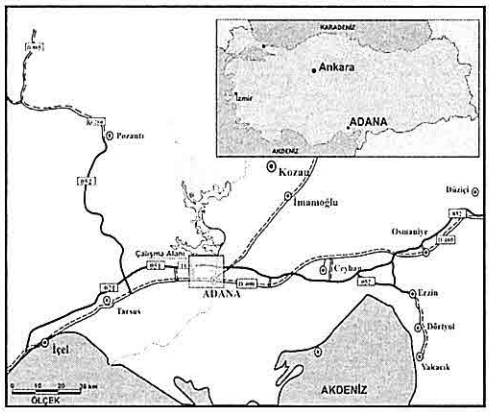
yakın çevresi topoğrafik açıdan dağlık ve ovalık alan olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Genel olarak bölgede dağlık ve ovalık araziler bir arada bulunmaktadır. Dağlık araziler doğudan başlayıp kuzeye doğru uzanmaktadır. Şehir merkezini oluşturan Seyhan ve Yüreğir ilçeleri Adana ilinin ovalık kısmında yer alır ve geniş bir alan kaplarlar. Çalışma alanı, esas olarak Adana ili yerleşim alanı olup, yakın çevre olarak nitelendirilen ve halen yeni yapılaşmanın yaygın olarak devam ettiği Kuzey Adana bölgesi de çalışma kapsamında ele alınmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. İnceleme alanı yer bulduru haritası.

2.1. İnceleme Alanının Genel Jeolojisi

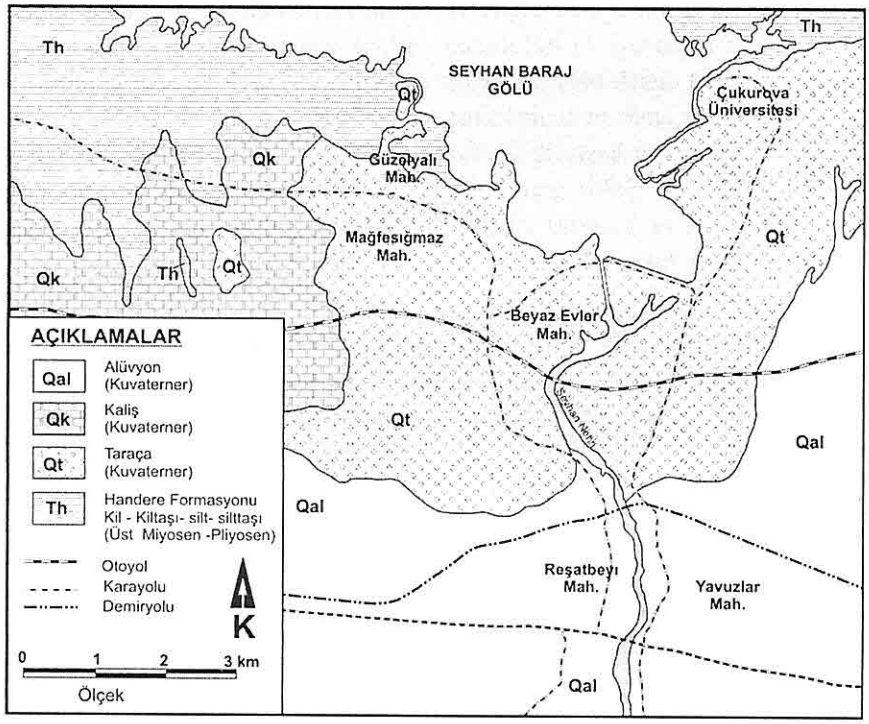
Çalışma alanının da içerisinde bulunduğu geniş bir bölgenin jeolojisi çeşitli araştırmacılar tarafından detaylı olarak çalışılmıştır (Schmidt, 1961; Yetiş ve Demirkol, 1986). İnceleme alanında yer alan en yaşlı birim Üst Miyosen – Pliyosen yaşlı Handere Formasyonu'dur (Şekil 2). Birden fazla litolojik birim içeren Handere Formasyonu'nun inceleme alanı içerisinde baskın olarak yüksek ve düşük plastisiteli kil grubundaki ince taneli malzemelerden oluştukları tespit edilmiştir.

Handere Formasyonu'nun üzerine Kuvaterner yaşlı taraça ve kaliş birimleri gelmektedir. Taraça çökelleri Seyhan Nehrinin depoladığı malzemelerle temsil edilen farklı tane boyuna sahip birimlerden oluşmaktadır. Taraça çökellerinin çoğu iri çakıl ve blok boyutunda malzemelerden oluşmaktadır. Kaliş ise alt seviyelerde yumuşak, üst seviyelerde ise sert olmak üzere iki ayrı litolojide yayılım sunmaktadır.

Tüm bu birimleri ise genç alüvyon çökelleri üstlemektedir. Genel olarak, alüvyon çökellerinin çoğu kil ve silt boyutunda ince taneli malzemelerden oluşmaktadır. Bununla birlikte ince taneli malzemelerle beraber yayılım sunan ve ara seviyeler halinde yer alan kumlu ve çakıllı birimlere de rastlanmaktadır.

3. YERLEŞİM ALANI ZEMİNLERİNİN DİNAMİK DAVRANIŞ ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Bu bölümde, çalışma kapsamında yapılmış olan arazi deney sonuçları ele alınarak yerleşim alanındaki zeminlerinin dinamik özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, zeminlerin kayma dalgası hızları, zemin büyütmeleri, pik zemin ivmeleri ve zemin hakim titreşim periyotları bulunup yerleşim alanı içindeki değişimleri bölgelendirme haritaları yapılarak ortaya konulmuştur.



Şekil 2. İnceleme alanının genel jeoloji haritası (Çobanoğlu, 2005).

3.1. Zeminlerin Kayma Dalgası Hızı

Zemin tabakalarının kayma dalgası hızı (Vs), dinamik davranış özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan önemli bir parametredir. Zeminin dinamik davranış özelliklerinin belirlenmesinde, zemin hakim titreşim periyodunun bulunmasında, sıvılaşma potansiyellerinin incelenmesinde ve mikro-bölgeleme çalışmalarında genel olarak kayma dalgası hızı kullanılmaktadır.

Uygulamalarda kayma dalgası hızlarına göre yapılmış birçok sınıflama bulunmaktadır. Bu konudaki esas problem, kayma dalgası hızının belirlenmesi yönteminde olmaktadır. Mikrotremor türü çalışmaların özel ekipman gerektirmesi, sismik yöntemlerin ise arazi çalışmalarında uygun uzunlukta alanlara ihtiyaç duyması gibi nedenlerle kayma dalgası hızları doğrudan arazi deneyleri ile belirlenemeyebilmektedir. Aşağı kuyu, karşıt kuyu, PS logging gibi yerinde ölçüm deneyleri ile kayma dalgası hızı değerleri hassas bir şekilde belirlenebilmektedir. Bu tür arazi deneylerinin yapılamadığı durumlarda, SPT ve CPT gibi arazi penetrasyon deneyleri kullanılarak kayma dalgası hızlarının tahmin edilmesi yoluna gidilebilmektedir. Ancak Kayma dalgası hızı haritaları, bir bölgenin sismik ve jeoteknik koşullarının değerlendirilmesinde sıklıkla kullanılan haritalardır. Bu parametre, doğrudan

jeofizik ölçümlerle elde edilebildiği gibi ampirik olarak ortaya konmuş ve standart penetrasyon testi (SPT) darbe sayılarına bağlı olarak hesaplanan ampirik bağıntılarla da bulunabilmektedir. Bu çalışmada, veri sayısının çokluğu nedeni ile sondajlı etüt çalışmalarından elde edilen SPT darbe sayıları kullanılarak belirlenmiş kayma dalgası hızları kullanılmıştır.

Sismik arazi deneylerinin yapılamadığı ya da bu çalışmada olduğu gibi kısıtlı miktarda yapılabildiği durumlarda, özellikle SPT gibi diğer başka arazi deneylerinin olması halinde zemin kayma dalgası hızlarının belirlenmesi, literatürde mevcut çeşitli bağıntıların kullanılması ile hesaplanabilmektedir. Bu amaçla, çeşitli araştırmacılar tarafından sismik deney sonuçları kullanılarak kayma dalgası hızı ile başta SPT-N darbe sayıları olmak üzere farklı parametrelerle ilişkiler değerlendirilip ampirik bağıntılar geliştirilmiştir. Çizelge 1, farklı araştırmacılar tarafından kayma dalgası hızının belirlenmesi amacıyla ortaya konmuş bağıntıları bir arada göstermektedir.

Çizelge 1. SPT verilerine dayanarak kayma dalgası hızının belirlenmesinde kullanılan ilişkiler.

No	Araştırmacı	Veri Türü	Zemin Tipi	V_S (m/sn)
1	Imai ve Yoshimura (1970)	-	-	$V_S = 76*N^{0.33}$
2	Imai and Tonouchi (1982)	Japonya'da 1654 veri grubu	Tüm zeminler	$V_S = 96.9*N^{0.314}$
3	Seed, Idriss and Arrango* (1983)	bilinmiyor	Kumlar	$V_S = 56.4*N^{0.5}$
4	Sykora and Stokoe *(1983)	229 adet çapraz kuyu verisi	Çakıllar	$V_S = 106.7*N^{0.27}$
5	Liquefac*	bilinmiyor	Tüm zeminler	$V_S = 243.8*\sigma^{0.4}$
6	Liquefac*	bilinmiyor	Tüm zeminler	$V_S = 152.4*\sigma^{0.3}$
7	Ohba ve Trauma (1970)	Rayleigh dalga hızı	Alüvyon zeminler	$V_S = 84*N^{0.31}$
8	Ohta ve Goto (1978)**	300 adet SPT ve VS verisi	Tüm zeminler	$V_S = 69*N^{0.17}*D^{0.2}*E*F$
9	İyisan (1996)	65 adet sismik ve SPT verisi	Tüm zeminler	$V_S = 51.5*N^{0.516}$
10	İyisan (1996)	65 adet sismik ve SPT verisi	Tüm zeminler	$V_S = 115.8*\sigma_v^{0.367}$
11	İyisan (1996)	18 adet sismik ve SPT verisi	Kil zeminler (σ_v , t/m^2)	$V_S = 47.3*N0.324*\sigma_v^{0.270}$
12	Imai ve Yoshimura (1976)	Sismik ve lab. verileri	Kil zeminler (σ_v , t/m^2)	$V_S = 138.3*q_u^{0.417}$
13	Ercan (2001)	Sismik ve SPT verileri	$15 < N30 \leq 25$ olan killi zeminler	$V_S = 100*N^{0.333}$
14	Ercan (2001)	Sismik ve SPT verileri	$15 < N30 \leq 50$ olan kumlu zeminler	$V_S = 80*N^{0.333}$
15	Fujiwa (1972)*	Sismik ve SPT verileri	-	$V_S = 92.1*N^{0.33}$
16	Imai ve Yoshimura (1982)*	Sismik ve SPT verileri	Kumlu zeminler	$V_S = 325*N^{0.68}$ (kips/ft^2)
17	Fumal (1985)	Sismik ve SPT verileri	-	$V_S = 152+5.1*N$
18	Kayabalı (1995)	Sismik ve SPT verileri	-	$V_S = 175+3.75$ N60

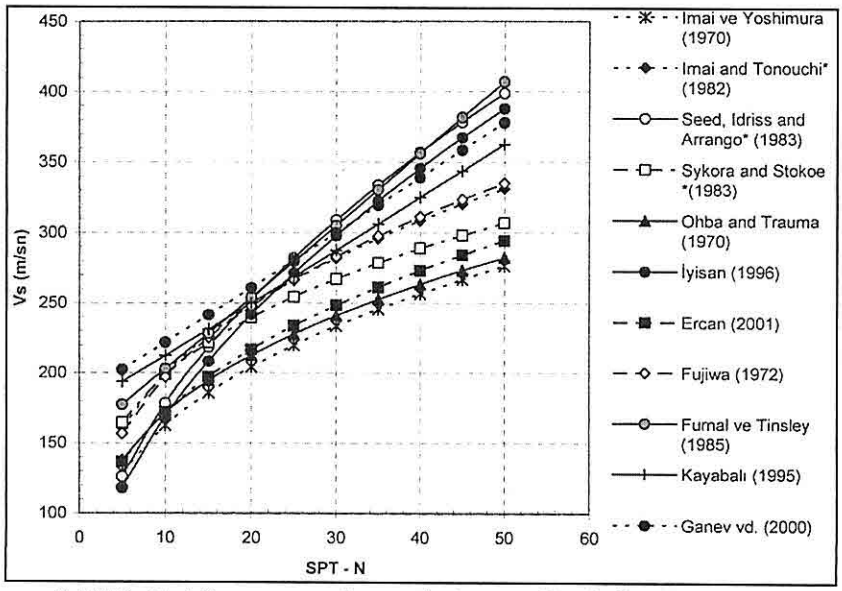
19	Ganev vd. (2000)	Sismik ve SPT verileri	-	Vs = 182.9+3.9*N
20	Imai ve Tonouchi (1982)	Sismik ve SPT verileri	SM ve SP türü	VS = 87.8*N0.292
21	Andrus ve Stokoe (2000)	Sismik ve SPT verileri	Holosen yaşlı kumlu zeminler	Vs= 66.7*N0.248*D0.138 ince tane < % 10
		D = derinlik (m)		VS = 72.3*N0.228*D0.152 ince tane % 10 – 35
				VS = 72.9*N0.224*D0.130 ince tane % 0 – 40
* Wei vd. (1996) kaynağından alınmışlardır.				

(8) sıra numaralı bağıntıda yer alan D, E ve F katsayıları çökellerin yaşına ve tane boyuna bağlı olarak alınan sayılar olup aşağıda verilen sayısal değerleri içerirler;

** Pleyistosen Holosen
E 1.3 1.0
F 1.07 (orta kum)
1.14 (kaba kum) 1.0 (kil)
1.09 (ince kum)
F 1.15 (kum – çakıl); 1.45 (çakıl)

Diğer tüm bağıntılarda D, metre cinsinden derinlik değerini ve N, 30 cm ilerleme için elde edilmiş SPT darbe sayısını ifade etmektedir. Literatür incelemeleri ile bir araya getirilmiş olan bu ampirik bağıntıların aynı anda yorumlanabilmesi ve bu çalışma için uygun bağıntının seçilebilmesi amacıyla bağıntılar Şekil 3'de gösterildiği gibi grafiksel hale getirilmiştir.

Şekil 3'de görülen ilişkiler



Şekil 3. Çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen bağıntılar kullanılarak oluşturulmuş SPT-N – V_S ilişkisi.

incelendiğinde 10 – 25 aralığındaki SPT-N değerlerinden sonraki değerler için kayma dalgası hızlarının değişim aralıklarının genişlediği dikkati çekmektedir (Çizelge 2).

Çizelge 2. İncelenen ampirik bağıntılarla hesaplanmış kayma dalgası hızı değer aralıkları ve darbe sayılarına göre değer aralıkları.

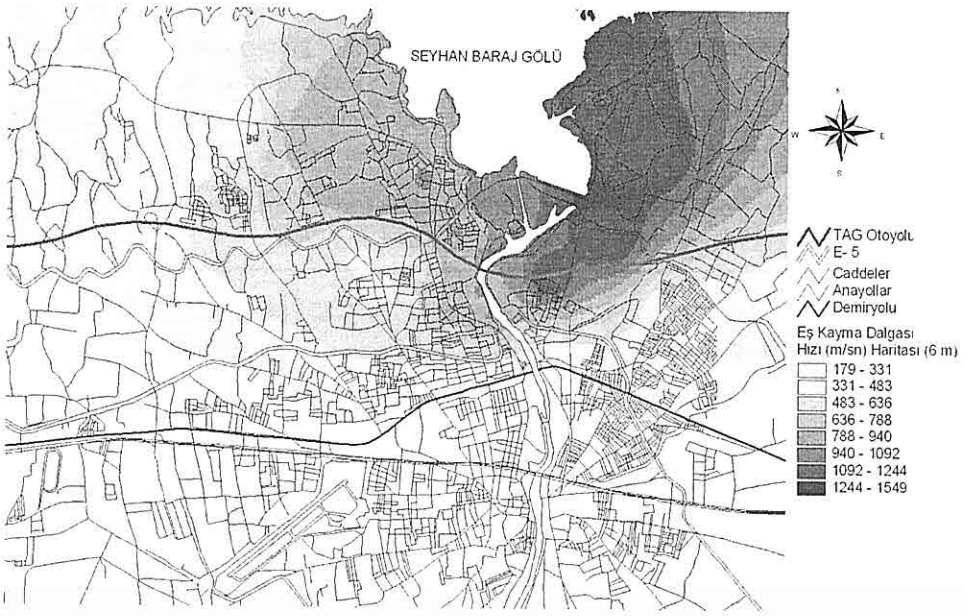
SPT-N	Hesaplanan V_S değer aralığı	Değer aralığı farkı	SPT-N	Hesaplanan Vs değer aralığı	Değer aralığı farkı
5	118 – 202	84	30	234 - 309	75
10	162 – 222	60	35	246 - 334	88
15	186 – 241	55	40	257 - 356	99
20	204 - 261	57	45	267 - 382	115
25	220 - 280	60	50	276 - 407	131

İncelenen ampirik bağıntılardan elde edilen ortalama bir değer olduğu için bu çalışmada Imai ve Tonouchi (1982) bağıntısı kullanılmıştır. Değerlendirmelerde bu çalışma kapsamında yapılan 17 adet zemin sondajı verileri ile birlikte toplam 129 adet sondaj verisi kullanılmıştır. Imai ve Tonouchi (1982) bağıntısı kullanılarak her SPT darbe sayısı verisine ait seviye için kayma dalgası hızları belirlenmiş ve Arcview 3.3 Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) programı kullanılarak oluşturulmuş CBS veri bankasında depolanmıştır. Depolanan veriler, Spatial Analyst 2.0a bilgisayar programı yardımıyla tematik eş kayma dalgası hızı haritası haline getirilmiştir. Sonuçta, 3 m, 4.5 m, 6 m ve 7.5 m derinlikler için eş kayma dalgası hızı haritası ortaya konulmuştur. Şekil 4'de sunulan harita, 6 m derinlik için elde edilmiş SPT darbe sayılarından yola çıkılarak bulunmuş kayma dalgası hızlarına göre oluşturulmuştur. Haritadan alüvyon birimlerinin 179 – 331 m/sn değerleri arasında değişen en düşük kayma dalgası hızlarını verdikleri, tersine Seyhan Baraj Gölü doğu kıyısında yer alan taraça birimlerinin 1244 ile 1549 m/sn arasında değişen en yüksek kayma dalgası hızlarını verdiği görülmektedir.

Kayma dalgası hızına bağlı olarak yapılmış zemin sınıfı tanımlamalarının bir kısmı kayma dalgası hızının ≥ 700 m/sn olan tabakanın sismik ana kayanın başlangıcı olduğunu bildirmektedir (İyisan vd., 2002). Aynı kaynak ülkemizde yürürlükte olan yeni deprem yönetmeliğinde zemin grubu tanımlamasında kayma dalgası hızının > 1000 m/sn olması durumunda birimin sağlam kayaç olarak tanımlandığını belirtmiştir.

3.2. Zemin Büyütme Özellikleri

Kuvvetli yer hareketi şiddetinin, deprem magnitüdü, deprem odak noktasına uzaklık, yerel jeolojik ve topoğrafik koşullardan etkilendiği



Şekil 4. İnceleme alanının kayma dalgası hızına bağlı olarak yapılmış bölgelendirme haritası.

bilinmektedir. Aynı şekilde zemin büyütmesi de zemin tipi ve tabaka kalınlığı ile ilişkili olmaktadır. Zemin türü, sıkılığı, yeraltı suyu varlığı, bozuşma ve alterasyonun varlığı ve derecesi gibi faktörler de zemin büyütmesinde etkili olmaktadır.

Deprem kuvvetleri yerel zemin koşullarına bağlı olarak farklı büyüklükte dağılım gösterirler. Bazı zeminler depremin hasar etkisini artırırken, bazı zeminler tersine hasar etkisini diğer bölgelere göre azaltırlar. Bir bölgedeki yerel zemin koşullarının deprem kuvvetlerini büyültmesi olayı kısaca "zemin büyütmesi" olarak bilinir. Bir bölgenin deprem özelliklerine göre bölgeleme çalışmalarında zemin büyütmesine göre bölgeleme yapılması kent yerleşimi açısından da önemli olmaktadır.

Alüvyon türü gevşek ve yumuşak zemin çökellerinde zemin büyütmesi dolayısıyla daha fazla hasarların oluştuğu ülkemizde yaşanan depremlerde de görülmüştür. Mexico City ve Loma Prieta depremlerinden elde edilmiş tecrübeler bu bölgelerde yer alan yumuşak – orta katı killerde zemin büyütmesinin fazla olduğunu ortaya koymuştur. Idriss (1990), bu depremlerden elde ettiği verilerle yumuşak killerde pik zemin ivmesinin 0.4 g ve daha fazla büyütüldüğünü ortaya koymuştur. Araştırmacı, bu tür zemin büyütmeleri için "de-amplifikasyon" terimini kullanmıştır. Bu durumdaki bir zeminde büyük birim deformasyonlar altında lineer olmayan bir deformasyon

davranışı gerçekleşmektedir.

Zemin büyütmesinin belirlenmesinde zemine ait özelliklerle birlikte katman kalınlığının rol oynadığı da bilinmektedir. Zeminin, özellikle de yumuşak bir zeminin kalınlığının fazlalığı oranında zemin büyütmesi de fazla olmaktadır.

Zemin büyütme analizlerinde doğrudan elde edilecek sismik parametreler kullanılabileceği gibi dolaylı olarak elde edilebilecek büyütme analiz bağıntıları da kullanılabilir. Sismik ölçümlerden elde edilen verilere benzer olarak mikrotremor ölçümleri ile de zemin büyütme analizleri yapılabilmektedir.

Çalışma alanı içerisinde incelenen zemin kesitlerinde yer alan tabaka ya da seviyelere ait kayma dalgası hızlarının belirlenmesinde, yerinde yapılan jeofizik sismik etütlerden doğrudan elde edilen zemin büyütmesi verileri yanında literatürde verilen değişik bağıntıların kullanılması ile de elde edilmiş veriler bir arada kullanılmışlardır. Çizelge 3, farklı araştırmacılar tarafından ortaya konulmuş zemin büyütmesi (Ak) bağıntılarını göstermektedir.

Finn (1991), depremler etkisiyle oluşan yüzey hareketinin öncelikle zeminin üstteki 20 – 30 m'lik kısmından etkilendiğini belirtmiştir. Bu bakımdan bu derinliklerdeki ortalama kayma dalgası hızı, zemin büyütmesinin belirlenmesinde bilinmesi gereken bir parametre olmaktadır.

Bu çalışmada, zemin büyütmesi değerlerinin belirlenmesi amacıyla 1999 depreminden sonra Adapazarı bölgesinin mikro-bölgelendirmesi çalışmasında da kullanılan ve Midorikawa (1987) tarafından önerilen eşitlik kullanılmıştır.

Bu bağıntıda,

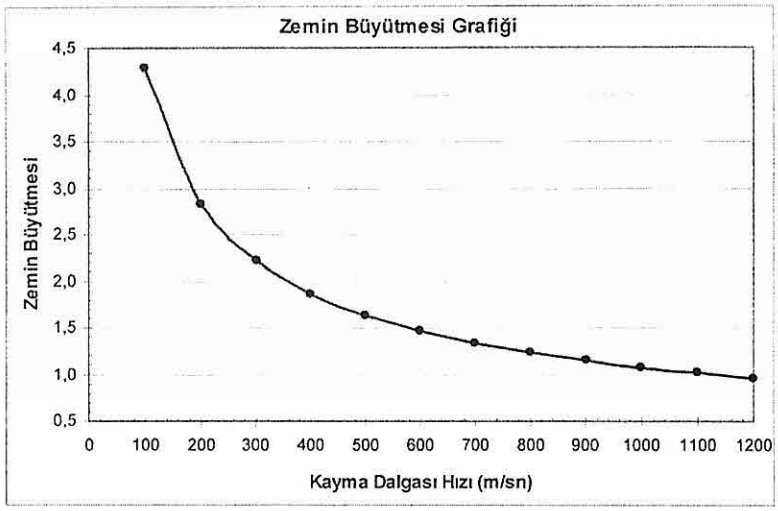
A_k : zemin büyütmesi değeri,

V_s : eş değer kayma dalgası hızı (m/sn)'dır.

Midorikawa (1987) bağıntısı kullanılarak oluşturulmuş zemin büyütmesi değerleri, bu konuda çalışan farklı araştırmacılar için de kolay kullanılabilir olması amacıyla abak haline getirilerek Şekil 5'de sunulmuştur. Şekilde, kayma dalgası hızının ≥ 1100 m/sn değerleri için zemin büyütmesinin oldukça küçüldüğünü, buna karşılık düşük

Çizelge 3. Zemin büyütmesini veren çeşitli ampirik bağıntılar.

No	Araştırmacı	Zemin Büyütmesi, (Ak)	Açıklama
1	Midorikawa (1987)	$Ak = 68 * V_S^{-0.6}$	Vs = kayma dalgası hızı (m/sn)
2	İyisan ve Ansal (1998)	$Ak = 9.3N^{-0.87} * H^{0.968}$	H : tabaka kalınlığı (m), N arazi deneylerinden elde edilen ortalama SPT değeri
3	İyisan vd. (2000)	$Ak = 1.16\, I_c^{-0.40}$	I_c 0.16-0.86 aralığında değişen kıvam indisi değeridir.
4	Borcherdt vd. (1991)	Ak = 701 / Vs	Vs = kayma dalgası hızı (m/sn)



Şekil 5. Midorikawa (1987) bağıntısı kullanılarak üretilmiş zemin büyütmesi grafiği.

kayma dalgası hızlarında 4.3 kata varan zemin büyütmesinin olduğu görülmektedir.

Sonuçta Şekil 6'da görülen ve yerin 6 m altı için geçerli olacak zemin büyütme haritası ortaya konulmuştur. Haritada da görüldüğü gibi inceleme alanı içinde zemin büyütmesi değerleri 0.22 ile 1.80 arasında değişmektedir. Seyhan nehri doğusunda yer alan taraça çökelleri en düşük zemin büyütmesi değerini vermektedir. Onur, Ova, Uçak, Şakirpaşa, Aydınlar ve Yeşiloba mahalleleri ise zemin büyütmesinin en yüksek olduğu alanlar olarak ortaya çıkmaktadır.

3.3. Pik Zemin İvmesi Değerleri

Deprem ivmesi azalım ilişkilerinin bölgesel jeolojik ve tektonik koşullardan etkilenmesi bu konuda farklı ülkelerin kendi bölgeleri için geçerli olacak azalım ilişkilerini üretmelerine neden olmuştur. Bu konuda henüz araştırmaların sürdürüldüğü bilinmektedir. Ülkemiz için kaydedilmiş kuvvetli yer hareketi ivmelerinin kısıtlı sayıda olmaları azalım ilişkileri konusunda diğer ülkeler tarafından ortaya konan ilişkilerin kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir.

Günümüzde yapılan çalışmaların büyük çoğunluğunda özellikle kuzeybatı Amerika için geliştirilmiş azalım ilişkilerinin kullanıldığı görülmektedir. Ülkemiz için de kullanılmakta olan bu ilişkilerden en tanınmış olanı Joyner ve Boore, (1988) tarafından verilmektedir;

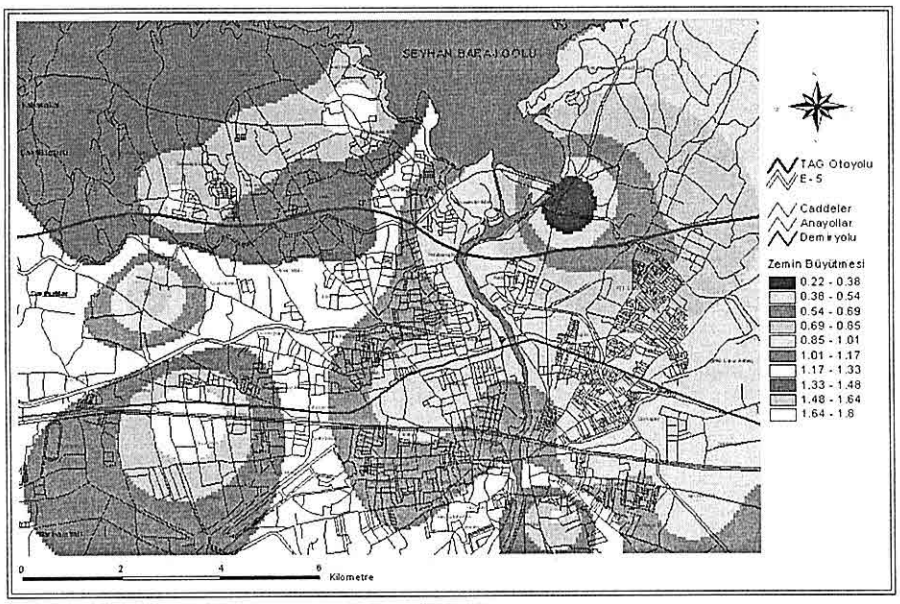
$$\log(a) = 0.43 + 0.23\,(M - 6) - \log r - 0.0027\,r \qquad (1)$$

Bu bağıntıda;

a = pik yatay zemin ivmesi (gal),

M = deprem magnitüdü

r = episantra olan uzaklık (km)



Şekil 6. İnceleme alanı için oluşturulmuş zemin büyütmesi haritası.

değerleridir.

Ercan (2001), Joyner ve Boore (1981) tarafından en büyük ivme değerinin belirlenmesi amacıyla kullanılan bir diğer bağıntının şu şekilde olduğunu bildirmiştir;

$$\log(a) = -1.02 + 0.249\,M - \log r - 0.00255\,r + 0.26\,P \quad (2)$$

Bu bağıntıdaki P değeri % 84 güvenlik derecesi için 1 ve % 50 güvenlik derecesi için 0 olarak alınmaktadır. Bu bağıntıdaki r değeri için aşağıdaki eşitliğin kullanılması önerilmiştir;

$$r = (L^2+53.5)^{0.5}$$

Burada,

L = episantıra olan dik uzaklık değeridir (km).

Borcherdt vd. (1995) pik zemin ivmesinin yüzey kırığından uzaklığa bağlı olarak hesaplanmasında kullanılan bir bağıntı önermiştir;

$$a = 0.5561.495 * \log_{10} d + 1.816.\log 10\sqrt{d^2 + 5.48^2} \quad (3)$$

Bu bağıntıda, d yüzey kırığından uzaklığı (km) ifade etmektedir.

Neumann (1954) tarafından önerilmiş bir diğer azalım ilişkisi ise şu şekilde ifade edilmektedir;

$$\log(a) = 0.43 * I - 0.041 \quad (4)$$

Bu bağıntıda;

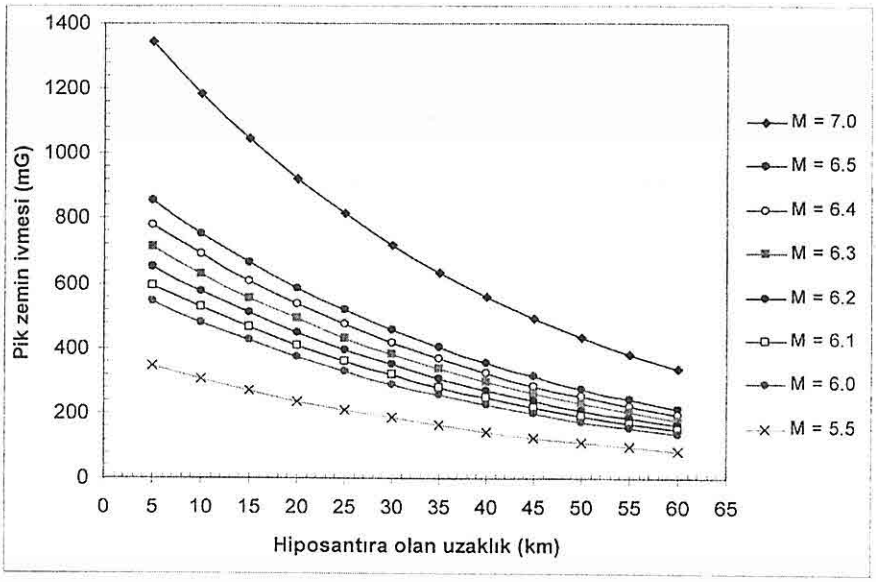
a = pik zemin ivmesi (gal) ve I = sismik şiddet

1998 Ceyhan depreminde Ceyhan ilçesine 32 km uzaklıkta bulunan ölçüm istasyonu K-G yönündeki ivme değerini 0.223 g, D-B yönündekini 0.273 g ve düşey yöndekini 0.086 g olarak ölçmüştür. Ölçülen deprem ivme değerlerinin uzaklığa bağlı azalım ilişkileri incelendiğinde Aydan vd. (1996)

tarafından ortaya konulan azalım ilişkisinin özellikle Çukurova bölgesi için de geçerli olacağı bildirilmiştir (Ulusay vd, 2000).

Bu yüzden Şekil 7'de Aydan vd, (1996) bağıntısı kullanılarak abak haline getirilen azalım ilişkisi bu çalışmada da benimsenmiştir.

Çalışma alanına ait 1/25.000 ölçekli topoğrafik haritalardaki her grid kutusunun 4 köşesi birer veri noktası olarak kabul edilerek oluşturulan toplam 240 noktanın 1998 Ceyhan depremine sebep olan Misis fayına olan uzaklıkları (km) Landsat 7 ETM+ uydu görüntüsü kullanılarak CBS yardımı ile bulunmuştur



Şekil 7. Aydan vd. (1996) bağıntısı kullanılarak elde edilmiş deprem ivmesi azalım ilişkisi grafiği.

Deprem odak derinliği ölçümlerindeki zorluklar ve hata paylarının yüksek olması hiposantır mesafesine bağlı olarak kullanılan azalım ilişkisi bağıntılarının daha az kullanılmasına neden olabilmektedir.

Yapılan analizlerde, daha önceden rektifiye edilerek sayısal koordinatlarına çevrilen uydu görüntüsü kullanılarak hesaplanan 24.5 km'lik Misis fayı uzunluğu dikkate alınmıştır (Şekil 8).

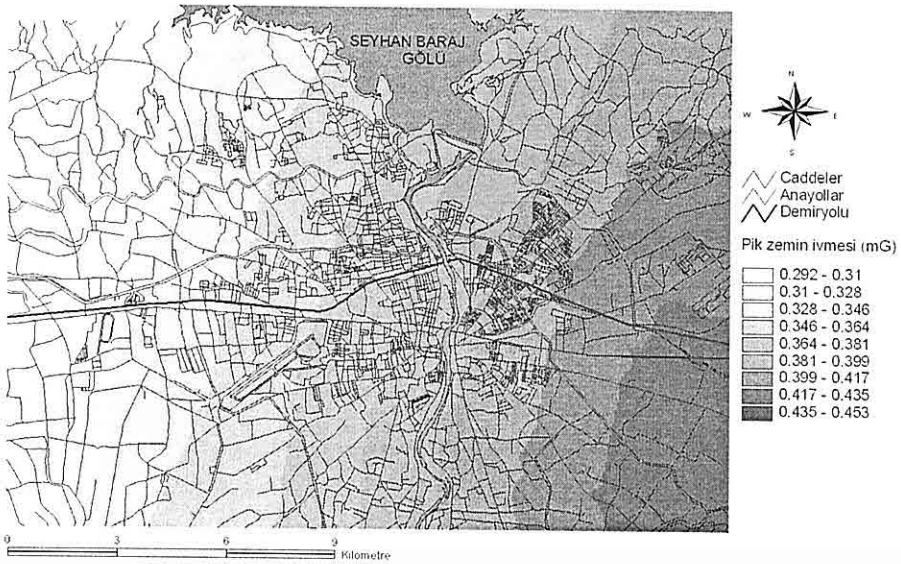
(Şekil 9).

Hiposantır hesaplamalarında deprem odak derinliği 20 km olarak alınmış ve tüm noktalar için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Hesaplanan en küçük episantır değeri 23.12 km ve en büyük 43.61 km'dir. Hiposantır değerleri ise en küçük 30.46 km ve en büyük 47.98 km'dir. Aydan vd, (1996) bağıntısı kullanılarak elde edilen pik zemin ivmesi (pga) değerlerinin en küçük 0.292 mgal ile en büyük 0.433 mgal

değerleri arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Bu çalışma ile, inceleme alanı için oluşturulmuş pik zemin ivmesi (mG) bölgelendirme haritası Şekil 10'da sunulmuştur. Çalışmada kullanılan bağıntı yerel jeolojik koşullardan yani litoloji farklılıklarından (sert veya yumuşak zemin) etkilenmemektedir.

sismik ölçümlerle elde edilmiştir. Zemin hakim titreşim periyotlarının bulunmasında tabaka kalınlıklarının da rol oynadığı bilinmektedir. Homojen zeminlerin doğal periyotlarının (Ts,karakteristik zemin periyodu) belirlenmesinde kolay bir kullanıma da sahip olmasında dolayı Dobry vd. (1976) tarafından önerilen aşağıdaki bağıntı



Şekil 10. İnceleme alanına ait pik zemin ivmesi haritası.

3.4. Zeminlerin Hakim Titreşim Periyotları (T)

Doğal zemin periyotlarının belirlenmesi, bir depremde meydana gelebilecek yapısal hasarların önceden tahmin edilebilmesi açısından önem taşımaktadır. Bu tür çalışmalarda bina salınım periyotları ile doğal zemin periyotlarının değerleri incelenmektedir.

