



## Güneybatı Anadolu'da kabuk ve üst mantoda sismik dalgaların frekans bağımlı soğurulması

*Frequency dependent attenuation of seismic waves in the crust and upper mantle in southwest Anatolia*

Şakir ŞAHİN<sup>1</sup>, Ömer ALPTEKİN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, ISPARTA

<sup>2</sup> İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İSTANBUL

Geliş (received) : 24 Ocak (January) 2006

Kabul (accepted) : 04 Temmuz (July) 2006

### ÖZ

Bu çalışmada, genliğin zaman ve uzaklıkla azalmasına dayanan koda dalgası ve koda normalizasyon yöntemleri kullanılarak güneybatı Anadolu'da kabuk ve üst mantoda frekansa bağımlı olarak yayılan makaslama (S) dalgasının soğurulma özellikleri incelenmiştir. Bu yöntemler, heterojen bir ortamda saçınmış koda dalgalarının soğurulma özelliklerine dayanır. Veriler merkez frekansı 0.75, 1.5, 3.0, 6.0 ve 8.0 Hz olan Butterworth filtresi ile süzgeçlenmiş, sismogramların koda genliklerinin eğimlerinden koda kalite faktörü  $Q_c$  ve S-dalgası ile koda dalgası spektral genlik oranlarından bölgedeki  $Q_s$  soğurulma özellikleri belirlenmiştir.  $Q_c$  değerleri hem zamanın (30-150 s), hem de frekansın (0.75-8.0 Hz),  $Q_s$  değerleri ise S-dalgası ve koda dalgası spektral genlik oranlarının kaynak-alıcı uzaklığının fonksiyonu olarak elde edilmiştir. Güneybatı Anadolu için koda Q ( $Q_c$ ) değerleri  $18 \pm 3$  ile  $658 \pm 84$ , S dalgası Q ( $Q_s$ ) değerleri ise  $77 \pm 4$  ile  $697 \pm 86$  arasında saptanmıştır.  $Q_c$  değerlerinin frekans bağımlılığı  $0.886 \pm 0.007$  ile  $0.859 \pm 0.027$  arasında ve 40-160 km kaynak-alıcı mesafesi için S dalgası frekans bağımlılık derecesi  $0.996 \pm 0.014$  olarak bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Güneybatı Anadolu, heterojenite, koda dalgası, saçınım, soğurulma.

### ABSTRACT

*The attenuation of the shear (S) wave in the earth's crust and upper mantle in southwest Anatolia is estimated by using the coda wave and coda normalization methods which are based on the decrease of coda wave amplitude in time and distance. These methods depend on the attenuation properties of scattered coda waves in a heterogeneous medium. Seismograms are Butterworth filtered for centre frequencies of 0.75, 1.5, 3.0, 6.0 and 8.0 Hz, and the coda quality factor ( $Q_c$ ) values are computed from the slope of coda wave amplitude decay and S wave quality factor  $Q_s$  values are determined from the ratio of S wave and coda wave spectral amplitudes. The  $Q_c$  values are calculated both as a function of time (30-150 sec) and as a function of frequency (0.75-8.0 Hz),  $Q_s$  values are determined as a function of the ratio. The  $Q_c$  and  $Q_s$  values vary from  $18 \pm 3$  to  $658 \pm 84$  and from  $77 \pm 4$  to  $697 \pm 86$ , respectively, in the southwest Anatolian region. The frequency dependence of  $Q_c$  is described by  $0.886 \pm 0.007$  and  $0.859 \pm 0.027$  for lapse times of 30 sec and 130 sec respectively, and the frequency dependence of S wave attenuation between 40-160 km epicentral distance is described by  $0.996 \pm 0.014$ .*

**Key words:** Southwest Anatolia, heterogeneity, coda wave, scattering, attenuation.

Ş. Şahin

E-mail: sakir@mmf.sdu.edu.tr

## GİRİŞ

Kabuk ve manto yapısının belirlenmesinde elastik dalga yayılımının ve buna bağlı soğurulma özelliklerinin araştırılması çok önemlidir. Sismik dalgaların soğurulması, kabuk içerisindeki heterojenite ve/veya elastik olmayan etkiden dolayı dalga enerjisinin zamanla ve uzaklıkla azalmasıdır. Soğurulmanın belirlenmesiyle kabuk içerisindeki süreksizliklerin fiziksel özellikleri, yapıların devamlılığı, sıcaklık değişimleri vb. gibi hususlar ortaya konulur. Tektonik bakımdan aktif olduğu bilinen güneybatı Anadolu'da S-dalgası soğurulma özelliklerinin ortaya konulmasında tektonik süreksizliklerde saçınımlar ile oluşan koda dalgalarının yayılım özelliklerinden yararlanılmıştır.

Koda dalgalarının oluşum mekanizmaları üzerinde ilk çalışma Aki (1969) ve Aki ve Chouet (1975) tarafından yapılmış ve Aki (1980) tarafından kodanın oluşumu üzerine modeller geliştirilmiştir. Bu modellerden tek saçılma modeli günümüze değin bir çok araştırmacı tarafından yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Koda dalgalarından elde edilen kalite faktörü Q, tektonik olarak aktif ve durağan bölgelerin ayırımını en iyi gösteren değişkendir.

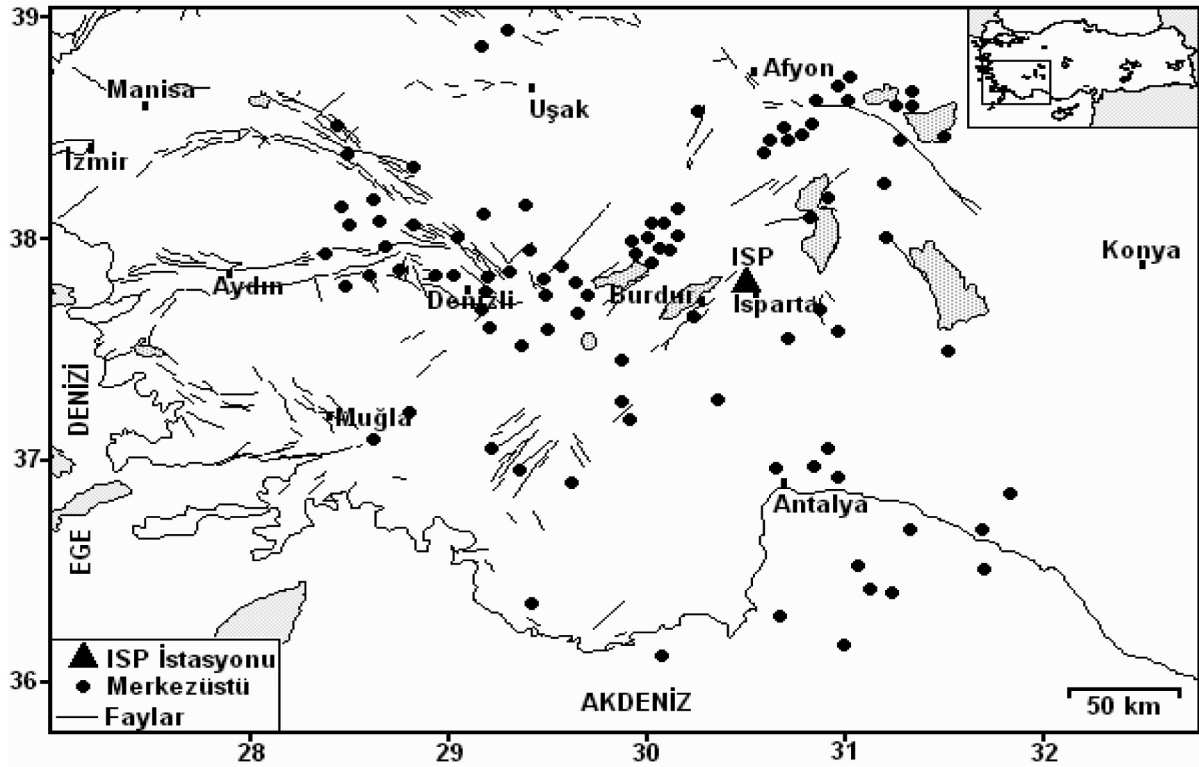
Kodanın oluşum mekanizmasıyla ilgili olarak Sato (1977) tarafından geliştirilen ve günümüzde en popüler olan tek saçılma modeli, soğurulma hesapları için kullanılmaktadır. Bu çalışmada, tek saçılma yöntemi çerçevesinde ilk kez Sato (1977) tarafından önerilen koda dalgası yöntemi kullanılarak soğurulma parametresi  $Q_c^{-1}$  hesaplanmıştır. Koda Normalizasyon Yöntemi ile S-dalgasının koda dalgasına spektral genlik oranları depremlerin Isparta (ISP) geniş bant deprem istasyonuna olan uzaklığın fonksiyonu olarak görüntülenip, genlik oranının azalımından soğurulma parametresi  $Q_s^{-1}$  hesaplanmıştır (Aki, 1980; Frenkel vd., 1990). En son aşamada, bölgeler için ortalama soğurulma parametresi  $Q^{-1}$  tanımlanırken  $Q_c^{-1}$  ve  $Q_s^{-1}$  değerleri birlikte kullanılmıştır. S-dalgası yayılım özelliklerinin, diğer bir ifadeyle soğurulma yapısının belirlenmesi ile ortamın heterojenliği ve bunun dalga yayılımına etkisi açıklanmaya çalışılmıştır.

## TEKTONİK

Güneybatı Anadolu, Alp-Himalaya orojenik kuşağı içinde yer almakta olup (Ketin, 1977), Ege, Anadolu ve Afrika plakalarının doğrudan dokanak halinde bulunduğu bindirme zonu içindedir. Ege hendeği ya da kuşağı boyunca, Afrika levhası kuzeye Ege-Anadolu levhasının altına  $5.5 \pm 2$  mm/yıllık bir hızla dalmaktadır (Toksöz, 1975; Le Pichon vd., 1973; Papazachos, 1973). Güney Ege'de KKD-GGB doğrultusunda %30-80, güneybatı Anadolu'da ise aynı doğrultuda %20 oranında genişleme meydana gelmiştir (Le Pichon ve Angelier, 1979). Ege'deki gerilme biçimi, Ege litosferi içindeki kuvvetlerce denetlenmekte ve Ege-Anadolu levhasındaki yüzey devinimleri, derin astenosfer içindeki konveksiyon hücrelerinin özelliklerini yansıtmaktadır (Mc Kenzie, 1970, 1972 ve 1978). Kıtaların çarpıştığı yerlerde depremler geniş kuşaklar içerisinde oluşurlar ve buralardaki deformasyonların karmaşık olduğuna işaret ederler (Alptekin, 1973). Güneybatı Anadolu'daki depremler Ege-Anadolu bloğunun batıya doğru hareketinin yanı sıra, Girit ve Kıbrıs yitim zonlarıyla ilgilidirler (Dewey ve Şengör, 1979). Koçyiğit vd. (2002)'ne göre güneybatı Anadolu'da etkin olan blok faylanmalar değişik doğrultularda birbirlerini kesen normal faylar şeklinde gelişmişlerdir. Bu kırıklar, değişik doğrultulu, ancak aynı dönemde oluşmuş faylardır (Şekil 1). Güneybatı Anadolu'da KD-GB, KB-GD, D-B ve K-G gidişli ve eş yaşlı normal fay sistemlerinin gelişmiş bulunması, bu alanın yeni tektonik dönemde çekme tektoniği denetiminde gelişen blok faylanma ile oluştuğunu kanıtlamaktadır (Koçyiğit, 1984). Grabenleşme, birbirini izleyen basınç ve çekim modeli içinde yer almaktadır. Kuvaterner'de tüm Ege ve Anadolu basınç altında kalmıştır (Papazachos ve Comninakis, 1977).

## VERİ TABANI

Bu çalışmada kullanılan veriler, güneybatı Anadolu'da meydana gelmiş depremlerin jeofon kayıtlarına bağlı Isparta (ISP) istasyonunda üç bileşen olarak kaydedilmiş toplam 78 adet depreme ait kayıtlardan oluşmaktadır. Depremler güneybatı Anadolu'da ( $36^{\circ}$ - $39^{\circ}$  K enlem ve  $28^{\circ}$ - $32^{\circ}$  D boylamlarında) 1996-2000 yılları arasında



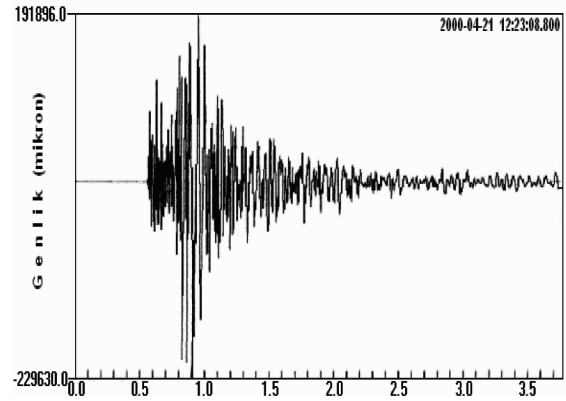
Şekil 1.  $Q_c$  ve  $Q_s$ 'in belirlenmesinde kullanılan depremlerin merkezüstü dağılımı ve güneybatı Anadolu'nun yalınlaştırılmış sismotektonik haritası (Şaroğlu vd., 1992; Veriler GEOFON'a bağlı Isparta (ISP) istasyonunda üç bileşen sayısal olarak kaydedilmiş olan 1996-2000 tarihleri arasında elde edilmiştir).

Figure 1. The epicenters of the earthquakes used in this study to determine  $Q_c$  and  $Q_s$  and simplified seismotectonic map of southwestern Anatolia (Şaroğlu et al. 1992; The data was collected between 1996 and 2000 at the Isparta (ISP) station of the GEOFON array).

kaydedilmiş olup, sismograf tepki fonksiyonu 0.02-50 Hz'dir. Veriler, 20 Hz broad-band düşey bileşenden oluşmaktadır. Kullanılan depremlerin yerel büyüklükleri ( $M_L$ ) 3 ile 5 arasında değişmektedir. Deprem kayıtlarında, sinyal gürültü oranı 2 ve daha büyük olarak kabul edilmiştir. Depremlerin merkezüstü uzaklıkları ise, 40 km ile 160 km arasında değişmektedir (Şekil 1 ve 2).

## YÖNTEM

Sato (1977) tarafından geliştirilen tek saçılma modeli, özellikle 100 km'den daha fazla kaynaklı mesafesi içeren verilerin soğurulma hesapları için uygulanmıştır. Tekil saçılma (Single Isotropic Scattering - SIS) olarak adlandırılan bu model çerçevesinde koda dalgası yöntemi ve koda normalizasyon yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 2. Güneybatı Anadolu'da 21/04/2000 tarihinde 38.84 K enlem ve 29.33 D boylamında oluşan ve ISP istasyonunda kaydedilen  $M_L = 5.2$  büyüklüğünde bir depremin düşey bileşen sinyali ( $t_0 = 12:23:08.80$  UT).

Figure 2. Vertical component recording at the ISP station of an earthquake with  $M_L = 5.2$  which occurred in southwest Anatolia on April 21, 2000 ( $t_0 = 12:23:08.80$  UT, epicenter coordinates, 38.84 N and 29.33 E).

### Koda Dalgası Yöntemiyle $Q_c$ 'nin Belirlenmesi

Küresel yayılım ve izotropik saçılma varsayımına bağlı olarak koda kalite faktörü  $Q_c$

$$\ln(A_c(f, t) / K(a)) = \ln A_0(f) - \pi f t / Q_c \quad (1)$$

şeklinde tanımlanır. Burada  $A_0(f, t)$  koda dalgasının genliği,  $A_0$  kaynak faktörü,  $f$  frekans ve  $t$  depremin oluş zamanından itibaren ölçülen zamandır.  $K(\alpha)$  geometrik yayılım faktörü,

$$K(\alpha) = \frac{1}{\alpha} \ln \left( \frac{\alpha + 1}{\alpha - 1} \right) \quad (2)$$

eşitliği ile verilmektedir.  $K(\alpha)$ , S-dalgasına yakın kesme zamanında ( $t_c$ ) artan koda dalgası genliklerinin etkisini içermektedir.  $a = t / t_s$  ile verilen eşitlikte  $t_s$ , S-dalgası seyahat zamanını ifade etmektedir. Eşitlik (1)'den görüldüğü gibi,  $\ln(A_c(f, t) / K(a))$  ve  $t$  arasında doğrusal bir ilişki vardır ve bu ilişkiden elde edilen eğimden  $Q_c(f)$  hesaplanır (Sato, 1977). Burada  $b$  eğim değeridir. Eşitlik (1)'de  $A_c(f, t)$  merkez frekansı "f" olan bant geçişli filtre ile süzülükten sonra elde edilir. Koda zarfı kayan bir zaman penceresindeki sinyalin RMS genliklerinin bulunmasıyla elde edilir. Bu değer verilen bir bölge için alıcıdan bağımsızdır (Aki, 1969; Aki ve Chouet, 1975).

Novela-Casanova ve Lee (1991), kesme zamanına bağlı olarak koda genliklerinin hesaplanmasında, Sato (1977)'nin geometrik yayılım faktörünün yüksek soğurulmalı ortamlar için iyi sonuç verdiğini göstermiştir.  $Q_c$ , en küçük kareler yöntemi kullanarak her frekans için hesaplanmıştır.  $Q_c$ 'nin frekans bağımlılığı

$$Q_c = Q_0 f^n \quad (3)$$

şeklinde ifade edilir. Burada;  $Q_0$  1 Hz'deki  $Q_c$  değerini,  $f$  frekansı,  $n$  ise  $Q_c$ 'nin frekans bağımlılığı derecesini gösterir.

Bu çalışmada, sinyal/gürültü oranı 2 ve daha büyük olan sismogramlar seçilmiştir (bkz. Şekil 2). S varış zamanından başlayarak, sinyal/gürültü oranının 2 ve üstü olduğu noktaya kadar olan kısım içindeki sismogram parçası kullanılır.

miştir. Koda Q'nun RMS genliğini hesaplamak için kullanılan zaman penceresinin uzunluğu, koda Q'nun azalımı ile ilişkilidir. Koda Q azalımı; depremlerin büyüklüğü, uzaklık ve kesme zamanının fonksiyonudur. Sismogramın seçilen kısmı, 8 kutuplu ardışık Butterworth filtresi kullanılarak, merkez frekansları 0.75, 1.5, 3.0, 6.0 ve 8.0 Hz'lerde bant geçişli olarak filtrelenmiştir. Sismogramın filtrelenmiş kısmının koda zarfı, 1 saniye aralıklar ile 2 saniye genişlikli zaman penceresi zaman serileri üzerinde kaydırılarak ve bu zaman pencereleri içinde kalan sinyale ait RMS hesaplanarak elde edilmiştir.

### Koda Normalizasyon Yöntemiyle $Q_s$ 'in Belirlenmesi

Koda normalizasyon yöntemi; değişik doğrultularda yayılan birçok deprem verisinden hesaplanan ortalama kaynak büyüklüğü ve zemin büyütmesinin, kaynak-alıcı doğrultusundan bağımsız olduğu ve ortalama değerler coğrafik olarak değişim gösterdiği varsayımına dayanmaktadır (Aki, 1980). Buna göre; S dalgası spektral genliğinin koda spektral genliğine bölünmesiyle kaynak, zemin ve alet ile ilgili etkiler giderilmektedir (Aki, 1980).  $Q_s$  değerleri, her istasyonda elastik olmayan koşulların, ya da saçınımın sebep olduğu kabuğa ait S dalgası genliğinin azalımından hesaplanır (Aki, 1980; Frankel vd., 1990). Bu amaçla S dalgasının ve koda dalgasının 128 ( $\Delta t = 6.40$  sn) noktalık uzunlukları seçilerek genlik spektrumları hesaplanmıştır. Aki (1980) ve Frankel vd. (1990) tarafından verilen;

$$\langle \ln \{ D^y A_s(f) / A_c(f) \} \rangle = a - b * D \quad (4)$$

ifadesi uzaklığın fonksiyonu olarak grafiği çizilmiştir. Burada;  $D$  kaynak-alıcı uzaklığı,  $g$  geometrik yayılım etkisi,  $A_s(f)$  S dalgası spektral genliği ve  $A_c(f)$  koda dalgası spektral genliğidir. Elde edilen sonuçlar, merkezüstü uzaklığına bağlı olarak işaretlenerek noktaları temsil eden en uygun doğru geçirilir.  $Q_s$  değeri,

$$Q_s = \frac{\pi f}{b \beta} \quad (5)$$

bağıntısından hesaplanır. Burada  $b$  doğrunun eğimi,  $f$  frekans ve  $\beta$  S-dalgası hızıdır. Uzunlu-



ğu 6.40 s olan zaman penceresi, S-dalgası için sırasıyla  $A_s(f)$  ve  $A_c(f)$  parametrelerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. S-dalgasının koda dalgasına genlik oranının ortalamaları, oktav frekans bandları 0.75, 1.5, 3.0, 6.0 ve 8.0 Hz'lerde merkezlenecek şekilde hesaplanmıştır. Bu işlem, istasyondan  $D-\Delta D$  ve  $D+\Delta D$  uzaklık aralığında yer alan her deprem için yinelenmiştir.  $\Delta D$  değeri 10 km olarak alınmıştır.  $\gamma$ , geometrik yayılım değerinin Frankel vd. (1990)'nin yapay modeller üzerinde yaptıkları çalışmalara göre merkezüstüne uzaklığın 15 ile 90 km arasında olması halinde  $\gamma$ 'nin 1 olarak alınmasının uygun olacağı ortaya konmuştur. Lg dalgalarına göre yapılan çalışmalarda merkezüstüne uzaklığın 100 ile 400 km olduğu durumda geometrik yayılım etkisinin  $0.7\pm 0.2$  olduğu saptanmıştır. Bu çalışmada,  $\gamma$  değeri 100 ile 160 km arasındaki uzaklık için 0.9 olarak alınmıştır.

## BULGULAR

Koda analizi ile farklı kesme zamanlarında frekansın fonksiyonu olarak  $Q_c$  değerleri (Çizelge 1) ve bunların frekans bağımlılıkları ile korelasyon katsayıları (Çizelge 2) hesaplanmıştır. Şekil 3 ve 4'de ortalama  $Q_c$  değerlerinin kesme zamanına ve frekansa bağlı olarak değiştiği görülmektedir.  $Q_s$  değerinin hesaplanması için, S dalgası ve koda dalgası spektral genlik oranları farklı frekanslarda episantr uzaklığının fonksiyonu olarak görüntülenmiştir (Şekil 5). Çizelge 3'de frekansın fonksiyonu olarak hesaplanan  $Q_s$  değerleri verilmiştir.

Frekans arttıkça ortalama  $Q_c$  değerlerinin kesme zamanına bağımlılığı da artmaktadır. Farklı kesme zamanları için ortalama  $Q_c$  değerlerinin

frekans bağımlılığı bölgedeki fay zonlarının neden olduğu üst kabuktaki güçlü heterojenliklere karşılık gelmektedir. Tek saçılma modeli kuramına göre, ortalama  $Q_c$ 'ye karşılık gelen hacim, odağa uzaklık ve istasyonların oluşturduğu elipsoid ile tanımlanır (Lee vd., 1986). Örneklenen alan kesme zamanı arttıkça artmakta ve tüm kabuğu kapsamaktadır.  $D$  kaynak-alıcı mesafesi (km),  $v$  ortam hızı (koda dalgaları için 3.5 km/s alınabilir),  $t$  kesme zamanı  $x$  ve  $y$  yüzey koordinatları olmak üzere kodanın oluşumuna neden olan saçıcıların bulunduğu hacim,

$$\frac{x^2}{(vt/2)^2} + \frac{y^2}{[(vt/2)^2 - (D^2/4)]} = 1 \quad (6)$$

ifadesiyle verilir (Pulli, 1984). Merkezüstüne uzaklığın 15 km olduğu bir depremde, kesme zamanı 40 s'deki koda dalgaları, en fazla 100 km'lik bir uzaklık, 50 km'lik bir derinlikte ve toplam 15.000 km<sup>2</sup>'lik bir alanda konumlanan saçıcılardan etkilenmektedirler (Kempeler ve Garfunkel, 1994; Akıncı vd., 1996). Bu nedenle, büyük kesme zamanları için hesaplanan ortalama  $Q_c$  değerlerindeki farklar, esas olarak derin kabuktaki heterojenliklerden cisim dalgalarının geri saçınımdan kaynaklanmaktadır.

Eşitlik (3) ile temsil edilen frekans bağımlılığı, çalışılan bölgenin tektonik aktivitesi hakkında bilgi verir. Frekans bağımlılığının yüksek ve  $Q_0$  değerinin düşük olması, ortamın tektonik olarak aktif olduğunu gösterir. Güneybatı Anadolu'da düşük kesme zamanları için elde edilen yüksek frekans bağımlılığı, sığ kabuğun derinlere oranla daha heterojen olduğunu göstermektedir. Güneybatı Anadolu'da sığ kabukta düşük ortalama

Çizelge 1. Farklı kesme zamanları için frekansın fonksiyonu olarak kestirilen  $Q_c$  kalite faktörü ve standart sapması. Table 1.  $Q_c$  as a function of frequency for the different lapse times and the standard deviation values.

Frekans (Hz)	Kesme Zamanı (s)						
	30	50	70	90	110	130	150
0.75	18±3	33±5	50±4	63±4	71±3	78±4	88±7
1.5	42±4	50±4	87±3	97±4	120±5	131±4	163±11
3.0	49±6	95±6	146±4	178±6	219±10	255±20	335±49
6.0	121±6	187±6	241±7	308±14	419±28	531±60	542±79
8.0	163±24	239±19	303±12	428±14	549±42	750±157	658±84

Çizelge 2. Farklı kesme zamanları için frekans bağımlı  $Q_c$  değerleri ve korelasyon katsayıları (r).  
Table 2. The frequency dependent  $Q_c$  values for the different lapse times and the correlation coefficients, (r).

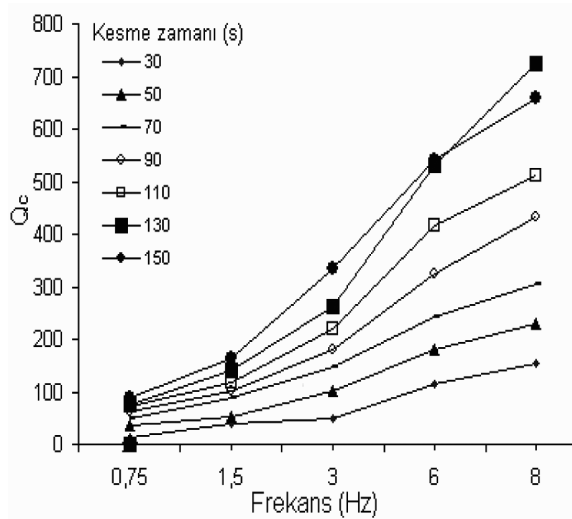
Kesme zamanı (s)	$Q_c = Q_0 * f^n$	r
30	$Q_c = (24 \pm 3) * f^{0.886 \pm 0.007}$	0.989
50	$Q_c = (39 \pm 4) * f^{0.860 \pm 0.0043}$	0.988
70	$Q_c = (63 \pm 3) * f^{0.755 \pm 0.015}$	0.999
90	$Q_c = (74 \pm 5) * f^{0.809 \pm 0.002}$	0.997
110	$Q_c = (87 \pm 3) * f^{0.870 \pm 0.018}$	0.998
130	$Q_c = (95 \pm 3) * f^{0.962 \pm 0.054}$	0.998
150	$Q_c = (116 \pm 10) * f^{0.859 \pm 0.027}$	0.994

$Q_c$  değerlerinin elde edilmesi, bölgede üst kabukta yaygın olarak gözlenen Isparta Açısı'na ait fay sistemleri (Burdur-Fethiye ve Akşehir - Antalya körfezi) ve bölgede etkin olan horst-graben yapılarıyla ilişkilidir.

Frekans bağımlılık derecesinin, (n),  $0.755 \pm 0.015$  ile  $0.962 \pm 0.054$  arasında değiştiği saptanmıştır. Heterojen veya sismik etkinliği yüksek (makaslama zonuyla ilgili) bölgelerin frekans bağımlılık derecesinin 0.7-1.1, daha homojen ve duraylı alanlarda ise 0.2-0.6 arasında değiştiği görülmektedir. Q'nun frekans bağımlılık katsayısı, bölgedeki heterojenitenin göstergesidir. Sığ ortamlarda Q düşük ve frekansa bağımlılık derecesi yüksek (kısa kesme zamanı duru-

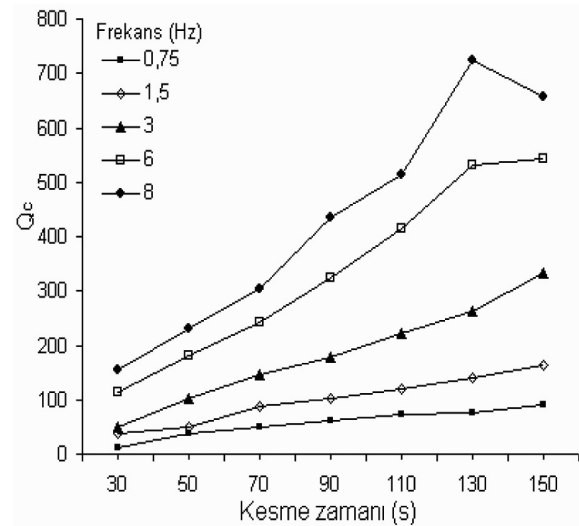
munda), derinlere doğru gidildikçe, Q yüksek ve frekans bağımlılık derecesi düşük olması beklenir. Ancak güneybatı Anadolu'da derinlere inildikçe soğurulmanın azalmasına karşın, frekans bağımlılık derecesinde değişik kesme zamanları için azalma ve artma şeklinde değişim görülmektedir. Bu durumun, bölgede belli derinliklerde var olabilecek düşük hız zonu veya oldukça aktif bir magmatik sokulumdan kaynaklanması söz konusudur. Bu değişim özellikle, Isparta Açısı dışındaki jeotermal havzaların yoğun olduğu (Denizli civarı) kısımlarda görülmektedir.

Ortalama Q değerleri sığ kabukta soğurulmanın derine oranla daha fazla olduğuna işaret etmektedir. Tüm kesme zamanları için ortalama  $Q_c$  de-



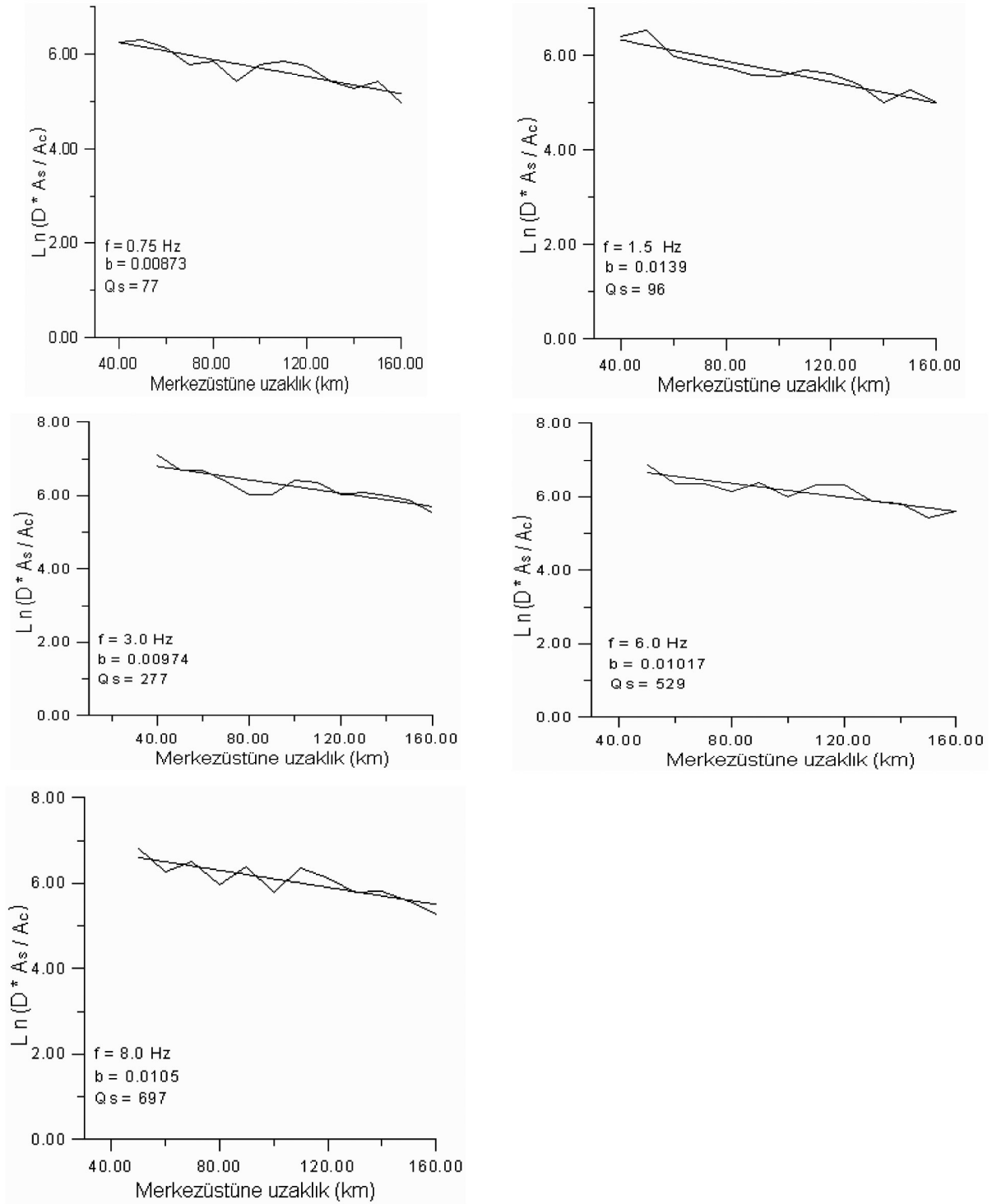
Şekil 3. Güneybatı Anadolu için farklı kesme zamanları için  $Q_c$ 'nin frekansın fonksiyonu olarak görüntülenmesi.

Figure 3. The frequency dependence of  $Q_c$  for different cut-off times in southwest Anatolia.



Şekil 4. Güneybatı Anadolu'da farklı frekanslar için  $Q_c$ 'nin kesme zamanının fonksiyonu olarak görüntülenmesi.

Figure 4. The variation of  $Q_c$  with cut-off time at different frequencies, in southwestern Anatolia.



Şekil 5. Isparta (ISP) istasyonuna ait kayıtlar için Eşitlik (4)'ün sol tarafındaki ifadenin değişik frekanslar (f) için uzaklığın fonksiyonu olarak görüntülenmesi (Doğrusal çizgi en küçük kareler yöntemi kullanılarak veriden doğru geçirme işlemi göstermektedir. Merkezüstüne uzaklık 40-160 km).

Figure 5. Variation of the left hand side of Equation (4) with distance for earthquakes recorded at the ISP station for different frequencies (The straight line represents the least squared fit to data. Epicentral distance is between 40 and 160 km).

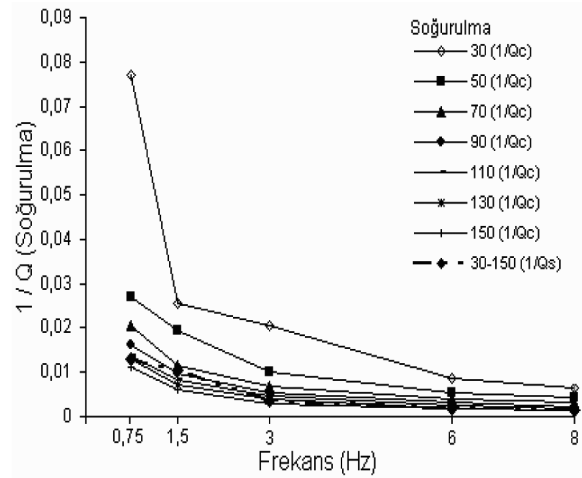
Çizelge 3. Eşitlik (5)'de verilen b değerleri ( $Q_s$  değerleri  $Q_s = (\pi f / b\beta)$  ifadesinden hesaplanmış olup, ifadede S-dalgası hızı,  $\beta = 3.5$  km / s olarak alınmıştır. Merkezüstü uzaklığı 40-160 km'dir.

Table 3. The b values in equation (5) (The  $Q_s$  values were calculated from the equation  $Q_s = (\pi f / b\beta)$  and S-wave velocity is assumed to be 3.5 km / s. Epicentral distances are between 30-160 km).

Frekans (Hz)	a	b	$Q_s$
0.75	6.2022±0.745	0.00873±0.00341	77±4
1.5	6.3074±0.534	0.01390±0.00519	96±6
3.0	6.9514±0.934	0.00974±0.00326	277±10
6.0	6.6729±0.828	0.01017±0.00521	529±36
8.0	6.8047±0.874	0.01050±0.00527	697±86

ğerlerinin frekansa bağımlılık oranı güneybatı Anadolu'da yaklaşık  $f^{0.857 \pm 0.023}$  olarak hesaplanmıştır (bkz. Çizelge 3). Bu değer, Marmara Bölgesi için hesaplanan değerden küçük ( $f^{1.1}$ ) (Horasan vd., 1998), Yunanistan'ın kuzeyinde ( $f^{0.91}$ ) (Hatzidimitriou, 1995), batı Anadolu'da ( $f^{0.76}$ ) (Akıncı vd., 1994) ve Erzincan ve çevresinde ( $f^{0.78}$ ) (Akıncı ve Eyidoğan, 1996) hesaplanan değerlere yakındır.

Güneybatı Anadolu'dan elde edilen verilerden hesaplanan  $1/Q_c$  ve  $1/Q_s$  soğurulma değerleri, frekansın fonksiyonu olarak Şekil 6'de gösterilmiştir. Bu şekilde iki husus dikkati çekmektedir. Birincisi  $Q_c$  değerlerinin frekansa bağlı olarak artması, ikincisi ise düşük frekanslara doğru  $Q_c$  değerlerindeki büyük saçılmadır. Bu saçılma; koda dalgalarının kesme zamanına, daha açık bir tanımlama ile pencere aralığının artmasına bağlı olarak değişik  $Q_c$  değerlerinin elde edilmesi şeklinde yorumlanmıştır. Diğer bir ifadeyle,  $Q_c$  değerlerindeki zamana ( $t_c$ ) bağlı değişim, bölgede derinlikle soğurulmanın değiştiğini belirleyen bir ilişkiyi ortaya koymaktadır (Pulli, 1984; Ibanez vd., 1990). Şekil 3'deki  $Q_c$  ve Şekil 6'daki  $1/Q_c$  değerlerindeki saçılma, kullanılan verinin geniş bir alan üzerinde incelenmesinden kaynaklanmaktadır. Eşitlik (1)'e göre, 30 s kesme zamanında ve 100 km merkezüstü uzaklığına sahip depremlere ait veriler kullanılarak elde edilen  $Q_c$  değerleri 20-25 km derinliğindeki bir alandan, 70 s kesme zamanında ve 150 km merkezüstü uzaklığına sahip deprem verileri kullanılarak elde edilmiş  $Q_c$  değerleri ise 100-110 km derinlikteki bir alandan elde edilmiş olmaktadır. Böylesine bir hacimde  $Q_c$  değerlerinin oldukça farklı değerler göstermesi doğaldır.



Şekil 6. Güneybatı Anadolu'da farklı kesme zamanları için frekansın fonksiyonu olarak  $Q_c^{-1}$  ve  $Q_s^{-1}$  değerleri (Kesme zamanı 30-150 s aralığındadır).

Figure 6. Computed  $Q_c^{-1}$  and  $Q_s^{-1}$  values as a function of frequency in southwestern Anatolia for different cut-off times (between 30-150 sec).

## SONUÇLAR

Bu çalışma sonucunda güneybatı Anadolu'da yüksek bir soğurulma yapısının varlığı anlaşılmaktadır. Zamana bağlı olarak gözlenen düşük  $Q_c$  değerleri ve uzun-kısa kesme zamanlarına karşılık gelen bu değerlerin yaklaşık olarak aynı derecede yüksek frekans bağımlılıkları, derinlikle ortamın heterojenitesini kaybetmediğini ve soğurulmayı arttıran karmaşık bir yapının ya da üst manto malzemesinin kabuğun üst kısmına yakın olduğuna işaret etmektedir. Güneybatı Anadolu'nun tümünde toplam 78 depreme ait veri kullanılarak elde edilen kısa kesme zamanına ( $t_c < 100$  s) ait  $1/\text{soğurulma}$  ve frekans bağımlılığı ortalama  $Q_c(f) = (63 \pm 3)f^{0.755 \pm 0.015}$  ve uzun kes-

me zamanına ait ( $t_c > 100$  s) ait  $1/Q_c$  ve frekans bağımlılığı ortalama  $Q_c(f) = (95 \pm 3)f^{0.962 \pm 0.054}$  olarak hesaplanmıştır. S-dalgası spektral genişliğinin koda dalgası spektral genişliğine oranının uzaklıkla azalımından  $Q_s(f) = (78 \pm 30)f^{0.872 \pm 0.062}$  olarak belirlenmiştir. Farklı kesme zamanları için, ortalama  $Q_c$  ve  $Q_s$  değerleri ve frekans bağımlılığının derecesi üst kabuktaki heterojen yapıya göre önemli değişiklikler göstermektedir. Bu heterojenlikler, bölgenin tektoniğine bağlı olarak şekillenmektedir. Frekans bağımlılık derecesinin kısa ve uzun kesme zamanları için birbirine yakın ve yüksek olması, derinlikle heterojenitenin kaybolmadığını, soğurulmayı artıran karmaşık bir yapının var olduğunu göstermektedir.

