

Özgüler, E., 1994, Ankara Su Temin Projesi Gerede -
Çamlıdere Derivasyonu Işıklı Tüneli Alternatif
Güzergahları Jeoteknik inceleme, Doktora Tezi.
Taner, O., 1992, Ankara Su Temin Projesi Gerede
Sistemi Işıklı Tüneli Alternatif Güzergahları

Mühendislik Jeolojisi Ön Planlama Raporu, DSİ
Raporu, Ankara.
Ünlü, M. R., 1973, Kazanlar-Peçenek Alanının Jeolojisi
ve Jeotermal Olanaklarına Dair Rapor, MTA
Derleme, 5775, Ankara (Yayımlanmamış).

ALANYA METAMORFİTLERİNİN (ANAMUR) JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ *Geotechnical properties of Alanya Metamorphites (ANAMUR)*

Aydın ÖZSAN
Nuray GÜL

Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara.
Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara

ÖZ: Anamur baraj yeri. Anamur Nehri üzerindeki Alanya metamorfitlelerinin üzerindedir. Anamur barajı 105 m. yüksekliğinde, kret uzunluğu 65 m. olup kaya dolgu bir baraj olarak planlanmaktadır.

Alanya metamorfitleleri baraj yeri ve derivasyon tünel güzergahı boyunca fillit, şist, sleyt ve kuvarsit kaya birilerini içermektedir.

Saha ve laboratuvar çalışmaları sonucunda Alanya metamorfitlelerine ait ayrışma dereceleri, RQD, yapısal, mekanik ve fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Bu özelliklerden elde edilen jeoteknik parametrelere dayanarak Anamur baraj yerindeki derivasyon tünel güzergahı boyunca RSR- Jeomekanik -RMR ve Q-sistemi kaya kütle sınıflamalarına bağlı kaya kaliteleri saptanarak gerekli destek önlemleri önerilmiştir.

ABSTRACT: The proposed Anaur dam will be across the Anaur River on the Alanya metamorphites. The Anamur dam will be approximately 105 high with a crest length of about 650 m and will be planned rock - fill dam.

Alanya metamorphites consist of phillite, schist, slate and quartzite rock units at the dam site and a long the derivation tunnel alignment.

Degree of weathering, RQD (Rock Quality Designation), structural, physical and mechanical properties of Alanya metamorphites have been determined. Geotechnical parameters obtained by these properties, rock qualities were determined and support requirements were recommended using RSR, Geomechanic - RMR and Q-System rock mass classifications on the tunnel alignment at the Anaur dam site.

GİRİŞ:

Anamur çayı üzerinde yapılması planlanan Anamur baraj yerinin de içinde bulunduğu inceleme alanı, Anamur ilçesinin yaklaşık 10 km kuzey doğusunda yer almaktadır (Şekil 1).

Anamur barajı kaya dolgu baraj olarak planlanmakta olup, talveg kotu 50 m, temelden yüksekliği 105 m, kret uzunluğu 650 , maksimum su yüksekliği 155 m dir.

Bu çalışmada Alanya metamorfitlelerinin jeoteknik özellikleri ve Anon (1977) ile Anamur barajı inşası esnasında açılacak derivasyon tüneli için, tünel güzergahı boyunca RSR (Wickha ve Diğ., 1974), Jeomekanik - RMR (Bieniawski, 1989) ve Q-sistemi (Barton ve diğ., 1974) kaya sınıflamaları kullanılarak kaya kalitesi tanımları yapılmış ve gerekli destekleme önlemleri saptanmıştır.

Alanya metamorfitlelerinin jeolojisi

Alanya metamorfitleleri, baraj ve dolayında fillit, şist ve sleyt türü kayaların içinde yer yer kuvarsit mercerkleri şeklinde yüzlek verirler (Şekil - 2).

Fillit; mostra ve el numunelerinde açık-koyu yeşil renklidir. Kayacın genel dokusu lepidoblastiktir. Mineral bileşiminde ana mineral olarak kuvars, plajyoklas, klorit., serizitik muskovit tali olarak opak mineral ve karbonat gözlenmiştir.

Şist; sahada genel olarak fillitler arasında 30-40 cm varan ara seviyeler halinde bulunurlar. Genel görünimleri yeşilimsi gri ile koyu yeşil arasında değişir. Porfiroblastik doku gösteren şistler de ana mineral olarak kuvars, plajyoklas, klorit tali olarak opak mineral izlenmiştir.

Sleyt; birim genel olarak yeşil, yeşilimsi siyah, parlak ve kaygandır. Sleytin genel dokusu lepidoblastik olup ana mineral olarak kuvars, albit, klorit ve serizit tali mineral olarak opak mineral izlenmiştir.

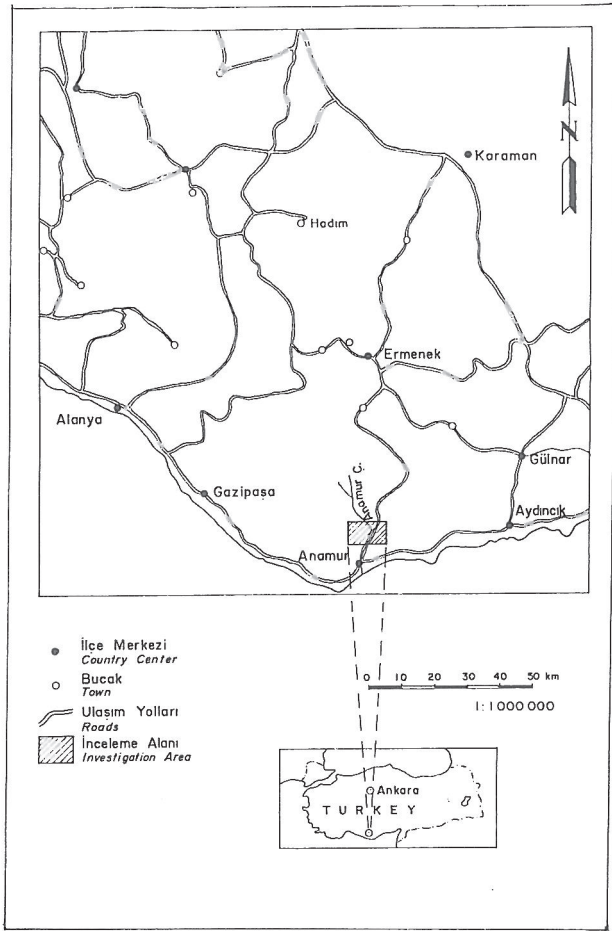
Kuvarsit; baraj yeri ve dolayında irili, ufaklı mercerkler şeklinde şist, fillit ve sleytlerle birlikte bulunurlar. Gri, beyaz ve krem renklerinde, granoblastik dokuda izlenen kuvarsitte ana mineral olarak kuvars tali olarak plajyoklas izlenmiştir.

ALANYA METAMORFİTLERİNİN JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ

Anamur baraj yerindeki Alanya metamorfitlelerinin jeoteknik özellikleri yapısal, mekanik ve fiziksel olarak 3 ana grupta incelenmiştir.

Yapısal Özellikler

Baraj yeri sol şekilde 506, sağ şekilde 416 ve baraj aksı boyunca 298 eklem ölçüsü alınmıştır. Sağ ve sol sahildeki eklem ölçülerine bağlı olarak eşit alan izdüşümleri (Şekil 3 ve 4) hazırlanmıştır. Baraj yeri sol



Şekil 1. Yer bulduru haritası
Figure 1. Location map.

şekilde maksimum derişmeler N22E, 62NW ile N45E, 82NW. Sağ şekildeki maksimum derişme N80E, 50SE dir.

Alanya metamorfitlelerini oluşturan şist, fillit ve sleyt, sık ve çok sık eklemli, kırılğan, dağılğan, ayrışma dereceleri ise orta ile yüksek derece arasında değişmektedir. Kuvarsitler orta derecede eklemli, sert dayanımlı ayrışma derecesi ortadır.

Tünel güzergahı boyunca yapılan kaya kütle sınıflamalarındaki önemli jeoteknik parametre olan RQD'nin hesaplanması için saha formülü kullanılmıştır.

Bu formülde $RQD = 115 - 3,3 J_v$ (Palmstrom, 1982) dir. $J_v = 1$ m³ deki eklem sayısıdır. RQD; Sleyt, fillit ve şist için en az % 16 en fazla % 49, kuvarsit için en az % 49 en fazla % 66 bulunmuştur. Şist, fillit ve Sleyt'in RQD ortalaması % 28 kaya kalitesi zayıf; Kuvarsit için ortalama % 58 kaya kalitesi ortadır.

Fiziksel ve Mekanik Özellikler

Sondaj karotları üzerinde laboratuvarında yapılan testler sonucunda Alanya metamorfitlelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo - 1 de gösterilmiştir.

Karot No	Kaya Birimi	Tek eksenli Basınç dayanımı M Pa	Birim Ağırlık gr/cm ³
1	Kuvarsit	112.80	2.66
2	Kuvarsit	95.77	2.64
3	Şist	44.62	2.69
4	Fillit	37.19	2.74
5	Fillit	41.19	2.75
6	Kuvarsit	77.65	2.57
7	Şist	44.76	2.73
8	Şist	27.73	2.74
9	Kuvarsit	115.68	2.90
10	Sleyt	3.33	2.83
11	Sleyt	9.34	2.82

Tablo 1. Alanya metamorfitlelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri.

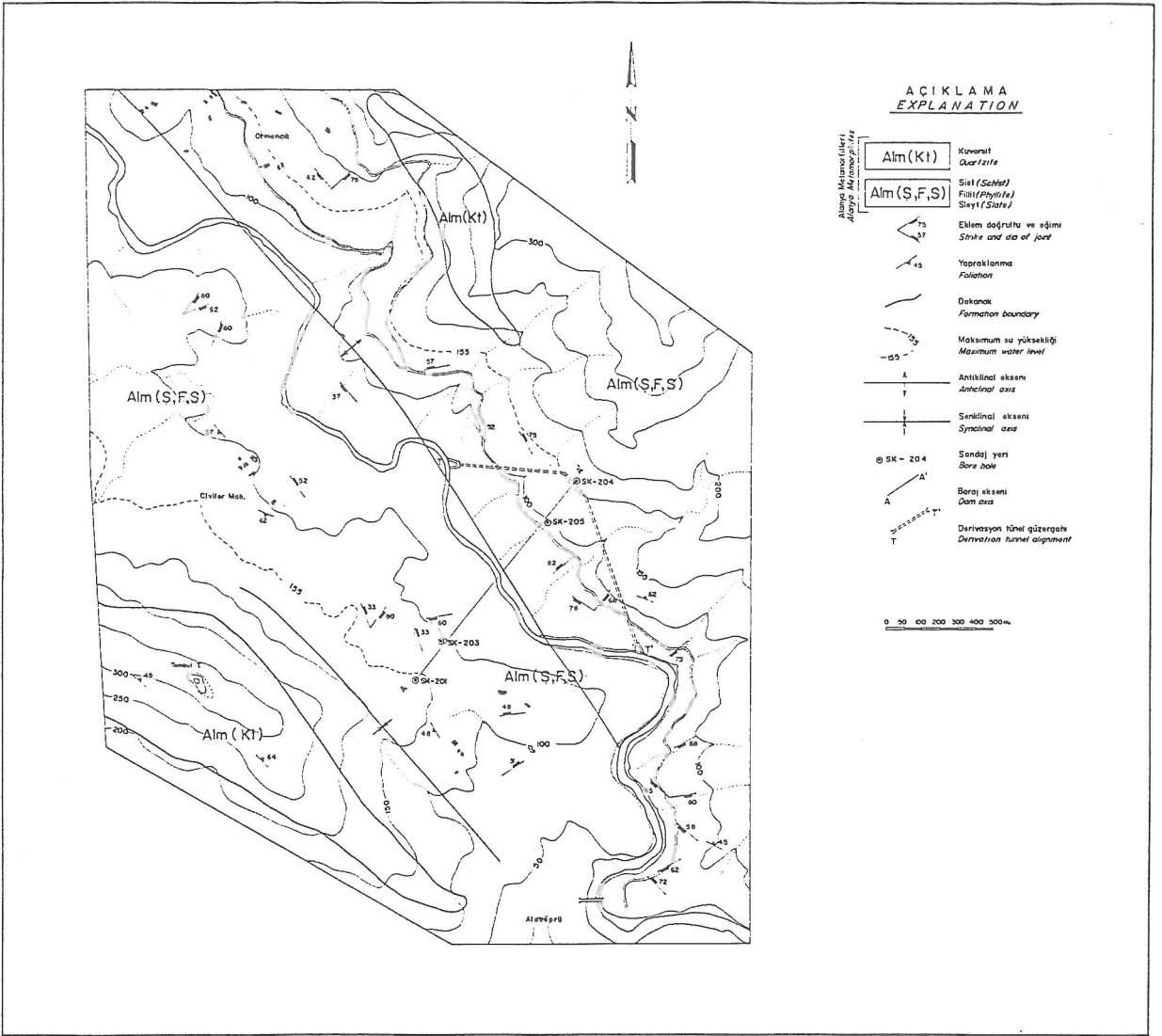
Table 1. Physical and mechanical properties of Alanya Metamorphites.

Derivasyon tünel güzergahının mühendislik jeolojisi

Derivasyon tünel güzergahı 805 metre uzunluğundadır (Şekil 5).

Tünel güzergahının doğrultusu;
0.00 m - 290 m arası N 84 W
290 m - 370 m arası N 48 W
370 m - 805 m arası N 20 W

Tünel açımı esnasında oluşabilecek sorunlara yaklaşım sağlamak amacıyla güzergah boyunca yapılan RSR, RMR ve Q sistemine ait kaya sınıflamaları ile gerekli destekleme önlemleri bulunmuştur. Özellikle jeomekanik - RMR ve Q- Sistemi sınıflamalarında kayaların en iyi ve en kötü koşullardaki kaliteleri tanımlanmıştır.



Şekil 2. Anamur baraj yerinin jeoloji haritası
Figure 2. Geological map of Anamur dam site

I- RSR Kaya Sınıflaması

A) Fillit, şist ve sleyt

Kaya tipi : Yumuşak metamorfik kaya

Çok faylı kıvrımlı :

A Parametresi = 7

Eklm durumu : Çok sık eklemli

Doğrultu tünel eksenine dik, eğim 50° - 90°

B Parametresi = 13

Su gelişi : Orta

Eklm durumu : Orta (Az günlenmiş veya ayrılmış)

A + B = 20 için C Parametresi = 11

RSR = 7 + 13 + 11 = 31

Destek önemi = 73 cm aralıklı 25 mm çapındaki

bulonlar ve 109 mm kalınlığındaki püskürtme betonu veya 58 cm aralıklı çelik kafes (6 H20) gereklidir.

B) Kuvarsit

Kaya tipi: orta metamorfik kayaç

Orta derecede faylı ve kıvrımlı;

A parametresi: 13, Eklm durumu : Çok sık eklemli

Duyrultu tünel eksenine dik (50° - 90°)

B parametresi : 20°

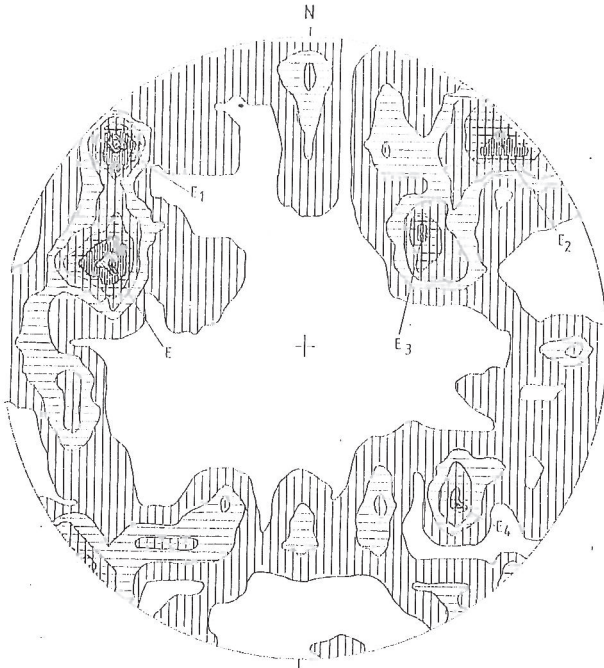
Su gelişi: orta

Eklm durumu: Az günlenmiş veya ayrılmış

A + B = 41 için C parametresi = 11

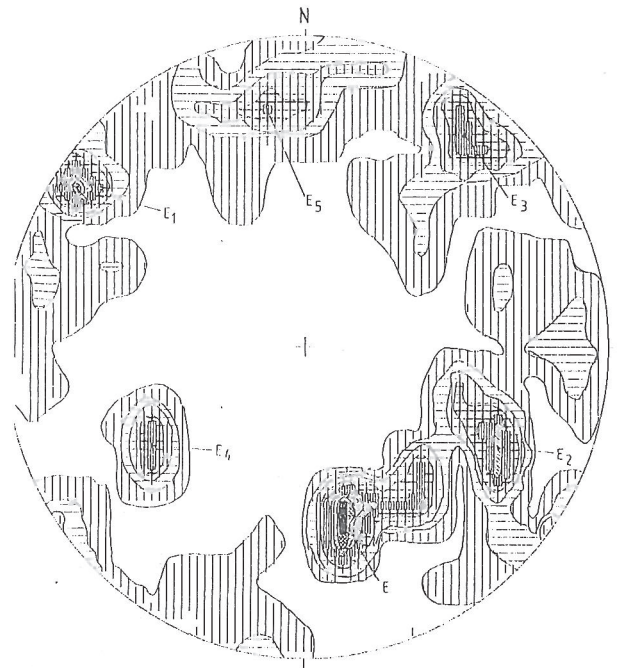
RSR = 13 + 28 + 11 = 52

Destek Önemi: 1.10 metre aralıklı 25 mm



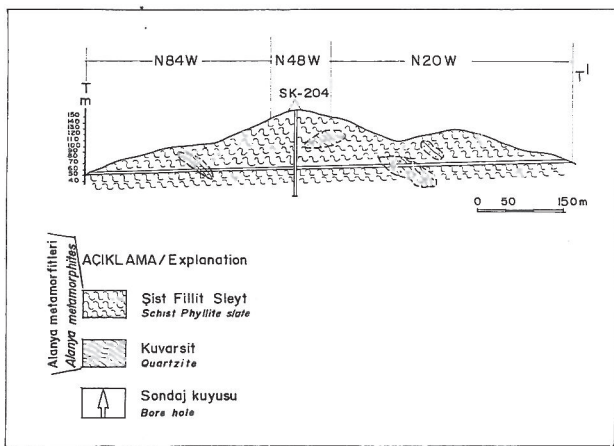
Yüzde %	7 - 6	6 - 5	5 - 4	4 - 3	3 - 2	2 - 1	1 - 0	0
İsaretler Legend								
Dezime derecesi Concentration degree	E1-Smax E1-Submax1		E2-Submax2 E2-Submax1	E3-Submax3				
Duruş Attitude	N12E, 62NW N45E, 82NW		N46W, 34NE N42W, 49NE	N46E, 66SE				

Şekil 3. Anamur baraj yeri sol sahilde ölçülmüş 506 eklemnin eşit alan izdüşümü.
Figure 3. Equal - area projection of 506 joints measured on left - bank of Anamur dam site.



Yüzde %	9 - 8	8 - 7	7 - 6	6 - 5	5 - 4	4 - 3	3 - 2	2 - 1	1 - 0	0
İsaretler Legend										
Dezime derecesi Concentration degree	E1-Smax E1-Submax1		E2-Submax2	E3-Submax3 E3-Submax1	E4-Submax4 E4-Submax1					
Duruş Attitude	N100E, 50SE N15E, 30NE		N22E, 35E	N12W, 78NE N10W, 51E N80E, 70NW						

Şekil 4. Anamur baraj yeri sağ sahildeki ölçülmüş 416 eklemnin eşit alan izdüşümü.
Figure 4. Equal - area projection of 416 joints measured on right - bank of Anamur dam site



Şekil 5. Anamur baraj yeri derivasyon tünelinin jeolojik kesiti.
Figure 5. Geological cross - section of derivation tunnel at Anamur dam site.