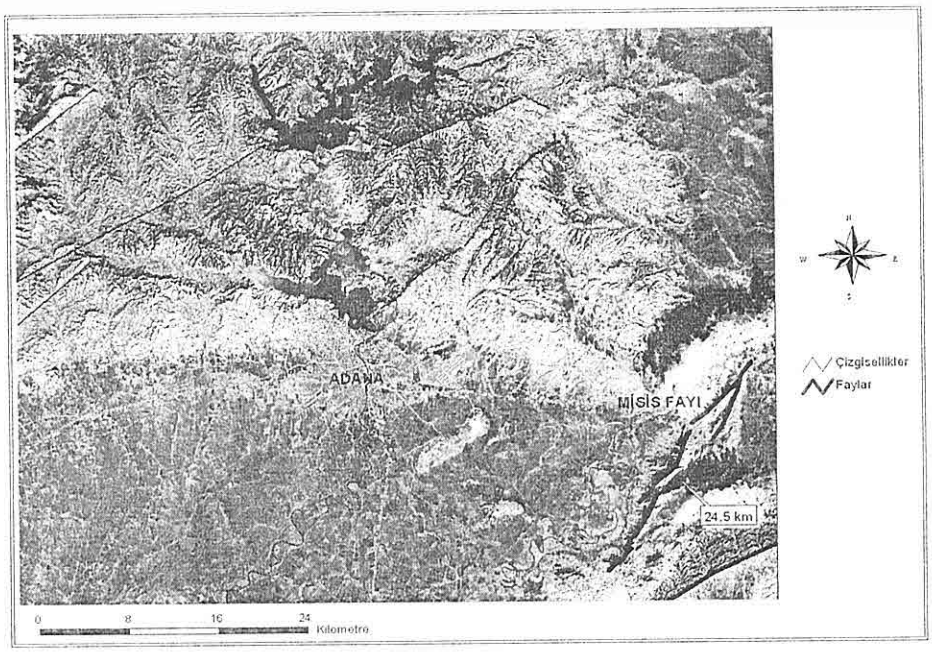
Zemin hakim titreşim periyotları, bu çalışma kapsamında yapılmış olan jeofizik

günümüzde de geniş bir kullanım bulmaktadır.

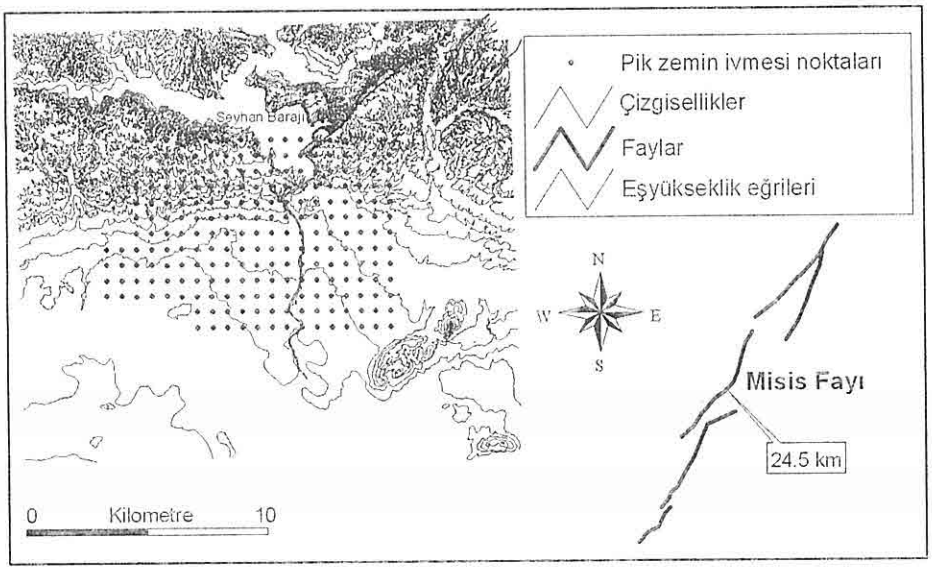
$$T = \sum \frac{4 * H}{V_s} \qquad (5)$$

Bu bağıntıda; H tabaka kalınlığı (m) ve Vs kayma dalgası hızı (m/sn) değerleridir.

Oluşturulmuş zemin hakim titreşim periyodu haritası sismik çalışmalarla incelenebilen maksimum derinlik olan 30 m için oluşturulmuştur. Titreşim periyotlarının kaya türü zeminlerde düşük,

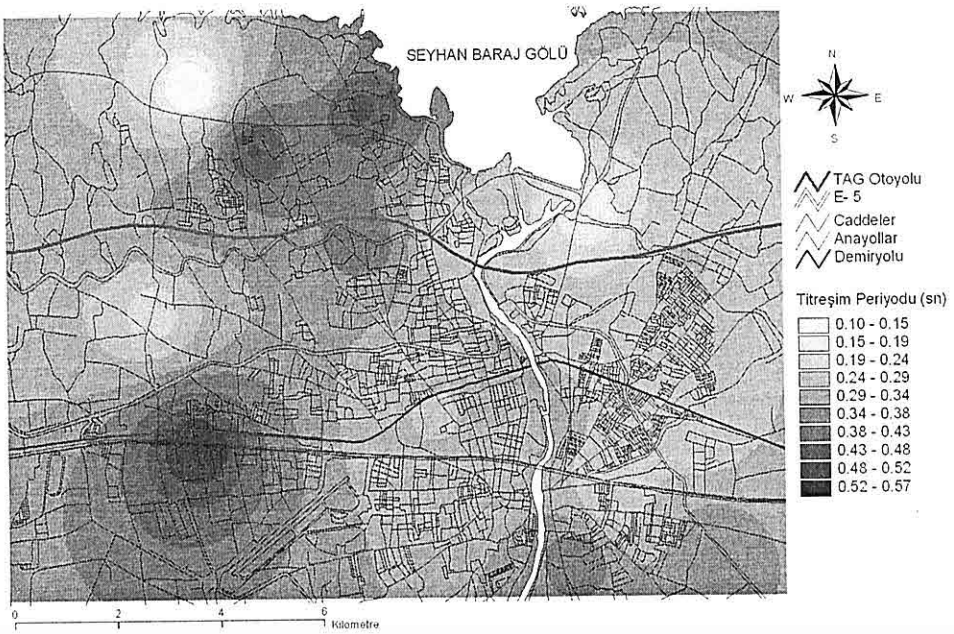


Şekil 8. İnceleme alanı uydu görüntüsü üzerinde Misis fayının görünümü.



Şekil 9. Hesaplamalarda kullanılan grid köşe noktalarının inceleme alanındaki dağılımları ve Misis fayına olan uzaklıkları.

zeminlerde ise yüksek olması beklenir. Şekil 11, jeofizik ölçüm verileri kullanılarak elde edilmiş titreşim periyodu değerlerine göre oluşturulmuş bölgelendirme haritasını göstermektedir.



Şekil 11. İnceleme alanının zemin hakim titreşim periyodu haritası.

Özellikle Seyhan nehri doğusunun düşük titreşim periyodu değerlerine sahip olduğu dikkat çekmektedir. Bu durum taraça biriminin bu bölgede yüzeye daha yakın olduğunu düşündürmektedir. Seyhan ırmağından batıya doğru gidildikçe alüvyon çökellerindeki kalınlaşmaya bağlı titreşim periyodu değerlerinin de büyüdüğü görülmektedir.

4. SONUÇLAR

Kentsel mühendislik jeolojisi çalışmaları, hem mevcut yapılaşma koşullarının ve hem de gelişim planlamaları çerçevesinde düşünülen alanlara ait yerleşim koşullarının ortaya konulması ve değerlendirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Kentsel gelişim ve yerleşim planlamalarında ve özellikle 1. ve 2. derece deprem bölgelerinde, mevcut kent yerleşiminin dinamik zemin parametrelerinin de dikkate alınması gerekmektedir. Bu tür çalışmalarla ilgili değerlendirmelerde, elde edilen doğru ve değerlendirilebilir nitelikteki bilgilerin bir veri tabanında saklanması ve amaca yönelik olarak yorumlanması da önemli olmaktadır. Adana ili kent yerleşim alanı için yapılmış olan bu çalışmada, yapılan ve elde edilen zemin sondajları ile jeofizik sismik ölçüm sonuçları değerlendirilerek zemin dinamik özelliklerinin yerleşim alanı içindeki değişimleri ele alınmıştır.

İnceleme alanında kayma dalgası hızları 179 ile 1549 m/sn arasında değişim göstermektedir. Zemin hakim titreşim periyotları ise 0.10 ile 0.57 sn değerleri arasında değişmektedir. 1998 Ceyhan depremi odak noktası ele alınarak hesaplanmış zemin ivmesi değerlerinin 0.292 ile 0.454 mgal değerleri arasında değiştiği belirlenmiştir. Zemin büyütmelerinin ise 0.22 ile 1.80 arasında olduğu tespit edilmiştir.

5. KATKI BELİRTME

Bu çalışma 103Y004 no'lu proje kapsamında TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir. Adı geçen kuruma teşekkürlerimi sunarım.

6. KAYNAKLAR

Andrus, R.D., Stokoe, Kh., 2000. Liquefaction Resistance Of Soils From Shear- Wave Velocity, J. Geotech. Geoenv. Engng., Asce, Vol.126 , No: 11, pp. 285-308.

Aydan, Ö., Sezaki, M., Yarar, R., 1996. The Seismic Characteristics Of Turkish Earthquake. 11th World Conference On Earthquake Engineering, Acapulco, Mexico, Paper No. 1025.

Borcherdt, R.D., Wentworth, C.M., Janssen, A., Fumal, T., Gıbbs, J., 1991. Methodology For Predictive GIS Mapping of Special Study Zones for Strong Ground Shaking in The San Francisco Bay Region, Proc. 4th Int. Conf. on Seismic Zonation, (3), 245-552.

Borcherdt, R.D., Lawson, S., Pessına, V., Bouabid, J., Shah, H.C., 1995. Applications of Geographic Information System Technology (GISs) to Seismic Zonation and Earthquake Loss Estimation, State-of-The-Art Lecture, 5. Int. Conf. on Seismic Zonation, Procs, Nice, France, p. 1933-1973.

Çobanoğlu, İ., 2005. Adana İli Ve Yakın Çevresinin Jeoteknik Koşullarının Statik Ve Sismik Durumlar İçin Coğrafi Bilgi Sistemi İle Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Adana, (Yayımlanmamış).

Dobry, R., Oweis, L., Urzua, A., 1976. Simplified Procedures For Estimating The Fundamental Period of a Soil Profile. Bull. Seis. Soc. Am., 66 (4), 1293-1321.

Ercan, A., 2001. Yer Araştırma Yöntemleri, Kardeşler Matbaacılık Yayını, İstanbul.

Finn, W.D.L., 1991. Geotechnical Engineering Aspects of Microzonation, 4 Th Int. Conf. on Microzonation, Earthquake Engineering Research Institute, California, Vol 1, 201-206.

Fumal, T., 1985. Seismic Wave Velocities And Physical Properties of Geological Materials in the Sourthern San Francisco Bay Region, California, Usgs, Open File Report.

Ganev, T., Yamazakı, F., Ishizaki, H., iitazawa, M., 2000. Earthquake Response Of The Higashi-Kobe Bridge, Incede Report, 15.

Idriss, I.M., 1990. Response Of Soft Soil Sites During Earthquakes, Proceedings H Bolton Seed Memories Symposium, Bitech Publishers, Vancouver, Vol 2, 273-289.

Imai, T., Tonouchi, R., 1982. Correction of N Values With S-Wave Velocity. Proc. Second European Sym. on

YERBİLİMLERİ GEOSOUND | ARALIK DECEMBER 2008 | SAYI NO 53 | ISSN 1019-1003

ELAZIĞ ÇEVRESİNDEKİ KAYAÇLARIN BETON AGREGASI OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİ

Zülfü GÜROCAK
F.Ü., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Elazığ/Türkiye
Selçuk ALEMDAĞ
G.Ü., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane/Türkiye

ÖZET: *Bu çalışmada, Elazığ çevresinde yüzeyleyen kayaçların beton agregası olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, Keban Metamorfitleri, Elazığ Magmatitleri, Harami Formasyonu, Maden Karmaşığı, Kırkgeçit Formasyonu ve Karabakır Formasyonu'ndan farklı noktalardan kaya örnekleri alınmış, kaya ve agrega örneklerinde deneysel çalışmalar yapılmıştır. Petrografik ve kimyasal özellikleri belirlemek için, kimyasal analizler ve ince kesitlerde petrografik çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca, kaya örneklerinin birim hacim ağırlık, ağırlıkça ve hacimce su emme, porozite, doluluk oranı, serbest basınç dayanımı belirlenmiştir. Çeneli kırıcı yardımıyla standart boyutta agrega örnekleri hazırlanmış, bu agregaların alkali agrega reaktivitesi, magnezyum sülfat çözeltisinde don kaybı, özgül ağırlık, su emme, yıkanabilir madde içeriği ve Los Angeles aşınma dayanımı belirlenmiştir. Deney sonuçları TSE standartlarındaki sınır değerler ile karşılaştırılmıştır. Keban Metamorfitleri, Elazığ Magmatitleri ve Kırkgeçit Formasyonu'nun düşük Los Angeles aşınma direncine ve özgül ağırlığa sahip olması nedeniyle, bu kayaçların beton agregası olarak kullanılması uygun değildir. Maden Karmaşığı ve Karabakır Formasyonu'na ait bazaltların tüm fiziko-mekanik özellikleri beton agregası olarak kullanılabilme açısından uygundur ve bu kayaçlar beton agregası olarak kullanılabilirler.*

POSSIBLE USE OF ROCKS IN AROUND OF ELAZIĞ AS CONCRETE AGGREGATE

ABSTRACT: *The aim of this study is to determine characteristics of rocks which are exposed around Elazığ using as concrete aggregate. For this purpose, rock samples from Keban Metamorphics, Elazığ Magmatics, Harami Formation, Maden Complex, Kırkgeçit Formation and Karabakır Formation were collected from different locations and experimental studies were conducted on the rock and aggregate samples. To determine petrographical and chemical characteristic, chemical analysis and petrographic studies in thin section were carried out. Furthermore, unit weight, water absorption in weight, water absorption in volume, porosity, fullness ratio and uniaxial compressive strength of the rocks were determined. Standard size aggregates were*

prepared from block samples using a laboratory jaw crusher. The aggregate properties such as alkali aggregate reactivity, magnesium sulphate soundness, specific gravity, water absorption, fine content and Los Angeles abrasion were determined. The results were compared with the typical acceptance limit in TSE standards. According to the results, it was obtained that Keban Metamorphics, Elazığ Magmatics and Kırkgeçit Formation were not suitable for using as concrete agregate, because Los Angeles abrasion and specific gravity of these rocks were less than acceptance limits in TSE standards. However, all physico-mechanic properties of the basalts belong to the Maden Complex and Karabakir Formation were suitable for using as concrete aggregate and these basalts can be used as concrete aggregate.

1. GİRİŞ

Gelişen toplumun ihtiyaçlarına karşılık verecek şekilde hızla büyüyen inşaat sektörünün malzeme ihtiyacı da aynı hızla artmaktadır. Artan bu ihtiyaca paralel olarak kayaçların kırma taş şeklinde beton agregası olarak kullanımı yaygınlaşmıştır. Agrega olarak kullanılan bu kayaçların agrega olabilme özellikleri Türk Standardları Enstitüsü tarafından belirlenmiş ve bu özelliklere sahip olmayan kayaçların beton agregası olarak kullanılamayacağı belirtilmiştir. Nitelikli beton üretimine katkıda bulunmak amacıyla TS 706 EN 12620 (2003)'e uygun kırma taş üretilmesine yönelik olarak bu çalışma gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada Elazığ çevresinde yüzeyleyen Keban Metamorfitleri'ne ait mermerler, Elazığ Magmatitleri'ne ait bazaltlar, Harami Formasyonu'na ait kireçtaşları, Kırkgeçit Formasyonu'na ait kireçtaşları, Maden Karmaşığı'na ait bazaltlar ve Karabakır Formasyonu'na ait bazaltlar TSE standartları esas alınarak incelenmiştir. Arazi çalışmaları ile bu kayaçların yüzeyleme verdiği alanlardan laboratuvar deneylerinde kullanılmak üzere blok örnekler derlenmiştir. Laboratuvar çalışmaları sırasında örneklerin jeokimyasal ve petrografik analizleri yapılmıştır. Ayrıca, blok örneklerden hazırlanan prizmatik örneklerin birim hacim ağırlık, ağırlıkça su emme, hacimce su emme, porozite, doluluk oranı ve serbest basınç dayanımları belirlenmiştir. Blok örneklerden kırıcı yardımıyla elde edilen agrega örneklerinde ise alkali agrega reaktivitesi, özgül ağırlık, su emme, don kaybı, yıkanabilir madde oranı ve Los Angeles aşınma dayanımı belirlenmiştir.

Çalışma alanı ve yakın civarını ilgilendiren çalışmaları amaçlarına göre aşağıdaki şekilde gruplandırmak mümkündür.

Ketin (1946) ve Kipman (1976, 1981) tarafından Keban metamorfitleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Özkaya (1978) tarafından Maden Karmaşığı, Yazgan (1981, 1983, 1984) ve Bingöl (1982, 1984, 1988) tarafından da Elazığ Magmatitleri detaylı olarak incelenmiştir. Bingöl ve Beyarslan (1996) ise Elazığ Magmatitleri'nin kökenine ait yeni

prepared from block samples using a laboratory jaw crusher. The aggregate properties such as alkali aggregate reactivity, magnesium sulphate soundness, specific gravity, water absorption, fine content and Los Angeles abrasion were determined. The results were compared with the typical acceptance limit in TSE standards. According to the results, it was obtained that Keban Metamorphics, Elazığ Magmatics and Kırkgeçit Formation were not suitable for using as concrete agregate, because Los Angeles abrasion and specific gravity of these rocks were less than acceptance limits in TSE standards. However, all physico-mechanic properties of the basalts belong to the Maden Complex and Karabakir Formation were suitable for using as concrete aggregate and these basalts can be used as concrete aggregate.

1. GİRİŞ

Gelişen toplumun ihtiyaçlarına karşılık verecek şekilde hızla büyüyen inşaat sektörünün malzeme ihtiyacı da aynı hızla artmaktadır. Artan bu ihtiyaca paralel olarak kayaçların kırma taş şeklinde beton agregası olarak kullanımı yaygınlaşmıştır. Agrega olarak kullanılan bu kayaçların agrega olabilme özellikleri Türk Standardları Enstitüsü tarafından belirlenmiş ve bu özelliklere sahip olmayan kayaçların beton agregası olarak kullanılamayacağı belirtilmiştir. Nitelikli beton üretimine katkıda bulunmak amacıyla TS 706 EN 12620 (2003)'e uygun kırma taş üretilmesine yönelik olarak bu çalışma gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada Elazığ çevresinde yüzeyleyen Keban Metamorfitleri'ne ait mermerler, Elazığ Magmatitleri'ne ait bazaltlar, Harami Formasyonu'na ait kireçtaşları, Kırkgeçit Formasyonu'na ait kireçtaşları, Maden Karmaşığı'na ait bazaltlar ve Karabakır Formasyonu'na ait bazaltlar TSE standartları esas alınarak incelenmiştir. Arazi çalışmaları ile bu kayaçların yüzeyleme verdiği alanlardan laboratuvar deneylerinde kullanılmak üzere blok örnekler derlenmiştir. Laboratuvar çalışmaları sırasında örneklerin jeokimyasal ve petrografik analizleri yapılmıştır. Ayrıca, blok örneklerden hazırlanan prizmatik örneklerin birim hacim ağırlık, ağırlıkça su emme, hacimce su emme, porozite, doluluk oranı ve serbest basınç dayanımları belirlenmiştir. Blok örneklerden kırıcı yardımıyla elde edilen agrega örneklerinde ise alkali agrega reaktivitesi, özgül ağırlık, su emme, don kaybı, yıkanabilir madde oranı ve Los Angeles aşınma dayanımı belirlenmiştir.

Çalışma alanı ve yakın civarını ilgilendiren çalışmaları amaçlarına göre aşağıdaki şekilde gruplandırmak mümkündür.

Ketin (1946) ve Kipman (1976, 1981) tarafından Keban metamorfitleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Özkaya (1978) tarafından Maden Karmaşığı, Yazgan (1981, 1983, 1984) ve Bingöl (1982, 1984, 1988) tarafından da Elazığ Magmatitleri detaylı olarak incelenmiştir. Bingöl ve Beyarslan (1996) ise Elazığ Magmatitleri'nin kökenine ait yeni

YERBİLİMLERİ GEOSOUND | ARALIK DECEMBER | 2008 | SAYI NO 53 | ISSN 1019-1003

ELAZIĞ ÇEVRESİNDEKİ KAYAÇLARIN BETON AGREGASI OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİ

Zülfü GÜROCAK
F.Ü., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Elazığ/Türkiye
Selçuk ALEMDAĞ
G.Ü., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane/Türkiye

ÖZET: *Bu çalışmada, Elazığ çevresinde yüzeyleyen kayaçların beton agregası olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, Keban Metamorfitleri, Elazığ Magmatitleri, Harami Formasyonu, Maden Karmaşığı, Kırkgeçit Formasyonu ve Karabakır Formasyonu'ndan farklı noktalardan kaya örnekleri alınmış, kaya ve agrega örneklerinde deneysel çalışmalar yapılmıştır. Petrografik ve kimyasal özellikleri belirlemek için, kimyasal analizler ve ince kesitlerde petrografik çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca, kaya örneklerinin birim hacim ağırlık, ağırlıkça ve hacimce su emme, porozite, doluluk oranı, serbest basınç dayanımı belirlenmiştir. Çeneli kırıcı yardımıyla standart boyutta agrega örnekleri hazırlanmış, bu agregaların alkali agrega reaktivitesi, magnezyum sülfat çözeltisinde don kaybı, özgül ağırlık, su emme, yıkanabilir madde içeriği ve Los Angeles aşınma dayanımı belirlenmiştir. Deney sonuçları TSE standartlarındaki sınır değerler ile karşılaştırılmıştır. Keban Metamorfitleri, Elazığ Magmatitleri ve Kırkgeçit Formasyonu'nun düşük Los Angeles aşınma direncine ve özgül ağırlığa sahip olması nedeniyle, bu kayaçların beton agregası olarak kullanılması uygun değildir. Maden Karmaşığı ve Karabakır Formasyonu'na ait bazaltların tüm fiziko-mekanik özellikleri beton agregası olarak kullanılabilme açısından uygundur ve bu kayaçlar beton agregası olarak kullanılabilirler.*

POSSIBLE USE OF ROCKS IN AROUND OF ELAZIĞ AS CONCRETE AGGREGATE

ABSTRACT: *The aim of this study is to determine characteristics of rocks which are exposed around Elazığ using as concrete aggregate. For this purpose, rock samples from Keban Metamorphics, Elazığ Magmatics, Harami Formation, Maden Complex, Kırkgeçit Formation and Karabakır Formation were collected from different locations and experimental studies were conducted on the rock and aggregate samples. To determine petrographical and chemical characteristic, chemical analysis and petrographic studies in thin section were carried out. Furthermore, unit weight, water absorption in weight, water absorption in volume, porosity, fullness ratio and uniaxial compressive strength of the rocks were determined. Standard size aggregates were*

yorumlar getirmişlerdir. Özkul (1982) Kırkgeçit Formasyonu'nun sedimantolojik özelliklerini incelemiştir. Aktaş ve Robertson (1984), Sungurlu v.d. (1985), Turan ve Bingöl (1991), Gürocak (1993) ve Kaya (1993) tarafından, inceleme alanı ve yakın dolayının tektonik gelişimi, litolojik birimlerin birbiri ile olan tektonik ilişkileri ile ilgili olarak araştırma yapmışlardır.

2. İNCELEME ALANININ JEOLOJİSİ

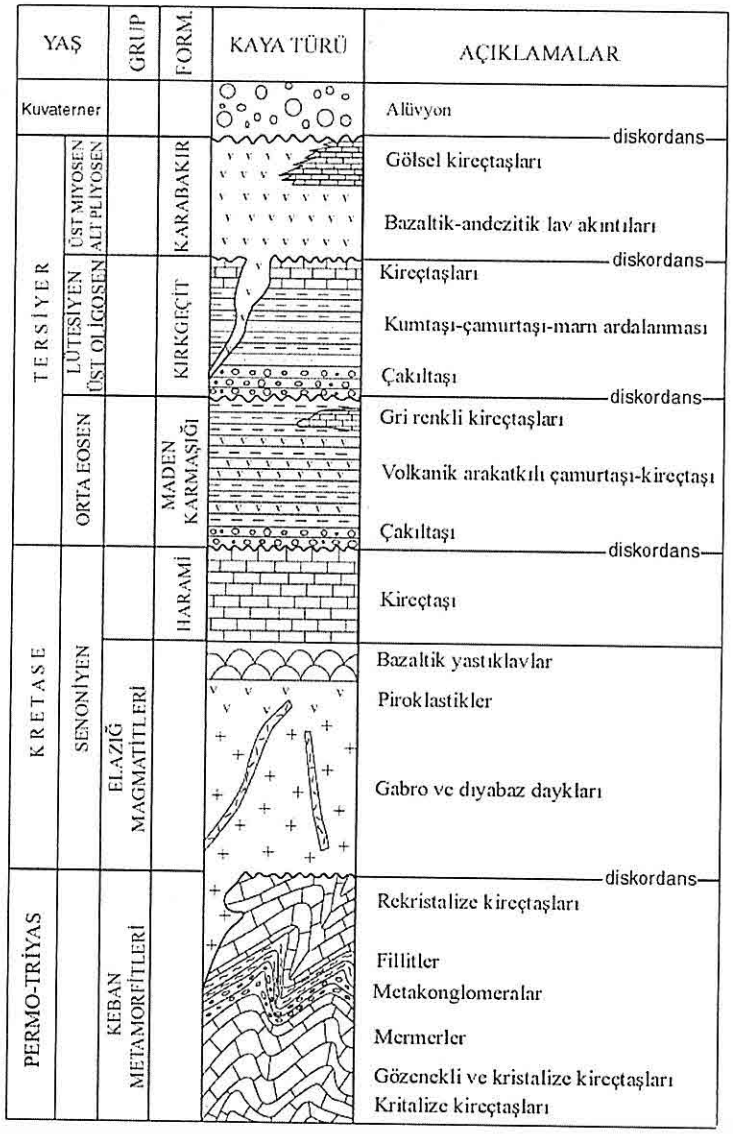
Elazığ bölgesinde yaşları Paleozoyik'ten Kuvaterner'e kadar değişen, farklı litolojilere sahip kayaçlar yüzeylemektedir. Bu birimler yaşlıdan gence doğru; Permo-Triyas yaşlı Keban Metamorfitleri, Üst Kretase yaşlı Elazığ Magmatitleri, Maastrihtiyen yaşlı Harami Formasyonu, Orta Eosen yaşlı Maden Karmaşığı, Lütesiyen- Üst Oligosen yaşlı Kırkgeçit Formasyonu, Üst Miyosen- Alt Pliyosen yaşlı Karabakır Formasyonu ve Kuvaterner yaşlı alüvyonlardır (Şekil 1).

2.1. Keban Metamorfitleri

İnceleme alanının en yaşlı birimi, ilk defa Özgül (1976) tarafından adlandırılan, Permo-Triyas yaşlı Keban Metamorfitleri'dir. Özellikle Elazığ'ın doğu ve kuzey kesimlerinde ve Elazığ'a bağlı Keban ilçesi civarında yüzeylemektedir (Şekil 2). Keban Metamorfitleri ilk defa Kipman (1976, 1981) tarafından ayrıntılı olarak incelenmiş ve metamorfitler yaşlıdan gence doğru; mermer, rekristalize kireçtaşı-kalkşist, meta-konglomera ve kalkfillit formasyonlarına ayrılmıştır. Kaya (2001) tarafından Keban Metamorfitleri'nde yapılan çalışmada ise birbirleriyle stratigrafik olarak uyumlu olan birimler yaşlıdan gence doğru; Erken Permiyen yaşlı Arapgir rekristalize kireçtaşları, Geç Permiyen yaşlı Nimri formasyonu, Permo-Triyas yaşlı Keban mermeri ve Geç Triyas yaşlı Delimehmet formasyonu olarak ayırt edilmiştir. Kaya (2001), Keban mermeri üyesinin Keban ilçesi yakın çevresinde Nimri formasyonu üzerine uyumlu olarak geldiğini ve Fırat nehri'nin doğusunda yüzeyleme sunduğunu belirtmektedir. Oldukça masif, beyaz-sarımsı renklerde ve çatlaklı bir yapıya sahiptir. Üye her zaman mermer özelliği sunmamakla birlikte bazı seviyelerinde rekristalize kireçtaşı özelliğine sahiptir. Kipman (1976, 1981), rekristalize kireçtaşları içerisinde bulduğu fosile dayanarak Keban Metamorfitleri'ne Permo-Karbonifer, meta-konglomera-kalkfillit formasyonuna ise Triyas yaşını vermiştir. Bu çalışmada Elazığ il merkezine yakın ve çok geniş alanlarda yüzlek vermesi göz önünde tutularak Keban mermerlerinin beton agregası olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

2.2. Elazığ Magmatitleri

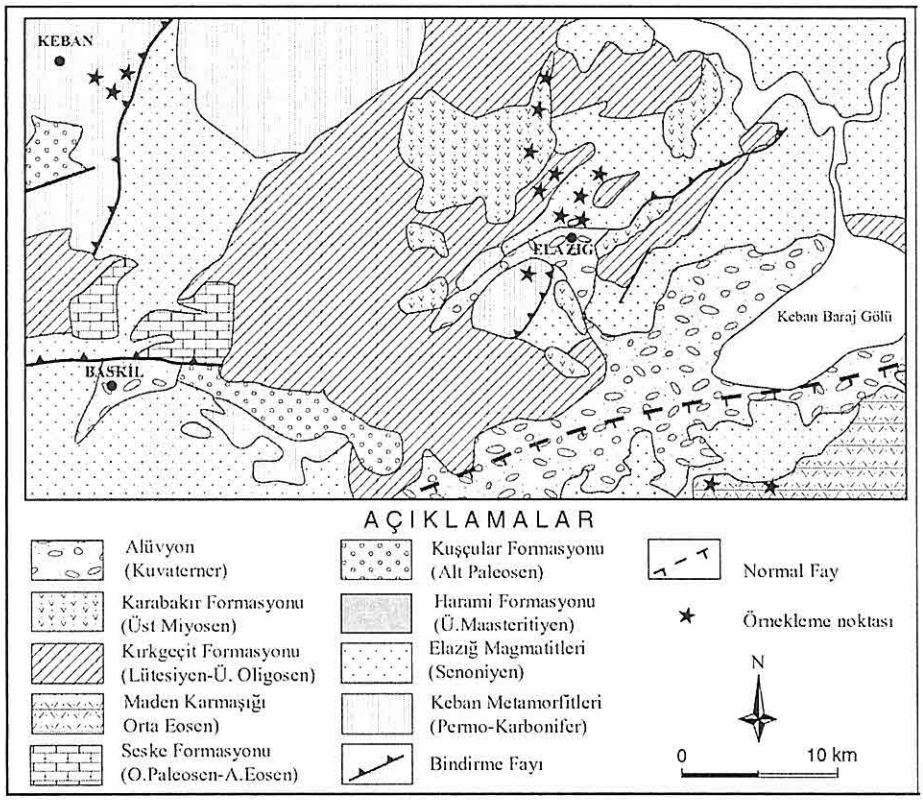
Birim ilk kez Hakkari İli Yüksekova İlçesi civarında Perinçek (1979b) tarafından tanımlanmıştır. Daha sonraki yıllarda yapılan çalışmalarda (Perinçek, 1979a, 1980; Perinçek ve Özkaya, 1981; Yazgan, 1981, 1983, 1984; Bingöl, 1982, 1984, 1988) bu isim benimsenmiş ve kullanılmıştır. Ancak sonraki yıllarda



Şekil 1. İnceleme alanına ait ölçeksiz stratigrafik dikme kesit.

Elazığ bölgesinde yapılan çalışmalarda (Bingöl ve Beyarslan, 1996; Beyarslan, 2000, 2005) Elazığ Magmatitleri olarak isimlendirilmiştir.

Elazığ çevresinde çok geniş alanlarda yüzlek veren Elazığ Magmatitleri (Şekil 2), Keban Metamorfitleri ile intrüzif dokanağa sahiptir. Bazı alanlarda Harami Formasyonu tarafından uyumlu olarak örtülen magmatitler, özellikle Elazığ



Şekil 2. İnceleme alanının jeoloji haritası (Aksoy, 1993; Aktaş ve Robertson, 1984; Kaya, 2001 ve Turan, 1984 'den yararlanılarak hazırlanmıştır).

kuzeyindeki alanlarda Kırkgeçit Formasyonu tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir. Birim, tabanda çoğunlukla diyorit, monzodiyorit ve tonalit ile bunların üzerinde yer alan bazaltik yastık lavlar, andezitik lav akıntıları, piroklastikler ile bunlarla ardalanmalı volkanosedimenter ve tüm bu istifi kesen granodiyorit ve granitten oluşan derinlik kayaçları, dasit dayk ve domlardan oluşmaktadır. Magmatitlere ait volkanik kayaçlar özellikle Elazığ'ın kuzey ve doğusunda çok geniş alanlarda yüzeylemektedir.

Bu volkanitler, bazaltik yastık lav ve lav akıntıları, andezitik lav akıntıları ve piroklastiklerden oluşmaktadır. Bölgede yapılmış olan çalışmalarda (Bingöl ve Beyarslan, 1996; Beyarslan, 2000, 2005) Elazığ Magmatitleri'nin yaşı Senoniyen olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada, Elazığ iline yakın alanlarda yer alan bazaltik lav akıntılarının beton agregası olarak kullanılabilirliği incelenmiştir.

2.3. Harami Formasyonu

Formasyon ilk defa Erdoğan (1975) tarafından Adıyaman İli Gölbaşı İlçesi

kuzeyindeki Harami köyü yakınında tanımlanmış ve Elazığ bölgesinde yapılan bütün çalışmalarda (Aksoy, 1993; Özgen vd., 1993; Aksoy vd., 1999) bu isim benimsenerek kullanılmıştır. Elazığ Magmatitleri üzerine uyumlu olarak gelen birim, Kırkgeçit Formasyonu tarafından uyumuz olarak örtülmektedir. Özellikle Harput civarında ve Elazığ güneyinde (Şekil 2) yüzeyleme sunan formasyon, tabandan tavana doğru iri-ince taneli kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve kireçtaşları ile temsil edilmektedir. Aksoy vd., (1999) tarafından bölgede yapılan çalışmada formasyondaki fosillere dayanılarak Senoniyen yaşı verilmiştir. Formasyon sınırlı alanlarda yüzeyleme sunmasına karşın, kalınlığının fazla olması ve Elazığ iline yakın alanlarda yüzeyleme sunması nedeniyle bu çalışma kapsamına alınmış ve formasyona ait kireçtaşlarının beton agregası olabilme özelliği incelenmiştir.

2.4. Maden Karmaşığı

İlk defa Rigo de Righi ve Cortesini (1964) tarafından Maden birimi olarak adlandırılmıştır. Sonraki yıllarda yapılan çalışmalarda, Özkaya (1972) birimi Sason-Baykan Grubu, Erdoğan (1977, 1982) Maden Grubu olarak tanımlamışlardır. Birim, Maden Karmaşığı olarak ilk defa Perinçek (1979b) tarafından tanımlanmış ve bölgede yapılan çalışmalarda (Sungurlu vd., 1985; Yazgan, 1981, 1983; Aktaş ve Robertson, 1984; Gürocak, 1993; Kaya, 1993) bu isim tercih edilmiştir. Özellikle Elazığ'ın güney kesimlerinde ve Maden İlçesi civarında en iyi gözlenen (Şekil 2) birim Elazığ Magmatitleri üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Vadi tabanlarında ise alüvyonlar tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir. Karmaşık, tabandan tavana doğru konglomera kumtaşı, kırmızı ve yeşil renkli çamurtaşı-marnlar ile ara katkılı andezit ve bazaltlar ile en üst seviyelerinde ise devamlılığı bulunmayan gri renkli kireçtaşı litolojisi sunmaktadır. Bölgede yapılan çalışmalarda fosil bulgularına dayanılarak, karmaşığa Orta Eosen yaşı verilmiştir. Bu çalışma kapsamında, Maden Karmaşığı'na ait bazaltların beton agregası olabilirliği incelenmiştir.

2.5. Kırkgeçit Formasyonu

Formasyon ilk defa Van İli kuzeyindeki Kırkgeçit köyü civarında tanımlanmış (Perinçek, 1979a) ve daha sonraki yıllarda yapılan tüm çalışmalarda (Turan, 1984; Bingöl, 1984, 1988; Aksoy ve Tatar, 1990; Turan ve Bingöl, 1991) bu isim benimsenmiş ve kullanılmıştır.