## KAYNAKLAR

- Aki, K., 1969. Analysis of the seismic coda of local earthquakes as scattered waves. *Journal of Geophysical Research*, 74, 615-631.
- Aki, K., 1980. Scattering and attenuation of shear waves in the lithosphere. *Journal of Geophysical Research*, 85, 6496-6504.
- Aki, K., and Chouet, B., 1975. Origin of Coda wave: Source, attenuation and scattering effects. *Journal of Geophysical Research*, 80 (21), 3322-3342.
- Akıncı, A. ve Eyidoğan, H., 1996. Frequency-dependent attenuation of S and coda waves in Erzincan Region (Turkey). *Physics of The Earth and Planetary Interiors*, 87, 155-165.
- Akıncı, A. Taktak, G.A. ve Ergintav, S., 1996. Batı Anadolu bölgesinde koda dalgalarının soğurulması. *Jeofizik*, 10, 57-66.
- Alptekin, Ö., 1973. Focal mechanisms of earthquakes in western Turkey and their tectonic implications. Ph.D. Thesis, New Mexico Institute of Mining and Technology Socorro, New Mexico.
- Dewey, J.F., and Şengör, A.M.C., 1979. Aegean and surrounding regions complex multiplate and continuum tectonics in a convergent zone, *Bulletin of the Geological Society of America*, 90, 84-92.
- Frenkal, A., McGarr, A., Bicknell, J. Mri, J., Seeber, L., and Cranswick, E., 1990. Attenuation of high-frequency shear waves in the crust: measurements from New York State, South Africa and Southern California. *Journal of Geophysical Research*, 95, 17441-17457.
- Hatzidimitriou, P.M., 1995. S-wave attenuation in the crust in northern Greece. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 85 (5), 1381-1387.
- Horasan, G., Kaşlılar, A., Boztepe, A., and Türkelli, N., 1998. S- wave attenuation in the Marmara Region, northwestern Turkey. *Geophysical Research Letters*, 25 (14), 2733-2736.
- Ibanez, J.M., Del Pezzo, E., De Miguel, E., Herraiz, M., Alguacil, G., and Morales, J., 1990. Depth dependent seismic attenuation in the Granada zone (Southern Spain). *Bulletin of the Seismological Society of America*, 80 (5), 1232-1244.
- Kempler, D., and Garfunkel, Z., 1994. Structures and kinematics in the northeastern Mediterranean: A study of an irregular plate boundary. *Tectonophysics*, 234, 19-32.
- Ketin, İ., 1977. Genel Jeoloji: Cilt 1. İ.T.Ü. Maden Fakültesi Yayını, İstanbul.
- Koçyiğit, A., 1984. Güneybatı Türkiye ve yakın dolayında levha içi tektonik gelişimi. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 27 (1), 1-15.
- Koçyiğit, A., Ünay, E., and Saraç, G., 2002. Episodic graben formation and extensional neotectonic regime in west central Anatolia and the Isparta Angle: A case study in the Akşehir-Afyon graben, Turkey. In: E. Bozkurt, J. A. Winchester, J. D. A. Piper, (eds.), *Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding Area*, Geological Society, London, Special Publication, 173, 405-421.
- Le Pichon, X., and Angelier, J., 1979. The Hellenic arc and trench system: a key to the neotectonic evolution of the eastern Mediterranean area. *Tectonophysics*, 60, 1-42.
- Le Pichon, X., Francheteau, J., and Bonnin, J., 1973. *Plate Tectonics: Developments in Geotectonics*. Elsevier, Amsterdam.
- Lee, W.H., Aki, K., Chouet, B. Johnson, J., Marks, S., Newberry, T., Ryall, A.S., Stewart, W., and Tottingham, D. M., 1986. A preliminary study of coda Q in California and Nevada, *Bulletin of Seismological Society of America*, 76, 1143-1150.
- Mckenzie, D.P., 1970. Plate tectonics of the Mediterranean Region. *Nature*, 226, 239-243.
- Mckenzie, D.P., 1972. Active tectonics of the Mediterranean Region. *Geophysical Journal of Royal Astrological Society*, 30, 109-185.
- Mckenzie, D.P., 1978. Active tectonics of the Alpine-Himalayan Belt: The Aegean Sea and surrounding regions. *Geophysical Journal of Royal Astrological Society*, 55, 217-254.

- Novelo-Casanova, D.A., and Lee, W.H.K., 1991. Comparison of techniques that use the single scattering model to compute the quality factor Q from coda waves. *Pure and Applied Geophysics*, 135, 77-89.
- Papazachos, B.C., 1973. Distribution of seismic foci in the Mediterranean and surrounding area and its tectonic implications. *Geophysical Journal of Royal Astrological Society*, 33, 421-430.
- Papazachos, B.C., and Comninakis, P.E., 1977. Modes of lithospheric interaction in the Aegean area. *International Symposium on the Structural History of the Mediterranean Basins*, Split, Yugoslavia, 319-331.
- Pulli, J.J., 1984. Attenuation of coda waves in New England. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 74 (4), 1149-1166.
- Sato, H., 1977. Energy propagation including scattering effects single isotropic scattering approximation. *Journal of Geophysical Research*, 25, 27-41.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö. ve Kuşçu, İ., 1992. Türkiye diri fay haritası. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Toksöz, N., 1975. Subduction of the lithosphere. *Scientific American*, 233, 89-101.



## Çatmakaya (Seydişehir – Türkiye) boksit yatağının kökenine jeostatistiksel ve jeokimyasal bir yaklaşım

*A geochemical and geostatistical approach to the origin of the Çatmakaya (Seydişehir - Türkiye) bauxite deposit*

**M. Muzaffer KARADAĞ, Fetullah ARIK, Alican ÖZTÜRK**

Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, KONYA

Geliş (received) : 25 Ağustos (August) 2005

Kabul (accepted) : 04 Temmuz (July) 2006

### ÖZ

Çatmakaya boksit yatağı; otokton konumlu Senomaniyen yaşlı Katrangediği formasyonuna ait kireçtaşlarının üzerinde gelişmiş olan karstik çukurluk içerisinde yer almakta, üzerinde Senoniyen yaşlı Doğanankuzu formasyonuna ait kireçtaşları bulunmaktadır. Diyabaz/dolerit, serpantin, radyolarit, kireçtaşı ve çörtlerle temsil edilen ve yerleşim yaşı Geç Eosen- Erken Miyosen olan allokon konumlu Bozkır birliğine ait ofiyolit dilimleri bu birimi tektonik dokanla örtmektedir. Boksitlere kaynak olabilecek kaya türünün belirlenmesinin amaçlandığı bu çalışmada; boksitlerden ve bunlara kaynak olabilecek karbonatlar, terra-rosalar ve ofiyolitik kayaçlardan derlenen örneklerin analiz sonuçları jeokimyasal ve jeostatistiksel değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Olası kaynak kayaçlardan ofiyolite yapılan çalışmalara göre, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO çifti arasındaki yüksek pozitif ilişki, duraylı element oranlarının boksitlerden farklı olması ve dağılım diyagramlarında regresyon doğrusunun orijinden sapması bu kayaçların boksitlere kaynaklık edemeyeceğini göstermektedir. Boksitlerin, kireçtaşlarından türediği varsayıldığında, jeokimyasal olarak bazı elementlerin davranışlarının açıklanması için bir ara ürüne gereksinim duyulmaktadır. Kireçtaşından terra-rosa oluşumu sürecinde Si ve K 77, Zr 60, Ti 50.5, Fe 45.5, Al, Cu, Ga, Nb ve Th 37-40, Pb 21, Cr 19.6, Na 14, V 11, Ni 9.3, Mg 7.5 ve Zn 2.5 kat artmış ve Ca 20.1 kat azalmıştır. Terra-rosadan boksite geçiş sürecinde ise; Ca 30.7, Mg 26.5, Na 17.9, Si 11, Zn 13.8, Cu 8.7, K 8.6 ve P'un 7.5 kez azalmasına karşın Al 3.04, Fe 2.14, Ti, Cr ve Th yaklaşık 2.5, Ga, Nb, Pb ve Zr 1.7-2 ve V 1.5 kat artmıştır. Karbonatlı kayaçlarda ve bunlardan türeyen terra-rosalarda Al-Fe ve Al-Si arasında saptanan yüksek pozitif, Ca-Al, Ca-Si ve Ca-Ti element çiftleri arasındaki yüksek negatif ilişkiler Al, Fe, Si, Ti ve Ca'un farklı kaynaklardan geldiğini göstermekte ve koefitik korelasyon dendogramları da bunu desteklemektedir. Çatmakaya yöresindeki karbonatlı kayaçlar, terra-rosalar ve boksitlerdeki duraylı element oranları (Al/Ti, Al/Th, Al/Zr, Ti/Zr, Ti/Ga, Ti/Nb, Ti/Th, Ga/Nb, Ga/Th, Ga/Zr, Nb/Th, Nb/Zr, Th/Zr) birbirine benzerken, ofiyolitik kayaçlarda farklı çıkmaktadır. Boksitler ve muhtemel kaynak kayaçlarının birlikte değerlendirildiği korelasyon analizlerinde, Al-Fe, Al-Ti, Al-Ga, Al-Nb, Al-Th, Al-Zr, Ti-Ga, Ti-Nb, Ti-Th, Ti-V, Ti-Zr, Ga-Nb, Ga-Th, Ga-Zr, Nb-Th, Nb-Zr ve Th-Zr element çiftlerinin çok yüksek pozitif ilişkiye (>0.95) sahip oldukları belirlenmiştir. Bu elementlere ait dağılım diyagramlarında da regresyon doğrusu merkezden veya merkeze çok yakın olarak geçmekte, terra-rosalar boksitlerle karbonatlı kayaçlar ve ofiyolitlerin arasında bir dağılım sunmaktadır. Bu verilere göre, kireçtaşlarından boksit oluşumu için gerekli olan ayrışma ürününün tüm Toros kuşağındaki karbonatlı kayaçlar üzerinde yaygın olarak gözlenen ve halen günümüzde de oluşumları devam eden terra-rosaların olduğu söylenebilir.

**Anahtar kelimeler:** Boksit, Çatmakaya, jeostatistik, jeokimya, Seydişehir, terra-rosa.

### ABSTRACT

*The Çatmakaya bauxite deposit occurs in a karstic depression at the top of the Cenomanian limestone, namely the Katrangediği formation, and is overlain by the Senonian limestones of the Doğanankuzu formation. These formations are tectonically overlain by the ophiolitic slices of the Bozkır unit mainly comprising diabase-dolerite, serpentine, radiolarite, limestone and cherts with tectonic contact emplaced during the Late Eocene-Early Miocene period. In order to determine the possible source rocks of the Çatmakaya bauxite deposit, the samples collected from limestones, ophiolites, bauxite ore and terra-rossas were geochemically and geostatistically analysed. Based on*

M. M. Karadağ

E-mail: mmkaradag@selcuk.edu.tr

the analysis results of ophiolite samples, the strong positive correlations were found between the  $Al_2O_3$ -CaO pair, different stable elements ratios, and regression line deviation from origin on the stable elements scattering diagram indicate that ophiolites can not be the source rocks of the bauxites. When the fact that the bauxites were derived from limestones is taken into account, an intermediate-product is needed to explain the geochemical behaviour of some elements. In this case, the terra-rossa is the intermediate-product. During the course of the transformation from limestone to terra-rossa, increases in Si and K were 77 - fold the following elements were by multiples of the numbers following them in the list: Zr 60, Ti 50.5, Fe 45.5, Al, Cu, Ga, Nb and Th 37-40, Pb 21, Cr 19.6, Na 14, V 11, Ni 9.3, Mg 7.5 and Zn 2.5 times. While all these elements show increases, Ca decreased 20.1 times. During the transition from terra-rossa to bauxite, and causing the same convention for indicating increases whereas Ca 30.7, Mg 26.5, Na 17.9, Si 11, Zn 13.8, Cu 8.7, K 8.6 and P 7.5 decreased, Al 3.04, Fe 2.14, Ti, Cr and Th about 2.5, Ga, Nb, Pb and Zr 1.7-2 and V 1.5 times increased. The strong positive correlations between Al-Fe and Al-Si in the carbonate rocks and in terra-rossa which derived from them, and the strong negative correlation between Ca-Al, Ca-Si and Ca-Ti indicates that Al, Fe, Si and Ti and Ca have originated from different sources. The coefficient correlation dendograms also support this. However, while stable element ratios (Al/Ti, Al/Th, Al/Zr, Ti/Zr, Ti/Ga, Ti/Nb, Ti/Th, Ga/Nb, Ga/Th, Ga/Zr, Nb/Th, Nb/Zr, Th/Zr) of carbonate rocks, terra-rossas and bauxites of the Çatmakaya area are similar, those of ophiolitic rocks are different. If the elements of bauxites and probable provenance rocks are evaluated all together, the correlation coefficients of Al-Fe, Al-Ti, Al-Ga, Al-Nb, Al-Th, Al-Zr, Ti-Ga, Ti-Nb, Ti-Th, Ti-V, Ti-Zr, Ga-Nb, Ga-Th, Ga-Zr, Nb-Th, Nb-Zr and Th-Zr element pairs show very high positive (>0.95) correlation. In the scatter diagrams of these elements, regression lines pass through the origin and terra-rossas located between the carbonate rocks and bauxites. Based on these data, it can be stated that the source rock of the Çatmakaya bauxite is terra-rossa which is derived from the nearby carbonated rocks.

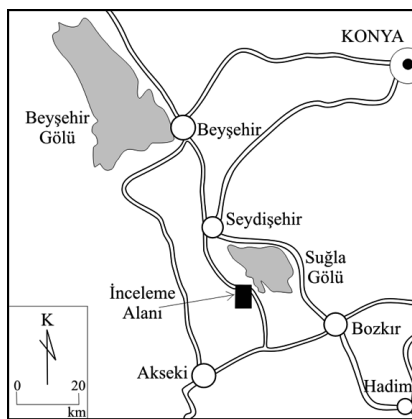
**Key Words:** Bauxite, Çatmakaya, geochemistry, geostatistic, Seydişehir, terra-rossa.

## GİRİŞ

İnceleme alanı, Konya ili, Seydişehir ilçesinin 30 km güneydoğusunda, Çatmakaya Köyü'nün 500 m batısında ve Suğla Gölü'nün güneyinde yer almaktadır (Şekil 1). Çatmakaya boksit yatağı Seydişehir (Konya) bölgesinde bulunan önemli yataklardan biri olup jeolojik, stratigrafik ve mineralojik özellikleri açısından Orta Toros kuşağında yer alan diğer karst tipi boksit yataklarına benzer özellikler sergilemektedir. Bu çalışmada, Çatmakaya boksit yatağında bulunan boksitler ve yakın çevresindeki kayaların jeokimyasal özellikleri incelenerek boksitlerin olası kaynak

kayaç türünün saptanması amaçlanmıştır. Arazi çalışmaları sırasında daha önce yapılan çalışmalar (Orhon ve Tepebaşı, 1976; Orhon vd., 1977; Karadağ, 1987) temel alınmış olup, başta boksitler (34 örnek) olmak üzere, karbonatlı kayalar (10 örnek), ofiyolitler (10 örnek) ve terra-rossalardan (8 örnek) derlenen örneklerin mineralojik ve kimyasal analizleri, Eti Alüminyum A.Ş. Genel Müdürlüğü (Seydişehir), Acme (Vancouver-Kanada) ve Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (Ankara) laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Acme laboratuvarlarında yaptırılan kimyasal analizlerde tüm örneklerde  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ , MgO, CaO,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $TiO_2$ ,  $P_2O_5$ ,  $Cr_2O_3$  ve LOI (Ateş Zayıyatı) % oksit, Cu, Ga, Nb, Ni, Pb, Th, V, Zn ve Zr'nun ise element konsantrasyonları ppm düzeyinde analiz edilmiştir. Örnekler üzerinde uygulanan veri analiz yöntemlerinde % 5 hata payı ile anlamlılık testleri yorumlanmış, incelenen her kayaç grubunda elementlerin birbirleriyle ilişkilerinin belirlenebilmesi amacıyla regresyon analizleri yapılmıştır. Korelasyon katsayısı istatistiksel olarak yüksek ve çok yüksek olan element çiftleri arasında basit regresyon analizleri uygulanarak regresyon eşitlikleri hesaplanmış ve örneklerin regresyon doğrusuna uyumunun denetlenmesi için regresyon dağılım diyagramları çizilmiştir. Elementlerin kökensel ilişkilerinin belirlenmesi amacıyla



Şekil 1. İnceleme alanının yer buldu haritası.  
Figure 1. Location map of the study area.



ortak korelasyon katsayılarından yararlanılarak koefitik korelasyon diyagramları (dendogram) hazırlanmıştır. Ayrıca, duraylı element oranları kullanılarak boksit ve kaynak kayaç ilişkileri yorumlanmış ve yöredeki boksitler için bir oluşum modeli geliştirilmeye çalışılmıştır.

## JEOLJİK KONUM

İnceleme alanı ile içinde bulunduğu Orta Toroslar ve Seydişehir-Akseki boksit kuşağını da kapsayan bölgedeki ilk araştırmalar Göksu (1953), Weisse (1956), Wippen (1962 ve 1965), Atabay (1976), Baysal ve Engin (1976), Orhon ve Tepebaşı (1976), Orhon vd. (1977), Özlü (1978)'ye ait olup, daha sonraki çalışmalar Lauber (1980), Karadağ (1987 ve 1996), Karadağ vd. (2002 ve 2003a) tarafından gerçekleştirilmiştir.

Çatmakaya boksit yatağı ve çevresinde Erken-Orta Kambriyen-Geç Eosen zaman aralığında çökelmiş Geyikdağı birliğine ait otokton konumlu birimlerle, yerleşim yaşı Geç Eosen-Erken Miyosen olan allohton konumlu Bozkır birliğine ait ofiyolitik kayaçlar yer almaktadır. Geyikdağı Birliği alttan üste doğru Erken-Orta Kambriyen yaşlı Çaltepe formasyonu, Geç Kambriyen-Erken Ordovisiyen yaşlı Seydişehir Formasyonu, Anisiyen yaşlı Pınarbaşı formasyonu, Ladiniyen yaşlı Taraşçı formasyonu, Karniye yaşlı Sarpyardere formasyonu, Doger yaşlı İçerikişla formasyonu, Senomaniyen yaşlı Katrangediği formasyonu, Senoniyen yaşlı Doğankuzu formasyonu Geç Paleosen-Erken Eosen yaşlı Yarpuz formasyonu ve Geç Eosen yaşlı Ağaçtepesi formasyonu ile temsil edilmektedir. İncelenen boksit yatağı Senomaniyen yaşlı Katrangediği formasyonuna ait karbonatlı kayaçların içerisinde gelişen karstik çöküntüde bulunmakta, Senoniyen yaşlı karbonatlı kayaçlardan oluşan Doğankuzu formasyonu tarafından örtülmektedir (Karadağ, 1987).

Merceğimsi bir çukurluk içinde yer alan boksit kütlesi ile taban kireçtaşının sınırı oldukça düzensizdir (Şekil 2). Cevher kütlesinin tabanında yer yer bu kireçtaşına ait bloklar gözlenmektedir. Cevherin kısmen tabakalı bir yapı göstermesi ve içerisinde tatlı su alg fosillerinin (*Microcodium* sp.) bulunması, karst-içi bir çökeliyi yansıtmaktadır (Karadağ, 1987). Yatakta masif, demirli, oolitik-pisolitik, killi-toprağımsı ve breşik boksit olmak üzere beş farklı tip cevher saptanmış

olup, hakim cevher minerali bölgedeki diğer boksit yataklarında olduğu gibi böhmittir (Karadağ vd., 2003a). Böhmittin yanı sıra, değişen oranlarda diyaspor, gibsit, kaolinit, hematit, götit, lepidokrozit, kuvars, anataz, rutil, tridimit; yer yer ikincil oluşuklar halinde kalsit, piroluzit ve psilomelan ile birlikte amorf sulu Al ve Fe-oksitleri izlenmektedir (Karadağ, 1987).

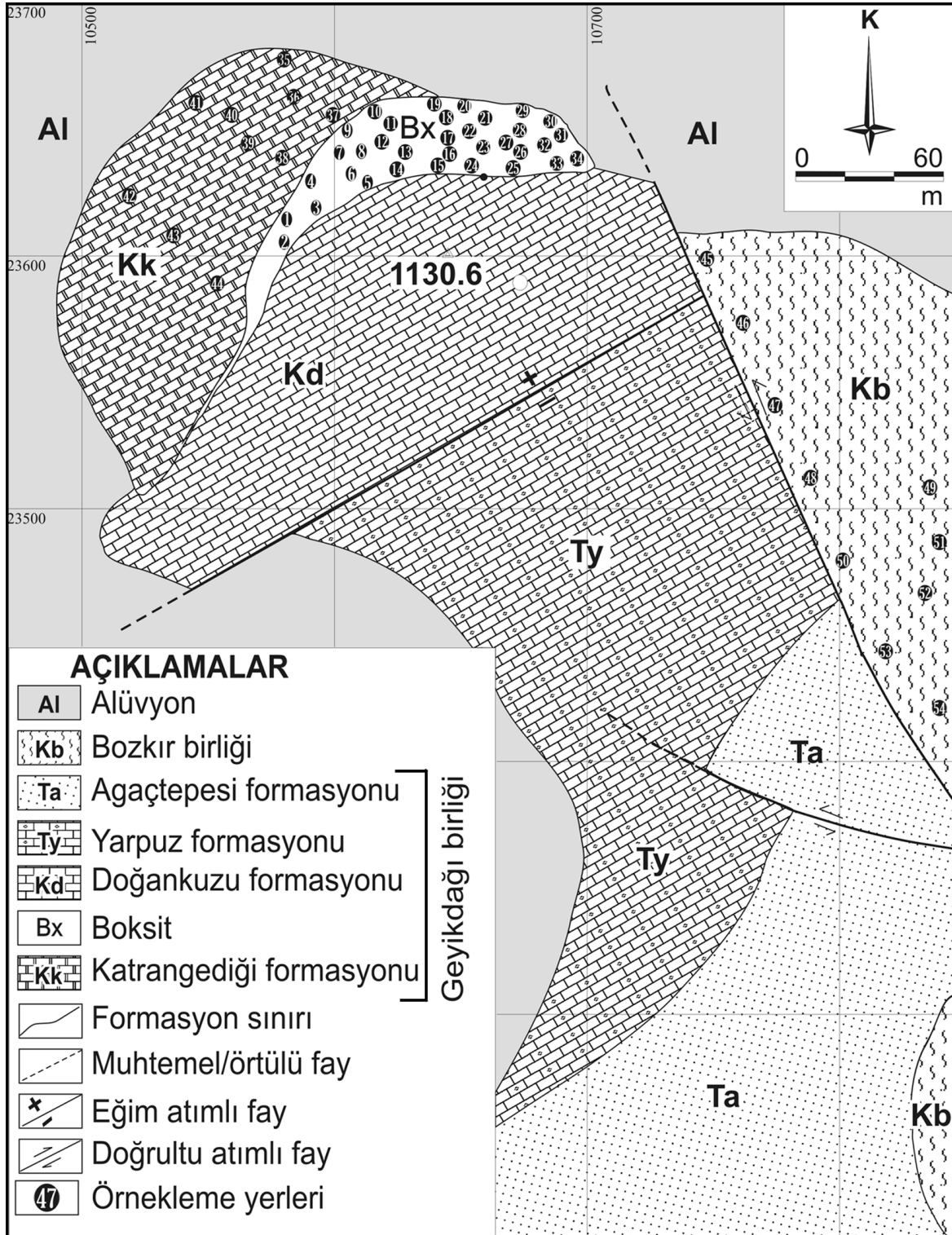
## YANKAYAÇ JEOKİMYASI

### Karbonatlı kayaçlar

Boksit yatağı ve yakın çevresinde yer alan Katrangediği, Doğankuzu ve Yarpuz formasyonları karbonatlı kayaçlarla, Ağaçtepesi formasyonu ise kumtaşı, kıltaşı, killi kireçtaşı ve marnlar ile temsil edilmektedir. Bunlardan Doğankuzu, Yarpuz ve Ağaçtepesi formasyonları cevherli seviyenin üzerinde yer aldıkları için boksit oluşumuna kaynaklık etmiş olamazlar. Bu düşünceden hareketle, yörede mevcut karbonatlardan yalnız taban kayacını oluşturan Katrangediği formasyonundan 10 adet örnek alınmış ve bunlarda analizi yapılan 20 bileşenin değerleri kullanılmıştır (Çizelge 1).

Söz konusu kireçtaşlarının ortalama  $Al_2O_3$  konsantrasyonu % 0.52 olup, kireçtaşlarının tamamında % 0.21 ila % 0.84 arasında değişen oranlarda  $Al_2O_3$  beklenmektedir (Şekil 3). Kireçtaşından kaynaklanan  $Al_2O_3$ 'in boksit oluşturabilmesi için 115 kat zenginleşmesi gerekmektedir. Yapılan regresyon analizlerinde  $Al_2O_3$ - $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ - $TiO_2$ ,  $Al_2O_3$ -Ga,  $Al_2O_3$ -Th,  $Al_2O_3$ -Zr,  $Fe_2O_3$ -Pb,  $Fe_2O_3$ -Th,  $TiO_2$ -Ga,  $TiO_2$ -Ni,  $TiO_2$ -Th,  $TiO_2$ -Zr, Ga-Ni, Ga-Pb, Ga-Zr, Pb-V ve Th-Zr çiftleri arasında çok yüksek pozitif,  $SiO_2$ -CaO, CaO- $TiO_2$ , CaO-Ni ve CaO-Zr arasında ise çok yüksek negatif ilişkiler saptanmıştır (Çizelge 2). Anılan element çiftlerinin basit regresyon eşitliklerine göre çizilen dağılım diyagramlarında noktaların regresyon doğrusuyla uyumlu olduğu görülmüştür (Şekil 3).

Ortak korelasyon katsayılarının değerlendirildiği dendogramda da (Şekil 4); (MgO- $P_2O_5$ )-(CaO-LOI) grubuna  $Na_2O$  uzaktan eklenmektedir. Öte yandan kireçtaşlarında oldukça az miktarlarda bulunan ( $Al_2O_3$ -Th)- $TiO_2$ -Zr-(Ga-Ni)'in oluşturduğu gruba sırasıyla  $SiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ , ( $K_2O$ -Nb), (Pb-V), (Cu-Zn) ve  $Cr_2O_3$  eklenerek belirgin bir grup oluşturmaktadır. Buna göre kireçtaşlarının



Şekil 2. Çatmakaya boksit yatağının jeoloji haritası ( Orhon vd., 1977 ve Karadağ, 1987'den).

Figure 2. Geological map of the Çatmakaya bauxite deposit (after Orhon et al., 1977, and Karadağ, 1987).

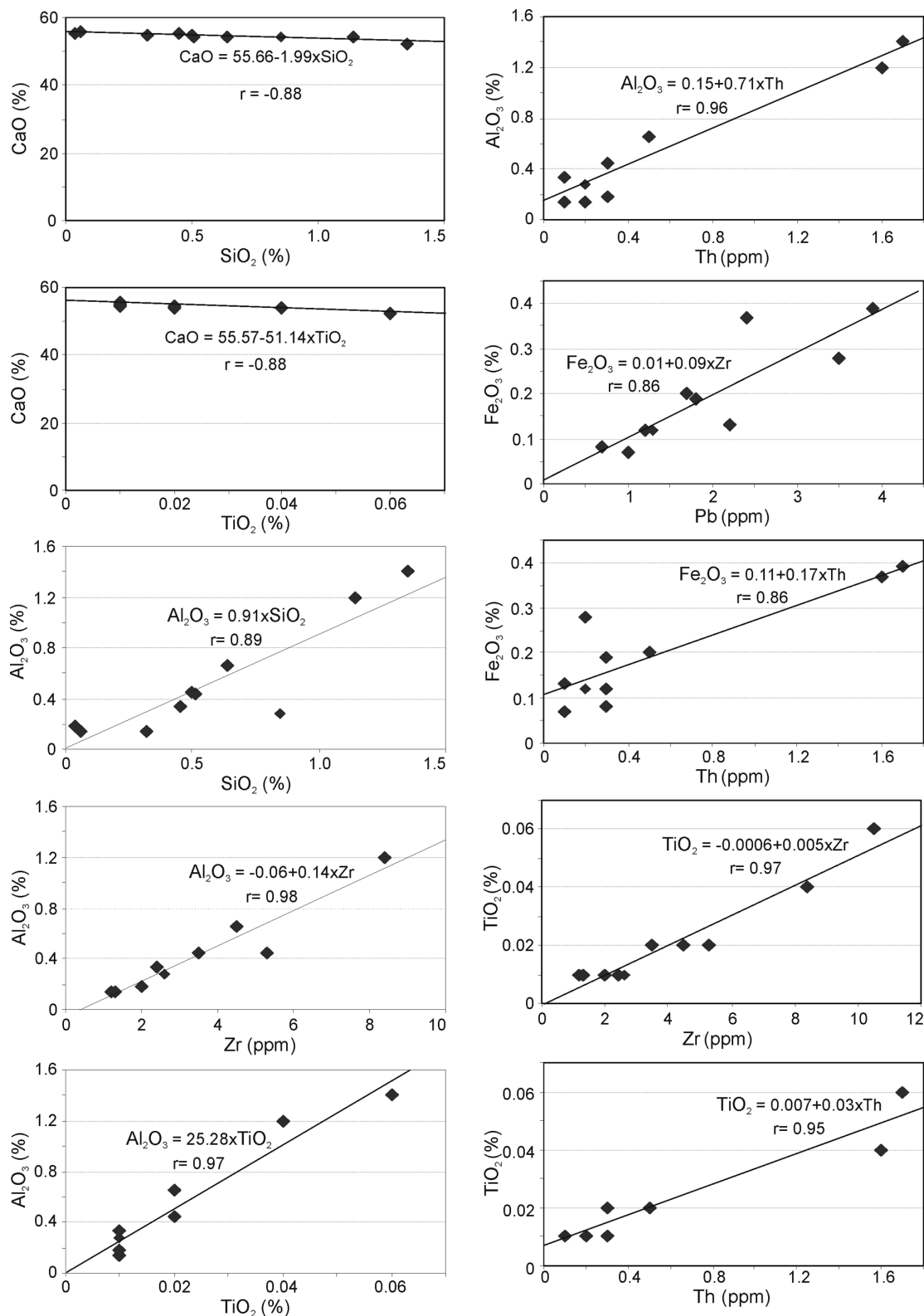
Çizelge 1. Katrangediği formasyonuna ait karbonatlı kayaçların bazı ana ve iz element konsantrasyonları ve istatistiksel analiz özetleri (AO: Aritmetik ortalama, SS: Standart sapma, SH: Standart hata, Ht: Hesaplanan t, AS: Ana kitle aritmetik ortalamasına ait alt sınır, ÜS: Ana kitle aritmetik ortalamasının üst sınırı, eleman sayısı= 10, Tt: Tablo t değeri=1.83).

Table 1. Statistical analysis summaries of some major and trace element concentrations of carbonate rocks of the Katrangediği formation (AO: Arithmetic mean, SS: Standard deviation, SH: Standard error, Ht: Calculated t, Tt: Table t value, AS: Lower limit of arithmetic mean of the main mass, ÜS: Upper limit of arithmetical mean of the main mass, 10 sample, Tt: Table t value=1.83).

Örnek No.	Bileşenler																			
	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	MgO %	CaO %	Na <sub>2</sub> O %	K <sub>2</sub> O %	TiO <sub>2</sub> %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	LOI %	Cu ppm	Ga ppm	Nb ppm	Ni ppm	Pb ppm	Th ppm	V ppm	Zn ppm	Zr ppm
1	0.85	0.28	0.12	0.39	54.40	0.05	0.04	0.01	0.01	0.001	43.70	1.10	0.50	1.30	10.65	1.30	0.20	9.00	70.00	2.60
2	0.45	0.34	0.13	0.16	55.17	0.01	0.02	0.01	0.01	0.001	43.70	0.50	0.50	0.50	12.00	2.20	0.10	18.00	29.00	2.40
3	1.14	1.20	0.37	0.15	54.15	0.02	0.02	0.04	0.01	0.001	42.90	1.20	1.10	0.70	16.15	2.40	1.60	16.00	22.00	8.40
4	1.35	1.41	0.39	0.16	52.22	0.01	0.06	0.06	0.01	0.002	43.50	1.20	1.90	1.40	30.75	3.90	1.70	51.00	86.00	10.50
5	0.04	0.18	0.08	0.08	55.30	0.02	0.02	0.01	0.01	0.003	43.60	0.50	0.60	0.50	13.40	0.70	0.30	14.00	42.00	2.00
6	0.06	0.14	0.07	0.11	55.86	0.01	0.03	0.01	0.01	0.002	43.60	0.30	0.60	0.50	11.10	1.00	0.10	9.00	35.00	1.30
7	0.64	0.66	0.20	0.18	54.21	0.02	0.03	0.02	0.01	0.002	43.40	0.90	0.50	0.50	13.15	1.70	0.50	26.00	58.00	4.50
8	0.32	0.14	0.28	0.50	54.69	0.01	0.03	0.01	0.03	0.001	43.90	1.10	0.50	0.50	14.05	3.50	0.20	50.00	80.00	1.20
9	0.51	0.44	0.19	0.14	54.38	0.01	0.02	0.02	0.01	0.001	43.60	1.90	0.50	0.50	12.15	1.80	0.30	8.00	243.00	5.30
10	0.50	0.45	0.12	0.15	54.56	0.01	0.03	0.02	0.01	0.002	43.80	0.70	0.50	0.50	12.15	1.20	0.30	9.00	22.00	3.50
AO	0.59	0.52	0.20	0.20	54.49	0.02	0.03	0.02	0.012	0.002	43.57	0.94	0.72	0.69	14.56	1.97	0.53	21.00	68.70	4.17
SS	0.43	0.44	0.12	0.13	0.97	0.01	0.01	0.02	0.006	0.001	0.28	0.47	0.45	0.35	5.90	1.05	0.60	16.50	65.58	3.11
SH	0.14	0.14	0.04	0.04	0.31	0.00	0.00	0.01	0.002	0.000	0.09	0.15	0.14	0.11	1.87	0.33	0.19	5.22	20.74	0.98
Ht	4.34	3.73	5.34	4.78	178.30	4.30	7.61	3.99	6.000	7.236	500.9	6.36	5.01	6.16	7.80	5.91	2.78	4.03	3.31	4.24
AS	0.28	0.21	0.11	0.11	53.80	0.01	0.02	0.01	0.007	0.001	43.37	0.61	0.40	0.44	10.33	1.22	0.10	9.20	21.78	1.94
ÜS	0.89	0.84	0.28	0.30	55.19	0.03	0.04	0.03	0.017	0.002	43.77	1.27	1.05	0.94	18.78	2.72	0.96	32.80	115.62	6.40

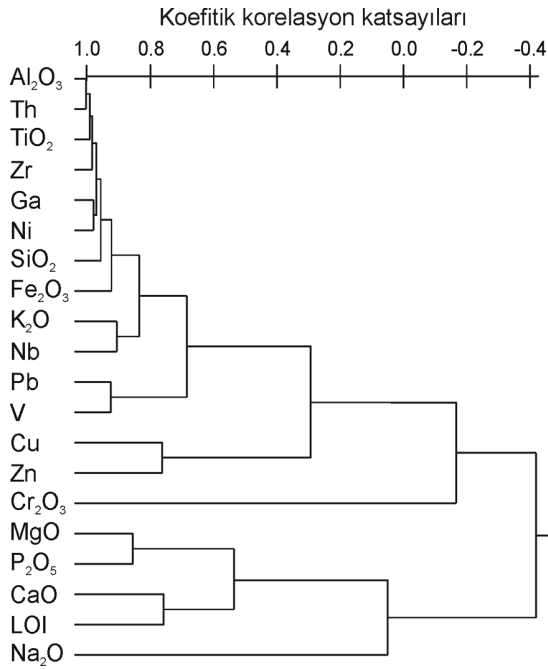
Çizelge 2. Katrangediği formasyonu kireçtaşı örneklerinin element konsantrasyonlarının korelasyon matrisi.  
Table 2. Correlation matrix of the elements from the limestone samples of the Katrangediği formation.

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	LOI	Cu	Ga	Nb	Ni	Pb	Th	V	Zn	Zr	
SiO <sub>2</sub>	1.00																				
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.89	1.00																			
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.78	0.83	1.00																		
MgO	0.07	-0.27	0.19	1.00																	
CaO	-0.88	-0.84	-0.79	-0.08	1.00																
Na <sub>2</sub> O	0.23	-0.10	-0.18	0.37	-0.02	1.00															
K <sub>2</sub> O	0.58	0.47	0.40	0.23	-0.73	0.14	1.00														
TiO <sub>2</sub>	0.84	0.97	0.82	-0.25	-0.88	-0.20	0.59	1.00													
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-0.22	-0.30	0.26	0.78	0.07	-0.20	0.00	-0.23	1.00												
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0.33	-0.04	-0.32	-0.54	0.08	-0.15	0.13	0.04	-0.30	1.00											
LOI	-0.53	-0.69	-0.51	0.42	0.27	-0.09	0.13	-0.55	0.42	0.05	1.00										
Cu	0.52	0.38	0.56	0.25	-0.57	0.08	0.11	0.40	0.12	-0.52	-0.20	1.00									
Ga	0.74	0.87	0.75	-0.20	-0.80	-0.16	0.69	0.94	-0.17	0.13	-0.44	0.22	1.00								
Nb	0.74	0.52	0.41	0.24	-0.71	0.52	0.83	0.57	-0.19	-0.11	-0.11	0.28	0.67	1.00							
Ni	0.68	0.80	0.75	-0.11	-0.86	-0.25	0.74	0.90	-0.03	0.18	-0.26	0.25	0.96	0.63	1.00						
Pb	0.58	0.56	0.86	0.41	-0.69	-0.32	0.50	0.62	0.51	-0.40	-0.07	0.42	0.64	0.38	0.73	1.00					
Th	0.84	0.96	0.86	-0.21	-0.78	-0.08	0.44	0.95	-0.19	0.01	-0.73	0.35	0.90	0.52	0.82	0.57	1.00				
V	0.35	0.38	0.69	0.44	-0.59	-0.30	0.57	0.47	0.62	-0.03	0.11	0.17	0.55	0.31	0.71	0.88	0.42	1.00			
Zn	0.05	-0.02	0.13	0.07	-0.24	-0.11	-0.01	0.06	0.06	-0.31	0.14	0.81	-0.04	0.04	0.04	0.16	-0.07	0.00	1.00		
Zr	0.88	0.98	0.81	-0.30	-0.87	-0.11	0.46	0.97	-0.34	-0.06	-0.65	0.52	0.86	0.53	0.80	0.54	0.94	0.33	0.18	1.00	



Şekil 3. Katrangediği formasyonuna ait kireçtaşlarında Al ile yüksek ve çok yüksek ilişkiye sahip olan element çiftlerinin dağılım diyagramları ve regresyon doğruları.

Figure 3. Distribution diagrams and regression curves of the element pairs that have strong and very strong correlations with Al in the limestone units of the Katrangediği formation.



Şekil 4. Katrangediği formasyonuna ait kireçtaşılarından derlenen örneklerin koefistik korelasyon katsayılarına göre yakınlık sıralaması.

Figure. 4. Proximity ranking based on the coefficient correlation coefficients of the samples collected from limestone units of the Katrangediği formation.

da, aralarında yüksek pozitif ilişki bulunan  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ , Th, Zr, Ni ve Ga ile bu elementlerle yüksek negatif ilişki gösteren CaO'ın farklı kaynaklardan gelmiş oldukları söylenebilir. Al, büyük olasılıkla karbonatlı kayaçların içerisinde yer alan killi seviyelerle ilişkili olmalıdır.

### Ofiyolitik Kayaçlar

Bozkır birliğine ait diyabaz/dolerit, serpantin, radyolarit, kireçtaşı ve çörtlerle temsil edilen ofiyolitik kayaçlar, Çatmakaya boksit yatağının güneydoğusunda yer almaktadırlar. Seydişehir-Akseki yöresi boksitlerinin kökensel yorumunu yapan bazı araştırmacılar (Peyronnet, 1971; Özlü, 1979; Çağatay ve Arman, 1982; Ayhan ve Karadağ, 1985; Karadağ, 1987), bu kayaçların boksitlerle olan ilişkilerini tartışmışlardır. Ofiyolitik kayaçların, yöreye cevher oluşumundan çok daha sonra yerleşmiş olmaları ve stratigrafik konumları nedeniyle boksitlere kaynak olabileceği olasılıkları oldukça düşüktür. Ancak bu kayaçların naplaşmadan önceki konumlarından dolayı

boksitlere kaynak olabileceği olasılığı da dikkate alınarak, bu çalışmada jeokimyasal özellikleri incelenmiş ve istatistiksel analizleri yapılmıştır. Bu amaçla; derlenen 10 adet ofiyolit örneğinde gerçekleştirilen kimyasal analizlerde (bkz. Şekil 2; Çizelge 3) ortalama % 1.59  $Al_2O_3$  saptanmış olup, elde edilen verilere göre yöredeki ofiyolitlerde % 0.83 ila % 2.35 arasında  $Al_2O_3$  beklenmektedir (bkz. Çizelge 3). Klark konsantrasyonu % 8.13 olan Al için bu değerler oldukça düşüktür. İnceleme alanındaki boksitlerin ofiyolitik kayaçlardan oluştuğu varsayıldığında, Al'un en az 38 kat zenginleşmesi gerekmektedir.

Ofiyolitik kayaçlardan derlenen örneklere ait bileşenlerin birbirleriyle olan ilişkilerinin belirlenmesi için yapılan regresyon analizlerinde  $Al_2O_3$ - $TiO_2$ ,  $Al_2O_3$ - $P_2O_5$  ve  $Al_2O_3$ -Ga,  $SiO_2$ -MgO,  $SiO_2$ -Ni,  $Fe_2O_3$ - $Cr_2O_3$ , MgO-Ni, CaO-Zr,  $K_2O$ -Pb,  $K_2O$ -Th,  $TiO_2$ -Ga,  $TiO_2$ -Zr,  $P_2O_5$ -Ga, Cu-Zr, Nb-Pb, Nb-Th element çiftleri arasında çok yüksek pozitif,  $SiO_2$ -CaO, MgO-CaO, MgO-Ga, Ni-CaO,  $TiO_2$ -Ni,  $P_2O_5$ -Ni, ve Ni-Zr arasında ise çok yüksek negatif ilişkiler belirlenmiştir (Çizelge 4). Adı geçen element çiftlerine ait regresyon dağılım diyagramlarında noktaların regresyon doğrusuna uyumu önemli görülmektedir (Şekil 5). Elementlerin ortak korelasyon katsayılarına göre hazırlanan dendrogramda ( $Al_2O_3$ - $TiO_2$ -Ga- $P_2O_5$ ) - (CaO-LOI-Zr) grubuna ( $Na_2O$ -V) ve ( $K_2O$ -Nb)-Pb-Th grubu uzaktan eklenmektedir. Öte yandan  $SiO_2$ -Ni-MgO grubu ile  $Fe_2O_3$ - $Cr_2O_3$  ve Cu-Zn grupları birleşerek ayrı bir grup oluşturmaktadırlar. Bu veriler; ofiyolitlerde Al, Ti, Ga, P ve Ca ile Mg, Si, Ni, Fe ve Cr'un farklı kaynaklardan gelmiş olabileceğini göstermektedir (Şekil 6).