çapında bulanlar ve 61 mm kalınlığında püskürtme betonu veya 1.34 m aralıklı çelik kafes (6 H20) gerekir.

II JEOMEKANİK - RMR

A) Fillit, Şist ve Sleyt

	En iyi	En kötü
Tek eksenli dayanımı	4	1
RQD	8	3
Eklem sıklığı	8	5
Eklem durumları	10	0
Yeraltı suyu	7	4
Eklem yönlenimine göre düzeltme	0	-12
	37	1

Fillit, şist ve sleyt. en iyi şartlarda zayıf kaya en kötü şartlarda çok zayıf özelliğindedir. Kaya kütle sınıflaması IV ve V

Destek önlemi : Tablo 2'de verilmiştir.

KAYA KÜTLESİ SINIF-LAMASI	KAZI	BİRİNCİL İKSA		
		Kaya bulonları * (10 m. genişlikteki) tünel için uzunluk	Şatkrit	Çelik takımlar
I	Tam kesit 3 m. ilerleme	Bazı bulonların haricinde genellikle iksa gerektirmez.		
II	Tam kesit 1,0-1,5 m. ilerleme	Kemerin 2-3 m. sinda yer yer bulonlar, tel kafeslerle 2-2,5 m. aralıklı, aynaya 20 m. ye kadar gereklidir.	Su geçirmezlik için tavan kemerinde 50 mm.	Yok
III	Tavan kemeri ve tabandan ilerleme Tavandan 1,5-3 m. ilerleme	3-4 m. uzunlukta sistematik bulonlar, kemerde tel kafesli duvarlar ve kemerde 1,5-2 m. aralıklı, aynaya 10 m. ye kadar gerekli.	Tavan kemerinde 50-100 mm. yan duvarlarda 30 mm.	Yok
IV	Tavan kemeri ve tabandan ilerleme Tavandan 1,0-1,5 m. ilerleme	Tel kafesli duvarlarda ve kemerde 1-1,5 m. aralıklı, 4-5 m. uzunluklu sistematik bulonlar. Aynaya 10 m. ye kadar gerekli	Tavan kemerinde 100-150 m. ve yan duvarlarda 100 mm. Kazı ilerledikçe iksa yerleştirilmelidir	Gerekten yerde 1,5 m. aralıklı yer yer hafif traversizler (ribs)
V	Tavan ve taban müşterek ilerleme Tavandan 0,5-1 m. ilerleme	Tel kafesli duvarlarda ve kemerde 1-1,5 m. aralıklı, 5 m. uzunluklu sistematik bulonlar. Aynaya 5 m. ye kadar gerekli	Tavan kemerinde 150-200 mm. yan duvarlarda 150 mm. Aynada 50 mm. Patlamadan hemen sonra şatkrit uygulanmalı.	Çelik iksalı 0,75 m. aralıklı ağır traversizler.
* 20 mm. çaplı tamamen reçine bağlantılı, uzunluk tünel genişliğinin yarısı				

Tablo 2. Kaya tünellerindeki destek ve kazıların jeomekanik sınıflama rehberi.
Table 2. Geomechanic classification guide for excavation and support of tunnels.

B) Kuvarsit

	En iyi	En kötü
Tek eksenli dayanımı	12	7
RQD	7	4
Ekleme sıklığı	10	8
Eklemlerin durumu	20	10
Yeraltı suyu	7	4
Ekleme yönlenimine göre düzeltme	0	-12
	56	21

Kuvarsitler en iyi şartlarda orta kaya en kötü şartlarda zayıf kaya özelliğindedir. Destek önlemi: Tablo 2'de verilmiştir. Kaya kütle sınıflaması III ve IV.

III Q - SİSTEMİ

Bu sınıflamada

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

formülü kullanılır.

Destekleme önlemleri için B/ESR = 3/1.6 = 1.875 bulunmuştur.

A) Fillit, Şist Sleyt

En iyi şartlarda

$$Q = \frac{49}{12} \times \frac{2}{2} \times \frac{0.66}{2.5} = 1.078 \text{ Zayıf kaya}$$

Destek önlemi kategorisi : Destekleme gerekmez.

En kötü şartlarda

$$Q = \frac{16}{20} \times \frac{1.5}{4} \times \frac{1}{2.5} = 0.12 \text{ Zayıf kaya}$$

Destek önlemi kategorisi : 29

Kategori 29 = 1 m aralıklı gerdimesiz sistematik bulonlar ve 5 cm kalınlıkta kafes takviyeli püskürtme betonu gerekir.

B) Kuvarsit

En iyi

$$Q = \frac{70}{6} \times \frac{2}{0.75} \times \frac{0.66}{2.5} = 8.21 \text{ orta kaya}$$

Destek kategorisi : Destekleme gerekmez.

En kötü

$$Q = \frac{45}{9} \times \frac{1.5}{3} \times \frac{1}{2.5} = 1 \text{ zayıf kaya}$$

Destek kategorisi : Destekleme gerekmez.

SONUÇLAR

Anamur baraj yeri ve dolayında mostra veren Alanya metamorfiteğini oluşturan kaya birimlerinin ayrışma dereceleri orta ile yüksek derece arasındadır. Kaya kalitesi genellikle zayıftır. Bu birimler çoğunlukla çok sık eklemli özellik göstermektedirler. Yapılan kaya

sınıflamalarında kaya kaliteleri çok zayıf kaya ile orta kaya arasında değişen değerler elde edilmiştir. Q - Sistemi ile yapılan sınıflamada jeoteknik parametreler daha ayrıntılı olduğundan bu sınıflama daha geçerlidir.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Anon, 1977, The description of rock masses for engineering purpose: Q JI. Eng. Geol. 10. pp 335-386.
- Barton, N., Lien, R., and Lunde. J., 1974, Classification of rock masses for design of tunnel support. Rock Mechanics, 6 (4) : 189-236.
- Bieniawski, Z. T., 1989, Engineering Rock mass Classifications. John Wiley and Sons, New York. 251 pp.
- Palmstrom, A., 1982, The Volumetric Joint count a Useful and Simple Measure of the Degree of Rock Jointing: Proc. 4 th. Int. Congr., Int Assoc. Eng. Geol., Dehli. 1982, Vol. 5, pp 221-228.
- Wickham, G. E. Tiedemann, H. R., and Skinner, E. H. 1974, Ground Support Prediction Model - RSR Concept II Proc. Rapid Excav. Tunneling conf., AIME, New York. pp. 691-707.

PAMUKKALE - KARAHAYIT (DENİZLİ) JEOTERMAL ALANININ JEOTERMAL ENERJİ OLANAKLARI *Geothermal energy possibilities of the Pamukkale-Karahayit (Denizli)*

Erdoğan ÖLMEZ
Tuncay ERCAN
Ö. Faruk TAMGAÇ

M.T.A. Genel Müdürlüğü Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi, Ankara
M.T.A. Genel Müdürlüğü Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi, Ankara
M.T.A. Genel Müdürlüğü Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi, Ankara

ÖZ: Yüksek turistik ilgi alanı ve termal su kullanım potansiyeli nedeniyle Pamukkale-Karahayit jeotermal alanı dikkate değer yerbilimleri çalışmalarına sahne olmuştur.

Batı Anadolmu'da (Denizli) volkanik kökenli jeotermal sistemlere örnek olan bu sahada bir jeotermal çalışma yapılmıştır.

Sahada birimler oluşum sırasına göre metamorfikler (Paleozoyik) ve Neojene ait örtü nitelikli seviyelerce temsil edilirler.

Pamukkale-Karahayit jeotermal sahası sıcaqsu kaynakları (23.3 °C-57.7 °C), sıcak zeminler, gaz çıkışları, yaygın Fe ve traverten çökelleri ile aktif bir sistemin belirtecedir.

Kimyasal maddelerin nispi oranlarına göre hazırlanmış graflar alandaki sıcaqsuların sodyum bikarbonat-sülfatlı sular (sodalı sular) olduğunu göstermektedir.

Helyum izotopik oranı (3 He / 4 He) ile karbon izotopik oranı (13 C / 12 C) na göre Pamukkale-Karahayit jeotermal sahasından çıkan gazlar manto kökenli olup, sistem soğumakta olan bir volkanizma ile ilişkilidir, asal gazların varlığı ise sisteme yaygın miktarda meteorik katılımları göstermektedir.

ABSTRACT: *Because of it's high profile as a tourist attraction and the potential posed by it's use for thermal waters, the Pamukkale and Karahayit geothermal area has received considerable geoscientific attention.*

A geothermal survey was conducted in Pamukkale-Karahayit area, which is a moderate terrain for volcanic hosted systems in Turkey, is located in Western Anatolia (Denizli).

Geologic succession of the field in forming order is metamorphics (Paleozoic) and Neogene covers.

The Pamukkale-Karahayit geothermal area has an active systems with hot springs (23.3 °C - 57.5 °C), hot grounds, condensable degassing, huge Fe and travertine depositions.

In terms of relative chemical content, hot water classified as sodium bicarbonate-sulphate type (soda spring).

On the basis of the helium isotopic ratio (3 He / 4 He) and carbon isotopic ratio (13 C / 12 C) amount of emitted gases are originated from mantle nearby and system has a cooling volcanic stratigraphy, existence of noble gases indicate high meteoric contributions.

GİRİŞ

Pamukkale-Karahayit jeotermal alanı; Büyük Menderes, Çürüksu vadisi ve Denizli ili sınırları içinde yer alanı (Şekil 1).

Bu alanda yaptığımız çalışmalara volkanlarla ilgili olarak oluşan jeotermal sistemlere örnek olan çalışma alanımızın jeotermal enerji olanaklarını sunacağız.

Çalışmalarda bölgede daha önceleri yapılmış çalışmalardan toplanan veriler ile, yakın bir zamanda bölgedeki sıcaqsu kaynaklarında yapılan izotop analizleri (He, C ve asal gazlar) ve bu analizlerden elde edilen verilerle bölgedeki volkanizma/jeotermal enerji ilişkilerini irdeliyerek bu jeotermal alanın orijinin, jeotermal akışkanların hidrojeokimyasını, bunlara ait izotop verilerinin değerlendirilmesini, dolayısı ile bu jeotermal sistemin oluşumunun verilerle gösterilmesi amaçlanmıştır.

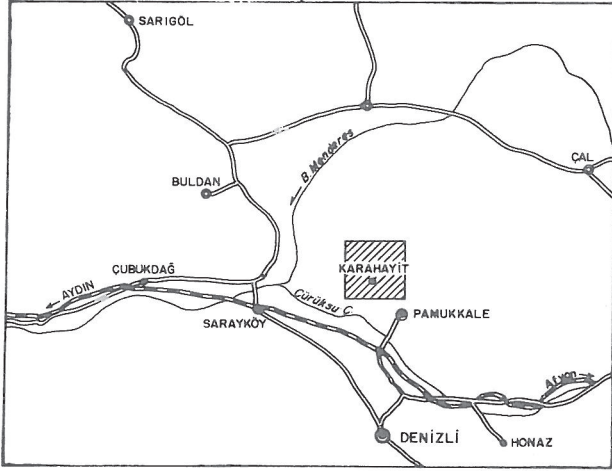
Bir jeotermal sistemin oluşumunda ısı kaynağı, dolayısı ile, eğer orijini volkanik ise volkanik kayanın niteliği ve yaşı, ısınarak yükselen jeotermal akışkanın içinde sirküle ettiği jeotermal sistemin maruz kaldığı su/kaya reaksiyonları önemli rol oynamaktadır. Tabii bu arada ısıtıcı kayanın yaşı da sistemin sıcaklığına etki eden bir faktördür; ısıtıcı yaşlı ise sistemden yüksek bir sıcaklık beklemek mümkün değildir.

JEOLOJİ

Bölgede görülen en yaşlı birim Paleozoyik yaşlı şist, kuvarsit ve mermerdir. Bu birimin üzerine Pliyosen'in göl çökelleri gelir, en üstte ise geniş alanlar kaplayan travertenler ve aluvyon yer alır (Şekil 2).

Paleozoyik

Matemorfik şistler (Killi şist, serizit şist, fillit, kuvarsit ve mermer)



Şekil 1. Yerbulduru Haritası
Figure 1. Location Map

Çok kırıklı olup, Şistoziti gösterirler ve bölgede temeli oluştururlar. Bu birimlerin üzerine mikrokristalin kireçtaşı ve mermer gelir.

Tersiyer

Neojen yaşlı göl çökellerince temsil edilir, bu birimler ise kil, marn, kum, konglomera ve kireçtaşı araldanmasından oluşan bu birimler örtü niteliklidir.

Bölgede ayrıca yaygın traverten ve alüvyon bulunur.

JEOTERMAL AKIŞKANLARIN JEOKİMYASI

Jeotermal alanı sıcak su kaynakları (23.3 °C - 57.5 °C), sıcak zemin, gaz çıkışları ve travertenler ile aktif bir sistemin belirteçidir.

Tablo 1 de Pamukkale-Karahayit jeotermal alanına ait akışkanların kimyasal analizleri verilmiştir. Akışkanların kimyasal özellikleri birbirleri ile orijinleri yönünden benzerlik göstermekte, yani aynı ısı kaynağından yükselen akışkanlar farklı yollar takip ederek yükselmektedirler, yükselen jeotermal akışkanlar farklı oranlarda yeraltısını ile karşımaktadır.

Şekil 3'deki Na, K, Mg, Ca diyagramında yükselen derin kökenli jeotermal akışkanlar yüksek oranda yeraltısını ile karışmaları sonucu soğuyarak sodalı su özelliğini kazandıkları görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi jeotermal akışkanlar 80 °C - 90 °C arası bir hazne sıcaklığını göstermektedirler.

Şekil 4'deki doygunluk diyagramındaki jeotermal akışkanlar, özellikle yükselerek sığ seviyelere ulaştıktan sonra, düşük seviyelerde kalsit doygunluğuna ulaşmışlardır, bu durum yükselerek yüzeylenen jeotermal akışkanın kireçlenme göstereceğine işaret etmektedir, bu arada sistemin sığ rezervuarındaki sıcaklığı 60 °C - 90 °C arası bir hazne sıcaklığını göstermektedir.

Şekil 5'deki Cl, SO₄, HCO₃ diyagramında derinden yükselen jeotermal akışkan, yükselme sırasında su/kaya reaksiyonu geçirerek, bikarbonat kazanmış, bu arada farklı seviyelerde oksidasyona uğrayarak sülfat bikarbonatlı su oluşturmuştur.

Pamukkale-Karahayit alanı volkanik orijinli bir jeotermal sistem olup soğumakta olan bir volkanik stratigrafi ile karakterize edilmekte ve sistem 2500 yıldır bu soğumasını sürdürmektedir.

PAMUKKALE-KARAHAYIT JEOTERMAL ALANI SICAK SULARINDA BULUNAN GAZLARIN JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

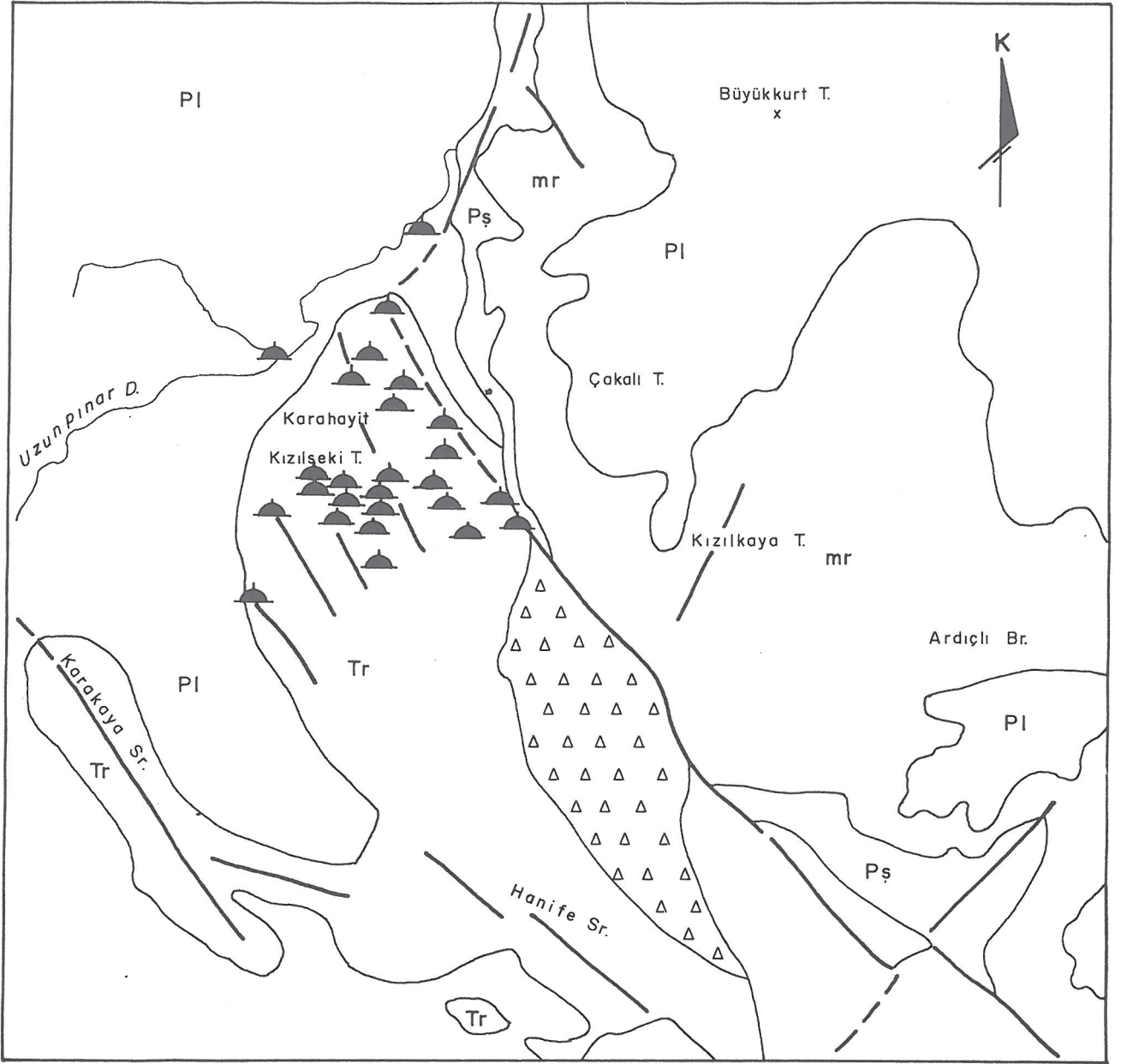
Pamukkale kaplıcasında bulunan sıcak su içinden alınan gaz örneklerinin Japonya'da yaptırılan izotop ve asal gaz ölçüm çalışmaları sonucunda bu gazların çoğunlukla CO₂ bileşiminde oldukları ve asal gazlar da içerdikleri anlaşılmıştır. Bu gazlara ait değerler ise : Sıcaklık= 35°C, ³He/⁴He=5.05±0.15, ⁴He/²⁰Ne = 12, C (⁴He) (ppm) = 13, ⁴He = 19, ²⁰Ne = 0.50, ³⁶Ar = 1, ⁸⁴Kr = 1.6, ¹³²Xe = 1.9 dir (mmol / mol).