Lütesiyen – Üst Oligosen yaşlı olan formasyon, Elazığ İli ve civarında çok geniş alanlarda yüzlek sunmaktadır (Şekil 2). Formasyon, daha yaşlı birimler üzerine uyumsuz olarak gelirken, Karabakır Formasyonu ve akarsu yataklarında alüvyonlar tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir. Tabandan tavana doğru konglomera, kumtaşı, silttaşı, marn ve kireçtaşları ile temsil edilmektedir. Formasyonun en üst seviyelerini oluşturan kireçtaşları, kumlu ve bol Nummulitli şelf kireçtaşları özelliğindedir ve özellikle Elazığ İli kuzeybatısındaki Körpe ve Altınkuşak köyleri civarında

gözlenmektedir. Halen kaplama malzemesi olarak değerlendirilen bu kireçtaşlarının beton agregası olabilme özelliği incelenmiştir.

2.6. Karabakır Formasyonu

Formasyon ilk defa Naz (1979) tarafından, Tunceli İli Pertek İlçesi Karabakır Köyü civarında tanımlanmış ve Karabakır Formasyonu olarak isimlendirilmiştir. Bölgede sonraki yıllarda yapılan çalışmalarda da bu isim benimsenmiş ve kullanılmıştır. Bölgede, Kırkgeçit Formasyonu üzerine uyumsuz olarak gelen birim, akarsu yataklarında alüvyonlar tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir. Elazığ ve çevresinde çok geniş alanlarda yüzlek veren birim (Şekil 2), volkano-sedimanter özelliktedir. Kırmızı renkli çamurtaşı ara seviyeli bazaltik akıntılar ile, bazı bölgelerde devamsız özelliğe sahip gölsel kireçtaşı litolojisindedir. Bazalt akıntıları bazı bölgelerde 15-20 m kalınlığa kadar ulaşabilmektedir. Özellikle Elazığ'ın kuzeybatısındaki alanda gaz boşluklu bir özelliğe sahiptir. Ancak, daha kuzey bölgelerde, özellikle Altınkuşak Köyü civarında daha az gaz boşluğu içeren olivinli bazaltlarla temsil edilmektedir. Sirel vd. (1975) tarafından fosil bulgularına dayanılarak formasyona Üst Miyosen yaşı verilmiştir. Bu çalışma kapsamında, gaz boşluğu içermeyen bölgelerdeki bazaltik lav akıntılarının beton agregası olabilirliği incelenmiştir.

2.7. Alüvyonlar

Kuvaterner yaşlı birim, bölgedeki vadi, akarsu yatakları ve düzlük alanlarda yüzeyleme verir. Bölgede yüzeyleme veren kayaçlardan türemiş, blok, çakıl, kum, silt ve kil boyutunda, gevşek haldeki malzemelerden oluşmuştur.

3. KAYAÇLARIN JEOKİMYASAL, PETROGRAFİK VE MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ

3.1. Birimlerin Jeokimyasal ve Petrografik Özellikleri

İnceleme alanında yüzeyleyen ve beton agregası olabilme özelliği incelenen birimlerin jeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, Kanada Acme Analytical laboratuvarlarında ICP-ES yöntemiyle Harami Formasyonu'na ait kireçtaşlarında ana oksit analizi yaptırılmıştır. Diğer birimlerin ana oksit değerleri için de, önceki yıllarda aynı yöntemle yapılmış olan jeokimyasal analiz sonuçları kullanılmıştır. Birimlere ait majör element analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir.

Beton üretiminde kullanılan agreganın kimyasal özellikleri, betonun kalitesini ve dayanımını önemli oranda etkilemektedir. Agregalarda silis bulunması durumunda; özellikle kumda ve ince tanelerde reaktif silis bulunması halinde, çimentodan gelen alkaliler ile reaksiyona girmekte (alkali-silis reaktivitesi) ve nemin varlığında genleşen ürünler oluşabilmektedir. Ayrıca, agregaların özellikle dolomit kökenli olmaları, içerilerinde Mg bulunması da alkali karbonat reaksiyonuna sebep olabilmektedir. Yine agregaların çok ince olması yani reaksiyona girebilecek incelikte olmaları durumunda ve MgO

Çizelge 1. İnceleme alanındaki birimlere ait jeokimyasal analiz sonuçları.

BİRİMLER	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	K_2O	Na_2O	CaO	TiO_2	P_2O_5	Toplam
Keban Metamorfitleri (1)	0.79	0.22	0.78	5.83	0.01	0.00	54.51	0.02	0.04	62.24
Elazığ Magmatitleri (2)	54.44	15.80	10.21	4.06	0.21	5.64	4.55	1.02	0.16	96.09
Harami Formasyonu	0.65	0.38	0.26	0.59	0.34	0.25	54.93	0.12	0.19	57.71
Maden Karmaşığı (3)	54.15	15.63	12.06	6.24	0.16	3.00	3.42	0.59	0.05	95.30
Kırkgeçit Formasyonu (4)	1.20	0.00	0.60	4.80	0.00	0.00	42.75	0.00	0.00	49.35
Karabakır Formasyonu (5)	47.94	17.64	9.32	4.44	1.64	5.20	8.36	2.17	0.59	97.30

(1) Altunbey (1996)
(2) Bölücek ve Altunbey (2001)
(3) Altunbey ve Çelik (2005)
(4) Çetindağ and Ünsal (2004)
(5) Kürüm vd. (2006)

agregadan kolayca ayrışabilir durumda ise kendisi de su ile reaksiyona girerek genleşme reaksiyonları (dedolomitasyon) oluşturabilmektedir. Bu durum özellikle dolomitik kökenli veya MgO oranı yüksek kayaçların çimento üretiminde kullanılması sonucunda ortaya çıkmaktadır. Agregada sülfat bulunması durumunda ise, eğer sülfat iyonları agregadan ayrışabilir halde ise; sülfat iyonları çimentodaki C3A bileşeni ile reaksiyona girerek, betonun çatlamasına yol açabilen genleşen reaksiyonlara sebep olabilmektedir (Baradan vd., 2001).

İncelenen birimlere ait kimyasal analiz sonuçları incelendiğinde, Elazığ Magmatitleri, Maden Karmaşığı ve Karabakır Formasyonu'na ait kayaçların oldukça yüksek SiO_2 oranına sahip olduğu görülmektedir. Ancak, yapılan petrografik incelemelerde bu kayaçların amorf silis mineralleri içermediği, alkali silis reaktivitesinin de amorf silis minerallerinden kaynaklandığı dikkate alınırsa (Baradan vd., 2001), analizlerde ortaya çıkan yüksek SiO_2 oranının betonda alkali silis reaktivitesine yol açmayacağını söylemek mümkündür. Nitekim, agregalarda yapılan alkali silis reaktivitesi deneyleri de bu sonucu doğrulamaktadır.

Kimyasal analizler, Harami Formasyonu hariç diğer birimlerin MgO değerlerinin %4'den büyük olduğu göstermektedir. Yüksek MgO oranı, agreganın çok ince olması ve kolayca

ayrışabilir durumda alkali karbonat reaksiyonuna (dedolomitasyon) sebep olabilmektedir. İncelenen birimlerin MgO oranları dikkate alındığında, Harami Formasyonu hariç bütün formasyonlarda alkali karbonat reaksiyonu olasılığı mevcuttur.

İncelenen birimlerin petrografik özellikleri ise TS EN 932-3 (1997)'e göre belirlenmiştir. Araziden derlenen örneklerden, incelenen her birim için 3 adet ince kesit hazırlamış ve polarizan mikroskopta petrografik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Keban Metamorfitleri'ne ait mermerler düzenli bir dokusal özellik sunmazlar. Dokular eş-boy taneli-girift ve poligonal özelliktedir. Esas olarak kalsit kristallerinden oluşan mermerlerde, kalsit kristalleri deformasyon ikizli olup, statik rekristalizasyon dan dolayı poligonal bir şekilde gelişmişlerdir.

Elazığ Magmatitleri'ne ait bazaltlar petrografik olarak, mikroporfirik ve intergranüler doku göstermektedir ve esas olarak plajiyoklas ve piroksen minerallerinden oluşmaktadır. Kuvars, kalsit, klorit ve epidot ikincil mineraller olarak bulunmaktadır. Opak mineraller ise tali bileşen olarak gözlenebilmektedir.

Harami Formasyonu'na ait kireçtaşları esas olarak fosil parçaları (intraklast) ile %70'den fazla orana sahip olan ve intraklastları bağlayan sparit çimentodan oluşmaktadır. Folk (1962) sınıflamasına göre intrabiyosparit olarak sınıflandırılmıştır.

Maden Karmaşığı'na ait bazaltlar, esas olarak öz ve yarı öz şekilli plajiyoklas fenokristalleri ile ayrışmamış piroksenlerden oluşmaktadır. Genel olarak vitroporfirik ve amigloidal doku gösterirler. Amigdaler klorit, kalsit ve zeolit gibi ikincil mineraller tarafından doldurulmuştur.

Kırkgeçit Formasyonu'na ait kireçtaşları, esas olarak Nummulites fosilleri ve ekstraklastlar ile bunları bağlayan karbonat çamurundan oluşmaktadır. Folk (1962) sınıflamasına göre ekstrabiyomikrittir.

Karabakır Formasyonu'na ait bazaltlar, plajiyoklas, olivin ve daha az olarak da piroksen ve opak minerallerden oluşmuştur. Genel olarak pilotaksitik doku görülmekle beraber, veziküler ve amigloidal dokular da görülebilmektedir. Plajiyoklas mineralleri çoğunlukla yarı özşekilli ve fenokraitaller halinde, olivin mineralleri ise öz şekilsiz ve yarı öz şekillidir. İkincil mineral olarak kalsit ve zeolit gözlenmektedir.

3.2. Birimlerin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

İnceleme kapsamındaki birimlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, araziden alınan blok örneklerden 18 adet 7x7x7 cm boyutlu prizmatik örnekler hazırlanmış ve TS 699 (1987) standardı esas alınarak, kuru ve doygun birim hacim ağırlık, ağırlıkça ve hacimce su emme, porozite ve serbest basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar (Çizelge 2) birim hacim ağırlık - serbest basınç dayanımı, ağırlıkça su emme - serbest basınç dayanımı, hacimce su

Çizelge 2. İnceleme alanından alınan örneklere ait fiziksel ve mekanik özellikler.

Birimler	Örnek sayısı	Birim hacim ağırlık (gr/cm^3)	Ağırlıkça su emme (%)	Hacimce su emme (%)	Porozite (%)	Doluluk oranı (%)	Serbest basınç dayanımı (kgf/cm^2)
Keban Metamorfitleri	18	2.53-2.68 2.55*	0.59-0.75 0.71*	1.73-1.97 1.91*	3.55-4.08 3.95*	94.05-94.37 94.10*	503.06-1021.61 738.64*
Elazığ Magmatitleri	18	2.64-2.74 2.68*	0.26-0.32 0.30*	0.68-0.92 0.82*	1.86-3.20 2.87*	94.96-96.14 95.04*	871.79-1619.15 1172.39*
Harami Formasyonu	18	2.54-2.72 2.60*	0.31-0.40 0.34*	0.88-1.24 0.92*	3.82-4.17 4.03*	93.73-94.22 94.20*	841.42-1119.36 1007.47*
Maden Karmaşığı	18	2.63-2.79 2.75*	0.24-0.34 0.28*	0.66-1.01 0.79*	1.24-1.669 1.09*	6.34-96.88 96.83*	872.71-1518.00 1287.96*
Kırkgeçit Formasyonu	18	2.29-2.43 2.37*	1.54-1.86 1.70*	3.47-4.50 4.25*	8.94-12.03 9.84*	86.09-89.34 88.43*	383.60-728.99 554.06*
Karabakır Formasyonu	18	2.69-2.80 2.76*	0.24-0.46 0.27*	0.55-0.81 0.76*	0.81-1.20 0.92*	96.76-97.22 97.18*	1329.78-1731.00 1592.63*

emme - serbest basınç dayanımı ve porozite - serbest basınç dayanımı arasındaki ilişkiler grafiksel olarak değerlendirilmiştir (Şekil 3).

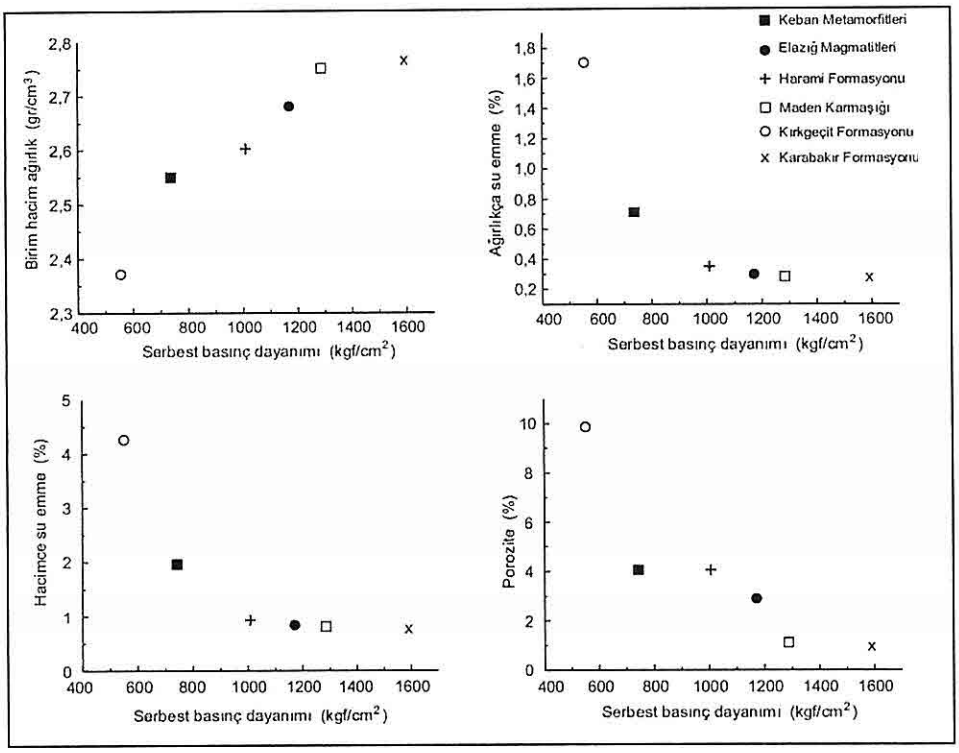
TS 699 (1987) standardına uygun olarak gerçekleştirilen deneylere ait sonuçlar Çizelge 2'de verilmiştir. Birimlerden derlenen örneklerde gerçekleştirilen deneylere ait sonuçlar incelendiğinde, Keban Metamorfitleri'ne ait rekristalize kireçtaşları ve Elazığ Magmatitleri'ne ait bazaltlar, Moos ve Quervaini (1948) tarafından önerilen porozite sınıflamasına göre "Çok Kompakt Kaya", Harami Formasyonu'na ait kireçtaşları, Maden Karmaşığı'na ve Karabakır Formasyonu'na ait bazaltların "Az Boşluklu Kaya", Kırkgeçit Formasyonu'na ait kireçtaşlarının ise "Orta Boşluklu Kaya" sınıfında yer aldıkları görülmektedir.

Deer ve Miller (1966) tarafından önerilen ve serbest basınç dayanımını esas alan sınıflamaya göre, beton agregası olabilme özelliği incelenen birimlerden Elazığ Magmatitleri, Harami Formasyonu Maden Karmaşığı ve Karabakır Formasyonu "Yüksek Dayanımlı Kaya", Keban metamorfitleri ile Kırkgeçit Formasyonu ise "Orta Dayanımlı Kaya"

sınıfında yer almaktadırlar.

Birimlerin fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler incelendiğinde, serbest basınç dayanımı değerinin artmasıyla birim hacim ağırlık değerlerinin arttığı, ancak ağırlıkça ve hacimce su emme ile porozitenin ise azaldığı görülmektedir (Şekil 3).

emme değeri minimum %1.73 maksimum %1.97 ve ortalama %1.91, porozite değeri minimum %3.55, maksimum %4.08 ve ortalama %3.95, serbest basınç dayanımı değeri ise minimum 503.06 kgf/cm^2, maksimum 1021.61 kgf/cm^2 ve ortalama 738.64 kgf/cm^2 olarak belirlenmiştir. Birimin porozite değerlerindeki artış ve



Şekil 3. Kayaçların serbest basınç dayanımı ile fiziksel özellikleri arasındaki ilişkiler

Keban Metamorfitleri'ne ait mermerlerin fiziko-mekanik özellikleri incelendiğinde, birim hacim ağırlığı minimum 2.53 gr/cm^3 ve maksimum 2.68 gr/cm^3 olup ortalama birim hacim ağırlık değeri 2.55 gr/cm^3, ağırlıkça su emme değeri minimum %0.59 maksimum %0.75 ve ortalama %0.71, hacimce su

buna bağlı olarak serbest basınç dayanımı değerinin azalması, kayacın içerdiği mikro çatlaklardan kaynaklanmaktadır.

Elazığ Magmatitleri'ne ait bazaltların birim hacim ağırlığı değeri minimum 2.64 gr/cm^3 ve maksimum 2.74 gr/cm^3 olup ortalama birim hacim ağırlık değeri 2.68 gr/cm^3, ağırlıkça su emme değeri

minimum %0.26 maksimum %0.32 ve ortalama %0.30, hacimce su emme değeri minimum %0.68 maksimum %0.92 ve ortalama %0.82, porozite değeri minimum %1.86, maksimum %3.20 ve ortalama %2.87, serbest basınç dayanımı değeri ise minimum 871.79 kgf/cm^2, maksimum 1619.15 kgf/cm^2 ve ortalama 1172.39 kgf/cm^2 olarak belirlenmiştir.

Harami Formasyonu'na ait kireçtaşlarının birim hacim ağırlığı değeri minimum 2.54 gr/cm^3 ve maksimum 2.72 gr/cm^3 olup ortalama birim hacim ağırlık değeri 2.60 gr/cm^3 , ağırlıkça su emme değeri minimum %0.31 maksimum %0.40 ve ortalama %034, hacimce su emme minimum %088 maksimum %1.24 ve ortalama %092, porozite değeri minimum %3.82, maksimum %4.17 ve ortalama %4.03, serbest basınç dayanımı değeri ise minimum 841.42 kgf/cm^2, maksimum 1119.15 kgf/cm^2 ve ortalama 1007.47 kgf/cm^2 olarak belirlenmiştir. Birimin fosil içermesi, kayacın porozite değerinin ve buna bağlı olarak ağırlıkça ve hacimce su emme değerlerinin artmasına, buna bağlı olarak da serbest basınç dayanımı değerinin azalmasına neden olmuştur.

Beton agregası olarak kullanılabilirliği incelenen birimlerden Maden Karmaşığı'na ait bazaltların birim hacim ağırlık değeri minimum 2.63 gr/cm^3, maksimum 2.79 gr/cm^3 ortalama değer ise 2.75 gr/cm^3 olarak belirlenmiştir. Bu bazaltların ağırlıkça su emme değeri minimum %0.24 maksimum %0.34 ve ortalama %0.28, hacimce su emme değeri minimum %0.66 maksimum %1.01 ve ortalama %0.79, porozite değeri minimum %1.24, maksimum %1.66 ve ortalama %1.09, serbest basınç dayanımı değeri ise minimum 872.71 kgf/cm^2, maksimum 1518.00 kgf/cm^2 ve ortalama 1287.96 kgf/cm^2 dir.

Kırkgeçit Formasyonu'na ait kayaçların fiziko-mekanik özellikleri incelendiğinde, bu kireçtaşlarının birim hacim ağırlığı değerlerinin minimum 2.29 gr/cm^3 maksimum 2.43 gr/cm^3 ortalama 2.37 gr/cm^3 olduğu, ağırlıkça su emme değerlerinin minimum %1.54, maksimum %1.86, ortalama %1.70, hacimce su emme değerinin minimum %3.47, maksimum %4.50, ortalama %4.25, porozite değerinin minimum % 8.94, maksimum %12.03, ortalama % 9.84, serbest basınç dayanımı değerinin ise minimum 383.60 kgf/cm^2, maksimum 728.99 kgf/cm^2 ve ortalama 554.06 kgf/cm^2 olduğu görülmektedir. Kırkgeçit Formasyonu'na ait kireçtaşları farklı tane boyutlu ekstraklastlar içermekte olup, bol fosillidir. Fosil içeriği ve boşluklu yapısı serbest basınç dayanımının azalmasına, diğer fiziksel özelliklerin ise olumsuz şekilde artmasına neden olmaktadır.

Elazığ bölgesinde oldukça geniş alanlarda yüzeyleme veren ve baskın olarak bazaltik kayaçlarla temsil edilen Karabakır Formasyonu'na ait bazaltlar, bölgenin en genç birimi olması nedeniyle tektonizmadan oldukça az etkilenmişlerdir. Bu nedenle birime ait bazaltlarda tektonizmadan kaynaklanan eklem ve çatlaklar yok denecek kadar azdır ve masif bir özelliğe sahiptir. Ayrıca, gaz boşluğu içermeyen seviyelerde boşluksuz olmaları nedeniyle oldukça

düşük porozite, ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri ile oldukça yüksek serbest basınç dayanımı değerine sahiptir. Bazaltların birim hacim ağırlığı minimum 2.69 gr/cm^3, maksimum 2.80 gr/cm^3, ortalama 2.76 gr/cm^3, ağırlıkça su emme değeri minimum %0.24, maksimum %0.46, ortalama %0.27, hacimce su emme değeri minimum %0.55, maksimum %0.81, ortalama %0.76, porozite değeri minimum %0.81, maksimum %1.20, ortalama %0.92, serbest basınç dayanımı değeri ise minimum 1329.78 kgf/cm^2, maksimum 1731.00 kgf/cm^2 ve ortalama 1592.63 kgf/cm^2 olarak belirlenmiştir.

4. AGREGALARIN KİMYASAL, FİZİKSEL ve MEKANİK ÖZELLİKLERİ

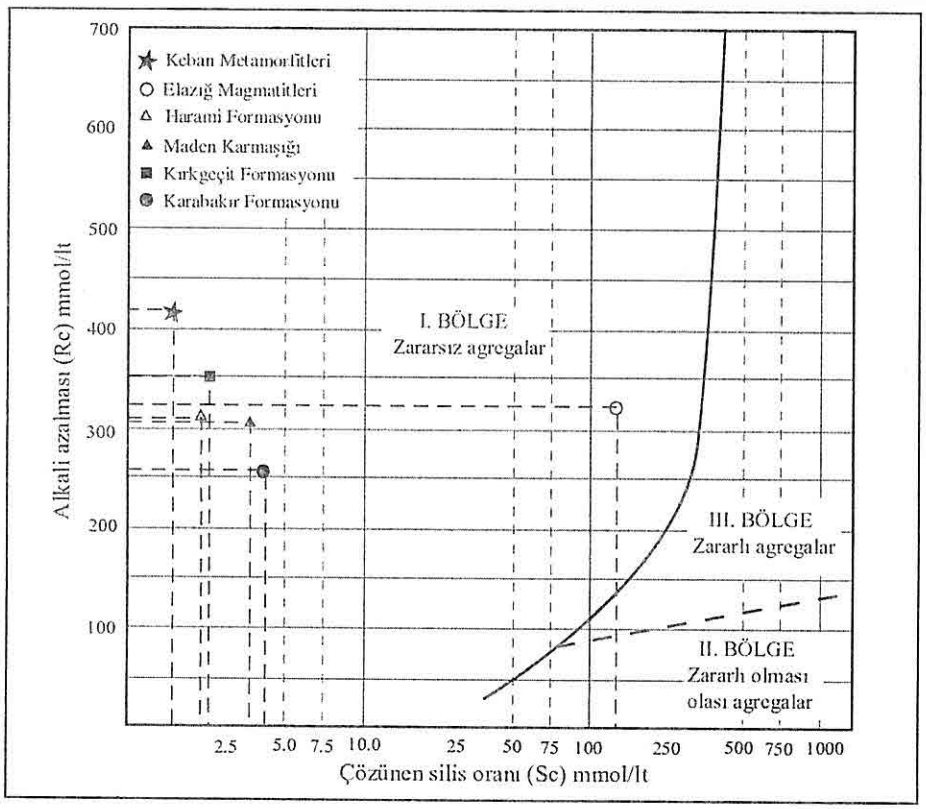
Bu çalışma kapsamında, beton agregası olarak kullanılabilirliği incelenen birimlerden çeneli kırıcı yardımıyla hazırlanan agrega örneklerinde TS 706 EN 12620 (2003) standardına göre laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Agregaların alkali silis reaktivitesi TS 2517 (1977) standardına, magnezyum sülfat ($MgSO_4$) çözeltisindeki don kaybı TS EN 1367-2 (1999) standardına, mineral dolgu malzemesinin miktarı TS 3527 (1980) standardına, kuru yoğunluk, tane yüzeyi kuru doygun yoğunluk, su emme TS EN 1097-6 (2002) standardına, darbe dayanımı TS EN 1097-2 (2000) ve Los Angeles aşınma dayanımı TS EN 1097-2 (2000) standardına göre gerçekleştirilmiştir.

Agregalarda alkali silis reaktivitesi deneyine ait sonuçların değerlendirildiği grafik Şekil 4'de, diğer deneylere ait sonuçlar ise Çizelge 3'de verilmiştir.

Keban Metamorfitleri'ne ait mermerlerden elde edilen agrega örneklerine ait deney sonuçları incelendiğinde, mermerlerde $MgSO_4$ çözeltisindeki don kaybı, yıkanabilen ince madde oranı ve Los Angeles aşınma katsayısı (LA) değerlerinin standartlarda verilen sınır değerleri aştığı görülmektedir. Bu durum, mermerlerin iri taneli olması ve oldukça yoğun bir tektonizma sonucu birimde gelişmiş olan mikro çatlaklardan kaynaklanmaktadır. Benzer şekilde Elazığ Magmatitleri'ne ait bazaltların $MgSO_4$ çözeltisindeki don kaybı değeri de limit değerlerin üzerinde olup, bu değerin fazla olmasının nedeni bölgede etkin olmuş olan aktif tektonizma ürünü mikro çatlaklardır.

Harami Formasyonu'na ait deney sonuçlarına göre, bu kireçtaşlarının Los Angeles aşınma katsayısı değeri LA35 tir ve TS EN 1097-2 standardına göre agrega olarak kullanılacak kayaçlarda bu değerin en fazla LA30 olması gerekmektedir. Harami Formasyonu'nun Los Angeles katsayısının yüksekliği, bu kireçtaşlarını oluşturan kalsit minerallerinin iri boyutlu olmasından kaynaklanmaktadır. Yüksek poroziteye sahip olması ve kum içermesi nedeniyle Kırkgeçit Formasyonu'na ait kireçtaşlarının da kumlu ve boşluklu olması nedeniyle Los Angeles katsayısı değeri limit sınırın üzerinde çıkmıştır.

İncelenen birimlerde gerçekleştirilen alkali silis reaktivitesi deneyi sonuçlarının grafiksel olarak değerlendirilmesi sonucunda, tüm birimlerin zararsız agrega sınıfında gruplandıkları belirlenmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Birimlere ait agregaların alkali silis azalması (Rc) – çözünmüş silis oranı (Sc) diyagramı.

5. BİRİMLERİN AGREGA OLABİLME AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Kayaçların beton agregası olarak kullanılabilirliği, kayaçlardan kırma işlemi sonucunda elde edilen agreganın TSE standartlarında öngörülen sınır şartlarına uygun olmasına bağlıdır. Bu nedenle, kayaçlardan elde edilen agregalarda TSE standartlarında belirtilen deneylerin gerçekleştirilmesi ve elde edilen deney sonuçlarının, standartlarda verilen sınır değerlerle karşılaştırılması gerekmektedir.

Çizelge 3'de verilen deney sonuçlarının TSE standartları sınır değerlerine göre uygunluğu incelendiğinde, Maden Karmaşığı ve Karabakır Formasyonu'na ait bazaltların tüm özelliklerinin agrega olabilmeye uygun olduğu görülmektedir (Çizelge 4). Keban Metamorfitleri'nin doygun özgül ağırlık, Los Angeles katsayısı, magnezyum sülfat çözeltisindeki don kaybı değerleri ve yıkanabilir madde oranı değerleri, Elazığ Magmatitleri'nin magnezyum sülfat çözeltisinde don kaybı ve doygun özgül ağırlık değerleri, Harami Formasyonu ve Kırkgeçit Formasyonu'nun ise doygun özgül ağırlık

Çizelge 3. Agrega örneklerinin MgSO4 çözeltisinde don kaybı, kuru, yüzey kuru doygun ve görünür özgül ağırlık, su emme, yıkanabilen ince madde oranı ve Los Angeles katsayısı değerleri.

Birim	Örnek sayısı	$MgSO_4$ çözeltisinde don kaybı (%)	Kuru Özgül Ağırlık	Doygun Özgül Ağırlık (yüzey kuru)	Görünür Özgül Ağırlık	Su emme (%)	Yıkanabilen ince madde oranı (%)	Los Angeles katsayısı (LA)
Keban Metamorfitleri	9	17.44-24.10	2.44-2.60 20.50*	2.47-2.61 2.52*	2.51-2.65 2.54*	0.74-1.51 2.58*	0.88-1.21 1.12*	LA40 1.046*
Elazığ Magmatitleri	9	13.90-23.98	2.46-2.58 18.77*	2.49-2.60 2.52*	2.53-2.69 2.54*	0.97-1.24 2.59*	0.039-0.044 1.09*	LA20 0.042*
Harami Formasyonu	9	6.14-8.82	2.26-2.55 7.62*	2.30-2.56 2.43*	2.28-2.61 2.45*	0.68-0.99 2.47*	0.025-0.054 0.81*	LA35 0.039*
Maden Karmaşığı	9	5.06-7.94	2.54-2.59 6.65*	2.48-2.59 2.56*	2.55-2.66 2.57*	0.28-0.81 2.59*	0.011-0.052 0.50*	LA15 0.024*
Kırkgeçit Formasyonu	9	9.80-15.00	2.27-2.36 12.04*	2.28-2.40 2.30*	2.37-2.44 2.34*	1.21-2.14 2.40*	0.016-0.14 1.75*	LA50 0.048*
Karabakır Formasyonu	9	4.23-5.14	2.50-2.62 4.80*	2.50-2.65 2.56*	2.57-2.73 2.57*	1.05-1.45 2.64*	0.008-0.023 1.26*	LA25 0.012*

* Ortalama değer

ve Los Angeles katsayısı değerleri TSE standartlarında verilen limit değerlere uygun değildir ve bu kayaçların agrega olarak kullanılması sakıncalıdır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Elazığ ili ve yakın çevresinde yüzeyleme veren Keban Metamorfitleri'ne ait rekristalize kireçtaşları, Elazığ Magmatitleri'ne ait bazaltlar, Harami Formasyonu'na ait kireçtaşları, Maden Karmaşığı'na ait bazaltlar, Kırkgeçit Formasyonu'na ait kireçtaşları ile Karabakır Formasyonu'na ait bazaltların beton agregası olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla arazi çalışmaları sırasında derlenen kayaç örneklerinin TSE standartlarına göre jeokimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiş ve birimlerin beton agregası olabilme özellikleri ortaya konulmuştur. Yapılan çalışmalardan elde

Çizelge 4. Deney sonuçlarına göre iri agrega örneklerinin TSE standartları sınır değerlerine uygunluğu.

Deneyler	TSE ve sınır değerleri	Keban Metamorfitleri	Elazığ Magmatitleri	Birim			
				Harami Formasyonu	Maden Karmaşığı	Kırkgeçit Formasyonu	Karabakır Formasyonu
Alkali silis reaktivitesi	TS 2517	Zararsız agrega	Zararsız agrega	Zararsız agrega	Zararsız agrega	Zararsız agrega	Zararsız agrega
Magnezyum sülfat çözeltisinde don kaybı, MS (%)	TS EN 1367-2 ≤ %18	20.50	18.77	7.62	6.65	12.04	4.80
Doygun özgül ağırlık (yüzey kuru), rssd	TS EN 1097-6 > 2.55	2.54	2.54	2.45	2.57	2.34	2.57
Su emme, WA24 (%)	TS EN 1097-6 < %3	1.12	1.09	0.81	0.50	1.75	1.26
Yıkanabilir madde oranı, my (%)	TS 3527 < %05	1.046	0.042	0.039	0.024	0.048	0.012
Los Angeles aşınma dayanımı (LA)	TS EN 1097-2 LA30 (≤ %30)	LA40	LA20	LA35	LA15	LA50	LA25

edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1. Keban Metamorfitlerine ait rekristalize kireçtaşları ve Elazığ Magmatitleri'ne ait bazaltlar, Moos ve Quervaini (1948) tarafından önerilen porozite sınıflamasına göre "Çok Kompakt Kaya", Harami Formasyonu'na ait kireçtaşları, Maden Karmaşığı'na ve

Karabakır Formasyonu'na ait bazaltlar "Az Boşluklu Kaya", Kırkgeçit Formasyonu'na ait kireçtaşlarının ise "Orta Boşluklu Kaya" sınıfında yer almaktadır.

2. Deer ve Miller (1966) tarafından önerilen ve serbest basınç dayanımını esas alan sınıflamaya göre, Elazığ Magmatitleri, Harami Formasyonu Maden Karmaşığı ve Karabakır Formasyonu "Yüksek Dayanımlı Kaya", Keban metamorfitleri ile Kırkgeçit Formasyonu ise "Orta Dayanımlı Kaya" sınıfındadır.

3. Keban Metamorfitleri'ne ait mermerlerde gerçekleştirilen deneylere ait sonuçlara göre, mermerlerin serbest basınç dayanımları ve doygun özgül ağırlık değerleri düşük, magnezyum sülfat çözeltisinde don kaybı, yıkanabilir madde oranı ve Los Angeles aşınma katsayısı değerleri de TSE standartlarında verilen limit değerlerin üzerindedir. Mermerlerin iri kristalli olması ile birlikte mikro çatlaklar içeriyor olması, serbest basınç dayanımında azalmaya, magnezyum sülfat çözeltisinde don kaybının, yıkanabilir madde oranının ve Los Angeles aşınma katsayısının artmasına neden olmaktadır. Bu sonuçlar dikkate alındığında, Keban Metamorfitleri'ne ait mermerlerin beton agregası olarak kullanılması sakıncalıdır.

4. Elazığ Magmatitleri'ne ait bazaltlara ait deney sonuçları magnezyum sülfat çözeltisinde don kaybı ve doygun özgül ağırlık hariç, diğer bütün sonuçların TSE standartlarında verilen limit değerlere uygun olduğunu göstermektedir. Bazaltlarda magnezyum sülfat çözeltisinde don kaybı değerinin yüksek olmasının nedeni, birimin oldukça yoğun bir tektonizmaya maruz kalmış olması ve bu tektonizma sonucunda kayaçta gelişmiş olan mikro çatlaklardır. Bu sonuçlar dikkate alındığında, birim beton üretiminde agrega olarak kullanılmamalıdır.

5. Harami Formasyonu'na ait kireçtaşları ortalama 1007.47 kgf/cm^2 lik serbest basınç dayanımı ile yüksek dayanımlı kaya sınıfındadır. Birim, alkali agrega reaktivitesi açısından zararsız agrega sınıfında, magnezyum sülfat çözeltisindeki don kaybı, su emme ve yıkanabilir madde oranı TSE standartlarında verilen limit değerlere uygun olmasına karşın, doygun özgül ağırlık değeri ile Los Angeles katsayısı limit değerlere uygun değildir. Kireçtaşlarını oluşturan kalsit minerallerinin iri boyutlu olması ve birimin fosil içermesi, Los Angeles aşınma direncini olumsuz olarak etkilemektedir ve birimden elde edilecek agreganın beton üretiminde kullanılması uygun değildir.

6. Maden Karmaşığı'na ait bazaltlardan elde edilen agrega örneklerinde gerçekleştirilen deney sonuçları, bu bazaltların tüm özelliklerinin beton agregası olarak kullanılabilmeye uygun olduğunu göstermektedir. Ancak, Maden Karmaşığı volkano-sedimanter özelliktedir ve homojen bir litolojiye sahip değildir. Özellikle bazalt ve andezit gibi yüzey kayaçları çamurtaşı ve kireçtaşları ile ardalanma sunmaktadır. Birimden beton agregası elde etmek için malzeme alınması sırasında, alınacak malzemenin mümkün olduğu kadar sadece bazaltların

yüzeylediği alanlardan alınması ve ara seviyeler halindeki çamurtaşlarının alınacak malzemeye karışmamasına özen gösterilmesi gereklidir. Özellikle, Maden İlçesi kuzeybatısında yüzeyleme veren ve sütun bazalt karakterindeki bazaltlar tercih edilmeli, diğer alanlarda yüzeyleme veren ve volkano-sedimanterlerle ardalanma sunan bazaltlardan kesinlikle malzeme alınmamalıdır. Ayrıca, birime ait bazaltların MgO oranının yüksek olması nedeniyle, alkali-karbonat reaksiyonunun oluşmasına engel olmak için beton üretiminde çok ince taneli agreganın kullanılmasından kaçınılmalıdır.

7. Kırkgeçit Formasyonu'na ait kireçtaşlarının ortalama serbest basınç dayanımı 554.06 kgf/cm^2 olarak belirlenmiştir ve orta dayanımlı kaya sınıfındadır. Birim, farklı tane boyutlu ekstraklastlar içermekte olup, bol fosillidir. Fosil içeriği ve boşluklu yapısı serbest basınç dayanımının ve Los Angeles aşınma katsayısı değerinin azalmasına neden olmaktadır. Birimin Los Angeles aşınma katsayısı LA50 dir ve standartlarda verilen limit değerlerin oldukça altında bir aşınma direncine sahiptir. Bu olumsuz özellikler dikkate alındığında, Kırkgeçit Formasyonu'na ait kireçtaşları kesinlikle beton agregası olarak kullanılmamalıdır.

