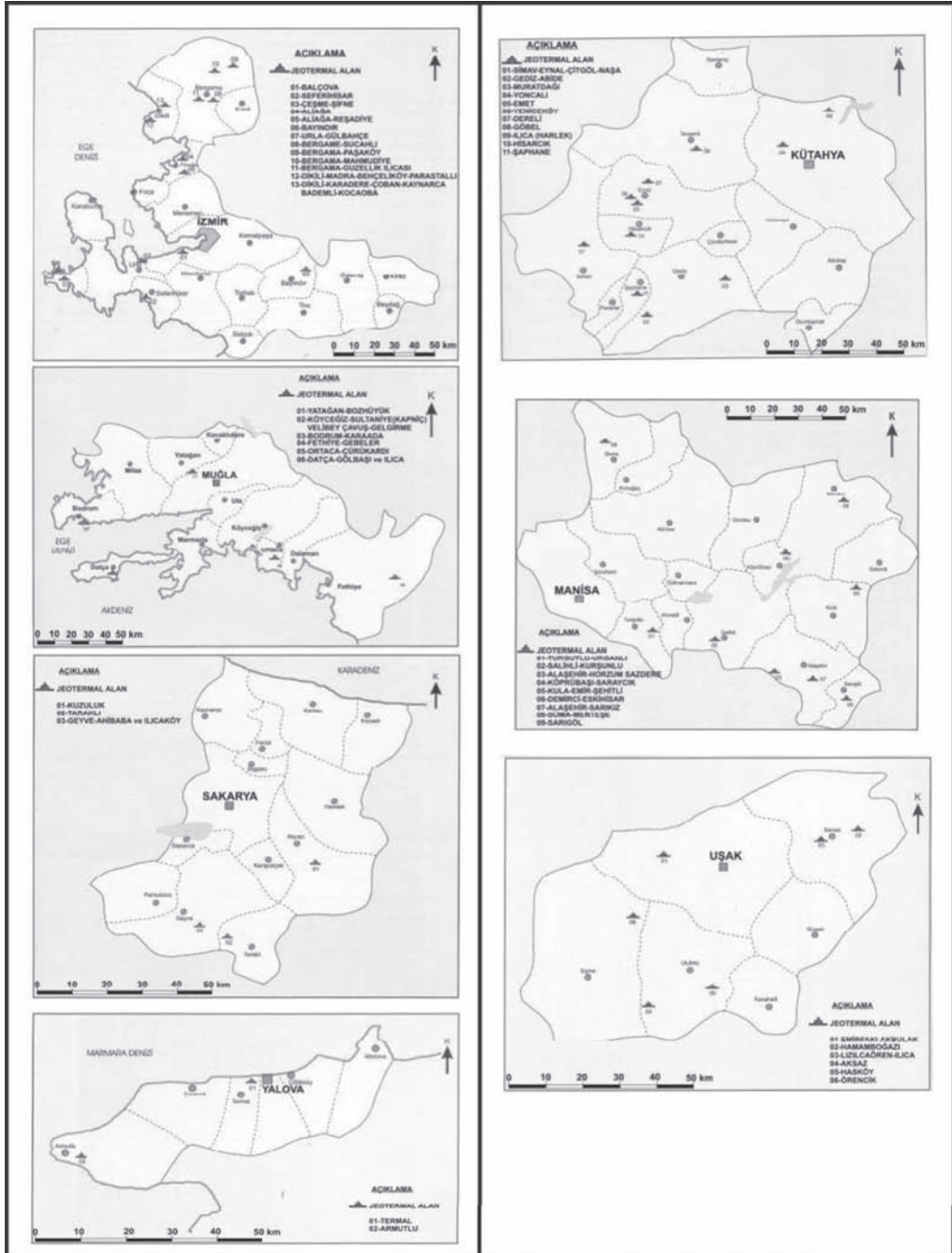
Tablo 14: 13 il için hesaplanan muhtemel potansiyeller

İLLER	HESAPLANAN TOPLAM MUHTEMEL POTANSİYEL
AFYON	324 MW _t
AYDIN	37283 MW _t
BALIKESİR	442 MW _t
BURSA	62 MW _t
ÇANAKKALE	1021 MW _t
DENİZLİ	5114 MW _t
İZMİR	4946 MW _t
KÜTAHYA	874 MW _t
MANİSA	24783 MW _t
MUĞLA	10 MW _t
SAKARYA	82 MW _t
UŞAK	19 MW _t
YALOVA	53 MW _t
13 İL TOPLAMI	76846 MW_t

04-06 Kasım 2015 Ankara



Şekil 2: Afyon, Aydın, Balıkesir, Bursa, Çanakkale, Denizli illerine ait jeotermal alanlar.



Şekil 3: İzmir, Kocaeli, Muğla, Manisa, Sakarya, Uşak, Yalova illerine ait jeotermal alanlar

4. SONUÇLAR

Bu araştırma, Türkiye'nin batısında bulunan 18 il'i kapsamaktadır. Batı Anadolu'nun olası jeotermal potansiyeli hesaplanırken, alt kullanım sıcaklık değeri 35 °C olarak alınmıştır. Bu nedenle, Batı Anadolu'da bulunan ve kaynak sıcaklıkları 35°C'nin altında kalan Edirne, İstanbul, Kırklareli, Kocaeli ve Tekirdağ illeri değerlendirme dışı bırakılmıştır.

En düşük alt kullanım sıcaklığı 35°C'nin üzerinde olan Afyon, Aydın, Balıkesir, Bursa, Çanakkale, Denizli, Kütahya, Manisa, Muğla, Sakarya, Uşak, Yalova olmak üzere toplam 13 il için olası jeotermal potansiyel hesaplanmıştır. Batı Anadolu'nun olası jeotermal potansiyelinin hesaplanmasında belirlenen her jeotermal saha için, sondaj yapılmamış yerlerde kaynak sıcaklıkları ile sondaj yapılan bölgelerde en yüksek kuyu sıcaklıkları bu çalışmada hazne kaya sıcaklığı kabul edilmiştir. Ayrıca her jeotermal alan için, alanın yüzeysel dağılımı ve rezervuar kalınlıkları belirlenmiştir. Burada işaret edilen yüzeysel alan ve rezervuar kalınlığının belirlenmesinde jeoloji, tektonik, hidrotermal alterasyon ve jeofizik veriler esas alınmıştır.

Yine bu çalışmada olası jeotermal potansiyelin hesaplanmasında kullanılan parametreler (alan, ölçülen sıcaklık, son kullanm sıcaklığı, rezervuar kalınlığı) her saha için ayrı ayrı titiz bir şekilde belirlenmiştir. Değişkenlerden hiç birisi abartılmadan, çoğu kez gerçek değerinin altında seçilmiştir. Böylece hesaplanan olası potansiyel değerleri ile olabilecek en gerçekçi sonuç verilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada parametrelerin derlenmesinde MTA kaynaklarından, Özel sektör çalışmalarından ve kendi çalışmalarımızdan yararlanılmıştır.

Batı Anadolu için yapılan yeni değerlendirme ve hesaplamalardan sonra olası jeotermal potansiyel 76846 MW_t olarak bulunmuştur. Buradan hareketle, Türkiye jeotermal potansiyelinin %70'i Batı Anadolu'da bulunduğu göz önüne alınırsa, Türkiye'nin olası jeotermal potansiyeli 109780 MW_t bir düzeyde olmalıdır.

5. KAYNAKÇA

- The Feasibility Study on Geothermal and Fresh Water Resource Survey for İzmir District Heating System and on (Manisa, Salihli, Turgutlu, Balıkesir, Susurluk, Bigadiç) District Heating Systems for Surrounding Municipalities in Turkey, Japan External Trade Organization (JETRO), March 2000, Commissioned by the Ministry of International Trade and Industry, WEST JEC (West Japan Engineering Consultants, INC.).
- HOCHSTEIN, M.P.,1975,Geophysical exploration of the Kawah Kamajang geothermal field. W.Java. proc. 2 nd UN symposium on development of geothermal resources, 1049-10580.
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, "Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri", M.T.A, Envanter Serisi-201, Ankara, (2005).
- Pasvanoğlu S.,2015, The Seben-Kesenözü low temperature geothermal prospect. NW Turkey:study of an advective geothermal system. Environmental earth science. DOI 10.1007/s 12665-015-4041-3.
- Şimşek Ş., Güleç, N., "Geothermal Fields of Western Anatolia", International Volcanological Congress, Excursion Guide, IAVCEI, Ankara, s.7, 17-22 Eylül (1994).
- Yılmaz, S., "Batı Anadolu'nun Görünür Jeotermal Enerji Potansiyeli ve Değerlendirilmesi", Türkiye 7. Enerji Kongresi, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, O.D.T.Ü. Kültür ve Kongre Merkezi, Cilt: 3, Ankara, s.219-231, 3-8 Kasım (1997).
- Yılmaz, S., "İzmir ilinin Jeotermal Potansiyel Değerlendirilmesi", Yerel Gündem 21, İzmir, 17 Eylül (2008).
- Yılmaz, S., "Kentimizde Jeotermal Enerjinin Anlamı ve Değerlendirilmesi", İzmir Kent Sempozyumu, TMMOB Tepekule Kongre ve Sergi Merkezi, İZMİR, s.155-161, 8-10 Ocak (2009).
- Yılmaz, S., 2009, Batı Anadolu'nun Olası Jeotermal Potansiyelinin Belirlenmesi. Türkiye 11.Enerji kongresi ve Sergisi. Tepekule kongre ve sergi merkezi İZMİR

KONTROLSÜZ BLOW-OUT YAPAN JEOTERMAL KUYULAR TEHLİKELERİ, SEBEPLERİ VE ZARARLARI

İ. Hakkı Karamanderesi

*İkiçeşmelik Mah. Haspolat Yapı Koop. Güneş Sokak No:23/E D:6 Kuşadası-AYDIN
(h.karamanderesi@gmail.com)*

ÖZ

Bursa ili Çekirge kaplıcaları çevresinde, Bursa İli Emniyet Müdürlüğü tarafından yaptırılmakta olan “Emniyet Müdürlüğü Rehabilitasyon Tesisleri’ne” sıcak su sağlamak amacı ile bir adet sondaj yaptırılmıştır. Yapılan sondaj jeotermal kuyusu olduğu halde kuyu jeologunun bulunmadığı ve jeotermal sondaj tekniği uygulanmadığı bilinmektedir. Bunun sonucunda Bursa-Uludağ jeotermal sistemi üst boşalım bölgesindeki en düşük basınçlı zon delinerek sistemin doğal dengesi bozulmuştur. Bu denge bozulumu sonucu kontrolsüz blow-out ile Bursa Uludağ jeotermal sisteminin normal doğal boşalımı da bozulmuştur. Böylece doğal kaynaklardan beslenen termal otellerin sıcak su temin etme sistemi de göçürülmüştür. Bu sondajın yapılması sırasında gerçekleştirilen hatalar ve ülkemizdeki hukuksal boşluk, Bursa ilinde yönetim ile termal turizm işletmecilerini karşı karşıya getirmiştir.

2008 yılında Türkiye Jeotermal Enerji Kanunu çıkarıldı. Bu kanun çıkışı ile beraber Türkiye’de Jeotermal enerji yatırımları hız kazandı. Yapılan sondajlarda kuyu jeolojisi uygulamalarındaki hatalar telafisi mümkün olmayan zararlara sebep olmuştur. Bunlardan en önemlisi Alaşehir Alkan kuyusu 100-200 dönüm bir araziye tahrip etmiştir. Kurtarılması için ilave bir kuyu delinmesine rağmen bu kuyu kapatılamamıştır. Buna benzer kuyu örneği Ağrı Diyadin’de bir kuyuda 100 lt/sn debi ile kontrolsüz üretim yıllarca devam etmiş ve etmektedir. Bu makale bu konudaki bilinen diğer örnekleri ve teknolojilerin doğru uygulanmasının önemini anlatmaktadır.

Anahtar Kelimeler. Bursa, jeotermal sistem, kontrolsüz üretim, Alaşehir Alkan, Jeotermal Enerji Kanunu.

THREAT AND DAMAGE, CAUSES OF UNCONTROLLABLE BLOW-OUT IN GEOTHERMAL WELL

İ. Hakkı Karamanderesi

(h.karamanderesi@gmail.com)

ABSTRACT

A drilling was applied to supply hot water exposed around Çekirge Thermal Spring for Security Directorate Rehabilitation Foundation which is being constructing by Security Directorate of Bursa. Though the borehole had a geothermal origin, it is known that neither a drilling engineer existed nor a geothermal drilling technique was carried out. Therefore, Bursa-Uludağ Geothermal system's environmental equilibrium was disturbed due to the drilling the least pressure zone of the upper eject area of the system. As a result of this equilibrium disruption, Bursa-Uludağ geothermal system's natural discharge disturbed by unchecked blow-out. Thus, the system of assuring hot water by thermal hotels which are feeding from the natural sources was collapsed as well.

Turkey Geothermal Energy Law was legislated in 2008. Together with this law geothermal energy investments had gained momentum in Turkey. Faulty applications during the drilling process caused irreparable damages. The most important of these which is Alaşehir Alkan Well destroyed 100 to 200 acres of land. Although drilled a new well, this well could not close. In addition, these events another well in Ağrı Diyadin uncontrolled production flow rate with 100lt/sec continue to damage the geothermal system for many years. This article explains the examples about this subject and importance of the proper application of technology.

Keywords: Bursa, geothermal systems, blow-out, Alaşehir-Alkan, Geothermal Eenergy Law.

GİRİŞ

Türkiye’de Jeotermal enerji araştırmaları 1962 yılında MTA Enstitüsü Genel Müdürü Sadrettin ALPAN tarafından başlatılmıştır. 1962 Yılında İzmir-Balçova jeotermal sahasında yapılan araştırma ve sondaj çalışmaları ile 1963 yılında 40m derinliğindeki kuyudan 124°C sıcaklığındaki ilk jeotermal akışkan üretilmiştir (Şamilgil, 1964). 1968 yılında Birleşmiş Milletler Geliştirme projesi çerçevesinde Denizli –Kızıldere jeotermal projesi ile KD-1 kuyusu delindi (Erentöz, ve Ternek, 1968). 1969 yılında katılmış olduğumuz bu proje ile jeotermal enerji konusuna katıldık. Bu konu sırasında kendi çalıştığımız sahalarda veya diğer meslektaşlarımızın çalıştığı sahalarda birçok gözlemimiz oldu.

2008 Yılında çıkarılan 5686 sayılı Jeotermal Enerji kanununun çıkarılmasından önce ve sonra Jeotermal enerji uygulamalarında yapılan en önemli gözlemlerimizin oluşturduğu sebepler ve sonuçlar neticesi günümüzde çok yoğun bir jeotermal enerji tartışması yapılmaktadır. Bu tartışmalar medyada, basında ve internet ortamında sebep ve sonuçları doğru olarak tartışılmadan Jeotermal Enerji sektörüne, yatırımcılara ve çalışanlarına çok ciddi zararlar getirmektedir. Yapılan tartışmaların sebep ve sonuçları aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1. Ben bilirim ve yaparım bilgiçliği.
2. Kendine aşırı güven dolayısı ile yapılan “ihmkarlıkların” sonucu yapılan hatalar.
3. Adına tasarruf denilerek yapılan “tasarruf hataları” (Bilimsel elemana saygısızlık, tamamı bilerek yapılan tasarruf).

Yukarıda maddeler halinde yazılan hataların ana temelinde aşırı kazanç hırısı, çevreye ve insanlara saygısızlık gibi faktörleride eklediğimiz zaman hataların ölçüsü iyice kaçmaktadır. Burada anlatılacak olan örnekleri sebepleri ve sonuçları sergilenip bazı doğru sonuçlara varabilmektir. Tabii ki bu arada yapılan hatalar çeşitli yorumlarla Jeotermal enerji sektörüne hak etmediği iftiraların atılmasına sebep olmakta. Yanlış yorumlarla sektöre bilerek veya bilmeyerek zarar verilmektedir.

GÖZLEMLER

1974 Yılında Öngür, Karaman deresi, tarafından yapılan Jeotermal gradyen sondajlarında iki adet 100m lik gradyen kuyuları Tuzla jeotermal sahasında kontrolsüz üretim yapmıştır. Ancak çok dar çaplı ve teçhiz edilmeden yapılan sondajlar kendiliğinden kapanmışlardır (Öngür, Karaman deresi, 1974).

1977 da Dikili’de yapılan gradyen sondajlarından yine bir-iki adet sondajda kontrolsüz üretim yapılmıştır. Aynı şekilde çok dar çaplı ve teçhizsiz yapılan kuyular kendiliğinden kapanmışlardır (Yılmaz, Can, 1978).

Aydın Germencik Ömerbeyli Jeotermal sahasında bir kuyuda yaşanan kontrolsüz üretim, sondaj planlamasında çok küçük bir harcama ile zamanında alınmış olan tedbirler neticesi Türkiye’nin en sığ ve yüksek debili kuyusu olarak tarihe geçmiştir (Şekil.1). Bu kuyuda jeolojik olarak hidrotermal alterasyonu anlamamız nedeni ile kuyu jeolojisinde gerekli müdahale edilmemesi sebebi ile bu olay yaşanmıştır. Fakat sondaj teknik personelinin cesur davranışları olayın vehametini önlemiştir.

Denizli Sarayköy Kızıldere Jeotermal sahasında 1975 yılında yapılan KD-17 nolu kuyu, kuyu kırıntılarındaki hidrotermal alterasyon çalışmalarının tanımlanamaması nedeni ile kuyu teçhi-

zinden sonra 361.70m'ye indirilen 13 3/4" muhafaza borularının indirilip çimentolanmasını müteakip kuyu kontrolsüz üretime geçerek 365.20m lik kuyu elden çıkmıştır (Enel, 1989, Şimşek, et. all, 2005) (Şekil.2).

Izlanda'da Krafla jeotermal sahasında kabuk kalınlığı çok ince olduğu için 750m derinliğe kadar üretim muhafaza borusu indirilmiş kuyuda oluşan kontrolsüz üretim sırasında kule zor kurtarılmıştır. 1986 Yılında ziyaretimizde örnek kontrolsüz kuyu olarak tanıtım için gösterilmektedir (Foto.1).



Foto.1. İzlanda Krafla Jeotermal sahasında kontrolsüz kuyu örneği (Karamanderesi, 1986)

Bursa Çekirge kaplıcaları civarında yapılmış olan kaçak sıcak su sondajı bölgedeki kaplıcaları besleyen Bursa Uludağ jeotermal sisteminin üst boşalım (Upflow zone) bölgesinde açılmıştır. Yapılan sondajda kuyu jeoloğu yoktur. Kuyu jeolojisi için gerekli kırıntılar korunmamıştır. Kuyunun tamiri mümkün olmaması halinde yeni yapılacak kuyular için hiç bir veri saklanmamıştır.

Bu konu basınımda 10 Ekim 1998 tarihli Cumhuriyet Gazetesi 8. sayfa'da "Bursa'da zarar giderek artıyor" başlığı altında, 14 Ekim 1998 tarihli Cumhuriyet Gazetesi 3. sayfasında "Kaçak sondajı MTA inceliyor" başlığı altında, sondajı mahalli soğuksu sondajı yapan Necip iz'in yapmış olduğu bilgisi ile verilmiştir, 15 Ekim 1998 tarihli Cumhuriyet Gazetesi sayfa 3'de "Polisin kaçak sondajı kapatılacak" şeklinde haber edilmiştir. 23 Ekim 1998 tarihli Radikal gazetesi 3. sayfada "Kaplıcalara kelepçe" haberi şeklinde haber edilen konu 21 Ekim 1998 ve 23 Ekim 1998 tarihlerinde yerinde incelenmiştir (Foto.2).

İlgili elemanlarca yerinde yapılan tespit bilgileri JMO tarafından bana iletildi. Yukarıda dökümü verilen belgeler ve bilgiler gözlendi, Salih Özbey'in Yurt Haberleri Ajansı 1 nolu yayınında Bursa Çekirge kaplıcaları tarihi hakkında detaylı bilgi verilmektedir. Bu kaynakta 1316 ve 1486 yıllarından bahsedilmektedir. Bu bilgiler göstermektedir ki Bursa çekirge kaplıcaları çok eski tarihlerden beri Bursa ili Çekirge bölgesinde bu günkü kullanım şekli ile kullanılmaktadır. Zaten gazete ve ilgililerin bilgileri de bu yönde olmuştur (Karamanderesi, vd.1996). Bu kuyudaki problemde MTA Teknik personelinin müdahalesi ile daha sonra sahanın problemi çözülmüş, Bursa kaplıcaları normal düzenine geçmiştir.

AYDIN-GERMENCİK-ÖMERBEYLİ 4 KUYUSU

KOORDİNATLAR(m): X:93.525.3
Y:55.921.8
Z:83.8

SONDAJIN BAŞLAMA TARİHİ : 17.03.1984
BİTİŞ TARİHİ : 27.04.1984

ÜST SİSTEM	SİSTEM	ALT SİSTEM	SERİ	MUHAFAZA BORULARI	DERİNLİK (m)	LİTOLOJİ	LİTOLOJİK AÇIKLAMA
SENEZOYİK	TERSİYER	NEOJEN	MIYOSEN	11 3/4"	10	ALUVYON ve YAMAÇ MOLOZU	Rotari tablası yüksekliği Gnays, mikaşist, kuvars çakıllarından oluşan tutturulmamış çakıl ve bloklar.
					20	KUMTAŞI-ÇAKILTAŞI-KILTAŞI	Sarımsı, toprak renginde, kil çimentolu gevşek tutturulmuş, derecelenmesi olmayan gnays, kuvars, kuvarsit, mikaşist çakıllarından oluşmakta ve aşağı seviyelere doğru kil miktarı artmaktadır.
					40		
					60		
					80		
					100		
					120		
					140		
					160		
					180		
200							
220							
240							
260							
280							
285							

Şekil. 1. Aydın Germencik Ömerbeyli-4 kuyusu, 1984 yılında Türkiye'nin en sığ, en büyük debili kuyusu olarak kayıtlara geçmiş yazar tarafından yaşanmış ilk kontrolsüz üretim kuyusu.

1991 Yılında Sivas Sıcak Çermik'te DSİ tarafından açılan (Vali emri ile) sıcak su kuyusu ile Sıcak Çermik Jeotermal sistemi yıllarca serbest boşalma bırakılmıştır (Foto.3). Daha sonra

çok masraflı ve ciddi bir sondaj operasyonu ile TPAO ekipleri tarafından kuyu çimentolanarak kapatılmıştır.

Jeotermal sistemler ile soğuksu sistemleri yapısal, jeolojik ve termodinamik dengeler bakımından birbirinden çok farklı sistemler olup tasarımları da çok farklıdır. Geçmişte bu tip hataların yapıldığı örnekler çok iyi bilinmektedir. Afyon'da AF-1 kuyusu (MTA, 1996), Dikili Kaynarca'da K-1 kuyusu (Karamaneresi, 1996) (Foto.4), Salihli Kurşunlu kaplıcalarında K-5 Kuyusu (Foto.5), Diyardin-1 (Foto.6) kuyuları bu tip olaylara çok iyi örneklerdir (Karamaneresi, 1997).



Foto.2. Bursa Emniyet için Valilik talimatı ile açılan tecrübesizliğin, ben bilirim düşüncesinin oluşturduğu kontrolsüz üretim (Karamaneresi, Ekim, 1998).



Foto.3. Sivas sıcak çermik DSİ tarafından soğuksu sondaj tekniği ile açılan tipik bir sıcak su kuyusu

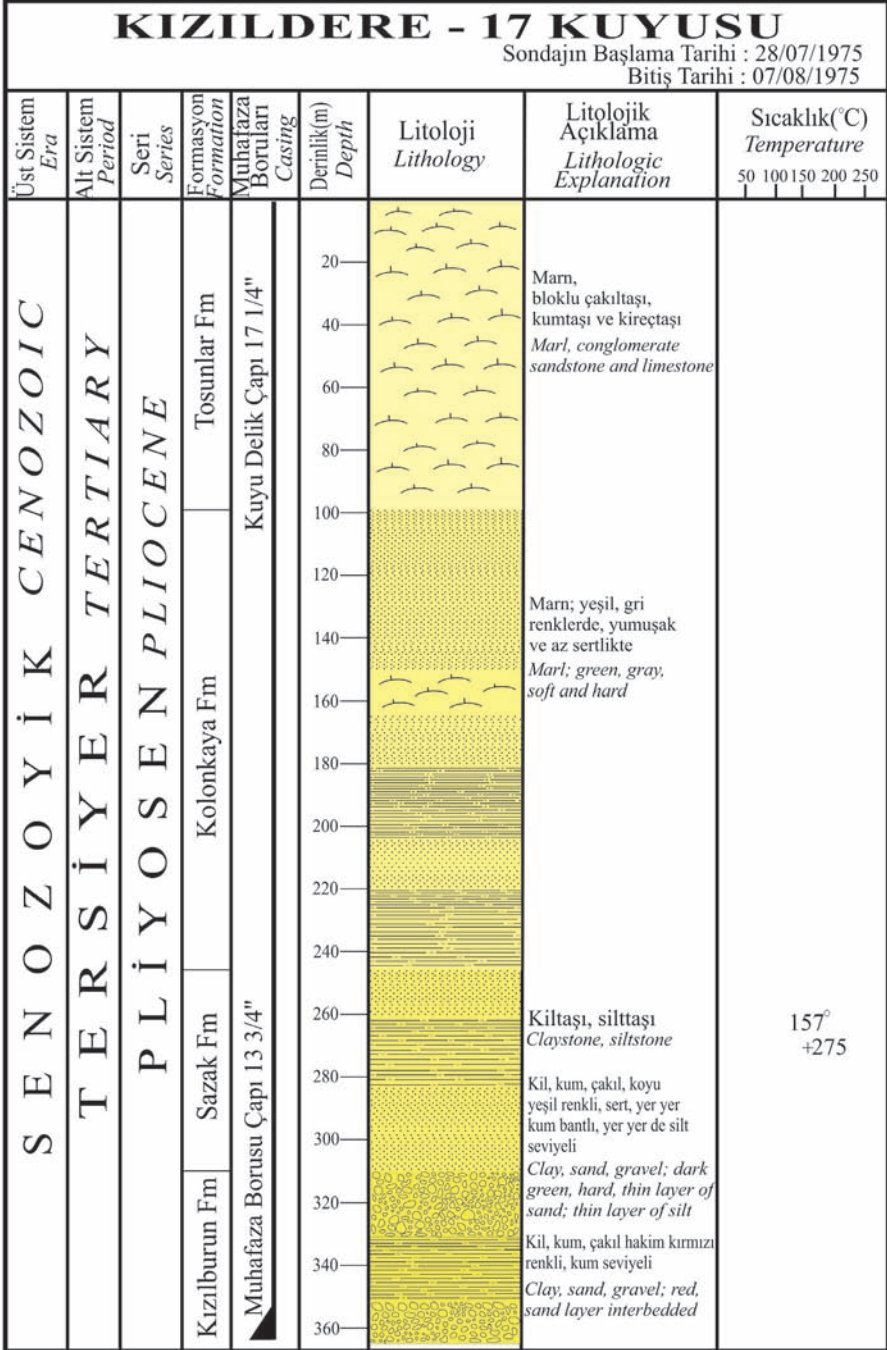
Yukarıda verilen gözlemler 5686 Sayılı kanun öncesi yapılan gözlemler ve değerlendirmeleri. 5686 Sayılı kanundan sonra yapılan gözlemler ise daha vahim ve oldukça pahalı deneyimlerdir.

