

## 2. İNCELEME ALANININ JEOLojİ VE HİDROJEOLojİSİ

İnceleme alanında Menderes masifine ait Paleozoyik yaşı metamorfik kayalar ile Pliyosen ve Kuvaterner'e ait çökel kayaları bulunmaktadır. Menderes masifinin metamorfikleri değişik kesitlerde tabandan tavana doğru; şistler, kuvarsit, mikaşist ve mermerlerle temsil edilmektedir. İnceleme alanında, Senozoyik yaşı (Alt Pliyosen) kireçtaşı, marn aralanmasından oluşan Kızılburun formasyonu, marn, kumtaşı aralanmasından oluşan Kolonkaya formasyonu, bloklu çakıtaşı; kumtaşı ve kireçtaşından oluşan (Üst Pliyosen) Tosunlar formasyonu yer almaktadır. Kuvaterner'de ise alüvyon, yamaç molozu ve travertenler gelişmiştir (Günay vd., 1994).

İnceleme alanında, hidrojeolojik özellikler gözönüne alınarak "geçirimli birim", "yarı geçirimli birim" ve "geçirimsiz birim" adları altında üç farklı hidrojeoloji birimi belirlenmiştir. Geçirimli birimler; Paleozoyik yaşı mermer, Mesozoyik yaşı kristalize kireçtaşı, traverten ve Kuvaterner yaşı alüvyondur. Pamukkale yöresinde yeraltısuyu taşıma ve iletme özelliğine sahip ve kalınlığın fazla olduğu bölümlerde karstik olan en önemli birim, Menderes Metamorfikleri içinde yer alan Paleozoyik yaşı mermerlerdir. Bu özelliklerinden dolayı, bu birim bölgede önemli ve yaygın bir akifer olarak tanımlanabilir. Bölgede Sazak formasyonu olarak adlandırılan kireçtaşı, killi kireçtaşı ve marn aralanmasından oluşan birim kalın kireçtaşı seviyeleri nedeniyle yarı geçirimli olarak adlandırılmıştır. İnceleme alanında temel kayacı oluşturan Menderes metamorfiklerine ait mikaşistler ve killi birimlerden oluşan Pliyosen çökeller hidrojeolojik açıdan geçirimsizdirler (Günay vd., 1994).

## 3. ARAZİ VE LABORATUVAR ÇALIŞMALARINDA KULLANILAN YÖNTEMLER

İnceleme alanında yer alan kaynaklardan 5 tanesi gaz çıkışı gözlenmesi nedeniyle örnekleme noktası olarak seçilmiştir. Bunlar; Pamukkale Motel, Pamukkale Jandarma, Lafonten Motel, Karahayıt ve Gölemezli kaynaklarıdır. Kaynak sularının bağlı bulunduğu yeraltısuyu sistemi, suların kökenleri ve içerdikleri gazlarla olan ilişkilerinin ortaya konabilmesi amacıyla, buhar örnekleme periyotlarında kimyasal analize yönelik örnekleme de yapılmıştır. İnceleme alanında bulunan sıcak su kaynaklarından kimyasal analize yönelik olarak yapılan örnek toplama, ölçüm ve analiz işlemleri uluslararası standartlara (APHA et al., 1989) uygun olarak yapılmıştır. Suların pH, elektriksel iletkenlik (EC) ve sıcaklık (T) gibi özellikleri kaynak başında ölçülmüştür.

Örnekleme çalışması sırasında, gaz analizine yönelik olarak buhar ve su örnekleri toplanmıştır. Buhar örnekleri, 50 ml'lik gaz sızdırmaz cam şırıngalar kullanılarak alınmıştır. Bu cam şırıngaların ucunda örneğin şırınga içerisinde hapsedilmesine yardımcı olan üç yollu bir musluk bulunmaktadır. Buhar örneklerinin alınması sırasında, kaynakların çıkışı hava karışımını engellemek amacıyla, bir huni ile kapatılmış ve huninin etrafı cam macunu ile sıvanarak izole bir ortam yaratılmıştır. Huninin içinde kalan hava şırınga yardımıyla boşaltılmış ve daha sonra huninin içinde biriken buhar şırıngaya alınmıştır. Su örnekleri ise, 250 ml'lik polietilen şişelere alınmıştır. Bu örneklerin içinde çözünmüş halde bulunan gazların serbest hale getirilmesi amacıyla özel olarak yaptırılan bir ekstraksiyon sistemi kullanılmıştır. Gaz analizleri Varian 3400 GC Gaz Kromatografi cihazı ile yapılmıştır. Analiz sonucunda % hacim değerleri elde edilmiştir. Örnekleme ve analizler sırasında meydana gelebilecek hata payının ortaya konması amacıyla yapılan çalışmalar sonucunda, %3.2'lik bir hatanın meydana gelebileceği belirlenmiştir.

## 4. SU KİMYASI ÇALIŞMALARI

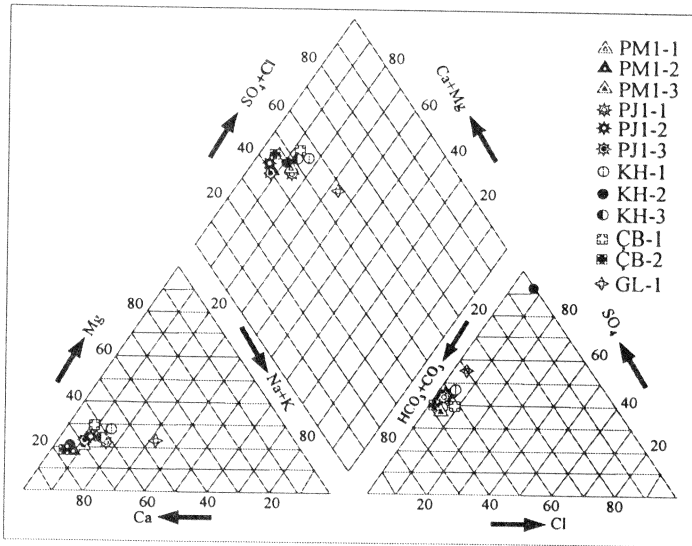
İnceleme alanında yer alan sıcak ve mineralli su kaynaklarının hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, su kimyası analizlerine yönelik su örnekleri de toplanmıştır. Örnekleme periyotları, Mayıs 1994, Aralık 1994 ve Mayıs 1995 dönemlerini kapsamaktadır.

İnceleme alanında yer alan kaynaklardan toplanan su örneklerinin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 1'de yer almaktadır. Kaynaklardan boşalan suların bağlı iyon içerikleri ve hidrokimyasal evrimleri konusunda bilgi veren piper diyagramına göre kaynak sularının aynı bölgede yer aldığı görülmektedir. Pamukkale-Karahayıt sıcak ve mineralli su kaynakları kimyasal analiz sonuçları ile katyonlar için hazırlanan diyagramda Ca,

anyonlar için hazırlanan diyagramda ise  $\text{HCO}_3\text{-CO}_3$  iyonlarının hakim durumda olduğu görülmektedir. Suların genel olarak kalsiyum bikarbonatlı sular sınıfına girdiği belirlenmiştir (Şekil 2).

Çizelge 1. Pamukkale-Karahayıt jeotermal alanındaki kaynakların kimyasal analiz sonuçları.

Örnek No	Lokasyon	Tarih	T °C	EC $\mu\text{S/cm}$	pH	Na meq/l	K meq/l	Ca meq/l	Mg meq/l	$\text{HCO}_3$ meq/l	Cl meq/l	$\text{SO}_4$ meq/l
PM1-1	Pamukkale Motel	09.05.94	35.8	3000	6.46	2.71	0.96	21.33	7.20	19.60	0.45	14.49
PM1-2	Pamukkale Motel	12.12.94	34.5	2800	6.20	1.71	1.28	25.14	6.56	20.40	0.40	13.89
PM1-3	Pamukkale Motel	03.05.95	35.0	2800	6.01	1.64	1.27	24.89	7.64	19.80	0.50	15.16
PJ1-1	Pamukkale Jandarma	09.05.94	35.5	3000	6.52	3.81	2.17	22.45	7.81	19.91	1.16	15.16
PJ1-2	Pamukkale Jandarma	12.12.94	35.0	2800	6.20	1.73	0.87	25.00	6.59	20.60	0.30	13.32
PJ1-3	Pamukkale Jandarma	03.05.95	35.5	2550	6.06	2.12	1.30	24.04	7.79	19.60	0.50	15.16
KH-1	Karahayıt	09.05.94	56.0	4450	6.81	4.35	2.17	21.71	9.05	20.20	0.40	18.75
KH-2	Karahayıt	12.12.94	53.0	4100	6.20	3.05	1.02	26.20	8.02	21.55	0.65	16.40
KH-3	Karahayıt	03.05.95	55.0	3750	5.85	2.63	1.79	25.65	0.32	20.40	0.80	19.21
ÇB-1	Çukurbağ	09.05.94	55.0	4950	6.99	3.15	1.09	24.57	9.46	24.60	0.90	17.52
ÇB-2	Çukurbağ	03.05.95	55.0	4700	6.38	1.90	1.19	30.42	0.50	23.70	0.90	17.43
GL-1	Gölemezli	03.05.95	49.4	4120	6.06	14.94	2.68	24.72	12.94	22.79	2.20	31.31



Şekil 2. Kaynak sularının kimyasal analiz sonuçlarının Piper diyagramı ile değerlendirilmesi

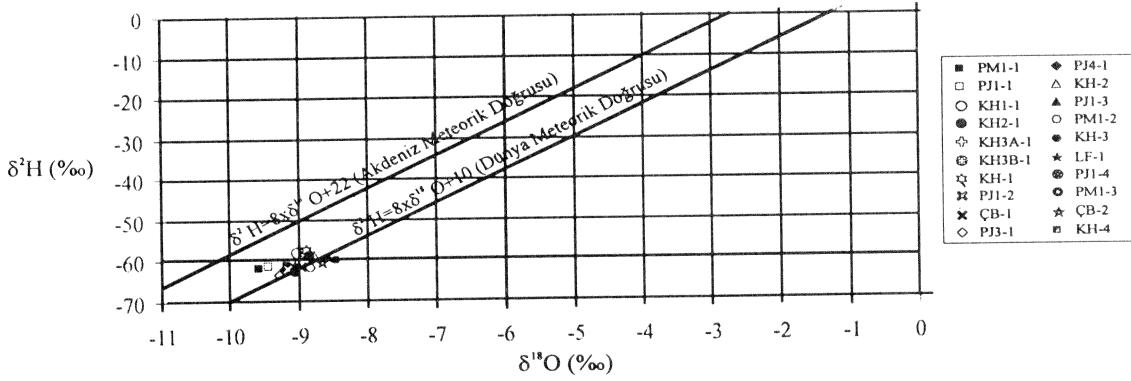
## 5. İZOTOP ÇALIŞMALARI

Pamukkale çevresindeki sıcak su kaynaklarının beslenme koşulları, birbirleri ile olan ilişkileri ve beslendikleri akifer sistemleri boyunca etkilendikleri fiziksel süreçlerin aydınlatılması amacıyla, çeşitli noktalardan alınan su örneklerinin izotop içerikleri ve yine inceleme alanında çeşitli araştırmacılar tarafından yaptırılan izotop analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Su örneklerinin izotopik analiz sonuçları Çizelge 2'de yer almaktadır (Günay vd., 1994).

Pamukkale, Karahayıt ve Gölemezli sıcak su kaynaklarının Oksijen-18/Döteryum ilişkisi Şekil 3'de görülmektedir. Pamukkale ve Karahayıt kaynaklarına ait sular söz konusu grafik üzerinde, dünya üzerindeki yağışların ağırlıklı ortalama bileşimini yansıtan +10 Döteryum fazlası değerli "Dünya Meteorik Doğrusu" ile Akdeniz yöresindeki yağışların ortalama bileşimini veren +22 Döteryum fazlası değerli "Akdeniz Meteorik Doğrusu" arasında yer almaktadır. Grafikten de görüldüğü gibi söz konusu örneklerin meteorik doğruya yakınlık göstermesi bu suların meteorik kökenli hidrotermal sular olduğu sonucunu ortaya koymaktadır.

Çizelge 2. Pamukkale-Karahayıt sıcak su kaynaklarının izotopik içerikleri (Günay vd., 1994)

Örnek No	Örnekleme Noktası	Tarih	$^{18}\text{O}$ (‰)	$^2\text{H}$ (‰)	$^3\text{H}$ (TU)
PM1-1	Pamukkale Motel Kaynağı	17.11.1993	-9.42	-59.5	3.3
PJ1-1	Jandarma Kaynağı	17.11.1993	-9.29	-59.0	4.1
KH1-1	Kırmızı Su Kaynağı	17.11.1993	-8.87	-56.4	0.0
KH2-1	Karahayıt Kuyu	17.11.1993	-8.70	-57.0	0.6
KH3A-1	Karahayıt Kuyu	14.06.1993	-8.79	-55.9	0.5
KH3B-1	Karahayıt Kuyu	17.11.1993	-8.74	-56.1	0.0
KH-1	Kırmızı Su Kaynağı	14.06.1993	-8.74	-56.4	0.2
PJ1-2	Jandarma Kaynağı	20.11.1994	-9.00	-59.8	4.0
ÇB-1	Çukurbağ	20.11.1994	-8.81	-59.2	0.8
PJ3-1	Jandarma Kaynağı	20.11.1994	-9.13	-61.2	4.3
PJ4-1	Jandarma Kaynağı	20.11.1994	-8.94	-59.3	3.8
KH-2	Karahayıt	20.11.1994	-8.65	-57.1	0.8
PJ1-3	Jandarma Kaynağı	09.12.1994	-8.91	-59.0	4.0
PM1-2	Pamukkale Motel Kaynağı	09.12.1994	-8.87	-59.5	4.3
KH-3	Karahayıt	09.12.1994	-8.32	-57.9	0.0
LF-1	Lafonten Motel Kaynağı	09.12.1994	-8.40	-57.6	0.7
PJ1-4	Jandarma Kaynağı	26.02.1995	-8.87	-59.6	4.5
PM1-3	Pamukkale Motel Kaynağı	26.02.1995	-9.06	-58.9	4.1
ÇB-2	Çukurbağ	26.02.1995	-8.52	-58.6	0.3
KH-4	Karahayıt	26.02.1995	-8.68	-59.5	0.9



Şekil 3. İnceleme alanında yer alan kaynakların  $^{18}\text{O}$ -D ilişkisi

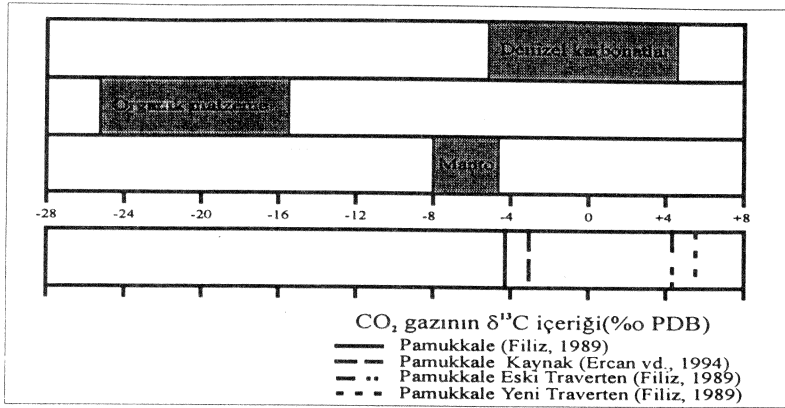
Çizelge 2'de verilen trityum değerleri incelendiğinde, Pamukkale ve Karahayıt alanlarına ait kaynakların birbirinden farklı değerler aldığı görülmektedir. Özellikle Karahayıt grubunda yer alan suların bir bölümünün Trityum içeriği 0 TU dolayındadır, eğer ortalama Trityum hata değerinin  $\pm 0.5$  TU olduğu göz önüne alınırsa bu suların Trityum içermediği düşünülebilir. Bu durumda, Karahayıt sularının belirgin olarak Pamukkale sularından daha uzun bir süre yeraltında kaldıkları söylenebilir.

Önceki araştırmacılar tarafından yaptırılan izotop analizleri sonucunda belirlenen karbondioksit gazı karbon izotopik oranları ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ) derlenerek Çizelge 3'de gösterilmiştir. Şekil 4'de, ölçülen  $^{13}\text{C}$  izotop değerlerine göre suların temas ettiği kayaç grupları görülmektedir. Pamukkale'den alınan örneklerin bu grafikte denizel karbonatlar grubunda yer aldığı belirlenmiştir. Ancak daha kesin bir yargıya varmak için  $^{13}\text{C}$  izotop analizleri en az iki yıl boyunca yaptırılarak sonuçları değerlendirilmelidir.

Çizelge 3. Pamukkale sıcak ve mineralli su kaynaklarına ait  $^{13}\text{C}$  verileri

Örnek Adı	$^{13}\text{C}$ ‰ (PDB)
Pamukkale* <sup>1</sup>	-4.10
Pamukkale Yeni Traverten <sup>1</sup>	+5.30
Pamukkale Eski Traverten <sup>1</sup>	+4.13
Pamukkale Su Kaynağı <sup>2</sup>	-3.50
Pamukkale Su Kaynağı* <sup>2</sup>	-3.49

\*:  $\text{CO}_2$  gazının izotopik analizi; 1: Filiz, 1989; 2: Ercan vd., 1994



Şekil 4. <sup>13</sup>C izotop verilerine göre suların temas ettiği kayaç grupları (Organik malzeme aralığı için <sup>13</sup>C değerleri, Denies, 1980'den; diğer değerler Barnes vd., 1978'den alınmıştır)

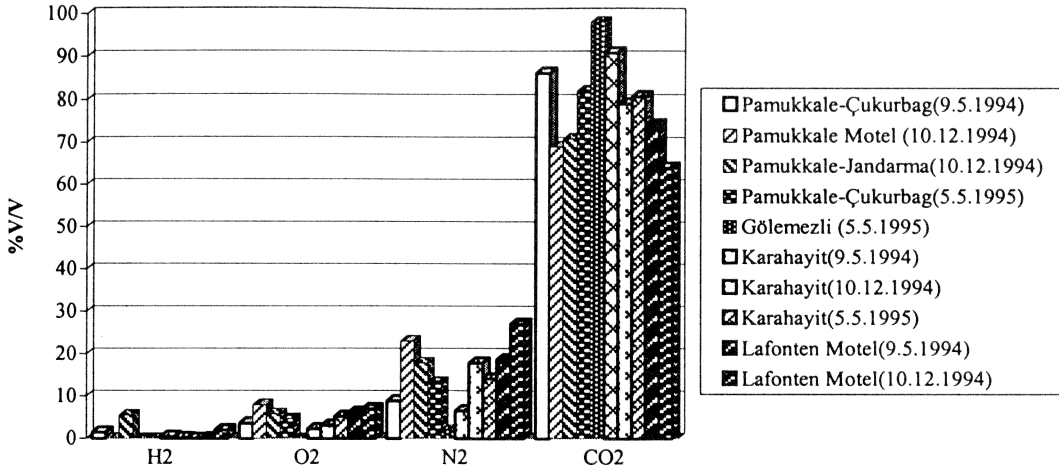
## 6. GAZ ANALİZLERİ İLE ELDE EDİLEN SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

İnceleme alanlarından alınan su ve buhar örneklerinde, başlıca CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub> gazlarının varlığı belirlenmiştir. Gazların hacimsel yüzdeleri incelendiğinde, CO<sub>2</sub> gazının en yüksek oranda, bunu takiben sırasıyla N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub> gazlarının daha düşük oranlarda bulunduğu görülmektedir (Çizelge 4).

Pamukkale ve çevresinden alınan buhar örneklerinin analizi sonucunda CO<sub>2</sub> gazının %69-86, Karahayıt'ta %66-90, Gölemezli'de ise %98 civarında olduğu belirlenmiştir (Şekil 5). Ercan vd. (1994), Pamukkale'de yaptırdıkları analiz sonucunda gazların %80'inin CO<sub>2</sub> gazı olduğunu bildirmiştir.

Çizelge 4. Pamukkale-Karahayıt jeotermal alanındaki kaynaklardan alınan buhar ve gaz örneklerinin gaz kompozisyonu (konsantrasyonlar % hacim olarak verilmiştir, +: buhar örnekleri; \*:su örnekleri).

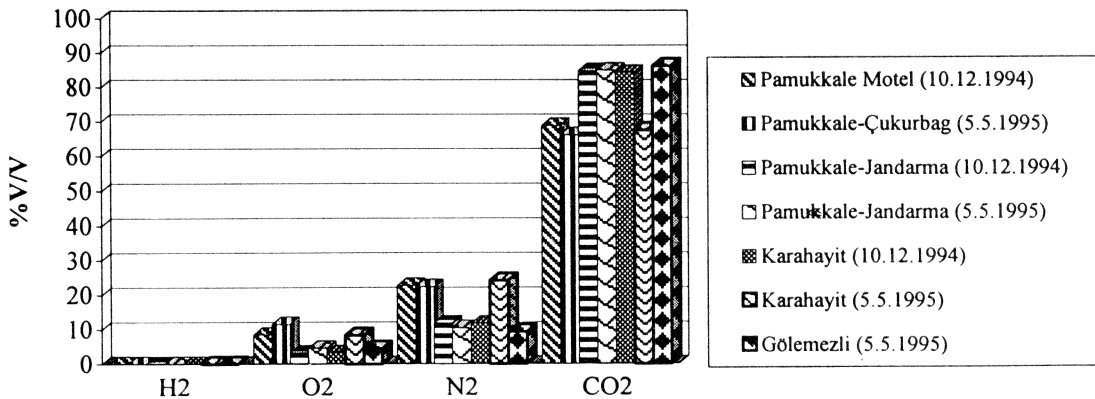
Örnekleme Tarihi	Örnekleme Alanı	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>
09.05.94	Pamukkale-Çukurbağ <sup>+</sup>	86.13	8.87	4.99	0.00
" "	Karahayıt1 <sup>+</sup>	90.81	6.50	2.68	0.00
" "	Karahayıt2 <sup>+</sup>	74.75	18.63	6.17	0.00
10.12.94	Pamukkale Motel (PM1) <sup>+</sup>	69.00	23.00	8.00	0.00
" "	Pamukkale-Jandarma(PJ1) <sup>+</sup>	70.90	17.80	5.80	5.50
" "	Karahayıt1 <sup>+</sup>	85.14	11.09	3.76	0.00
" "	Karahayıt2 <sup>+</sup>	79.08	17.87	3.06	0.00
" "	Karahayıt3 <sup>+</sup>	70.50	20.00	9.50	0.00
" "	Lafontene M. (Karahayıt) <sup>+</sup>	66.00	27.00	7.00	0.00
05.05.95	Pamukkale-Çukurbağ1 <sup>+</sup>	82.11	13.33	4.66	0.00
" "	" " 2 <sup>+</sup>	70.62	23.50	6.50	0.00
" "	Karahayıt <sup>+</sup>	80.70	14.15	5.15	0.00
" "	Gölemezli <sup>+</sup>	98.94	0.00	1.95	0.00
10.12.94	Pamukkale Motel(PM1)*	68.79	22.74	8.46	0.05
" "	Pamukkale-Jandarma (PJ1)*	84.88	11.79	3.52	0.04
" "	Karahayıt*	84.35	11.76	3.31	0.06
" "	Lafontene Motel*	86.20	9.30	4.50	0.05
05.05.95	Pamukkale-Çukurbağ*	66.13	22.36	4.66	0.00
" "	Pamukkale-Jandarma*	85.00	10.40	4.60	0.00
" "	Karahayıt*	67.52	24.15	8.32	0.00
" "	Gölemezli*	71.65	23.02	5.32	0.00



Şekil 5. Pamukkale-Karahayit çevresindeki kaynaklardan alınan buhar örneklerinin gaz konsantrasyonlarının karşılaştırılması

Analiz sonucunda örnekleme alanlarında CO<sub>2</sub> gazının farklı miktarlarda çıkması örneklerin toplandığı kaynakların çıkış mekanizması ile de yakından ilgilidir. Pamukkale Motel ve Pamukkale Jandarma kaynaklarında örnekler havuz içinde gözlenen gaz kabarcıklarından alınmıştır. Karahayit'ta örnekler yoğun traverten çökelişi gözlenen doğal bir havuzun çeşitli noktalarında gözlenen gaz çıkışlarından toplanmıştır. Gölemezli'de ise örnekler kaynağın çıkış ağzından alınmıştır, yine çıkış ağzının etrafında yer yer traverten çökelişi gözlenmektedir. Karahayit ve Gölemezli alanında CO<sub>2</sub> gazının Pamukkale'den daha yüksek miktarda bulunması, örnekleme noktasında gözlenen traverten çökelişi ile açıklanabilir. Bilindiği gibi traverten çökelişi alanlarında CO<sub>2</sub> gazı büyük oranda serbest hale geçmektedir. Bunun yanısıra, izotop çalışmaları sonucunda elde edilen veriler Karahayit sularının Pamukkale sularına oranla daha derin dolaşım olduğunu ortaya çıkarmıştır ki bu durumda mantodan meydana gelecek gaz karışımı daha fazla miktarda olmalıdır.

İnceleme alanından alınan su örneklerinden ekstrakte edilen, çözünmüş gazların analiziyle elde edilen sonuçlar da Çizelge 4'de yer almaktadır. Gazların hacimsel yüzdelerinin karşılaştırıldığı grafik ise Şekil 6'da görülmektedir. Grafikte de görüldüğü gibi CO<sub>2</sub> gazı yüksek miktarda bulunan bir gazdır. Bunu N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub> gazları takip etmektedir. Genel olarak buhar örnekleri ile su örneklerinin analiz sonuçlarına bakıldığında gazların hacimsel yüzdeleri arasında paralellik görülmektedir (Selçuk, 1996).



Şekil 6. Pamukkale-Karahayit çevresindeki kaynaklardan alınan su örneklerinin gaz konsantrasyonlarının karşılaştırılması

<sup>13</sup>C verilerinin değerlendirilmesi sonucunda suların denizel karbonatlı kayalarla temasta bulunduğu belirlenmiştir. Bu veriler ışığında, sularda bulunan gazlardan özellikle CO<sub>2</sub> gazının denizel karbonatlı kayaların çözünmesi sonucu ortaya çıktığı düşünülmektedir. Buna ek olarak, sularda bulunan N<sub>2</sub> gazı atmosferik temastan kaynaklanabilir. Ercan ve Ölmez (1994), Batı Anadolu'da bulunan sıcak ve mineralli su

kaynaklarında N<sub>2</sub>'deki azot izotop oranını ölçtürmüş ve havadaki doğal azot gazının kapsamına çok yakın olduğunu belirlemişlerdir.

## 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İnceleme alanında yapılan su kimyası çalışmaları, bölgede yer alan suların genel olarak kalsiyum bikarbonatlı sular sınıfına girdiğini göstermektedir. Örnekleme noktalarından toplanan buhar ve su örneklerinde, başlıca CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub> gazlarının varlığı belirlenmiştir. Oksijen-18 ve trityum analiz sonuçlarının değerlendirilmesi sonucunda ise, Pamukkale ve Karahayıt kaynaklarına ait suların iki ayrı grup oluşturduğu ve Karahayıt sularının belirgin olarak Pamukkale sularından daha uzun bir süre yeraltında kaldığı saptanmıştır. Örnekleme noktalarından toplanan buhar ve su örneklerinde, başlıca CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub> gazlarının varlığı belirlenmiştir. Gazların hacimsel yüzdeleri incelendiğinde, CO<sub>2</sub> gazının en yüksek oranda, bunu takiben sırasıyla N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub> gazlarının daha düşük oranlarda bulunduğu görülmektedir. Bu gazların kompozisyonları; karbondioksit gazı için buhar örneklerinde % 66-98, su örneklerinde % 66-86; azot gazı için buhar örneklerinde % 0-27, su örneklerinde % 9.3-24.15; oksijen gazı için buhar örneklerinde % 1.95-9.5, su örneklerinde % 3.31-8.46; hidrojen gazı için ise buhar örneklerinde % 0-5.5 ve su örneklerinde % 0-0.06 arasında değişen değerler almaktadır. <sup>13</sup>C izotopik analizlerinin değerlendirilmesi, Pamukkale sıcak sularında bulunan CO<sub>2</sub> gazının, denizel karbonatlı kayaların çözünmesi sonucu meydana geldiğini göstermektedir. Bu çalışmada Pamukkale ve çevresinde bulunan kaynaklar için elde edilen sonuçlar, diğer çalışmalarla da desteklenmiş olup, termal suların genellikle bölgesel tektoniğe uygun olarak derin dolaşım olduğu ve çeşitli oranlarda sığ yeraltı sularıyla karışarak yüzeye ulaştıkları, bu arada bölgedeki Paleozoyik mermer ve Mesozoyik yaşlı kireçtaşı gibi denizel kökenli karbonatlı kayalarla önemli ölçüde temasta buldukları belirlenmiştir.

## 8. YARARLANILAN KAYNAKLAR

- APHA-AWWA and WPCF, 1989. Standard Methods for the Water and Waste Water (17th Edition). American Public Health Association, 1134, Washington, USA.
- Barnes, I., Irwin, W.P. and White, D.E., 1978. Global Distribution of Carbon Dioxide Discharges and Major Zones of Seismicity. U.S. Geological Survey Water Resources Investigations 78-39, Open File Report, 12 pp.
- Deines, P., 1980. The Isotopic Composition of Reduced Organic Carbon. In Handbook of Environmental Isotope Geochemistry 1, (Edited by Fritz, p., and Fontes, J.C.) pp. 329-406. Elsevier, Amsterdam.
- Ercan, T., ve Ölmez, E., 1994. Kuzey ve Batı Anadolu'da Sıcak ve Mineralize Sular İle İçerdikleri Gazların Kimyasal ve İzotopik Özellikleri. TJK Enerji Bülteni, 1, 2, 10-20.
- Ercan, T., Matsuda, J., Nagao, K. ve Kita, İ., 1994. Anadolu'daki Sıcak Sularda Bulunan Doğal Gazların İzotopik Bileşimleri ve Karbondioksit Gazının Jeotermal Açından Önemi. Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri I, 197-207, 17-22 Ekim 1994, İzmir.
- Filiz, Ş., 1989. Isotopic Analyses of CO<sub>2</sub> and Travertine in the Denizli Geothermal Province (West Anatolia). Seminar on New Developments in Geothermal Energy, Ankara, Turkey.
- Günay, G., Şimşek, Ş., Keloğlu, N., Ekmekçi, M., Elhatip, H., Şişman, M., Dilsiz, C., Güner, N., Öncel, E., 1994. Pamukkale Koruma Amaçlı İmar Planında Öngörülen Travertenlerin Korunması ve Geliştirilmesi İçin Proje Yapım Hizmetleri. Hacettepe Üniversitesi-Kültür Bakanlığı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Genel Müdürlüğü Final Raporu.
- Selçuk, B., 1996. Pamukkale ve Kızılcahamam Jeotermal Alanlarından Çıkan Gazların Gaz Kromatografi Yöntemiyle İncelenmesi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Mühendislik Tezi, 98s., Ankara.

## ANTALYA TRAVERTEN PLATOSU TOPRAK ÖRTÜSÜNÜN YERALTISUYU KİRLİLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

### ASSESSMENT OF SOIL COVER PROPERTIES IN RELATION TO GROUNDWATER POLLUTION IN ANTALYA TRAVERTINE PLATEAU

Aylin BAŞAL ve Mehmet EKMEKÇİ, Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji (Hidrojeoloji) Müh. Böl., 06532, Beytepe, Ankara

#### ÖZET

Karstik alanlarda, doymun olmayan bölgenin görel olarak kalın olmasına karşın süzülmenin daha hızlı bir şekilde meydana gelmesi, doğal arındırma süreçleri açısından olumsuz bir durum oluşturmaktadır. Bu nedenle, doğal arındırma kapasitesi yüksek olan toprak zonu, karstik akiferler için bir koruyucu örtü görevi görmektedir. Karstik bir akifer özelliği gösteren Antalya travertenlerinin önemli bir bölümünde gerçekleştirilen tarımsal amaçlı gübreleme ve ilaçlama faaliyetleri, akifer için alansal bir kirletici kaynağı oluşturmaktadır. Bu çalışma kapsamında, traverten akiferinin üzerinde bulunan toprakların doğal arındırma kapasitesi belirlenmiştir. Çalışma alanında bulunan alüvyon ve laterit gibi farklı toprakların farklı arındırma kapasitelerine sahip olduğu, bu nedenle beslenme bölgesinde arazi kullanımı planlanmasında bu bilgilerin dikkate alınması gerektiği ortaya konmuştur.

#### ABSTRACT

In karstic areas, the rapid infiltration has an adverse effect on the natural attenuation capacity although the vadose zone is relatively thick. For this reason, the soil zone which may have a high natural attenuation capacity acts as a protective cover for karstic aquifers. A significant part of the karstic Antalya travertines is cultivated requiring an intensive use of fertilizers and pesticides which form a nonpoint contamination source for the aquifer. In this study, the natural attenuation capacity of the soil zone on the Antalya travertine aquifer was determined. Different type of soils such as alluvial and lateritic were differentiated in the study area and it was concluded that the natural attenuation capacity varies in the study area in accordance with the soil type. Therefore, any planning related to land-use in the area should consider the existence, type and natural attenuation capacity of the soil covering the recharge area and the aquifer itself.

#### 1.GİRİŞ

Bir ülkenin su kaynakları açısından zenginliği, sahip olduğu potansiyelin yanısıra su kaynaklarının kalitesi (kullanılabilirliği) ile ölçülmektedir. Türkiye, genel kanının aksine su kaynakları potansiyeli açısından zengin sayılabilecek bir ülke değildir. Öte yandan hızlı nüfus artışına bağlı olarak kentleşme ile birlikte su kaynaklarını tehdit eden kirletici kaynaklarda da bir yoğunlaşma ve yaygınlaşma yaşanmaktadır. Su kaynaklarını tehdit eden ve genel olarak organik ve inorganik şeklinde iki grup altında ele alınan kirleticiler evsel, tarımsal ve endüstriyel kaynaklı olabilirler. Kirlenmeye karşı daha

duyarlı olan akarsu, göl, gölet gibi yüzeysuyu kaynaklarının kirletici kaynakları ile ilişkileri doğrudan gözlenebilmekte, bu nedenle korumaya ilişkin olarak görece daha kolay önlemler alınabilmektedir. Yeraltısuyu kaynaklarının kirlenme süreci ise çok daha farklı ve karmaşık bir yapıya sahiptir. Yeraltısularını tehdit eden kirletici kaynakları noktasal olabildiği gibi alansal da olabilmektedir. Karstik alanlarda hem noktasal hem de alansal kaynakların ortak etkisi yaygındır.

Son yıllara kadar, yeraltısuyu kalitesi ile ilgili gözlemler daha çok doymuş bölge ile sınırlı kalmıştır. Bu gözlemler sonucunda, yeraltısuyunun kirlenmesinin önlenmesinden çok, kirli olan yeraltısuyunun kirlilik derecesi belirlenebilmektedir. Kirlenmiş olan bir akiferin temizlenerek yeniden kullanıma sunulabilmesi uzun zaman ve yüksek maliyetler gerektirmektedir. Yeraltısuyunun kirlenmiş olduğunun saptandığı durumlarda ise kirlilik kaynaklarının ortadan kaldırılması için genellikle çok geç kalınmış olmaktadır. Bu nedenle, yeraltısuyu kirliliği çalışmalarında mevcut durumun belirlenmesinden çok, yeraltısuyunun kirlenebilirliğine yönelik araştırmalar yoğunlaşmaktadır. Bu bağlamda, kirleticinin yeraltısuyu bölgesine ulaşmadan önce hareket ettiği vadoz bölge iki özelliğinden ötürü büyük bir önem taşımaktadır. Vadoz bölgede, kirleticinin yeraltısuyuna taşınma süreci denetlenmekte ve derişimine etki eden süreçlerin önemli bir kısmı bu zonda meydana gelmektedir.

Belediyelerin katı çöp alanları, atık su depolama alanları, kanalizasyon bulunmayan yerleşim birimlerindeki foseptik çukurlar, sanayi sitelerinin atıklarının biriktirildiği alanlar, tarımsal alanlarda gübrelemenin veya bitki atıklarının yığıldığı bölgeler noktasal kirletici alanlarını oluştururlar. Tarımsal alanlarda gübreleme veya ilaçlama yoluyla kirlenme alansal bir tehdit oluşturur. Noktasal olmayan kirleticilere göre daha kısa süreli ve izole edilmeleri daha kolay olan bu kaynakların insan sağlığına verebilecekleri zararlar hidrojeolojik önlemlerle engellenebilir. Alansal kaynaklı kirletici madde genellikle nitrattır. Gübrelemenin alansal olarak yapılması nedeniyle kirleticinin izole edilmesi ve noktasal kirleticiler için alınan önlemler bu durumlarda etkili olmamaktadır. Özellikle alansal kirletici kaynakların yeraltısuyuna etkisi, süzülme sırasında geçirdiği fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerle denetlenmektedir. Bu nedenle, kirletici taşıyan ve yeraltına süzülen suların yüzeyaltındaki hareketlerinin iyi tanımlanması gerekmektedir.

## 2. YERALTINDA KIRLETİCİ TAŞINIMI

Kirleticiler, yeraltısuyuna ulaşmadan önce, suya doymuş olmayan bir bölgeyi katederler. Vadoz bölge olarak da bilinen bu bölgede gerek yeraltısuyu akımı gerekse kirletici taşınımı doymuş ortamdakinden farklı şekillerde meydana gelmektedir. Kirletici derişimine etki eden başlıca fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerin daha çok doymuş olmayan bölgede meydana gelmesine rağmen Türkiye’de bugüne kadar yeraltısuyu kirliliğine yönelik çalışmalar doymuş zon için yapılmıştır.

Kimyasal tepkime, radyoaktif bozunma ve biyolojik dönüşüm dışında kirletici taşınımı ve dönüşümü yeraltında genel olarak adveksiyon, hidrodinamik dispersiyon, tutulma ve bozunma süreçleri ile gerçekleşmektedir. Yeraltısuyunda kirletici taşınımını tanımlayan genel diferansiyel denklem

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -V_x \frac{\partial C}{\partial x} + D_L \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - \underbrace{\frac{B_d}{\theta} \frac{\partial(K_d C)}{\partial t}}_{\text{kinetik tutulma}} - \underbrace{\frac{\ln 2}{\lambda} C}_{\text{radyoaktif bozunma}} \quad [1]$$

- C = sıvı fazdaki çözelti derişimi  
t = zaman  
D<sub>L</sub> = boyuna dispersiyon katsayısı  
V<sub>x</sub> = ortalama doğrusal yeraltısuyu hızı  
B<sub>d</sub> = birim hacim ağırlık  
θ = hacimsel nem içeriği

şeklinde ifade edilir (Bear, 1979).



Yeraltısuyu akımı ile çözünmüş halde taşınan kirletici, çözeltinin yeraltısuyu içerisindeki derişimine ve yeraltısuyu akım özelliklerine bağlıdır. Bu olay advectif taşınım veya konveksiyon olarak tanımlanır ve taşınımı tanımlayan diferansiyel denklem

$$-V_x \frac{\partial C}{\partial x} \quad [2]$$

terimi ile ifade edilir. Çözünmüş maddenin yeraltısuyu içerisindeki taşınımı her zaman aynı hızda gerçekleşmez. Ortamın gözenekliliğine bağlı olarak farklı hızlara sahip ve farklı akım yollarını izleyen taşınımın gerçekleşir. Yeraltısuyu içerisinde kirleticinin derişiminde akım yollarına bağlı olarak görülen bu farklılıklar dispersiyon olayı ile açıklanmaktadır. Bunun yanında kirleticinin konuma bağlı olarak farklı derişimlere sahip olması nedeniyle derişim gradyanı da kirleticinin derişik olduğu noktadan seyreltik olduğu noktaya doğru hareket etmesini sağlar. Bu olay ise difüzyon olarak adlandırılır ve Fick yasası ile ifade edilir (Fetter, 1993). Taşınım denklemindeki 2. terim bu iki olayı kapsayan hidrodinamik dispersiyon ile taşınımı ifade etmektedir. Vadoz bölge, yeryüzeyinden su tablasına kadar olan ve toprak zonunu da içine alan bölgeyi kapsar. Yeraltısuyuna katılmadan önce herhangi bir maddenin (kirleticinin) vadoz bölgedeki hareketi ve bu bölgede bulunduğu süre boyunca geçirdiği fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerin önceden tanımlanması, yeraltısuyu kirliliği konusunda ileriye dönük kestirimler yapılmasına olanak vermektedir.

Doymun olmayan bölgedeki yüzeyaltısuyu akımı doymun bölgede meydana gelen yeraltısuyu akımından farklı kuvvetler tarafından denetlenmektedir. Bu bölgede su ve kirletici hareketi üzerinde etkili olan kuvvet, ortamı oluşturan katı tanelerin yüzeylerinde oluşan gerilimden kaynaklanan negatif basınç yüküdür. Negatif basınç yükü, doymun olmayan zon profilindeki nem içeriği dağılımına bağlıdır. Nem içeriği arttıkça ortamın hidrolik iletkenliği artmakta, dolayısıyla kirletici daha hızlı hareket edebilmektedir. Nem içeriğinin su tablasından yüzeye doğru uzaklaştıkça azalması iletkenliğin düşmesine bu nedenle, kirleticinin advectif taşınımının yavaşlamasına neden olmaktadır. Nem içeriği düşük olan kesimde kirletici daha uzun süre kaldığından buralarda kimyasal ve biyolojik dönüşümlerin baskın olduğu arındırma süreçleri daha etkili olmaktadır.

### 3. ANTALYA TRAVERTENİ TOPRAK ZONUNDA ARINDIRMA SÜREÇLERİ

Kirleticinin özellikle kimyasal ve biyolojik süreçlerle değişim ve dönüşümünün büyük bir kısmı vadoz bölgenin en üst kesimini oluşturan toprak zonunda gerçekleşmektedir. Toprak zonu, genel olarak kirletici üzerinde filtreleme, tutulma-bırakılma (adsorption-desorption), iyon değişimi ve mikrobiyolojik faaliyetlerle sahip olduğu arındırma kapasitesi ile yeraltısuyu kalitesini doğrudan etkilemektedir. Bu etkiler kirletici türü ve derişimine olduğu kadar ortamın jeohidrolojik özelliklerine de bağlıdır.

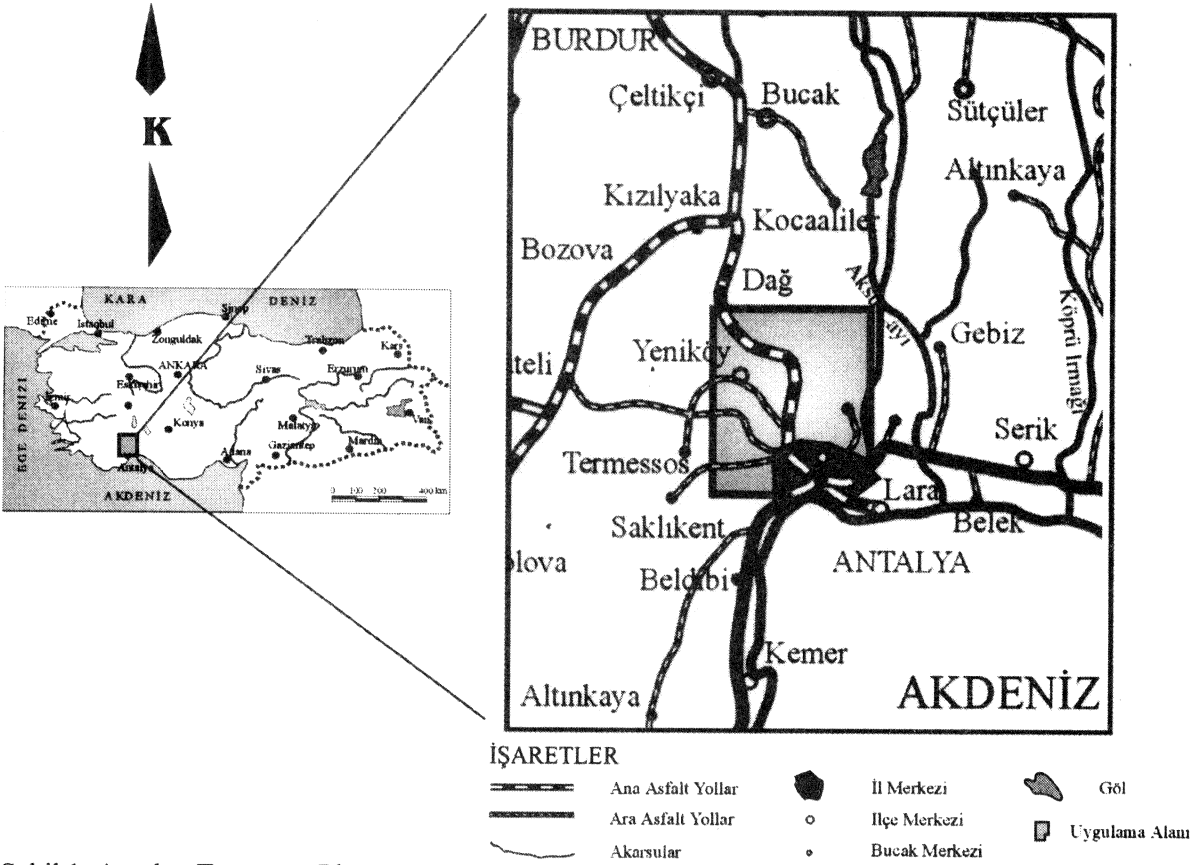
Bu çalışma kapsamında Antalya traverten akiferi üzerinde yayılım gösteren toprak zonu arındırma kapasitesi açısından değerlendirilmiştir. Sahip olduğu geniş alansal yayılımı ve yüksek gözeneklilik ve geçirgenlik gibi hidrojeolojik özellikleri nedeniyle Antalya Travertenleri yeraltısuyu potansiyeli açısından önemli bir akifer oluşturmaktadır (DSİ, 1985). Hızlı nüfus artışına bağlı olarak gelişmekte olan Antalya kenti ve yerleşim alanlarının uzun yıllardır kanalizasyon sistemlerinin olmayışı halen temiz olan yeraltısuyunu tehlikeye sokmaktadır. Şekil 1'de görüldüğü gibi Antalya Traverten Platosu, doğuda Aksu vadisi, kuzeyde Torosların güney eteklerinde yer alan Dağ kasabası, batıda Korkuteli karayolu ve güneyde Antalya körfezi ile sınırlanmış yaklaşık 630 km<sup>2</sup>'lik bir bölgeyi içerisine almaktadır. Antalya Traverten Platosundaki toprakların doğal arındırma kapasitesini oluşturan ana süreçlerin belirlenmesi amacı ile oluşturulan örnekleme ağı kullanılarak platodaki toprak türü ve dağılımını temsil edecek şekilde 92 örnek alınmıştır. Alınan toprak örnekleri, toprak türü, yapısı, dokusu, jeohidrolojik özellikleri gibi parametreler kullanılarak alt gruplara ayrılmıştır. Ayrılan gruplar gözetilerek 20 örnek üzerinde kimyasal analizler (Ca, Mg, Na, K, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, Cl), organik madde içeriği, X- ışınları yöntemi kullanılarak kil türü analizleri gerçekleştirilmiştir.

#### 3.1. Filtreleme

Yeraltısuyu kirliliğine neden olan kirleticilerin bir kısmı çözünmüş halde iken, bir kısmı da asılı katı tanecikler halinde bulunurlar. Farklı büyüklüklere sahip organik ve inorganik kirleticiler yanında özellikle

mikrobiyal kirleticiler de suda asılı halde taşınırlar. Toprak örtüsünün asılı halde taşınan bu kirleticiler için bir filtre işlevi gösterebilmesi, malzemenin yapısal özelliklerine bağlıdır. Asılı halde bulunan kirleticilerin taşınımı ortamın gözenek boyu ile sınırlıdır. Askıdaki kirletici boyu ile gözenek boyu arasındaki ilişki, ortamın filtreleme kapasitesini belirlemektedir. Bu nedenle, çakıl ve kum boyu malzemenin hakim olduğu ortamlar, gözenek çapından çok daha küçük olan 0.2-5 µm boyutlu bakteri ve 0.25-0.02 µm boyutlu virüslere karşı etkili bir filtre görevi gösteremez (Pekdeğer and Matthes, 1986).

Antalya Traverten akiferi üzerinde bulunan ve koruyucu işlevi gören toprak örtüsü genel olarak karstlaşmaya bağlı gelişen lateritik malzemenin oluşumundan oluşmaktadır. Gözenekliliği %14-52 ve doygun hidrolik iletkenliği  $10^{-5}$  ile  $10^{-6}$  m/sn arasında değişen bu malzeme aynı zamanda toprak örtüsü altında, travertenlerin kırık-çatlaklarında ve karstik boşluklarında da görülmektedir. Ortalama tane çapının 0.6 mm olduğu dikkate alındığında uniform dizilimde bu tür bir malzemenin 0.2 mm'den büyük kirleticileri filtreleyeceği, bu durumda mikrobiyal kirleticilerin fiziksel olarak tutulamayacağı anlaşılmaktadır.



Şekil 1. Antalya Traverten Platosu

### 3.2. Tutulma

Litolojik malzemelerde, yeraltısuyu hareketi ile taşınan maddeler fiziksel tutulma (filtreleme) dışında, yüzeye tutulma (adsorption) ve soğrulma (absorption) gibi süreçlerden etkilenirler. Yüzeye tutulma, elektrostatik kuvvetler ve/veya kristal örgüsündeki hatalar nedeni ile oluşan negatif yüklerle taşınan maddenin katı yüzeye tutulması olayı olarak tanımlanmaktadır (Fetter, 1993). Katyonlar, negatif yüklü kil mineralleri tarafından elektrostatik kuvvetlerle çekilerek tutulurlar. Bu süreç katyon değiştirme süreci olarak tanımlanmaktadır. Katyon değiştirme kapasitesi, CEC, birim ağırlıktaki bir malzemenin katyon tutma miktarını ifade etmektedir.

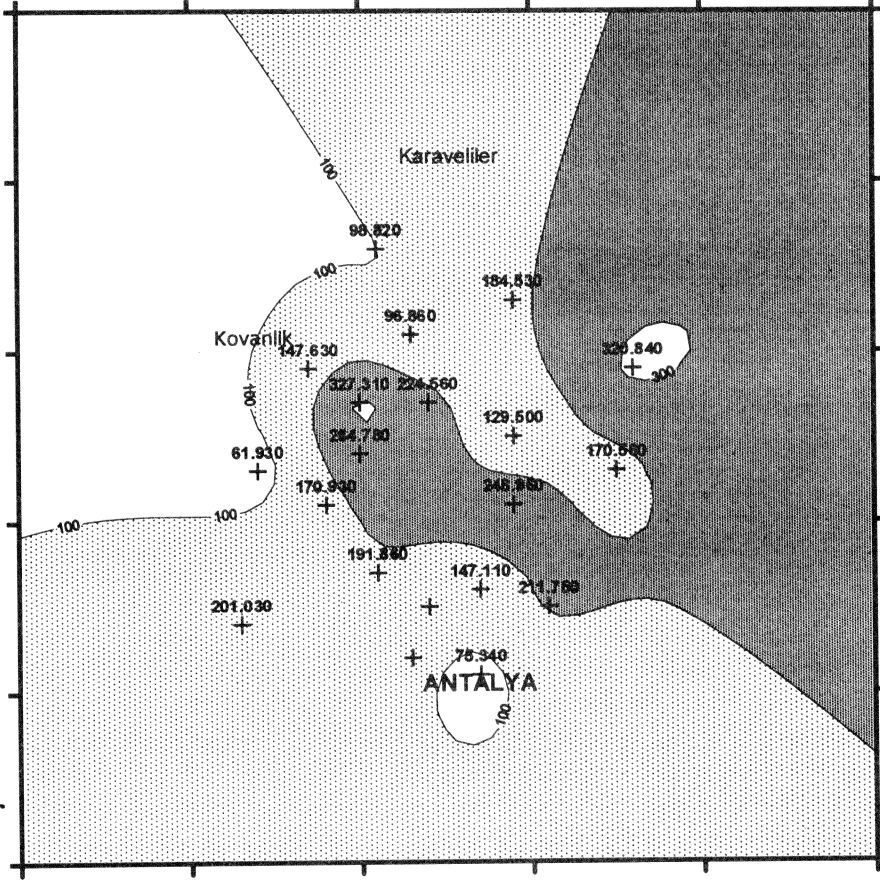
CEC, topraktaki organik madde miktarı ve kil oranına göre değişim göstermektedir. Bu iki parametreye bağlı olarak CEC, aşağıdaki ampirik eşitlikle hesaplanabilmektedir (Apello and Postma, 1994).

$$CEC (\text{meq}/100\text{gr}) = 0.7 (\% \text{ kil}) + 3.5 (\% \text{ organik C})$$

[3]

Şekil 2’de çalışma alanından alınan örnekler üzerinde yapılan analizlerden hesaplanan CEC değerlerinin 62-327 meq/100gr değerleri arasında değiştiği görülmektedir. Çizelge 1’de yaygın olarak görülen toprakların CEC değerleri dikkate alındığında, çalışma alanındaki toprakların orta düzeyde bir katyon değişirme kapasitesine sahip olduğu anlaşılmaktadır.

Tutulma süreci, katyon değişirme olayı dışında soğrulma, anyon değişimi ve diğer kimyasal olayları kapsamaktadır. Kirlenici hızı, yukarıda tanımlanan bu süreçler nedeniyle suyun akış hızından daha düşüktür.



Şekil 2. CEC değerlerinin çalışma alanında dağılımı

Ortam malzemesinin kirlenici hareketi üzerinde yaptığı yavaşlatma etkisi, geciktirme faktörü (retardation factor),  $R_f$  ile tanımlanmaktadır. Geciktirme faktörü farklı kirleniciler için farklı değerler alır. Çalışma alanı için tarımsal ve evsel kökenli olabilen  $PO_4^{2-}$  iyonu kullanılarak  $R_f$  değerleri hesaplanmıştır.  $R_f$ , laboratuvarında yapılan deney sonuçlarının doğrusal izoterm modeli üzerinde değerlendirilmesiyle elde edilen dağılım katsayısı ( $K_d$ ) değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. Şekil 3’te, 17 nolu örnek üzerinde hazırlanan izoterm modeli örnek olarak verilmiştir.

Geciktirme faktörü hesaplamalarında,

$$R_f = 1 + (Bd / \theta) * K_d \quad [4]$$

$R_f$  = geciktirme faktörü

$Bd$  = birim hacim ağırlık ( $gr/cm^3$ )

$\theta$  = etkin gözeneklilik (%)

$K_d$  = izoterm deneylerinden elde edilen dağılım katsayısı ( $l/kg$ )

eşitliği kullanılmıştır (Fetter, 1993).