8. Karabakır Formasyonu'na ait bazaltlara ait laboratuvar deney sonuçları, birimin beton agregası olarak kullanılmasında herhangi bir sakınca olmadığını göstermektedir. Nitekim, Elazığ İl merkezine yakın ve geniş alanlarda yüzlek vermesi ve tüm özelliklerinin beton agregası olarak kullanılmaya uygun olması nedeniyle, birime ait bazaltlar beton üretiminde çok yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak, bu bazaltlar bütün sahada benzer özellikler sunmamaktadır. Elazığ ili yakın kuzeybatısındaki alanlarda, özellikle Şahinkaya ve Körpe köyleri civarındaki bazaltlar, oldukça fazla oranda ikincil mineraller tarafından doldurulmuş gaz boşluğu içermektedir. Bazaltların içerdiği ve ikincil mineraller tarafından doldurulmuş olan bu gaz boşlukları, özellikle özgül ağırlığı, su emme oranı, serbest basınç dayanımı ve Los Angeles aşınma dayanımı değerlerini olumsuz yönde etkilemekte ve TSE standartlarında verilmiş olan sınır değerlerine uygunluğunu ortadan kaldırmaktadır. Ayrıca, formasyonun aynı alanlarda kiltaşı ara seviyeleri içermesi de birimden yeterli kaliteye sahip agrega elde edilmesini engellemektedir. Bu durumlar dikkate alındığında, beton üretiminde kullanılacak olan agreganın gaz boşluğu içermeyen yüzeylemelerden elde edilmesi önem taşımaktadır. Özellikle Altunkuşak Köyü civarında 15 m kalınlığa ulaşabilen lav akıntıları şeklindeki bazaltların tercih edilmesi, üretilecek betonun kalitesi açısından oldukça önemlidir. Ayrıca, birime ait bazaltların MgO oranının yüksek olması nedeniyle, alkali-karbonat reaksiyonunun oluşmasına engel olmak için beton üretiminde çok ince taneli agreganın kullanılmasından kaçınılmalıdır.

9. TSE standartlarına göre beton üretimi sırasında kullanılacak olan agreganın kübik şekilli olması

gerekmektedir. Bu nedenle, agrega üretimi sırasında yassı tanelerin oluşumunu engellemek için mutlaka darbeli tipte çeneli kırıcıların kullanılması gerekmektedir. Böylece, üretim sırasında beton agregası için uygun olmayan tane şekline sahip üretim kayıpları da önlenmiş olacaktır.

10. Beton agregası olarak kullanılabilme açısından uygunluk gösteren Maden Karmaşığı'na ait bazaltlar, Elazığ'ın Maden ilçesine yakın bölgelerde yüzeyleme sunmaktadır. Ulaşım açısından oldukça avantajlı bir bölgede bulunan bazaltlardan agrega üretimi için yapılacak işletme çalışmalarının yeraltı suyu açısından herhangi bir etkisinin olacağı düşünülmemektedir. Çünkü, birim yeraltı suyu açısından çok fakir olduğu gibi, çok az miktarda yeraltı suyunun mevcut olduğu bölgelerde, bu yeraltı suyundan sulama veya kullanma amaçlı olarak faydalanan herhangi bir yerleşim birimi de bulunmamaktadır. Ancak, işletme sırasında bazaltlarla ara katkılı olan ve agrega olarak kullanılma özelliğine sahip olmayan çamurtaşlarının çevre kirliliğine olan etkisini azaltmak için, bu çamurtaşlarının belirlenecek uygun depolama alanlarında biriktirilmesi uygun olacaktır.

11. Karabakır Formasyonu'na ait bazaltların agrega olarak işletilmesi sırasında da yeraltı suyu açısından herhangi bir olumsuz etki söz konusu olmayacaktır. Çünkü, Karabakır Formasyonu'na ait bazaltlar, gaz boşluğu içermeyen oldukça düşük poroziteye sahip bazaltlar ve gaz boşluklu bazaltlar olmak üzere iki tiptedir. Agrega olarak kullanılmaya uygun olan bazaltlar gaz boşluğu içermeyen bazaltlardır ve bu bazaltların yüzlek verdiği alanlarda yeraltı suyu çok sınırlıdır ve kullanılabilecek bir miktara sahip değildir. Ancak, bu bazaltların işletilmesi sırasında da üretim artıklarının çevre kirliliğine olumsuz etki yapmasını engellemek için, bu üretim artıklarının önceden belirlenecek olan depolama alanlarında biriktirilmesi çevre kirliliğini önlemek açısından önem taşımaktadır.

7. KAYNAKLAR

Aksoy, E., 1993; Elazığ batı ve güneyinin genel jeolojik özellikleri, Türk Yerbilimler Dergisi, 1 (1), 113-123.

Aksoy, E. ve Tatar, Y., 1990; Van ili doğu-kuzeydoğu yöresinin stratigrafisi ve tektoniği, TÜBİTAK Doğa Mühendislik ve Çevre Bilimleri Dergisi, 14, 628-644.

Aksoy, E., Türkmen, İ., Turan, M. ve Meriç, E., 1999; Harami Formasyonu'nun (Üst Kampaniyen-Maastrihtiyen) stratigrafik konumu ve çökelme ortamıyla ilgili yeni bulgular, Elazığ güneyi, TPJD Bülteni, 11/1, 1-15.

Aktaş, E. and Robertson, A. H. F., 1984; The Maden Complex SE Turkey; evolution of the neotethiyan active margin; Dixon, J. E. And Robertson, A.H. F., edts., The Geologycal Evolution ofthe Eastern Metiterranean London, 375-402.

Altunbey, M., 1996; Tuzbaşı - Kanatburun - Ayazpınar (Pertek/Tunceli) yöresindeki demir cevherleşmelerinin jeolojisi ve kökeni. Fırat Üniversitesi Fen

of concrete and road upper layer was compared to the TS and ASTM standards. It's been concluded that they meet the limit values in terms of physical properties and the level of abrasion in terms of mechanical properties, but some of the aggregate samples do not meet the limit values in terms of frost resistance. In conclusion, the Zonguldak-Sapça quarry aggregates can be used as concrete aggragate or road upper layer material except very cold regions.

1. GİRİŞ

Doğal malzemeler arasında yer alan agregalar özellikle inşaat sektöründe beton yapımı, yol üst yapısı, köprü, yol parkesi, blokaj, bordür taşı, tünel, çatı arduvazı, demiryolu gibi alanlarda kullanılmaktadır. Beton yapısında kullanılan agregaların sağlam olması, aşınmaması, suyun etkisiyle yumuşamaması, dağılmaması, çimento bileşenleriyle zararlı bileşikler meydana getirmemesi ve donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşürmemesi istenmektedir. Tanelerin biçimi, dokusu iyi olmalı, büyüklük bakımından dağılımı, amaca ve standartlara uygun olmalı ve agrega içinde betona zarar verecek maddeler bulunmamalıdır (Şimşek, 2003). Yol üst yapısında kullanılan agregalar ise temiz, pürüzlü, sağlam tanelerden oluşmalı, içinde yumuşak ve dayanıksız parçalar, kil, organik ve zararlı maddeler serbest veya agregayı sarmış halde bulunmamalıdır. Agreganın don kaybı, aşınma kaybı, soyulma mukavemeti, gradasyonu, yassılık indeksi ve cilalanma değeri amaca ve standartlara uygun olmalıdır (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2004). Bu nedenle kullanılan agregaların, kullanım yeri ve amaçları dikkate alınarak, sağlanması gereken şartlar incelenmeli, fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmalıdır.

Çalışma alanı, Zonguldak il sınırları içerisindeki Sapça Köyü'nde faaliyet gösteren ve Zonguldak yolunun 19+400 km'sinde doğuya doğru 300 m içerisinde yer alan Zonguldak-Sapça taş ocağıdır (Şekil 1). Ocağın boyu 250 m, eni 100 m ve yüksekliği 40 m civarında olup, görünür rezervi 1.000.000 m^3 tür.

2. GENEL JEOLOJİ

Sapça taş ocağı ve yakın çevresinde, yaşlıdan gence doğru; kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı ve dolomit ardalanmalarından oluşan Vizeyen yaşlı Yılanlı Formasyonu ile glokonili kumtaşı, kiltaşı ve kumlu kireçtaşı ardalanmalarından oluşan Albiyen yaşlı Sapça Formasyonu bulunmaktadır. Sapça Formasyonu, sığ kesimlerde çökelmiş, karbonatlı kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve kumtaşı ardalanmalarından oluşan Himmetoğlu Üyesine ayrılmakta (Şekil 2) (Yergök vd., 1987); çalışmaya konu olan taş ocağı da Himmetoğlu Üyesi içinde yer almaktadır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Numune Alma

Zonguldak-Sapça taş ocağı agregalarının fiziksel ve mekanik

Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritası.

özelliklerini belirlemek için gerekli agrega numuneleri, amacına yönelik olarak TS 707 (Beton Agregalarından Numune Alma ve Deney Numunesi Hazırlama Yöntemi)'ye göre alınmıştır. Sapça taş ocağınıdan alınan 9 adet agrega numunesi dörde bölerek küçültme (çeyrekleme) yöntemi kullanılarak hazırlanmıştır.

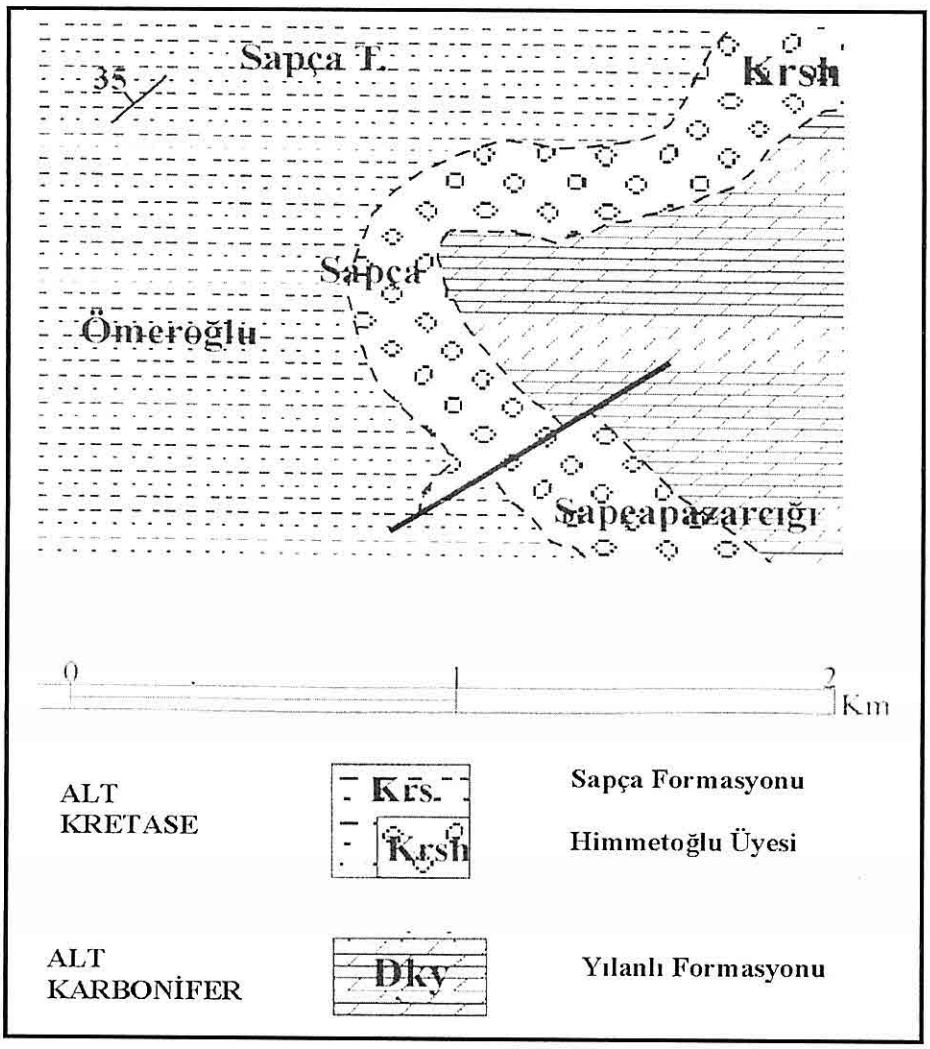
3.2. Petrografik Özellikler

Petrografik inceleme sonucunda, Zonguldak-Sapça taş ocağında kireçtaşı kökenli ana kayacı temsil eden numunelerin bol miktarda kalsit, epidot, kuvars, glokoni minerali ve karbonat agregatları içerdiği, tektonizma sonucu tanelerde sıkışma, bazı tanelerde diyajenez sonucu dolomitleşme olduğu gözlenmiştir. Biyo-litoklastlı istif taşı karakterindedir.

3.3. Kimyasal Özellikler

Zonguldak-Sapça taş ocağından alınan makro örneklerin Na_2CO_3 ile ergitilip çözeltiye alınması yöntemiyle tespit edilen kimyasal analiz sonucu Çizelge 1'de verilmiştir.

Kimyasal analiz sonucunda CaO oranının % 35.95 olması ana kayacın kireçtaşı kökenli olduğunu göstermektedir.



Şekil 2. Çalışma alanı jeoloji haritası (Yergök vd., 1987).

3.4. Fiziksel Özellikler

3.4.1. Tane Özellikleri

Tane Şekli: Agrega tanelerinin şekli, taze betonun işlenebilme özelliğini ve buna bağlı olarak betonun su ihtiyacını ve hapsolmuş hava miktarını artırabilmekte ve beton dayanımının ve dayanıklılığının az olmasına yol açmaktadır. Türk standardlarında tane büyüklüğü 8 mm ve daha fazla olan iri agregalardaki şekil bakımından kusurlu (yassı veya uzun) tanelerinin oranının % 50'den çok olmaması istenmektedir (Erdoğan, 2003; Midness vd., 2002). Tane şeklinin belirlenmesi ASTM D 2488'e göre yapılmış, Zonguldak-Sapça taş ocağından

Çizelge 1. Kimyasal analiz sonuçları.

SiO_2 (%)	CaO (%)	MgO (%)	Fe_2O_3 (%)	Al_2O_3 (%)	K_2O (%)	Na_2O (%)	Ateş Zaiyatı (Nem ve Kül) (%)	Toplam (%)
16.20	35.95	4.95	1.85	4.25	0.68	0.10	34.50	98.48

alınan agrega numunelerinde kusurlu tanelerin, toplam agrega ağırlığının % 25.63'ünü oluşturduğu görülmüştür. Beton agregaları için kusurlu tane miktarı limit değeri sağlamaktadır.

Tane Yüzeyi: Beton basıncını arttıracağı için pürüzlü taneler, düz tanelere tercih edilmektedir. Zonguldak-Sapça taş ocağı agregalarının yüzey dokusu ince taneli bir yapı göstermektedir. BS 812 dikkate alınarak incelendiğinde (BS 812, 1975) çalışma alanında pürüzlü tanelerin miktarının toplam agrega ağırlığının %55.23'ünü oluşturduğu görülmektedir.

3.4.2. Elek Analizi

Elek analizi TS 3530 EN 933-1 standardı (1999) takip edilerek yapılmıştır. Zonguldak Sapça taş ocağından alınan 9 adet agrega numunesinin elek analizi sonucunda gradasyon eğrileri çizilerek, kumun incelik modülü, zemin cinsi, agregaların ağırlıkça dağılımı ve maksimum tane boyutu belirlenmiştir.

3.4.2.1. Kumun İncelik Modülü

Kumun incelik modülü agrega tanelerinin ortalama olarak ne mertebede olduğunu belirtmektedir. Türk Standartları kumun incelik modülünün sınır değerini vermemektedir (Erdoğan, 2003). Ancak ASTM C 33'e göre kumun incelik modülünün 2.3'den az 3.1'den fazla olmaması gerekmektedir (ASTM C 33, 1980). Zonguldak-Sapça taş ocağından alınan agrega numunelerinde kumun incelik modülü minimum 5.48, maksimum 6.1 ve ortalama olarak 5.85'tir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Kumun incelik modülü.

Numune No	Yığışımlı Kalan (%)	İncelik Modülü (İM)
1	592.96	5.9
2	594.75	5.94
3	548.57	5.48
4	573.06	5.73
5	579.9	5.79
6	601.98	6.01
7	588.62	5.88
8	587	5.87
9	614.5	6.1
Kumun Ortalama İncelik Modülü		5.85

Kumun incelik modülü sonuçlarının ASTM C 33 standardının (2.3< İM >3.1) üzerinde olduğu belirlenmiştir. Tanelerin ortalama büyüklüğünün 2.380 mm olması ise kumun iri taneli olduğunu

göstermektedir.

3.4.2.2. Zemin Cinsi

Elek analizi sonucunda birleştirilmiş zemin sınıflaması sistemi kullanılarak tane boyutuna göre zemin sınıflaması yapılmış, çakılın Cu üniformluk katsayısı ve Cc eğrilik katsayısı sonuçlarının limit değerlerin altında olması, çakılın tane dağılımı kötü derecelenmiş çakıl, çakıl-kum karışımı GP grup simgesinde; kumun Cu limit değeri sağlaması ancak Cc limit değeri sağlamaması, kötü derecelenmiş kum SP grup simgesinde olduğunu göstermektedir (Çizelge 3).

3.4.2.4. Maksimum Tane Boyutu 31.5 mm Olan Ortalama Agreganın Gradasyon Sınır Değerleri

Zonguldak-Sapça taş ocağından alınan toplam 9 adet numunenin maksimum tane boyutu (Dmax) Çizelge 5'de gösterilmiştir.

Şekil 3'de ise maksimum tane boyutu 31.5 mm (Dmax= 31.5 mm) olan agregalar için TS 706'da verilen sınır eğrileri gösterilmiştir (TS 706, 1980).

Alınan 9 numunenin maksimum tane boyutları ortalama değeri 29.63 mm olarak bulunmuştur. TS 706'da Dmax= 16 mm ve Dmax= 31.5 mm için sınır eğrileri mevcut olduğundan ve ortalama Dmax= 29.63 mm bulunduğundan numunelere ait gradasyon eğrisinin Dmax= 31.5 mm olan sınır eğrileri ile karşılaştırılması uygundur. Şekil 3'de görüldüğü üzere, yapılan karşılaştırma sonucunda incelemeye konu olan Zonguldak-Sapça agregaları A ve B ideal eğrisi arasında kaldığından agreganın gradasyonu çok iyi olarak tanımlanmıştır.

Çizelge 3. Cu üniformluk ve Cc eğrilik değerleri.

	$Cu=D_{60}/D_{10}$	$Cc=(D_{30})^2/D_{10}*D_{60}$
Çakıl	23.08/7.14 =3.23<4	$(12.3)^2/23.08*7.14=0.91(1\sim3)$
Kum	2/0.216 =9.2>6	$(0.590)^2/0.216*2=0.8(1\sim3)$

3.4.2.3. Ağırlıkça Dağılım (%)

Betonun ekonomik olabilmesi için tane boyutu büyük olan agrega kullanılması gerekmektedir. Tane boyutu büyük olan iri agrega kullanıldığında daha az miktarda çimento, su ve ince agrega kullanılmaktadır (Erdoğan, 2003; Midness vd., 2002). Elek analizi sonucunda agreganın %72'sinin çakıl boyutunda olduğu sonucuna varılmıştır (Çizelge 4).

Ayrıca kumun gradasyonunun eğrinin alt sınırında olması ve ortalama kumun incelik modülünün 5.85 olması kumun iri taneli olduğunu göstermektedir.

3.4.3. Birim Ağırlık

Birim ağırlık agrega tanelerinin belirli hacim içerisinde bir araya gelerek ne kadar sıkı bir paket oluşturabileceğini

Çizelge 4. Tane boyutu ve yüzde miktarı.

Tane Boyutu	Yüzde miktarı
0.42 > D >0.076 mm	İnce Kum %7
2.00 > D > 0.42 mm	Orta Kum %10
4.76 > D > 2.00 mm	İri Kum %11
19.1 > D > 4.76 mm	İnce Çakıl %38
50.8 > D > 19.1 mm	İri Çakıl %34

Çizelge 5. Maksimum tane boyutları.

Numune No	Maksimum Tane Boyutu (mm)
1	25.4
2	25.4
3	25.4
4	25.4
5	25.4
6	38.1
7	25.4
8	38.1
9	38.1
Ortalama Maksimum Tane Boyutu	29.63

işaret etmektedir (Erdoğan, 2003; Midness vd., 2002). Birim ağırlığı yüksek bir betonun dayanımı, dayanıklılığı, taşıma gücü fazladır. Ayrıca agreganın sıkışma oranı ne kadar fazla olursa basınç dayanımı ve dış etkilere dayanımı o kadar fazla olur (Şimşek, 2003). TS 3529 standardına (1980) göre agrega numunesinin sıkışık ve gevşek birim ağırlığı (çakıl ve kum) belirlenmiş, Çizelge 6'da ortalama sıkışık ve gevşek birim ağırlık deneyi sonuçları verilmiştir.

Çizelge 6. Ortalama sıkışık ve gevşek birim ağırlık sonuçları.

Ortalama Sıkışık Birim Ağırlık (kg/m^3)	Çakıl Kum	1542 1730
Ortalama Gevşek Birim Ağırlık (kg/m^3)	Çakıl Kum	1381 1565

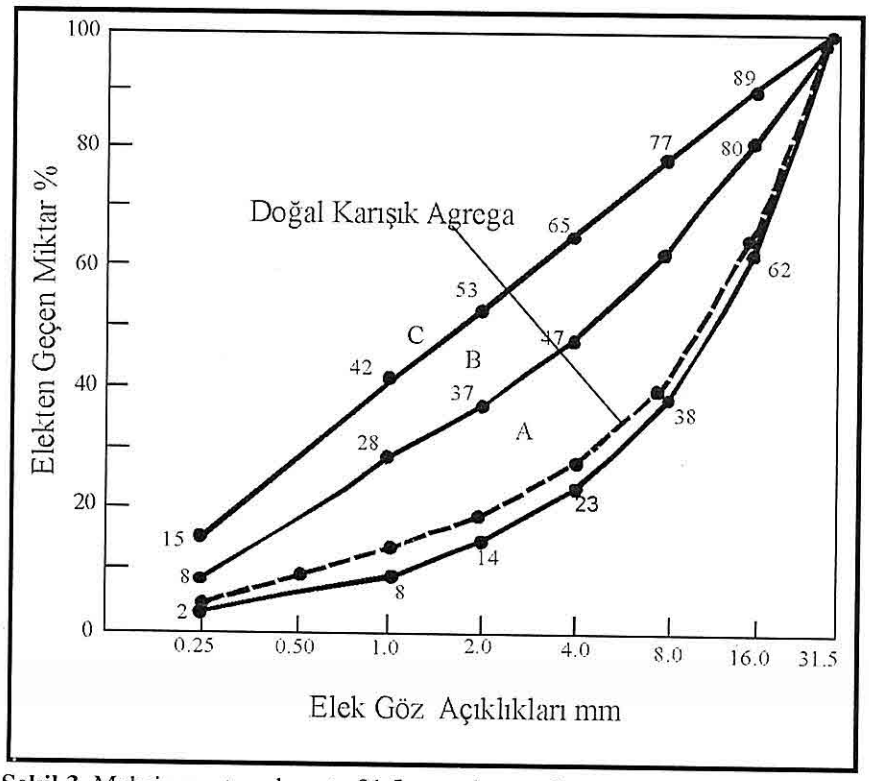
Sıkışık birim ağırlık deneyi sonucunda; çakıl için sıkışık birim ağırlık değerlerinin minimum 1466 kg/m^3, maksimum 1621 kg/m^3 ve ortalama olarak 1542 kg/m^3; kum için ise minimum 1621 kg/m^3, maksimum 1828 kg/m^3 ve ortalama olarak 1730 kg/m^3 değerlerinde olduğu saptanmıştır. Sıkışık birim ağırlık için limit sınır yoktur.

Gevşek birim ağırlık deneyi sonucunda; çakıl için gevşek birim ağırlık değerlerinin minimum 1276 kg/m^3, maksimum 1466 kg/m^3 ve ortalama olarak 1381 kg/m^3; kum için ise minimum 1431 kg/m^3, maksimum 1673 kg/m^3 ve ortalama olarak 1565 kg/m^3 değerlerinde olduğu saptanmıştır. Gevşek birim ağırlığın kum için limit değeri minimum 1350 kg/m^3, çakıl için limit değeri minimum 1250 kg/m^3 olması gerekmektedir (TS 3529, 1980). Gevşek birim ağırlık deneyi sonuçlarının kum ve çakıl için limit değerleri karşıladığı saptanmıştır.

3.4.4. Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı

3.4.4.1. İri Agreganın (Çakıl) Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı

Agreganın özgül ağırlık değeri,



Şekil 3. Maksimum tane boyutu 31.5 mm olan ortalama agreganın gradasyon eğrisi (TS 706, 1980).

betonda yer alabilecek malzeme miktarının hesaplanmasında kullanılmakta, çimento, su ve agreganın özgül ağırlıkları bilindiğinde bu malzemelerin 1 m^3 içindeki hacimleri hesaplanabilmektedir (Erdoğan, 2003; Midness vd., 2002).

Agreganın su emme kapasitesi hem betonda kullanılacak agreganın dayanıklılığı hem de malzemelerin karışımı için yapılan hesaplamalarda önemlidir. TS 3526 standardına göre iri agrega (çakıl) numunelerinin özgül ağırlık ve su emme oranları belirlenmiş (Çizelge 7), çakıl için özgül ağırlık değerinin minimum 2.68, maksimum 2.74 ve ortalama olarak 2.69 değerinde olduğu saptanmıştır.

Çakıl için özgül ağırlık limit değerin minimum 2.6 olması gerekmekte (TS 3526, 1980) ve deney sonuçları limit değeri sağlamaktadır.

Su emme oranı deneyi sonucunun çakıl için minimum %0.54, maksimum %1.97 ve ortalama %1.02 değerinde olduğu saptanmıştır.

Çakıl için su emme oranı miktarının maksimum %2,5 olması gerekmekte (TS 3526, 1980) ve deney sonuçları, limit değeri sağlamaktadır.

Çizelge 7. İri agreganın (çakıl) özgül ağırlık ve su emme oranları

Numune No	Doygun Kuru Yüzey Ağırlığı (W_2) (g)	Ölçü Kabı Su ve Numunenin Ağırlığı (W_3) (g)	Kuru Ağırlığı (W_1) (g)	Kuru Özgül Ağırlığı (θ_k)	Doygun Yüzey Özgül Ağırlığı (θ_d)	Özgül Ağırlığı (θ_g)	Su Emme (%) (m_c)
1	1500	936	1485	2.63	2.66	2.7	1.01
2	1500	935	1489	2.63	2.65	2.68	0.74
3	1505	937	1492	2.62	2.64	2.68	0.54
4	1504	939	1492	2.64	2.66	2.69	0.80
5	1506	938	1492	2.62	2.65	2.69	0.54
6	1488	919	1465	2.57	2.61	2.68	1.57
7	1501	938	1488	2.64	2.66	2.7	0.87
8	1451	898	1423	2.57	2.62	2.71	1.97
9	1439	904	1422	2.65	2.68	2.74	1.2
Toplam Ortalama Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Değeri				2.61	2.64	2.69	1.02

3.4.4.2. İnce Agreganın (Kum) Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı

TS 3526-2 standardına göre yapılan özgül ağırlık ve su emme oranı deneyi sonucunda; kum için özgül ağırlık değerinin minimum 2.48, maksimum 2.66 ve ortalama 2.60 olduğu saptanmıştır. Özgül ağırlık değerinin, kum için minimum 2.25 olması gerekmekte (TS 3529, 1980) ve deney sonuçlarının minimum limit değerin üstünde kaldığı görülmektedir (Çizelge 8).

Kumun su emme oranının minimum %0.6, maksimum %4.3 ve ortalama %2.36 olduğu saptanmıştır. Kum için su emme oranı miktarının maksimum %2.5 olması gerekmektedir (TS 3526, 1980). Deney sonuçlarına göre 1, 2, 3, 4, 5, 7 nolu numunelerde limit değerin sağlandığı, ancak 6, 8, 9 nolu numunelerde limit değerlerin sağlanamadığı saptanmıştır.

3.5. Aşınma Dayanımı

TS EN 1097-2 standardına (2000) göre Zonguldak-Sapça taş ocağı agregalarının aşınma oranı belirlenmiş, Los Angeles (aşınma) deneyi sonuçlarına göre

Çizelge 8. İnce agreganın (kum) özgül ağırlık ve su emme oranları

Numune No	Doygun Kuru Yüzey Ağırlığı (W_2) (g)	Ölçü Kabı Su ve Numunenin Ağırlığı (W_3) (g)	1000 ml dek Su ile Dolu Ölçü Kap Ağırlığı (W_4) (g)	Kuru Ağırlığı (W_1)(g)	Kuru Özgül Ağırlığı (θ_k)(W_4) (g)	Doygun Yüzey Özgül Ağırlığı (θ_d)	Özgül Ağırlığı (θ_g)	Su Emme (%) (m_c)
1	500	1554	1248	491	2.53	2.57	2.65	1.83
2	500	1553	1248	489	2.50	2.56	2.65	2.25
3	500	1559	1248	497	2.63	2.64	2.66	0.6
4	500	1558	1248	497	2.61	2.63	2.65	0.6
5	500	1556	1248	488	2.54	2.60	2.66	2.46
6	500	1542	1248	484	2.34	2.42	2.54	3.3
7	500	1554	1248	490	2.52	2.57	2.66	2.04
8	500	1537	1248	481	2.27	2.36	2.5	3.9
9	500	1535	1248	479	2.23	2.33	2.48	4.3
Toplam Ortalama Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Değeri					2.46	2.52	2.6	2.36

(Çizelge 9) agregaların %22.36 ile minimum, %28.29 ile maksimum ve %24.33 ile ortalama aşınma değerine sahip olduğu saptanmıştır.

Beton agregası olarak kullanılacak agregalarda Los Angeles aşınma değeri maksimum %45 olmalıdır (Çağlayan vd., 1999). ASTM C 131 (1980) 'e göre yol üst yapısında kullanılacak agreganın Los Angeles aşınma değerinin %35'den küçük olması gerekmektedir. Betonda ve yol üst yapısında kullanılacak agregalar için Los Angeles (aşınma) deneyi sonuçlarının limit değeri sağladığı görülmüştür.

Çizelge 9. Los Angeles Aşınma (500 devire göre) sonuçları.

Numune No	İlk Ağırlık (M_1) (g)	Elekte Kalan (M_2) (g)	Aşınma Oranı (%)
1	5000	3882	22.36
2	5000	3850	23
3	5000	3823.5	23.53
4	5000	3865.5	22.69
5	5000	3841	23.18
6	5000	3689	26.22
7	5000	3838	23.24
8	5000	3673	26.54
9	5000	3585.5	28.29
Toplam Ortalama Aşınma Oranı		24.33	

3.6. Agregaların Fiziksel Etkenler Karşısında Dayanıklılığı

TS EN 1367-2 standardına (1999) göre magnezyum sülfat çözeltisi ile dona dayanıklılık deneyi sonucunda (Çizelge 10) agregalarda minimum %11.19, maksimum %50.71 ve ortalama olarak %30.31 kütle kaybı oranı olduğu saptanmıştır.

Çizelge 10. Magnezyum sülfat (Mg_2SO_4) çözeltisi ile don dayanıklılığı.

Numune No	İlk Ağırlık (M_1) (g)	Elekte Kalan (M_2) (g)	Kütle Kaybı Oranı (%)
1	421	351	16.42
2	421	373	11.19
3	421	290.5	30.83
4	421	298	29.04
5	421	350	16.6
6	421	207	50.71
7	421	339	19.28
8	421	215	48.8
9	421	210	50
Toplam Ortalama Kütle Kaybı Oranı		30.31	

Betonda kullanılacak agreganın donma-çözülme etkisi altındaki kütle kaybı oranının Türk Standartlarına göre maksimum %27'den fazla olmaması gerekmektedir (Erdoğan, 2003). Zonguldak-Sapça taş ocağından alınan 1, 2, 5, 7 nolu numunelerde kütle kaybı oranının limit değeri sağladığı, ancak 3, 4, 6, 8, 9 nolu numunelerde kütle kaybı oranının limit değerin üstünde olduğu saptanmıştır.

3.7. Agrega İçindeki Zararlı Maddeler

3.7.1. 0.075 mm (No 200) Elekten Geçen Malzeme Miktarı

Çok fazla ince madde içeren agregalarda beton içindeki ince maddenin yüksek olması beton yapımı için gereken su miktarını artırmaktadır. Agrega tanelerinin yüzeyini bir örtü gibi kaplamış olan ince maddeler, agrega taneleri ile çimento hamuru arasındaki aderansı azaltmakta, bu durum da beton dayanımının ve dayanıklılığının az olmasına yol açmaktadır. ASTM C 117 standardına (1980) göre iri agreganın (çakıl) 0.075 mm (No 200) elekten geçen malzeme miktarı belirlenmiş; ince tane miktarının, minimum %0.35, maksimum %1.7 ve ortalama olarak %0.73 olduğu saptanmıştır (Çizelge 11). İri agregada bulunabilecek maksimum ince tane miktarı %1 olarak verilmekte (Erdoğan, 2003; Midness vd., 2002) ve ortalama sonuçların limit değeri sağladığı görülmektedir.

3.7.2. Sağlam Olmayan Taneler

Sapça taş ocağı agregalarının jeolojik kökenine bakıldığında toplam agreganın % 80.7'sinin kireçtaşından, %16.3'ünün kumtaşından ve %3'ünün kiltaşından oluştuğu görülmüştür. Agreganın içindeki sağlam olmayan taneler kumtaşı ve kiltaşıdır. Sağlam olmayan elemanlar

Çizelge 11. İri agreganın (çakıl) 0.075 mm (No 200) elekten geçen malzeme miktarı.

Numune no	Numunenin kuru ağırlığı A_1 (g)	Temizlendikten sonra kuru ağırlığı A_2 (g)	Kayıp miktarı (fark) A_1-A_2	No 200 den geçen ince malzeme oranı (%)
1	1000	996.5	3.5	0.35
2	1000	995	5	0.5
3	1000	996	4	0.4
4	1000	996.5	3.5	0.35
5	1000	996	4	0.4
6	1000	991.5	8.5	0.85
7	1000	995	5	0.5
8	1000	983	17	1.7
9	1000	984.5	15.5	1.55
Toplam Ortalama İnce Malzeme Oranı			0.73	

toplam agreganın %19.3'ünü oluşturmaktadır.

4. SONUÇLAR

Zonguldak-Sapça taş ocağı agregaları fiziksel ve aşınma özellikleri ile zararlı maddeler yönünden incelenmiş ve şu sonuçlara ulaşılmıştır.

Petrografik incelemeler sonucunda ince kesitlerde bol miktarda kalsit ve glokoni minerali gözlenmiştir. Biyolitoklastlı istif taşı niteliğindedir. Kimyasal analiz sonucunda CaO miktarının %35.95 olması ana kayacın kireçtaşı kökenli olduğunu göstermektedir.

Kusurlu taneler (uzunluk / genişlik > 3), toplam agrega ağırlığının % 25.63'ünü, pürüzlü taneler ise % 55.23'ünü oluşturmaktadır. Beton agregaları için kusurlu tane miktarı limit değeri sağlamaktadır. %72'si çakıl boyutunda ve maksimum tane boyutu 31.5 mm olan agreganın gradasyonu çok iyi olarak tanımlanmaktadır. Kumun incelik modülü 5.85'tir. Tanelerin ortalama büyüklüğünün 2.380 mm olması kumun iri taneli olduğunu göstermektedir. Birleştirilmiş zemin sınıflamasına göre çakıl kötü derecelenmiş çakıl, çakıl-kum karışımı (GP), kum kötü derecelenmiş kum (SP) karakterindedir.

Çakıl için sıkışık birim ağırlık değerleri ortalama olarak 1542 kg/m^3; kum için 1730 kg/m^3 değerlerinde olup sıkışık birim ağırlık için limit sınır yoktur. Gevşek birim ağırlık çakıl için ortalama 1381 kg/m^3; kum için 1565 kg/m^3 değerlerindedir ve TS 3529 standardına uygundur.

Çakıl için özgül ağırlık değeri ortalama 2.69, su emme oranı %1.02; kum için ise özgül ağırlık değeri 2.60, su emme oranı %2.36'dır ve TS 3529 standardını sağlamaktadır.

Los Angeles (aşınma) deneyi sonuçlarına göre agrega %24.33 ortalama aşınma değeriyle ASTM C 131'e göre yol üst yapısında ve betonda kullanıma uygundur.

Agregalardaki magnezyum sülfat çözeltisi ile kütle kaybı oranı %11.19 ile minimum, %50.71 ile maksimum ve

ortalama olarak %30.31'dir. Betonda kullanılacak agreganın donma-çözülme etkisi altındaki kütle kaybı oranının Türk Standartlarına göre maksimum %27'den fazla olmaması gerekmektedir. ASTM C 88'e göre bu oran %18'dir. Zonguldak-Sapça taş ocağı agregaları büyük ölçüde limit değeri sağlamamaktadır. Yüksek kütle kaybı oranlarından dolayı beton ve yol malzemesi olarak çok soğuk ve yüksek gece-gündüz sıcaklık farklarına sahip yörelerde kullanımı uygun değildir.