“Ülkemizde 1960’lı yılların başında başlayan jeotermal araştırmalar, 1980’li yılların ortasına kadar hızlı bir gelişim göstermiş ve bu dönem suresince MTA Genel Müdürlüğü tarafından arama ve sondaj çalışmaları yapılmıştır. 1980’li yılların ortalarından itibaren bu sektöre olan kamu yatırımının azalması sonucu, sektördeki gelişim 2000’li yılların başına kadar çok yavaş ilerlemiştir. Bu süreç, dünyadaki teknolojik ilerlemenin takip edilmesi ve eğitilmiş insan gücünün yetiştirilmesini de olumsuz etkilemiştir. 2000’li yılların başından itibaren özel sektörün de bu alana ilgi göstermesiyle jeotermal gelişim tekrar hızlanmıştır. Fakat yetersiz mevzuat ve bu alanda çalışan deneyimli teknik eleman azlığı, sektörde istenen teknik gelişmeyi sağlayamamış ve problemler katlanarak artmaya devam etmiş/etmektedir.

Jeotermal bir sahanın gerçek potansiyelini belirlemede kullanılan yöntemler; jeolojik, hidrojeolojik, jeokimyasal, jeofizik ve sondaj çalışmalarıdır. Bu faaliyet içerisinde en riskli, tehlikeli ve pahalı olan çalışma sondajdır. Bu yüzden jeotermal kaynaklara sahip olan ülkeler, sondajları kontrol altına alan standart ve yönetmelikleri uygulamaya koymuşlardır.

Kuyular, sondaj tekniğine uygun olarak açıldığında, jeotermal sistemin doğal yapısının korunmasını sağlarlar. Tekniğine uygun sondaj yapılmasının ön koşulu ise, yasal mevzuatın eksiksiz oluşu ve mühendislik çalışmalarıdır. Bu çalışmaların içinde en önemlileri; (i) Sondaja başlamadan önce risk değerlendirmesi yapmak ve tehlike önleme yönetimini belirlemek, (ii) Kuyu dizaynını belirlemek, (iii) Kuyu dizaynına uygun makine ve ekipman seçmek, (iv) Çamur ve çimentolama programını yapmak, (iv) Kuyu başı donanımları ve kuyu kontrol sistemlerini belirlemektir (Toka, v.d.2012).

Maden Mühendisleri Odası görüşü olarak yukarı aldığımız görüş bütününde doğrudur. Fakat eksikleri vardır. Aynı düşünce ile Jeoloji Mühendisleri Odası İzmir Şubesi de bu minval üzere Jeotermal kuyuların kontrolsüzlüğünden bahsetmektedir. Jeotermal Enerji Türkiye tarihi araştırıldığı zaman görülmektedir ki:1990 lara kadar MTA Genel Müdürlüğü yurt dışı eğitim için uzun süreli eğitim yapmış, uygulamalarda da bu elemanlarla çalışmış veya yetişen elemanlar yurtdışında sektöre hizmet etmişler ve etmektedirler.



Şekil. 2. 1975 yılında yapılmış olan KD-17 nolu kuyu 361.70m ye indirilmiş 13 3/4" lik muhafaza boruları ile Hidrotermal alterasyon tanımlanmaması ve çimentolama operasyonunun sıhhatli olmaması nedeni ile kontrolsüz üretime geçmiş ve 365m lik kuyu kaybedilmiştir (Enel, 1989, Şimşek, et. al, 2005).



Foto. 4. Dikili Kaynarca – 1 kuyusu. Soğuksu sondajcısı ben bilirim düşüncesi ile ilk yapmış olduğu 29m lik kuyu kontrolsüz üretime geçmiş ve şirket tüm sondaj avadanlıklarını ve 2 aylık faaliyet ücret ve gelirini buraya gömmüştür.



Foto. 5. Salihli Kurşunlu K-5 Kuyusu kuyu jeolojisindeki hatalar sonucu 115m de hazne kayaya girmiştir.

Çok sığ bir kuyu olup yüksek sıcaklık, yüksek basınçlı bir kuyu olması nedeni ile kontrolsüz üretime geçmiş. Kuyuda bırakılan takım kabuklaşma sonucu Salihli Belediyesi tarafından çıkarılmıştır.

5686 Sayılı kanundan sonra Jeotermal Enerji üretim ve pazarlama kriterleri ve kanunla sağlanan imkanlar çerçevesinde tecrübeli ve bilgili kadrolarla çalışmak istemiyen veya insanları çok ucuza çalıştıracaklarını sanan sermaye sahipleri, tecrübesiz ve yetersiz kadrolarla sondaj yapmaya çalışarak birçok sahada çok ciddi sondaj sorunları yaşamışlardır. Onların verdiği zararlar Jeotermal sektörüne ve çevre sorunlarına sebep olmaktadır.

5686 sayılı kanundan sonra gelişen olaylarda ise Yüzeysel muhafaza borusu kullanılmaması halinde sondaj yüzeysel muhafaza boruları indirilmemiş kuyularda tekrar tekrar sondaj yapılarak yüzeysel muhafaza borusu indirilmeye çalışılmıştır veya yüzeysel muhafaza borusu olmadığı için kuyulara gerekli müdahale edilemeyerek kontrolsüz üretim yapılması sonucu çok ciddi çevre sorunları yaşanmıştır.

Burada bilinçsizce yapılan veya yeterli eğitimsizlik ve dikkatsizlik sonucu oluşan tipik olaylar şöyle verilebilir.

Manisa Turgutlu-Urganlı kaplıcaları doğal kaynakları 1966 (Ürgün) ve 1972 (Karaman) raporlarına bakarsak Urganlı kaplıcalarında 60-80 arasında doğal kaynak boşalmaları rapor edilmiştir. Günümüzde Urganlı kaplıcalarında doğal kaynak 3-5 adettir. Burada aşırı üretim yapılarak geri besleme yapılmaması bu olaya sebebiyet vermiştir. Çünkü geri besleme kuyuları para getirmeyen, sistemin ömrünü uzatan yapılardır. Bunlara para harcamak zararlıdır.

Aynı olay Ağrı Diyadin'de bölgede çok sayıda kaynak 1974 de bilinirken günümüzde üç beş kaynağa dönüşmüştür. Buradaki olaylar temelde işletme sorunlarıdır. Bilhassa Ağrı Diyadin'de Diyadin-1 kuyusu kuyu başı ağız borusu doğru teçhiz edilemediğinden, kuyu açıldığı tarih 1998'den beri 75-100 lt/sn debi ile boşa akmaktadır. Yani Diyadin Jeotermal sisteminin tüm enerjisi Aras Nehrine akıtılmaktadır (Foto.6).

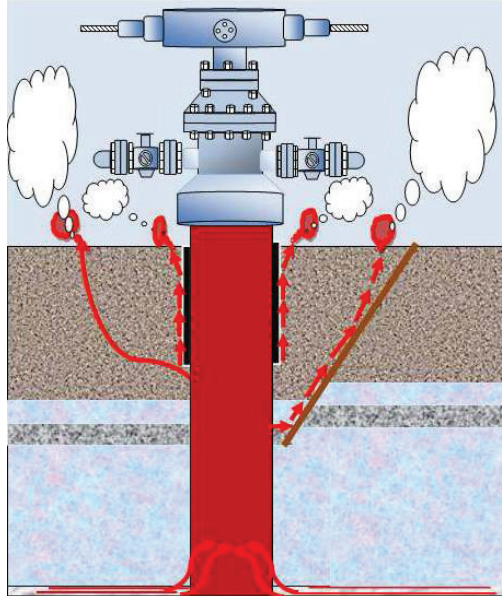
Konuyu tarihsel gelişimi ile vermeye çalışacak olursak aşağıda fotoğrafta ve altındaki açıklamadan anlaşılacağı gibi Jeotermal Sistemler kendi dinamikleri içerisinde zamanla beklenmeyen sonuçlar oluşmasına sebep olabilmektedir. Germencik-1 Kuyusu olarak 1970 de açılan 167m derinliğindeki kuyu jeotermal sahaların doğru işletim yöntemi ile geri besleme yapılırca 30 yıldır akmayan kaynakların yeniden üretime geçtiği gözlenmektedir. Burada üretim muhafaza borusu indirilmiş. Gece yapılan çimento yüzeye kadar gelmemiştir. Kuyubaşı çimentosu sağlamlaştırılması için kuyu çevresinde enjeksiyon çimentosu yapılmış olmasına rağmen sistemin tam kontrol altına alınmadığı veya geçmişte yapılan kuyulardaki görülmeyen veya ölçülmeyen hatalar uzun zaman sonra sistemin kendi dinamikleri içerisinde kuyu ve çevresinde sorunlar yaratmaktadır (Foto.7).

Manisa-Alaşehir'de kontrolsüz üretim (blowout) yapan kuyuda da, daha önce aynı sahada yapılan 3 kuyuda olduğu gibi 20" yüzeysel borusu kullanılmamış ve 13 3/8" borular, örtü niteliği taşımayan formasyonun içerisine ve oldukça sığ bir derinlik olan 220 m'ye indirilmiştir. 1011 metreye ulaşıldığında beklenmedik bir şekilde rezervuara girilmesi ile yüksek gaz içeren jeotermal akışkanın kuyu içerisine girmesi ile blow out oluşmuş, BOP (blow out preventer)'nin kapatılması ile kuyu içinden geliş önlenmekle birlikte, 13 3/8" boruların yeterli derinlikte olmaması nedeniyle jeotermal akışkan gevşek tutturulmuş ve örtü niteliği taşımayan formasyon içerisinde yükselerek en zayıf noktadan yüzeye ulaşmıştır (Toka, v.d. 2012) (Foto.8).



Foto.7. Aydın Germencik Elengüllü Kaplıcaları yolu üzerinde 1970 yılında açılmış olan 167m derinliğindeki kuyu 5686 Sayılı Jeotermal Enerji kanun gereği geri besleme yapılan bölgede hazne kayanın tekrar beslenmesi neticesi yıllardan beri kurumuş olan kaynakların ve doğal boşalım yollarının tekrar açıldığına tipik göstergesi.

Isparta Yakaören köyü Jeotermal sondajı çok tipik bir kontrolsüz üretim kuyusu örneğidir. Foto.9 ve Foto.10 da görüleceği gibi aynı kuyu başı ilk görünüşü ne olduğu belirsiz bir kuyudur. Bir adet kuyu başı, çevresinde sıralanmış beş adet boru yığını olarak görülmektedir. Bu kuyuda sondaj soğuk su sondajcılarının tipik bir uygulaması olup çevreye devamlı ve yoğun H_2S ve CO_2 gazı yayılmaktadır. Çevrede geçmişte ve halen gaz çıkışı devam etmektedir. Foto.10 da görüleceği gibi kuyu başına bir miktar çimento dökülmesi ile problemin çözüleceği zannedilmektedir. Bütün bu örnekler gösteriyor ki şu anda Jeotermal Enerji Kanunu uygulama ve yönetmelik denetimleri sahipsiz ve kontrolsüzdür.



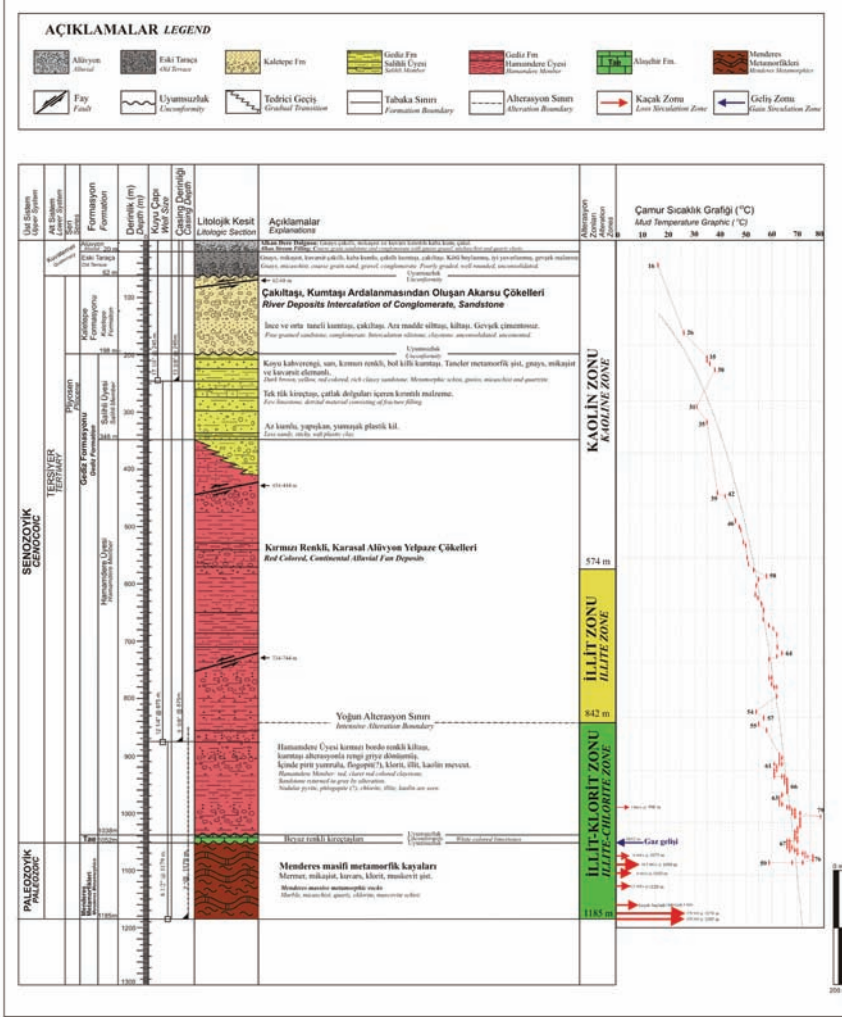
Şekil. 3. Manisa Alaşehir Alkan köyü Muratlar mevkiindeki fişkıрма olayı resmi (Toka, v.d. 2012).



Foto.9. Isparta Yakaören Jeotermal kuyusu çevreye yoğun gaz tahliye etmekte olup zemin arazisi sülfür mineral bakımından zengin bir görünüm göstermektedir.



Foto.10. Isparta Yakaören köyü civarından kontrolsüz üretim yapan jeotermal kuyu başına görünüş itibari ile büyük bir beton dökme ile kontrol sağlandığı zannedilmektedir.



Şekil 4. Manisa Alaşehir Alkan köyü civarında açılmış diğ er bir kuyu jeolojik kesiti gösterilmiştir (Karaman deresi, 2010).

SONUÇLAR

Jeotermal enerji araştırmaları çok disiplinli araştırmalardır. Araştırma sonuçları çok iyi arşivlenmelidir.

Jeotermal enerji sondajları Türkiye'nin temel jeolojik sorunlarına katkı sağlayan araştırmalardır. Enerji, Maden, Depremsellik ve afet yönetim sistemlerine katkı koyacak temel verilerdir. Bilgilerin temel arşivlenmesi ve bilgilerin aktarılması çok doğru yapılmalıdır.

Jeotermal araştırma konularında yapılan araştırmaların sonuçları tek bir data bankasında toplanmalıdır. Bilgilerin korunması ve kullanılması konusunda devlet kuruluşları ve Jeotermal Enerji Yatırımcıları arasında bilgi alış veriş disiplini, çok erken ve sağlam ilkelere bağlanmalı ve uygulanmalıdır.

Jeotermal sondajlarında elde edilen bilhassa jeolojik veriler işletmeciler arasında çok iyi bilgi alışverişi olmalıdır. Bilgilerin araştırma kadrolarında çalışan personele tam ve doğru olarak iletilmelidir. Bir sahada yapılmış olan çalışmaların Jeolojik bulguları mutlaka açıklanmalıdır. Jeolojide bilgi kirliliği çok pahalı sonuçlar doğurur.

En son söylenecek olan cümle ise Jeotermal sondajlarında tasarruf, ben bilirim, yaptım oldu gibi basit düşüncelerden kurtulunması elzemdir.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Alpan, S., 1975, "Geothermal Energy Exploration in Turkey," San Francisco-1975, vol. 1, pp.25-28.
- ENEL, 1989. Optimization and Development of the Kızıldere Geothermal Field. Final Report. ENEL Ente Nazionale per l'Energia Electrica Unita Nazionale Geotermica. Piza, Italy, June 1989.
- Erentöz, ve Ternek, 1968. Türkiye'de termomineral kaynaklar ve jeotermik enerji etüdüleri. MTA Enstitüsü Dergisi. Sayı.70. Sahife:1-57. Ankara.
- Gevrek, A. İ., Karamandere, İ. H., Aydın, Ş. N., 1989. Clay mineralogy and hydrothermal alteration studies on Aydın-Germencik geothermal wells. Bildiriler kitabı. Pp:11 -121. IV. Ulusal Kil Sempozyumu, 20-23 Eylül 1989.
- Karamandere, İ. H., 1972. Urganlı Kaplıcaları (Manisa-Turgutlu) civarının detay jeolojisi ve jeotermal enerji etüdü. MTA derleme rapor no:5462. Ankara.
- Karamandere, İ.H., Güner, A., Yılmaz, S., Çiçekli, K., Eşder, T., Üstün, Z.,1986a. Aydın-Germencik Ömerbeyli Jeotermal sahası Ömerbeyli-4 derin jeotermal sondajı kuyu jeolojisi bitirme raporu. MTA Derleme Raporu No:8272.
- Karamandere, İ. H., 1996. Jeotermal sistemlerde ve soğuksu sondajlarında korunma ve kullanma alanları, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Sondaj Sempozyumu '96 bildiriler kitabı. 21-22 Mart 1996 İzmir. Sayfa: 25-31,
- Karamandere, İ. H., 1997, Jeotermal sondajlarında kuyu jeolojisi ve önemi. 50. Türkiye Jeoloji Kurultayı 1997 Bildiri Özleri, sayfa 6.
- Karamandere, İ. H., 2010. Alkan-1 Jeotermal Arama Kuyu Bitirme raporu (179 nolu Jeotermal kaynak arama ruhsatı) Alaşehir-Manisa Zorlu Jeotermal Enerji Elektrik Üretim A. Ş.
- Kestin, J., DİPippo, R., Khalifa, H. E., Ryley, D. J., 1980. Sourcebook on the production of electricity from geothermal energy. Turkey. Brown University. Pp.931-933
- MTA, 1996. Türkiye Jeotermal Envanteri. MTA Genel Müdürlüğü Yayını. 480 sayfa. Ankara.
- Öngür, T., Karamandere, İ. H., 1974. Tuzla-Çanakkale jeotermal alanı Şubat, Nisan, 1974 dönemi sığ sondaj çalışmaları bitirme raporu. Rapor no:5524, MTA Derleme. Ankara.
- Özbey, S., 1979, Şifalı sularımız. "Kaplıcalar ve İçmeler Rehberi". Yurt Haberler Ajansı yayını no; 1. 405 sayfa.
- Şamilgil, E.,1964. İzmir Agamemnon kaplıcası bölgesinde sıcak su ve buhar sondajları ve hidrojeolojik neticeleri. MTA Rapor no:3324. Ankara.
- Şimşek, Ş., Yıldırım, N., Gülgör, A., 2005. Developmental and environmental effects of the Kızıldere geothermal power Project, Turkey. Geothermics, 34, 239-256.
- Toka, B., Tuğran, M., Yıldız, M., Durak, S., Karadeniz, N., 2012. Manisa ili Alaşehir ilçesi Alkan köyü Muratlar Mevkiiindeki Jeotermal sahada akışkan püskürmesiyle ilgili teknik rapor. Maden Mühendisleri Odası.
- Ürgün, S., 1966. Urganlı kaplıcaları (Manisa-Turgutlu) civarının detay jeolojisi ve termomineral sularının hidrojeolojik etüdü. M. T.A. Rapor. Ankara.
- Yılmaz, S. Can, A. R., 1978. Dikili-Bergama gradyen sondajları değerlendirme raporu. MTA Derleme rapor no.6645, Ankara.

JEOTERMAL ALANLARDA YENİ TEKNOLOJİLER VE ISITMA SİSTEMİ

JEOTERMAL GELİŞTİRME ÇALIŞMALARINDA SİSTEMATİK

Zeynel A. Demirel

*Jeotermal Danışman, Mersin
(zdemirel@zeyneldemirel.com)*

ÖZ

Jeotermal geliştirme safhaları için birçok kez bir sistematik geliştirilmeye çalışılmıştır, ancak geliştirilen birçok sistematik, tüm projeler için uygun olmamıştır, her projenin kendine özgü yerel-bölgesel jeoloji koşullarına göre çalışmaların çeşitliliği ve sıralaması değişmektedir. Herhangi bir jeotermal projede kullanılacak yöntemler, teknikler ve proje süresi sahanın karakteristiğine göre farklılık gösterir.

Bu çalışmada bir jeotermal projenin geliştirilmesinde uygulanması gereken yöntemler ortaya konulmaya çalışılarak bir sistematik ortaya çıkartılacaktır. Bu sistematik için ESMAP Geothermal Handbook (2012) ve Geothermal Exploration Best Practices (2013) dikkate alınmıştır.

Jeotermal projelerin geliştirilmesindeki safhalar aşağıda sıralanmıştır, bu sistematik ülkemiz için uygulanabilir özelliktedir;

1. Ön araştırmalar;

Bu safhada hedef bölgede jeotermal belirteçler araştırılır. Bu aşama ülkemizde büyük çapta MTA Genel Müdürlüğü tarafından yürütülen “Termal Su Envanteri” ve “Türkiye Jeotermal Envanteri” kapsamında tamamlanmıştır. Bu safhada; üretilecek elektriğin satış koşulları, altyapı koşulları, ruhsat durumu, çevresel ve sosyal koşullar, politik ve finansal stabilite ve mevcut jeoloji, hidrojeoloji, termal belirteçler, mevcut kuyulardan elde edilen verilerin uygunluğu araştırılır.

2. Arama

Jeotermal araştırma programının hedefi, kaynak sıcaklığının, derinliğinin, üretim değerlerinin ve sürdürülebilirlik ile ilgili risklerin minimize edilmesinin sağlanmasıdır. Araştırma faaliyetleri kuyu verilerinin ve yüzey belirteçlerinin değerlendirilmesi ile başlar, jeoloji, jeokimya ve jeofiziksel yöntemlerin uygulanmasıyla devam eder. Bazı ülkelerde ÇED (Çevresel Etki Değerlendirme) çalışmaları da bu safhada yer alır. Araştırma safhasında kavramsal model kurulmalıdır. Kavramsal model mevcut jeotermal sistemin en iyi şekilde anlaşıldığı temsili bir resmdir, toplanan tüm verileri ve bilgileri içerir. Daha sonra sayısal bir model kurulur ve kalibre edilmesinden sonra rezervuar performansının gelecekte davranışı öngörülebilir

3. Test sondajları

İleride üretim kuyusuna dönüştürülebilecek ilk derin araştırma kuyusu bu safhada açılır. Açılan bu ilk kuyu oldukça büyük risk taşımaktadır. Bu safhada en az 2 çoğu kez 3 derin kuyu açılmalı ve ticari düzeyde üretim ve reenjeksiyonun uygunluğu olduğu ortaya konulmalıdır.

4. Proje değerlendirme ve fizibilite

Jeotermal kaynak ortaya konulduktan ve birkaç araştırma kuyusu ile konfirme edildikten sonra proje riski oldukça düşmüştür ve artık fizibilite çalışması başlatılabilir.

5. Saha geliştirme

Bu safhada öngörülen santral gücüne yeterli üretime ulaşmak ve üretilen akışkanın geri basılacağı gerekli sayıda reenjeksiyon ve üretim kuyuları açılır. IFC (International Finance Corporation) istatistiklerine göre dünyada jeotermal sondajların başarı oranı test kuyuları için %50, üretim kuyuları için ise %70-80 civarındadır. Rezervuarın sürdürülebilirliği için reenjeksiyon kuyuları da açılmalıdır. Reenjeksiyon kuyularının üretim kuyularına oranı yüksek entalpi alanlarında 1:4 iken, düşük entalpili alanlarda 1:1 civarındadır.

6. Santral tasarımı

7. Operasyon

Anahtar kelimeler; Jeotermal araştırma sistematığı, kavramsal model

A SYSTEMATIC FOR GEOTHERMAL EXPLORATION

Zeynel A. Demirel

*Geothermal Consultant, Mersin
(zdemirel@zeyneldemirel.com)*

ABSTRACT

It is tried often to develop a systematic for geothermal exploration but there were no clear guidelines for the geothermal development projects. There are differences in methodologies and techniques between different geothermal areas. In this study we try to give a guideline for it, in line with the ESMAP Geothermal Handbook (2012) and Geothermal Exploration Best Practices (2013). This guide generally follows a seven phase process of developing geothermal projects, and this is suitable for application in our country;

1. Preliminary survey

This phase involves assessing the available evidence for geothermal potential within a specific area. In Turkey MTA published all data in “Thermal water inventory” and “Geothermal inventory”. In this phase some other information need to be considered like the power market, infrastructure issues, regulatory frameworks, environmental and social issues, political and financial stability and available literature on geological, hydro geological, hot spring data and the drilled wells data.

2. Exploration

The purpose of this phase is to clarify the temperature, depth, production rate and the sustainability of resource and to minimize risk. Exploration starts with gathering data from existing wells and surface manifestations and goes on geological, geochemical and geophysical methods. Some countries require the environmental impact statements in this phase. During this phase a conceptual model is prepared. A conceptual model is a presentation of the current best understanding of a geothermal system, consistent with all known data and information. After that a numerical model is prepared and this model is used for forecasting the future performance of the reservoir.

3. Test drilling

The first full diameter exploration wells are drilled during this phase. Drilling the first well represents the period of highest risk. Typically, at least two but more often three, deep wells are drilled to demonstrate the feasibility of commercial production and injection.

4. Project review and feasibility

Once the resource has been discovered and confirmed by the first few wells, the Project risks are reduced and feasibility report can be prepared.

5. Field development

The Project now proceeds with the drilling of sufficient number of deep production and reinjection wells to support the proposed power production. The success rate of geothermal drilling varies from 50% in the test wells, up to 70-80% for production wells (IFC). The ratio of reinje-

tion to production wells ranges from 1:4 in high enthalpy to as high as 1:1 in lower enthalpy resources.

6. Power plant construction

7. Operation

Keywords: Geothermal development systematic, exploration phases, conceptual models

GİRİŞ

Jeotermal geliştirme safhaları için sistematik birçok kez geliştirilmeye çalışılmıştır, ancak bunlar, tüm jeotermal projeler için uygun olmamıştır, zira her projenin kendine özgü, yerel-bölgesel jeoloji koşullarına göre, çalışmaların çeşitliliği ve sıralaması değişmektedir. Herhangi bir jeotermal projede kullanılacak yöntemler, teknikler ve proje süresi sahanın karakteristiğine göre farklılık gösterir.

Geçmiş çalışmalara göz atıldığında birçok jeotermal projenin sistematik olmayan bir düzende geliştirildiği görülür. İlk yıllarda herhangi bir uygulama kılavuzu söz konusu değildi, Larderello ve Yeni Zelanda Wairakei jeotermal projelerinde başlayan çalışmalardan elde edilen deneyimler diğer araştırma projelerine aktarılmaktaydı. Günümüzde ise farklı ülkelerde farklı yollar izlenmektedir.

Ülkemizde de durum benzerdir. Termal su envanteri hazırlanması ile başlayan çalışmalar daha sonra Kızıldere ve Germencik projelerinde yoğunlaşmıştır. Bu sahalarda ortaya çıkan belirsizliklerin çözümü için yer bilimlerinin çeşitli yöntemlerine başvurulmuş ve elde edilen deneyimler Salavatlı, Dikili ve Tuzla gibi diğer projelere aktarılmaya çalışılmıştır. Termal sulardan Belediyeler aracılığı ile yararlanma hedefleri, yasal boşluk, maddi olanaksızlıklar, nerdeyse tüm jeotermal sahalarda, dar alanlarda lokal jeoloji çözümleri, bazı kısıtlı alanlarda sadece rezistivite ölçümleri ve ardından sığ derinlikte açılan bir jeotermal kuyu ile projelerin tamamlanmasını sonuçlandırmıştır.