Çalışma alanından alınan örnekler üzerinde yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. Yaygın olarak görülen toprakların CEC değerleri (Appelo and Postma, 1994)

Kil türleri	CEC değerleri (meq/100 gr)
Kaolinit	3-15
Halosit	5-10
Montmorillonit	80-120
Vermikulit	100-200
Glakonit	5-40
İllit	20-50
Klorit	10-40
Allopan	<100
Götit ve Hematit	<100
Organik Madde	150-400 (pH=8)

Çizelge 2. Çalışma alanında farklı toprak türlerini temsil eden örneklerin geciktirme faktörü değerleri

Örnek Numarası	Kd (l/kg)	Bd (gr/cm <sup>3</sup> )	θ(%)	Rf
Örnek 3	51.767	2.028	32.36	325.424
Örnek 17	17.355	0.996	51.92	34.293
Örnek 23	348.050	1.654	36.20	1591.262
Örnek 26	36.444	1.056	37.92	102.490
Örnek 60	132.270	1.459	28.15	686.549
Örnek 67	48.019	1.368	38.62	171.093
Örnek 89	100.070	1.076	46.07	234.721

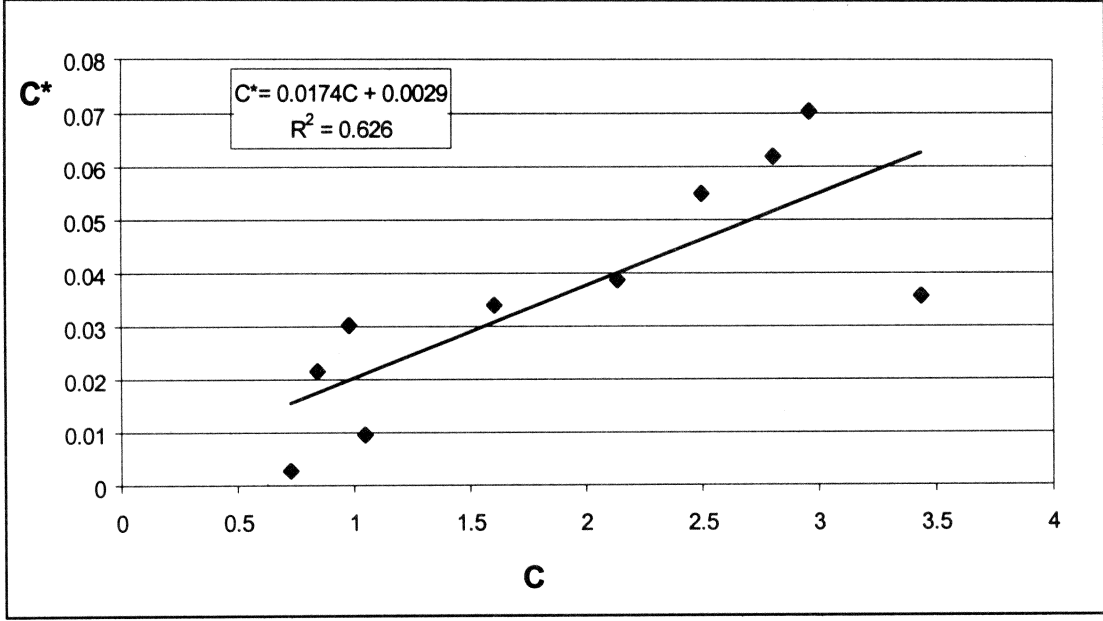
Buna göre geciktirme faktörü 34 ile 1591 arasında değişmektedir. Akış yolu boyunca toprağın kirletici hızı üzerinde yaptığı geciktirme etkisi

$$V_{ci} = \frac{V_x}{R_f} \quad [5]$$

- $V_{ci}$  = kirletici hızı (m/s)  
 $V_x$  = suyun ortalama akış hızı (m/s)  
 $R_f$  = geciktirme faktörü

eşitliği ile hesaplanabilir.

Örnek olarak, Rf değerinin en yüksek olduğu, Kırkgöz kaynaklarının boşaldığı alanda meydana gelen göllenme ile oluşan alüvyon üzerinde yer alan 23 nolu toprak örneği için yapılan hesaplamalar sonucunda, bu tür toprağın, kirleticiyi yeraltı suyu akış hızına oranla yaklaşık 1590 kat yavaşlattığı belirlenmiştir. Bir başka deyişle, 1 m/gün gibi bir hıza sahip olan yüzeyaltı suyunun 1 metrelik bir toprak kalınlığını geçmesi için gereken süre 1 gün iken kirletici bu mesafeyi yaklaşık 4.35 yılda (1590 gün) alacaktır. Rf değerinin en düşük olduğu 17 nolu örnek için ise aynı durumda kirleticinin 1m.'lik mesafeyi alacağı sürenin yaklaşık 34 gün olacağı görülmektedir.



C\* = Dengedeki madde derişimi  
C = Tutulan madde miktarı

Doğrusal İzoterm  
Kd = 0.0174 lt/gr  
C\* = 0.0029 mg/gr  
C = 0.1667 mg/lt

Şekil 3. 17 nolu örnek üzerinde hazırlanan örnek izoterm modeli

#### 4. ARAZİ KULLANIM OLANAKLARI VE KİRLENEBİLİRLİK

Antalya traverten platosunda bulunan toprak örneklerinin arındırma kapasitesi ile ilgili olarak yapılan deneyler sonucunda, kirleticinin advektif taşınımının, arındırma süreçlerine oranla daha baskın olduğu ortaya konmuştur. Bu nedenle, jeohidrolojik özelliklerin kirletici taşınımında önemli rol oynayacağı sonucuna varılmıştır. Advektif taşınım toprağın doygun hidrolik iletkenlikleri ile de ilgilidir. Hidrolik iletkenliğin yüksek, süzülmenin hızlı olduğu topraklarda akımın da görece olarak hızlı ve çözülmüş kirletici ile katı ortam arasındaki temas süresinin kısa olması doğal arındırma kapasitesini düşürecek, kirleticinin yeraltısuyunda daha hızlı bir şekilde ulaşmasına neden olacaktır.

Çalışma alanında, genellikle kum-silt boyu malzemeden oluşan toprakların doygun hidrolik iletkenliği  $10^{-5}$ - $10^{-6}$  m/s düzeyinde ölçülmüştür. Yarı geçirgen bir özellik gösteren bu değerlere göre, Antalya traverten akiferi üzerinde kirlenme tehdidi oluşturacak herhangi bir faaliyet, etkisini yüzealtısuyu hareketi ve toprağın geciktirme faktörüne bağlı olarak farklı sürelerde gösterecektir. Çalışma alanında doygun olmayan zonun 200 m.'ye varan kalınlıkta olması, diğer taraftan doğal nem içeriğinin % 10'u aşmaması, düşey yönde su akışını engellemektedir. Ancak, katı veya sıvı atık depolama alanı gibi yüzeyde oluşturulacak kirlenme kaynağı ortamın doygun hale gelmesinden hemen sonra etkisini büyük ölçüde gösterecektir.

#### 5. SONUÇLAR

Yukarıda sözü edilen çalışmalar ve değerlendirmeler sonucunda yeraltısuyuna yönelik kirlilik tehlikelerinin doygun bölgeyle sınırlı olmadığı görülmektedir. Diğer taraftan, bu konuya ilişkin çalışmalar salt doygun bölgede yapılmış ve vadoz bölgenin etkisi gözardı edilmiştir. Oysa, kirletici, yeraltısuyuna ulaşmadan önce derişimine etki eden çeşitli süreçlerle bu bölgede belirli bir oranda arınmaktadır. Doğal yollarla meydana gelen arındırma süreçleri içinde filtrelenme, yüzeye tutulma, soğrulma, iyon değişimi, kimyasal ve biyolojik dönüşüm en etkili olanlardır. Doğal arındırma süreçlerinin önemli bir bölümü doygun olmayan bölgede gerçekleşmektedir. Bu nedenle, yeraltısuyunun derin olmadığı bölgelerde

kirleticinin yeraltısuyuna ulaşma olasılığı daha yüksek olduğundan sığ yeraltısuyu ortamlarında kirlenme tehlikesi daha büyüktür. Başka bir deyişle, doygun olmayan bölgenin daha ince olduğu akiferlerde kirlilik riski, vadoz bölgenin daha kalın olduğu alanlara göre çok daha yüksektir.

Karstik ortamların en önemli özelliklerinden biri, kalın bir vadoz bölgeye sahip olmalarıdır. Ancak, karstik ortamların diğer bir özelliği yüzey suyunu diğer ortamlara oranla çok daha hızlı bir şekilde yeraltısuyuna iletebilecek derecede geçirgen olmaları ve bu zonun daha çok açık boşluklardan oluşmasıdır. Bu durumda, kalın bir vadoz bölgenin doğal arındırma açısından etkisi düşmekte, noktasal beslenmenin olduğu yerlerde ise tamamen yok olmaktadır. Bu özellikleri dikkate alındığında, karstik ortamlarda yüzeyde gözlenen toprak katmanının, desimetre düzeyinde bir kalınlığa sahip olsa da, kirleticilerin arındırılmaları açısından büyük bir öneme sahip oldukları ortaya çıkmaktadır.

Antalya Traverten Platosu topraklarının, yapılan analizler sonucunda düşük organik madde ve kil içeriği nedeniyle tutulmanın düşük, buna karşılık hidrolik iletkenlik değerinin yüksek olduğu ortamlar olarak tanımlanabilir. Bu tür bir ortamda sürekli bir kirletici kaynağı, advektif taşınımı dolayısıyla kirlenmeyi hızlandıracaktır. Bugüne kadar sürekli kirlilik kaynağı oluşturacak faaliyetlere rağmen, Antalya Traverten Platosu'nda kirliliğin düşük düzeylerde görülmesi, doygun olmayan zonun kalınlığına ve advektif taşınımı kısıtlayan düşük nem içeriğine bağlı olduğu ortaya çıkmaktadır. Yapılan analizler sonucunda traverten akiferin üzerinde değişik kalınlıklarda ve türlerde yayılım gösteren toprak zonunun filtreleme özelliğinin zayıf olduğu belirlenmiştir. Bu açıdan değerlendirildiğinde, traverten üzerindeki mikrobiyal kirletici kaynağından gelebilecek kirleticinin toprak zonunda filtrelenme olasılığının çok düşük olduğu görülmektedir. Öte yandan, gerek katyon değiştirme kapasitesi gerekse izotermeler yardımıyla hesaplanan geciktirme faktörü dikkate alındığında, traverten toprakları temsil eden ve organik maddece görece olarak fakir olan lateritik toprakların orta düzeyde; organik madde ve kil içerikleri yüksek olan sığ göl-bataklık ürünü alüvyon toprakların ise çok daha yüksek düzeyde bir arındırma kapasitesine sahip olduğu ortaya konmuştur.

## **6. KATKI BELİRTME**

Bu çalışma, Hacettepe Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından desteklenen 97.01.602.007 nolu proje bünyesinde gerçekleştirilen çalışmaların bir bölümünü kapsamaktadır.

## **7. KAYNAKLAR**

Appelo, C.A.J. and Postma, D., 1994, *Geochemistry Groundwater and Pollution*, A.A. Balkema, Rotterdam, 536p.

Bear, J., 1979, *Hydraulics of Groundwater*, McGraw-Hill, U.S.A., 569p

DSİ, 1985, *Antalya Kırkgöz Kaynakları ve Traverten Platosu Karst Hidrojeolojik Etüt Raporu*, DSİ Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuyu Dairesi Başkanlığı, Ankara 131s.

Fetter, C. W., 1993, *Contaminant Hydrogeology*, Prentice Hall, New Jersey, 452p.

Pekdeğer and Matthes, 1986, *Impact of Agricultural Activities on Groundwater*, IAH, Vol.5

## GÜMÜŞHANE YÖRESİ MİNERALLİ SU KAYNAKLARININ HİDROKİMYASAL, İZOTOPIK VE RADYOAKTİVİTE ÖZELLİKLERİ (KD- TÜRKİYE)

### HYDROCHEMICAL, ISOTOPIC AND RADIOACTIVITY PROPERTIES OF THE MINERAL SPRINGS AROUND GÜMÜŞHANE (NE- TURKEY)

**Fatma GÜLTEKİN**, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Müh. Böl., 61080, Trabzon  
**Remzi DİLEK**, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Müh. Böl., 61080, Trabzon

#### ÖZET

Bu çalışmada Gümüşhane İli çevresinde yer alan mineralli su kaynaklarının KB-GD, D-B ve KD- GB doğrultularında dizilim gösterdikleri ve bu hatların bölgenin kırık hatlarıyla uyumlu oldukları belirlenmiştir. Mineralli su kaynaklarında yerinde yapılan ölçümlerle; pH'larının 5.51- 6.53, debilerinin 0.01- 1.5 l/sn, sıcaklıklarının 5.5- 20°C arasında olduğu ve kaynak sıcaklıklarının mevsimsel değişimlerden etkilenmediği belirlenmiştir. Hidrokimyasal yönden kalsiyum, magnezyum, sodyum, bikarbonatlı su fasiyesinde bulunan mineralli sulara silikat minerallerinin çözünürlüğünün en fazla Budak Mineralli Suyu'nda olduğu, İnkılap Mineralli Suyu'nun izlediği yol boyunca dolomitik kayalarla reaksiyona girdiği, SO<sub>4</sub>/Cl oranının Budak ve Yeşildere Mineralli Suyu'nda yüksek olduğu belirlenmiştir. Yapılan izotop analizleri sonuçlarından mineralli suların meteorik kökenli sular olduğu, sağlığa zararlı ve tad bozucu iz elementler açısından mineralli su kaynaklarının hepsinin Cd<sup>++</sup> ve Pb<sup>++</sup> açısından ve toplam alfa (α) aktiviteleri yönünden içmeye uygun olmadıkları belirlenmiştir.

#### ABSTRACT

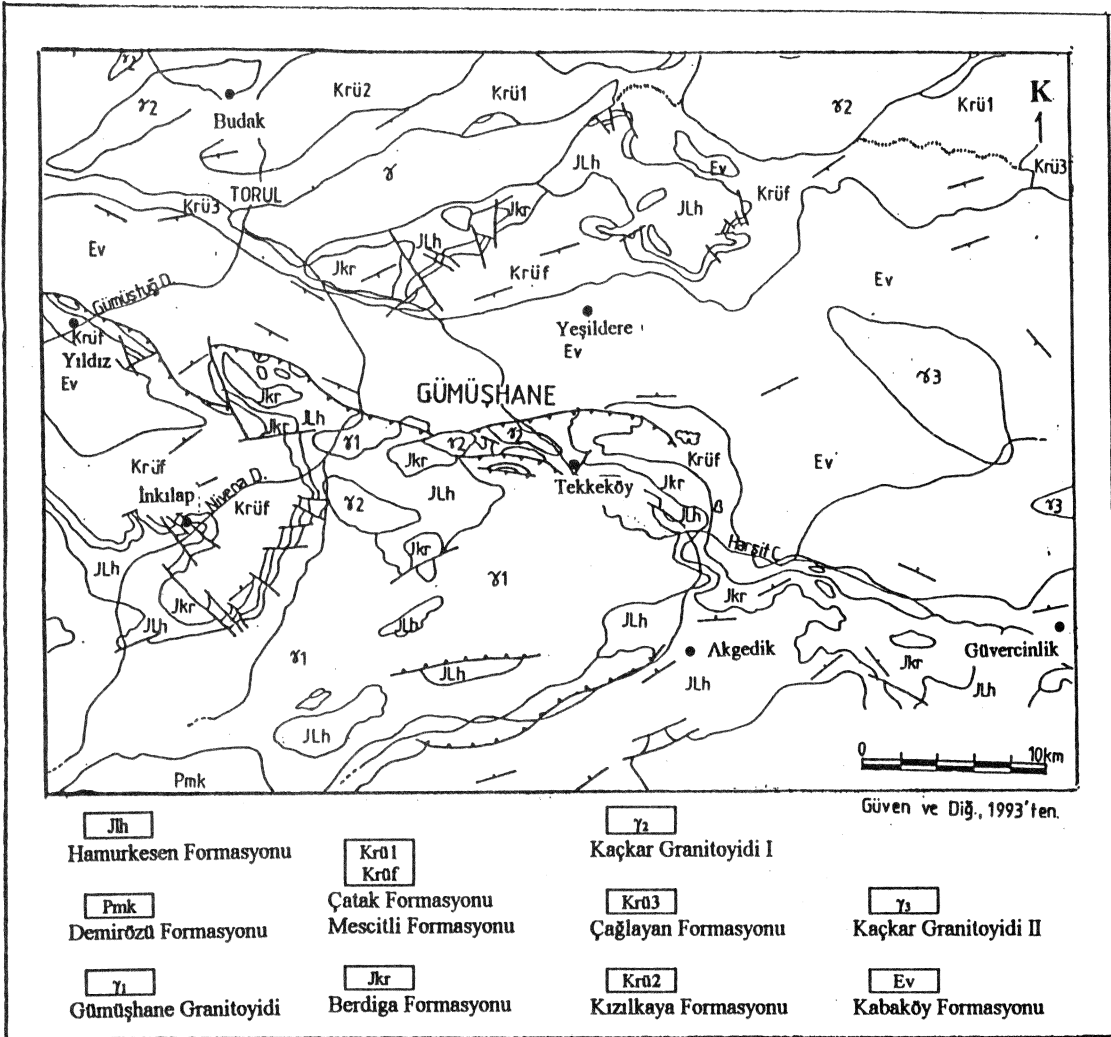
The mineral springs around Gümüşhane area are aligned in NW- SE, E-W and NE- SW directions, complying well with the directions of regional tectonic lineaments. Measurements in the field reveal a temperature range from 5.5- 20 °C, a pH range from 5.51- 6.53 and flow rates from 0.01- 1.5 l/sec. Temperatures of the springs were not affected by seasonal changes. The mineral springs can be classified in to calcium, magnesium, sodium and bicarbonate type waters in terms of their hydrochemical properties. It is figured out that silicate minerals were dissolved most in the Budak mineral spring. However the waters in the İnkılap mineral spring reacted with dolomitic rocks. SO<sub>4</sub>/Cl ratio reaches the highest value in the Budak and Yeşildere mineral springs. Isotopic studies indicate a meteoric origin for these springs. High Pb<sup>++</sup> and Cd<sup>++</sup> and total (α) activity values make no use of these mineral springs for drinking purposes.

## 1. GİRİŞ

Gümüşhane İli, mineralli su kaynakları açısından dikkati çekmektedir. Doğu Karadeniz Bölümü'nde yer alan çalışma alanı, yazları kurak kışları ise soğuk ve yağışlıdır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün verilerine göre 30 yıllık ortalama hava sıcaklığı 9.46°C, yağış miktarı ise 448.3 mm'dir. Bu çalışmada bölgede yer alan Budak, Tekkeköy, Akgedik, Yıldız, Yeşildere, İnkılap ve Güvercinlik mineralli su kaynaklarının fiziko-kimyasal, iz element, radyoaktivite özellikleri incelenmiş ve bunlardan Yeşildere ve İnkılap Mineralli Su Kaynaklarında ise izotop analizleri yapılarak kökenlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmalar süresince kaynaklara ait sıcaklık, pH, debi ölçümleri arazide yapılmış, kimyasal ve izotopik özelliklerin belirlenmesi amacıyla değişik mevsimlerde örneklemeler yapılmıştır.

## 2. JEOLJİ

Bu çalışmada inceleme alanını kapsayan Güven ve diğ.,(1993a, 1993b )'nin jeolojik amaçlı çalışmaları esas alınmıştır. (Şekil 1).



Şekil 1. İnceleme alanının jeoloji haritası

Bu çalışmaya göre bölgede alta Paleozoyik yaşlı granodiyorit, kuvars monzonit, siyenogranit, granit, mikrogranit kayaç gruplarından oluşan Gümüşhane Granitoyidi (Güven,1993) bulunur. Bunun üzerine uyumsuz olarak çakıtaşı, kumtaşı, arkoz, kuvarsit, şeyl ve kireçtaşından oluşan Permo- Karbonifer yaşlı Demirözü Formasyonu (Güven,1993) gelir. Metamorfik temel üzerinde aşınma uyumsuzluğu ile killi kireçtaşı, şeyl, kumtaşı ara tabakalı andezit, bazalt, dasit lav ve piroklastiklerinden oluşan Liyas yaşlı (Ağar, 1977) Hamurkesen Formasyonu yer alır. Hamurkesen Formasyonu, gri renkli ve orta tabakalı killi kireçtaşı, çörtlü kireçtaşı ve kumlu kireçtaşlarından oluşan Berdiga Formasyonu (Pelin, 1977) tarafından uyumlu olarak üstlenir. Üzerine alta pelajik kırmızı killi kireçtaşı, üstte gri ve sarımtırak renkli kumtaşı,



kiltaşı, mam ve şeyl ardalanmasından oluşan Üst Kretase- Paleosen yaşlı Mescitli Formasyonu (Güven,1993) uyumlu olarak gelir. Mescitli Formasyonu ile yanal geçişli olarak Çatak Formasyonu, Kızılkaya Formasyonu ve Çağlayan Formasyonu (Güven,1993) yer alır. Çatak Formasyonu bazaltik ve andezitik karakterli lav ve piroklastikleri ile birlikte ardalananan kumtaşı, silttaşı, kırmızı renkli kireçtaşı ve mamlardan, Kızılkaya Formasyonu riyodasit, dasitik lav ve piroklastiklerinden, Çağlayan Formasyonu ise bazalt lav ve piroklastiklerinin kumtaşı mam ve çamurtaşı ara seviyeleri ile ardalanmasından oluşmaktadır. Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı istifler içerisine sokulum yapan plütonik kayalar Kaçkar Granitoyidi (Güven, 1993) olarak adlandırılmıştır. Bunlardan Mesozoyik yaşlı kayaları kesen intrüzyifler Kaçkar Granitoyidi I, Senozoyik yaşlı kayaları keserek yerleşenler ise Kaçkar Granitoyidi II olarak ayırtlanmıştır (Güven ve diğ., 1993b). Üst Kretase dönemine ait çeşitli birimler üzerine aşınma uyumsuzluğu ile gelen Eosen yaşlı Kabaköy Formasyonu kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve mam seviyeleri içeren, gri renkli bol ojitli ve hornblendli bazalt lav ve piroklastiklerinden oluşur. Bunların üzerinde ise Kuvaterner yaşlı alüvyonlar uyumsuz olarak yer alır.

### 3. YAPISAL JEOLJİ

Hersinyen orojenezi ile şekillenmiş bir kıtadan kopmuş olan Doğu Pontidler'de (Gedik ve diğ., 1996), bölge Geç Karbonifer'de kıvrımlanıp faylanarak granitoyid yerleşimi gerçekleşmiş, Lıyas'ta ekstansiyonel tektonik faz sonucu KD-B ve KB-D yönlü blok faylanmalar gelişmiştir (Bektaş ve diğ., 1995). Bölgeye ait uydu ve hava fotoğraflarından fayların bölgede D-B, KB-GD ve KD-GB doğrultularında geliştiği ve bu fayların orojenik kuşağın blok fay tektoniğinin çatısını ve buna bağlı olarak gelişmiş ortogonal kıvrım sistemini oluşturduğu belirlenmiştir (Bektaş ve Çapkınoğlu 1997). İnceleme alanında yapılan kontur diyagramlarından bölgede KB-GD, D-B, KD-GB ve K-G yönlü kırık doğrultuları saptanmıştır. Bu kırık doğrultuları ile genelde KB-GD doğrultulu olan kıvrım sistemleri birlikte yorumlandığında ana basınç gerilmesi yönünün K-G doğrultusu olduğu belirlenmiştir (Gültekin,1999). Doğu Pontid orojenik kuşağında yer alan inceleme alanında mineralli su kaynakları D-B, KB-GD ve KD-GB doğrultularında belirgin bir dizilim gösterirler. Bölgede çok genç volkanların bulunması, yörede üst mantonun yükselmesi ve buna bağlı olarak kısmi ergimeyle magma oluşumunu gerekli kılmaktadır ki, bu durum manto yükselmesini gösteren jeofizik verilerle de (Kadinsky- Cade ve diğ.,1981; Arthur ve diğ., 1997) doğrulanmaktadır. Bu tür magmatik faaliyetler mineralli su kaynaklarının oluşumunu ve kaynakların bol miktarda CO<sub>2</sub> gazı içermelerini sağlamıştır.

### 4. HİDROKİMYASAL ÖZELLİKLER

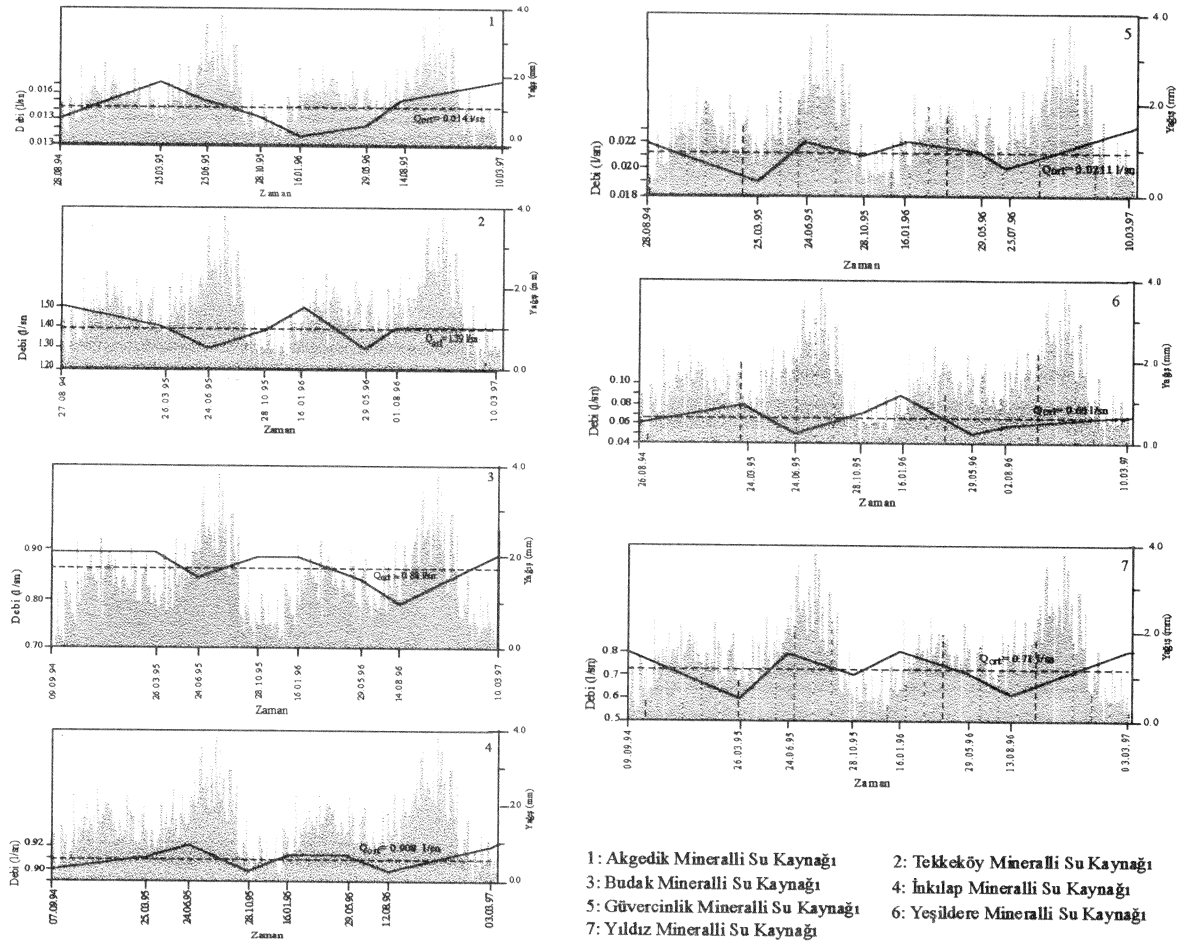
#### 4.1. Kaynak Sıcaklıkları ve Debileri

Mineralli su kaynakların sıcaklıkları 5.5-20°C arasında değişmektedir. Yöredeki mineralli sular atmosferik sıcaklık değişiminden etkilenmemektedir (Gültekin, 1999). Mevsimsel debi değişimlerini gözlemek amacıyla değişik tarihlerde Budak, Tekkeköy, Akgedik, Yeşildere, Yıldız, İnkılap ve Güvercinlik mineralli su kaynaklarında debi ölçümü yapılmıştır. Debi ile yağış değerlerinin zamana bağlı olarak değişiminden kaynak sularının belli bir faz farkı ile yağıştan etkilendikleri anlaşılmıştır (Şekil 2). Bu faz farkı meteorik kökenli olan mineralli sulara yağış sularının süzülmesi için geçen süre olarak düşünülmektedir.

#### 4.2. Kimyasal Özellikler

Mineralli su kaynaklarından alınan su örneklerinin kimyasal analiz sonuçlarından kaynakların genel olarak "Kalsiyum Bikarbonatlı" su fasiyesinde oldukları ve kaynaklardaki iyon bolluk sıralamasının  $Ca^{++}>Mg^{++}>Na^{+}+K^{+}-HCO_3^{-}>SO_4^{-}>Cl^{-}$  şeklinde olduğu görülür (Çizelge 1, Şekil 3). Genellikle kireçtaşı ile dokanağı olan Tekkeköy, Yıldız ve İnkılap mineralli su kaynaklarında  $Ca^{++}$  ve  $HCO_3^{-}$  konsantrasyonu diğer kaynaklara göre daha fazladır. Granitik ve volkanik kayalardan gelen Budak ve Yeşildere mineralli su kaynaklarında ise  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ , ve  $Na^{+}$  birbirlerine yakın değerlerdedir.

Mineralli su kaynaklarında silikat minerallerinin, kireçtaşı ve dolomitlerin çözünürlüğünü, katyon değişimini ve sülfatın kökenini incelemek amacıyla  $SiO_2/TİK$  (TİK: Toplam iyon konsantrasyonu-mg/l),  $Ca/Mg$ ,  $Na/Ca$ ,  $SO_4/Cl$ ,  $Cl/HCO_3$ ,  $HCO_3/T.A$ ,  $SO_4/T.A$  (T.A: Toplam anyon-mek/l) oranları belirlenmiştir (Çizelge-2).



Şekil 2. Kaynak debilerinin zamana göre değişimleri

$SiO_2/TiK$  oranının en büyük değerlerde olduğu Budak Minerali Suyu'nda silikat minerallerinin diğer kaynaklara göre daha fazla çözüldüğü en düşük değerlere sahip Tekkeköy Minerali suyunun izlediği yol boyunca silikat mineralleriyle fazla dokanağının olmadığı söylenebilir.  $Ca/Mg$  oranının İnkılap Minerali Suyu'nda yaklaşık 1 olması kaynağın dolomitik kayalarla dokanağının olduğunu gösterir.  $Na/Ca$  oranı, minerali su kaynaklarında genellikle birbirine yakın değerlerdedir. Kil minerallerindeki  $Na$  ile sudaki  $Ca$ 'un yer değiştirmesi sonucu tatlı sularda  $Na/Ca$  oranı yükselir, tuzlu sularda ise kil minerallerindeki  $Ca$  ile sudaki  $Na$  yer değiştirdiği için oran düşer (Back ve Custodio, 1990). İncelenen minerali su kaynaklarında değişik tarihlerde farklı  $Na/Ca$  oranı sulardaki katyon değişim olaylarının farklılığından,  $SO_4/Cl$  oranının Güvercinlik minerali suyu dışındakilerde 1'in üzerinde olması, kaynak çevrelerinde bol miktarda gözlenen piritin kristallerinin oksidasyonundan kaynaklanır (Todd, 1980; Matthes, 1982; Back ve Custodio, 1990). Kaynakların hepsinde  $Cl/HCO_3$  oranının çok düşük olması kaynakların jeotermik gradyandan etkilenmediklerini gösterir. Bu durumu kaynak sıcaklıkları da doğrulamaktadır (Gültekin, 1999). İncelenen minerali su kaynaklarında birbirine çok yakın değerlerde olan  $HCO_3/T.A.$  oranı kaynakların oluşum mekanizmasının aynı olduğunu gösterir.

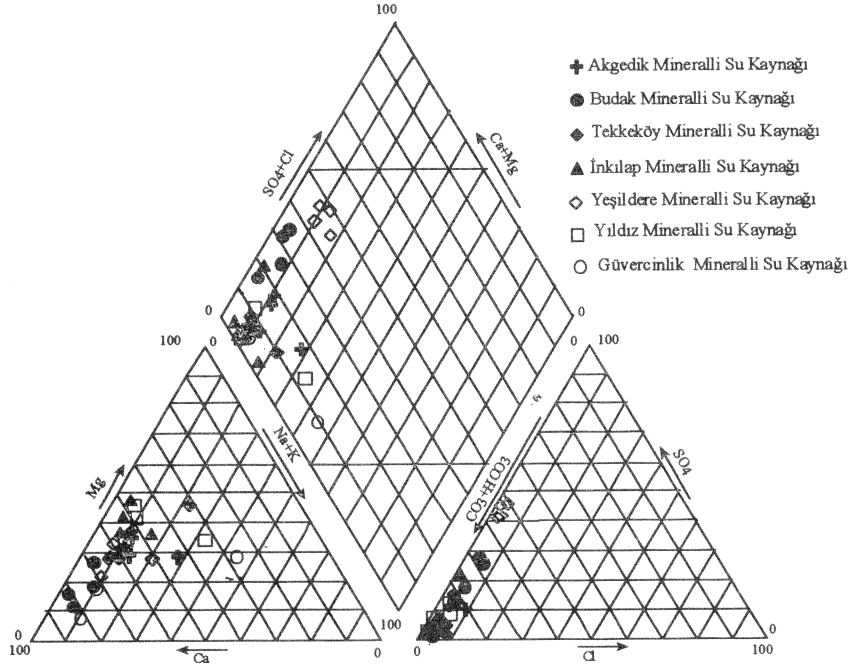
### 4.3. İzotop Değerlendirmeleri

Minerali su kaynaklarından Yeşildere ve İnkılap kaynakları ile bunların yakınındaki Azmaz ve Nivena Dere sularından yağışlı, kurak ve ara dönemde alınan su örneklerinde oksijen-18 ( $^{18}O$ ), döteryum ( $^2H$ ) ve trityum ( $^3H$ ) izotop analizleri yapılmıştır (Çizelge - 3). Oksijen -18 ve döteryum içerikleri arasındaki dünya yağışlarını temsil eden Craig, (1961) tarafından verilen ilişki  $\delta D = 8\delta^{18}O + 10$  şeklindedir (Payne, 1983). "Dünya Meteorik Su Doğrusu (DMD)" adı verilen bu doğruya göre alınan su örneklerinin konumları şekil 4'de verilmiştir. Yüzeysel suları ile minerali suların aynı alanda yer almaları minerali suların yüzeysel suları gibi meteorik kökenli olduğunu gösterir. Yüzeysel çıkış noktasında travertenler oluşturan ve yakın çevresinde

kireçtaşları bulunan İnkılap Mineralli Su Kaynağı'nın da DMD doğrusu üzerinde yer alması, kaynak suyu ile kireçtaşları arasında izotopik yer değiştirmenin olmadığını gösterir.

Çizelge 1. Mineralli su kaynaklarına ait kimyasal analiz sonuçları

Kaynak Adı	Örnek Tarihi	Sıcaklık (°C)	pH	EC (25°C) (µmho/cm)	Ca <sup>++</sup> (mek/l)	Mg <sup>++</sup> (mek/l)	Na <sup>+</sup> (mek/l)	K <sup>+</sup> (mek/l)	HCO <sub>3</sub> (mek/l)	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mek/l)	Cl <sup>-</sup> (mek/l)
Budak Mineralli Su Kaynağı	24.03.95 25.06.95 28.10.95 10.03.97	14.2 14.5 14.9 14.0	6.08 6.17 5.98 6.10	1558 1354 1979 2207	18.20 14.68 18.44 16.50	3.50 3.87 3.64 6.15	0.79 1.83 0.93 1.04	0.04 0.06 0.05 0.07	15.0 16.3 18.5 16.3	6.60 3.81 3.46 6.46	0.90 0.90 0.90 1.00
Tekkeköy Mineralli Su Kaynağı	24.03.95 25.06.95 28.10.95 10.03.97	14.4 14.6 14.4 14.2	6.35 6.20 6.35 6.10	1946 1497 2650 3361	15.56 8.00 24.82 25.10	10.62 11.51 11.35 11.90	2.53 5.57 2.61 3.30	0.14 0.19 0.15 0.18	27.3 23.5 37.4 36.5	0.66 0.90 0.83 3.38	0.88 0.88 0.70 0.60
Akgedik Mineralli Su Kaynağı	24.03.95 25.06.95 28.10.95 10.03.97	5.7 14.8 10.5 7.5	5.92 6.35 6.22 6.03	1502 2172 2384 2445	15.50 9.87 15.72 11.00	8.20 6.58 7.89 12.25	2.90 6.87 3.04 3.57	0.08 0.14 0.09 0.12	21.00 21.30 25.15 23.10	3.20 3.23 1.10 3.64	0.30 0.82 0.39 0.20
Yıldız Mineralli Su Kaynağı	24.03.95 25.06.95 28.10.95 10.03.97	15.6 16.0 17.6 17.2	6.37 6.33 6.29 6.16	1567 1790 2994 2675	12.90 9.43 20.34 17.20	7.56 7.89 7.89 9.80	1.66 7.22 3.04 2.04	0.14 0.21 0.25 0.19	19.7 22.3 28.8 27.9	1.81 0.35 2.00 0.68	1.02 1.02 0.73 0.65
Yeşildere Mineralli Su Kaynağı	24.03.95 25.06.95 28.10.95 10.03.97	8.7 10.0 10.4 9.5	6.23 5.73 5.75 5.51	957 997 816 905	9.32 8.90 8.56 7.30	4.62 4.93 2.48 4.45	1.39 3.35 1.13 1.35	0.11 0.18 0.12 0.15	8.51 9.60 6.90 6.65	6.54 7.52 5.05 6.34	0.33 0.15 0.34 0.26
İnkılap Mineralli Su Kaynağı	24.03.95 25.06.95 28.10.95 10.03.97	16.7 17.8 17.4 17.0	6.53 6.40 6.51 6.31	1960 1735 2080 3745	12.52 10.50 10.30 22.00	9.85 7.40 6.98 21.50	1.39 3.35 1.52 1.43	0.04 0.07 0.06 0.08	22.70 20.78 20.26 35.35	0.80 0.54 0.54 9.26	0.15 0.05 0.25 0.40
Güvercinlik Mineralli Su Kaynağı	24.03.95 25.06.95 10.03.97	8.9 13.9 8.6	6.23 6.42 6.28	1811 1615 2494	20.40 7.24 22.40	5.31 7.65 2.85	2.26 10.52 6.26	0.10 0.19 0.16	27.01 23.3 32.15	0.46 0.67 0.10	1.18 1.35 1.05



Şekil 3. Mineralli su kaynaklarına ait Piper diyagramı

Döteryum ile Oksijen -18 arasındaki ilişkinin belli yağış rejimleri için değişmediği düşünülerek, Dansgaard, (1964) tarafından verilmiş olan döteryum fazlası parametresi (d) (Payne,1983) belirlenerek kaynakların beslenme alanları konusunda yoruma gidilmiştir. Yeşildere Mineralli Suyu'nda d parametresinin İnkılap Mineralli Suyu'na göre daha düşük olması beslenme havzasında daha çok karasal kökenli yağışların hakim olduğunu göstermektedir. Azmaz Dere suyunun ara dönemde sahip olduğu düşük d parametresi değerinin, Yeşildere Mineralli Suyu'nda kurak dönemde gözlenmesi, kaynağın üç aylık faz farkı ile aynı kökenli yağışlarla beslendiğini gösterir.

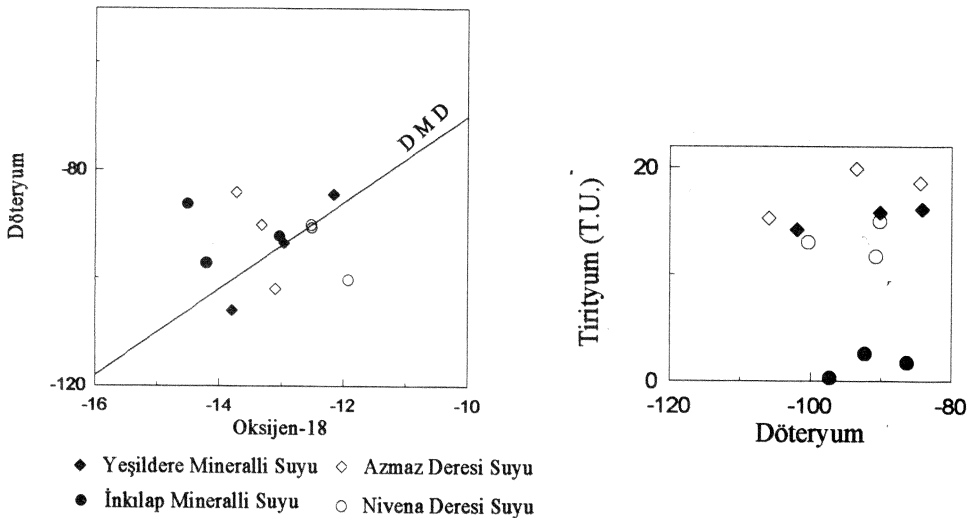
İzotop analizleri yapılan mineralli sulardaki trityum içeriği 0.3-19.9 T.U arasında, dere sularında ise 11.7-16.1 T.U. arasında değişir. Su örneklerine ait döteryum-trityum ilişkisinden (Şekil 4) İnkılap Mineralli Suyu'nun Yeşildere Mineralli Suyu'na göre yeraltındaki dolaşım sürecinin daha uzun olduğunu gösterir.

**Çizelge 2. Mineralli su kaynaklarında kimyasal özellikler**

Oranlar	SiO <sub>2</sub> /T.İ.K (mg/l)	Ca/Mg (mek/l)	Na/Ca (mek/l)	SO <sub>4</sub> /Cl (mek/l)	Cl/HCO <sub>3</sub> (mek/l)	HCO <sub>3</sub> /T.A (mek/l)	SO <sub>4</sub> /T.A (mek/l)
Budak	0.043	5.20	0.43	7.33	0.060	0.66	0.29
Mineralli	0.049	3.79	0.12	4.23	0.055	0.77	0.18
Suyu	0.041	5.06	0.05	3.84	0.050	0.80	0.15
		2.68	0.05	6.46	0.061	0.68	0.27
Tekkeköy	0.004	1.46	0.16	0.75	0.032	0.94	0.02
Mineralli	0.006	0.69	0.69	1.02	0.037	0.92	0.03
Suyu	0.004	2.18	0.10	1.18	0.018	0.96	0.02
		2.10	0.13	5.63	0.016	0.90	0.08
Akgedik	0.024	1.89	0.18	10.66	0.014	0.85	0.13
Mineralli	0.020	1.50	0.69	3.93	0.038	0.84	0.12
Suyu	0.009	1.99	0.19	2.82	0.015	0.94	0.04
		0.89	0.32	18.2	0.008	0.85	0.13
Yıldız	0.024	1.70	0.12	1.77	0.050	0.87	0.08
Mineralli	0.021	1.19	0.76	0.34	0.045	0.86	0.09
Suyu	0.020	2.57	0.14	2.73	0.025	0.91	0.06
		1.75	0.11	1.04	0.023	0.95	0.02
Yeşildere	0.029	2.01	0.14	19.80	0.021	0.55	0.42
Mineralli	0.024	1.80	0.37	50.10	0.008	0.55	0.43
Suyu	0.035	3.45	0.13	14.85	0.028	0.56	0.41
		1.64	0.18	24.38	0.020	0.50	0.47
İnkılap	0.005	1.27	0.11	5.30	0.006	0.95	0.03
Mineralli	0.023	1.41	0.31	10.80	0.002	0.94	0.02
Suyu	0.016	1.47	0.14	2.16	0.012	0.96	0.02
		1.02	0.06	23.15	0.011	0.78	0.20
Güvercinlik	0.024	3.84	0.11	0.38	0.043	0.94	0.016
Mineralli	0.033	0.94	1.45	0.49	0.057	0.92	0.02
Suyu		7.85	0.27	0.09	0.032	0.96	0.001

**Çizelge 3. İnceleme alanındaki su örneklerine ait izotop ve d parametresi değerleri**

Örnek Adı	Alındığı Tarih	Sıcaklığı (°C)	Oksijen-18 (δ <sup>18</sup> O)	Döteryum (δ D)	Trityum TU	Trityum Hatası	d Parametresi
Yeşildere	24.6.95	10.0	-12.96	-93.54	19.9	+ 1.00	10.14
Mineralli	31.5.96	10.6	-12.16	-84.50	18.6	+ 1.00	12.78
Suyu	14.8.96	12.5	-13.80	-106.92	15.3	+ 0.90	3.48
İnkılap	24.6.95	17.8	-14.21	-97.26	0.3	+ 0.80	16.42
Mineralli	31.5.96	17.7	-13.03	-92.23	2.6	+ 0.80	12.01
Suyu	12.8.96	17.8	-14.51	-86.33	1.7	+ 0.80	29.75
Azmaç	24.6.95	18.5	-13.32	-90.27	15.8	+ 1.00	16.29
Dere Suyu	31.5.96	18.7	-13.10	-102.00	14.2	+ 0.90	2.80
	14.8.96	22.4	-13.73	-84.15	16.1	+ 0.95	25.69
Nivena	24.6.95	12.9	-12.51	-90.70	11.7	+ 1.00	9.38
Dere Suyu	31.5.96	12.7	-12.12	-95.36	13.0	+ 0.90	1.60
	12.8.96	17.6	-12.56	-90.15	15.0	+ 0.90	10.33



**Şekil 4. Yeşildere ve İnkılap Mineralli Su Kaynakları ve yüzey sularının dünya meteorik doğrusuna göre konumları ve döteryum trityum ilişkisi**

#### 4.4. Mineralli Suların İz Element ve Radyoaktivite İçerikleri

İncelenen mineralli su kaynaklarında  $Fe^{++}$ ,  $Cu^{++}$  ve  $Zn^{++}$  gibi suların tadını bozucu iyonlarla  $Pb^{++}$ ,  $Cd^{++}$ , As (toplam) gibi sağlığa zararlı iyonların analizleri yapılarak TSE 9130 (Madensuyu - İçilebilir)'a göre içmeye uygunlukları araştırılmıştır (Çizelge - 4). Mineralli su kaynaklarından Budak ve Akgedik kaynaklarının  $Fe^{++}$ ,  $Mn^{++}$ ,  $Pb^{++}$  ve  $Cd^{++}$  açısından, Yıldız, İnkılap ve Güvercinlik kaynaklarının  $Fe^{++}$ ,  $Pb^{++}$  ve  $Cd^{++}$  açısından, Yeşildere Mineralli Su kaynağının ise  $Pb^{++}$  açısından içmeye uygun olmadıkları belirlenmiştir.

Yapılan radyoaktivite analizlerinden mineralli kaynakların hepsinin alfa ( $\alpha$ ) aktivitesi açısından Dünya Sağlık Örgütü ve TSE 9130'a göre içmeye uygun olmadıkları görülmüştür (Çizelge - 4).

Çizelge 4. Mineralli su kaynaklarında analizi yapılan iz elementler ve alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ) aktiviteleri

Kaynak Adı	İyonlar	Mn <sup>++</sup> (mg/l)	Fe <sup>++</sup> (mg/l)	Pb <sup>++</sup> (mg/l)	Zn <sup>++</sup> (mg/l)	Cu <sup>++</sup> (mg/l)	Cd <sup>++</sup> (mg/l)	As (ppb)	Alfa( $\alpha$ ) Akt. (Bq/l)	Beta ( $\beta$ ) Akt. (Bq/l)
Müsade Edilen Değerler* (mg/l)		0.5	1.00**	0.05	3.00	1.00	0.005	0.05	0.100	1.000
Budak Mineralli Suyu		1.029	6.570	0.109	0.033	0.013	0.006	4.297	0.308	0.230
Tekkeköy Mineralli Suyu		0.064	0.02	0.164	0.046	0.025	0.022	4.134	0.175	0.132
Akgedik Mineralli Suyu		0.627	3.576	0.146	0.833	0.012	0.007	-	0.130	0.067
Yıldız Mineralli Suyu		0.213	1.471	0.15	0.018	0.012	0.009	-	0.677	0.230
Yeşildere Mineralli Suyu		0.252	0.073	0.067	0.041	0.015	0.005	4.105	0.122	0.161
İnkılap Mineralli Suyu		0.311	2.052	0.319	0.016	0.016	0.015	3.593	0.780	0.401
Güvercinlik Mineralli Suyu		0.448	2.222	0.208	0.016	0.013	0.005	-	0.163	0.184

\* TSE 9130 'da müsade edilen değerler.

\*\*TSE 266 ' da müsade edilen değerler.

#### 5. SONUÇLAR

1. Doğu Pontid Orojenik Kuşağı'nda yer alan mineralli su kaynaklarının KB-GD, D-B ve KD-GB doğrultulu hatlar boyunca dizilim gösterdikleri ve bu hatların bölgenin ana kırık hatlarıyla uyum sağladığı belirlenmiştir.
2. Mineralli su kaynaklarının sıcaklıklarının 5.5- 20°C arasında, debilerinin 0.01- 1.5 l/sn arasında, pH'larının 5.51- 6.53 arasında olduğu ve kaynak sıcaklıklarının mevsimsel değişimlerden etkilenmediği belirlenmiştir.
3. Hidrokimyasal yönden " kalsiyumlu, magnezyumlu, sodyumlu ve bikarbonatlı su" fasiyesinde olan mineralli su kaynaklarında katyon ve anyon sıralanması,  $Ca > Mg > Na + K - HCO_3 > SO_4 > Cl$  şeklindedir.
4. Kimyasal özelliklerden silikat minerallerinin çözünürlüğünün en fazla Budak Mineralli Suyu'nda olduğu; İnkılap Mineralli Suyu'nun izlediği yol boyunca dolomitlerle raksiyona girdiği;  $SO_4/Cl$  oranının Budak ve Yeşildere mineralli sularında yüksek olduğu; mineralli su kaynaklarında kil minerallerindeki Ca ile sudaki Na iyonunun yer değiştirdiği belirlenmiştir.
5. İzotop analizlerinden Yeşildere ve İnkılap Mineralli sularının meteorik kökenli sular olduğu; döteryum-tiriyum ilişkisinden İnkılap Mineralli Suyu'nun Yeşildere Mineralli Suyu'na göre daha derin dolaşım olduğu; oksijen-18 - döteryum ilişkisinden mineralli su kaynaklarında izotopik yer değiştirmenin olmadığı; Yeşildere Mineralli Suyu'na havzaya 3-4 aylık bir faz farkı ile yağış veya yüzey sularından beslendiği belirlenmiştir.
6.  $Pb^{++}$  konsantrasyonu incelenen mineralli su kaynaklarının tümünde standartlarda izin verilen sınır değerlerin üzerindedir. Ayrıca Budak ve Akgedik kaynaklarında  $Fe^{++}$ ,  $Mn^{++}$  ve  $Cd^{++}$ ; Yıldız ve İnkılap mineralli su kaynaklarında  $Fe^{++}$  ve  $Cd^{++}$ ; Güvercinlik Mineralli Su Kaynağı'nda ise  $Fe^{++}$  iyonları sınır değerlerin üzerindedir.
7. Mineralli su kaynaklarında toplam alfa aktiviteleri 0.122- 0.78  $\beta$ q/l, toplam beta aktiviteleri ise 0.067- 0.401 $\beta$ q/l arasında değişir. Bu değerlere göre mineralli su kaynakları TSE 9130 ve Dünya Sağlık Örgütü standardına göre içmeye uygun değildir.

#### 6. ÖNERİ

İncelenen mineralli su kaynaklarının bazı ağır metaller ve radyoaktivite içerikleri açısından içilebilir standardına uygun olmadıkları anlaşılmıştır. Durum böyle iken bu suların yakın çevredeki insanlar tarafından öteden beri bilinçsizce kullanılması sağlık açısından önemli sorunlar yaratacaktır. Bu nedenle ülkemizdeki mineralli su kaynaklarının, MTA Genel Müdürlüğü ve Sağlık Bakanlığı'nın ilgili birimleri

tarafından incelenerek, sağlık açısından sakıncalı olanların insanlar tarafından kullanılmasının önlenmesi, içilebilir niteliktekilerinin ülke ekonomisine kazandırılması sağlanmalıdır.

## 7. KAYNAKLAR

- Ağar, U., 1977. Demirözü (Bayburt) ve Köse (Kelkit) Bölgesinin Jeolojisi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi, KTÜ Matbaası, Trabzon, 58 s.
- Arthur, J.R., James, F. N. and Thomas M.H., 1997. Propagation Characteristics of Short- Period Sn and Lg in the Middle East, Bulletin of America, 87, 2, 396-413.
- Back, W. and Custodio, E., 1990. Handbook of Hydrogeology, S. C. Csallanyand R. A. Kanivertsky, Eds., 15, Mc Graw-Hill
- Bektaş, O. ve Çapkınoğlu, Ş., 1997. Doğu Pontid magmatik arkında (KD Türkiye) Neptuniyen Dayklar ve Blok Tektoniği: Mesozoyik Havzaların Kinematığı ile İlgili Bulgular, Ç.Ü. 20. Eğitim Yılı Sempozyumu, Adana.
- Bektaş, O., Yılmaz, C., Taslı, K., Akdağ, K. and Özgür, S., 1995. Cretaceous rifting of the eastern Pontide carbonate platform (NE Turkey): the formation of carbonate breccias and turbidites as evidence of a drowned platform, Giornale di Geologia, 3, 57/1-2, 233-244
- Gedik, İ., Kırmacı, M., Z., Çapkınoğlu, Ş., Özer, E., Eren, M., 1996. Doğu Pontidlerin Jeolojik Gelişimi, Jeoloji Müh. Böl. 30. yıl Sempozyumu, Ed. S. Korkmaz ve M., Akçay, 1, 654-677.
- Gültekin, F., 1999. Gümüşhane ve Bayburt Yöresi Mineralli Su Kaynaklarının Hidrokimyasal ve İzotopik Özellikleri. KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon, 184 s (yayımlanmamış).
- Güven, İ.H., 1993. Doğu Pontidlerin 1/25.000 Ölçekli Jeolojisi ve Komplikasyonu, MTA, Ankara, (Yayımlanmamış).
- Güven, İ.H., Nalbantoğlu, A.K. ve Takaoğlu, S., 1993a. MTA Genel Müdürlüğü 1/100.000 Ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeolojisi Haritaları Serisi, Trabzon F42 ve G42 Paftaları, Ankara.
- Güven, İ.H., Nalbantoğlu, A.K. ve Takaoğlu, S., 1993b. MTA Genel Müdürlüğü 1/100.000 Ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeolojisi Haritaları Serisi, Trabzon F43 ve G43 Paftaları, Ankara.
- Kadinsky-Cade, K., Barazangi, M., Oliver, J. and Isacks, B., 1981. Lateral Variations in High-frequency Seismic Wave Propagation at Regional Distances Across the Turkish and Iranian Plateaus, J. Geophys. Res. 86, 9377-9396.
- Matthess, G., 1982. The properties of Groundwater, J.C. Harvey, John Wiley and Sons, Inc., Canada, 406 p.
- Payne, B.R., 1983. Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology, International Atomic Energy Agency, Technical Reports Series No: 91, Vienna.
- Pelin, S., 1977. Alucra (Giresun) Güneydoğu Yöresinin Petrol Olanakları Bakımından Jeolojik İncelemesi, Karadeniz teknik Üniversitesi Yayını. Yayın No. 87, Trabzon.
- T.S.E., 1984. İçme Suları, TS-266, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 97 s.
- T.S.E., 1991. Maden Suyu - İçilebilir, TS-9130, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 13 s.
- Todd, D.K., 1980. Groundwater Hydrogeology, Second Edition, John Wiley and Sons, Inc., Canada, 535 p.

## YAĞIŞIN YILLIK YERALTISUYU BİLANÇOLARINA ETKİSİ THE EFFECT OF PRECIPITATION ON GROUNDWATER BUDGET

**Orhan DUMLU**, İTÜ Maden Fakültesi Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı  
**Erkan BOZKURTOĞLU**, İTÜ Maden Fakültesi Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı

### ÖZET

Akiferlerin boşalımı, boşalım kotunun üzerindeki aktif rezervuar hacmi tarafından kontrol edilir. Küçük akiferlerde bu rezervuar da küçük olup akiferlerden boşalım yalnız inceleme yılına ait yağışın etkisi altında olabilir. Bu tip akiferlerde beslenme aynı yıl içinde tamamen veya büyük oranda boşalır ve izleyen yıla aktarılan su hacmi yoktur veya çok sınırlıdır. Sonuçta küçük akiferlerde boşalım ve beslenimi inceleme yıllarındaki yağışla korele etmek mümkündür. Buna karşıt, önceki yılların yağışının etkileyebildiği büyük akiferlerin beslenme ve boşalımları ortalama yağıştan eklenik sapma grafikleri ile ilişkilidirler. Bu nedenle yeraltısuyu bilançoları hazırlanırken ortalama beslenme ve boşalımı aranan akiferlerde, inceleme yıllarına ait değerlerle ortalama değerler arasındaki ilişki, yağış veya ortalama yağıştan eklenik sapma grafikleri yardımı ile belirlenmelidir.