### Terra-Rosa

İnceleme alanı ve yakındaki kireçtaşlarının üzerinde çok yaygın bir şekilde gözlenen kırmızı, sarımsı-kırmızı, siltli ve killi toprağımsı oluşuklar "terra-rosa" olarak tanımlanmıştır. Genellikle karbonatlı kayaçların ayrışması ile oluşan Al, Fe ve Si bakımından zengin bu oluşuklar, Akdeniz kuşağında yer alan ülkelerde (Fransa, İtalya, Yunanistan, İsrail ve Türkiye) kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı veya dolomitlerin üzerinde örtüler şeklinde bulunmakta (Yaalon, 1997; Miko vd., 1999) ve karbonat tipi boksit yataklarının oluşumu için bir ara ürün olarak düşünülmektedir (Güldal,

Çizelge 3. Bozkır birliğine ait ofiyolitik kayaçların bazı ana ve iz element konsantrasyonları (ppm) ve istatistiksel analiz özetleri (AO: Aritmetik ortalama, SS: Standart sapma, SH: Standart hata, Ht: Hesaplanan t değeri, AS: Ana kitle aritmetik ortalamasına ait alt sınır, ÜS: Ana kitle aritmetik ortalamasına ait üst sınır, örnek sayısı= 10, Tt: Tablo t değeri=1.83).

Table 3. Concentrations (ppm) and statistical analysis summaries of some major and trace elements in the ophiolitic rocks of the Bozkır unit (AO: Arithmetic mean, SS: Standard deviation, SH: Standard error, Ht: Calculated t, AS: Lower limit of arithmetic mean of the main mass, ÜS: Upper limit of arithmetic mean of the main mass, 10 sample, Tt: Table t value=1.83).

Örnek No.	Bileşenler																			
	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	MgO %	CaO %	Na <sub>2</sub> O %	K <sub>2</sub> O %	TiO <sub>2</sub> %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	LOI %	Cu ppm	Ga ppm	Nb ppm	Ni ppm	Pb ppm	Th ppm	V ppm	Zn ppm	Zr ppm
1	37.01	2.02	7.20	37.69	0.56	0.01	0.02	0.05	0.01	0.29	14.8	23.70	1.60	0.50	1949.15	0.50	0.10	72.0	35.00	2.10
2	37.03	0.59	7.79	38.07	0.69	0.04	0.02	0.01	0.01	0.26	14.4	9.20	0.80	0.50	2035.70	0.30	0.10	34.0	38.00	0.80
3	37.00	0.88	7.71	37.84	0.40	0.05	0.02	0.01	0.01	0.39	14.2	11.40	1.70	0.50	1955.55	0.60	0.10	42.0	36.00	1.60
4	36.91	0.71	7.42	38.68	0.42	0.01	0.02	0.01	0.01	0.32	14.4	8.80	1.10	0.50	2007.35	0.60	0.10	36.0	34.00	0.70
5	35.94	0.62	7.52	37.33	0.48	0.01	0.02	0.01	0.01	0.31	16.7	12.10	1.20	0.50	1865.55	0.10	0.10	42.0	37.00	0.60
6	18.90	2.42	6.62	5.58	34.42	0.02	0.04	0.08	0.05	0.24	31.0	12.90	3.00	0.60	984.15	1.90	0.30	60.0	24.00	6.90
7	23.40	3.02	7.51	19.22	22.56	0.09	0.02	0.08	0.12	0.26	23.5	21.50	3.10	0.50	1142.10	0.20	0.10	76.0	45.00	3.90
8	27.01	0.41	11.11	27.00	12.45	0.01	0.02	0.01	0.01	0.69	20.1	12.70	1.60	0.50	1726.95	0.10	0.10	59.0	18.00	0.50
9	16.56	2.12	5.11	14.55	30.99	0.04	0.02	0.06	0.09	0.21	29.3	5.80	2.60	0.50	930.90	0.30	0.20	54.0	37.00	3.80
10	25.11	3.10	8.12	21.77	18.92	0.17	0.02	0.08	0.09	0.31	21.3	4.60	3.30	0.50	1269.55	0.30	0.10	109.0	18.00	3.80
AO	29.49	1.59	7.61	27.77	12.19	0.05	0.02	0.04	0.04	0.33	20.0	12.27	2.00	0.51	1586.70	0.49	0.13	58.4	32.20	2.47
SS	8.22	1.06	1.49	11.99	13.67	0.05	0.01	0.03	0.04	0.14	6.3	6.14	0.92	0.03	451.51	0.53	0.07	22.9	9.07	2.09
SH	2.60	0.33	0.47	3.79	4.32	0.02	0.00	0.01	0.01	0.04	2.0	1.94	0.29	0.01	142.78	0.17	0.02	7.2	2.87	0.66
Ht	11.34	4.75	16.14	7.33	2.82	2.80	11.00	3.83	2.99	7.62	10.1	6.32	6.90	51.00	11.11	2.94	6.09	8.1	11.23	3.73
AS	23.61	0.83	6.54	19.20	2.41	0.01	0.02	0.02	0.01	0.23	15.5	7.88	1.34	0.49	1263.70	0.11	0.08	42.0	25.72	0.97
ÜS	35.37	2.35	8.68	36.35	21.97	0.08	0.03	0.06	0.07	0.42	24.5	16.66	2.66	0.53	1909.69	0.87	0.18	74.8	38.68	3.97

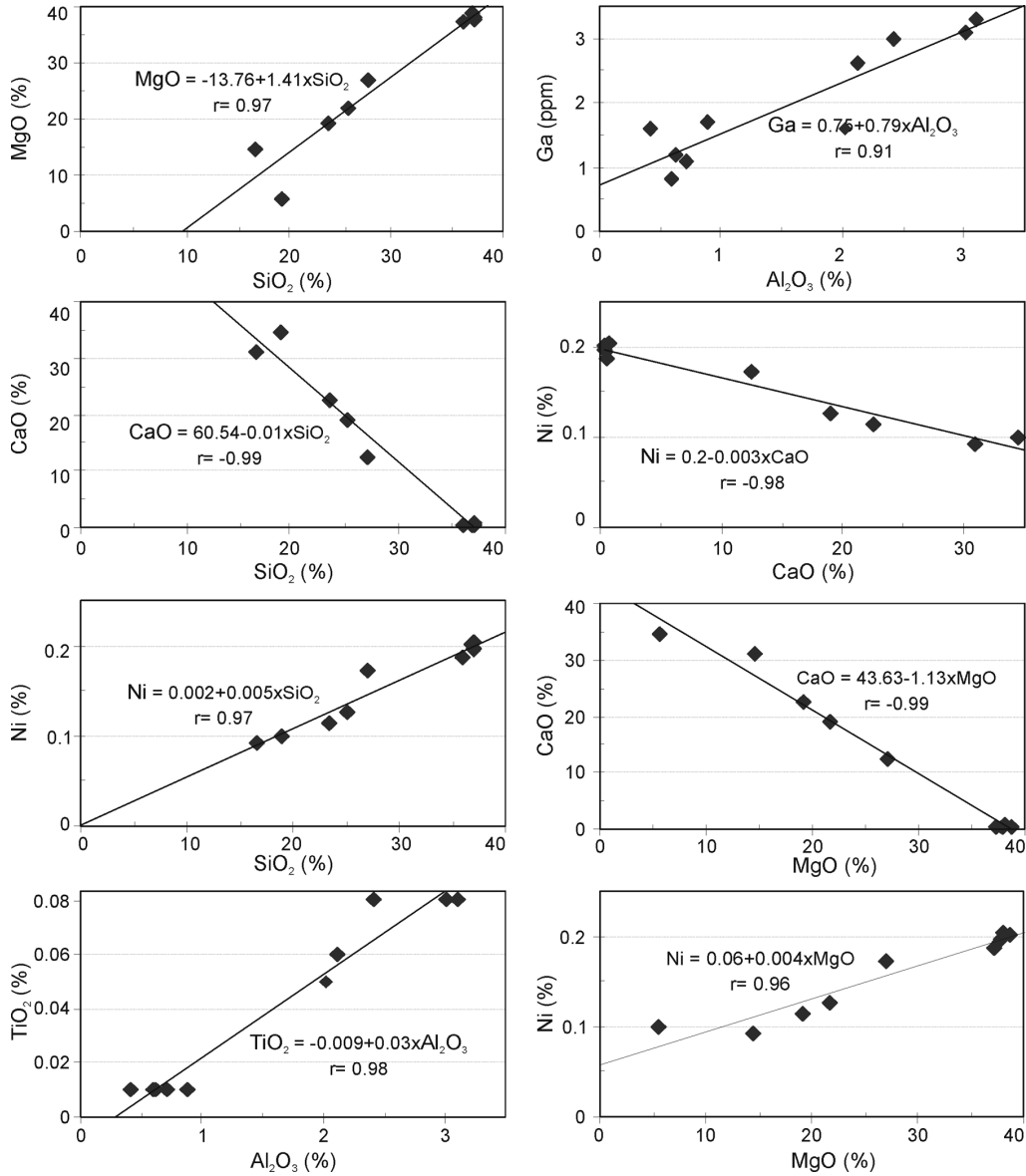
Çizelge 4. Ofiyolitik kayaç örneklerine ait element konsantrasyonlarının korelasyon matrisi.

Table 4. Correlation matrix of element concentrations of the ophiolitic rock samples.

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	LOI	Cu	Ga	Nb	Ni	Pb	Th	V	Zn	Zr	
SiO <sub>2</sub>	1.00																				
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0.64	1.00																			
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.27	-0.41	1.00																		
MgO	0.97	-0.68	0.29	1.00																	
CaO	-0.99	0.69	-0.33	-0.99	1.00																
Na <sub>2</sub> O	-0.31	0.67	0.00	-0.28	0.30	1.00															
K <sub>2</sub> O	-0.45	0.28	-0.23	-0.65	0.57	-0.17	1.00														
TiO <sub>2</sub>	-0.75	0.98	-0.41	-0.80	0.80	0.56	0.43	1.00													
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-0.77	0.86	-0.36	-0.72	0.76	0.68	0.07	0.84	1.00												
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.15	-0.50	0.91	0.22	-0.24	-0.19	-0.24	-0.48	-0.40	1.00											
LOI	-0.97	0.61	-0.37	-0.98	0.99	0.17	0.62	0.74	0.69	-0.26	1.00										
Cu	0.18	0.17	0.09	0.11	-0.14	-0.29	0.04	0.16	-0.04	0.01	-0.14	1.00									
Ga	-0.82	0.91	-0.26	-0.85	0.85	0.66	0.38	0.93	0.88	-0.27	0.78	-0.01	1.00								
Nb	-0.45	0.28	-0.23	-0.65	0.57	-0.17	1.00	0.43	0.07	-0.24	0.62	0.04	0.38	1.00							
Ni	0.97	-0.77	0.41	0.96	-0.98	-0.41	-0.47	-0.85	-0.86	0.34	-0.96	0.13	-0.90	-0.47	1.00						
Pb	-0.29	0.24	-0.33	-0.49	0.42	-0.19	0.94	0.36	-0.03	-0.31	0.45	0.04	0.30	0.94	-0.32	1.00					
Th	-0.68	0.34	-0.50	-0.79	0.76	-0.18	0.89	0.50	0.26	-0.36	0.82	-0.14	0.47	0.89	-0.68	0.82	1.00				
V	-0.45	0.81	0.10	-0.45	0.44	0.76	0.03	0.77	0.64	-0.03	0.34	0.10	0.77	0.03	-0.52	-0.05	-0.01	1.00			
Zn	0.27	-0.05	-0.52	0.30	-0.25	-0.21	-0.32	-0.12	0.09	-0.53	-0.23	0.38	-0.25	-0.32	0.16	-0.24	-0.21	-0.44	1.00		
Zr	-0.78	0.82	-0.49	-0.89	0.87	0.34	0.74	0.89	0.67	-0.49	0.85	0.04	0.86	0.74	-0.86	0.69	0.80	0.49	-0.17	1.00	

1978; Lauber, 1980; Bardossy, 1982 ve 1984; Jennings, 1985; Mylorie ve Carew, 1995; Khadikar ve Basavaiah, 2004). Karbonatlı kayaçların yüzeysel bozunmaları sırasında gelişen hızlı kimyasal tepkimelerle karbonat mineralleri çö-

zünmekte ve açığa çıkan alkali elementler sular aracılığıyla ortamdaki uzaklaştırılarak kireçtaşlarında önemli miktarda hacim azalmasına neden olmaktadır. Kireçtaşlarının içerdiği kil ve diğer silikat mineralleri ise daha yüksek duraylılıkları



Şekil 5. Ofiyolitik kayalarda Al ile anlamlı ilişkiye sahip element çiftlerinin dağılım diyagramları ve regresyon doğruları.

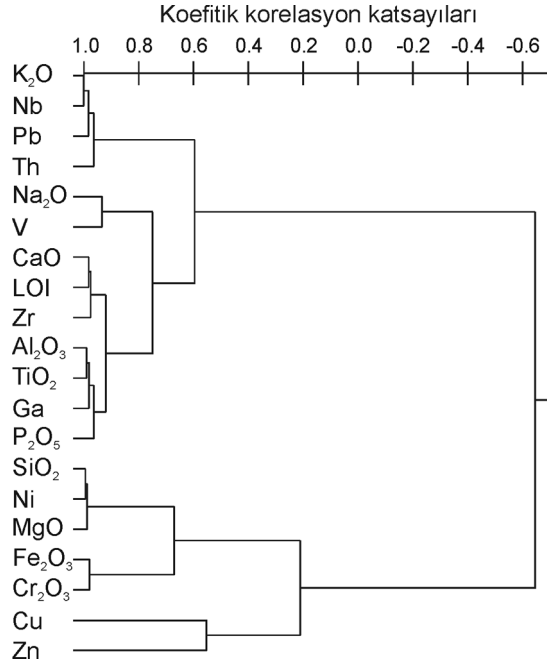
Figure 5. Distribution diagrams and regression curves of element pairs that show significant relationship with Al in ophiolitic rocks.

nedeniyle ya yerinde kalarak, ya da kısa mesafelerde taşınarak terra-rosaları oluşturmaktadır.

Çatmakaya köyü civarındaki terra-rosalardan alınan 8 örnekte, Eti Alüminyum A.Ş. Genel Müdürlüğü araştırma ve kimya laboratuvarlarında (Seydişehir) gerçekleştirilen X-ışını kırınımı (XRD) analizlerinde; kuvars, klinoklor, muskovit, albit, mikroklin, diyaspör, hematit, montmorillonit ve kloritoid; Altınapa (Konya batısı) civarındaki terra-rosa örneklerinde kalsit, hematit, böhmüt, dolomit, kaolinit, götit, kuvars, muskovit, gipsit,

spinel, montmorillonit; Seydişehir civarındaki terra-rosa numunelerinde ise kalsit, kuvars, kaolinit, muskovit, rutil, dolomit ve klorit (Karadağ vd., 1995) parajenezleri saptanmıştır. Bu karşılaştırmalarda inceleme alanındaki terra-rosaların mineralojik bileşenlerinin bölgede yer alan terra-rosaların bileşimiyle hemen hemen aynı olduğu görülmektedir.

Terra-rosa örneklerinde yapılan kimyasal analiz sonuçları üzerinde gerçekleştirilen t-testlerinde örnek ortalamalarının tümü % 5 hata payı ile an-



Şekil 6. Ofiyolitik kayalardan derlenen örneklerin koefitik korelasyon katsayılarına göre yakınlık sıralaması.

Figure 6. Proximity ranking, based on the coefficient correlation coefficients of the samples collected from ophiolitic rocks.

lamlı çıkmaktadır. Terra-rosaların ortalama  $Al_2O_3$  içeriği % 19.8 olup, ana kitlede % 18.7 ila % 20.9 arasında  $Al_2O_3$  beklenmektedir (Çizelge 5). Kireçtaşlarının ortalama %  $Al_2O_3$  oranının % 0.52 olduğu dikkate alındığında, bu kayalardan türeyen terra-rosaların yaklaşık 38 kat zenginleşme geçirmiş oldukları söylenebilir. Terra-rosalar için yapılan regresyon analizlerinde  $Al_2O_3$ - $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ -Ga,  $Al_2O_3$ -V,  $SiO_2$ - $Na_2O$ ,  $MgO$ - $Cr_2O_3$  ve Ga-V arasında çok yüksek,  $Al_2O_3$ - $TiO_2$ ,  $SiO_2$ - $MgO$ ,  $SiO_2$ - $K_2O$ ,  $SiO_2$ -Zn,  $SiO_2$ -Zr,  $Fe_2O_3$ - $TiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ -Ga,  $Fe_2O_3$ -V,  $MgO$ - $Na_2O$ ,  $MgO$ - $K_2O$ ,  $MgO$ - $P_2O_5$ ,  $MgO$ -Ni,  $CaO$ - $TiO_2$ ,  $CaO$ -V,  $Na_2O$ - $K_2O$ ,  $Na_2O$ - $P_2O_5$ ,  $Na_2O$ - $Cr_2O_3$ ,  $K_2O$ - $Cr_2O_3$ ,  $TiO_2$ -Ga,  $TiO_2$ -Nb,  $TiO_2$ -V,  $Cr_2O_3$ -Ni, Cu-Ni, Cu-V, Pb-Zn ve Zn-Zr arasında ise yüksek pozitif ilişkiler belirlenirken,  $CaO$ - $SiO_2$  ve  $CaO$ - $Na_2O$  arasında çok yüksek,  $SiO_2$ -Ga,  $SiO_2$ -V,  $Al_2O_3$ - $Na_2O$ ,  $Al_2O_3$ - $P_2O_5$ ,  $Fe_2O_3$ - $P_2O_5$ ,  $CaO$ - $K_2O$ ,  $Na_2O$ - $TiO_2$ ,  $Na_2O$ -Ga,  $Na_2O$ -V,  $TiO_2$ - $P_2O_5$ ,  $Ga$ - $P_2O_5$ ,  $Pb$ - $P_2O_5$  ve  $Cu$ -Zn arasında yüksek negatif ilişkiler elde edilmiştir (Çizelge 6). Çok yüksek ilişki gösteren elementler arasında hesaplanan basit regresyon eşitliklerine göre çizilen dağılım diyagramlarında, noktalar regresyon doğrusuyla uyumluluk göstermektedir

(Şekil 7). Öte yandan, elementlerin ortak korelasyon katsayılarına göre hazırlanan dendogramda ( $MgO$ - $Cr_2O_3$ )- $K_2O$  grubuna sırasıyla ( $SiO_2$ - $Na_2O$ )- $P_2O_5$ -(Zn-Zr) eklenerek belirgin bir grup oluşturmaktadır.  $Al_2O_3$ -Ga-V- $TiO_2$  ayrı ve çok belirgin bir grup oluşturmakta ve bu gruba sırasıyla  $Fe_2O_3$ -Nb-(CaO-Cu)-Ni-(Pb-Th) ve LOI uzaktan eklenmektedir (Şekil 8). Buna göre; terra-rosalarda bulunan ve henüz çözünmeye başlamamış olan Mg, Na ve K'lu silikatlarla Al, Fe ve Ca içeren oksit ve karbonatlı mineraller ayrı gruplarda toplanmaktadır.

Al'un Fe, Ti, Ga ve V gibi duraylı elementlerle yüksek ve çok yüksek pozitif, Ca'un ise Si, Na ve K gibi elementlerle yüksek ve çok yüksek negatif ilişkilere sahip olmaları, ana kayaçtan itibaren bozunma ve taşınma sırasında duraylı elementlerin birlikte hareket ettiklerini, ancak karbonatlarda gerçekleşen şiddetli ayrışmanın henüz silikat minerallerinde gerçekleşmediğini göstermektedir.

## CEVHER JEOKİMYASI

Cevher yatağının değişik kesimlerinden alınan 34 örneğin analiz sonuçlarına göre boksitlerin  $Al_2O_3$  içeriği ortalama % 60.3 olup, bu örneklerin ait olduğu ana kitlede % 59.0 ila % 61.60 aralığında  $Al_2O_3$  beklenmektedir (Çizelge 7). Bu ortalama karşılık gelen % 31.92 Al değeri, yer kabuğundaki Al oranının (Clark sayısı: 8.13), 3.95, yörede mevcut kireçtaşlarının (% 0.52) 115.1 ofiyolitik kayaların (% 1.59) 37.95 ve terra-rosaların (% 19.81) 3.04 katıdır. Bu veriler, Çatmakaya boksitlerinin Al içeriği çok düşük olan kireçtaşlarından doğrudan türemelerinin güç olduğunu göstermektedir. Öte yandan, Al içeriği göreceli olarak yüksek olan ofiyolitik kayaların boksite kaynaklık etme olasılığı olsa bile, boksitlerdeki yüksek Ca içeriği bu olasılığı zayıflatmaktadır.

$Al_2O_3$ , kimyasal analizleri gerçekleştirilen diğer bileşenlerden  $TiO_2$  ile çok yüksek,  $Cr_2O_3$ , Ga ve Nb ile yüksek pozitif,  $SiO_2$ ,  $MgO$  ve Ni ile çok yüksek ve  $CaO$  ile yüksek negatif ilişkiler göstermektedir (Çizelge 8). Boksitlerde ayrıca  $TiO_2$ -Nb arasında çok yüksek,  $SiO_2$ - $MgO$ ,  $SiO_2$ - $CaO$ ,  $SiO_2$ - $K_2O$ ,  $SiO_2$ -Ni,  $MgO$ - $CaO$ ,  $MgO$ -Ni,  $CaO$ -Ni,  $K_2O$ -V,  $TiO_2$ - $Cr_2O_3$ ,  $TiO_2$ -Zr,  $Cr_2O_3$ -Nb, Cu-Pb, Ga-Nb ve Nb-Zr element çiftleri arasında yüksek



Çizelge 5. Terra-rosaların bazı ana ve iz element konsantrasyonları ve istatistiksel analiz özetleri (AO: Aritmetik ortalama, SS: Standart sapma, SH: Standart hata, Ht: Hesaplanan t, Tt: Tablo t değeri, AS: Ana kitle aritmetik ortalamasına ait alt sınır, ÜS: Ana kitle aritmetik ortalamasına ait üst sınırı, eleman sayısı= 8, Tt: Tablo t değeri=1.90).

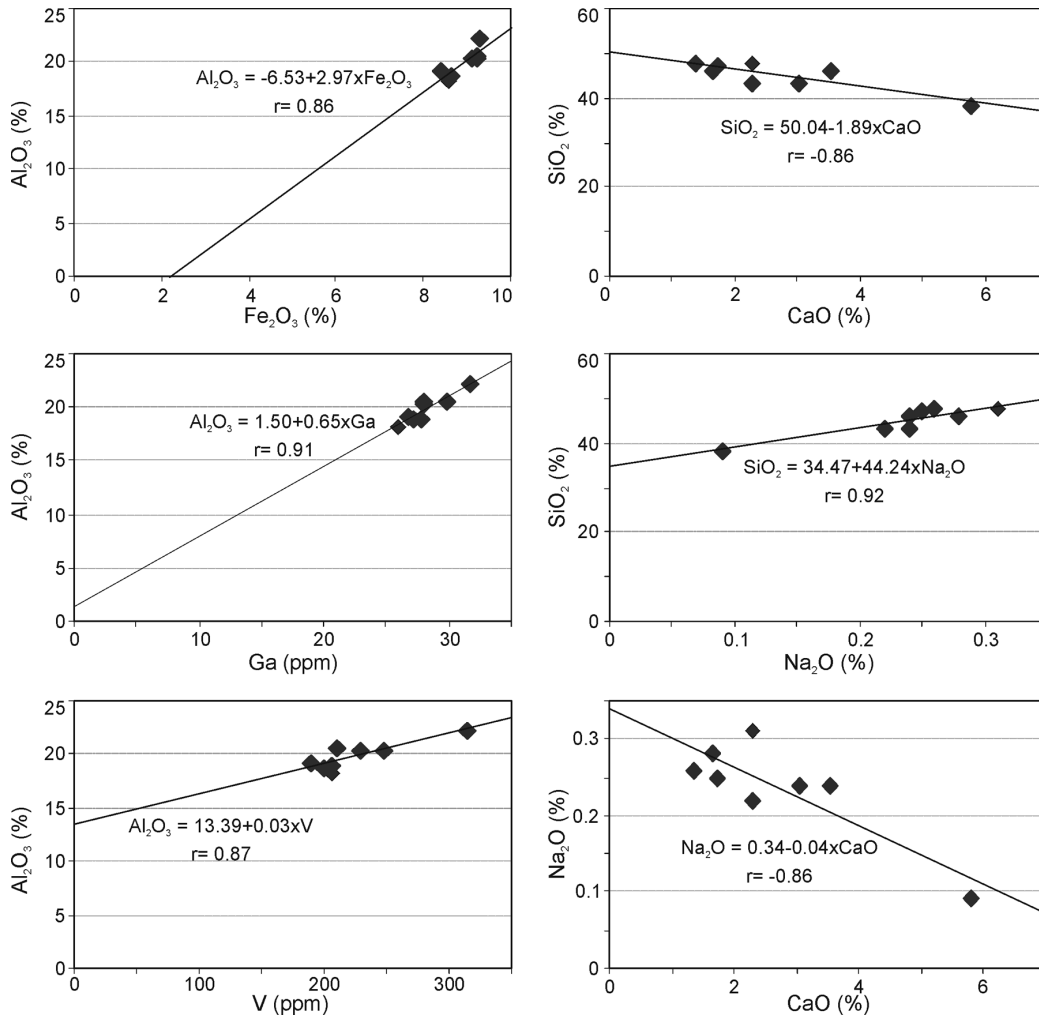
Table 5. Concentrations and statistical analysis summaries of some major and trace elements in terra-rossas (AO: Arithmetical mean, SS: Standard deviation, SH: Standard error, Ht: Calculated t, AS: Lower limit of arithmetic mean of the main mass, ÜS: Upper limit of arithmetic mean of the main mass, 8 sample, Tt: Table t value=1.90).

Örnek No.	Bileşenler																			
	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	MgO %	CaO %	Na <sub>2</sub> O %	K <sub>2</sub> O %	TiO <sub>2</sub> %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	LOI %	Cu ppm	Ga ppm	Nb ppm	Ni ppm	Pb ppm	Th ppm	V ppm	Zn ppm	Zr ppm
1	47.49	18.15	8.58	2.14	2.28	0.31	2.59	1.03	0.49	0.040	16.8	37.80	25.90	27.6	164.1	30.1	17.5	206.5	162.0	262.2
2	46.00	18.79	8.62	1.31	3.55	0.24	1.98	1.09	0.23	0.031	18.0	34.10	27.10	28.9	116.0	46.3	21.3	200.0	193.0	267.2
3	47.81	20.61	9.22	1.56	1.37	0.26	2.61	1.09	0.25	0.028	15.0	33.40	27.90	27.2	131.7	52.6	21.0	211.0	184.0	276.8
4	46.96	20.43	9.26	1.67	1.72	0.25	2.43	1.06	0.28	0.037	15.8	35.50	29.90	27.5	153.5	46.0	31.2	248.0	187.0	260.8
5	43.24	18.95	8.44	1.33	3.03	0.24	2.30	0.99	0.39	0.030	20.9	34.10	27.70	24.5	109.0	38.0	18.3	207.0	164.0	228.2
6	38.39	22.27	9.28	1.19	5.79	0.09	2.01	1.17	0.17	0.026	19.4	40.10	31.70	28.7	151.4	42.2	20.1	315.0	149.0	233.8
7	43.35	19.06	8.42	1.24	2.30	0.22	2.08	1.02	0.31	0.024	21.8	31.60	26.70	25.0	106.9	40.4	19.4	189.0	180.0	233.6
8	46.14	20.26	9.12	1.63	1.66	0.28	2.44	1.05	0.28	0.035	16.9	31.90	27.90	26.9	144.4	38.9	19.6	230.0	168.0	249.3
AO	44.92	19.81	8.87	1.51	2.71	0.24	2.30	1.06	0.30	0.031	18.1	34.81	28.10	27.0	134.6	41.8	21.1	225.8	173.4	251.5
SS	3.16	1.33	0.39	0.31	1.44	0.07	0.25	0.06	0.10	0.006	2.4	2.91	1.86	1.6	22.0	6.7	4.3	40.4	15.0	18.0
SH	1.12	0.47	0.14	0.11	0.51	0.02	0.09	0.02	0.04	0.002	0.9	1.03	0.66	0.6	7.8	2.4	1.5	14.3	5.3	6.4
Ht	40.27	42.12	65.00	13.62	5.33	10.24	25.75	54.42	8.52	15.980	21.1	33.87	42.71	48.6	17.3	17.6	13.9	15.8	32.8	39.5
AS	42.28	18.70	8.54	1.25	1.51	0.18	2.09	1.02	0.22	0.027	16.0	32.38	26.54	25.7	116.2	36.2	17.5	192.0	160.9	236.4
ÜS	47.56	20.93	9.19	1.77	3.92	0.29	2.52	1.11	0.38	0.036	20.1	37.24	29.66	28.3	153.0	47.4	24.6	259.6	185.9	266.5

Çizelge 6. Terra-rosa örneklerine ait elementlerin korelasyon matrisi.

Table 6. Correlation matrix for the element concentrations in terra-rossa samples.

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	LOI	Cu	Ga	Nb	Ni	Pb	Th	V	Zn	Zr	
SiO <sub>2</sub>	1.00																				
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0.50	1.00																			
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0.02	0.86	1.00																		
MgO	0.70	-0.37	0.05	1.00																	
CaO	-0.86	0.40	0.03	-0.55	1.00																
Na <sub>2</sub> O	0.92	-0.71	-0.30	0.73	-0.86	1.00															
K <sub>2</sub> O	0.71	-0.13	0.25	0.81	-0.74	0.70	1.00														
TiO <sub>2</sub>	-0.42	0.78	0.69	-0.30	0.61	-0.70	-0.34	1.00													
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.40	-0.77	-0.62	0.68	-0.41	0.67	0.52	-0.78	1.00												
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.63	-0.35	0.08	0.87	-0.41	0.67	0.61	-0.28	0.56	1.00											
LOI	-0.70	-0.18	-0.64	-0.64	0.47	-0.45	-0.69	-0.26	0.06	-0.60	1.00										
Cu	-0.43	0.36	0.29	0.16	0.67	-0.50	-0.10	0.57	-0.03	0.18	-0.09	1.00									
Ga	-0.60	0.91	0.75	-0.40	0.55	-0.78	-0.27	0.71	-0.69	-0.24	-0.06	0.53	1.00								
Nb	0.03	0.37	0.54	0.14	0.38	-0.24	-0.14	0.80	-0.47	0.24	-0.55	0.56	0.38	1.00							
Ni	0.15	0.33	0.59	0.69	0.01	0.06	0.48	0.37	0.11	0.66	-0.63	0.64	0.34	0.57	1.00						
Pb	0.11	0.48	0.52	-0.44	-0.09	-0.23	-0.09	0.46	-0.75	-0.43	-0.35	-0.24	0.37	0.26	-0.26	1.00					
Th	0.25	0.31	0.53	0.04	-0.23	-0.02	0.09	0.17	-0.34	0.25	-0.44	0.03	0.47	0.26	0.26	0.50	1.00				
V	-0.63	0.87	0.71	-0.21	0.65	-0.75	-0.23	0.76	-0.54	-0.10	-0.08	0.72	0.93	0.50	0.55	0.10	0.26	1.00			
Zn	0.63	-0.31	-0.07	-0.04	-0.54	0.42	0.02	-0.17	-0.18	0.02	-0.31	-0.60	-0.33	0.06	-0.38	0.60	0.51	-0.57	1.00		
Zr	0.80	-0.11	0.32	0.53	-0.48	0.52	0.50	0.19	-0.04	0.44	-0.87	-0.06	-0.24	0.55	0.33	0.44	0.32	-0.25	0.60	1.00	



Şekil 7. Terra-rosa örneklerinde Al ile yüksek ilişkiye sahip element çiftlerinin dağılım diyagramları ve regresyon doğruları.

Figure 7. Distribution diagrams and regression curves of the element pairs having a significant correlation with Al in terra-rossa samples.

pozitif, SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> arasında çok yüksek, SiO<sub>2</sub>-Ga, SiO<sub>2</sub>-Nb, SiO<sub>2</sub>-Zr, MgO-TiO<sub>2</sub>, MgO-Nb, CaO-TiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O-TiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O-Ga, TiO<sub>2</sub>-Ni ve Nb-Ni arasında yüksek negatif ilişkiler belirlenmiştir (bkz. Çizelge 8). Çok yüksek ve yüksek ilişkilere sahip olan elementlere ait regresyon denklemlerine göre hazırlanan dağılım diyagramlarında noktaların regresyon doğrusuna uyumu önemli görülmektedir (Şekil 9).

Boksitlerde ortak korelasyon katsayılarına göre hazırlanan dendogramda 3 adet çok belirgin grup ortaya çıkmaktadır. Birinci grup boksitlerdeki duraylı ve az hareketli bileşenlerden oluş-

makta, (TiO<sub>2</sub>-Nb)-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Zr-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Ga-Th ve bu gruba uzaktan eklenen Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile temsil edilmektedir. İkinci grup ise, boksitlerde duraysız bileşenlerden (MgO-CaO)-Ni-SiO<sub>2</sub>-Na<sub>2</sub>O grubuna uzaktan eklenen K<sub>2</sub>O-V grubu ile temsil edilmektedir. Boksitlerdeki üçüncü grup ise (Cu-Pb)-(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-LOI)-Zn ile temsil edilmekte ve LOI hariç diğer bileşenler boksitleşme esnasında duraylı ve duraysız bileşenlerin arasında bir davranış sergilemektedirler (Şekil 10). Buna göre; Al boksitlerde Ti, Cr, Nb, Ga ve Zr gibi duraylı elementlerle ortak hareket ederek zenginleşmişler, Al ile yüksek negatif ilişki sergileyen Ca ve Ca ile pozitif ilişki sergileyen Si, Mg, Ni, K, V ve Na bozunma ile göreceli olarak azalmışlardır.

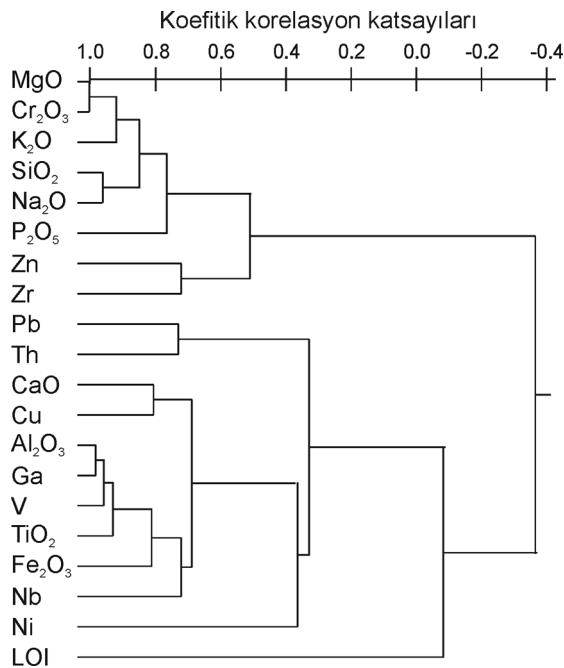
Çizelge 7. Çatmakaya boksitlerinin bazı ana ve iz element konsantrasyonları ve istatistiksel analiz özetleri (AO: Aritmetik ortalama, SS: Standart sapma, SH: Standart hata, Ht: Hesaplanan t, AS: Ana kitle aritmetik ortalamasına ait alt sınır, ÜS: Ana kitle aritmetik ortalamasına ait üst sınırı, eleman sayısı= 8, Tt: Tablo t değeri=1.685).

Table 7. Concentrations and statistical summaries of some major and trace elements in Çatmakaya bauxites (AO: Arithmetical mean, SS: Standard deviation, SH: Standard error, Ht: Calculated t, AS: Lower limit of arithmetic mean of the main mass, ÜS: Upper limit of arithmetic mean of the main mass, 34 sample, Tt: Table t value=1.685).

Örnek No.	Bileşenler																			
	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	MgO %	CaO %	Na <sub>2</sub> O %	K <sub>2</sub> O %	TiO <sub>2</sub> %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	LOI %	Cu ppm	Ga ppm	Nb ppm	Ni ppm	Pb ppm	Th ppm	V ppm	Zn ppm	Zr Ppm
1	3.18	61.94	18.38	0.03	0.10	0.01	0.19	2.86	0.04	0.10	12.5	1.9	55.5	49.1	73.55	10.6	52.7	294.0	8.0	428.2
2	3.46	59.90	20.04	0.06	0.10	0.01	0.27	2.82	0.06	0.09	12.9	4.1	50.5	47.3	104.15	10.7	45.6	360.0	43.0	426.9
3	2.70	59.19	21.35	0.06	0.07	0.01	0.42	2.54	0.04	0.08	12.9	2.4	59.2	44.6	66.60	67.1	38.5	321.0	5.0	411.8
4	9.22	58.31	15.96	0.03	0.06	0.01	1.17	2.64	0.02	0.05	12.2	1.8	50.6	47.0	60.35	31.5	48.1	462.0	5.0	451.4
5	2.38	62.40	19.55	0.05	0.07	0.01	0.11	2.73	0.02	0.07	12.2	16.6	56.7	46.1	82.90	66.4	48.5	386.0	8.0	399.4
6	1.84	63.68	18.35	0.03	0.06	0.01	0.04	2.84	0.04	0.08	12.7	2.2	57.6	48.7	71.40	74.6	47.1	291.0	15.0	445.7
7	5.53	62.49	15.26	0.07	0.09	0.01	0.59	2.75	0.02	0.06	12.7	1.8	55.3	46.8	65.10	58.1	44.2	363.0	10.0	412.3
8	2.80	59.10	21.19	0.05	0.08	0.01	0.13	2.86	0.06	0.07	13.0	1.8	60.1	51.3	84.10	64.6	53.2	297.0	9.0	460.8
9	9.50	58.68	15.44	0.03	0.08	0.02	1.10	2.61	0.07	0.05	12.2	1.6	48.3	41.3	67.15	23.7	45.2	410.0	5.0	415.3
10	3.04	61.38	18.76	0.04	0.08	0.01	0.26	2.79	0.02	0.08	12.9	1.5	62.0	48.7	53.60	52.6	44.7	298.0	32.0	432.8
11	2.84	60.28	20.39	0.06	0.05	0.01	0.11	2.71	0.04	0.07	12.8	2.6	56.6	46.8	74.80	63.0	53.6	377.0	10.0	414.7
12	1.70	62.86	19.13	0.05	0.08	0.01	0.07	2.83	0.03	0.08	12.9	1.0	57.2	48.4	61.65	63.7	51.2	294.0	6.0	428.5
13	2.81	61.40	19.29	0.05	0.06	0.02	0.09	2.78	0.03	0.08	13.2	1.9	55.1	46.7	68.45	60.6	49.5	362.0	9.0	426.1
14	1.62	61.35	20.84	0.04	0.07	0.01	0.10	2.92	0.03	0.09	12.6	3.3	59.0	48.6	79.90	77.6	58.8	311.0	8.0	458.2
15	1.91	61.67	19.63	0.07	0.07	0.01	0.14	2.91	0.02	0.09	12.7	2.1	56.8	51.1	64.10	76.3	64.9	313.0	7.0	483.6
16	1.95	60.54	21.18	0.06	0.07	0.01	0.11	2.91	0.04	0.09	12.6	1.6	54.2	51.0	50.70	72.7	60.0	310.0	7.0	484.3
17	2.53	61.30	19.65	0.07	0.08	0.01	0.10	2.77	0.03	0.07	13.0	1.9	53.9	46.7	59.75	63.5	53.7	356.5	9.5	414.7
18	1.98	62.16	19.25	0.06	0.09	0.01	0.04	2.85	0.04	0.08	12.8	3.0	58.7	49.6	86.15	77.6	64.7	308.0	10.0	474.7
19	3.52	58.80	21.02	0.11	0.14	0.01	0.18	2.65	0.03	0.07	12.9	3.0	53.0	43.3	80.35	69.9	52.2	375.0	10.0	394.4
20	14.16	48.57	20.74	0.21	0.20	0.07	0.70	2.18	0.03	0.06	12.7	6.3	48.2	41.0	189.10	87.0	55.4	386.0	9.0	395.1
21	10.30	53.31	20.43	0.10	0.09	0.01	0.51	2.41	0.03	0.07	12.7	2.1	51.7	42.5	133.15	86.8	60.3	429.0	9.0	419.9
22	1.49	63.69	18.20	0.03	0.07	0.01	0.05	3.04	0.02	0.08	13.1	2.3	52.6	52.4	49.80	68.2	63.2	294.0	8.0	464.7
23	16.58	47.90	19.16	0.20	0.17	0.01	0.61	2.05	0.04	0.04	12.9	7.6	44.8	34.1	228.40	89.0	45.3	317.0	12.0	334.4
24	2.55	61.87	18.82	0.02	0.08	0.01	0.14	2.85	0.07	0.10	13.2	3.6	51.0	49.2	70.85	50.8	55.7	314.0	37.0	415.1
25	1.92	61.72	19.54	0.03	0.08	0.01	0.06	2.95	0.05	0.08	13.0	4.5	57.9	56.0	84.25	72.2	65.8	306.0	8.0	495.8
26	1.45	62.45	19.02	0.03	0.07	0.03	0.06	2.94	0.02	0.07	13.4	3.8	57.5	54.3	56.15	68.0	61.6	275.0	6.0	449.3
27	2.09	63.44	17.48	0.04	0.11	0.01	0.07	2.91	0.05	0.10	13.5	2.4	59.6	52.9	83.10	64.4	56.0	293.0	16.0	440.2
28	1.70	62.85	18.48	0.02	0.13	0.01	0.08	2.82	0.05	0.10	13.5	2.4	62.8	53.1	76.55	77.9	58.9	294.0	9.0	461.2
29	1.61	62.95	18.66	0.03	0.10	0.01	0.09	2.83	0.01	0.10	13.3	2.0	59.7	51.1	67.75	80.1	57.0	288.0	8.0	430.9
30	5.94	57.70	18.05	0.05	0.11	0.02	0.35	2.44	0.10	0.08	14.9	19.3	61.4	47.9	137.95	533.8	55.1	472.0	12.0	432.9
31	1.65	63.14	17.94	0.04	0.06	0.01	0.11	2.74	0.06	0.08	14.1	6.1	63.0	50.6	89.65	17.3	63.2	310.0	26.0	445.7
32	3.60	59.33	21.08	0.03	0.09	0.01	0.23	2.78	0.03	0.10	12.7	3.0	49.6	48.3	70.30	23.3	54.9	354.0	12.0	436.6
33	5.45	62.73	14.02	0.04	0.09	0.01	0.42	2.81	0.05	0.07	14.2	6.6	65.3	48.5	65.50	17.7	48.9	302.0	15.0	431.9
34	3.67	61.11	17.43	0.05	0.06	0.01	0.43	2.57	0.07	0.09	14.4	7.9	57.6	45.1	94.15	21.0	65.8	277.0	23.0	416.1
AO	4.08	60.30	18.93	0.06	0.09	0.01	0.27	2.74	0.04	0.08	13.0	4.0	56.0	47.9	83.86	71.8	54.2	335.3	12.5	433.3
SS	3.68	3.73	1.79	0.04	0.03	0.01	0.29	0.21	0.02	0.01	0.6	4.0	4.8	4.3	37.49	85.0	7.2	52.0	9.1	31.0
SH	0.63	0.64	0.31	0.01	0.01	0.00	0.05	0.04	0.00	0.00	0.1	0.7	0.8	0.7	6.43	14.6	1.2	8.9	1.6	5.3
Ht	6.46	94.39	61.65	7.78	16.22	7.06	5.48	75.13	11.93	31.18	125.1	5.9	68.5	65.7	13.04	4.9	44.1	37.6	8.0	81.6
AS	2.79	59.00	18.31	0.04	0.08	0.01	0.17	2.66	0.03	0.07	12.8	2.6	54.3	46.5	70.78	42.2	51.7	317.1	9.4	422.5
ÜS	5.36	61.60	19.56	0.07	0.10	0.02	0.37	2.81	0.05	0.08	13.2	5.4	57.6	49.4	96.95	101.5	56.7	353.4	15.7	444.1

Çizelge 8. Çatmakaya boksitlerine ait element konsantrasyonları arasındaki korelasyon matrisi.  
Table 8. Correlation matrix among the element concentrations in bauxites.