Bilindiği gibi helyum izotop oranları yeryüzünde gazlarını kökeni belirlemede kullanılmaktadır. ³He izotopu ilksel kökenli olup, dünyanın oluşumu sırasında manto içinde hapsolarak kalmıştır. Şayet yeryüzünde herhangi bir bölgede ³He kapsamı fazla ise, içinde bulunduğu gazlarla birlikte mantodan taşınmış demektir. ⁴He izotopu ise uranyum ve toryum izotoplarının parçalanmasıyla oluşmaktadır. Radyoaktif U ve Th, kıtasal kabukta mantodan daha fazla bulunduğundan, ⁴He izotopu da kıtasal kabukta mantodan çok daha fazla miktarda bulunmaktadır. Böylece ³He/⁴He oranı, mantoda ve manto ile ilişkili olan okyanus ortası sirtlar, sıcak noktalar ve ada yaylarında, kıtasal kabuktan çok daha yüksek olmaktadır. Atmosferde ise bu oran sabit olup manto ile kabuk değerleri arasında bulunmaktadır. Craig ve Lupton (1981) ile Sano ve Wakido [1985] gibi araştırmacılar bu oransallıkların standart olarak çeşitli ortamlardaki ortalama değerlerini vermektedirler:

	³ He / ⁴ He	⁴ He / ²⁰ Ne
Atmosfer	1.4 x 10 ⁻⁶	0.32
Manto	1.1 x 10 ⁻⁶	1000
Kabuk	3 x 10 ⁻⁸	1000

Manto kökenli He nin kabuga taşınması, genellikle magmatik eriyikler vasıtası ile sağlanmaktadır. Ayrıca ⁴He/²⁰Ne oransallığı da önemli olup, köken belirlemede işe yaramaktadır.

Pamukkale sıcak su kaynağı içindeki gazların ³He/⁴He oranı Batı Anadolu'da ölçülen değerlerin en yükseğidir (Ercan ve dig., 1994). Şekil 6 daki diyagramda işaretlenen bu değer bize bu sistemde manto kökenli He gazının bulunduğu kanıtlamaktadır. Batı Anadolu'da Kuvaterner yaşlı genç bazaltık volkanizmanın bulunduğu Kula alanında bile bu kadar yüksek He izotop değeri bulunmamaktadır. Pamukkale batısında yer alan Tekkeköy kaplıcasındaki sıcak sular da Güleç (1988) izotopsal gaz ölçümleri yaparak yüksek değerler elde etmiş ve orada da manto kökenli helyumun varlığına işaret etmiştir. Böylece Denizli bölgesindeki sıcak sular da manto kökenli ve kabuk kökenli helyum



SENOZOYİK
NEOJEN KUVATERNER

AÇIKLAMALAR

ÖLÇEK

- Yamaç molozu
- Traverten, Alüvyon
- Pliyosen : Kil, marn, kum konglomera ve kireçtaşı
- Mermer
- Killi şist

- Formasyon sınırı
- Fay
- Olasılı fay
- Sıcaksu kaynağı

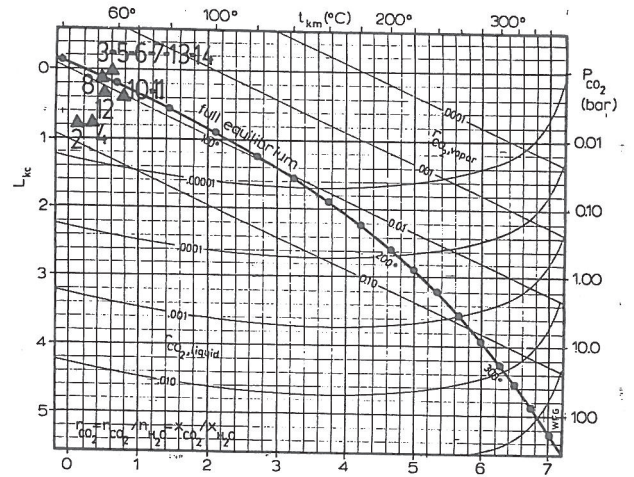
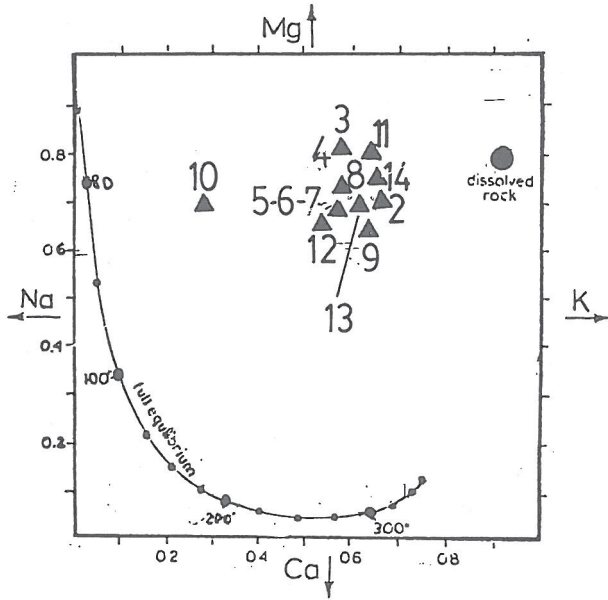
0 250 500 750 1000 m.

Şekil 2. Karahayit (Denizli) Alanının Jeoloji Haritası.
Figure 2. Geological Map.

No	Yer (location)	K	Na	Ca	Mg	B	SiO ₂	HCO ₃	SO ₄	Cl	°C
1	Uzunpınar (soğ.)	0.8	4	85	7	0.1	26	207	37	9	10
2	Çavdar Pans	22	120	474	127	1.9	62	1165	909	29	48
3	Maliye sond	22	140	375	122	1.9	49	866	984	49	56
4	Doga Rest	4	23	107	33	0.2	58	378	115	15	26.1
5	Lafonten motel	23	120	408	116	1.9	75	1049	922	30	55.5
6	Kızılselvi T.	22	130	478	119	1.9	64	1171	946	31	46
7	Kırmızı su	22	120	459	124	1.8	62	1232	918	29	51.2
8	Interoni	22	130	377	122	0.1	61	805	893	30	49.7
9	Doğa Rest (sond)	6	30	271	54	0.1	60	1013	87	19	56.1
10	Gülemezli	27	580	419	109	0.1	283	1416	1645	88	49.6
11	Yeşildere	26	140	262	110	1.9	64	555	1010	39	23.3
12	Pamukkale	5	39	430	87	1.4	22	1080	660	16	39
13	Pamukkale kuz	21	120	430	110	2.9	31	1170	820	35	35
14	Kızılseki KB	22	120	360	120	2.2	32	850	960	32	37

Tablo 1. Pamukkale-Karahayıt jeotermal alanından alınan suların kimyasal kompozisyonu (konsantrasyon mg/l cinsinden)

Table 1. Chemical composition of waters collected from Pamukkale-Karahayıt Geothermal area (concentrations in mg/l)

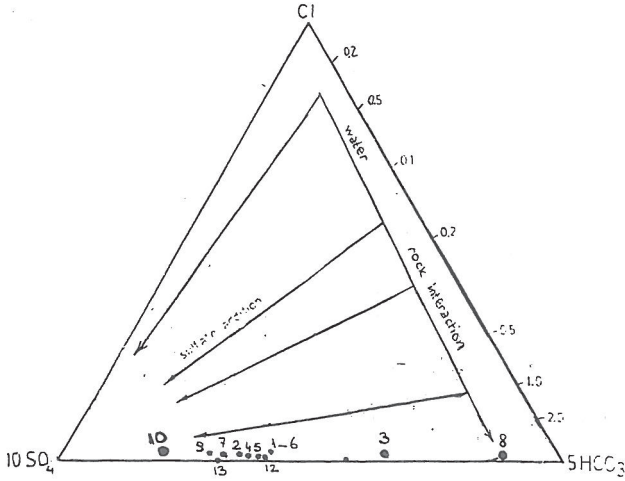


Şekil 3. Pamukkale - Karahayıt Jeotermal alanı akışkanlarına ait Na, K, Mg, Ca Diyagramı.

Figure 3. Na, K, Mg, Ca Plot of the Pamukkale-Karahayıt Geothermal area hot waters.

Şekil 4. Pamukkale-Karahayıt jeotermal alanı akışkanlarına ait doygunluk diyagramı.

Figure 4. Equilibrium plot of Pamukkale-Karahayıt fluids



Şekil 5. Pamukkale - Karahayit jeotermal alanı akışkanlarına ait Cl, SO₄, HCO₃ diyagramı.

Figure 5. Cl, SO₄, HCO₃ plot of the Pamukkale-Karahayit geothermal area hot gases.

katılımının varlığı saptanmış olmaktadır. Batı Anadolu'da helyumun mantodan kabuğu taşınması olasılıkla bölgede derinlerde soğumakta olan yaygın bir plutonun varlığı ile açıklanabilmektedir.

Pamukkale sıcaksularındaki gaz örneğindeki Ne, Ar, Kr, Xe asal gaz kapsamları ise soğuk suda erimiş atmosferik doğal gazların elemental kapsamlarını içerektedir, bu ise sistede yükselen derin kökenli akışkana metaorik soğuk su katılımının varlığını göstermektedir.

Pamukkale sıcaksularındaki gazların CO₂ kapsamlarının karbon izotopik oranları (13C/12C)de ölçülmüş ve 213C=‰ -3.5 olarak bulunmuştur. Karbon izotopik oransallığı da gazların kökenini belirlemede yardımcı olmaktadır. Ölçülen bu değerler bize Pamukkale sıcaksularında bulunan CO₂ gazının organik kökenli olmayıp denizel karbonatlı kayaların metamorfizması ve/veya manto kökenli olarak meydana geldiğini ve organik kökenli olmadığını göstermektedir.

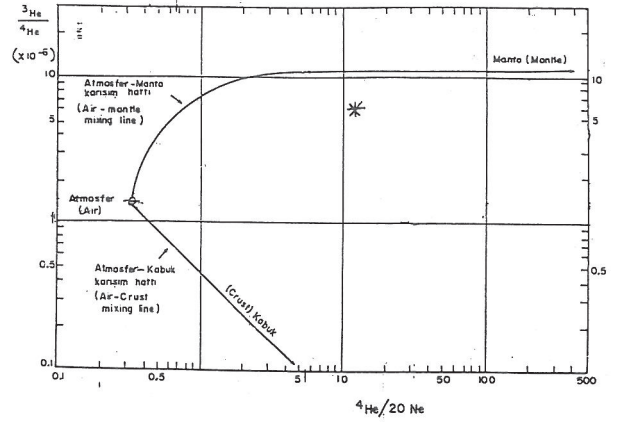
Böylece Denizli bölgesi sıcaksularındaki gazlarda yapılan izotopsal çalışmalarda, bölgenin jeotermal açıdan olumlu özellik taşıdığını, mantodan gaz katılımının sürdüğünü ve halen derinlerde sorgulamakta olan bir sistem tarafından karakterize edildiği ortaya çıkarılmıştır (Ölmez ve Ercan, 1955; Ercan ve diğ., 1955).

SONUÇLAR

-Temel kayaları (şist, mermer) rezervuar, bunu örten genç birimler (kil, mam, kum, konglomera ve kireçtaşı) örtü niteliklidir,

-Kimyasal ve izotopik verilere göre hidrotermal konveksiyon sistemini oluşturan ısıtıcı yaşlı bir volkanidir,

-Sistemde belli yol katederek faylarla



Şekil 6. Pamukkale sıcaksu kaynağına ait gazın helyum izotopik oranı.

Figure 6. Helium isotopic ratio of Pamukkale hot spring.

yüzeyleyen akışları, bu arada farklı oranlarda soğuksu ile karışmaktadır,

-Yapılacak sık sondajlarda yüksek kireçlenme beklenmektedir, derin sondajlarda ise mermer seviyeleri izole edilme koşulu ile (1500-2000 m.) açılacak kuyulardan 80 °C-90 °C sıcaklıklarda akışkan beklenmektedir,

-Jeotermal sahadan çıkarılacak akışkan sera , turistik amaçlar ve sera ısıtıcılığında kullanılabilircektir.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Craig, H. ve Lupton, J. 1981 : Helium-3 and mantle volatiles in the oceanic crust. The sea, v.7, the oceanic lithosphere, John Wiley and sons, 391-428.
- Ercan, T., Matsuda, J. I., Nagao, K. ve Kita, I. (1994) : Anadolu'daki sıcak sularda bulunan doğal gazların izotopik bileşimleri ve karbondioksit gazının enerji açısından önemli. Türkiye 6. Enerji Kongresi Teknik oturum bildirimleri kitabı I, 197-207.
- Ercan, T., Ölmez, E., Matsuda, I. J., Nagao, K. ve Kita, (1995) : Kuzey ve Batı Anadolu'da sıcak ve cemenalize sular ile içerdikleri gazların kimyasal ve izotopik özellikleri. Türkiye Enerji Bülteni 2 (Baskıda).
- Giggenbach, W. F. ve Glower, R. B., 1992, Tectonic regime and major processes governing the chemistry of water and gas discharges from the Rotorua Geothermal Field, NZ. Geoth, 21, 1/2, 121-140.
- Gülenç, N., 1988, Batı Türkiye'de Helyum-3 dağılımı. MTA Dergisi 108, 98-105.
- SANO, Y. ve Wakita, H. 1985, Geographical distribution of 3 He / 4 He ratios in Japan; implications for arc tectonic and incipient magmatism. Jour. Geoph. res, 90, 8720-8741.

AMASYA-AĞILÖNÜ KAYNAĞININ HİDROJEOLOJİSİ, KAYNAĞIN GELİŞTİRİLMESİ VE SUNİ BESLENİM OLANAĞININ İNCELENMESİ

Uğur AKDENİZ

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı Suları Dairesi, Ankara

ÖZ : Etüt sahası Amasya-Merkez Ağılönü köyü çevresini kapsamaktadır. Sahada Paleozoyik, Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı formasyonlar bulunmaktadır. Karstlaşma ve karstik oluşuklar Jura-Kretase yaşlı kireçtaşlarında görülmektedir.

Bölgede hüküm süren iklim Karadeniz iklimiyle, İç Anadolu iklimi arasında bir geçiş özelliği göstermektedir ve her iki iklimden taşımaktadır.

Ağılönü kaynağını geliştirmek ve karstlaşmanın durumu ile yeraltısuyu akım yönünü belirlemek amacıyla 46885 ve 46885-R nolu karst araştırma kuyuları açılmıştır. Kuyulardan elde edilen verilere göre, karstik sistemden sulama periyodu süresince 100 l/s su çekilebileceği tespit edilmiştir. Karstik sistemi suni olarak beslemek mümkün olup, 214717 m³/lük suyun karstik rezervuara katkısı söz konusu olacaktır.

ABSTRACT : The investigation area covers Amasya-Ağılönü village and its vicinity. Formations of Paleozoic, Mesozoic and Cenozoic crop out in the area.

The climate predominant in the region shows a transition between Central Anatolia and Black Sea, carrying the characteristics of both climates.

Wells 46885 and 46885-R have been drilled for the development of Ağılönü (Gerne) spring and as well as to determine the direction of the groundwater flow and the karstification. According to the data provided from the exploration drillings. 100 l/s of groundwater can be withdrawn from the karst system can be recharged artificially, as a result an amount of 214717 m³/year water may be supplied from the karst reservoir.

GİRİŞ

Çalışma sahası Amasya il merkezinin 40 km batısında, Geldingen ovası ile Suluova arasında yer alan dağ silsilesi üzerindeki Ağılönü (Gerne) köyü ve civarıdır (Şekil 1).

Amasya-Ağılönü (Gerne) köyünde karstik özellikli Jura-Kretase yaşlı allokton kireçtaşları ve bunlardan çıkan Ağılönü kaynağı bulunmaktadır. Bu çalışma, Ağılönü kaynağının hidrolojik incelenmesi ile karstik kireçtaşlarındaki yeraltısuyu dolaşımının araştırılarak emniyetli yeraltısuyu rezervinin tahmin edilmesi ve kaynağın suni beslenmesi olanağının etüdü amacıyla yapılmıştır.

JEOLOJİ

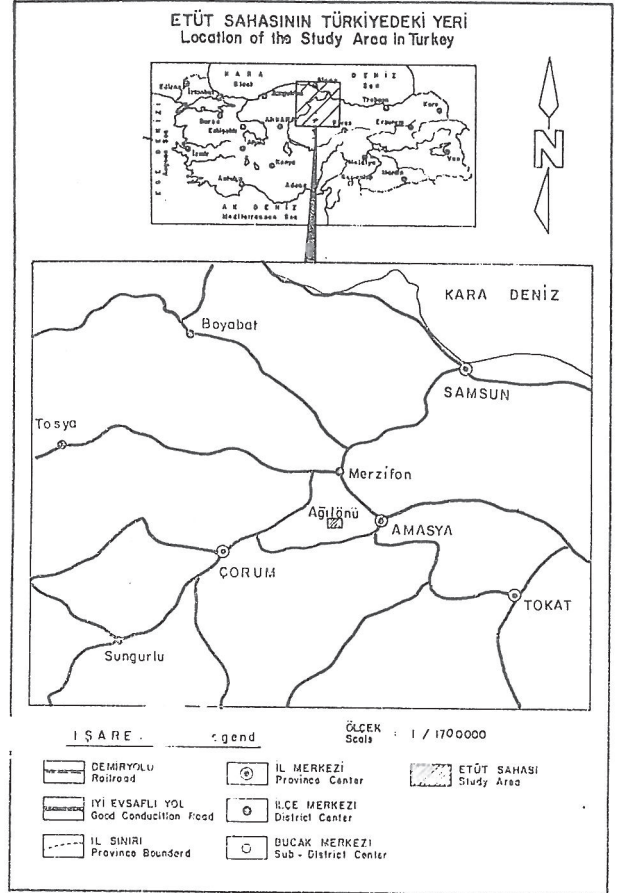
Yörede yapılan araştırmaları ve daha önceki çalışmaların da gösterdiği gibi stratigrafik birimleri "Otokton" ve "Allokton" olmak üzere iki bölümde toplamak mümkündür. Jura-Kretase yaşlı kireçtaşları allokton kayalar temsil eder. Diğer formasyonlar otoktondur (Şekil 2).

Metamorfik Kayaçlar (Paleozoyik)

Amasya çevresinde ve etüt sahasında temeli oluşturan metamorfik seri, yeşil şistler ve fillatlardan meydana gelmektedir. İçlerinde yer yer mermer bloklarına da rastlanmaktadır.