### ABSTRACT

Discharge from aquifers is controlled by the active volume of groundwater reservoir. If the active volume is small, it may be depleted in a year and has no effect on following year discharge. In this case discharge is controlled only by recharge (precipitation) of one year. But in large aquifers the volume of the active reservoir may be large enough and is not depleted in same year and may effect of discharge of the aquifer even in the following years. In other words discharge is not controlled only by the recharge of investigation year but also effected by the recharge (precipitation) occurred in past. For this reason during the estimation of groundwater balances of a large aquifer, the annual precipitation in the past must be known. For this reason cumulative departure from average precipitation graph should be used for this purpose.

## 1. GİRİŞ

Deniz, göl ve akarsulardan buharlaşan sular, bir süre sonra yağış şeklinde yeryüzüne ulaşır ve belli koşullarda yeraltına süzülerek yeraltısuyu oluştururlar. Yeraltısuları ise zamanla deniz, göl ve akarsulara boşalır ve hidrolojik devre tamamlanır. Yeraltından emniyetle çekilebilecek su miktarının tayininde kullanılan yeraltısuyu bilançolarında yeraltına süzülen su ile yeraltından boşalan suyun uzun vadede birbirine eşit olduğu kabul edilir. Küçük akiferlerde bu nispeten kısa sürelerde gerçekleşebilir fakat özellikle büyük akiferlerde her yıl, yıllık beslenme (süzülme) yıllık boşalmaya eşit olmayabilir. Çünkü bu tip akiferlerde boşalmı kontrol eden, boşalma kotunun üzerindeki su hacmidir. Buna aktif rezervuar hacmi denilir ve bu hacim, özellikle büyük akiferlerde, yalnız inceleme yılına ait beslenimin değil önceki yıllardaki beslenimin de etkisi altında olabilir.

## 2. BESLENME - BOŞALMA İLİŞKİSİ

Aktif rezervuar hacmi (V) ile boşalım (Q) arasındaki ilişki şöyle ifade edilebilir (Hantush, 1970).

$$Q = kV^n \quad [1]$$

k: Bir sabit. Akarsu ve kaynaklarda baz akımı analizlerinden elde edilebilir.

n: Bir sabit. Basınçlı laminer akımda 1, Serbest laminer akımda 2 olarak alınabilir.

Geniş alan kaplayan büyük aktif rezervuarlı akiferlerde yeraltısuyu rezervuarına ulaşan sular akış halinde olmalarına rağmen akiferi terk etmeleri uzun zaman alır. Sonuçta yeraltısuyu boşalmı, uzun süre aktif rezervuar içindeki bu suların etkisi altında kalır. Aktif rezervuarı çok küçük akiferlerde ise, muhtemelen yalnız yağışlı mevsimlerde akifer su boşalır. Küçük olan rezervuar kurak mevsimlerde boşalmı devam ettiremez. Sonuçta, bu tip akiferler, genellikle yağışla gelen beslenmeyi aynı yıl içinde boşaltırlar ve izleyen yıl içinde aktif rezervuara önemli bir katkı sağlamazlar. Böylece boşalım yalnız o yılın beslenimi (veya yağışının) etkisi altında kalır ve yağış-boşalım ilişkisi kurulur.

Nispeten büyük akiferlerde kurak yıllarda yağışla boşalım korele edilebilir. Çünkü izleyen yıla beslenme yönünde katkı yoktur. Fakat üstüste gelen ve uzun süren yağışlı yıllar sonunda bu tip akiferlerde de aktif rezervuar büyük hacimlere ulaşabilir ve bu hacmin boşalmı etkilemesi nedeni ile yağış-boşalım korelasyonu sağlanmayabilir. Büyük akiferlerde ise boşalım yalnız inceleme yılının değil, önceki yıllarında etkisi altındadır. Yeraltında akifer rezervuarına erişen suların akiferi terk etmeleri uzun zaman alır ve bu süre zarfında bu sular boşalmıyı etkilerler. Bu nedenle inceleme yılındaki yağışla boşalmı korele etmek mümkün olmayabilir.

## 3. SUNİ BOŞALIM YAPILAN AKİFERLER

### 3.1 Aktif Rezervuar, Beslenme ve Boşalma İlişkisi

Basitliği nedeniyle  $n=1$  (Basınçlı akifer) alınarak bir akiferde farklı beslenme durumlarında, aktif rezervuar hacmi ve boşalmanın değişimi Çizelge 1'de incelenmiştir (Bu örnekte aktif rezervuar hacmi için herhangi bir hacim birimi alınabilir. Beslenme, suni boşalım ve boşalım ise birim/yıl olarak ifade edilmektedir). Örnek incelemede akiferin aktif hacmi 90 birim (uzun yıllar ortalaması) ve beslenmesinin 10 birim/yıl olduğu varsayılmıştır. Yıllık doğal boşalmı bulabilmek için, o yıla ait aktif rezervuar hacmine beslenme eklenmiş ve buna karşılık olarak varsa suni boşalım (Kuyu veya galeriler ile su çekimi) çıkarılmıştır. Bulunan ( $V_1$ ) değeri ( $k$ ) ile çarpılarak doğal boşalım hesaplanmıştır. Bu yılı izleyen yıla ait aktif rezervuar hacmi ise, doğal boşalmanın, ( $V_2$ ) değerinden çıkarılması ile elde edilmiştir.

Bu durumda akiferin aktif rezervuar hacmi ( $V_1$ ) beslenme ile birlikte yıl içinde 100 birime ulaşır. Boşalma (Q) ise beslenmeye eşit olup 10 birim/yıl olduğundan  $k = Q/V = 1/10$  yıl bulunur. Çizelgenin hazırlanışında birinci yıl örnek alınır; 90 birim olan aktif rezervuar hacmi bu yıla ait 20 birimlik beslenmeyi alınca 110 birime ulaşır.  $k = 1/10$  yıl olduğundan doğal boşalım  $Q = kV$  formülü ile 11 birim/yıl bulunur. Bunun sonucu, ikinci yıl başında aktif rezervuar hacmi artarak 99 birim olur. Çizelge 1 in incelenmesinden; yağışın ve buna paralel olarak beslenmenin sabit olmaması nedeni ile beslenme, doğal ve suni boşalım ile aktif rezervuar hacmi arasında aşağıda maddeler şeklinde belirtilen ilginç ilişkilerin olduğu ortaya çıkmıştır.



Çizelge 1 : Basınçlı bir akiferde Aktif Rezervuar Hacmi, Beslenmesi ve Boşalımı

YIL	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Aktif Rez. Hacmi	90.0	90.0	99.0	116.1	109.0	102.6	96.84	91.66	86.99	87.3
Beslenme	10.0	20.0	30.0	5.0	10.0	10.0	10.0	10.0	15.0	-
Suni Boşalım	-	-	-	-	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	
Boşalım	10.0	11.0	12.9	12.1	11.4	10.76	10.18	9.67	9.7	

### 3.2 Çizelgede Dikkat Çeken Noktalar

- a) İlk 2 yılda beslenme normalin (uzun yıllar ortalamasının) üstündedir (20-30 birim/yıl). Bunun sonucu olarak da 2. yıl sonunda aktif rezervuar hacmi (Dolayısıyla su seviyesi) ve boşalım normalin üstündedir.
- b) Üçüncü yılda beslenme 5 birim/yıl olup normalden az iken, ilk iki yıldaki aşırı beslenme nedeniyle boşalım ve yıl sonundaki (4. yıl başındaki) aktif rezervuar hacmi yine de normalin üstündedir. Bu duruma önceki 2 yıldaki fazla beslenme yol açmıştır.
- c) Çizelgede 4 ile 7. yıllar arasında beslenme, ortalama beslenmeye (10 birim/yıl) eşit iken suni boşalım 5 birim/yıl dır. Suni boşalımın beslenmeden az olmasına rağmen aktif rezervuar hacmi ve boşalım devamlı azalmış ve 8. yılda aktif rezervuar hacmi (dolayısı ile su seviyesi) normalin de altına inmiştir. Başka bir ifade ile beslenmeden az su çekilmiş olmasına rağmen seviye düşümü durmamış ve normalin de altına inmiştir. Ayrıca, 4 ve 7. yıllar arasında beslenme sabit kalıp, ortalama değerini korumuşken rezervuar hacmi ve boşalım devamlı değişmiştir, dolayısıyla sabit beslenme sabit boşalımı gerektirmemektedir.
- d) Sekizinci yılda beslenme normalin üstünde iken (15 birim/yıl) aktif rezervuar hacmi ve boşalım normalin altındadır. Ancak normalin üstündeki bu beslenme 4. yılda suni boşalım ile birlikte başlayan hacim azalmasını önlemiş, hatta rezervuar hacminde (dolayısı ile su seviyesinde) yükselmeye neden olmuştur. Sonuçta yeraltısuyu işletmesi yapılan akiferlerde normalin üstünde beslenmede de yeraltısı seviyesi yükselebilir.
- e) Aktif rezervardaki değişme nedeni ile 9 yıllık işletme süresinde hiç bir zaman beslenme toplam boşalımı eşit olmamıştır. Bu husus, büyük akiferlerde yeraltısuyu işletmelerinin ilk yıllarında

Doğal boşalma = Beslenme - Suni boşalım eşitliğinin de doğru olmadığını gösterir.

## 4. SUNİ BOŞALIM YAPILMAYAN AKİFERLER

### 4.1 Yağış - Seviye İlişkisi

Bu ilişkiyi incelemek için aynı miktarda toplam yağış (veya beslenme) alan fakat aktif rezervuar hacimleri farklı iki akiferde yağış ile boşalımın (veya aktif rezervuar seviyesinin) değişimi aşağıdaki örneklerle incelenmiştir.

#### I. Akifer

- Aktif Rezervuar Hacmi : 5000 birim (varsayım)
- Beslenme : 575 birim/yıl (varsayım)
- $k = 575/5000 = 0.115 \text{ yıl}^{-1}$

Örneklerde 650 mm/yıl yağışa karşılık 650 birim/yıl beslenme olduğu (Çizelge 4) varsayılarak I. akiferde beslenme (yağış)-boşalım (veya aktif rezervuar hacmi dolayısıyla seviye) ilişkisi yukarıda verilen yöntem ile araştırılmış ve sonuçlar Çizelge 2 de sunulmuştur. Çizelge 2 incelendiğinde; 1985 yılı başında 5000 birim olan aktif rezervuar hacmi, aynı yıl 650 birim beslenme alınca aktif hacim 5650 birim olacak ve  $k = 0.115 \text{ yıl}^{-1}$  olduğundan boşalım 582 birim/yıl olarak bulunacaktır. Bu yıl için beslenme boşalma değerinden fazla olduğu için 1986 yılı başında aktif rezervuar hacmi 5068 birim olacaktır. İzleyen yıllar için yapılan benzer hesaplamalar ile 1991 yılında aktif rezervuar hacminin uzun yıllar ortalama değeri olan 5000 birim den daha az olabileceği de görülmektedir. Ayrıca Çizelge 2 de akiferin yıllık beslenme ve boşalma koşullarına bağlı olarak aktif rezervuar hacminin yıllara göre değişebileceği de görülmektedir.

Çizelge 2 : Suni Boşalım olmayan büyük bir akiferde Beslenme - Boşalım ilişkisi

YIL	Ort.	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
Aktif Rez. Hacmi	5000	5000	5068	5174	5134	5233	5053	4891	4970
Beslenme	575	650	700	550	700	400	400	650	550
Boşalma	575	582	594	590	601	580	562	571	569

## II. Akifer

- Aktif Rezervuar Hacmi : 575 birim (varsayım)
- Beslenme : 575 birim/yıl (varsayım)
- $k = 575/(575+575) = 0.50 \text{ yıl}^{-1}$

Aktif rezervuar hacmi daha küçük olan ikinci akiferde aynı beslenme koşulları altında (Çizelge 4) aktif rezervuar hacmi-beslenme-boşalım ilişkisi araştırılmış ve sonuçlar Çizelge 3 te sunulmuştur.

Çizelge 3 : Suni Boşalım olmayan küçük bir akiferde Beslenme - Boşalım ilişkisi

YIL	Ort.	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
Aktif Rez. Hacmi	575	575	613	657	604	652	526	463	557
Beslenme	575	650	700	550	700	400	400	650	550
Boşalma	575	612	656	603	652	526	463	556	553

Çizelge 2 ve 3 incelendiğinde; 1985 - 1991, 1986 - 1988, 1987 - 1992 ve 1989 - 1990 yıllarındaki beslenme değerlerinin aynı olmasına rağmen boşalma değerlerinin aynı olmadığı görülmektedir. Hiç bir yıl beslenme boşalmaya eşit değildir. Beslenmenin ortalama değerden fazla olmasına rağmen 1991 yılına ait boşalım ortalama değerden küçük olabilmektedir. Aynı beslenme koşullarında olmalarına rağmen 1991 yılında aktif rezervuar hacmi 4891 birime düşen 1. akiferden beslenmenin %80'i kadar su çekilirse (460 birim/yıl) herhangi bir sorun oluşmayacaktır. Buna karşılık 2. akiferde 1991 yılındaki aktif rezervuar hacmi olan 463 birim ise böyle bir çekim halinde özellikle kıyı akiferlerinde problem çıkarılabilecektir. Bu nedenle küçük hacimli akiferlerde Emniyetli verim / Beslenme oranı küçük seçilmelidir.

## 5. YAĞIŞIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Aktif rezervuarı büyük akiferlerde boşalma, yalnız inceleme yılının değil, önceki yılların yağışlarının da etkisindedir. Bunun için bu tip akiferlerde bilanço hazırlanırken eklenik yağış grafiklerinden yararlanılır.

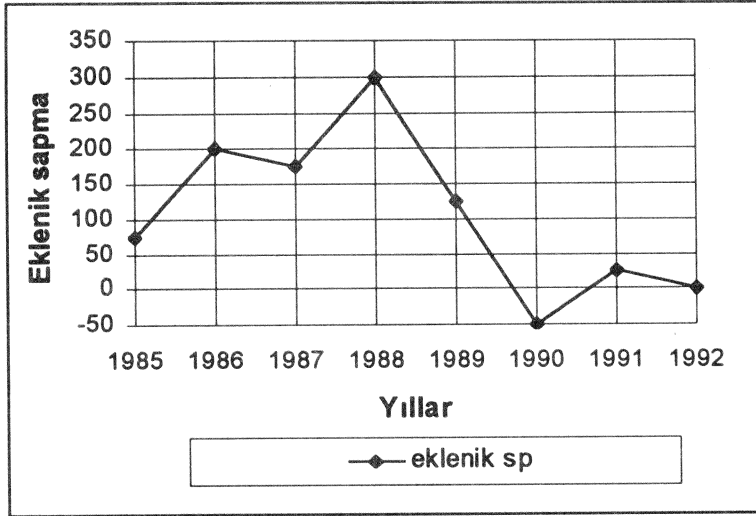
### 5.1 Ortalama Yağıştan Eklenik Sapma Grafiği

Örneğin incelenen alanı temsil eden bir yağış istasyonunda ölçülen yağış değerleri şöyle olsun (Çizelge 4).

Çizelge 4: Yağış - Eklenik Sapma İlişkisi

YIL	YAĞIŞ (mm.)	YILLIK SAPMA (mm.)	EKLENİK SAPMA (mm.)
1985	650	+75	+75
1986	700	+125	+200
1987	550	-25	+175
1988	700	+125	+300
1989	400	-175	+125
1990	400	-175	-50
1991	650	+75	+25
1992	550	-25	0
Ortalama Yağış		575 mm.	

Çizelge; Yıllık sapma = Yağış - Ortalama yağış olarak hesaplanır. Eklenik sapma ise yıllık sapmaların toplamıdır. Yıllara göre Ortalama yağıştan eklenik sapmanın değişimini gösteren grafik çizilir (Şekil 1). Bu koşullarda son eklenik sapma değeri sıfır olmalıdır. Bu grafiğin değerlendirilmesi aşağıda yapılmıştır.

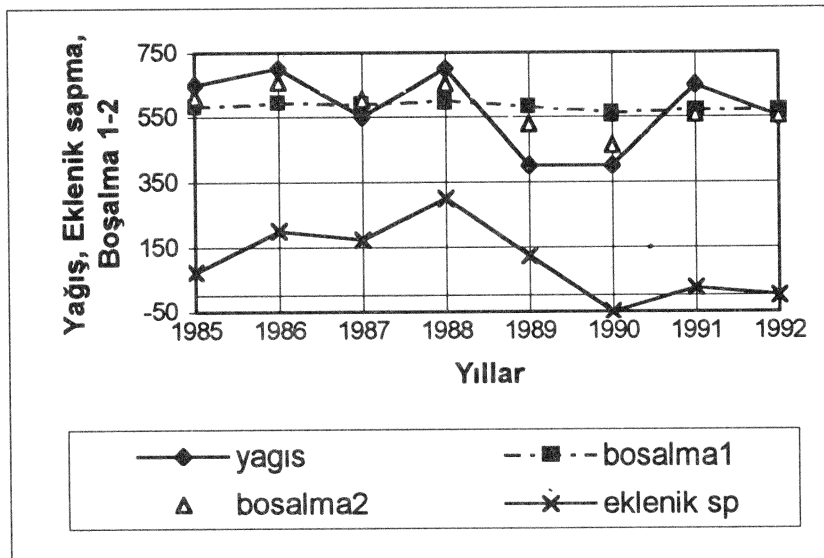


Şekil 1 : Ortalama Yağıştan Eklenik Sapmanın Yıllara Göre Değişimi

## 5.2 Değerlendirme

Grafikte yatay eksen normal gösterir. Aktif rezervuarı büyük bir akiferde çalışılıyorsa 1986 ve 1988 yıllarında, su seviyesi ve boşalmanın normale göre yüksek, 1990 yılında ise düşük olması beklenir. 1987 yılında ise yağış ortalamadan az olmasına rağmen büyük akiferlerde boşalım ve seviye normale göre yüksek olabilir. Ancak özellikle küçük aktif rezervuarlı bir akiferde çalışılıyorsa 1989 yılında su seviyesi ve boşalmanın normalin üstünde olması kesin değildir. Zira aktif rezervuarı çok küçük olan (örneğin mevsimsel kaynaklarla boşalan) akiferlerde bir yıla ait yağış bu yılı izleyen yılları etkileyebilir ve boşalım ve seviyeler, eklenik grafikten ziyade (özellikle kurak yıllarda) doğrudan o yıllara ait yağış değerleri ile korele edilebilirler.

Rezervuar hacmi büyük olan 1. akiferde boşalım ve rezervuar hacmi dolayısı ile su seviyesi eklenik grafikte (Şekil 2, Çizelge 4) rezervuar hacmi küçük olan 2. akiferde ise yağışla korele edilebilmektedir (Şekil 2, Çizelge 4). Örneğin 1989 daki 400 mm.lik yağış sonunda küçük akiferde boşalım ortalamasının altına düşerken, büyük akiferde hala ortalamasının üstündedir. Bu husus eklenik grafikte görülmektedir. Çünkü bu tarihteki eklenik sapma +125 olup pozitifdir. İncelenen yıl son yıl ise, bu yıla ait eklenik değer de daima sıfır olduğundan, değerlendirme şöyle yapılır; 30 yıllık yağış rasatı varsa, örneğin ilk 25 yılın ortalama yağış değeri kullanılarak eklenik sapma grafiği çizilir. 30. yıla ait değer (+) ise bu yılın yağışlı, (-) ise kurak periyot içinde olduğuna karar verilir.



Şekil 2 : Yıllara göre yağış, eklenik sapma ve boşalma ilişkisi

## 6. SONUÇLAR

a) Yalnız beslenme ve boşalma dikkate alındığında, bir yıllık yeraltısuyu bilançolarında, beslenme boşalmaya eşit olmayabilir.

b) Aktif rezervuar hacmi büyük olan akiferlerde, inceleme yılının ;

- a) Yağışlı olması, yeraltısuyu seviyesinin ve boşalımın normalden yüksek
- b) Kurak olması, seviye ve boşalımın normalden düşük
- c) Normal yağışlı olması, seviye ve boşalımın da normal olmasını gerektirmez

c) Suni boşalım normal beslenmeden küçük olsa da seviye düşümü kaçınılmazdır. Fakat uygulamada, normalden büyük beslenme halinde seviye düşümü durabilir ve hatta seviye yükselimi görülebilir.

d) Su çekimi ile birlikte artması mümkün olan beslenme ile azalması beklenen yeraltısuyundan buharlaşma, işletmenin ilk yıllarında ve özellikle küçük çekim halinde, yeraltısuyu seviye düşümünü maskeleyebilirler.

e) Aktif rezervuarı büyük akiferlerdeki yeraltısuyu işletmelerinin ilk yıllarında;

Boşalım = Beslenme - Suni boşalım eşitliği geçerli değildir.

f) Herhangi 2 yılda yağışların eşit olması, akiferde seviye ve boşalımın da eşit olmasını gerektirmez. Benzer şekilde, inceleme yılındaki yağışın ortalama yağışa eşit olması, inceleme yılındaki seviye ve boşalımında ortalama değerlere eşit olacağı anlamına gelmez.

g) Ortalama yağışının uzun yıllar ortalamasına eşit olduğu bir peryotta, seviye değişiminin olmaması koşulu ile, bu peryot içinde çekilen ortalama su miktarının emniyetli verim olarak alınması da (bilinenin aksine) hatalıdır.

h) Yağıştaki değişme boşalımı büyük akiferlerde az, küçük akiferlerde çok etkiler.

## 7. ÖNERİLER

a) Bir yıllık bilgilere dayanarak yeraltısuyu bilançosu yapılması hatalıdır. Örneğin inceleme yılında rezerv değişimi yöntemi ile tahmin edilen beslenme, ortalama beslenme alınmamalıdır. Bilançolar daha uzun süreli ölçüm ve gözlemlere dayanmalıdır.

b) Büyük akiferlerde boşalım ve yeraltısı seviyesini ortalama yağıştan eklenik sapma grafiği ile, küçük akiferlerde ise yağışla korele etmek mümkündür.

## YARARLANILAN KAYNAK

Hantush, M, S. (1970); Yeraltısuyu hidroliği notları DSİ Ankara. s : 154

## DAİRESEL KESİTLİ KAZI ÇUKURLARININ DRENAJİ

### DRAINAGE OF CIRCULAR EXCAVATION PITS

**Orhan Dumlu**, İTÜ Maden Fakültesi Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı  
**Erkan BOZKURTOĞLU**, İTÜ Maden Fakültesi Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı

#### ÖZET

Yeraltında yapılan mühendislik çalışmalarında çalışma koşullarını kolaylaştırdığı için yeraltısuyu bulunan alanlarda suyun drenajı istenir. Bunun için çok zaman kazı çukurunun çevresine çakılan palplanş (sheet pile) ile yeraltısuyunun çukura yatay hareketi engellenir. Bu durumda çukura yalnız kazı çukurunun tabanından su gelir. Uygulamada çukura birim uzunluktan gelebilecek su miktarı özel deneyim gerektiren, akım ağlarının çizilmesi ile tahmin edilmektedir. Bu çalışmada çevresi palplanşla ile kapanmış dairesel kesitli kazı çukuru, yalnız tabandan su alan geniş çaplı bir kuyu gibi düşünülerek drenaj esnasında çukura gelmesi beklenen su miktarının belirlenebilmesi konusu incelenmiştir. Böylece bir taraftan yeraltısuyu akım ağlarını çizmeden çukura gelebilecek su miktarı belirlenirken diğer taraftan özellikle yerleşim alanları içindeki kazı çukurlarının, çevrede neden olabileceği olası su seviyesi düşümü de tahmin edilebilecektir.

#### ABSTRACT

Generally, drainage of groundwater is needed during excavation in engineering works. In practise to use sheet pile is recommended to reduce horizontal groundwater flow into excavation pits. In this case groundwater may enter mainly from bottom of the pit. In order to estimate water yield of the excavation pit, equipotential lines are drawn around the pit area.

It is necessary to have special experiences to draw these lines. In this study the water yield of excavation area is estimated assuming that the pit as a large diameter well which receives water only from bottom. By this methods it is also possible to estimate drawdown around the pit. So it can be possible to estimate water yield and drawdown around of an excavation area without drawing equipotential lines.

## 1. GİRİŞ

Kazı esnasında kazı çukurunun stabilitesini sağlamak ve kazı çukuruna gelen su miktarını azaltmak için kazı çukurunun çevresine palplanş (sheet pile) yerleştirmek uygulamada çok raslanılan bir önlemdir. Bu durumda kazı çukuruna yatay olarak gelen su akımı önlenir ve yalnız çukur tabanından gelen akım söz konusu olur. Bu koşullarda çukura gelebilecek su miktarı genellikle yeraltı suyu akım ağları çizilerek araştırılır. Akım ağlarının çizilmesinin özel kuralları olup ancak bu konuda deneyimli olan araştırmacılar bu yöntemi uygun şekilde kullanabilirler.

Bu çalışmada, akım ağlarını çizmeden; dairesel kesitli bir kazı alanına gelebilecek su miktarı, kazı alanı, yalnız tabandan su alan bir kuyu varsayılarak, tahmin edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca önerilen yöntem ile kazı çukuru çevresinde oluşabilecek düşümlerinde tahmin edilmesi mümkün olmaktadır.

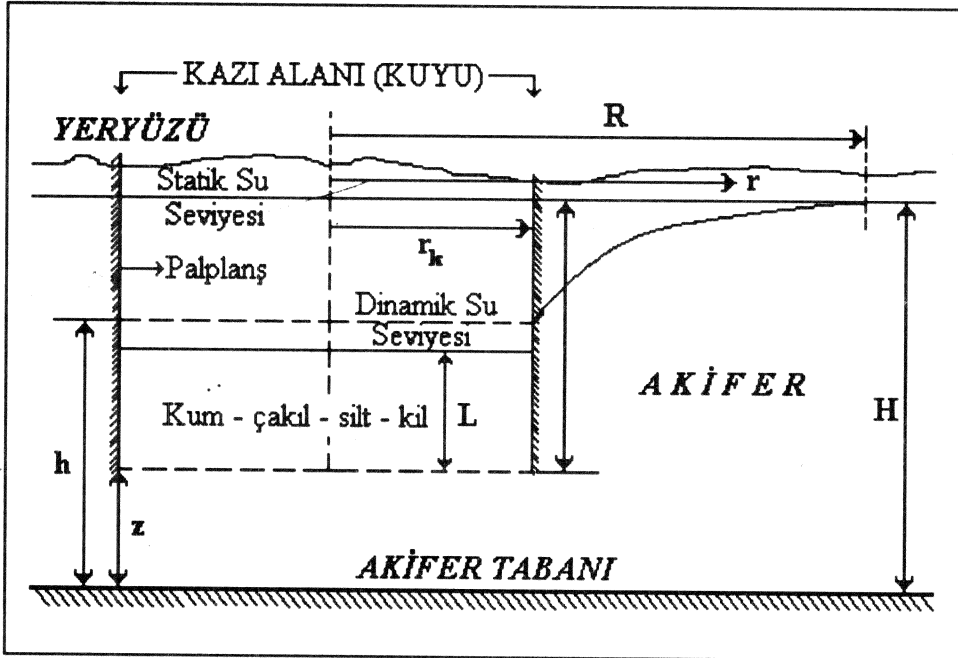
## 2. "SHEET PILE" KULLANILMASI DURUMUNDA KAZI ÇUKURLARINA GELEBİLECEK SU MİKTARI

Halen barajlardan taban yolu ile sızan suların tahmininde kullanılan akım ağları analizleri, bu tip problemlere de uygulanmaktadır. Bu konuda analitik çözümler de önerilmektedir (De Wiest, 1966). Gerek akım ağlarının çizilmesindeki güçlükler, gerekse kazı çukuru çevresinde yeraltı su seviyesinin değişmediği varsayımı yöntemin zayıf taraflarıdır.

2a) Dairesel kesitli bir kazı çukuruna gelebilecek su miktarı; Böyle bir kazı çukuru Bogomolov tarafından incelenen yanları kapalı (geçirimsiz hale getirilmiş) ve yalnız tabanından su alan kuyuya benzemektedir. Bogomolova (1978) göre;

$$Q = \frac{K(H-h)r_k}{P} \quad [1]$$

olarak belirtilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1 : Akifer içinde açılan palplanşlı kazı çukuru (kuyu)

Burada;

Q = Kuyunun debisi (m<sup>3</sup>/gün)

K = Permeabilite (m/gün)

r<sub>k</sub> = Kuyu yarıçapı (m)

H = Akiferin doymun kalınlığı (m)

$h$  = Kuyu içindeki su seviyesinin akifer tabanından yüksekliği (m)  
 $(H-h)$  = Kuyu içindeki su seviyesi düşüm değeri (m)  
 $z$  = Sheetpile'in (palplanşın) alt ucu ile akifer tabanı arasındaki yükseklik (m)  
 $R$  = Etki yarıçapı (m)  
 $P$  = Aşağıdaki eşitlikle ifade edilen kuyu Fonksiyonu

$$P = \frac{1}{2\pi} \left[ \frac{\pi}{2} + 2 \arcsin \frac{\bar{r}}{1 + \sqrt{1 + r^2}} + 1.185 \bar{r} \log \frac{1}{4} \bar{R} \right]$$

Litolojik birimlerin etki yarıçapı ( $R$ ) değerleri bu birimlerin permeabilite değerleri de dikkate alınarak Bogomolov tarafından şu şekilde verilmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1 : Litoloji - etki yarıçapı ilişkisi

Litoloji	R, etki yarıçapı (m.)
İnce-killi kum	65
Kum	75
Orta kum	100
Kaba kum	125
Çakıl	150

$P$  kuyu fonksiyonunun değerleri ise,  $R^- = R/z$  ve  $R_0 = r_k/z$  değerlerine göre Çizelge 2 de verilmiştir (Bogomolov 1978).

Çizelge 2 :  $P$  kuyu fonksiyonu değerleri

$R^-$	$R_0$ (→)	0,001	0,050	0,100	0,300	0,500	0,800	1,000	2,000
	2	0,250	0,225	0,260	0,280	0,297	0,319	0,329	0,348
5	0,250	0,259	0,268	0,302	0,335	0,379	0,404	0,498	
10	0,250	0,262	0,273	0,319	0,363	0,424	0,461	0,612	
15	0,250	0,263	0,277	0,329	0,380	0,451	0,494	0,678	
20	0,250	0,264	0,279	0,336	0,392	0,469	0,518	0,725	
50	0,250	0,268	0,268	0,359	0,429	0,529	0,592	0,875	

### ÖRNEK

Akifer ince kum (dolayısı ile  $R=75m$ ), kazı çukuru yarıçapı  $r_k = 2,5m$  ve  $z = 5m$  olsun. Bu durumda;  $R^- = R/z = 75/5 = 15$  ve  $R_0 = r_k/z = 2,5/5 = 0,5$  olup Çizelge 1 den  $P = 0,380$  ve [1] formülünden gelecek olan toplam su;

$$Q = \frac{K(H-h)r_k}{0,380} = 2,63K(H-h)r_k$$

ve bu örnek için birim uzunluktan gelen su miktarı ise;

$$q = \frac{Q}{2\pi r_k} = 0,42K(H-h)$$

olarak bulunur.

2b) Çok kalın akiferlerde beklenen su miktarı; Akiferin çok kalın ise Çizelge 2 den  $P = 0,250$  seçilip [1] nolu formülde yerine konulursa dairesel kesitli bir çukura (kuyuya) gelen su miktarı;

$$Q = 4Kr_k(H-h) \quad [2]$$

veya birim uzunluktan gelen su miktarı ise;

$$q = \frac{Q}{2\pi r_k} = 0,636K(H - h)$$

olarak bulunur.

Bu eşitlik akifer kalınlığının bilinmediği durumlarda veya ön değerlendirmelerde kazı çukuruna birim uzunluktan gelebilecek yeratusuyu miktarının belirlenmesinde kullanılabilir. Kalın akiferlerde permeabilite değerinin (K) bulunmasında yine bu yöntemden yararlanılabilir.

Kesit alanı 'A' olan ve yalnız tabanından su alan bir kuyuda debinin hesabı için Darcy kanununa göre  $Q \stackrel{\approx}{=} KiA$  yazılabilir (i = Hidrolik eğim). Formüldeki 'A' alanının geometrik şekli (örneğin daire veya kare oluşu) sonucu etkilemez. Alanı A olan geometrik şekillerden çevresi en küçük olan dairedir. Bu nedenle aynı akiferde aynı debide su çekiliyorsa, dairesel kesitli ve alanı 'A' olan bir kuyuya, birim uzunluktan gelen su miktarı, kesit alanı dairesel olmayan fakat alanı 'A' olan kuyuya birim uzunluktan gelen su miktarından fazladır. Bu nedenle yukarıdaki formül, kesiti daire şeklinde olmayan kuyularda, birim uzunluktan maksimum giriş değerinin tahmininde kullanılabilir.

**2c) Kritik düşüm;** Bir kazı çukurunda (kuyuda) su seviyesi düştükçe hidrolik eğim ve debi, dolayısıyla suyun kuyuya giriş hızı artar. Hidrolik eğim 1 değerine yaklaştıkça özellikle ayrık malzemeli akiferlerde su, kuyu tabanında akiferin ince malzemesini yukarıya doğru taşımaya (sürüklemeye) başlar.

Seviye düşümü devam ederse kuyu tabanının patlaması ve akifer içindeki suyun kazı çukuruna aniden dolması beklenir. Bu nedenle kazı çukurunda kazı ve su seviyesinin düşümüne, sheet pile'in alt ucundan belli bir yükseklikte mutlaka son verilmelidir.

**2d) Kritik düşümün (H - h) tahmini;** Bir kazı çukurunda (kuyuda) hidrolik eğim  $[i = (H - h) / L]$  şeklinde tariflenir. Kritik hidrolik eğim 1 olduğunda  $(H - h) = L$  bulunur. Fakat uygulamada ayrık malzemeli akiferlerde kritik hidrolik eğim, genellikle 0,7 seçilerek  $(H - h)$  ın (kuyu içindeki düşümün) L değerinden küçük olmasının sağlanması önerilmektedir (Driscoll,1990). Bunun sağlanması, kuyu içindeki düşümün kritik düşümden küçük olmasını dolayısı ile kazı çukurunun tabandan patlamasını önlenmiş olacaktır.

**2e) Kuyuda belli bir kalınlıkta malzeme bulunması;** Bir kazı çukurunda (kuyuda) L kalınlığında bir malzemenin bulunması durumunda, bu malzemenin suyun kazı çukuruna (kuyuya) girişini göreceli olarak azaltması nedeniyle kazı çukurundan (kuyudan) daha az su çekimine neden olacaktır. Bu ise hesaplanan debilerin gerçek değerden daha fazla olmasını dolayısı ile emniyetli olmasını sağlar.

### 3. KAZI ÇUKURU DIŞINDAKİ SEVİYE DÜŞÜMÜ

Kazı çukurunun dışındaki seviye düşümü ise; dairesel kesitli çukurlarda Bogomolov tarafından aşağıdaki formül ile belirtilmiştir.

$$s = \frac{QR(r^-)}{Kr_k}$$

Burada;

s : Kazı çukuru (kuyu) çevresindeki düşüm

K : permeabilite

$r_k$  : Kuyu yarıçapı (kazı çukuru yarıçapı)

r : Kuyu (kazı) merkezinden herhangi bir mesafedeki uzaklık

$r^- = r/r_k$

Q : Debi

R(r) Kuyu fonksiyonu

$r^-$  değerlerine göre R( $r^-$ ) değerleri Çizelge 3 te verilmiştir.



Çizelge 3 :  $r^- - R(r^-)$  ilişkisi

$r^-$	$R(r^-)$
1	0,250
2	0,080
3	0,050
4	0,040
5	0,030

#### 4. YÖNTEMİN AVANTAJLARI

Önerilen yöntemin avantajları aşağıda maddeler şeklinde özetlenmiştir.

- Belli bir bilgi birikimi gerektiren akım ağlarının çizilmesi işlemini gerektirmemektedir,
- Kazı çukuru çevresindeki seviye düşümü, akım ağları çiziminde dikkate alınmazken bu yöntemde dikkate alınmakta ve hesap edilebilmektedir.
- Ülkemizde çok sayıda geniş çaplı adi (köy) kuyu olmasına rağmen, bu kuyulardan; akiferlerin hidrolik katsayılarının belirlenmesi amacıyla yararlanılmamaktadır. Yukarıda açıklanan yöntem ise bu imkanı vermektedir. Örneğin çok kalın veya kalınlığı bilinmeyen bir akiferin (K) permeabilite katsayısı bu tip kuyularda yapılacak uzun süreli bir pompalama deneyi ve [2] formülü ile şu şekilde tahmin edilebilir.

$$K = \frac{Q}{4(H-h)r_k}$$

#### 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

- Dairesel kesitli (palplanşlı) kazı çukurlarına kazı esnasında gelecek su miktarı yalnız tabandan su alan kuyulara benzeşim ile çözülebilir.
- Kalın akiferlerde (çevre sheeppile ile kapatılmış olma koşulu ile) çukura gelebilecek toplam su debisi;

$$Q = 4Kr_k(H-h)$$

formülü ile hesaplanır ancak (h) seçilirken kritik hız dikkate alınmalıdır.

- Yoğun yerleşim alanlarındaki derin kazılarda çukur çevresindeki su seviyesi düşümü de önem kazanır. Yukarıda verilen formül, bu düşümün tahminine imkan verir.

#### YARARLANILAN KAYNAKLAR

- Bogomolov G, V, (1978); Artificial Refilling of Groundwaters Resource. Publishing house Nauka Moscow. p : 67
- De Wiest, R, J. (1966); Geohydrology. John Wiley&Sons inc London. p : 217
- Driscoll, F, G, (1990); Groundwater and Wells. Jonhson Division ST. Poul/Minne. p : 780

## **CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) Kullanılarak Dağılık parametrelili Hidrolojik Model Uygulaması: Güvenç Havzası (Ankara)**

### **Application of Distributed Hydrologic Modelling by Using Geographic Information Systems (GIS): Güvenç Watershed (Ankara)**

**Armağan KARABULUT, Alparslan ARIKAN ve Levent TEZCAN**  
Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Müh. Böl. Hidrojeoloji ABD., 06532, Ankara

#### **ÖZET**

Bir drenaj havzasının heterojen hidrolojik yapısı, dağılık parametrelili yağış-akış modelleriyle belirlenebilmektedir (Beven v.d.,1982). Bu çalışma kapsamında havzadaki değişken parametrelerin alansal dağılımını sağlayabilen ve havzanın heterojen fiziksel yapısının değerlendirilmesinde etkin bir araç olan Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS), dağılık parametrelili yağış-akış modellemesi üzerindeki yararları incelenmiştir.

Uygulama, Ankara'nın kuzey-batısında bulunan Güvenç Gölet havzasında yapılmıştır. Havzaya ait mevcut veriler ve deneysel çalışmalarla sağlanan veriler doğrultusunda hidrolojik döngüyü tanımlayan kavramsal model oluşturulmuştur. 1/25 000 ölçekte havzanın drenaj ağı, drenaj sınırı, litolojisi, arazi kullanımı, topografik haritası, CBS katmanları oluşturulmak üzere MGE-Microstation CBS yazılımında sayısallaştırılmıştır. Sayısallaştırılan vektör tabanlı (x,y) bu veriler, vektör ve raster dönüşümleri kolaylıkla sağlayabilen GRASSLAND yazılımında, modelde kullanılmak üzere raster formatta hazırlanmıştır. Yapılan işlemler sonucunda, dağılık parametrelili hidrolojik modelde kullanılmak üzere sayısal yükseklik modeli (SYM), taban haritası kullanılarak sağlanan yönelim ve eğim haritası, jeoloji haritası, toprak haritası, drenaj ağı, havza sınırı CBS katmanları raster formatta elde edilmiştir.

Akım öteleme tekniğine bağlı olarak geliştirilen matematiksel model (Tezcan, 1993), havzanın kavramsal modeline göre düzenlenmiş ve havza fiziksel özelliklerini yansıtan dağılık parametrelili hidrolojik model elde edilmiştir. CBS katmanları modele eklenerek model çalıştırılmış ve model sonuçları olarak yüzeysel tutunma, yüzeysel akım, sızma ve taban akımı CBS katmanları şeklinde elde edilmiştir. Buna ek olarak istenen bir alt havzaya ait akım miktarı da model çıktısı olarak elde edilebilmektedir. Benzeşim 1992 yılına ait 3 sağanak dönemi için anlık yağış verileri kullanılarak yapılmış, ancak bu çalışmada bir sağanak sonuçları incelenmiştir.

#### **ABSTRACT**

Heterogeneous characteristics of a watershed can be determined by distributed hydrological rainfall-runoff models. In the scope of this study, the advantages of GIS that yields spatial distribution of variable parameters in a watershed and an active tool on determining the heterogeneous physical characteristics of a watershed on distributed hydrological modeling have been examined.

The model was applied in Güvenç Puddle Watershed which is located in NW of Ankara. Conceptual model of watershed has been formatted according to experimentally supplied data. Drainage network,

drainage boundary, lithology, landuse and topographic maps have been digitized on the scale of 1/ 25 000 by using MGE Microstation GIS software to create GIS layers. For the requirements of the model, these vector based data have been prepared in the raster format. Consequently, digital elevation model (DEM), aspect and slope, geology, soil, drenage network, and drainage boundary maps were obtained. The mathematical model (Tezcan,1993) which was based on flow routing method had been modified according to the conceptual model of the watershed. Afterwards the GIS layers have been entegrated to the model and results are obtained as GIS layers which are surface interception, overland flow, infiltration and base flow. One of the instantaneous storm data in 1992 was used for simulation.

## 1. GİRİŞ

Günümüzde meslek ve bilim dallarının çoğunda, tüm dünyada artan nüfusa ve gelişen teknolojiye bağlı olarak çalışmalarda kullanılan ve analizi gereken veri türü artmıştır. Geniş kapsamlı bu verileri kullanarak bir takım sorgulamalar yapmak zorlaştığından ve uzun zaman aldığından, verilerin derlenip biraraya getirilebileceği ve birbirleriyle ilişkilendirilebileceği bir ortamın oluşturulması gereği doğmuştur. Bu gereğin sonucu olarak elde edilen verilerin toplanması, aralarındaki ilişkilerin kurulması ve sorgulamalarının yapılmasını kolaylaştıran bilgisayar ortamında Coğrafi Bilgi Sistemleri teknikleri geliştirilmiştir.

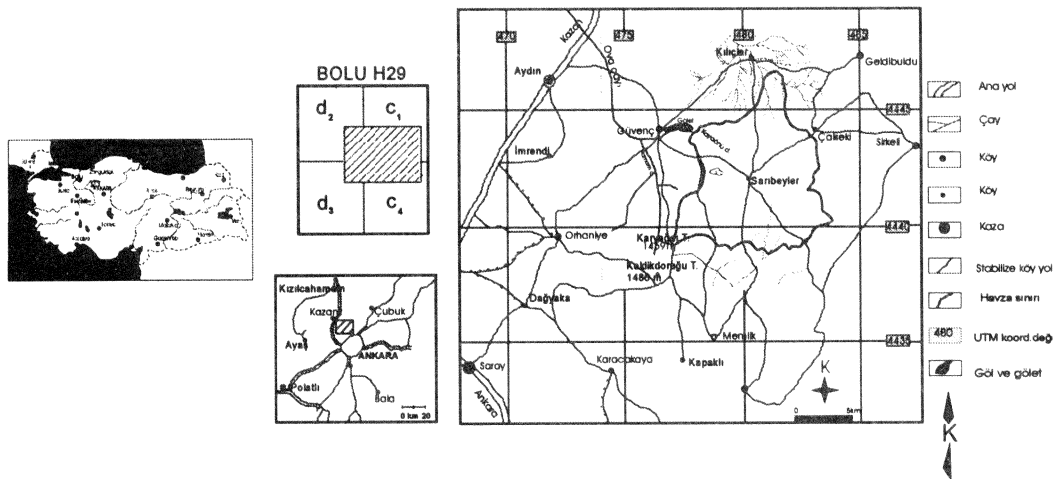
Coğrafi Bilgi Sistemleri, kullanıcıya grafik verileri ve bunların tablo tanımlayıcıları olan öznitelik verileri biraraya getirmesini, bir düzen içerisinde istenen sorgulamaya cevap verebilecek formatta veri tabanı oluşturmasını sağlar (ESRI,1990).

Bu çalışmadaki amaç küçük bir pilot bölge üzerinde coğrafi ve fiziksel verileri elde etmek, dağınık parametrelili modelde kullanılmak üzere verilerin alansal dağılımını Coğrafi Bilgi Sistemleri teknikleri (CBS) ile sağlamak ve dağınık parametrelili bir modele entegre etmektir. Küçük su havzaları üzerinde yapılan bu uygulamalar, büyük su havzalarında yapılması gerekli çalışmaları da bir bakıma ortaya koymaktadır.

## 2. HAVZANIN TANITIMI

Uygulama havzası, yağış ve akım verilerinin ölçüldüğü yüzey alanı 16.17 km<sup>2</sup> olan Köy Hizmetleri Araştırma Enstitüsü'nün pilot uygulama havzasıdır.

Uygulama havzası, Ankara-Yenimahalle- Güvenç köyünde Kayaönü deresi üzerinde bulunan Güvenç Gölet Havzasıdır ve Ankara-İstanbul karayolunun 35'inci km'sinden 6.5 km doğuda, gölet ise Güvenç



Şekil 1. Uygulama Havzasının Yerbulduru Haritası

Köyünün 2.5 km kuzey-doğusundadır. Ayrıca Ankara'nın kuzeyinde yer alan Yenimahalle ilçesinden, İvedik, Memlik, Lezgi köylerinin de üzerinde bulunduğu stabilize yol ile de havzaya ulaşım sağlanmaktadır. Uygulama havzasının yerbulduru haritası Şekil 2.1'de görülmektedir.

### 3. COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ KATMANLARININ OLUŞTURULMASI

Coğrafi Bilgi Sistemleri grafik (konumsal) ve grafik olmayan (tanımlayıcı tablo) iki tür veri kullanır. Bir harita veya bir uydu görüntüsünün (x,y,z) değerlendirilmesiyle elde edilen CBS katmanı, hidrolojik değişkenlerin alansal yapısının analizinde verimli bir şekilde kullanılmaktadır (Meijerink v.d.,1994).

CBS katmanlarının elde edildiği 1/25000 ölçekli haritalar, vektör tabanlı bir CBS yazılımı aracılığı ile bilgisayar ekranı üzerinden sayısallaştırılmıştır. Sayısallaştırma, coğrafi grafik verilerin, UTM koordinat sistemindeki gerçek yeryüzü (x,y,z) konumlarının, sayısal ortamda toplanması işlemidir (Brilly v.d.,1993).

Noktasal veriler birer tanımlayıcı kod ile topolojik ilişkisi kurularak, işleneceği CBS ortamına vektörel veri olarak girilmiştir.

Çalışma kapsamında noktasal veri olarak, yağış gözlem istasyonları, akım gözlem istasyonu, kaynak ve çeşmeler, tepeler; çizgisel veri olarak, eşyükseklik eğrileri, drenaj ağı; alansal (poligon) veri olarak, havza sınırı, jeoloji haritası, toprak ve arazi kullanım haritası sayısallaştırılmıştır.

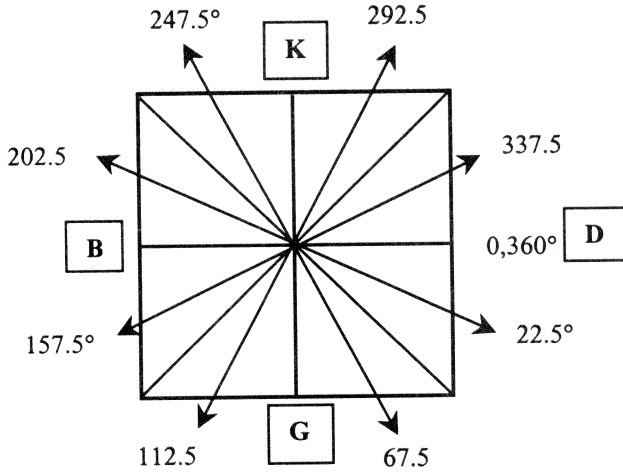
Eşyükseklik eğrileri 1/25 000 ölçekli Bolu h29 d2, d3, c1, c4 pafta numaralı topografik haritalar üzerinden sayısallaştırılmıştır. Elde edilen noktasal veriler, bir CBS yazılımı aracılığı ve Doğrusal Kriging ara kestirim (enterpolasyon) yöntemi ile UTM 476000 - 484000 Doğu; 4438000 - 4446000 Kuzey koordinatları arasında alansal olarak dağıtılmıştır. Hücre boyutu 20mx20m olarak belirlenmiştir. 401X401 hücre sayısına sahip bir raster veri elde edilmiştir. Hücrelere alansal dağılım sonucu bir kot değeri atanmıştır. Bu şekilde oluşturulan sayısal yükseklik modeli (SYM), dağınık parametrelili hidrolojik modelin değişik aşamalarında kullanılan eğim haritası ve yönelim (aspect) haritası için bir taban niteliği taşımaktadır (Şekil 4). Grassland CBS yazılımında elde edilen SYM kullanılarak eğim ve yönelim (aspect) haritaları oluşturulmuş, modelde yüzeysel akış hesaplamasında kullanılacak şekilde yeniden sınıflandırılmıştır.

Yönelim en büyük eğim değerini veren yön olarak tanımlanabilir. Sayısal yükseklik modelinden elde edilen ve modelde yüzeysel akış yönünün belirlenmesinde kullanılan yönelim haritası, yönelimin açısını ve yönünü tekrar belirleyebilmek için CBS ortamında sınıflandırılmıştır (Şekil 5). Sınıflandırmada kullanılan 8 yön, bu yönleri temsil eden açı aralığı ve hücre içindeki dağılımı Şekil 2'de görülmektedir. Eğim derecesi ile ifade edilen eğim haritası da sayısal arazi modeli üzerinden elde edilmiştir. Eğim haritası, yüzeysel akış ve kanal ötelemesinde kullanılmak üzere hazırlanmıştır (Şekil 6).

Drenaj ağı haritası 1/25 000'lik topografik harita üzerinden Horton derecelendirmesi yöntemi esasına dayalı bir kodlama verilerek sayısallaştırılmıştır. Havza çıkışında 5. dereceye ulaşılmıştır. Bu kodlama sistemi modelleme aşamasında kanal ötelemesinde kullanılacak olan sürekli akım ve periyodik akım kollarının belirlenmesi için yapılmıştır. Yüzeysel akış ötelemesinde, akışı kanal ağına doğru yönlendirmek ve kanal akış ötelemesinde kullanılacak hücreleri belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Çizgisel vektörel veri olarak elde edilen drenaj ağı CBS ortamına vektörel veri olarak girilmiştir (Şekil 7). CBS ortamında vektörel veriler için tanımlayıcı tablo veri oluşturulmuştur. Drenaj ağı raster veri haline çevrilerek 401x401 boyutlu matris içerisinde ait olduğu hücrelere atanmıştır.

Şekil 7'de görüldüğü üzere iki Horton1 birleşerek Horton2 yi oluşturmaktadır. Şekilde 1 ve 2 kodlu hücreler kanal ötelemesinin gerçekleştiği kanal ağını, 0 kodlu hücreler ise kanal ağı dışındaki hücreleri göstermektedir. Kanal akışı ötelemesi sadece 1,2,3,4,5 kodlu hücrelerde oluşmaktadır.

Drenaj ağı kanal akış ötelemesinde kullanılmak üzere hazırlanmıştır. Akımın sürekli olmadığı kanalları 1 kodlu hücreler, tüm kanallardaki akım toplamının ulaştığı ana kanalı 5 kodlu hücreler temsil etmektedir.



Şekil 2. Yönelimin hücre içindeki dağılımı

0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0
0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	2	0	0	2	2	0	0
0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0
0	0	0	0	2	2	2	0	0	0	0	0
1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Şekil 3. Drenaj ağı raster veri yapısı

Jeoloji haritası (Ocakoğlu,1991) 1/ 25 000 ölçekte sayısallaştırılmıştır. Alansal (poligon) veri olarak sayısallaştırılan jeoloji haritası daha sonra sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma yapılırken her bir birime bir kod değeri atanmıştır. Grassland ortamına raster veri olarak girilen jeoloji haritasında her bir kod değerine karşılık gelen birimler için bir tanımlayıcı veri hazırlanmış ve her hücreye ait olduğu jeolojik birimin kod değeri atanmıştır. Grassland' de maskeleyme yöntemiyle formasyonlar havza sınırını kapsayacak şekilde tekrar sınıflandırılmıştır. Havza alanı dışında kalan hücelere 0 kodu atanarak hesaplarda kullanım dışında kalan alan belirlenmiştir.

Jeoloji haritasından elde edilen katman, havzada geçirimli ve geçirimsiz birimleri ve sızmanın bu birimlere bağlı olarak belirlenmesinde kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucu sızma hesabında kullanılan parametreler her formasyon için belirlenmiş ve bir tanımlayıcı kod ile jeoloji CBS katmanı ile ilişkilendirilmiştir (Şekil 8).

Arazi kullanım haritası sayısallaştırılmış ve bitki grupları kodlanarak yüzeysel tutunma hesabında kullanılacak CBS katmanı elde edilmiştir (Şekil 3.9).

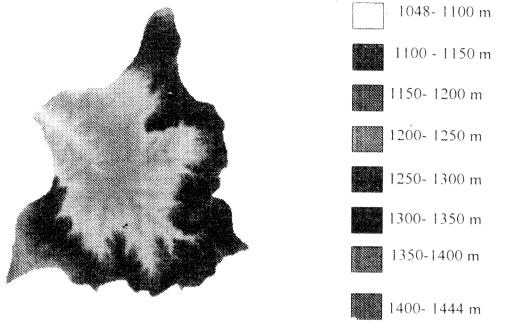
#### 4. CBS KATMANLARININ DAĞINIK PARAMETRELİ HİDROLOJİK MODELE ENTEGRASYONU

Akım öteleme tekniğine göre yapılmış olan model (Tezcan,1993), bu çalışma kapsamında yüzeysel, kanal ve baz akımın hücreler arası hareketinin, öteleme tekniği ile kontrol edilmesinden dolayı kullanılmıştır. Havza için geliştirilmiş olan kavramsal modelde yer alan eşitlikler ve veriler doğrultusunda model yeniden düzenlenmiştir (Karabulut,1998).