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	LOI	Cu	Ga	Nb	Ni	Pb	Th	V	Zn	Zr	
SiO <sub>2</sub>	1.00																				
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0.90	1.00																			
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0.15	-0.27	1.00																		
MgO	0.75	-0.86	0.29	1.00																	
CaO	0.62	-0.67	0.12	0.74	1.00																
Na <sub>2</sub> O	0.46	-0.52	0.11	0.54	0.54	1.00															
K <sub>2</sub> O	0.78	-0.56	-0.44	0.31	0.23	0.28	1.00														
TiO <sub>2</sub>	-0.87	0.89	-0.05	-0.79	-0.60	-0.43	-0.61	1.00													
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.07	-0.06	-0.17	-0.13	0.05	-0.03	0.10	-0.17	1.00												
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0.75	0.62	0.21	-0.57	-0.26	-0.35	-0.67	0.65	0.08	1.00											
LOI	-0.16	0.16	-0.28	-0.14	0.03	-0.01	-0.21	-0.05	0.57	0.24	1.00										
Cu	0.19	-0.20	-0.08	0.16	0.18	0.17	0.05	-0.38	0.42	-0.13	0.45	1.00									
Ga	-0.62	0.62	-0.18	-0.51	-0.33	-0.27	-0.48	0.45	0.14	0.43	0.54	0.13	1.00								
Nb	-0.80	0.77	-0.03	-0.73	-0.44	-0.24	-0.62	0.86	-0.03	0.67	0.22	-0.19	0.61	1.00							
Ni	0.78	-0.86	0.17	0.82	0.74	0.44	0.31	-0.84	0.25	-0.47	0.12	0.44	-0.40	-0.65	1.00						
Pb	0.11	-0.19	0.04	0.09	0.20	0.16	-0.03	-0.28	0.42	-0.05	0.47	0.64	0.19	-0.01	0.32	1.00					
Th	-0.31	0.19	0.16	-0.14	-0.11	0.04	-0.42	0.31	0.06	0.42	0.31	0.02	0.19	0.51	-0.05	0.07	1.00				
V	0.51	-0.46	-0.06	0.24	0.12	0.23	0.60	-0.50	0.13	-0.47	-0.16	0.36	-0.40	-0.47	0.27	0.43	-0.29	1.00			
Zn	-0.11	0.10	-0.07	-0.10	-0.02	-0.14	-0.11	0.05	0.38	0.29	0.30	0.09	0.03	0.02	0.07	-0.13	-0.09	-0.15	1.00		
Zr	-0.61	0.57	0.03	-0.60	-0.47	-0.20	-0.38	0.74	-0.01	0.51	0.04	-0.27	0.46	0.85	-0.57	0.00	0.57	-0.28	-0.13	1.00	

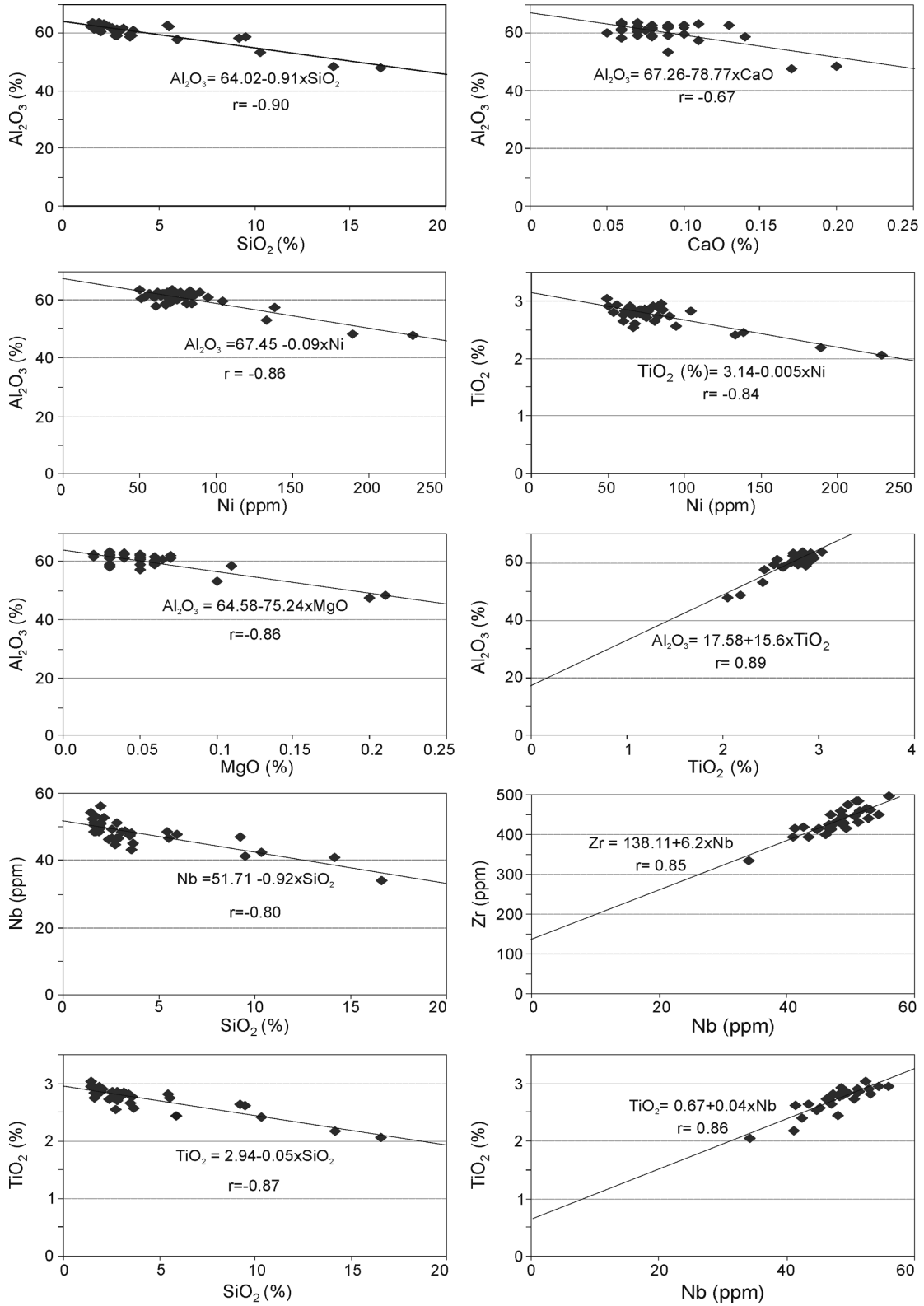


Şekil 8. Terra-rosa örneklerindeki elementlerin koefitik korelasyon katsayılarına göre yakınlık sıralaması.

Figure 8. Proximity ranking of the elements in terra-rossa samples according to coefficient correlation coefficients.

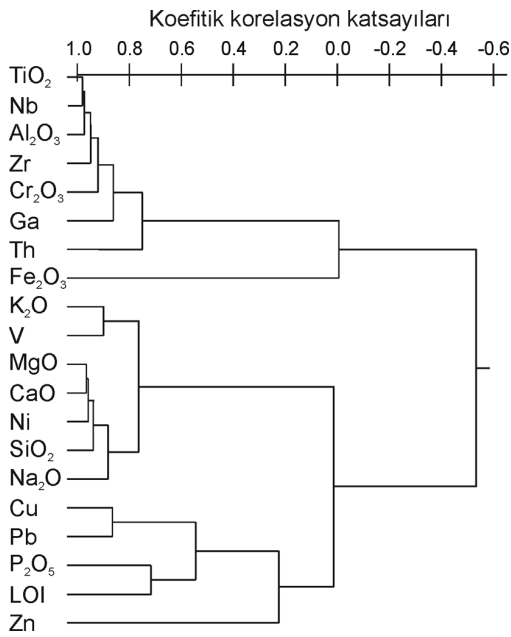
## TARTIŞMA

Çalışma alanındaki boksitler; genellikle Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiO<sub>2</sub> gibi major oksitlerle temsil edilmekte, ayrıca eser miktarlarda Na, K, Mg, Ca, Mn, Cu, Zn, Ni, Cr, V, Ga, Zr, P, Nb vb. elementleri içermektedirler. Kayaçların ayrışma ve taşınmalarında, diğer bir ifadeyle boksit oluşumu sürecinde etkili olan başlıca faktörler iklim, morfoloji, ortamın fiziko-kimyasal koşulları (Eh, pH) ve yüzeysel bozunmaya maruz kalan kayacın türüdür. Tropikal iklimlerde, düzgün bir topografya ve düşük Eh-pH koşulları altında yer üstü sularının kayaçlarla etkileşimi oldukça uzun sürmekte, dolayısıyla kayaçların bozunmaları daha kolay gerçekleşmektedir (Park ve MacDiarmid, 1975). Bozunma ve boksitleşme sürecinde Al, Ti, Zr, Nb, Th, Ga ve V gibi hareketliliği düşük elementler taşınmayıp bozundukları ortamda çökerek artarken, Fe, Pb, Ni gibi elementler düşük hareketlilikleri nedeniyle ortamdaki kısmen, Ca, Na, K, Si, Mg vb elementler ise oldukça fazla miktarlarda çözünerek tamamen uzaklaşmaktadırlar (Valeton vd., 1997; MacLean vd., 1997).



Şekil 9. Boksitlerde yüksek ilişki gösteren bazı ana ve iz element çiftlerinin dağılım diyagramları ve regresyon doğruları.

Figure 9. Distribution diagrams and regression lines some of the major and trace element couples showing the strong positive correlations with each other in bauxites.



Şekil 10. Boksitlerdeki elementlerin koefitik korelasyon katsayılarına göre yakınlık sıralaması.

Figure 10. Proximity ranking of coefficient correlation coefficients of the elements in bauxites.

Dünyanın değişik yörelerinde bulunan 47 boksit yatağının kaynak kayalarından ait ortalama % 6.6 olan Al içeriği, ilgili boksit yataklarında yaklaşık 4 kat zenginleşerek % 25.6'ya yükselmiştir (Karadağ vd., 2002; Karadağ vd., 2003b; Çizelge 9). Al oranı karbonatlı kayalarda en düşük (% 0.3), killi sedimanter kayalarda (% 9.8) en yüksektir. Buna karşın; değişim (zenginleşme) oranları karbonatlı kayalarda 57.2 kat iken, killi sedimanter kayalarda 2.4 kattır (bkz. Çizelge 9).

Kaynak kayalarla boksitlerin Fe içerikleri karşılaştırıldığında ise, karbonatlı kayalarda Fe miktarında önemli bir artış (6.2) gözlenirken, ultrabazik, bazik ve asidik magmatik ve killi sedimanter kayalarda azalma gözlenmiştir (bkz. Çizelge 9). Diğer elementlerden Ti, Cr, Zr ve Ga ise, değişik oranlarda olmak üzere tüm kayalar gruplarında artış göstermektedir. Bununla birlikte tüm elementlerin daha çok karbonatlı kayalarda arttığı görülmektedir (bkz. Çizelge 9)

Çatmakaya boksit yatağının yakınında yer alan ofiyolitik kayalar, karbonatlar ve terra-rosaların

Çizelge 9. Dünyanın 47 farklı boksit yatağı ile bunların kaynak kayalarından ait bazı element konsantrasyonları ve değişim (zenginleşme) oranları.

Table 9. Concentrations and enrichment ratios of some elements in 47 different bauxite deposits in the World together with their source rocks.

Ana kaya türü	Yatak sayısı	Ana kayaç, boksit ve zenginleşme oranları	Al	Cr	Fe	Ga	Si	Ti	Zr	Kaynaklar
Ultrabazik kayaç	6	Ana kayaç	1.2	15841.7	21.9	40.0	15.9	0.32	28.5	Maksimovic ve Papastamatiou (1973), Maksimovic (1976), Özlü (1979), Caillere vd. (1976)
		Boksit	32.28	1408.3	13.3	31.3	7.9	2.6	315.7	
		Değişim	27.5	0.1	0.6	0.8	0.5	8.1	11.1	
Bazik magmatik kayaç	14	Ana kayaç	9.1	255.5	8.7	32.4	19.5	1.07	234.5	Carvalho vd. (1991), Hill vd. (2000), Patterson (1971), Papiu ve Udrescu (1973), Gordon vd. (1958), Maksimovic (1968), Shaffer (1975), Maksimovic ve Papastamatiou (1973), Khahghi (1968)
		Boksit	24.04	425.2	7.1	42.6	4.4	1.8	452.6	
		Değişim	2.6	1.7	0.8	1.3	0.2	1.7	1.9	
Nötr magmatik kayaç	4	Ana kayaç	8.9	200.0	7.5		35.0	0.55	74.0	Özlü (1978, 1979), Jepsen ve Shellmann, (1974), Shaffer (1975)
		Boksit	27.71	95.0	8.5	67.0	2.2	1.2	588.0	
		Değişim	3.1	0.5	1.1		0.1	2.2	7.9	
Asit magmatik kayaç	4	Ana kayaç	10.2	121.0	7.7	70.0	26.5	0.39	387.0	Meyer vd. (2002), LoMonaco ve Yanes (1990), Dudich ve Siclosi (1970), Shaffer (1975)
		Boksit	29.17	120.0	6.8	69.0	1.6	0.9	892.0	
		Değişim	2.8	1.0	0.9	1.0	0.1	2.4	2.3	
Killi sedimanter kayaç	9	Ana kayaç	9.8	261.8	7.1	7.0	22.2	0.84	234.4	Franceshelli vd. (1998), Kronberg vd. (1982), Boski ve Herbosch (1990), Shaffer (1975), MacLean vd. (1997)
		Boksit	23.45	387.8	6.3	45.2	5.7	1.5	525.7	
		Değişim	2.4	1.5	0.9	6.5	0.3	1.8	2.2	
Karbonatlı kayalar	10	Ana kayaç	0.3	66.7	1.5		2.3	0.07	17.3	Karadağ (1987), Carvalho vd. (1991), MacLean vd. (1997), Temur ve Karadağ (1998)
		Boksit	17.13	314.3	9.3	59.0	11.3	1.2	375.4	
		Değişim	57.2	4.7	6.2		4.9	17.2	21.7	
Genel	47	Ana kayaç	6.6	2791.1	9.1	24.9	20.2	0.54	162.6	
		Boksit	25.63	458.4	8.5	52.3	5.5	1.5	524.9	
		Değişim	3.9	0.2	0.9	2.1	0.3	2.9	3.2	

boksitlere kaynaklık etmiş olabilecekleri varsayılarak, oksit cinsinden verilen analiz sonuçları element konsantrasyonlarına dönüştürülerek element içeriklerinin zenginleşme oranları Çizelge 10'da verilmiştir. Ayrıca terra-rosaların karbonatlar ve ofiyolitik kayalardan zenginleşme oranları da hesaplanmıştır (Çizelge 10).

Zenginleşme oranlarına göre boksitlerin ofiyolitik kayalardan türemesi durumunda Al, Fe, K, Ti, Ga, Nb, Pb, Th ve Zr'un sırasıyla; 38, 2.5, 12.2, 68.5, 28, 94, 146.6, 417 ve 175.4 kat artmasına karşın Si, Mg, Ca, Na, Cr, Cu, Ni ve Zn'un sırasıyla 7.2, 488, 138, 3.4, 4.2, 3.1, 19 ve 2.5 kez azalması gerekmektedir. İnceleme alanındaki boksitlerin ofiyolitik kayalardan oluştuğu ilk kez Wipperfurth (1965) tarafından ortaya atılmış ve daha sonra bazı araştırmacılar (Baysal ve Engin, 1976; Çağatay ve Arman, 1982) tarafından da bu görüş desteklenmiştir. Ancak, Karadağ (1987)'a göre ofiyolitik kayalardan boksit oluşumu mümkün görülmemektedir. Saptanan

zenginleşme oranlarına göre de yüzey şartlarında azalması beklenen K'un 68.5 kat artmasının yanı sıra, hareketliliği düşük olan Cr ve Ni gibi bazı elementlerin önemli oranlarda azalması yöre boksitlerinin doğrudan ofiyolitik kayalardan türemeyeceğini göstermektedir. Ofiyolitik kayaların terra-rosaları ve bunların da boksitleri oluşturduğu varsayıldığında ise, ofiyolitik kayaların terra-rosaya dönüşümünde Al'un 12.5, K'un 105, Ti'un 26.6, P'un 7.3, Cu'nun 2.8, Ga'un 14, Nb'un 53, Pb'un 85.3, Th'un 162, V'un 3.9, Zn'un 5.39 ve Zr'un 102 kat zenginleşmesi ne karşın Mg'un 18.4, Ca'un 4.5, Cr'un 10.4 ve Ni'in 11.8 kez azalması, Si ve Fe'in yaklaşık aynı kalması gerekmektedir. Bozunma ve taşınmanın yüzey koşullarında gerçekleşmesi gerektiğinden Cr ve Ni azalması terra-rosaların ofiyolitik kayalardan türemeyeceğini göstermektedir.

Boksitlerin karbonatlı kayalardan oluştuğu varsayılarak yapılan analizlerde Si, Al, Fe, K, Ti, P, Cr, Cu, Ga, Nb, Ni, Pb, Th, V ve Zr'un sırasıyla

Çizelge 10. Çatmakaya boksit yatağında boksitler ve yatak çevresinde yüzeyleyen kayalardan alınan örnekler için ana bileşenler ve bazı iz element oranları ile terra-rosa ve boksitlerin olası kaynak kayalardan zenginleşme oranları (Bx: boksit, T-R: Terra-rossa, KL: Katrangediği kireçtaşları, BO: Bozkır ofiyolitleri).

Table 10. Means of the major and some trace elements of bauxite and the rocks of its probable provenance with the enrichment ratio of components with respect to terra-rossa and bauxites in the Çatmakaya bauxite deposit (Bx: bauxite, T-R: Terra-rossa, KL: Katrangediği limestones, BO: Bozkır ophiolites).

Bileşen	Örnek ortalamaları				Terra-rosalara göre değişim oranları		Boksitlere göre değişim oranları		
	Bx	T-R	KL	BO	T-R/KL	T-R/BO	Bx/T-R	Bx/KL	Bx/BO
Si (%)	4.08	44.92	0.586	29.49	76.660	1.523	0.091	6.960	0.138
Al (%)	60.30	19.81	0.524	1.59	37.814	12.470	3.043	115.076	37.948
Fe (%)	18.93	8.87	0.195	7.61	45.471	1.165	2.135	97.090	2.488
Mg (%)	0.06	1.51	0.202	27.77	7.469	0.054	0.038	0.282	0.002
Ca (%)	0.09	2.71	54.494	12.19	0.050	0.223	0.033	0.002	0.007
Na (%)	0.01	0.24	0.017	0.05	13.900	5.251	0.056	0.779	0.294
K (%)	0.27	2.30	0.030	0.02	76.812	104.744	0.116	8.947	12.200
Ti (%)	2.74	1.06	0.021	0.04	50.595	26.563	2.577	130.371	68.445
P (%)	0.04	0.30	0.012	0.04	25.000	7.317	0.133	3.321	0.972
Cr (%)	0.08	0.03	0.002	0.33	19.613	0.096	2.475	48.548	0.238
LOI (%)	13.04	18.08	43.570	19.97	0.415	0.905	0.721	0.299	0.653
Cu (ppm)	4.00	34.81	0.940	12.27	37.035	2.837	0.115	4.254	0.326
Ga (ppm)	55.97	28.10	0.720	2.00	39.028	14.050	1.992	77.738	27.986
Nb (ppm)	47.94	27.03	0.690	0.51	39.176	53.003	1.774	69.483	94.006
Ni (ppm)	83.86	134.61	14.555	1586.70	9.248	0.085	0.623	5.762	0.053
Pb (ppm)	71.83	41.81	1.970	0.49	21.221	85.319	1.718	36.462	146.594
Th (ppm)	54.22	21.05	0.530	0.13	39.717	161.923	2.576	102.304	417.085
V (ppm)	335.28	225.81	21.000	58.40	10.753	3.867	1.485	15.966	5.741
Zn (ppm)	12.54	173.38	68.700	32.20	2.524	5.384	0.072	0.183	0.389
Zr (ppm)	433.34	251.49	4.170	2.47	60.309	101.817	1.723	103.919	175.442

7, 115, 97, 9, 130.3, 3.3, 48.5, 4.3, 78, 69.5, 5.8, 36.5, 102.3, 16 ve 194 kat artmış olmasına karşın, Mg'un 3.6, Ca'un 616.6, ve Zn'un 5.5 kez azalması gerekmektedir. Yüzeysel bozunma sırasında Mg, Ca ve Na'un azalması ve diğer bileşenlerin artmasının beklenen bir durum olmasına rağmen özellikle Ca için gerçekleşmesi gereken 617 kat azalma ve Al için 115 kat zenginleşme oldukça zor bir ihtimal olarak görülmektedir. Bu nedenle bir ara evre ürününe gereksinim vardır. Günümüzde de daha çok kireçtaşlarına bağlı olarak oluşumu devam eden terra-rosaların gereksinim duyulan ara evre ürünü olarak kabul edilmesi durumunda Ca'un haricinde tüm bileşenlerde artış beklenmektedir. Bu durumda Si ve K'un 77, Zr 60, Ti'un 50.5, Fe'in 45.5, Al, Cu, Ga, Nb ve Th'un 37-40, Pb'un 21, Cr'un 19.6, Na'un 14, V'un 11, Ni'in 9.3, Mg'un 7.5 ve Zn'nun 2.5 kat artması ve Ca'un 20.1 kez azalması gerekmektedir. Yüksek oranda Si ve K artışı yüzey şartlarında silikat minerallerinin henüz çözünmeye başlamadığını göstermektedir.

Bölgedeki terra-rosalardan alınan örneklerde önemli miktarlarda muskovit, kuvars, kaolinit, götit, hematit ve anatas ile az miktarda böhmüt bulunmaktadır. Boksitlerin terra-rosalardan türediği varsayımında Al'un 3.04, Fe'in 2.14, Ti, Cr ve Th'un yaklaşık 2.5, Ga, Nb, Pb ve Zr'un 1.7-2 ve V'un 1.5 kat artmasına karşılık Ca'un 30.7, Mg'un 26.5, Na'un 17.9, Si'un 11, Zn'un 13.8, Cu'un 8.7, K'un 8.6 ve P'un 7.5 kez azalması gerekmektedir. Bu durum, boksit oluşumunda öncelikle terra-rosa oluşum evresini desteklemektedir. Kireçtaşlarından terra-rosaya geçiş evresinde  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$  ve  $TiO_2$  artarken, CaO önemli miktarda azalmaktadır. Terra-rosalardaki yüksek  $SiO_2$  ise, henüz taşınmanın tamamiyle gerçekleşmediği izlenimini vermektedir. Kireçtaşı-terra-rosa-boksit ilişkisini benimseyen Atabey ve Özkaya (1975), Atabey (1976), Güldalı (1978) ve Lauber (1980) boksitlerin kökeninin ki-

reçtaşları olduğunu belirtmektedirler.

MacLean vd. (1997) tarafından Al, Ti, Zr gibi duraylı elementlerin miktarının bozunma sırasında önemli değişikliğe uğramadığı, dolayısıyla boksitler ve kaynak kayalarında bu elementlerin birbiriyle olan oranlarının da değişmeyeceği belirtilmektedir. İnceleme alanındaki boksitler ve bunlara kaynaklık etme olasılığı yüksek olan kayalarda bulunan ve oksit cinsinden verilen bileşenler element konsantrasyonlarına dönüştürülerek duraylı elementler birbirine oranlanmıştır. Buna göre; boksitler ve onlara kaynaklık etme olasılığı olan kireçtaşları ve terra-rosalara ait duraylı element oranları büyük bir benzerlik gösterirken, ofiyolitik kayalar farklılık göstermektedir (Çizelge 11).

Al/Ti, Al/Th, Ti/Zr, Al/Zr vb duraylı elementlerin oranlarının ana kayaktan boksite dönüşüm sürecinde aynı kalmaları, dolayısıyla kaynak kayacık ve boksitin birlikte değerlendirilmeleriyle elde edilecek korelasyon katsayılarının yüksek olması beklenmektedir (MacLean vd., 1997). Bu durumda boksit ile türeyebileceği kaynak kayacığın tahmini yapılabilmektedir. Ancak MacLean vd. (1997), bu tahminin tutarlı olabilmesi için duraylı elementler arasındaki korelasyon katsayısının 0.90'dan büyük olmasının, regresyon doğrusunun merkezden geçmesinin ve doğrusal ilişkinin sağlanmasının gerekliliğini belirtmektedirler.

Çizelge 9'da verilen 47 yatağın kaynak kayacığına göre ortalamaları esas alınarak hazırlanan Al-Ti dağılım diyagramında (Şekil 11) boksitler ile kaynak kayaların belirgin olarak farklı alanlara düştükleri görülmektedir. Diyagramda tüm boksitlerde hem Ti, hem de Al değerleri yükselmiş olarak ortaya çıkmaktadır. Al ve Ti arasındaki yüksek korelasyon katsayısı, bu iki elementin

Çizelge 11. Kaynak kayaları ile boksitlere ait duraylı element oranları.

Table 11. Stable element ratios of source rocks and bauxites.

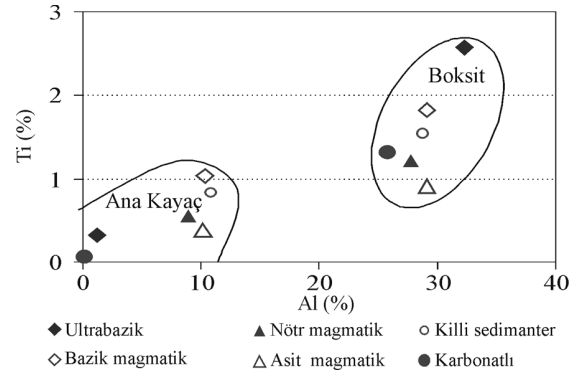
	Al/Ti	Al/Th	Al/Zr	Ti/Zr	Ti/Ga	Ti/Nb	Ti/Th	Ga/Nb	Ga/Th	Ga/Zr	Nb/Th	Nb/Zr	Th/Zr
Boksit	19.45	0.59	0.07	0.004	0.029	0.03	0.03	1.17	1.03	0.13	0.88	0.11	0.13
Terra-rosa	16.47	0.50	0.04	0.003	0.023	0.02	0.03	1.04	1.33	0.11	1.28	0.11	0.08
Kireçtaşı	22.03	0.52	0.07	0.003	0.017	0.02	0.02	1.04	1.36	0.17	1.30	0.17	0.13
Ofiyolitik kayacık	35.07	6.47	0.34	0.010	0.012	0.05	0.18	3.92	15.38	0.81	3.92	0.21	0.05



boksit oluşumu sürecindeki davranışlarının birbirlerine benzediğini veya en azından paralel olduklarını göstermektedir.

İnceleme alanı ve yakın çevresindeki boksitlerle diğer kayaç grupları ayrı ayrı birleştirilerek yapılan regresyon analizlerine göre Al, Ti, Ga, Nb, Th, V ve Zr'un birbirleri ile çok yüksek pozitif ilişkiye sahiptirler. Çatmakaya boksitleri ile kireçtaşı, terra-rosa ve ofiyolit örneklerinin tümü birlikte ele alınıp regresyon analizi yapıldığında da; Al-Fe, Al-Ti, Al-Ga, Al-Nb, Al-Th, Al-Zr, Ti-Ga, Ti-Nb, Ti-Th, Ti-V, Ti-Zr, Ga-Nb, Ga-Th, Th, Ga-Zr, Nb-Th, Nb-Zr ve Th-Zr element çiftlerinin çok yüksek pozitif ilişkiye ( $>0.95$ ) sahip oldukları belirlenmiştir (Çizelge 12).

Boksitlerin ayrı ayrı diğer kayaç grupları ile birleştirilerek yapılan regresyon analizlerinde de benzer ilişkiler ortaya çıkmaktadır. Tüm örneklerin birlikte değerlendirildiği regresyon analizinde Al ile çok yüksek pozitif korelasyona sahip olan Ti, Ga, Nb, Th ve Zr elementlerinin dağılım diyagramlarında da örneklerin regresyon doğrusuna uyumu önemli olup, regresyon doğrusu merkezden veya merkeze çok yakın olarak geç-



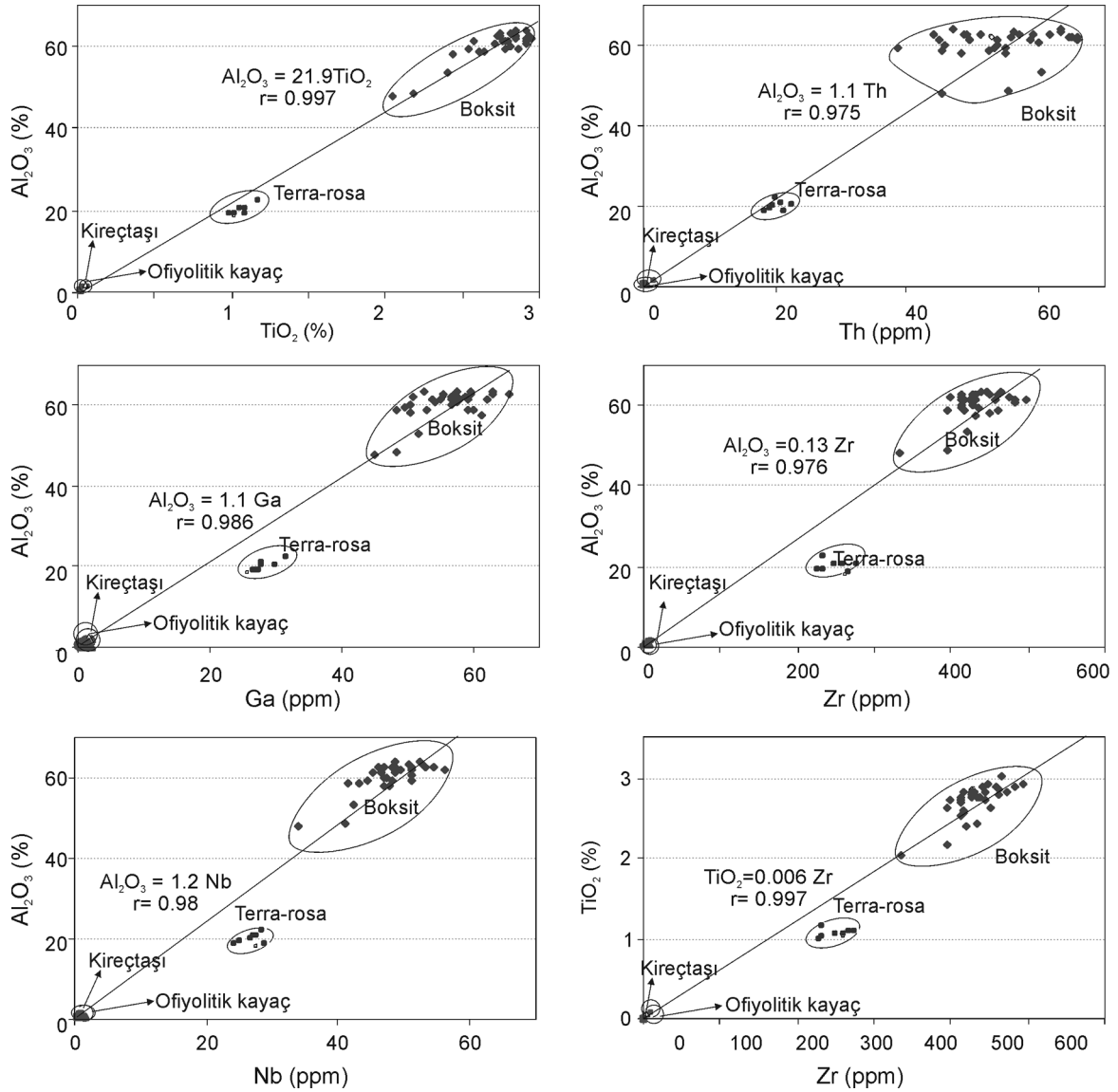
Şekil 11. Dünyadaki 47 farklı boksit yatağının verisine göre kaynak kayaçlarla boksitlerin Al-Ti dağılım diyagramı.

Figure 11. Al-Ti distribution diagram of source rocks and bauxites according to the data from 47 different bauxite deposits in the World.

mektedir. Dağılım diyagramlarında ofiyolitik kayaçlar ve kireçtaşları merkeze yakın, boksitler ise daha yüksek değerlerde toplanmışlardır. Bütün diyagramlarda terra-rosalar bu iki grubun arasında yer almaktadır. (Şekil 12). Bu sonuç da ana kayaç→terra-rosa→boksit dönüşümünü desteklemektedir.

Çizelge 12. Kaynak kayaçları ile boksitlere ait bazı element konsantrasyonlarının korelasyon matrisi.  
Table 12. Correlation matrix of some element concentrations for source rocks and bauxite.

	Si	Al	Fe	Mg	Ca	Na	K	Ti	P	Cr	LOI	Cu	Ga	Nb	Ni	Pb	Th	V	Zn	Zr
Si	1.00																			
Al	-0.48	1.00																		
Fe	-0.29	0.93	1.00																	
Mg	0.52	-0.52	-0.29	1.00																
Ca	-0.25	-0.69	-0.82	-0.09	1.00															
Na	0.79	-0.31	-0.25	0.00	-0.12	1.00														
K	0.71	-0.09	-0.08	-0.19	-0.26	0.88	1.00													
Ti	-0.45	1.00	0.93	-0.53	-0.70	-0.27	-0.05	1.00												
P	0.70	-0.15	-0.12	-0.13	-0.21	0.92	0.89	-0.11	1.00											
Cr	0.34	-0.26	0.00	0.82	-0.22	-0.11	-0.28	-0.28	-0.19	1.00										
LOI	-0.16	-0.73	-0.87	-0.08	0.99	-0.04	-0.17	-0.73	-0.12	-0.24	1.00									
Cu	0.87	-0.30	-0.20	0.17	-0.24	0.83	0.83	-0.27	0.84	0.06	-0.15	1.00								
Ga	-0.39	0.99	0.92	-0.54	-0.72	-0.20	0.03	0.99	-0.03	-0.29	-0.75	-0.18	1.00							
Nb	-0.36	0.98	0.92	-0.56	-0.72	-0.15	0.07	0.99	0.01	-0.31	-0.75	-0.16	0.99	1.00						
Ni	0.53	-0.51	-0.25	0.99	-0.10	-0.01	-0.20	-0.52	-0.12	0.87	-0.10	0.18	-0.53	-0.55	1.00					
Pb	-0.14	0.43	0.43	-0.26	-0.33	-0.05	0.04	0.42	0.06	-0.16	-0.33	0.08	0.47	0.45	-0.24	1.00				
Th	-0.44	0.98	0.92	-0.53	-0.68	-0.26	-0.05	0.98	-0.11	-0.28	-0.72	-0.26	0.97	0.97	-0.52	0.46	1.00			
V	-0.24	0.91	0.89	-0.50	-0.74	-0.09	0.18	0.91	0.06	-0.27	-0.77	-0.05	0.93	0.92	-0.48	0.54	0.90	1.00		
Zn	0.64	-0.47	-0.49	-0.05	0.18	0.77	0.74	-0.43	0.72	-0.24	0.27	0.73	-0.37	-0.33	-0.07	-0.16	-0.42	-0.30	1.00	
Zr	-0.34	0.98	0.92	-0.56	-0.73	-0.13	0.10	0.99	0.03	-0.32	-0.75	-0.15	0.99	1.00	-0.55	0.45	0.97	0.93	-0.32	1.00



Şekil 12. Çatmakaya yatağı ile kaynak kayaların birlikte değerlendirilmesiyle elde edilen regresyon dağılım diyagramları.

Figure 12. Regression distribution diagrams obtained by evaluating the Çatmakaya deposit and source rocks together.

## SONUÇLAR

Çatmakaya boksitlerinin köken kayacını belirleyebilmek amacıyla yürütülen bir dizi çalışmanın sonuçları aşağıda verilmiştir:

(1) Boksitler ve karbonatlı kayalarda  $Al_2O_3$ -CaO yüksek ve çok yüksek negatif, ofiyolitik kayalarda ise yüksek pozitif ilişki göstermektedir.

(2) Kümelendirme analizi dendogramlarında boksitler, Katrangediği kireçtaşları ve terra-rosalar-

da  $Al_2O_3$  CaO'ten bağımsız olarak  $TiO_2$ -Ga-Nb-Th-V ile aynı grupta yer alırken, ofiyolitik kayalara ait dendogramda CaO aynı grupta yer almaktadır.

(3) Al, Ti, Th, Ga, Nb, Zr ve V gibi duraylı elementlerin kaynak kayaç ve boksitlerde değişmeyeceği varsayıldığında, boksitlerle karbonatlı kayalar ve terra rosalar benzerlik gösterirken ofiyolitik kayalar farklı değerler göstermektedir.

(4) Bileşenlerin zenginleşme oranlarına göre karbonatlar ve ofiyolitik kayaçlar doğrudan boksitleri oluşturmamaktadır. Ofiyolitik kayaçlar boksitlerden daha fazla Cr ve Ni içermektedirler. Oysa bozunma sonucu bu durumun tam tersi gerçekleşmeliydi. Bu durum, bozunma sonucu duraylı elementlerde gerçekleşmesi beklenen zenginleşme ile örtüşmemektedir. Diğer bir ifadeyle boksitler, ileri sürüldüğü gibi (Wippert, 1965; Baysal ve Engin, 1976; Çağatay ve Arman, 1982), ofiyolitik kayaçlardan türemiş olsalardı Cr ve Ni içeriklerinin ofiyolitlerin içeriğinden çok daha fazla olması gerekirdi.

(5) Duraylı elementler kullanılarak yapılan dağılım diyagramlarında, karbonatlı kayaçlarla ofiyolitik kayaçlar merkezde toplanırken, boksitler yüksek değerlerde yer almakta ve terra rosalar bu iki grup arasında dağılım göstermektedir.

Tüm bu değerlendirmeler ve bölge boksit yataklarının sahip oldukları özellikler, kireçtaşları ile boksitlerin içerdikleri elementlerin jeokimyasal davranışlarının pek çok yönden birbirlerine benzerlik göstermeleri, bölge boksitlerinin kaynak kayacının kireçtaşları olabileceğine işaret etmektedir. Ayrıca, yöredeki boksit yataklarının karbonat tipi boksit özelliği göstermeleri de, kaynak kayacın kireçtaşları olabileceğine işaret etmektedir. Ancak, bazı elementlerin jeokimyasal davranışlarının açıklanması için bir ara ürüne gereksinim duyulmaktadır. Bu ara ürün de tüm Toros kuşağındaki karbonatlı kayaçlar üzerinde yaygın olarak gözlenen ve güncel olarak çok hızlı bir şekilde oluşumları devam eden "terra-rosalar" olmalıdır.

## KATKI BELİRTME

Yazarlar; bu çalışmanın olgunlaşması sırasında değerli görüş ve katkılarından dolayı Selçuk Üniversitesi öğretim üyeleri Ahmet Ayhan ve Fisun Alkaya'ya, Karadeniz Teknik Üniversitesi öğretim üyesi M. Burhan Sadıklar'a ve XRD analizlerinin gerçekleşmesini sağlayan Eti Alüminyum A.Ş. Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederler.