Jeotermal yasanın yürürlüğe girmesiyle sahalarda özel sektöre açılmış ancak jeotermal politika-daki tutarsızlıklar sonucu hatalı yollar izlenmiştir. MTA Genel Müdürlüğü saha geliştirme çalışmalarında bir sistematığe bağlı kalmadan, uyguladığı kısıtlı çalışmalarla, sahalarda doğru bir kavramsal modelini ortaya koymadan jeotermal sahalarda ihale yolu ile devretmiş ve sonucunda yatırımları kısa sürede geri kazanma isteğinde olan Özel Sektör büyük kayıplar yaşamıştır.

Ülkemiz için bir jeotermal projenin geliştirilmesinde uygulanması gereken yöntemler ortaya konulmalı ve bir sistematik ortaya çıkartılmalıdır. Bu sistematik için en uygun yol ESMAP Geothermal Handbook (2012) ve Geothermal Exploration Best Practices (2013) dikkate alınmalıdır.

Jeotermal projelerin geliştirilmesindeki safhalar aşağıda sıralanmıştır, bunlar;

1. Ön araştırmalar
2. Arama
3. Test sondajları
4. Proje değerlendirme ve planlama
5. Saha geliştirme
6. Santral tasarımı
7. Operasyon

1. Safha-Ön araştırmalar

Bu safhada hedef bölgede jeotermal belirteçler araştırılır. Bu aşama ülkemizde büyük çapta MTA Genel Müdürlüğü tarafından yürütülen “Termal Su Envanteri” ve “Türkiye Jeotermal Envanteri” kapsamında tamamlanmıştır. Bu çalışmaların İdare tarafından Coğrafi Bilgi Sistemi tekniği kullanılarak revize edilmesinde ve yatırımcılara sunulmasında yarar vardır.

Bu safhada seçilen hedef alanda jeoloji, hidrojeoloji, termal su verileri, sondaj verileri ve yöre halkı ile yapılan sözlü görüşme sonuçları toplanır, ayrıca uzaktan algılama yöntemlerine de

başvurulmasında yarar vardır. Yasal durum da bu safhada araştırılmalı, ülkemiz için ruhsat bilgileri ortaya konulmalıdır. Ayrıca milli parklar, sit alanları, jeolojik koruma alanları, yerleşim yerleri, arazi kullanım durumları, endemik bitki ve hayvan popülasyonları bilgileri incelenmeli ve proje sonunda sürprizler ile karşılaşılmalıdır. 1/100000 ölçekli arazi kullanım sınıflarının jeotermal santral kurulmasına kısıtlama getirme durumu da bu kapsamda incelenmelidir. Birçok yerde santral operasyona alındıktan sonra, yerel halk tarım alanlarının zarar gördüğü konusunda sıkıntılar çıkardığından en başta bu durumlar aydınlatılmalıdır. Ülkemizde yürürlükte olan ÇED yönetmenliği zaten halkın katılımını da derektirmektedir.

Altyapı koşulları olan yollar, su, enerji ve diğer elemanlar bu safhada araştırılmalı, özellikle sondaj lokasyonları için yenilenmeleri gerekiyorsa bütçeye eklenmelidir, zira daha sonra oldukça büyük maliyetler ortaya çıkmaktadır.

Hedef alan yakınlarında maden işletmeleri veya yer altı su kuyuları mevcut ise bunlardan jeotermal kaynak için çok yararlı bilgiler elde edilebilir.

Yukarıda sıralanan faktörlerin tümü proje süresini ve maliyetini önemli bir şekilde etkiler. Bu veriler değerlendirildikten sonra projenin sürdürülebilirliği için şu sorulara yanıt aranmalıdır;

- Araştırma yapılacak sahada bir jeotermal potansiyelin varlığına işaret eden belirteçler var mıdır?
- Jeotermal potansiyel söz konusu ise, bunu çıkartmak için maliyet ve süre uygun mudur? Yasalar ve yapılan ÇED çalışmaları bu aktivitelere izin veriyor mu?

Özet olarak bu safhada;

- Üretilecek elektriğin satış koşulları uygun mu? (Ülkemizde alım garantisi mevcut)
- Altyapı koşulları (yol, su, enerji) uygun mudur?
- Ruhsat durumu uygun mudur?
- Çevresel ve sosyal koşullar izin veriyor mu?
- Politik ve finansal stabilite yatırıma uygun mu?
- Mevcut jeoloji, hidrojeoloji, termal belirteçler, mevcut kuyulardan elde edilen veriler uygun ve cesaret vericimidir?

Bu soruların yanıtları değerlendirildikten sonra 2. Aşamaya geçilir ya da projeden cayma kararı alınabilir. Bu safhanın süresi faktörlerin çeşitliliğine bağlıdır, birkaç ay ile birkaç yıl arasında değişebilir.

2. Safha_Arama-Araştırma Safhası

Jeotermal araştırma programının hedefi, kaynak sıcaklığının, derinliğinin, üretim değerlerinin ve sürdürülebilirlik ile ilgili risklerin minimize edilmesinin sağlanmasıdır. Araştırma faaliyetleri öncelikle bölgede yer alan kuyu verilerinin ve yüzey belirteçlerinin değerlendirilmesi ile başlar, yer altı jeolojisinin ortaya konulabilmesi için jeoloji, jeokimya ve jeofiziksel yöntemlerin uygulanmasıyla devam eder. Bazı ülkelerde ÇED (Çevresel Etki Değerlendirme) çalışmaları da bu safhada yer alır.

Araştırma programının uygun maliyetlerle tamamlanabilmesi için başlangıçta maliyeti yüksek olmayan yöntemler kullanılır, karmaşık sorunlar ortaya çıkar ise diğer yöntemlere başvurulur. Araştırma safhasında uygulanan teknikler genel olarak;

YÜZEY ARAŞTIRMALARI	JEOKİMYA ARAŞTIRMALARI	JEOFİZİK YÖNTEMLER
Yerel bilgilerin toplanması	Jeotermometreler	Gravite
Termal yüzey belirteçlerinin lokalize edilmesi	Elektriksel iletkenlik ve pH	Rezistivite
Yüzey jeolojisi	Kaynak çıkış debileri	Manyetotellürik
Toprak örnekleri	Gradyan sondajları	2D ve 3D sismik

Jeotermik gradyan kuyularının veya slimhole sondajlarının açılmasına karar verme jeoloji, jeokimya ve jeofizik çalışmalarının tamamlanması ve değerlendirilmesinden sonra olmalıdır. Sondaja geçmeden önce riski minimize etmek için bu yöntemlerin hepsinin uzman kişiler tarafından değerlendirilmesi ve sentez edilmesi gereklidir. Gradyan sondajları tamamlandıktan ve diğer tüm çalışma sonuçları ile birlikte yeniden değerlendirildikten sonra araştırma sondajlarının açılmasına karar verilebilir. Proje yöneticisi ve yatırımcı bu safhada rezervuar sıcaklığı, rezervuar boyutları, derinlik, permeabilite, üretim değerleri ve sürdürülebilirlik ile ilgili riskleri göz önünde bulundurmalıdır. Riskler ancak araştırma sondajlarının sayısının artmasıyla azalacaktır. Sondajların tamamlanmasından sonra kurulabilecek santral tipi ve gücü ile ilgili tahminler yapılabilecektir. Bu aşamada geçici bir kavramsal ve sayısal model kurulabilir. Şekil 1, 1. ve 2. Safhaların termin planını göstermektedir, jeoloji koşullarının karmaşık olması durumunda süre 2-3 yıl uzayabilir.

GÖREV	AKTİVİTE	Zaman (Ay)												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1. Safha	Literatür araştırması	■												
Ön araştırmalar	Arazi araştırmaları		■											
	Çevresel faktörler		■	■										
	Yasal düzenlemeler		■	■										
	Jeotermal belirteçler		■	■										
	Planlama, araştırma programı		■	■										
2. Safha	Çevresel araştırmalar ve yasal düzenlemeler ile ilgili raporlama													
Araştırma	Jeoloji ve jeokimyasal arazi çalışmaları		■											
	Jeofizik etütler			■	■									
	Verilerin bütünleştirilmesi				■	■								
	Sıcaklık gradyan kuyularının açılması					■	■							
	Verilerin entegrasyonu						■	■						
	Kavramsal Model							■	■	■				
	Derin kuyuların tasarımı										■	■		
	Önfizibilite raporu												■	■

Şekil 1: Ön araştırma ve araştırma safhaları için termin planı

KAVRAMSAL MODEL

Araştırma safhasında kavramsal model kurulmalıdır. Kurulan kavramsal model ilave bilgiler geldikçe geliştirilir. Kavramsal model mevcut jeotermal sistemin en iyi şekilde anlaşıldığı temsili bir resmidir, toplanan tüm verileri

ve bilgileri içerir. Modelin kurulması öncelikle jeoloji ve yapısal jeoloji bilgilerine gereksinim duyar, rezervuar, sıcaklık ve rezervuar geometrisi modelde yansıtılır. Model, hedef derinlik ve geniş çaplı üretim sondajları ve akışkanın üretilebileceği en uygun lokasyonun seçimi için kullanılır. Başlangıçtaki ham kavramsal model yeni bilgiler geldikçe ve sondajlar açıldıkça sürekli güncellenir.

SAYISAL MODEL

Kavramsal modelin toplanan tüm bilgiler ile donatılması ve tamamlanmasından sonra sayısal bir model kurulur. Sayısal modelin kalibre edilmesinden sonra rezervuar performansının gelecekte davranışı öngörülebilir. Üretim değerlerinin tarihsel verileri mevcut ise sayısal model kavramsal modelin test edilmesinde kullanılır. Sayısal model;

1. Başlangıç koşullarının modellenmesi/sistemin anlaşılması
2. Tarihsel çakıştırma
3. Rezervuarın gelecekte davranışının öngörülmesinde kullanılır.

TEKNİK OLMAYAN VERİLERİN DERLENMESİ

Kavramsal model geliştirildikten ve sayısal model çalıştırıldıktan sonra rezervuar kapasitesinin bir ön değerlendirmesi yapılmalı ve projenin sürdürülmesi ile ilgili karara varılmalıdır. Bu arada aşağıda sıralanan bilgiler de toplanmalıdır;

- Enerji piyasası ve anlaşmalar, lisanslar
- Altyapı koşulları (yol, su, iletişim, iletim hatları vb)
- İşletme lisansları
- Çevresel ve sosyal faktörler
- Yasal düzenlemeler ve sınırlamalar
- Politik ve finansal stabilite

3. Safha Test Sondajları

İleride üretim kuyusuna dönüştürülebilecek ilk derin araştırma kuyusu bu safhada açılır. Açılan bu ilk kuyu oldukça büyük risk taşımaktadır.

Bu safhada en az 2 çoğu kez 3 derin kuyu açılmalı ve ticari düzeyde üretim ve reenjeksiyonun fizibel olduğu ortaya konulmalıdır. Proje boyutlarına, jeotermal alanın jeolojisinin karmaşasına bağlı olarak daha fazla sayıda kuyu açılması gerekebilir.

Sondajlardan toplanan bilgiler, kuyu logları ve testler jeotermal kaynağın doğru olarak kavranmasını sağlar, özellikle aşağıdaki bilgilere erişilmelidir;

- Isı kaynağı ile ilgili görüşlerin güçlendirilmesi,
- Ortalama üretim değerlerinin belirlenmesi,
- Yeni üretim ve reenjeksiyon kuyularının lokasyonlarının, hedef derinliklerinin, yönlü kuyularda sapma açısı ve yönlerinin ve tasarımlarının ortaya konulması,
- Santral tasarımının çalışmaları ve buhar toplama sistemlerinin belirlenmesi

4. Safha_Projenin Yeniden Değerlendirilmesi ve Fizibilite

Jeotermal kaynak ortaya konulduktan ve birkaç araştırma kuyusu ile konfirme edildikten sonra proje riski oldukça düşmüştür ve artık fizibilite çalışması başlatılabilir. Fizibilite raporu aşağıdaki bilgileri içermelidir;

- Açılacak sondajların lokasyon ve tasarımları,
- İnşaat aktiviteleri (yollar, santral lokasyon hazırlığı vb),
- Sayısal rezervuar modeli ve öngörüler,
- Santral tasarımı,
- İletim hatları planları,
- Bütçe
- Elektrik üretim anlaşmaları, temrin planları, bütçesi ve yenileme projeksiyonları,

Fizibilite çalışmalarından sonra projenin devamına karar verilir.

5. Safha_Saha Geliştirme

Bu safhada öngörülen santral gücüne yeterli üretime ulaşmak ve üretilen akışkanın geri basılacağı gerekli sayıdaki reenjeksiyon ve üretim kuyuları açılır. Başarılı kuyuların açılması kritiktir, bunun için yer altı jeolojisinin yeterince aydınlatılmış olması, özel ilgi gösterilmesi gereken formasyonların ve sorunlarının belirlenmesi ve çözüme uygun stratejilerin belirlenmesi (örneğin yıkıntılı veya kaçaklı formasyonlar), permeabiliteyi etkileyen yapısal unsurların yeterince aydınlatılmış olması gereklidir. Bu çalışmalarda Jeoloji ve sondajı yürütecek Petrol Mühendislerinin birlikte strateji geliştirmesi, önceki çalışmalardan elde edilen bilgi ve deneyimleri dikkate almaları ve kuyu tasarımlarını yapmaları gerekir.

Kuyuların açılmasına başlanması ile birlikte santral inşaatına da başlanabilir.

2 km derinlikte bir kuyu için gerekli süre genelde 40-50 gündür. Proje Yöneticisi başarı oranını da dikkate alarak bir temrin planı oluşturmalı ve süreyi kısaltmak için birkaç makineyi de devreye sokmalıdır.

Rezervuarın sürdürülebilirliği için reenjeksiyon kuyuları da açılmalıdır. Reenjeksiyon kuyularının üretim kuyularına oranı yüksek entalpi alanlarında 1:4 iken, düşük entalpili alanlarda 1:1 civarındadır. Reenjeksiyon kuyularının sayısı üretilen akışkanın entalpisine, su-buhar oranına ve santral teknolojisine bağlı olarak değişir. Reenjeksiyon kuyularının lokasyonları ve derinlikleri, kavramsal ve sayısal model esas alınarak belirlenen diğer kritik bir süreçtir.

Sondaj programı birçok tedarik sürecinin dikkatli bir entegrasyonunu gerektirir. Bunların en önemlileri sondaj makinesinin kapasitesi, uygun klasta ve çapta casingler, lokasyon yolları ve yerleri, sondajda kullanılacak çamur için kimyasallar. Kuyular tamamlandıktan sonra kuyu geliştirme çalışmaları, kuyu testleri ve tracer testleri de önemli süreçlerdir.

6. Safha_Santral Kurulması

Bu safhada santral inşaatı, alt yapı tesisleri, tribün konstruksiyonu yapılırken diğer taraftan kuyu testlerine devam edilir.

7.Safha_İşletmeye alma ve Operasyon

Kaynaklar

GEOHERMAL EXPLORATION BEST PRACTICES (2013): A GUIDE TO RESOURCE DATA COLLECTION, ANALYSIS, AND PRESENTATION FOR GEOHERMAL PROJECTS, IGA (International Geothermal Association) Service GmbH

YER KAYNAKLI SIĞ JEOTERMAL SİSTEMLER: İLLER BANKASI ATAŞEHİR İSTANBUL ÖRNEĞİ

Ayşegül Çetin¹, Yusuf K. Kadioğlu², Halime Paksoy³, Süheyla Çetin¹, Orhan Işık¹

¹İller Bankası A.Ş., Üstyapı Uygulama Dairesi, Ankara

²Ankara Üniversitesi, Jeoloji Müh. Böl., Ankara

³Çukurova Üniversitesi, CESAM, Adana

(aysegulcetin32@gmail.com)

ÖZ

Türkiye'nin enerji politikası kapsamında fosil yakıtların kullanımının azaltılarak yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması giderek artan bir öneme sahiptir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan ve yer kabuğunun yaklaşık 400 m derinliğinde biriken ısıyı kullanmayı amaçlayan Sığ Jeotermal Sistemler “Yer Kaynaklı Isı Pompası” ve “Yeraltında Isıl Depolama Yöntemleri” olarak iki başlık altında incelenmektedir. Türkiye Alpin orojenezini içinde yeralan Geç Mesozoik'ten Kuvaternere'e kadar farklı bileşim ve karakterde magmatik faaliyetlere sahne olmuştur. Bu özelliğinden dolayı yer kabuğunda oluşan farklı derecelerdeki ısı akısı hem temel kaya hem de yeraltısuyunu önemli ölçüde etkilemiştir. Yine bu magmatizmalara bağlı ve yerin iç ısısını önemli ölçüde etkileyen doğrudan veya dolaylı olarak gelişen sığ ve derin jeotermal kaynaklar oluşmuştur. Isı akısı yerin termal iletkenliğine bağlı bir parametre olduğundan yenilenebilir enerji sistemlerinden biri olan sığ jeotermal sistemlerin tasarımını etkilemektedir. Yer kaynaklı jeotermal sistem tasarımında önemli parametreler olan yerin termal iletkenliği ve bozulmamış yer sıcaklığı jeoloji, litoloji ve bulunulan konuma bağlı olarak değişmektedir. Sığ jeotermal sistemler bina ısıtması yanında soğutma taleplerini karşılamak amacıyla akışkanın varlığından bağımsız olarak herhangi bir yere kurulabilmektedir. Türkiye'deki jeotermal kaynaklar ise genelde sıcak akışkandan elde edilen ısının kullanımına dayalı olup; elektrik üretimi, doğrudan kullanım, merkezi ısıtma ve sera sistemlerinde yaygın olarak kullanılmakta olup sığ jeotermal kaynaklar henüz araştırılmayı beklemektedir. Türkiye'de Sığ jeotermal sistem uygulama sayısının 2007 yılından bu yana artan bir eğilim içinde olduğu gözlenmekte olup büyük alışveriş merkezleri, hastaneler, havalimanları, oteller, okullar ve villa tipi uygulamaları mevcuttur. Kamu kurum binalarında uygulaması sınırlıdır. Bu eksikliğin giderilmesi ve Belediyelere örnek oluşturması açısından İller Bankası İstanbul Bölge Müdürlüğü binasında “Yer Kaynaklı Isı Pompası” sistemi uygulanmıştır. İller Bankası İstanbul Bölge Müdürlüğü binası Ataşehir bölgesinde yer almakta olup jeolojik olarak Kocatöngel Formasyonuna ait Paleozoik yaşlı metagrovaklar üzerine kuruludur. Binanın ısıtma talebi 1160, soğutma talebi 1817 Kwh olup, bu talebin 150 Kwh'lik bölümünün “Yer Kaynaklı Isı Pompası” sistemi ile karşılanması için derinlikleri 60-153 m arasında değişen 24 adet kuyu ısı değiştiricisi kullanılmıştır. Söz konusu kuyulardan iki tanesinde Çukurova Üniversitesi Çevre Sorunları Araştırma Merkezi (ÇESAM) tarafından “Isıl Duyarlılık Testi” gerçekleştirilerek kuyu direnci, bozulmamış yer sıcaklığı ve efektif toprak termal iletkenlik değerleri elde edilmiştir.

Bu çalışmada Türkiye'de yer kaynaklı sığ jeotermal sistem uygulamaları hakkında genel bir bilgi ile birlikte, jeolojik verilerin sığ jeotermal sistemler üzerindeki etkisi ve İller Bankası İstanbul Bölge Müdürlüğü binasında uygulanan “Yer Kaynaklı Isı Pompası” sistemi uygulamaları hakkında bilgi verilecektir.

Anahtar Kelimeler: Yer kaynaklı Sığ Jeotermal Sistemler, Yer Kaynaklı Isı Pompası

GROUND SOURCES SHALLOW GEOTHERMAL SYSTEMS: ILLER BANK- ATASEHIR-ISTANBUL CASE STUDY

Ayşegül Çetin¹, Yusuf K. Kadioğlu², Halime Paksoy³, Süheyla Çetin¹, Orhan Işık¹

¹Iller Bank Inc. Com., Superstructure Application Department, Ankara

²Ankara University, Geological Department, Ankara

³Cukurova University, CESAM, Adana

(aysegulcetin32@gmail.com)

ABSTRACT

With in the scope of Turkey's energy policy, reducing the use of fossil fuels and increasing the use of renewable energy sources has an increasing importance. Shallow geothermal energy systems which is one of the renewable energy resources aimed to use the accumulated heat in underground approximately up to 400 meter depth. These systems consist of two main groups which are named as "Ground Sources Heat Pump" and "Underground Heat Storage Systems".

Turkey shows a great importance magmatic intrusions which have different properties from Late Mesozoic to Quaternary during Alpine orogenesis. Depending of these magmatism, besides of many geothermal resources, there are a lots of deep and shallow active faults affecting heat of underground directly or indirectly. Ground thermal conductivity and undisturbed ground temperature are the key parameters in designing ground shallow geothermal systems and these parameters depending on geological, lithological and on their current location. Shallow geothermal systems in order to meet cooling besides heating demands of the building can be installed apart from existing geothermal fluids in everywhere. Geothermal resources in Turkey are based on using heat came from geothermal fluid; these implementing areas are electric generation, direct use, district heating and greenhouse generally, but shallow geothermal resources have been waiting to be explored. The applications number of shallow geothermal systems have increased since 2007, and consisting shopping centers, hotels, schools, airports and small houses are available, with limited official building systems. In wiew of fixing lack of implementing on official buildings and putting an example for municipalities of Turkey, "Ground sources heat pump system" has been implemented on Iller Bank- Istanbul-Atasehir official building. The building is located on metasandstone belonging Kocatongel Formation, Paleozoic aged in Atasehir municipality in Istanbul. Heating demand 1160 and cooling demand of the building are approximately 1160 and 1817 kWh, in order to get a portion of the demand, 150 Kwh, with ground source heat pump system, 24 borehole exchanger were installed varies between 60 and 153 meters depth. Thermal Response Tests were carried on by Environmental Problems Research Center, CESAM, at two borehole exchanger and effective ground thermal conductivity, undisturbed ground temperature, and well rezistivity parameter were obtained. In this paper, It is aimed to give a overwiev of shallow geothermal systems based on ground in Turkey, affecting geological parameters as a Case study of Iller Bank Ground Source Heat Pump System.

Keywords: Shallow geothermal systems based on ground, Ground sources heat pump system, Iller Bank Atasehir Building Case study.

1.GİRİŞ

Son yıllarda artan enerji ihtiyacı ve iklim değişikliği etkilerinin azaltılması hedefleri doğrultusunda yenilenebilir enerji uygulamaları artmaktadır. Türkiye’de konut sayısı yaklaşık 16 milyon olup, konutlar enerji tüketiminde %30’luk bir oranda ikinci büyük sektörü oluşturmaktadır. Bu ihtiyacın yaklaşık %80’ini ısıtma ihtiyacı oluşturmaktadır. Isınma ihtiyacının büyük bir bölümü ise CO₂ ve NO_x sera gazlarının atmosfere salınmasına neden olan fosil yakıtlardan karşılanmakta olup küresel ısınma etkisini artırmaktadır. Sığ jeotermal sistemler binaların enerji etkinliğini artırmakta ve binaların ısıtma ve soğutma ihtiyacının karşılanmasında önemli bir yenilenebilir enerji kaynağı seçeneği sunmaktadır.

Sığ Jeotermal sistemler “Yer Kaynaklı Isı Pompası” ve “Yeraltında Isıl Depolama Sistemleri” olarak iki ana grupta ele alınmaktadır. İki sistem arasındaki temel fark yeraltında biriken ısının dağılıma ve depolama açısından kullanılmasıdır. “Yer kaynaklı sistemlerde” uzun süreli kullanımda yeraltı ısıl dengenin değişmemesi için açılan kuyu içi ısı eşanjörlerinin birbirlerini etkilememesi amaçlanmaktadır. “Yeraltında Isıl Depolama” yöntemlerinde ise tam tersine atık ısı veya doğal bir kaynaktan gelen ısının depolanabilmesi için kuyu içi ısı eşanjörlerinin birbirini etkileyecek şekilde yerleştirilmesi amaçlanmaktadır. Isı Pompası sistemleri Türkiye’de bilinmesine rağmen sığ jeotermal sistemler ve jeotermal kaynaklı ısı pompası sistemleri yenidir.

İller Bankası A.Ş. bu kapsamda belediyelerin ısınma ve elektrik enerjilerinin yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması ile ilgili çalışmalar yapmaktadır. Belediyelere örnek oluşturması açısından öncelikle kendi hizmet binalarından biri olan İstanbul Bölge Müdürlüğü Binasında “Yer kaynaklı Isı Pompası”, güneş enerjisinden elektrik eldesi ve gri su kullanımı gibi uygulamalara öncülük etmiştir. Proje ve yapım çalışmaları 2012 ve 2015 yılları arasında yapılmış olup, sistem şu anda işleme alınmıştır.

2.SIĞ JEOTERMAL SİSTEMLER

Sığ jeotermal sistemler yer kabuğunun 400 m derinliklerine kadar biriken ısının “Yer Kaynaklı Isı Pompası Sistemleri” ve “Yeraltında Termal Enerji Depolama” yöntemleri kullanılarak binaların ve seraların ısıtılması ve soğutulmasında kullanılan sistemlerdir. Her iki sistem kendi içerisinde ısının kaynağına ve kuyu ısı değiştiricisinin yerleşimine göre alt gruplara ayrılmaktadır. Aşağıda sistemler ile ilgili kısa bilgi verilmektedir.

2.1. Yer Kaynaklı Isı Pompası Sistemleri

Literatürde Jeotermal Kaynaklı Isı Pompası (JKIP), Toprak Kaynaklı Isı Pompası (TKIP) olarak da adlandırılan sistemler genel olarak a) Yer kaynaklı (Kapalı) ve b) Su kaynaklı (Açık) olarak kullanılmaktadır.

Yer Kaynaklı (Kapalı sistemler): Kuyu ısı değiştiricilerinin dikey ve yatay yerleştirilmesi ile ısı transferinin sağlandığı kapalı ve dış ortamdan herhangi bir kütle girişi olmayan sistemlerdir. *Dikey sistemde:* Açılan sondaj kuyularının içine dolgu malzemesi ile birlikte içinde donmayı engelleyici sıvılar kullanılan kesintisiz U borular yerleştirilen Kuyu Isı değiştiricileri kullanılmaktadır. *Yatay Sistemde:* Borular toprağın 0-5 m derinliğine spiral veya yatay serme şeklinde yerleştirilmektedir.