Kireçtaşı (Jura-Kretase)

Metamorfik temel üzerine allokton olarak yerleşmişlerdir. Literatüre Amasya kireçtaşları olarak



Şekil 1. Etüt Sahasının Türkiye'deki Yeri
Figure 1. Location of the Study Area in Turkey

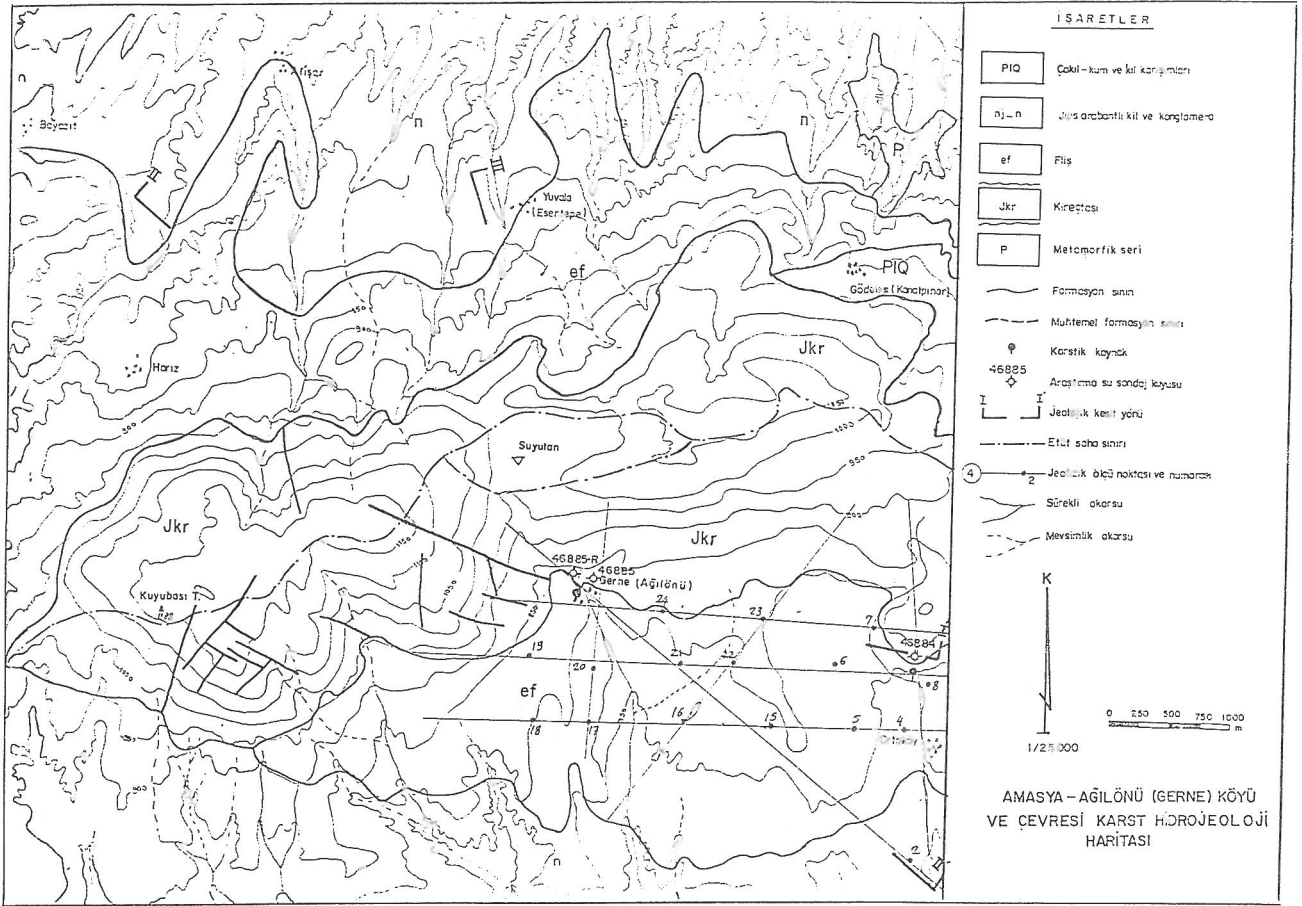


Figure 2. Karst Hydrogeological Map of Amasya-Ağılönü village and its Vicinity

geçmişlerdir. Amasya'dan başlayarak Çorum-Mecitözü yönünde batıya doğru bir dağ silsilesi halinde uzanırlar. Kirli beyaz ve grimsi renkli olup, yer yer tabakalıdır. Sahanın Kuzey Anadolu Fayına yakınlığı sonucunda kireçtaşlarında kırık ve çatlak sistemleri gelişmiştir.

Volcano-Tortul Seri, Fliş (Eosen)

Tabanda konglomera ile başlayan bu seri kumtaşı-arn kumlu kireçtaşı ve ara katkı halinde andezitik lav, tuf, aglomera seviyelerinden oluşur. Bu seriye ait kumlu kireçtaşları içinde bol nummulites fosili bulunur. Yaklaşık 10-15 derecelik eğimle güney-batıya dalar. Genelde eski masiflerin eteklerinde ve çukurluklarda birikmiştir.

Tortul Seri (Neojen)

Konglomera, kil ve kumlu seviyelerden meydana gelmiştir. Killi seviyeler jips bantları içermektedir. Bu serinin üst seviyelerinin alüvyon dolgu malzemesi ile ayrımı çok zordur.

Etüt sahasında çeşitli dönemlerde meydana gelen orojenik hareketler etkili olmuştur. Bunun sonucu genelde doğu-batı doğrultulu faylar oluşmuştur. Bölgenin Kuzey Anadolu Fayına yakınlığı ve bu fayın

Figure 2. Karst Hydrogeological Map of Amasya-Ağılönü village and its Vicinity

halen etkin oluşu yapısal unsurları önemli hale getirmiştir. Bunun sonucunda Jura-Kretase yaşlı kireçtaşlarında kırık ve çatlak sistemleri gelişmiştir.

KARST HİDROJEOLJİSİ

İklim

Bölgede hüküm süren iklim, Karadeniz kıyı iklimiyle İç Anadolu kara iklimi arasında geçiş özelliği gösterir. Yüksek rakımlı yerler hariç, çoğunlukla kışlar ılık, yazlar sıcaktır. Amasya iline ait 37 yıllık yağış ortalaması 411,6 mm dir. Etüt sahasına yakın olan Doğan-tepe yağış istasyonunun 22 yıllık yağış ortalaması 392,5 mm dir. Netice olarak Doğan-tepe yağış istasyonunun değerleri ile Amasya yağış istasyonunun değerleri incelendiğinde benzer yağış rejimi içerisinde bulunduğu görülmektedir.

Ağılönü kaynağının drenaj alanına düşen yağışın Doğan-tepe yağış istasyonuna düşen yağışla uygunluk gösterdiği kabul edilmiştir. Yüksekliğin yağışla değişimi $P_d = P_o + 0.54h$ formülüyle hesap edilerek Ağılönü kaynağının beslenme alanına düşen yıllık yağış 650 mm olarak bulunmuştur.

Pd = Drenaj alanına düşen yağış (mm)
 Po = Doğantepe ortalama yıllık yağışı (mm)
 h = Yağış alanları arasındaki kot farkı (m)

07/04/1993	98
21/07/1993	53
17/08/1993	56
09/11/1993	16
14/12/1993	85

Kaynaklar ve Sondaj Kuyuları

Etüt sahasında çoğunluğu kireçtaşı-fliş doka-
 nağından çıkan kaynaklar mevcut olup, Ağılönü
 kaynağı da bunlardan birisidir.

1) Ağılönü (Germe) kaynağı : Ağılönü köyü
 caminin altından 818,5 metre kotundan çıkmaktadır.
 Ölçülen aylık debi değerlerine göre en düşük değer 9 l/
 s ile Şubat - 1993 yılında, en büyük değer ise 113 l/s ile
 Mayıs-1984 yılında tespit edilmiştir. Debi ölçümleri
 süresince ortalama akım 42,7 l/s olmuştur. Debi
 ölçümleri aşağıda verilmiştir.

TARİH	DEBİ (l/s)
23/03/1978	52
10/04/1978	88
24/05/1978	103
12/06/1978	76
19/07/1978	40
22/08/1978	22
27/09/1978	26
10/10/1978	38
07/11/1978	52
20/12/1978	21
19/01/1979	25
15/02/1979	54
20/03/1979	31
19/04/1979	29
15/05/1979	27
21/06/1979	24
31/07/1979	12
14/08/1979	22
18/09/1979	12
24/10/1979	14
20/11/1979	11
25/12/1979	41
22/01/1980	35
21/02/1980	66
11/08/1983	23
24/10/1983	35
14/11/1983	35
11/01/1984	35
08/02/1984	20
28/02/1984	49
20/03/1984	47
04/04/1984	52
15/05/1984	113
12/06/1984	305
27/07/1984	27
13/09/1984	34
19/01/1985	38
12/02/1985	31
08/05/1985	83
11/11/1985	10
25/02/1993	9

2) Diğer küçük debili kaynaklar : Esentepe
 köyünün üst kotlarında kireçtaşlarından boşalan 3-5 l/s
 lik kaynaklar mevcuttur.

Ağılönü kaynağının arkasında, kaynakla tüçgen
 oluşturacak şekilde, kaynağa 200 metre uzaklıkta
 aralarında 300 metre mesafe olacak şekilde karst
 araştırma amaçlı 46885 ve 46885-R nolu su sondaj
 kuyuları açılmıştır. Bunlardan 46885 nolu kuyu 150 m,
 46885-R nolu kuyu 80 m. derinliktedir. Her iki kuyuda
 tamamen kireçtaşı kesilmiştir (Şekil 3).

Karbonatlı Kayaçlar ve Karstik Oluşuklar

Sağ yönlü, doğrultu atımlı bir tektonik hat olan
 Kuzey Anadolu Fayı etüt sahasının yakınlarında bulun-
 maktadır. Kuzey Anadolu Fayının etkileri sonucunda,
 Jura-Kretase yaşlı kireçtaşlarında kırıklı, çatlaklı yapı
 oluşmuştur. Bu sistem içinde hareket olanağı bulan
 yüzeyden intikal eden sular karstlaşmayı geliştirmiştir.
 Karstik kireçtaşlarının boşalım noktalarından biri olan
 Ağılönü kaynağının hidrolojik incelenmesi sonucunda
 sahada henüz orta derecede karstlaşma olduğu ve büyük
 hacimli karst boşluklarının bulunmadığı, daha çok
 çatlaklı ve erime boşluklu bir karst sisteminin var
 olduğu söylenebilir. Ağılönü kaynağının beslenme
 alanında küçük bir polye (gölova) ve suyutan mevcut
 olup, civardaki karstlaşmanın önemli özelliklerindedir.

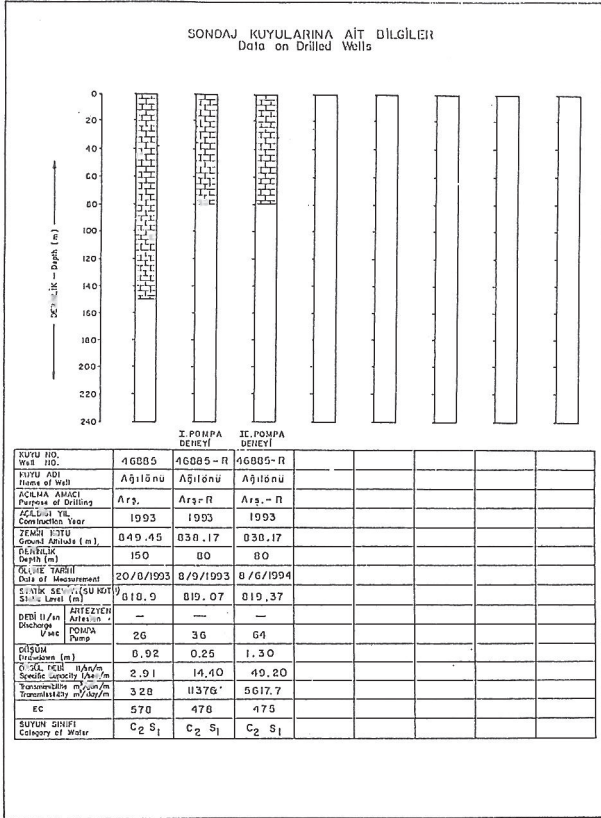
Karstik Sistemin Hidrolojik Özellikleri

Etüt sahasındaki karstik sistemin en önemli
 boşalım noktası Ağılönü kaynağı olup, kaynak 818,5 m
 kotundan çıkmaktadır.

a) Kaynak akımları beslenme alanına düşen
 yağışla azalır, çoğalmaktadır (Şekil 4). Genel olarak
 belirtmek gerekirse yağışlar kaynak akımlarında 1-1,5
 ay sonra etkisini göstermektedir. Kaynağı besleyen
 sistem doğrudan doğruya aylık yağışlarla ilgilidir.

b) Kaynağın yarı logaritmik yöntemle baz akımı
 analizleri yapılmıştır (Şekil 5). Sürekli olarak ölçüm
 yapılan 1978 ile 1979 yıllarına göre yapılan
 değerlendirmeler incelendiğinde kaynak rezervuarında
 boşalım katsayıları sırası ile $\sigma = 1.7 \times 10^{-3}/\text{gün}$ ve
 $\sigma = 8.8 \times 10^{-3}/\text{gün}$ olarak bulunmuştur. Baz akımdaki
 ortalama değişim değeri % 78 olup, çok değişken debili
 kaynaktır.

c) Karstik sistemin boşalım katsayısı (σ), siste-
 min transmissibilite katsayısına (T), depolama
 katsayısına (S) ve büyüklüğüne (geometrisine) bağlı
 olarak değişmektedir. Hesaplanan boşalım katsayılarına
 göre karstlaşma orta derecede olup, yeraltısuyu eklem-
 ler, çatlaklar ve karstlaşma orta derecede olup,
 yeraltısuyu eklemeler, çatlaklar ve kırık sistemleri içinde
 hareket etmektedir.



Şekil 3. Sondaj Kuyularına Ait Bilgiler
Figure 3. Data on Drilled Wells

d) Ağılönü kaynağının arkasında kaynağa 200 m uzaklıkta ve kaynakla üçgen teşkil edecek şekilde 46885 ve 46885-R karst araştırma kuyuları açılmıştır. Kuyularda yapılan pompa deneyleri sonucunda hesaplanan T (Transmissibilite) değerleri aşağıda verilmiştir.

Kuyu No	Pompaj Debisi (l/s)	Özgül Debi (l/s/m)	T (m ³ /gün/m)
46885	24,98	2,91	328
46885-R	36	14,4	11376
46885-R	64	49,2	5617,7

Karstik Sistemde Yeraltısuyu Dolaşımı ve Bilançosu

Kireçtaşlarında mevcut olan kırık ve çatlak sistemlerine giren yağış, yüzeysel akış suları karstlaşmayı geliştirmiştir. Karstik sistemde yeraltısuyu akımı KB-GD doğrultulu ana kırık hattı boyunca genelde Ağılönü kaynağına doğru olup, 46885-R nolu kuyunun bulunduğu yer ile kaynak arasındaki hat boyunca alt akımlar şeklindedir.

Herhangi bir yeraltısuyu rezervuarının genel olarak su bilançosu; Beslenme = Boşalım ± Rezerv değişimidir. Uzun yıllar süresince rezerv değişimi ihmal edildiğinden beslenme miktarı boşalımı eşit kabul edilmektedir. Buna göre bilanço hazırlanırken ölçülebilen boşalmalar yardımıyla beslenimler tahmin edilebilmektedir. Bu durum gözönüne alındığında;

a) Yeraltısuyu boşalımı : Kireçtaşlarındaki

boşalım Ağılönü kaynağı vasıtası ile olmaktadır. Ağılönü kaynağının 1978 ve 1979 yıllarına ait grafiksel baz akım boşalımı sırası ile ortalama 40 l/s, 19,7 l/s olup, yıllık boşalım aynı yıllara göre $1,26 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ ile $0,62 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ olmuştur. Yarı logaritmik yöntemle hesaplanan baz miktarı 1978 ve 1979 yıllarına göre $1,64 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ ile $0,84 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ dır.

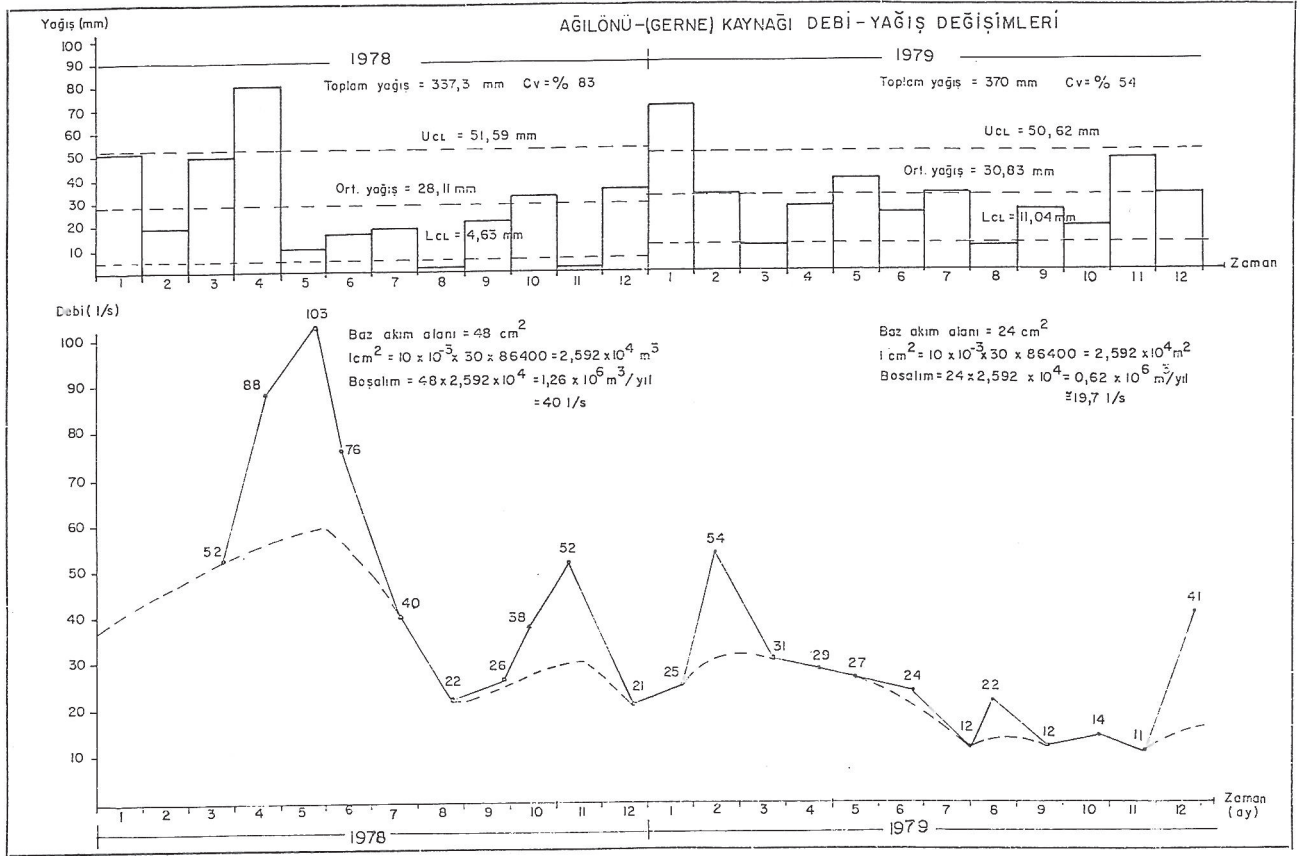
b) Yeraltısuyu beslenimi : Ağılönü Kaynağını besleyen kireçtaşlarının su bölüm hattına kadar olan alanı yaklaşık $7 \times 10^6 \text{ m}^2$ civarındadır. Yağıştan süzülme % 35 olarak kabul edildiğinde beslenme $1,08 \times 10^6 \text{ m}^2/\text{yıl}$ olmaktadır. Hesaplanan bu miktar kaynağın boşalımına eşit veya bazı durumlarda daha azdır. Bu durumda su bölüm hattının diğer tarafından kaynağın beslenimine bir katkı söz konudur. Jeolojik koşullara bağlı olarak 900 metre kotlarında geçirimsiz birimlerle çevrilen kireçtaşları suyunu 818,5 m kotundaki Ağılönü kaynağından boşaltmak zorunda kalmaktadır. Su bölüm hattının diğer tarafındaki alan yaklaşık $4 \times 10^6 \text{ m}^2$ olup, bu durumda kaynağın toplam beslenme alanı $11 \times 10^6 \text{ m}^2$ dir. Bulunan beslenme alanına göre yapılan hesaplamada beslenme miktarı $1,72 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ dir. Elde edilen değerlere göre kaynağın beslenme ve boşalım miktarı yaklaşık olarak birbirine eşittir.