## KAYNAKLAR

- Atabey, E., 1976. Mortaş boksit yatağının mineralojisi, kimyası ve kökeni. TJK Bülteni, 19, 9-14.
- Atabey, E. ve Özkaya, İ., 1975. Mortaş boksit yatağının kökeninin araştırılmasında trend yüzeyi yönteminin uygulanması. TJK Bülteni, 18, 143-150.
- Ayhan, A. ve Karadağ, M.M., 1985. Şarkikaraağaç (Isparta) güneyinde bulunan boksitli demir ve demirli boksit yataklarının jeolojisi ve oluşumu. TJK Bülteni, 28, 137-146.
- Bardossy, G., 1982. Karst bauxites; bauxite deposits of carbonate rocks. Amsterdam, Elsevier.
- Bardossy, G., 1984. European bauxite deposits. In: Jacob Leonard Jr (ed.), Proceedings of 1984 Bauxite Symposium, Los Angeles, California. Society of Mining Engineers, New York, 411-435.
- Baysal, O. ve Engin, N.A., 1976. Değirmenlik-Kızılağaç boksit yatağı. Yerbilimleri, 2, 140-160.
- Boski, T., and Herbosch, A., 1990. Trace elements and their relations to the mineral phases in the lateritic bauxites from southeastern Guinea, Bissou. Chemical Geology, 82, 279-297.
- Caillere, S., Maksimovic, Z., and Pobeguın, T., 1976. Les elements en traces dans quelques bauxites karstiques de l'Ariege et du var. Proceedings of the Symposium on Advances in Geology, Geochemistry, and Treatment of Bauxite. Travaux-ICSOBA, 13, 233-252.
- Carvalho, G., Mestrinho, S.S.P., Fontes, V.M.S., Godel, O.P., and Souza, F.A., 1991. Geochemical evolution of laterites from two areas of the semiarid region in Bahia State, Brazil. Journal of Geochemical Exploration, 40, 385-411.
- Çağatay, A. ve Arman, B., 1982. Boksit ve Türkiye'deki boksit yatakları. Jeoloji Mühendisliği, 14, 23-34.
- Dudich, E., and Siclosi, L., 1970. A comparative geochemical study of some major and minor elements in four bauxite deposits of Transdanubia, Hungary. Annual Institute Publication Hungarici, 54, 318-345.
- Franceschelli, M., Puxeddu, M., and Memmi, I., 1998. Li, Bi-rich Rhaiean metabauxite, Tuscany, Italy: reworking of older bauxites and igneous rocks. Chemical Geology, 144, 221-242.

- Gordon, M., Tracey, J.I., and Ellis, M.W., 1958. Geology of the Arkansas bauxite region. U.S. Geological Survey Professional Paper 268.
- Göksu, E., 1953. Akseki (Antalya) boksit yataklarının jeolojisi, jenez ve maden bakımından etüdü ve diğer Türkiye ve Avrupa boksitleriyle mukayesesi. TJK Bülteni, 4, 79 -139.
- Güldalı, N., 1978. Toros paleokarstı ve Seydişehir-Akseki boksit yatakları. Jeomorfoloji Dergisi, 8, 1-23.
- Hill, I.G., Worden, R.H., and Meighan, I.G., 2000. Geochemical evolution of a palaeolaterite: The interbasaltic formation, Northern Ireland. Chemical Geology, 166, 65-84.
- Jennings, J.N., 1985. Karst. The MIT Press, Massachusetts.
- Jepsen, K., and Shellmann, W., 1974. Über den Stoffbestand und die Bildungsbedingungen der Bauxitlagerstaette Weipa/Australien; Geologisches Jahrbuch, Reihe D, 7, 19-106.
- Karadağ, M.M., 1987. Seydişehir bölgesi boksitlerinin jeolojik, petrografik ve jenetik incelemesi. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (yayımlanmamış).
- Karadağ, M.M., 1996. Seydişehir yöresi boksitlerinin jeolojik ve petrografik incelemesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeolojisi Mühendisliği Bölümü 30. Yıl Sempozyumu. Bildiriler Kitabı, S. Korkmaz ve M. Akçay (eds.), Trabzon; Cilt 1, 96-111.
- Karadağ, M.M., Çelik, M. ve Karakaya, N., 1995. Konya batısı Kızılören-Seydişehir arasındaki bölgede yer alan lateritik oluşumların incelenmesi. Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü, Proje No. 91/081.
- Karadağ, M.M., Temur. S., Öztürk. A. ve Arık. F., 2002. Çatmakaya (Seydişehir-Konya) boksit yataklarının jeolojik ve jeokimyasal incelemesi. Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü, Proje No. 2000/076, 139 s (yayımlanmamış).
- Karadağ, M.M., Temur. S., Arık. F. ve Öztürk. A., 2003a. Çatmakaya (Seydişehir-Konya) boksit yatağının jeolojik ve petrografik özellikleri. Yerbilimleri, 28, 109-122.
- Karadağ, M.M., Temur. S., Arık. F. ve Öztürk. A., 2003b. Maşatdağı (Alanya, Antalya) diyasporitik boksitlerinin dört ana bileşen jeokimyası. Geosound, 42, 35-51.
- Khadkikar, S.A., and Basavaiah, N., 2004. Morphology, mineralogy and magnetic susceptibility of epikarst-terra rossa developed in late Quaternary aeolianite deposits of southeastern Saurashtra, India. Geomorphology, 58, 339-355.
- Khahghi, M., 1968. Zur Untersuchung der Spurenelemente in den indischen Bauxiten, Lateriten und deren Ausgangsgesteinen basalt und charnockit. Doktora Tezi, Hamburg (yayımlanmamış).
- Kronberg, B. I., Ryfe, W. I., McKinnon, B. J., Cokston, J. F., Stillianida, B. F., and Nashi, R. A., 1982. Model for bauxite formation, Paragomines (Brazil). Chemical Geology, 35, 311-320.
- Lauber, T., 1980. Zur Genese der Bauxite der Mine Mortaş bei Seydişehir (Türkei). Doktora Tezi, Bern Üniversitesi, Bern (yayımlanmamış).
- LoMonaco, S., and Yanes, C., 1990. Model for bauxite formation; Los Pijiguaos, Venezuela. Chemical Geology, 84 (1-4), 98-99.
- MacLean, W.H., Bonavia, F.F., and Sanna, G., 1997. Argillite debris converted to bauxite during karst weathering: Evidence from immobile element geochemistry at the Olmedo deposit, Sardinia. Mineralium Deposita, 32, 607-616.
- Maksimovic, Z., 1968. Distribution of trace elements in bauxite deposits of Herzegovina, Yugoslavia. Travaux-ICSOBA, 5, 63-70.
- Maksimovic, Z., 1976. Genesis of some Mediterranean karstic bauxite deposits. Symposium on advances in geology, geochemistry, and treatment of bauxite. Travaux-ICSOBA, 13, 1-14.
- Maksimovic, Z., and Papastamatiou, J., 1973. Distribution D'oligoelements dans les gisement de bauxite de la Greece Centrale. In International Comitee for Studies of Bauxites, Oxides and Hydroxides of Aluminium. Proceedings, ICSOBA International Symp. 3d, Nice, France, 33-46.
- Meyer, F.M., Happel, U., Hausberg, J., and Wiechowski, A., 2002. The geometry and anatomy of the Los Pijiguaos bauxite deposit, Venezuela. Ore Geology Reviews, 20, 27-54.
- Miko, S., Durn, G., and Prohic, E., 1999. Evaluation of terra rosa geochemical baselines from Croatian karst regions. Journal of Geochemical Exploration, 66, 173-182.
- Mylorie, J.E., and Carew, J.L., 1995. Karst development on carbonate islands. In: D. Budd, P.M. Harris, A. Saller. (eds.), Unconformities and Porosity in Carbonate Strata. AAPG Memoir, Tulsa, Vol. 63, pp 55-76.

- Orhon, Ş. ve Tepebaşı, E., 1976. Seydişehir Çatmakaya köyü çevresinin jeolojisi ve boksit olnakları. Etibank ATGB Rapor No. 019 (yayımlanmamış).
- Orhon, Ş., Altan, N. ve Vuran, A., 1977. Çatmakaya boksit yatağı arama raporu. Etibank ATGB Rapor No. ARE-048 (yayımlanmamış).
- Özgül, N., 1976. Toroslar'ın bazı temel jeoloji özellikleri. TJK Bülteni, 19, 65-78.
- Özlü, N., 1978. Etude Geologique, Mineralogique et Geochimique des Bauxites de la Region d'Akseki-Seydişehir (Taurus Occidental-Turquie). Université Pierre-Marie Curie, Ph.D. These, Paris (yayımlanmamış).
- Özlü, N., 1979. Akseki-Seydişehir boksitlerinin kökeni hakkında yeni bulgular. TJK Bülteni, 22, 215-226.
- Papiu, V.C., and Udrescu, C., 1973. Elements mineurs der bauxites de Roumanie, Travaux-ICSOBA, 9, 159-175.
- Park, Jr. C.F., and MacDiarmid, R.A., 1975. Ore Deposits. W.H. Freeman and Company, San Francisco, USA.
- Patterson, S.H., 1971. Investigation of ferroginous bauxite and other mineral resources on Kauai and a reconnaissance of ferroginous bauxite deposits on Maui, Hawaii. U. S..Geological Survey Professional Paper 656.
- Peyronnet, P., 1971. Alanya bölgesinin petrografi ve mineralojisi ile Alanya masifindeki boksitlere bitişik kloritoidli şistlerin kökeni. MTA Enstitüsü Dergisi, 76, 154-160.
- Shaffer, W.J., 1975. "Bauxitic Raw Materials": Stanley J. Leford (Ed,) In: Industrial Minerals and Rocks; American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, Inc. New York, 443-462.
- Temur, S. ve Karadağ, M.M., 1998. Seydişehir-Akseki boksitlerinin iz element veri analizleri. Fırat Üniversitesi Jeoloji Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 521-530.
- Valeton, I., Schumann, A., Vinx, R. and Wieneke, M., 1997. Supergene alteration since the Upper Cretaceous on alkaline igneous and metasomatic rocks of the Poços de Caldas ring complex, Minas Gerais, Brazil. Applied Geochemistry, Pergamon, 12, 133-154.
- Weisse, G., 1956. Akseki boksitleri hakkında rapor. MTA Rapor No. 2471 (yayımlanmamış).
- Wippert, J., 1962. Toros boksitleri ve bunların tektonik durumu. MTA Enstitüsü Dergisi, 58, 47-70.
- Wippert, J., 1965. Boksit teşekkülünün başlangıç kayaları. MTA Dergisi, 64, 37-41.
- Yaalon, D.Y., 1997. Soils in the Mediterranean region: what makes them different. Catena, 28, 157-169.



## Seramik endüstrisinde kullanılan kaolenlerin döküm özelliklerinin geliştirilmesi

*Improvement of the casting properties of kaolins used in the ceramic industry*

**Mustafa Salih EYGİ, Gündüz ATEŞOK**

İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 34469 Maslak, İSTANBUL

Geliş (received) : 20 Nisan (April) 2006

Kabul (accepted) : 07 Temmuz (July) 2006

### ÖZ

Bu çalışmada; seramik sağlık ürünlerinin (saniter) yapımında kullanılan üç farklı yöre kaoleninin önemli döküm özellikleri üzerinde elektrolit türü farklılığının etkinliği incelenmiştir. Bunun için, seramik çamurlarında viskozite düşürücü elektrolit olarak yaygın bir şekilde kullanılan sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) ve sodyum poliakrilik asit (NaPAA) seçilmiştir. Elektrolit farklılığının; kaolenlerin döküm konsantrasyonu, döküm hızı (kalınlık alma), kuru (ham) dayanım, kuru ve pişme küçülmeleri ile yaşlanma ve tiksotropi gibi önemli döküm özellikleri üzerindeki etkinliklerinin sistematik olarak gözlemlendiği deneysel çalışmalar sonucunda, NaPAA'nın  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ 'e göre oldukça etkin sonuçlar verdiği saptanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Döküm hızı, döküm konsantrasyonu, elektrolit, kaolen, kuru dayanım, tiksotropi, yaşlanma.

### ABSTRACT

*This study investigated the effectiveness of electrolyte type on the important casting properties of three different kaolins used in sanitary ware. Sodium silicate ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) and sodium polyacrylic acid (NaPAA) were chosen as electrolytes commonly used as viscosity decreasing agents for ceramic muds. Systematically studies showed that NaPAA is a more effective electrolyte than  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  based on the important casting properties of kaolins such as casting concentration, casting rate, unfired strength, dry and fired shrinkage, ageing and thixotrophy.*

**Key Words:** Casting rate, casting concentration, electrolyte, kaolin, unfired strength, thixotrophy, ageing.

### GİRİŞ

Silikat mineralleri arasında endüstriyel önem arz eden önemli kil grubu hammaddelerden biri de kaolenlerdir. Kaolenler, reolojik (zamana bağlı) davranışı ve fizikokimyasal özellikleri nedeniyle kâğıt, seramik, plastik ve boya gibi sektörlerin ana hammaddesi olarak kullanılırlar. Saflığı, beyazlığı, tane boyu dağılımı, ısıl davranışı ve yüksek  $\text{Al}_2\text{O}_3$  içeriği (refrakterliği) gibi fiziksel ve kimyasal özellikleri kaolenlerin seramikte kullanım yerini ve miktarını etkileyen önemli faktörlerdir (Acarsoy, 1985; Eygi, 2005).

Kaolenler seramik yapımında kullanılırken, yukarıda belirtilen fiziksel, kimyasal ve reolojik özellikleri yönünden çoğu zaman aranan ölçütlere sahiptirler. Ancak, düşük plastisite ve yetersiz kuru (ham) dayanımları nedeniyle döküm şartını tam olarak yerine getiremedikleri gibi, reolojik yönden tiksotropik bir akış hali sergilemeleri nedeniyle özellikle seramik sağlık ürünleri yapımında sınırlı miktarlarda kullanılmaktadırlar. Bu nedenle Fe, Ti,  $\text{SO}_3$  gibi seramik ürününün kalitesini olumsuz yönde etkileyen safsızlıkları bünyesinde taşıyan, ancak plastisitesi ve kuru dayanımı yüksek olan diğer kil grubu hammaddeleriyle belirli oranlarda karıştırılarak seramik sağlık ürünü reçetelerinde kullanılmaktadırlar (Eygi, 2005).

Seramik ürününün daha beyaz oluşunu temin etmesinin yanı sıra, plastik killere ve feldispatlara nazaran daha yüksek refrakter  $Al_2O_3$  içeriğine sahip oluşu nedeniyle de, seramik sağlık ürünleri yapımında son derece önemli olan kaolenlerin yetersiz reolojik ve fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi önem taşımaktadır.

İdeal bir seramik sağlık ürünü reçetesi ortalama olarak % 50 plastik kil-kaolen karışımı (ortalama kil %30-35, kaolen %15-20), % 25 feldispat ve % 25 kuvars karışımından oluşmaktadır. Reçete içinde plastik kil ve kaolenin kesin olarak hangi oranlarda kullanılabilceği, bu hammaddelerin sahip oldukları bazı fiziksel, kimyasal, mineralojik ve reolojik özelliklerinin yanı sıra, plastisitelerine göre de belirlenir. Ancak, daha beyaz ve daha kaliteli bir seramik sağlık ürününün elde edilebilmesi, reçete içerisinde kullanılan kaolen miktarının artışıyla doğru orantılıdır (Yersel ve Taçyıldız, 2000; Eygi, 2005).

Ayrıca, dökümle şekillendirilerek pişirilen seramik sağlık ürünlerinin yapımında kullanılacak olan kaolenlerin, su içerisinde mümkün olduğunca yüksek katı içeriğine sahip, tiksotropik olmayan ve düşük viskoziteli akışkan bir çamur haline getirilmeleri gerekmektedir. Seramik üreticilerince yaygın olarak kullanılan  $Na_2SiO_3$  ve  $Na_2CO_3$  gibi elektrolitlerin (dispersant) katkısıyla hazırlanan bu döküm çamurları genel olarak tiksotropik davranış sergilemektedirler (Malayoğlu ve Akar, 2000; Eygi, 2005).

Bu bağlamda, son yıllarda özellikle kağıt ve seramik yapımında kullanılmak üzere hazırlanan yoğun kaolen içerikli çamurlarda, çamur içerisindeki kaolen tanelerini dağıtmak amacıyla elektrolit olarak çeşitli polimerlerin kullanımına ilişkin literatüre yansıyan akademik çalışmaların sayısında önemli bir artış olduğu gözlenmektedir. Çeşitli araştırmacılar tarafından, kil ve kaolenlerin reolojik özellikleri üzerinde çok sayıda araştırma yapılmıştır. (Staneva ve Kasabov, 1996; Bergström, 1998; Sjöberg vd., 1999; Özel vd., 1999; Brezina ve Thomas, 2000; Guldborg-Petersen ve Bergström, 2000; Papo vd., 2002; Marco vd., 2004; Eygi, 2005). Ancak özellikle ABD, Japonya ve bazı Avrupa Birliği ülkelerinde polimerlerin kil ve kaolenlerin reolojisi ve diğer fiziksel özellikleri üzerinde (kuru dayanım ve plasti-

site) etkisini inceleyen araştırmalar büyük hız kazanmış olup son derece gizli tutulmaktadır. Bu konuda sınırlı sayıda yayın mevcuttur.

Bu çalışmada, üç farklı yöreye ait kaolen örnekleri kullanılmıştır. Bu kaolenlerin döküm özellikleri üzerinde, anyonik karakterli bir polimer olan sodyum poliakrilik asit (NaPAA) ile seramik sanayiinde sıkça kullanılan bir elektrolit olan  $Na_2SiO_3$  'ün etkisi incelenmiştir.

## MALZEME VE YÖNTEM

### Malzeme

Kaolenlerin, döküm yoluyla şekillendirilerek pişirilen seramik sağlık ürünü yapımında kullanılabilmesi için suda kolayca dağılabilmeleri ve elektrolit katkısıyla yoğun kaolen içerikli akışkan çamur haline getirilebilmeleri gerekmektedir. Dolayısıyla deneysel çalışmalarda, bu koşulları sağlayan ve Esan Eczacıbaşı Endüstriyel Hammaddeler A.Ş. katkısıyla farklı bölgelerden temin edilen Ukrayna, İngiltere ve Bulgaristan kökenli kaolen örnekleri kullanılmıştır. Özgül yüzey alanları ve önemli boyut özellikleri Çizelge 1'de verilen bu örneklerin kimyasal analiz sonuçları, bu sonuçlar dikkate alınarak yaklaşık olarak hesaplanan mineralojik bileşimleri ise sırasıyla Çizelge 2 ve 3'te görüldüğü gibidir.

Deneysel çalışmalarda kullanılan tüm kaolen örneklerinin önemli döküm özellikleri üzerinde, detayları Çizelge 4'te verilen sodyum silikat ( $Na_2SiO_3$ ) ve anyonik karakterli sentetik bir polimer olan sodyum poliakrilik asit'in (NaPAA) etkisi incelenmiştir. Sodyum silikat, döküm çamurlarının viskozitesinin düşürülmesinde yaygın olarak kullanılan bir elektrolit olduğu, sodyum poliakrilik asit ise son yıllarda aynı amaca yönelik olarak kullanımı hızla yaygınlaşan özel bir elektrolit (polielektrolit) olduğu için seçilmiştir. Her iki elektrolitte, ilk aşamada pipetle kullanılmayacak derecede viskoz oldukları için deneysel çalışmalar öncesinde iletkenliği  $3 \mu\Omega/cm$ 'den düşük olan saf suyla seyreltilmiş ve pipetle kolayca kullanılacak kıvama getirilmişlerdir.

Deneysel çalışmalarda; 1000 ml'lik plastik kaplar içerisinde, güçlü bir mekanik karıştırıcı (mikser) vasıtasıyla hazırlanan yoğun kaolen içerikli

Çizelge 1. Kaolen örneklerinin özgül yüzey alanları ve önemli boyut özellikleri.

Table 1. Specific surface areas of the kaolin samples and their important dimensions.

Örneklerin kodu	Üretildiği ülke	Özgül yüzey alanı* (m <sup>2</sup> /g)	d <sub>10</sub> (μm)	d <sub>50</sub> (μm)	d <sub>90</sub> (μm)	+63μm (%)	-2.7μm (%)
ESK-410	Ukrayna	11.29	0.47	1.27	16.51	1'den az	66.90
CC-31	İngiltere	12.29	0.50	1.64	12.42	1'den az	58.00
K-2	Bulgaristan	17.59	0.49	1.57	10.23	1'den az	68.20

\* Azot adsorpsiyonu (BET) yöntemi ile

Çizelge 2. Kaolen örneklerinin kimyasal analiz sonuçları.

Table 2. Results of chemical analyses of the kaolin samples.

İçerik	ESK-410 (%)	CC-31 (%)	K-2 (%)
SiO <sub>2</sub>	47.80	47.90	49.10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	36.30	35.90	34.15
TiO <sub>2</sub>	0.72	0.08	0.52
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.51	0.73	0.76
CaO	0.32	0.23	0.24
MgO	0.16	0.32	0.28
Na <sub>2</sub> O	0.20	0.27	0.23
K <sub>2</sub> O	1.20	2.79	1.07
A.K.	12.64	11.60	11.85

A.K. : Ateş Kaybı

çamurların elektrolit katkısıyla değiştirilen viskozite değerleri kadranlı (gösterge okumalı) bir viskozimetre ile ölçülmüştür. Tüm ölçümler 3 numaralı sarkaç (spindle) kullanılarak 20 Rpm'de gerçekleştirilmiştir.

## Yöntem

İki aşamalı olarak sürdürülen deneysel çalışmaların ilk aşamasında, sağlıklı bir döküm işleminin gerçekleştirilebilmesi için su ve kaolen içeriği

Çizelge 3. Kaolen örneklerinin mineralojik içerikleri.

Table 3. Mineralogical contents of the kaolin samples.

Mineral	ESK-410 (%)	CC-31 (%)	K-2 (%)
Kaolen	87.70	83.10	82.50
K-Feldispat	7.10	14.20	6.33
Na-Feldispat	1.69	2.28	1.52
Kuvars	1.26	0.09	5.30
Diğer	2.26	0.34	3.94

farklı olan değişik yoğunluklara sahip akışkan döküm çamurları oluşturulmuş ve reolojik deneyler yapılmıştır. Bu reolojik deneylerin amacı, çalışmalarda kullanılan her bir kaolenin döküm için en uygun plastik akış koşullarını sağlayan "en yüksek döküm konsantrasyonu" değerleri ile "optimum elektrolit gereksinimleri"nin belirlenmesidir.

İkinci aşamada ise, ilk aşamada belirlenmiş olan en yüksek döküm konsantrasyonlarında optimum elektrolit tüketimiyle yeniden hazırlanan döküm çamurlarının zamana bağlı olarak viskozitelerindeki yaşlanma değişimleri belirlenmiştir.

Çizelge 4. Elektrolitlerin özellikleri.

Table 4. Properties of the electrolytes.

Özellik	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (SiO <sub>2</sub> / Na <sub>2</sub> O : 3.26)	NaPAA (Mol Ağ.: 5000 <sup>*</sup> )
% içerik	Na <sub>2</sub> O: 9.2, SiO <sub>2</sub> : 30.0	44-46
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> ) (20°C)	1.41	1.30
Seyreltilmiş yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	1.36	1.14
pH	12.3	8.0
Seyreltme sonrası oluşan pH	11.1	7.9
Görünüş	Saman renkli sıvı	Saman renkli sıvı

\* Jel geçirgenlik yöntemi ile



Bu çamurlar daha sonra kuru dayanım (200x20x15 mm), küçülme (130x65x15 mm) ve döküm hızı (Ø60x55 mm) gibi önemli döküm özelliklerinin belirlenmesi için poroz yapılı özel alçı kalıplara dökülmüştür. Ortalama 15 saat boyunca söz konusu kalıplarda bekletilen çamurların, yavaş yavaş su kaybederek yarı nemli seramik bünyeler haline gelmeleri sağlanmıştır. Süre sonunda kalıplardan dikkatlice çıkarılan bu yarı nemli ham seramik, bünyeler 24 saat boyunca 110 °C'de kurutulduktan sonra kuru dayanım deneylerine, küçülme ve kalınlık alma ölçümlere tabi tutulmuştur. Kuru dayanım deneyleri laboratuvar tipi bir kırma cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Seramik bünyelerde kuruma ve pişme sonucu meydana gelen küçülme miktarları ve bu bünyelerin birim zamanda alçı kalıplarda aldığı kalınlık değerleri ise dijital göstergeli bir kumpas yardımıyla belirlenmiştir. Ham seramik bünyelerin pişirilmesi işlemleri için laboratuvar ölçekli kül fırını, malzemelerin tartım işlemleri için de  $\pm 0.1$  g hassasiyetli elektronik bir tartı kullanılmıştır. Tüm deneysel çalışmalar sırasında gereksinim duyulan durumlarda şebeke suyu kullanılmıştır.

### **En Yüksek Döküm Konsantrasyonu ve Optimum Elektrolit Miktarının Belirlenmesi**

Seramik sağlık ürünlerinin yapımı için hazırlanan döküm çamurlarının, döküm için en uygun viskozitede (en yüksek 500 mPa.s), diğer bir ifadeyle plastik akışın sağlandığı bir viskozite aralığında olması gerekir. Ayrıca, viskozitede zamana bağlı olarak tiksotropi oluşumu (kalınlaşan akış) gözleniyorsa çamurun viskozite+tiksotropi değerinin en fazla 1000 mPa.s olması gerekir. Belirtilen bu plastik akış koşullarını sağlayan en yüksek kaolen içeriğine sahip döküm çamurun konsantrasyonu "en yüksek döküm konsantrasyonu", plastik akışın sağlanacağı ilk ana kadar tüketilen elektrolit miktarı da "optimum elektrolit miktarı" olarak kabul edilir.

Elektrolit yardımıyla, kaolenlerin en yüksek döküm konsantrasyonu değerlerinin belirlenmesi sırasında uygulanan işlemler akım şeması olarak Şekil 1'de verilmiştir. İlgili şekilden de anlaşılacağı üzere, öncelikle bir mekanik karıştırıcı yardımıyla su içerisinde farklı kaolen oranlarına (%65-72) sahip çamurlar oluşturulmuştur. Bu kaolen çamurlarının oluşturulması sırasında ge-

reksinim duyulan anlarda 0.2 ml'lik elektrolit ilaveleriyle çamurların viskozitesi düşürülmüş ve sürekli olarak akışkanlıkları sağlanmıştır. Ancak elektrolit gereksinimi sınırlı olduğu gözlenen çamurlarının akışkanlıkları, optimum elektrolit gereksiniminin daha iyi saptanması için, elektrolit ilaveleri yerine, 10 ml'lik su ilaveleri ile sağlanmıştır. Benzer şekilde, hiç elektrolit kullanılmadığı halde viskozitesi hala çok düşük olduğu gözlenen çamurlara ise, 50 g'lık kaolen ilaveleri yapılarak çamurların yoğunluğu dolayısıyla viskoziteleri denetimli olarak yükseltilmiştir. Böylece, viskozitesi kolayca ölçülebilecek sınırlara getirilen bu çamurlara daha sonra her 5 dakikada bir 0.2 ml'lik elektrolit ilaveleri yapılarak viskoziteleri aşamalı olarak düşürülmüş ve viskozite değerleri viskozimetre ile sürekli olarak ölçülmüştür.

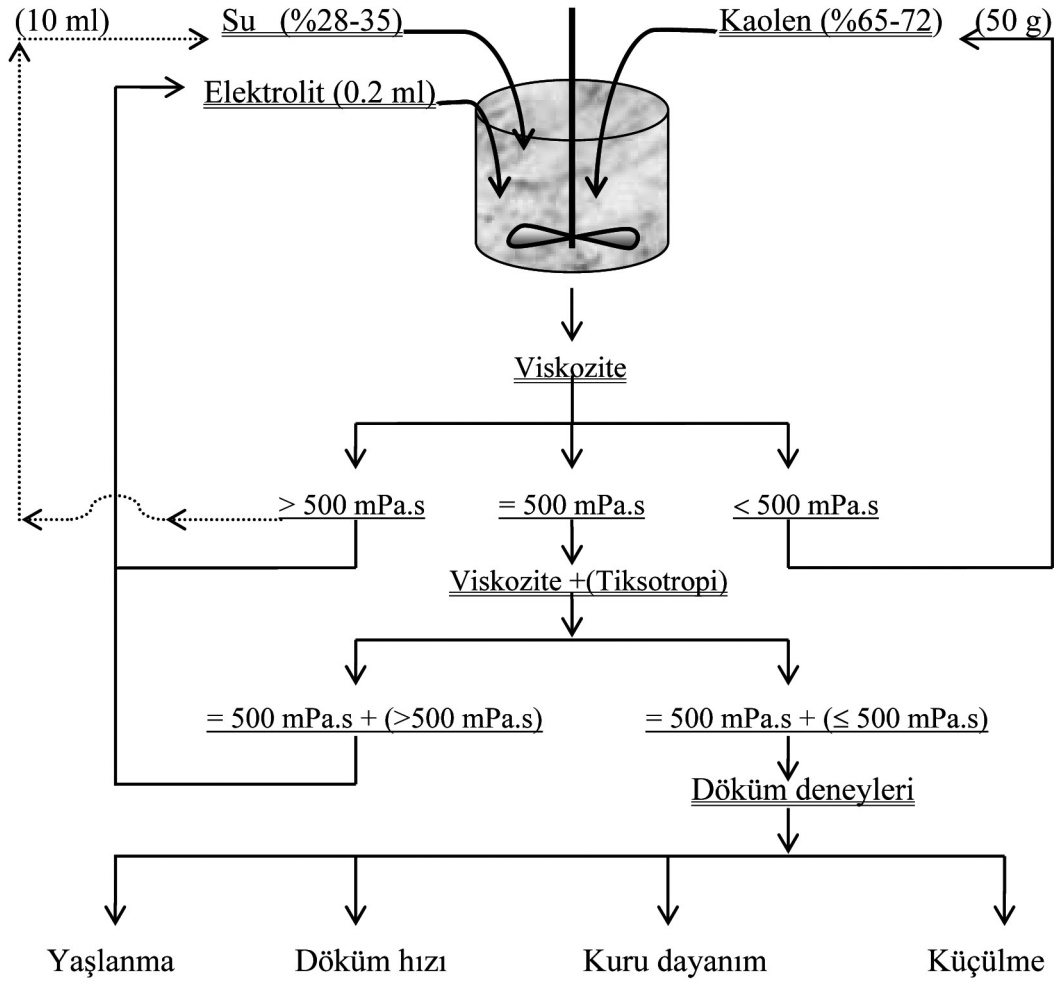
Bu deneylere, elektrolit ilavesiyle uygun plastik akış koşullarının sağlandığı en yüksek döküm konsantrasyonu değerleri elde edilinceye kadar değişik kaolen içeriğine sahip çamurlar oluşturularak devam edilmiştir. Böylece döküm için uygun koşulların sağlandığı optimum koşullarda kaolen çamurları elde edilmiştir. Hazırlanan kaolen çamurları, daha sonra elektrolit türüne bağlı olarak diğer önemli döküm parametrelerindeki değişimlerin incelenmesi amacıyla eşit hacimli dört ayrı kaba alınarak gereken deneyler yapılmıştır. Bütün deneyler optimum elektrolit miktarı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ancak, kuru dayanım deneyleri sırasında koşulların izin verdiği ölçüde ayrıca farklı elektrolit tüketim miktarlarının etkisi de incelenmiştir.

### **Yaşlanma Deneyi**

Yaşlanma deneyi için ayrılmış olan kaolen çamurları, kapaklı cam kavanozlara konularak ağızları iyice kapatılmıştır. Bu kavanozlar, ısı 25°C'ye ayarlanmış bir su banyosunda 1-3 ve 5 gün boyunca bekletilmiş ve bu süreler sonunda çamurların viskozitelerindeki değişimler (yaşlanma durumları) saptanmıştır.

### **Döküm Hızının Belirlenmesi**

Döküm hızı deneyi için ayrılmış olan kaolen çamurları, her biri farklı zamanları temsil eden ve yan yana dizilmiş fincan şeklindeki 4 adet gözenekli özel alçı kalıba aynı anda hızlıca dökül-



Şekil 1. En yüksek döküm konsantrasyonunun belirlenmesi.  
Figure 1. Determination of maximum casting concentration.

müştür. 5-10-15 ve 30 dakika boyunca bu özel kalıplarda bekletilen çamurlar, belirtilen süreler sonunda plastik bir kaba hızlıca boşaltılarak kalıplardan uzaklaştırılmıştır. Kalıplar içinde o ana kadar kuruyup belirli bir et kalınlığına ulaşan fincan şeklini almış deney örnekleri ise, 15 saat sonunda kalıplardan çıkarılarak kalınlıkları ölçülmek üzere 12 saat boyunca etüvde kurutulmuştur. Kurutulmuş olan örneklerin aldığı et kalınlıkları daha sonra değişik noktalardan ölçülmüş ve bulunan değerlerin ortalamaları alınmıştır. Böylece, süreye bağlı olarak elde edilen kalınlık değerleri  $\text{mm}^2$  olarak grafiğe işlenmiş ve bu grafiğin eğiminden de o kaolene ait döküm hızı  $\text{mm}^2/\text{dk}$  olarak hesaplanmıştır.

### Kuruma ve Pişme Küçülmelerinin Belirlenmesi

Küçülme değerlerinin belirlenmesi için ayrılmış olan kaolen çamurları, bu deney için özel olarak hazırlanmış alçı kalıplara dökülmüştür. Yaklaşık 15 saat sonra yarı nemli bir halde kalıplardan çıkarılan örnekler, kuruma ve pişme sonrası oluşan küçülmelerin belirlenmesi için aralarında 100 mm mesafe bulunacak şekilde iki uç noktasından çapraz olarak işaretlenmiştir. Etüvde 12 saat boyunca kurutulmaya bırakılan bu örneklerin üzerindeki işaretli noktalar arasındaki mesafeler daha sonra dijital bir kumpas yardımıyla ölçülmüştür. Daha sonra, 1230 °C'ye kadar pişiri-

lip soğutulan bu örneklerin üzerindeki işaretli noktalar arasındaki mesafeler yeniden ölçülmüştür. Ölçüm işlemleri sonrasında belirlenen küçülme değerleri aşağıda verilen eşitliklerle belirlenmiştir.

$$\text{Kuru küçülme (\%)} = [(L_0 - L_1) / L_0] * 100 \quad (1)$$

$$\text{Pişme küçülmesi (\%)} = [(L_0 - L_2) / L_0] * 100 \quad (2)$$

Burada;  $L_0$  ham haldeki deney örnekleri üzerine çapraz olarak işaretlenen noktalar arasındaki mesafe (100 mm),  $L_1$  bu örneklerinin etüvde kurutulması sonrası işaretli noktalar arasındaki mesafe (mm) ve  $L_2$  ise örneklerinin 1230 °C'ye kadar pişirilmesi sonrası işaretli noktalar arasındaki mesafedir (mm).

### Kuru Dayanım Deneyi

Kuru dayanım deneyi için ayrılmış olan kaolen çamurları, bu deney için özel olarak hazırlanmış alçı kalıplara dökülmüştür. Yaklaşık 15 saat sonra yarı nemli bir halde kalıplardan çıkarılan çubuk şeklindeki örnekler, 12 saat boyunca etüvde kurutulduktan sonra yarım saat süreyle fanlı etüvde bekletilmiştir. Fanlı etüvden alınan örnekler zaman yitirilmeden kırma işlemine tabi tutulmuşlardır. Hesaplamalarda aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$\text{Kuru Dayanım (kg/cm}^2\text{)} = [(3F * L) / (2bh^2 * 10)] \quad (3)$$

Burada; F kırılma yükü (kg), L mesnetler arasındaki mesafe (cm), b kırma işlemine tabi tutulan çubuk şeklindeki örneğin genişliği (cm), h ise kalınlığıdır (cm).

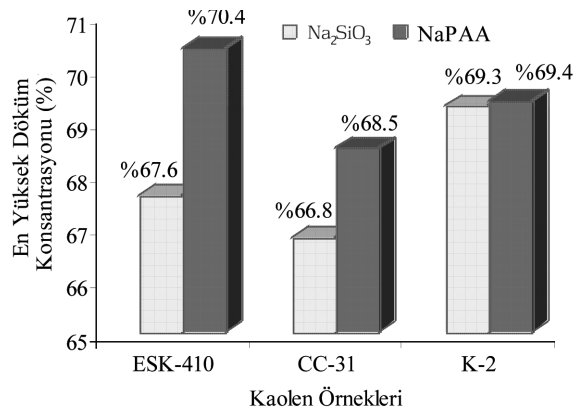
### DENEY VERİLERİNİN YORUMLANMASI

#### Elektrolit Türü ve Miktarının Kaolenlerin Döküm Konsantrasyonuna Etkisi

Kaolen örneklerinin döküm için gereken plastik akış koşullarının sağlandığı en yüksek döküm konsantrasyonu değerleri  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ve NaPAA ile ayrı ayrı belirlenmiş ve sonuçlar Şekil 2'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre; ESK-410 ve CC-31 numaralı kaolenlerle oluşturulan çamurlarda viskozite düşürücü elektrolit olarak NaPAA'nın kul-

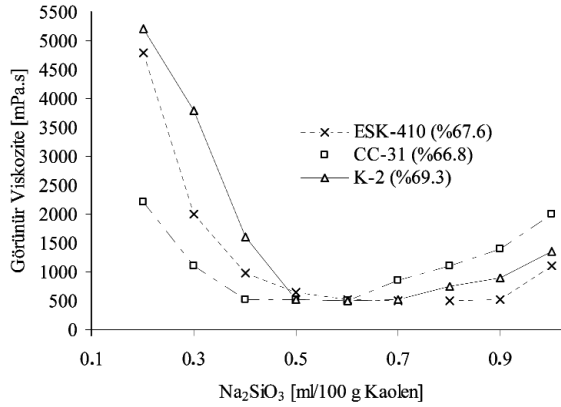
lanımıyla elde edilen en yüksek döküm konsantrasyonu değerlerinin  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  kullanımıyla elde edilen değerlere nazaran daha yüksek olduğu gözlenirken, K-2 numaralı kaolen ile oluşturulan çamurlarda her iki elektrolit ile de benzer sonuçların alındığı saptanmıştır.

Viskozite düşürücü elektrolit olarak NaPAA'nın kullanıldığı ESK-410 ve CC-31 numaralı kaolenlerle oluşturulan çamurlarda,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  kullanımına nazaran sırasıyla %4.1 ve %2.5 daha fazla döküm konsantrasyonları elde edilmiştir. Kaolen çamurlarının, her iki elektrolitle de en yüksek döküm konsantrasyonlarında meydana gelen viskozite değişimleri, tüketilen elektrolit miktarına bağlı olarak Şekil 3 ve 4'te verilmiştir. İlgili grafiklerden de görüleceği üzere, her üç kaolende de, döküm için uygun plastik akış koşullarına ulaşılabilmesi için 100 gram kaolen için tüketilen optimum elektrolit miktarları ve bu koşulların korunduğu elektrolit miktarı sınırları farklıdır. Uygun döküm koşullarına ESK-410 numaralı kaolende 0.6-0.9 ml, CC-31 numaralı kaolende 0.4-0.7 ml ve K-2 numaralı kaolende ise 0.5-0.7 ml  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  tüketim aralıkları boyunca ulaşılmıştır. Diğer yandan, elektrolit olarak NaPAA kullanımıyla aynı koşullara ESK-410 numaralı kaolende 0.7-0.9 ml, CC-31 numaralı kaolende 0.5-0.7 ml ve K-2 numaralı kaolende de ancak 0.7-0.9 ml tüketim aralıkları boyunca ulaşılabilmiştir.



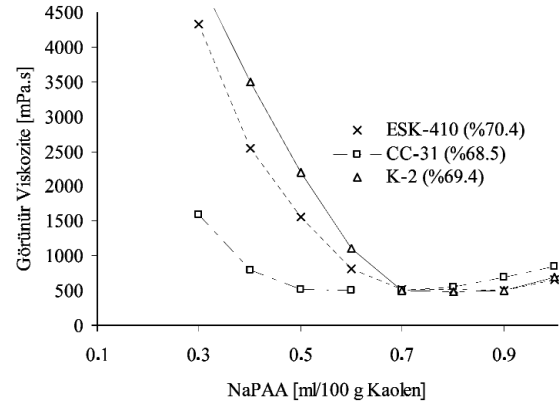
Şekil 2. Elektrolit türüne bağlı olarak, kaolen örnekleri için belirlenen en yüksek döküm konsantrasyonu değerleri (elektrolit miktarı sabit: 0.7 ml/g).

Figure 2. Determined maximum casting concentrations for kaolin samples, depending on the electrolyte type (at constant electrolyte concentration of 0.7 ml/g).



Şekil 3. Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> ile en yüksek döküm konsantrasyonlarında hazırlanan kaolen çamurlarının elektrolit tüketimine bağlı olarak viskozite değişimi.

Figure 3. Changes in viscosity of the kaolin muds prepared at maximum casting concentrations with Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>, depending on the consumption of the electrolyte.



Şekil 4. NaPAA ile en yüksek döküm konsantrasyonlarında hazırlanan kaolen çamurlarının elektrolit tüketimine bağlı olarak viskozite değişimi.

Figure 4. Changes in viscosity of the kaolin muds prepared at maximum casting concentrations with NaPAA depending on the consumption of the electrolyte.

### Elektrolit Türünün Kaolen Çamurlarının Zamana Bağlı Olarak Yaşlanabilirliğine Etkisi

En yüksek döküm konsantrasyonlarında, optimum elektrolit tüketimi ile elde edilen kaolen çamurlarının viskozitelerindeki yaşlanma değişimleri beş gün boyunca izlenmiştir. Ayrıntısı Çizelge 5'te verilen yaşlanma deneyi sonuçlarına göre, sadece ESK-410 numaralı kaolende viskozite düşürücü elektrolit olarak Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>'ün kullanımıyla elde edilen çamurların viskozitesi beşinci gün sonunda döküm için uygun olan koşulların dışına çıkacak kadar yaşlanmıştır (viskozite+tik-sotropi = en fazla 1000 mPa.s).

### Elektrolit Türünün Kaolenlerin Döküm Hızına Etkisi

Elektrolit türüne bağlı olarak, kaolen çamurlarının birim zamanda alçı kalıp içerisinde aldıkları et kalınlığı değerlerini ifade eden döküm hızı değişimleri Şekil 5 ve 6'da verilmiştir. Kaolen süspansiyonlarının; en yüksek döküm konsantrasyonlarında, optimum miktarda Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> tüketimiyle elde edilen kalınlık alma hızları, yine optimum miktarda NaPAA tüketimiyle elde edilen kalınlık alma hızlarına oranla ESK-410 ve CC-31 numaralı kaolenlerde daha yüksek, K-2 nu-

maralı kaolende ise daha düşük olduğu saptanmıştır. Kalınlık alma hızları; ESK-410 numaralı kaolende Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> ile 1.4 mm<sup>2</sup>/dk iken, NaPAA ile 0.9 mm<sup>2</sup>/dk, CC-31 numaralı kaolende Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> ile 1.2 mm<sup>2</sup>/dk iken, NaPAA ile 0.6 mm<sup>2</sup>/dk ve K-2 numaralı kaolende ise Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> ile 0.4 mm<sup>2</sup>/dk iken, NaPAA ile 0.7 mm<sup>2</sup>/dk olarak bulunmuştur.