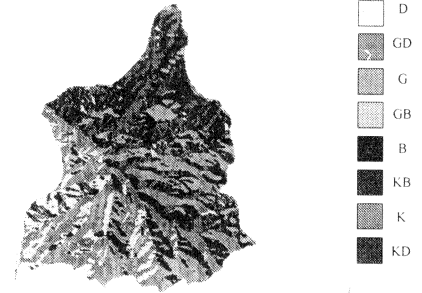
Çalışılan bölge tüm CBS katmanları için 20mX20m hücre boyutuna sahip 401X401 adet hücreye bölünmüştür. Havza bu bölge içinde 244X290 adet hücreyi kapsamaktadır. Havza sınırı dışında kalan alan ise, yan havzalarla olan ilişkilerin, gerekirse dikkate alınabilmesi için ele alınmış ve koordinat aralığı geniş tutulmuştur. Modeldeki tüm hesaplamalar, CBS katmanlarının maskeleyme yöntemiyle sadece havza sınırı içindeki alana taşındığı havza alanındaki hücelerde yapılmıştır. Böylece tüm CBS katmanları modele entegre edilebilecek formatta hazırlanmıştır. Havza alanına indirgenmiş olan CBS katmanları şunlardır:

- Sayısal yükseklik modeli,
- Sınıflandırılmış yönelim haritası,
- Sınıflandırılmamış eğim haritası,
- Arazi kullanımı haritası ,
- Jeoloji birimleri haritası,
- Drenaj ağı haritası haritası,

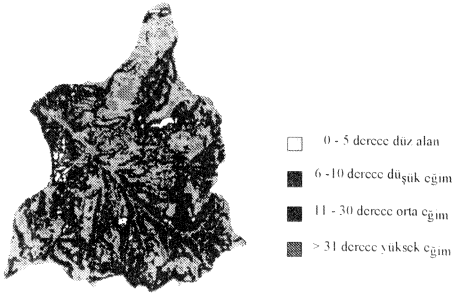
Modelde her hücre için bileşenler hesaplandıktan sonra bir bütçe yapılmakta ve kalan su ötelenmektedir.  
 $\Delta s = \text{Giren} - \text{Çıkan}$   
 $\Delta s = \text{Yağış} - (\text{buharlaşıma} + \text{sızma} + \text{yüzeysel tutunma})$   
 Dağınık parametrelili model (MODARMY) yukarıda ifade edilen basit sistem yaklaşımı ile çalışmaktadır.



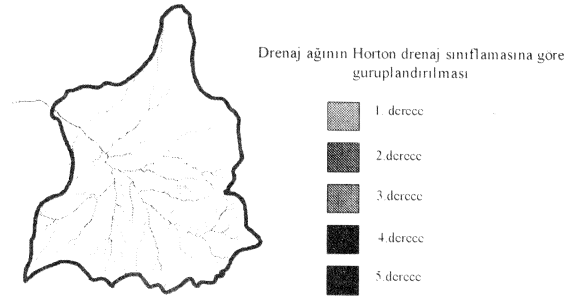
Şekil 4. Sayısal yükseklik modeli CBS katmanı



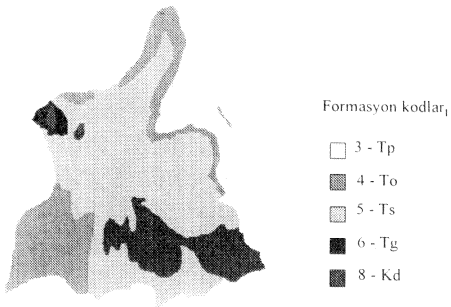
Şekil 5. Sınıflandırılmış yönelim CBS katmanı



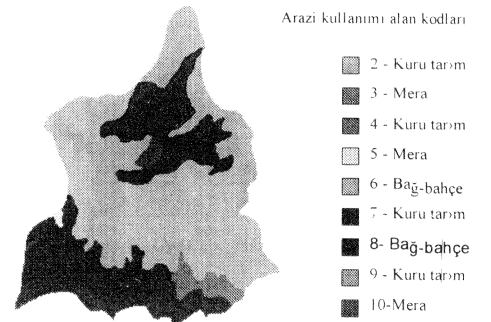
Şekil 6. Sınıflandırılmış eğim CBS katmanı



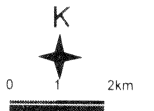
Şekil 7. Sınıflandırılmış drenaj ağı CBS katmanı



Şekil 8. Jeoloji birimleri CBS katmanı



Şekil 8. Arazi kullanımı CBS katmanı



## 5. MODEL SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖNERİLER

Yağış ve buharlaşma zamana bağlı değişen hidrolojik veriler, sayısal yükseklik değerleri, yönelim ve eğim topografik veriler, jeoloji, arazi kullanımı ve drenaj ağı havza fiziksel özelliklerini yansıtan veriler olarak, modelin girdi parametrelerini oluşturmaktadır. Bu veriler 244X290 matris boyutunda raster veri olarak hazırlanmıştır. Model bu verileri kullanarak akımı, yüzeysel akım ve yüzeyaltı akımı (baz akım) şeklinde ayırmakta; yüzeysel depolamayı, sızma miktarını, yüzeysel akımı ve yüzeyaltı akımını hacimsel olarak ayrı birer CBS katmanı şeklinde sağlamaktadır. Yüzeyaltı hacmini kontrol eden parametreler havza alanı, formasyonun porozite değeri ve kalınlıktır.

Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen çıktı verileri gözlenen akım verileri ile karşılaştırıldığında akım hidrografi şekil ve en yüksek değer zamanı bakımından bir benzerlik göstermektedir. Uygulamada CBS katmanlarıyla havzanın fiziksel parametreleri tanımlanmaya çalışılmıştır.

Şekil 10'da 1.7.1992 tarihli sağanağın yağış başlangıcından 10 dakika sonra 0.5 mm yağışın düştüğü andaki havzadaki durum ve akım bileşenlerinin grafik gösterimi verilmiştir. Yüzeysel tutulma  $S$ , sızma  $f$ ,  $Q_y$  yüzeysel akım  $Q_y$ , taban akımı  $Q_b$  ile temsil edilmektedir. Bu model çıktıları havza içindeki  $\Delta t$  aralığındaki hacimsel dağılım şeklinde değerlendirilmiştir. Model istendiği durumda sağanak süresince herhangi bir  $\Delta t$  süresi için de sonuçları sağlamaktadır. Böylelikle sağanak süresince her  $\Delta t$  anı için havzadaki durum, model çıktısı olarak elde edilebilmektedir.

Kalibrasyon parametreleri havzada yapılan deney sonuçlarına yaklaştırıldığı zaman olumlu sonuçlar elde edilmiştir.  $f$  ile belirtilen şekilde  $T_s$  formasyonu üzerinde sızma düşük iken,  $Q_y$  ile belirtilen şekilde yüzeysel akımın daha iyi gözlemlendiği görülmektedir. Buna karşılık yüzeyaltı akımı  $T_s$  formasyonu üzerinde minimum düzeyde görülürken,  $T_g$ ,  $T_o$ ,  $T_p$  ve  $K_d$  formasyonlarının yüzeylendiği bölgelerde yoğunlaştığı görülmektedir. Yüzey altı akımının yoğun olduğu ve  $T_s$  formasyonu ile dokanak bölgelerinde gözlenen çesmeler bu bölgelerde yüzeyaltı akımının bir göstergesi olmaktadır.

Modelin girdi verisi olan sınıflandırılmış drenaj ağı CBS katmanı üzerinden, istenen herhangi bir alt havzanın çıkış noktasının hücre lokasyonları  $(x,y)$  tanımlanarak, alt havzalara ait akım verileri elde edilebilmektedir. Akım verileri baz akım, yüzeysel akım ve toplam akım olarak ayrı ayrı hesaplanmaktadır.

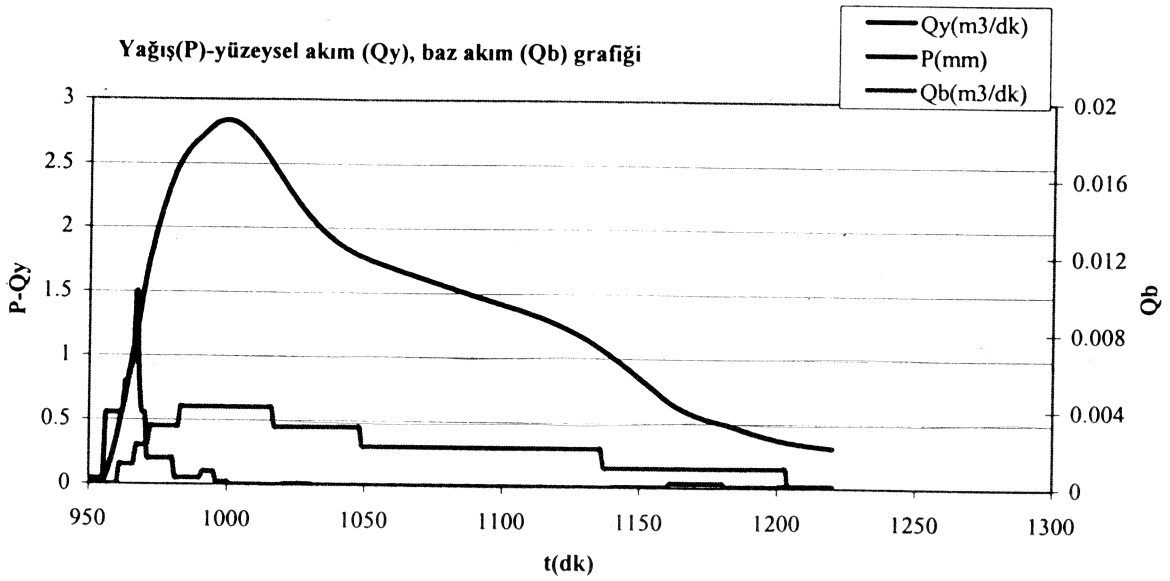
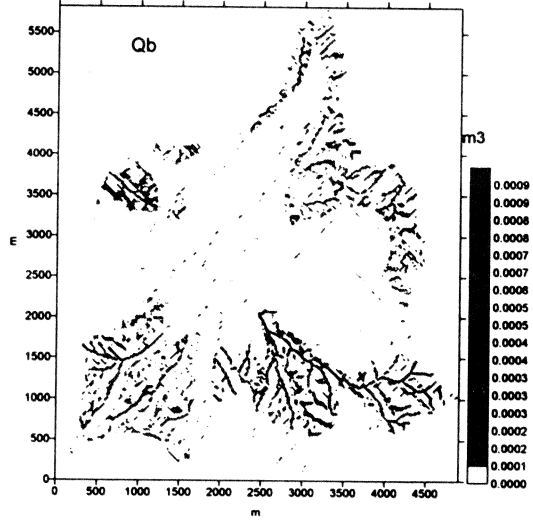
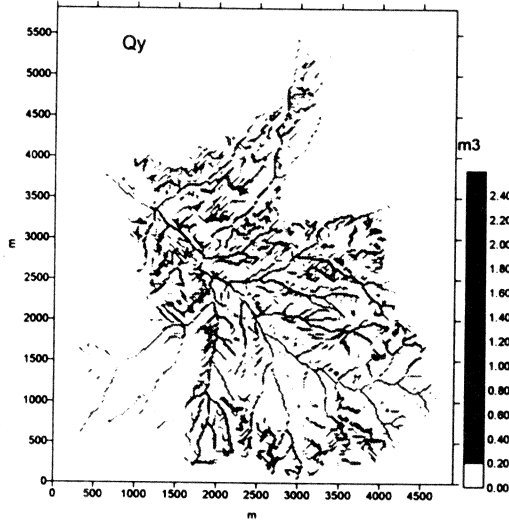
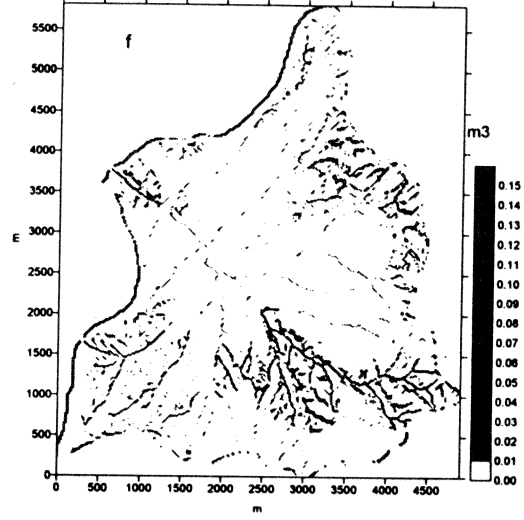
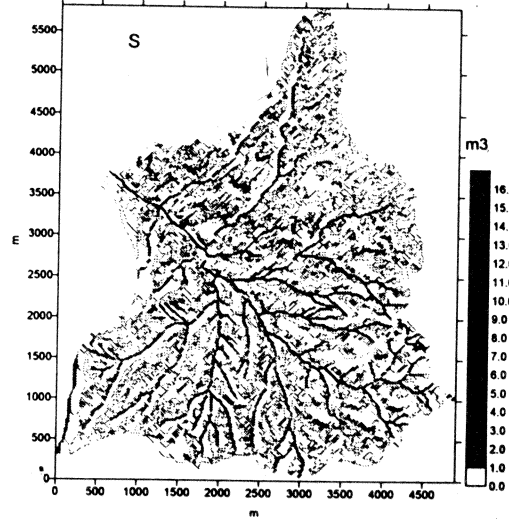
## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında Coğrafi Bilgi Sistemlerinin dağınık parametrelili hidrolojik modeller üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışma sonuçlarında görülmektedir ki CBS model çalışmalarında etkin bir rol oynamaktadır. Havza karakteristiklerinin heterojen yapısının modele yansıtılması için, havza en küçük havza birimi olan hücelere bölünmektedir. Heterojen yapıda elde edilen sonuçların da gerek grafiksel gerekse alansal dağılımının ifade edilmesi, sonuçların değerlendirilmesinde kolaylık sağlamaktadır. Bu tür çalışmaların her aşamasında CBS etkili bir araçtır.

Model sonucuna göre havzanın fiziksel parametrelerine bağlı olarak havza çıkış noktasında, baz akım yüzeysel akımdan daha düşük çıkmaktadır. Ancak baz akım  $T_o$ ,  $K_d$  ve  $T_g$  formasyonlarında  $T_s$  formasyonuna göre daha yüksek gözlenmektedir.

Model, havza fiziksel özelliklerini ve akım dinamiklerini tanımlayıcı bir özellik göstermektedir. Model daha sonra ölçülecek ve hesaplanacak olan parametrelerin (ör. Toprak nem içeriği dağılımı) ileride eklenebileceği bir şekilde düzenlenmiştir. Bunun yanı sıra model, CBS katmanları ve hidrolojik verileri (yağış, buharlaşma) hazırlanmış olan farklı havzalara da uygulanabilir.

Havzada bulunan killi-siltli birimlerin ( $T_s$ ) kaynak olduğu sedimantasyonu belirlemek için modele sediment taşınım modeli ilave edilerek Güvenç göletinde meydana gelebilecek sediment birikim miktarı belirlenebilir.



Şekil 10. (1.7.1992) Sağanağı başlangıcından 10 dakika sonraki durum



## 7. KAYNAKLAR

- Beven, K.J., O'Connell, P.E., 1982, On The Role of Distributed Models in Hydrology, Institute of Hydrology Report , Wallingford, UK.
- Brilly, M., Smith, M., Vidmar, A., 1993, HydroGIS 93: Application of Geographic Information System in Hydrology and Water Resources, IAHS Publication., No. 211, pp
- ESRI, 1990, Understanding GIS, The ARC/INFO Using Method, USA
- Garrote, L., Bras, L., 1995, A Distributed Model for Real -Time Flood Forecasting Using Digital Elevation Models, Journal of Hydrology, 167, p. 279-306.
- Karabulut.A.,1998, Dağınık Parametrelı Hidrolojik Modellemede Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanılması, H.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Anabilim dalı Master Tezi, Beytepe, Ankara,104 s.
- Meinjerink, A. M.J., Brouwer, H.A.M. Manaerts, 1994, Introduction to The Use of Geographic Information Systems for Practical Hydrology, ITC-UNESCO, NO.23.
- Ocakoğlu, F., 1991, Stratigraphie et Sedimentologie des de Post Continentaux d'age Paleocene-Eocene şnferiure de la Region d' Orhaniye-Güvenç (NNO d'Ankara), These de Master, Universite Hacettepe Institue de Science Fondamentales, 149p( Fransızca Tez).
- Tezcan, L., 1993, Karst Akifer Sistemlerinin Trityum İzotopu Yardımıyla Matematiksel Modellemesi, H.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi, Beytepe Ankara,125 s.

## ŞANLIURFA ve ÇEVRESİNİN İKLİM ÖZELLİKLERİ ve ATATÜRK BARAJININ YÖRE İKLİMİ ÜZERİNE ETKİLERİ

### CLIMATIC CHARACTERISTICS OF ŞANLIURFA AND THE SURROUNDING REGION AND THE EFFECTS OF ATATÜRK DAM LAKE ON REGIONAL CLIMATE

**M. İrfan YEŞİLNACAR**, Harran Üniversitesi, İnş. Müh. Böl., 63300 Şanlıurfa  
**Hakkı GÜLŞEN**, İ.T.Ü. İnşaat Fak. Çevre Müh. Böl., Maslak / İstanbul

#### ÖZET

Teknolojideki hızlı gelişmeler, nüfus artışı, kentleşme gibi olgularla tatlı suya olan gereksinimin artması, su kaynakları planlaması kapsamında, birçok akarsu yapısının inşasını gündeme getirmiştir. Bu bağlamda inşa edilen su tutma yapıları ekolojik anlamda olumlu ya da olumsuz birtakım değişimleri de beraberinde getirmiştir. Bu değişimlerin en önemlilerinden biri de hiç şüphesiz yöresel klimada meydana gelen değişimlerdir.

Bu çalışma ile; Türkiye' nin 3. büyük gölü konumunda olan Atatürk Baraj gölünün yöre ikliminde meydana getirebileceği değişimleri tespit etmek amacıyla yöre ikliminin karakteristik özellikleri ile barajdan önce ve sonraki meteorolojik parametrelerdeki değişimler saptanmaya çalışılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

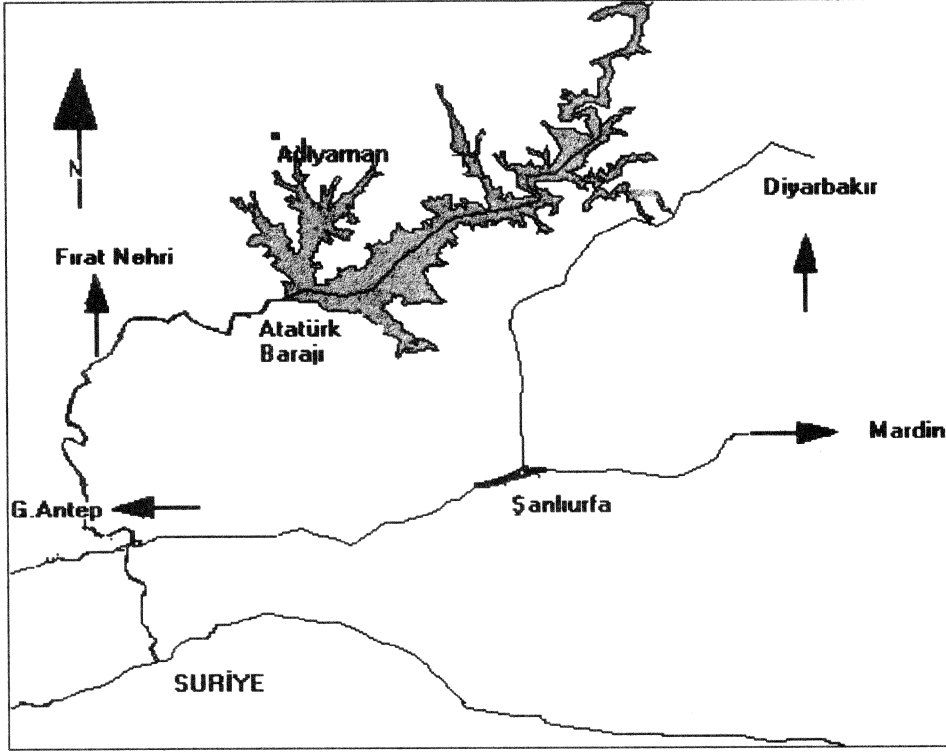
#### ABSTRACT

Rapid development in technology, increase in population, and urbanization increase demand for drinking water and requires several constructions for water resources management. The water reservoirs cause negative and positive impacts in the ecological conditions. The most important impact is doubt lessly, the change in the climate in the region.

In this study, the characteristics of the climate and the changes in the meteorological parameters before and after the dam is evaluated to understand the changes in the climate of the region due to the Atatürk Dam Reservoir, the third big lake Turkey.

## GİRİŞ

Ş. Urfa ili Güneydoğu Anadolu bölgesinin güneyinde olup, batısında G.Antep, kuzeybatısında Adıyaman, kuzeydoğusunda Diyarbakır, batısında Mardin ili yer almaktadır. İlin Güneyinde ise Suriye bulunmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Şanlıurfa ve civarı yer bulduru haritası (ölçeksiz).

Fizyografik açıdan genellikle yükseltisi 900 m' yi geçmeyen geniş düzlüklere rastlanır. İlin en yüksek noktası kuzey doğusundaki Karacadağdır. Kuzeyde ortalama 900 m olan yükselti, güneyde Suriye sınırında 400 m' nin altına düşer. Harran Ovası ilin en alçak kesimini oluşturur. İlin drenajı Fırat nehri ve kolları tarafından sağlanır.

Ş.Urfa' da klimatolojik açıdan sıcak iklim egemendir. Akdeniz ikliminin özelliklerini görmek mümkündür. Bölgedeki yüksek sıcaklığın sebebi; bir taraftan güneydeki çöl ikliminin etkisi altında bulunması, diğer taraftan da kuzeydeki dağların, gelen serin hava kütlelerinin bölgeye girmesine engel olmasındandır. Atatürk Baraj gölünün il merkezine en yakın mesafesi yaklaşık 17 km' dir.

## ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Teknolojideki hızlı gelişmeler, nüfus artışı, kentleşme ve benzeri olguların, 20. yüzyılda büyük bir ivme kazanmış olması bağlamında su kaynaklarının planlamasını da gündeme getirmiş bu kapsamda birçok akarsu yapıları inşa edilmiştir. Doğal olarak bu yapılardan dolayı oluşan su hazneleri ekolojik ve sosyo-kültürel anlamda birçok olayı da etkilemiştir. Bu bildirinin konusu olan barajların iklime etkisi de bu kapsamda değerlendirilebilir. Aşağıda bu konuda yapılan önceki çalışmalara değinilmektedir.

Tonbul (1990), Keban Barajının yöre iklimi üzerine olan etkilerini incelemiştir. Buharlaşmada azalma, bağıl nemde kısmi bir artış, sıcaklıkta çok az bir azalma, karlı gün sayısında bir artış olduğunu saptamıştır.

Kadioğlu vd. (1994), büyük su haznelerinin çevresel etkilerini incelemiştir, Keban Barajı öncesi ve sonrasında çevre ikliminin fraktal analizini yapmışlardır.

Güldal vd. (1994), baraj haznelerinin çevresel etkileri kapsamında Keban Barajını incelemiştir iklimsel değişimleri konusunda kışın sıcaklıkta artış, yazın nemde yükselmeler olduğunu belirtmişlerdir.

## MATEYAL ve METOD

Bu çalışmada, Devlet Meteoroloji İşleri (D.M.İ.) Genel Müdürlüğü' nün meteorolojik verilerinden yararlanılmıştır. Uzun yıllar ortalamaları 1930-1990 dönemine aittir.

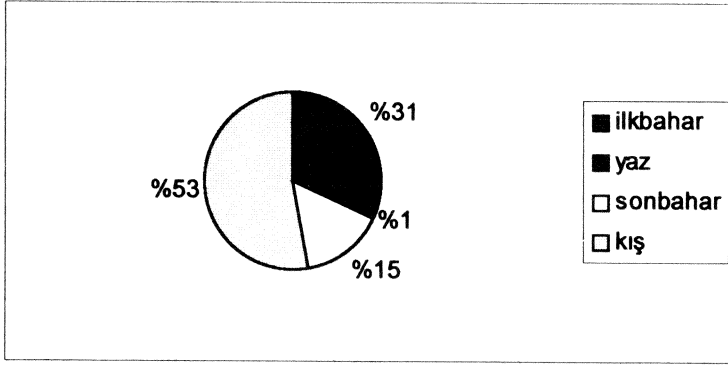
Karşılaştırma sonuçlarının istatistiksel hesabı ve grafiksel gösterimi Microsoft® Excel 97 yazılımıyla yapılmıştır.

### ŞANLIURFA İLİ İKLİM ÖZELLİKLERİ

Şanlıurfa' nın önemli meteorolojik parametreleri; içerisinde bulunduğu Güneydoğu Anadolu Bölgesi bir başka deyişle GAP (Güneydoğu Anadolu Projesi) bölgesine göre karşılaştırılacaktır.

Sıcaklık değerlendirmesine göre; ortalama sıcaklığı 16.2 °C olan bölge sıcaklığının 2 °C üzerinde olup 18.2 °C sıcaklığa sahiptir. Yağış miktarına göre; bölgenin uzun yıllar ortalama yıllık yağışı 657.7 mm olmasına karşın Şanlıurfa ili 463.1 mm ile bölgede en az yağış alan illerden biridir. Yağışın az olmasının sebebi bölgenin güneyinde çöl ikliminin egemen olması, kuzeyde ise yükseltilerin fazla olmasıyla orografik yağışların görülmesi şeklinde açıklanabilir.

Yağışların mevsimlere göre dağılımına bakıldığında Şekil 2' de görüldüğü üzere % 50' den fazlası kışın, % 31' i ise ilkbaharda düşmektedir.



Şekil 2. Şanlıurfa' da yağışların mevsimlere göre dağılımı.

Rüzgar yönü ve hızı değerlendirmesine göre; bölgenin geneline uygun olarak Şanlıurfa' da hakim rüzgar yönü kuzeybatı (NW), ortalama rüzgar hızı ise 2,4 m/s' dir.

Bağıl nem yönünden; bölge % 51 nem ortalamasıyla Türkiye' deki en düşük nem ortalamasına sahiptir. Şanlıurfa ili incelendiğinde ortalama % 49 ile bölge ortalamasına yakın bir bağıl nem vermektedir.

Güneşlenme süresi yönünden incelendiğinde Şanlıurfa ili 8.3 saat güneşlenme ile bölgedeki en fazla güneşlenme süresine sahiptir.

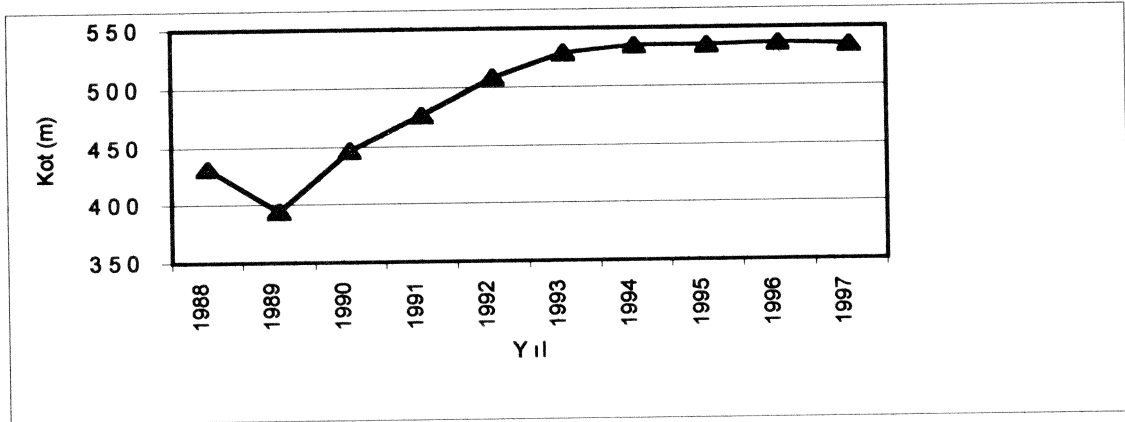
Don tarihleri yönünden Şanlıurfa' da en erken don tarihi 09 Kasım (313)' dir. Kuraklık yönünden incelendiğinde ise; sıcaklık, nem, yağış ve yüzde güneşlenme oranlarını baz alan Aydeniz metoduna göre Şanlıurfa ili "çok kurak" bir karakter göstermektedir (Karaoğlu vd., 1996).

### ATATÜRK BARAJI' NIN YÖRE İKLİMİ ÜZERİNE OLAN ETKİLERİ

Bildirinin bu ikinci bölümünde gerek basından<sup>1</sup>, gerekse bölge halkı arasında sıkça gündeme getirilen ve olumsuz bir psikolojik etki yapan Atatürk Barajı' nın yöre iklimi üzerine olan etkileri incelenecektir.

Atatürk Barajı ve Hidroelektrik Santrali GAP projesinin önemli aşamalarından biri olup; sulama, enerji üretimi vb. amaçlarla yapımına 3 Kasım 1983 tarihinde başlanılmıştır. Atatürk Barajı rezervuarı 1990 yılından itibaren dolmaya başlamış, bugün normal işletme seviyesine gelmiştir (Şekil 4).

<sup>1</sup> "Şanlıurfa' da sıcaklık 52°C .....", 21.06.1999, Milliyet Gazetesi.



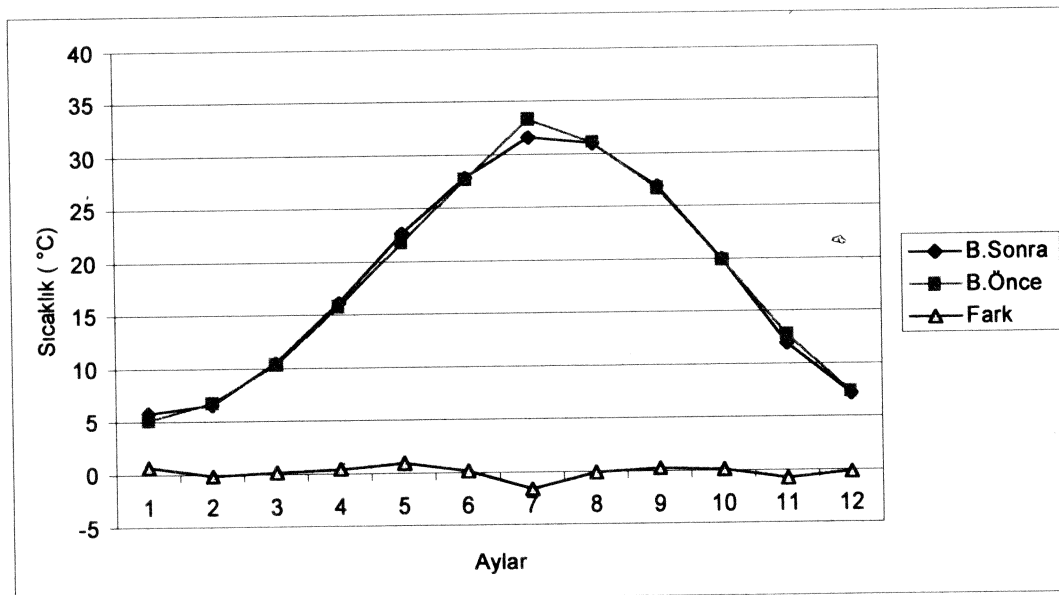
Şekil 4. Atatürk baraj gölü kot-zaman grafiği.

Atatürk Baraj Gölü, 180 km uzunluğu, 48.7 km<sup>3</sup> hacmi ve 817 km<sup>2</sup> yüzölçümüyle Türkiye' nin 3. büyük gölü konumundadır. Bu büyüklükteki bir su kütlesinin çevre iklimine etkileri bilinmektedir. Öncelikle şunu belirtmek gerekir ki; böyle bir etkiyi açık bir şekilde ortaya koyabilmek için baraj gölü çevresindeki meteoroloji ölçüm istasyonlarının sonuçlarının değerlendirilmesi suretiyle oldukça kapsamlı bir çalışmaya ihtiyaç vardır. Bundan daha da önemlisi iklimdeki değişimleri ortaya koyabilmek için en az 25-30 yıl gibi bir sürenin geçmesi gerekmektedir (Tonbul, 1986).

Bununla birlikte yukarıda anlatılan nedenlerden dolayı yöre iklimindeki olası değişimleri ortaya koyabilmek için Şanlıurfa' da barajdan önceki ve sonraki meteorolojik elemanların değerlendirilmesi şeklinde bir yöntem izlenmiştir.

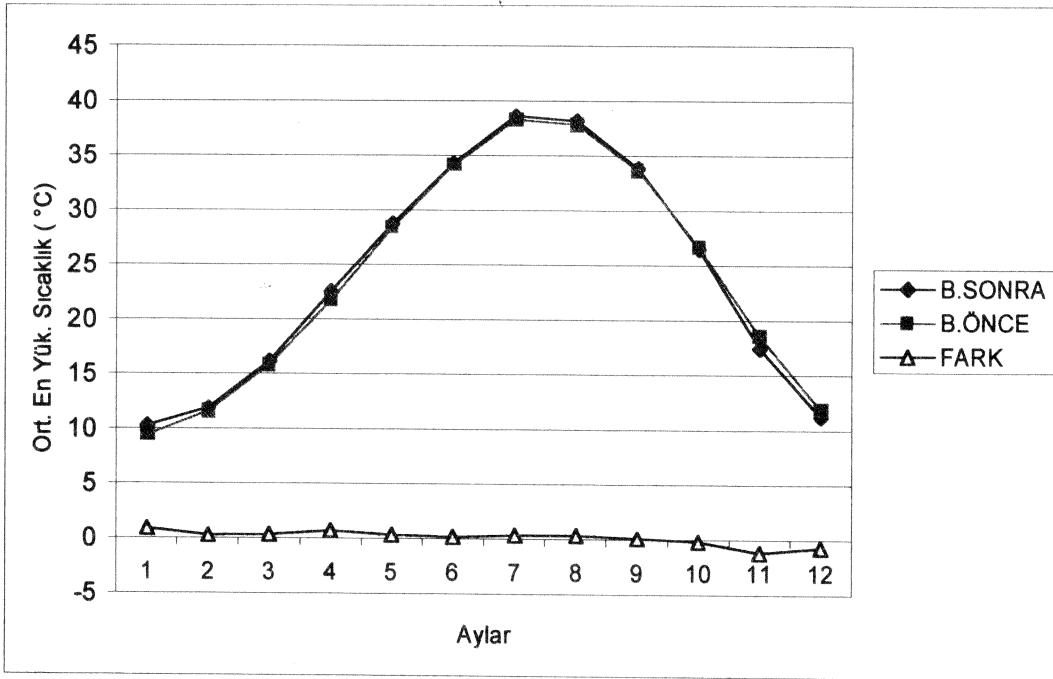
Barajdan önceki kısımda 1990 yılına kadar olan "uzun yıllar meteorolojik değerleri" baz olarak alınmıştır. Barajdan sonraki değerlendirmede ise Atatürk Barajı rezervuarının dolmaya başladığı (Bkz. Şekil 4) 1990 yılından bugüne kadar olan ortalama yıllık meteorolojik elemanların ortalamaları alınarak bir karşılaştırma yapılmıştır. Bu kısımda D.M.İ. Şanlıurfa Meteoroloji İstasyonunun ölçüm değerlerinden yararlanılmıştır.

Şekil 5' te görüldüğü üzere barajdan önceki ve sonraki sıcaklık değişimleri grafik üzerine konduğunda  $\pm 0.8$  °C' lik bir değişim olduğu görülmektedir. Barajdan sonraki ortalama yıllık sıcaklığa baktığımız zaman, uzun yıllar ortalama sıcaklıkların aynı kaldığını görmekteyiz. Bu da sıcaklıkta belirgin bir artma veya azalma olmadığını göstermektedir.



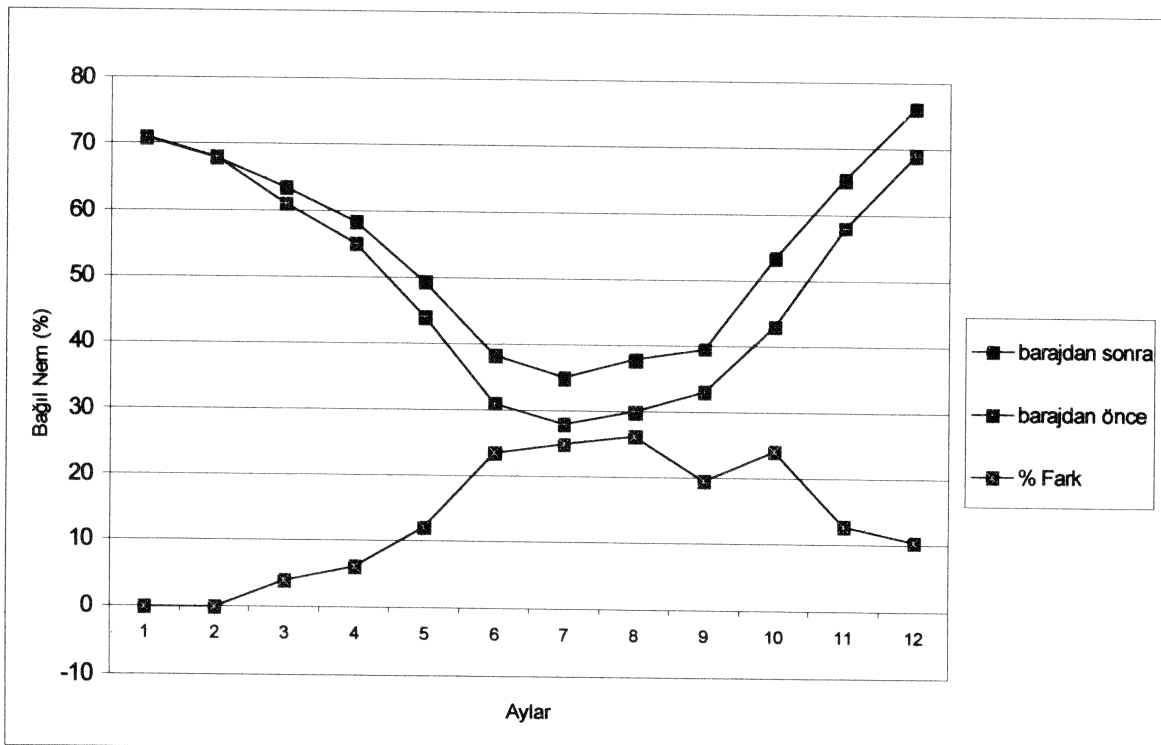
Şekil 5. Barajdan önce ve sonra ortalama sıcaklıktaki değişimi.

Aylık ortalama en yüksek sıcaklıklar anılan dönemler için incelediğinde ise ocak ayından eylül ayına kadar ortalama +0.5 °C mertebesinde bir artış, ekim-aralık döneminde ise aynı oranda bir azalma görülmektedir (Şekil 6).



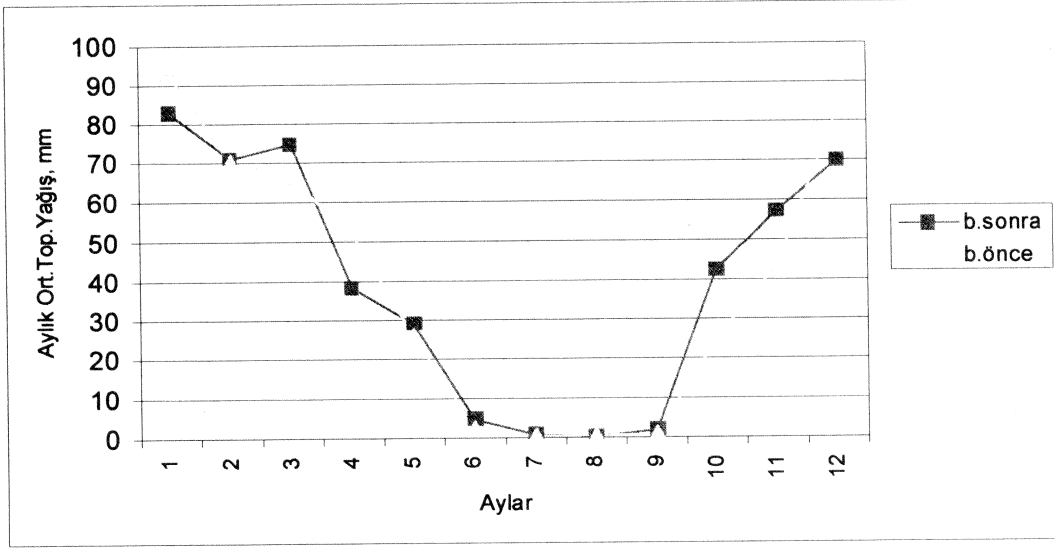
Şekil 6. Barajdan önce ve sonra ortalama en yüksek sıcaklıktaki değişim .

Keza barajdan sonraki ortalama aylık en yüksek sıcaklığa baktığımız zaman, uzun yıllar ortalama en yüksek sıcaklığın aynı kaldığı görülmektedir. Özellikle yöre halkının çok yakındığı " barajla birlikte sıcaklar çok arttı..." deyimi aslında sıcaklıklardaki artış değil, bağıl nemin Şekil 7' de görüldüğü gibi yılın ilk ayından itibaren bir artış trendine girmesi ve özellikle bu artış yüzdesinin yaz aylarında % 26' lara ulaşması insanlar üzerinde sağlık ve psikolojik yönden olumsuzluklara neden olmaktadır. Nispi nemin bu denli artış göstermesi tarımsal ve endüstriyel açıdan da etkilerinin araştırılması gereğini de ortaya koymaktadır.



Şekil 7. Barajdan önce ve sonra ortalama bağıl nem değişimi.

Aylık ortalama toplam yağış miktarı incelendiğinde özellikle sonbahar aylarında 17 mm' ye varan bir artış görülmektedir (Şekil 8).



Şekil 8. Barajdan önce ve sonra ortalama toplam yağış miktarı değişimi.

Fakat bu artış miktarı yıllık bazda ele alındığında ortalama 10 mm' ye varan bir artışa karşılık gelmektedir. Barajdan sonraki yıllık yağış miktarlarını kendi içinde değerlendirildiği zaman yağışlarda çok azda olsa, bu dönem için, bir artış eğilimi göstermiştir. Buradan doğal olarak hemen bir sonuç çıkarmak yanlış olur, ancak bilindiği gibi meteorolojide de olduğu gibi bu tür doğa olaylarını (Deprem vb.) bir matematiksel bağıntıya oturtmak güçtür. Daha sonraki yıllarda yapılan ölçümlerle geçmiş yıllardaki ölçümler yardımıyla tahminler yapılabilir.

## SONUÇLAR

Sonuçlara geçmeden önce yukarıda belirtildiği üzere Atatürk Baraj gölünün bölge iklimindeki etkilerini ortaya koyabilmek bu havza içinde bulunan meteoroloji ölçüm istasyonları verilerinin barajdan sonraki 25-30 yılı da kapsayacak bir süreçte değerlendirilmesi daha rasyonel olacaktır.

Bu çalışmada D.M.İ. Genel Müdürlüğü ve Şanlıurfa meteoroloji istasyonunun baraj gölü oluşmasından önce ve sonraki ölçüm verileri karşılaştırılarak konu hakkında bazı değerlendirmeler yapılmaya çalışılmıştır. Böyle bir değerlendirme sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

Şanlıurfa ilinin karakteristik iklim özellikleri bölge iklimi ile denştirilmiş, bölge iklimi parametreleri ortalamasına göre; sıcaklığın daha yüksek, yağışın az, güneşlenme süresinin en fazla ve iklimin çok kurak karakterde olduğu görülmüştür.

Barajdan sonra sıcaklıkta kayda değer bir değişim olduğu görülmemiştir.

Bağıl nemde çok büyük değişimler görülmüştür. Özellikle barajdan önceki yıllara göre nisan-ekim döneminde %25 lere ulaşan artışlar olduğu saptanmıştır. Dolayısıyla ölçülen ve hissedilen sıcaklık farkları da yukarıdaki olaydan kaynaklanmaktadır.

Yağışta ise sonbahar aylarında kısmi bir artış görülmüş, fakat yıllık bazda toplam yağış fazla değişmemiştir.

Sonuç olarak, barajların iklime etkileri incelenirken her yöre kendi koşulları ve özellikleri içinde incelenmelidir. Nitekim Keban Barajı ile Atatürk Barajı aynı havza içinde (Fırat havzası) oldukları halde değişimlerin aynı parametrelerde olmadığı görülmüştür.

Atatürk Barajının iklimdeki etkilerini ortaya koyabilmek için gelecek yıllarda da benzer çalışmaların yapılması bu konuya ışık tutacaktır.

## KAYNAKLAR

- Emiroğlu, M.E., Özkan, F., Öztürk, M., 1996, Keban Barajı Rezervuarının Elazığ İklim Şartlarına Etkisi Üzerine Bir Araştırma, HR.Ü. GAP I. Mühendislik Kongresi, Şanlıurfa, 167-174.
- Güldal, V., Ağırallıoğlu, N., 1994, Baraj Haznelerinin İklim Etkisi: Keban Barajı, D.S.İ. 40. Kuruluş Yılı Su ve Toprak Kaynaklarının Geliştirilmesi Konferansı, Ankara, Cilt I, 417-437.
- Kadıoğlu, M., Satılmış, S., Özgüler, H., 1994, Büyük Su Yapılarının Çevre İklimine Etkisi, D.S.İ. 40. Kuruluş Yılı Su ve Toprak Kaynaklarının Geliştirilmesi Konferansı, Ankara, Cilt III, 1099-1109.
- Kadıoğlu, M., Şen, Z., 1994, Keban Barajı Öncesi ve Sonrasında Çevre İkliminin Frektal Analizi, D.S.İ. 40. Kuruluş Yılı Su ve Toprak Kaynaklarının Geliştirilmesi Konferansı, Ankara, Cilt III, 1145-1155.
- Karaoğlu, M., Özdemir A.D., Yücel, G., Şenocak, M., 1996, GAP Bölgesinin Meteorolojik Etüdü, HR.Ü. GAP I. Mühendislik Kongresi, Şanlıurfa, 143-150.
- Tonbul, S., 1986, Elazığ ve Çevresinin İklim Özellikleri ve Keban Barajının Yöre İklimi Üzerine Olan Etkileri, F.Ü. Coğrafya Sempozyumu, Elazığ, 275-293.



**MADEN YATAKLARI-JEOKİMYA**  
*Mining Geology-Geochemistry*



## SİMAV GRABENİ BOYUNCA GÖRÜLEN EPİTERMAL VE BAZ METAL CEVHERLEŞMELERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

### COMPARISON OF THE EPITHERMAL AND BASE-METAL MINERALIZATIONS ALONG THE SİMAV GRABEN

Vedat OYGÜR , Eurogold Madencilik A.Ş., Arjantin Cd. 15/2, Gaziosmanpaşa, 06700 Ankara  
Ayhan ERLER, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06531 Ankara

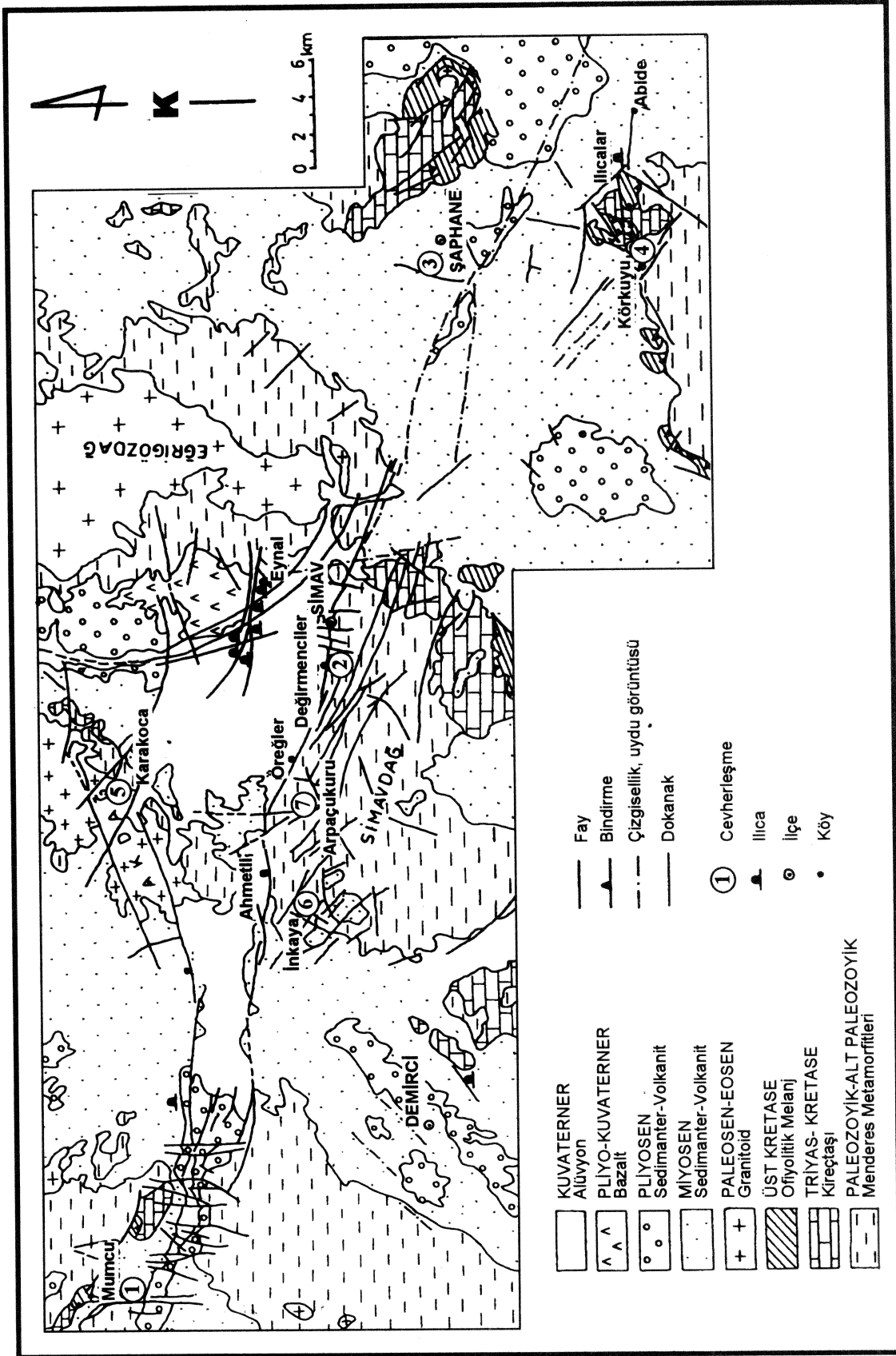
#### ÖZET

Simav Grabeni boyunca görülen çok sayıdaki cevherleşme, Batı Anadolu'nun jeotektonik gelişiminde hüküm sürmüş iki ana tektono-mağmatik dönemle ilgili olarak oluşmuştur. Damar tipi Pb-Zn-Cu cevherleşmeleri, paleo-tektonik dönemdeki sıkışma rejiminin etkisiyle oluşan sağ yanal atımlı D-B gidişli Simav Fayına yarı paralel kırıklar içerisinde yerleşmiştir. Bu cevherleşmeler, granitoid sokulumun son evresindeki mafik daykalarıyla ilişkilidir. Neo-tektonik dönemde, bölgede genişlemeli tektonik rejimin egemen olmasıyla birlikte, porfiri sistemin iraksak ürünleri olan Au-Hg-Sb epitermal cevherleşmeleri oluşmuştur. Epitermal cevherleşmeler, Simav fayını kesen K-G yönlü transfer fayları üzerinde yerleşmiştir. Graben boyunca görülen, güncel sinter çökeli ve sıcak su çıkışları bu epitermal etkinliğin günümüzdeki eşdeğeridir.

#### ABSTRACT

Several mineralizations occurring along the Simav Graben are related to two principal tectono-magmatic periods prevailed through the geotectonical development of the Western Anatolia. Vein-type Pb-Zn-Cu mineralizations were deposited within the fractures sub-parallel to the W-E trending Simav fault, formed by the effect of the compressional regime during the paleo-tectonical period. These mineralizations are associated with the mafic dykes during the late phase of the granitoid emplacement. Epithermal Au-Hg-Sb mineralizations that are the distal products of the porphyry system were formed during the extensional regime prevailed in the region through the neotectonical period. Epithermal mineralizations were deposited on the N-S trending transfer faults which cut the Simav fault. The present-day sinter precipitation and hot springs along the graben are the recent equivalents of this epithermal activity.





Şekil 2. Çalışma sahası jeolojisi haritası (Oygür, 1997a'dan uyarlanmıştır). Epitermal cevherleşmeler: 1- Mumcu Hg-Au, 2-Değirmenciler Sb, 3- Şaphane Alümit, 4-Körkuyu Sb-Hg; Baz metal cevherleşmeleri: 5-Karakoca Pb-Zn, 6-İnkaya Cu-Pb-Zn, 7-Arpaçukuru Piritt.

Simav yöresindeki granitoidler, kalk-alkalin bileşimli granodiyorit ve monzogranitten oluşan stoklar biçimindedir (Oygür, 1997a). Bu granitler, alkalin bileşimli kuvars monzodiyorit ve kuvars diyoritten ibaret mafik dayklar tarafından kesilirler. Bölgede bulunan bütün granitoid stokları, daha sonra, dasit porfirlerle kesilmiştir. Budağan kireçtaşlarına ve Dağardı melanjına sokulum yapmaları ve Alt Miyosen yaşlı konglomera tarafından örtülmeleri nedeniyle ( Akdeniz ve Konak, 1979) granitoidlerin yerleşme yaşı muhtemelen Paleosen-Eosen olmalıdır. Bununla birlikte, alkalin bileşimli mafik dayklar ve dasit porfirler daha gençtir ve olasılıkla, Simav Grabeni'nin gelişimi sırasında yerleşmişlerdir (Oygür, 1997a).

Tabandaki çeşitli sedimanter birimler ile bunların üzerindeki Civanadağ tüfleri ve Akdağ volkanitlerinden ibaret Miyosen yaşlı birimler, daha yaşlı kayaçları uyumsuz olarak örterler (Akdeniz ve Konak, 1979). Tüfler, andezit, riyolit, riyodasit ve dasit bileşimli lavlardan oluşan Akdağ volkanitleriyle yatay ve düşey olarak geçişlidir. Akdağ volkanitleri sub-alkalindir ve toleyitik serilere çok yakın bir kalk-alkalin gidişe sahiptir (Ercan ve diğ., 1982). Güleç (1991), izotopik bileşimlerine göre kalk-alkalin volkanitlerin kıtasal litosferden veya üst kabuk malzemesinin bulaştığı sığ astenosferik mantodan türemiş olduklarını ortaya koymuştur.

Akdağ volkanitleri, Pliyosen yaşlı çökeller ve bunların üzerindeki Payamtepe bazaltları ile örtülür (Ercan ve diğ., 1978). Payamtepe volkanitleri, şoşonitik ve yüksek potasyumlu kalk-alkalin bileşimleriyle alkalin karakterlidir (Ercan ve diğ., 1982). Sr ve Nd izotop jeokimyasına göre bu volkanitlerin oluşumu, nisbeten derin, izotopik olarak tüketilmiş manto bölümlerinden kaynaklanmış ergiyiklerle kontrol edilmiştir (Güleç, 1991).

Stratigrafik istifin en üstünde bulunan Naşa Bazaltları, bazaltik lav akıntularından oluşur. Ercan ve diğerleri (1981/1982), belirgin alkalin karakterli bazaltları fonolitik tefrit ve şoşonit olarak adlandırmıştır. Açıkça manto kökenli olan bazaltlar, kabuk malzemesiyle karışmamış birincil alkalin mağmayı temsil etmektedir (Savaşçın ve Güleç, 1990). Ercan ve diğerleri (1981/1982), rift volkanizması ürünü olan bazaltlara Alt Kuvaterner yaşını verir.

### 3. SİMAV GRABENİ

Bölgenin en dikkati çeken tektonik özelliği Simav Fayı'dır. Simav nehri boyunca, batıda Sındırgı'dan doğuda Murat Dağı'na kadar uzanır. Simav'ın batısında, sinüsoidal biçimiyle çok belirgin olarak gözlenir. Simav Fayı tek bir kırık değil de, ana kırığa paralel bir çok basamak faydan ibarettir (Oygür, 1997a). Payamtepe volkanitleri ve Naşa bazaltlarına ait alkalin lav akıntıları, fay boyunca uzanırlar. Bütün bu verilere göre çalışma sahası, Zeschke'nin (1954) de belirttiği gibi graben yapısının tipik bir örneğidir. Simav Grabeni boyunca, kaplıcalarla temsil edilen yoğun jeotermal etkinlik gözlenir.