Karstik Sistemden Alınabilecek Takribi Su Miktarı

Ağılönü kaynağı karstik sistemin boşalım noktası olup aylık yağışlarla beslenmektedir. Kaynak ölçümleri ve karst araştırma amaçlı açılan 46885 ile 46885-R nolu kuyulardan elde edilen veriler değerlendirilerek aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

a) Karst araştırma amaçlı olarak açılmış olan 46885 nolu kuyuda statik seviye 30,55 m olup, 26 l/s su çekildiğinde dinamik seviye 12 saat sonra 39,47 m olmuş ve gözlem kuyusu olarak kullanılan 46885 nolu kuyuya ise 250 metre uzaklıkta olan 46885-R nolu kuyuda düşüm meydana gelmemiştir. Bu sefer 46885-R nolu kuyuda 36 l/s su çekildiğinde statik seviyesi 19,10 m olan kuyu 5 dakikada düşüm sabitlenip dinamik seviye 19,35 m olmuş ve gözlem kuyusu olarak kullanılan 46885 nolu kuyuda düşüm görülmemiştir. Bir yıl sonra 46885-R nolu kuyu taranarak genişletilmiş ve 64 l/s çekilerek pompa deneyi yapılmıştır. Deney başlangıcında 18,80 m olan statik seviye 48 saat sonra sabitlenip dinamik seviye 20,10 m olmuş ve 1,30 m lik düşüm meydana gelmiştir. Gözlem kuyusu olarak kullanılan 46885 nolu kuyuda da aynı düşüm değeri olan 1,30 m tespit edilmiştir. Bu verilere göre yeraltısuyu akımının yoğun olduğu karstik kanal ve sistemi 46885-R nolu kuyunun bulunduğu alan üzerinde gelişmiştir.

b) Bu verilerin ışığı altında, Ağılönü kaynağının beslenme alanına yakınlığı ve havzadaki diğer kaynaklardan daha üst kotta bulunması nedeniyle, sulama süresinin 4 ay ve günlük yeraltısuyu kullanımının 20 saat olarak baz alındığında toplam 864000 m^3 veya 100 l/s yeraltısuyu çekilmesi mümkün görülmektedir.



Şekil 4. Ağılönü Kaynağı Debi-Yağış Değişimi

Figure 4. Relation Between Discharge of Ağılönü Spring and Variations in Precipitation.

AĞILÖNÜ (GERNE) KAYNAĞININ SUNİ BESLENMESİ

Ağılönü kaynağının beslenme alanında, su bölüm hattı üzerinde yer alan 985000 m² lük drenaj alanına sahip küçük bir polye bulunmaktadır (Şekil 6). Polyeye düşen yağışın bir kısmı süzülmemekte ve buharlaşmakta, kalanı da yüzeysel akışla polyenin güney ucunda bulunan doğal kanal vasıtasıyla sistem dışına akmaktadır. Polyenin dışarı akışı engellenerek meydana gelecek göl ile kaynağın suni beslenimi mümkün olacaktır. Oluşturulacak gölün alanı 95000 m² ve ortalama derinliği 1,5 metre civarında belirlendiğinden gölün hacmi 142500 m³ olarak gerçekleşecektir. Bu verilerden hareket ederek kaynağın beslenimine katkı yapacak su miktarlarını bulmak için 5 kademedan oluşan hesaplamalar yapılmıştır.

Polye Drenaj Alanı (A1) : 985000 m²
 Göl Alanı (A2) : 95000 m²
 Göl Hacmi : 142500 m³
 Polye Drenaj Alanına Düşen Ort. Yıllık Yağış (P) : 650 mm

1. Kademe

Polye Beslenme Alanı (A) = A1-A2
 A = 985000-95000 = 890000 m²

Polye Beslenimi = AxP

Polye Beslenimi=890000x0,650=578500 m³/yıl

2. Kademe

Yüzeysel akıştan göl alanına gelecek su miktarını hesaplamak için yüzeysel akış katsayısının bilinmesi gerekmektedir. Yüzeysel akış katsayısını iklim, topografya, karlaşma vs. durumlar etkilemekte olup, katsayı karstik ortamlarda 0,20-0,30 değerleri arasında değişmektedir. Burada yüzeysel akış katsayısı 0,30 olarak alınmıştır.

Yüzeysel A. Göl Alanına G. Su Miktarı = Polye Beslenimi*Y.A.K.

Y.A.G.A.G.Su Miktarı = 578500x0,30
 = 173550 m³/yıl

3. Kademe

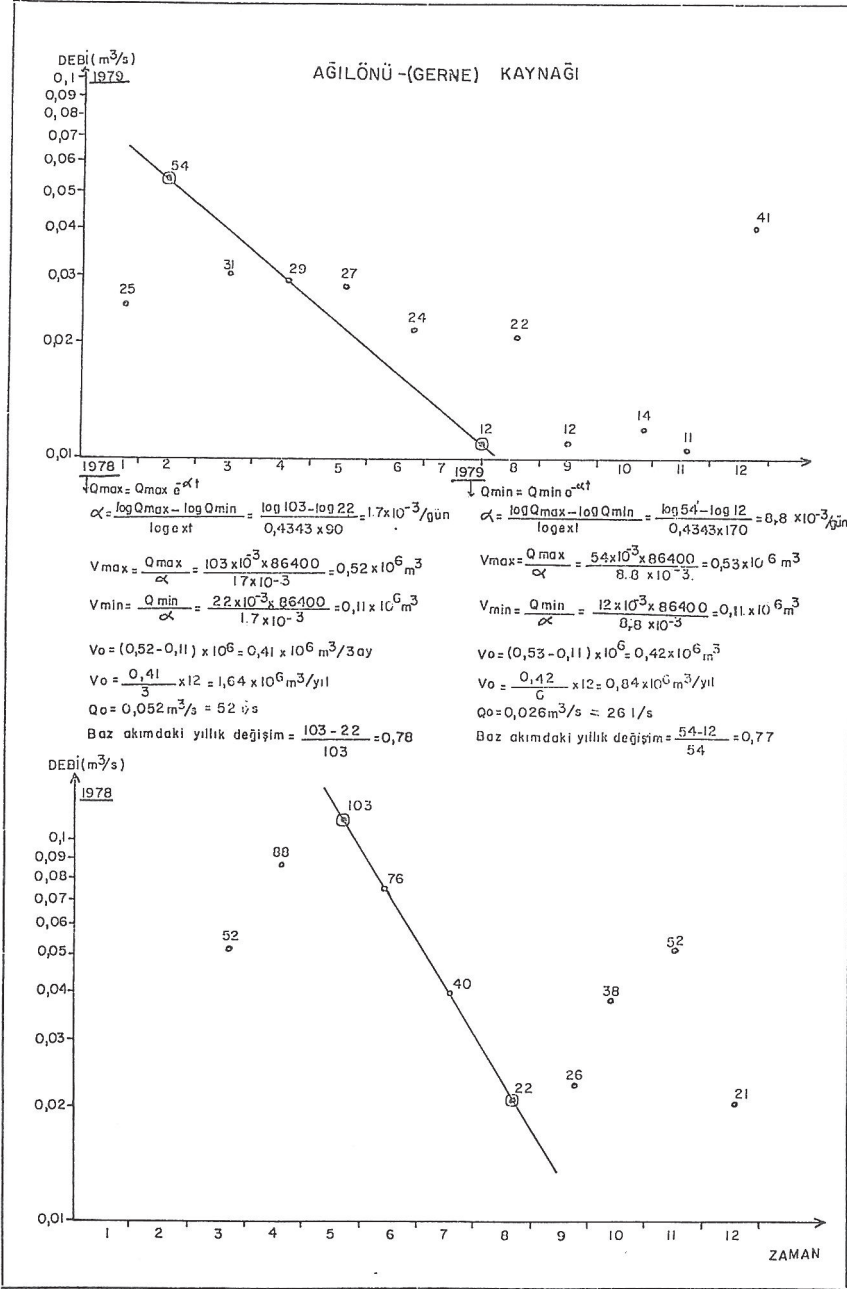
Gölün kapladığı alanın yağıştan besleniminin hesaplanması

Göl Alanının Beslenimi = Göl Alanı x Ort. Yıllık Yağış

G.A.B = A2 x P
 G.A.B = 95000x0,650 = 61750 m³/yıl

4. Kademe

Göl alanından buharlaşma sonucu meydana gelecek su kaybı



Şekil 5. Ağılönü Kaynağı Baz Akımları Alçalma Eğrisi Analizi
Figure 5. Determination of Active Volume for Ağılönü Karst spring.

Göl A. Buharlaşma Kaybı = G.A.B. x EP
G.A.B.K = 61750 x 0,30 = 20583 m³/yıl
Göl Alanında Kalan Su = G.A.B.-G.A.B.K
G.A.K. Su = 31750-20583 = 41167 m³/yıl

Y.A.G.S.M+G.S.M+G.A.K.S
P.T.S.M = 173550+41167 = 214717 m³/yıl
Polyede tutulacak su miktarını göl hacmine böldüğümüzde gölü yıl boyunca 1,5 defa doldurabilecek kapasitede olduğu görülür.

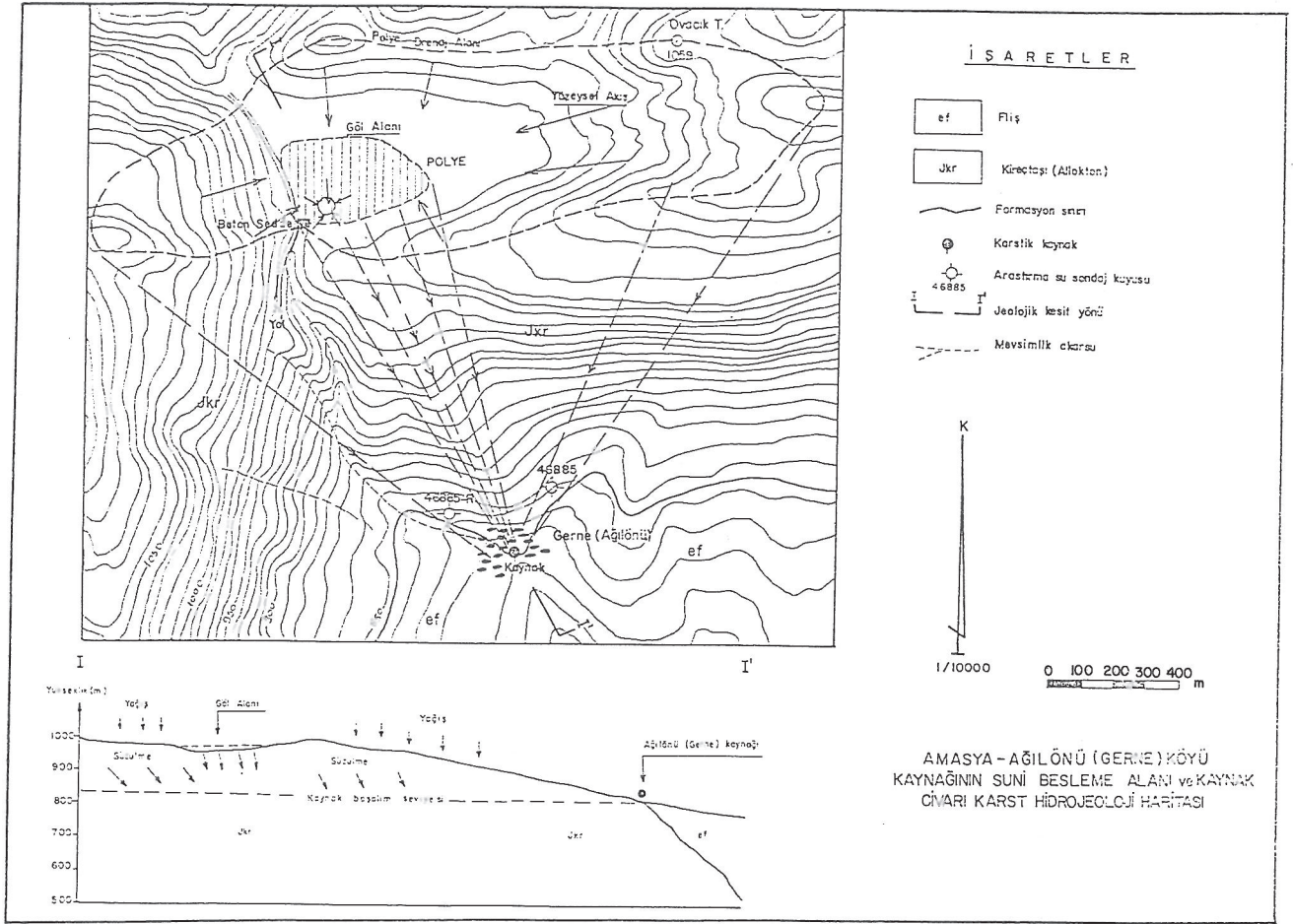
5. Kademe

Yüzeysel akıştan gelen su miktarı ile göl alanında kalan su miktarını topladığımızda polyede tutulacak bir başka deyişle kaynağın beslenimine etki edecek yıllık su miktarı bulunur.

Polyede Tutulacak Su Miktarı =

SU KİMYASI

Etüt alanının su kimyası çalışmaları etüt sırasında kaynaktan ve sondaj kuyularından alınan su örneklerinin analiz sonuçlarından faydalanılarak yapılmıştır.



Şekil 6. Amasya-Ağılönü Köyü Kaynağının Suni Beslenme Alanı ve Kaynak Cıvırı Karst Hidrojeoloji Haritası

Mevcut analiz sonuçlarına göre kaynak ve kuyu suları birbirine benzer özellikte sular olup karbonatlı su özelliği göstermektedir.

- PH değerleri 7,2-7,4 arasında olup, bazik sulardır.
- EC değerleri 475-635 micromho/cm arasında değişmektedir.
- Sodyum ve klorür değerleri arasında dengesizlik mevcuttur. Bu da etüt alanında bulunan suların kısa süreli de olsa killere teması olduğunu gösterir.
- C2S1 sulama suyu sınıfındadır.

KARSTİK SİSTEMİN KİRLENMESİ

Karstik sistemde yeraltı suyu akımı genel olarak çatlak, eklemler ve büyük hacimli karst yolları içinde olmaktadır. Büyük karst yollarında türbülanslı, ince çatlaklarda ise laminer akımlar hakimdir. Karstik sisteme yağış ve yüzeysel akış suları kolayca süzülerek intikal ettiğinden sistemin kirlenmesi de çok kolay olmaktadır. Bu nedenle su noktalarının beslenme alanları kirli atıklardan, mutlaka korunmalıdır.

Figure 6. The Artificial Recharge Area Amasya-Ağılönü Village Karst Spring And Karst Hydrogeological Map.

SONUÇLAR

Ağılönü kaynağının hidrolojik durumu ile karstik sistemin özellikleri incelenerek aşağıdaki değerlendirmeler yapılmıştır.

- Karstlaşma kireçtaşlarında orta derecede gelişmiş olup, kaynak boşalımı aylık yağışlara bağlıdır.
- Kaynağın beslenme alanı doğal su bölümü hattı ile sınırlı olmayıp, beslenme alanının büyüklüğünü jeolojik şartlar belirlemiştir.
- Ağılönü kaynağını besleyen karstik rezervuarı geliştirme amacıyla açılan karst araştırma kuyularından elde edilen verilere göre, kireçtaşlarında su hareketinin etkin olduğu ana kırık hattı KB-GD doğrultuludur. Bu haz üzerinde bulunan 46885-R nolu kuyunun transmisibilitesi (T) ve özgül debisi diğer 46885 nolu kuyuya nazaran çok yüksektir.
- Ağılönü kaynağının çıktığı karstik sistemden sulama periyodu süresince toplam 864000 m³ veya 100 l/s su çekilmesi ön görülmüştür. Ağılönü kaynağının suni beslenmesi sonucunda 214717 m³ lük su miktarda karstik rezervuara eklenecektir.

İSTANBUL'DA TEMİZ VE PİS SU ŞEBEKELERİNDEN KAÇAKLARIN YERALTISUYUNA VE SU BİLANÇOLARINA ETKİSİ

Effect of leakage from water and sewerage networks on groundwater and water Balance in Istanbul

Orhan DUMLU İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi, 80626, İstanbul
Serdar ORAN İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi, 80626, İstanbul

ÖZ: İstanbul'un su gereksinimi her yıl artmaktadır. Şehre yeterli su sağlamak için yalnız yerel su kaynakları değil, aynı zamanda komşu havzalardan da faydalanılmış ve ilave yeni kaynaklar araştırılmıştır.

İSKİ'nin su dağıtımı İstanbul'un her bölgesine ulaşmamakta veya yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle halk açtığı kuyularla yeraltısuyundan faydalanmaktadır. Özellikle yakın geçmişte çok sayıda yasa dışı kuyu açılmış, emniyetli verimin üzerinde su çekilmeye başlanmıştır. Bu çekim teknik personeli rahatsız etmiştir.

İstanbul'da gerek temiz gerekse pis su şebekelerinden yeraltısına sızma çok yüksektir. İncelemesi DSI tarafından tamamlanan önemli ovalarda toplam emniyetli verim 23×10^6 m³/yıl olarak belirlenirken yalnız temiz su şebekesinden kaçakların 150×10^6 m³/yıl değerine ulaştığı saptanmıştır. Şehirleşme nedeni ile doğal beslenme azalırken temiz ve pis su şebekelerinden beslenme artmış ve doğal beslenmenin çok üstüne çıkmıştır. Bu nedenle bu il için yapılacak yeraltısuyu bilançolarında şebeke kayıplarının hesabı, klasik yöntemlerdeki yağış, akış, buharlaşma, süzülme değerlerinin hesabından çok daha önemli hale gelmiştir.

Bazı büyük şehirlerde, şebeke kayıpları nedeniyle, yeraltısuyu seviyesi yükselmiş, bazı binaların temellerine ve hatta bodrum katlarına ulaşarak problem yaratmıştır. Yasal bir çözüm bulunmadıkça, yasal olmayan kuyuların kapatılması fayda sağlamayacaktır. Fazla su çekiminden dolayı deniz suyu girişimi ile kanalizasyon sızmalarının neden olduğu su kalite problemi ise konunun diğer bir cephesidir

ABSTRACT: The water need of Istanbul increases year by year. In order to supply sufficient water to the city, not only local water resources, but also water resources of adjacent regions used and additional new resources investigated.

Water supply of the ISKI does not reach every region of Istanbul or is not adequate. Due to this reason some of people use groundwater by drilling wells. Specially in recent years, many illegal wells are drilled in the city and now groundwater extraction is greater than the estimated safe yield of the city. Because of these many technicians worry about this extraction.

It is also known that leakage from fresh water network and sewerage system is very high in this city. Total safe yield of Istanbul is estimated as 23×10^6 m³/year by DSI but leakage from only fresh water network is nearly 150×10^6 m³/year. Because of urban development, (buildings, asphalt roads) natural recharge decreases with time but water need and leakage from water system increase. Today, man-included recharge from sewerage is greater than natural recharge. Due to this reason, estimation of the leakage from sewerage and fresh water systems in the groundwater budget of this city is getting more important than the estimation of precipitation surface run-off, evaporation, transpiration and total recharge area in classical methods.

GİRİŞ

Nüfusun su gereksiniminin karşılanabilmesi için genellikle büyük şehirlerde, şehrin mevcut olanaklarına ek olarak, yakın çevrenin su olanaklarından da yararlanmak zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Gelen su miktarı ile orantılı olarak temiz ve pis su şebekelerinden (varsa fosseptik çukurlarından) yeraltısına kaçaklar artmakta ve dolayısı ile yeraltısuyu yapay olarak beslenmektedir. Çoğu kere büyük şehirlerdeki yapılaşma (binalar, asfalt

yollar), akiferlerin beslenme alanlarını geçirimsiz hale getirmekte ve akiferlerin doğal beslenimini olumsuz yönde etkilemektedir. Zamanla kaçaklardan beslenme doğal beslenmeyi geçmekte, bilançolarda dikkate alınması gereken en önemli faktör olabilmektedir. Özellikle pis su şebekesinden kaçaklar yeraltısuyu kalitesini etkilerken, yükselen yeraltısı seviyesi binalar ve alt yapı tesisleri için ayrıca problem olabilmektedir.

SU KAÇAKLARININ YERALTISULARINA ETKİSİ

Büyük şehirlerde, temiz ve pis su şebekesinden kaçaklar; gerek taşınan suyun artması, gerekse şebekede zamanla yıpranmadan doğan kaçınılmaz arızalar nedeni ile yeraltısuyunu besler. Bu ise şu problemleri beraberinde getirir :

1. Pis su şebekesinden sızan sular yeraltısuyu kalitesini bozar ve yeraltısuyunun doğrudan içme-kullanma suyu olarak kullanılmasını önler.

2. Özellikle etkili porozitesi küçük zayıf akiferlerin bulunduğu alanlarda su seviyesinin yükselmesine neden olur. Bu ise kesintili su verilen şehirlerde pis suyun temiz su şebekesine sızmasına olanak sağlar.