### Elektrolit Türünün Kaolenlerin Kuru ve Pişme Küçülmelerine Etkisi

Hazırlanan deney örneklerinin, kullanılan elektrolit türüne bağlı olarak, kuruma ve pişme sonrası küçülme değerlerinde meydana gelen değişimler Çizelge 6'da verilmiştir. Genel olarak, ESK-410 ve CC-31 K-2 numaralı kaolenlerle elde edilen çamurlarda viskozite düşürücü elektrolit olarak Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> kullanımıyla elde edilen deney örneklerinin kuruması sonucu oluşan küçülme oranları, viskozite düşürücü elektrolit olarak NaPAA'nın kullanıldığı deney örneklerinden daha az olmasına rağmen, K-2 numaralı kaolende bu durumun tam tersi bir sonuç alınmıştır. Pişmiş örneklerde ise en az küçülme oranı her üç kaolende de viskozite düşürücü elektrolit olarak NaPAA'nın kullanıldığı deney örneklerinde gözlenmiştir.

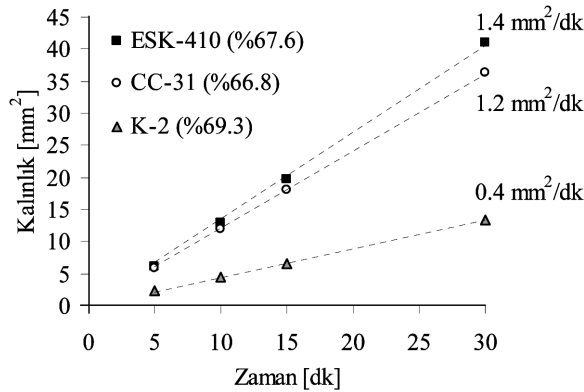
Çizelge 5. Kaolen çamuru viskozitelerinin zamana bağlı olarak yaşlanma değişim sonuçları.  
Table 5. The effects of time-based ageing on the kaolin mud's viscosity depending on the time.

	Görünür viskozite (mPa.s)					
	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>			NaPAA		
	ESK-410	CC-31	K-2	ESK-410	CC-31	K-2
Döküm anındaki viskozite	500	500	500	500	500	500
24 saat sonraki viskozite	625	525	625	675	550	550
72 saat sonraki viskozite	730	545	750	800	575	725
120 saat sonraki viskozite (Tiksotropi)	1150 (255)	575 (150)	850 (110)	850 (115)	675 (105)	775 (220)

### Elektrolit Türü ve Miktarının Kaolenlerin Kuru Dayanımına Etkisi

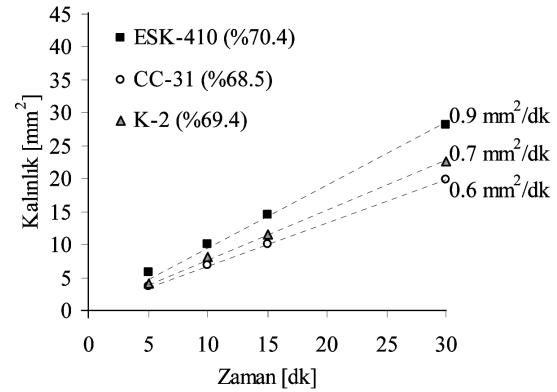
Seramik sağlık ürünlerinin henüz ham halde (pişmemiş) iken, kurutma odası veya fırınlara taşınması esnasında maruz kalacakları olası bir darbe ya da benzeri küçük sarsıntılar karşı dayanıklı olması gerekir. Bu husus, üretilen malzemelerin ham haldeki kuru dayanımlarının büyüklüğüne bağlıdır. Bu nedenle, seramik sağlık ürünü reçetelerinde kullanılan kaolenlerin mümkün olduğunca yüksek kuru dayanıma sahip olmaları gerekir. Aksi takdirde, kuru dayanımı çok düşük olan kaolenlerin seramik sağlık ürünü reçetelerinde arzu edilen yüksek oranlarda kullanımı mümkün olmayabilir.

Deneyisel çalışmalarda kullanılan her üç kaolenin de kuru dayanımlarındaki değişimler elektrolit türüne ve miktarına bağlı olarak ayrı ayrı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 7, 8 ve 9'da verilmiştir. ESK-410 numaralı kaolen ile yapılan ve Şekil 7'de verilen sonuçlara göre en yüksek kuru dayanım değerleri NaPAA'nın kullanımıyla elde edilmiştir. Bu elektrolitin ESK-410 numaralı kaolende 0.7 ml'lik tüketimiyle elde edilen kuru dayanım değerleri, aynı miktardaki Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> tüketimine göre yaklaşık %65 oranında daha fazla çıkmıştır. Ayrıca elde edilen kuru dayanım değerleri, her iki elektrolitle de, tüketilen elektrolit miktarı arttıkça yükselmeye devam etmiştir. Ancak, Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> ile kaydedilen artış oranları, NaPAA ile kaydedilen artış oranlarına göre oldukça sınırlı kalmıştır.



Şekil 5. Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> ile en yüksek döküm konsantrasyonlarında hazırlanan kaolen çamurlarının zamana bağlı olarak alçı kalıplarda aldığı kalınlık (döküm hızı) değerleri (elektrolit miktarı sabit: 0.7 ml/g).

Figure 5. Changes of the thickness of plaster casts of the kaolin muds (casting rate) prepared at maximum casting concentrations with Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> depending on time (at a constant electrolyte concentration of 0.7 ml/g).



Şekil 6. NaPAA ile en yüksek döküm konsantrasyonlarında hazırlanan kaolen çamurlarının zamana bağlı olarak alçı kalıplarda aldığı kalınlık (döküm hızı) değerleri (elektrolit miktarı sabit: 0.7 ml/g).

Figure 6. Changes in the thickness of plaster casts of the kaolin muds (casting rate) prepared at maximum casting concentrations with NaPAA, depending on time (at a constant electrolyte concentration of 0.7 ml/g).

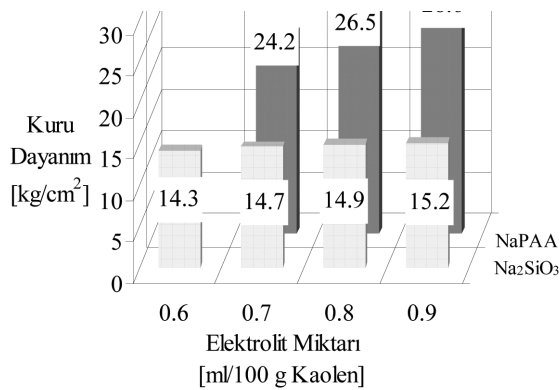
Çizelge 6. Kaolen çamurlarında kullanılan elektrolit cinsine bağlı olarak, şekillendirilmiş deney örneklerinde meydana gelen kuruma ve pişme küçülmesi değişimleri.

Table 6. The dried and fired shrinkage of the tested samples depending on the electrolyte types.

Kaolen	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>		NaPAA	
	K.K. (%)	P.K. (%)	K.K. (%)	P.K. (%)
ESK-410	0.90	10.70	1.20	9.04
CC-31	1.44	11.63	1.69	10.30
K-2	1.70	10.46	1.48	8.96

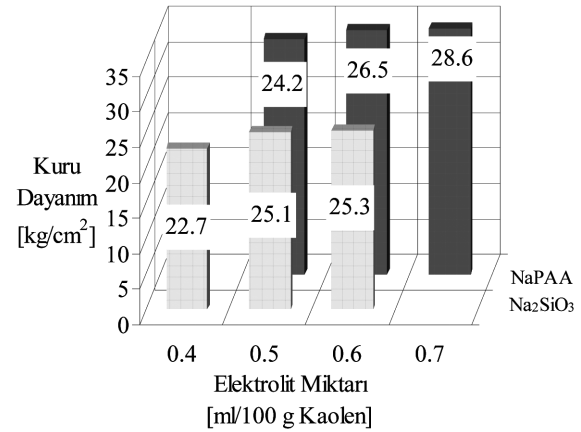
K.K.: Kuru küçülme, P.K. : Pişme küçülmesi

Benzer şekilde, CC-31 numaralı kaolende de elektrolit olarak NaPAA'nın kullanıldığı çamurlardan elde edilen deney örneklerinin kuru dayanım değerleri, Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> kullanılan çamurlardan elde edilen deney örneklerinin kuru dayanımlarından yüksek çıkmıştır (Şekil 8). Bu kaolende, her iki elektrolitin de 0.5 ml tüketimi sonucu elde edilen deney örneklerinin kuru dayanım değerleri NaPAA kullanımıyla Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>'e göre yaklaşık %33 daha fazla olduğu saptanmıştır. Ancak, bu kaolende farklı miktarlarda elektrolit tüketimi ile kaydedilen kuru dayanım değeri artış ivmesi her iki elektrolit ile de oldukça sınırlı olmuştur.



Şekil 7. ESK-410 numaralı kaolen ile hazırlanan çamurlardan elde edilen deney örneklerinin elektrolit türü ve miktarına bağlı olarak değişen kuru dayanımları.

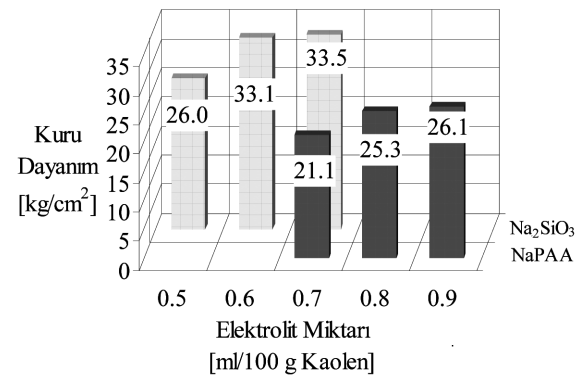
Figure 7. Unfired strength of the test specimens prepared from ESK-410 kaolin muds, depending on the electrolyte type and concentrations.



Şekil 8. CC-31 numaralı kaolen ile hazırlanan çamurlardan elde edilen deney örneklerinin elektrolit türü ve miktarına bağlı olarak değişen kuru dayanımları.

Figure 8. Unfired strength of the test specimens prepared from CC-31 kaolin muds, depending on the electrolyte type and concentrations.

Şekil 9'da görülen K-2 numaralı kaolene ait deney örneklerinin kuru dayanım sonuçlarına göre ise, diğer iki kaolenden farklı olarak Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> kullanımının NaPAA kullanımına oranla daha etkin sonuçlar verdiği saptanmıştır. Nitekim bu kaolende 0.7 ml Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> kullanımı ile elde edilen deney örneklerinin kuru dayanım değerleri



Şekil 9. K-2 numaralı kaolen ile hazırlanan çamurlardan elde edilen deney örneklerinin elektrolit türü ve miktarına bağlı olarak değişen kuru dayanımları.

Figure 9. Unfired strength of the test specimens prepared from K-2 kaolin muds, depending on the electrolyte type and concentrations.

aynı miktardaki NaPAA kullanımıyla elde edilen deney örneklerinin kuru dayanım değerlerine göre %59 daha fazla olduğu saptanmıştır.

## SONUÇLAR

Seramik sağlık ürünlerinin yapımında kullanılacak olan kaolenlerin mümkün olduğunca yüksek döküm konsantrasyonuna, yüksek döküm hızına, yüksek kuru dayanıma ve düşük küçülme değerlerine sahip olması gerektiği göz önünde bulundurulduğunda, bu çalışmadan aşşağıda verilen başlıca şu sonuçlar çıkarılmaktadır.

- (1) ESK-410 ve CC-31 numaralı kaolenlerde en yüksek döküm konsantrasyonları ve bu konsantrasyonlarda hazırlanan deney örneklerinin en yüksek kuru dayanımı değerleri, çamurlarda viskozite düşürücü elektrolit olarak NaPAA'nın, K-2 numaralı kaolende ise Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> kullanımıyla elde edilmiştir.
- (2) Hazırlanan deney örneklerinde kuruma ve pişme sonucu oluşan küçülme değerleri, kullanılan elektrolitin türünden bağımsız olup, sadece kaolen cinsine göre farklılıklar göstermiştir. Ayrıca tüm küçülme değerleri TS 5396'da belirtilen limit sınırların çok altında kalmıştır.
- (3) Her üç kaolen ile de elektrolit olarak NaPAA kullanımıyla elde edilen döküm çamurların kalınlık alma hızı (döküm hızı) değerleri, elektrolit olarak Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> kullanımıyla elde edilen döküm hızı değerlerinden oldukça düşük çıkmıştır.
- (4) 1 ve 3 numaralı sonuçların birlikte değerlendirilmesi durumunda, NaPAA'nın kullanıldığı kaolen çamurlarının genel olarak Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> kullanımına göre daha fazla plastik özellik kazandığı söylenebilir.

## KATKI BELİRTME

Yazarlar, çalışmaları süresince olanakları ölçüsünde malzeme ve analiz desteğinde bulunan Esan Eczacıbaşı A.Ş. Geliştirme Müdürü Ali Türkistanlı başta olmak üzere, Ar-Ge Şefi A.Ad-

nan Altaş ve değerli ekibine sonsuz teşekkür ve şükranlarını sunarlar.

## KAYNAKLAR

- Acarsoy, A., 1985. Seramik Teknolojisi. Marmara Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Yayını, İstanbul.
- Bergström, L., 1998. Shear thinning and shear thickening of concentrated ceramic suspensions. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 133, 151-155.
- Brezina M.J., and Thomas, R.J., 2000. Specialty additives enhance casting slips. *American Ceramic Society Bulletin*, 79, 43-46.
- Eygi, M.S., 2005. Kaolenin; polimer kullanımıyla, uygun fiziksel özellikte seramik hammaddesi haline getirilebilirliğinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Guldberg-Petersen, H., and Bergström, L., 2000. Stabilizing ceramic suspensions using anionic polyelectrolytes: Adsorption kinetics and interparticle forces. *Acta Mater*, 48, 4563-4570.
- Malayoğlu, U. ve Akar, A., 2000. Turgutlu, Şile ve Kula killerinin reolojik özelliklerinin elektrolit katkısı ile değişimi. *Geosound*, 37, 151-159.
- Marco, P., Labanda, J., and Llorens, J., 2004. The effects of some polyelectrolyte chemical compositions on the rheological behaviour of kaolin suspensions. *Powder Technology*, 148, 43-47.
- Özel, E., Ay, N., and Pütün, E., 1999. Effects of electrolytes on sanitaryware slip. *American Ceramic Society Bulletin*, 78, 73-75.
- Papo, A., Piani, L., and Ricceri, R., 2002. Sodium triphosphate and polyphosphate as dispersing agents for kaolin suspensions: Rheological characterization. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 201, 219-230.
- Sjöberg, M., Bergström, L., Larsson, A., and Sjöström, R.E., 1999. The effect of polymer and rheology of kaolin dispersions. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 159, 197-208.
- Staneva, N., and Kasabov, I., 1996. The influence of electrolytes on the casting properties of porcelain slips. *Interceram*, 45(1), 12-15.
- Yersel, H.G., and Taçyıldız, E., 2000. Developing the optimum vitreous body for slip casting. *American Ceramic Society Bulletin*, 79, 87-90.



## Manyetik verilerde sınır analizi yöntemi kullanılarak gömülü arkeolojik yapı sınırlarının tanımlanması

*Determination of the boundaries of burial archaeological structures by using boundary analysis method in magnetic data*

**Yunus Levent EKİNCİ, Mehmet Ali KAYA**

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Terzioğlu Yerleşkesi, 17020, ÇANAKKALE

Geliş (received) : 27 Ekim (October) 2005  
Kabul (accepted) : 07 Temmuz (July) 2006

### ÖZ

Manyetik araştırmalarda, kaynak manyetizasyonunun ve bölgesel yer manyetik alanının düşey olarak yönelmediği durumlarda manyetik belirtinin en yüksek değerleri kaynak yapı merkezi üzerinde yer almamaktadır ve bundan dolayı kaynak yapı sınırlarının ortaya konması güçleşebilmektedir. Bu nedenle veri-işlem tekniklerine gerek duyulmaktadır. Bu çalışmada, jeolojik birimlerin yatay yönde sınırlarının belirlenmesi amaçlı çalışmalarda sıklıkla kullanılan sınır analizi yönteminin, kuramsal arkeolojik yapı modellerinin sınırlarını belirleyebilmedeki başarısı araştırılmıştır. Uygulamalar, manyetik belirtisi yüksek yapılara ait sınırların iyi bir şekilde belirlenebildiğini gösterirken, daha düşük belirtiyeye sahip yapı sınırlarının belirlenebilirliğinin ise azaldığını ortaya koymuştur. Ayrıca bu çalışmayla, grid düzlemi üzerinde en yüksek genlikli noktaların oranlanması aşamasında, incelenen herhangi bir noktanın hangi komşu noktalarla karşılaştırılmasının gerektiği ortaya konmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Arkeojeofizik, manyetik, modelleme, sınır analizi.

### ABSTRACT

*In magnetic investigations, when the source magnetization and regional magnetic field are not directed vertically, maximum values of the magnetic anomalies do not located over source structure center. This may complicate the determination of the boundaries of the source structure. Because of this reason, data processing techniques are required. In this study, the boundary analysis method, which is frequently used for determination of the lateral boundaries of geological units, was tested on synthetically produced archaeological models. Applications showed that the boundaries of the structures having high anomalies could be well determined, while determination of the boundaries of the structures having lower anomalies decreased. In addition, during the search for the maximum amplitude points on the grid plane, this study has also provided the determination of the neighbouring points to be compared with any test point*

**Key Words:** Archaeogeophysics, magnetic, modeling, boundary analysis.

### GİRİŞ

Arkeolojik kazılar, yüksek maliyetli ve zaman alıcı çalışmalardır. Ayrıca arkeolojik yapı kalıntılarının yeraltındaki konumlarının, derinliklerinin ve uzanımlarının tahmin edilmesinin arkeologlar için oldukça güç olması, kazılara tam olarak ne-

reden başlanacağı konusundaki sorunların yanı sıra, kazı sırasında yapıların zarar görebilme veya harcanan onca emek sonucunda olumlu sonuç alamama riski de bulunabilmektedir. Jeofizik araştırmalar, arkeolojinin yukarıda sıralanan sorunlarının çözümünde; arkeolojik yapı kalıntısına herhangi bir hasar vermeden yüzeyden



yürütülen çalışmalarla kalıntının yeri, derinliği ve yapının büyüklüğü ile konumunu belirleyerek arkeolojik kazıya katkı sağlamaktadır.

Uygulamalı jeofiziğin geleneksel uğraşlarına oranla arkeojeofizikte aranan yapıların boyutlarının ve derinliklerinin çok küçük olması hassas bir çalışmayı gerektirmektedir (Weymouth, 1986). Arkeojeofizik araştırmanın başarısı, arkeolojik yapı kalıntısının özelliklerine göre seçilecek jeofizik yöntemle doğrudan ilişkilidir. Gömülü antik yapı kalıntılarını aramada çözüm gücü yüksek birkaç yöntemin birlikte uygulanmasıyla daha başarılı sonuçlar alınmaktadır. Ayrıca uygulanan yöntemle birlikte, gerçek yeraltı modeline yakınsayabilecek ve çalışmanın amacına uygun sonuçlar üretebilecek veri-işlem teknikleri kullanılmalıdır.

Arkeojeofizik araştırmalarda manyetik yöntem, bulunduğu ortamda yüksek belirti üreten arkeolojik kalıntıları kolaylıkla belirlemenin yanı sıra, uygulama kolaylığı, az sayıda personel gerektirmesi ve kısa bir sürede çok geniş alanların taranabilmesi gibi nedenlerle de oldukça sık kullanılan bir yöntemdir (Gibson, 1986; Young ve Droge, 1986; Drahor vd., 1995; Drahor ve Kaya, 2000; Ateş, 2002; Özyalın, 2003; Ekinci, 2005).

Gömülü antik yapı kalıntısının oluşturacağı manyetik belirti; yapının boyutlarına, şekline, sahip olduğu mıknatıslanma şiddetine, derinliğine, yer manyetik alanı ve kaynak manyetizasyonunun eğim ve sapma açısına göre değişmektedir. Artı (pozitif) gravite belirtileri kütle yoğunluğu üzerinde yer almaya eğilimlidir. Ancak yer manyetik alanının ve kaynak manyetizasyonunun düşey olarak yönlenmediği durumlarda bu yaklaşım manyetik belirtiler için doğru değildir (Blakely, 1995). Bu tür sorunların üstesinden gelebilmek için uygulanan yöntemlerden biri manyetik verileri yapay gravite verilerine dönüştürme işlemidir (Baranov, 1957). Düzgün geometrik şekle sahip olan cisimlere ait gravite belirtilerinin yatay türevleri yaklaşık olarak cisim kenarlarında en yüksek değerleri verirler (Blakely, 1995). Yapay gravite dönüşümü gerçekleştirilmiş veriye uygulanan sınır analizi yöntemi ile kaynak yapılara ait köşe yani sınır noktaları belirlenebilmektedir (Blakely ve Simpson, 1986). Bu yöntemin yardımıyla tektonik hatlar, jeolojik birimlerin sınırları

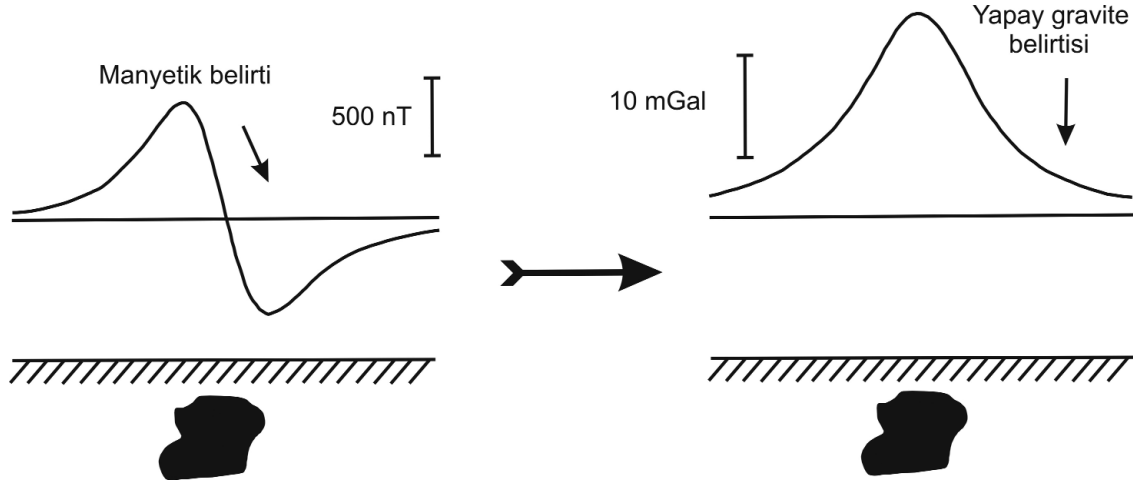
veya belirtiye neden olan yapılara ait sınırlar gibi çizgisellikler belirlenebilmektedir (Krolikowski ve Petecki, 1997; Doğan ve Ateş, 1998; Büyüksaraç vd., 1998; Stampolidis vd., 2000; Hisarlı ve Dolmaz, 2004).

Bu çalışmada, özellikle jeolojik amaçlı jeofizik çalışmalarda sıklıkla kullanılan sınır analizi yönteminin, arkeolojik amaçlı sığ çalışmalarda ne tür yanıtlar vereceği irdelenmiştir. Çalışmalar sırasında; gömülü arkeolojik yapıların vereceği belirtiler kuramsal olarak hesaplanmıştır. Arkeolojik yapılara ait modellemeler Rao ve Babu (1993) tarafından geliştirilen üç-boyutlu (3D) düz çözüm algoritması ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma, sınır analizi yönteminin kullanımında en yüksek genlikli noktaların belirlenmesinde incelenen grid noktasının komşu noktalarla karşılaştırılması sırasında hangi doğrultudaki noktalarda daha başarılı sonuçlar vereceğini ortaya koymuştur. Ayrıca, arkeolojik yapıların yeraltında konumlanma şekilleri de yöntemin başarısını etkilemektedir. Sığ derinlikte konumlanmış, düzgün geometriye ve güçlü manyetik özelliğe sahip yapılara ait yatay sınırlar başarılı bir şekilde belirlenebilmektedir.

## SINIR ANALİZİ YÖNTEMİ

Sınır analizi yöntemi ilk kez, Cordel ve Grauch (1982, 1985) tarafından belirtilere neden olan kaynak yapıların yoğunluklarında ve manyetizasyonlarında ani değişimlerin yerlerinin belirlenebilmesi ve bu kaynak yapıların yatay yönde sınırlarının saptanabilmesi amaçlarıyla kullanılmıştır. Yöntemin amacı, yatay türev haritasında en yüksek genlik noktalarını belirleyebilmektir. Daha sonraları Blakely ve Simpson (1986) tarafından yapılan çalışmalar sonucunda yöntem geliştirilmiş ve yatay türev genliklerinin harita düzlemi üzerinde en yüksek noktalarının belirlenmesi için bir algoritma haline getirilmiştir. Sınır analizi yöntemi, gravite verilerine uygulanmakta olup, eğer manyetik verilerle çalışılıyorsa yapay gravite dönüşümü gerçekleştirilmelidir. Böylece belirtinin en yüksek değerlerinin kütle merkezi üzerinde yer alması sağlanmaktadır (Şekil 1).

Bilindiği gibi, Poisson eşitliği manyetik alanı gravitasyonel alana çevirmede kullanılabilir.



Şekil 1. Manyetik belirti ve yapay gravite belirtisi (Blakely, 1995).  
Figure 1. Magnetic and pseudogravity anomalies (Blakely, 1995).

$$V = \frac{J}{G\rho} \frac{\partial U}{\partial v} \quad (1)$$

Burada;  $V$ ,  $J$  manyetizasyon şiddeti ile  $V$  yönünde manyetize olmuş cisimden kaynaklanan manyetik alan potansiyelidir.  $U$  aynı cismin gravitasyonel potansiyeli,  $G$  ise evrensel gravitasyonel sabittir. Yoğunluk  $\rho = J / G$  olup, eşitlik (1)'de yerine konulursa;

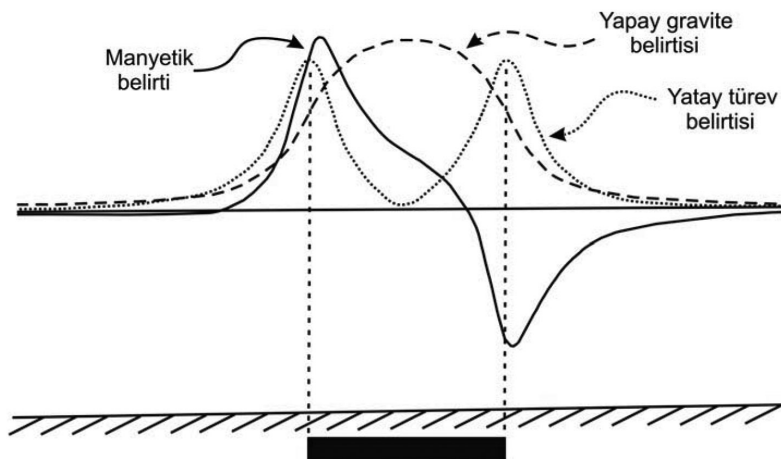
$$V = \frac{\partial U}{\partial v} \quad (2)$$

elde edilir. Eşitlik (2)'nin  $Z$ 'ye bağlı diferansiyeli ise,

$$Z = \frac{\partial g}{\partial v} \quad (3)$$

olarak verilir (Baranov, 1957). Burada;  $Z$  manyetik belirtinin düşey bileşeni,  $g$  ise gerçek gravite belirtisi değil yapay gravite belirtisidir (Doğan ve Ateş, 1998).

Yapay gravite veya gravite belirtisinin yatay türevinin alınması, ikinci aşamada yapılması gereken işlemleri oluşturmaktadır. Yüzeğe yakın kütlelere ait yapay gravite veya gravite belirtilerinin yatay türevleri köşe değerleri üzerinde en yüksek değere ulaşmaktadır (Şekil 2). Yatay türev genlikleri,



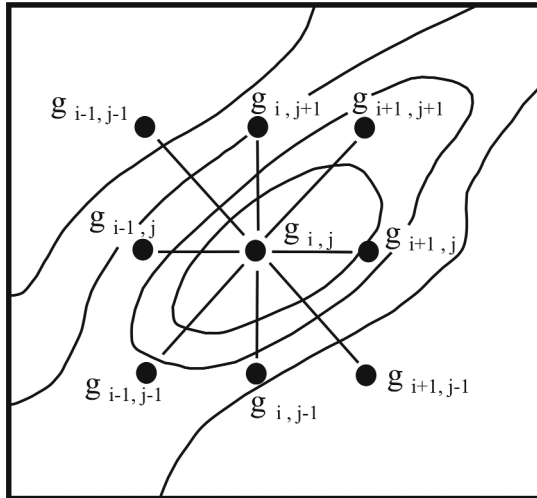
Şekil 2. Kaynak yapının manyetik belirtisi, yapay gravite belirtisi ve yatay türev büyüklükleri (Blakely, 1995).  
Figure 2. Magnetic anomaly, pseudogravity anomaly and magnitude of the horizontal gradients of the source structure (Blakely, 1995).

$$h(x,y) = \left[ \left( \frac{\partial g_z(x,y)}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial g_z(x,y)}{\partial y} \right)^2 \right]^{0.5}$$

$$= \left[ \partial^2_{zx} + \partial^2_{zy} \right]^{0.5} \quad (4)$$

eşitliği ile elde edilmektedir (Cordel ve Grauch, 1985). Yukarıdaki eşitlikte  $g_{zx}$  ve  $g_{zy}$  terimleri sırasıyla yapay gravite alanının x ve y yönlerindeki türevleri olup, sonlu farklar yaklaşımı kullanılarak elde edilir. Yatay türev yöntemi, belirtiyen neden olan kaynak yapının yerinin, diğer bir ifadeyle sınır yerlerinin hesaplanmasında en basit yaklaşımdır ve manyetik kaynak üzerinde analitik sinyal büyüklüğünün bir yaklaşımı olarak kullanılmaktadır (Roest ve Pilkington, 1993; Phillips, 2001; Özyalın, 2003). Yatay türev genliklerinin kaynağın sınırlarında her zaman en yüksek noktada yer alabilmesi için bölgesel manyetik alan ve kaynak manyetizasyon yönü düşey, kontak izole edilmiş ve kaynak kalın olmalıdır (Özyalın, 2003).

Üçüncü ve son aşama ise, en yüksek yatay türev noktalarının yerleri ve genlik değerlerinin bulunmasıdır. Bu işlemleri gerçekleştirebilmek için, kullanılan grid düzlemi üzerinde eşit aralıklarla örneklenmiş 9 komşu noktanın harita düzlemi üzerindeki konumları bilinmelidir (Şekil 3).



Şekil 3. Yatay türevlerin en yüksek değerlerinin bulunmasında kullanılacak grid noktaları (Blakely ve Simpson, 1986).

Figure 3. The grid points used for the determination of the maxima of the horizontal gradients (Blakely and Simpson, 1986).

Uygulama sırasında, Şekil 3'te olduğu gibi  $g_{i,j}$  noktası araştırılıyorsa yatay, düşey ve iki diyagonal yön olmak üzere toplam 4 doğrultuda aşağıdaki koşullar test edilir.

- 1)  $g_{i-1,j} < g_{i,j} > g_{i+1,j}$
- 2)  $g_{i,j-1} < g_{i,j} > g_{i,j+1}$
- 3)  $g_{i,j-1} < g_{i,j} > g_{i,j+1}$
- 4)  $g_{i+1,j-1} < g_{i,j} > g_{i-1,j+1}$

Koşulları sağlayan grid noktası için genlik değerlerinin hesaplanması, Blakely ve Simpson (1986) tarafından verilmiştir.

### KURAMSAL MODELLER VE UYGULAMALAR

Bu çalışma, arkeolojik yapı kalıntılarının belirlenebilmesi için sığ jeofizik araştırmalarda, arkeolojik yapı kalıntılarında kaynaklanan manyetik belirtilerin kuramsal olarak hesaplanmasını ve bu yapıların yatay yönde sınırlarının belirlenebilmesini amaçlamaktadır. Bu amaçla hesaplanan kuramsal modellere sınır analizi yöntemi uygulanmıştır. Uygulama için 4 adet model kullanılmıştır. Kuramsal modellere ait parametreler Çizelge 1'de verilmiştir. Kullanılan algoritmada x-y yatay düzlemi üzerinde gözlenen toplam manyetik alan belirtisinin gelişigüzel şekilde miknatıslanmış ve gelişigüzel konumlanmış prizmatik yapılar tarafından oluşturulduğu varsayılmaktadır. y eksenini coğrafi kuzeyi, x eksenini coğrafi doğuyu, z eksenini ise aşağıya doğru düşey yönü belirtecek şekilde seçilmiştir (Şekil 4). Gözlenen belirtiler Nb sayıda prizmadan kaynaklanmış ise, herhangi bir (x,y,0) noktasındaki manyetik belirtinin bağıntısı, C bölgesel yer manyetik alan değerini göstermek üzere,

$$\Delta T(x, y, 0) = \sum_{k=1}^{Nb} \Delta T_k(x, y, 0) + C \quad (5)$$

eşitliği ile verilmektedir. Algoritmanın ayrıntıları Rao ve Babu (1991, 1993) tarafından verilmiştir.

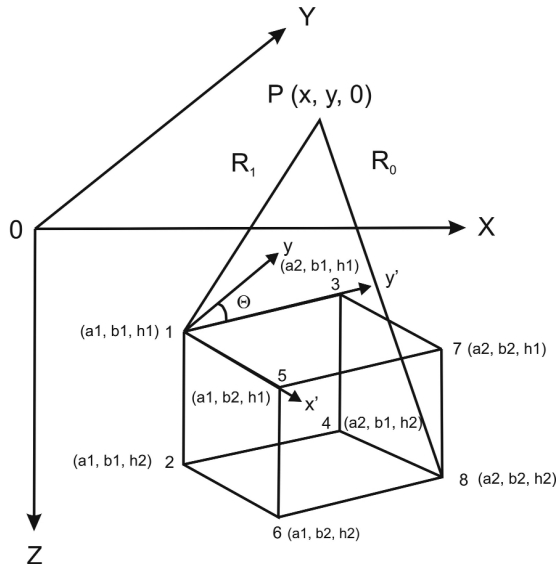
Algoritmada koordinat eksenlerine paralel olan yatay uzaklıklar sırasıyla  $(x_1, x_2)$  ve  $(y_1, y_2)$  olarak

Çizelge 1. Kuramsal modellere ait parametreler.  
Table 1. The parameters of theoretical models.

Kuramsal model no.	$X_1$ (m)	$X_2$ (m)	$Y_1$ (m)	$Y_2$ (m)	$H_1$ (m)	$H_2$ (m)	$l_0$	$Do$	EI (cgs)	CR (nT)
1	6	10	6	10	1	3	$56^\circ$	$2^\circ$	5	$46.10^3$
	14	18	12	16	1	3	$56^\circ$	$2^\circ$	5	$46.10^3$
2	2	6	2	6	2	3	$56^\circ$	$2^\circ$	5	$46.10^3$
	8	12	8	12	1	3	$56^\circ$	$2^\circ$	5	$46.10^3$
3	6	8	6	14	1	2.5	$58^\circ$	$3^\circ$	5.5	$46.10^3$
	12	14	6	14	1	2.5	$58^\circ$	$3^\circ$	5.5	$46.10^3$
	8	12	6	8	1	2.5	$58^\circ$	$3^\circ$	5.5	$46.10^3$
	8	12	12	14	1	2.5	$58^\circ$	$3^\circ$	5.5	$46.10^3$

kabul edilmiştir. Prizmanın üst ve alt derinlikleri sırasıyla,  $h_1$  ve  $h_2$  olacak şekilde tanımlanmıştır. Yer manyetik alanının eğim ve sapma açıları ise sırasıyla,  $l_0$  ve  $Do$ , mıknatıslanma şiddeti EI (cgs) ve toplam manyetik alan ise CR (nT) ile belirtilmiştir. Manyetizasyon vektörünün eğim ve sapma açıları yer manyetik alanının eğim ve sapma açılarına eşit olacak şekilde seçilmiştir. Çalışmada kullanılan tüm modellerin (20 x 20) m boyutlarındaki bir alanda bulunduğu varsayılmıştır. Oluşturulan ilk model, birbirinden bağımsız ve (4 x 4 x 2) m boyutlarında iki adet yapı kaidesini temsil etmektedir. Bu modelde yapı ka-

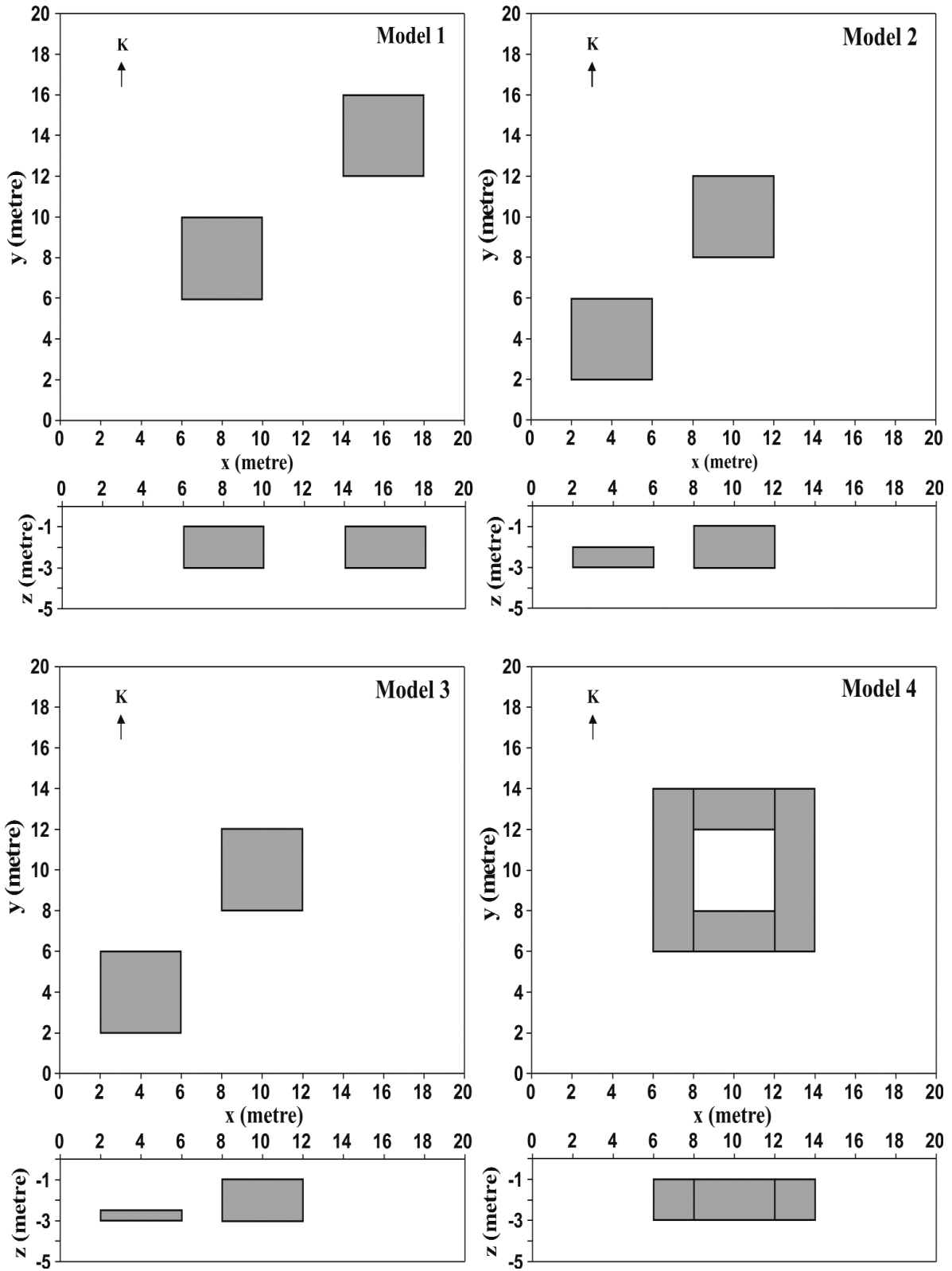
ideleri aynı derinlikte bulunmaktadır ve örnekleme aralığı 1 m olacak şekilde hesaplanmıştır. İkinci ve üçüncü modellerde ise, yapı kaidelerinden birinin derinlik değerleri arttırılırken kalınlıkları ise azaltılmıştır. Böylece, yapı kaidelerinin oluşturacağı belirti birbirinden farklı olmuş ve yöntemin bu değişime karşı duyarlılığı araştırılmıştır. Her iki modelde örnekleme aralığı, ilk modelde olduğu gibi, 1 m olarak seçilmiştir. Son model ise, bir oda yapısını temsil etmektedir. Oda yapısının belirtisinin kuramsal hesaplanmasında örnekleme aralığı 0.5 m olarak seçilmiştir. Modellere ait plan ve kesit görünümleri Şekil 5'te verilmiştir.