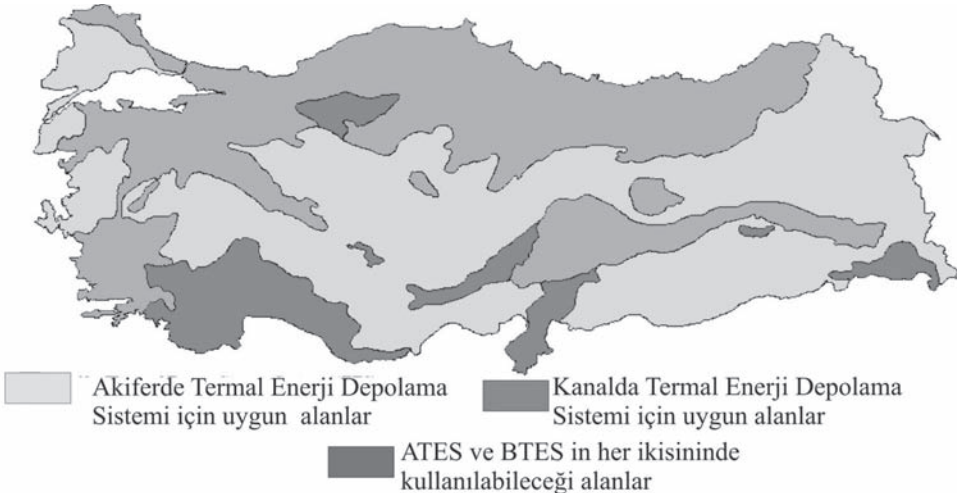
Su Kaynaklı (Açık sistemler): Bu sistemlerde ısı doğrudan yeraltı suyu veya yüzey suları kullanılmaktadır. Bu nedenle ortamın hidrojeolojik ve su kimyası özellikleri önem taşımaktadır.

2.2. Yeraltında Termal Enerji Depolama Sistemleri (YTED)

Söz konusu tekniklerinin temel prensibi; yaz ayları boyunca yüzey ısı ile yer altı ısı arasında sıcaklık farkından yararlanmanın yanı sıra, yaz ayları boyunca mevcut olan sıcaklığı yeraltında depolayıp bir sonraki kış ısıtmada kullanmaktır. Kış ayları boyunca da yukarıda anlatılan prensibin tam tersi geçerlidir. Kış ayları boyunca yüzey sıcaklığı ile yeraltı sıcaklığı arasındaki farktan yararlanılabildiği gibi kışın mevcut olan soğukluğu da yeraltında depolayıp bir sonraki yaz soğutmada kullanmaktır. Aynı temel prensiple son yıllarda gece-gündüz arasındaki sıcaklık farkını kullanarak daha çok telekomünikasyon istasyonlarının soğutulmasında kullanılmaya da başlanmıştır. Sistem ısıtma amacıyla kullanıldığında, fosil yakıt kullanımında sağlanan tasarrufla, hem enerjinin etkin olarak kullanımını sağlamakta, hem de CO₂, SO₂ ve NO_x gibi çevreye olumsuz etkileri olan gazların emisyonunu azaltmaktadır. Soğutma için kullanıldığında elektrik enerjisinde sağlanan tasarrufun yanı sıra ozon tabakasına zarar verdiği bilinen kloroflorokarbon (CFC) gazlarını kullanan soğutucu sistemlerin yerine geçmeleri bu gazların kullanımını da azaltmaktadır (Turgut, 2002). Ayrıca Türkiye’de bir süredir uygulanan elektrik fiyatlarının değişken tarifesine göre, talebin fazla olduğu saatlerle az olduğu saatler arasında %50’ye ulaşan bir fark oluşmaktadır. Ucuz olan dönemde depolanan enerjinin pahalı saatlerde kullanılmasıyla da daha ekonomik enerji tüketimi sağlanabilir (Paksoy, 1998). Yeraltında Isıl Depolama Sistemleri ortamın jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri göz önüne alınarak üç ayrı grupta tasarlanmaktadır:

- Akifer termal enerji depolama (ATED)
- Kuyularda termal enerji depolama (KTED)
- Tank ve çukurlarda termal enerji depolama (CTES)

Türkiye’de bu konuda yapılan çalışmalar kapsamında Çukurova Üniversitesi Balcalı Hastanesi Fizibilite çalışması yapılmıştır. Yapılan fizibilite çalışmasında elektrik kullanımında 3250 MWh, fuel oil kullanımında 1000 m³ yıllık tasarruf sağlayacağını, CO₂ emisyonundaki azalmanın ise 2100 ton/yıl olduğu hesaplanmıştır. Çukurova Üniversitesi ÇESAM Ar-Ge çalışması kapsamında Akdeniz iklimindeki seraların ısıtılması soğutulması konusunda 320 m² lik bir seranın iklimlendirilmesi ATED tekniği kullanılarak yapılmıştır. Diğer bir proje Mezitli Yonca Market ATED Projesi olup 2001 yılında tamamlanmıştır. ATED tekniği kullanılan sistemde soğutma yükü 195 kW, Isıtma Yükü 74 kW, enerji tasarrufu ise 60% olarak gerçekleşmiştir. Türkiye’de Yeraltında Enerji Depolama sistemlerine uygun alanlar yaklaşık olarak Şekil 2.1. deki haritada yer almaktadır.

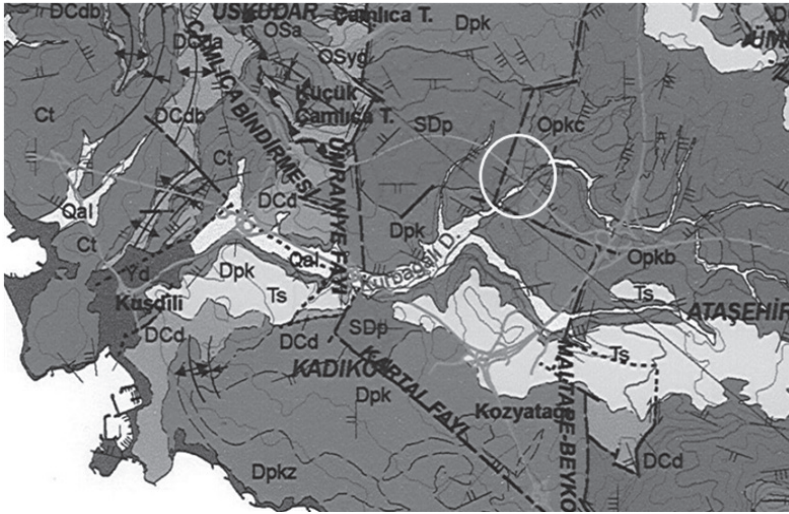


Şekil 2.1. Türkiye’de Yeraltında Termal Enerji Depolamaya uygun alanlar. (Paksoy, 1999)

3. ÇALIŞMA ALANI JEOLJİSİ

İller Bankası İstanbul Bölge Müdürlüğü binasının kurulu olduğu alan İstanbul Birliği içerisinde yer almaktadır. Bina yerleşiminin bulunduğu bölge civarında yaşlıdan gence Polonezköy gruba (Qp) ait Qpkc-Kocatöngel Formasyonu, Qpk-Kurtköy Formasyonu ile Sdp-Pelitli Formasyonu ve Dpk-Pendik Formasyonuna ait birimler gözlenmektedir (Şekil 3.1). Çalışma alanının jeolojisine ait bilgiler İstanbul İl Alanı Jeolojisi (Özgül, 2011) den derlenmiştir.

Kocatöngel Formasyonu(Qpkc): Laminallı miltaşı, kıltaşı ve metagrovak birimlerinden oluşmaktadır. Kocatöngel Formasyonu Polonezköy grubuna ait olup, Polonezköy grubu karasal koşullarda çökelmiş birkaç bin metre kalınlıkta kırıntılı kaya birimlerini kapsayan bir istiftir.



Şekil 3.1. Çalışma alanı civarı jeoloji haritası (Özgül, 2011).

Koyu yeşil, yeşilimsi küllengi miltaşı-kıltaşı formasyonun egemen kaya türlerini oluşturmaktadır. Kalınlığı 1 m'yi bulan yer yer kumtaşı ara düzeylerini içermektedir. Alt taban dokanağı il alanı içerisinde gözlenmemektedir. Formasyon içerisinde yaş belirtecek bir fosile rastlanmamıştır. Kurtköy Formasyonuna ait bakacak üyesi tarafından geçişli üstlendiği için yaşı Erken Ordovisiyen olarak belirlenmektedir.

Kurtköy Formasyonu (Qpk): Arkoz türü kıvımsız, mor, eflatun renkli, kırıntılı kayalardan oluşmaktadır. Özgül (2005) formasyonun boz-mor-eflatun renk ardalı, kumtaşı arakatlı miltaşlarının egemen olduğu alt düzeyini *Bakacak Üyesi (Qpkb)* ve çakıltaşı arakatlı şarabi-mor kumtaşlarından oluşan üst düzeyini ise Süreyyapaşa Üyesi olarak ayırtlamıştır. Bölge binası civarında Süreyyapaşa üyesi gözlenmemektedir.

Qpkb-Bakacak Üyesi: Kurtköy Formasyonunun alt düzeylerini oluşturmaktadır. Özgül (2005) birbiriyle yanal ve düşey geçişli olan ve egemen kayatürü, renk ve ortam özellikleri açısından aralarında yakın benzerlik bulunan çoğu durumda sahada birbirinden ayırılması güç olan formasyonların tümünü Kurtköy Formasyonu adı altında birleştirmiştir.

Pelitli Formasyonu (Sdp): Büyük bölümüyle kireçtaşlarından oluşmaktadır. Değişen oranlarda kil katkısı vardır. Resif ve sığ deniz kireçtaşları ile başlar, üst kesiminde yumru kireçtaşları ile son bulmaktadır. Üst Silüriyen-Erken Devoniyen yaşındadır.

Pendik Formasyonu-Kartal Üyesi (Dpk): Pendik Formasyonu büyük bölümüyle mika pullu, kil-mil boyu ince kırıntılı kayalardan oluşmaktadır. Kartal üyesi ise kara-koyu kül rengi, yer yer yeşilimsi, ayrıışmış boz-açık kahverengi bol mikalı kırıntılılardan oluşmaktadır. Dış etmenlere açık yüzeylemelerinde genellikle şeyl özelliği kazanmıştır. Erken Devoniyen yaşındadır.

4. İLLER BANKASI YER KAYNAKLI ISI POMPASI SİSTEMİ

4.1 Yer Kaynaklı Isı Pompası Toprak Tarafı Çalışmaları

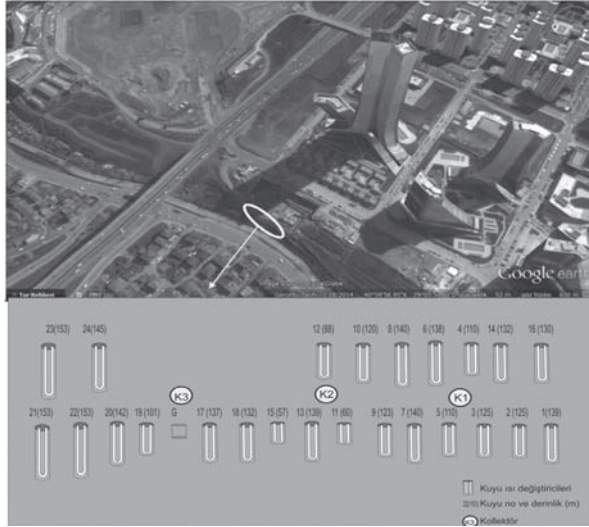
4.1.1 Kuyu litolojisi

İller Bankası İstanbul Bölge Müdürlüğü binasının ısıtma ve soğutma yükünün 150 KWh'lık bölümünün yer kaynaklı sistemle karşılanması planlanmış ve derinlikleri 60-153 m arasında değişen 24 adet kuyu açılmıştır. Kuyu açımında zeminin özelliğine bağlı olarak yapay dolgunun olduğu bölümde rotary, diğer bölümlerde ise havalı yöntem kullanılmıştır. Toplamda 3000 m'lik derinlik sağlanmıştır. Açılan sondajlarda üst seviyelerde kalınlığı 6- 12 m arasında değişen yapay dolgu birimi geçildikten sonra Kocatöngel Formasyonu'na ait metagrovak seviyeler geçilmiştir. Yapay dolgu kalınlığı (23, 24, 21 ve 22 no'lu kuyular) 5 m civarında iken alanın güneydoğusunda kalan 1 ve 4 no'lu kuyularda 12 m'ye kadar ulaşmaktadır. Metagrovak birimleri yeşilimsi gri renkli ve oldukça kırık ve çatlaklıdır. Çatlaklı seviyeler 40-80 ve 120 m'lerde yoğun olarak yer almakta ve yeraltı suyu içermektedirler. Çatlaklarda yersel olarak ikincil kireçtaşı oluşumları gözlenmektedir. Ankara Üniversitesi tarafından üstte yer alan yapay dolgunun termal iletkenlik değerleri çalışma alanında 7 noktada ölçülmüştür. Yapay dolgunun termal iletkenlik değerlerinin (λ) 1,15-0,65 WmK aralığında değiştiği belirlenmiştir.

4.1.2 Kuyu içi ısı eşanjörleri:

Proje aşamasında binanın ısı yükü hesaplamaları sonucu 1160 Kwh ısıtma, 1817 Kwh Soğutma ihtiyacı belirlenmiş ve binanın yerleşeceği arsa içindeki boş alan değerlendirilerek toplamda derinlikleri 60-153 m arasında değişen 24 adet kuyu içi ısı eşanjör (Şekil 3.2) devresiyle 150 Kwh'lık soğutma ve ısıtma yükü elde edilebileceği öngörülmüştür.

Her bir kuyunun açımı tamamlandıktan sonra daha önce basınç testi yapılan 16 bar basınca dayanıklı, polietilen malzemeden üretilmiş, kesintisiz U borular ucuna ağırlık yerleştirilerek kuyu içine bırakılmışlardır. Kuyu içine yerleştirmeleri sırasında oluşabilecek hasarın belirlenmesi amacıyla tekrar basınç testi yapılarak kontrol edilmişlerdir. U boruların yerleştirilmesi aşamasını izleyerek termal iletkenliği 2.35 W/mK değerini karşılayan dolgu malzemesi kullanılmış ve prizlenmesi sağlanmıştır.



Şekil 3.2. Kuyu ısı değiştiricilerinin yerleşimine ait kroki.

4.1.3. Toprak Isıl Duyarlılık Testi (TIDT):

Çalışma alanında sahayı temsil edebilecek iki kuyuda Çukurova Üniversitesi tarafından “Toprak Isıl Duyarlılık Testi”(TIDT) gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.3). Toprak Isıl Duyarlılık Testi (TIDT) toprak kaynaklı sistemlerin kuyu içi ısı değiştiricilerinin tasarım parametrelerinden etkin toprak ısı iletkenliğini (λ_{eff}) ve kuyu ısı direncini (R_b) belirlemek için kullanılan bir arazi analiz yöntemidir. Bu analiz bir öntasarım yöntemi olup, genellikle tüm sistemin tasarımı yapılmadan önce yapılmaktadır. Bu testin yaygın uygulanan yönteminde kuyu içi ısı değiştiricisine sabit ısı enjekte ederek toprağın ısı duyarlılığı ölçülerek elde edilen veriler “line source” yöntemi ile değerlendirilmektedir (Gehlin and Helstrom, 2003).



Şekil 3.3 Toprak Isıl Duyarlılık Test cihazına ait görüntü.

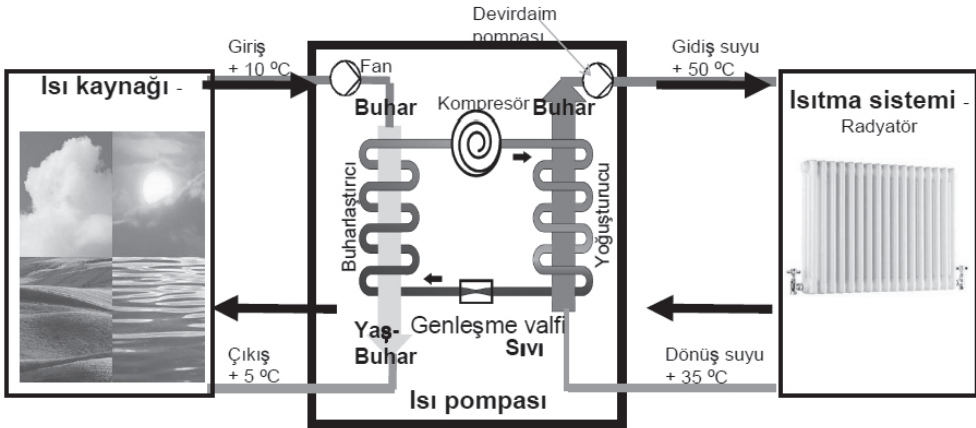
TİDT ısıtmasız sirkülasyonla beraber toplam 84,5 saat sürmüştür. Isıtmasız sirkülasyon sırasında ölçülen akışkan kuyu-içi ısı değiştiricisine giriş ve çıkış ve dış ortam sıcaklık verileri zamana karşı ölçülmüştür. Ortalama toprakaltı sıcaklığı 17,6°C olarak hesaplanmıştır. Bu değer İstanbul'un yıllık ortalama hava sıcaklığına göre beklenen $15 \pm 1-2$ °C değerinden 0,6 °C sapma göstermektedir. Bu artışın civardaki yapılaşmanın toprakaltı sıcaklığı üzerindeki etkilerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Verilerin değerlendirilmesi sonucu K1 kuyusu için kuyu ısıl direnci, R_b ve etkin toprak ısıl iletkenliği λ_{eff} sırasıyla 0.12 K/(W/m) ve 4.5W/mK ve K21 kuyusu için kuyu ısıl direnci, R_b ve etkin toprak ısıl iletkenliği λ_{eff} sırasıyla 0.04 K/(W/m) ve 2.8 W/mK olarak hesaplanmıştır (Paksoy, 2014). Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi ile 150 kWh olarak öngörülen ısı yük kapasitesinin 207 kWh olduğu belirlenmiştir.

4.2. Yer Kaynaklı Isı Pompası Bina Tarafı

4.2.1. Isı Pompası Çalışma Prensibi

Isı pompası enerjiyi bir kaynaktan diğer kaynağa taşıyan ve elektrikle beslenen bir sistemdir. Isı pompası adını ısı enerjisini bir yerden bir yere pompalama kabiliyetinden almaktadır. Enerji kaynağı hava, su ya da topraktır. Isı pompası enerji aldığı kaynağı ısıtma konumunda çalışırken soğutur, soğutma konumunda çalışırken ise ısıtır. Bu nedenden dolayı projelendirmeler yapılırken ısıtma ve soğutma işleminin aynı anda yapılması daha uygun olmakta ve geri dönüş süresi kısalmaktadır. Isı pompalı sistemlerde ihtiyaç duyulan enerjinin $\frac{3}{4}$ ü doğadan (hava, su, toprak) $\frac{1}{4}$ ü ise elektrik enerjisi karşılanmaktadır. Kullanılan cihazın COP değerine göre alınan toplam enerji miktarı değişmektedir. Isı Pompalarının seçiminde mümkün olduğu kadar dikkat edilmesi gereken husus kaynağın sıcaklık değerlerinin çok değişken olmamasıdır. Isı pompası dört ana elemandan oluşmaktadır;

1. Kondenser (Yoğuşturucu), 2-Genleşme Valfi,
2. Buharlaştırıcı (Evaporatör) 4-Kompresör



Şekil 4.1. Isı pompası çalışma prensibi

Dış ortamdan gelen ısı bir fan yardımıyla buharlaştırıcıdan geçirilir. Buharlaştırıcıda bulunan akışkanın sıcaklığı ve basıncı düşük olup ısı kaynağından alınan ısı enerjisi ile oluşan sıcaklık farkı, soğutucu akışkanın sıcaklığının artırılmasını sağlamaktadır. Soğutucu akışkan kaynağın buharlaşır. Sonraki aşamada buhar fazındaki akışkan kompresör yardımıyla sıkıştırılarak

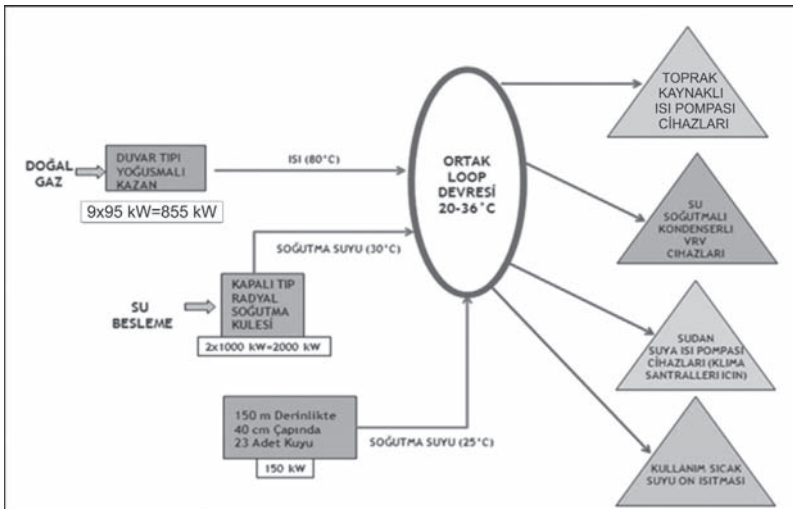
sıcaklık ve basıncı artırılır. Daha sonra buhar fazındaki soğutucu akışkan yoğunlaştırıcıya (kondenser) gönderilir. Yoğuşturucudaki ısıtma suyunun (mahal ve sıcak su için) sıcaklığı buhar fazındaki akışkanın yoğuşma sıcaklığından daha düşük olduğundan, akışkanın ısını ısıtma suyuna aktararak tekrar sıvı faza geçmektedir. Genleşme valfinde kısma: Soğutucu akışkanın kompresörden aldığı yüksek basınç, genleşme valfinde düşürülür. Akışkan buharlaştırıcıya tekrar düşük sıcaklık ve basınçta ulaşır kapalı çevrim tamamlanmaktadır (Şekil 4.1).

4.2.2. İller Bankası Ataşehir Binası

İller Bankası İstanbul Bölge Müdürlüğü Misafirhane ve Sosyal Tesisi Binasında yaklaşık 1160 kWh ısıtma enerjisi, 1817 kWh da soğutma enerjisine ihtiyaç duyulmaktadır. Binada mümkün olduğu ölçüde enerji tasarrufu sağlanması ve elektrik tüketimlerinin azaltılması amaçlanmış olup, enerji performansı yüksek bir bina yapılmaya çalışılmıştır. Bina ısıtma-soğutma ihtiyacının 207 Kw'mın 24 adet kuyu içi ısı değiştiricisi kullanılarak karşılanabileceği hesaplanmıştır. Bir tanesi yedek olmak üzere 2 adet 500 kw kapasiteli ısı pompası monte edilmiştir. Toprak tarafından elde edilen enerji binanın ısıtma-soğutma ihtiyacının tamamını karşılamadığı için ısıtma ihtiyacı için yaklaşık 9 adet 95 kw kapasiteli yoğuşmalı kaskad kazan, soğutma ihtiyacı için ise 2 adet 1000 kw (1 tanesi yedek) kapasiteli kapalı soğutma kulesi monte edilmiştir. Yaz aylarında loop suyu ile yaklaşık 30 °C'ya kadar atık ısı ile kullanım sıcak suyu için ön ısıtma yapılarak loop suyu sıcaklığı düşürülmesi ve soğutma kulelerinin çalışma süresinin kısaltılması sağlanmıştır (Şekil 4.2.)(İller Bankası Makine ve Tesisat Raporu, 2014).

Ayrıca enerji verimliliği açısından binada gri su sistemi tasarlanmış olup, lavabo ve duşlar ayrı bir hat üzerinden toplanarak gri su siteminde artıldıktan sonra geri kazanılan suyun kule besleme hattında, bahçe sulamada ve araç yıkamada kullanılması öngörülmüştür.

Bina çatı katına elektrik enerjisinin bir kısmını karşılamak amacıyla fotovoltaik paneller yerleştirilmiş ve çift taraflı sayaç konularak binada elektrik tüketimi olduğunda ihtiyacın karşılanması, tüketim olmadığı zaman ise Anadolu Yakası Elektrik Dağıtım A.Ş. kurumuna satış yapılması amaçlanmıştır.



Şekil 4.2. Mekanik tesisat kullanımına ait şematik görünüm.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sığ jeotermal sistemler binaların ısıtma ve soğutma taleplerinin karşılanmasında kullanılmakta ve akışkanın varlığından bağımsız olarak genel olarak her yere kurulabilmektedirler. İller Bankası İstanbul Bölge Müdürlüğü binasında, Belediyelere örnek olması açısından bina tasarımında yer kaynaklı ısı pompası, güneş enerjisinden elektrik eldesi ve gri su uygulamalarını kullanarak enerji etkin bir bina uygulaması yapılmış, kamu kurumları arasında bu konuda öncü bir uygulama gerçekleştirilmiştir.

Yer kaynaklı ısı pompası sisteminde derinlikleri 60-153 m arasında değişen kuyular açılarak, toplamda 3000 m³’lik kuyu içi eşanjör devresi tamamlanmıştır. Kuyularda üstte 2-10 m derinliğinde yapay dolgu ve 10-150 m arasında ise İstanbul Birliği içinde yer alan Kocatöngel Formasyonuna ait metagrovak seviyeleri geçilmiştir. Metagrovak seviyeleri oldukça kırıklı çatlaklı olup, kırık ve çatlakların arasında ikincil kalsit oluşumları gözlenmiştir. Yapay dolgunun termal iletkenlik değerlerinin 1,15-0,65 WmK arasında değiştiği belirlenmiştir.

Çalışma alanındaki kuyuları temsil edebilecek iki kuyuda Çukurova Üniversitesi tarafından Toprak Isıl Duyarlılık Testi yapılarak bozulmamış yer sıcaklığı, kuyu içi eşanjörlerinin etkin termal iletkenliği ve kuyu direnci belirlenmiştir. Kuyulardaki termal iletkenlik değerleri 2,5-4,5 (WmK), Kuyu direncinin ise 0,04-0,12 K/(W/m) olduğu belirlenmiştir. Verilerin değerlendirilmesiyle kuyulardan alınması öngörülen 150 kWh ısı yükünün 207 kWh’a çıkabileceği hesaplanmıştır.

Yeraltından elde edilen enerjinin verimli kullanılabilmesi için yerleştirilen 500 kW kapasiteli ısı pompasının COP değeri yüksek seçilmeye çalışılmış ve böylece elektrik enerjisi tüketiminin minimumda tutulması amaçlanmıştır.

Yer kaynaklı ısı pompasının enerji kaynağının ücret gerektirmeyen yenilenebilir enerji olması, fosil yakıt tüketimini ve dolayısıyla CO₂ emisyonlarının azaltılması, işletme maliyetinin düşük olması, düşük ısı ihtiyacı ve düşük sistem sıcaklıklarında verimli çalışması dolayısıyla konut ve işyerlerinin ısıtma ve soğutma sistemlerinde yaygınlaştırılmasının yararlı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Gehlin, SEA., and Helstrom, G., 2003, Comparison of Four Models for Thermal Response Test Evaluations, ASHRAE Transactions-American Society of Heating Refrigerating Airconditioning Engin, 109-1, 131-142.
- Özgül, N., 2011, İstanbul İl Alanı Jeolojisi, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü, İstanbul.
- Turgut, B., 2002, Yeraltında Termal Enerji Depolama Tekniklerinde Belirleyici Koşulların İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Paksoy, H.O., 1999, Underground thermal energy storage potential in Turkey, IEA ECES Annex 8 report.
- Paksoy, H.O., 2014, İlbank A.Ş. Toprak Isıl Duyarlılık Test Raporu.
- İlbank A.Ş. İstanbul Bölge Müdürlüğü Makina ve Tesisat Tasarım Uygulama Raporu, 2014.