3. Seviyenin çok yükselmesi halinde binaların temeline ulaşarak, kuru zemin koşullarına göre planlanmış temellerin taşıma gücünü olumsuz yönde etkiler. Özellikle pis suyun içerisindeki kimyasal maddelerin akiferin permeabilite ve porozitesini etkilemesi bina temelleri ve alt yapı tesislerinde problem yaratabilir.

Büyük şehirlerde yapılaşma (binalar ve asfalt yollar) zamanla, akiferlerin beslenme alanlarını yeryer geçirimsiz hale getirir. Bu ise akiferlerin doğal beslenmesini azaltır. Bunun sonucu zamanla kaçaklardan beslenme, doğal beslenmeden çok fazla olur ve yeraltısuyu bilançolarında en önemli faktör olabilirler.

Konuyu İstanbul ili bazında yeraltısuyu bilançoları hazırlayarak inceleyelim.

YERALTISUYU BİLANÇOSU

Bu çalışmada inceleme alanı olarak batıda Büyük Çekmece, Çatalca, doğuda İstanbul-Kocaeli il sınırına kadar olan alan seçilmiştir. Batıdaki Silivri İlçesi için yeterli hidrojeolojik bilgi derlenemediğinden inceleme alanı dışında tutulmuştur.

Beslenme

Temiz ve Pis Su Şebekesinden Beslenme

İnceleme alanındaki içme ve kullanma suyu amaçlı kullanılan barajlarla göllerin hacimleri toplamı 700×10^6 m³. ve İstanbul'a verilen su miktarı 450×10^6 m³/yıl dolayındadır. Bunun yaklaşık 1/3 ü (150×10^6 m³/yıl) temiz su şebekesinden (su tüketiciye ulaşmadan) yeraltına sızmaktadır (Eroğlu, 1994a).

Tüketiciye ulaşan suyun (300×10^6 m³/yıl), belli bir yüzdesi (ortalama % 70) (Linsley ve Franzini, 1964) kanalizasyon veya fösseptik çukurlarına boşalmaktadır. Bu suyunda önemli bir kısmı (özellikle fösseptik uygulaması nedeni ile) yeraltısuyunu beslemektedir. Besleme oranı % 60 alınarak :

Kanalizasyondan Beslenme : 300×10^6 m³/yıl x $0.7 \times 0.6 = 126 \times 10^6$ m³/yıl

Temiz Su Şebekesinden Beslenme : 150×10^6 m³/yıl ve

Toplam Beslenme; 276×10^6 m³/ yıl olarak tahmin edilmiştir.

Gerçekte, İstanbul'da, özellikle gecekondu mahallelerindeki fösseptik uygulaması nedeni ile yeraltısuyunun atık sularla beslenmesi daha fazla olması beklenir. Ancak İstanbul'da bazı bölgelerde kanalizasyon suları açıktan akmakta, doğrudan akarsulara, denize veya barajla (Elmalı ve Ömerli Barajı) boşalmaktadır.

Doğal Beslenme

İnceleme alanı içerisindeki önemli ovaların DSI tarafından hidrojeolojik etüdü yapılmış ve emniyetli verimleri resmi gazetede yayınlanmıştır (Tablo 1).

Bunlara ek olarak bazı münferit incelemeler vardır. İller Bankasının ise Büyük Çekmece dolayındaki etüdüne rastlanılmıştır. Bu incelemede benzer hidrojeolojik özelliklere sahip İstanbul-Kocaeli arası kıyı ovaları (Kılıç, 1977) örnek alınarak inceleme alanının beslenmesi araştırılmıştır.

OVA ADI	EMNİYETLİ VERİM (x 10 ⁶ m ³ /yıl)
K.Çekmece-Haliç (Topkapı)	11
İstanbul-Kocaeli Arası Kıyı Ovaları	10 (3.5)*
Terkos-Karacaköy	4
Kağıthane Deresi	3.2
Paşacavırı	0.66
Çatalca-Yalıkavak	0.5
TOPLAM	29.36 = - 30

* İstanbul il sınırları içindeki emniyetli verim 3.5×10^6 m³/yıl'dır.

Tablo 1. İnceleme Alanındaki Önemli Ovaların Emniyetli Verimleri

Table 1. Safe Yields of the Important Plains in the Investigation Area

Batıda B. Çekmece- Çatalca doğuda ise Kocaeli il sınırına kadar uzanan inceleme alanı genelinde yüzeyleyen Paleozoyik yaşlı grovak, arkoz, killi şistler ve Neojen yaşlı kum-çakıllar ile alüvyonlar bu kıyı ovalarında da yüzeylemektedir. Kıyı ovalarında yaklaşık 45 km²'lik alan kaplayan Triyas yaşlı kireçtaşlarına karşılık, K.Çekmece-Bakırköy havzasında yine verimli ve toplam alanları 105 km² olan Eosen yaşlı kireçtaşları ve Miosen yaşlı Maktralı kireçtaşlarına rastlanır.(Fillat, 1959)

Toplam drenaj alanı 710 km² ve beslenmesi 20×10^6 m³/yıl olan bu kıyı ovalarındaki beslenme örnek alınarak inceleme alanının beslenmesi tahmin edilmiştir. Bunun için öncelikle kıyı ovalarındaki yağış araştırılmıştır (Tablo 2).

İSTASYON ADI	YAĞIŞ MİKTARI (mm/yıl)	GÖZLEM SÜRESİ (Yıl)
Göztepe	673	41
Kartal	678	21
Gebze	520	27
Hereke	741	5

Tablo 2. Bölgedeki Yağış İstasyonları, Gözlem Süreleri ve Yağış Değerleri

Table 2. Precipitation Stations, Observation Periods and Precipitation Amounts in the Region.

Buna göre ortalama yağış değeri 653 mm/yıl dır. İncelemede bu değer dikkate alınarak beslenme (süzülme) katsayısı yaklaşık % 4 bulunmuştur. Aynı katsayı kullanılarak alanı 4000 km² ortalama yağışı 700 mm/yıl olan tüm İstanbul alanı için beslenme 112 x 10⁶ m³/yıl = 110 x 10⁶ m³/yıl olarak tahmin edilmiştir.

Kuyulardan Dönen Su İle Beslenme

Yukarıda belirtilen beslenme yolları ile yeraltısuyuna katılan suların büyük bir kısmı (bir sonraki bölümde 474 x 10⁶ m³/yıl tahmin edilmiştir) kuyularla çekilmektedir. Çekilen sular, temiz su şebekesinden gelen sular gibi kullanılıp, tekrar kanalizasyon sistemine verilmektedir. Bu olayın yeraltısuyu akım yönünde birkaç defa tekrarı mümkündür. Beslenme kaynakları nedeni ile zaten şüpheli olan yeraltısularının kalitesi, bu tekrarlamalar sonucunda daha da kötüleşmektedir. Bu çalışmada kuyularla çekilen suyun % 50 sinin kullanıldıktan sonra kanalizasyon veya fosseptik çukurlarına verildiği, bunun ise yine % 60 ının yeraltısuyuna katıldığı varsayılırsa bu yolla beslenimin 142 x 10⁶ m³/yıl olduğu tahmin edilebilir (Kuyularla çekilen su sulama için de kullanıldığından kanalizasyona dönüş değeri % 50 alınmıştır.)

Dolaylı Beslenme

Özellikle kıyı akiferlerinde mevcut akarsuların yakınında açılan kuyular, akarsulardan yeraltısuyuna beslenme olanaklarını artırır. Bu miktar şehirleşme nedeni ile azalması beklenen doğal beslenmeyi telafi ettiği görüşü ile bilançoaya dahil edilmemiştir.

Normal koşullarda, beslenmedeki bu yüksek artışın yeraltı su seviyesinde yükselmelere neden olması beklenir. Nitekim Hac mevsiminde nüfusu çok artan Mekke şehrinin su ihtiyacının karşılanması için yakın çevreden kuyu ve kaynaklarla temin edilen suların su şebekelerinden yeraltına süzülmesi ile aşırı kurak bir iklime sahip olan bu şehirde drenaj problemi oluşmuştur. Mevcut yeraltı drenaj sistemi ve kuyular bu problemi çözemediğinden bazı binaların temeli su altında kalmıştır. İstanbul'da ise yüksek bir beslenme olmasına rağmen yeraltısuyunda, genel olarak yükseliş gözlenmemiştir. Hatta yoğun bir yapılaşma görülen bazı sahil ovalarında seviye düşümü devam etmiştir. Bunun nedeni ise yasal veya yasal olmayan kuyuların varlığıdır.

Özellikle son yıllarda İstanbul'da yaşanan susuzluk nedeni ile geniş çapta yeraltısuyu kullanımına geçilmiştir. Elde edilen bilgiler İstanbul'da halen çalışan kuyu sayısının 20.000 (keson ve adi kuyular dahil) dolayında olduğunu göstermektedir (Ercan, 1994). Daha önceleri akifer özelliğinde olmayan kayalar (grovakoz), yukarıda değinilen beslenmeler nedeni ile

zayıfta olsa akifer özelliği kazanmışlardır. Bu kuyular dan genelde 30-120 m³/gün su alınabilmektedir. Kumçakıl ve kalker akiferlerde debi daha yüksektir.

Boşalma

Kuyularla Boşalma

Mevcut çalışan yaklaşık 20.000 üretim kuyusundan ortalama 65 m³/gün su çekilmesi halinde yılda (365 gün) alınan su miktarı

$$20.000 \times 65 \times 365 = 474 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl bulunur.}$$

Kaynaklarla Boşalma

İstanbul'daki önemli kaynak boşalmaları (Tablo 3'de verilmiştir.

KAYNAK ADI	DEBİ (lt/sn)
Küçük Çekmece-Halkalı (Altınşehir) Toplam (10)	45
Maltepe-Kavracı ve Başbüyük-Kavracı(10)	5
Unlu Mamba Suları :	10
Sarıyer (Hünkar,Kocataş,Şifa)	
Beykoz (Sırmakç, Karakulak)	
Alemdağ(Taşdelen,Mutevelli)	
Kemerburgaz(Hamidive)	
Diğer Kaynaklar :	100
Kemerburgaz (Kırkçeşme)	
Tuzla İçmeler ve Sıcak Suları	
Maslak (Kanlıkavak)	
Kayıdağı ve Diğer Küçük Kaynaklar	
TOPLAM	160 (5x10 ⁶ m ³ /yıl)

Tablo 3. İstanbul'daki Önemli Kaynak Boşalmaları

Table 3. Discharges of Important Springs in Istanbul

Yeraltından Denize Boşalmı ve Buharlaştırma

Bilanço dikkate alınarak 49 x 10⁶ m³/yıl olarak alınmıştır (Tablo 4).

SU BİLANÇOLARI

Genel Yeraltısuyu Bilançosu

Yukarıda açıklanan bilgilerle hazırlanan, İnceleme alanına ait Genel Yeraltısuyu Bilançosu Tablo 4 de verilmiştir.

BESLENME (x 10 ⁶ m ³ /yıl)	BOŞALMA (x 10 ⁶ m ³ /yıl)
Doğal Beslenme	Kuyularla Boşalmı
110	474
Temiz Su Şebekesinden	Kaynaklarla Boşalmı
150	5
Pis Su Şebekesinden	Denize Boşalmı
126	49
Kuyulardan Dönen	
142	
TOPLAM	TOPLAM
528	528

Tablo 4. İnceleme Alanının Genel Yeraltısuyu Bilançosu

Table 4. General Groundwater Budget of the Investigation Area

İnceleme Alanının Genel Su Bilançosu Beslenme

Yaklaşık 4000 km² lik bir alana sahip olan inceleme alanının ortalama yağış değeri, 1991 yılı DSİ Haritalı İstatistik Bülteninde İstanbul-İzmit ve Yalova'yı içine alan Marmara Bölgesi için (Trakya, Balıkesir, Bursa hariç) 728 mm/yıl olarak verilmiştir (DSİ, 1991). Bu çalışmada bu değer 700 mm/yıl olarak kullanılmış ve yağışla olan beslenme;

$$\text{Toplam Yağış (Y)} = 4000 \times 10^6 \text{ m}^2 \times 0.7 \text{ m/yıl} = 2800 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl olarak hesaplanmıştır.}$$

Boşalma

Akış ve fazla su : 1991 yılı DSİ Haritalı İstatistik Bülteninde İstanbul-İzmit ve Yalova'yı içine alan Marmara Bölgesi için (Trakya, Balıkesir, Bursa hariç) ortalama akış 345 mm/yıl olarak verilmiştir. Diğer taraftan Pennman bilançolarında fazla su miktarı (akışa geçebilecek ve yeraltına süzulebilecek su miktarı) yağış miktarı 678 mm/yıl olan Kartal için 256 mm/yıl, yağışı 741 mm/yıl olan Hereke için ise 301.5 mm/yıl olarak bulunmuştur. Bu çalışmada bu değer 300 mm/yıl (fazla su) olarak kullanılmış ve toplam fazla su şu şekilde bulunmuştur.

$$\text{Toplam Fazla Su (A)} = 4000 \times 10^6 \text{ m}^2 \times 0.3 \text{ m/yıl} = 1200 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$$

Buharlaşma : İnceleme alanındaki buharlaşma değeri yağış ile toplam fazla su arasındaki farka eşittir.

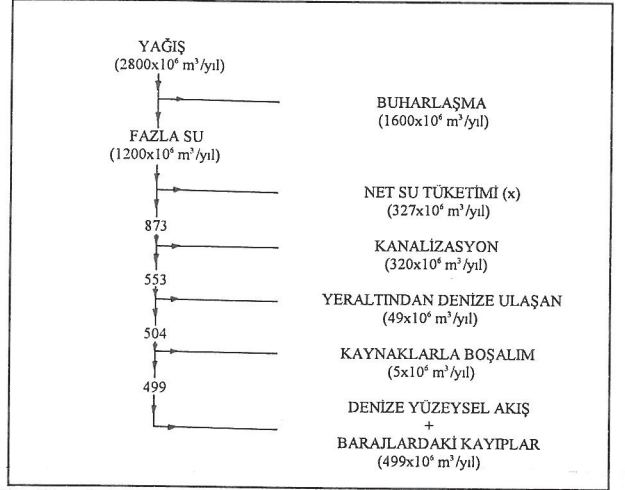
$$\text{Toplam Buharlaşma (B)} = Y - A = 1600 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$$

Net Su Tüketimi : Su tüketicisine ulaşan suyun ($300 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$) ortalama % 70'i kanalizasyon veya fosseptik çukurlarına ulaşıyorsa gerçekte tüketilen (kaybolan) su miktarı $90 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ suyun % 50 si kullanıldıktan sonra kanalizasyon veya fosseptik çukurları ile yeniden akifere dönüyorsa net tüketim $237 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ ve toplam net su tüketimi $327 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ olarak bulunur.

Bu bilançolar inceleme alanı için 1994 yılına ait geçici bilançolardır. Zamanla değişeceklerdir. Çünkü Sazlıdere Barajı, Istanca suları, Yeşilçay-Melen projelerinin gerçekleşmesi sonucu şehre verilen su, dolayısıyla şebeke kayıplarının çoğalması ile bu tip beslenmeler artarken, zamanla şehirleşmenin daha da artması sonucu (bina ve asfalt yollar doğal beslenmeyi olumsuz yönde etkilediğinden), doğal beslenmenin azalması beklenir. Her yıl yaklaşık 1500-2000 kuyunun açıldığı tahmin edilen (Ercan, 1994) İstanbul'da, bu ilave beslenme açılacak yeni kuyularla alınabilir. Aksi halde İstanbul'da (beklenenin aksine) drenaj problemi ortaya çıkabilir. Kısaca İstanbul'da zaman içinde yeraltısuyunun beslenmesine en önemli kaynağın temiz ve pis su şebekelerindeki kaçaklardan oluşacağını söylemek mümkündür. Bunun için bu şehirlerde yapılacak yeraltısuyu bilançoları için sağlıklı kuyu envanterleri, temiz su şebekesine verilen su, temiz ve pis su şebekesinden kayıplar, denize ve/veya arıtma tesislerine gönderilen toplam atık su miktarı gibi bilgilere ihtiyaç olacak, klasik yağış, akış, süzülme, drenaj ve beslenme alanlarına dayanan yöntemler ikinci plana düşecektir (Tablo 5) (Şekil 1).

BESLENİM	BOŞALIM
Yağışla Gelen: 2800x10 ⁶ m ³ /yıl	1) Buharlaşma a) Yağış-Akış: 1600 x10 ⁶ m ³ /yıl b) Net Kullanım: 327 x10 ⁶ m ³ /yıl Toplam: 1927 x10 ⁶ m ³ /yıl
	2) Denize a) Yeraltından: 49 x10 ⁶ m ³ /yıl b) Kanalizasyon: 320 x10 ⁶ m ³ /yıl c) Kaynak: 5x10 ⁶ m ³ /yıl d) Yüzeysel Akış: 499 x10 ⁶ m ³ /yıl Toplam: 873x10 ⁶ m ³ /yıl
Genel Toplam: 2800x10 ⁶ m ³ /yıl	Genel Toplam: 2800 x10 ⁶ m ³ /yıl

Tablo 5. İnceleme Alanının Genel Su Bilançosu
Table 5. General Water Budget of the Investigation Area



Şekil 1. İnceleme alanındaki suların dağılımını gösterir şema.

Figure 1. Flow chart of the water distribution in the investigation area.

İSKİ'nin tüketiciye ulaştırdığı suyun ($300 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$) % 70'inin kanalizasyona ulaştığı, bunun ise % 60'ının yeraltısuyuna süzülmediği varsayılmıştır. Bu durumda kanalizasyon sisteminde kalan su $84 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ dir. Aynı şekilde kuyularla çekilen suyun ($474 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$) % 50'sinin kanalizasyona ulaştığı, bunun yine % 60'ının yeraltısuyuna süzülmediği varsayıldığından kanalizasyon şebekesinde kalan su miktarının yaklaşık $95 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ ve toplam kanalizasyon boşalımının $179 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ olması beklenir. Buna rağmen gerçek kanalizasyon boşalımının $320 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ olmasının nedeni, yağışlı zamanlarda sel sularının belli bir kısmının (bu çalışmaya göre $141 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$) kanalizasyon sistemine boşalmasıdır. Bu nedenle denize yüzeysel akımla boşalım gerçekte $499 \times 10^6 + 141 \times 10^6 = 640 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ dir. Diğer taraftan $1.2 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{yıl}$ olan toplam fazla suyun $110 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ 'i yeraltısularına ayrılırsa, geriye $1.090 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ yüzey suyu kalır. Bunun $450 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ 'i barajlarla tutulup şehir şebekesine verildiğinde, kontrol edilemeyen yüzey suları yine $640 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ olarak bulunur.

YAKIN GELECEKTEKİ OLASI GELİŞMELER

Kapasiteleri sırası ile 56×10^6 m³/yıl ve 146×10^6 m³/yıl olan Sazlıdre ve Yeşilçay Projelerinin devreye girmesi ile denize yüzeysel akış (sellenme) ile boşalım belli oranda azalacak ve yaklaşık 440×10^6 m³/yıl olacak yeraltısuyu beslenimi ise artacaktır. Toplamı 4000 km^2 olan inceleme alanında barajlarla kontrol edilen alan 2500 km^2 , kontrol edilemeyen alan ise 1500 km^2 ve kontrol edilemeyen su miktarı 450×10^6 m³/yıl olacaktır. Bu da yukarıdaki sonucu doğrulamaktadır.