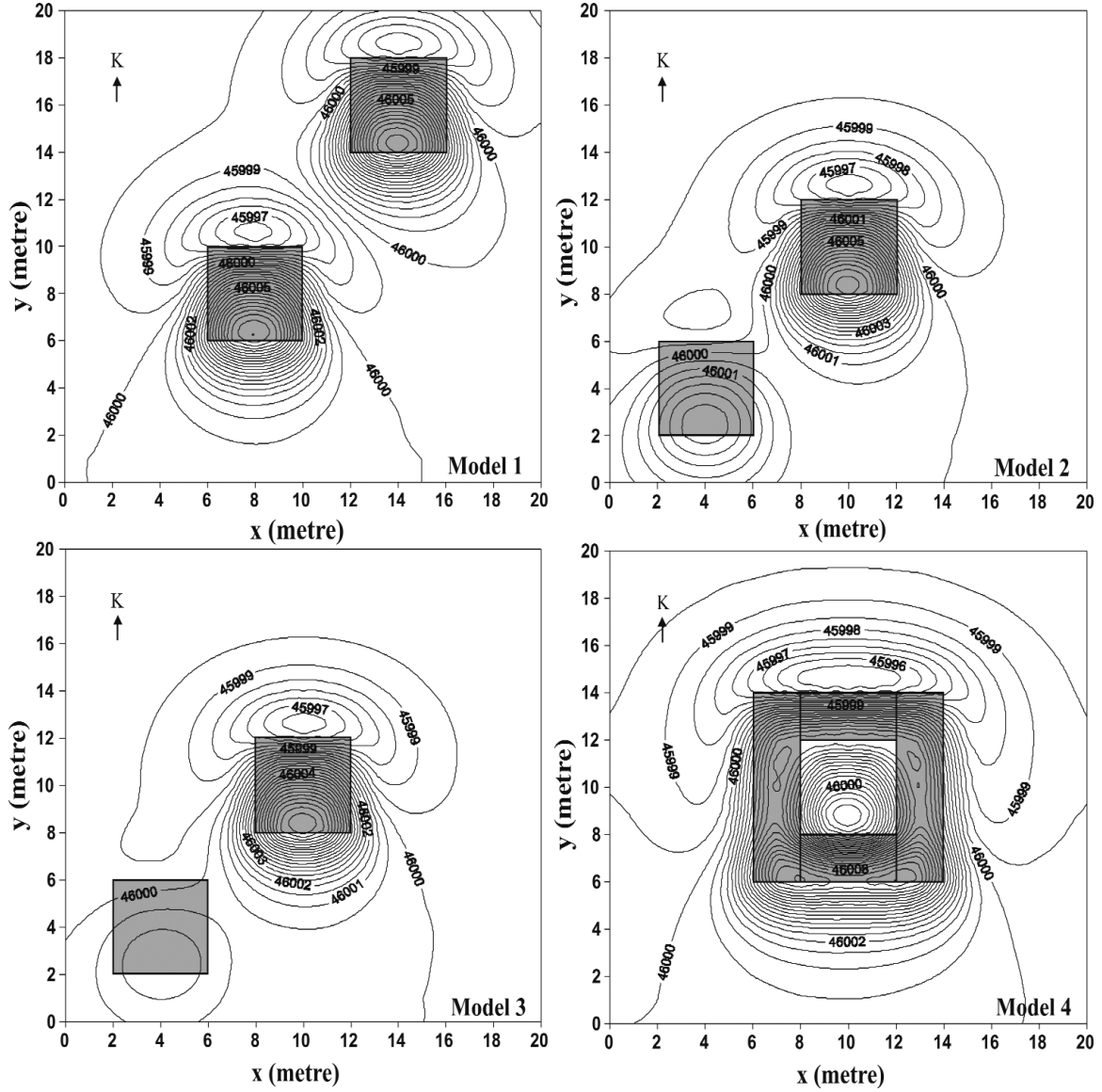
Şekil 4. Üç boyutlu dikdörtgen prizma (Rao ve Babu, 1993).

Figure 4. Three-dimensional rectangular prism (Rao and Babu, 1993).

Kuramsal modellere ait hesaplanan toplam manyetik alan kontur haritaları Şekil 6'da, toplam manyetik alan verilerinden hesaplanan yapma gravite kontur haritaları ise Şekil 7'de verilmiştir. En yüksek genlik noktalarının bulunması aşamasında ise, model 1 üzerinde daha önceden belirtmiş olan koşullar denenmiştir. Burada amaç, hangi koşul veya koşulların yapı sınırlarının belirlenmesinde daha iyi sonuç vereceğinin ortaya konmasıdır. Örneğin, seçenek 1 olarak adlandırılan adımda, bütün koşullar birlikte denenmekte ve herhangi bir kısıtlama içermemektedir. Seçenek 2'de ise; 2., 3. ve 4. koşul, seçenek 3'te sadece 2. koşul, seçenek 4'te ise 3. ve 4. koşul, seçenek 5'te sadece 3. koşul, seçenek 6 ise sadece 4. koşul denenmiştir. Birden fazla koşulun denendiği seçeneklerde koşulların herhangi birinin sağlanması yeterli olmaktadır. Model 1'e uygulanan seçenekler, seçenek 2'nin diğer seçeneklere göre yapı sınırlarını daha net bir şekilde ortaya koyduğunu göstermiştir (Şekil



Şekil 5. Kuramsal modellere ait plan ve kesit görünümleri.  
Figure 5. Plan and section views of the theoretical models.



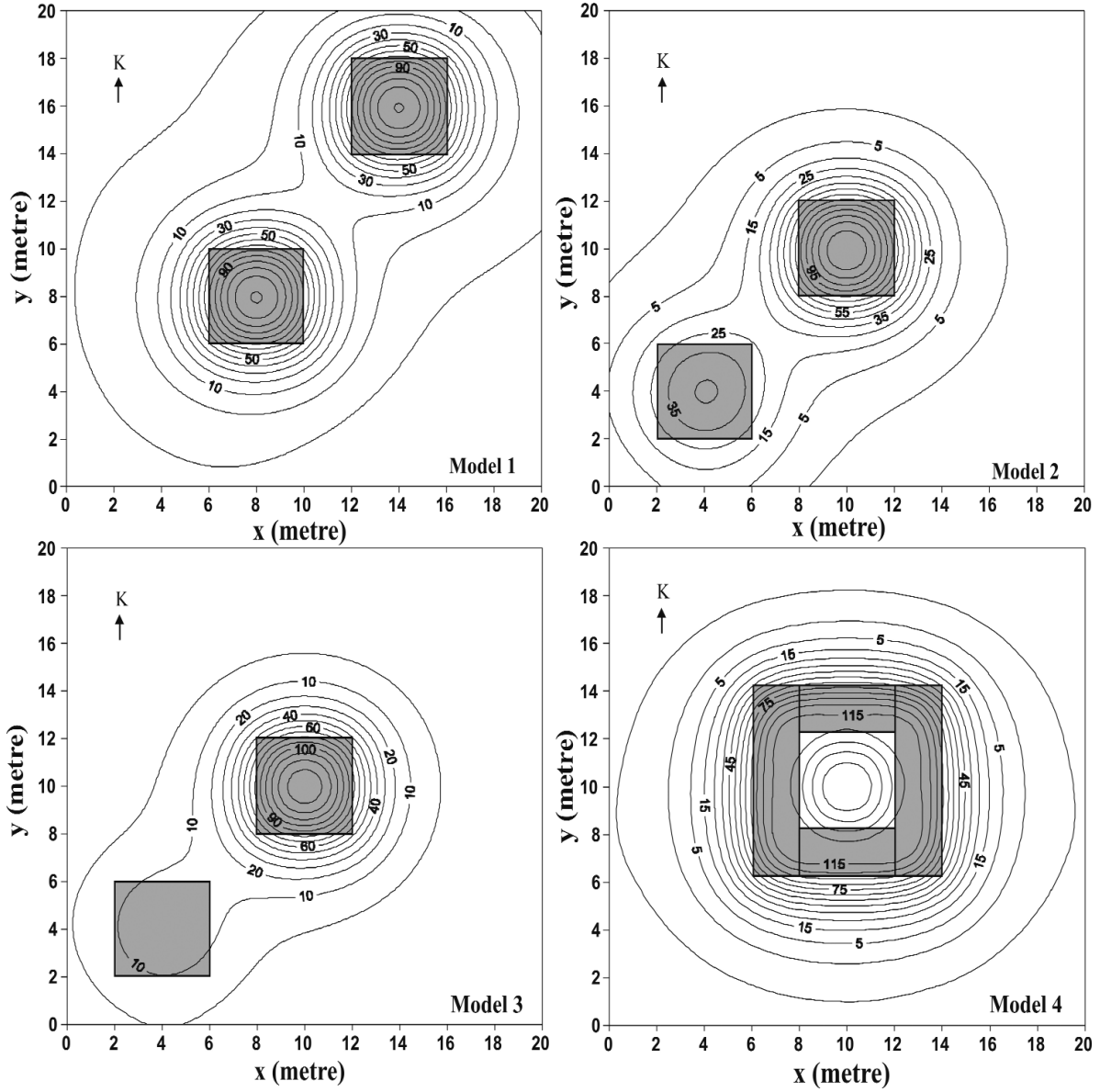
Şekil 6. Kuramsal modellere ait kontur haritaları (kontur aralıkları 0.5 nT'dir).  
 Figure 6. Contour maps of the theoretical models (contour intervals are 0.5 nT).

8). Bu aşamadan sonra, diğer modellerin sınırlarını belirleyebilmek için sadece seçenek 2 kullanılmıştır. Şekil 8 ve 9 incelendiğinde; aynı derinlikte, aynı kalınlıkta ve aynı mıknatıslanma şiddetine sahip yapılara ait yatay sınırların başarılı bir şekilde belirlendiği görülmektedir (Model 1 ve 4). Model 2'de ise, yapılardan kalın ve sığ olana ait yatay sınırlar diğerine göre daha belirgindir. Model 3'te ise, derinliği biraz daha arttırılan ve kalınlığı biraz daha azaltılan GB'daki yapının yeryüzünde oluşturacağı potansiyel alan zayıfladığından, yapıya ait sınırların belirle-

nebilirliğinin azaldığı görülmüştür. Burada dikkat edilmesi gereken husus, yapıların köşe noktalarının küçülen dalga boyları nedeniyle, en yüksek genlik noktalarında bir yuvarlaklaşmanın ortaya çıkmasıdır (Blakely ve Simpson, 1986).

## SONUÇLAR VE TARTIŞMA

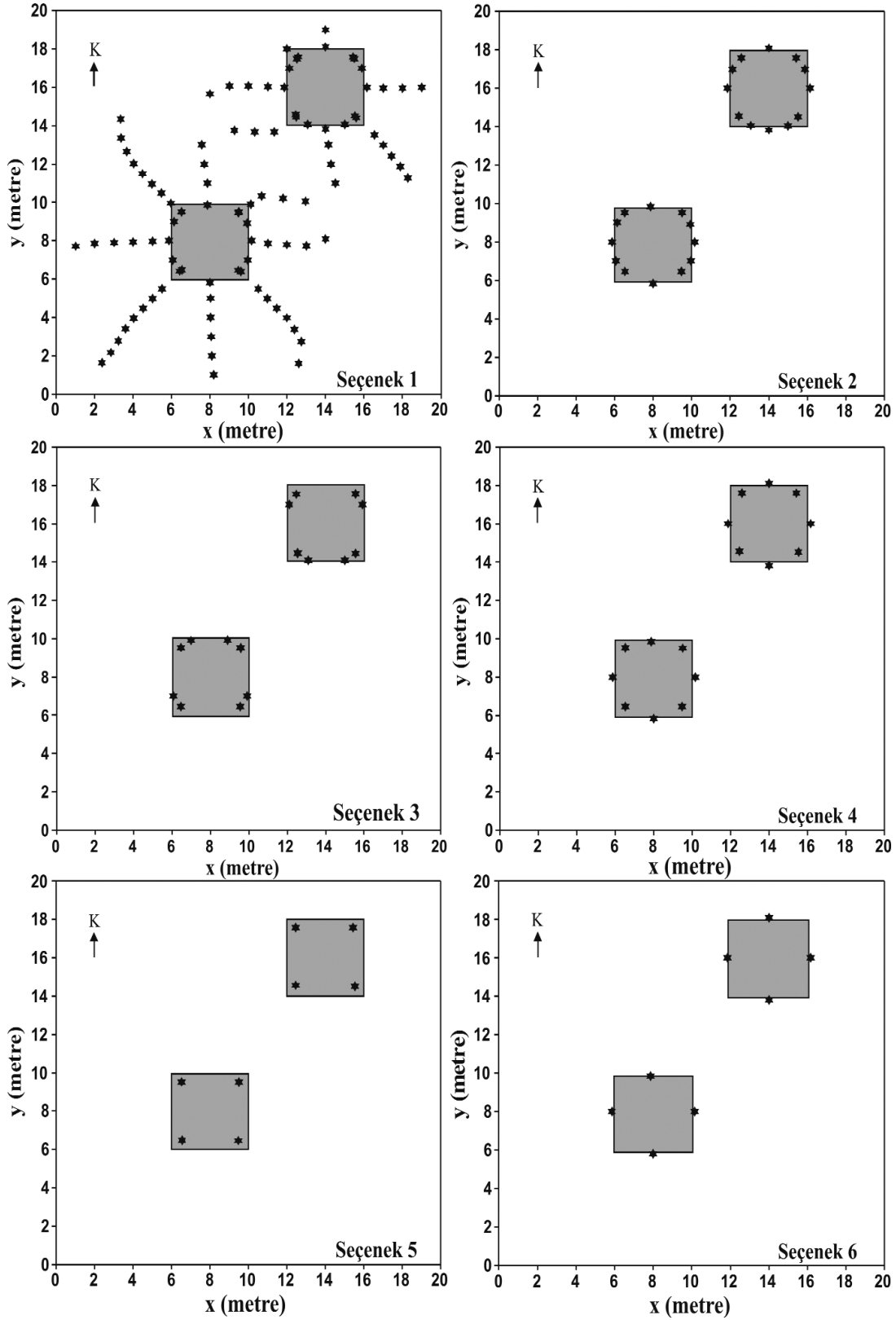
Bu çalışmada, gravite ve manyetik ölçümlere belirtilere neden olan kaynak yapıların, yatay yönde sınırlarının belirlenebilmesinde kullanılan



Şekil 7. Kuramsal modellere ait yapay gravite kontur haritaları (kontur aralıkları 10 mGal'dir).  
 Figure 7. Pseudogravity contour maps of the theoretical models (contour intervals are 10 mGal).

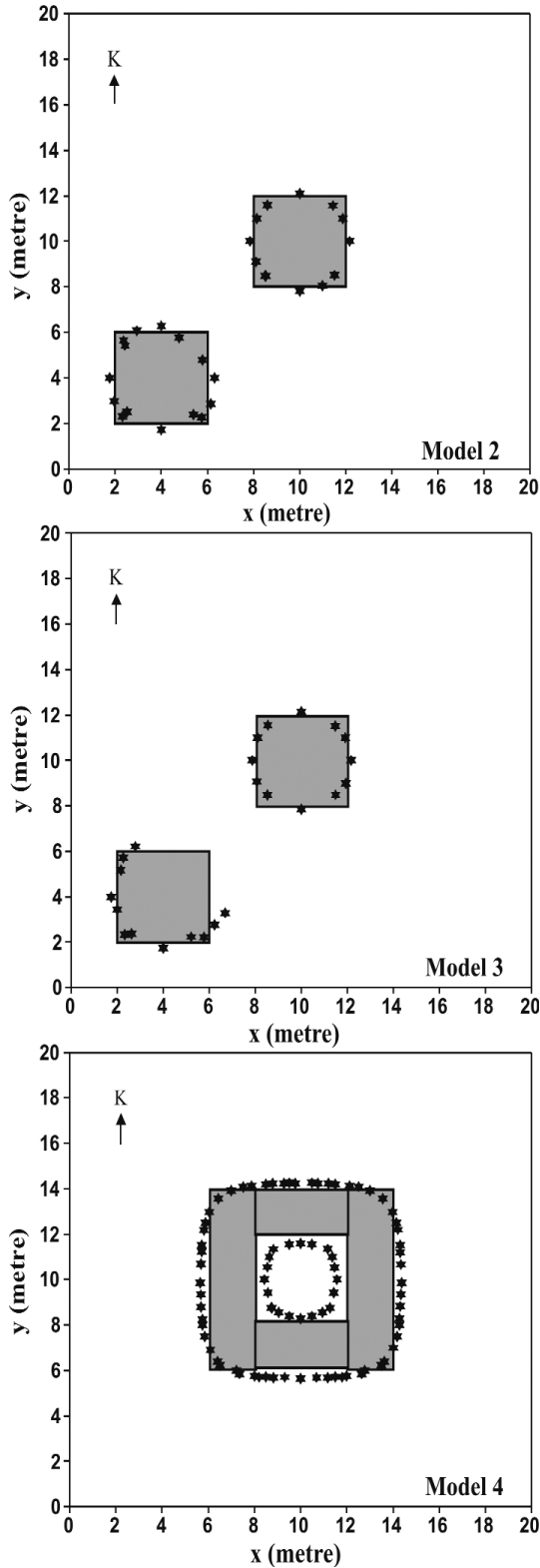
sınır analizi yönteminin arkeolojik alanlardaki gömülü yapılara karşı yanıtları kuramsal olarak incelenmiştir. Yapılan çalışmalarla, düzgün geometrik şekillere sahip yapıların yatay yöndeki sınırlarının kullanılan yöntem ile büyük oranda belirlenebildiği ortaya konmuştur. Sınır analizi yönteminin, sığ derinlikte bulunan yüksek genlik değerleri veren kalın yapı sınırlarının belirlenmesinde etkili sonuçlar verdiği, ancak yapının daha derinde ve ince olması durumunda ise çözüm gücünün zayıfladığı gözlenmiştir. Bu ne-

denle, çalışılan alanda hangi tür yapıların beklendiği arkeolojik bilgiler ışığında iyi belirlenmelidir. Yapıların gelişigüzel bir şekilde iç içe geçtiği ve karmaşıklaştığı durumlarda sağlıklı sonuçlar elde edebilmenin oldukça güç olacağı düşünülmektedir. Ayrıca, yöntemin kullanımı sırasında, önceden de değinilmiş olan koşulların seçimi, uygulamanın başarısını önemli derecede etkileyecektir. Kuramsal çalışmalar, seçenek 2'nin belirgin bir şekilde daha başarılı sonuçlar ürettiğini göstermiştir. Bunun nedeni ise, seçenek



Şekil 8. Model 1 için farklı seçenekler uygulanarak elde edilmiş en yüksek genlik noktaları.  
 Figure 8. Maximum amplitude points obtained by applying different options for Model 1.





Şekil 9. Model 2, 3 ve 4'e ait en yüksek genlik noktaları.

Figure 9. Maximum amplitude points of the models 2, 3 and 4.

2'nin 1. koşul dışındaki tüm koşulları kullanması olup, böylece doğruluk oranı artmaktadır. Diğer yandan, seçenek 1'in en fazla koşulu kullanmasına rağmen, yapı sınırlarını belirleyebilmede başarısız olduğu görülmüştür. Bunun nedeni ise, yapıların yatay uzanımlarından bağımsız olarak belirti genliği değişimleri yaratabilmeleridir (Blakely, 1986). Özellikle, yatay yönde grid düzlemini tarayan 1. koşulun sadece seçenek 1'de kullanılması ve seçenek 1'in hiçbir kısıtlama içermemesi, yapı sınırları dışında da yüksek genlik noktalarının elde edilmesine neden olmaktadır. Yorumlama aşamasında yanılığa düşmemek için seçenek 1'in kullanımından kaçınılması önerilmektedir. Ayrıca, örnekleme aralığı seçiminin de yöntemin başarısı üzerinde önemli bir etkisi vardır. Örnekleme aralığı sıklaştırılırsa, en yüksek genlikli nokta sayısı artacağından, sonuçların gerçek yeraltı yapısına yakınsaması daha kolaylaşacaktır.

Sonuç olarak, arkeolojik alanlarda yapılan manyetik çalışmalarda, çok sığ derinlikte gömülü, düzgün bir geometri ve güçlü manyetik özelliğe sahip yapı sınırlarının belirlenebilmesinde sınır analizi yönteminin yararlı olabileceği, böylece elde edilen sonuçların araştırmacı için hızlı bir yorumlama olanağı sağlayabileceği düşünülmektedir.

## KATKI BELİRTME

Yazarlar; Cemal Kaya (Cumhuriyet Üniversitesi), Emin U. Uluggerli (Ankara Üniversitesi), Coşkun Sarı (Dokuz Eylül Üniversitesi) ve Can Ertekin (Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi)'e katkılarından dolayı teşekkür ederler. Yazarlar ayrıca, yayının son şekline gelmesinde verdikleri katkılardan dolayı Abdullah Ateş (Ankara Üniversitesi) ve Mahmut G. Drahor (Dokuz Eylül Üniversitesi)'a teşekkür ederler.

## KAYNAKLAR

- Ateş, A., 2002. Archaeomagnetic survey of the anonymous graves in Khosho Tsaidam, Mongolia. *Archaeological Prospection*, 9, 197-205.
- Baranov, V., 1957. A new method for interpretation of aeromagnetic maps: pseudo-gravimetric anomalies. *Geophysics*, 22, 359-383.

- Blakely, R.J., 1995. *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*. Cambridge University Press.
- Blakely, R.J., and Simpson, R.W., 1986. Approximating edge of source bodies from magnetic or gravity anomalies. *Geophysics*, 51(7), 1494-1498.
- Büyüksaraç, A., Reiprich, S., and Ateş, A., 1998. Three-dimensional magnetic model of amphibolite complex in Taşkesti area, Mudurnu Valley, northwest Turkey. *Journal of the Balkan Geophysical Society*, 1(3), 44-52.
- Cordell, L., and Grauch, V.J.S., 1982. Reconciliation of the discrete and integral Fourier transform. *Geophysics*, 47(2), 237-343.
- Cordell, L., and Grauch, V.J.S., 1985. Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan Basin, New Mexico. In: W.J., Hinze, (ed.), *The utility of regional gravity and magnetic anomaly maps: Society Exploration Geophysics*, Tulsa, Oklahoma, 181-197.
- Doğan, M., and Ateş, A., 1998. Methods for interpretation of synthetically produced archaeomagnetic data. *Journal of the Balkan Geophysical Society*, 1(2), 27-37.
- Drahor, M.G., and Kaya, M.A., 2000. A large-scale geophysical prospection in the Acemhöyük the site of the Assyrian Trade Colony Period. *TÜBA-AR*, 3, 85-107.
- Drahor, M.G., Hesse, A. ve Kaya, M.A., 1995. Sinop amfora atölyeleri üzerinde manyetik çalışmalar. *Jeofizik*, 9, 7-12.
- Ekinci, Y.L., 2005. Amorium antik kentinin manyetik yöntem ile araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü (yayımlanmamış).
- Gibson, T.H., 1986. Magnetic prospection on prehistoric sites in western Canada. *Geophysics*, 51(3), 553-560.
- Hisarlı, Z.M. ve Dolmaz, M.N., 2004. Kozak plütonik kütlelerinin havadan manyetik anomalilerinin modellenmesi. İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yer Bilimleri Dergisi, 17(2), 147-159.
- Krolikowski, C., and Petecki, Z., 1997. Crustal structure at the Trans-European Suture Zone in northwest Poland based on gravity data. *Geological Magazine*, 134(5), 661-667.
- Özyalın, Ş., 2003. Potansiyel alanlarda otomatik değerlendirme teknikleri ve arkeolojik alanlara uygulanması. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü (yayımlanmamış).
- Phillips, J.D., 2001. Processing and interpretation of aeromagnetic data for the Santa Cruse Basin-Pategonia Mountains area, South-Central Arizona-A Preliminary Report. U.S. Geological Survey Open File Report.
- Rao, D.B., and Babu, N.R., 1991. A rapid method for three-dimensional modeling of magnetic anomalies. *Geophysics*, 56(11), 1729-1737.
- Rao, D.B., and Babu, N.R., 1993. A Fortran-77 computer program for three-dimensional inversion of magnetic anomalies resulting from multiple prismatic bodies. *Computers and Geosciences*, 19(6), 781-801.
- Roest, W.R., and Pilkington, M., 1993. Identifying remanent magnetization effects in magnetic data. *Geophysics*, 58(5), 653-659.
- Stampolidis, A., Tsokas, G.N., Papagiotopoulos, D., Kondopoulou, D., and Savvaidis, A., 2000. Analysis of geomagnetic field anomalies in the Leptokarya area, NE Greece. *Journal of the Balkan Geophysical Society*, 3(4), 87-92.
- Weymouth, J.W., 1986. Archaeological site surveying program at the University of Nebraska. *Geophysics*, 51(3), 538-552.
- Young, C.T., and Droege, C.R., 1986. Archaeological applications of resistivity and magnetic methods at Fort Wilkins State Park, Michigan. *Geophysics*, 51(3), 568-575.



## Tecer Dağının (Sivas) karst hidrojeolojisi incelemesi

### *Karst hydrogeological investigation of the Tecer Mountain (Sivas)*

**Tülay EKEMEN, Fikret KAÇAROĞLU, Kaan Şevki KAVAK**

Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140 SİVAS

Geliş (received) : 20 Şubat (February) 2006

Kabul (accepted) : 07 Temmuz (July) 2006

### ÖZ

Tecer Dağı Sivas'ın yaklaşık 40 km güneydoğusunda yer almakta olup, Mestrişiyen-Tanesiyen yaşlı kireçtaşından (Tecer kireçtaşı) oluşmaktadır. Bu çalışmada, Tecer kireçtaşının hidrojeolojik özelliklerinin, su kimyası ve kalitesinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Tecer kireçtaşı, oldukça kırıklı, çatlaklı ve karstik yapılıdır. Birimde karstik yapı olarak çoğunlukla karenler, dolinler, düdenler, yeraltı kanalları ve mağaralar gözlenmiştir. Karstik Tecer kireçtaşında yeraltısuyu dolaşımı genellikle kireçtaşının çözünmesiyle genişlemiş eklemeler, çatlaklar ve karstik kanallar boyunca yerel dolaşım şeklindedir. İnceleme alanında Tecer kireçtaşından boşalan kaynakların debileri 0.5-565 l/s arasında değişmektedir. Tecer kireçtaşından boşalan en büyük debili karstik kaynak olan Beşgözeler kaynağının debisi 150-565 l/s arasında değişmektedir. CaHCO<sub>3</sub>'lü tipte olan bu suların elektriksel iletkenlik (EC) değerleri 215-585 µS/cm arasında, sertlikleri ise 10-20 Fransız sertlik derecesi (°F) arasında değişmektedir. Kaynaklar, sulama suyu açısından, ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı'nda orta tuzlu-düşük sodyumlu sular (C<sub>2</sub>-S<sub>1</sub>) sınıfında yer almaktadır. Tecer Deresi sularının EC değerleri 630-885 µS/cm arasında, sertlikleri 30-45 °F arasında değişmektedir. Karstik yapılara ve eklem sistemlerine ilişkin arazi gözlemleri, hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri incelemelerine göre Tecer kireçtaşında özellikle süreksizliklerin denetiminde karstlaşma gelişmiştir. Kırık izleri, eklemeler ve faylar ile karstlaşmanın yoğunlaştığı zonlar arasında oldukça belirgin bir uyumluluğun bulunduğu gözlenmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Hidrojeoloji, karst akiferi, karst kaynağı, Tecer Dağı, yeraltısuyu.

### ABSTRACT

*Tecer Mountain, located about 40 km to the southeast of Sivas city is formed of Maestrichtian-Thonetian aged limestone (Tecer Limestone). This study aims to determine the hydrogeological, hydrochemical and water quality characteristics of the Tecer Limestone aquifer. Tecer Limestone is densely fractured, jointed and karstified. Karrens, dolines, ponors, underground channels and caves are among the karstic features observed in the unit. Groundwater circulation within the karstified Tecer Limestone occurs mainly along the fractures, joints and solutional conduits, as concentrated (conduit) flow. The flow rate of the springs discharging from the Tecer Limestone in the study area ranges between 0.5 and 565 l/s. The discharge of the Beşgözeler Spring, the largest karst spring in Tecer Limestone, ranges between 150 and 565 l/s. The electrical conductivity (EC) and hardness of the spring waters that issue from the Tecer Limestone range between 215 and 585 µS/cm, and 10 and 20 °F (French Hardness), respectively. The spring waters are of a calcium bicarbonate type. The spring waters plot in medium salinity-low sodium water (C<sub>2</sub>-S<sub>1</sub>) class in the U.S. Salinity Laboratory Diagram. EC and hardness values of the Tecer River waters range between 630 and 885 µS/cm, and 30 and 45 °F, respectively. Field observations on karstic features and joint systems, and studies of air photographs and satellite images have revealed that karstification has developed in Tecer Limestone as an affect of the surface drainage, joints and faults. There is a rather strong correlation between the fracture traces, densely jointed zones, faults and the intensively karstified zones.*

**Key words:** Hydrogeology, karst aquifer, karst spring, Tecer Mountain, groundwater.

T. Ekemen

E-mail: tekemen@cumhuriyet.edu.tr







Divriği ofiyolitli karışığı, çalışma çevresinde oldukça geniş bir alanda yer almaktadır ve kalınlığı 2000 m'dir. Karışık, genelde ofiyolit (peridotit, lertzolit, serpantin, amfibolit, harzburjit, dunit vb.) ve sedimanter kökenli (kireçtaşı, radyolarit vb.) kayalarından oluşmuştur. Üst Kretase'de bölgeye yerleşen karışığın üzerine Tecer Kireçtaşı uyumsuz olarak gelmektedir (İnan vd., 1993).

Tecer kireçtaşı, çalışma alanını oluşturan Tecer Dağı silsilesini tamamen kaplamaktadır. Birimin egemen litolojisi gri kireçtaşlarıdır. Yer yer kalın katmanlı (30-70 cm) olup, yüzeyleri bol karstik boşluklu ve çatlaklıdır. İnan vd. (1993) tarafından tanımlanan fosillere göre, birime Üst Maastrihtiyen - Tanesiyen yaş aralığı verilmiştir.

Bozbel formasyonu, Tecer kireçtaşı tarafından tektonik olarak üzerlenmektedir. Formasyon, genel olarak ince-orta katmanlı, bej, sarımsı-gri killi kireçtaşı bantları içeren kumtaşı ve silttaşışeyl ardalanmasından oluşmaktadır. Üst kesimlerde ise, yer yer jips merceklerine rastlanmaktadır. Birimin kalınlığı 1200-1500 m arasında değişmekte olup, Lütesiyen yaşındadır (İnan vd., 1993).

Selimiye formasyonu, kırmızımsı kahverenkli çakıltaşı-kumtaşı, yeşil-gri miltaşı, silttaşı ve yer yer jips mercekleriyle temsil edilmektedir. Formasyonun toplam kalınlığı 500-700 m arasında ve yaşı Oligosen'dir (İnan vd., 1993).

Karacaören formasyonunu, Gürsoy (1986) tarafından üç üyeye ayrılmıştır. Formasyonun tabanında yer alan kumtaşı-kilttaşı-çakıltaşı ardalanmasından oluşan bölümünü Kızılkaya Tepe üyesi, killi kireçtaşından oluşan bölümü Eskiköy üyesi, bazaltlarla temsil edilen bölümü ise Alibaba Tepe üyesi olarak adlandırılmıştır. Ayrıca formasyon içerisinde yer yer beyaz-gri jips mercekleri yer almaktadır. Formasyon 750 m kalınlığında olup, Miyosen yaşındadır (İnan vd., 1993).

Deliktaş formasyonu, inceleme alanının güney kesimlerinde Karacaören Formasyonu ile yanal ve dikey geçişli, güney-güneydoğu kesimlerinde ise Divriği ofiyolitli karışığı napı üzerinde açılı uyumsuz olarak yer almaktadır (İnan vd., 1993). Formasyonun kumtaşı-çakıltaşı-şeyl ardalan-

masından oluşan düzeyleri Örencik üyesi olarak, killi kireçtaşından oluşan üst düzeyleri ise Kulmaç üyesi olarak adlandırılmıştır. Formasyonun kalınlığı 750 m'dir (İnan vd., 1993).

Örenlice formasyonu, değişik boyutlarda silis, radyolarit, kireçtaşı, bazalt, killi kireçtaşı ve ofiyolitik kayaç parçalarından türemiş çakıltaşlarından oluşmaktadır. Formasyon Pliyosen yaşında olup, kalınlığı 50-75 m'dir (Gürsoy, 1986; İnan vd., 1993).

Traverten, çalışma alanının kuzeybatı kesiminde yer alan Demircilik Köyü civarında yüzeylenmektedir. Birim oldukça kırıklı ve çatlaklı olup, bundan dolayı tam bir tabakalanma gözlenememiştir. Bununla birlikte, topoğrafyaya paralel olarak görüldüğü kesimler göze çarpmaktadır. Birim, İnan (1987) tarafından Pliyosen olarak yaşılandırılmıştır.

Soğukpınar formasyonu, karasal çakıltaşlarından oluşmaktadır ve kalınlığı 100 m'yi geçmektedir. Formasyona, stratigrafik konumu dikkate alınarak, Pliyo-Kuvaterner yaşı verilmiştir (Gökten, 1993).

Alüvyon, Tecer deresi ve yan kollarının yataklarında bulunmakta ve pekişmemiş çakıl, kum, silt ve killerden oluşmaktadır.

## Yapısal Jeoloji

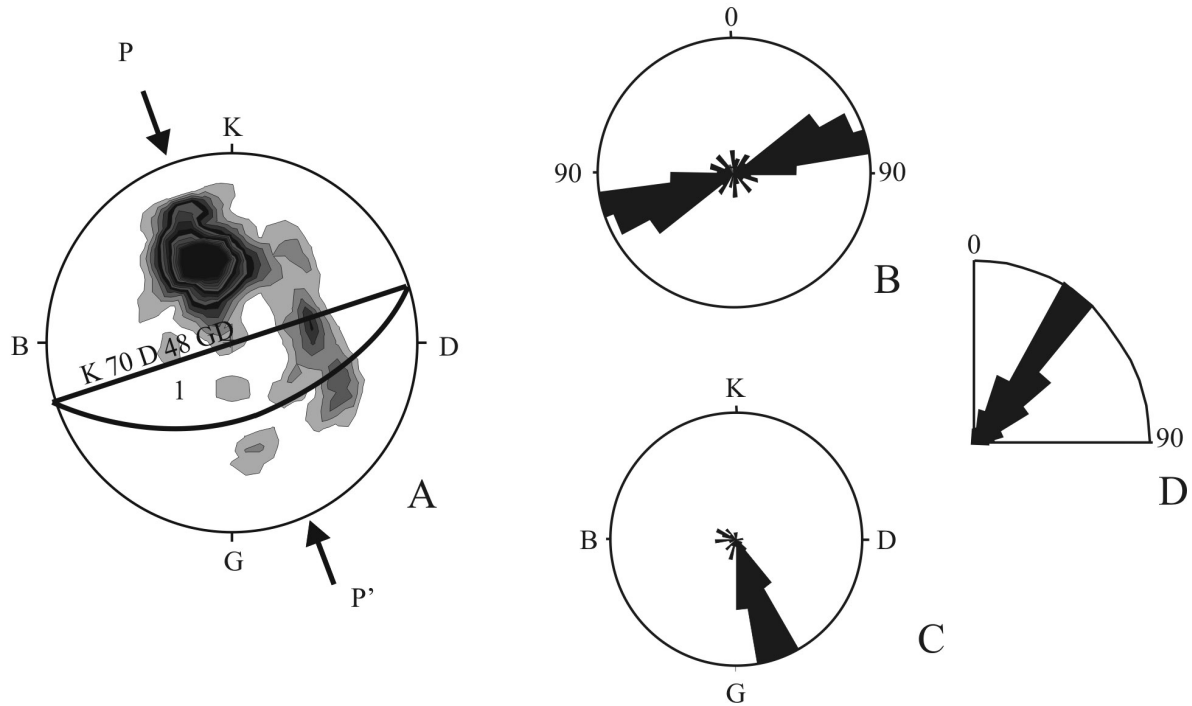
Çalışma alanı, Anatolidler ile Toridler'in doğu kesiminde her iki birliğin sınırlarında yer almaktadır (Gürsoy, 1986). Tecer Dağı, Alpin tektonik özellik gösteren Torid Tektonik Kuşağı içerisinde kabul edilmiştir. İnceleme alanında bölgenin KKB-GGD doğrultulu sıkışma tektoniği ile uyumlu olarak meydana gelmiş çok sayıda bindirme, doğrultu atımlı sağ ve sol yanal ve eğim atımlı normal faylar bulunmaktadır. Doğrultu atımlı sağ yanal faylardan en belirginini Tecer Dağı'nı Gezbel Boğazı'nda KB-GD yönünde kesen faydır (bkz. Şekil 3). Alanın güneydoğu sınırında, Üst Kretasede Çataldağ Kireçtaşları üzerine, Divriği Ofiyolitli Karışığı kuzeyden güneye doğru bindirmiştir (Yılanlıdağ bindirmesi) (İnan vd., 1993). Alt Miyosende, Tecer kireçtaşı, Tecer Dağı'nın kuzeyinde Bozbel ve Selimiye formasyonları üzerine güneyden kuzeye doğru bindirmiştir (Te-

cer bindirmesi) (Gökten, 1986). İnceleme alanında yer alan en büyük kıvrım, Eskiköy civarında bulunan ve Miyosen yaşlı Karacaören formasyonu içerisinde gelişmiş olan Eskiköy senkinalidir. Tecer kireçtaşında bölgede etkin olan sıkıştırmaya bağlı olarak katmanlanma her kesimde belirgin değildir. Katmanlanmanın belirgin olduğu yerlerden tabaka doğrultu ve eğimleri ölçülmüş ve bu değerler kontur ve gül diyagramları hazırlanarak değerlendirilmiştir, buna göre birimin egemen katmanlanma düzleminin  $K7^{\circ}D/48^{\circ}$  GD olduğu saptanmıştır (Şekil 4).

## HİDROLOJİ

Çalışma alanını oluşturan Tecer Dağı ve yakın çevresinde yağış gözlem istasyonu bulunmaktadır. İnceleme alanı çevresindeki Ulaş, Kangal, Deliktaş, Celalli ve Sincan Devlet Meteoroloji istasyonlarının 1976-1995 yılları arasındaki değerlerine göre eşyağış eğrileri yöntemi yardımıyla inceleme alanının ortalama yıllık yağışı 500 mm olarak bulunmuştur.

İnceleme alanının büyük bölümü Tecer Deresi tarafından drene edilmektedir. Derenin havza çıkış noktasında (Tecer Köyü) DSİ XIX. Bölge Müdürlüğü'ne ait 15-259 nolu akım gözlem istasyonu (AGİ) bulunmaktadır. Bu istasyonda (TD-1) 1994-2000 yılları arasındaki aylık ortalama akım değerlerine göre 7 yıllık ortalama akım  $1.08 \text{ m}^3/\text{s}$ 'dir. Tecer Deresi'nin bu istasyon kesitindeki drenaj alanı  $210 \text{ km}^2$ 'dir. Bu istasyona ait 1994-2000 yılları arasındaki aylık ortalama akım değerlerinin akım zaman grafiği çizilmiş ve kurak dönemlerdeki akımlar dikkate alınarak toplam akımdan baz akım ayrılmış ve ayrılan alanlar yardımıyla 7 yıllık ortalama baz akım  $0.66 \text{ m}^3/\text{s}$  ve ortalama yüzeysel akış  $0.42 \text{ m}^3/\text{s}$  olarak hesaplanmıştır. Çizelge 1'de Tecer Deresi'nde yapılan ölçüm değerleri verilmiştir. Beşgözeler kaynağı Tecer Deresi üzerindeki TD-2 ile TD-3 ölçüm noktası arasında Tecer Deresine katılmaktadır. Bu nedenle TD-2'nin debisinde artma ve EC miktarında azalma gözlenmektedir. Ayrıca TD-2 ölçüm noktasından sonra Ulaş Devlet Üretim Çiftliğine sulama amaçlı olarak su veril-



Şekil 4. Tecer kireçtaşı tabaka ölçümlerinin kontur ve gül diyagramları (A: kontur diyagramı, B: doğrultuya göre, C: eğim yönüne göre, D: eğim miktarına göre gül diyagramları).  
Figure 4. Contour and rose diagrams of the Tecer limestone bedding plane measurements (A: contour diagram, B: rose diagram of the strike of the bedding planes, C: rose diagram of the dip direction, D: rose diagram of the degree of the dip).



Çizelge 1. Akarsularda yapılan arazi ölçümleri.  
Table 1. Field measurements on river waters.

Akarsu no	Akarsu adı	Ölçüm tarihi	Debi (l/s)	T (°C)	EC (µS/cm)	TDS (mg/l)
TD-1	Tecer Deresi 1	03.07.2000	325	23.3	815	520
TD-1	Tecer Deresi 1	28.09.2000	174	14.1	810	540
TD-1	Tecer Deresi 1	13.11.2000	538	9.8	890	600
TD-2	Tecer Deresi 2	03.07.2000	604	22.0	630	410
TD-3	Tecer Deresi 3	05.07.2000	299	24.7	875	580
TD-4	Tecer Deresi 4	07.07.2000	250	18.2	886	620
TD-5	Tecer Deresi 5	10.07.2000	302	16.2	865	550

diğinden dolayı TD-1'in debisi azalmaktadır. TD-5 ölçüm noktasından sonra yöredeki pancar vb. sebzelerin sulanması amacıyla Tecer Deresi'nden tarım arazilerine su verilmektedir.

## HİDROJEOLOJİ

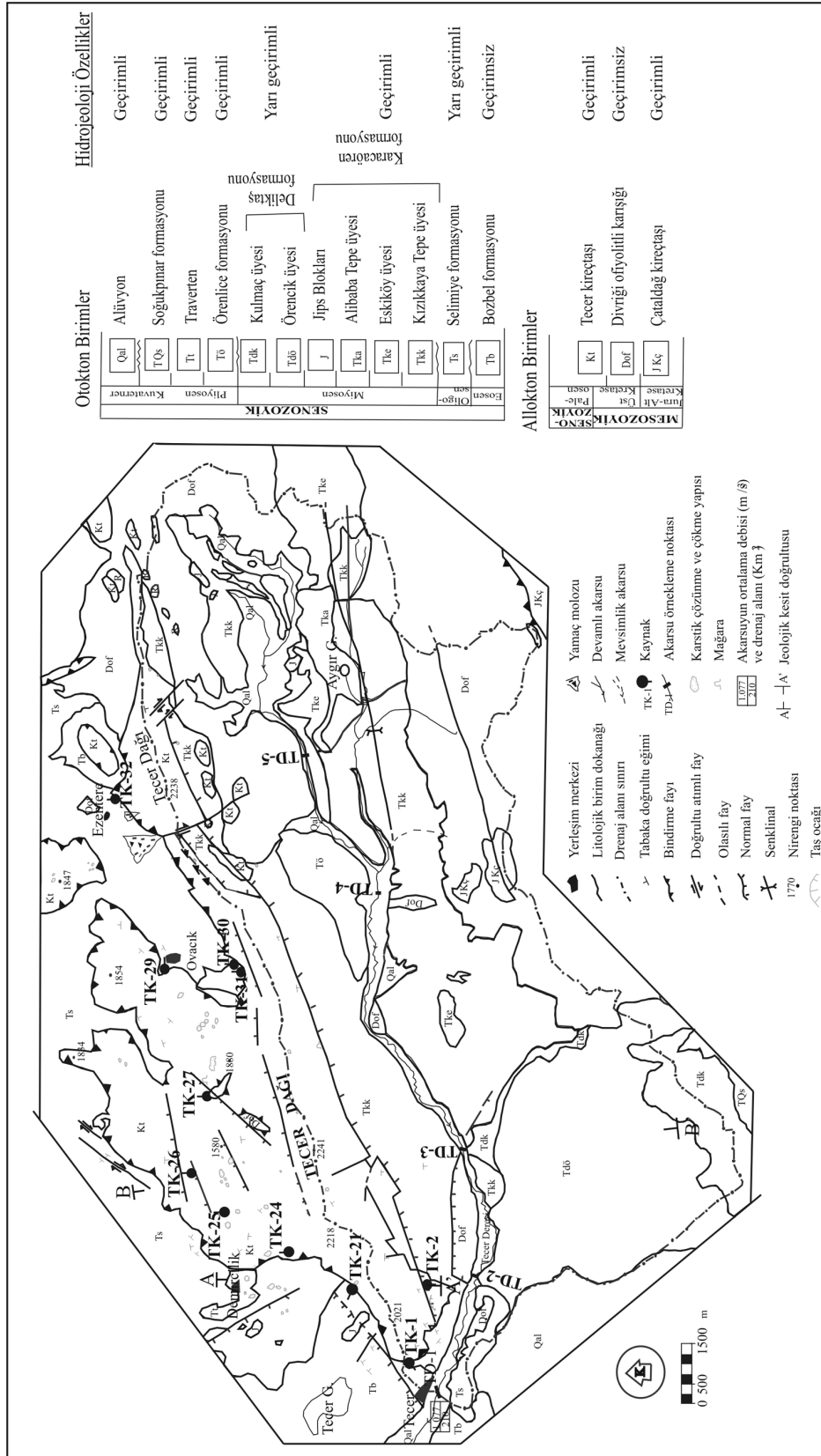
Tecer kireçtaşı oldukça kırıklı, çatlaklı ve yoğun karstlaşmış olması nedeniyle iyi bir akifer olma özelliğine sahiptir. Şekil 5'te çalışma alanı ve çevresinin hidrojeoloji haritası verilmiştir. Tecer kireçtaşından 11 adet karstik kaynak boşalmaktadır. Bu kaynakların 2000 yılı yaz döneminde muline ile ölçülen debileri Çizelge 2'de verilmiştir. Kaynakların en büyüğü Beşgözeler kaynağıdır (150-398 l/s). Bentbaşı, Karapınar, Göllü ve Çağlayan kaynakları bu birimden boşalan diğer büyük debili (4.3-55.6 l/s) kaynaklardır. Bu kaynakların farklı dönemlerde ölçülmüş debi değerleri Çizelge 3'te verilmiştir. Şekil 6'da faylar ile

ilişkili boşalan yapan kaynakların jeolojik kesitleri görülmektedir.