JEOTERMAL KAYNAKLI BÖLGESEL ISITMA SİSTEMİNİN SİMAV YÖRESİNDE KULLANIMI VE BÖLGE EKONOMİSİNE KATKILARI

Hasan Şahin¹, Tahsin Güler¹, Ahmet Ilıca¹

¹Dumlupınar Üniversitesi Simav Meslek Yüksekokulu
(hasan.sahin@dpu.edu.tr)

ÖZET

Ülkelerin ekonomik açıdan giderek gelişmeleri enerjiye olan ihtiyacı da hızla arttırmaktadır. Bu nedenle ülkeler bir yandan alışılmış enerji kaynaklarından daha ekonomik yararlanma yollarını diğer yandan da yenilenebilir enerji kaynaklarından daha kapsamlı olarak faydalanma şekillerini araştırmaktadırlar. Simav örneği bu nedenle büyük önem taşımaktadır. Çünkü ülkemizde jeotermal enerjiden yararlanarak şehirlerin ısıtılması hususunda en iyi örneklerden birisi Simav'da gerçekleştirilmiş ve bugüne kadar oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Jeotermal enerjinin, İzmir, Afyonkarahisar gibi komşu illerde jeotermal bölgesel ısıtmada başarı ile kullanılması, Simav'a örnek olmuştur. Bu nedenle, çalışmada öncelikle bu örnek uygulamanın tanıtımı özetlenmiştir. Ayrıca çalışmada, sahanın jeolojik ve coğrafi özellikleri gösterilmeye çalışılmış, jeotermal enerjinin kullanım alanları ve genel özellikleri üzerinde durulmuş, bu enerji kaynağının yöreye yapmış olduğu ekonomik ve sosyal etkiler incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal Enerji, Konut Isıtma, Sera Isıtma, Ekonomik Katkı, Simav

GEOHERMAL ENERGY USE IN CENTRAL HEATING SYSTEM SIMAV REGIONS AND EFFECTS OF THE REGIONAL ECONOMY

Hasan Şahin¹, Tahsin Güler¹, Ahmet Ilıca¹

*¹Dumlupınar University Simav Vocational School
(hasan.sahin@dpu.edu.tr)*

ABSTRACT

As the countries grow up financially, their energy needs also increase fast. Therefore the countries are searching for both the ways to benefit from usual energy sources and how they can use the renewable energy extensively. esearchers really consider more about the renewable energy such as geothermal, solar, wind, tide and search them to benefit more economically. Use of geothermal energy in regional heating that have used with success in neighboring provinces such as İzmir and Afyonkarahisar has become reference for district Simav. Therefore, this model implementation has been considered on a preferential basis. Furthermore, it has been tried to indicate the area's geological and geographical location, the area of utilization of geothermal energy and it's general aspects. Besides, the economic and social effects of this energy source on the environ have been examined.

Keywords: *Geothermal Energy, Housing heating, greenhouse heating, Economic Contribution, Simav*

1. GİRİŞ

Ülkelerin ekonomik açıdan giderek gelişmeleri, enerjiye olan ihtiyaçları da hızla arttırmaktadır. Bu nedenle ülkeler, bir yandan alışılmış enerji kaynaklarından daha ekonomik yararlanma yollarını, diğer yandan da yenilenebilir enerji kaynaklarından daha kapsamlı olarak faydalanma şekillerini araştırmaktadırlar. Gerçekten de araştırmacılar, son yıllarda jeotermal, güneş, rüzgâr ve gel-git gibi yenilenebilir enerji kaynakları ile daha fazla ilgilenmekte ve söz konusu kaynaklardan, daha ekonomik olarak yararlanmak için araştırmalar yapmaktadırlar.

Konuya bu açıdan bakıldığında, Dünya’da enerji ihtiyacının hızla artışı, geleneksel enerji kaynaklarının dışında, yeni enerji kaynaklarının araştırılmasına neden olmuştur. Söz konusu yeni enerji kaynaklarının biri de jeotermal enerjidir. Enerji kaynaklarının ekonomik olarak kullanılabilirliğinin temelinde, enerji üretim maliyetleri yer almaktadır.

Enerji üretiminde, en büyük maliyeti ise ilk yatırım giderleri oluşturmaktadır. Bu nedenle enerji sektöründe üretim yapan işletme sayısı fazla değildir. Tüketiciler, alternatif enerji kaynaklarına sahip olmaları durumunda, hangi enerji kaynağının kullanımının ekonomik olacağını bilmek istemektedirler. Simav yöresi de bu alternatif enerji kaynağına sahip ender yörelerden birisidir.

Ülkemizde de ekonomik gelişmeye ve hızlı kentleşmeye bağlı olarak enerji ihtiyacı giderek artmaktadır. Özellikle kentlerin ısıtılması konusunda önemli güçlükler söz konusudur. Isınmada yararlanılan petrol ve kömür gibi alışılmış enerji kaynaklarının giderek pahalılaşması, hava kirliliğine neden olması ve en önemlisi rezervlerin bir gün biteceği endişesi, önemli bir sorun oluşturmaktadır. Her ne kadar bazı şehirlerde doğal gaz ve kaliteli kömür kullanılarak, hava kirliliği sorunu çözümlenmeye çalışılsa da henüz tam olarak başarıya ulaşamamıştır.

Böyle bir ortamda, jeotermal enerjinin önemi daha iyi anlaşılmaktadır. Gerçekten de jeotermal enerji kaynağı, hava kirlenmesine neden olmadığı gibi maliyet açısından da diğer enerji kaynaklarından daha ucuzdur. Ülkemizin jeotermal enerji kaynakları açısından oldukça zengin olduğu dikkate alınır, bazı şehirlerimizin belirtilen enerji kaynağından yararlanılarak ısıtılabilceği düşünülebilir.

Jeotermal enerjinin, Simav ilçesinin ısıtılmasında başarı ile kullanılması, bu enerji kaynağına sahip yörelerdeki şehirler için iyi bir örnek olmuştur. Bu nedenle, araştırmada öncelikle bu örnek uygulamanın tanıtımı özetlenmiştir. Ayrıca çalışmada, sahanın jeolojik ve coğrafi konumu belirtilmeye çalışılmış, jeotermal enerjinin kullanım alanları ve genel özellikleri üzerinde durulmuş, bu enerji kaynağının yöreye yapmış olduğu ekonomik ve sosyal katkıları incelenmiştir.

2. DÜNYADA VE TÜRKİYE’DE JEOTERMAL KAYNAKLARIN KULLANIMI

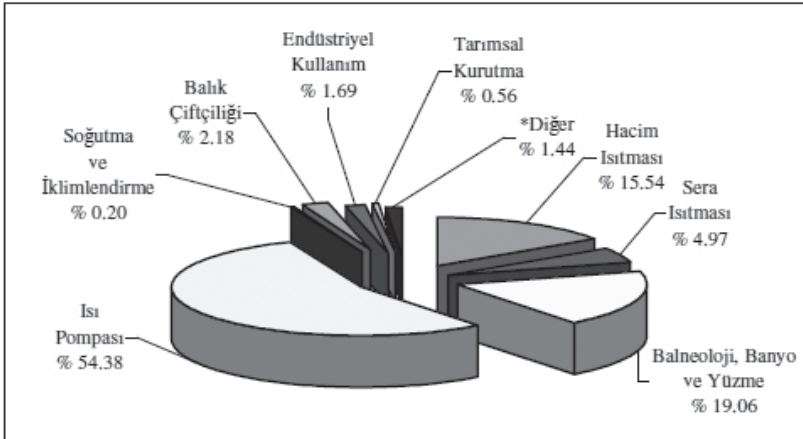
Dünya nüfusunun hızla artması, hızlı sanayileşme gibi etkenler enerji alanındaki yatırımları, bilimsel ve teknolojik çalışmaları etkilemektedir. Uluslararası bir boyut kazanan bu enerji sorununun çözülmesi için yeni enerji kaynaklarının bulunması ve geliştirilmesi gerekmektedir. Şu sıralar enerji ihtiyacının büyük bir kısmını teşkil eden fosil kökenli yakıtların ham maddesi olan petrol rezervlerinin sınırlı olması ve 21. yüzyılın ilk yarısı içinde bu fosil kökenli yakıtların tükenmesi kaçınılmazdır. Bu açıdan, dünya ülkeleri yenilenebilir enerji kaynakları arayışını hızlandırıp daha çok yararlanma yollarını araştırırken daha farklı ve yeni enerji kaynakları bulmak durumundadır (Kellegöz ve Özkan, 2004). Dünya üzerindeki yoğunlaştığı bölgeler Şekil 1’de gösterilen Jeotermal kaynaklar, önemli ölçüde elektrik ve ısı enerjisi eldesinde kullanılmaktadır.



Şekil 1. Jeotermal Rezervuar Sıcaklık Noktaları (Basu, 2011)

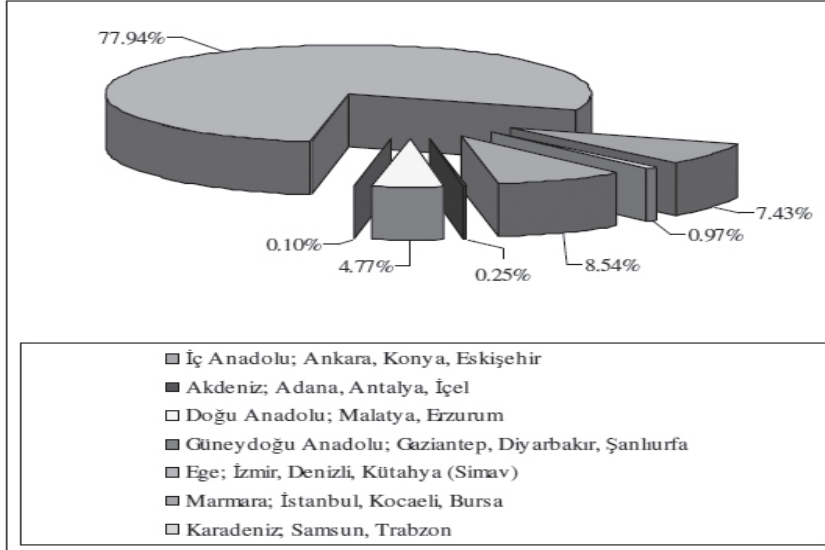
Endüstriyel uygulamalarda; yiyeceklerin kurutulmasında (balık, yosun vb.) ve sterilize edilmesinde, konservecilikte, kerestecilikte ve ağaç kaplama sanayiinde, kağıt, dokuma ve boyamacılıkta, derilerin kurutulması ve işlenmesinde, bira ve benzeri endüstrilerde mayalama ve damıtmada, soğutma tesislerinde kullanılmaktadır. Kimyasal madde üretiminde; borik asit, amonyum bikarbonat, ağır su (döteryum oksit: D₂O), potasyum klorür vb. kimyasal maddelerin elde edilmesi ile jeotermal akışkandaki CO₂'den kuru buz elde edilmesinde kullanılmaktadır. (DPT, 2009).

Dünyada jeotermal kaynakların diğer bir kullanım alanı ise elektrik enerjisi üretimidir. Bu alanda gerek sahip olduğu kaynak gerekse teknoloji açısından 3054 MWe güç ile ABD başı çekmektedir. ABD'yi 1902 MWe ile Filipinler, 1187 MWe ile Endonezya, 958 MWe ile Meksika izlemekte, Türkiye'nin 94 MWe (Basu, 2011) olan kurulu gücü, 2013 yılında 404 MWe (<http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Jeotermal>) ulaşmasına rağmen sahip olduğu potansiyeli yeterince değerlendiremediği görülmektedir.



Şekil 2. Kurulu gücün kullanım alanlarına göre dağılımı (Lund, 2005)

Dünyada jeotermal enerjinin çok çeşitli kullanım alanları olmakla birlikte ağırlıklı kullanımın ısı pompaları ve termal turizm olduğu (Şekil 2) görülmektedir.



Şekil 3. Türkiye jeotermal enerji potansiyeli bölgesel dağılımı (ARSLAN, 2008)

Ülkemizin sahip olduğu jeotermal enerji potansiyelinin bölgeler arası dağılımına bakıldığında (Şekil 3) Simav havzasının da yer aldığı Ege Bölgesinin kaynakların %77,94'üne sahip olduğu görülmektedir.

Ülkemizde jeotermal kaynakların yeterli çeşitlilikte kullanılmadığı, kullanımın konut ve sera ısıtılmasında yoğunlaştığı görülmektedir. 2005 yılı itibarıyla, Türkiye'nin ısıtma amaçlı kurulu gücü 1229 MW'tir. Bu kurulu gücün yaklaşık %52'si 103000 konut ısıtılmasında, %16'sı sera ısıtılmasında ve %32'lik kısmı ise 215 adet kaplıcada sıcak su ihtiyacı için kullanılmaktadır (JEODER, 2008).

Ülkemizde, son yıllardaki artışla turizm ve sağlık amaçlı termal tesis sayımız bugün 350'ye ulaşmış, bunun yanında 2013 yılı sonu itibarıyla sera ısıtması 2.924.000 m²; konut ısıtması ise 89.443 konuta yükselmiştir. Jeotermal enerjiyle üretilebilecek elektrik potansiyelimiz ise teorik olarak yaklaşık 2.000 MWe olarak tahmin edilmektedir. 2013 yılı sonu itibarıyla, EPDK'dan üretim lisansı almış olanlarla birlikte ülkemizin jeotermal elektrik üretim potansiyeli 706,4 MWe'e ulaşmıştır. Bu rakamın 2023 yılı sonuna kadar 1.000 MWe'e ulaşması beklenmektedir. Ülkemizde bugün 15 adet jeotermal enerji santrali mevcut olup, kurulu güç 404.9 MWe düzeyine ulaşmıştır (<http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Jeotermal>).

3. JEOTERMAL KAYNAKLI BÖLGESEL ISITMA SİSTEMİ

Ülkemizin çeşitli bölgelerinde halen işletilmekte olan bölgesel ısıtma sistemleri bulunmaktadır (Mertoğlu vd., 2003; Hepbaşı ve Özgener, 2004). Son yıllarda meyve ve sebze üretiminin dünyadaki stratejik öneminin artması, sera uygulamalarının yaygınlaşmasına yol açmıştır. Ülkemiz sera yapımına uygun verimli topraklara sahiptir. Sera ürünlerinin ekonomik değerinin daha fazla olması nedeniyle, bu topraklardan özellikle organik tarım ürünleri yetiştirmek oldukça

kazançlı bir değerlendirme olacaktır. Sera ısıtması amacıyla kullanılacak en ucuz ısıtma sistemi jeotermal enerjili ısıtmadır. Ülkemizde, jeotermal ısıtmalı sera uygulamaları bulunmaktadır (Hepbaşlı ve Özgener, 2004).

Ülkemizde jeotermal enerjiden endüstriyel amaçlı kullanım çok düşük seviyededir. Bu konuda önemli bir potansiyelimiz bulunmaktadır. Örneğin; jeotermal sahalarla yakın konumdaki tüm fabrikalar proses ısısı ve mekan ısıtma amaçlarıyla jeotermal enerjiden yararlanabilirler. Özellikle Ege ve Marmara bölgeleri, hem yoğun endüstri bölgelerine, hem de önemli jeotermal sahalarla sahiptir. Jeotermal enerjiden çeşitli alanlarda üretim yapmak mümkündür. Şu an ülkemizde jeotermal akışkanlardan kuru buz üretimi, sıvı CO₂ üretimi ve kalsiyum karbonat üretimi yapılmaktadır.



Şekil 4. Ülkemizdeki jeotermal bölgesel ısıtma sistemleri (MTA, 2015)

Son dönemde artan çalışmalarla 2005 yılında 170 olan keşfedilmiş jeotermal saha sayısı günümüz itibariyle 190'a ulaşmıştır. Bunlardan 6 tanesi elektrik üretimine uygun olan Aydın-Umurlu (150 °C), Aydın-Sultanhisar (146 °C), Aydın-Bozköy (143 °C), Aydın-Atça (124 °C) ve Aydın-Pamukören (188°C), Nazilli-Bozyurt (127°C) jeotermal sahalarıdır (MTA, 2015). 2009 yılı içerisinde 19 adet kuyuda çalışmalar tamamlanmış olup toplam 18.231 m sondaj yapılmış, ülke potansiyeline 240 Mwt enerji ilave edilmiştir. Bu sahalardan Aydın-Pamukören rezervuarında 850 m'de 188 °C sıcaklık içeren sahası Türkiye'nin 4. en sıcak jeotermal enerji alanıdır (MTA, 2015).

Türkiye'de elektrik üretimine uygun potansiyel içeren 17 adet saha bulunmaktadır ve bu sahaların tamamı Batı Anadolu'da yer almaktadır. Bu sahalarda üretim yapan kurulu güç 91,7 Mwe dir. Tüm bu sahaların geliştirme çalışmaları tamamlandığında bu kapasite 630 Mwe'ye çıkarılabilecektir. Bugün için bu sahalardan Denizli-Kızıldere'de 15 Mw ve 5 Mw, Aydın-Salavatlıda 7,4 Mw ve 9,5 Mw, Aydın Germencikte 47,4 Mw ve Çanakkale'de 7,5 Mw kurulu güce sahip santralden elektrik üretilmektedir. Ayrıca MTA Genel Müdürlüğü tarafından keşfedilmiş diğer sahalardan Aydın-Umurlu, İzmir-Seferihisar, Aydın-Atça ve Aydın-Bozköy'de gerek sözleşme, gerekse ihale yolu ile yatırımcılara devredilmiş sahalarda santral inşaa çalışmaları devam etmektedir (MTA, 2015).

Ülkemizde jeotermal enerjiden doğrudan kullanım olarak merkezi ısıtma, sera ısıtması ve termal turizmde yararlanılmaktadır. Ülkemizde 18 yerleşim birimimizde merkezi konut ısıtması (67700 konut eşdeğeri, 608 MWt), 15 sahada seracılık, (1579000 m², 292 MWt) ve 200'ün üzerinde termal tesiste tedavi ve termal turizm amaçlı yararlanılmaktadır (MTA, 2015).

Son yıllarda ülkemizde sağlık amaçlı kaplıca kullanımı (balneoloji) artış göstermektedir. Balneolojik amaçlı, yaklaşık 40 °C sıcaklığa sahip debi potansiyelimiz 50000 kg/s'dir. Bu debiyle günde 8 milyon kaplıca müşterisine hizmet verilebilir (Hepbaşlı ve Özgener, 2004).

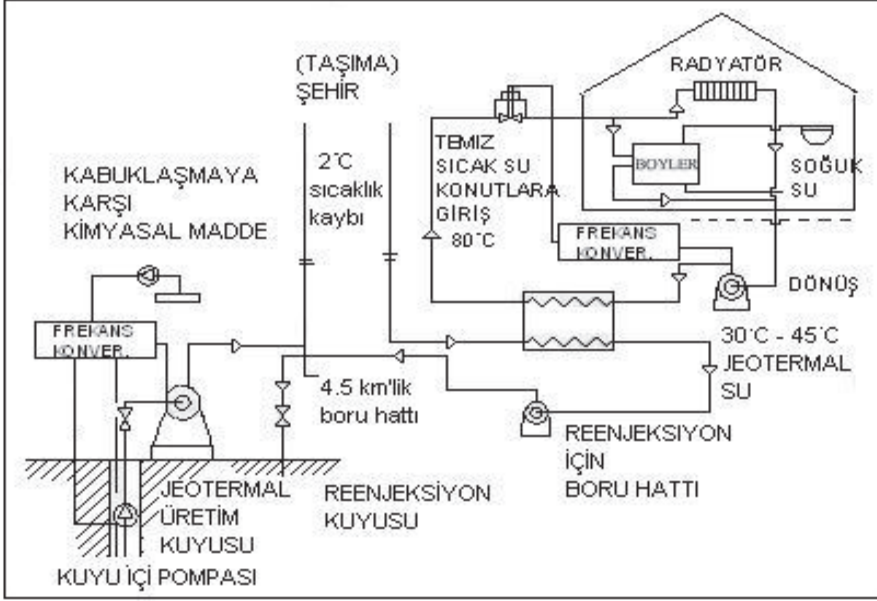
Batı Anadolu bölgesi graben sistemi ve bu sistemi oluşturan kırıklar üzerinde yer alan Kütahya, jeotermal kaynaklar açısından ülkemizin zengin sayılabilecek illerinden birisidir. Bu kaynaklardan, halen sağlık turizmi ısınma amaçlı olarak sınırlı miktarda yararlanılmaktadır. İl bazında 12 değişik merkezde, sıcaklıkları 40–162 °C arasında değişen jeotermal potansiyelin çoğu kaplıca şeklinde olup, bu potansiyelin entegre tesislerle daha faydalı hale getirilebileceği düşünülmektedir. Termal Turizm Merkezleri oluşturulması çalışmaları esnasında Kütahya'daki altı merkez "Termal Turizm Merkezi" ilan edilmiştir (<http://www.mta.gov.tr>). Bu merkezler; Yoncalı, Ilıca-Harlek, Gediz-Ilıcasu, Gediz-Muratdağı, Emet-Yeşil-Kaynarca, Simav-Eynal kaplıcaları olup, bu kaynakların büyük bölümünde yeterli tesis olmasına rağmen daha da geliştirilerek aktif dış turizmin hizmetine sunulabilir.

Yaklaşık 3000 yıldan beri kaplıca hamamı olarak kullanılan Kütahya Simav bölgesinde, 1980'li yılların ikinci yarısında değişik amaçlı kullanımlar (konut ısıtması, sera ısıtması, termal turizmi vb.) için çalışmalar başlatılmıştır. 1989 yılında fizibilite raporu hazırlanarak jeotermal enerji ile konutların ısıtılması için ilk ciddi adım atılmıştır. 3500 konutluk 1. etap 1992 yılında tamamlanmıştır (Simav Belediyesi, 2015).

Simav jeotermal enerji merkezi ısıtma sistemi yatırımı için Çevre Bakanlığı'ndan kredi sağlanmıştır. Ayrıca, abonelerden iki yıllık abonman ücretleri peşin alınmıştır. Her abone, bina içi tesisatlarını kendi yaptırmaktadır. Tesisat projesine göre, kontrol ve denetim Simav Belediyesi tarafından yapılmaktadır. 1992 yılı Aralık ayında devreye alınan I. Etap yatırımın maliyeti 2.382 milyon \$'dır. Tesis, kendisini 4 yıl gibi kısa bir sürede amorti etmiştir. Ekim 2015 tarihi itibarı ile yaklaşık 6500 konut jeotermal enerji ile ısıtılmakta olup, birim fiyatı KDV hariç 1,08 TL/m²'dir (Simav Belediyesi, 2015).

Simav merkezi ısıtma sistemini Eynal jeotermal sahasındaki 720 m derinlikte, 70 l/s debide ve 162 °C sıcaklıktaki kuyu beslemektedir. Şu andaki 6500 konutun jeotermal merkezi ısıtılması ve kullanım sıcak suyu temini için en soğuk havada en fazla 55 l/s jeotermal su kullanılmaktadır. 1 kızgın su kuyu başı sıcaklığı 55 l/s debide, 145 °C olmaktadır. Jeotermal su, ilçe girişinde bulunan jeotermal eşanjör merkezine yaklaşık 4500 m'lik bir boru hattı ile taşınmaktadır. Kuyu başı sistemindeki pompalar ısı ihtiyacına göre kademeli olarak devreye girmektedir. Jeotermal su boru hattı yaklaşık 1.5 m derinlikte gömülü olan özel paket borular ile yapılmaktadır. Bu boru hattı 6500 konuta yetecek şekilde projelendirilmiştir. Kuyudaki kabuklaşmayı önlemek için kimyasal madde enjekte edilmektedir. Jeotermal enerji, merkezde bulunan plate tip eşanjör vasıtası ile şehir konut ısıtması ve kapalı çevrimdeki temiz soğuk suya aktarılmaktadır. Isıtılmış bu su şehir içindeki kapalı devrede dolaşmaktadır. Yeni düzenlemeye göre her konuta bir eşanjör yerleştirilmiştir. Konut içinde kapalı devre dolaşım yapan şebeke suyu konut girişindeki eşanjörden enerji devri ile ısıtılıp, kalorifer peteklerine ve kullanma musluklarına verilmektedir. Şehir girişindeki eşanjör merkezine gelen jeotermal su şehir içi kapalı devredeki suya enerji devri yapıp tekrar 4.5 km dönüş borusundan geri nakledilerek yeraltına reenjeksiyon yapılmaktadır

(Özav, 1995). Simav jeotermal merkezi ısıtma sistemi şematik olarak Şekil 5’de verilmiştir.



Şekil 5. Simav’da jeotermal enerji merkezi ısıtma sistemi (Simav Belediyesi, 2015)

Şekil 5 incelendiğinde; sirkülasyon pompaları ısı yüküne bağlı olarak frekans dönüştürücüleri aracılığıyla debi, basınç ve devir sayısı değerleri ayarlanarak çalıştırılır. Konutlarda bulunan boylerlerde merkezi sistemden gelen sıcak su temiz şebeke suyudur.

Şehir merkezindeki diğer konutların da merkezi sistemle ısıtılması için yapılan çalışmalar da hedeflere önemli oranda ulaşıldığı görülmektedir. Daha önce kömür ya da sıvı yakıtla ısıtılan kaloriferli konutlara basit birkaç değişiklik yapılarak jeotermal enerji ile ısıtılmış sıcak su verilmektedir. Soba ile ısıtılan konutlara ise öncelikle kalorifer ve sıcak su sistemi döşenmesi gerekmektedir. Bu sistemde, konutların ısıtılmasında kullanılan boru ve donanımlar odaların tabanına döşenmektedir. Söz konusu sistem kalorifer peteği kullanılarak yapılan ısıtmaya göre daha ekonomik ve daha kullanışlıdır (Özav, 1995; Simav Belediyesi, 2015).

4. JEOTERMAL ENERJİNİN SİMAV YÖRESİNDE KULLANIMI VE BÖLGE EKONOMİSİNE KATKILARI

Simav Yöresi ve Jeotermal Kaynakların Kullanımı

Simav 1557 km² yüz ölçüme sahip olup bağlı olduğu Kütahya il merkezine 147 km uzaklıktadır. İlçe merkezinin nüfusu 25668’dir. (TUİK, 2014). Akdağ, Eğrigöz Dağı, Şaphane Dağı ve Simav Dağı’nın ortasında Simav Grabeni olarak adlandırılan çöküntü ovasının güneydoğusunda yer alan ilçenin denizden yüksekliği 825 metre olup belediye teşkilatı 1868 yılında kurulmuştur.

Jeotermal kaynaklar açısından ülkemizin önemli bir yerleşimi olan Simav havzasındaki jeotermal kaynaklar sıcaklık, debi ve basınç değerleri bakımından konutlarda ısınma, termal turizm, seracılık, endüstriyel kullanım ve elektrik üretimi için son derece elverişlidir (Arslan v.d.,

2006a; Arslan v.d., 2006b; MTA, 2005, Köse, 2005). Günümüzde Simav Belediyesi, tamamı Eynal bölgesinde ve toplam sayıları 15 olan jeotermal kuyularından sağladığı jeotermal akışkanı, ilçe merkezinde bulunan konutların ve Eynal bölgesindeki sera ve kaplıcaların ısıtılmasında kullanılmaktadır.

Çizelge 1. Simav belediyesi Eynal kaplıcaları sıcak su kuyuları

Kuyu no	Yapıldığı Yıl	Derinlik	Sıcaklık Kuyu dibi (°C)	Debi	Basınç	Üretim şekli
E-1	1985	68,8	142,5	-	-	Artezyen
E-2	1985	149,5	158	-	-	Artezyen
E-3	1985	150	149	50	2	Artezyen
EJ-1	1987	725,2	162,4	72	5	Artezyen
EJ-2	1990	958	157,47	1	-	Artezyen
E-4	1994	220	98	1	-	Artezyen
E-5	1994	300	97	6	-	Artezyen
E-6	1994	196,6	157	60-80	4,5	Artezyen
E-7	1997	475	58	0,3	-	Artezyen
E-8	1997	205	161	50	4	Artezyen
EJ-3	1997	424	151	40-60	3,5-4	Artezyen
E-9	2005	208	98	60	4,5	Artezyen
E-10	2005	288	108	80-110	4,5	Artezyen
E-11	2005	502	99	35	3,5 tahmin	Artezyen
E-12	2005	400	84 kompresör	8	-	

Not: Bu debi değerleri sondajların ilk üretim değerleridir.