Konak (1982), Simav Fayı'nın kuzey bloğundaki metamorfik zonların güney bloğa nazaran doğuya doğru kaydığını göstermiştir. Şu halde, çökmenin riftleşmeyi başlatmasından önce sağ yanal atımlı bir doğrultu fay söz konusudur. Bu veriler, Şengör ve diğerleri (1984) tarafından belirtildiği gibi Geç Miyosen'e kadar Batı Anadolu'da hüküm sürmüş olan D-B sıkışma rejimiyle uyumludur. Daha sonraki bir dönemde tektonik rejimin K-G genişleme rejimine değişmesi, Simav Fayı yatay bileşenin baskın olmasına neden olmuştur. Böylece doğrultu atımlı fay boyunca gelişen yatay hareketin genişleme havzalarını üretmesiyle (Crowell, 1974; Schubert, 1980; Woodcock ve Fischer, 1986; Sylvester, 1988) Simav Grabeni oluşmuştur (Oygür, 1997a).

Grabenin batı ucunda ve Simav yakınlarında ana faya dik, K-G gidişli faylar Simav Fayı'nı kesmektedir. Bu faylar, Gibbs (1984) tarafından "transfer fayları" olarak adlandırılmıştır. Bosworth'a (1985) göre bu yapılar, mevcut zayıflık zonuna yerleşmiş ve riftleşmeyle eşzamanlıdır.

### 4. SİMAV GRABENİ BOYUNCA GÖRÜLEN CEVHERLEŞMELER

#### 4.1. Epitermal Cevherleşmeler

Simav Grabeni boyunca oluşmuş epitermal cevherleşmeler, yüksek sülfidleşme tipi Mumcu Hg-Au cevherleşmesi, jasperoid tipi Değirmenciler antıman cevherleşmesi, listvenit tipi Körkuyu Sb-Hg cevherleşmesi ve ornatım tipi Şaphane alunit yatağı ile temsil edilmektedir. Mumcu Hg-Au

cevherleşmesi, şistler ile Miyosen yaşlı tüflerin dokanağında, Simav graben fayını kat eden transfer faylarının oluşturduğu bir fay zonuna yerleşmiştir (Oygür, 1997b). Cevherleşme, metamorfizmler içindeki bir opalit zonunda, arsenopirit, elektrum (?) ve seyrek altın taneciklerinin eşlik ettiği zinober ile temsil edilmektedir. Değirmenciler antimuan cevherleşmesi, biyotitli gnayslar içerisindeki kireçtaşı merccek ve bantlarında ornatım ve açık boşluk dolgusu olarak yerleşmiş stibnitli kuvars damarlarından ibarettir (Oygür ve Erler, Baskıda). Ornatım tipi Şaphane alünit yatağı, Civanadağ tüflerini kat eden K-G ve D-B gidişli iki ana fay setiyle ilişkilidir (Oygür, 1997a). Yaygın bir silisleşmenin ortasında, yüzeyden derine doğru, sırasıyla, silika-alünit-kaolinit, kaolinit ve alünit zonlarından oluşan merccek biçimli bir zonlu alterasyon görülür. Korkuyu Hg-Sb cevherleşmesinin bulunduğu yörede, devasa mermer blokları içeren ofiyolitik melanj, faylar boyunca karbonatlaşarak ve silisleşerek listvenitleri oluşturmuş, mermer de kısmen jaseroide dönüşmüştür (Oygür, 1997a). Listvenitlerde, dış kesimlerdeki serpantinlerden içeri doğru talk, karbonat ve silika zonlarından oluşan bir silika-karbonat alterasyonu görülür. Cevherleşme, silika zonunda yerleşmiştir.

Isı ve hareket kaynağı olarak davranmış olan gömülü bir granitoid stoğu tarafından dolaşıma sokulan hidrotermal çözeltiler (Oygür, 1997a) bu epitermal cevherleşmelerin oluşumuna yol açmıştır. Mumcu cevherleşmesi için böyle bir porfiri stoğun arazideki kanıtı, çalışma sahasının kuzeyindeki Derecikören granitindedir (Oygür, 1997b). Bu granitin kenar kısımlarında baz metal mineralleri içeren skarn oluşumları ve köyün kuzeyinde piritli, limonitli ve ağsal kuvars damarları içeren bir porfir oluşumu görülmektedir. Yine Simav graben fayı boyunca, Mumcu cevherleşmesinin doğusunda, Öreğler köyünde ve Gediz'in güneybatısında yüzeyleşmiş cevherli porfiri sistemler de mevcuttur. Değirmenciler'deki epitermal antimuan cevherleşmesinin dasit porfiri ile ilişkili olduğu açıkça görülür (Oygür ve Erler, baskıda). Şaphane alunit yatağının doğusunda, Pınarbaşı'ndaki Cu-Mo cevherleşmesi içeren benzeri bir diğer porfiri stok bu cevherleşmenin porfiri sistemin en üst kesimlerini temsil ettiğini göstermektedir (Oygür, 1997). Hem Korkuyu listvenitlerinin, hem de Ilıcalar'daki hidrotermal breşin yüksek molibden içerikleri ve Ilıcalar'daki kuvarsdiyorit porfir, listvenitlerin oluşumuna neden olan silika-karbonat alterasyonunun bir granitoid plütonuna bağlı hidrotermal akışkanların etkisiyle olduğunu düşündürür.

Epitermal cevherleşmeler, Simav Graben fayını dikine kesen transfer faylarının oluşturduğu fay zonlarına yerleşmiştir. Tipik epitermal özellikler olan özşekilli kuvars kristalleri ile dşseli boşluk ile tarak, kolloform ve kabuk dokularının yanı sıra civalı opalit biçiminde silika sinter, traverten, siyah silika hamurlu hidrotermal breş ve silisleşmeler de cevherleşmelere eşlik etmektedir. Epitermal cevherleşmelerin çevresinde, alunit, dikit, kaolinit, montmorillonit, serizit, kuvars, opalden ibaret ileri ve ortaç arjilik alterasyon ürünleri görülmektedir. Ana cevher mineralleri, alunit yatağı hariç, altın, elektrum, stibnit ve zinoberdir. Çok az miktarlarda arsenopirit, galen, kalkopirit, molibdenit ve pirit bunlara eşlik etmektedir.

#### 4.2 Baz Metal Cevherleşmeleri

Çalışma sahasında bulunan çok sayıdaki baz metal cevherleşmeleri arasından damar tipi Karakoca Pb-Zn yatağı ve İnkaya Cu-Pb-Zn cevherleşmesi ile masif sülfid mercceği biçimindeki Arpaçukuru pirit cevherleşmesi örnek olarak incelenmiştir. Karakoca cevherleşmesi, Dora (1965, 1969) tarafından ayrıntılı olarak etüt edilmiştir. Cevher, graniti kesen albit tonalit daykları yakınındaki KB-GD yönlü tansiyon kırıkları içerisine depolanmıştır. İnkaya cevherleşmesi, Simav Metamorfizmleri'ne ait şistler içerisinde KB-GD gidişli dik bir fay üzerinde, galen, kalkopirit, sfalerit ve pirit içeren bir kuvars damarıdır. Cevherleşme, gnayslar ve pirit saçınımlı bir porfiri dayk arasındaki dokanakta, K70B gidişli ve kuzeye doğru dalımlı bir fay zonu üzerindedir (Oygür, 1997a). Üzeri bir limonitik demir şapka ile örtülü olan cevherleşme, yaklaşık D-B gidişli bir masif pirit mercceği biçimindedir. Bu merccek aşağıdan yukarı doğru, sırasıyla, arsenopiritli bir manyetit zonu, galen ve kalkopiritçe zengin zengin bir manyetit bandı, çatlakları manyetit, kalkopirit ve sfaleritle dolmuş iri taneli bir masif pirit zonu ve kalkopirit ve galenli ince barit damarcıkları tarafından kesilmiş bir manyetit zonundan oluşur.

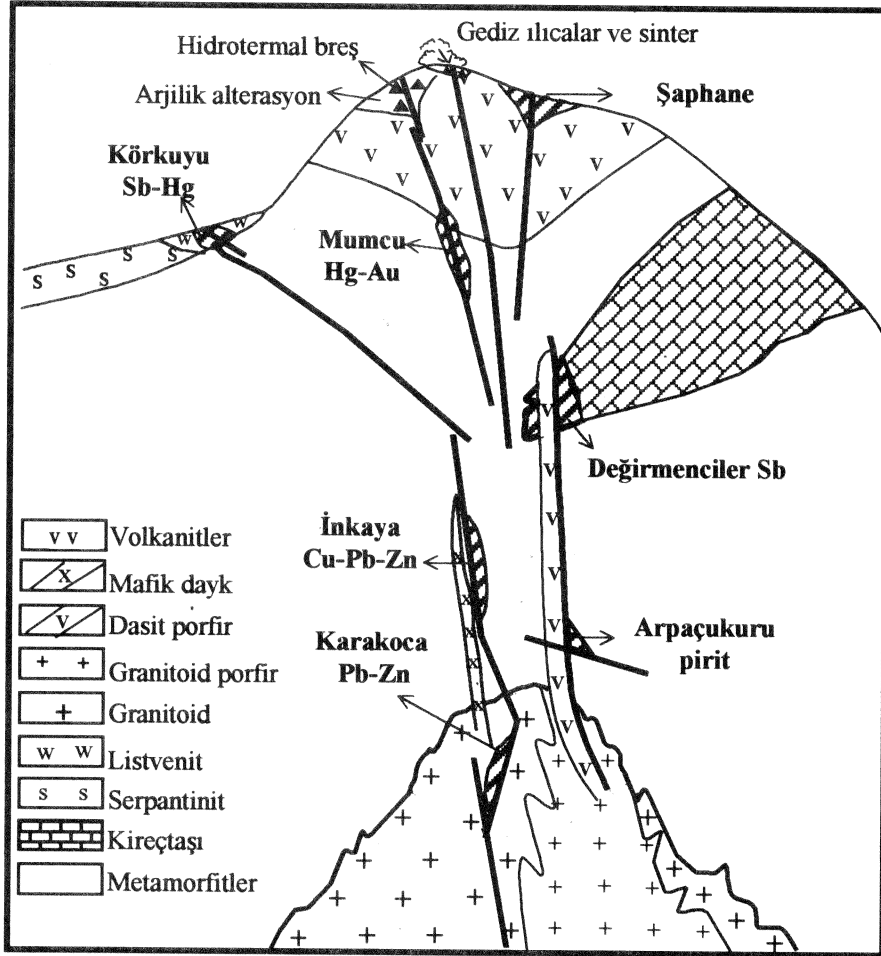
Bu tür cevherleşmelerin, granitoid plütonunu kesen mafik dayklarla ilişkili oldukları arazide görülmektedir (Dora, 1969; Oygür, 1997a). Yöredeki baz metal cevherleşmeleri, BKB-DGD yönlü Simav Fayı'na yarı paralel tektonik hatlara yerleşmiştir. Yan kayalarda klorit, illit, smektit ve kaolinitten ibaret arjilik alterasyon görülür. Başlıca cevher mineralleri galenit, sfalerit, kalkopirit, pirit ve arsenopirittir. Baz metal damarlarında açık boşluk dolgusu yapıların bulunmaması, bu cevherlerin bir sıkışmalı rejim

sırasında yerleştiğini göstermektedir.

Baz metal cevherleşmelerini kesen K-G yönlü faylar boyunca yoğun silisleşme ve breşleşmeyle birlikte ametistli, bantlı ve tarak dokularına sahip, içindeki küçük boşluklar kuvars kristalleriyle döşenmiş epitermal kuvars damarları yerleşmiştir. Bu kesimlerde, cevherin altın ve gümüş içeriği de yükselmektedir (Oygür, 1997a).

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Granitoid plütunu, Simav Grabeni boyunca oluşmuş cevherleşmeler için hidrotermal dolaşım hücrelerini harekete geçirmek üzere ısıyı sağlayan motor olmuştur (Oygür, 1997a). Olasılıkla plütunun yerleşmesinin son evrelerinde, İnkaya'da plütunun nisbeten uzağında ve Karakoca'da plütunun içerisinde, intrüzyonların mafik dayklarıyla kökensel ve mekansal olarak ilişkili damar tipi Cu-Pb-Zn cevherleşmeleri oluşmuştur (Şekil 3). Bu dönemde bölgede egemen olan sıkışmalı tektonik rejim, yaklaşık BKB-DGD gidişli sağ yanal atımlı Simav Fayı ile çalışma sahasında temsil edilmektedir. Damarlarda, açık veya dolgulu boşlukların bulunmaması cevherleşmenin sıkışmalı rejim altında oluştuğunu gösterir. İnkaya cevherleşmesi, Karakoca damarlarıyla aynı özellikleri taşımaktadır (Oygür, 1997a). Şu halde, çalışma sahasındaki damar tipi baz metal cevherleşmeleri, sıkışmalı rejim sırasında Simav Fayı'na yarı paralel KB-GD gidişli tansiyon kırıkları içerisinde depolanmışlardır.



Şekil 3. Simav Grabeni boyunca görülen baz metal ve epitermal cevherleşmelerin yerleşim biçimlerini gösteren genetik model (ölçeksiz).

Neo-tektonik dönemde, graben evriminin son dönemlerini temsil eden K-G gidişli transfer fayları, graben fayının ana hattını keser. Mumcu'daki epitermal Hg-Au cevherleşmesi böyle bir transfer fayı boyunca görülür (Oygür, 1997a). Mumcu epitermal cevherleşmesi, olasılıkla, kuzeydeki Derecikören porfiriyle temsil edilen bir gömülü porfiri sistemin en üst düzeylerini işaretlemektedir. Derecikören



graniti ile Mumcu epitermal sistemi arasında, metamorfizler içerisinde yer alan Au (3.8 gr/t) ve Ag (270 gr/t) bakımından oldukça zengin Karacalar Cu-Pb-Zn kuvars damarının varlığı da sistemin derin kesimlerinde epitermal cevherleşmenin baz metal cevherleşmesine geçtiğini göstermektedir (Oygür, 1997b).

Benzer bir biçimde, K-G fayları, İnkaya ve Arpaçukuru'nda baz metal damarları üzerine binmiş epitermal cevherleşmeler için depolanma yerleri oluşturmuştur. Karakoca'da, cevher içerisindeki düşük ısıli mineraller ve tarak dokulu ametist (Dora, 1965), epitermal dönemde de cevherleşmenin geliştiğini düşündürür. Değirmenciler antimuan cevherleşmesi, Sillitoe ve Bonham'ın (1990) önerdiği biçimiyle, baz metaller ve değerli metaller içeren bir mağmatik-hidrotermal sistemin çevresinde yerleşmiş dış zonlardaki epitermal evrede oluşmuş ürünleri olmalıdır. Yine bu dönemde Korkuyu listvenitinde, ince kuvars kristalleriyle döşenmiş boşluklu, tarak ve kabuklaşma dokulu ve opal sıvımalı cıva ve antimuan cevherleşmeleri gelişmiştir.

Bu dönemde depolanan epitermal cevherleşmelerden Mumcu ve Korkuyu, paleo yüzey yakınında bulunan porfiri sistemin merkezden uzaktaki cevherleşmeleridir (Şekil 3). Metamorfizler içerisindeki karbonat mercerlerini kesen porfiri dayklar, Değirmenciler'de plütonun daha da uzağında ornatım tipi antimuan cevherleşmesini oluşturmuştur. Son olarak, Şaphane'deki ornatım tipi alunit cevherleşmesi, porfiri sistemin en üstteki seviyelerini temsil eden paleo yüzeyde meydana gelmiştir. Kuvars kristallerindeki sıvı kapanımlarda ölçülmüş olan ortalama 210-340°C arasındaki homojenleşme sıcaklıkları (Oygür, 1997a), bu cevherleşmelerin epitermal sistemin derin zonlarında oluştuğunu gösterir. Gediz İlııcalar'daki güncel sinterle temsil edilen bu epitermal sistem, Simav Grabeni boyunca çok sayıdaki kaplıcalarda görülen yoğun jeotermal etkinlikle günümüzde de sürmektedir.

## KAYNAKLAR

- Akdeniz, N., 1980. Başlamış Formasyonu. Jeoloji Mühendisliği, 10, 39-47.
- Akdeniz, N. ve Konak, N., 1979. Menderes Masifi'nin Simav dolayındaki kaya birimleri ve metabazik, metaultrabazik kayaların konumu. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 22, 175-184.
- Bosworth, W., 1985. Geometry of propagating continental rifts. Nature, 316, 625-627.
- Crowell, J.C., 1974. Sedimentation along the San Andreas Fault. R.H.Dott (ed.), Modern and Ancient Geosynclinal Sedimentation, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication, 19, 292-303.
- Dora, O.Ö., 1965. Karakoca kurşun madeni ve civarının jeolojik etüdü. MTA Genel Müdürlüğü, Derleme Rapor No 3855, Ankara (yayımlanmamış).
- Dora, O.Ö., 1969 Karakoca granit masifinde petrolojik ve metalojenik etütler. MTA Dergisi, 73, 10-26.
- Ercan, T., Dinçel, A., Metin, S., Türkecan, A. ve Günay, E., 1978. Uşak yöresindeki Neojen havzalarının jeolojisi. Türkiye Jeoloji Kurumu 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.
- Gibbs, A.D., 1984. Structural evolution of extensional basin margins. Journal of geological Society of London, 141, 609- 620.
- Güleç, N., 1991. Crust-mantle interaction in western Turkey: implications from Sr and Nd geochemistry of Tertiary and Quaternary volcanics. Geological Magazine, 128, 417-435.
- Gün,H., Akdeniz,N. ve Günay,E.,1979. Gediz ve Emet güneyi Neojen havzalarının jeolojisi ve yaş sorunları. Jeoloji Mühendisliği, 8, 3-14.

- Kaya, O., 1972. Tavşanlı yöresi ofiyolit sorununun ana çizgileri. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 15, 26-108.
- Konak, N., 1982. Simav dolayının jeolojisi ve metamorf kayaçlarının evrimi. İstanbul Yerbilimleri, 3, 313-337.
- Konak, N., 1996. Menderes Masifi Hakkında. 49 uncu Türkiye Jeoloji Kongresi Bildiri Özleri Kitabı, Ankara, s.29.
- Oygür, V., 1997a. Metallogeny of the Simav Graben (Inner-Western Anatolia, Turkey). Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 144 s. (yayımlanmamış).
- Oygür, V., 1997b, Bir epitermal cevherleşmenin anatomisi: Mumcu (Balıkesir-Sındırgı), İç-Batı Anadolu. MTA Dergisi, 119, 63-72.
- Oygür, V. ve Erler, A., (Baskıda), Jasperoid tipi epitermal cevherleşmeye Batı Anadolu'dan bir örnek: Değirmenciler antimuan cevherleşmesi (Simav-Kütahya), MTA Dergisi.
- Savaşçın, M.Y. ve Güleç, N., 1990. Relationship between magmatic and tectonic activities in western Turkey. M.Y.Savaşçın ve A.H.Eronat (ed), IESCA 1990,Bildiriler c.II, 300-313.
- Schubert, C., 1980. Late Cenozoic pull-apart basins, Bocona fault zone, Venezuelan Andes. Journal of Structural Geology, 2, 463-468.
- Sillitoe, R.H. ve Bonham, H.F., Jr., 1990. Sediment-hosted gold deposits; distal products of magmatic-hydrothermal systems. Geology, 18, 157-161.
- Sylvester, A.G., 1988. Strike-slip faults. Geological Society of America Bulletin, 100, 1666-1703.
- Şengör, A.M.C., Satır, M. ve 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, 3, 693-707.
- Woodcock, N.G. ve Fischer, M., 1986. Strike-slip duplexes. Journal of Structural Geology, 8, 725-735.
- Zeschke, G., 1954. Der Simav-Graben und seine Gesteine. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 5, 179-189.

## TÜRKİYE ALTIN POTANSİYELİNİN TAHMİNİ

### AN ESTIMATION OF GOLD POTENTIAL OF TURKEY

**Ayhan ERLER**, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06531 Ankara  
**Vedat OYGÜR**, Eurogold Madencilik A.Ş., Arjantin Cd. 15/2, Gaziosmanpaşa, 06700 Ankara

#### ÖZET

Anadolu'da altın üretiminin tarihi, günümüzden binlerce yıl önce yaşamış eski uygarlıklara kadar uzanmaktadır. Günümüzde, Türkiye'de işletilmekte olan altın madeni yoktur, ancak farklı jeolojik ortamlarda oluşmuş pek çok altın yatağı ve zuhur bilinmektedir. Türkiye'nin bilinen ve envanteri yapılmış toplam altın rezervi 255 tondur. Türkiye altın potansiyelini kestirebilmek amacıyla, bu çalışmada beş ayrı jeolojik kaynak modeli kullanılmıştır. Bu modellerdeki temel varsayımı, gerek içinde buldukları yan kayalar ve gerekse yerleşim biçimleri bakımından Türkiye altın yatakları ile olan benzerlikleri nedeniyle ABD'nin Kaliforniya ve Nevada eyaletlerindeki altın yatakları oluşturmuştur. Bu çalışmadan elde edilen değerlere göre Türkiye altın potansiyeli 1700 ton ile 6500 ton arasında değişmektedir.

#### ABSTRACT

History of the gold production in Anatolia goes back to the ancient civilizations lived for some thousands years ago. However there is not any gold mine under operation today, several gold deposits and occurrences are known to occur in different geological environments in Turkey. Total gold reserves of Turkey are reported to be 255 tons. Five different geological resources models have been used in this study to estimate the gold potential of Turkey. Due to their similar geologic settings, host rocks and depositional models to those in Turkey, the gold deposits of Nevada and California, USA were taken as the basis of the models developed to estimate gold potential of Turkey. According to the values obtained from this study, the gold potential of Turkey varies between 1700 and 6500 tons.

#### 1. GİRİŞ

Anadolu'da altın üretiminin tarihi, günümüzden binlerce yıl önce yaşamış eski uygarlıklara kadar uzanmaktadır. Bunlardan en önemlileri Truvağılar ve Lidyalılardır. Bergama-Ovacık, Havran-Küçükdere, Kepsut ve Söğüt civarında Romalılar'a ait olduğu sanılan eski işletme izleri bulunmuştur. Yurdumuzda en son 19. Yüzyılın sonlarında, yabancı şirketler tarafından Çanakkale-Kirazlı, İzmir-Karşıyaka ve Hatay-Kisecikköy'de; 1. Dünya savaşı öncesinde de Kars-Kağızman yörelerinde Ruslar tarafından altın üretimi yapılmıştır. Günümüzde, Türkiye'de işletilmekte olan hiçbir altın madeni yoktur.

## 2. TÜRKİYE ALTIN YATAKLARI

### 2.1 Altın Yataklarının Sınıflandırılması

Yurdumuzdaki altın yatakları, yatağın kökenine, bulunduğu jeolojik ortama ve yatak biçimine göre, morfolojik olarak tanımlanabilecek bir sınıflamaya göre altı grupta toplanabilir (Erler, 1993, 1997):

1) Altın içeren porfiri bakır yatakları: Bilinen porfiri yatakları çok düşük bakır tenörlü olduklarından günümüz koşullarında ekonomik değillerdir. En önemlileri Ulutaş (Erzurum) ve Güzelyayla (Trabzon) olan bu tür yatakların altın içeriği ile ilgili veri bulunamamıştır.

2) Altın içeren masif sülfid yatakları: Halen bakır üretimi yapılan Murgul (Artvin), Küre (Kastamonu) ve Çayeli (Rize) bu gruptadır. Yeni bulunan Cerattepe (Artvin) yatağında fizibilite çalışmaları sürmektedir.

3) Altın içeren skarnlar: Altınoluk (Balıkesir) bu grubun bilinen örneğidir. Efemçukuru (İzmir) yatağı olasılıkla metamorfizmaya uğramış skarn türü bir oluşumdur.

4) Epitermal yataklar: Menderes Masifi'nin metamorfik kayaları ile Batı ve Kuzeydoğu Anadolu'daki volkanitler içerisinde bulunurlar. Önemli sayılabilecek örnekleri Ovacık (İzmir), Arapdağı (İzmir), Kartaldağ (Çanakkale), Küçükdere (Balıkesir), Fatsa (Ordu), Akoluk (Ordu) ve Mastra (Gümüshane)'dir.

5) Ultramafik kayalarla ilgili yataklar: Bu kayalardaki listvenitleşmiş zonlar altın aramaları için yeni bir hedef oluşturur. Bilinen örnekleri Kaymaz (Eskişehir), Örencik (Kütahya), Muratdağı (Kütahya), Sülüklügöl (Bursa)'dır.

6) Güncel plaser altın yatakları: Önemli sayılabilecek zuhurlar Sart (Manisa), Kağızman (Kars) ve Mertgölü (Kırklareli)'dir.

### 2.2 Bilinen Rezervler

Altın madenciliği yapmakta olan şirketlerin kendi rakamlarının ve yayımlanmış çeşitli verilerin (MTA,1970, 1991; Erler, 1997; Oygür, 1995, 1996) yorumlanmasına göre Türkiye'nin bilinen ve envanteri yapılmış toplam altın rezervi 255 tondur (Çizelge 1). Bu değer dünyadaki bilinen yatakların toplam altın içeriğinin (43 544 ton) binde 6'sına karşılık gelmektedir. Bu yatakların altın içeriğinin 105 tonu (% 42) masif sülfid yataklarına bağlı olanlardır. 87 tonu (% 35) epitermal yataklara bağlıdır. Teknolojik açıdan, altın içeriğinin % 30'u altının yan ürün olarak elde edilebileceği yataklarda, % 70'i ise işletilebilme potansiyeli olan yataklardadır. Bölgesel olarak ağırlık Ege (% 49) ve Doğu Karadeniz (% 28) bölgelerindedir. Arama çalışmaları süren yataklar ve bilinen zuhurlar da Ege ve Doğu Karadeniz bölgelerinde belirgin biçimde yoğunlaşmaktadır. Arama çalışmaları süren yataklar, zuhurlar ve bulunabilecek yatakların olası altın içeriği iyimser bir değerlendirme ile en az 100 ton dolayındadır; bu da bilinen toplamı önemli ölçüde arttırabilecektir.

Çizelge 1. İşletilebilirliği söz konusu yatakların altın rezervi.

Tür	Altın (ton)	%
İşletilebilir Yataklar	100	40
Potansiyel Yataklar	80	30
Altının Yan Ürün Olduğu İşletilen Yataklar	55	22
Altının Yan Ürün Olduğu Potansiyel Yataklar	20	8
<b>Toplam</b>	<b>255</b>	<b>100</b>

### 2.3 Beklenen Potansiyel

Son yıllarda dünyadaki altın aramaları Nevada, adayayı ve listvenit olmak üzere üç oluşum modeline bağlı yataklar üzerinde yoğunlaşmaktadır. Türkiye'de önemli bir altın potansiyeli umudunun bulunması, bu modellerin Türkiye jeolojisine uygulanabilir olmasından kaynaklanmaktadır.

ABD altın üretiminin yaklaşık % 60'ı Nevada'da yapılmaktadır. Halen bu eyalette çoğu açık işletme olarak çalıştırılan yüzden fazla altın yatağı bulunmaktadır. Yaklaşık KB-GD doğrultulu yükseltiler ve çöküntülerden oluşan Ege Bölgesi, Nevada'daki altın yataklarının bulunduğu Basin and Range bölgesiyle büyük bir benzerlik göstermektedir. Bu benzerliğin sonucu olarak, yabancı şirketler aramalarını ilk olarak Ege Bölgesi'nde başlatmışlardır.

Adayalarının en yaygın olarak bulunduğu Pasifik Okyanusu çevresinde volkanik kayalarla ve jeotermal kaynaklarla ilişkili çok sayıda epitermal karakterli altın yatağı bilinmektedir. Türkiye'de, Doğu Karadeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri adayayı kökenli kayaların en yaygın olarak gözlemlendiği bölgelerdir.

Listvenitler, ofiyolitik istiflerin tabanında yer alan ultramafik kayaların içinde bulunurlar. Listvenitlerde altın bulunması, yurdumuzda geniş alanlar kaplayan ofiyolitleri potansiyel hedef bölgeler haline getirmiştir.

### 3. MADEN KAYNAKLARINI KESTİRME YÖNTEMLERİ

Bilinmeyen maden kaynaklarını kestirme yöntemleri, öncelikle maden kaynağı modellerinin kurulmasını gerektirir. Kaynak modelleri 5 ana gruba ayrılabilir: (1) Ekonomik kaynak modelleri, (2) Nicelik-nitelik modelleri, (3) Jeolojik kaynak modelleri, (4) Jeostatistik modeller ve (5) Bileşik modeller.

Ekonomik kaynak modelleri, bilinen rezervler veya üretim miktarlarının tarih boyunca değişim eğrilerinin ve bu değerleri etkileyen ekonomik olayların incelenmesine dayanır (Harris, 1984). Ülkemizde henüz altın üretimi yapılmadığından bu modellerin uygulanması olanaksızdır.

Nicelik-nitelik modelleri, rezervler ile tenörler arasındaki ilişkinin saptanmasına dayanır (Harris, 1984). Bu modeller, bilinen yataklardaki rezerv-tenör ilişkilerini kestirmek veya kaynak tabanından başlayarak farklı tenörlerdeki toplam olası rezervi kestirmek için kullanılabilir. Ancak, farklı yatak türlerindeki farklı tenörler, bu modellerle kaynak potansiyeli kestirimi olanaklarını azaltmaktadır.

Jeolojik kaynak modellerinde, jeolojik değişkenler ile kaynak varlığı değişkenleri (yatak sayısı, zuhur sayısı, toplam rezervler, toplam metal değeri) arasındaki istatistiksel korelasyonlar veya yoğunluk ölçütleri (ton metal/km<sup>3</sup>, yatak sayısı/km<sup>3</sup>) gibi yöntemler kullanılır (Harris, 1984). En yaygın kullanılan modeller elementin kabuktaki ortalama değerine dayanır.

Jeostatistiksel modeller, bölgesel değişken dağılımlarını kullanarak kestirimler yapan, kestirimdeki belirsizlik oranını gösterebilen ve belirsizlik oranının en aza indiren modellerdir (Harris, 1984). Elementin kabuktaki ortalama miktarı yerine değerlerin dağılımının kullanılması veya toplam zuhur sayısı yerine zuhurların bölgesel dağılımının göz önüne alınması kullanılan yaklaşımlardır.

Bileşik modeller, yukarıda sayılan modellerin çeşitli kombinasyonlarda ortak kullanılması ile ortaya çıkan modellerdir.

Türkiye altın potansiyelini kestirebilmek amacıyla, bu çalışmada 5 ayrı jeolojik kaynak modeli kullanılmıştır. Bunlar: (1) Kabuktaki element içeriği-jeolojik birim-zuhur sayısı korelasyonu, (2) Jeolojik ortam-bölgesel metal yoğunluğu benzeşimi, (3) Jeolojik ortam-bölgesel yatak yoğunluğu-rezerv dağılımı benzeşimi, (4) Ekonomik tenörde altın içeren blok sayısı modeli, (5) Jeolojik birim-bulunabilecek ümitli saha-rezerv dağılımı benzeşimidir.

#### 3.1 Kabuktaki Element İçeriği-Jeolojik Birim-Zuhur Sayısı Korelasyon Modeli

Bu modelde, Türkiye'nin kayaç-stratigrafik jeolojik birimleri içinde tesbit edilmiş altın yatakları, zuhurları ve anomali alanları ile kayaların ortalama altın içerikleri kullanılarak Türkiye altın potansiyeli kestirilmiştir.

- 1) Türkiye toplam alanından (780 576 km<sup>2</sup>), göller (9243 km<sup>2</sup>) ve barajlar (10 000 km<sup>2</sup>) çıkarılarak Türkiye kara alanı 761 333 km<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır.

- 2) 1/500.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası'ndan kayaç-stratigrafik birimlerinin Türkiye kara alanı içindeki yüzdeleri ve toplam alanlar belirlenmiştir (Sbiehi, 1990).
- 3) Birim ağırlığı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.  
Birim Ağırlığı (milyar ton)=Birim Alanı (km<sup>2</sup>) x Olası İşletme Derinliği (200 m) x Yoğunluk (3 ton/m<sup>3</sup>)
- 4) Kayaç birimlerinin içerebileceği en yüksek altın miktarı kestirilmiştir.  
Altın Miktarı (ton) = Birim Ağırlığı (milyar ton) x Birimin Altın İçeriği (ppb) (Boyle, 1979)
- 5) Her birim içindeki bilinen altın yatağı, zuhuru ve anomali sayısı saptanmıştır. Her bir yatak, zuhur veya anomali alanının 1 km<sup>2</sup> lik birim alanı temsil ettiği varsayılarak, bu sayının birim alanına bölünmesiyle o birimde yatak bulabilme olasılığı belirlenmiştir.
- 6) Birimin olasılık değeri ile birimdeki en yüksek altın miktarının çarpımı ile birimin muhtemel altın içeriği hesaplanmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 2. Kabuktaki element içeriği-jeolojik birim-zuhur sayısı korelasyon modeline göre Türkiye muhtemel altın potansiyeli

Türkiye kara alanı (km <sup>2</sup> )	En yüksek altın miktarı (ton) (Geo. Ort.)	En yüksek altın miktarı (ton) (Arit. Ort.)	Yatak, zuhur ve anomali alanı sayısı	Muhtemel altın potansiyeli (ton) (Geo. Ort.)	Muhtemel altın potansiyeli (ton) (Arit. Ort.)
761 333	5 000 000	11 000 000	502	1730	4060

### 3.2 Jeolojik Ortam Benzeşim-Bölgesel Metal Yoğunluğu Modeli

Bu modelde, Kaliforniya ve Nevada eyaletlerinin (ABD) jeolojileri ile Türkiye jeolojisi arasındaki benzerlik temel varsayım olarak kullanılmıştır. Bu eyaletlerdeki birim alan başına düşen altın yoğunluğu ölçütü kullanılarak Türkiye'nin muhtemel altın potansiyeli hesaplanmıştır (Çizelge 3).

Çizelge 3. Jeolojik ortam benzeşim-bölgesel metal yoğunluğu modeline göre Türkiye muhtemel altın potansiyeli

Eyalet	Toplam altın içeriği (ton)	Alan (km <sup>2</sup> )	Altın yoğunluğu (ton/km <sup>2</sup> )	Türkiye kara alanı (km <sup>2</sup> )	Muhtemel altın potansiyeli (ton)
Kaliforniya	1253.18	441 471	0.002839	780 576	2216
Nevada	2377.14	286 367	0.008301	780 576	6480
Ağırlıklı ortalama			0.004988	780 576	3894

### 3.3 Jeolojik Ortam Benzeşim-Bölgesel Yatak Yoğunluğu-Rezerv Dağılımı Benzeşim Modeli

Bu modelde de, Kaliforniya ve Nevada eyaletlerinin (ABD) jeolojileri ile Türkiye jeolojisi arasındaki benzerlik temel varsayım olarak kullanılmıştır. Bu eyaletlerdeki birim alan başına altın yatağı yoğunluğu ölçütü ve altın yataklarının altın içeriği dağılımı kullanılarak Türkiye'nin muhtemel altın potansiyeli hesaplanmıştır.

Çizelge 4.1. Kaliforniya ve Nevada eyaletlerindeki (ABD) altın yatağı yoğunluğu

Eyalet	Yatak Sayısı	Alan (km <sup>2</sup> )	Yatak yoğunluğu (yatak/km <sup>2</sup> )	Türkiye kara alanı (km <sup>2</sup> )	Beklenen yatak sayısı
Kaliforniya	66	441 471	0.001495	780 576	117
Nevada	59	286 367	0.0002060	780 576	161
Ağırlıklı ortalama			0.0001717	780 576	134

Kaliforniya ve Nevada'daki altın yataklarının altın içeriği kümülatif dağılımına göre yatak boyutları için frekanslar ve buna göre yatakların içerdiği altın miktarı belirlenmiş ve Türkiye muhtemel altın potansiyeli hesaplanmıştır.

Çizelge 4.2. Yataklardaki altın potansiyeline göre Türkiye muhtemel altın potansiyeli (Ağırlıklı Ortalama Yatak Yoğunluğu, n=134)

Yatak Boyutu (ton)	Ortalama Altın İçeriği (ton)	Dağılım (Kaliforniya-Nevada)	Beklenen Yatak Sayısı	Altın Potansiyeli (ton)
Au > 150	150	0.05	7	1050
150 > Au > 30	60	0.15	20	1200
Au < 30	10	0.80	107	1070
<b>Toplam</b>				<b>3320</b>

### 3.4 Ekonomik Tenörde Altın İçeren Blok Sayısı Modeli

Bu modelde, Türkiye alan yüzeyi, her biri 5 km<sup>2</sup> olan eşboyutlu bloklara bölünmüştür. Blokların kalınlığı 200 m, yoğunluğu 3 ton/m<sup>3</sup> kabul edilerek blok ağırlığı 3 milyar ton olarak hesaplanmıştır. Bilinen altın yatağı, zuhuru veya anomali alanlarının her birinin bir bloka karşılık geldiği kabul edilmiştir. Ekonomik taban değer olarak 1 g/ton Au seçilmiş, bu değer üzerinde altın içeren blok sayısı tenör aralıklarına bölünerek saptanmış; blok sayısı, blok ağırlığı ve tenör aralığının alt ve üst sınırları çarpılarak o dilim için en düşük ve en yüksek altın içerikleri saptanmıştır.

Çizelge 5. Ekonomik tenörde altın içeren bloklardaki altın potansiyeli

Au Tenör Aralığı (g/ton)	Blok Sayısı	En Düşük Altın İçeriği	En Yüksek Altın İçeriği
1-49.99	139	2230	3025

### 3.5 Jeolojik Birim-Bulunabilecek Ümitli Saha-Rezerv Dağılımı Modeli

Türkiye'nin altın yatağı, zuhuru ve anomali alanları içeren kayaç-stratigrafik birimlerinin alanları 5 km<sup>2</sup> boyutundaki ruhsat sahalarına bölünerek arama yapılacak ruhsat sayısı saptanmış; bu sahalarda bulunabilecek yatak sayılarının olasılık değerleri 0.001 (Peters, 1978) ve 0.003 (Kyle, 1984) alınarak işletilebilecek yatak sayıları bulunmuştur.

Çizelge 6.1. Arama yapılacak ruhsat sayıları

Kayaçların Alanı (km <sup>2</sup> )	Ruhsat Sayısı	İşletilebilir Yatak Sayısı (% 0.1 olasılıkla)	İşletilebilir Yatak Sayısı (% 0.3 olasılıkla)
445 304	89 061	89	267

Elde edilen yatak sayısına, Çizelge 4.2'deki dağılım oranları uygulanarak bu yatakların altın potansiyeli hesaplanmıştır.

Çizelge 6.2. Ümitli saha-rezerv dağılımı modeline göre altın potansiyeli

Yatak Boyutu (ton)	Ortalama Altın İçeriği (ton)	Dağılım (Kaliforniya-Nevada)	İşletilebilir Yatak Sayısı	Altın Potansiyeli (ton)
<b>Olasılık 0.001</b>				
Au > 150	150	0.05	5	750
150 > Au > 30	60	0.15	13	780
Au < 30	10	0.80	71	710
<b>Toplam</b>			<b>89</b>	<b>2240</b>
<b>Olasılık 0.003</b>				
Au > 150	150	0.05	13	1950
150 > Au > 30	60	0.15	40	2400
Au < 30	10	0.80	214	2140
<b>Toplam</b>			<b>267</b>	<b>6490</b>

#### 4. SONUÇLAR

Bu modelleme çalışmalarından elde edilen değerlere göre Türkiye altın potansiyeli 1700 ton ile 6490 ton arasında değişmektedir (Çizelge 7). Altın potansiyeli değerlerinin ortalaması 3649 ton, standart sapması ise 1451 tondur. Bu modellemelerde kullanılan yatak, zuhur ve anomali sayısı son derece kısıtlıdır. Bilinen yatakların işletilmesi ve aramaların sürdürülmesi sonucunda bu modeldeki miktarların kesin hale gelebilmesi mümkündür.

Ülkemizde, altın cevherleşmelerine yönelik modern maden yatağı modellemelerine dayandırılmış aramalar son onbeş yıldır sürdürülmektedir. Bilgi birikiminin genişletilebilmesi ile daha geçerli ve sağlıklı arama ilkelerinin belirlenebilmesi, bilinen yatakların işletilmesiyle elde edilecek veriler yardımıyla varsayımların doğrulanmasına bağlıdır.

Çizelge 7. Kullanılan modellerin karşılaştırılması

Model	Altın Potansiyeli (ton)
Kabuktaki element içeriği-Jeolojik birim-Zuhur sayısı korelasyonu (Geo. Ort.)	1730
Kabuktaki element içeriği-Jeolojik birim-Zuhur sayısı korelasyonu (Arit. Ort.)	4060
Jeolojik ortam benzeşim-Bölgesel metal yoğunluğu (Kaliforniya)	2216
Jeolojik ortam benzeşim-Bölgesel metal yoğunluğu (Nevada)	6480
Jeolojik ortam benzeşim-Bölgesel metal yoğunluğu (Ağırlıklı Ort.)	3894
Jeolojik ortam benzeşim-Bölgesel yatak yoğunluğu (Ağırlıklı Ort.)-Rezerv dağılımı	3320
Ekonomik tenörde altın içeren blok sayısı	3025
Jeolojik birim-Bulunabilecek ümitli saha-Rezerv dağılımı (Olasılık % 0.1)	2240
Jeolojik birim-Bulunabilecek ümitli saha-Rezerv dağılımı (Olasılık % 0.3)	6490

#### KAYNAKLAR

- Boyle, R.W., 1979. The Geochemistry of Gold and Its Deposits. Geological Survey of Canada, Bulletin 280, 584 s.
- Erlor, A., 1993., Altın ve Türkiye. Metalurji, 87, 27-32.
- Erlor, A., 1997. Türkiye altın potansiyeli. Bilim ve Teknik, TÜBİTAK, 354, 38-39.
- Harris, D.P., 1984. Mineral Resources Appraisal. Clarendon Press, 445 s.
- Kyle, D.L., 1984. Successful mineral discovery – The statistics, philosophy and strategy. Transactions of the Geological Society of South Africa, 87, 181-198.
- MTA, 1970. Arsenic, Mercury, Antimony and Gold Deposits of Turkey. MTA Yayınl., No 129, 26 s.
- MTA, 1993. Türkiye Altın ve Gümüş Envanteri. MTA Yayınl., No 198, 46 s.
- Oygür, V., 1995. Türkiye altın potansiyeli. Türkiye Altın Madenciliği, Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı, 1-14.
- Oygür, V., 1996. Dünyada altın madenciliği ve Türkiye'nin altın potansiyeli. Jeoloji Mühendisliği, 49, 55-62.
- Peters, W.C., 1978. Exploration and Mining Geology, John Wiley and Sons, 696 s.
- Sbiehi, A.R., 1990. Evaluation of the Mineral Resource Wealth of Turkey Using the Annual Unit Regional Value Approach. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi, 133s.



## KALETAŞ (GÜMÜŞHANE) EPİTERMAL ALTIN ZUHURUNDAKİ ELEMENT DAĞILIMLARI

### ELEMENT DISTRIBUTIONS IN THE KALETAŞ (GÜMÜŞHANE) EPITHERMAL GOLD OCCURENCE

Abdullah ÇUBUKÇU ve Necati TÜYSÜZ  
KTÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

#### ÖZET

Kaletaş (Gümüşhane) epitermal altın zuhuru Doğu Pontid'lerin Güney Zonunda yer alan Eosen yaşlı kayaçlar içinde bulunur. Bu kayaçlar tabandan tavana doğru andezitik tüf (silttaş ve kumlu kireçtaşı arakatlı), silttaş, kumlu kireçtaşı, tüffit, andezit ve andezitik tüflerden oluşan Kabaköy Formasyonu ve bunları kesen Üst Eosen (?) yaşlı Kaçkar II Granitoyidi ve andezitik dayklardan oluşur. Bu formasyonu yersel olarak Kuvarterner yaşlı travertenler uyumsuz olarak örterler.

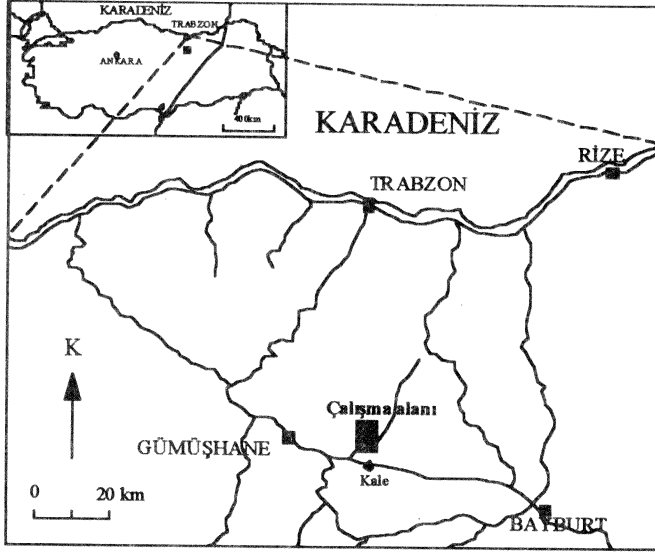
Cevherleşme kumlu kireçtaşları ve tüffitler içinde yer alır. Çalışma sahasında yer alan kayaçlarda cevherleşmeyle ilişkili bazı elementlerin düşey ve yanal dağılımları incelendiğinde cevherli zona yaklaştıkça  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve Au, As, Sb, Hg değerlerinin arttığı, MgO ve CaO değerlerinin azaldığı görülür. İstatistiksel değerlendirmeler sonucunda altının Sb ile 0.95, Hg ile 0.95, As ile 0.92,  $\text{SiO}_2$  ile 0.47 lik pozitif korelasyon ve Ba ile -0.47 ve Th ile -0.62 lik negatif korelasyon değerlerinin ( $p \leq 0.05$ ) de anlamlı olduğu görülmüştür. Aynı şekilde  $\text{SiO}_2$ ; As, Hg ve Sb ile pozitif bir korelasyon gösterirken MgO, CaO ile negatif bir korelasyon göstermektedir. Buna göre  $\text{SiO}_2$ 'in Sb ile olan korelasyon değeri 0.48, As ile 0.45, Hg ile 0.42, MgO ile -0.50, CaO ile -0.62 dir. Buna göre silisleşmenin yoğun olduğu yerlerde Au değerlerinin yüksek, silisleşmenin düşük olduğu zonlarda ise, altın değerlerinin düşük olması ve ayrıca As, Sb ve Hg ile Au arasında benzer ilişkinin görülmesi, altının silisle beraber çökeldiğini, arda kalan boşlukların ve kırık zonlarının da daha geç evrede realgar ve orpiment ile doldurulduğunu göstermektedir.

#### ABSTRACT

The Kaletaş gold occurrence is hosted by Eocene aged lithologic units in the southern zone of the eastern Pontides. The oldest of these units is the Kabaköy Formation which, consists, from bottom to top, of andesitic tuffs, siltstone and sandy limestone, tuffite, andesite and andesitic tuffs. This Formation is cut by Kaçkar II Granitoid and andesite dykes. All these units are locally capped by travertines. Gold is hosted by tuffites. Distribution of major and some trace elements in vertical (using bore-hole data) and lateral directions through tuffites and other associated lithologic units generally reveals increasing values in  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , Au, As, Sb and Hg whereas decreasing values in MgO and CaO. The association of  $\text{SiO}_2$  with ore-forming elements indicates that gold is precipitated from siliceous solutions following carbonate removal. Gold also shows highly significant ( $p \leq 0.05$ ) positive correlations with As, Sb, Hg,  $\text{SiO}_2$  and negative correlations with MgO, CaO, Ba, Th; all of which may be used as indicator elements for the explorations of this type of gold mineralizations

## GİRİŞ

Bu Çalışma Trabzon H43-b1 paftasında yer alan Kaletaş (Gümüşhane) yöresinde 6 km<sup>2</sup>lik bir alanda gerçekleştirilmiştir. Kaletaş altın zuhuru Gümüşhane'den 22 km lik asfalt ve 8 km lik düzgün bir stabilize yol ile ulaşılır (Şekil 1).



Şekil 1. Kaletaş altın cevherleşmesine ait yer bulduru haritası.

İnceleme alanını kapsayan bölgede genel jeoloji, petrografi ve maden yatakları-jeokimya alanlarında çeşitli çalışmalar yapılmıştır:

Tüysüz ve diğerleri (1994), Kaletaş saçınımlı altın zuhurunun ince tabakalı siltli-kumlu kireçtaşları içerisinde, fay ve kırık zonları ile tabaka düzlemleri gibi süreksizlik zonları boyunca yer alan silis mercerklerinden oluştuğunu belirtmişler ve litolojisine, alterasyonuna, mineral parajenezine dayanarak adayayında gelişmiş bu zuhuru Carlin tipi epitermal altın zuhuru olarak sınıflamışlardır.

Güner ve diğerleri (1997), Bölgenin 1/10.000 ölçekli genel jeoloji haritası ile 1/1000 ölçekli ayrıntılı jeoloji ve alterasyon haritalarını yapmışlar ve M.T.A tarafından sahadaki altın potansiyelini ortaya çıkarmak amacıyla 8 ayrı lokasyonda toplam 10 adet sondaj gerçekleştirmişlerdir.

Bu çalışma ile Kaletaş (Gümüşhane) yöresindeki altın cevherleşmesinin yer aldığı kayaçların kimyasal analizlerinden elde edilen ana oksit, iz ve nadir toprak elementlerin dağılımları incelenmiştir.

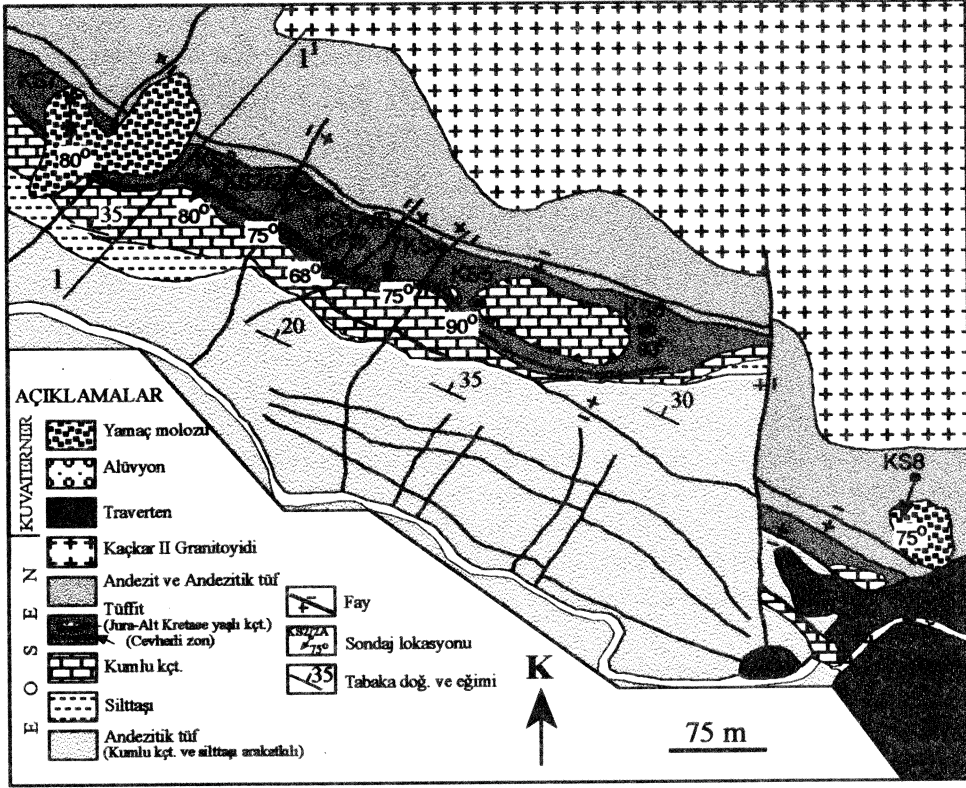
## BÖLGESEL JEOLJİ

Pontid adayayı karmaşığı, Tetis okyanus kabuğunun Üst Kretase-Alt Eosen yaşlı Avrasya levhası altına kuzeye doğru dalması sonucu gelişmiş olup (Şengör ve Yılmaz, 1981) farklı yaşlarda yedi kayaç grubundan oluşmaktadır. Bölgedeki en yaşlı kayaç grubu Paleozoyik yaşlı metamorfik kayaçlardır. Bunlar başlıca mikaşistler, kloritşistler, kalkışistler, mermerler, metagabrolar ve metabazaltlardan oluşurlar (Korkmaz ve Baki, 1984). Permiyen yaşlı (Çoğulu, 1975) Gümüşhane Granitoyidi bu metamorfitlelere sokulum yapmıştır. Bu Metamorfitle ve granitoyidler Doğu Pontid'lerin temelini oluşturur. Liyas yaşlı bazalt, andezit ve piroklastları bu temel kayaları üzerine uyumsuz olarak oturur. Daha sonra bunları Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Berdiga kireçtaşları örter. Üst Kretase yaşlı bazalt ve andezitler kireçtaşları üzerine gelir. Bu kayaç gruplarını muhtemelen Üst Kretase yaşlı Kaçkar I Granitoyidi kesmektedir. Bütün bu kayaçlar muhtemelen Üst Eosen yaşlı Kaçkar II Granitoyidi tarafından kesilen volkano-tortul seri tarafından örtülür (Güven 1993).

## STRATİGRAFİ VE PETROGRAFİ

Doğu Pontid'lerin Güney Zonunda yer alan Kaletaş (Gümüşhane) yöresinde Eosen yaşlı litolojik birimler hakimdir. Bu alandaki en yaşlı birim Eosen yaşlı Kabaköy Formasyonu'dur. Kabaköy Formasyonu tabanda tortul bir seri ve üst kısımlarda da andezit ve andezitik tüflerden oluşmaktadır. Muhtemelen Üst

Eosen yaşlı Kaçkar II Granitoyidi ve andezitik dayklar tarafından kesilen bu formasyon yersel olarak Kuvaterner yaşlı traverten, alüvyon ve yamaç molozu tarafından uyumsuz olarak örtülür. Tortul seri tabandan tavana doğru andezitik tüf (kumlu kireçtaşı, silttaşı arakatlı), silttaşı, kumlu kireçtaşı ve tüffitten oluşmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Cevherleşme bölgesine ait 1/1000 ölçekli jeoloji haritası (Çubukçu, 1998).

Tortul seride yer alan kayalardan andezitik tüflerde, andezitik kayaç parçaları ve plajiyoklas, kuvarstan oluşan mineral parçaları, plajiyoklas, amfibol ve kuvarsin oluşturduğu bir matriks içerisinde bulunur. Silttaşları bol kuvarstan oluşmaktadır. Kumlu kireçtaşlarında başlıca plajiyoklas, kuvars, andezitik kayaç parçaları ile nummulit fosilleri belirlenmiş olup, bütün bu tanelerin sparitik bir çimentoyla bağlanmış olduğu görülmüştür. Tüffitlerin ise, 1-2 mm boyutundan 1-2 cm boyutuna kadar değişen karbonatlı kayaç parçaları, andezitik kayaç parçaları ve kuvarstan oluştuğu tespit edilmiştir. Andezitler mikrolitik porfiri ve fluidal doku gösterirler. Kayalarda mineral olarak plajiyoklas, ojit, amfibol ve az oranda da kuvars bulunmaktadır. Andezitik tüflerde ise andezitik kayaç parçaları ve plajiyoklas, kuvarstan oluşan mineral parçaları plajiyoklas, amfibol ve kuvarsin oluşturduğu bir matriks içerisinde bulunmaktadır. Plajiyoklas, hem iri kristaller, hem de hamurda mikrolitler halindedir. İri kristaller öz ve yarı özşekilli olup yer yer kümelenmiş olarak görülürler. Plajiyoklasların bazılarında albit ikizi, bazılarında ise polisentetik ikizler görülmektedir. Yapılan cins tayininde plajiyoklasların ( $A_{35}$ ) andezim olduğu tespit edilmiştir. Ojit, hem iri kristaller hem de küçük taneler halinde bulunur. İri kristalleri öz ve yarı özşekillidir. Bazılarında kapanım şeklinde küçük plajiyoklas çubukları bulunmaktadır. Genelde tek yönde, az oranda da birbirine dik dilinim göstermektedir. Hamur, genelde plajiyoklas, ojit, klorit, kalsit, serisit, zeolit ve opak minerallerden oluşmaktadır.