İri agreganın (çakıl) 0.075 mm (No 200) elekten geçen malzeme miktarı ortalama olarak %0.73 olarak belirlenmiş ve beton dayanım ve dayanıklılığı üzerinde olumsuz etkisi olmayacağı anlaşılmıştır.

Sapça taş ocağı agregalarının jeolojik kökenine bakıldığında toplam agreganın % 80.7'sinin kireçtaşından, %16.3'ünün kumtaşından ve %3'ünün kiltaşından oluştuğu görülmüştür. Agreganın içindeki sağlam olmayan taneler kumtaşı ve kiltaşıdır. Sağlam olmayan elemanlar toplam agreganın sadece %19.3'ünü oluşturmaktadır.

5. KATKI BELİRTME

Yazarlar; petrografik incelemeleri yapan Dr. Eşref ATABEY (MTA), kimyasal analizdeki yardımlarından dolayı Kimya Mühendisi Arzu KOLTUK (MTA) ve deneysel çalışmalar sırasındaki desteklerinden dolayı Kimya Mühendisi Yılmaz ERŞEN'e (Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Yapı İşleri Genel Müdürlüğü Yapı Malzemeleri Laboratuarı) teşekkür ederler.

6. KAYNAKLAR

ASTM C 33, (1980) Concrete aggregates, Annual Book of ASTM Standards Part 14: Concrete and mineral aggregates, Philadelphia, pp. 13-20.

ASTM C 88, (1980) Soundness of aggregates by use of sodium sulfate or magnesium sulfate, Annual Book of ASTM Standards Part 14: Concrete and mineral aggregates, Philadelphia, pp. 48-53.

ASTM C 117, (1980) Tests of materials finer than No:200 (75 mm) sieve in mineral aggregates by washing, Annual Book of ASTM Standards Part 14: Concrete and mineral aggregates, Philadelphia, pp. 70-72.

ASTM C 131, (1980) Resistance to abrasion of small size coarse aggregate by use of the Los Angeles machine, Annual Book of ASTM Standards Part 14: Concrete and mineral aggregates, Philadelphia, pp. 87-90.

ASTM D 2488, (1994) Standard practice for description and identification of soils (visual-manual procedure), Annual Book of ASTM Standards Section 4. Volume 04, 05: Soil and Rocks, Philadelphia, pp. 217-224.

BS 812, (1975) Methods for sampling and testing of mineral aggregates, sand and fillers, British Standards Institution.

Çağlayan, M., Haperveren, S., İpekoğlu, B. ve Kurşun, İ., (1999) Beton yapımında kullanılan agregaların özellikleri ve örnek bir kuruluş İston, 2. Ulusal Kırmataş Sempozyum, İstanbul, s.69-79.

Erdoğan, T. Y., (2003) Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş.

Yayını Ankara, 741 s.

Karayolları Genel Müdürlüğü, (2004) Yollar Fenni Şartnamesi, Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Yayın No:170/2, Ankara, 435 s.

Midness, S., Young, J. F. ve Darwin, D., (2002) Concrete, Second Edition, USA.

Şimşek, O., (2003) Yapı Malzemeleri II, 2. basım, Beta Basım A.Ş, İstanbul, 211 s.

TS 706, (1980) Beton Agregaları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 706 EN 12620, (2003) Beton Agregaları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 707, (1980) Beton Agregalarından Numune Alma ve Deney Numunesi Hazırlama Yöntemi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1097-2, (2000) Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 2: Parçalanma Direncinin Tayini İçin Metotlar. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1367-2, (1999) Agregaların Termal ve Bozunma Özellikleri Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 2: Magnezyum Sülfat Deneyi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 3526, (1980) Beton Agregalarında Özgül Ağırlık Ve Su Emme Oranı Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 3529, (1980) Beton Agregalarının Birim Ağırlıklarının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 3530 EN 933-1, (1999) Beton Agregalarının Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1: tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini-Eleme Metodu. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Yergök, A. F., Ünal A., İplikçi, Ü., Karabalık, N., Keskin, İ., Mengi, H., Umut, M., Armağan, F., Erdoğan, K., Kaymakçı, H. ve Çetinkaya, A., (1987) Batı Karadeniz Bölgesi Jeolojisi. MTA Rapor No:8273, 237 s.

YERBİLİMLERİ GEOSOUND | ARALIK DECEMBER | 2008 | SAYI NO 53 | ISSN 1019-1003

MERMER OCAKLARINDAN ALINABİLECEK TİCARİ BLOK BOYUTLARININ BELİRLENMESİNDE ÖRNEK BİR UYGULAMA

Kerim KÜÇÜK
D.E.Ü., Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir/Türkiye

ÖZET: *Mermer sahalarından en az kayıpla ticari boyutlarda mermer üretiminin gerçekleştirilebilmesi için öncelikle; jeolojik faktörlerin işletme öncesinde çok iyi etüt edilip; ocak işletme yönü ve üretim kademelerinin, sahada mevcut çatlak ve kırık sistemlerine göre dizayn edilmesi büyük önem taşımaktadır. Mermer ocak işletmeciliğinde üretime başlamadan önce bilinmesi gereken en önemli hususlardan birisi de mermer sahasının ticari boyutlarda blok verip vermeme durumudur. Aynı zamanda sahadaki çatlak yapısı, mermer damarının ve çevre kayaçlarındaki hakim süreksizlikler ve eklem takımları gibi yapısal özelliklerinde iyi etüt edilmesi ve buna göre ocağa başlangıç yerinin seçimine ve ocak ilerleme yönüne karar verilmesi gerekmektedir.*

Bu çalışmada, Eskişehir ili Seyitgazi ilçesinde bulunan mermer işletmesinin mevcut aynalarında süreksizlik ölçümleri yapılarak işletmeden alınabilecek minimum ve maksimum blok boyutları hesaplanmıştır. Daha sonra işletme basamakları üzerinde 38 mHz yer radarı (GPR) kullanılarak yaklaşık 30-40 m derinliğe kadar, işletilebilir mermer kalınlığının ve mevcut kırık ve çatlakların belirlenmesi amacıyla görüntüler alınarak, bu görüntüler belirli veri-işlem aşamalarından geçirilmiştir.

A CASE STUDY IN THE DETERMINATION OF COMMERCIAL BLOCK DIMENSIONS EXTRACTED OUT OF MARBLE QUARRIES

ABSTRACT : *In order to achieve marble production from marble sites with minimum loss, first of all, geological factors should be well studied before production and quarrying direction and production benches should be designed according to the present cracks and fractures in the region. One of the most important factors before the production of marble is the situation of the marble site whether it is able to give commercial blocks. At the same time, the crack structure at the site, dominant discontinuities at the marble seam and in the surrounding rocks and joint sets must be well investigated and accordingly, the start of the quarrying and quarry advance direction must be determined.*

In this study, by making discontinuity measurements at the marble faces of a marble site that is located in Eskişehir-Seyitgazi, minimum and maximum block dimensions that could be taken from the site have been calculated. Then, by using 38mHz ground radar

(GPR) on the production benches, images have been taken down to 30-40 m depth in order to determine the mineable marble thickness, present cracks and fractures and these images have gone through certain data-process stages.

1. GİRİŞ

Mermer ocaklarında ana hedef, mermer işleme tesislerinin ve müşterinin istediği boyutlarda çatlaksız sağlam mermer blokları üretmektir. Ayrıca üretilen mermerin, fiziksel ve fiziko-mekanik özellikleri açısından standartlara uygun, renk ve desen açısından da aranılan niteliklerde olması esastır. Mermer ocaklarından alınabilecek blok boyutları, başlıca süreksizlik takımı sayısı, süreksizlik aralığı ve devamlılığı ile kontrol edilmektedir.

Blok mermer üretimine geçilmiş ve bu amaçla oluşturulmuş olan kaya şevleri üzerinde süreksizlik ölçümlerinin yapılmasıyla, ocağın jeolojik parametreleri belirlenmekte ve dolayısıyla elde edilen bu verilerden yararlanılarak ocaktan elde edilebilecek minimum ve maksimum blok boyutları hesaplanabilmektedir.

Çalışmada, mermer ocaklarının blok mermer verimliliğini birincil derece etkileyen, düzenli ve düzensiz süreksizlik düzlemlerinin tamamının incelenmesi amacıyla, bir çok araştırıcı tarafından önerilen hat ölçüm tekniği kullanılmıştır. Ocak aynasında tabandan yaklaşık 1 m yukarıda belirlenen hat boyunca kesilen süreksizlikler ve arasındaki yatay mesafeler belirlenmiştir. Değerlendirme aşamasında 50 cm den küçük süreksizlik aralıkları ihmal edilmiştir.

Daha sonra ölçüm hattını kesen süreksizliklerin sırasıyla;

- Türü
- Eğim ve doğrultusu
- Devamlılığı
- Açıklığı
- Ara uzaklıkları
- Varsa dolgu ve türü
- Bozunma derecesi
- Su durumu

gibi özellikleri tespit edilmiştir.

2. GENEL TANIMLAMALAR

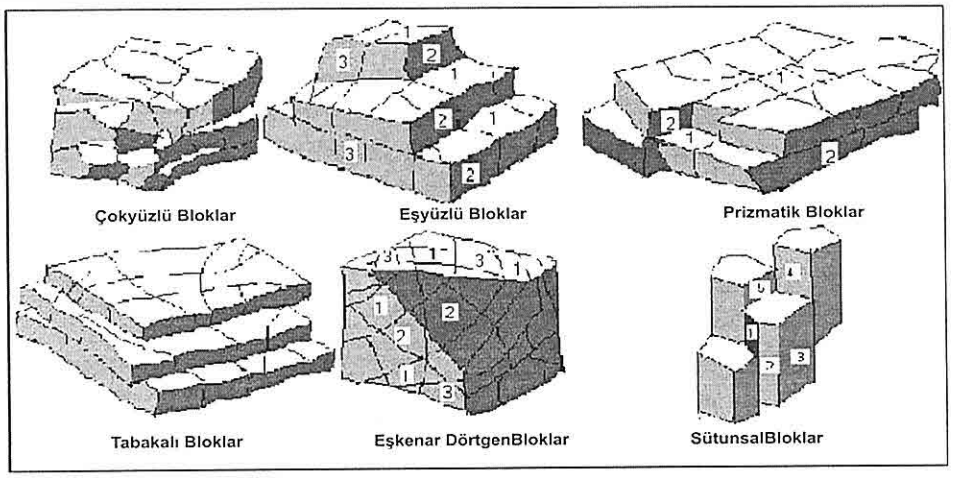
2.1. Blok Boyutu ve Şekli

Blok boyutu ve dağılımı kaya kütlesinin davranışını belirleyen önemli parametrelerden birisidir. Blok boyutu ve dağılımı üretim açısından, taş ve mermer işletmeciliğinde üretim bloklarının boyutlandırılmasıyla doğrudan ilişkilidir. Blokları sınırlayan süreksizliklerin hem duraylılık, hem de üretim ile yakın ilişkisi onların tüm özelliklerinin ortaya konulmasını gerektirmektedir (Turanboy, 2004).

Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği (ISRM, 1981), bu özellikleri sınıflandırarak ayrıntılarıyla rapor etmiştir. Blok boyutu veya hacmi; süreksizlik aralığı, süreksizlik set sayısı ve rasgele eklemler ile açıklanmakta, bir başka deyişle süreksizlikler ve blok şekil ve boyutları arasında sıkı bir ilişki bulunmaktadır. Kısaca blok şekil ve boyutlarını süreksizlikler ortaya koymaktadır. Blok boyutlarının

incelenmesi bir çok araştırmacı tarafından yapılmış olup, bunlardan birisi Şekil 1'de verilmektedir (Palmström, 2000).

komşu konumlu iki süreksizlik veya birbirine paralel eklemlerden oluşan bir süreksizlik setindeki iki süreksizliğin



Şekil 1. Çeşitli blok şekilleri (Palmström, 2000)

Kaya kütlesi içinde oluşan blokların şekilleri kübikten çeşitli çokyüzlülere kadar değişim göstermektedir. Birbirlerine paralel gelişen süreksizlikler arasındaki blokların şekilleri daha düzgün geometrilere sahiptir. Özellikle sedimanter ve buna bağlı ikincil yataklarda daha düzgün geometrilere sahip bloklar oluşmaktadır. Ayrıca bölgenin geçirmiş olduğu tektonizmalar sonucu farklı yön ve kuvvetlerle oluşan gerilmelerle oluşan süreksizlikler şekil üzerinde etkili olmaktadır. Yani blok şekline, atmosferik koşullar, mekanizasyon gibi ikincil faktörlerden başka, etki eden iki önemli faktör, doğal oluşum ve tektonizmadır (Turanboy, 2004).

2.2. Süreksizlik Aralığı

Süreksizlik aralığı, kaya kütlelerinde arasındaki dik mesafedir.

Uygulamada şerit metrenin her zaman süreksizlik setlerine dik yönde serilmesi mümkün olamadığından, iki tür açıklık ölçülebilmektedir.

* Görünür açıklık (şerit metre veya sondaj ekseni boyunca karşılaşılan süreksizlikler arasındaki uzaklık)

* Gerçek aralık (birbirine paralel yönde gelişmiş süreksizliklerin oluşturduğu bir süreksizlik setine ait iki süreksizlik düzlemi arasındaki dik mesafe)

Bir süreksizlik setindeki süreksizliklerin birbirlerine tam paralel olması çok ender olarak görüldüğü için, gerçek aralık parametresi ölçüm hattının yöneliminden veya ölçümün yapıldığı mostranın, ya da aynanın konumundan etkilenmektedir. Bu nedenle, süreksizlik sıklığının değerlendirilmesinde görünür

aralık değerinin ölçülmesi uygulamada daha yaygın şekilde tercih edilmektedir (Ulusay ve Sönmez, 2002).

Çizelge 1. Süreksizlik aralığının tanımlama ölçütleri (ISRM, 1981)

Aralık (mm)	Tanımlama
<20	Çok dar aralıklı
20-60	Dar aralıklı
60-200	Yakın aralıklı
200-600	Orta derecede aralıklı
600-2000	Geniş aralıklı
2000-6000	Çok geniş aralıklı
>6000	İleri derecede geniş aralıklı

2.3. Süreksizliklerin Devamlılığı

Süreksizliklerin iz uzunluğu bir kaya mostrasında gözlenebildiği için, bunların devamlılıklarının ölçülmesi de çoğu kez üzerinde çalışılan mostranın yüzeyi ile sınırlanmaktadır. Dolayısıyla bu durum, devamlılık parametresinin ölçülmesini güçleştiren bir faktördür.

Çizelge 2. Süreksizliklerin devamlılığını tanımlama ölçütleri (ISRM, 1981)

Tanımlama	Süreksizlik izinin uzunluğu
Çok düşük devamlılık	< 1 m.
Düşük derece devamlılık	1-3 m.
Orta derece devamlılık	3-10 m.
Yüksek devamlılık	10-20 m.
Çok yüksek devamlılık	>20 m.

2.4. Süreksizlik Yüzeylerinin Açıklığı

Açıklık, bir süreksizliğin karşılıklı iki yüzeyi arasındaki dik uzaklık olup, boş olabileceği gibi, su veya herhangi bir dolgu malzemesi tarafından doldurulmuş da olabilir. En basit ve pratik ölçüm milimetre bölmeli şerit metre veya kumpas ile yapılmaktadır. Bu amaçla kirli yüzeyler temizlenir ve geniş açıklıklar mikrometre ile ölçülerek, ölçüm hattını kesen tüm süreksizliklerin açıklıkları kaydedilmektedir (Ulusay ve Sönmez, 2002).

Süreksizlik açıklıklarının tanımlanması amacıyla ISRM (1981) tarafından önerilmiş ölçütler Çizelge 3' de verilmiştir.

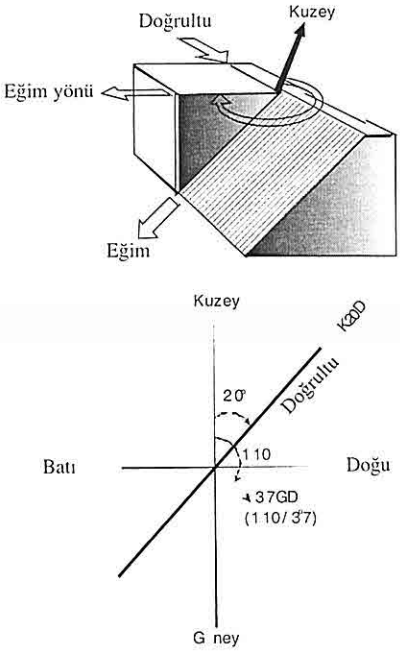
Çizelge 3. Süreksizlik açıklığının tanımlanmasına ilişkin ölçütler (ISRM, 1981)

Açıklık	Tanımlama	
< 0,1 mm	Çok sıkı	"Kapalı" yapılar
0,1 – 0,25 mm	Sıkı	
0,25 – 0,5 mm	Kısmen açık	
0,5 – 2,5 mm	Açık	"Boşluklu" yapılar
2,5 – 10 mm	Orta derecede geniş	
>10 mm	Geniş	"Açık" yapılar
1-10 cm	Çok geniş	
10- 100 cm	Aşırı geniş	
> 100 cm	Boşluklu	

2.5. Süreksizliklerin Yönelimi ve Süreksizlik Seti Kavramı

Süreksizliklerin uzaydaki konumları,

eğim ve doğrultularıyla tanımlanır. Özellikle genel jeoloji çalışmalarında esas alınan bu iki parametre, jeolog pusulası ile ölçülmektedir. Eğim, bir süreksizlik düzleminin yatay düzlemle yaptığı açı olup, kuzeyden itibaren saat yönünde ölçülen ve kuzey yönü ile eğim çizgisinin yatay düzlemdeki izdüşümü arasındaki açı ise, eğim yönü olarak tanımlanır. Doğrultu ile eğim yönü arasında 90°' lik bir fark vardır. "Doğrultu/eğim" değerleri K20D/37GD olan bir süreksizlik düzleminin "eğim yönü/eğim" değerleri 110/37°' dir (Şekil 2).



Şekil 2. Doğrultu, eğim ve eğim yönü kavramlarım gösteren blok diyagram (Ulusay, Sönmez, 2002)

Yönelimleri hemen hemen birbirleriyle aynı olan münferit süreksizliklerin oluşturduğu topluluğa "süreksizlik seti" veya "süreksizlik takımı" adı verilir. Süreksizlik yönelimi verileri, grafiksel olarak "gül diyagramları ve histogramlar" ve "stereografik izdüşüm" teknikleriyle değerlendirilir (Ulusay, Sönmez, 2002).

2.6. Blok Boyutu İndeksi

İndeks, arazide seçilen tipik blokların boyutları tayin edildikten sonra bunların ortalamasının alınması esasına dayanır. İndeksin değeri milimetreden birkaç metreye kadar olabileceği için, ölçümler %10 duyarlılıkta alınmalıdır. Dördüncü bir süreksizlik setinin varlığı halinde, Ib yapay olarak artacak, ancak bu setin dikkate alınmış olması sahada gözlenen gerçek blok boyutları üzerinde çok az etkili olacaktır.

Ib aşağıdaki ifadeden daha duyarlı şekilde hesaplanabilir.

$$I_b = \frac{S_1 + S_2 + S_3}{3}$$

Yukarıdaki eşitlikte Sı, S2 ve S3, her eklem seti için hesaplanmış ortalama modal aralık değerleridir.

2.7. Hacimsel Eklem Sayısı

Palmstrom (1982, 1985, 1996) ile Şen ve Eissa (1992) tarafından tanımlanan hacimsel eklem sayısı (Jv) birim hacimdeki bir kaya kütlesinde gözlenen süreksizliklerin toplamıdır. Bu parametrenin tayininde rastgele gelişmiş süreksizlikler de dikkate alınabilir ve Jv'yi önemli ölçüde etkilememektedir. Bu konuda elde edilen deneyimler, ölçüm hattı uzunluklarının 5-10 m arasında

seçilebileceğini göstermiştir (Palmström, 1996).

Jv, aşağıdaki ifadeden hesaplanır.

$$J_v = \frac{N_1}{L_1} + \frac{N_2}{L_2} + \dots\dots\dots + \frac{N_n}{L_n}$$

Burada,

N_n : Gözlenen her bir eklem (süreksizlik) seti (1'den n'e kadar) için ölçüm hattı boyunca sayılan süreksizliklerin sayısı

L_n : Gözlenen her bir eklem setine (1'den n'e kadar) dik yönde seçilmiş ölçüm hattının uzunluğu

Yukarıdaki ifadeden belirlenen Jv değerine göre, Çizelge 4'de verilen aralıklar esas alınarak blok tanımı yapılmaktadır.

Çizelge 4. Hacimsel eklem sayısına (Jv) göre blok boyutu tanımlaması (ISRM,1981)

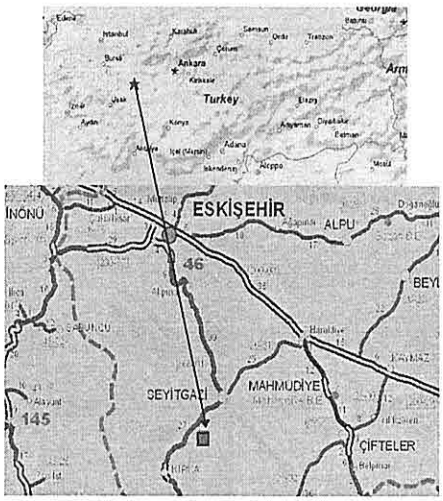
Tanım	Jv (eklem /m^3)
Çok geniş bloklar	< 1
Geniş bloklar	1-3
Orta büyüklükteki bloklar	3-10
Küçük bloklar	10-30
Çok küçük bloklar	> 30

3. SAHA ÇALIŞMALARI

Eskişehir ili Seyitgazi ilçesi sınırları içerisinde yer alan mermer ocak işletmesinde, işletilebilir mermer rezervinin ve üretim yönünün belirlenmesine yönelik yapılan bu çalışma kapsamında, uydudan koordinat okuyan el GPS leri ile topoğrafik çalışmalar gerçekleştirilmiş, ayrıca mermer ayna ve mostralarında süreksizlik ölçümleri ayrıntılı olarak yapılmıştır. Litolojik birimlerin derinliğe bağlı kalınlık, litolojik homojenite ve diğer mühendislik jeolojisi ile ilgili değişimlerini belirleyebilmek için yer radarı (Ground Penetration Radar, GPR) kullanılmış ve 35-40 metre derinliğe kadar elde edilen kesit görüntüleri, iki boyutlu Prism 2D programında değerlendirilmiştir.

3.1. Lokasyon

İnceleme alanı Eskişehir İli, Seyitgazi İlçesi'ne 14 km mesafede yer almaktadır.



Şekil 3. İşletmeye ait yer bulduru haritası

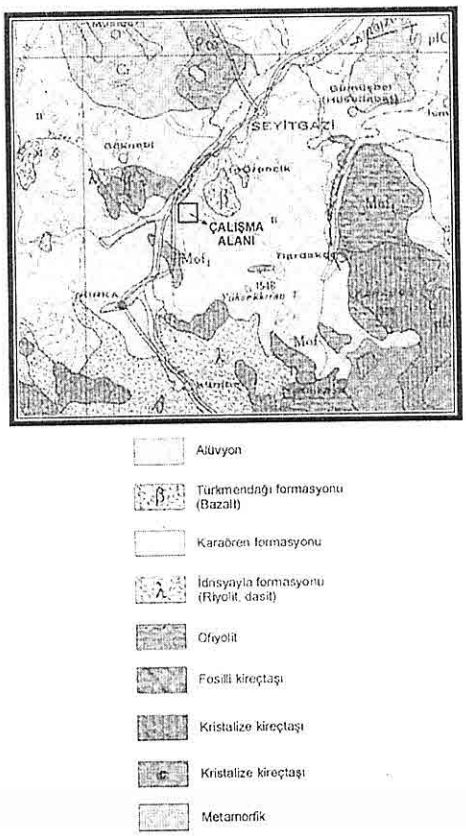
3.2. Jeoloji

Çalışma alanı, Karaören Formasyonu içerisinde bulunup, Miyosen öncesi temel kayaçları (metamorfik, ofiyolit ve karbonatlar) ile Neojen yaşlı volkanik ve sedimanter birimler bulunmaktadır.

Metamorfik kayaçlar inceleme alanının hemen her yerinde ofiyolitik kayaçlarla tektonik dokanak halindedir. Kıvrımlı, kırıklı ve çatlaklı bir yapı gösteren bu kayaçlarda kesin bir kalınlık söylemek çok zordur. Ancak şistlerin yaklaşık 1000 m, mermerlerin de 200 m kalınlık gösterdikleri söylenebilir.

Çalışma alanında oldukça geniş bir alan kaplayan Miyosen birimleri, konglomera, kiltaşı, marn, tüf, kireçtaşı istifinden oluşmuştur. En altta bulunan konglomera üyesi orta ve iri büyüklükte genelde granit çakılları olmak üzere, şist, mermer, tüf, radyolarit çakıllarından ibaret olup, yer yer oldukça sıkı tutturulmuştur.

Çimento, kil veya karbonattır. Kiltaşı, marn, tüf seviyeleri konglomera üzerinde yer almakta ve ardalanmalı olarak devam etmektedir. En üstte bulunan açık renkli kireçtaşları ise yer yer silisifiye olmuştur (Gözler vd.,1985).



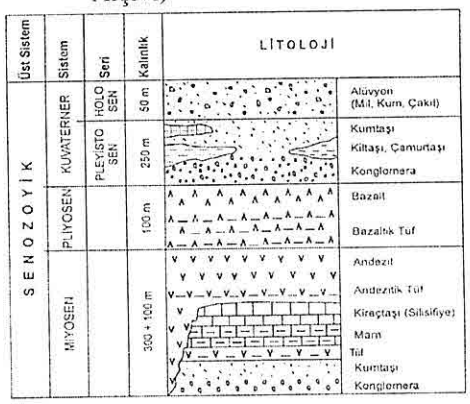
Şekil 4. İnceleme alanı ve çevresinin genel jeoloji haritası (MTA Harita Arşivi)

3.3. Topoğrafik Ölçümler

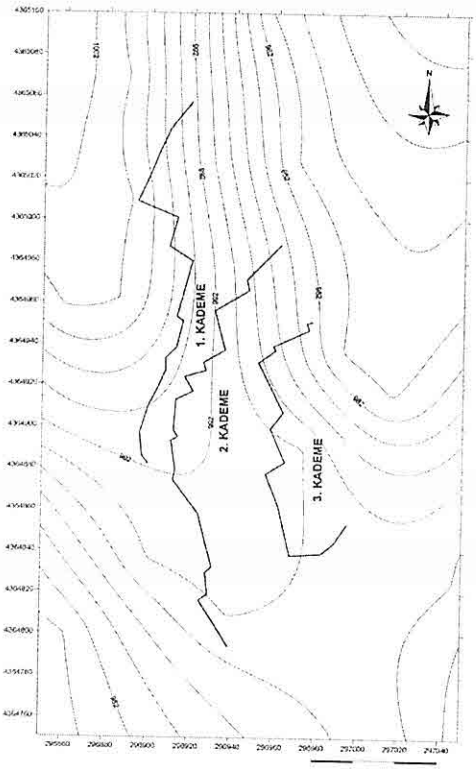
Öncelikle ocak ve çevresinin topoğrafik haritasını oluşturmak amacıyla Garmin marka el GPS'i yardımıyla nokta koordinatları alınarak ocak ve çevresinin topoğrafik haritası oluşturulmuştur.

3.4. Sahada Yapılan Süreksizlik Ölçümleri

Süreksizliklerin arazi incelemeleri için kullanılan metotlarından birisi, şeritmetre hattı (scan-line) olup üretim aynasında bir şeritmetre yardımı ile bir dizi süreksizlik özelliği alınmasına dayanmaktadır (Brown, Brawn, 1985). Çalışmada, bütün süreksizliklerin görünür aralıkları lazerli



Şekil 5. Seyitgazi ilçesi ve çevresinin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti

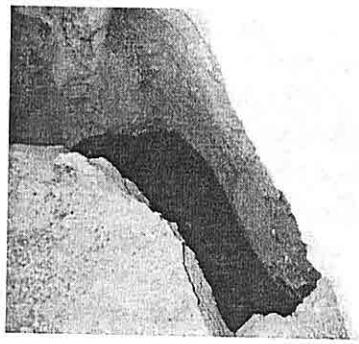


Şekil 6. Topoğrafik harita ve üretim basamakları

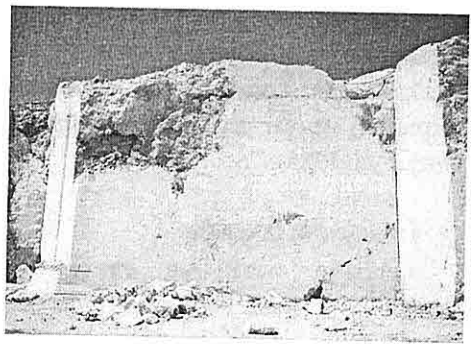
mesafe ölçer ile ölçülmüştür.

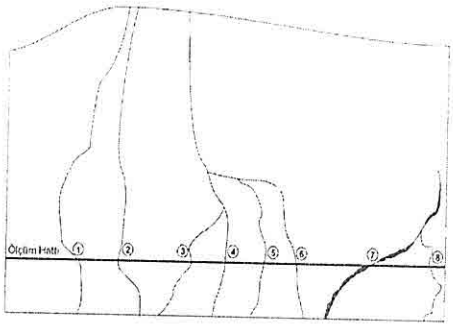
İncelenen sahada 3 kademe bulunmaktadır. Ancak üst iki kademede (1. ve 2. kademe) süreksizliklerin ve bozuk yapının fazla olması nedeniyle, blok üretimi 3. kademede yapılmaktadır. 3. kademeden çıkan bloklar fazla çatlak içermeyen, masif yapılı olup, üçüncü kademenin gerisinden yeni bir kademe oluşturmak amacıyla, ayna oluşturma çalışmaları yapılmaktadır.

Saha incelemelerinde, mermerin oluşumu sırasında meydana gelmiş karstik boşluklara rastlanmıştır. Karstik boşluklar, yaklaşık 15-20 metre derinliğinde, 1,5-2 m genişliğinde bir yapı arz etmektedir (Şekil 7).

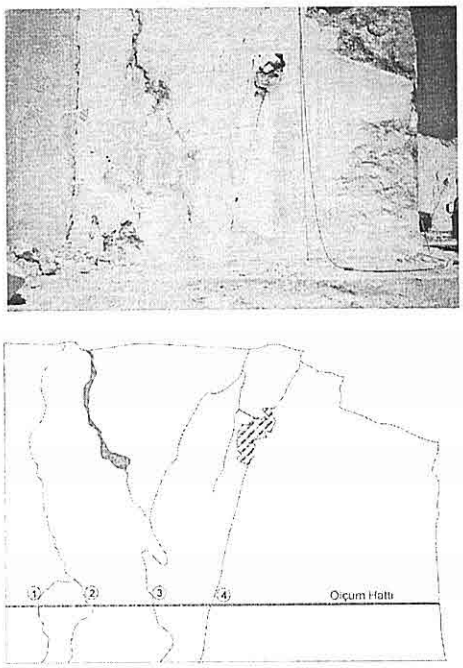


Şekil 7. İnceleme alanında görülen karstik boşluklar

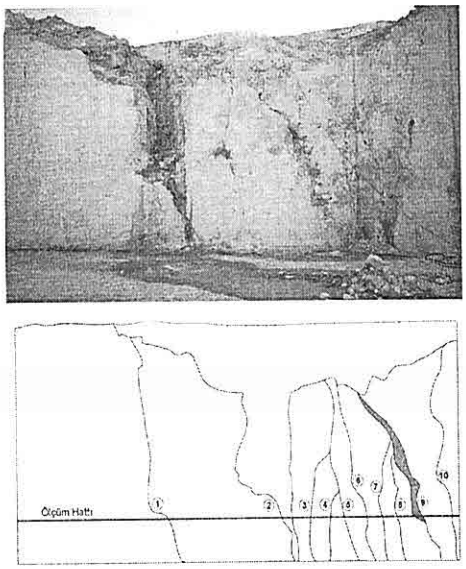




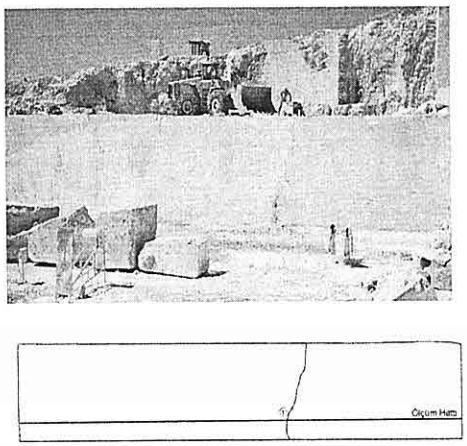
Şekil 8. İkinci kademe 1. aynada görülen süreksizlikler ve ölçüm hattı



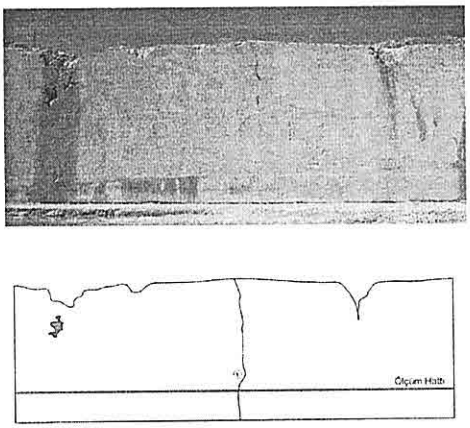
Şekil 9. İkinci kademe 2. aynada görülen süreksizlikler ve ölçüm hattı



Şekil 10. İkinci kademe 3. aynada görülen süreksizlikler ve ölçüm hattı



Şekil 11. Üçüncü kademe 1. aynada görülen süreksizlikler ve ölçüm hattı



Şekil 12. Üçüncü kademe 2. aynada görülen süreksizlikler ve ölçüm hattı

İkinci ve üçüncü kademe aynalarında yapılan süreksizlik ölçümlerinde bütün süreksizliklerde dolgu türü olarak "şişen kil veya kil matriks", bozunma derecesi "az bozunmuş", su durumu ise "kuru" olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5. İkinci kademede yapılan süreksizlik ölçümleri

Lokasyon: 2.Kademe 1.Ayna				Hat Uzunluğu: 13,22 m		
No	Metre	Tür	Eğim Yönü/ Eğim	Devamlılık (m)	Açıklık (mm)	Süreksizlik Aralığı (m)
1	3,398	7	332/66	17,12	1,84	2,093
2	5,49	7	82/87	17,49	26,12	1,470
3	6,96	7	334/35	4,48	5,75	0,878
4	7,84	7	332/66	19,26	5,08	0,681
5	8,52	7	114/64	4,12	8,51	0,799
6	9,32	7	133/70	5,27	4,32	1,711
7	11,03	7	50/38	6,08	15,39	0,514
8	11,54	7	84/75	2,12	2,28	
Lokasyon: 2.Kademe 2.Ayna				Hat Uzunluğu: 11,13 m		
No	Metre	Tür	Eğim Yönü/ Eğim	Devamlılık (m)	Açıklık (mm)	Süreksizlik Aralığı (m)
1	0,768	7	162/82	3,497	4,68	1,291
2	2,059	7	192/65	5,720	11,90	1,650
3	3,609	7	174/75	8,560	26,53	1,372
4	4,981	7	188/67	8,180	27,15	
Lokasyon: 2.Kademe 3.Ayna				Hat Uzunluğu: 21,66 m		
No	Metre	Tür	Eğim Yönü/ Eğim	Devamlılık (m)	Açıklık (mm)	Süreksizlik Aralığı (m)
1	6,579	7	342/80	21,67	5,01	7,079
2	13,66	7	354/65	20,10	34,94	1,546
3	15,20	7	338/85	4,87	3,84	0,437
4	15,64	7	346/72	2,52	7,52	0,378
5	16,02	7	334/82	18,46	15,96	1,256
6	17,27	7	130/82	17,32	5,24	0,577
7	17,85	7	120/75	6,87	2,08	1,343
8	19,19	7	106/86	6,70	2,86	0,330
9	19,52	7	126/85	20,22	5,12	0,771
10	20,30	7	330/87	18,42	36,78	

Çizelge 6. Üçüncü kademede yapılan süreksizlik ölçümleri

SÜREKSİZLİK ÖLÇÜMÜ VERİ FORMU						
Lokasyon: 3.Kademe 1.Ayna			Hat Uzunluğu: 28,39 m			
SÜREKSİZLİKLERİN ÖZELLİKLERİ VE YÖNELİMİ						
No	Metre	Tür	Eğim Yönü/ Eğim	Devamlılık (m)	Açıklık (mm)	Süreksizlik Aralığı (m)
1	17,82	7	330/76	5,87	2,12	-
SÜREKSİZLİK ÖLÇÜMÜ VERİ FORMU						
Genel Bilgiler Lokasyon: 3.Kademe 2.Ayna			Hat Uzunluğu: 16,32 m			
SÜREKSİZLİKLERİN ÖZELLİKLERİ VE YÖNELİMİ						
No	Metre	Tür	Eğim Yönü/ Eğim	Devamlılık (m)	Açıklık (mm)	Süreksizlik Aralığı (m)
1	8,21	7	334/88	5,84	2,59	-
TÜR:	1. Fay Zonu 2. Fay 3. Eklem 4. Klivaj 5. Şistozite 6. Makaslama 7. Çatlak 8. Tabaka					
DOLGUNUN TÜRÜ:	1. Dolgusuz 2. Yüzey Boyaması 3. Kohezyonsuz 4. Etken olmayan kil 5. Şişen kil veya kil matriks 6. Çimentolanmış (Kalsit,Kuvars vb.) 7. Klorit, Talk, Jips 8. Diğer					
BOZUNMA:	1. Bozunmamış (Taze) 2. Az bozunmuş 3. Orta derecede bozunmuş 4. İleri derecede bozunmuş 5. Tamamen bozunmuş 6. Artık zemin					
SU DURUMU:	1. Kuru 2. Nemli 3. Islak 4. Damlama (Sızıntı) 5. Akış					

Yapılan jeolojik saha çalışmaları sonucunda elde edilen veriler değerlendirilmiş ve işletilebilir mermer oluşumlarının litolojik kalınlık ve süreksizliklere bağlı blok verimliliği irdelenmiştir. Yapılan hesaplamalarda, arazi verilerinin ortalama değerleri alınmıştır.

Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir. Buna göre;

İkinci kademe ölçümlerine göre:

Süreksizlik aralığı değerleri 0,330 mm ile 7079 mm arasında değişmektedir. Süreksizlik açıklığı ortalama 1377 mm olup "Geniş Aralıklı" olarak tanımlanmaktadır.

Devamlılık değerleri 2,12 m ile 21,67 m arasında değişmektedir. Süreksizliklerin devamlılığı ortalama 10,87 m olup, "Yüksek Devamlılık" olarak tanımlanmaktadır.

Açıklık değerleri 1,84 mm ile 36,78 mm arasında değişmektedir. Ortalama açıklık değeri 11,77 mm olup, "Aşırı Geniş Açıklık" olarak tanımlanmaktadır.

maddeyi destekler şekilde, süreksizliklerin ve boşluklu yapının yüzeyden 20-25 m. derinliğe kadar, Kuzey Batı doğrultulu olarak devam ettiği tespit edilmiştir.

Süreksizliklerin Kuzey Batı istikametinde devamlılık arz etmesi nedeniyle, üretim yönünün süreksizliklerin yönelimine dik yönde Güney Batı veya Kuzey Doğu istikametinde seçilmesi gerekmektedir. Süreksizliklere dik yönde üretim yapılması durumunda, süreksizlikleri tek seferde geçmek mümkün olacaktır. Süreksizliklere paralal yönde üretim yapılması durumunda ise, kademenin her ilerlemesinde mevcut süreksizliklerle karşılaşılaşılması kaçınılmaz bir sonuç olacaktır.

5. KAYNAKLAR

Gözler, Z., Cevher, F., Küçükayman A, 1985, Eskişehir Civarının Jeolojisi Ve Sıcak Su Kaynakları, Maden Tetkik ve Arama Dergisi, Sayı 103-104, Sayfa 40-55

ISRM, 1981, ISRM Suggested Methods: Rock Characterization, Testing and Monitoring" Pergamon Press, London, 211 pp

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Harita Arşivi

Palmström, A., 1982, The volumetric joint count-a useful a simple measure of the degree of jointing, 4th Int. Congress IAEG, New Delhi, V221-228

Palmström, A., 1985, Application of the volumetric joint count as a measure of rock mass jointing, Proc. Int. Symp. On Fundamentals of Rock Joints, Bjorkliden, Sweden, 103-110

Palmström, A., 1996, RMI-a system for characterising rock mass strength for use in rock engineering, J. Of Rock Mech. And Tunneling Tech., India, 1 (2), 69-108

Palmström, A., 2000, Block Size and Block Size Distribution,GeoEng2000 Conference, Norway.

Priest, S.D., Hudson J.A., 1976, Discontinuity spacing in rock, Int. J. Of Rock Mech. And Mining Sci. And Geomech. Abst., 13, 135-148

Sen Z, Eissa E., 1992, Rock quality charts for log-normally distributed block sizes. Int J Rock Mech Min Sci;29:1–12.

Turanboy, A., 2004, Kaya Kütlesi İçindeki Süreksizlik Dağılımlarının Ortaya Konulmasında Yeni Bir Yaklaşım, Kayamek-2004, VII. Bölgesel Kaya Mekaniği Semp.

Ulusay, R., Sönmez, H., 2002, Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri, Tmmob Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: 60, Ankara

YERBİLİMLERİ GEOSOUND | ARALIK DECEMBER 2008 | SAYI NO 53 | ISSN 1019-1003

KİREÇ SÖNDÜRME SUYU ÖZELLİKLERİNİN SÖNDÜRÜLMÜŞ KİREÇ KALİTESİNE ETKİSİ

Özen KILIÇ
Ç.Ü., Maden Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : *Sönmüş kireç, bir çok endüstriyel uygulamada kullanıldığı için önemli bir malzemedir. Kireç kalitesini reaktivite oranı, kireç söndürme reaktivitesi, depolama şartları ve söndürmede kullanılan suyun bileşimi gibi bir çok faktör etkilemektedir. Yapılan çalışma ile söndürme suyu özelliklerinin kireç kalitesine etkisi incelenmiş ve yumuşak pişmiş kireçlerde söndürme işlemi boyunca kirecin yüzey alanı ve buna bağlı olarak da reaktivitesinde sürekli bir artış olduğu belirlenmiştir. Kireç söndürme deneylerinde içme suyu, saf su, saf su ile hazırlanmış şeker, sodyum klorür (NaCl), etanol ve metanol karışımları kullanılmıştır. Özgül yüzey alanı ölçümlerinde, en düşük değerler NaCl karışımları ile söndürülmüş kireç örneklerinde, en yüksek değerler ise şeker, etanol ve metanol ilavesi ile düşük konsantrasyonlarda (%2) hazırlanmış karışımlarla söndürülmüş kireç örneklerinde elde edilmiştir.*

THE EFFECT OF LIME SLAKING WATER PROPERTIES ON SLAKED LIME QUALITY

ABSTRACT: *The slaked lime is important material for its use in a number of industrial applications. Many factors such as the rate, reactivity of the hydration of lime, production and storage conditions and the constitution of the water used in the slaking process affect the quality of slaked lime. In this study, the influence of slaking water properties to lime quality has been investigated. It was found that soft burnt lime during slaking process dramatically increases its surface area and also reactivity. In the slaking experiments of limes drinking water, distilled water and distilled water mixtures, with sugar, sodium chloride (NaCl), ethanol and methanol were used. In the measurements of the specific surface area, low values of slaked limes with sodium chloride-distilled water mixtures, high values of slaked limes with low concentration (2%) in the mixtures, such as sugar, ethanol and methanol were obtained.*

1. GİRİŞ

Kireç antik çağlardan beri bilinen ve çok yönlü kullanımı olan bir maddedir. Kireç üretiminin hammaddesi kireçtaşıdır. Kireçtaşları yüksek kalsiyum içeren kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşı olmak üzere kabaca iki sınıfa ayrılabilmektedir. Yüksek kalsiyumlu kireçtaşları %97-99 $CaCO_3$ içermektedir. Dolomitik kireçtaşlarında $MgCO_3$ oranı %43'e kadar yükselebilmektedir. Oluştuğu yere, içerdiği safsızlıkların cinsi ve miktarına, kullanım alanlarına göre 40 kadar kireçtaşı cinsi bulunmaktadır (Boynton, 1980; National Lime Association, 1990; Oates, 1998; Erol vd, 1998).

Kireç, çok eski çağlardan günümüze öncelikli olarak inşaat sektöründe; ardından ise kimya sektöründe (dezenfektan olarak) kullanılmıştır. 20. yüzyılın başlarında hızla gelişen kimya ve demir çelik endüstrilerinde çok büyük miktarlarda kireç kullanılmaya başlanmıştır. Kireç, üretiminin yaygınlığı, kullanım yerlerine yakınlığı, üretim teknolojisinin geliştirilmesi, fiyatının alternatif diğer kimyasallara oranla oldukça ucuz olması nedeniyle endüstri, tarım ve çevre sektörlerinde gün geçtikçe artan miktarlarda kullanılmaktadır. Birçok kimyasal prosesin (nötralizasyon, absorpsiyon, kostikleştirme gibi) ana girdisi olması, kimyasallarla çabuk reaksiyona girerek istenmeyen maddeleri bünyeden uzaklaştırması, pahalı kimyasalların geri kazanılmasındaki rolü, organik canlılar için besi maddesi olması, ucuzluğu ve kolay bulunması gibi nedenler bu malzemenin yaygın biçimde kullanılmasında önemli rol oynamaktadır. Kireç, portland çimento ve beton yapımında hammadde bileşeni, inşaat harç ve sıvalarında bağlayıcı, demir-çelik endüstrisinde safsızlaştırıcı, gaz beton endüstrisinde bağlayıcı, çevre denetiminde arıtma kimyasalı, asitli toprakların rehabilitasyonunda pH dengeleyicisi, çeşitli kimyasal maddelerin elde edilmesinde ara reaksiyon kimyasalı veya nihai ürün bileşeni, yol zemin inşaatlarında ve asfalt yapımında aşınmaya karşı katkı maddesi olarak pek çok alanda kullanılmaktadır (Çiçek, 1999; Anıl ve Kılıç, 2000; Anıl vd, 2001; Kılıç, 2005).

Kireç, kireçtaşının fırınlarda 900 °C civarındaki sıcaklıklarda kalsine edilmesi ile elde edilmektedir (eşitlik 1) (Boynton,1980; Oates, 1998).

$$CaCO_3 + ISI \Rightarrow CaO + CO_2 \uparrow \qquad (1)$$

Kireç üretiminde, kireçtaşı veya dolomitik kireçtaşı, iri bloklar halinde özel fırınlarda 900-1000 °C sıcaklıkta kızdırılarak (kalsine edilerek), sönmemiş kirece (CaO veya CaO+MgO) dönüştürülmektedir (Kılıç, 2005; Kılıç ve Anıl, 2005; Kılıç ve Anıl, 2006a). Sönmemiş kireç suya karşı oldukça aktiftir ve özellikleri Çizelge 1'de ayrıntılı olarak verilmiştir. (TS 30, 1993). Ticari olarak kireç olarak anılan ürün sönmemiş kireç (CaO) ve sönmüş kireç ($Ca(OH)_2$) şeklinde üretilmektedir.

Reaksiyon ürünü kalsiyum oksit veya diğer ismi ile sönmemiş kireç (CaO) bu haliyle kullanıldığı gibi, suyla reaksiyona sokularak sönmüş toz kireç ($Ca(OH)_2$)

Çizelge 1. Söndürülmemiş Kirecin Özellikleri (TS 30, 1993).

Bileşim ve oranlar (ağırlıkça %)	Kalsiyum Kireci			Dolomit Kireci	
	KK 90	KK 80	KK70	DK 85	DK 80
CaO, en az	90	80	70	85	80
MgO	≤5	≤5	≤5	≥30	>5
CO_2, en çok	4	7	12	7	7
Asitte çözünmeyen maddeler, SiO_2 dahil, en çok	2	2	2	2	2
Al_2O_3, Fe_2O_3, TiO_2, metal oksitleri, en çok	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
SO_3, en çok	2	2	2	2	2

şeklinde de yaygın olarak kullanılmaktadır (eşitlik 2).

$$CaO + H_2O \Rightarrow Ca(OH)_2 + ISI \qquad (2)$$

CaO veya CaO+MgO suyla karıştırılarak söndürülünce ($Ca(OH)_2$ veya $CaMg(OH)_4$ ortaya çıkmaktadır ve bunlar sönmüş kireç olarak kullanılmaktadır. Sönmüş kirecin özellikleri ise Çizelge 2'de verilmektedir (TS 30, 1993). Sönmemiş kireç suyla reaksiyona girdiğinde ısı açığa çıkmakta ve önceleri çok hızlı yükselen sıcaklık sönmenin sonlarına doğru sabitleşmektedir. Bu ısı, kireç taneciklerinde büyük termal iç gerilimlere neden olarak sönmemiş kirecin tozlaşıncaya kadar parçalanmasına yol açmaktadır. Sönme olayı CaO'nun pişme biçimine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Sönmemiş kireç fırın üretim şartlarına, fırın sıcaklığına ve fırında kalma süresine bağlı olarak yumuşak pişmiş, sert pişmiş ve çok sert pişmiş olarak isimler almaktadır. Kirecin aktivitesini belirlemede kullanılan T_{60} deneyinde yumuşak pişmiş, gözenek sayısı fazla ve aktivitesi yüksek kireçlerin 3 - 4 dakika içinde çok şiddetli reaksiyon göstererek 60-80 °C sıcaklığa çıktığı; sert pişmiş gözenek sayısı az, aktivitesi düşük kireçlerin ise daha uzun sürede bu sıcaklığa çıkabildiği belirlenmiştir. Çok sert pişmiş kireçlerin ise 60-80 °C sıcaklığa hiçbir zaman çıkamadığı gözlenmiştir (Boynton, 1980; Song ve Kim, 1990; Lokman, 2000).

Sönme reaksiyonunun sonucuna göre 56 birim tamamen CaO'ya dönüşmüş sönmemiş kireçten 74 birim sönmüş kireç $Ca(OH)_2$ oluşmakta ve dönüşüm sonucunda CaO'nun ağırlığı ise %32 artmaktadır. Başka bir deyişle 100 kg CaO'ya 32 litre su ilave ederek 132 kg $Ca(OH)_2$ elde edilmektedir. Uygulamada buharlaşma ve suyun tam reaksiyona

Çizelge 2. Sönmüş Kirecin Özellikleri (TS 30, 1993)

Bileşim ve oranlar (ağırlıkça %)	Kalsiyum Kireci (S-KK)			Dolomit Kireci (S-DK)	
	S-KK 90	S-KK 80	S-KK 70	S-DK 85	S-DK 80
CaO, en az	90	80	70	85	80
MgO	≤5	≤5	≤5	≥30	>5
CO_2, en çok	4	7	12	7	7
Asitte çözünmeyen maddeler, SiO_2 dahil, en çok	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Al_2O_3, Fe_2O_3, TiO_2, metal oksitleri, en çok	1	1	1	1	1
SO_3, en çok	2	2	2	2	2

girememesi nedeni ile daha fazla su verilmesi gerekmektedir. Yani sırf teorik ihtiyaç kadar su verilirse (CaO'nun ağırlıkça %32'si) kireç yetersiz hidrate olmakta ve bu dengesizlikten dolayı da $Ca(OH)_2$ yanında hidrate olmamış CaO'ya da rastlanabilmektedir. Bu nedenle 1 kg sönmüş kireç elde etmek için CaO ağırlığının en az %68'i veya $Ca(OH)_2$ ağırlığının en az %52'si kadar su vermek gerekmektedir (eşitlik 3- 4).

$$H_2O \text{ (ideal)} = 0{,}32CaO = 0{,}24\ Ca(OH)_2 \quad (3)$$

$$H_2O \text{ (gerçek)} = 0{,}68CaO = 0{,}52\ Ca(OH)_2 \quad (4)$$

Söndürme suyunun miktarı arttıkça sönme hızı azalmaktadır. Su aşırı miktarda ve çok hızlı bir şekilde verilirse kireç boğulmakta; CaO yüzeyi hidrate olarak suyun iç bölgelere ilerlemesine engel olmakta, söndürme gecikmekte ve yetersiz gerçekleşmektedir. Az miktarda su ile yapılan söndürmede ise kireç yanmaktadır. Söndürme işlemi sırasında oluşan aşırı sıcaklık artışından dolayı (200-300 °C) hidrate olmuş bir kısım kireç tekrar dehidrate olmaktadır. Sonuçta ise dehidrate olmuş oksitler ve hidrate olmuş kısımlar birlikte bulunarak kullanışsız bir ürün ortaya çıkmaktadır. Belirtilen bu olumsuzlukları yaşamamak için söndürme işlemi sırasında kirece su kademeli, ölçülü ve belirli dozajlarda verilmelidir (Lokman, 2000).

Söndürülmemiş kireç (CaO veya CaO+MgO), iri bloklar halinde veya öğütülmüş olarak piyasaya sürülebilmektedir, fakat suya karşı çok hassas oldukları için korunması zor ve paketlenmesi pahalıdır. Sadece kısa sürede kullanılacak olanlar ham haliyle tutulmakta ve piyasaya az miktarda sürülmektedir. Asıl yaygın kullanım tarzı,

kireci söndürüp bazı teknik işlemlerle suyunu yarım moleküle kadar indirdikten sonra, öğütüp paketleyip piyasaya sunmaktır. Kullanıcılar söndürme işlemi yapmaksızın suyla karıştırıp doğrudan kireç elde etmektedir. Söndürülmüş kalsiyum kireci, kalsiyum hidrattır ($Ca(OH)_2$). Söndürülmüş dolomit kireci ise, kalsiyum/magnezyum hidrattır ($CaMg(OH)_4$). Her iki kirecin kurutulması ile söndürülmüş toz kireç elde edilmektedir. Bunlar kraft kağıdından veya yüksek yoğunluktaki polietilenden yapılan torbalar içine 25 kg olacak şekilde doldurularak piyasada satışa sunulmaktadır.

Söndürme sırasında kirecin yüzey alanı 20-40 kat artarak 0,4-1,3 m^2/g (sert pişme, sönmemiş kireç 0,44-0,67 m^2/g; yumuşak pişme, sönmemiş kireç 1,18-1,30)'dan 14-32 m^2/g'a kadar çıkmaktadır. Ayrıca sönmemiş kireç ne kadar küçük taneli ise sönmüş kireç de o kadar küçük taneli olmaktadır. Hidratasyon sırasında suda bulunan iyonlar (SO_4^{2-}, CO_3^{2-}, Cl^-, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+), ortam sıcaklığı, suyun sıcaklığı ve suyla yapılan karışımlar da yüzey büyüklüğüne yani kirecin aktivitesine etki etmektedir Çizelge 3) (Boynton, 1980; Oates, 1998; Potgieter vd, 2003).

Yüzey alanı büyüklüğü sönmüş kirecin en önemli özelliğidir. Yüzey alanı kireçlerin aktivite tayini açısından en güvenilir ölçülerden birisidir. Kirecin m^2/g cinsinden ölçülen alanı ne kadar büyükse aktivitesi de o kadar fazla olmaktadır. Yüzey alanı büyük olan kirecin çökme hızı, plastisite, emme kapasitesi vb. fiziksel özellikleri oldukça iyidir. Kirecin alkol-su veya şeker-su karışımı ile söndürülmesi sonucunda daha büyük özgül yüzey elde edilebilmektedir. Henüz araştırmaların devam etmesine rağmen yüzey alanı, %60 oranında alkol (metanol) katılarak söndürülmüş öğütülmüş kireçlerde 35-43 m^2/g, şeker (amine/glikol)-su karışımı ile söndürülmüş kireçlerde ise 46 m^2/g olarak ölçülmüştür (Boynton, 1980; Oates, 1998).

Bu çalışma kapsamında, yumuşak tipte pişirilmiş, reaktivitesi yüksek kireçlerin farklı bileşenlerde ve yüzdelerde su+çeşitli karışımlarla söndürülmesi ile kireç kalitesinde meydana gelen değişimler özgül yüzey alanı değerleri ölçülerek belirlenmeye çalışılmıştır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

Ceyhan ve Karaisalı yöresi

Çizelge 3. Söndürme Şartlarının Sönmüş Kirecin Yüzey Alanına Etkisi

Söndürme	Yüzey alanı (m^2/g)
Soğukta söndürme (5 °C)	6,67
Buharla söndürme (113 °C)	8,05
Şeker-su karışımı ile söndürme	37-46
Etanol-su karışımı ile söndürme	36-46

kireçtaşlarından örnekler alınmış ve bu kireçtaşı örnekleri üzerinde kimyasal analiz, petrografik ve mineralojik analiz ve özgül yüzey alanı belirleme ölçümleri yapılmıştır. Özgül yüzey alanı ölçümleri pişirilmiş ve çeşitli karışımlarla söndürülmüş sönmüş kireç örnekleri üzerinde de yapılmıştır.

Kireçtaşı örneklerinin kimyasal analizleri XRF (Siemens SRS 300 X-ray Fluoresans Spectrometer) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Petrografik ve mineralojik incelemelerin gerçekleştirilmesi amacıyla kireçtaşı örneklerinden 0.02 mm kalınlığında ince kesitler hazırlanmış ve bu kesitler polarizan mikroskop (Olympus BH-2) ile incelenmiştir.

Özgül yüzey alanı, -198 °C'deki sıvı azot ortamında azot (N_2) gazı adsorpsiyonu tekniğine dayalı olarak bilgisayar donanımlı cihaz ile katıların m^2/g olarak ölçülebilmektedir. Bu yöntemle, özellikle katı maddelerin kendi aralarındaki kristal yapı farklılıkları ve aynı maddenin farklı sıcaklıklarda ısıl işlem görmesi veya asit vb. kimyasallarla muamele edilmesi ile mikro yapılarında meydana gelen değişiklikler incelenebilmektedir. Minimum 0.01 m^2/g değerine kadar ölçümlenebilmektedir. Örneklerin özgül yüzey alanı BET ile Micromeritics Flow Sorb II-2300 cihazı kullanılarak ölçülmüştür.

Pişirme işlemleri (kalsinasyon), laboratuar tipi kül fırınında (Electromag, tmax: 1260°C, ±2°C) gerçekleştirilmiştir. Pişirme deneyleri, 1000°C sıcaklıkta 1 saat süre ile tutulan yaklaşık 10'ar gram'lık -0.5 mm boyutuna indirilmiş kireçtaşı örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Pişirilen tüm örnekler hava ile temas halinde bile kolaylıkla sönme eğilimi gösterdiklerinden deneyler süresince desikatörde bekletilmiş ve deneyler bu örneklerle yapılmıştır.

3. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

Seçilen kireçtaşı örnekleri (Ceyhan, Karaisalı) makroskobik olarak farklılıklar sunmaktadır. Ceyhan kireçtaşları açık renki/kirli beyaz, sık ve rekristalize tanelerden yapılı, Karaisalı kireçtaşları ise kirli beyaz ve açık gri renkli ince tanelerden yapılıdır. Her iki kireçtaşları da mikro çatlak ve kırıklar içermemektedir.

Kireç üretiminde kireçtaşlarının tane yapılarının sıkılığı ve tek eksenli basınç dayanımı oldukça önemlidir. Bu nedenle araziden örnekler alınmadan önce örnek alınacak bölgelerde Schmidt çekici (L Tipi) ile ölçümler yapılarak tek eksenli basınç değerleri dolaylı olarak belirlenmeye çalışılmıştır. Ölçümler sonucunda tek eksenli basınç dayanımı Karaisalı kireçtaşları için 785±140 kg/cm^2, Ceyhan kireçtaşları için ise 663±100 kg/cm^2 olarak bulunmuştur. Mekanik dayanımlarının yüksek olması kireçtaşlarının sıkı yapılı olduğunu, kırık çatlak içermediğini ve pişme sırasında tozlaşmadan, parçalanmadan pişeceğini göstermektedir.

Kireçtaşı örnekleri üzerinde yapılan kimyasal analizler sonucunda örneklerin $CaCO_3$ oranının % 98,6'dan büyük olduğu, safsızlık (SiO_2, Fe_2O_3, Al_2O_3,

$MgCO_3$) oranlarının ise oldukça düşük olduğu görülmüştür (Çizelge 4).

Çizelge 4. Ceyhan ve Karaisalı yöresi kireçtaşlarının kimyasal analiz sonuçları

Kireçtaşı	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	$CaCO_3$	$MgCO_3$
Karaisalı	0.32	0.19	0.06	98.71	0.72
Ceyhan	0.49	0.06	0.07	98.86	0.52

Petrografik ve mineralojik incelemeler sonucunda Karaisalı kireçtaşlarının değişik boyutlarda (irili-ufaklı) (470±152μ) tanelerden, Ceyhan kireçtaşlarının ise daha küçük tanelerden (320±136 μ) yapılı olduğu belirlenmiştir. Her iki örneğin de oldukça saf ve ana bileşeninin kalsit minerali olduğu Alizerin Red-S yöntemi ile belirlenmiştir (Şekil 1). Yapılan tüm analizler kireçtaşlarının kireç üretimi için uygun özellikte olduğunu ve istenilen kalitede kireç üretimi için sorunsuz üretim yapılabileceğini göstermiştir.

Daha önce yapılan kireç üretim çalışmaları (Kılıç, 2005), 10 g'lık örnekler için 1 saat süre ile 1000°C'de yapılan kalsinasyon/pişirme işlemlerinin kireçtaşının kirece tam olarak dönüşmesi, yumuşak pişmiş tipte kireç elde edilmesi için yeterli olduğunu göstermiştir. Kül fırınında 1 saat süre ile 1000 °C'de pişirilen kireçtaşı örneklerinin (-0.5 mm boyutunda ~10 g) tamamen kirece dönüştüğü, pişirme sonrası yapılan özgül yüzey alanı değerleri ile görülmüştür. Bu nedenle, pişirme süresi ve kireçtaşı miktarı belirleme çalışmaları bu çalışma esnasında tekrarlanmamıştır.

Pişirme deneyleri sonucunda, Karaisalı kireçtaşlarını kirece dönüştürmek için gerekli olan ısı enerjisi, Ceyhan kireçtaşlarına göre daha az olduğundan (Kılıç, 2005) kirecin reaktifliğini belirleyen özgül yüzey alanı değerlerinin, aynı sıcaklık değerlerinde, Karaisalı kireçtaşlarından elde edilen kireçte Ceyhan kireçtaşlarından elde edilen kirece göre daha yüksek çıktığı görülmektedir (Çizelge 5).

Sönmemiş kireci söndürmek için kullanılan kirecin ağırlıkça %50 ve %60'ı kadar su ilavesi ile söndürülmesinin çok yetersiz bir söndürme yaptığı ve ağırlıkça %70'lik su ilavesinin ise yeterli olduğu görülmüştür. Bununla beraber ağırlıkça %70'lik su ilavesinin zaman zaman kalitesi yüksek kireçte yetersiz kaldığı; %80 su ilavesi ile yapılan söndürmede ise kireçte suya aşırı doyma olduğu (kirecin boğulmaya başladığı) tespit edilmiştir (Kılıç, 2005; Kılıç ve Anıl, 2006b). Bu nedenle, yapılan söndürme çalışmalarında söndürme işlemleri, hazırlanan karışımların ağırlıkça %70'i kadarının sönmemiş kireç üzerine ilavesi ile gerçekleştirilmiştir. Karışımlar ağırlıkça %2 ve %5 şeker, NaCl, etanol ve metanol kullanılarak iki farklı yüzde için hazırlanmıştır. Söndürülmüş kireç örnekleri üzerinde ise oluşan kireç

named as Southern Ophiolitic Belt, within ophiolitic rocks that run as 3 belt in Turkey. This massive has similar characteristics to the Troodos in Cyprus and is related with the Bear Bassit ophiolite in Syria. Therefore, number of researchers who investigate the ophiolites in Turkey have named this massive as the Peri-Arab ophiolitic massive. This massive has attracted the attention of many foreign researchers, just like the Troodos massive, and has been the subject of many research due to its geopolitical importance and having the most strategic heights in the Eastern Mediterranean.

The heights of ophiolites in the region between Belen-Soğukoluk and Kömürçukuru decrease gradually extending towards the northeast ending with regions covered young sedimentary units. There exists operation licenses towards chromite ore output in this region and there have been a lot of production activities since 1950s. Both morphology of chromite and ore types have been researched in detail in investigations performed in ore zones belonging to open and closed mining that performed activities in the licence fields for the current and inspected years; and visible and possible reserve calculations are performed for the ore zones. In addition, microscopic observations and chemical analysis were performed both on rock samples of ophiolitic units and chromite ores.

It was understood that the chromite ores in the license fields are compact-massive, banded, scattered and nodular type and these types are observed in different ratios even in the same ore zone and therefore they show no continuity. Dense cataclysm is observed especially on massive chromites and magnetite forming is observed starting from the walls. In addition, non-chromite minerals such as millerite, osmium, heazlewoodit and avaruit were determined. Some economical reserves were also determined in this licence area forming zones where Cr_2O_3 tenor changes in the range of 22-45 %.

1. GİRİŞ

Hatay ili, Belen ilçesi, Soğukoluk, Kömürçukuru ve Burgaş köyleri başta olmak üzere birçok yerleşim yerini içine alan sahanın önemli bölümünde yüzeyleyen ofiyolitler içinde çok sayıda kromit mostrası bulunmaktadır. Ofiyolitlerle bölgeye yerleşen olistolit şeklindeki karbonatlar (kalker), inceleme alanında geniş bir alanda yüzeylemektedir.

İnceleme alanında Eosen yaşlı kireçtaşları, Miyosen yaşlı kumtaşı, kireçtaşı ve konglomera bileşimindeki otokton çökeller incelenerek IV. grup maden sınıfına giren herhangi bir cevherleşmenin bulunup bulunmadığı araştırılmıştır. Bölgede genellikle ofiyolitleri kapsayan alanlarda krom aramalarına dönük maden ruhsatları bulunmaktadır. İnceleme alanında yapılan madencilik çalışmalarının 1/25 000 ölçekli topografik haritadaki yerleri yüksek hassasiyetli GPS kullanarak tespit edilmiş, yarma ve girilebilen galeriler incelenerek açılımları yapılmıştır.

Alınan kromit örnekleri üzerinde ana element oksitlerinin analizleri yapılarak

ortalama tenör bulunmuştur. Mevcut mostraların özellikleri belirlenerek görünür ve muhtemel rezerv tahminleri gerçekleştirilmiştir. Bu sahada yapılan çalışmalar esas itibariyle kromit cevherleşmesinin nasıl bir dağılım gösterdiği, şu ana kadar belirlenemeyen kromit zuhurlarının bulunması için neler yapılması gerekliliğine yönelik çalışmaları kapsamaktadır. Öte yandan cevher zonlarından alınan kromit örnekleri üzerinde ince kesit ve parlak kesitler yapılarak mikroskopik özellikleri saptanmış, yapılan kimyasal analizlerle de cevher kalitesi belirlenmiştir.

Hatay bölgesi yerli ve yabancı jeologların dikkatini yirminci yüzyılın başından beri çeken bir bölge olmuştur. Kıbrıs adası ile birlikte Doğu Akdeniz sürekli inceleme konusu yapılmıştır. Öte yandan Kızıldağ ofiyoliti olarak literatüre geçen ve içinde birçok yerde kromit cevherleşmesi bulunan ofiyolitik kortejin Troodos masifinin bir devamı olarak Hatay'da yüzeylemesi ve Suriye'deki Bear Basit ofiyoliti ile birlikte çok sayıda çalışmada belirlenmiştir. Kızıldağ ofiyoliti, Doğu Akdenizde, Bitlis-Zagros zonunun kuzeyinde sürekli olmayan uzunlukta yüzeyleyen peri-arap ofiyolit kuşağının bir parçasıdır. Kızıldağ ofiyolit masifini tektonitler, kümülatlar, izotropik gabrolar ve yaprak (sheeted) dayk kompleksi, pillow lavlar ve volkano - sedimanter kayaçlar oluşturur. Alttan üste doğru tam bir ofiyolitik seri oluşturan Kızıldağ ofiyoliti bir çok çalışmaya konu edilmiştir. Ericson (1940), Antakya-İskenderun bölgesinde öncelikle petrol olanakları bakımından ilk çalışmayı gerçekleştirmiş ve çok detaya inmeden 1/100 000 ölçekli jeoloji haritasını yayınlamıştır. Yazar bölgede yüzeyleyen ofiyolitik kayaçları taze gabro ve kloritleşmiş gabro olarak ikiye ayırarak incelemiştir. Dubertret (1953), Kızıldağ ofiyoliti ile ilgili olarak toplu bilgiler vermiş, Suriyenin kuzeybatısı ve Antakya bölgesinin 1/200 000 ölçekli jeoloji haritasını hazırlamıştır. Bu çalışmayla birlikte ilk kez kaya birimlerinin stratigrafik konumları belirlenmiş, ofiyolitlerin iç yapıları açıklanmıştır. Kızıldağ ofiyolitinin peridotit, proksenit, gabro-dolerit-diyabaz, yastıklavları ve bazaltlardan oluştuğunu ve aralarında tedrici bir geçiş görüldüğünü açıklamıştır. Yazar "denizaltı yeşil kayaç yapı" hipotezini ortaya atarak büyük yankılar uyandırmıştır. Bu hipotezinde Mestrihtiyen (Üst Kretase) sırasında intrüzyon yoluyla denizaltına yerleşmiş 3000 m kalınlığındaki ofiyolitik bir dizilimin, tek bir magmatik paket oluşturarak en alttaki peridotitlerden en dıştaki yastık lavlarına kadar magmatik diferansiyasyon yoluyla, tek bir ultrabazik magmadan türediğini ileri sürmüştür. Yer yer bantlı görünümü olan ofiyolitik dizinin Mestrihtiyen yaşlı sedimanlarla transgresif olarak örtüldüğünü belirlemiştir. Borchert (1958), Suriye-Arabistan Bloğunun kuzeybatısında, 500 km uzunluğunda GB-KD yönünde şerit şeklinde uzanan Antakya-Kahramanmaraş-Malatya-Elazığ bölgesinde esas itibariyle aynı koşulların hüküm sürmüş olduğunu, buradaki ofiyolitlerin bölgeye Geç Kretase'de

intrüzyonla yerleştiğini ve ofiyolitik magmanın oluşturduğu en önemli cevherleşmelerin kromit, hematit, pirit-kalkopirit ve manganez yatakları olduğunu belirtmiştir. Vaugnat ve Çogulu (1967) Kızıldağın güneybatı kesiminde gerçekleştirdikleri çalışmada gabro ile diyabaz arasında tedrici bir geçişin olmadığını, aksine diyabazların dayklar biçiminde gabroları kestiklerini belirtmişlerdir. Bürküt (1971), Kızıldağ ofiyolitinin bazik ve ultrabazik kayaçlarında Ni, Co, Rb ve Sr içeriklerini bir kesit boyunca incelemiştir. Parrot (1973), Kızıldağ ofiyolitinin Akdeniz sahili boyunca yüzeyleyen kesit güzergahı boyunca iç yapı ve petrolojik özelliklerini incelemiştir. Yazar bu masifi, levha tektoniği kavramı içinde ele alan ilk jeolog olup, Kızıldağ masifinin GD'ya devrik bir iç yapı sunduğunu da belirtmiştir. Dayk karmaşığının kıyı boyunca D-B doğrultulu olduğunu vurgulayan yazar, volkaniklerin doğusundaki ofiyolit birimlerinin ayrıntılı kimyasal analizlerini yaparak masifi petrolojik açıdan tanımlamıştır. Çoğulu (1973), Kızıldağ ofiyolinde değişik kökenli ultrabaziklerin bulunduğunu, gabro serilerini oluşturan çeşitli kayaç tiplerini ve diyabaz bileşimli dayk kümelerinin varlığını ortaya koymuştur. Yazar ultrabazik kayaçları kökenlerine göre tektonitler ve magmasal çökelmeyle oluşmuş ultrabazikler olmak üzere iki kısma ayırmıştır. Yazar gabro serilerinin bazik bir magmadan türediğini, diyabaz dayklarının gabro senklinalinin eksen düzlemi boyunca yerleştiğini belirterek, birbiri içine girmiş sayısız dayk görüldüğünü vurgulamıştır. Aslaner (1973), İskenderun-Kırıkhan bölgesindeki ofiyolitik kayaçlar topluluğunu ultrabazikler ve bazikler olarak ikiye ayırmıştır. Ultrabaziklerin dünit, verlit, harzburjit, lerzolit; bazikleri ise metagabro, gabro, dolerit, diyabaz, kuvarslı mikrodiyorit, bazalt, spilit ve keratofirin oluşturduğunu belirtmiştir. Ayrıca ultrabazikleri kesen rodenjit damarlarının sıkça görüldüğünü vurgulamıştır. Yazara göre bölgedeki ultrabazik ve bazik kayaçlar arasında tedrici bir geçiş görülmez. Ancak bazik olanlar yer yer ultrabazikleri kesmekte ve her iki kayaç grubunda da kendi içinde tedrici geçişler izlenebilmektedir. Çoğulu (1974), Kızıldağ ofiyolitindeki ultrabazik tektonitlerle tabakalı peridotitler üzerinde durmuş ve masif içindeki çeşitli birimleri tekrar gözden geçirmiştir. Çoğulu, ve diğ. (1976) Kızıldağ ofiyolitinde yeniden alınan örnekler üzerinde kimyasal, jeokronolojik ve petrofizikal incelemeler gerçekleştirmiştir. Delolaye ve diğ. (1976), K-Ar yöntemiyle Kızıldağ ofiyolitinin yaş tayinini yapmışlardır. Yalçın(1980), Amanoslarda yaygın mostrası bulunan ofiyolit topluluğu kayaçların, kıtasal birimlerle tektonik ilişkili oluğunu belirterek, bölgedeki ofiyolitik kayaçların eski bir okyanus kabuğunu temsil ettiğini ve güneydeki Kızıldağ ofiyoliti ve Amanoslardaki ofiyolitik kayaçların aynı özellikleri gösterdiğini öne sürmüştür. Yazar Kızıldağ ofiyolitinin kesin yerleşme

yaşını Kampaniyen sonrası Geç Mestrihtiyen öncesi olarak kabul etmiştir. Juteau (1980), Türkiye'deki ofiyolitik kayaçlar üzerine kapsamlı özel bir bölüm hazırlamış ve Kızıldağ ofiyolitinin petrolojik özelliklerini bu çalışmada vermiştir. Çoğulu (1980), Kızıldağ masifi içindeki serpantin zonlarında sıkça görülen önce filonlar ve rodenjit damarlarının incelenmesini yapmış ve yeni yaklaşımlar getirmiştir. Tinkler ve diğ. (1981), Hatay ofiyolitinin tektonik geçmişi ve Ölü Deniz rifti ile alanın ilişkisi üzerinde durmuşlar ve Kızıldağ ofiyolitinin Erken Kretase yaşlı kireçtaşları üzerine tektonik olarak oturduğunu belirtmişlerdir. Ofiyolitin bu bölgeye yerleşim yaşının Kampaniyen sonrası - Erken Mestrihtiyen öncesi olabileceğini belirtmişlerdir. Selçuk (1981), Hatay bölgesinin jeolojisini inceleyerek otokton, allokton ve yeni otokton olmak üzere üç değişik birim ayırt etmiştir. Keldağı bölgesinde görülen Üst Jura yaşlı otokton kireçtaşları üzerine allokton olarak bindirmeyle gelen Kızıldağ ofiyolitik masifinin tektonitler, kümülatlar, kompleks filonlar, spilitik bazalt ve volkano-sedimanter birimlerden oluştuğunu belirtmiştir. Ayrıca yeni otokton olarak ofiyolitler üzerinde transgresif özellikli genç birimlerin yerleştiğini vurgulamıştır. Moritz (1983), Kızıldağ ofiyolitinin Arsuz-Kisecik arasında kalan kesiminde yapısal inceleme yaparak hem görülen ofiyolitik birimleri ayrıntılı incelemiş, hem de ilk defa burada görülen kromit mostralarını ayrıntılı olarak kesit üzerinde yerleştirmiştir. Erendil (1984), Kızıldağ ofiyolitinin Kampaniyen-Mestrihtiyen zamanı boyunca Arap platformunun KB kenarına bindirdiğini, iyi oluşmuş bir tabakalı dayk kompleksi ve bozunmuş volkanik bir kompleks içerdiğini belirtmiştir. Çok sayıdaki yarı paralel diyabaz dayklarının birbirinden oldukça farklı dayk kompleksi sergilediğini vurgulamıştır. Bunlardan ilkinin magma odasında veya ona eşlik eden ikincil küçük odalardan intrüzyonlar şeklinde türeyerek önceki birimleri kestiğini, ikinci grubun ise ara sokulumlar veya ana eksen haraketleri tarafından oluşturulduğunu belirtmiştir. Pişkin ve diğ. (1986), bölgeyi strafigrafik açıdan ele alarak otokton sedimanter formasyonlar, magmatik orijinli kayaçlar ve örtü formasyonları olarak üç grup altında incelemişlerdir. Otokton sedimanter formasyonlar olarak Paleozoyik'te Ceyhan-Eğribucak serilerinin Orta Kambriyen'de transgresif olarak konglomera, konglomeratik kuvars, ortakuvarsit, subarkoz, dolomitik kireçtaşının görüldüğünü belirterek, Mesozoyik'te Keldağ'ın güneyinde Karasu Vadisi bölgesinde açılı bir diskordansla konglomera, kuvarsit, kireçtaşı ve rekristalize dolomitik kireçtaşı, kumlu kireçtaşı, fosilli kireçtaşı ve kumtaşlarının bulunduğunu vurgulamışlardır. Magmatik kayaçlar olarak da ofiyolitik seri içinde yer alan tektonitler, tektonitik dayklar, kümülatlar, izotropik gabro ve plajiogranitler, kompleks dayklar, yastık lavlar ve volkano sedimanter birimleri ayırt etmişlerdir. Yazarlar genç otoktonlar