<http://www.simav.bel.tr/icerik/hizmetler/belediye-hizmetleri/jeotermal-hizmetler.aspx>

Çizelge 1’de görülen sıcak su kuyularından alınan 120°C-160°C üzerindeki kızgın sulu buhar seperatör tanklarında gaz ve buharı alınıp 98°C düşürüldükten sonra pompalar vasıtası ile 4300 m. uzunluğunda özel paket çelik izolasyonlu borular ile toprak altından Simav Eşanjör Merkezine 1°C sıcaklık kaybı ile getirilerek burada jeotermal sıcak suyun ısısı, eşanjörler vasıtası ile temiz sıcak suya aktararak yine özel paket çelik borular ile şehir içine, buradan da abonelere bina içi eşanjör ve boyler aracılığı ile tekrar temiz sıcak su verilmektedir. Şekil 6’da söz konusu dağıtım hattı gösterilmiştir.



Şekil 6. Simav bölgesel ısıtma sistemi Şehir Şebekesi dağıtım hatları (ŞENTÜRK, 2009)

1989 yılında Bakanlar Kurulunca Termal Turizm Bölgesi ilan edilen ve Simav Belediyesi tarafından işletilen yaklaşık 800 yatak kapasiteli 192 aparttan oluşan tesisin (Şahin, 2005) daha sonra hizmete alınan otel ile yatak kapasitesi 1200'e çıkarılmış, 19 Mayıs 2011 Simav depremi sonrasında ise hasar gören otelin kapatılması ile yatak kapasitesi yeniden 800'e düşmüştür. Şu anda kaplıcalar otel konsepti ile hizmet vermemekte, termal su yalnızca banyo amaçlı kullanılmakta, herhangi bir sağlık turizmi (kür, fizik tedavi, rehabilitasyon, spa v.b.) uygulaması yapılmamaktadır. Kaplıcalardan, mevcut haliyle ve ortalama apart fiyatının 80 TL/gün (2014 ortalaması) olduğu ve tesislerin ortalama doluluk oranının %75 olduğu (Eynal Kaplıcaları, 2015) göz önüne alındığında Simav Belediyesi önemli bir gelir sağlamaktadır.

Sanayi kuruluşlarının bulunmadığı ve işsizlik oranının yüksek olduğu yörede jeotermal enerjinin endüstriyel kullanımı yetersiz bir seviyededir. Jeotermal akışkanın ısısının bölgesel ısıtma sistemi için çok yüksek olması nedeniyle entegre tesis ile elektrik enerjisi üretimi, atık ısı ile de ilçenin ısıtılması, endüstriyel kullanım, sera ve termal tesislerin ısıtılmasının uygun olacağı (Şahin ve Güntürkün, 2008) görülmektedir. Bu konuda yapılan fizibilite çalışmaları ile yörenin jeotermal enerji ünitesi olarak 2,9 MWe kapasite ile çalışabileceği ve minimum 17020 MWh/yıl elektrik enerjisi üretebileceği ifade edilmiştir. Ön fizibilite çalışmaları sonucunda projenin uygun ve yapılabilir durumda olduğu (Köse, 2005, Köse ve Tuğcu, 2003) belirlenmesine rağmen söz konusu santralin kurulması henüz gerçekleştirilememiştir.

Jeotermal Kaynakların Bölge Ekonomisine Katkıları

Simav ilçe merkezinde, jeotermal enerji kullanımına 1992 yılında başlanmasıyla birlikte olumlu yönde değişimler meydana gelmiştir. Öncelikle, ısınma giderleri büyük ölçüde azalmıştır. Seracılık ve termal turizm jeotermal enerji kullanımı ile birlikte ivme kazanmıştır. Simav’da jeotermal enerjinin kullanım alanlarının yıllara göre değişimi Çizelge 2’de verilmiştir.

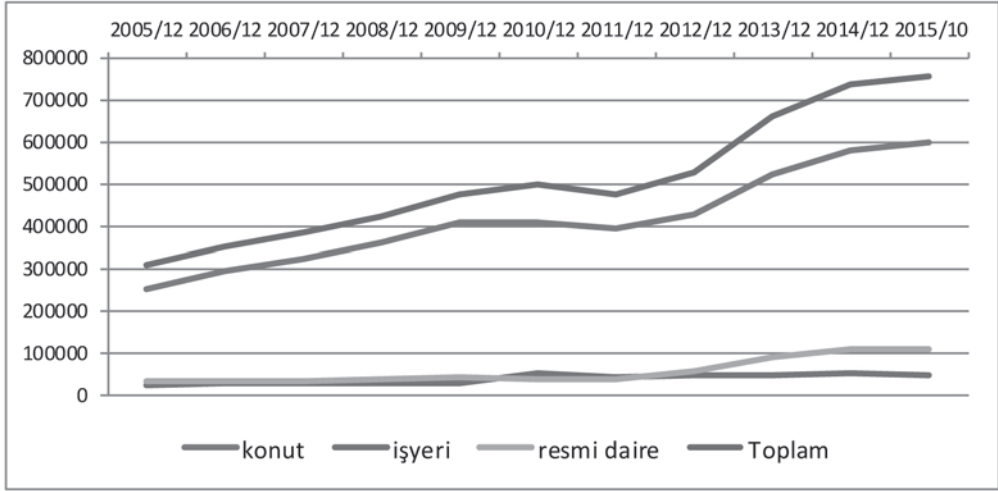
Çizelge 2. Jeotermal enerjinin kullanım alanları (m²) ve yıllara göre değişimi (Simav Belediyesi, 2015)

Abone tipi	Yıl / Ay											
	2005/12	2006/12	2007/12	2008/12	2009/12	2010/12	2011/12	2012/12	2013/12	2014/12	2015/10	
Konut	251660	292032	324266	361480	406565	410967	395356	428200	524663	581685	601414	
İşyeri	21845	25239	26300	28450	27985	52225	42477	44282	47023	50058	45395	
Resmi daire	m ²	32871	33690	33690	34642	40575	38244	36725	53652	90689	107709	109733
Sera		121489	173616	196721	209734	224628	243019	248739	248739	258649	264033	273208
Diğer		13510	10776	131	10254	19870	22702	16944	21374	40922	46536	43509

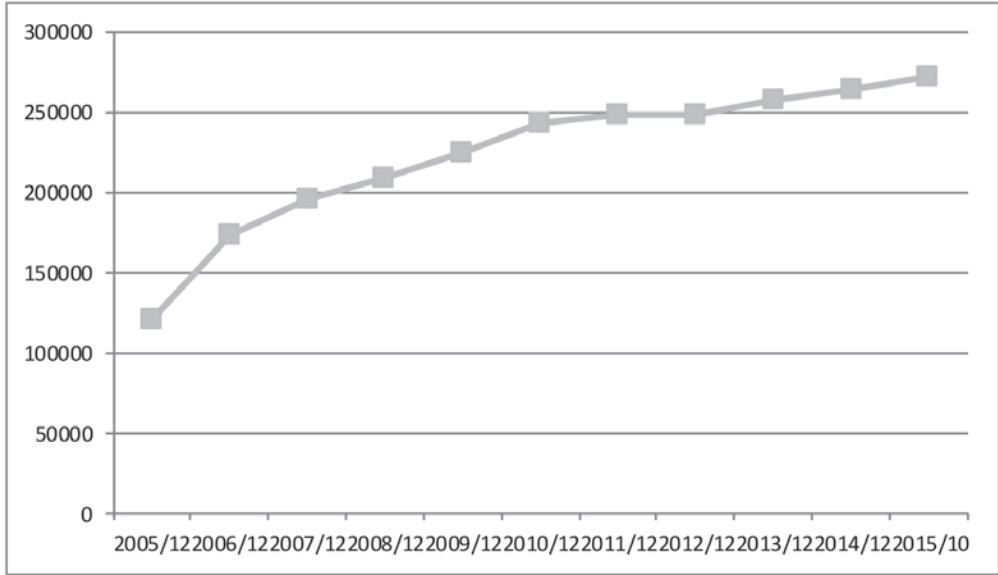
Çizelge 3. Jeotermal enerjinin kullanım alanları ve m² birim fiyatları (TL) (Simav Belediyesi, 2015)

Abone tipi	Yıl / Ay											
	2005/12	2006/12	2007/12	2008/12	2009/12	2010/12	2011/12	2012/12	2013/12	2014/12	2015/10	
Konut	TL	0,5	0,5	0,52	0,53	0,56	0,85	0,89	1,00	0,99	1,00	1,08
İşyeri		0,5	0,5	0,52	0,95	0,99	1,00	1,04	1,17	1,16	1,16	1,25
Resmi daire		0,85	0,85	0,9	0,95	0,97	1,48	1,60	1,76	1,75	1,77	1,90
Sera		0,07	0,07	0,08	0,09	0,27	0,26	0,27	0,30	0,30	0,30	0,35

Çizelgede de görüldüğü gibi, Simav’da jeotermal enerji ile konut ısıtılması 2005 yılında 251.660 m² iken her yıl artarak 2015 yılında 601414 m²’ye ulaşmıştır. Isıtılan sera alanı ise 2005 yılında 121489 m² iken, 2015 yılında 273208 m²’ye ulaşmıştır.

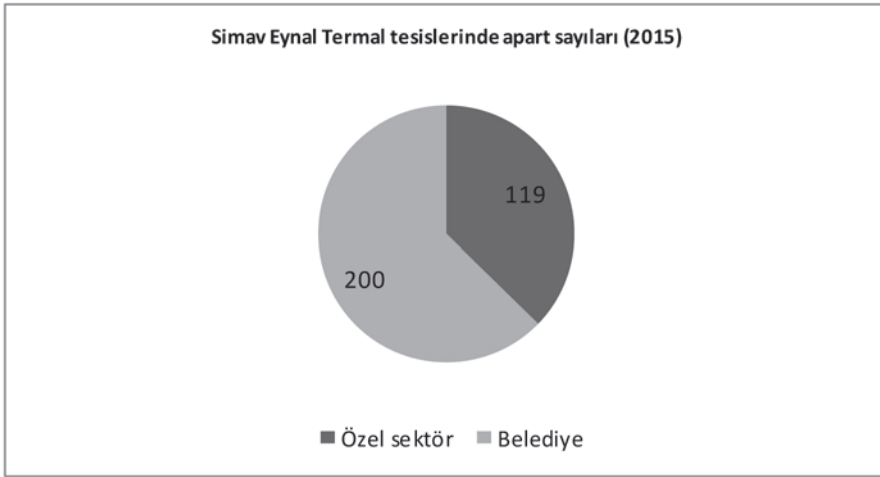


Şekil 7. Konut, işyeri ve resmi dairelerin (m²) ısıtılmasında jeotermal enerjinin kullanımının yıllara göre gelişimi



Şekil 8. Seraların ısıtılmasında (m²) jeotermal enerjinin kullanımının yıllara göre gelişimi

Şekil 7 incelendiğinde, 2005 yılından itibaren gerçekleşen artışın 2012 yılında ivme kazandığı görülmektedir. Şekil 8 incelendiğinde ise ısıtılan sera alanlarının sürekli bir artış gösterdiği bunun da özellikle bölge ekonomisine önemli katkısının olduğu görülmektedir.



Şekil 9. Simav Eynal termal tesislerinde apart sayıları (Eynal Kaplıcaları İşletme Müdürlüğü (2015)

Eynal termal tesislerinde yatak kapasitesinin son yıllarda artış göstermediği görülmektedir. Doluluk oranının ortalama %75’lerde seyrettiği bu tesisin kapasitesini ve diğer sosyal etkinliklerini hızla arttırarak, insan ihtiyaçlarına son teknolojik gelişmelerle cevap verebilmesi sağlanmalıdır. Mevcut tesislerin reorganizasyonu ve çevre düzenlemesi yapılarak jeotermal akışkanlara dayalı sağlık tesislerinin (turizm, fizik tedavi, rehabilitasyon merkezi vb.) bölgeye kazandırılması, artan insan ihtiyaçlarını karşılayabilecektir. Böylece, termal turizm bölgenin sosyo-ekonomik kalkınmasında daha etkili olacaktır.

Termal tesisler Simav ekonomisine önemli ölçülerde katkı sağlamaktadır. Tesislerin kapasitelerini arttırarak değişik amaçlı (günübirlik, dinlenme, sağlık vb.) turizm hizmetleri verebilmeleri ve her düzeyde ekonomik geliri olan kitlelere hitap edebilmeleri sağlandığında bu katkı daha da artacak, bölgenin ekonomik gelişmesinde önemli rol oynayacaktır. Kaplıca ve sağlık turizmine yönelik olarak faaliyet gösteren Eynal Termal Tesislerinde 2015 yılı itibariyle 200 tanesi Simav Belediyesine 119 tanesi de özel sektöre ait olmak üzere toplam 319 apartla hizmet verilmektedir. Yıllık ortalama doluluk oranının %75 olarak seyrettiği tesisler yöreye yıllık ortalama 7 milyon lira katkı sağlamaktadır (Simav Belediyesi, 2015). İlçeye gelen yerli ve yabancı turistlerin çeşitli ihtiyaçlarını gidermek için yaptıkları alışverişler de göz önüne alındığında termal turizmin bölge ekonomisine yaptığı katkıların daha da fazla olduğu değerlendirilmektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışma sonucunda jeotermal kaynaklı bölgesel ısıtma sisteminin ağırlıklı olarak konut ve sera ısıtılması şeklinde kullanıldığı 2015 yılı verilerine göre konutlardan 900.000 TL/ay ve seralardan 95.000 TL/ay olmak üzere elde edilen ortalama 1 milyon TL/ay’lık gelirin bir ilçe belediyesi ve ekonomisi açısından dikkate değer olduğu görülmektedir. Diğer taraftan Eynal Termal Tesislerinde yapılan konaklamalardan elde edilen yıllık 7 milyon lirayı bulan gelirin de bölge ekonomisi açısından önemi büyüktür. Ancak bölgede turizm yatırımlarının çeşitlendirilerek hem elde edilen gelirin önemli oranda artışını hem de bölgenin gelişimini sağlayacak projelere acil ihtiyaç duyulduğu açıkça görülmektedir.

Yapılan çalışmada Simav yöresinin sahip olduğu yer altı kaynaklarından en önemlisi olan jeotermal kaynaklardan Simav Belediyesi eliyle yörenin çeşitli ihtiyaçlarının karşılanmasında belli ölçülerde faydalanıldığı görülmekle birlikte sürecin mevcut kaynak potansiyelini daha etkin kullanarak yerel kalkınmaya hizmet edecek hale evrilmesi gerekmektedir. Bunun için öncelikle klasik belediye birimleri olan zabıta, yazı işleri, itfaiye, fen işleri v.b. müdürlüklerden ayrı olarak profesyonel bir ekipten oluşacak “yatırımlar ve kaynak geliştirme” birimi oluşturulması gerekmektedir. Çünkü öteden beri kamu yönetiminin sorunu olan nitelikli personel istihdamının göz ardı edilmesi, oy toplama ve siyasi gelecek için doldurulan kamu kadroları, geleceğe dönük stratejik ve akılcı kararların alınabilmesini zorlaştıran, verimliliği ve etkin yönetimi olumsuz etkileyen unsurlar olmuşlardır (Güler, 2008). Profesyonellerden oluşacak “yatırımlar ve kaynak geliştirme” birimi öncülüğünde sivil toplum örgütleri ve halkla yapılacak interaktif toplantılarla yerel kalkınma bilinci ve birlikteliğinin oluşturulması, sonrasında ise Zafer Kalkınma Ajansı, merkezi yönetim, özel sektörden girişimciler ile temaslar kurarak işbirliği imkânlarının yaratılması gerekmektedir.

Yeni yatırım projeleri ile TOKİ bölgesinin ısıtılması, Eynal Kaplıcaları bölgesinin turizm yatırımları ile gerek konaklama gerekse termal hizmetlerde çeşitlendirilmesi ile bölgenin sağlık turizmine hizmet edecek şekilde yönetim ve donanım olarak modernize edilmesi halinde mevcut gelirin önemli oranda artacağı görülmektedir. Yapılacak olan bu yatırımlarla dışarıya göç veren bölgenin işsizlik sorununa da çözüm olabilecek yeni istihdam olanakları sağlanacaktır. Bölgede bulunan sera alanlarının sağlanacak teşviklerle endüstriyel kullanım ve ürün çeşitliliği bazında geliştirilmesi gerekmektedir. Kurulacak bir elektrik santrali ile belediyenin önemli maliyet kalemleri arasında olan elektrik giderinin ve ilçenin elektrik ihtiyacının karşılanması sağlanmalıdır. Tüm bunların neticesinde gelir akımında sağlanacak süreklilik Simav Belediyesinin mali yapısını güçlendirirken yöre ekonomisinin de hızla gelişmesini sağlayacaktır.

Son tahlilde jeotermal kaynaklı ısıtma sisteminin bölge ekonomisine önemli katkılar yaptığı ancak bölgenin sahip olduğu jeotermal kaynak potansiyelinin çok daha geliştirilebilir nitelikte olması göz önüne alındığında buna yönelik çalışmaların artırılması gerektiği değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

- ARSLAN, O., KÖSE, R, ALAKUŞ, B., (2006a), Elektrik Üretiminde Jeotermal Enerji: Simav Örneği, 9. Uluslar arası Yanma Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 16-17 Kasım, Kırıkkale/Türkiye, s: 21-30.
- ARSLAN, O., YILDIZAY, H.D., ÖZGÜR, M.A., KÖSE, R., (2006b), Kütahya ili Jeotermal Kaynakların Kullanım Olanakları ve Karşılaşılan Problemler, III. Ege Enerji Sempozyumu, 24-26 Mayıs, Muğla, s: 499-504.
- ARSLAN, O. (2008) Kütahya-Simav Jeotermal Kaynaklarının Hassas Değerlendirmesi: Entegre Sistem Tasarımı ve Enerji- Ekserji Analizleri, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kütahya
- BASU, S. (2011), 35th Geothermal Resources Council, Annual Meeting San Diego, October 24th, 2011 Devlet İstatistik Enstitüsü Web Sitesi, <http://www.die.gov.tr> (16.02.2005).
- DPT, (2009), 9.Kalkınma Planı (2007-2013), Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Enerji Hammaddeleri Çalışma Grubu Raporu, Ankara <http://www.dpt.gov.tr/DocObjects/View/7660/ehm-oik.pdf> Erişim 10.03.2012
- Eynal Kaplıcaları İşletme Müdürlüğü (2015), Sözlü Görüşme
- HEPBAŞLI, A. and ÖZGENER, L., 2004, Development of geothermal energy utilization in Turkey: a

- review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 8 (2004) 433–460.
- http://www.mta.gov.tr/v2.0/daire-baskanliklari/enerji/index.php?id=jeotermal_potansiyel (MTA, 2015, erişim tarihi, 10.09.2015)
- <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Jeotermal> (erişim tarihi: 02.05.2015)
- <http://www.simav.bel.tr/icerik/hizmetler/belediye-hizmetleri/jeotermal-hizmetler.aspx> Erişim 15.03.2015
- GÜLER, T. (2008), Türkiye’ de Mülki İdare Amiri Prototipi Olarak Vali Recep Yazıcıoğlu, Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya
- JEODER, (2008), Türkiye’de Jeotermal Enerjinin Mevcut Durumu, <http://www.jeotermaldernegi.org.tr/turkiye%20i.htm> Erişim 14.03.2012
- KELLEĞÖZ, M. ve ÖZKAN, İ., 2004, Dünyamızda enerji kullanımının dünü ve bugünü, II.Ulusal Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi, Kütahya.
- KÖSE, R., (2005), Reserach on the Generation of Electricity From the Geothermal Resources in Simav Region, Turkey, Renewable Energy, (2005)
- KÖSE, R., TUĞCU, A., GÜN, A. (2003), Jeotermal Güç Santralleri ve Simav Jeotermal Kaynaklarının Elektrik Üretiminde Kullanılabilirliği”, 3. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Ankara
- LUND, J.W., July/September, (2005), Message from President, IGA News No: 61.
- MERTOĞLU, O., BAKIR, N. and KAYA, T., 2003, Geothermal applications in Turkey, Geothermics, 32: (2003) 419-28.
- MTA (Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü), 2005, Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri.
- ÖZAV, L., 1995, Türkiye’de jeotermal enerji ile kentlerin ısıtılabilceğine örnek, Simav Türk Kültürü Dergisi, Ankara.
- Simav Belediyesi Eynal Kaplıcaları İşletme Müdürlüğü Verileri, 2015, Simav/ Kütahya.
- ŞAHİN, H. (2005), Simav İlçesinde Farklı Enerji Kaynakları ile Bina Isıtılmasının Ekonomik Analizi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya
- ŞAHİN, H., GÜNTÜRKÜN, R. (2008), Bina Isıtılmasında Jeotermal Enerji ile Soma Linyit Kömürü ve Fuel-Oilin Ekonomik Yönden Karşılaştırılması, E-Journal of New World Sciences Academy Natural and Applied Sciences, 3, (2), A0080, (391-408)
- ŞENTÜRK, M. (2009), Jeotermal Enerji Kaynaklarının Optimum Kullanım Modelinin Geliştirilmesi ve Yöresel Uygulaması, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Kütahya
- TUİK, 2014, www.tuik.gov.tr/IcerikGetir.do?istab_id=139, Erişim 01.10.2015
- 5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu <http://mevzuat.basbakanlik.gov.tr/Kanunlar.aspx> Erişim 08.01.2012



**POSTER
SUNUMLAR**

GÖLEMEZLİ JEOTERMAL ALANINDAKİ TERMAL SULARIN KİMYASI (DENİZLİ HAVZASI, GÜNEYBATI TÜRKİYE)

Hülya Alçıçek, Ali Bülbül

Pamukkale Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği, TR-20070 Denizli, Türkiye

ÖZET

Gölemezli Jeotermal Alanındaki (GJA, Güneybatı Türkiye) suların hidrolojik evrimini daha iyi anlamak için sıcak ve soğuk suların kimyasal ve izotopik kompozisyonu çalışılmıştır. Bu termal sular Menderes Metamorfik kayaçlarındaki normal faylar boyunca yeryüzüne çıkarlar. Bu sular genellikle sera ısıtması ve kaplıca aktiviteleri için kullanılır. Termal suların tipi genellikle Na-Ca-SO₄-HCO₃ iken, soğuk sular ve beslenme alanı suları Ca-HCO₃ ve Mg-Ca-HCO₃ tipindedir.

Uzun süreli olası bir kayaç-su etkileşimine bağlı olarak, sıcak suların Cl konsantrasyonu özellikle Na, K ve HCO₃ ile yüksek korelasyon gösterir. Muhtemelen yine aynı sebeple, bazı iz elementlerde yüksek değerler gözlenmiştir (özellikle As, Sr, B, Cl, F). GJA suları, yukarı doğru yükselme sırasındaki soğuk su karışımlarından dolayı, kimyasal denge sergilememektedir. GJA'nın rezervuar sıcaklığı akışkan-mineral dengesi jeotermometre (kalsedon) hesaplamalarına göre 70-139°C aralığında tahmin edilmiştir.

GJA sularının $\delta^{18}\text{O}$ (-9.02 ile -8.30 ‰ aralığında) ve $\delta^2\text{H}$ (-60.4 ile -57.8 ‰ aralığında) duraylı izotop bileşimleri; ve Tritiyum değerleri (0.67 ile 3.63 TU aralığında) meteorik kökenli derin bir dolaşıma işaret eder. Termal su ve kaynakların boşalım sıcaklıkları 44.5°C ile 88°C arasında değişir.

Anahtar Kelimeler: Hidrojeokimya, Jeotermometre, Akışkan-mineral dengesi, İzotop kimyası, Tritiyum

HYDROGEOCHEMISTRY OF THE THERMAL WATERS FROM GÖLEMEZLİ GEOTHERMAL FIELD (DENİZLİ BASIN, SOUTHWESTERN TURKEY)

Hülya Alçıçek, Ali Bülbül

Department of Geological Engineering, Pamukkale University, TR-20070 Denizli, Turkey

ABSTRACT

The results of study on the chemical and isotopic properties of thermal and cold waters from the Gölemezli Geothermal Field (GGF, Southwestern Turkey) are described in order to a better understanding of the hydrological circulation. These thermal waters originate from Menderes Metamorphic rocks and emerge along normal faults; they are commonly used for heating of greenhouses and bathing facilities. Thermal waters are mostly of Na-Ca-SO₄-HCO₃, whereas cold and recharge waters are Ca-HCO₃ and Mg-Ca-HCO₃ types.

Thermal waters with high correlation in some ionic ratios (e.g. Na vs. Cl, K vs. Cl, HCO₃ vs. Cl) and high contents of some minor elements (e.g., As, Sr, B, Cl, F) likely indicate enhanced water-rock interaction. Water samples from GGF do not display chemical equilibrium, most probably resulting from mixing with shallow fresh water during upward flow. Reservoir temperature of GGF was calculated as 70-139°C for GGF, based on fluid-mineral equilibria calculations.

$\delta^{18}O$ (-9.02 to -8.30 ‰) and δ^2H (-60.4 to -57.8 ‰) isotopic ratios and low Tritium values (0.67 to 3.63 TU) of GGF thermal waters indicate a deep circulation and a meteoric origin. Outlet temperature of hot spring and geothermal wells vary between 44.5°C and 88°C.

Keywords: *Hydrogeochemistry, Geothermometry, Fluid-mineral equilibria, Isotope chemistry, Tritium*

KOZAKLI (NEVŞEHİR) VE TERME (KIRŞEHİR) JEOTERMAL SULARININ HİDROJEOKİMYASAL VE TIBBÎ - BİYOİKLİMSEL DEĞERLENDİRMESİ

Mustafa Afşin¹, Murat Kavurmacı¹, Gülçin Doğan¹, Hatice Gürdal², Nergis Erdoğan², Ali Gürel³, Özcan Oruç⁴

¹Aksaray Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, TR-68100 Aksaray

²İstanbul Üniversitesi İstanbul Tıp Fakültesi Tıbbi Ekoloji ve Hidroklimatoloji AD Fatih Çapa, 34093, İstanbul

³Niğde Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, TR-51240 Niğde

⁴Aksaray Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, TR-68100 Aksaray
(mustafaafsin@aksaray.edu.tr)

ÖZ

Bu çalışmanın amacı, Kozaklı (Nevşehir) (KJA) ve Terme (Kırşehir) (TJA) jeotermal alanlarındaki Kozaklı (KJS) ve Terme (TJS) jeotermal sularının hidrojeokimyasal, tıbbî ve biyoiklimsel açıdan ele alınmasıdır. Bu kapsamda, KJA ve TJA'nın hidrojeolojisi, KJS ve TJS'nin hidrojeokimyasal ve izotopik analiz sonuçları ile tıbbî-biyoiklimsel değerlendirmeler dikkate alınmıştır. Tektonik kontrollü olarak açığa çıkmakta olan KJS ve TJS'nin birincil akiferi, d13C verilerine göre, Paleozoyik yaşlı mermerler, ikincil akiferi Tersiyer yaşlı gölsel ve denizel kireçtaşları, örtü kayaları ise, inceleme alanlarındaki Üst Kretase-Kuvaterner yaşlı birimlerdeki geçirimsiz seviyelerdir. Sıcaklık ve su tipleri sırasıyla KJS'de 86-94°C, Na-Ca-Cl-SO₄; TJS'de 50-57°C, Ca-Na-HCO₃-Cl biçimindedir. d¹⁸O ve d²H izotoplarına göre KJS ve TJS meteorik kökenli olup, ¹⁴C görünür yaşlarına göre beslenimleri Holosen dönemine kadar uzanmaktadır. Bu sulara ait jeotermal sistemlerde ısınmanın sırasıyla jeotermal gradyan, volkanizma, granit sokulumları ve radyojenik ısı kaynağı tarafından sağlanmış olması beklenmektedir.