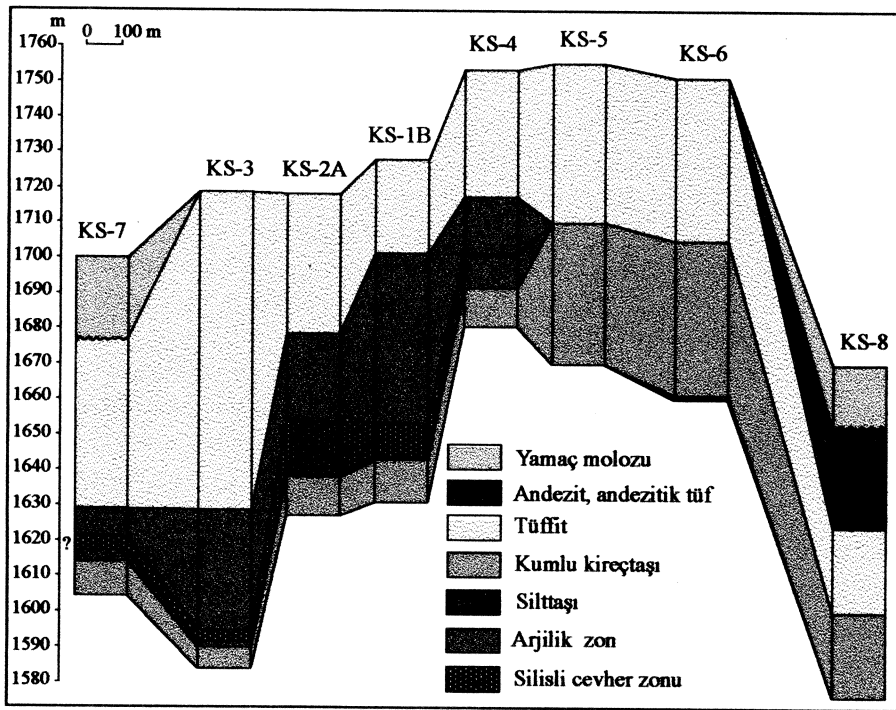
## YAPISAL JEOLJİ

Çalışma alanı Doğu Pontid tektonik kuşağının güney zonunda yer alır. Bu zon başlıca KB-GD doğrultulu faylardan oldukça etkilenmiştir. Çalışma alanının da içerisinde bulunduğu bu fay sistemi ve buna bağlı olarak gelişen alterasyon kuşağı, İspir'den Şebinkarahisar'ın güneyine kadar uzanır. Çalışma alanı içerisinde, bu ana fay sistemine paralel olarak gelişmiş olan fay ve kırıkların yanısıra, bunlara dik gelişmiş ikinci bir fay sistemi de gözlenmektedir.

İnceleme alanında izlenen bu faylar cevherleşmeyle yakından ilişkilidir ve mineralizasyon öncesi ve sonrasında etkili olmuşlardır. Mineralizasyon öncesi gelişen faylar K50-70B doğrultulu 50-70 KD ya eğimli olup ana kırık sistemini oluştururlar ( Şekil 2). Altınlı cevherleşme KB-GD doğrultulu bu tektonik hatlar boyunca gelişmiştir. Mineralizasyon sonrası gelişen faylar ise ana kırık sistemine dik olup KD-GB doğrultusunda uzanırlar ( Şekil 2).

## CEVHERLEŞME

Kaletaş yöresi altın cevherleşmesi, Eosen yaşlı Kabaköy formasyonunun tabanındaki tortul seride yer alan tüffitler içerisinde, oldukça yoğun bir şekilde gelişen KB-GD doğrultulu kırık zonlarına yerleşmiştir. Cevherleşme bu kırık zonlarında silisleşmiş kütleler halinde bulunur. Devamsız olan bu kütlelerin toplam uzunluğu 250-275 m, genişliği ise 3-10 m dir. Cevherleşmenin bulunduğu tüffitler bol kırıklı ve çatlaklı olup, birincil poroziteleri yüksektir. Yer yer 1-2 mm'den 1-2 cm boyutuna kadar değişen yarı yuvarlak ve köşeli karbonatlı kayaç parçaları da içeren tüffitler, bu parçaların asitli çözeltiler tarafından kolaylıkla eritilmesiyle ikincil porozite de kazanmışlardır. Çözünme daha çok fay ve kırık zonları boyunca yoğunlaşmış, bunun sonucunda da erime boşlukları oluşmuştur. Bu karbonat kaybını ayrı bir fazda gelişen silisleşme izlemiş olup, silisli çözeltiler özellikle fay ve kırık zonları boyunca ilerleyerek daha önce oluşmuş boşlukları doldurmuş ve ikincil silis minerallerinin oluşumuna neden olmuşlardır Altın bu evrede silisleşmeyle birlikte gelişmiş olup, altına daha sonraki aşamada orpiment, realgar, pirit eşlik etmiştir. Çalışma alanında cevherleşmenin yeraltındaki yerleşimini ve görünümünü ortaya koymak amacıyla yüzey ve sondaj verilerinden yararlanarak panel diyagram hazırlanmıştır (Şekil 3). Panel diyagramdan cevherli zonun, KS-1B ve KS-2A sondajlarının olduğu bölgelerde kalınlaştığı, KS-3 ve KS-7 sondajlarının KB'sına doğru devam ettiği gözlenmektedir (Şekil 2 ve 3).

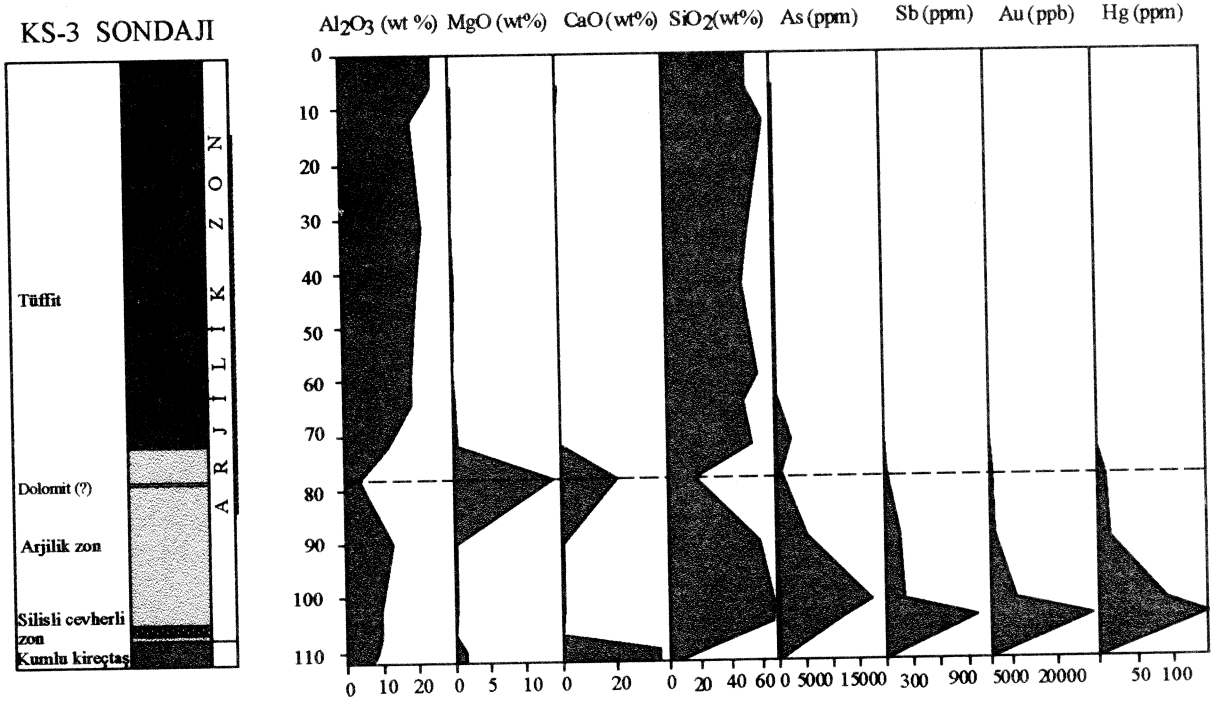


Şekil 3. Kaletaş (Gümüşhane) cevherleşme sahasının panel diyagramı.

## ELEMENT DAĞILIMLARI

Cevherleşmeyle ilişkili elementlerin dağılımını görmek amacıyla düşey ve yanal dağılım diyagramları hazırlanmıştır (Şekil 4, 5). Düşey dağılım grafiği cevherleşmenin yerini, alterasyondan dolayı makroskobik ve mikroskobik olarak tanınamayan litolojisini ve cevher elementleri arasındaki ilişkiyi saptamak amacıyla M.T.A.'nın cevherleşme bölgesinde yapmış olduğu sondajlardan biri olan KS-3 (Şekil 2) sondajından sistematik olarak alınan 11 adet örneğin ICP-AES analiz sonuçlarından elde edilen bazı ana oksit, iz elementler ve nadir toprak elementlerden yararlanılarak hazırlanmıştır (Çubukçu, 1998).

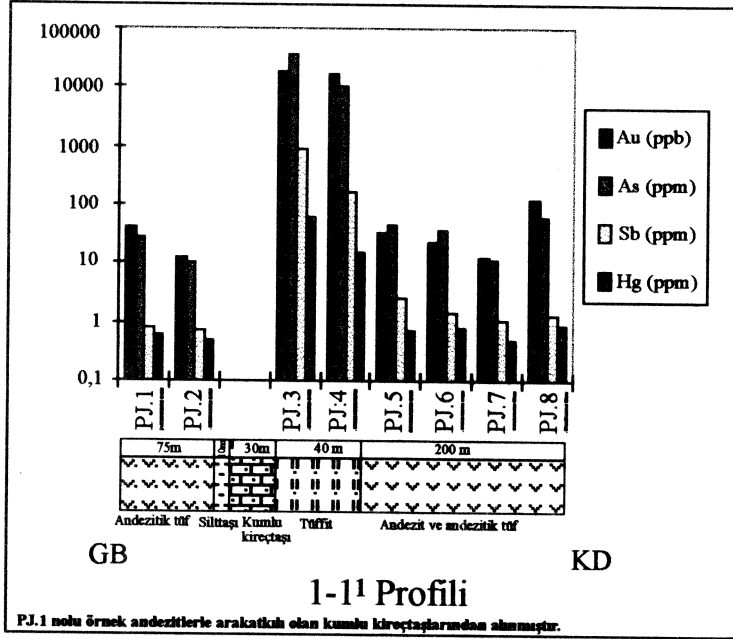
## KS-3 SONDAJI



Şekil 4. KS-3 sondajından elde edilen Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO, SiO<sub>2</sub>, As, Sb, Au, Hg, elementlerinin düşeysel dağılım grafiği.

Buna göre KS-3 sondajı, 112.95 m derinliğe kadar yapılmıştır. Bu sondaj tüffit ile başlayıp 108.75 m'de Kumlu kireçtaşına geçer. Bu derinliğe kadar tamamiyle arjilik alterasyon hakimdir. Arjilik alterasyonun cevherleşmeye yakın kısmında (72.15-108.75 m arasında) pirit, kükürt ve illit mineralleri, cevherleşmeden uzak kısmında ise (0-72.15 m arasında) illit ve halloysit mineralleri yaygın olarak görülür. Yaklaşık 105-108 m arasında siyah renkli (siyah rengi veren okside pirit ve az miktarda da organik karbondur), tamamen silisifiye, orpiment, realgar ve altın içeren cevherli zon kesilir. Diyagramdan da görüldüğü gibi ana oksitlerden Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün değeri bu sondajın 6. m'inden alınan KLT.1 numaralı örnekte % 24.70 olarak elde edilmiş olup 72. m'ye kadar alınan örneklerde yaklaşık bu değeri göstermiştir. 72 m'den sonra Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> değerinde bir azalma olmuş ve 78. m'den alınan KLT.8 numaralı örnekte bu değer % 3.78 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'e kadar düşmüştür. Bu derinlikten sonra tekrar yükselme eğilimi gösteren Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, bu sondajın 105-108 m'leri arasından alınan KLT-11 numaralı örnekte % 9.64 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> değeri vermiştir. Diğer bir ana oksit olan SiO<sub>2</sub> ise yer yer artan ve yer yer de azalan bir düşey dağılım göstermesine rağmen cevherli zonda en yüksek değerlere ulaşır. MgO ve CaO elementleri birbirine benzer bir dağılım gösterirler. MgO ve CaO'un özellikle cevherleşme bölgesinde (105-108 m) düşük konsantrasyonlarda olması, altının bulunduğu zonda Ca ve Mg kaybını göstermektedir. Buna göre 6. m'den alınan KLT.1 numaralı örnekte % 0.4 MgO ve % 0.6 CaO değeri elde edilmiştir. Bu değerler 78. m'ye kadar her iki elementte de sabit kalmış ve 78. m'de artmıştır. Bu zondan alınan KLT 8 numaralı örnekteki MgO ve CaO değerleri sırayla % 13.9 ve % 20.7'dir. MgO ve CaO değerlerindeki bu artış, KLT 8 numaralı örneğin dolomit içermesinden kaynaklanmaktadır. Daha sonra belirgin bir azalma gösteren MgO ve CaO değerleri cevherleşme bölgesinden (105-108 m) alınan KLT.10 numaralı örnekte sırasıyla % 0.37 ve % 0.41'dir. Diyagrama dikkatli bakıldığında SiO<sub>2</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> değerleri ile MgO ve CaO değerleri arasında ters bir ilişki olduğu açıkça görülür. Bu ilişki MgO ve CaO değerlerinin azaldığı ve SiO<sub>2</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> değerlerinin arttığı cevherli zonda daha da belirgindir (Şekil 4). Diyagramda cevherleşme açısından en önemli elementler Au, Sb, As ve Hg'dir. İlk 78 m'ye kadar altın değerleri yaklaşık 5-60 ppb arasında olup bu değer 78.m'den alınan KLT.8 numaralı örnekte 634 ppb Au'a yükselmiştir. Daha sonra 108.m'ye kadar altın değerlerinde doğrusal bir artış görülmüştür. Cevherli zondan (105-108) alınan KLT.11 numaralı örnekteki altın konsantrasyonu ise 23500 ppb'yi bulmuştur. Bu zon boyunca As, Hg ve Sb'te genel bir artış gözlenmiştir. Özellikle Sb, 200 ppm'den 1000 ppm'e çıkmıştır. Sb, cevherli zonda doğrusal bir artma trendi göstermektedir. Yüzeiden ilk 78 m'ye kadar olan Sb değeri 0.5-5.8 ppm iken 78.m'den alınan KLT.8 numaralı örnekte bu değer 28 ppm olmuş ve giderek artarak cevherli zonda 105-108 m arasından alınan KLT.11 numaralı örnekte 1000 ppm Sb'e ulaşmıştır. Aynı şekilde As, 72.m'ye kadar 5-64 ppm arasında değerler gösterirken, 72.m'de 2600 ppm'e yükselmiş daha sonra 78.m'de 880 ppm'e düşmüş ve cevherli zona kadar doğrusal bir artış göstererek buradan alınan KLT.11 numaralı örnekte 17000 ppm As'e ulaşmıştır. Hg ise 78.m'ye kadar <1

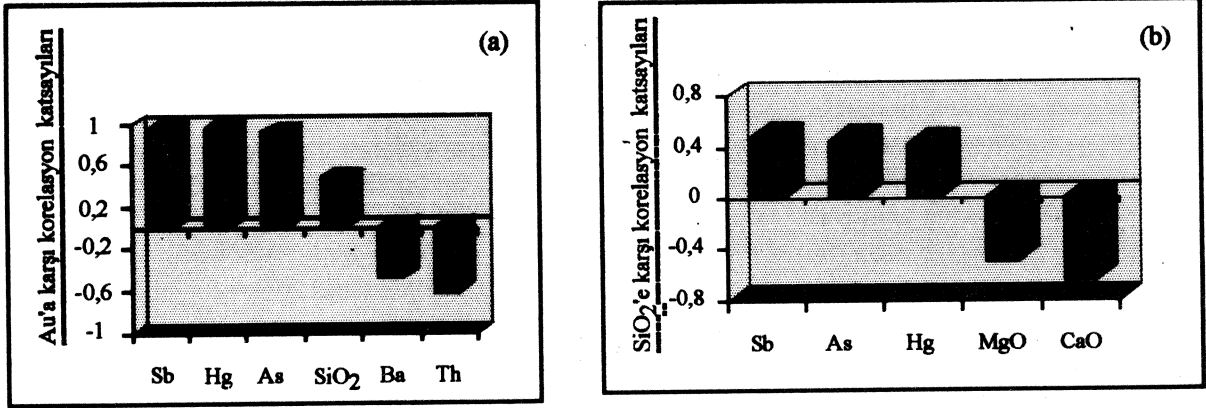
ppm iken 78.m'den alınan KLT.8 numaralı örnekte bu değer 10 ppm olmuş ve giderek artarak cevherli zonda 105-108 m arasından alınan KLT.11 numaralı örnekte 150 ppm Hg'ye ulaşmıştır. KS-3 sondajında düşeysel element dağılım profillerine bakıldığında Au, As, Sb ve Hg anomalilerinin benzer bir dağılım gösterdiği açıkça görülür. Bu da bize altına As, Sb ve Hg elementlerinin eşlik ettiğini göstermektedir. Çalışma alanında altının ve buna eşlik eden bazı elementlerin yanal dağılımını görmek amacıyla yüzeyde cevherli seviyenin eğim yönünde (GB-KD) andezitik tüften granit kadar uzanan bir profil (1-1') üzerinde belirli aralıklarla örnekler toplanmıştır (Şekil 2). Bu profil hattından alınan 9 adet örnek ana oksit, iz ve nadir toprak elementler için analiz edilmiş ve analiz değerlerini yansıtan yanal değişim grafiği çizilmiştir (Şekil 5).



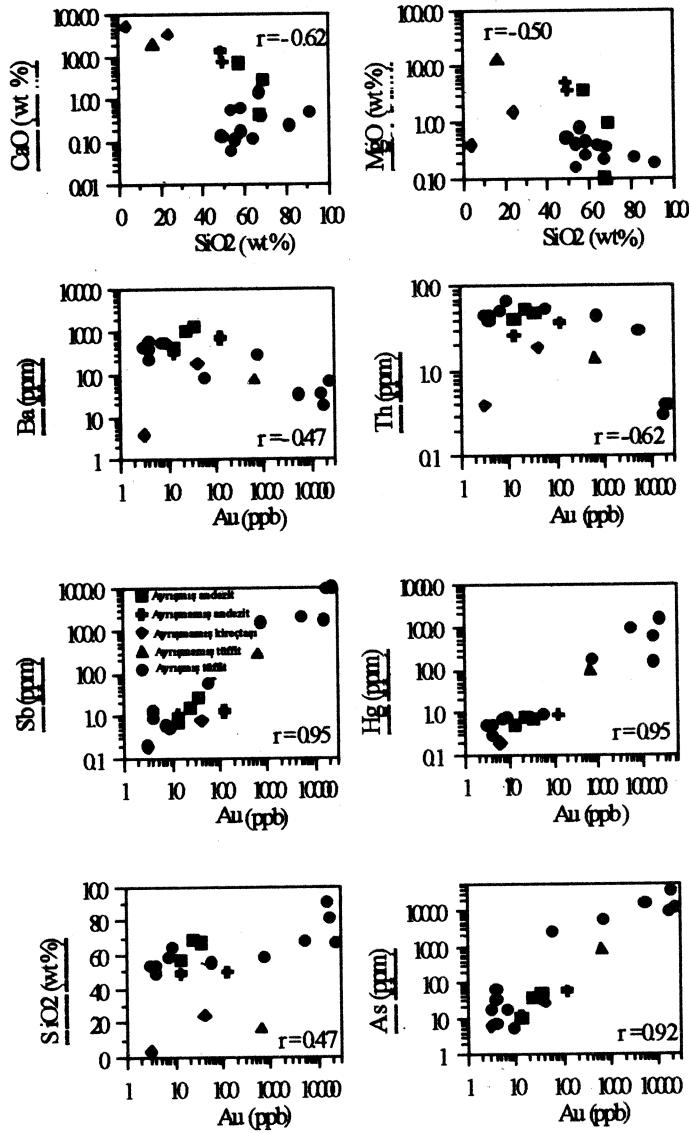
Şekil 5. Cevherleşme bölgesinden alınan örneklerden elde edilen Au, As, Sb, Hg elementlerine ait yanal dağılım grafiği.

Altının ve ona eşlik eden As, Sb ve Hg'nin yanal yöndeki değişimini görmek amacıyla atılan bu profilin GB ucundaki birimden iki örnek alınmıştır. Bu örneklerden PJ.2 numaralı örnek andezitik tüf, PJ.1 numaralı örnek ise andezitik tüfle arakatlı olarak bulunan kumlu kireçtaşıdır. PJ.1 numaralı örnekte Au değeri 41 ppb iken buna eşlik eden As, Sb ve Hg değerleri sırayla 29 ppm, 0.8 ppm ve <1 ppm dir. PJ.2 numaralı örnekte ise Au değeri 13 ppb, As değeri 10 ppm, Sb değeri 0.7 ppm, Hg değeri de <1 ppm çıkmıştır. Profil hattının KD'suna doğru tüffitler içinden PJ.3 ve PJ.4 nolu örnekler alınmıştır. PJ.3 örneğinde Au değeri 18200 ppb, As değeri 10000 ppm, Sb değeri 900 ppm, Hg değeri de 60 ppm ölçülmüştür. PJ.4 nolu örnekte ise 16800 ppb Au, 36000 ppm As, 170 ppm Sb ve 15 ppm Hg değeri elde edilmiştir. Profil hattının KD ucunda yeralan ve andezit ve andezitik tüflerden oluşan birimden 4 örnek alınmıştır. Bu örneklerden PJ.5 andezitik tüf, PJ.6, PJ.7, ve PJ.8 ise andezittir. PJ.5 numaralı örnekte Au değeri 35ppb, As değeri 47 ppm, Sb değeri 2.6 ppm, Hg değeri de <1 ppm dir. Andezitlerden alınan 3 örnekte PJ.6 nolu örnek 23 ppb Au içerirken PJ.7 nolu örnek 13 ppb Au, PJ.8 nolu örnek ise 123 ppb Au içermektedir. Bu örneklerin (PJ.6, PJ.7, ve PJ.8) As, Sb ve Hg değerleri de Au içerikleri ile paralellik göstermekte olup, PJ.6 nolu örnek 36 ppm As, 1.5 ppm Sb, <1 ppm Hg; PJ.7 nolu örnek 11 ppm As, 1.1 ppm Sb, <1 ppm Hg; PJ.8 nolu örnek 59 ppm As, 1.3 ppm Sb, <1 ppm Hg değeri verir. Sonuç olarak Au, As, Sb ve Hg elementlerinin yanal değişimini gösteren diyagram (Şekil 5) yorumlandığında altının dolayısıyla da As, Sb ve Hg'nin tüffitlerden alınan örneklerde yüksek değerler verdiği görülür. Buna dayanarak cevherleşmenin tüffitler içerisinde geliştiği ve altına orpiment ve realgarın eşlik ettiği söylenebilir. Sondaj (KS-3) örneklerinden elde edilen veriler ile profil (1-1') hattından alınan örneklere ait verilere uygulanan t testi sonucunda her iki veri grubunun da aynı popülasyona ait olduğu saptanmıştır. Buna dayanarak her iki gruba ait veriler istatistiksel olarak birlikte değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler sonucunda altının Sb ile 0.95, Hg ile 0.95, As ile 0.92, SiO<sub>2</sub> ile 0.47, Ba ile -0.47 ve Th ile -0.62 lik korelasyon değerlerinin (p ≤ 0.05) de anlamlı olduğu görülmüştür (Şekil 6a ve7). Aynı şekilde SiO<sub>2</sub>, As, Hg ve Sb ile pozitif bir korelasyon

gösterirken MgO, CaO ile negatif bir korelasyon göstermektedir. Buna göre SiO<sub>2</sub>'in Sb ile olan korelasyon değeri 0.48, As ile 0.45, Hg ile 0.42, MgO ile -0.50, CaO ile -0.62 dir (Şekil 6b ve 7).



Şekil 6 (a). Altının Sb, As, Hg, SiO<sub>2</sub>, Ba, Th ile ilişkisinin sayısal gösterimi  
(b). SiO<sub>2</sub>'in Sb, As, Hg, MgO, CaO ile ilişkisinin sayısal gösterimi.



Şekil 7. Bazı ana oksit ve iz elementler arasındaki ilişkilerin grafiksel gösterimi.

## TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Kaletaş altın cevherleşmesi KB-GD doğrultusundaki fay zonları boyunca gelişen yaklaşık 250-275 m uzunluğunda ve 3-10 m genişliğindeki silis mercikleri içerisinde yer alır. Bu cevherleşme özellikle Eosen yaşlı tortul seride yer alan tüffitler içerisinde gelişmiştir. KB-GD doğrultulu ana fay zonunda yer alan bu birim cevherleşme açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Tüffitlerin oldukça yumuşak, kırıklı ve çatlaklı olmasından dolayı birincil poroziteleri yüksektir. Yer yer 1-2 mm boyutundan 1-2 cm boyutuna kadar değişen yarı yuvarlak ve köşeli karbonatlı kayaç parçaları da içeren tüffitler bu parçaların asitli çözeltiler tarafından kolaylıkla eritilmesiyle ikincil porozite kazanmışlardır. Bu boşluklar daha sonraki evrede cevher mineralleri tarafından doldurulmuştur.

Cevherleşmeyle ilişkili bazı elementlerin (Au, As, Sb, Hg, SiO<sub>2</sub>) düşey ve yanal değişimleri incelenmiş ve birbiriyle ilişkileri ortaya konulmuştur. Düşey dağılım diyagramına bakıldığında SiO<sub>2</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> değerleri ile MgO ve CaO değerleri arasında ters bir ilişki olduğu, cevherli zonda SiO<sub>2</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> değerlerinin arttığı MgO ve CaO değerlerinin azaldığı gözlenmiştir. Bu durum cevherleşme bölgesindeki karbonat kaybını ve silis çökelinin nedenini açıklamaktadır. Ayrıca Au, As, Sb ve Hg anomalilerinin benzer bir dağılım göstermesi altına As, Sb ve Hg elementlerinin eşlik ettiğini göstermektedir. İstatistiksel değerlendirmeler sonucunda altının Sb ile 0.95, Hg ile 0.95, As ile 0.92, SiO<sub>2</sub> ile 0.47, Ba ile -0.47 ve Th ile -0.62 lik korelasyon değerlerinin ( $p \leq 0.05$ ) de anlamlı olduğu görülmüştür. Aynı şekilde SiO<sub>2</sub>, As, Hg ve Sb ile pozitif bir korelasyon gösterirken MgO, CaO ile negatif bir korelasyon göstermektedir. Buna göre SiO<sub>2</sub>'in Sb ile olan korelasyon değeri 0.48, As ile 0.45, Hg ile 0.42, MgO ile -0.50, CaO ile -0.62 dir. Buna göre silisleşmenin yoğun olduğu yerlerde Au değerlerinin yüksek, silisleşmenin düşük olduğu zonlarda ise, altın değerlerinin düşük olması ve ayrıca As, Sb ve Hg ile Au arasında benzer ilişkinin görülmesi, altının silisle beraber çökeldiğini, arda kalan boşlukların ve kırık zonlarının da daha geç evrede realgar ve orpiment ile doldurulduğunu göstermektedir.

## DEĞİNİLEN BELGELER

- Çoğulu, E., 1975, Gümüşhane ve Rize Bölgelerinde Petrolojik ve Jeokronometrik Araştırmalar, İ.T.Ü. Yayınları, 1034, İstanbul.
- Çubukçu, A., 1998, Kaletaş (Gümüşhane) Epitermal Altın Cevherleşmesinin Jeolojisi, Jeokimyası ve Mineralojisi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Güner, S., Yılmaz, Z., Dursun, A., 1997, Kaletaş (Gümüşhane) Altın Sahası Ara Raporu, M.T.A. Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Güven, İ.H., 1993, Doğu Pontidler'in 1/25000 ölçekli Kompilasyonu, M.T.A. Genel Müdürlüğü, Ankara, (Yayınlanmamış).
- Korkmaz, S. ve Baki, Z., 1984, Demirözü (Bayburt) Güneyinin Stratigrafisi, Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni, 5, 107-115.
- Şengör, A. M. C. ve Yılmaz, Y., 1981, Tethyan Evolution of Turkey: A Plate Tectonic Approach, Tectonophysics, 75, 181-241.
- Tüysüz, N., Özdoğan, K., Er, M., Yılmaz, Z. ve Ağan, A., 1994, Pontid Adayayı'nda Carlin Tipi Kaletaş (Gümüşhane) Altın Zuhuru, Türkiye Jeoloji Bülteni, 37, 41-46.



## BOZKIR (KONYA) GÜNEYBATI YÖRESİ KARBONİFER-TRİYAS İSTİFİNİN HİDROKARBON KAYNAK KAYA POTANSİYELİ

### SOURCE ROCK POTENTIAL OF THE CARBONIFEROUS-TRIASSIC UNITS OF SW BOZKIR (KONYA) AREA

Nazan YALÇIN, Cumhuriyet Üniversitesi, Jeoloji Müh. Böl., 58140, Sivas  
Orhan ÖZÇELİK, Cumhuriyet Üniversitesi, Jeoloji Müh. Böl., 58140, Sivas

#### ÖZET

Bozkır (Konya) güneybatısında Çelmeliler (Karbonifer), Karadağ (Permiyen) ve Bartlı formasyonu (Triyas)'nın hidrokarbon kaynak kaya potansiyellerinin belirlenmesi amacıyla, organik-inorganik jeokimyasal ve organik petrografik analizler yapılmıştır. Çelmeliler formasyonunda toplam organik karbon (TOC) miktarı ortalama % 0.20 olup, denizel organik madde egemendir. Vitrinit yansıma değerleri (Ro) ortalama % 2.36 olup, birim metajenez aşamasındadır ve ender olarak gaz üretebilir. Karadağ kireçtaşında ortalama TOC % 0.17 ve Ro % 1.20'dir. Buna göre birim katajenez aşamasında olup egemen organik madde denizeldir. Bartlı formasyonunda ise TOC ortalaması % 0.08 ve Ro ortalama % 0.46 olup diyajenetik zonu temsil ederken, tüm birimlerin verimsiz kaynak kaya potansiyeline sahip olabileceği görülmüştür.

#### ABSTRACT

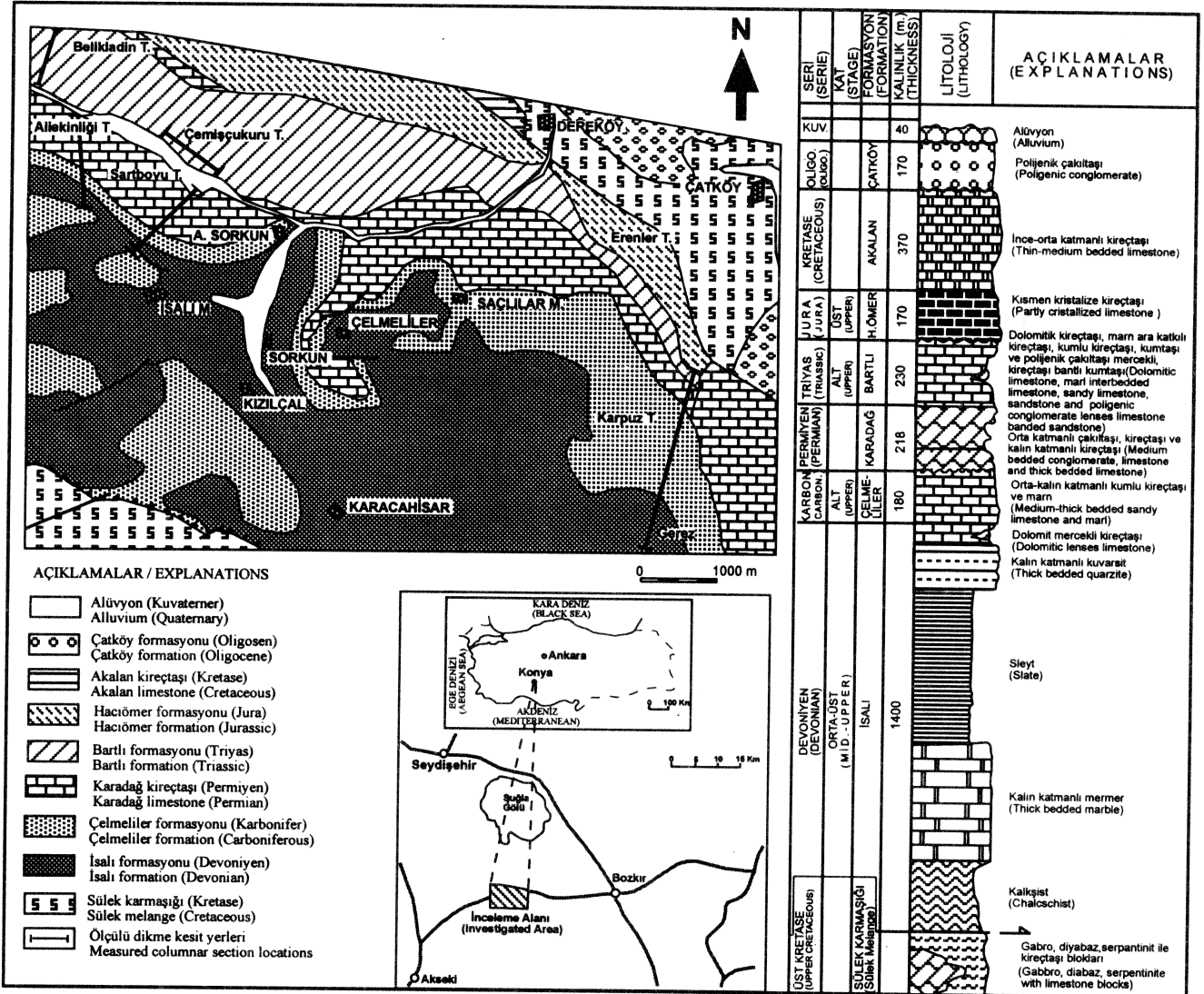
This study aims to determine the hydrocarbon source rock potential of the Çelmeliler (Carboniferous), Karadağ (Permian) and Bartlı formation (Triassic) in the SW of Bozkır (Konya) by organic-inorganic geochemical and organic petrographich analysis. Average total organic carbon (TOC) value is 0.20 % of Çelmeliler formation and formed by marine organic material. Average vitrinite reflection (Ro) is 2.36 %. The unit is on the metagenesis stage and may rarely product the gas. For the Karadağ limestone, TOC is 0.17 % and Ro 1.20 %. The values show the catagenesis stage and major organic materials in the units are marine origin. TOC is 0.08 % and Ro 0.46 % of Bartlı formation. This values show diagenesis zone and every unit is unproductive petroleum source rock.

#### GİRİŞ

İnceleme alanı Bozkır (Konya) güneybatısında yer alır (Şekil 1). Çalışılan alanın da içinde bulunduğu bölge temel jeolojik çalışmalar açısından fazlaca ele alınmasına rağmen petrol jeolojisine ilişkin incelemeler oldukça azdır (Özçelik,1984; İlleez vd., 1994; Sonel vd., 1995 gibi). Bu nedenle, alanın hidrokarbon kaynak kaya potansiyeli değerlendirilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla kil parajenezleri ile toplam organik karbon (TOC) ve Rock-Eval pirolizi (Geochem Ltd., Chester, U.K.), vitrinit yansıma değerlerinin ölçümü (Hacettepe Üniv.) gerçekleştirilmiştir.

## STRATİGRAFI

İnceleme alanında, Üst Kretase yaşlı Sülek karmaşığı ile Devoniyen-Kretase yaş aralığına sahip sedimanter birimler bulunmaktadır (Şekil 1). Sülek karmaşığı; değişik yaş ve litolojideki birimlerle temsil edilmekte ve genel olarak gabro, diyabaz, serpantin ve kireçtaşı bloklarından oluşmaktadır. Sülek karmaşığını tektonik olarak üzerleyen Orta Devoniyen-Kretase yaş aralığındaki birimler; sist, mermer, sleyt, kuvarsit, dolomitik kireçtaşı ile ifade edilen Orta-Üst Devoniyen yaşlı neritik bir ortamı karakterize eden İsalı formasyonu ile başlamaktadır. Bu birimi, kireçtaşı, kumlu kireçtaşı ve marnlardan oluşan, sığ bir platform üzerinde, zaman zaman korunmalı, zaman zaman da çalkantılı ortam koşullarında şekillenen Karbonifer yaşlı Çelmeliler formasyonu izler. Çakıltaşı ve kireçtaşlarıyla karakterize olan, denizel bir lagünü işaret eden Permiyen yaşlı Karadağ kireçtaşı; dolomitik kireçtaşı, marn ara katlı kireçtaşı, kumlu kireçtaşı, kumtaşı ve polijenik çakıltaşı mercekli, kireçtaşı bantlı kumtaşıdan oluşan, neritik bir ortamda ve zaman zaman da su dolaşımının oldukça kısıtlı olduğu, tuzluluğun arttığı bir ortam ile dalga hareketinin olmadığı koşullarda çökelmiş olan Triyas yaşlı Bartlı formasyonu; kısmen kristalize özellikler gösteren, alglerin bol olduğu resifal kireçtaşlarından oluşan Jura yaşlı Hacıömer formasyonu; yer yer masif kireçtaşlarından oluşmuş sığ deniz özellikleri gösteren Kretase yaşlı Akalan kireçtaşı sırasıyla gözlenmektedir. Bütün bu birimleri kil ve karbonat çimentolu polijenik çakıltaşılarından oluşan, sığ, yüksek enerjili ve tektonik olarak duraysız bir ortam koşullarında çökelmiş Oligosen yaşlı Çatköy formasyonu açısız uyumsuzlukla üstlenmektedir (Şekil 1).



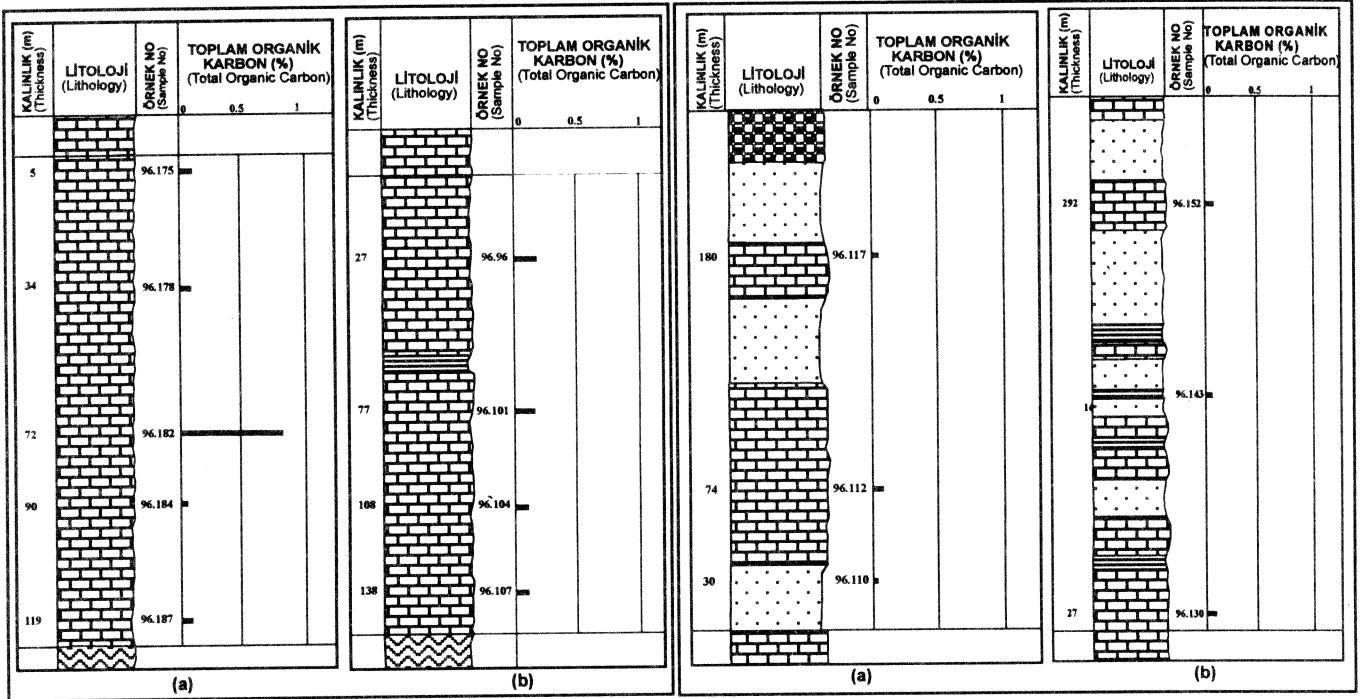
Şekil 1: İnceleme alanının yerbulduru ve jeoloji haritası, genelleştirilmiş dikme kesiti  
Figure 1: Location and geological map, generalized columnar section of investigated area

## HİDROKARBON KAYNAK KAYASI İNCELEMELERİ

İnceleme alanındaki birimlerin kaynak kaya özelliklerinin belirlenebilmesi için amaca uygun olan Çelmeliler, Karadağ ve Bartlı formasyonlarından alınan ölçülü dikme kesitlerden elde edilen örnekler üzerinde organik jeokimyasal ve organik petrografik analizler yapılmıştır. Bu analizlerle kayaçların toplam organik karbon (TOC), Rock-Eval pirolizi, vitrinit yansıması değerleri ile spor renk indeksi ölçüm çalışmaları yapılmıştır. Ayrıca kerojen slaytları hazırlanarak egemen organik madde türü hakkında bilgi edinilmiştir. İncelenen örneklerde kil miktarı fazla olanlarda egemen kil parajenezleri belirlenmiş, bu veriler olgunlaşma çalışmaları sırasında organik bulguların desteklenmesinde kullanılmıştır.

### ORGANİK MADDE MİKTARI

İnceleme alanındaki birimlerden kaynak kaya özelliği taşıyanlardan ölçülü dikme kesitler boyunca örnekler alınmış ve bunlar üzerinde organik madde miktarının belirlenmesi için TOC ölçümleri yapılmıştır. Çelmeliler formasyonunda 2 ölçülü dikme kesitten seçilen 9 örnekte (Şekil 2), Bartlı formasyonunda 2 ölçülü dikme kesitten seçilen 6 (Şekil 3) ve Karadağ kireçtaşında ise 3 ölçülü dikme kesitten seçilen 14 (Şekil 4) örnekte TOC değerleri belirlenmiştir. Bu değerler Çelmeliler formasyonunda % 0.09-0.81, Karadağ kireçtaşında % 0.03-1.17 ve Bartlı formasyonunda ise % 0.05-0.11 aralığında değişmektedir (Çizelge 1). Kaynak kaya sınıflamasına göre (Thomas, 1979) bu düşük TOC değerleri her üç formasyonun kaynak kaya potansiyelinin olmadığını ifade etmektedir.



Şekil 2: Çelmeliler formasyonu (Karbonifer) örnekleri TOC dağılımları (a: Aşağı Sorkun, b: Aliekinliği Tepe ölçülü dikme kesitleri)

Figure 2: TOC distributions of Çelmeliler formation (Carboniferous) samples (a: Aşağı Sorkun, b: Aliekinliği Tepe columnar sections)

Şekil 3: Bartlı formasyonu (Triyas) örnekleri TOC dağılımları (a: Belikladin Tepe, b: Çemişçukuru Tepe ölçülü dikme kesitleri)

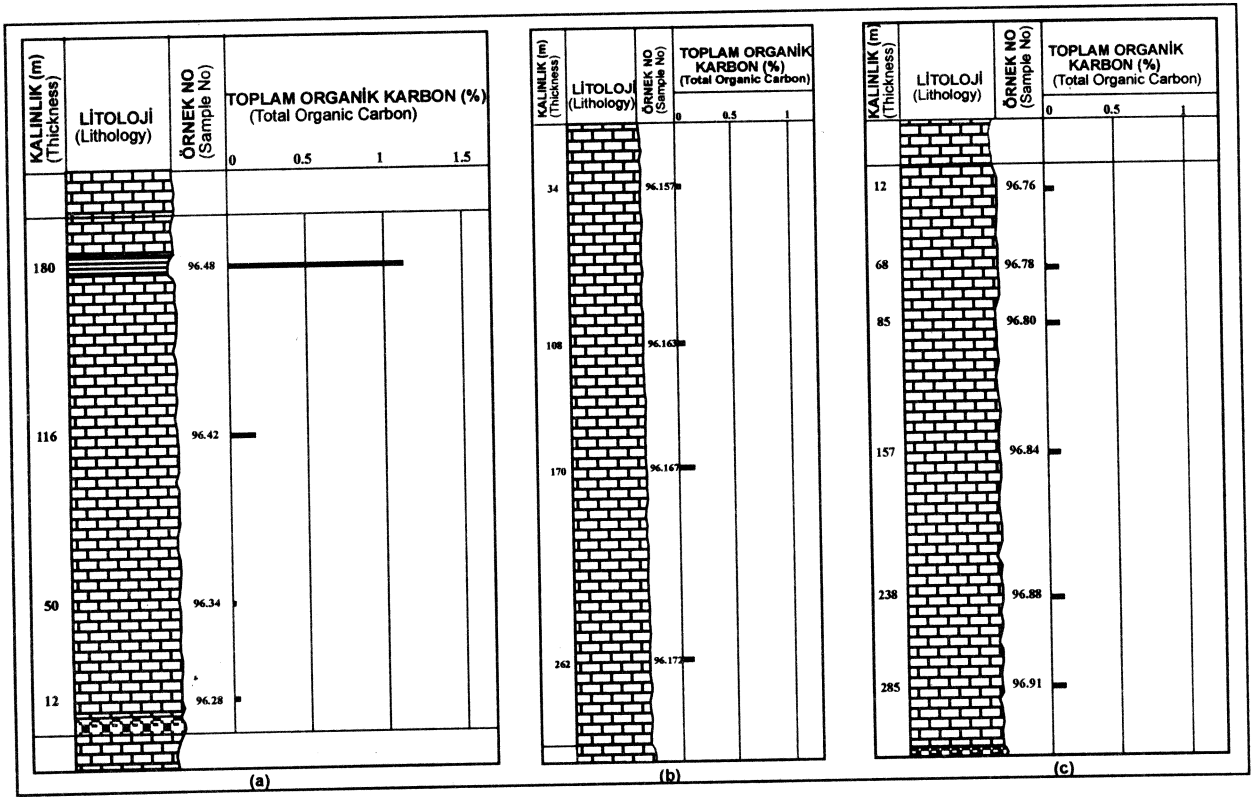
Figure 3: TOC distributions of Bartlı formation (Triassic) (a: Belikladin Tepe, b: Çemişçukuru Tepe columnar sections)

### ROCK-EVAL ANALİZLERİ

Çelmeliler formasyonu, Karadağ kireçtaşı ve Bartlı formasyonuna ait seçilmiş 5 örneğin Rock-Eval piroliz analizi ile elde edilen veriler Çizelge 2 ve Şekil 5' de belirtilmektedir. TOC, S2 ve S3 değerlerinden hidrojen indeksi (HI) ve oksijen indeksi (OI) bulunarak Van Krevelen diyagramına (Espitalié vd., 1977) uygulanmış ve her örneğin kerojen tipi saptanmıştır. Buna göre Çelmeliler formasyonu, Karadağ kireçtaşı ve Bartlı formasyonuna ait örnekler Tip III kerojenden oluşmaktadır (Şekil 6).

**Çizelge 1: İnceleme alanına ait örneklerin TOC, organik madde türü, spor renk indeksi ve Ro değerleri**  
**Table 1: TOC, organic matter type, spor color index and Ro values of investigated area samples**

Formasyon (Formation)	Örnek No (Sample No)	TOC (%)	ORGANİK MADDE TÜRÜ (%) Organic Matter Type (%)				Vitrinit Yansıması (Vitrinite Reflectance) (%)
			Amorf (Amorph)	Otsu (Herba.)	Odunsu (Woody)	Kömürsü (Coaly)	
B A R T L I	96.110	0.05	-	-	-	-	-
	96.111	-	80	5	15	-	-
	96.112	0.10	70	10	15	5	0.37
	96.114	-	50	40	10	-	0.48
	96.117	0.07	-	-	-	-	-
	96.130	0.09	85	5	10	-	-
	96.132	-	85	5	10	-	0.51
	96.135	-	75	15	10	-	-
	96.143	0.06	-	-	-	-	-
96.152	0.11	-	-	-	-	-	
K A R A D A Ğ	96.28	0.04	90	-	10	-	-
	96.29	-	85	-	15	-	-
	96.31	-	70	25	5	-	-
	96.32	-	70	5	20	-	1.52
	96.34	0.03	70	5	20	5	-
	96.38	-	75	5	15	5	-
	96.42	0.17	90	5	5	-	1.41
	96.43	-	80	5	15	-	1.30
	96.46	-	65	5	15	20	0.87
	96.47	-	75	-	25	-	-
	96.48	1.17	60	40	-	-	-
	96.50	-	80	5	15	-	0.81
	96.76	0.07	60	10	30	-	0.86
	96.77	-	65	10	15	10	0.67
	96.78	0.09	65	10	20	5	1.43
	96.80	0.09	65	10	20	5	0.92
	96.82	-	75	5	20	-	1.21
	96.83	-	75	10	5	5	1.21
	96.84	0.07	70	5	25	-	1.70
	96.85	-	80	5	15	-	-
	96.88	0.11	80	5	15	-	1.31
	96.90	-	90	-	10	-	-
	96.91	0.16	85	-	5	10	-
	96.92	-	95	5	-	-	-
	96.93	-	80	-	20	-	1.42
	96.157	0.08	80	10	10	-	-
	96.159	-	75	10	15	-	-
	96.163	0.09	-	-	-	-	-
	96.164	-	80	10	10	-	1.09
	96.165	-	85	-	10	5	1.29
96.167	0.13	75	5	20	-	1.37	
96.170	-	90	5	5	-	-	
96.172	0.11	-	-	-	-	-	
96.96	0.16	-	-	-	-	-	
Ç E L M E L İ L E R	96.101	0.14	80	5	5	10	2.62
	96.102	-	75	5	10	10	-
	96.103	-	70	-	10	20	-
	96.104	0.10	90	10	-	-	2.16
	96.107	0.11	80	5	15	-	-
	96.175	0.17	70	5	25	-	-
	96.177	-	90	5	5	-	-
	96.178	0.12	50	20	25	5	-
	96.182	0.81	65	20	5	10	2.32
	96.184	0.09	-	-	-	-	-
96.187	0.15	-	-	-	-	-	



Şekil 4: Karadağ kireçtaşı (Permian) örnekleri TOC dağılımları (a: Erenler Tepe, b: Aşağı Sorkun, c: Aliekinliği Tepe ölçülü dikme kesitleri)  
 Figure 4: TOC distributions of Karadağ limestone (Permian) samples (a: Erenler Tepe, b: Aşağı Sorkun, c: Aliekinliği Tepe ölçülü dikme kesitleri)

Kaynak kaya potansiyellerinin belirlenmesinde Rock-Eval pirolizinden elde edilen S1 ve S2 pikleri kullanılmaktadır. Tissot ve Welte (1984) tarafından yapılan nicel kaynak kaya sınıflamasına göre S1+S2 değerinin 2'den küçük olması nedeniyle incelenen her üç birimin de petrol kaynak kaya özelliği taşımadığı, ender olarak gaz üretebileceği belirlenmiştir.

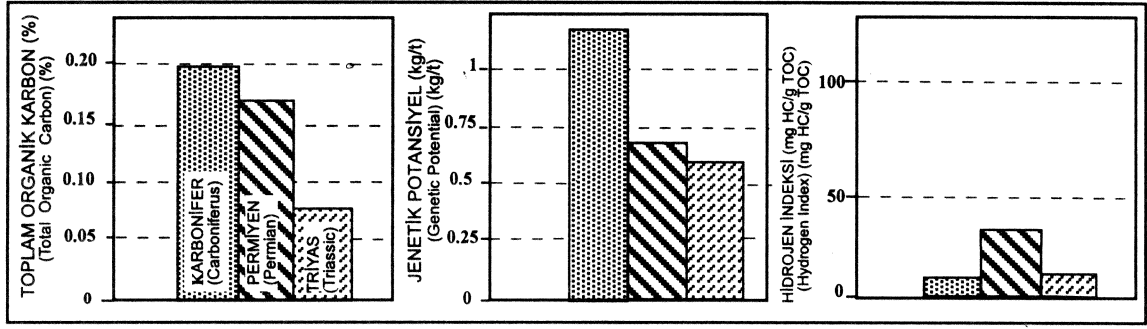
Birimlerin genetik potansiyel değerleri saptanmış (Çizelge 2) ve korelasyon yapılabilmesi için Şekil 7'de gösterilmiştir. Belirlenen HI ve TOC değerleri köken zenginliği diyagramına (Jackson vd., 1985) uygulanmıştır. Buradan Bartlı formasyonu ve Karadağ kireçtaşının çok zayıf köken veya verimsiz olduğu, Çelmeliler formasyonunun ise gaz kökenli kaynak kaya özelliği taşıyabileceği sonucuna varılmıştır (Şekil 8).

Çizelge 2: Rock-Eval piroliz sonuçları  
 Table 2: Results of Rock-Eval pyrolysis

Formasyon (Formation)	Örnek No (Sample No)	TOC (%)	S1	S2	S3	HI	OI	S1+S2	S1 /S1+S2	Tmax (°C)
Bartlı	96.112	0.10	0.05	0.01	0.26	10	260	0.06	0.83	327
Karadağ	96.78	0.09	0.04	0.01	0.22	11	244	0.05	0.80	432
	96.84	0.07	0.06	0.02	0.44	29	629	0.08	0.75	385
	96.91	0.16	0.07	0.00	0.17	-	106	0.07	1.00	-
Çelmeliler	96.182	0.81	0.08	0.07	0.18	8.6	22	0.15	0.53	382

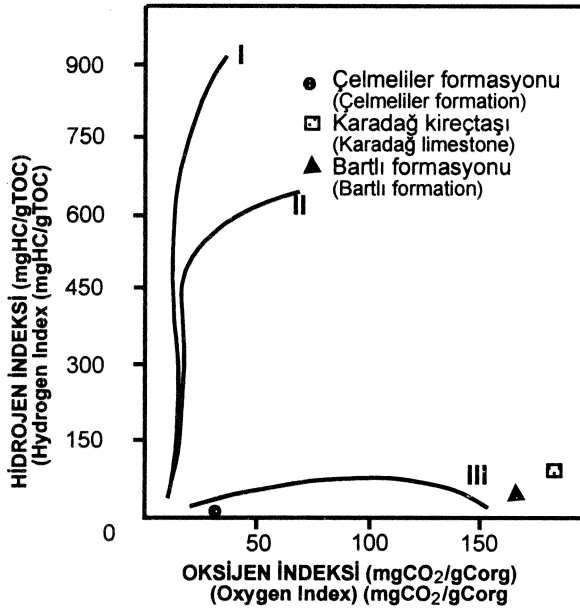
## ORGANİK MADDE TİPİ

Çelmeliler formasyonu, Karadağ kireçtaşı, Bartlı formasyonundaki organik madde miktarları Çizelge 1'de gösterilmektedir. Çelmeliler formasyonu örneklerinde ortalama % 70 amorf, % 5 otsu, % 15 odunsu, % 10 kömürsü, Karadağ kireçtaşında ortalama % 75 amorf, % 5 otsu, % 15 odunsu, % 5 kömürsü, Bartlı



**Şekil 5:** İncelenen birimlerin TOC ve Rock-Eval pirolizine göre petrol potansiyeli gelişim diyagramları  
**Figure 5:** Diagrams of evaluation of TOC and of petroleum potential by Rock-Eval pyrolysis, of the investigated units

formasyonunda ise ortalama % 70 amorf, % 15 otsu, % 10 odunsu ve %5 kömürsü organik madde saptanmıştır. Her üç birimde de egemen organik madde amorf olup, bunlar büyük oranda taşınmış durumdadırlar.