1995 yılı ortalarında devreye girmesi beklenen Istranca Dereleri ile inceleme alanına ilave 300×10^6 m³/yıl gelmesi (Eroğlu, 1994b) ayrıca İstanbul için bütün planlanan su kaynaklarının devreye girmesi ile toplam verilebilecek su miktarı 3.370×10^6 m³/gün (1.230×10^6 m³/yıl) olacaktır (Samsunlu ve Eroğlu, 1991). Bunun sonucunda yeraltısuyu beslenmesinin artması, yeraltısuyu seviye düşümlerinin durması, belki de yer yer yükselmesi ve drenaj probleminin oluşması olasıdır. Yedi Tepe üzerinde kurulduğu belirtilen İstanbul'da drenaj probleminin görülebileceği bölgeler, yeraltısuyunun toplandığı kotu, topoğrafik eğimi, ortamın permeabilitesinin nisbeten düşük, su çekiminin az, yerleşimin yoğun olduğu alanlar olacaktır. Yüksek kotlarda (özellikle su bölüm hatlarında) yeraltısı seviyesi dahi gözlenemeyebilir. Nitekim Levent - Taksim arasında devam eden Metro inşaatında devamlı yeraltısı seviyesi gözlenememiştir.

EMNİYETLİ VERİM VE SU KALİTESİ

Sonuç olarak, yeraltısuyu bilançosu şehre verilen su miktarının bir fonksiyonu olarak değişme gösterecektir. Türkiye'de genel olarak, yeraltısuyunun emniyetli verimini kontrol için kullanılan "seviyenin değişmesi" kriteri gerçekçi olmayacaktır. Zira emniyetli verim tanımında kullanılan "istenmeyen bir sonuç yaratmadan çekilebilecek maksimum su miktarı" ifadesi ülkemizde, yalnız su seviyesinin düşmesi olarak yorumlanır. Gerçekte ise su kalitesinin bozulmasında istenmeyen bir sonuçtur. İstanbul'da ise, yoğun yerleşim görülen bazı sahil ovaları dışında önemli seviye düşümü gözlenmemektedir. Buna rağmen çekilen suyun kalitesinin tekrar tekrar kullanılması nedeni ile devamlı kötüleştiği kesindir. Bu konuda çalışmaları bulunan bir araştırmacı bir panelde İstanbul'da yoğun yerleşim bulunan alanlarda kuyularla alınan suyu "seyreltilmiş idrar" olarak tanımlamıştır (Luri, 1993). Aynı toplantıda bir başka Çevre Uzmanı, İstanbul'da derin kuyularda da insan dışkılarına rastlandığını belirtmiş, biyolojik arıtma uygulansa dahi yeraltısuyunun tekrar eski kalitesine ulaşmasının çok güç olduğunu ifade etmiştir. Yukarıda verilen bilançolar da yeraltısuyunun kanalizasyon suları ile beslenildiğini göstermektedir.

Kıyı ovalarında gözlenen fazla su çekimi ve seviye düşümleri ayrıca su kalitesini de etkilemiştir. İstanbul-İzmit arası kıyı ovalarının 1967 de yapılan hidrojeolojik incelemelerinde kullanılabilir kalitede bir kısım sular 1974'de aynı alanlarda yapılan inceleme sonucu, denizden karaya deniz suyu girişimi nedeni ile kullanılamaz hale geldiği gözlenmiştir (Kılıç, 1977). Benzer şekilde Bakırköy havzasında maktrali kalker akifer aynı nedenlerle tuzlanmıştır. Aynı havzadaki Sarmasiyen kum akiferi ise fazla su çekimi ile pratik olarak kurumıştır. Küçük Çekmece-Halkalı civarındaki kaynak grubu (Altınşehir), civarındaki çöplükler nedeni ile kirlenmiş, aynı çöplükler yeraltısuyu ile beslenen Küçük Çekmece gölünün su kalitesini de etkilemişlerdir.

Halen temiz sayılabilecek akiferlere Şile-Ağva, Terkos Gölü - Kilyos ve Kemerburgaz civarında rastlanılmaktadır. Bu nedenle İSKİ su temini için yeni kuyuları Şile civarında açmaktadır. Ayrıca Terkos civarı için planları vardır. Kemerburgaz, su satış istasyonlarının su temin merkezlerinden biridir. Kilyos-Sarıyer civarındaki potansiyel ise yapı kooperatiflerinin hedefi durumundadır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

1- Büyük şehirlerde artan nüfusun su gereksinimini karşılayan temiz su şebekesi ile pis su şebekesinden sızan sular zamanla doğal yeraltısuyu beslenmesini aşabilir. Bu nedenle büyük şehirler için hazırlanacak yeraltısuyu bilançolarında bu faktörler mutlaka dikkate alınmalıdır.

2- Doğal beslenme, yapılaşma nedeni ile asfalt yollar ve meydanlar yüzünden zamanla azalır. Pis sularla beslenmenin artmasına karşılık doğal beslenmenin azalması su kalitesini olumsuz yönde etkiler. Kuyulardan fazla su çekimi nedeni ile kıyı akiferlerinde gözlenen tuzlu su girişi kirlenmenin diğer bir cephesidir.

3- Beslenmenin artması, su seviyesinin yükselmesini, bu ise zamanla binaların temeline hatta, zemin katlarına girmesine neden olur. Örneğin İngiltere'de Londra, Liverpool, Manchester ve Birmingham şehirlerde yeraltısuyu kullanımının azalması, yüzüstüsuyu kullanımının (dolayısı ile kaçaklarla beslenimin) artması sonucu, yükselen yeraltısuyu seviyesi nedeni ile, kuru zemin koşullarında inşa edilmiş çok sayıda binanın temellerinin su altında kalmasına neden olmuştur (Wilkinson, 1985). Bunun ise binalardaki taşıma gücünü % 25-50 oranında azalttığı ileri sürülmüştür. Suyun yeryer sülfatlı oluşu ise betonu etkilemesi nedeni ile ayrıca problem oluşturmuştur. Ayrıca yükselen kirli yeraltısuyu (en azından su kesintileri sırasında) temiz su şebekelerine sızarak problem yaratabilir. Bu nedenle şebekelerden su sızmasını minimuma

indirmek ve su seviyesinin yükselmesini önlemek için drenaj önlemlerinin alınması yerinde olur. Yasal olmasa da bu kuyulardan su çekimi bu problemi şimdilik önlemektedir.

4- İstanbul'da sahil ovalarında kuyularla fazla su çekimi nedeni ile yeraltısuyunun mevcut akarsulardan dolaylı beslenmesi artmıştır. Bu da yeraltısuyu potansiyelini yüzeysel sular aleyhine çoğaltmıştır. Ayrıca İstanbul'da kanalizasyon şebekesi yalnız atık suları değil, kısmen sel sularını da taşımaktadır. Bu durumda kanalizasyon şebekesinden boşalan veya bu şebekelerden yeraltısuyuna sızan su miktarı bilançodaki rakamlardan fazla olabilir. Ancak yoğun şehirleşme nedeni ile doğal beslenmede de bir azalma söz konusudur. Bu çalışmada adı geçen beslenmelerdeki değişimlerin birbirini dengelediği varsayılmıştır.

5- İstanbul'un gelecek yıllardaki su gereksiniminin, yakın çevreden getirilecek sular ile karşılanması planlanmıştır. Temin edilecek ek su potansiyeli, yine yeraltısuyuna ek beslenmeler getirecektir. Bu beslenmelerin neden olacağı yeraltısuyu seviye yükselimi, pratik olarak, önceki yıllarda olduğu gibi ihtiyaç sahiplerinin açacağı kuyularla önlenabilir. Bu nedenle, "başka yasal çözümler" getirilmedikçe kanunlara dayalı yeni kuyular açılmasını önlemek İstanbul'da drenaj problemine neden olabilir. DSİ tarafından, İstanbul'daki önemli ovalarda çekilecek suyun 23×10^6 m³/yıl ile sınırlandırılmış olduğu unutulmamalıdır.

6- Genel su bilançosundan halen İstanbul'da, mevcut potansiyelin yarısından da az yararlanıldığı ortaya çıkmaktadır. Sazlıdere Barajı ve Yeşilçay projeleri ile yararlanma oranı daha da yükselecektir. Ayrıca, Tuzla'da olduğu gibi atık suların artırılarak göletlerde toplanması ve yeniden kullanılması, su olanağını arttıracaktır. Bu işlemin İstanbul genelinde uygulanması hem atık su problemini çözerken, uzun mesafelerden su getirilmesi konusunda da farklı bir alternatif olabilecektir.

7- Temiz ve pis su şebekelerinden kaçaklar arttıkça yeraltısuyu seviyesinin yükselme riski de artacaktır. Yeraltısuyu seviyesinin binaların temellerine ulaşması, çok defa kullanılan betonu ve kuru zemin koşullarına göre projelendirilmiş temellerde, zeminin

taşıma gücünü olumsuz yönde etkileyecektir. Su altında kalmış temellerde yapılan drenajlar esnasında ise zeminde farklı oturmalar ve dolayısı ile problemler oluşabilecektir. Bu nedenlerle yeraltısuyunun yükselişinin temellere (veya diğer alt yapı tesislerine) ulaşmadan engellenmesinde yarar vardır. Bunun için su kalitesi ve akiferin uygun olduğu durumlarda park ve bahçe sulama işlerinde yeraltısuyundan yararlanılması uygun olacaktır. Bu durum temiz su şebekesinden kullanılan sudan tasarruf sağlarken yeraltısuyunun yükselmesini de önleyecektir.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

- Curi, K., 1993, Su Paneli. Kadıköy Kültür Merkezi, İstanbul.
- DSİ, 1991, Haritalı İstatistik Bülteni, DSİ, Ankara.
- Ercan, A., 1994, İstanbul Su Sorunu Paneli, İTÜ-İSKİ Ortak Toplantısı, İstanbul.
- Eroğlu, V., 1994a, İstanbul 2012 Yılına Kadar Susuz, İTÜ Vakfı Dergisi S : 13, İstanbul.
- Eroğlu, V., 1994b, İstanbul Bülteni, S:7, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Yayın Organı, Medya Print, İstanbul.
- Fillat, G., 1959, Bakırköy-K. Çekmece Havzasının Hidrojeolojik Etüdü. İTÜ Hidrojeoloji Enstitüsü, İstanbul.
- Kılıç; R., 1977, İstanbul-İzmit Arası Kıyı Ovaları Hidrojeolojik Etüd Raporu, DSİ, Ankara.
- Linsley, R., K., ve Franzini, J., B., 1964, Water Resources Engineering, Mc. Graw Hill., New York, USA.
- Samsunlu, A., ve Eroğlu, V., 1991, Yüzeysel Su Kaynaklarının Korunmasında Atıksu Arıtma Sistemlerinin İşletilmesinin Önemi. İSKİ Su Toplama Havzalarını Koruma Stratejileri Uluslararası Sempozyumu Tebiğler Kitabı, sf : 320-334 Ünal Ofset, İstanbul.
- Wilkinson, B., 1985, Rising Grounwater Level in london and Possible Effects on Engineering Structure. Hydrogeology in the Service of Man, Volume : XVIII, Memoires of the 18 th congress of IAHS, IAHS Publication, 154, Cambridge, London.

ELMALI (ANTALYA) POLYESİNDEKİ AKİFERLERİN YERALTISUYU KİMYASI İNCELEMESİ

Groundwater chemistry investigation of Elmalı (Antalya) polje aquifers

Mehmet ÇELİK

Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara

ÖZ : Elmalı Polyesi'nde kaynak, sondaj ve adi kuyu suları genellikle içilmeye, endüstride kullanıma ve sulamaya elverişlidir. Sular CaCO_3 a doymun, CaSO_4 ı ise çözebilir özelliktedir. Karstik kaynak suları 1. kalite (iyi) sulardır. Sudaki iyonların Schoeller Diyagramı'nda dizilimi;

$r\text{Ca} > r\text{Mg} > r(\text{Na} + \text{K}), r\text{HCO}_3 > r\text{Cl} > r\text{SO}_4$ ve $r\text{Mg} > r\text{Ca} > r(\text{Na} + \text{K}), r\text{HCO}_3 > r\text{Cl} > r\text{SO}_4$

şeklinindedir. Piper diyagramında sular 5. bölgede yer almakta olup CaCO_3 'lü ve MgCO_3 'lüdür. Sular endüstride kullanım açısından genellikle kaynarken köpürmeyen, beton için olumsuz etki yapmayan ve kireçlendirici özellikte olan sulardır. Kuvaterner yaşlı serbest alüvyon akiferde rCl, $r\text{HCO}_3$ ve EC haritaları yapılmıştır. Yeraltı suları, akım yönü boyunca bikarbonat ve elektriksel iletkenlik özellikleri bakımından zenginleşmektedir. Yapılan istatistik çalışmalarla iyonların regresyon katsayısı ve denklemleri bulunmuştur. Buna göre birbirleri ile ilişkili olan iyonlar tesbit edilmiştir.

ABSTRACT : Springs, drilling wells and domestic wells in Elmalı Polje area is good for drinking, irrigation and for industrial purposes. Water is saturated with CaCO_3 and still dissolves CaSO_4 . Karstic spring waters are at the first degree for drinking. Ions exist in water are represented in Schoeller Diagram as follows;

$r\text{Ca} > r\text{Mg} > r(\text{Na} + \text{K}), r\text{HCO}_3 > r\text{Cl} > r\text{SO}_4$ and $r\text{Mg} > r\text{Ca} > r(\text{Na} + \text{K}), r\text{HCO}_3 > r\text{Cl} > r\text{SO}_4$

These waters spot in the 5th part in Piper diagram consists mainly of CaCO_3 and MgCO_3 . Waters are especially the hind for industrial purpose don't foam while boiling and don't effect concrete improperly which leaves CaCO_3 Mapping were carried on for Quaternary unconfined alluvium aquifer by using rCl, $r\text{HCO}_3$, and EC values. It is observed that groundwater enriches by bicarbonates and electric conductivity down the streamline. Regression coefficient and equations were estimated by using statistics. Furthermore, it was determined the ions in relation with each other.

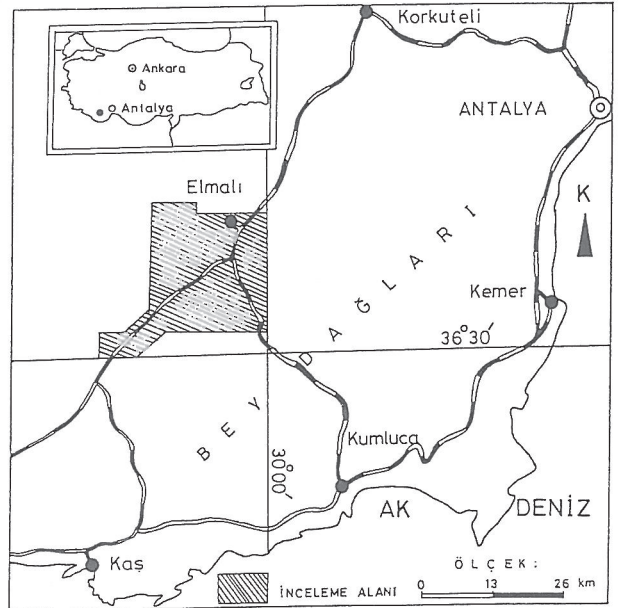
GİRİŞ

İnceleme alanı, Batı Akdeniz Bölgesinde Antalya iline bağlı Elmalı ve Gömbe dolayını kapsar. Bu alan $36^\circ 30'00'' - 36^\circ 48'00''$ enlemleri ile $36^\circ 00'00'' - 29^\circ 37'00''$ boylamları arasında olup yaklaşık 615 km^2 'dir (Şekil 1).

İnceleme alanı ve dolayında değişik amaçlı çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan Colin (1962), Poisson (1967), Önalın (1979), Gözeğer ve Gül (1980) ile Şenel ve diğ. (1989) Genel jeoloji amaçlı yapılmış önemli çalışmalardır. DSİ (1978 ve 1992) tarafından da hidrojeoloji amaçlı çalışmalar yapılmıştır.

Bu çalışmada; alüvyon ve kireçtaşı akifer sularının kökeni, içilebilirlik, endüstri ve sulama suyu olma özellikleri, CaCO_3 ve CoSO_4 'a doyma dereceleri, ana iyonların korelasyon katsayıları vb. özellikleri üzerinde durulacaktır.

İnceleme alanında otokton, ara zon ve allokton birimler yer alır. Otokton birimlerden Beydağları otokton kireçtaşları ve Kuvaterner yaşlı alüvyon birimleri serbest akifer oluştururlar. Allokton birimlerden Eskihsar grubu kireçtaşları serbest akifer ve alüvyonun killi seviyeleri altında olduğu alanlarda basınçlı akifer özelliğindedir. Burada daha çok allokton kireçtaşları ve alüvyon birimlerinden beslenen yeraltı sularının kimyası üzerinde durulacaktır.



Şekil 1. İnceleme alanının yer belirleme haritası.

Figure 1. Location map of the study area.

JEOLOJİ

Batı Torosların orta kesiminde yer alan inceleme alanındaki birimler otokton, ara zon ve allokton birim-

leiden oluşur. Ara zon ile allokton birimler Fethiye-Elmalı Napı ile birbirinden ayrılır. Beydağları otoktonu ile Menderes Masifi arasındaki bu alan Batı Toros teknesi olarak tanımlanmıştır (Ersoy, 1990). Bu teknede yer alan birimler Oligosen'den Orta Miyosen'e (Langiyen) kadar olan dönemde sıkışma rejimi etkisiyle Beydağları otoktonuna doğru ilerlemişler ve tüm tektonik birlikler Langiyen'de (Stiriyen Fazı) Beydağları üzerine yerleşmiştir. Bu yerleşme sırasında Orta Miyosen başına kadar çökelmiş olan kırıntılılar da allokton duruma geçmişlerdir. Böylece paleotektonik dönem sona ermiştir. Bu kırıntılılar Şenel ve diğ. (1989) tarafından ara zon olarak isimlendirilmiştir.

Otokton birimler altta Alt-Üst Kretase yaşlı Beydağları kireçtaşı ile başlamakta olup bunun üzerine uyumlu olarak Paleosen yaşlı Gedikbaşı formasyonu gelir. Sinekibeli formasyonu Gömüce, Kıbrısdere ve Çayboğazı üyelerinden oluşur. Kasaba formasyonu Sinekibeli formasyonunun uyumsuz olarak örter. Bu formasyon üzerine de Kuvaterner birimleri gelmektedir.

Ara zon birimleri otokton birimler üzerine tektonik dokanaklı olarak gelmekte olup Gömbe grubu olarak adlandırılmıştır. Altta Elmalı formasyonu, üzerinde uyumlu olarak Uçarsu formasyonu, onun da üzerinde tektonik dokanaklı olarak Yavuz formasyonu yer almaktadır. Ara zon birimleri Tersiyer yaşlıdır. Allokton birimler Triyas-Kretase yaşlı olup Eskihisar Grubu, Gülbahar grubu ve Olistostromal melanjdan oluşmaktadır. Bu birimler ara zon birimleri üzerine tektonik dokanaklı olarak gelmektedir.

HİDROJEOLJİ

Elmalı Polyesi'nde otokton karbonatlı birimler ve alüvyon birimleri ile allokton birimler geçirimsiz olup akifer oluştururlar. Ara zon birimleri ve otokton birimlerden Çayboğazı üyesi ve Kasaba formasyonu geçirimsiz birimlerdir.

Alandaki su noktalarını genellikle alüvyonda açılmış adi ve sondaj kuyuları, allokton birimlerde açılmış sondaj kuyuları, kaynaklar, akarsular ve Yeşilgöl oluşturur.

Alüvyon akiferi

Polyeyi dolduran alüvyon birimleri serbest akiferi oluşturmakta olup düşey ve yatay yönde farklı özelliklere sahiptir. Alüvyon ile ova kenarındaki dik şevlerin eteğinde oluşan yamaç molozları yanal geçişlidir. Alüvyonda düşey yöndeki değişim DSİ ve Köy Hizmetleri'nin açmış olduğu kuyularda gözlenmiştir. Alüvyon kalınlığı DSİ araştırma kuyularında 250 m ye kadar çıkmıştır. Jeofizik kesitlerde en fazla 205 m olarak hesaplanmıştır.