Aktif kuyulardan Kozaklı'da ~200 L/s, Terme'de ~173 L/s jeotermal su çekilmektedir. Bu jeotermal sular KJA'da ~2400 ve TJA'da ~1800 konut ısıtılmacılığı, seracılık ve termal turizm; Karakurt'ta sebze-meyva kurutmacılığı için kullanılmaktadır. Gelecekte KJA ve TJA'da ısıtılan konut sayısı artırılıp kültür balıkçılığı, KJA'da ise elektrik üretimi yapılabilir. Jeotermal kuyulardan alınan sular KJA'da planlandığı gibi TJA'da da bir merkezde depolanarak dağıtılmalıdır. TJA'da reenjeksiyon sondajı devam etmekte olup, KJA'da da yeni reenjeksiyon kuyuları açılmalıdır. Bu jeotermal alanlarda, yeraltısu akış sisteminde dengenin bozulmaması ve sürdürülebilir kullanım için jeotermal atık sular dezenfekte edildikten sonra reenjeksiyon kuyularına geri basılmalıdır.

KJS'nin radon gazı içeriği önceki çalışmalara göre, Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH) ile Alman Kaplıcalar Birliği (DSA) açısından minimum sınır değerini aşmaktadır. Bu sonuç, bu suları doğal tedavi çamurları ve Kapadokya bölgesi için özel kılmaktadır. Tuzlu, bikarbonatlı ve kalsiyumlu özellikleri olan her iki jeotermal su, öncelikle ankilozan spondilit olmak üzere kronik bel ağrısı, fibromiyalji sendromu, osteoartritler, romatoid artrit gibi sık rastlanan, ciddi iş gücü kaybına ve sakatlığa yol açan romatizmal hastalıklarda banyo uygulamalarının orta ve uzun süreli ağrı ve fonksiyonel durumu için tavsiye edilmektedir.

Nevşehir ve Kırşehir’de orta Anadolu’ya özgü karasal iklim baskın ve açık havada uygulanabilecek kür süresi uzundur. Biyoiklimsel özelliklerden ışınal uyarıcılık (global ve UV radyasyonu), helyoterapi amaçlı yukarıda sayılan romatizmal hastalıkların yanında depresyon gibi bazı psikolojik rahatsızlıkların ve psöryasis başta olmak üzere birçok dermatolojik hastalığın tedavisinde de kullanılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Hidrojeokimya, jeotermal, sürdürülebilir kullanım, balneoklimaterapi, Kozaklı ve Terme, Orta Anadolu

HYDROGEOCHEMICAL AND MEDICAL-BIOCLIMATICAL EVALUATION OF KOZAKLI (NEVŞEHİR) AND TERME (KIRŞEHİR) GEOTHERMAL WATERS

Mustafa Afşin¹, Murat Kavurmacı¹, Gülçin Doğan¹, Hatice Gürdal², Nergis Erdoğan², Ali Güre³, Özcan Oruç⁴

¹Aksaray University, Dept. of Geological Engineering, TR-68100, Aksaray, Turkey.

²Istanbul University Istanbul Medicine Faculty Medical Ecology and Hydroclimatology Section, Çapa, 34093, Istanbul, Turkey.

³Niğde University, Dept. of Geological Engineering, TR-51240 Niğde, Turkey

⁴Aksaray University, Dept. of Environmental Engineering, Campus, Aksaray, Turkey
(mustafaafşin@aksaray.edu.tr)

ABSTRACT

The aim of this study is to evaluate Kozaklı (KJS) and Terme (TJS) geothermal waters in Kozaklı (Nevşehir) (KJA) and Terme (Kırşehir) (TJA) geothermal fields with respect to hydrogeochemical, medical and bioclimatic features. In this context, the hydrogeology of KJA and TJA, and the results of hydrogeochemical and isotopic analyses of KJS and TJS and medical-bioclimatic evaluations have been taken into consideration. The primary aquifers of KJS and TJS controlled by tectonic structure are of marbles in Paleozoic age and secondary aquifers are of lacustrine and marine limestones in Tertiary age based on $d^{13}C$ data, while impermeable levels form the cap rocks upper Cretaceous-Quaternary aged in the fields. Temperatures and water types are determined as 86-94°C, Na-Ca-Cl-SO₄ in KJS; 50-57°C, Ca-Na-HCO₃-Cl in TJS, respectively. KJS and TJS are of meteoric origin according to the $d^{18}O$ - d^2H isotopes. Recharges of the geothermal waters extend to the Holocene period according to ^{14}C apparent ages. Heating of the waters in these geothermal systems might have been originated from geothermal gradient, volcanism, deep-sealed granitic intrusive rocks and radiogenic heat source.

Geothermal waters are drawn from active production wells as ~200 L/sec. in KJA and ~173 L/sec. in TJA. These waters are used for residential heating (~2400 in KJA and ~1800 in TJA), greenhouse and thermal tourism in KJA and TJA; and for vegetable-fruit drying in Karakurt. In future, the number of residential heating may be increased and culture fishing (aquaculture) may be performed in KJA and TJA, whereas power generation may be feasible in KJA. Waters from geothermal wells should be stored in a central storage and distributed in TJA as planned in KJA. Reinjection well drilling is being continued in TJA and new reinjection wells must be drilled in KJA. After disinfection, the geothermal waste waters must be reinjected into the reinjection wells for maintaining balance in the groundwater flow system and sustainable usage in these geothermal fields.

Radon gas content of KJS has to exceed the minimum limit values given by previous studies with respect to International Association of Hydrogeologists (IAH) and Deutsch Spa Association (DSA) which makes these waters special for the peloides and Cappadocia region.

The geothermal waters with saline, bicarbonate and calcium contents, contribute positively to primarily ankylosing spondylitis, chronic low back pain, fibromyalgia syndrome, osteoarthritis,

the most frequent rheumatoid arthritis resulting in common serious work loss and the middle of the bath application in rheumatic diseases that causing disability and long-term pain and functional status.

Specific continental climate for Anatolia is predominant in Nevşehir and Kırşehir and the outdoor application of curing period is long.

Bioclimatic characteristics of the radial inducibility (global and UV radiation), heliotherapy designation of these is effective in the treatment of many dermatological diseases, especially some psychological disorders such as depression and psoriasis in addition to the above mentioned rheumatic diseases.

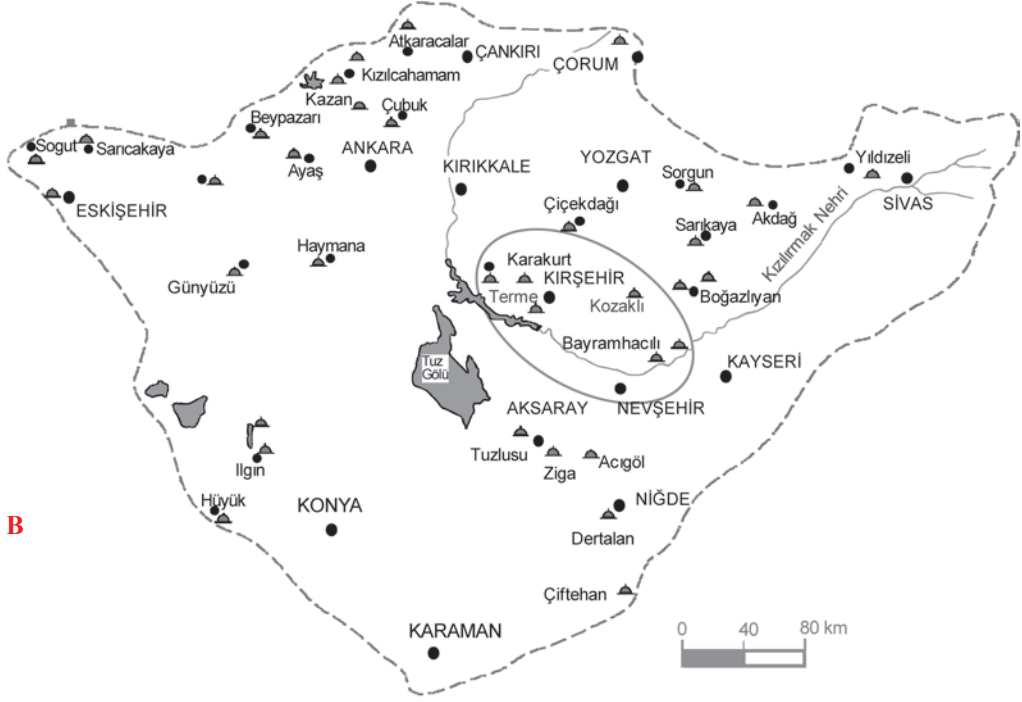
Keywords: *Hydrogeochemistry, geothermal, sustainable use, balneoclimatherapy, Kozaklı and Terme, Orta Anadolu*

1. GİRİŞ

Orta Anadolu’da çok sayıda jeotermal kaynak bulunmaktadır (Şekil 1A ve B). Bu bildiriye balneolojik olarak önemli olan Nevşehir-Kozaklı ve Kırşehir-Terme jeotermal alanlarındaki jeotermal sular hidrojeoloji ve kökenleri açısından kısaca değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, söz konusu alanlara ilişkin daha önce yapılmış hidrojeoloji, hidrojeokimya ve balneoklimaterapi incelemeleri de dikkate alınmıştır.



(A)



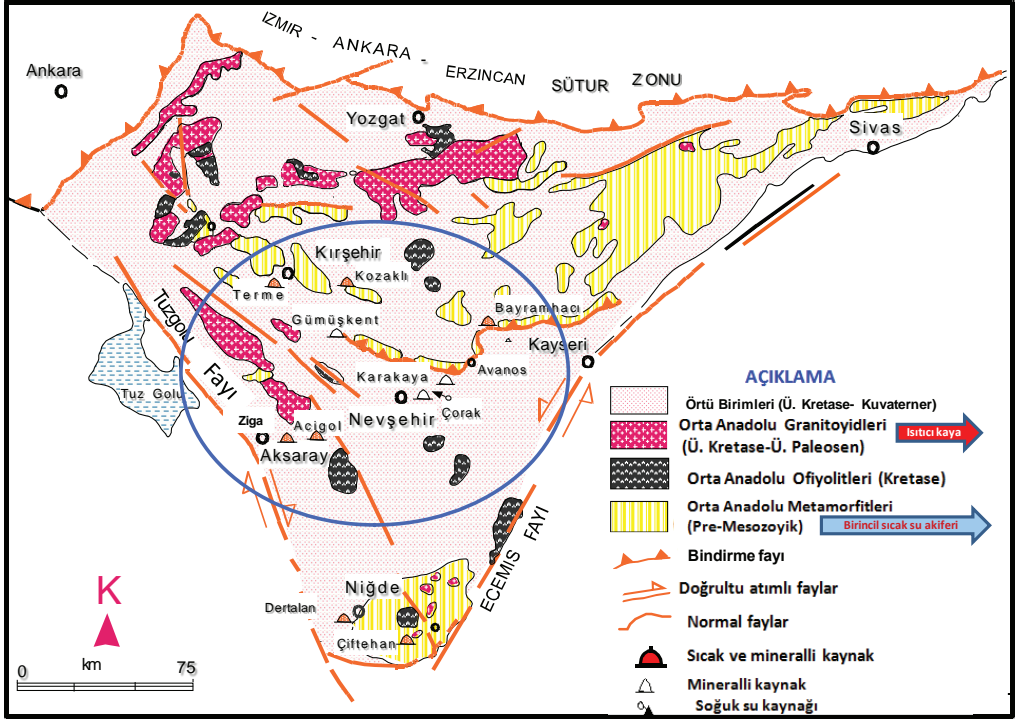
Şekil 1. Türkiye’de önemli jeotermal alanlar, sıcak ve mineralli su kaynaklarının dağılımı (Şimşek, 2014) (A); orta Anadolu’daki jeotermal sular (inceleme alanı elips içinde gösterilmiştir) (B)

2. KOZAKLI VE TERME JEOTERMAL ALANLARININ HİDROJEOLOJİSİ

İncelenen jeotermal alanların temelinde Pre-Mezozoyik yaşlı mermer, dolomit, gnays ve kuvarsitlerden ibaret orta Anadolu metamorfileri bulunmaktadır (Şekil 2). Bunların üzerine sırasıyla serpantinleşmiş ultramafik kayalar, izotropik gabro ve bazaltlardan oluşmuş Kretase yaşlı orta Anadolu ofiyolitleri; granit, siyenit vb. kayalardan oluşmuş Üst Kretase - Üst Paleosen yaşlı orta Anadolu granitoidleri; çakıltası, kumtaşı, siltaşı, kıltaşı, jipsten oluşmuş Üst Kretase yaşlı volkanosedimanter birimler ile Kuvaterner yaşlı alüvyon ve travertenden oluşmuş örtü birimler gelmiştir (Kuşcu, 1997). Tüm bu birimler farklı hidrojeoloji özelliklidir. İncelenen jeotermal sular Tuzgölü, Ecemiş ve Gümüşkent gibi fay kuşaklarının yanı sıra volkanizma ile de sıkı ilişkili olarak açığa çıkmaktadır. Jeotermal suların birincil sıcak su akiferi, Kırşehir masifine ait Pre-Mezozoyik yaşlı Bozçaldağ metamorfileri olan mermerler, ikincil akiferi ise Tersiyer yaşlı gösel ve denizel kireçtaşları olup, örtü kayaları ise jipsli, marnlı ve killi seviyeler ile alanlardaki diğer geçirimsiz birimlerdir. Bu jeotermal suların ısı kaynakları jeotermal gradyan, genç volkanizma ve Üst Kretase-Paleosen yaşlı granit sokulumlarıdır.

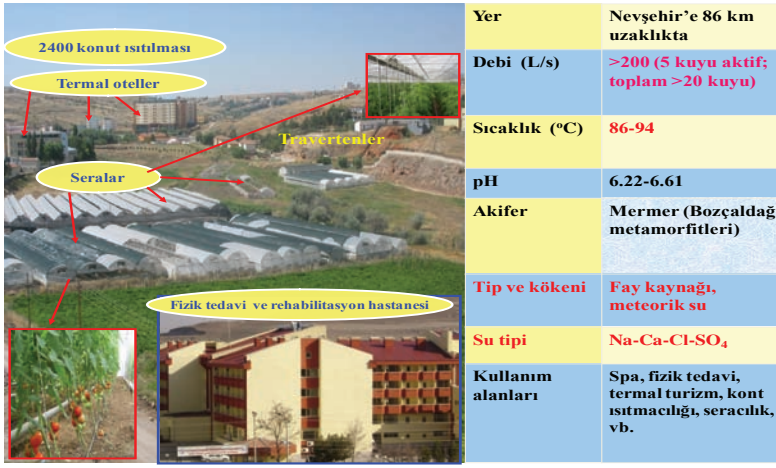
04-06 Kasım 2015 Ankara

Şekil 2. Orta Anadolu'nun basitleştirilmiş jeoloji haritası (Kuşcu 1997'den kısmen değiştirilerek alınmıştır. Yuvarlak çizgi inceleme alanı ve çevresini göstermektedir.)

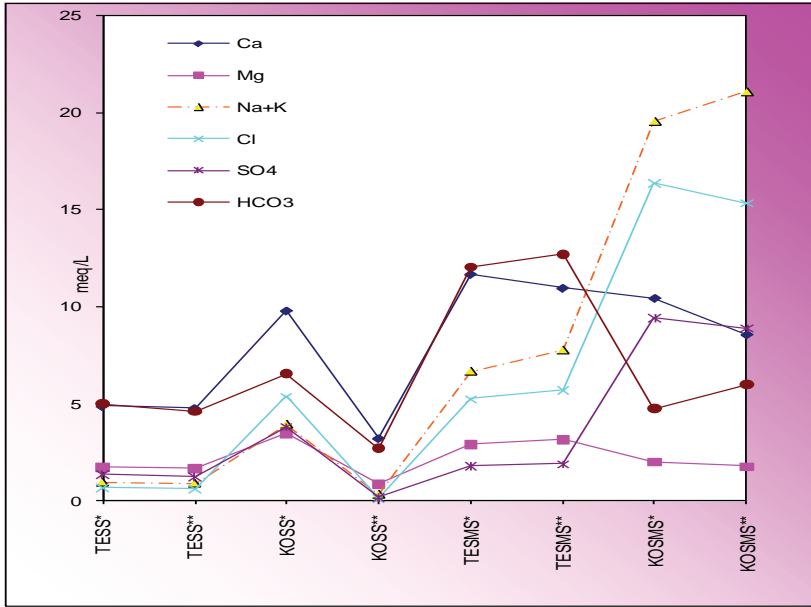


3. KOZAKLI VE TERME JEOTERMAL SULARININ KÖKENİ

İncelenen jeotermal sularda sıcaklıklar ve baskın iyonlar, sırasıyla Kozaklı (KJS)'da 86-94 °C, Na-Ca-Cl-SO₄; Terme (TJS)'de 50-57°C ve Ca-Na-HCO₃-Cl biçimindedir. Yeraltısuyu akış yolu boyunca sulardaki major iyon derişimlerinde artış gözlenmiştir (Şekil 4). Jeotermal sular yeraltı akış sistemi içinde karbonatlı kayaçların yanı sıra jeotermal alanlardaki evaporitlerle de temas etmiştir. İyon derişimleri sığ ve hızlı dolaşımly genç sularda düşük, derin ve yavaş dolaşımly yaşly sularda ise yüksektir. İzotop analizlerine (¹⁸O, ²H, ³H) göre tümü meteorik kökenli olan sulardan, Terme soğuk suları (TESS) göreceli olarak orta, Kozaklı soğuk suları (KOSS) ise düşük kotlardan; jeotermal sular ise yüksek kotlardan beslenen yeraltı sularıdır (Şekil 5A ve B).



Şekil 3. Kozaklı (Nevşehir) (A) ve Terme (Kırşehir) (B) jeotermal sularının genel özellikleri



4. KOZAKLI VE TERME JEOTERMAL SULARININ KULLANIMI

Aktif kuyulardan KJA'da ~200 L/s ve TJA'da ~173 L/s su çekilmektedir (Şekil 3). Bu jeotermal sular KJA'da 2400 ve TJA'da 1800 konut ısıtıcılığı, seracılık ve termal turizm; Karakurt'ta sebze-meyva kurutmacılığı için kullanılmaktadır. Söz konusu jeotermal alanların jeotermal enerji potansiyelleri dikkat çekici biçimdedir. Örneğin, düşük sıcaklıklı alanlarda kuvars jeotermometreleri ile yapılan hesaplamalarda, daha derin sondajlarla büyük ihtimalle mevcut sıcaklıkların üzerinde jeotermal akışkanın elde edilebileceği anlaşılmıştır (Çizelge 1). Bu bağlamda, Nevşehir Ürgüp, Göre, Acıgöl Alacaşar civarında 2012 yılında yapılmış 2100-2905 m derinliğinde 56-65 °C sıcaklığa ve 3-13 L/s debiye sahip sondajlar bulunmaktadır. Kırşehir'de Terme dışında Karakurt, Savcılı, Mucur, Mahmutlu, Akpınar ve Bulamaçlı jeotermal alanlarında da sondaj çalışmaları sürdürülmektedir. Kırşehir'de en yüksek sıcaklık 2006 yılında Mahmutlu jeotermal alanında yapılan 1149 m derinliğindeki 80 L/s debili sondajda 76,5 °C olarak ölçülmüştür (www.mta.gov.tr, 2015).

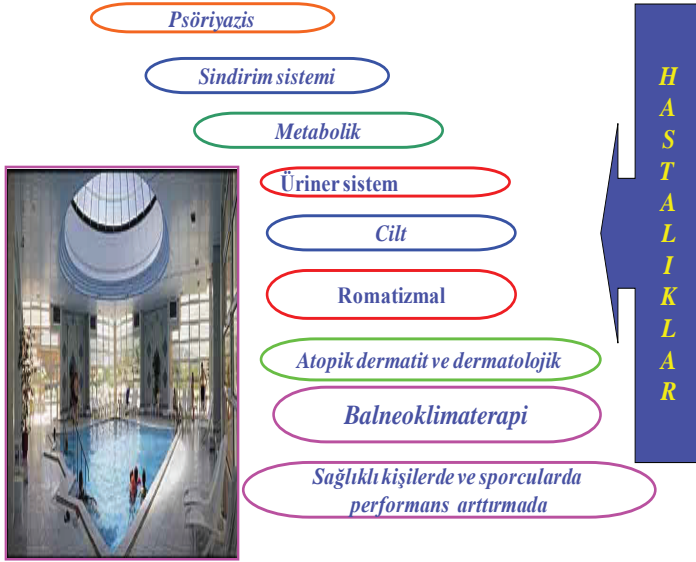
Çizelge 1. Kozaklı ve Terme jeotermal alanları için kuvars jeotermometrelerine göre hesaplanan hazne kaya sıcaklıkları (Afşin vd., 2007) (Kısaltmalar Şekil 3 ve 4'teki gibidir.)

Jeotermometre	Kozaklı		Terme	
	KOSMS*	KOSMS**	TESMS*	TESMS**
Kristobalit alfa	58	72	-	45
Kalsedon	79	95	38	64
Kuvars, buhar kaybı yok	108	123	70	95

KJS'nin radon gazı içeriği, önceki çalışmalara (Yenal vd., 1975) göre >60000 pCi/L olup, Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH, 1979)'nin 5 nCi/L ile Alman Kaplıcalar Birliği (DSA,

2005)'nin 18 nCi/L ile radon gazının etkisinin görülebilmesi için gerekli olan sınır değerlerinin üzerinde saptanmıştır. Güncel ölçümlerle doğrulanması gereken bu sonuç, bu suları doğal tedavi çamurları ve Kapadokya bölgesi için özel kılmaktadır. KJS ve TJS tuzlu, bikarbonatlı ve kalsiyumludur (KJS: Na-Ca-Cl-SO₄; TJS: Ca-Na-HCO₃-Cl) (Şekil 3). Bu yüzden, bu sular çok sayıda hastalığın tedavisinde yararlıdır (Şekil 6). Örneğin, her iki jeotermal su, kronik bel ağrısı, fibromiyalji sendromu, osteoartritler, ankilozan spondilit, romatoid artrit gibi sık rastlanan, ciddi iş gücü kaybına ve sakatlığa yol açan romatizmal hastalıklarda, banyo uygulamalarının orta ve uzun süreli ağrı ve fonksiyonel durum gibi parametrelere olumlu katkı sağlamaktadır (Gurdal vd., 2012).

Nevşehir ve Kırşehir'de orta Anadolu'ya özgü karasal iklim baskın ve açık havada uygulanabilecek kür süresi (Mayıs-Eylül arası, 20°C'yi aşan gün sayısı) uzundur. Biyoiklimsel özellikler açısından ışınal uyarıcılık (global ve UV radyasyonu), helyoterapi amaçlı yukarıda sayılan romatizmal hastalıkların yanı sıra, günümüzde yaygın olan depresyon gibi bazı psikolojik rahatsızlıkların ve psöryasis başta olmak üzere birçok dermatolojik hastalığın tedavisinde de etkilidir. Ayrıca, KJA ve TJA'daki uyarıcı termal biyoiklimsel etkilerden sağlıklı kişiler ve sporcular da performans arttırmada faydalanabilir.



Şekil 6. Kozaklı ve Terme jeotermal sularının tıbbî değerlendirmesi (Afşin vd., 2014)

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Kozaklı (KJA) ve Terme (TJA) orta Anadolu'da hidrojeokimyasal ve balneolojik açıdan önemli jeotermal alanlardır. KJA ve TJA'daki jeotermal suların Pre-Mezozoyik yaşlı mermer ve Tersiyer yaşlı kireçtaşlarından ibaret birden fazla akifere sahip olup, birleşik hidrolik ve devirli jeotermal sistem sergilemesi jeotermal suların sürdürülebilirliği açısından olumlu bir durumdur. Ancak, jeotermal sular mermerlerden kireçtaşlarına doğru kondüksiyon akımıyla taşınımaları sırasında soğuk sularla da karışarak sıcaklıklarını bir miktar kaybetmiş olabilirler. Bunun izleri, söz konusu suların jeotermometre ile hesaplanan sıcaklıklarının jeotermal su kuyularında ölçülen sıcaklıklardan yüksek olmasıdır.

TJS ve KJS'ye göre daha yüksek kotlardan beslenmiştir. Her iki suyun da yağışlı dönemde daha $d^{18}O$ değerlerinin daha negatif olması, bu suların yüksek kotlara düşen yağışlardan etkilenmiş olmalarına işaret edebilir. Karbon izotoplarına (^{14}C) göre jeotermal suların görünür yaşları 20.000 yıldan fazla olup, göreceli olarak KJS TJS'den daha uzun dolaşımıdır (Afşin vd., 2014). Bu uzun dolaşımın destekçisi, KJS'de Na-Cl'nin, TJS'de ise Ca-HCO₃'ün baskın olmasıdır. ^{14}C yaşları, bu suların jeotermal sisteme girişlerinin çok uzun zaman önceden muhtemelen Holosen döneminde başlamış olabileceğini göstermektedir. Bu sonuç, söz konusu jeotermal suların çok dikkatli bir biçimde kullanılması gerektiğini açıkça ifade etmektedir.

Bu bağlamda, jeotermal alanlarda jeotermal suların kullanımı sırasında saptanmış bazı problemler (1) kabuklanma ve korozyon, (2) jeotermal atık suyun rastgele uzaklaştırılması, (3) aşırı su çekimi ve çöküntü ve (4) çevre ve sağlık başlıkları altında toplanabilir.

KJS ve TJS, kalsit, aragonit ve dolomit gibi karbonat minerallerine doygun olduğu için bu suların işletilmesi sırasında kabuklanma meydana gelmektedir. Bu sorun, KJA ve TJA'da gelişen teknolojiye bağlı olarak uygun inhibitör kullanımı ve eşanjör sistemi ile, her ne kadar zaman zaman mekanik temizlemeyi gerektirse de, büyük ölçüde çözülebilmektedir.

KJA ve TJA'da jeotermal atık suların uzaklaştırılması da önemli bir problemdir. Çevreye bırakılan jeotermal atık sular, içermiş oldukları ağır metaller bakımından çevrenin olumsuz biçimde etkilenmesine, sondajla azaltılan yeraltısuyu basıncındaki dengenin bozulmasına ve yüzeyde çökmelere yol açmaktadır. Bunun en tipik örneği KJA'da Ocak 2007 yılında gerçekleşen çöküntüdür (Şekil 7). Bu alandaki sıcak suları taşıyan mermer ve kireçtaşları CO₂ gazının etkisiyle çözünerek (karstlaşma) büyük boşluklu yapıya dönüşmüştür. Bu boşluklu yapı ve aşırı su çekimi ile park alanında yapılan çevre düzenlemesi sonucu artan dış basınca direnci/iç basıncı (hidrostatik basınç) azaltmış ve yaklaşık 30 m çapında 15 m derinliğinde çöküntünün meydana gelmesine yol açmıştır. Bu çöküntünün olumlu etkisi, KJA'da aşırı su çekimine son verilmesi olmuştur. Bu nedenle, KJA'da (1) 345 m ve (2) 250 m derinlikli reenjeksiyon kuyuları açılmıştır. Bu kuyulardan ilki bakıma alınmış olup, ikinci kuyuya 45 l/s su basılmaktadır (İ. Terzioğlu ile sözlü görüşme, 28.09.2015). Bu konu ile ilgili olarak, KJA'daki jeotermal kuyulardan alınan sular, ısı merkezi yakınında yapıyı devam eden 750 m³ kapasiteli bir depoya aktarıldıktan sonra tek merkezden dağıtılacaktır. Uygulanan bu yöntem, jeotermal suların sürdürülebilir kullanımları açısından çok önemlidir. TJA'da ise, olumsuz sonuçlanan reenjeksiyon kuyusunun yerine yeni kuyu açma çalışmaları sürdürülmektedir (B. Aydoğan ile sözlü görüşme, 10.09.2015).