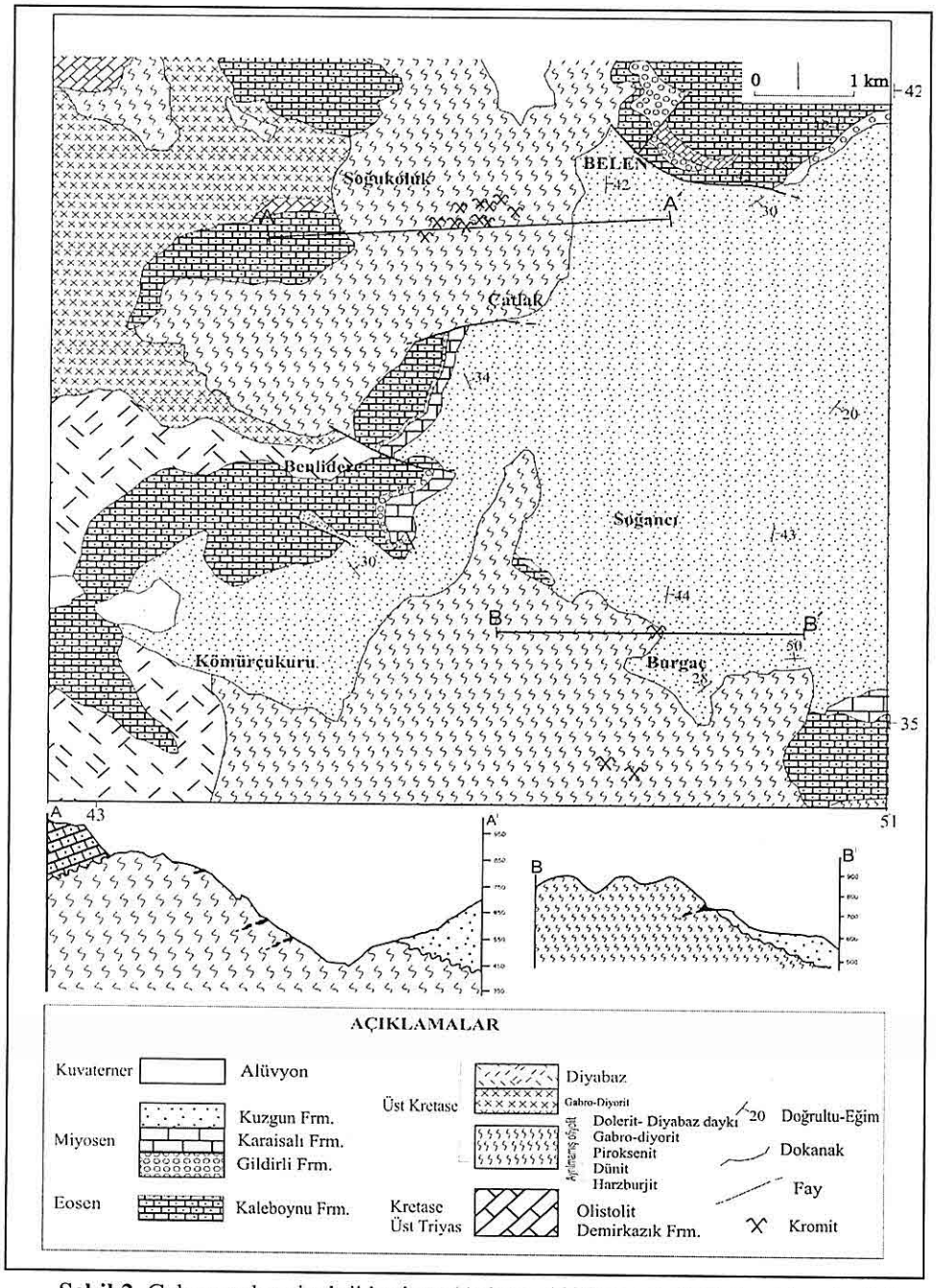
olarak ofiyolitik seriyi transgresif olarak örten ve içinde ofiyolitik konglomera, kumtaşı, kireçtaşı ve marnlarda oluşan birimleri ayrıntılı olarak incelemişlerdir. Aydın ve Erler (1987), Kızıldağ kromit yataklarının Amanos dağlarının güney kısmını oluşturan ofiyolitik seri içinde hem poikilitik ve hem de tektonik zonlarda görüldüğünü vurgulayarak, cevher mikroskopisi incelemelerinde kromit kristallerinin genellikle izotropik karakter gösteren öz ve yarı öz şekilli göreceli olarak düşük parlaklık gösteren ve yer yer içinde küçük silikat kapanımları içerdiklerini vurgulamışlardır. Anıl (1987), Türkoğlu-Kömürler arasındaki ofiyolitler içinde görülen kromit cevherleşmelerini esas alan ayrıntılı inceleme gerçekleştirmiştir. Kızıldağ ofiyoliti ile benzer özellik taşıyan bu bölümde görülen kayaçların özellikle harzbujitik tektonit ve serpantinize dünit şeklinde yaygın olarak yüzeylenmesine karşılık, kümülatik seriye ait gabroların çok küçük alanlarda yüzeylendiğine işaret etmiştir. Kromit yataklanmalarının granoblastik tekstür gösteren harzburjitler içinde dunitik bir zarfla çevrili olarak görüldüğünü ve serpantinleşmenin hat safhada geliştiği için kromit kütlelerinin ana kayaç içinde kolayca ayrıldığını belirtmiştir. Yazar kromit örnekleri üzerinde yaptığı mikroprop çalışmalarında ise kristallerin genellikle yüksek Cr_2O_3 içerdiğini, ayrıca Al_2O_3 içeriğinin de yüksek görülmesi sebebiyle jeokimyasal diyagramlarda alüminaca zengin kromit sınıflaması yapılabileceğini vurgulamıştır. Dilek ve Thy, (1988), yapı, petroloji ve deniz tabanı yayılma tektoniğine değindikleri Kızıldağ ofiyolitini Amanos dağlarında NW-SE uzanımlı, Tahta köprü fayı ile iki ana bölüme ayırarak karşılaştırmalı incelemişlerdir. Ayrıca Kızıldağ ve Troodos ofiyolitlerini yapısal ve petrolojik yönden karşılaştırarak bunların evrimlerinin güney Neo-Tetis tabanı yayılma sistemi içerisinde gerçekleştiğini bildirmişlerdir. Anıl (1989), Kızıldağ ofiyolitinin bir uzantısı şeklinde kömürler (Nurdağ) bölgesinde yüzeyleyen ve çoğu bindirme hattı boyunca gözlenen kromit cevherleşmelerinin yataklanma ve cevher mineralojisi yönünden incelemesini yapmıştır. Yaşar (1989), Hatay ofiyolitlerinin kuzey batı kısmında gerçekleştirdiği yüksek lisans çalışmasında, ofiyolitik serinin mineralojik ve petrografik açıdan incelemesini yapmıştır. Yazar bu kesimde görülen kromit cevherleşmesinin yapısal ve dokusal özellikleriyle zuhurlar bazında açılımlarını incelemiştir. Anıl ve Yaşar (1989), Kızıldağ ofiyolitik masifindeki kromit cevherleşmesindeki dönüşüm mineralleri ve platin gurubu minerallerin mikroskobik incelemelerini gerçekleştirmiştir. Anıl (1990), Pozantı-Karsantı, Mersin ve Hatay bölgesinde yüzeyleyen ofiyolitleri ve içindeki kromit cevherleşmelerinin morfolojik-yapısal ve jenetik açıdan incelemesini yaparak öteki Akdeniz bölgesindeki kromit yataklarıyla denetleştirilmesini yapmıştır. Anıl ve Yaşar (1990), Antakya-Arsuz arasında görülen kromit cevherleşmelerinin metallojonik ve jeokimyasal açıdan

incelemesini yaparak Spinello paket programı yardımıyla kromitlerin hücre boyutlarını hesaplamışlardır. Anıl (1992), Pozantı-Karsantı, Mersin ve Kızıldağ ofiyolitlerindeki nodüller, masif ve saçınımlı kromitlerde görülen sülfit, dönüşüm ve Pt grubu minerallerinin dağılımını incelemiştir. Anıl (1993), Çevlik-Teknepınarı-Halkakayası, Samandağ-Hatay arasındaki ofiyolitler ve kromit cevherleri üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Yazgan ve diğ. (1994), Ankara'da yapılan uluslararası volkanoloji kongresinde Kızıldağ ofiyolitine yapılan teknik gezide katılanların yararlanması için gezi klavuzu hazırlayarak, o güne kadar gerçekleştirilen çalışmaların sentezine dayanan özet bilgi sunulmuştur. Elyasi ve Anıl (1991), Kızıldağ ofiyolitinin bir bölümünü oluşturan Dörtyol- Erzin arasındaki ofiyolitlerin petrografisi ve kromit cevherleşmesini incelemişlerdir. Anıl (1995), Pozantı-Karsantı, Mersin ve Hatay ofiyolitlerindeki kromit kristalleri platin grubu minerallerinin varlığını araştırmıştır. Anıl ve Yetiş (2008), İskenderun doğusunda Geç Triyas – Kretase yaşlı Demirkazık formasyonu alacalı siyah renkli mermerlerin jeolojik - petrografik incelemesini yaparak üretilen mermerlerin mühendislik özelliklerini ortaya koymuşlardır. Bağcı ve diğ. (2008), Güney Türkiye'de en iyi korunmuş Neotetis okyanusal litosfer kalıntılarından birisi olan Kızıldağ (Hatay) ofiyolitini tabandan tavana manto tektonitleri, ultramafik-mafik kümülatlar, izotrop gabrolar, levha dayk kompleksi, plajiogranitler ve volkanik birimlerine ayırarak incelemişlerdir. Ayrıca jeokimyasal verilere göre Kızıldağ ofiyoliti okyanusal kabuk kayaçlarının iki ana magmadan oluştuğunu bildirmişlerdir.

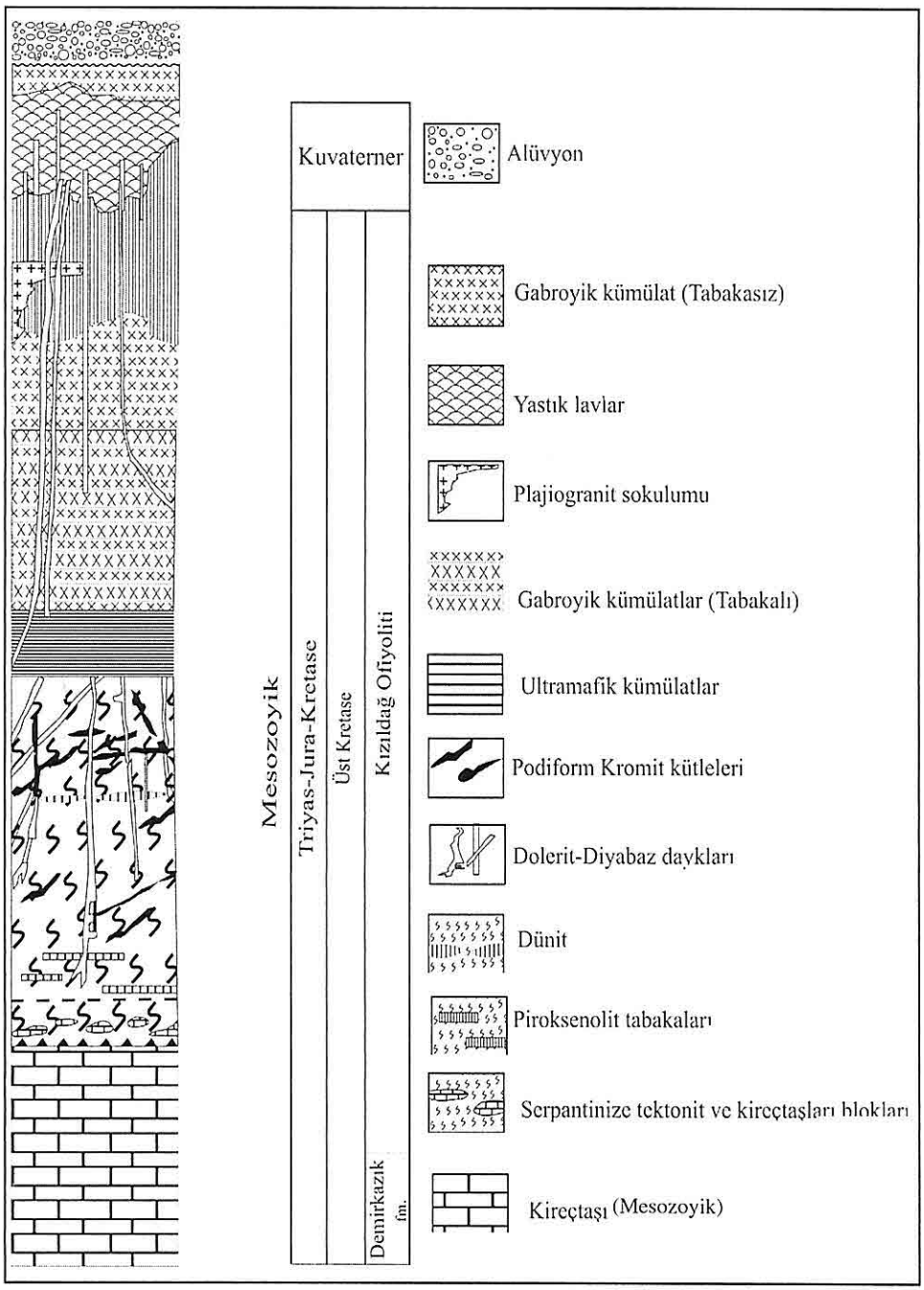
2. BELEN - SOĞUKOLUK(HATAY) VE YAKIN ÇEVRESİNİN JEOLOJİSİ

İnceleme alanı Belen- Soğukoluk hattının güney ve güneybatısında kalan yaklaşık 60 km^2'lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1).

Bölgede ofiyolit dizisi kayaçların yerleşmesinden önceki otokton özellikli kayaçlar inceleme alanında yüzeylemezler. Ancak çalışma alanı yakın dolayında Geç Triyas – Jurasik – Kretase yaşlı, platform karbonatlarından oluşan, başlıca kireçtaşı, dolomit, dolomitli kireçtaşı yapılışlı Demirkazık formasyonu karbonatları yüzeylemektedir ve bunun ofiyolit dizisi kayaçlar ile olan tavan dokanağı her zaman tektoniktir. Ofiyolit dizisi kayaçlar ve Demirkazık formasyonundan oluşan Mesozoyik istifin altında, kırıntılı – karbonatlı - kırıntılı karbonatlardan oluşan ve Amanos antiklinoryumun çekirdeğini oluşturan Amanos dağları Paleozoyik istifi bulunup, bu birimler de ruhsat alanı sınırları içerisinde yüzeylemezler. Ruhsat alanı ve yakın dolayında Ofiyolit dizisi kayaçlar üzerine Eosen yaşlı, başlıca nümmülitli kireçtaşı ve killi kireçtaşından oluşan Kaleboynu formasyonu ile Adana baseni Tersiyer istifi ile benzerli karasal kırıntılılardan oluşan Gildirli formasyonu, resifal karbonatlardan oluşan Karaisalı



Şekil 2. Çalışma alanı jeoloji haritası (Aslaner 1973'den değiştirilerek) ve jeoloji enine kesitleri.



Şekil 3. Kızıldağ ofiyolitinin genelleştirilmiş dikme kesiti (Selçuk 1981'den revize edilmiştir).

gelmektedir. Bölgede birimin üzerine ofiyolitli melanj bindirmelidir. Amanos dağları Orta ve Kuzey kesimlerinde, Demirkazık formasyonunun aşırı dolomitleşmeli kesimlerinde fosil bulgusu elde etmek çok zordur. Buna karşılık Orta – Güney Amanoslar geçişi ve Güney Amanoslarda, dolomitleşmemiş, özellikle mikritik kireçtaşı düzeyleri oldukça bol fosillidir. Demirkazık formasyonunun yaşı Aladağlarda Yetiş (1978a, b), Metin ve diğ. (1982), Adana baseni kuzeyinde Yetiş ve diğ. (1987), Orta Amanoslarda Yetiş (1988a, b), Amanoslarda Kozlu (1997) tarafından Geç Triyas – Jura - Kretase olarak verilmiştir. Gerek Güney Amanoslar, gerekse Güneydoğu Anadolu bölgesi ve Doğu Toroslar ile korele edildiğinde birimin Geç Triyas – Jura – Kretase evresinde sığ deniz karbonat platformunda çökeldiği söylenebilir.

2.2. Kızıldağ Ofiyoliti

Bölgede ofiyolit dizisi kayaçlar yer yer serpantinleşmeli ultramafik-mafik kayaçlardan oluşmaktadır. Ofiyolit dizisi kayaçlar Aslaner (1973) tarafından ultrabazik ve bazik taşlar ayırdı ile ofiyolitik kortej adı altında incelenmiş, dunit – harzburjit – piroksenit, gabro – diyorit ve diyabaz – spilit gruplarına ayrılarak 1/25 000 ölçekte haritalanmıştır. Amanos dağları genelinde serpantinleşmenin yaygın olmadığı kesimlerde başlıca kümülatlar ile katmanlı peridotit ve piroksenitlerden oluşan ofiyolit dizisi kayaçları daha sonraki araştırmacılar tarafından Kızıldağ ofiyoliti adı altında incelenmiştir (Çoğulu, 1975, Selçuk, 1981).

Amanos dağları antiklinoryumunun batı ve doğu kanatlarında Mesozoyik karbonat istifi üzerinde ofiyolit dizisi kayaçlar bindirmeli olarak bulunmaktadır. Ofiyolit dizisi kayaçlar Geç Maestrihtiyen öncesi – Kampaniyen sonrasında bölgeye yerleşmişlerdir. Birim inceleme alanı ve dolayında yaygın yayılımlıdır. Ruhsat alanında Belen dolayında dunit – harzburjit – piroksenit hakim olup, bu litoloji sahanın toplam alanının yaklaşık 1/3 ünü kaplar. Bu alandaki kromit mostraları jeoloji haritasında gösterilmiştir. Dunit – harzburjit – piroksenit Soğukoluk güneyinde sınırlı bir alanda gözlenmiştir (Şekil 2). Soğancı mahallesi batısında, çoğunlukla serpantinleşmiş matriks içerisinde Mesozoyik karbonatlarından türeme iriden – ufağa çeşitli boyutta, Demirkazık formasyonundan türeme karbonatlı olistolitler olağandır.

Aslaner (1973) Ofiyolitik Kortej içerisinde ultrabazik taşları: dunit, verlit, lerzolit, harzburjit, serpantinit ayırdı ile; bazik taşları da metagabro, gabro-norit, dolerit-diyabaz, bazalt - spilitler, damartaşlar - rodenjitler, kuvarslı mikrodiyorit-keratofirler ayırdı ile incelemiştir. Ultrabazik taşlardan özellikle dunitler ile ilgili kromit zuhurlarına değinmiştir.

2.2.1. İnceleme Alanında Görülen Ofiyolitik Kayaçların Petrografisi

Soğukoluk-Belen arasında kalan ve Kömürçukuru'nu da içine alarak güneye uzanan ofiyolitik kayaçlar yer yer aşırı

derecede serpantinleşmelidir. Ne önceki çalışmalarda, ne de bu çalışmada ofiyolitlerin ayrıntılı birim ayırımı yapılamamıştır. Ofiyolitik birimler Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı otokton özellikli sedimanter kayaçlar üzerine bindirmelidir. Ofiyolitik seri harzburjitik tektonitler, ultrabazik ve gabroyik kümülatlar, izotropik gabro ve doleritdiyabaz daykları ile ikinci üniteyi oluşturan bazaltik lavlar, volkano-sedimanter kayaçların tümü Kızıldağ ofiyolitinde mevcut olmasına rağmen inceleme alanında bunlardan yalnızca harzburjitik tektonitler gözlenir. Ayrıca güneyde Çevlik-Arsus arasında görülen plajiogranitlere inceleme alanında rastlanmaz.

2.2.1.1. Harzburjitik Tektonitler

Ultrabazik magmanın bakiye fazına ait tektonitler daha çok serpantinleşmiş harzburjitler ile temsil edilmiş olup, yer yer dünitik zonlarla ardalanmalıdır. İnceleme alanında foliasyonsuz, porfiroklastik harzburjitler daha yaygındır. Kayaçların etkin bir deformasyon geçirdiği arazi gözlemlerinde belli olmaktadır. Yeşilmsi ve sarımtırak renkleriyle özellik taşıyan ve çıplak gözle bile ayırt edilebilen ortopiroksenler bu kayaçları kolaylıkla daha koyu renkli ve iri ortopiroksen içermeyen dünitlerden ayırmaktadır (Levha 1, Foto 1). Aşırı kırık-çatlak ve serpantinleşme nedeniyle kayaç, koyu gri ve yeşilimsi bir renk alabilir. Bu tip deformasyon geçirmiş harzburjitlerin kırık ve çatlaklarında ikincil olarak manyezitleşme gelişimi olağan ise de inceleme alanında bu tür oluşumlar yaygın değildir. Mikroskopik gözlemlerde ise başlıca üç çeşit tektonit ayırt edilebilir. Bunlar; iri taneli porfiroklastik olanlar, ince taneli porfiroklastlar ve daha çok eşit taneli tektonitlerdir. İri taneli olanları sahada daha geniş alanlarda yüzeylemekte olup, mikroskop altında incelendiklerinde olivinlerin boyutları 2-5 mm arasında değişir. Ayrıca daha iri boyutlara ulaşan ve konkav formları ile dikkat çeken enstatit (ortopiroksen) ve oldukça seyrek görülen ve genellikle parçalanan olivinlerin aralarına giren ara dokulu klinopiroksenler görülür (Levha 1, Foto 2). Bu durum bir çok yazar tarafından çok yüksek sıcaklıkta (1000-1300°C) gerçekleşen deformasyona işaret olarak algılanmıştır (Bingöl, 1978; Çakır, 1978; Juteau,1980; Nicolas ve diğ.,1980; Moritz,1983; Çataklı,1983). Kümülatik seriye yakın olarak yüzeyleyen harzburjitik tektonitlerde olivin ve enstatit kristallerinin daha ince taneli olduğu görülmektedir (4 mm'den küçük ve genellikle 2 mm'ye kadar). İri taneli porfiroklast tektonitlere göre ortopiroksen miktarı daha az olup, yeniden kristalleşme belirtileri de görülmez. Enstatitlerin dilinimli olması bu tip oluşumların üst manto ürünü olduğu şeklinde yorumlanmıştır (Nicolas ve diğ.,1980; Çataklı,1983). Daha çok dünitik tektonitlerde görülen eştaneli dokuda 3-6 mm boyutundaki olivin kristalleri oldukça düzenli kenar çizgileri gösterir. Bunlarda da yoğun bir parçalanma görülür.

Tektonitlerin içinde seyrek de olsa kromit kristallarine rastlanır. Bu mineral

olivin kristalleri bırakarak kenetlenmiş durumdadır (Levha 2, Foto3). Bu kayaçlardaki tane boyutu 2 mm'den 0.5-1 cm'ye kadar çıkabilir.

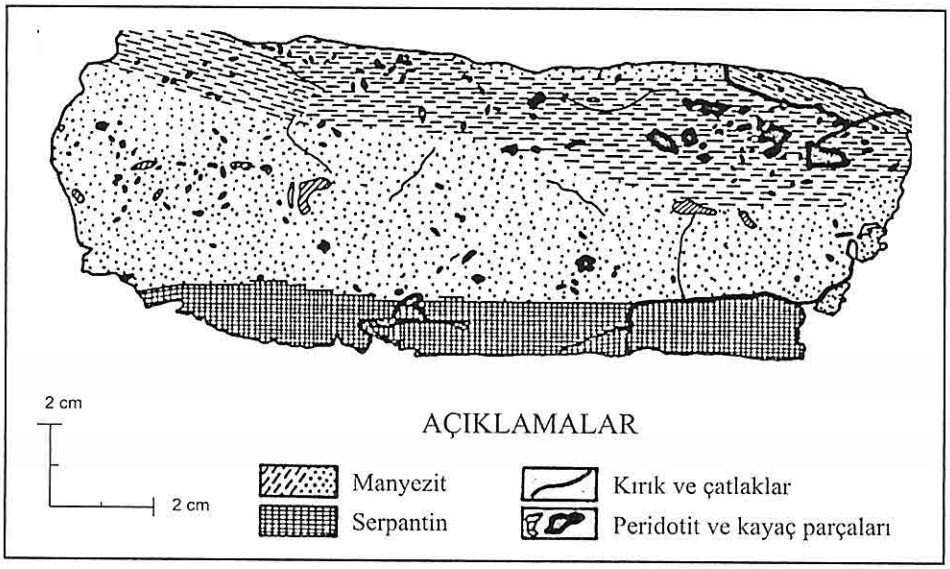
2.2.3. Serpantinleşmeler

Dünit ve harzburjitlerin esas minerallerinden olan olivinin hidratlaşmayla serpantin grubu minerallerine dönüşmesi kayaçların ilksel konumunu büyük ölçüde değiştirmiştir.

Hemen her mostrada, her ocakta veya galeride yoğun bir şekilde gözlenen bu ikincil dönüşümler arazide yalnızca ya başlangıç veya ilerlemiş safhalarda olmalarıyla farklılık gösterirler. Soğukoluk-Belen arasında ve güneye doğru gidildikçe hemen her ofiyolit mostrasında görülen serpantinleşmeler, kromitik cevher zonlarında da benzer şekilde görülürler. Ayrıca fayların kayma düzlemleri boyunca koyu yeşil rengiyle dikkat çeken serpantin zırhları kolaylıkla ana kayadan koparılabilmektedir. İnceleme alanında sık olmamakla beraber ince manyezitleşmiş damarlarla serpantinleşmiş damarların bir arada gelişebildikleri görülür (Şekil 4).

Bilindiği gibi serpantin minerallerinin genel formülleri $Mg_3(Si_2O_3)(OH)_4$ olarak ifade edilmiştir. Bu mineraller yapraklı silikatlar şeklinde karmaşık yapılıdırlar.

Mg (oktaedrik) iyonu yerine Fe^{2+}, Fe^{3+}, Mn^{2+},Co^{2+},Ni^{2+},Cr^{3+}, Al^{3+},Si (tetraedrik) iyonu yerine ise Al^{3+}, Fe^{3+} ve OH iyonu yerine ise H, Cl, F, Br gibi iyonlar girebilmektedir. Bu minerallerin rötgenografik durumlarına göre 3 tip serpantin grubu mineral ayırtlanır (Whitker ve Zussmann, 1971). Bu gruplar antigorit, lizardit ve krizotil gruplarıdır. Bu mineral gruplarından antigoritin



Şekil 4. Tektonitler içinde aşırı serpantinleşmeler sırasında oluşan ince manyezit damarları (arazi görünümü şematize edilmiştir).

dinamik zonların ürünü olup, makaslama ve ezilme zonlarında ısının 340°C'den daha yukarı olduğu zamanda oluşabileceği, buna karşılık krizotil ve lizarditin 340 °C'nin altında statik rejimde oluştuğu belirtilmiştir (Laurent, 1980). İnceleme alanından alınan tektonit ve kümülatik kayaçlarda görülen serpantinleşmiş el örneklerinden hazırlanan ince kesitlerde olivin kristallerin parçalanarak ayrıldığı ve kenar zonlarından başlayarak serpantin lizardit ve klinokrizotile dönüştüğü anlaşılmaktadır. Olivinlerde görülen bu dönüşümlere karşılık enstatitlerin ise yer yer bastit lamelleri oluşturduğu görülür.

Aslaner (1973) Kızıldağ ofiyolitinde gerçekleştirdiği kapsamlı çalışmasında tüm masifde çok yaygın bir şekilde görülen serpantin grubu minerallerin daha çok lizardit ve krizotil olduğunu ve antigoritin nadiren görüldüğünü belirtmektedir. Ağ (mesh) dokunun hakim olduğu örneklerde birbirini ağ biçiminde kesen krizotil damarcıklarının ortasında kalan olivin parçaları, açığa çıkan FeO nun oluşturduğu opaklar belirgindir (Levha 2, Foto 4). Kromitli zonlarda da benzer görüntüler hakim olup, yine krizotil ve lizarditin oluşturduğu ağ dokusu içinde bu defa parçalanmış kromit minerallerinin de öteki opaklara eşlik ettiği gözlenir.

2.2.4. Dolerit-Diyabaz Daykları

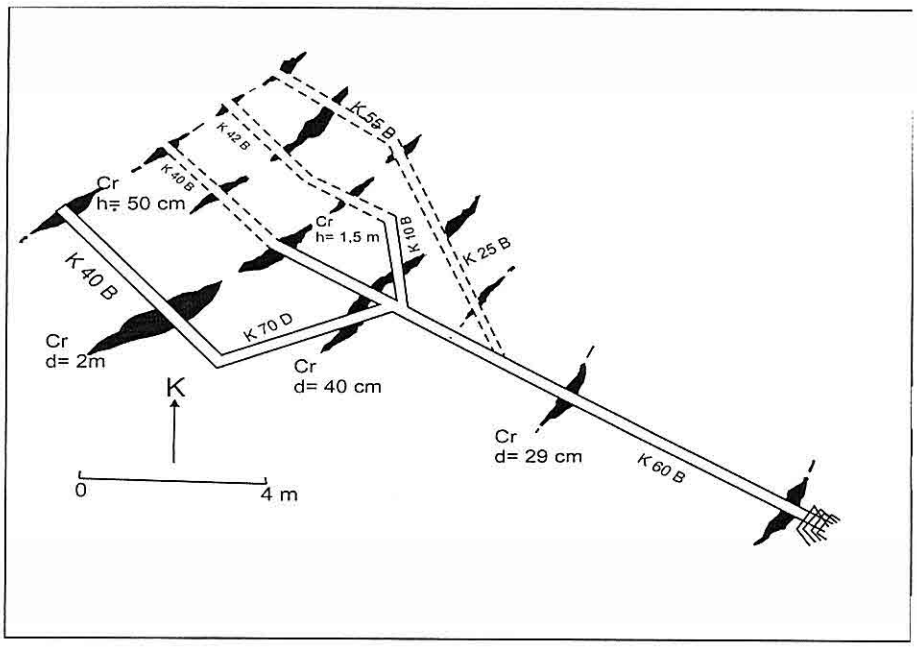
Kızıldağ ofiyolitinde dolerit-diyabaz daykları ya izole halde veya güney kesimde daha yaygın olduğu gibi grup (sheeted dayk) dayklar halinde görülürler. Bazen birbirini de keserek oldukça karmaşık bir yapı sunarlar. Arazide belirgin dokanakları ve sert özellikleriyle serpantinleşmiş harzburjitler ve dünitlerden ayırt edilirler. Hatay ofiyolitinde izole daykların tektonitleri açıkça kesmesine rağmen, grup daykların kümülatik seri üzerinde görülmesi ve izotropik gabrolarla ilintili olması, ayrıca daha ince taneli oluşları bu dayk komplekslerinin farklı özellikteki magma ürünü olduklarını gösterir.

Kalınlıkları 0.5-25 m arasında değişen izole dayklar genellikle KD-GB yönünde uzanımlı olup ve bunun da masifin genel uzanımı ile paralellik gösterdiği görülmektedir. Dolerit-diyabaz dayklarının ofiyolitlerin üzerine oturduğu hiçbir birimi kesmeyerek yalnızca onların içinde görülmesi kesinlikle bindirme öncesi oluştuklarını kanıtlamaktadır. Arazi gözlemlerinde özellikle çıplak alanlarda kolayca ayırt edilebilmeleri, dayanım farkı sunmaları nedeniyle net bir dokanak olarak gözlenmektedir. İnceleme alanında görülmemekle beraber Kızıldağ masifindeki bazı yerlerde kontakt etkisi yaptıkları görülmüştür (Selçuk,1981; Pişkin ve diğ, 1986; Anıl, 1987; Anıl ve Yaşar, 1989; Anıl, 1990; Yazgan ve diğ.,1994; Bağcı, 2004). Bu daykların tektonitlerle olan dokanaklarında şisti bir özellik ve yoğun serpantinleşme gözlenirken, gabrolarla olan dokanaklarında metamorfizma izleri yoktur. Ancak yer yer buddingleşme gibi deformasyonlar izlenir.

Dolerit-diyabaz dayklarından yapılan ince kesitlerde entersertel doku hakim olup, çeperden merkeze doğru belirgin bir

Çizelge 1. İnceleme alanındaki 1 ve 2 no'lu cevher zonlarındaki rezerv bilgileri ve genel özellikler.