**Şekil 6:** Kaynak kaya tipinin hidrojen ve oksijen indekslerine göre sınıflaması (Espitalé vd, 1977)  
**Figure 6:** Classification of the source rock types by using hydrogen and oxygen indices (Espitalé vd, 1977)

FORMASYON (Formation)	KALINLIK (m) (Thickness)	ÖRNEK NO (Sample No)	JENETİK POTANSİYEL (Genetic Potential) (S1+S2) kg/ton			
			0	1	2	3
BARTLI	125-350	96.112				
KARADAĞ	200-325	96.78				
		96.84				
		96.91				
		96.91				
ÇELMELİLER	125-200	96.182				

**Şekil 7:** Rock-Eval piroliz değerlerine göre kaynak kaya potansiyeli  
**Figure 7:** Source rock potential according to Rock-Eval pyrolysis values

## ORGANİK MADDENİN OLGUNLUĞU

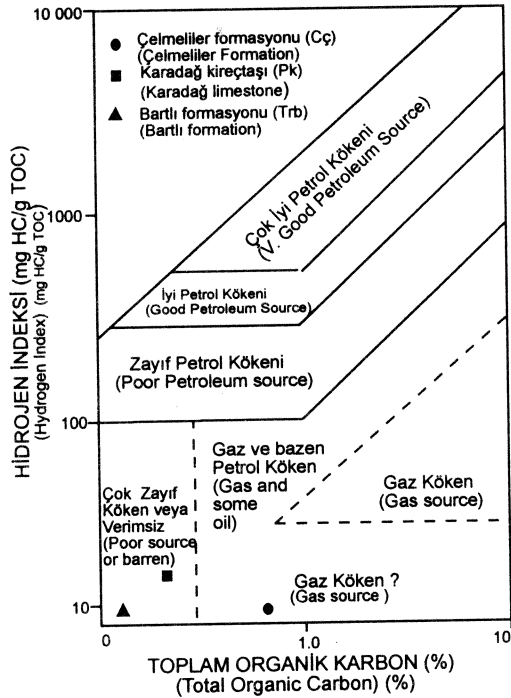
### 1) Vitrinit Yansıması Ölçümleri

Hidrokarbon kaynak kayasının olgunluk derecesinin belirlenebilmesi amacıyla organik madde yoğunlaştırılarak kalıplar hazırlanmış ve vitrinit yansıması ölçümleri gerçekleştirilmiştir. İncelenen örneklerden 23 adedinde vitrinit ölçümü yapılabilecek nitelikte vitrinit maserali belirlenmiş, elde edilen ölçüm sonuçları Tissot ve Welte (1984) sınıflamasına göre değerlendirilmiştir. Çelmeliler formasyonunda % 2.16-2.62, Karadağ kireçtaşında % 0.67-1.70 ve Bartlı formasyonunda ise % 0.37-0.51 arasında değişen yansıma değerleri elde edilmiştir (Çizelge 1). Ayrıca, bu değerler Tissot ve Welte (1984)'nin petrol ve gaz zonlarının yaklaşık sınırlarını gösteren diyagramına uyarlanmıştır (Şekil 9). Çelmeliler formasyonunun Tip III kerojenlerden oluşan organik madde içermesi ve ortalama % 2.36 vitrinit yansıma

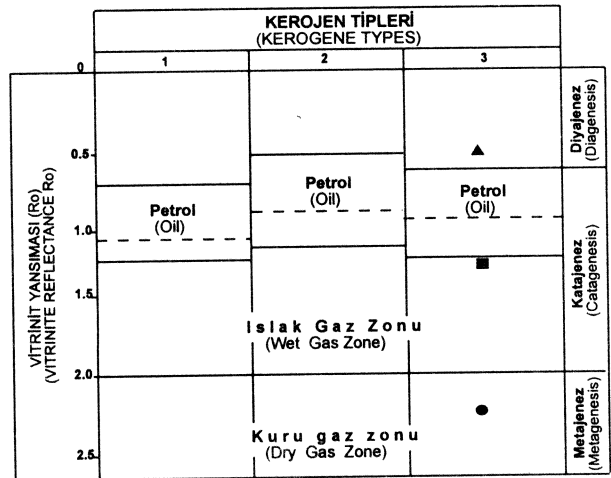
değeri, birimin metajenez aşamasında olup kuru gaz zonuna denk geldiğini göstermiştir. Karadağ kireçtaşı örnekleri de Tip III kerojenden oluşmaktadır ve ortalama vitrinit yansıma değeri % 1.20 dir. Birim katajenez aşamasında ve ıslak gaz zonundadır. Bartlı formasyonunda da diğer iki birimde olduğu gibi Tip III kerojen egemendir. Ölçülen ortalama vitrinit yansıma değeri % 0.46 dır. Bu değerler birimin diyajenez aşamasında ve petrol üretim sınırında bulunduğunu göstermiştir. Ancak diğer parametrelerle birlikte değerlendirildiğinde birimin hidrokarbon kaynak kayası olamayacağı ve verimsiz olduğu sonucuna varılmıştır.

## 2) Isısal Alterasyon

Kerojen tiplerinin belirlenebilmesi amacıyla hazırlanan preparatlarda gözlenen sporlarda renk tanımlaması ile (SCI) olgunlaşma hakkında bilgi edinilebilmektedir. Bu tanımlamalarda Staplin (1975) tarafından geliştirilen sınıflama kullanılmıştır. Çelmeliler formasyonuna ait örneklerdeki sporlar açık kahverengi ile siyah arasında değişen renklerde dir. Karadağ kireçtaşında da sarı-siyah arasında renkler gözlenmektedir ve bu renkler olgunlaşmamış zondan aşırı olgun zona doğru gidişi ifade etmektedir. Bartlı formasyonunda ise kirli sarı ile siyah arasında değişen spor renkleri belirlenmiş, bu renklerden yararlanılarak birimin olgunlaşma başlangıcı ile ileri olgun zonda olduğu saptanmıştır (Çizelge 1). Elde edilen bu veriler, alınan örneklerin yüzey örnekleri olması nedeni ile Rock-Eval pirolizi, vitrinit yansıma değerleri ve kil mineralleri ile denştirilerek kullanılmıştır.



Şekil 8: Hidrojen indeksi ve TOC değerlerine göre köken zenginliği (Jackson vd., 1985)  
Figure 8: The source richness according to hydrogen indices and TOC values (Jackson et al., 1985)



● Çelmeliler formasyonu (Cç) ■ Karadağ kireçtaşı (Pk) ▲ Bartlı formasyonu (Trb)  
(Çelmeliler formation) (Karadağ limestone) (Bartlı formation)

Şekil 9: Vitrinit yansıması ve kerojen tipi açısından petrol ve gaz zonlarının yaklaşık sınırları (Tissot ve Welte, 1984)  
Figure 9: Approximate boundaries of the oil and gas zones in term of vitrinite reflectance and kerogen type (Tissot and Welte, 1984)

## KİL MİNERALLERİ ANALİZİ

Olgunlaşma çalışmaları sırasında organik verileri desteklemek amacıyla kil mineralleri analizinden de faydalanılmıştır. Çelmeliler formasyonunda ortalama % 30 illit, % 5 smektit, %5 klorit, % 20 kaolinit, % 20 klorit-vermikülit belirlenmiştir. Formasyonun tabanından tavanına doğru gidildikçe illit ve illit-smektit miktarı azalırken; klorit, klorit-smektit ve klorit-vermikülit miktarı artmaktadır. İnceleme alanının kuzey ve orta bölümlerinde birime ait örneklerde daha yüksek miktarda illit minerali saptanmıştır. Karadağ kireçtaşı'nda ortalama % 35 illit, % 30 illit-smektit, % 5 klorit, % 30 smektit-klorit ve az miktarda da kaolinit, Bartlı formasyonu'nda ise ortalama %25 illit, % 15 illit-smektit, % 25 klorit, % 20 smektit-klorit ve % 15 kaolinit parajenezi oluşturan mineraller belirlenmiştir (Çizelge 3).

İllit kristalinite değerleri Çelmeliler formasyonunda ortalama 0.84 (5 örnek için 0.60-1.07), Karadağ kireçtaşında ortalama 0.94 (4 örnek için 0.60-1.40), Bartlı formasyonunda ise ortalama 0.95 (3 örnek için 0.87-1.07) ölçülmüş olup tümüyle organik verileri desteklemektedir. Bu birimler içerisinde Karadağ kireçtaşı illitlerinin Kübler indeksi daha geniş bir aralığa yayılmıştır (Bozkaya ve Yalçın, 1997).

**Çizelge 3:** İnceleme alanındaki formasyonlarının ortalama (%) kil mineralleri oranları

Table 3: Average clay mineral ratios (%) of investigated area formations

YAŞ	FORMASYON	Illit	Illit-Smektit	Klorit	Klorit-Smektit	Klorit-Vermikülit	Kaolinit	Paragonit	Paragonit-Muskovit	Pirofillit
TRİYAS	BARTLI	25	15	25	20	-	15	-	-	-
PERMİYEN	KARADAĞ	35	30	5	30	-	+	-	-	-
KARBONİFER	ÇELMELİLER	30	5	5	20	20	20	-	-	-

## SONUÇLAR

Karbonifer yaşlı Çelmeliler formasyonunda TOC değeri ortalama % 0.20 olup oldukça düşüktür. Egemen organik madde denizel olmakla birlikte bunlar çoğunlukla taşınmış olup Tip III kerojene işaret ederler. Vitrinit yansıması değerleri ortalama % 2.36'dır. Bu değer metajenez zonuna karşılık gelmektedir. Birim hidrokarbon kaynak kayası olamayacağı gibi ender olarak da gaz üretebilir.

Organik madde bakımından zayıf olan Permien yaşlı Karadağ kireçtaşında (ortalama % 0.17 TOC) genellikle taşınmış denizel organik maddeler bulunmakta ve Tip III kerojenden oluşmaktadır. Vitrinit yansıma değerlerine göre (ortalama % 1.20) birim katajenez zonundadır ve verimsiz hidrokarbon kaynak kayasıdır.

Bartlı formasyonu da zayıf organik madde içeriği gösterir (ortalama % 0.08). Egemen organik madde taşınmış denizel ve Tip III kerojenden oluşmaktadır. Elde edilen vitrinit yansıma değerleri ortalama % 0.46 olup birimin diyajenez aşamasında ve verimsiz hidrokarbon kaynak kayası olduğunu göstermektedir. Organik petrografik ve jeokimyasal parametreler her üç formasyonun da oksik ortam koşullarını yansıtan, düzgün paleotopografyaya sahip, su kolonunun derin olmadığı bir ortam ile taşınmış organik maddenin genellikle yüksek derecede alterasyona uğradığı ve ekonomik oluşum içermeyen şelf çökellerini karakterize ettiği söylenebilir.

## KAYNAKLAR

- Bozkaya, Ö., Yalçın, H., 1997. Diyajenez-metamorfizma geçişinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler. *Yerbilimleri (H.Ü. Bülteni)*, s.19, 17-40.
- Espitalié, J., Madec, M., ve Tissot, B., 1977. Source rock characterization, 9<sup>th</sup> offshore technology conference: 439-444.
- İllez, H.İ., Gül, M.A., Tekin, T., Kozlu, H., 1994. Orta Toroslar'ın kaynak kaya potansiyeli. *Türkiye 10. Petrol kongresi*, s. 261-267.
- Jackson, K.S, Hawkins, P.J., Bennett, A.J.R., 1985. Regional facies and geochemical evolution of Southern Denison Trough. *APEA Journ.* 20, 143-158.
- Özçelik, O., 1984. Toroslar'da Bozkır yöresinin jeolojisi, tektonik evrimi ve petrol olanakları: S.Ü. Fen Bilimleri Ens., Doktora Tezi, 219 s, (Yayımlanmamış).
- Sonel, N., Sarı, A., Doğan, A.O., Bozüyük, İ., 1995. Üzümlü (Beyşehir) civarının kaynak kaya fasiyesleri ve petrol oluşumunun organik jeokimyasal yöntemlerle incelenmesi. *Türkiye Jeol. Kurultayı Bülteni*, s. 10, 34-40.
- Staplin, F.L., 1975, Interpretation of thermal history from color of particulate organic matter. *Palinology*, 1, 9-18.
- Tissot, B., ve Welte, D.H., 1984. *Petroleum formation and occurrence: Revised Edition* Springer Verlag, New York, 669 p.
- Thomas, B.M., 1979. Geochemical analysis of hydrocarbon occurrences in northern, Perth Basin. *Australia: A.A.P.G. Bull.*, 63, 1092-1107.



## **AFŞİN-ELBİSTAN (K.MARAŞ) KÖMÜRLERİNİN İZ ELEMENT VE MİNERAL MADDE İÇERİKLERİNİN İNCELENMESİ**

### **INVESTIGATION OF TRACE ELEMENT AND MINERAL MATTER CONTENT OF AFŞİN-ELBİSTAN COALS (K.MARAŞ)**

**Emine CİCİOĞLU**, MTA Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri D., Ankara

**Ali İhsan KARAYİĞİT**, Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 0532, Ankara

#### **ÖZET**

Çalışma kapsamında Afşin-Elbistan havzasının Çöllolar sektöründe MTA Genel Müdürlüğü tarafından yapılmış olan EB170 nolu sondaja ait 14 adet kömür örneği incelenmiştir.

Kömürlerin ana ve iz element analiz sonuçlarına göre örneklerde Ca (%9.24) en bol bulunan ana elementtir. İz elementlerin ağırlıklı ortalama değerleri ile dünya kömürlerindeki ortalama değerler karşılaştırıldığında Cr (61 ppm), Mn (218 ppm), Mo (8.4 ppm), Ni (61 ppm), Sr (224 ppm), Th (3.2 ppm), U (11 ppm) ve Sm (7.7 ppm) elementlerinin yüksek değerlerde olduğu gözlenmiştir. X-ışınları çözümlenmelerine göre mineral madde kalsit, kuvars ve pirit bakımından zengin ve daha az miktarda aragonit, jips, feldispat ve kil minerallerinden oluşmaktadır. Element ve mineral madde içeriğine göre kömürlerin sinjenetik alkalin bir ortamda depolandığı söylenebilir.

#### **ABSTRACT**

In this study 14 the core samples of borehole EB170 drilled by General Directorate of Mineral Research and Exploration in Çöllolar-division of the Afşin-Elbistan basin were investigated.

According to the results of the major and trace element analysis, Ca (%9.60) is the most abundant element in the coal samples. The weighted average values of the Cr (61 ppm), Mn (218 ppm), Mo (8.4 ppm), Ni (61 ppm), Sr (224 ppm), Th (3.2 ppm), U (11 ppm) and Sm (7.7 ppm) elements show relative enrichment compared with the global ranges for these elements. The mineral matter which was determined by x-ray diffraction is composed of calcite, quartz, pyrite and very little amount of aragonite, feldspar, and clay minerals. According to the elemental composition and mineral matter content it is suggested that the coal was deposited in the alkaline syngenetic conditions.

## GİRİŞ

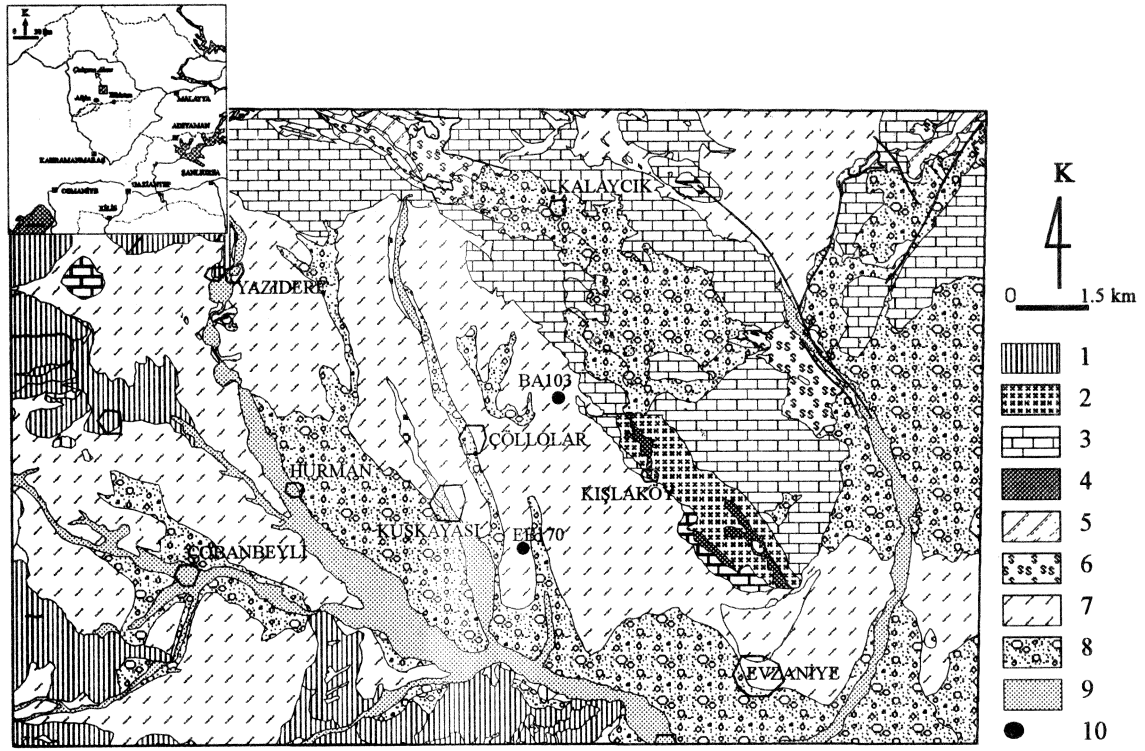
Ülkemizin en önemli enerji hammaddelerinden birisi kömürdür. Kömür rezervinin 8.03 milyar tonunu linyit, 1.4 milyar tonunu da taşkömürü oluşturmaktadır. Kahramanmaraş'ın kuzeyinde yer alan Afşin-Elbistan havzası yaklaşık 3.4 milyar tonluk rezervi ile Türkiye'nin en büyük linyit rezervine sahip havzasıdır. Buradan çıkarılan kömürün büyük bir bölümü Afşin-Elbistan termik santralinde yakıt olarak kullanılmaktadır. Ülkemizdeki kurulu elektrik enerjisi gücü 1980 yılında 5118,7 MW iken 1989 da 15.805,7 MW'a çıkmış olup bu rakamın 9.208,4 MW'ı termik santral kaynaklıdır. Afşin-Elbistan Termik santrali'nin termik santral içindeki payı ise % 14.77'dir. Afşin-Elbistan kömür havzası çeşitli sektörlerden oluşmakta ancak şu anda sadece Kışlaköy sektöründe açıkocak çalışmaları yapılmaktadır. Bu sektörün işletilebilir rezervi 578 milyon ton, yıllık üretim kapasitesi 20 milyon ton, besleyeceği santralin üreteceği güç 1360 MW'dir (Yörüköğlu, 1991).

Afşin-Elbistan havzasında ilk ve detaylı çalışmalar 1966-1969 yılları arasında MTA ve Alman Otto Gold firması tarafından yapılmıştır. Sahada toplam 645 adet sondaj yapılmış ve bu çalışmalar sonucunda yaklaşık 3.4 milyar ton görünür linyit rezervi saptanmıştır. Yaklaşık 120 km<sup>2</sup>'lik alanı kaplayan linyit havzası; Kışlaköy (A), Çöllolar (B) ve Afşin (C) adı verilen üç ana sektör ile D, E, F sektörlerinden oluşmaktadır. Bu çalışma kapsamında incelenen kömür örnekleri MTA tarafından 1976 yılında Çöllolar sektöründe kömür arama amacıyla yapılan EB170 nolu sondajın karot örnekleridir.

## JEOLOJİ

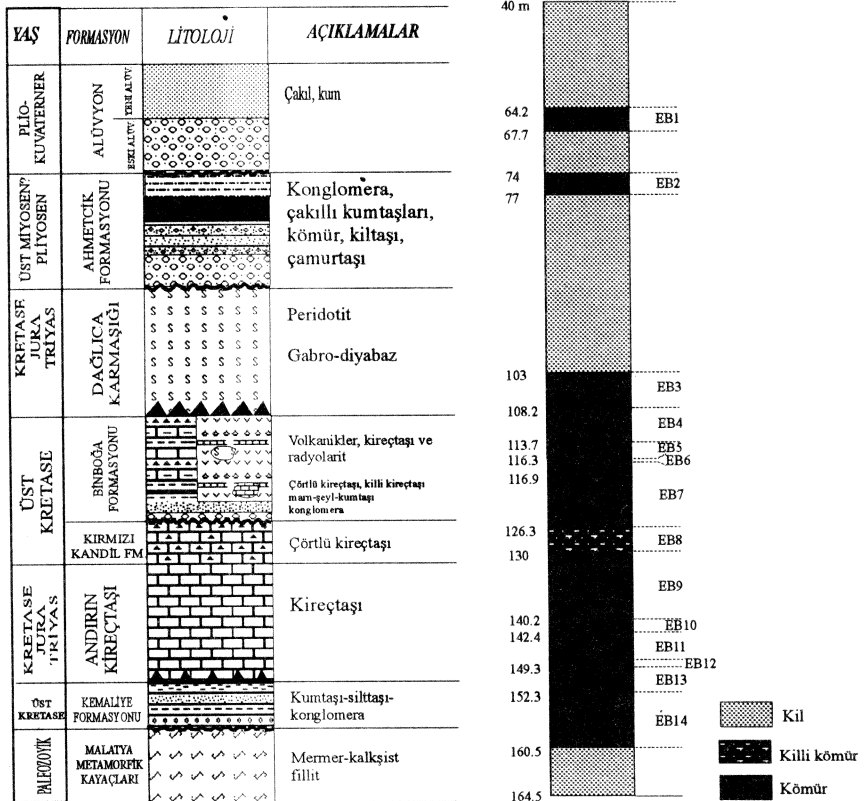
Doğu Torosların batı kesiminde Üst Maastrichtiyen öncesi yaşta olan ve farklı ortam özellikleri yansıtan doğu-batı uzanımlı tektonik birlikler yüzeylemektedir. Tektonik birlikler iki bölümde incelenebilir. Bunlar; Gürün Görelî Otoktonu ile otoktonun güneyinde yer alan allokton kaya türü topluluklarıdır.

İnceleme alanında allokton kaya türü toplulukları ve bunların üzerinde yer alan örtü kayaları yüzeylemektedir (Şekil 1,2). Sahada yüzeyleyen en yaşlı birim Mermer, yeniden kristalleşmiş kireçtaşı, kalkıştı ve fillitten oluşan Malatya Metamorfik kayalarındır (Periçek ve Kozlu, 1984). Olistostromal nitelikte epiklastik kırıntılı hamur içinde çeşitli türde ve yaştaki blokları kapsayan Üst Kretase yaşlı Kemaliye Formasyonu uyumsuz olarak metamorfik kayaların üzerine gelir. Mesozoyik yaşlı resifal kireçtaşlarından oluşan allokton konumlu Andırın Kireçtaşı birimi inceleme alanında kuzey ve kuzeydoğuda yüzeylemektedir (Yılmaz ve diğ., 1997). Andırın Kireçtaşı biriminin üzerine uyumlu olarak gelen Kırmızı Kandil Formasyonu Üst Kretase yaşlı olup çörtlü kireçtaşından oluşmaktadır (Periçek ve Kozlu, 1984). Üst Kretase yaşlı türbidik kireçtaşları ve bunların yanında kumtaşı, kıltaşı, şeyl ve çörtlü kireçtaşı arakatlılarıyla temsil edilen Binboğa formasyonu Andırın Kireçtaşı ile yanal ve dikey geçişlidir. Birim, Dağlıca Karışığı ile tektonik ilişkili olmakla beraber, Kemaliye Formasyonu tarafından yerel bir uyumsuzlukla altlanır. Ofiyolit ve sedimanter kökenli blokları kapsayan Üst Kretase yaşlı kaya türü topluluğu Dağlıca Karışığı olarak tanımlanmıştır. Birim; Andırın Kireçtaşı, Binboğa Formasyonu, ve olistostromal nitelikte olan Kemaliye Formasyonu ile tektonik ilişkilidir. İnceleme alanının kuzeyinde yüzeyleyen karışık bu birimlerin altında veya üzerinde olabilir. İnceleme alanında oldukça geniş alanda yayılım gösteren Miyosen-Kuvaterner yaş aralığında çökelmiş birimler Ahmetçik Formasyonu ve Alüvyon olarak ayırtlanmıştır. Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı akarsu-göl oluşukları ve yer yer andezitik-piroklastik kayalardan oluşan birim Ahmetçik Formasyonu olarak



Şekil 1: Afşin-Elbistan kömür havzasının jeoloji haritası (Yılmaz ve diğ., 1997)

(1: Malatya metamorfik kayalar; 2: Kemaliye formasyonu; 3: Andırın kireçtaşı; 4: Kırmızı Kandil formasyonu; 5: Binboğa formasyonu; 6: Dağlıca karışığı; 7: Ahmetçik formasyonu; 8: eski alüvyon; 9: yeni alüvyon; 10: sondaj yeri



Şekil 2: Afşin-Elbistan havzasının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Perinçek ve Kozlu, 1984) ve karot boyunca örneklerin dağılımı.

adlandırılmıştır. Akarsu-göl oluşukları konglomera veya çakıllı kilitaşlarıyla başlamakta üst seviyelere doğru kilitaş ve çamurtaşına geçilmektedir. Bunlar bol killi ve gastrapod kavkılı kaba taneli kumtaş ve kireçtaş ve kömür damarlarından oluşmaktadır (Yılmaz ve diğ., 1997). Kömür Pliyosen-Pleyistosen yaşlı olup gidya adı verilen bol gastrapod fosilleri, bitki artıkları ve humus oluşukları ile karakterize edilen birim ile ardalanmalı olarak bulunur. Kömür damarının kalınlığı 2-50 m. arasında değişmektedir. Pliyo-Kuvaterner-Kuvaterner yaşlı çökeller ise akarsu çökelleriyle temsil edilmekte olup alüvyon terasları veya kanal çökelleri şeklindedirler (Perinçek ve Kozlu, 1984).

## **ÖRNEKLEME VE ANALİZ YÖNTEMLERİ**

Çalışma kapsamında incelenen kömür örnekleri EB170 nolu sondaja ait karot örnekleridir. Toplam karot uzunluğu 144.5 m'dir. Karot boyunca toplam 14 adet kömür örnekleme yapılmıştır. Örnek yerleri Şekil 2'de verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi karotun üst kısmında kömür kalın ara kesmeler arasında ince bantlar şeklindedir. Alt seviyelerde ise kömürlü seviyeler kalınlaşmaktadır.

Kömür örneklerinin kimyasal analizleri Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kömür Laboratuvarı'nda, petrografik incelemeler ve X-ışınları difraksiyon çözümlenmeleri Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Maden Analizleri ve Teknoloji Dairesi laboratuvarlarında, ana ve iz element analizleri ise Sheffield Üniversitesi, Yerbilimleri Bölümü, Analitik Bilimler Merkezinde yapılmıştır.

## **KİMYASAL ANALİZLER**

Kömür örneklerinin tümünde nem, kül, uçucu madde, toplam kükürt ve ısı değeri analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda ortalama nem % 10.30 olarak bulunmuştur. Kömürlerin kül içeriği ortalama % 34.02, uçucu madde içeriği ortalama % 39.97 ve toplam kükürt içeriği ortalama % 4.22 olarak tespit edilmiştir. Isıl değeri analizleri 1630-3632 Kcal/kg arasında değişmektedir. Ortalama değer ise 2963 Kcal/kg'dır. Analiz sonuçlarından görüldüğü üzere incelenen kömürlerin kül içeriklerinin yüksek olduğu görülmüştür. Kül içeriğinin yüksek değerlerde olması kömür içerisinde fosil kavkılarının bolluğundan ve ayrıca kömürlü seviyelerin arasında oldukça ince ara kesmelerin bulunmasından ileri gelmektedir. Gerek kömürlerin kül içeriklerinin yüksek olmasından gerekse kömürleşme derecelerinin düşük olmasından dolayı ısı değerleride düşüktür.

## **MASERAL VE MİNERAL MADDE**

Kömür örnekleri üzerinde yapılan petrografik çalışmalar sonucunda kömürün maseral bileşiminin önemli bir kısmını hüminit grubunun (% 40) oluşturduğu, liptinit (% 21.93) ve inertinit (% 0.47) grubu maserallerin daha az oranlarda bulunduğu belirlenmiştir. Hüminit grubunun en bol bulunan maserali atrinittir. Bunun yanısıra tekstinit, ülminit ve korpohüminit maseralleride gözlenmektedir. Liptodetrinit ve sporinit maseralleri örneklerde liptinit grubunu temsil eden maserallerdir. İntertinit grubu maserallerden ise çok az olarak sklerotinit ve füsinit maseralleri gözlenmektedir.

İncelenen örneklerde yaygın olarak saçınımlı ve küresel şekilde piritlere rastlanmaktadır. Ayrıca petrografik çalışmalar sırasında kömür örneklerinin % hacim olarak önemli bir kısmının karbonat ve fosil kavkılarında olduğu gözlenmiştir. Kömür örnekleri üzerinde yapılan X-ışınları difraksiyon çözümlenmelerine göre kalsit en bol bulunan mineraldir. Kalsitin yanısıra kuvars,

pirit, aragonit, feldispat, jips ve kil mineralleride tespit edilmiştir. Kömür damarının tavan kısmındaki örneklerde kalsit, kuvars, pirit, aragonit ve jips mineralleri gözlenirken damarın tabanına doğru gidildikçe örneklerde feldispat ve kil mineralleri saptanmıştır.

## ANA VE İZ ELEMENTLER

Çizelge 1’de görüldüğü gibi 14 adet örnekte esas ve iz element analizleri yapılmıştır. Bu analiz sonuçlarına göre esas elementlerden Ca en bol bulunan elementtir. Si, S, Al, Mg, K, P elementleri ise daha az miktarlarda tespit edilmiştir.

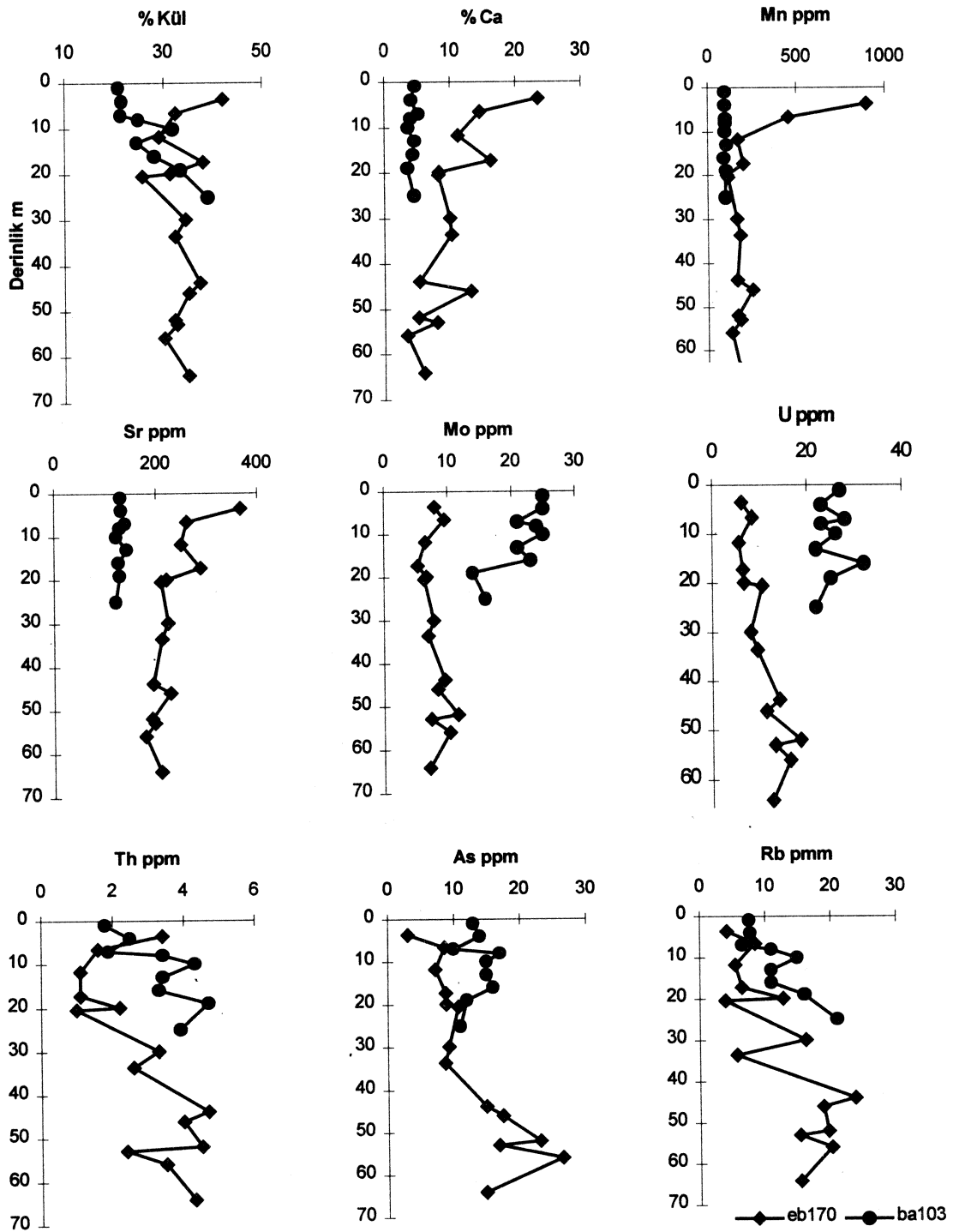
Kömürlerdeki iz elementlerin ağırlıklı ortalama değerleri ile dünya kömürlerindeki ortalama değerler karşılaştırıldığında As, Ba, Br, Cu, Ga, Ge, Hf, Nb, Pb, Rb, Sb, Se, Sn, Tl, V, Y, Zn, Zr, La ve Ce elementlerinin sınır değerler içerisinde kaldığı; Cr, Mn, Mo, Ni, Sr, Th, U ve Sm elementlerinin ise dünya ortalamalarının üzerinde olduğu gözlenmiştir. Havza kömürlerinin kül içerikleri ve element dağılımları aynı havzada daha önce Karayığit ve Gayer (basımda) tarafından incelenmiş olan BA103 nolu sondajın örnekleriyle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Bu çalışma kapsamında incelenen EB170 sondajına ait kömür örneklerinde Ca, Sr ve Mn değerlerinin damarın tavan kısmında belirgin bir zenginleşme gösterdiği saptanmıştır. U ve Mo elementleri ise BA103 sondajının örneklerinde daha yüksek değerlerde olduğu gözlenmiştir. Mg, K, Al, P, Br, Zn, V, Ni, Co, Cu, Fe, Mn, Ti, Cr, Ga, Ge, As, Se, Rb, Hf, Nb, Mo, Y, Zr, Sm, La, U, Pb, Th, Ba elementlerinin derinlikle birlikte artış gösterdiği belirlenmiştir. İncelenen kömürlerdeki elementlerin havzaya gelen detritik maddeyle ilişkisini görebilmek için kömürlerin kül içeriğinin derinlikle bağlı değişimi ve iz elementlerle korelasyonu yapılmıştır. Her iki sondajın kül içerikleri derinlikle birlikte artış göstermektedir (Şekil 3). Ancak EB170 sondajına ait örneklerdeki iz element değerleri ile kül içerikleri arasında belirgin bir korelasyon saptanamamıştır. Karayığit and Gayer (basımda) tarafından yapılan çalışmada iz element içerikleri ile kül içeriğinin derinlikle birlikte değişimi incelenmiş, sonuçta Sc, Be, Zn, Ga, Rb, Zr, Cs, Ba, Y, Ta, W, Pb, Bi, Th, ve REEs elementlerinin derinliğin artmasıyla birlikte kül içeriği ile iyi bir korelasyon gösterdikleri ve bu elementlerin dağılımının turba depolanma ortamına detritik madde getirişimiyle ilişkili olabileceği ileri sürülmüştür. İncelenen kömürlerde yüksek değerlerde bulunan Cr, Mo, Ni, Th, U ve bunlara ek olarak hava kirletici elementlerden As, Pb, Se elementleri ile kömürlerde daha çok kil mineralleri ve sülfid mineralleriyle birlikte bulunan Al, Mg, Si, K, Fe, Rb arasında yüksek pozitif korelasyon saptanmıştır. İncelenen kömürlerdeki elementler arasındaki bu ilişki kömürlerdeki Cr, Mo, Ni, Th, U, Pb ve Se’un kil mineralleri veya sülfid mineralleriyle birlikte bulunabileceklerini göstermektedir. Ca, Sr ve Mn elementleri ise fosil kavkuları ve karbonat minerallerinin bol olduğu örneklerde daha yüksek değerlerde gözlenmektedir.

Faure (1992), oldukça alkalın ortamlarda U, Mo, W gibi elementlerin anormal bir zenginleşme gösterebilecekleri ve bu elementlerin oksitler şeklinde; kil mineralleri, ağır mineraller veya sülfidlerle birlikte bulunabileceklerini ileri sürmüştür. Finkelman (1981) ve Swaine (1990) tarafından Cr, Ni, Pb ve Se’un çoğunlukla sülfidlerle ve killerle birlikte bulunabileceği belirtilmiştir.

İncelenen kömürlerde daha öncede belirtildiği gibi fosil kavkısı ve kalsit minerali oldukça bol olarak bulunmaktadır. Buna bağlı olarak kömürlerde Ca içeriği yüksek değerlerde çıkmaktadır. Kömürlerdeki Ca değerinin yüksek olması, aragonitten oluşan fosil kavkılarının bozunmadan korunmuş olması, bunların yanısıra framboidal pirit ve kuvars minerallerinin varlığı, U ve Mo gibi elementlerin yüksek değerlerde bulunması (Querol et al., 1996) Afşin-Elbistan kömürlerinin alkalen ortamda depolandığını işaret etmektedir.

Çizelge 1: Afşin-Elbistan havzasında yapılmış olan EB-170 nolu sondajdan alınan linyit örneklerinin element ve konsantrasyonları (aksi belirtilmedikçe ppm) ve Dünya'daki kömürlerin ortalamalarının sınır değerleri (Swaine, 1990)

Elementler	Örnekler																	Sondaj ortalaması	Dünya Sınır Değ.
	EB-1	EB-2	EB-3	EB-4	EB-5	EB-6	EB-7	EB-8	EB-9	EB-10	EB-11	EB-12	EB-13	EB-14					
Mg	0,40	0,49	0,48	0,39	0,76	0,68	0,67	0,68	0,84	0,53	0,78	0,77	0,71	0,74	0,66	-	-		
Al	0,13	0,70	0,64	0,84	1,63	0,80	1,44	0,98	3,29	1,99	2,38	1,86	2,51	2,63	1,81	-	-		
Si	0,56	2,03	1,48	2,22	4,15	1,74	4,21	3,76	8,12	5,50	6,30	4,89	6,01	6,09	4,71	-	-		
P	bdl	bdl	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,02	-	-		
K	0,02	0,08	0,09	0,09	0,18	0,06	0,23	0,10	0,34	0,23	0,27	0,22	0,33	0,22	0,21	-	-		
Ca	23,53	14,57	11,29	16,25	8,37	8,27	10,00	10,26	5,34	13,16	5,19	8,01	3,41	6,01	9,24	-	-		
Ti	0,02	0,05	0,05	0,07	0,11	0,05	0,11	0,06	0,19	0,14	0,15	0,10	0,16	0,15	0,12	-	-		
Fe	0,66	1,24	1,33	1,96	1,80	2,14	1,68	1,53	2,90	2,79	2,24	2,44	3,56	2,65	2,20	-	-		
As	3,1	8,6	7,2	8,8	8,9	10,7	9,3	8,7	14,9	17,4	23	16,8	26,4	14,8	14	1,5-15	-		
Ba	131	112	87	110	94	67	102	84	134	143	135	114	153	173	122	70-300	-		
Br	7,4	12,8	17	11,9	12,7	12,4	12,4	13,3	11,7	11,4	13,8	11,3	12,1	8,4	12	0,5-90	-		
Cr	5,5	32	28	33	53	29	56	69	96	66	75	57	82	64	61	10-30	-		
Cu	3	4,4	5,9	10,4	10	6	10	6,7	21	13,4	17	15,2	16,1	14,7	13	15-35	-		
Ga	0,9	1,7	1,3	1,9	3,3	1,6	4,2	1,5	7,1	5,3	5,6	3,8	5,4	5,6	4,1	4-20	-		
Ge	bdl	0,3	0,5	0,7	0,5	0,7	0,5	0,4	0,8	0,6	1	0,6	0,5	0,3	0,6	2-10	-		
Hf	bdl	bdl	2	1,3	2,2	1	1,8	2,7	2,5	3,8	3,1	1,5	3	1,5	2,1	0,4-5	-		
Mn	898	456	172	201	110	114	164	183	164	251	168	184	133	179	218	30-90	-		
Mo	8,0	9,5	6,5	5,3	6,7	6,4	7,8	7,0	9,5	8,4	11,6	7,4	10,3	7,1	8,4	1-2	-		
Nb	3,8	2,7	2,9	3	4,6	2,4	4,9	3,6	6,4	6,2	6,1	4,1	6,8	5,5	5,0	1-20	-		
Ni	17,2	25,4	35,2	46,7	51,9	45,1	48,1	39,6	112,8	87,2	85,9	69,3	57,8	53,2	61	15-20	-		
Pb	5,1	8,2	6,7	15,1	7,7	4,1	9	8,1	14,1	17,3	13,3	11	14,3	17,8	12	20-30	-		
Rb	4,2	8,5	5,5	6,5	12,8	4	16,3	5,7	23,8	18,9	19,6	15,3	20,1	15,4	15	2-50	-		
Sb	0,7	bdl	0,3	0,7	0,3	0,6	0,5	<0,2	0,4	0,6	0,7	0,4	bdl	0,5	0,4	0,5-2,5	-		
Se	0,6	0,9	0,6	0,8	1,2	1	1,3	0,9	1,7	1,3	1,8	1,4	2,3	1,9	1,4	0,2-1,6	-		
Sn	bdl	bdl	bdl	0,3	0,2	bdl	0,4	0,1	0,4	0,3	0,3	0,2	0,3	0,5	0,3	1-10	-		
Sr	367	261	250	288	221	211	224	212	195	228	192	198	180	210	224	50-200	-		
Th	3,4	1,6	1,1	1,1	2,2	1	3,3	2,6	4,7	4	4,5	2,4	3,5	4,3	3,2	1-3	-		
Tl	bdl	0,4	0,6	bdl	bdl	bdl	0,7	0,6	bdl	bdl	0,5	0,6	0,5	0,6	0,4	0,2-1	-		
U	6,3	8,5	5,7	6,5	6,7	10,6	8,1	9,5	14,2	11,4	18,6	13,3	16,4	12,7	11	1-3	-		
V	20,2	29	86,5	53,7	66,6	64,5	70,2	49,8	127,5	78,8	133,5	77,4	105,9	75,3	85	2-100	-		
Y	3,2	3,1	2,8	4	4,4	2,9	6,2	4,3	9,8	10,7	9,7	5,2	8,9	8,7	6,7	2-50	-		
Zn	7	11,2	15,4	23	20,2	10,1	27,5	17,2	50,2	33,8	33,2	22,5	49,7	27	30	10-60	-		
Zr	5,8	13,4	14,3	18,9	33,3	12,9	37,2	17,4	57,1	50,6	53,9	28,6	59	48,4	38	20-40	-		
La	bdl	4,2	bdl	5,3	5,6	bdl	8,7	2,9	14	14	12	6,4	12	10	8,3	1-40	-		
Ce	5,3	bdl	9,9	8,2	11,8	3,6	17	8,9	21,6	26,5	18,4	15	23,5	19,6	16	2-70	-		
Sm	bdl	6,9	3,6	0,5	9,3	2,4	4,3	0,2	11,8	15,6	13,5	7,2	11,4	13,5	7,7	0,5-6	-		



Şekil 3: EB-170 ve BA-103 sondajlarına ait element ve kül içeriklerinin derinliğe bağlı değişimi

## SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında incelenen Afşin-Elbistan kömürlerinin yüksek miktarda kül, uçucu madde ve toplam kükürt içerdikleri, ısı değerlerinin ise düşük olduğu saptanmıştır. Kömürlerin

maseral bileşiminin önemli bir kısmını hüminit grubu oluşturmaktadır. Liptinit ve inertinit grubu maseraller ise daha az oranlardadır. Kalsit, pirit, kuvars ve aragonit kömürlerde yaygın olarak gözlenen minerallerdir. Bunların yanısıra örneklerde bol miktarda fosil kavkalarına rastlanmaktadır.

Kömürlerde major elementlerden kalsiyum en bol bulunan elementtir. İncelenen kömürlerin iz elementlerin ağırlıklı ortalama değerleri ile dünya kömürlerine ait değerler karşılaştırıldığında Afşin-Elbistan kömürlerinin Cr, Mn, Mo, Ni, Sr, Th ve U elementlerince zenginleştiği belirlenmiştir. Kömürlerde zenginleşme gösteren Ca'un fosil kavkalarından ileri geldiği, diğer iz elementlerin ise kömürlerdeki kil minerallerine bağlı olarak bulunduğu, kömürlerin maseral bileşimi, mineral madde ve iz element değerlerine göre depolanma ortamında sinjenetik alkaleen koşulların hüküm sürdüğü söylenebilir.

## KAYNAKLAR

- Faure, G., 1992. Principles and Applications of Inorganic Geochemistry. McMillan International, Newyork, 626 pp.
- Finkelman, R.B., 1981. Modes of occurrence of trace elements in coal, US Geological Survey Open File Report, 81-99.
- Karayiğit, A.İ., and Gayer, R.A., (basımda) Trace elements in a Pliocen-Pleistocene lignite profile from the Afşin-Elbistan field, Eastern Turkey. International Journal of Coal Geology
- Perinçek, D ve Kozlu, H., 1984. Stratigraphy and structural relations of the units in the Afşin-Elbistan-Doğanşehir region (Eastern Taurus): In Tekeli, O. and Göncüoğlu, M.C. (Eds), Geology of Taurus Belt, Ankara-Turkey, 181-198.
- Querol, X., Cabrera, Pickel, LI., López-Soler, A., Hagemann, H. W., Fernández-Turiel, J.L., 1996. Geological controls on the coal quality of the Mequinenza subbituminous coal deposit, northeast Spain. International Journal of Coal Geology, 29, 67-91.
- Swaine, D.j., 1990. Trace element in coal, Butterworths, Berlin, 535pp.
- Yılmaz, A., Bedi, Y., Uysal, Ş. Ve Aydın, N., 1997. 1:100 000 ölçekli açınısama nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları, Elbistan-İ23 paftası, MTA Genel Müdürlüğü, Jeoloji tütleri Dairesi, Ankara, No:50
- Yörükoğlu, M., 1991. Afşin-Elbistan projesi ve TKİ Kurumu AELİ Müessesesinde madencilik çalışmaları, Madencilik, vol 30, sayı 3, 13-29s.



## ÇAYIRHAN TERMİK SANTRALINA BESLENEN KÖMÜR VE YANMA SONUCU OLUŞAN KATI ATIKLARIN MİNERALojİK VE JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN SİSTEMATİK İNCELENMESİ

### SYSTEMATIC INVESTIGATION OF MINERALOGY AND GEOCHEMISTRY OF FEED COALS AND SOLID WASTE PRODUCTS FROM THE ÇAYIRHAN POWER PLANT

Türkey ONACAK, Hacettepe Üniversitesi Çevre Müh. Böl., 06532, Beytepe-Ankara  
Ali İhsan KARAYİĞİT, Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Müh. Böl., 06532, Beytepe-Ankara  
Rod A. GAYER ve Sarah GOLDSMITH, Cardiff University, Dept. of Earth Sciences, Cardiff. UK

#### ÖZET

Bu çalışmada Çayırhan Termik Santralına beslenen kömür ve katı atıklar (uçucu kül ve taban külü) sistematik olarak örneklenmiş, toplam 48 adet örnek alınmış ve bunların kaba kimyasal analizleri, XRD yardımıyla mineralojik ve ICP-MS ile iz element analizleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Termik santrala beslenen kömürler havada kuru bazda yüksek nem (% 8.2), kül (% 44.9) ve kükürt (% 5.1) içeriğine sahiptir. Kömürlerde saptanmış mineralleri klinoptilolit, analsim, jips, feldispat, pirit, dolomit, kalsit ve kil mineralleri oluşturmaktadır. Uçucu ve taban küllerinde, camsı faz hariç olmak üzere, tanımlanabilen mineraller anhidrit, feldispat, kuvars, hematit, manyetit, kristabolit, CaMg-silikat (diyopsit?), CaO, maghemit ve gehlenittir. Beslenen kömürlerin iz element içerikleri ile Dünya'daki çoğu kömüre ait ortalamalar karşılaştırıldığında, birbirine benzer konsantrasyonlar görülmüştür. Ancak bazı elementlerin (As, Bi, Mn, Mo, Th, U, W ve Zr) ortalama değerlerinin, Dünyadaki kömürlerin sınır değerlerinden nispeten yüksek olduğu tespit edilmiştir. Uçucu kül/tabana kül oranları As, Mo, Pb, Tl ve Zn elementlerinin uçucu külde zenginleştiğini göstermektedir.

#### ABSTRACT

This study focuses on proximate analysis, mineralogy by XRD and trace element analysis by ICP-MS in feed coals and solid waste products (fly ash and bottom ash) from the Çayırhan Power Plant. For this purpose a total of 48 samples (coal and solid waste product) were systematically collected and evaluated.

The feed coals on air-dried basis have high moisture (8.2%), high ash (44.9%) and high sulfur (5.1%) contents. The mineral matter of the feed coals are clinoptilolite, analcime, gypsum, feldspar, pyrite, dolomite, calcite and clay minerals. Identifiable minerals in the fly and bottom ashes, except for the glassy matter, are anhydrite, feldspar, quartz, hematite, magnetite, cristabolite, CaMg-silicate (diopside?), CaO, maghemite and gehlenite. The feed coals studied have similar element concentrations and some elements display relatively enrichments in Mn, As, Zr, Mo, W, Bi, Th and U in the investigated samples in comparison with world-wide averages. The ratios between fly ash and bottom ash for some element concentrations indicate that As, Mo, Pb, Tl and Zn are enriched in the fly ashes.

## 1.GİRİŞ

Hızlı nüfus artışı ve sanayileşme sonucu dünyada olduğu gibi ülkemizde de elektrik enerjisi ihtiyacı devamlı artış göstermektedir. Yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları (nükleer, rüzgar, güneş, hidrolik, v.b.) üzerine yapılan araştırma ve geliştirme çalışmalarına rağmen hala fosil yakıtlara (petrol, doğalgaz ve kömür) büyük bir ihtiyaç duyulmaktadır. Termik santrallarda en başta gelen çevresel etkinin hava kirliliği olduğu düşünülür. Termik santrallarda düşük ısı değerli ve yüksek kül oranına sahip kömürler yakıldığından büyük miktarlara ulaşan katı atıklar (küller) oluşmaktadır. Bu atıklar santral yakınlarında çoğunlukla düzensiz olarak depolanmakta ve gelecek için önemli çevresel riskler taşımaktadır. Böyle bir depolama işlemi meydana gelebilecek çevresel problemlerin başında, yüzey ve yeraltı sularının etkisi altında bulunan atıkların bünyesinde bulundurduğu ve yanma sonucu önemli oranlarda zenginleşme gösteren ağır metal ve iz elementlerin çözünmesiyle, alıcı ortamların kirlenmesi gelmektedir.

Termik santrallarda oluşan uçucu ve taban kül fraksiyonlarının dağılımı, kazan tipine (yakma metodu), yakılan kömürün cinsine ve kazan altı tipine (ıslak ya da kuru) bağlı olarak değişmektedir (Tripodi and Cheremisinof, 1980). Kazan tipi oluşan iki çeşit kül oranında belirleyici faktördür. Günümüzde bir çok termik santralde kömürün tam yanmasının gerçekleşmesi için kömür pulverize hale getirilerek kazana beslendiği için oluşan külün %80'inin uçucu kül olduğu gözönüne alınmaktadır. Kazan alevindeki yüksek sıcaklık koşulları altındaki partiküller üzerinde bir dizi kompleks fizikokimyasal değişiklikler meydana gelmektedir. Partiküller erime sırasındaki yüzey serbestleşme enerjisini minimize etmek için küresel şekillerde oluşurlar. Uçucu kül partiküllerinin tane boyutları 20-80 µm arasında ve taban küllerinin partikül çapları 500-7000 µm arasında değişmektedir (Mattigod et. al., 1990).

Beypazarı Kömür Havzası, Ankara'ya yaklaşık 130 km uzaklıkta bulunmakta ve en önemli kömür üretim bölümünü Çayırhan sahası oluşturmaktadır. Burada üretilen linyit, genellikle Çayırhan Termik Santralinde (ÇTS) kullanılmaktadır. ÇTS'nin daha önceden yapılmış ve halen çalışan 2\*150 MW kurulu güçteki iki ünitesinde (I. ve II.) kazan dizaynı 2800 kcal/kg ısı değere ve %30 kül içeren kömüre göre yapılmıştır. Bu ilk iki ünite yılda yaklaşık 1.650.000 ton kömür tüketilmekte ve yanma sonucu yaklaşık 495.000 ton kül-curuf elde edilmektedir. Bu katı atık, oluşturulan termik santrale yakın bir alanda depolanmaktadır. ÇTS'nin kurulu gücüne ilave olarak yapılan 2\*165 MW güçteki yeni iki ünitenin (III. ve IV.) deneme üretim çalışmaları halen devam etmektedir. Bu son iki ünitenin yıllık kömür tüketiminin yaklaşık 2.800.000 ton olacağı ve kazan dizaynına göre 2000 Kcal/kg ısı değere ve %45 kül içeriğine sahip kömürlerin kullanılacağı öngörülmüştür.

Çayırhan kömür sahasında işletilen yaklaşık toplam 3m kalınlığındaki kömür tabakasının havada kuru bazda %8,2'ye kadar toplam kükürt içerdiği ve yaklaşık 1 m kalınlığındaki zeolitli kayaçla iki kısma, tavan (Tv) ve taban (Tb) olmak üzere ayrıldığı ve işletilen bu iki kömür tabakasının farklı özelliklere sahip olduğu belirtilmektedir. Şöyleki, tavan kömür tabakası Ca'ca zengin zeolitleri (klinoptilolit / höylendit) içerirken, taban kömür tabakası Na'ca zengin zeolitleri (analsim) içermektedir. Zeolit mineralleri, Çayırhan linyitlerindeki mineral maddenin yaklaşık %80'ini oluşturmaktadır. Mineral madde ayrıca feldispat, kuvars ve pirit ile çok az oranda dolomit, kil mineralleri ve apatit içermektedir (Whateley and Tuncalı, 1995; Querol et al., 1997). Bu çalışmada ÇTS'na beslenen kömür ve yanma sonucu oluşan katı atıkların (uçucu ve taban külü) mineralojik ve jeokimyasal özelliklerinin sistematik olarak incelenmesi amaçlanmıştır.