Kireçtaşı akiferi

Allokton birimler Eskihisar ve Gülbahar grubu ile olistostromal melanjdan oluşmaktadır. Bu birimler alüvyonun altında olduğu durumlarda, Balıklardağ'ının batısında alüvyonun killi seviyelerinden dolayı basınçlı akifer oluştururlar. Birimin yüzeylendiği alanlarda

serbest akifer konumundadır. Kazanpınar, Pınarbaşı ve Uçarsu gibi önemli kaynaklar bu birimin sularını boşaltmaktadır.

Su kimyası

İnceleme alanında alüvyon ve kireçtaşı akiferinde açılan; adi ve sondaj kuyuları, kaynak, göl ve akarsulardan alınan su örnekleri üzerinde 1989-1992 yılları boyunca kimya tahlilleri yapılmıştır. Bu makalade adı geçen tüm çizim ve haritalar Ekim 1989 su kimyası verilerine göre değerlendirilmiştir. İstatistiksel değerlendirmeler ise 1989-1992 yıllarında yapılan kimyasal analiz sonuçlarına göre yapılmıştır.

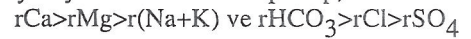
Yeraltı ve yüzey suları için diyagramlar çizilerek suların kayaçlarla ilgisi, iyonların miliekivalen olarak dizilimi, içilebilirlik özellikleri, sulama suyu olma özellikleri, CaSO_4 ve CaCO_3 'a doygunluklarının araştırılması ve endüstride kullanımları üzerinde durulmuştur. Ayrıca alüvyon akifer sularının eş klorür, eş bikarbonat ve eş elektriksel iletkenlik haritaları çizilerek yeraltı suyu akımı boyunca bu özelliklerin değişimi incelenmiştir.

Suların tahlil sonuçlarının grafiklerle gösterilmesi

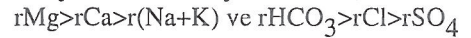
Suların özelliklerini ortaya koyabilmek için Yarı Logaritmik Schoeller, kolon, Piper, Schoeller İçilebilirlik, Wilcox, ABD Tuzluluk Laboratuvarı ve Langelier denge diyagramlarından yararlanılmıştır.

Yarı logaritmik Schoeller diyagramı

Bu diyagrama göre yapılan değerlendirmede alüvyon ve kireçtaşı akiferi suları iki grupta toplanmaktadır. Alanda kireçtaşı akiferinden boşalan kaynak sularının tamamı ile S1, S2, S4, S13 sondaj kuyuları ve K1, K2, K5, K10, K21, K23, K30 ve K36 nolu adi kuyu suları aynı iyon dizilimine sahip olup,



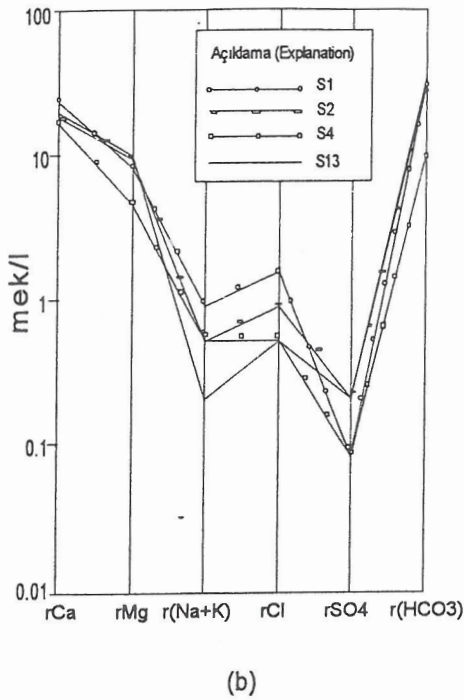
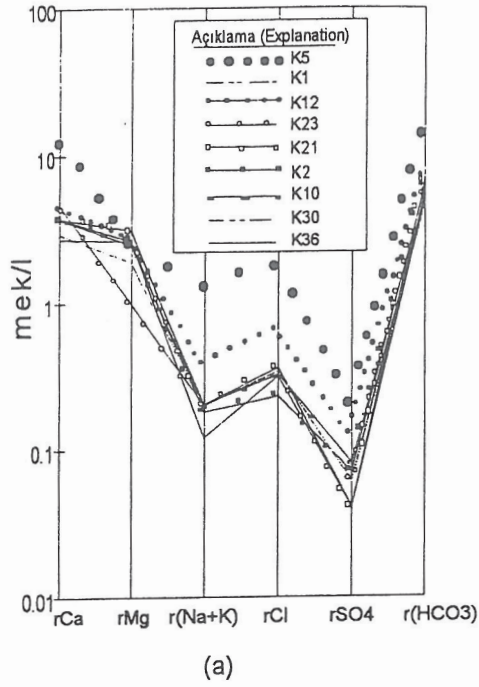
şekindedir (Şekil 2). Sondaj kuyularından S7, S10, S16 ile K9, K14, K16, K20, K24, K31, K42, K48 ve K51 nolu adi kuyu sularındaki iyon dizilimi,



şekindedir (Şekil 3). Bu iki farklı iyon dizilimi dışında bazı kuyularda rCa ve rMg iyonlarının zaman zaman birbirine üstünlük sağladıkları görülmüştür. Bu şekilde olan kuyu suları; K15, K25, K44 ve K50 kuyularına aittir. Yapılan kayaç analizleri sonucu CaCO_3 oranının % 98 dolayında olduğu, dolomitik kireçtaşlarında bu oran % 63 dür (Çizelge 1). Sular genellikle kireçtaşlarından beslendiği için rCa ve rHCO_3 miktarı yüksektir.

Dolomitik kireçtaşlarından beslenen kuyu sularında rMg ve rHCO_3 oranı diğer ana iyonlardan daha yüksektir. Akçay ve Güğü Çayındaki iyon dizilimi, $r\text{Mg} > r\text{Ca} > r(\text{Na} + \text{K}) \text{ ve } r\text{HCO}_3 > r\text{Cl} > r\text{SO}_4$ şeklindedir.

Ülkemizde karbonatlı kayaçlar diğerlerine oranla daha yaygın oldukları için bu birimlerin taşıdığı sular da kalsiyum ve magnezyum karbonatlı olmaktadır. İrmene

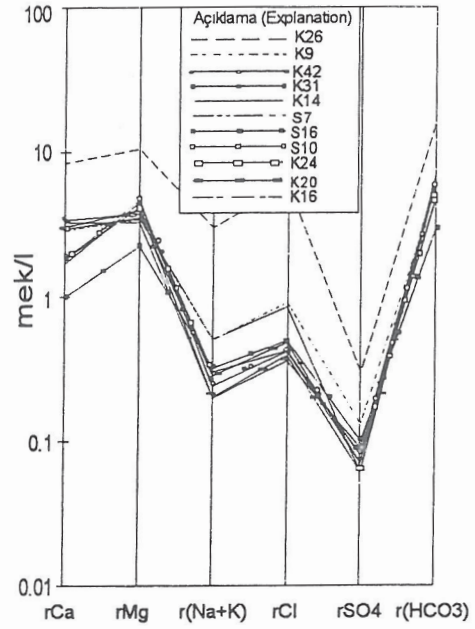


Şekil 2. Yarı Logaritmik Schoeller Diyagramı (a ve b).
Figure 2. Semi Logarithmic Schoeller Diagram (a and b).

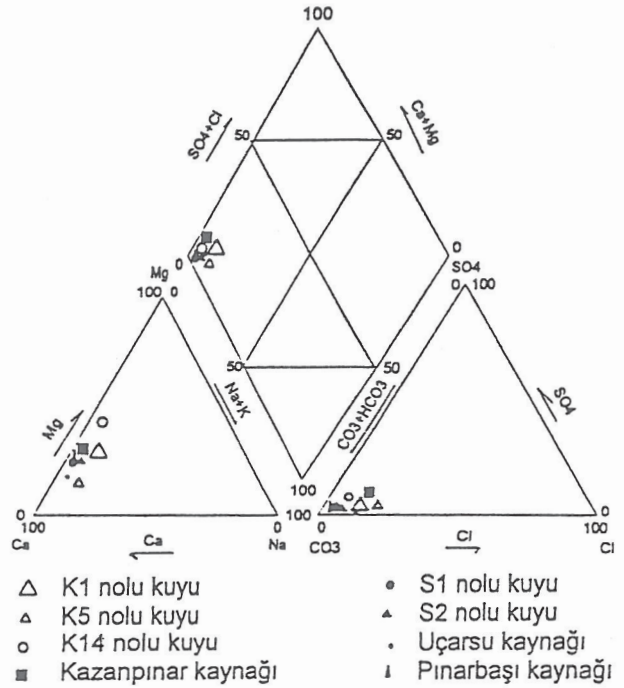
(Bodrum) Polyesi'ndeki sular ise sodyum klorür lüdüdür (Canik, 1985).

Sütun diyagramlar

İyonların miliekivalen değerlerine göre çizilen grafiklerde, suda oluşacak tuzların % olarak büyüklükleri belirlenmiştir (Çelik, 1994). Bunlar genellikle $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, NaCl , MgCl_2 ve MgSO_4



Şekil 3. Yarı Logaritmik Schoeller Diyagramı.
Figure 3. Semi Logarithmic Schoeller Diagram..



Şekil 4. İnceleme alanındaki suların piper diyagramı.
Figure 4. Piper diagram of waters in the study area.

şeklinde. Dolomitik kireçtaşlarından beslenen kuyularda özellikle $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ den büyüktür (Çizelge 2).

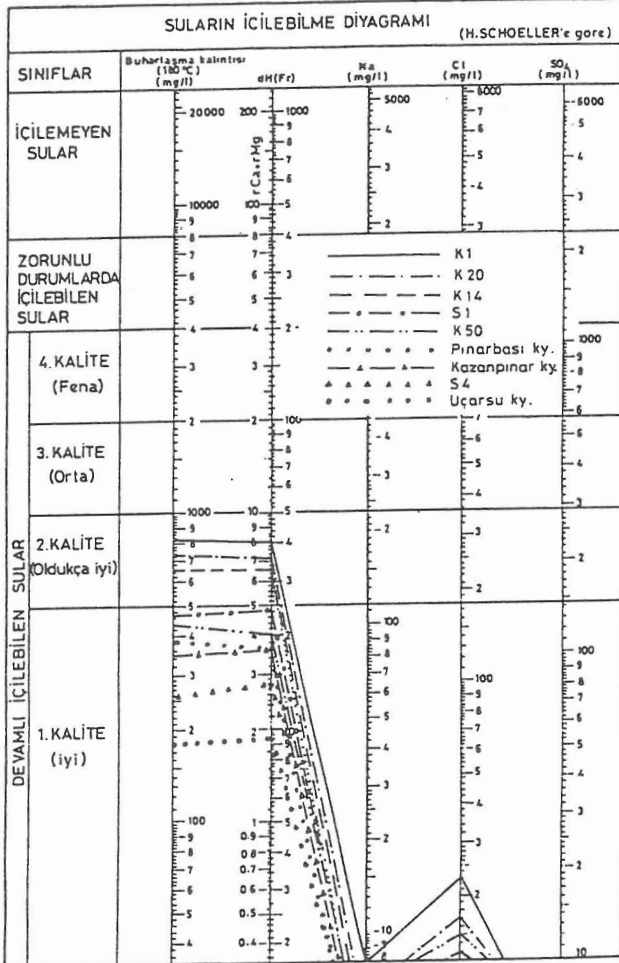
Piper Diyagramı

Suların % meq/l değerlerine göre çizilen Piper Diyagramında sular 5 nolu bölgede toplanmıştır. Bu bölgeye düşen sularda karbonat sertliği, karbonat olma-

Çizelge 1. Kayaçların kimyasal analiz sonuçları.

Örnek No.	Örnek yeri	CaO %	MgO %	SiO ₂ %	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ %	CO ₂ % (Ateş kaybı)
İk-1	İmircik KD	54.60	1.00	0.15	0.30	-	43.79
Kzk-1	Kuzuköy GD	55.70	0.00	0.22	0.10	0.28	43.44
Eld	İradkaya	35.70	16.51	0.31	0.10	0.21	47.02
Kzk-3	Katranlı Tepe	55.80	0.16	0.23	0.03	0.39	43.24
Bal	Balıkardağı	55.91	0.00	0.11	0.00	0.00	43.87

Table 1. Results of the chemical analyses of the samples.



Şekil 5. Suların içilebilme diyagramı.
Figure 5. Drinkable diagram of waters.

yan sertlikten fazla olup CaCO₃ ve MgCO₃'lü sulardır. Karbonat sertliği % 50 den fazladır (Şekil 4).

Suların içilebilme özellikleri

İnceleme alanında yer alan suların içilebilirlik özellikleri Schoeller'in içilebilirlik diyagramı (Şekil 5) ve Türk Standartlarına göre belirlenmiştir.

Schoeller Diyagramı'na göre alandaki bütün sular devamlı içilebilen sular grubunda yer alır. Bu kalitedeki sular da kendi aralarında 1., 2 ve 3. kalite olmak üzere gruplanmış olup, kaynak ve derin sondaj kuyularına ait sular 1. kalite, devamlı içilebilen sular grubun-

da, adi kuyulara ait sular ise genellikle 2. kalite sular grubundadır. TS (1966)'ya göre alandaki suların ana iyonları, pH ve genellikle içilebilme sınırları içerisinde yer alır. Suları TS (1966)'ya göre tam anlamıyla sınıflandırabilmek için suların fiziksel özellikleri ile suları kirletici ve zehirleyici maddelerin de araştırılması gerekir.

Suların Fransız sertlik derecesine göre yapılan sınıflamasında Yeşilgöl kaynağı, Yeşilgöl ve Uçarsu kaynağı "mema", alandaki diğer kaynaklar ve bazı kuyu suları "tatlı su", geri kalan adi kuyu, sığ ve derin sondaj kuyu suları ise genellikle "sert su" özelliğindedir (Çizelge 3).

Suların sulama suyu özellikleri

İnceleme alanındaki suların sulamaya uygun olup olmadıkları Wilcox ve ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramları yardımıyla saptanmıştır (Şekil 6a ve b). Bu diyagramlarda elektriksel iletkenlik (EC), sodyum yüzdesi (% Na) ve sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) kullanılmıştır.

$$SAR = \frac{rNa}{\sqrt{\frac{rCa + rMg}{2}}} \quad \%rNa = \frac{r(Na + K)}{r(Ca + Mg + Na + K)}$$

Wilcox diyagramına göre Yeşilgöl, Akçay Deresi ve Güğü Çayı suları "çok iyi ve iyi" özellikle kullanılabilir sulardır. Diğer kuyu suları "çok iyi ve iyi" ile "iyi kullanılabilir" özelliktedir.

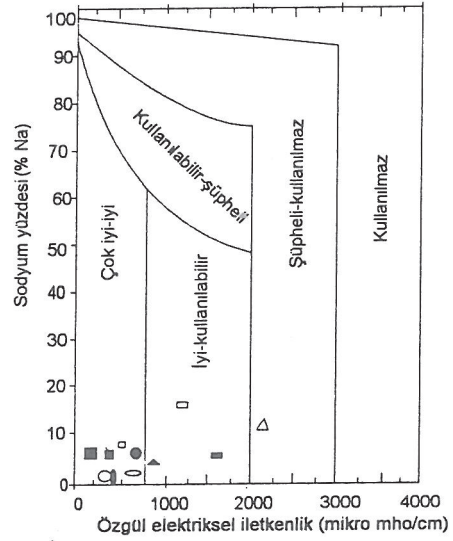
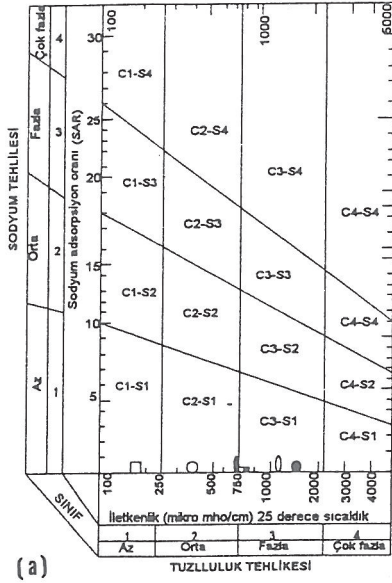
ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramına göre alandaki sular C1-S1, C2-S1 ve C3-S1 sınıfında yer alır (Şekil 6a).

Suların CaSO₄ ve CaCO₃'a doygunluğunun araştırılması

Suların CaSO₄ ve CaCO₃'a doygunluğunun araştırılması Yarı Logaritmik Schoeller Diyagramı ve yöntemi ile yapılmıştır (Schoeller, 1962). İyonik kuvvet Schoeller formülüne göre hesaplanmıştır.

$$\mu = 0.001 \left(\frac{rCl}{2} + \frac{rNa}{2} + \frac{rHCO_3}{2} \right) + rSO_4 + rCl + rMg$$

İnceleme alanında yer alan adi kuyu, sondaj kuyusu ve kaynaklardan alınan numelerin CaSO₄'a



(a)

(b)

Açıklama (Explanation)

- K1 □ K16 □ Akçay deresi
- K5 ○ K25 ○ Kazanpınar kaynağı
- K14

Açıklama (Explanation)

- ▲ K1 □ K25 ■ Akçay deresi
- K5 ▲ K26 ○ Kazanpınar kaynağı
- K14 ○ K50 ○ Kazanpınar kaynağı
- K16 ● S1 ■ S4

Şekil 6. ABD Tuzluluk Diyagramı (a) ve Wilcox Diyagramı (b).

Figure 6. USA Salinity Diagram (a) and Wilcox Diagram (b).

K14	Ca(HCO ₃) ₂ >Mg(HCO ₃) ₂ > MgSO ₄ =NaCl>MgCl ₂
(%)	49 44 3 3 1
K1	: Ca(HCO ₃) ₂ >Mg(HCO ₃) ₂ >NaCl >MgSO ₄ >MgCl ₂
(%)	63 28 4 3 2
K2	: Ca(HCO ₃) ₂ >Mg(HCO ₃) ₂ > MgSO ₄ >NaCl
(%)	58 37 3 2
K5	: Ca(HCO ₃) ₂ >Mg(HCO ₃) ₂ >NaCl >MgCl ₂ >MgSO ₄
(%)	79 9 7 3.5 1.5
K20	: Mg(HCO ₃) ₂ > Ca(HCO ₃) ₂ > MgSO ₄ >NaCl>MgCl ₂
(%)	47 46 3 2.5 1.5
K26	: Ca(HCO ₃) ₂ >Mg(HCO ₃) ₂ > NaCl> MgCl ₂ >MgSO ₄
(%)	38 33 14 13.5 1.5
K50	: Ca(HCO ₃) ₂ >Mg(HCO ₃) ₂ > NaCl> MgSO ₄ > MgCl ₂
(%)	65 22 7 4 2
S1	: Ca(HCO ₃) ₂ >Mg(HCO ₃) ₂ > MgSO ₄ >NaCl>MgCl ₂
(%)	65 26 4 3 2
S3	: Ca(HCO ₃) ₂ >Mg(HCO ₃) ₂ > NaCl= MgSO ₄ > MgCl ₂
(%)	59 36 2 2 1
S4	: Ca(HCO ₃) ₂ >Mg(HCO ₃) ₂ > NaCl> MgSO ₄ > MgCl ₂
(%)	67 19 6 5 3
Kazanpınar	
Kaynağı	: Ca(HCO ₃) ₂ >Mg(HCO ₃) ₂ > NaCl= MgSO ₄ > MgCl ₂
(%)	66 26 3 3 2

Çizelge 2. Sularda oluşabilecek tuzlar.

Table 2. Occurrences ability of salts in the waters.

doygunluğu araştırılmış olup tüm suların CaSO₄ çözümler (susatüre) özellikte oldukları tesbit edilmiştir. Bu özellik kaynak ve kuyu sularında adi kuyu sularına oranla daha fazladır.

Suların CaCO₃'a doygunluğu araştırıldığında adi kuyu suları CaCO₃ çözümler özelliktedir. Ancak CaCO₃'ca doygunluğa çok yakındır. Sondaj kuyu sularının doygunluğa (satüre) çok yakın oldukları