ÖNERİLER

Jeotermal suların koruma-kullanım dengesinin ve sürdürülebilir kullanımının sağlanması için KJA ve TJA'da yeni reenjeksiyon kuyuları açılmalı ve jeotermal atık sular dezenfeksiyonu sonucu bu kuyulara geri basılmalıdır.

Gelecekte KJ Ave TJA'da ısıtılan konut sayısı arttırılabilir, KJA'da elektrik üretimi yapılabilir.

KJA'da planlandığı gibi TJA'da da jeotermal sular tek merkezde toplanmalı, aşırı su tüketimi önlenmeli ve jeotermal suların güvenli kullanımı için gereksiz kuyular kapatılmalıdır.

Ülkemizde kaplıca ortamlarında çok sınırlı sayıda olmasına rağmen Kozaklı ve Terme'de bulunan Fizik Tedavi Rehabilitasyon Hastanelerinin imkânlarından da kür programlarında yararlanılabilir. Bu hastaneler şu anda talebi karşılamada zorlandığından benzer kurumlara ihtiyaç duyulmaktadır. Yapılacak klinik ve farmakolojik çalışmalarla Sağlık Bakanlığı tarafından onay-

lanmış iyileştirici özelliklerinden yararlanmak için kür tedavi ve dinlenme merkezlerine ek olarak uygun klimaterapötik çağdaş mekanlar da düzenlenmelidir.

KJA'da radon gazının sağlık açısından doğru biçimde değerlendirilebilmesi için güncel radon gazı ölçümleri sürekli olarak yapılmalıdır.

KJA ve TJA'da ihtiyaç fazlası kullanılmayan sıcak sular uygun akiferlerde depolanmalıdır.

Jeotermal problemlerin çözümünde özel sektörlerin yanı sıra üniversitelerde yetişmiş uzman kişilerle de işbirliği yapılmalıdır.

Teşekkür: Yazarlar, bu çalışmayı 104Y197 no'lu proje ile maddî olarak destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)'na ve emeği geçen herkese teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Afşin, M., Erdoğan, N., Gürdal, H., 2014. Orta Anadolu'daki jeotermal enerjinin dünü, bugünü ve geleceği. XI. Türk Kaplıca Tıbbi ve Balneoloji Kongresi. 10-12 Nisan 2014, Gaziantep. Özetler Kitabı, s. 29.
- Afşin, M., Gürel, A., Onak, A., Erdoğan, N., Gürdal, H., Kavurmacı, M., Oruç, Ö., Duru, G. 2007. Orta Anadolu'daki Sıcak ve Mineralli Suların ve Travertenlerin Hidrojeokimyasal ve İzotopik İncelenmesi ve Suların Tıbbî ve Biyoiklimsel Değerlendirilmesi, TÜBİTAK-ÇAYDAG-104Y197, 119s, (yayımlanmamış).
- DSA, 2005. Begriffsbestimmungen - Qualitätsstandards für die Prädikatisierung von Kurorten, Erholungsorten und Heilbrunnen - 12. Auflage. Flöttmann Verlag GmbH, Bonn - April 2005
- Gurdal, H., Afsin, M., Erdogan, N., Dogan, G., Dag, T., Oruç, O., Davraz, A., Karakas, Z., 2012. Hydrogeochemical, medical and bioclimatic evaluation of Kozakli (Nevşehir) geothermal waters in Central Anatolia, Turkey, Balnea; Medical Hydrology and Balneology: Environmental Aspects, Número 6, 421-422 ISSN: 978-84-669-3482-4
- IAH, 1979. International Association of Hydrogeologists, Map of mineral and thermal water of Europe, Scale 1:500.000: United Kingdom.
- Kuşcu, İ., 1997. The mineralogical and geochemical comparison of the Pb-Zn skarns in the Akdağmadeni, Akçakışla and Keskin districts, Central Anatolia, Turkey. Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, 192 s, (yayımlanmamış).
- Şimşek, Ş., 2014. Türkiye'de jeotermal kaynaklara aramaları ve yeni gelişmeler. XI. Türk Kaplıca Tıbbi ve Balneoloji Kongresi. 10-12 Nisan 2014, Gaziantep. Özetler Kitabı, s. 32.
- www.mta.gov.tr/erişim tarihi 15.08.2015.
- Yenal, O., Usman, N., Bilecen, L. ve Kanan, E., 1975. Türkiye Maden Suları, İç Anadolu Bölgesi, İ.Ü. Tıp Fakültesi Hidroklimatoloji Kürsüsü, 4, 257-263.

JEOTERMAL ENERJİ TESİSLERİNİN KURU İNCİRİN VERİM VE KALİTESİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Sunay Dağ¹, Engin Ertan²

¹*İncir Araştırma İstasyonu Müdürlüğü/AYDIN*

²*Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü/AYDIN
(dag.sunay@hotmail.com)*

ÖZ

Bu çalışma, jeotermal enerji tesislerinin kuru incirin verim ve kalitesi üzerine etkilerinin belirlenmesi amacıyla yürütülmüştür. 2013 ve 2014 yılı incir üretim sezonlarında, Aydın İli Germencik İlçesi “Alangüllü” bölgesindeki jeotermal tesise 600-650 m (yakın mesafe), 1100-1150 m (orta mesafe), 1500-1650 m (uzak mesafe) ve ≥ 5000 m (en uzak mesafe) uzaklıkta her mesafeyi temsil eden ikişer Sarılop incir çeşidi ile kurulu bahçede çalışma yürütülmüştür.

Tesisten farklı mesafelerde yer alan bahçelerden alınan toprak örneklerinde bünye, toplam tuz (%), pH, kireç (%), organik madde (%), azot (N) %, fosfor (P) ppm, potasyum (K) %, kalsiyum (Ca) %, sodyum (Na) %, magnezyum (Mg) %, demir (Fe) ppm, çinko (Zn) ppm, mangan (Mn) ppm, bakır (Cu) ppm ve bor (B) ppm analizleri yapılmıştır. Yaprak ve kuru meyve örneklerinde, besin elementleri açısından; azot (N, %), fosfor (P, %), potasyum (K, %), kalsiyum (Ca, %), magnezyum (Mg, %), demir (Fe, ppm), bakır (Cu, ppm), çinko (Zn, ppm), mangan (Mn, ppm), kadmiyum (Cd, ppm), nikel (Ni, ppm), krom (Cr, ppm), kurşun (Pb, ppm), kobalt (Co), bor (B, ppm) ve kükürt (S, %) elementlerinin analizleri yapılmıştır.

Çalışma sonucu elde edilen veriler değerlendirildiğinde; toprak örneklerinin özellikle tesise yakın mesafeli bahçelerde (600-650 m) asidik karakterde oluşu oldukça dikkat çekicidir. Yaprak ve kuru incir meyve örneklerinin besin elementleri ve ağır metaller açısından genel olarak diğer mesafelere göre daha yüksek içeriklere sahip olduğu ve tesisten uzaklaştıkça özellikle meyve örneklerinin ağır metal içeriklerinin azaldığı saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: İncir, Jeotermal Enerji, Kalite

EFFECTS OF GEOTHERMAL ENERGY PLANTS ON YIELD AND QUALITY IN DRIED FIG

Sunay Dağ¹, Engin Ertan²

¹Fig Research Institute/AYDIN

²Adnan Menderes University Faculty of Agriculture Department of Horticulture/AYDIN
(dag.sunay@hotmail.com)

ABSTRACT

This study is carried out to investigate the effects of the geothermal energy plants on the yield and the quality in fig. During 2013 and 2014 fig production seasons, at each of the distances 600-650 m (close distance), 1100-1150 m (medium distance), 1500-1650 m (long distance) and ≥ 5000 m (ultra long distance) from the geothermal energy resource in "Alangüllü" area in Germencik, Aydin, two fig orchards containing Sarılop variety were carried out.

At different distances from facilities located in soil samples taken from these orchards; texture, total salt (%), pH, lime (%), organic matter (%), nitrogen (N)%, phosphorus (P) ppm, potassium (K)%, calcium (Ca)%, sodium (Na)%, magnesium (Mg)%, iron (Fe) ppm zinc (Zn) ppm, manganese (Mn) ppm copper (Cu) ppm and boron (B) ppm analyzes were conducted. In the leaf and the dried fruit samples taken from the orchards at different distances, in terms of nutrient elements; the analyses for nitrogen (N, %), phosphorus (P, %), potassium (K, %), calcium (Ca, %), magnesium (Mg, %), iron (Fe, ppm), copper (Cu, ppm), zinc (Zn, ppm), manganese (Mn, ppm), cadmium (Cd, ppm), nickel (Ni, ppm), chrome (Cr, ppm), lead (Pb, ppm), cobalt (Co), boron (B, ppm) and sulphur (S, %) elements were carried out.

The results obtained when the evaluation data especially close to the geothermal energy plant (600-650 m) soil samples it is quite remarkable that the samples formed in acidic character. According to the nutrient elements and the heavy metals, it was detected that the leaf and the dried fig samples from the fig orchards which are close to the geothermal energy plant (600-650 m), in general, have higher values and the heavy metals content of the fruit samples decreases as the distance to the plant increases.

Keywords: Fig, Geothermal Energy, Quality

ŞARKIKARAAĞAÇ (ISPARTA) VE HÜYÜK (KONYA) ARASINDA YERALAN SICAK VE MİNERALLİ SULARIN İNCELENMESİ

Selma Demer, Ümit Memiş, Gamze Işıkyıldız, Meryem Kılınc ve Tayfun Uyumaz

*Süleyman Demirel Üniversitesi, Jeotermal Enerji, Yeraltısuyu ve Mineral Kaynakları
Araştırma ve Uygulama Merkezi, 32260 Isparta*

ÖZET

Şarkikaraağaç (Isparta) ve Hüyük (Konya) bölgelerinden alınan sulardan Aslandoğmuş, Çavuşköy ve Köşkköy suları “termal su”; İçme Tepe, Görünmez köy su noktaları “mineralli su” olarak sınıflanmıştır. Köşkköy ve Çavuşköy suları aynı zamanda termomineralli sular olarak tanımlanmıştır. Şarkikaraağaç bölgesindeki Aslandoğmuş su kaynağı Ca-Mg-HCO₃-SO₄ ve İçme Tepe su kaynağı ise Ca-Mg-(Na)-HCO₃-SO₄ tipli sular fasiyesinde iken, Hüyük bölgesinde bulunan Çavuşköy termal suyu Ca-Mg-HCO₃-(SO₄); Görünmez köy mineralli suları Ca-Mg-HCO₃ ve Köşkköy termal suyu ise Ca-Mg-SO₄-HCO₃ tipinde sular olarak sınıflandırılmıştır. Çalışma alanından alınan termal suların jeotermometre hesaplamalarına göre Aslandoğmuş termal su kaynağı için 40-45 °C, Çavuşköy termal suyu için 45-50 °C ve Köşkköy termal su kaynağı için 60-70 °C arasındaki sıcaklık değerlerinin bölgenin yaklaşık rezervuar sıcaklıkları olduğu söylenebilir. İncelenen termal sular genel olarak balık çiftlikleri, balneolojik hamamlar, mantar yetiştiriciliği, yüzme havuzu, toprak ısıtma amaçlı kullanılabilir. Köşkköy termal sularından bunlara ilave olarak sera ve konut ısıtılması amacıyla da yararlanılabilir.

Anahtar kelimeler: Şarkikaraağaç (Isparta), Hüyük (Konya), termal su, mineralli su, hidrojeokimya

INVESTIGATION OF THERMAL AND MINERALIZED WATERS BETWEEN ŞARKIKARAAĞAÇ (ISPARTA) AND HÜYÜK (KONYA)

Selma Demer, Ümit Memiş, Gamze Işıkyıldız, Meryem Kılınç and Tayfun Uyumaz

Süleyman Demirel Üniversitesi, Research and Application Center for Geothermal Energy,
Groundwater and Mineral Resources, 32260 Isparta

ABSTRACT

Aslandoğmuş, Çavuşköy and Köşkköy waters taken from Şarkikaraağaç (Isparta) ve Hüyük (Konya) area are classified as “thermal water”, while İçme Tepe and Görünmez köy waters are classified as “mineralized water”. Also, Köşkköy and Çavuşköy waters are defined as thermo-mineralized waters. Aslandoğmuş and İçme Tepe waters in Şarkikaraağaç area are Ca-Mg-HCO₃-SO₄ and Ca-Mg-(Na)-HCO₃-SO₄ type water facies, respectively. Çavuşköy, Görünmez köy and Köşkköy waters in Hüyük area are classified as Ca-Mg-HCO₃-(SO₄), Ca-Mg-HCO₃ and Ca-Mg-SO₄-HCO₃ type waters, respectively. According to the reservoir temperature calculation of thermal waters taken from the study area, the approximately reservoir temperatures of the this area are ranging from between 40-45 °C, 45-50 °C and 60-70 °C, respectively for Aslandoğmuş, Çavuşköy and Köşkköy waters. In generally, these thermal waters can be used for fish farms, balneological baths, mushroom cultivation, swimming pool and heating the soil. In addition to these, Köşkköy thermal waters also can be utilized to greenhouse activities and district heating.

Keywords: Şarkikaraağaç (Isparta), Hüyük (Konya), thermal water, mineralized water, hydrogeochemistry

MORALI, UZUNKUM VE ÜZÜMLÜ (GERMENCİK-AYDIN) VE ARGAVLI (SÖKE-AYDIN) ARASINDA BULUNAN JEOTERMAL KAYNAKLARIN ELEKTRİK DIŞI KULLANIM POTANSİYELİ

Bülent ALAGÖZ, Fetullah ARIK, Müslüm BUCAK

*Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Müh. Bölümü, Konya
(blntlgzzz@gmail.com)*

ÖZET

İnceleme alanı Türkiye'nin jeotermal enerji bakımından en önemli potansiyelin bulunduğu Büyük Menderes Grabeni içinde Germencik-Söke (Aydın) arasında yaklaşık 96 km²'lik bir alanı kapsamaktadır.

Sahada metamorfik, sedimanter, volkanik kayalar bulunmakta olup rezervuar kayalar Menderes Masifine ait gnays ve şist ve kalkışitlerdir. Sahada özel sektör tarafından açılan 10 adet sondajın ortalama derinliği 3028 m, jeotermal rezervuarın kuyu dibi sıcaklıkları 181.5°C, kuyu başı sıcaklıkları 132.8°C ve akışkanın debisi 64.2 l/sn' dir.

Kuyu verilerine göre jeotermal akışkan 26.14 Mw elektrik potansiyeline sahiptir. Sistem değişiminde debi % 10 sıcaklık ise 5 °C düşmektedir. Elektrik üretiminden sonra sıcaklığı 80 °C'ye düşünceye kadar buharlaştırma, kurutma, soğutma, tuz, şeker, alüminyum, su, gıda ve yapı sektöründe kullanılabilir. Sıcaklık 80°C'nin altında ise başta ev ve sera ısıtması olmak üzere soğutma, çiftlik ısıtma, kaplıca, toprak ısıtma balık üretim çiftliklerinde de jeotermal kaynaklardan yararlanılmaktadır.

Elektrik üretiminden atılan 75 °C deki jeotermal akışkanla 100 m²'lik 10416 konut ısıtılabilir. Konut ısıtmasından atılan su ile 10 dekar sera alanı ısıtılabilirken doğrudan seracılıkta kullanılırsa 55 dekara yükselmektedir. Termal turizm ve sağlık amaçlı kullanımında günlük 720 l/kişi hesabına göre 44375040 l/gün ve faydalanacak kişi sayısı 61632olmaktadır. Akışkanın kültür balıkçılığında kullanılabilmesi için pH'ın düşürülmesi ile 300 tonluk 148 havuza yetecek potansiyele sahiptir

Jeotermal akışkan birçok element bakımından deteksiyon limitinin altında kalmış olup Cl, Li ve Mg bakımından zenginleştirme yöntemleri uygulanabilir Akışkan içinde dengede olan bazı bileşenler üretim sırasında basınç ortadan kalktığı için çökelmekte olup pompa, boru ve tesislerde kabuklaşma ve korozyona neden olmaktadır.

Rezervuar ve örtü kayaların Ba, Rb, Sr, Zr, La, Ce, Mo, Cu, Pb ve Zn içerikleri önemli görülmektedir. Özellikle 6000 ppm'e yakın Zn ve yüksek Pb-Cu-Mo değerleri gömülü bir porfir sistemin varlığını düşündürmektedir.

Jeotermal akışkanın kullanımdan sonra çevresel etkilerinin azaltılması ve kaynağın sürdürülebilir olması bakımından geribasım yapılmalıdır. Atık akışkanın geribasımı için gradyan sondajları kullanılarak metamorfikler içindeki geçirimli metakirintılı ve/veya metakarbonatlı seviyeler kullanılabilir.

Anahtar Sözcükler: Aydın, Jeotermal, jeotermal elektrik, jeotermal ısı, geribasım

NONELECTRICAL USING POTENTIAL OF GEOTHERMAL RESOURCES AMONG THE MORALI, UZUNKUM AND ÜZÜMLÜ (GERMENCİK-AYDIN) AND ARGAVLI (SÖKE-AYDIN)

Bülent ALAGÖZ, Fetullah ARIK, Müslüm BUCAK

*Selçuk University Engineering Faculty, Geological Engineering Department, Konya
(blntlgzzz@gmail.com)*

ABSTRACT

The study area surrounds at almost 96 km² area between Germencik-Söke (Aydın) in Büyük Menderes graben where the most important potential in the view of geothermal energy is found in Turkey.

Metamorphic, sedimentary and volcanic rocks exposed in the study area and geothermal reservoir rocks are gneiss and chalcshists belonging to Menderes Massive. While avarage depth are 3028 m, downhole temperatures are 181.5 °C, wellhead temperatures are 132.8 °C and flow rates are 64.2 l/sec of geothermal reservoir's based on the data of 10 drillings opened by the private sector companies.

According to present borehole data geothermal fluid has 26.14 Mw electricial potential. When the system changes %10 of flow rate and 5°C temperature decreases. After generating electricity, it can be used efficiently in evaporation, drying, cooling, salt, sugar, aluminum, water, food and construction industry till the temperature decreases to 80 °C. If the temperature is below 80 °C, from geothermal resources can also be used at first including greenhouse and home heating, cooling, farms heating, thermal springs, soil heating and aquaculture farms.

75 °C of geothermal fluid that is discharged from generating elecricity can heat 10416 houses that occupies 100 m² space each. While geothermal resources after discharged from house heating can be used 10 decares greenhouse area, If It is used directly in greenhousing, the area that is used could increase 55 decares. Temper to the calculation of 720 l/day for per people 44375040 l/day and 61632 people benefit for the purpose of thermal tourism and medical usage. For the aim of using fluids for culture fishing, it has got potential for 148 pools of 300 tonnes each on the condition by decreasing pH

However geothermal liquid were below the detection limits for many elements enrichment methods can be applied in terms of Cl, Li and Mg. Some components which is balanced in the liquid subside during the production process because of disappearing the pressure and this event causes scaling and corrosion in pipes and facilities.

Ba, Rb, Sr, Zr, La, Ce, Mo, Cu, Pb and Zn contents are seem important of reservoir and cover rocks. Especially nearly 6000 ppm Zn and high Pb-Cu-Mo values could preoccupy presence of a buried porphyry system.

Re-injection must be made from the point of view sustainability of sources and reducing the environmental effects after the usage of geothermal liquid. Fort this purpose gradient boreholes could be used and discharged fluids could be inject to permeable metadetracious and/or meta-carbonate interlayers of the metamorphic rocks.

Keywords: *Aydın, geothermal, geothermal elctric, geothermal temperature, re-injection*

04-06 Kasım 2015 Ankara

Jeotermal Kaynaklar
sempozyumu
ve
sergisi

JEOTERMAL BİR KUYUDA GAZ KABARCIĞI OLUŞUM DERİNLİĞİNİN JEOKİMYASAL YAKLAŞIMLA BELİRLENMESİNİN ÖNEMİ

Taylan Akın¹, Aygün Güney², Hulusi Kargı²

^{1,2}Pamukkale Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Denizli, 20070 TÜRKİYE

²Zorlu Enerji Grubu, Büyükdere Caddesi No:199, Şişli, İstanbul, 34394, TÜRKİYE
(takin@pau.edu.tr)

ÖZ

Mineral çökmesi ve buna bağlı gelişen üretimde azalma problemiyle dünya genelinde birçok jeotermal sahada karşılaşmaktadır. Rezervuarda yan kayaçla dengede veya dengeye yakın olan termal akışkanın fiziksel ve kimyasal özellikleri kuyu boyunca yükselirken değişmekte ve bazı mineraller kuyu içerisinde çökelebilmektedir. Kalsit ile kuvars kuyu ve yüzey ekipmanlarında yaygın olarak gözlemlenen çökel mineralleridir. Kalsitin çözünürlüğü, doğal suların beslenme alanından rezervuara kadarki akım yolu boyunca sıcaklık artışı ile dereceli olarak azalmaktadır. Jeotermal akışkan rezervuarda genellikle kalsitle dengededir ancak; üretim esnasında kuyunun içinde doygun hale gelmektedir. Kalsit çökmesi esas olarak hem kalsiyum ve karbonat konsantrasyonunu arttıran buharlaşma hem de aynı zamanda gerçekleşen ve ph yükseliminin bir sonucu olarak kalsitin doygunluk indeksini arttıran CO₂'nin sıvı fazdan ayrılmasıyla ilişkilidir.

Çökelmeyi engellemek için çeşitli kimyasal önleyiciler kullanılmaktadır ancak; etkili bir engelleme sağlamak için kimyasallar sıvı faza basılmalıdır. Bunun için, sıvı fazın gaz kabarcığı oluşturmaya ve hem sıvı hem de gaz fazına dönüşmeye başladığı gaz çıkış derinliğinin belirlenmesi gerekmektedir. Genellikle kuyu içi dinamik basınç profilinin doğrusallıktan sapmaya başladığı nokta gaz kaçış derinliğini belirlemede kullanılmaktadır. Ancak, çizginin eğiminin değişip profil üzerinde eğri oluşması için kayda değer miktarda buharlaşmanın olması gerekmektedir. Ayrıca bu şekilde belirlenen noktanın derinliği büyük ihtimalle ilk gaz kabarcığının derinliğinden sığ olacaktır. Diğer yandan, mineralli suyun kimyası, özellikle pH'ı, gaz kabarcığı oluşumuyla eş zamanlı olarak değişmektedir. Bu yüzden, dinamik basınç profil eğrisine göre hem gaz çıkışı derinliğinin hem de kalsit çökmesinin değerlendirilmesi hassas değerlidir.

Bu çalışmada, Kızıldere jeotermal sahasında bulunan bir üretim kuyusunun verileri, kalsit çökmesinin ve gaz çıkış derinliğinin modellenmesi için kullanılmıştır. Bu amaçla, örneklenen termal akışkanın kimyasal analizleri, yerinde yapılan ölçümler (pH, gaz/buhar vb.) kuyu içi dinamik basınç ve sıcaklık verileri kullanılmıştır. Jeokimyasal modelleme çalışmaları, termodinamik denge yaklaşımı kullanılarak PHREEQC yazılımında gerçekleştirilmiştir. Yerel denge varsayımını kontrol etmek için hesaplama sonrasında, modellenen nihai akışkan kimyası ile örneklenen akışkanın kimyası birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Korelasyona göre modellenen ve örneklenen akışkan kimyasında oldukça benzerlik bulunmaktadır. Bu yüzden, kalsit çökme kinetiğinin oldukça hızlı, dolayısıyla lokal denge varsayımının ilk gaz kabarcığı derinliğini ve kuyu içi kalsit çökme profilini modellemede kullanılabilmesi kabul edilebilir. Üretim esnasında hem konduktif hem de adiyabatik soğumadan dolayı kuvars kuyu içinde çökme eğilimi gösterse de, yavaş reaksiyon kinetiğinden dolayı modelleme çalışmalarına dahil edilmemiştir. Bu yaklaşım, jeotermal kuyu içinde gaz çıkış derinliğini nispeten daha doğru tahmin etmekte ve pratikte inhibitör uygulamalarına önemli katkılar sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kızıldere, jeotermal, phreeqc, kalsit çökmesi, gaz çıkış derinliği

THE IMPORTANCE OF DETERMINING OF GAS BUBBLE FORMATION DEPTH IN A GEOTHERMAL WELLBORE VIA GEOCHEMICAL APPROACH

Taylan Akın¹, Aygün Güney², Hulusi Kargı²

^{1,2}Pamukkale University, Geological Engineering Department, Denizli, 20070 TURKEY

²Zorlu Energy Group, Büyükdere Caddesi No:199, Şişli, İstanbul, 34394, TURKEY

(takin@pau.edu.tr)

ABSTRACT

Mineral precipitation and consequently reduction in production capacity is widely encountered at geothermal fields all around the world. Physical and chemical properties of thermal fluids which at or close to equilibrium with host rocks in a reservoir, change as ascending throughout the well and some minerals may precipitate in wellbore. Calcite and quartz are common scale minerals that are observed in both well and surface equipment. Calcite dissolution gradually decreases with increasing temperature along the flow path from recharge inflow of fresh water toward the reservoir. Geothermal fluids are generally at equilibrium with calcite in reservoir but it becomes saturated within extraction well while the geothermal fluids are being produced. Calcite scaling is mainly related to both evaporation of brine which increases calcium and carbonate concentrations and simultaneously degassing of CO₂ which causes to increase in the saturation index of calcite as a result of pH rising.

Various chemical inhibitors are used to restrain precipitation, but chemicals must be injected into liquid phase to provide effective inhibition. For this purpose, gas breakout depth where liquid phase starts to form gas bubble and transforms to both liquid and gas phase should be determined. The point that begins to differentiate from linearity on wellbore dynamic pressure profile is generally used for determining gas breakout depth. However, significant amount of vaporization must be occurred to change slope of line and lead to curve on pressure profile. Moreover, the depth of that point is most probably shallower than the depth of first gas bubble. On the other hand, brine chemistry especially pH simultaneously change when first gas bubble formed. Therefore, both detection of gas breakout depth and evaluation of calcite scaling based on curve of dynamic pressure profile are not sensitive.

In this study, data of a production well that is located in Kizildere geothermal field was used for modeling of calcite scaling and gas breakout depth. For this purpose, chemical analysis of sampled thermal fluids, in-situ measurements (pH, Gas/Steam etc.), dynamic pressure and temperature data of wellbore were used. Geochemical modeling studies were carried out in PHREEQC software by using thermodynamic equilibrium approach. After computation, modeled end-member fluid chemistry compared with sampled brine chemistry for checking the local equilibrium assumption. According to the correlation, there is quite similarity among modeled and sampled fluid chemistry. Therefore it can be acceptable that, calcite precipitation kinetic is rather fast, so local equilibrium assumption can be used to predict first gas bubble depth and calcite scaling profile in wellbore. Although quartz has tendency to precipitation due to both adiabatic and conductive cooling during production, it was not modeled since its slow reaction kinetic. Comparatively more accurate estimation of gas breakout depth in a geothermal well is possible with this approach that, in fact, is a significant contribution to inhibitor operation in practice.

Keywords: Kizildere, geothermal, phreeqc, calcite scaling, gas breakout depth