Beşgözeler kaynağı, Tecer köyünün doğusunda yer almakta olup, boşalım noktası Tecer Dağı'nın güneyindeki normal fay (Tecer Fayı) üzerinde bulunmaktadır. Kaynağın debileri çeşitli amaçlar için farklı kişi ve kuruluşlar tarafından değişik tarihlerde ölçülmüştür (Çizelge 3). Çizelge 3'ten görülebileceği gibi, debi değerleri 150-495 l/s arasında değişmektedir. Beşgözeler kaynağı suyunun bir kısmı Sivas Demir Çelik İşletmesi'ne, Ulaş'a ve yakın civarlardaki köylere içme ve kullanma suyu olarak verilmektedir. Verilen su miktarı çeşitli dönemlerde 70 l/s (Kaçaroglu ve Değirmenci, 2001) ile 120 l/s arasında değişim göstermiştir. Alınan sudan geri kalanı Tecer Deresi'ne karışmakta ve bu suyun bir kısmı alabalık üretim çiftliğinde kullanılmaktadır. Beşgözeler kaynağı Tecer Deresi'ne karıştıktan

Çizelge 2. Kaynaklarda yapılan arazi ölçümleri.  
Table 2. Field measurements on spring waters.

Kaynak No.	Kaynak adı	Çıktığı formasyon / birim	Yükselti (m)	Ölçüm tarihi	Debi (l/s)	T (°C)	TDS (mg/l)
TK-1	Çağlayan	Tecer kçt.-Kızılkaya Tepe üy.dokanağı	1510	03.07.2000	42	12	380
TK-2	Beşgözeler	Tecer kireçtaşı	1530	03.07.2000	398	10	195
TK-21	Tatlı Pınar	Tecer kçt.-Bozbel form. dokanağı	1740	11.07.2000	0.5	10	170
TK-24	Deliabu	Tecer kireçtaşı	1780	11.07.2000	0.5	9.1	220
TK-25	Bentbaşı	Tecer kireçtaşı	1740	12.07.2000	56	8.8	180
TK-26	Karapınar	Tecer kireçtaşı	1770	12.07.2000	37	9	190
TK-27	Göllü	Tecer kçt.-Divriği of.karş. dokanağı	1750	12.07.2000	21	9	200
TK-29	Yukarı Pınar	Tecer kçt.-Selimiye form. dokanağı	1730	13.07.2000	2	9	180
TK-30	Kızılbayır	Tecer kçt.-Divriği ofy.karş. dokanağı	1740	13.07.2000	1	7.7	280
TK-31	Soğuk Pınar	Tecer kçt.-Divriği ofy.karş. dokanağı	1790	13.07.2000	5	5.7	140
TK-32	Ezentere	Tecer kçt.-Selimiye form. dokanağı	1690	13.07.2000	1	8.5	250



Şekil 5. İnceleme alanı ve çevresinin hidrojeoloji haritası.  
 Figure 5. Hydrogeological map of the investigated area and its vicinity.

Çizelge 3. Bazı büyük kaynakların debileri.  
Table 3. Discharges from some of the large springs.

Kaynak adı	Ölçüm tarihi	Debi (l/s)	Kaynak
Beşgözeler	03.07.2000	398	Ekemen (2001)
"	31.07.2000	399	Ekemen (2001)
"	28.09.2000	425	Ekemen (2001)
"	13.11.2000	265	Ekemen (2001)
"	21.09.2001	150	Kaçaroğlu ve Değirmenci (2001)
"	28.05.2003	450	Kaçaroğlu vd. (2004)
"	09.04.2004	495	Kaçaroğlu vd. (2004)
"	10.11.2005	190	Kaçaroğlu vd. (2005 b)
Bentbaşı	12.07.2000	55.6	Ekemen (2001)
"	03.08.2000	18.7	Ekemen (2001)
"	28.09.2000	9	Ekemen (2001)
"	13.11.2000	6.7	Ekemen (2001)
"	24.05.2005	15	Kaçaroğlu vd. (2005 a)
Karapınar	12.07.2000	36.8	Ekemen (2001)
"	03.08.2000	22	Ekemen (2001)
"	28.09.2000	23.4	Ekemen (2001)
"	13.11.2000	15.6	Ekemen (2001)
"	24.05.2005	25	Kaçaroğlu vd. (2005 a)
Göllü	12.07.2000	20.5	Ekemen (2001)
"	03.08.2000	27	Ekemen (2001)
"	28.09.2000	11.1	Ekemen (2001)
"	13.11.2000	4.3	Ekemen (2001)
"	24.05.2005	20	Kaçaroğlu vd. (2005 a)

sonra Tecer Deresi'nden Ulaş Devlet Üretim Çiftliğine sulama amaçlı olarak su verilmektedir.

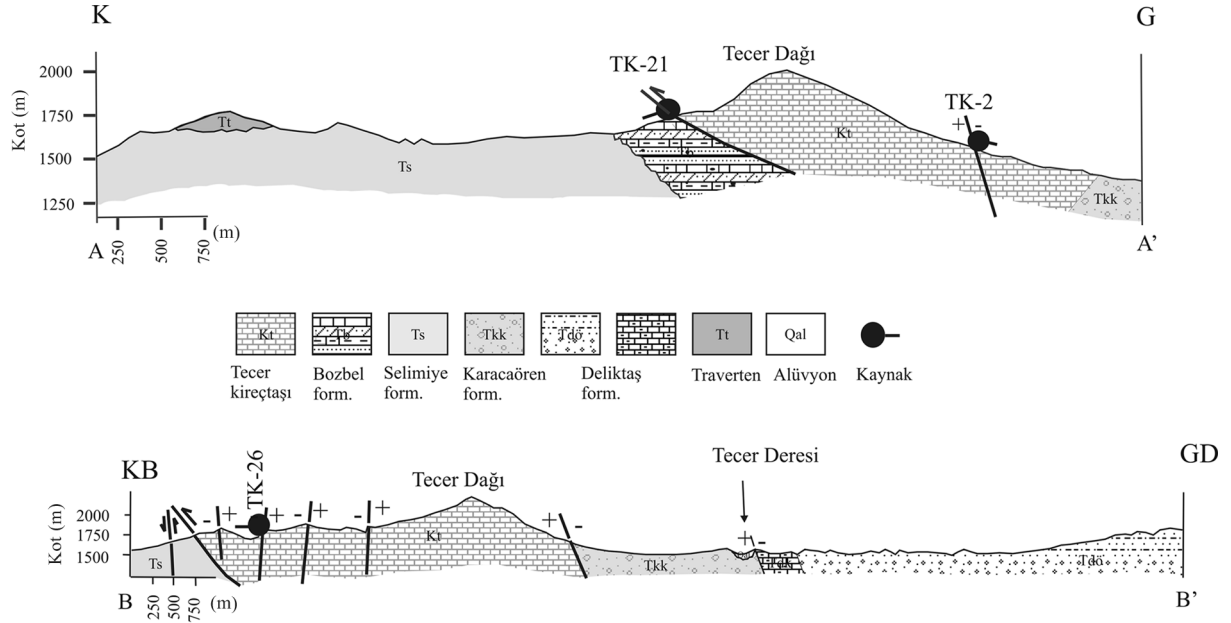
Bentbaşı kaynağı (TK-25) Tecer Dağı'nın kuzeyinde; Demircilik köyü 2.5 km doğusunda bulunan Bentbaşı Mevkiinde, dere yatağı içerisinde boşalmaktadır. Kaynağın debisi 4 farklı ayda ölçülmüş olup, 6.7-55.6 l/s arasında değişmektedir. Karapınar kaynağı (TK-26), Tecer Dağı'nın kuzey kesiminde Tecer kireçtaşından boşalmakta olup, boşalım noktası normal fay üzerinde yer almaktadır. Kaynağın debisi, 15.6-36.8 l/s arasında değişmektedir. Bentbaşı ve Karapınar kaynakları Karaşar köyü'nün tarım alanlarını sulamak amacıyla kullanılmaktadır. Göllü kaynağı (TK-27), Ovacık köyünün 3 km güneybatısında bulunmaktadır. Kaynak, Divriği ofiyolitik karışığına ait serpantinitle Tecer kireçtaşı aynı zamanda normal bir fay olan dokanaktan boşalmaktadır. Kaynağın debisi 4.3-20.5 l/s arasında değişmektedir. Kaynak, Göllü Yaylası'nın su gereksiniminin karşılanmasında ve civardaki tarlaların sulanmasında kullanılmaktadır. Çağlayan kaynağı, Tecer kireçtaşı ile Kızılkaya Tepe üyesi dokanaktan boşalmaktadır ve debisi Temmuz 2000'de 42 l/s olarak ölçülmüştür. Çağlayan kaynağı Ulaş belediyesi'nin ve Tecer köyü'nün

su gereksiniminin karşılanmasında kullanılmaktadır. Diğer kaynakların debileri 0.5-5 l/s arasında değişmekte ve Tecer kireçtaşı ile diğer birimlerin kantağından boşalmaktadırlar (bkz. Çizelge 2).

## SU KİMYASI

İnceleme alanında bulunan kaynak sularının sertlikleri 10-20 Fransız Sertlik Derecesi (°F) arasındadır (Çizelge 4). Kaynak sularının üçgen diyagramı (Piper, 1944) incelendiğinde, çoğunlukla kalsiyum bikarbonatlı tipte sular olduğu görülmektedir (Şekil 7). Sadece Çağlayan kaynağı (TK-1) karışık tip su sınıfındadır. Kaynaklar sulama suyu açısından ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı'na göre genellikle "düşük sodyumlu-orta tuzlu" sular olup, C<sub>2</sub>-S<sub>1</sub> sınıfında yer almaktadır (Şekil 8). C<sub>2</sub>-S<sub>1</sub> sınıfında yer alan sular tuzluluk kontrolüne gerek kalmaksızın, tuza orta derecede dayanıklı bütün bitkilerde kullanılabilir ve sodyum tehlikesi yoktur (Erözel, 1986).

Çalışma alanındaki kaynakların Fe, Mn ve Cr ağır metal içerikleri analiz edilmiş ve Fe miktarı Çizelge 4'te verilmiştir. Mn ve Cr miktarları ise ölçüm eşliğinin altında kalmıştır. Kaynak suları-



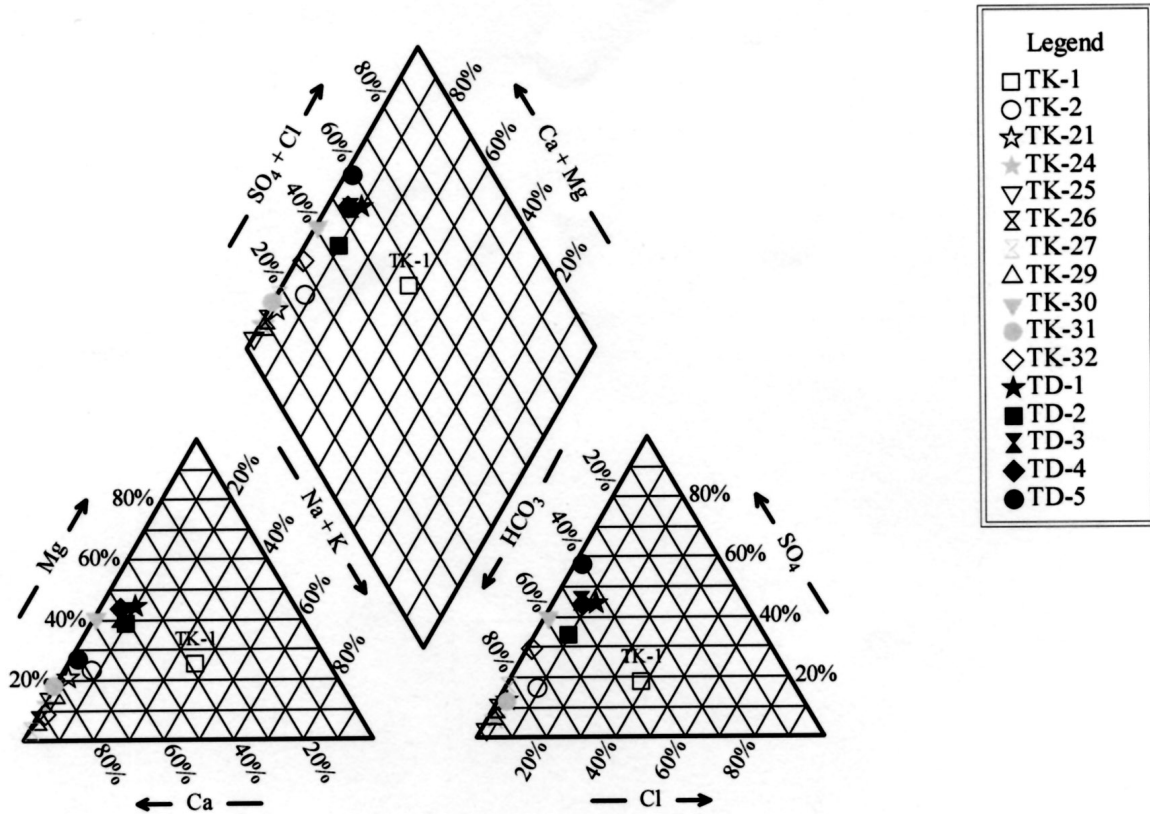
Şekil 6. Bazı kaynakların yerlerini gösteren jeoloji kesitleri.

Figure 6. Geological sections showing the locations of some springs.

Çizelge 4. Kaynak suları ve akarsuların kimyasal analiz sonuçları.

Table 4. Results of chemical analysis of the spring and river waters.

Örnek No	Örnek adı	Alındığı tarih	pH	Öz. EC µS/cm	Katyonlar (meq/l)				Anyonlar (meq/l)				SAR	Sulama sınıfı	Sertlik (°F)	Fe (mg/l)
					Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>				
TD-1	Tecer Deresi 1	03.07.2000	8.2	815	0.88	0.02	4.0	4.0	0.2	2.8	0.88	3.16	0.44	C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	40	0.25
TD-2	Tecer Deresi 2	03.07.2000	8.15	630	0.67	0.01	3.4	2.6	0.3	2.9	0.56	1.97	0.39	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	30	0.21
TD-3	Tecer Deresi 3	05.07.2000	8.02	875	0.68	0.02	5.0	4.0	0.0	4.0	0.72	3.94	0.32	C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	45	<0.04
TD-4	Tecer Deresi 4	07.07.2000	8.10	886	0.56	0.02	4.5	4.0	0.2	3.5	0.72	3.50	0.27	C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	43	<0.04
TD-5	Tecer Deresi 5	10.07.2000	8.19	865	0.20	0.02	6.5	2.5	0.0	3.6	0.20	5.20	0.09	C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	45	<0.04
TK-1	Çağlayan Kaynağı	03.07.2000	8.00	585	2.13	0.01	2.2	1.5	0.0	2.4	2.12	1.04	1.57	C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	19	0.25
TK-2	Beşgözeler Kaynağı	03.07.2000	7.85	300	0.23	0.01	2.0	0.7	0.0	2.0	0.26	0.45	0.20	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	14	<0.04
"	"	31.07.2000	7.4	304	0.2	0.005	1.5	0.9	0.0	1.9	0.26	0.39	0.18	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	12	<0.04
"	"	28.09.2000	8.02	305	0.27	0.005	1.1	1.2	0.0	1.8	0.27	0.38	0.25	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	12	0.13
"	"	13.11.2000	7.87	317	0.24	0.005	1.6	0.9	0.0	2.0	0.29	0.06	0.21	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	13	
TK-21	Tatlı Pınar	11.07.2000	7.29	254	0.06	0.00	1.8	0.5	0.0	1.8	0.06	0.26	0.06	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	12	<0.04
TK-24	Deliabu Kaynağı	11.07.2000	7.92	395	0.03	0.00	2.8	0.4	0.0	2.6	0.06	0.19	0.02	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	16	<0.04
TK-25	Bentbaşı Kaynağı	12.07.2000	7.66	268	0.02	0.00	2.4	0.4	0.0	2.4	0.04	0.07	0.02	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	14	<0.04
"	"	03.08.2000	7.2	298	0.01	0.003	2.3	0.8	0.0	2.2	0.04	0.06	0.01	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	16	<0.04
"	"	28.09.2000	8.30	280	0.02	0.003	2.0	0.1	0.0	1.8	0.05	0.04	0.02	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	11	<0.04
"	"	13.11.2000	7.90	296	0.02	0.002	2.2	0.1	0.0	2.2	0.03	0.08	0.02	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	12	
TK-26	Karapınar Kaynağı	12.07.2000	7.87	288	0.03	0.01	2.6	0.2	0.0	2.3	0.04	0.25	0.03	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	14	<0.04
"	"	03.08.2000	7.15	287	0.01	0.003	2.4	0.1	0.0	2.2	0.06	0.18	0.01	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	13	<0.04
"	"	28.09.2000	7.9	310	0.01	0.004	2.4	0.2	0.0	2.2	0.03	0.17	0.01	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	13	<0.04
"	"	13.11.2000	7.78	315	0.04	0.003	2.4	0.2	0.0	2.3	0.06	0.16	0.04	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	13	
TK-27	Göllü Kaynağı	12.07.2000	8.10	313	0.03	0.00	2.8	0.1	0.0	2.4	0.04	0.50	0.02	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	15	<0.04
"	"	03.08.2000	8.11	368	0.02	0.002	2.2	0.3	0.0	1.9	0.04	0.50	0.02	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	13	<0.04
"	"	28.09.2000	7.75	375	0.03	0.003	2.2	0.4	0.0	2.0	0.02	0.50	0.03	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	13	<0.04
TK-29	Yukarı Pınar	13.07.2000	8.15	268	0.04	0.00	1.7	0.3	0.0	1.8	0.04	0.13	0.04	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	10	<0.04
TK-30	Kızılbaş Kaynağı	13.07.2000	8	425	0.04	0.00	2.3	1.6	0.0	2.3	0.05	1.57	0.03	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	20	<0.04
TK-31	Soğuk Pınar	13.07.2000	8.06	215	0.00	0.00	1.8	0.4	0.0	1.7	0.06	0.25	0.00	C <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	11	<0.04
TK-32	Ezentere Kaynağı	13.07.2000	7.94	380	0.06	0.01	3.0	0.3	0.0	2.3	0.05	1.00	0.05	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	17	<0.04



Şekil 7. Kaynak sularının ve akarsuların üçgen diyagramda sınıflandırılması.  
Figure 7. Classification of spring and river waters in the trilinear diagram.

nin çoğunluğunun EC, pH, Cl, SO<sub>4</sub>, Na, Fe, Mn ve Cr içerikleri açısından Türk İçme Suyu Standartları'na (TS266, 2005) uymaktadır. Sadece Çağlayan kaynağının demir içeriği 0.25 mg/l olup, içme açısından izin verilebilecek maksimum değer olan 0.2 mg/l'yi çok az aşmaktadır. Çalışma alanında yer alan kaynakların beslenme alanları civarında herhangi bir yerleşim alanı, tarım arazisi, maden işletme tesisi, çöp deponi alanı vb. kirlilik kaynakları bulunmamaktadır. Bu nedenle mevcut durumuyla bu kaynaklar herhangi bir kirlenme riski altında bulunmamaktadır.

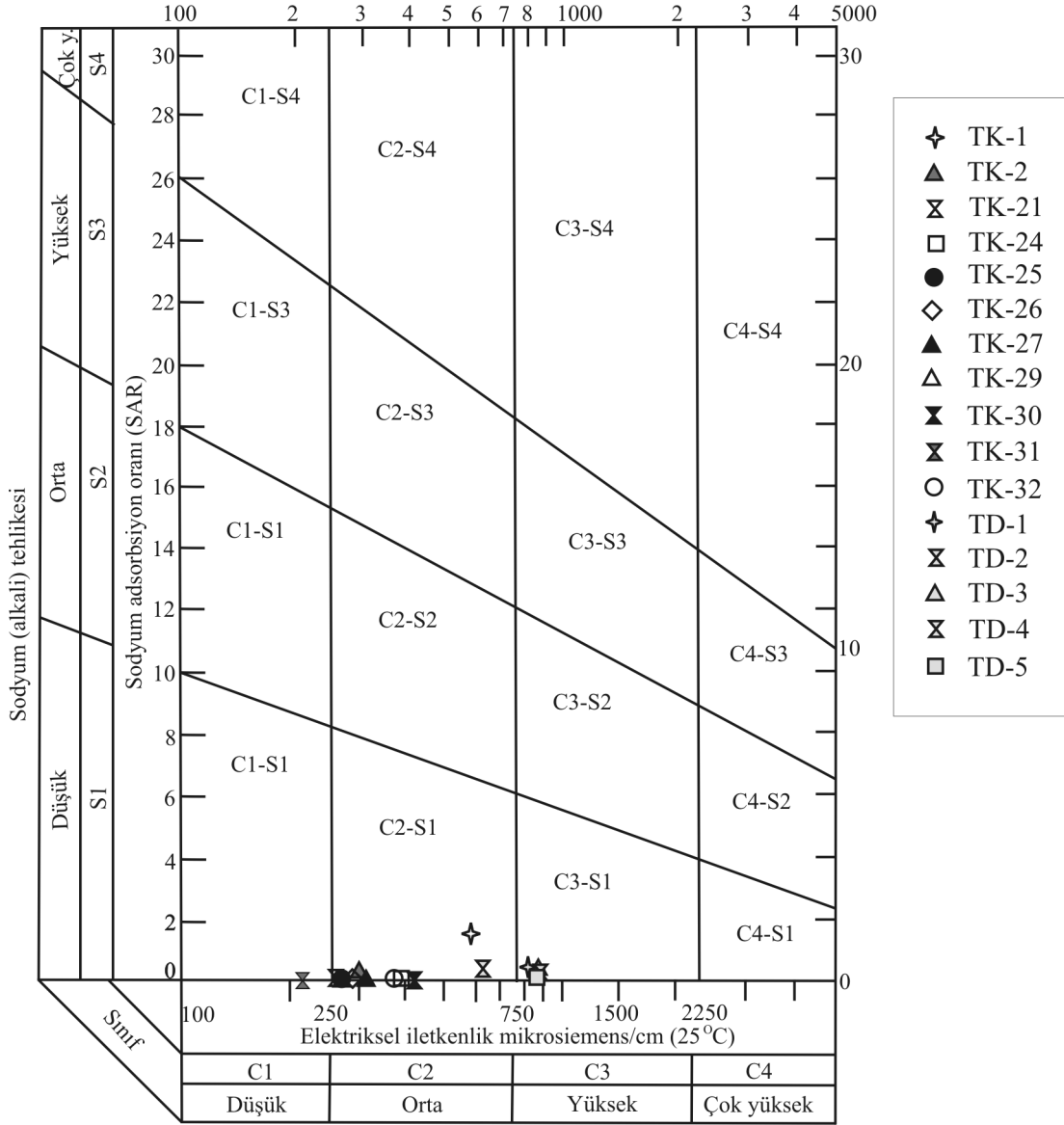
Arazi çalışmaları sırasında 5 akarsu noktasından su örneği alınmıştır. Bu örneklerin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4'te verilmiştir. Akarsuların sertlikleri 30-45 °F arasındadır. Akarsular, üçgen diyagrama (Piper, 1944) göre, kalsiyum, magnezyum bikarbonatlı ve kalsiyum, magnezyum sülfatlı sulardır (Şekil 7). ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı'na göre ise, çoğunlukla C<sub>3</sub>-S<sub>1</sub> yani, "düşük sodyumlu-yüksek tuzlu" sula-

ma suyu sınıfında yer almaktadır (Şekil 8). C<sub>3</sub>-S<sub>1</sub> sınıfında yer alan bu sular tuza dayanıklı bitkilerde tuz kontrolü yapılarak kullanılabilir (Eröz, 1986).

### Doğunluk Analizi

Yeraltısuyu sisteminde oluşan kimyasal tepkimeler hidrokimyasal ortam hakkında yorum yapabileceği sağlanmaktadır. Bu amaçla yeraltı suyunun çeşitli mineraller bakımından doğunluk durumunun araştırılması gerekmektedir. Doğunluk indeksi (SI) suların çözülmüş mineraller açısından denge durumundan sapmalarını sayısal olarak belirtmektedir (Apello ve Postma, 1996; Drever, 1996; Langmuir, 1997).

Çalışma alanındaki kaynakların ve akarsuların çeşitli mineraller açısından doğunluk durumlarını saptamak amacıyla WATEQ (Trusdell and Jones, 1974) programı kullanılmıştır (Çizelge 5). Çizelge 5'ten akarsular aragonit, kalsit ve dolomit açısından aşırı doğun durumda iken, diğer



Şekil 8. Kaynak suları ve akarsuların sulama suyu sınıflaması.

Figure 8. Classification of spring and river waters in the irrigation water diagram.

mineraller açısından doymun durumda değildirler. Kaynaklardan ise; TK-1 kalsit ve dolomit minerallerine aşırı doymun olup, TK-24, TK-26, TK-27, TK-29, TK-30, TK-32 sadece kalsit mineraline aşırı doymundurlar. TK-2, TK-21, TK-25 ve TK-31 ise, hiçbir minerale doymun değildir.

#### UZAKTAN ALGILAMA ÇALIŞMALARI

Çalışma alanındaki karstlaşma ile tektonizmanın ilişkisini saptayabilmek amacıyla hava fotoğ-

rafları ve uydu görüntüleri incelenmiş, bu fotoğraf ve görüntüler yardımıyla çizgisellik haritaları hazırlanmış ve arazi çalışması sırasında ölçülen eklemeler yardımıyla gül diyagramları çizilmiştir (Şekil 9, Şekil 10). Şekil 10'da gösterilen çizgisellik haritası hazırlanırken Landsat TM 7. bandına kuzeybatıdan verilen ışıklandırma yardımıyla bu yöne dik olarak gelişebilecek çizgiselliklerin ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Bu analiz gerçekleştirilirken bölgede insan eliyle yapılmış kültürel eserlerin oluşturduğu çizgisellik-

Çizelge 5. Akarsu ve kaynak sularının doygunluk indeksi değerleri.  
Table 5. Saturation indices of the spring and river waters.

	Anhidrit	Aragonit	Brusit	Kalsit	Dolomit	Epsomit	Jips	Halit	Huntit
TD-1	-1.694	0.636	-3.494	0.781	1.672	-3.896	-1.468	-7.787	-0.897
TD-2	-1.906	0.565	-3.838	0.711	1.401	-4.209	-1.675	-8.088	-1.575
TD-3	-1.533	0.682	-3.782	0.826	1.681	-3.849	-1.312	-7.995	-0.954
TD-4	-1.617	0.599	-4.047	0.748	1.488	-3.817	-1.375	-8.061	-1.403
TD-5	-1.311	0.778	-4.233	0.929	1.455	-3.856	-1.065	-9.063	-1.866
TK-1	-2.302	-0.011	-5.024	0.143	0.066	-4.568	-2.049	-6.977	-4.468
TK-2	-2.615	-0.251	-5.772	-0.095	-0.741	-5.156	-2.359	-8.830	-6.414
TK-21	-2.867	-0.888	-7.008	-0.733	-2.114	-5.511	-2.612	-10.045	-9.257
TK-24	-2.855	0.050	-5.951	0.206	-0.546	-5.780	-2.599	-10.351	-6.432
TK-25	-3.332	-0.292	-6.483	-0.136	-1.170	-6.189	-3.076	-10.699	-7.621
TK-26	-2.751	-0.070	-6.354	0.086	-1.057	-5.944	-2.495	-10.524	-7.725
TK-27	-2.432	0.196	-6.204	0.352	-0.857	-5.957	-2.176	-10.526	-7.657
TK-29	-3.175	-0.062	-5.600	0.094	-0.680	-6.006	-2.918	-10.391	-6.610
TK-30	-2.076	-0.067	-5.327	0.090	-0.114	-4.302	-1.820	-10.311	-4.904
TK-31	-2.867	-0.211	-5.907	-0.053	-0.939	-5.580	-2.610	-11.810	-7.092
TK-32	-2.127	0.024	-6.098	0.181	-0.762	-5.201	-1.871	-10.132	-7.028

ler topoğrafik haritalar yardımıyla kontrol edilerek ayıklanmıştır. Ayrıca bölgeye ait 1/25.000 ölçekli topoğrafik haritalar sayısallaştırılarak inceleme alanının sayısal arazi modeli (bkz. Şekil 10) oluşturulmuştur. Bu model yardımıyla Landsat TM uydusunun 7. bandının sayısal arazi modeliyle desteklenmiş üç boyutlu görüntüsü elde edilmiştir (Şekil 11). Bu görüntü üzerinde karstik yapılar ve büyük debili kaynak çıkış noktaları kendini açıkça göstermektedir. Ayrıca uydu görüntülerindeki çizgisellikler yardımıyla gül diyagramı hazırlanmıştır (bkz. Şekil 10). Bu gül diyagramı ve arazi çalışmaları sırasında ölçülen eklemelerin gül diyagramlarına bakıldığında her ikisinde de genellikle egemen yönlerinin KD-GB doğrultusunda olduğu görülmektedir. Arazi çalışmaları ve hazırlanan çizgisellik haritaları yardımıyla, bölgede karstlaşmanın çoğunlukla faylar boyunca ve fayların ana doğrultuları olan ve aynı zamanda eklem sistemlerinin egemen doğrultularından biri olan KD-GB uzanımına paralel olarak geliştiği saptanmıştır (bkz. Şekil 9, Şekil 10). Faylar bazen geçirimli ve geçirimsiz birimleri karşı karşıya getirdiğinden geçirimsiz bariyer ile karstik birimlerin sınırlarında büyük karst kaynakları oluşturmaktadır (bkz. Şekil 9). Tecer Kireçtaşındaki karstik çöküntü alanları, çoğunlukla

batı ve kuzeybatı kesimde yer almaktadır. Çalışma alanında gözlenmiş olan karst yüzey şekillerinin en gelişmiş olanları, genellikle çözünme olukları (karenler), çözünme ve çökme yapıları (dolinler) ve daha seyrek olarak mağaralardır.

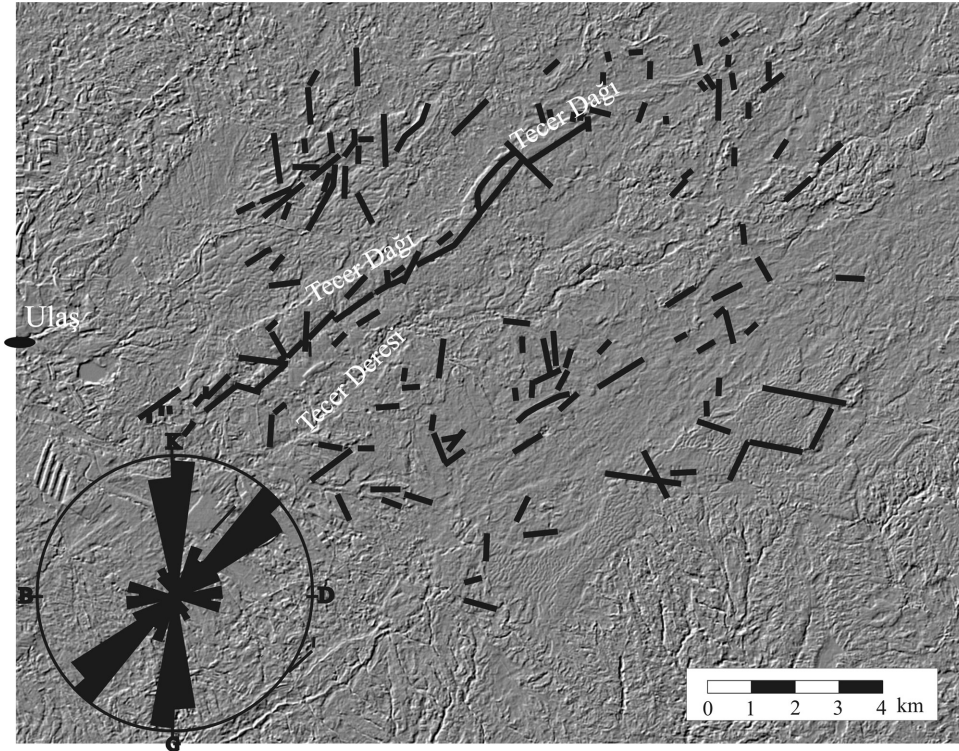
## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tecer Dağı ve çevresinin hidrojeoloji incelemesini konu alan bu çalışmada Tecer kireçtaşının kırıklı, çatlaklı ve karstik yapısından dolayı büyük debili kaynak boşalılarının olduğu saptanmıştır. Kaynaklar çoğunlukla kalsiyum bikarbonatlı tipte sular olup, EC değerleri 215–585  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , sertlikleri ise 10-20  $^{\circ}\text{F}$  arasında değişmektedir. Kaynakların beslenme alanları civarında herhangi bir yerleşim alanı, tarım arazisi, maden işletme tesisi, çöp deponi alanı vb. kirlilik kaynakları bulunmamaktadır. Bu nedenle mevcut durumuyla bu kaynaklar herhangi bir kirlenme riski altında bulunmamaktadır. Çağlayan kaynağının Fe miktarındaki hariç bütün kaynaklar EC, pH, Cl,  $\text{SO}_4$ , Na, Fe, Mn ve Cr içerikleri açısından Türk İçme Suyu Standartlarına uymaktadır.

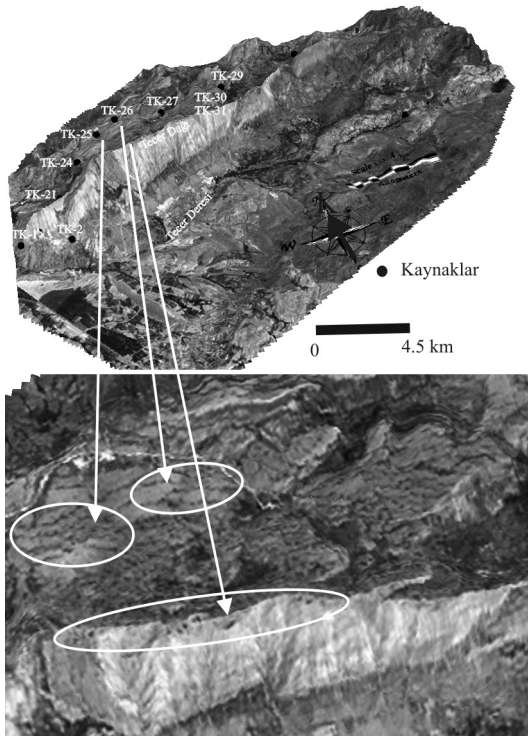
Tecer kireçtaşındaki karstik yapıların çoğunluğu bölgedeki kırık hatları, faylar civarında ve genel-







Şekil 10. İnceleme alanı ve çevresinin uydu görüntüsü yardımıyla çizilen kırık izi haritası.  
Figure 10. Fracture trace map of the area studied based on satellite images.



Şekil 11. Çalışma alanı ve çevresinin sayısal arazi modeli ve Landsat uydu görüntüsü (7.bant).  
Figure 11. Digital elevation model and satellite image (band 7) of the study area and its vicinity.

likle bunların doğrultusuna paralel olarak gelişmiştir. Bu kırık ve çatlak sistemlerinin bölgenin etkisinde kaldığı egemen sıkıştırma yönü olan KKB–GGD doğrultusuyla uyumlu olarak gelişmiştir. Çalışma alanındaki büyük debili karst kaynakları fay zonları üzerinde bulunmaktadır.

Cumhuriyet Üniversitesi'nin su gereksinimi Kızılırmak boyunca uzanan alüvyon akiferde ve kampüsün güney kesimindeki dere ağızlarında bulunan alüvyon yelpazesinde açılmış olan sondaj kuyularından sağlanmaktadır. Bu kuyulardan sağlanan sular oldukça düşük kalitede olup içme amaçlı olarak kullanılamamakta, laboratuvarlarda faydalanılamamakta ve laboratuvarlardaki cihazlarda hasarlara yol açmaktadır. Beşgözer kaynağı suyunun bir kısmı Ulaş, yakın civardaki köyler ve Sivas Demir Çelik İşletmesine içme ve kullanma suyu olarak verilmekte, bir kısmı da alabalık üretiminde kullanılmakta ve buradan Tecer Deresi'ne verilmektedir. Kaynak suyunun kullanımdan artan kısmından Cumhuriyet Üniversitesi'ne su sağlama amacıyla yararlanılabilir. Bunun için, kaynak suyunun çeşitli kullanıcılar arasında bölüşümü ile ilgili yeni hu-

kuki düzenlemeye gerek vardır. Ayrıca karstik ve kırık-çatlaklı akiferlerden boşalan kaynakların boşalım noktalarında veya yakınlarında taş, maden işletme vb. nedenlerle patlatmalar yapılması, yeni kırık-çatlakların ve yeraltısu akım yollarının oluşmasına ve kaynak boşalımının (debinin) azalmasına neden olabileceğinden dolayı Beşgözeler kaynağı'nın doğusundaki taş ocaklarının kapatılması kaynağın korunması açısından önerilmektedir.

## KAYNAKLAR

- Appello, C.A.J., and Postma, D., 1996. Geochemistry, Groundwater and Pollution. Balkema, Rotterdam.
- Drever, J.I., 1996. The Geochemistry of Natural Waters (3rd ed.). Prentice Hall, New Jersey.
- Ekemen, T., 2001. Tecer Dağı (Sivas-Ulaş) kaynaklarının hidrojeoloji incelemesi. Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas (yayımlanmamış).
- Erözel, Z., 1986. Sulamada su kalitesi ve tuzluluk sorunları. Kültürteknîğe Giriş, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayını No. 996, 96-110.
- Gökten, E., 1993. Ulaş (Sivas) doğusunda Sivas havzası güney kenarının jeolojisi: İç Toros Okyanusu' nun kapanmasıyla ilgili tektonik gelişim. TPJD Bülteni, 5(1), 35-55.
- Gürsoy, H., 1986. Örenlice-Eskiköy (Sivas) yöresinin stratigrafik ve tektonik özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas (yayımlanmamış).
- İnan, N., 1987. Tecer Dağının (Sivas) jeolojik özellikleri ve foraminiferlerinin sistematik incelemesi. Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas (yayımlanmamış).
- İnan, S., Öztürk, A. ve Gürsoy, H., 1993. Ulaş-Sincan (Sivas) yöresinin stratigrafisi. TÜBİTAK Doğa Dergisi, 2, 1-15.
- Kaçaroğlu, F. ve Değirmenci, M., 2001. Sivas-Ulaş Beşgözeler kaynağı debi ölçüm raporu. Cumhuriyet Üniversitesi Raporu, Sivas (yayımlanmamış).
- Kaçaroğlu, F., Söylem, B. ve Polat, S., 2004. Tecer Dağı Taş Ocaklarının Beşgözeler kaynağı suyuna etkileri hakkında rapor. Cumhuriyet Üniversitesi -DSİ-MTA Raporu, Sivas (yayımlanmamış).
- Kaçaroğlu, F. ve Değirmenci, M., Sül, Ö.L., Yücel, A. ve Başeski, H., 2005a. Cumhuriyet Üniversitesi Kampüsüne su sağlama alternatifleri. Cumhuriyet Üniversitesi Raporu, Sivas (yayımlanmamış).
- Kaçaroğlu, F., Değirmenci, M., Eleroğlu, H., Gürleyük, Ö., Yücel, A., Başeski, H., Gökcalp, K. ve Öksüz, H., 2005b. Cumhuriyet Üniversitesi Kampüsüne Tecer Dağı Beşgözeler kaynağından (Sivas-Ulaş) su sağlama olanaklarının incelemesi. Cumhuriyet Üniversitesi Raporu, Sivas (yayımlanmamış).
- Langmuir, D., 1997. Aqueous Environmental Geochemistry. Prentice-Hall Publication, USA.
- Milanovic, P.T., 1981. Karst Hydrogeology. Water Resources Publication. Littleton Colorado, USA.
- Piper, A.M., 1944. A graphical procedure in the geochemical interpretation of water analyses. American Geophysical Union Transactions, 25, 914-923.
- Trusdell, A.H., and Jones, B.F., 1974. WATEQ, a computer program for calculating chemical equilibria of natural waters. U.S. Geological Survey Journal, 2, 233-248.
- TS266, 2005. İçme suları. Türk Standartları Enstitüsü, TS 266, Ankara.