## 2. İNCELEME YÖNTEMİ

Çalışma kapsamında Beypazarı-Çayırhan kömür sahasında tümüyle üretilen kömürlerin ÇTS'nin I. ve II. ünitelerinde tüketildiği Temmuz-1998 ayı örnekleme için seçilmiş ve bu ay içerisinde haftada iki kez olmak üzere 4 hafta boyunca örnekleme gerçekleştirilmiştir. Örnekleme sırasında I. ve II. ünitenin bunker giriş noktalarından beslenen kömür, kazan altlarından taban külü ve bacaların elektrofiltre örnek alma noktalarından da uçucu kül örnekleri eşzamanlı olarak alınmıştır. Örnekleme çalışmaları sonucunda toplam 48 örnek elde edilmiştir. Örnekler, ÇTS laboratuvar yetkililerince tarafımızın gözetiminde alınmıştır.

Örneklerin mineralojik ve iz element analizleri Cardiff Üniversitesi (İngiltere) Yerbilimleri Bölümü laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Mineralojik analizler için XRD toz difraktogramları elde edilmiş

ve mineral tanımlamaları yapılmıştır. İz element analizleri için beslenen kömür örnekleri önce 550 °C'de 18-24 saat süreyle külleştirilmiştir. Uçucu ve taban külü örneklerinde kömür kırıntıları olduğu için bu örnekler de 750 °C'de 2 saat süreyle yeniden külleştirilmiştir. 200 mg örnek, ICP-MS'de analiz için çözelti haline getirilmiş ve toplam 44 elementin konsantrasyonu elde edilmiştir. Ayrıca, kömür ve katı atıkların kaba kimyasal analizleri de Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Kömür Laboratuvarında yapılmıştır. Analiz yöntemleriyle ilgili daha ayrıntılı bilgiler Gayer et al. (1998) ve Karayığit et al. (1999)'da verilmiştir.

### 3. ANALİZ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

#### 3.1. Kaba Kimyasal Analizler

Alınan örneklerin kaba kimyasal analiz sonuçlarının havada kuru bazda ortalama değerleri, ünitelere göre Çizelge 1'de verilmiştir. Diğer taraftan laboratuvara getirildiği durumda beslenen kömürlerin ve taban küllerinin sırasıyla ortalama % 22.9 ve % 36.9 toplam nem içerdiği saptanmıştır. Uçucu küllerde ise toplam nem ortalama olarak % 0.09 olarak bulunmuştur. Çizelge 1'de görüldüğü gibi üniteler arasında, beslenen kömür, uçucu kül ve taban küllerin kaba kimyasal analiz sonuçlarında, çok büyük bir benzerlik bulunmuştur.

**Çizelge 1.** Çayırhan Termik Santrali I. ve II. ünitelerine beslenen kömür, yanma sonucu oluşan uçucu ve taban külü örneklerinin havada kuru bazda kaba kimyasal analiz sonuçları

	Nem (%)	Kül (%)	Uçucu Madde (%)	Bağlı Karbon (%)	Toplam Kükürt (%)	Isıl Değer (Kcal/kg)
Kömür I. Ünite	8.4	43.9	30.7	17.0	5.18	3096
Kömür II. Ünite	8.0	46.0	29.8	16.1	5.02	2894
<b>Kömür I-II Üniteler (ort.)</b>	<b>8.2</b>	<b>44.9</b>	<b>30.3</b>	<b>16.6</b>	<b>5.10</b>	<b>2995</b>
Uçucu Kül I. Ünite	0.1	99.7	0.2		1.35	
Uçucu Kül II. Ünite	0.1	99.3	0.3		1.48	
<b>Uçucu Kül I-II Üniteler (ort.)</b>	<b>0.1</b>	<b>99.5</b>	<b>0.3</b>		<b>1.42</b>	
Taban Külü I. Ünite	0.5	97.7	1.8		0.80	
Taban Külü II. Ünite	0.6	96.1	3.3		0.99	
<b>Taban Külü I-II Üniteler (ort.)</b>	<b>0.5</b>	<b>96.9</b>	<b>2.6</b>		<b>0.90</b>	

#### 3.2. Mineraloji

Termik santrale beslenen kömür örneklerinin mineralojik bileşenleri, Whateley and Tuncalı (1995) tarafından daha önce yeraltı işletmelerinde alınan kömür örneklerinde tanımlanan minerallere büyük benzerlik göstermektedir. Bu çalışma kapsamında değerlendirilen kömürlerde klinoptilolit, analsim, jips, feldispat, pirit, dolomit, kalsit ve kil mineralleri tanımlanmıştır. Örnekler arasında mineralojik bileşenler açısından son derece büyük bir benzerlik görülmüştür.

Uçucu ve taban küllerinde, camsı faz hariç olmak üzere tanımlanabilen mineraller anhidrit, feldispat, kuvars, hematit, manyetit, kristabolit, CaMg-silikat (diyopsit), CaO, maghemit ve gehlenittir. Kül örneklerinde çok az miktarda yanmamış kömürden kaynaklanan kalsit ve klinoptilolit de belirlenmiştir. CaMg-silikat içeriği taban küllerinde daha çok, buna karşın anhidrit uçucu kül örneklerinde daha fazladır.

#### 3.3. Jeokimya

Kömür içindeki iz elementler, özellikle bunlardan enerji elde etmek amacıyla kurulmuş termik santrallarda büyük miktarlardaki kömür kullanımı sonucu gerek bacadan uçucu gazlar ile deşarj olmaları ve gerekse de oluşan büyük miktarlardaki atıklarda yoğunlaşmaları nedeniyle önemli çevresel etkiler oluşturma riskine sahiptirler. Buna karşın, son zamanlarda yoğun olarak yapılmakta olan çalışmalar kapsamında bu katı atıklardan bazı elementlerin kazanılması için yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Bu ise bunlara geleceğin maden yatakları olarak da bakılabileceğini gösterebilir. Bu nedenle katı atıklardaki element konsantrasyonlarının bilinmesi son derece önemli olmaktadır. Çalışma kapsamında incelenen beslenen kömür, uçucu kül ve taban külündeki element konsantrasyonlarının minimum, maksimum ve

ortalama değerleri izelge 2’de sunulmuştur. Ayrıca izelgede, Dünya kömürlerine ait ortalamaların sınır değerleri de gösterilmiştir.

Beslenen kömürlerden alınan herbir örneğe ait element konsantrasyonları, diğer kömür örneklerine ait sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu amaçla tek yönlü varyans analizi uygulanmış ve %95 güvenilirlik sınırında 1.0 önemlilik derecesinde örneklere ait analiz sonuçları arasında önemli bir farklılık tesbit edilememiştir. Benzer sonuç uçucu kül ve taban külü örnekleri arasında da saptanmıştır. Yani gerek iki ünite arasında ve gerekse beslenen kömür ile yanma sonucu oluşmuş katı atıkların analiz edilen element konsantrasyonları arasında örneklenen zaman dilimi içinde örnekler arasında tümüyle bir homojenlik sözkonusu olmaktadır.

Beslenen kömüre ait ortalama değerler, Swaine (1990) tarafından derlenen Dünya Kömürlerine ait ortalamalarla karşılaştırıldığında TS’na beslenen kömürlerde As, Bi, Mn, Mo, Th, U, W and Zr’un zenginleştiği görölmektedir. Ayrıca, beslenen kömürlerdeki Co ve Cs değerlerinin, Dünya ortalamalarını aştığı da görölmektedir (izelge 2). Benzer şekilde Querol et al. (1997) tarafından Çayırhan kömürlerinde As, B, Cr, Ni ve Zr’un ve majör elementlerden Na ve K’un zenginleşme gösterdiği belirtilmiştir. Element konsantrasyonlarının zenginleşmesinin, TS’na beslenen kömürlere tavan-taban kayaçlarının ve arakesmelerin karışmasıyla, bu kömürlerin volkanik faaliyetlerden (Teke volkanitleri) geniş ölçüde etkilenmesiyle, beslenen kömürlerde piritlerin yüksek olmasıyla ve kömürün çökeltme ortamındaki fasiyes koşullarıyla ilgili olabileceği düşünölmektedir. Ancak, bu elementlerin bulunuş şekillerinin incelenmesi gelecekte yapılacak çalışmaların konusunu oluşturmaktadır.

Beslenen kömürlerdeki bazı elementlerin zenginleşmesine karşın, uçucu kül örneklerinin analiz sonuçlarına göre, analiz yapılan bütün elementler Tripodi and Cheremissinof (1980) tarafından verilen Dünya’daki termik santral uçucu küllerinin maksimum sınır değerinin altında kalmaktadır. Bir çok element (Be, Cu, Ga, As, Rb, Mo, Cd) verilen minimum sınır değerine çok yakın konsantrasyonlarda tespit edilmiş; Li, Ge, Y, Tl, Bi ise minimum sınır değerin altında bulunmuştur. Buna karşın, taban külü örneklerinin analiz sonuçlarının ortalama değerlerine göre Ta, Th ve U’un Dünya’daki taban küllerin maksimum sınır değerlerinin çok az üzerinde konsantrasyonda olduğu tespit edilmiştir. Be, Rb, Sr, Cd, Cs gibi bir çok element Dünya’daki termik santralların taban küllerinin analizlerinden elde edilen minimum sınır değerin altında kalmaktadır.

### 3.4 Çevresel Açıdan Önemli Elementler

Kömürlerde çevresel açıdan birincil derecede önemli elementlerin As, Ba, Be, Co, Cu, Mn, Mo, Pb, Th, Tl, U ve Zn’nun olduğu belirtilmektedir (Swaine, 1990). Bu alt bölümde bu elementlerin kömür ve küller arasındaki ilişkileri ve zenginleşmeleri veya fakirleşmeleri incelemek amacıyla kütle denge hesaplamaları yapılmıştır. Hesaplamalarda kullanılan çevresel açıdan önemli elementlerin konsantrasyon değerleri, örnekleme tarihlerine ve santral ünitelerine göre izelge 3’de verilmiştir. Beslenen kömürdeki analiz sonuçları, havada kuru bazda kömür bazında, diğerleri doğrudan külde elde edilen sonuçları göstermektedir.

Çevresel açıdan önemli 12 elementin termik santrala beslenen kömür ve yanma sonucu oluşan atıkları arasında kütle denge hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Kütle denge hesabı için elementlerin toplam katı atık içindeki konsantrasyonun hesaplanması amacıyla Crowley et al. (1995) tarafından önerilen aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$C_{EKA} = a \times C_{EUK} + (1-a) \times C_{ETK}$$

Bu formölda;  $C_{EKA}$  toplam katı atık (uçucu ve taban külü) içindeki element konsantrasyonunu,  $C_{EUK}$  uçucu kül içindeki element konsantrasyonunu ve  $C_{ETK}$  taban külü içindeki element konsantrasyonunu göstermektedir. “a” katsayısı ise katı atık içindeki uçucu ve taban külü arasındaki oranı vermektedir. TS yetkilileri ile yapılan sözlü görüşmede uçucu ve taban külü arasındaki oran ile ilgili herhangi bir ölçümün santralda yapılmadığı, ancak kazan deneme sürecindeki ölçümlerde oluşan atık küllerin %80’nin uçucu kül olduğu bildirilmiştir. Bu nedenle Çayırhan Termik Santralı için bu katsayı 0.8 olarak alınmıştır.

**Çizelge 2.** Çayırhan Termik santralına beslenen kömür ve santral katı atıklarına ait minimum, maksimum ve ortalama element konsantrasyonları ile Dünya ortalamalarına ait sınır değerler (aksi belirtilmedikçe ppm). Veriler, \*Swaine (1990) ve \*\* Tripodi and Cheremissinof (1980)'den alınmıştır

Element	Beslenen Kömür				Uçucu Kül				Taban Külü			
	Min.	Mak.	Ort.	Dünya Ort.*	Min.	Mak.	Ort.	Dünya Ort.**	Min.	Mak.	Ort.	Dünya Ort.**
<b>Mg (%)</b>	0.72	0.98	0.83		2.05	2.45	2.23		1.94	2.40	2.18	
<b>Ca (%)</b>	2.24	2.86	2.58		6.42	8.62	7.56		6.45	7.72	7.16	
<b>P</b>	419	963	606		1254	1807	1524		1091	1842	1429	
<b>Ti</b>	1360	1522	1462		2563	3427	3098		2627	3172	2887	
<b>As</b>	41	49	44	1.5-15	55	157	94	2.3-1700	25	31	28	0.9-40
<b>Ba</b>	177	293	221	70-300	551	716	607	96-13900	516	645	578	500-4000
<b>Be</b>	1.0	1.3	1.2	1.5-2	2.4	3.0	2.7	1-1000	2.0	3.3	2.6	3-10.6
<b>Bi</b>	0.3	0.4	0.4	0.1-0.2	0.7	1.3	0.9	10-30	0.3	0.6	0.5	
<b>Cd</b>	0.1	0.3	0.2	0.2-10	0.2	0.6	0.4	0.1-250	0.1	0.2	0.2	0.5-250
<b>Co</b>	8.1	9.4	8.7	4-8	18.0	22.7	20.1	6-1500	17.2	21.0	18.7	3.6-380
<b>Cs</b>	2.6	3.3	2.9	1-2	5.9	7.5	6.8	1.4-17	5.3	6.7	6.1	
<b>Cu</b>	19	23	21	15-35	43	55	49	30-3020	42	60	50	2.8-720
<b>Ga</b>	5.5	6.5	6.1	4-20	10.8	15.9	13.4	10-10000	10.7	12.1	11.3	5-64
<b>Ge</b>	0.3	4.4	3.0	2-10	4.0	10.8	6.2	10-11000	2.0	2.9	2.5	
<b>Li</b>	8	13	10	5-80	22	28	24	77-120	23	27	25	60-78.9
<b>Mn</b>	176	233	204	30-90	522	649	586	31-4400	502	592	548	100-720
<b>Mo</b>	5.1	6.1	5.6	1-2	8.5	15.4	10.9	6.5-500	6.0	7.8	6.9	3-45
<b>Nb</b>	10	12	11	1-20	19	23	22	16-20	18	23	21	12-20
<b>Pb</b>	18	25	22	20-30	42	67	53	3.1-1600	30	42	37	5-35
<b>Rb</b>	17	23	21	2-50	41	56	49	25-300	43	50	46	48-300
<b>Sc</b>	3.4	5.3	4.1	1-10	8.9	13.3	10.3		8.3	16.3	10.3	
<b>Sr</b>	129	181	153	50-200	391	445	416	40-9600	391	439	422	170-1800
<b>Ta</b>	0.6	1.0	0.7	0.1-1	1.7	2.7	1.8	0.5-2.6	1.6	2.3	1.7	0.95-1.03
<b>Th</b>	6.6	9.2	7.7	1-3	16.4	19.5	18.2	1.8-68	16.4	19.3	17.6	12-15
<b>Tl</b>	0.4	0.5	0.4	0.2-1	0.7	1.3	1.0	1.1-100	0.2	0.5	0.4	
<b>U</b>	6.1	7.9	6.9	1-3	14.4	21.5	16.9	0.8-30	14.5	18.8	16.3	6.7-14.9
<b>W</b>	7.1	9.2	8.1	0.5-5	13.6	43.8	17.6	2.9-42	11.0	16.1	12.4	
<b>Y</b>	6.5	8.1	7.4	2-50	15.6	18.5	17.3	21-800	15.7	17.8	16.8	30-44
<b>Zn</b>	33	63	40	10-60	56	114	80	14-13000	49	87	60	24-950
<b>Zr</b>	142	179	155	20-40	273	350	317	100-5000	278	354	323	
<b>La</b>	9	12	11	1-40	25	29	27	17-270	24	27	25	15.5-75
<b>Ce</b>	19	23	21	2-70	51	56	53	28-320	46	52	49	84-310
<b>Pr</b>	2.2	2.8	2.5	1-10	5.9	6.5	6.2		5.5	6.1	5.8	
<b>Nd</b>	8.2	10.8	9.5	3-30	22.2	24.5	23.2		20.3	23.1	21.7	
<b>Sm</b>	1.6	2.3	2.0	0.5-6	4.5	5.0	4.8	3.7-43	4.2	4.9	4.4	
<b>Eu</b>	0.4	0.6	0.5	0.1-2	1.2	1.4	1.3	1-16.7	1.2	1.4	1.3	1.11-15
<b>Gd</b>	1.7	2.3	2.0	0.4-4	4.6	5.2	4.9		4.3	5.0	4.6	
<b>Tb</b>	0.3	0.4	0.3	0.1-1	0.7	0.8	0.8		0.7	0.8	0.7	
<b>Dy</b>	1.5	2.2	1.9	0.5-4	4.3	4.8	4.5	4.2-31	4.0	4.6	4.2	
<b>Ho</b>	0.3	0.4	0.4	0.1-2	0.8	1.0	0.9		0.8	0.9	0.8	
<b>Er</b>	0.9	1.2	1.1	0.5-3	2.3	2.9	2.6		2.3	2.7	2.5	
<b>Tm</b>	0.1	0.2	0.2	0.1-1	0.4	0.4	0.4		0.3	0.4	0.4	
<b>Yb</b>	0.9	1.2	1.1	0.3-3	2.4	2.8	2.6	1.7-23	2.1	2.6	2.4	
<b>Lu</b>	0.1	0.2	0.2		0.4	0.4	0.4		0.4	0.4	0.4	

**Çizelge 3. Çayırhan Termik Santrali kömür, uçucu ve taban külü örneklerinde çevresel açıdan önemli elementlerin örnekleme tarihleri ve ünitelere göre konsantrasyonlarının dağılımı (ppm) (Kısaltmalar: BK=Beslenen kömür külü; UK=Uçucu kül; TK=Taban külü)**

	08.07.1998						10.07.1998						14.07.1998						17.07.1998							
	I. Ünite			II. Ünite			I. Ünite			II. Ünite			I. Ünite			II. Ünite			I. Ünite			II. Ünite				
	BK	UK	TK	BK	UK	TK	BK	UK	TK	BK	UK	TK	BK	UK	TK	BK	UK	TK	BK	UK	TK	BK	UK	TK	BK	UK
As	88	104	26	96	132	30	98	87	28	91	69	31	99	101	27	89	114	31	98	101	28	99	157	30		
Ba	466	568	546	483	581	587	435	599	581	470	591	575	445	583	516	454	599	598	502	660	607	603	689	590		
Be	2,2	2.8	2.6	2,4	2.9	2.7	2,6	2.5	3.2	2,7	2.4	2.4	2,7	3.0	2.8	2,6	2.8	2.3	2,3	2.7	2.2	2,5	2.9	3.3		
Co	19	23	21	19	22	21	19	21	20	18	20	20	18	18	18	18	21	17	19	20	18	18	21	18		
Cu	47	53	55	44	55	57	48	50	53	43	47	48	46	47	48	42	54	45	49	50	48	44	53	48		
Mn	474	622	572	492	603	553	443	598	579	420	613	561	416	535	560	442	587	539	383	563	575	427	553	541		
Mo	11	11	6.9	12	13	7.5	13	11	7.1	11	10	7.8	14	12	6.1	12	12	7.0	13	12	7.2	11	15	7.3		
Pb	47	56	36	46	57	40	44	53	39	51	49	39	46	58	30	44	50	34	52	54	37	50	67	37		
Th	15	18	16	16	17	17	15	18	17	17	19	18	15	20	17	16	16	17	16	20	18	16	19	18		
Tl	1,0	1.1	0.4	1,0	1.2	0.3	0,9	0.9	0.3	0,9	0.9	0.5	1,0	1.1	0.2	0,9	1.0	0.5	1,0	1.0	0.4	0,9	1.3	0.4		
U	13	15	15	13	15	16	13	17	16	15	17	17	14	18	15	15	16	16	15	18	17	15	17	17		
Zn	86	90	60	80	97	63	72	80	61	86	71	58	77	75	49	79	84	54	138	88	58	98	113	54		
	21.07.1998						24.07.1998						28.07.1998						31.07.1998							
	I. Ünite			II. Ünite			I. Ünite			II. Ünite			I. Ünite			II. Ünite			I. Ünite			II. Ünite				
	BK	UK	TK	BK	UK	TK	BK	UK	TK	BK	UK	TK	BK	UK	TK	BK	UK	TK	BK	UK	TK	BK	UK	TK	BK	UK
As	97	108	27	88	85	29	104	55	27	92	60	28	100	69	28	88	117	29	93	81	27	104	60	25		
Ba	483	557	559	474	583	560	415	551	573	425	589	565	518	716	609	476	681	645	511	580	555	503	587	577		
Be	2,4	2.9	2.5	2,3	2.4	2.6	2,9	2.4	3.1	2,8	2.9	2.5	2,6	2.6	2.9	2,9	2.7	2.2	2,9	3.0	2.4	2,8	2.7	2.0		
Co	18	20	18	20	20	18	20	18	19	19	19	18	19	19	19	19	21	19	20	19	19	19	19	17		
Cu	47	47	45	39	46	42	47	43	46	49	46	50	48	49	51	48	54	60	47	47	59	49	47	43		
Mn	411	649	573	465	598	592	509	639	559	469	567	513	447	640	502	455	538	512	426	546	504	413	522	532		
Mo	12	11	6.0	12	10	7.2	13	8	6.4	12	9	6.6	12	9	6.8	12	12	7.1	12	10	6.7	11	9	6.5		
Pb	51	49	39	42	51	34	41	42	36	43	46	40	56	47	41	52	64	42	56	54	39	52	49	37		
Th	21	17	17	16	17	17	18	18	18	15	18	18	18	19	18	17	20	19	20	19	18	16	19	18		
Tl	0,9	1.0	0.3	1,0	0.8	0.3	0,9	0.7	0.3	1,0	0.9	0.4	1,0	0.8	0.4	1,0	1.2	0.3	1,0	1.0	0.3	0,9	0.9	0.4		
U	17	15	15	17	14	15	15	17	16	14	16	17	17	21	17	15	18	19	17	18	17	15	17	15		
Zn	84	72	53	76	72	51	80	56	52	74	62	69	101	71	69	81	98	87	80	75	59	79	77	57		

Yanma sonucu elementlerde baca gazı ile herhangi bir kayıp yoksa katı atıktaki element konsantrasyonu ( $C_{EKA}$ ) ile beslenen kömürün külündeki element konsantrasyonu ( $C_{EBK}$ ) birbirine eşit olması gerekmektedir. Atıklar ile kömür arasındaki kütle dengesi ( $(C_{EKA}/C_{EBK}) \times 100$ ) oranı ile bulunmaktadır (Crowley et. al., 1995). Çevresel açıdan önemli elementlerin hesaplanan kütle dengeleri Çizelge.4’de “A” simgesiyle belirtilerek verilmiştir. Ayrıca aynı çizelgede iz elementlerin uçucu kül ve taban külü arasındaki ( $(C_{EUK}/C_{ETK}) \times 100$ ) oranı da “B” simgesiyle işaretli olarak sunulmuştur.

Kütle denge hesaplama sonucunun %100 olduğu durumda beslenen kömürdeki elementin tamamı katı atıklar içinde kalmaktadır. Ancak örnekleme ve analizlerdeki sınırlamalar ile elementlerin yüksek sıcaklıktaki yanma sırasında buharlaşma eğilimleri, yanma sırasında bazı yeni minerallerin oluşması ve bazı elementlerin camı faz tarafından tutulması nedeniyle kütle denge sonuçları %100’den farklı olarak elde edilebilmektedir (Gayer et. al., 1998). Ancak, %100’ün altında bulunan kütle denge sonuçları elementin uçuculuk özelliğini göstermektedir. ÇTS örneklerinde hesaplamalar sonucu elde edilen ortalama kütle denge sonuçlarına bakıldığında bazı elementlerin (As, Mo, Tl ve Zn) uçucu özellik gösterdikleri görülebilmektedir (Çizelge 4). Çevresel açıdan önemli diğer elementler (Be, Pb, Cu, Mn, Co, Ba, Th ve U) %100 yakın kütle denge sonuçları ile tamamı ÇTS atık küllerinde kalmaktadır.

**Çizelge.4. Çayırhan Termik Santralında, çevresel açıdan önemli iz elementlerin kömür ve katı atıklar arasındaki kütle dengesinin (A) ile uçucu ve taban külleri arasındaki oranların (B) örnekleme tarihlerindeki ve ünitelerdeki durumu. Kısaltmalar:**  
 $A = ((C_{EKA}/C_{EBK}) \times 100)$  ;  $B = ((C_{EUK}/C_{ETK}) \times 100)$

	08.07.1998				10.07.1998				14.07.1998				17.07.1998				21.07.1998	
	I. Ünite		II. Ünite		I. Ünite		II. Ünite		I. Ünite		II. Ünite		I. Ünite		II. Ünite		I. Ünite	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Be	126	106	117	108	104	80	88	97	108	108	105	124	114	123	118	89	121	116
As	101	401	117	442	77	311	67	225	87	377	109	366	88	356	133	526	94	406
Mo	94	164	98	173	80	153	84	125	79	193	91	172	81	161	121	210	86	186
Pb	109	153	116	144	113	137	92	125	114	195	108	147	97	144	123	181	92	126
Tl	93	270	104	355	86	271	94	190	92	482	95	200	85	241	121	301	95	296
Cu	114	97	127	95	104	94	109	98	102	98	124	119	101	104	119	111	100	104
Zn	98	149	113	154	107	132	79	123	91	154	99	155	60	151	103	211	81	137
Mn	129	109	120	109	134	103	143	109	130	96	131	109	148	98	129	102	154	113
Co	117	110	116	105	111	106	111	102	99	105	115	124	104	111	113	115	106	107
Ba	121	104	121	99	137	103	125	103	128	113	132	100	129	109	111	117	115	100
Th	116	109	107	100	116	102	109	106	127	116	105	96	123	109	112	105	82	101
U	113	100	116	95	128	105	113	100	122	117	109	98	120	105	118	103	89	102
	21.08.1997		24.07.1998				28.07.1998				31.07.1998				<b>Genel Ortalama</b>			
	II. Ünite		I. Ünite		II. Ünite		I. Ünite		II. Ünite		I. Ünite		II. Ünite		<b>I. + II. Üniteler</b>			
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	<b>A</b>	<b>B</b>		
Be	105	90	88	78	99	116	103	90	90	121	99	124	92	134	105	107		
As	84	299	48	207	59	214	61	247	113	397	76	303	51	240	85	332		
Mo	78	141	64	132	75	141	70	133	92	168	75	150	74	139	84	159		
Pb	113	153	99	118	103	113	82	116	114	152	92	141	89	134	103	142		
Tl	69	276	70	239	84	245	75	178	106	367	83	292	89	253	90	278		
Cu	115	109	92	92	95	93	104	97	116	90	105	80	95	108	108	99		
Zn	89	141	69	106	86	90	70	103	118	114	89	127	93	134	90	136		
Mn	128	101	122	114	118	110	137	128	117	105	126	108	127	98	131	107		
Co	99	112	92	95	101	106	101	101	109	112	98	101	99	112	106	108		
Ba	122	104	134	96	137	104	134	117	141	106	113	104	116	102	126	105		
Th	104	101	102	99	120	96	103	106	118	101	92	102	121	110	110	104		
U	87	99	110	106	115	96	123	123	121	98	104	105	112	113	113	104		

Çizelge.4’de uçucu kül ile taban külü arasındaki oranı veren “B” değeri elementlerin uçucu kül ve taban külü arasındaki dağılımını ifade etmektedir. Çevresel açıdan önemli elementlerden As, Mo, Pb, Tl ve Zn’nun ortalama konsantrasyonları bu elementlerin uçucu kütlede zenginleştiğini göstermektedir (Çizelge 4). Buna karşın Be, Cu, Mn, Co, Ba, Th ve U elementleri %100’e yakın değerleriyle uçucu kül ile taban külü arasında neredeyse eşit oranda dağılım göstermektedirler (Çizelge 4).

#### 4. GENELLEME

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Termik santrale beslenen kömürlerin havada kuru bazda yüksek nem (% 8.2), kül (% 44.9) ve kükürt (% 5.1) içeriğine sahip oldukları belirlenmiştir. Laboratuvara getirildiği durumda Çayırhan Termik Santralına beslenen kömürlerin ve taban küllerinin sırasıyla ortalama %22.9 ve %36.9 toplam nem içerdiği saptanmıştır. Uçucu küllerde ise toplam nem ortalama olarak % 0.09 olarak bulunmuştur. Kaba kimyasal analiz sonuçlarının santralın I. ve II. ünitelerinde büyük benzerlik gösterdiği belirlenmiştir.
- Kömürlerde XRD yardımıyla saptanmış mineralleri klinoptilolit, analsim, jips, feldispat, pirit, dolomit, kalsit ve kil mineralleri oluşturmaktadır. Uçucu ve taban küllerinde ise, camsı faz hariç olmak üzere, tanımlanabilen mineralleri anhidrit, feldispat, kuvars, hematit, manyetit, kristabolit, CaMg-silikat (diyopsit?), CaO, maghemit ve gehlenittir. CaMg-silikat içeriği taban küllerinde daha çok buna karşın anhidrit uçucu kül örneklerinde daha fazladır.

- c- Beslenen kömürlerin iz element içeriklerinin ortalama değerleri ile Dünya'daki çoğu kömüre ait ortalamalar karşılaştırıldığında birbirine benzer konsantrasyonlar görülmüştür. Ancak santrale beslenen kömürlerin bazı elementlerinin (As, Bi, Mn, Mo, Th, U, W ve Zr) ortalama değerleri, Dünyadaki kömürlerin sınır değerlerinden nispeten yüksek olduğu tespit edilmiştir.
- d- Çevresel açıdan önemli elementlerden As, Mo, Pb, Tl ve Zn'nun ortalama konsantrasyonları bu elementlerin santral uçucu külünde zenginleştiğini göstermektedir. Buna karşın Be, Cu, Mn, Co, Ba, Th ve U elementleri %100'e yakın değerleriyle uçucu kül ile taban külü arasında neredeyse eşit oranda dağılım göstermektedirler.

## TEŞEKKÜR

Yazarlar, örnekleme konusunda gerekli desteği sağlayan TEAŞ yetkililerine; Akademik Link Projesi kapsamında çalışmaya maddi destek sağlayan ve ülkemizde bilimsel çalışmaların artırılması yönünde her zaman olumlu katkılarda bulunan British Council yetkililerine ve link projesine kişisel desteklerini esirgemeyen Sayın Joanne Speakman, Nursel Akdemir ve Serdar Dinler'e; laboratuvar çalışmalarındaki yardımlarından dolayı Sayın Nehir Özgen Varol'a; makalenin incelenmesi sırasındaki olumlu katkıları nedeniyle Prof. Dr. Hüseyin Yalçın ile adının açıklanmasını istemeyen hakeme teşekkür ederler.

## KAYNAKLAR

- Crowley, S.S., Finkelman, R.B., Palmer, C.A. and Eble, C.F., 1995. Characterization of hazardous trace elements in solid waste products from a coal-burning power plant in Kentucky. Twelfth Annual International Pittsburgh Coal Conference Proceedings, S.H. Chiang (ed.), Pittsburgh, 11-15 September 1995, pp. 1131-1137.
- Gayer, R.A., Karayığit, A.İ., Goldsmith, S., Onacak, T. and Rose M., 1998. Trace elements geochemistry of feed coals, flyash and bottom ashes of Turkish power plants: implication for ash utilization, 8<sup>th</sup> Australian Coal Science Conference Proceeding, 7-9 December, 1998, New South Wales, 339-344.
- Karayığıt, A.İ., Akgün, F., Gayer, R.A. and Temel, A., 1999. Quality, palynology, and paleoenvironmental interpretation of the Iğın lignite, Turkey. International Journal of Coal Geology, 38, 219-236.
- Mattigod, S.V., Rai, D., Eary, L. E. and Ainsworth, C.C., 1990. Geochemical factors controlling the mobilization of inorganic constituents from fossil fuel combustion residues: I. Review of major elements. International of Environmental Quality, 19, 188-201.
- Querol, X., Whateley, M.K.G., Fernandez-Turiel, J.L. and Tuncalı, E., 1997. Geological controls on the minerology and geochemistry of the Beypazarı lignite, Central Anatolia, Turkey. International Journal of Coal Geology, 33, 225-271.
- Swaine, D. J., 1990. Trace elements in coal, Butterworths. London, 292 p.
- Tripodi, R. A. and Cheremissinof, P. N., 1980. Coal ash disposal solid waste impact. Technomica Publishing Company, Westport, 11-26.
- Whateley, M.K.G. and Tuncalı, E., 1995. Origin and distribution of sulphur in the Neogene Beypazarı Lignite Basin, Central Anatolia, Turkey. Geological Society of Special Publication, No. 82, pp. 307-323.



## ÇARPIŞMA ORTAMI METALOJENİSİNE BİR ÖRNEK: ORTA ANADOLU KRİSTALEN KARMAŞIĞI

### AN EXAMPLE FOR THE METALLOGENY OF A COLLISION RELATED SETTING: CENTRAL ANATOLIAN CRYSTALLINE COMPLEX

İlkay KUŞCU, Niğde Üniversitesi, Aksaray Müh. Fakültesi, Jeoloji Müh. Bölümü, 68100 Aksaray  
Ayhan ERLER, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Jeoloji Müh. Bölümü, 06531 Ankara

#### ÖZET

Geç Kretase-Eosen aralığında Neo-Tetis Okyanusu Kuzey Koluna (NOKK) ait okyanusal kabuğun bir yitim zonu boyunca Sakarya Kıtacığı (SK) altına dalması ve bu okyanusun kapanması ile başlayan bir dizi olaylar serisi, bölge yataklarının oluşumunu ve bugünkü konumlarını kazanmasında etkin roller oynamıştır. Orta Anadolu Kristalen Karmaşığı (OAKK)'nın genel jeolojik ve yapısal çerçevesiyle ilişkili olarak, cevher yatakları oluşum mekanizmalarına göre meta-sedimanter, skarn, damar, ve sedimanter-volkanojenik olmak üzere dört ana grupta toplanmıştır. Bölgede yer alan cevher yatakları coğrafi dağılımları, yoğunlukları, kimyasal bileşimleri ve kökenlerine göre 7 metalojenik bölgede (Fe, Fe-W, F, Mo, Pb-Zn, Sb-Hg, Sb-Hg-W bölgeleri) toplanmıştır.

Cevher yataklarının oluşumunu kontrol eden faktörler, Neo-Tetis Okyanusu'nun Geç Kretase'de (dar anlamıyla İzmir-Ankara Okyanusu) kapanarak tüketildiği, Pontid Birimi'nin (Pontid Yayı ve Sakarya Kıtacığı) OAKK ile çarpıştığı Alpin Orojenisi'yle bağlantılıdır. Özellikle bu orojenez sırasında ortaya çıkan yaygın magmatizma ve onlara bağlı olaylar, yatakları kontrol eden belli başlı etmenlerdir. Jeolojik veriler iki farklı fazda magmatizma üreten iki üzerlemenin varlığını ortaya koymaktadır. İlk faz, sin-kolizyon S-tipi granitoidleri üreten magmatizma, yataklara kökensel açıdan etkide bulunamamasına rağmen, post-kolizyon S- ve I-tipi granitoid ve syenitoidleri üreten ikinci faz, yatakların oluşumunu kontrol eden en önemli olaydır. Özellikle skarn ve damar tipi yatakların oluşumları bu tip plütonik kayaçların bölge kayaçlarına sokulumlarıyla yakından ilgilidir.

NOKK'na ait okyanusal kabuğun SK altına dalması sonrasında gerçekleşen çarpışmalar, bir dizi metalojenik süreci başlatmıştır. Bunlardan metallojenetik seri 1: NOKK'na ait okyanusal kabuğun TAP'nın kuzey kenarına itilmesi (Erken-Geç Kretase) ve metasedimanter yatakların oluşması, seri 2: ensimatik yaygın OAKK ile çarpışması (Kampaniyen-Geç Paleosen) sırası ve sonrasında skarn ve damar tipi yatakların oluşması, seri 3: Pontid Birimi'yle OAKK'nin çarpışması (Post Orta Eosen- Geç Eosen) yatakların metamorfizması ve bazı minerallerin remobilizasyonu, ve seri 4: gerilme tektonizması (Miyopliyosen), sedimanter ve volkanojenik yatakların oluşması.

#### ABSTRACT

A series of geological events that initiated during the closure of the Northern Branch of NeoTethyan Ocean (NBN), and subduction beneath the Sakarya Microcontinent, played an important role in the formation and evolution of the mineral deposits. The mineral occurrences, in relation to general geologic and structural framework of the Central Anatolian Crystalline Complex (CACC) are classified into four major types based on their genesis as metasedimentary, skarn, vein and sedimentary-volcanic. The mineral deposits are subdivided into 7 main metallogenic provinces considering their geographical distribution, chemical constituents, and genesis. These are Fe, Fe-W, F, Mo, Pb-Zn, Sb-Hg, Sb-Hg-W provinces).

These deposits are all related to the Alpine Orogeny during which NBN (İzmir-Ankara Ocean (sensu-stricto)) was consumed, and the Pontide Unit (Pontide Arc and Sakarya Microcontinent) collided with the CACC during the Uppermost Cretaceous. The extensive magmatism and consequent events are the principal controls of the mineralizations. The geological evidence indicates two-fold obduction resulting in two different magmatisms. Although, the first phase resulting in S-type granitoids has no contribution

to the formation of mineral deposits, the post-collisional S-and I-type magmatism of the second phase is the most prominent event that controlled the formation of mineral deposits. Particularly, the formations of skarn and vein type deposits are related to intrusion of plutonic rocks into CACC.

The consumption of the oceanic crust of the NBN and resultant collisional events triggered a series of metallogenic events. Of these, metallogenetical series 1: obduction of N-type oceanic crust of NBN onto the northern margin of the TAP (Early-Late Cretaceous) and formation of the metasedimentary deposits, series 2: collision of ensimatic arc with CACC followed by the formation of skarn and vein type deposits (Campanian-Late Paleocene), series 3: collision of Pontide Unit with CACC (Post-Middle Eocene-Late Eocene) related to metamorphism and remobilization of the mineral deposits, and series 4: extensional tectonics (Mio-Pliocene) and formation of sedimentary and volcanogenic deposits.

## 1. GİRİŞ

Anadolu Kristalen Karmaşığı (OAKK) (Göncüoğlu ve diğ., 1991; 1992, 1993) içinde yeralan maden yataklarının ve cevherleşmelerin OAKK ile olan jeolojik, yapısal ve yaş ilişkilerine bakıldığında, bu yatakların oluşumu ve dağılımlarıyla ilgili bazı ilginç noktalar daha belirgin hale gelmektedir.

Levha tektoniği ve cevherleşmeler arasındaki zaman, mekan ve köken ilişkisini inceleyen Mitchell ve Garson (1981), maden yataklarının hangi jeolojik ortamlarda ve hangi tektonik koşullar altında oluşabileceğini ortaya koymaktadır. Ancak Mitchell ve Garson'un (1981) bu çalışması, çarpışma ortamı olayları ve bu olaylara bağlı olarak oluşan maden yatakları hakkında yeterli bilgi verememektedir. OAKK Türkiye'de Alpin Orojenezi'nin doğal sonucu olarak gelişen ve bugünkü şeklini alan önemli birimlerden birisidir. Bu birim üzerine yapılan tüm çalışmalar OAKK'nin bir çarpışmanın doğrudan ve dolaylı ürünü olduğunda hemfikirdir (Erlor ve diğ., 1991; Göncüoğlu ve diğ., 1991;1993; Akıman ve diğ., 1993; Erlor ve Bayhan, 1995; Yalınız ve diğ., 1996; Kuşcu ve Erlor, 1998).

OAKK içinde değişik tip ve büyüklükte sadece plütonik kayalarla ilgili magmatojen skarn-türü ve damar-türü yatakların bulunmasının yanında metasedimanter, sedimanter ve volkanojenik yataklar da bulunmakta ve bunların oluşumuyla OAKK'nin geçirdiği jeolojik evrim arasında sıkı bağlar bulunmaktadır. Bu yataklar, çarpışma ortamında gözlenen cevherleşmelerin jeolojik-tektonik ortamlarının, yaş ve cevherleşme stillerinin, oluşum mekanizmalarının, jeolojik ve yapısal evrimlerinin anlaşılmasına yönelik önemli bulgular sağlayabilecek niteliktedir. Cevherleşmelerin zaman ve mekan içindeki dağılımları, çarpışma ortamıyla ilgili yataklar hakkında ilginç ama soru işaretli bazı belirleyici özelliklerin varlığını ortaya koymaktadır. Bu yatakların plaka tektoniği ve bölgenin jeolojik evrimi açısından yeniden gözden geçirilmesi, oluşumlarını kontrol eden yeni metalojenik ve jeolojik faktörleri ortaya koymaktadır. Bu çalışma, bölgedeki yatakların OAKK'nin oluşumunda etkili olan tektonik olaylarla ilişkisini belirlemeye yönelik bir çalışmadır.

## 2. JEOLÖJİK ÇERÇEVE

Orta Anadolu Kristalen Karmaşığı yaklaşık üçgen biçimli bir alanda yüzeyleyen metamorfik, ofiyolitik, ve plütonik kayalar topluluğudur. Bu kayaç toplulukları ayrı ayrı ya da birkaç tanesi değişik çalışmacılar tarafından 1930'lu yıllardan bu yana farklı isimlerle anılmıştır. Bunlardan en çok kullanılanlar, Kırşehir Masifi (Arni, 1939; Seymen, 1982) ve bu çalışmada da kullanıldığı gibi Orta Anadolu Kristalen Karmaşığı (Göncüoğlu ve diğ., 1991; 1992; 1993). Karmaşık kuzeyde İzmir-Ankara-Erzincan Kenet Kuşağı'nın (İAEKK) ofiyolitleriyle, doğu ve GD'da Ecemiş Fay Zonu'yla, ve batıda Tuzgözü Fay Zonu'yla sınırlanmaktadır.

## 3. ORTA ANADOLU KRİSTALEN KARMAŞIĞI'NDA YERALAN CEVHERLEŞMELER

OAKK cevherleşmeleri, jenezlerine göre 4 ana grupta toplanmıştır. Bunlar, meta-sedimanter, skarn, hidrotermal, ve sedimanter-volkanik türdeki cevherleşmeleri ve yataklarıdır. Yukarıdaki sıralamada yataklar, OAKK'nin jeodinamik evrimi sırasında oluştuğu sırayla verilmiştir.

### 3.1. Meta-sedimanter yataklar

Meta-sedimanter yatak grubunun içine, OAKK metamorfikleri protolitlerinin çökmesi sırasında oluşan stratiform/sedimanter yataklar (büyük bir olasılıkla protolitlerle eş zamanlı oluşan sedimanter-eksalatif yataklar) girmektedir. Bu yataklar metamorfizma esnasında kısmen remobilize olmuş, kısmen orijinal konumlarını koruyarak bugünkü meta-sedimanter yatakları oluşturmuştur. Yozgat (Sarıkaya), Niğde (Elmadere) yörelerinde metamorfik kayaların, özellikle mermerlerin foliyasyon düzlemlerine uyumlu olarak bulunan, manyetitçe zengin Fe, ve Gülşehir (Nevşehir) civarındaki kuvarsit-mermer düzlemleri arasında düzlemlere uyumlu barit yatakları bu türe örnek yataklardır.

### 3.2. Skarn yatakları

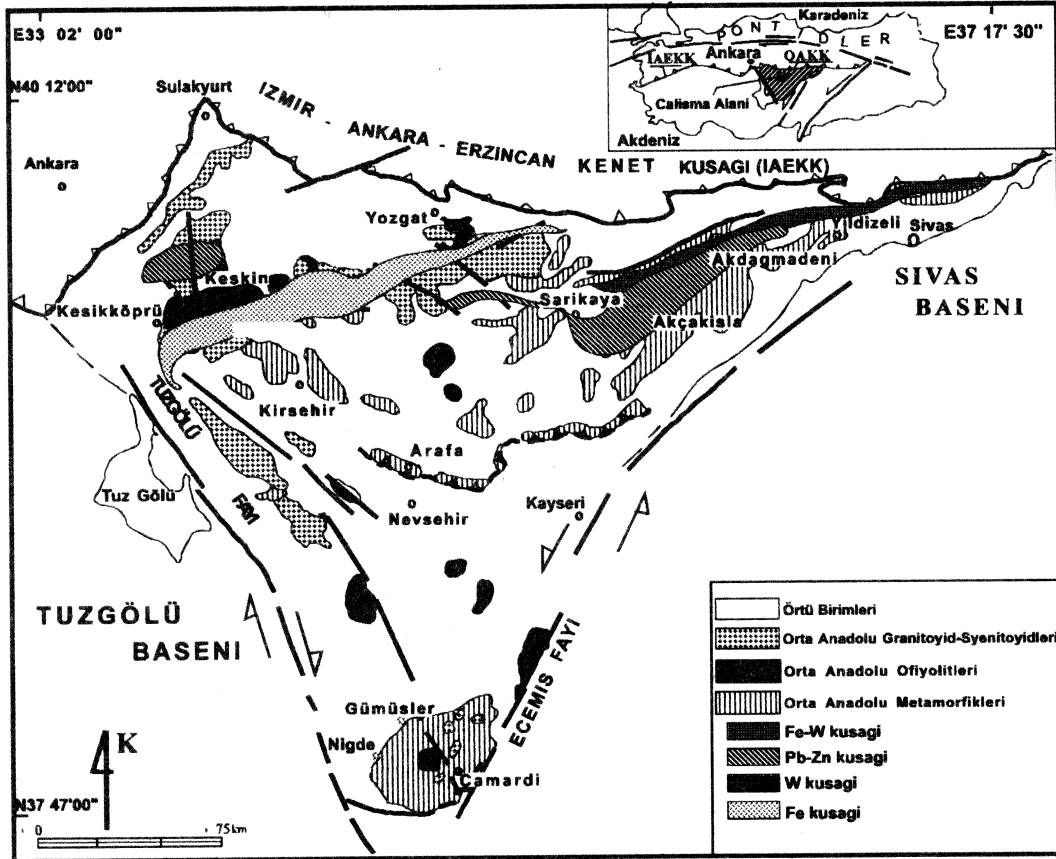
Bu grup OAKK'nın kapladığı alan içinde, metamorfikler ve plütonik kayaların yüzelediği her alanda gözlenen en belirgin gruptur. Skarn ve skarnlaşmayla ilgili yataklar grubu, kalsik exoskarn türünden demir, tungsten, kurşun-çinko yatak türleri ile temsil edilir. Tüm skarn yatakları gözönüne alındığında, yataklar plütonik kayaktan mermere doğru; W-Fe-Pb-Zn yatakları şeklinde bir zonlanma gösterirler (Şekil 1). Skarnlar OAKK içinde kalsiyumlu ekzoskarn yataklar sınıfına girerler ve içerdikleri metale göre Fe-skarn, W-skarn, ve Pb-Zn-skarn yatakları olarak sınıflandırılırlar. Kuşcu (1997) ve Kuşcu ve Erler (1999) bu yatakları piroksen bileşimlerine göre aynı zamanda Cu-Fe, Pb-Zn-W skarnları, magmatik petrojenez ve skarn ilişkisine göre de Cu, Mo, W-Sn skarnları (Kuşcu, 1997) olarak sınıflamıştır. Fe-skarn yatakları, tüm yataklar içinde bölgede dağılımı en fazla olanları ve en çok işletilenleridir (Şekil 1).

#### 3.2.1. Fe-skarn yatakları

Fe-skarn yatakları küçük izole granitoid yüzleklerinin aksine, batolitik kütlelerin mermerlerle yaptığı dokanaklar boyunca, ve plütonik kayalara daha yakın kısımlarında gelişen (Şekil 1) proksimal skarn yataklarıdır (Kuşcu ve Erler, 1998). En tipik mostraları Kesikköprü, Çelebi ve Kaman civarında ve Akdağmadeni ve Yıldızeli civarında görülür. Yataklar cevher minerali olarak manyetit ve hematit içermektedir. Bu iki mineralden başka, yataklarda pirit ve kalkopirit yerel olarak bulunmaktadır. Skarn mineralleri, piroksen, granat ve kuvars olup cevher 2-13m kalınlığında merccekler halinde bulunur (Oral, 1971; Bayhan, 1984).

#### 3.2.2. W-skarn yatakları

Bu tip yataklar, Fe-skarn tipi yataklara benzer özellikler sunar ve Fe tipi yatakların yüzelediği bölgelerde veya onlara yakın alanlarda yüzelebilir. Ancak, granitoid-mermer dokanaklarının granitoidde daha yakın kısmında gelişirler (Şekil 1). En tipik mostralarını Çelebi, Akdağmadeni, ve Yıldızeli civarında verirler. Yataklardaki skarn mineralleri, granat, aktinolit, tremolit, diyopsit, epidot, kuvars, ve kalsittir. Yatakları oluşturan cevher mineraleri şelit, manyetit ve kalkopiritir (Aydoğanlı, 1978).



Şekil 1. Orta Anadolu Kristalen Karmaşığı'nda gözlenen skarn kuşakları (Kuşcu ve Erler, 1998)

#### 3.2.3. Pb-Zn-skarn yatakları

W-skarn ve Fe-skarn tipi yatakların aksine, Pb-Zn skarn yatakları metamorfiklerin kalın ve masif kütleler halinde yüzelediği bölgelerde gözlenir. OAKK içinde önemli Pb-Zn yatakları Keskin, Akçakışla, Akdağmadeni civarında bulunmaktadır. OAKK'daki diğer skarn yataklarının aksine, Pb-Zn yatakları,

plütonik kayaç-skarn zonu-mermer zonlanmasında, zonun mermer kısmına en yakın ve plütonik kayaca en uzakta gelişen distal yataklardır (Şekil 1). Cevher mineralleri sfalerit, galen, kalkopirit ve vitişenit olup az miktarda hematit ve spekülarit de bulunur. Kurşun ve çinkonun yanında bakır ve gümüşün varlığı da dikkat çeker. Özellikle Keskin ve Lökköy civarında gümüş miktarı daha da yüksektir. Skarn mineralleri klinopiroksen, tremolit, aktinolit, epidot, granat, pirit ve hematittir.

### 3.3. Hidrotermal yataklar

Hidrotermal yataklar değişik türde metamorfik kayaçlar (gnays-mermer-kalksilikat mermer) veya plütonik kayaçlar içinde damar ve mercıklar halinde gelişmiş yataklardır. Oluşumları için değişik teoriler öne sürülse de bunlardan üç tanesinin uygunluğu konusunda fikir birliği edilmektedir. Öne sürülen teoriler temel olarak epijenetik hidrotermal oluşumu kabul etmelerine rağmen, taşınan metalin kaynağı konusunda ayrılığa düşmektedirler. Bu teoriler şöyle sıralanmaktadır, (1) doğrudan granitoidlerden oluşma, (2) kaynak tabakadan ikincil remobilizasyonla oluşma ve (3) yanal salgı yoluyla oluşma (İleri, 1975, Kuşçu ve Erler, 1992).

Sadece OAKK gözününe alındığında, yatakların oluşması için bu teorilerden kaynak tabakadan remobilizasyon ve yanal salgı yoluyla oluşum teorilerinin geçerli olabileceği düşünülmektedir (Kuşçu ve Erler, 1998). Dünyada OAKK benzeri kayaçları içeren bölgelerde, benzer türde metalleri içeren hidrotermal yatakların oluşması için yukarıda sözü edilen iki teorinin doğruluğu kabul edilmektedir. Doğu Akdeniz'deki bazı "strata-bound" şelit yatakları (Maucher, 1976), Doğu Alp'lerdeki Alt Paleozoik yaşlı W-Sb-Hg yatakları (Höll, 1977), Yellowknife Greenstone Kuşağı'ndaki (Kanada) kuvarşlı altın cevherleşmeleri; Güney Afrika'daki bazı yataklar (İleri, 1975), Turhal antımuhan yatakları (Gökçe, 1984; Gökçe ve Spiro, 1991), Kalecik/Karaburun yöresindeki cıva yataklarının (Sözen, 1977) oluşması için kaynak tabakadan remobilizasyon yoluyla oluşum teorisi öne sürülmektedir.

#### 3.3.1. Hipotermal yataklar

Hidrotermal evrenin yüksek sıcaklıkta oluşan yatakları oldukları için skarnlaşmayla ve skarn yataklarıyla eşyaşlı ya da hemen sonra oluşan yataklar olarak değerlendirilmektedirler. OAKK hipotermal yatakları kuzey kesimlerdeki (Şekil 2) molibden yataklarıyla temsil edilirler. Yatakların yan kayaçları çoğunlukla Hüseyinbeyobası-Keskin civarında yüzeyleyen granitik kayaçlardır.

Mo-yatakları graniti kesen D-B uzanımlı kuvars damarları halindedir. Damarlarda ayrıca oldukça yaygın pirit oluşumları ve az miktarda kalkopirit gözlenmektedir. Bölgede yaygın arjillik, kloritik ve serizitik alterasyon bulunmaktadır.

#### 3.3.2 Ksenotermal yataklar

Bu tür yataklar OAKK'nın güney kesimlerinde bulunan tungsten içeren antımuhan ve cıva yataklarıdır. Yatakların yan kayaçları gnaysik ve kuvarşitik kayaçlardır. W-Sb-Hg yatakları Niğde yöresinde (Şekil 2) Gümüşler ve Örendere (Gizaw, 1992) civarında bulunur. Yataklar çoğunlukla damar ve damarcık şeklinde olup cevher mineralleri şelit, stibnit, ve zinoberdir (Bircan ve Aydoğanlı, 1969; İleri, 1975; Aydoğanlı, 1978; Yıldız, 1978; Sezer, 1979; Gizaw, 1992).

#### 3.3.3. Epitermal yataklar

Bu grubun içine metamorfik kayaçlar içinde damar ve mercıklar halinde bulunan epijenetik Sb-Hg ve OAKK'nde genelde alkali plütonik kayaçlarla birlikte bulunan florit, Cu, Fe yatakları girer (Şekil 2). Oluşumlarında hem litolojik kontrol hem de yapısal kontrol etkilidir.

Epitermal yataklar mermer-gnays dokanalarında yapısal kontrolla yerleşmiş ya da kaynak tabakadan remobilizasyonla oluşan Sb-Hg, Sb yatakları, Akdağmadeni yöresinde bulunan Fe, Mn, ve plütonik kayaçlar içinde damarlar halinde bulunan florit yataklarıdır. Sb-Hg, Sb yatakları Niğde yöresinde oluşmalarında, mermer-gnays dokanalarını kontrol eden DKD-BGB yönlü eski fay düzlemleri önemli rol oynamıştır. Yataklar genelde kriptokristalen bir kuvars damarı ile birlikte bulunur. Madsan ve Dedeman (Çamardı-Niğde) bu yatakların işletildiği önemli ocaklardır.

Hidrotermal florit yatakları, hidrotermal eriyiklere bağlı hidrotermal evrenin son aşamalarında oluşan magmatik faaliyetlerle ilgili yataklardır. Bu tür yataklar OAKK içinde Kaman ve Yerköy, Çiçekdağı ve Sivas (Yıldızeli) yörelerinde yüzeyleyen alkali siyenitlerle birlikte kuvars-florit damarları halinde, kısmen breş ve saf cevher halinde bulunur. Sadece Yıldızeli yöresinde granit-mermer dokanağında bulunur. Floritler üzerinde yapılan sıvı kapanım çalışmaları bu yatakların büyük bir kısmının oluşum sıcaklıklarının 200°C'yi aşmadığını göstermektedir (Ulu, 1996).