Koordinatlar Y(sağa) X(yukarı)	Ait olduğu cevher zonu	Görünür rezervi (Ton)	Muhtemel rezerv	Ortalama Cr_2O_3 tenör %	Cevher tipi
246792 - 4440988	1 No'lu Cevher	Çoğu Tüketilmiş	-	-	Masif-Bantlı
247016 - 4440752	1 No'lu Cevher	510	1980	33.65	Masif-Bantlı-
246792-4040752	1 No'lu Cevher (Eski Bilfer ocağı)	Girilememiştir	-	-	Saçınımlı Masif-Bantlı-Saçınımlı
246795-4040853	1 No'lu Cevher	84	600	40.00	Masif-Bantlı-Saçınımlı
246759-4040925	1 No'lu Cevher	Belirlenememiştir	-	-	-
246706-4040736	1 No'lu Cevher	140	452	36.40	Masif-Bantlı-Saçınımlı
246770-4040695	1 No'lu Cevher	72	212	33.20	Masif-Bantlı-Saçınımlı
246170-4040576	1 No'lu Cevher	Belirlenememiştir	-	-	Masif-Bantlı-Saçınımlı
246059-4040466	1 No'lu Cevher	32	96	41.15	Masif-Nodüler Bantlı-Saçınımlı
246350-4040617	1 No'lu Cevher	120	120	38.41	Masif-Bantlı-Saçınımlı
246805-4040867	1 No'lu Cevher	2880	12 000	36.60	Masif-Nodüler Bantlı-Saçınımlı
248643-4036038	2 No'lu Cevher	720	2880	39.43	Masif-Nodüler Bantlı-Saçınımlı
248646-4036041	2 No'lu Cevher	1680	4200	38.40	Masif-Nodüler Bantlı-Saçınımlı
248644-4036048	2 No'lu Cevher	60	540	37.30	Masif-Nodüler Bantlı-Saçınımlı
Toplam Rezervler		**6 298**	**23 080**		

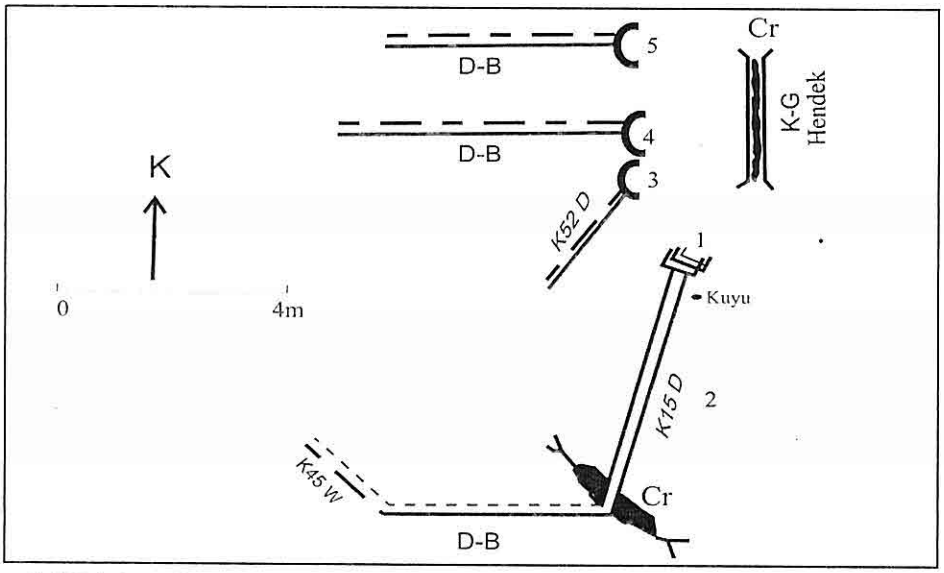


Şekil 5. İnceleme alanındaki 1 nolu cevher zonunda gerçekleştirilen önceki çalışmalara ait arama galerilerinden birine ait açılım planı.

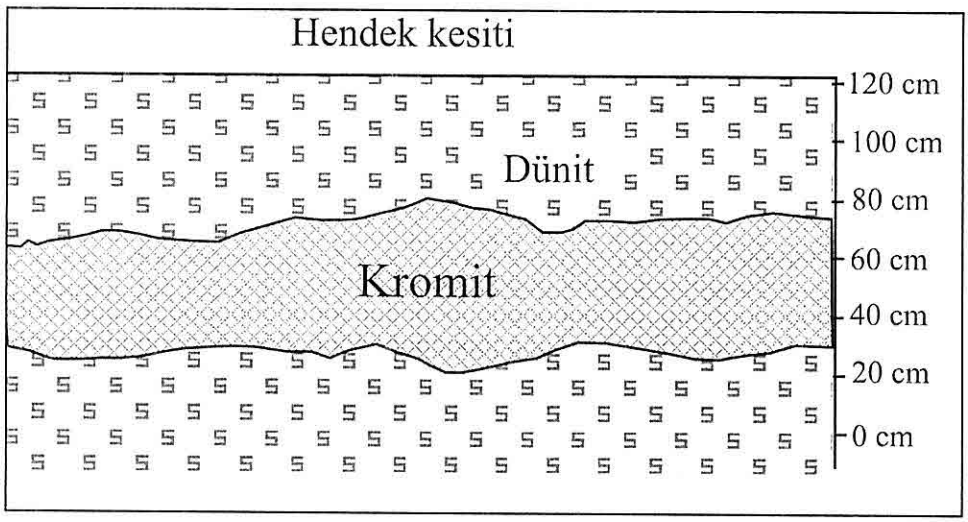
kuvvetlerin etkisinde kaldığı için kromit kristallerinde parçalanma, uzama ve yuvarlanmadan dolayı büyüme gibi tektonizma izleri belirgin olarak görülür. Nodüler kromit görülmesine rağmen çok yaygın değildir. İleri derecede serpantinize dünit içinde irili ufaklı nodüllerin deforme olduklar sık olarak gözlenmektedir. Bu bölgede nadiren görülen bandlı kromitler 3-5 cm'den 10 cm'ye kadar kalınlıklara sahip olarak tekrarlanırlar. Saçınımlı kromitler ise hemen her ocakta gözlenen kromit tipidir.

3.2.1. Masif Kromit

Cr_2O_3 tenörü en yüksek cevher tipi olup, hemen hemen ekonomik sayılabilecek her ocakta yaygın olarak görülmektedir. Sürüklenme zonlarında veya fay aralıklarında bazen serpantinleşmiş dünitik gang % 30'lara kadar düşmüş ve kromit kristalleri kendi arasında kenetlenmiş drumda olduğundan ancak mikroskop altında ayırt edilebilir. Cevherin uğradığı tektonizma sırasında oluşan kılcal damarlar krizotil ve lizardit tarafından doldurulmuştur (Levha 4, Foto 1). Masif kromitlerde kristallerin özellikle çeperlerinden veya çatlaklardan başlayarak manyetitleşmeler gözlenmekte ayrıca, ya kapanımlar şeklinde, ya da çatlaklar içinde pendlandit, heazlewoodit (Levha 4, Foto 2) ve millerite rastlanmaktadır.



Şekil 6. 2. no'lu cevher zonundaki önceki çalışmalara ait kuyu+ baş aşağı (2) ve girilemeyen 3 ve 5 no'lu galeri açılım planları.



Şekil 7. Yine 2 no'lu cevher zonundaki hendek içinde görülen kromit cevherinin durumu.

3.2.2. Nodüler Kromit

Bu tip cevher fazla yaygın olmamakla beraber hem bandlı tip kromitler ve hem de masif kromitlerle arasıra geçişli olarak görülürler. Nodüllerin boyutları homojen olmayıp, tektonizma soucu şekillerinde de deformasyonlar görülür. Ofiyolitik kromitlerin tipik minerallerinden olan

nodüler kromitin magma odasındaki ancak özel koşularda gerçekleşebildiği ve eğimin arttığı sırada segregasyonla kromit kristallerin birbiri üzerinde kayarak büyümesiyle oluşması hususunda bir çok görüş bilinmektedir (Borchert,1964; Thayer, 1969; Dickey,1975; Juteau,1975; Leblanc ve diğ., 1981; Anıl,1990; Nicolas ve diğ., 1991; Zhou ve diğ., 1996). Ayrıca Leblanc(1980) gibi bazı yazarlar nodüllerin kromit kristallerinin etrafını çeviren silikat sıvısı içinde filizlenerek büyüme sonucu da oluşabileceğini belirtmektedir.

Nodüler kromit cevher örneklerinden yapılan ince ve parlak kesitlerde nodülüsler içindeki kristal kümelerinin farklılıklar gösterdiği ve ilk oluşumundan sonra karşılaştığı tektonizma sebebiyle genellikle özşekilsiz kristaller halinde aralarında serpantin grubu minerallerin yerleştiği görülmektedir. Nodülüslerin sıkca içinde bulunduğu kromit kütlesinin genel uzanım yönünde uzadığı ve bu uzantıya dik doğrultuda kısalarak söbeleştiği görülür. Nodül boyutları 3-5 mm'den 1.5-2 cm'ye kadar bir dağılım gösterir (Levha 4, Foto 3). Nodüler kromitler içinde de ikincil minerallerden manyetitleşme genellikle kromitlerin çeperinden başlayarak gelişmiş olup, masif kromitlerde görülen nikel sülfür minerallerine daha seyrek olarak rastlanır. Kıbrıs Troodos ofiyolitindeki nodüler kromitlerin iç yapılarında dentritik oluşumlar gördüğünü belirten Greenbaum (1977) bu yapıların yüksek sıcaklıkta ve hızlı gelişen nodüllerde görülebileceğini ileri sürmüştür. Hatay ofiyolitindeki yataklanmalarda nodüler kromitin dentritik iç yapılar göstermediği ve bu sebeple nodülleşmenin nisbeten düşük sıcaklıklarda ve yavaş yavaş geliştiği anlaşılmaktadır. Yalnızca Hatay ofiyolitlerinde değil, Pozantı-Karsantı ve Mersin ofiyolitlerindeki nodüler kromitlerde de dentritik iç yapılar görülmemiştir (Anıl, 1990).

3.2.3. Bandlı Kromitler

Belen-Soğukoluk arasında mostra vermiş kromit cevherleşmelerinde yanal devamlılığı olan önemli bir bandlı kromit görülmez. Ancak yer yer ritmik ardalanma gösteren 1 cm'den 10-15 cm kalınlığa kadar çıkabilen bandlı kromitler görülür. Cr_2O_3 tenörü düşük (% 25'in altında) olan bu kısımlara fazla itibar edilmediğinden bu kısımlarda yeterince arama yapılmamıştır. Esas minerali olivin olan ve içerisinde ancak % 1-2 kromit içeren steril bandlarla, kromiti arttığı için rengi koyulaşan cevherli bandlar ardalanmalıdır. Olivin her iki kısımda da aşırı derecede serpantinleşmiştir. Kromit kristallari masif cevherden farklı olarak daha küçük boyutlu (0,2-1 mm) olup, çoğu yarı özşekillidir (kübik sistem) (Levha 4, Foto 4).

Mikroskopik gözlemlerde ise olivinlerle kromitlerin dokanakları belirgin olup, bir biri içinde kapanımlar da görülür. Reuber (1982)'e göre bu durum eş zamanlı kristalleşmeye işarettir.

3.2.4. Saçınımlı (Disemine) Kromit

Ana kayacı dünit olan bu tip cevherlerde çoğu özşekilli ve genellikle 2

mm'den daha küçük kromit kristallerinin gelişigüzel dağılımları ile oluşmuşlardır. Bandlı kromitlere geçiş yapan kısmlarda bandlanma yönüne paralel olarak dizildikler gözlenir. Düniti oluşturan esas mineral olan olivinin tamamen serpantin grubu minerallerine dönüştüğü için zeytin rengi alması, kromit kristallerinin ise siyahımtrak renge sahip olması sebebiyle çıplak gözle bile kolayca ayırt edilebilirler. Mikroskop altında ise kromit kristallerinin yarı öz şekilli ve özşekilli oldukları, masif, nodüler ve bandlı kromitlere göre daha az deformasyon geçirdikleri net bir şekilde görülür (Levha 4, Foto 5). Öte yandan kenar ve çatlaklarından itibaren serpantinleşen olivinlerin merkezi kısımlarında ilksel konumlarını koruyabildikleri anlaşılmaktadır. Bu tip cevherlerde serpantinleşmiş dünitik gang içinde izole durumda pendlandit kristalleri görülmekte ancak öteki ikincil minerallere pek rastlanmamaktadır.

3.2.5. Platin Grubu Elementleri (PGE) ve Mineralleri (PGM)

Hatay ofiyoliti içinde görülen masif, nodüler, bandlı ve saçınımlı kromitlerin içinde platin grubu elementleri ve mineralleri çok yaygın değildir. Ancak bazı kromitler içindeki olivin kapanımları ile doğrudan ilgili osminium elementi büyük büyütmeli objektifler kullanıldığında seyrek olarak da olsa görülmüştür (Levha 4, Foto 6).

4. KROMİTLERİN KİMYASAL İÇERİKLERİ

Belen-Soğukoluk arasında görülen kromitlerin kimyasal içeriklerinin belirlenmesi amacı ile birinci ve ikinci cevher zonlarından cevher örnekleri alınarak Cr_2O_3, Fe_2O_3, Al_2O_3 ve SiO_2 element oksitleri analizleri yaptırılmıştır (Çizelge 2).

Belen- Soğukoluk- Karnıkara alanından derlenen örneklerin kimyasal analiz sonuçlarına göre Cr_2O_3 değeri % 22.30-45.07; Fe_2O_3 değeri % 11.30-18.23 arasında değişmektedir. Bölgedeki kromitler Al_2O_3 ce zengin olup, bu değer en çok % 17.13'e erişmektedir. Bölge kromitlerindeki SiO_2 oranı ise % 5.63-16.81 değerleri arasında değişmektedir.

Çizelge 2'den de açıkça görüldüğü gibi kromit cevherlerinin homojen bir kimyasal içeriğe sahip olmadıkları, cevherin alındığı bölge ve tipine göre değiştiği anlaşılmaktadır. Kromit fiyatlarının 400 ABD dolar/ton olduğu zamanlarda % 35 (Cr_2O_3)'lik takoz cevher kolayca satılabilirken, fiyatların standart tenörlü (% 48 Cr_2O_3) konsantre fiyatlarının 300 ABD doları altında olduğu zamanlarda ihraç edilebilmesi çok güç olmaktadır. Krom ihracatçılarının ancak paçal yapmak amacıyle talip oldukları % 35'den küçük tenördeki kromitleri 130 ABD dolarının altındaki fiyatlarla değerlendirmeleri inceleme alanındaki cevherlerin satışını zorlaştırmaktadır. Hatay ofiyolitinin bir çok yerinden çıkarılan kromit

LEVHA 4

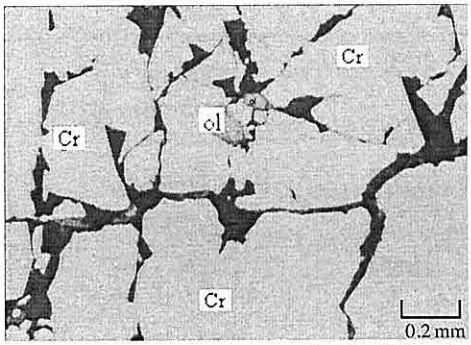


Foto 1. Mikrofoto, yansıyan ışık. Masif kromit, kromit kristalleri arasındaki dokanaklar zorlukla seçilebilmekte ve kristaller bazen olivin kapanımları içeriyor (ol:olivin,Cr: Kromit)

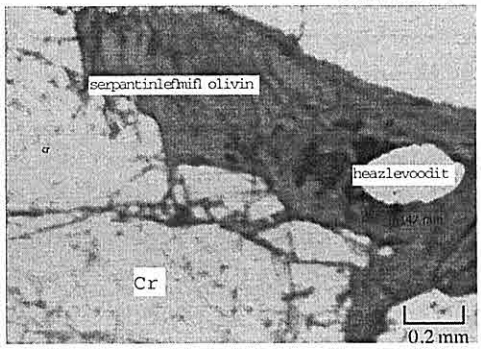


Foto 2. Mikrofoto, yansıyan ışık. Serpantinleşmiş olivin gangı içinde 0.147 mm boyutunda heazlewoodit minerali (Cr: Kromit).

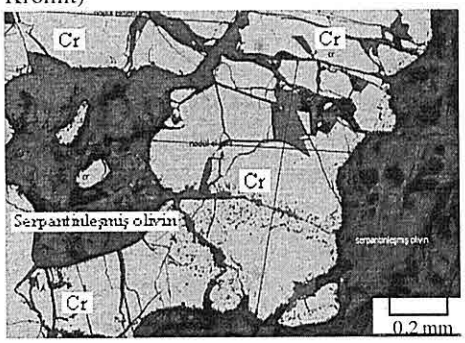


Foto 3. Mikrofoto, yansıyan ışık. Nodüler kromit, aşırı tektonizma sebebiyle nodülüslar içinde oluşan çatlaklar serpantin mineralleriyle dolmuş ve kromit parçaları serpantinleşmiş gang içine de yerleşmiş durumda (Cr: Kromit).

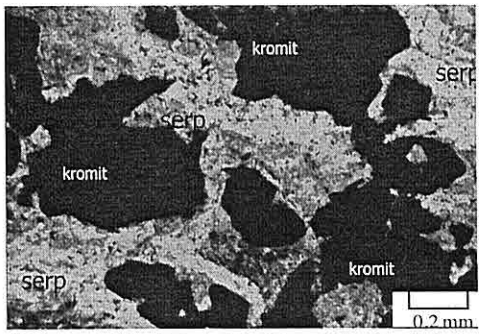


Foto 4. Mikrofoto, çift nikol. Dünitler içinde saçınımlı kromit. Olivinler aşırı derecede serpantinleşmiş halde, yarı öz şekilli kromit kristalleri hafif deformasyon göstererek masif kromitlerden kolayca ayrılmakta, kromit kristallerinde lineasyon yönünde zonlanma görülüyor.

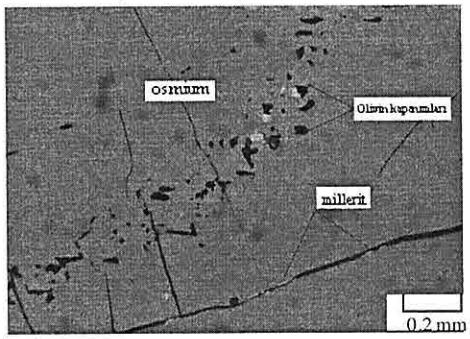


Foto 5. Mikrofoto,yansıyan ışık. Kromit kristalleri içinde 50 mikronu geçmeyen olivin kapanımlarına bağlı PGE'lerden osmium. Kromit kristallerinin kırıkları içine yerleşmiş nikelsülfür minerallerinden millerit.

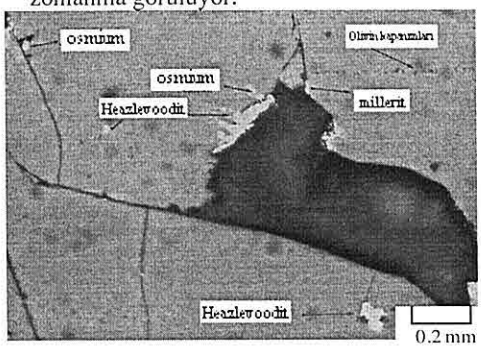


Foto 6. Mikrofoto, yansıyan ışık. Ancak büyük büyütmeli objektiflerle görülebilen ve gerek kapanımlar halinde, gerekse serpantinleşmiş gang içinde heazlevoodit, osmium ve millerit.

Çizelge 2. İnceleme alanından alınan kromit cevherlerinin kimyasal içerikleri

Örnek No	Cr_2O_3	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2	Cevher Tipi	Alındığı Yer Ve Yataklanma Tipi
B1	27,97	12,54	13,05	16,81	Alacalı masif	1 Nolu cevher zonu,damar tipi
B2	34,35	14,46	17,13	9,14	Masif	1 Nolu cevher zonu,damar tipi
B3	31,66	12,50	16.80	13,05	Alacalı masif	1 Nolu cevher zonu,ince damar
B4	26,84	12,89	14,76	14,94	Bandlı	1 Nolu cevher zonu,ara zonda
B5	30,72	12,53	14,32	14,44	Nodüler	1 Nolu cevher zonu,damar içinde, 25 cm kalınlığında
B6	27,35	11,36	12,21	13,35	Bandlı +Saçınımlı	1 Nolu cevher zonu,damar tipi
B7	24,45	13,66	14,65	15,24	Bandlı +Saçınımlı	1 Nolu cevher zonu,bandlı tip
K1	39,63	18,23	14,75	8,73	Masif	2 Nolu cevher zonu,fay aralığı
K2	40,16	12.45	12,07	9,11	Masif	2 Nolu cevher zonu, fay aralığı
K3	45,07	11,45	14,34	6,29	Masif	2 Nolu cevher zonu,fay aralığı
K4	34,79	12,45	16,44	5,63	Nodüler	2 Nolu cevher zonu,damar tipi
K5	36,99	17,96	12,45	9,66	Alacalı masif	2 Nolu cevher zonu,damar tipi
K6	32,35	11,30	6,65	14,90	Bandlı +Saçınımlı	2 Nolu cevher zonu, bandlı tip
K7	22,30	11,50	13,75	16,65	Saçınımlı	2 Nolu cevher zonu, ara zonda

Açıklama: B: Belen-Soğukoluk Bölgesi K: Karnıkara Bölgesi
Analizler oluk numunesi olup, yaş metodla gerçekleştirilmiştir.

cevherlerinde ortalama % 40 Cr_2O_3'ü tutturmak her zaman mümkün olamaz. Bu sebeple ortalama % 22'lik bandlı cevherleri de dikkate alarak bu bölgedeki krom üreticilerin birleşerek ortak bir zenginleştirme tesisi kurmaları gerekmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Belen-Soğukoluk arasındaki çalışma alanı Hatay ofiyolitinin kuzeye doğru sonlandığı bir yer olduğundan Gülen Madencilik tarafından kapatılan ruhsat alanının önemli bir kısmı Miyosen yaşlı karbonatlı, killi-kumlu çökellerle örtülüdür. Bundan başka ofiyolitlerin içinde olistolit şeklinde yer alan Geç Triyas-Kretase yaşlı karbonatlar içinde de kromit cevherleşmesi bulunmamaktadır. Çalışma alanında dunitik ve harzburjitik tektonitler içinde oldukça düzensiz ve yanal devamlılığı takipedilemeyen bazı kısımlarda masif, bandlı-saçınımlı ve seyrek olarak da nodüler kromit cevheri içeren zonlar görülmektedir. Bu incelemede başlıca iki cevher zonu belirlenmiş olup, bunlardan başka bazı dünitik zonlarda ince veya nispeten kalın (0,5 m) damarlar halinde kromit zuhurları görülmüştür. Ancak yeterli arama faaliyetleri gerçekleştirilemediği ve bulunan zuhurlarda damarların doğrultu, eğim ve devamlılıkları ile ilgili harita, kesit ve açılımları yapılarak doküman oluşturulamadığı için daha fazla bilgi edinilememiştir.

Bu sahada, önceki çalışmalarda yapılmış 1/25 000 ölçekli jeoloji haritalarından yararlanılarak sadeleştirme yapılarak, mevcut mostra ve içine girilebilinen galerilerin açılımları yapılmış ve görünür, muhtemel kromit rezervleri saptanmıştır. Bu hesaplamalarda daha önce bilinçsizce gerçekleştirilen ve hiçbir kayıt bulunmayan açık işletme kalıntılarında cevherli damarlar tamamen kaybedildiği için buralarda bulunması muhtemel rezervler öngörülmemiştir. Ayrıca 2 nolu cevher zonunun ruhsat sahası dışında da devam ettiği görülmektedir. Halen fay aralığından 300 ton % 40 Cr_2O_3'lük kromit alındığı belirtilen yerde derinlere doğru da cevherleşme devam etmektedir. Araştırmaların ayrıntılı bir şekilde sürdürülmesi gerekir.

İnceleme alanında masif, bandlı-saçınımlı ve nodüler tipte 6 298 ton görünür ve 23 080 ton da muhtemel kromit cevheri tespit edilmiştir. Bu rakamlar bir krom işletme ruhsatlı maden sahası için oldukça mütevazi rezervleri işaret etmektedir. Ancak sahada yeterince arama yapılmadığı, önceki yıllarda da bu bölgeden 5-10 000 ton cevher çıkarıldığı düşünüldüğünde işletme faaliyetleriyle birlikte arama faaliyetlerinin de sürdürülmesi önem kazanır.

Gerek kayaç örnekleri ve gerekse kromit cevherlerinden hazırlanan ince ve parlak kesitlerin mikroskobik gözlemlerinden elde edilen bulgular:

*** Kromit cevherlerinin tamamı ya dünitler içinde veya dünitik bir zarfla çevrili tektonitler içinde yataklandıkları,**

***Yataklanma genellikle tektonik kontrollü olup, damar, küçük boyutlu**

Ophiolitic Complex (Hatay/Turkay) and their İnterpretation. Int. Symp. Struc. Hist. of the Mediterranean Basins, Split., 73-78.

Dilek, Y., Thy, P., 1988, Structure, Petrology and Seaflor Spreading Tectonics of The Kızıldağ Ophiolite, Turkey. In: Miller, R.A. and Harrison, K. (eds) Modern Ocean Flor Processes and the Geological Record, Geological. Soc., Special Publication, 148, 43-69, London.

Dubertret, L., 1953, Geologie des Roches Vertes du NW de la Syrie et du Hatay (Turquie). Notes Mem. Moyen Orient, 6, 227 p.

Elyassi, E., Anıl, M., 1991, Dörtyol-Erzin Dolaylarındaki Ofiyolitlerin Petrografisi ve Kromit Cevherleşmeleri. Ç. Ü. Müh. Fak. Derg. 6/2, 43-54, Adana.

Erendil, M., 1984, Petrology and Structure of the Upper Crustal Units of the Kızıldağ Ophiolite (Turkey). Tekeli, O. ve Göncüoğlu, C. eds., Int. Symp. on the Geology of the Taurus Belt, Proceedings. 269-284, Ankara.

Ericson, D.B., 1940, Report of the Geology of Hatay. M.T.A. Gen. Müd., Derleme Rapor No: 1188, Ankara.

Juteau, T., 1980, Ophiolites of Turkey. Ofioliti, Special Issue, 5-2, 199-237,

Laurent, R., 1980, Regimes of Serpentinitization and Rodingitization in Quebec Appalachian Ophiolites. Archives des Sciences, 33-2/3, 311-320.

Moritz, R., 1983, Coupe Structurale au Travers des Peridotites de l' ophiolite du Kızıl Dagh (Hatay/Turkey). Univ. De Genève, 106p.

Nicolas, A., Al, Azri, H., 1991, Chromite Rich and Chromite-Poor Ophiolites : The Oman Case. In: Ophiolite Genesis And Evolution of Oceanic Lithosphere. T.J. Peters Et All. Eds. Kluwer Academic Publ. Dordrecht, The Netherlands, 261-274.

Nicolas, A., Boudier, F., and Bouchez, J.J., 1980, Interpretation of Peridotite Structures From Ophiolitic and Oceanic Environments. Am. Jour. Of Sci., 280-A, 192-210.

Parrot, J.F., 1973, Petrologie de la Coupe du Djebel Moussa Masif Basique-Ultrabasique Du Kızıldağ (Hatay, Turquie). Sc. de la Terre, Mem. 28, Nancy, 143-172.

Pişkin, O., Deloleye, M., Selçuk, H. and Vagner J.J., 1986, Guide to Hatay Geology (SE Turkey Ofioliti). 11-2,87-104.

Selçuk, H., 1981, Etude Geologique de la Partie Meridionala du Hatay (Turquie). Ph. D.Thesis,(Unpublished), Univ. Geneve, Fac. Science, 116 s.

Tinkler, C., Wagnler, J.-J., Delaloye, M. and Selçuk, H., 1981, Tectonic History of the Hatay Ophiolites (South Turkey) and Their Relation. Tectonophysics, 72, 23-41.

Vaugnat, M. Et Çoğulu, E., 1967, Quelques Réflexions le Masif Basique-Ultrabasique du Kızıldağ, Turquie. C.R. Soc. Phys. Hist. Nat. Genève, 2, 210-216

Yaşar, E., 1989, Hacımehmetli-Kurtbağı- Sarıgöl Ve Karatepe (Arsuz/İskenderun) Arasında Yüzeyleyen Ofiyolitlerin Petrografisi ve Kromit Cevherleşmelerinin Metalojenezi. Yüksek Lisans Tezi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enst., 351, 119 s., Adana.

Yaşar, E, Anıl, M., 1990, Hacıahmetli-Kurtbağ - Sarıgöl -Karatepe (Arsuz - İskenderun) Arasında Yüzeyleyen Ofiyolitlerin Petrografisi ve Jeokimyası. Acar Sempozyumu, Bildiriler, 277-288, Adana.

Yalçın, N., 1980, Amanosların Litolojik Karakterleri ve Güneydoğu Anadolunun Tektonik Evrimindeki Anlamı. Türkiye Jeol. Kur. Bült. 23, 21-30., Ankara.

Yazgan, E., Pişkin, Ö., and Delaloye, M., 1994, Kızıldağ Ophiolites And Karasu Quaternary Basalts. Int. Assoc. Volc. Cong. Field Gudidebook.

Yetiş, C., 1978 (a), Çamardı (Niğde İli) Yakın ve Uzak Dolayının Jeoloji İncelemesi ve Ecemiş Yarılım Kuşağının Maden Boğazı-Kamışlı Arasındaki Özellikleri. İ.Ü., Fen. Fak. Doktora Tezi, 164 s., İstanbul.

Yetiş, C., 1978 (b), Geology of Çamardı (Niğde) Region and Characteristics of the Ecemiş Fault Zone Between Maden Boğazı and Kamışlı. İ.Ü. Fen Fak. Mec., B/43, 41-61, İstanbul.

Yetiş, C., Demirkol, C, Lagap, H. ve Ünlügenç, U.C., 1987, 1/100.000 Ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritası Serisi, Kozan N-34 Paftası. MTA Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etüdleri Dairesi, 19 s., Ankara.

Whitaker, E.J. ve Zussmann, J., 1971, The Serpentine Minerals in the Electron-Optical Investigation of Clays. Ed, Gard, J.A. Mineral. Soc. London, 159-191.

YERBİLİMLERİ GEOSOUND | ARALIK DECEMBER 2008 | SAYI NO 53 | ISSN 1019-1003

BAZI KAYA BİRİMLERİNİN NOKTA YÜKLEME DAYANIMLARI VE DİĞER MALZEME ÖZELLİKLERİ İLE İLİŞKİLERİ

Yavuz GÜL, Atilla CEYLANOĞLU
C.Ü., Maden Mühendisliği Bölümü, Sivas/Türkiye

ÖZET : *Bu çalışma kapsamında, değişik kaya birimlerinin nokta yükleme dayanımlarının incelenmesi ve diğer malzeme özellikleri ile ilişkilendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda nokta yükleme dayanımı ile bazı fiziksel ve mekanik özellikler arasında anlamlı ve oldukça yüksek korelasyonlu ilişkiler elde edilmiştir.*

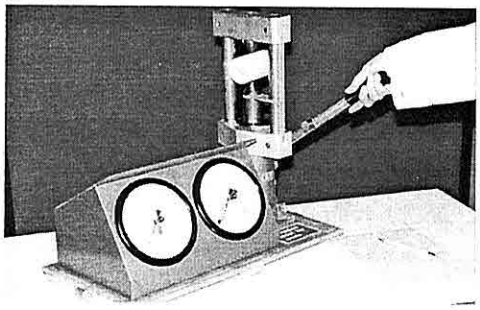
POINT LOAD STRENGTH OF SOME ROCK UNITS AND THEIR RELATIONS WITH OTHER MATERIAL PROPERTIES

ABSTRACT : *Within the scope of this study, it was aimed to investigate point load strengths of different rock units and to relate with other material properties. Good relations with high correlations were obtained between point load strength and some physical and mechanical properties.*

1. GİRİŞ

Nokta yükleme dayanımı, kolay belirlenebilirliği ile kaya birimlerinin tanımlanması ve sınıflandırılmasında sıkça kullanılan önemli malzeme özelliklerinden biri olmuştur.

Nokta yükleme dayanımı deneyi iki konik uç arasına yerleştirilen kayaç örneğinin yük altında kırılma esasına dayanmaktadır. Bu deney sonucunda iki konik uç (platen) arasına sıkıştırılan kayaç örneğinin yenilme yükü ve boyutları kullanılarak, nokta yükleme dayanımı indeksi hesaplanmaktadır (ISRM, 1985). Nokta yükleme deney aletinin taşınabilir olması, deneylerin hem laboratuvarda hem de arazi koşullarında yapılabilmesini sağlamaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Nokta yükleme deney aleti (ELE, 1993)

Maliyeti düşük bir deney olması ve hızlı sonuç alınabilmesi nedeniyle, bu yöntem jeoteknik karot loglamasında ve bazı kaya kütlesi sınıflama sistemlerinde dayanım parametresi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca nokta yükleme dayanım indeksinden kaya malzemesinin tek eksenli basınç ve çekme dayanımları yaklaşık olarak hesaplanabilmektedir.

Bu çalışmada, değişik kaya birimlerinin nokta yükleme dayanımları ortaya konulmuş ve diğer malzeme özellikleri (fiziksel ve mekanik) arasında ilişki geliştirmek amacıyla basit regresyon analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda nokta yükleme dayanımı ile malzeme özellikleri arasında anlamlı ve oldukça yüksek korelasyonlu ilişkilerin olduğu görülmüştür.

2. ÇALIŞMADA KULLANILAN KAYA BİRİMLERİ

Bu araştırmada kullanılan değişik kaya birimlerine ait arazi ve laboratuvar deney sonuçları, Cumhuriyet Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde bugüne kadar yapılmış bazı çalışmalardan sağlanmıştır (Ceylanoğlu, 1995; Ceylanoğlu vd., 1996; Ceylanoğlu ve Durutürk, 1996; Ceylanoğlu vd., 1999; Gül, 2006; Karakuş, 2007). Arazi çalışmaları, jeoteknik tanımı (renk, ayrışma derecesi, süreksizlik sistemleri ve özellikleri), Schmidt çekici testini, nokta yükleme testini ve kaya birimlerinin sismik hızlarının ölçümünü içermektedir. Söz konusu çalışmalarda, kaya malzemesinin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek için araziden getirilen temsili blok numunelerden alınan karotlar üzerinde Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği'nin (ISRM) öngördüğü standartlara uyularak (ISRM, 1981) aşağıda sıralanan deneylerin yapıldığı belirtilmektedir. Bu çalışmalarda, kaya kütle özelliklerini belirlemeye yönelik olarak bazı araştırmacılar tarafından yapılan arazi ölçüm sonuçları Çizelge 1'

Çizelge 1. Değişik Kaya Birimlerine Ait Arazi Ölçüm Sonuçları ([1]Ceylanoğlu, 1995; [2]Ceylanoğlu vd., 1996; [3]Ceylanoğlu ve Durutürk, 1996; [4]Ceylanoğlu vd., 1999; [5]Gül, 2006; [6]Karakuş, 2007).

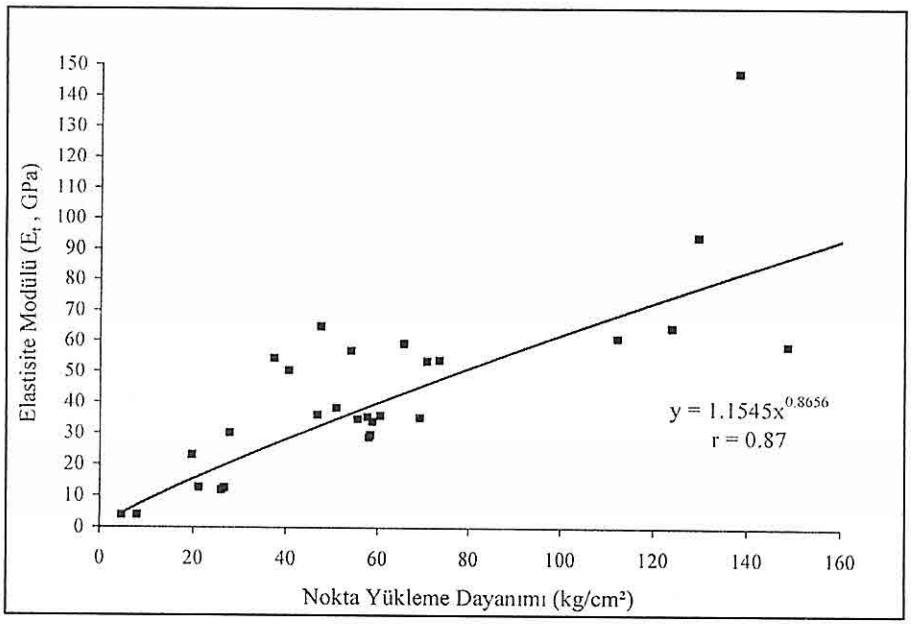
İşletme	Kaya Birimi	Schmidt Çekici Sertliği	Nokta Yükleme Dayanımı Is(50) (kg/cm^2)	Sismik Hız (m/sn)
Sivas Divriği Demir Açık İşletmesi	[3] Manyetit	52.5	70.65	651
	[3] Siyenit	62.1	148.55	752
	[3] Serpantinit	49.9	50.80	718
	[3] Silisli Kalker	59.0	181.31	2450
Barit Maden Türk A.Ş. Sivas- Ulaş Sölestit Açık İşletmesi	[1] Jips	33.6	19.67	1826
	[1] Üst Seviye Sölestit	38.4	7.95	1359
	[1] Anhidrit	36.56	73.42	2426
	[1] Alt Seviye Sölestit	38.4	4.69	970
Kangal Kömür Açık İşletmesi	[5] Kireçtaşı	56.3	46.71	1006
	[5] Killi Kireçtaşı	35.8	27.76	814
Eskişehir Karaburhan Krom Açık Ocağı	[2] Krom	36.0	26.61	2035
	[2] Dunit (Tabantaşı)	46.7	21.21	2320
Akün İnş. ve San. Tic. Tic. Ltd. Şti. Muğla	[4] Muğla Beyaz	56.1	58.02	-
	[4] Afyon Şeker	57.2	69.13	-
	[4] Afyon Gök	57.9	55.47	-
Hartaş A.Ş. Bilecik	[4] Akköy Bej	60.4	58.73	-
Emmioğlu Mermer Ltd. Şti. Tokat-Amasya	[4] ZileBej	61.0	57.61	-
Emmioğlu Mermer Ltd. Şti. Sivas	[4] Yıldız Siyah	59.8	60.46	-
Ak Mermer A.Ş. Sivas	[4] Sarı Traverten	47.1	58.32	-
ART Mermercilik Diyarbakır	[6] Karacadağ Bazalt	62.87	137.86	5740
	[6] Siverek Bazalt	56.33	129.40	5480
	[6] Silvan Bazalt	54.6	123.89	5390
	[6] Devegeçidi Bazalt	50.6	112.27	5370
Ber-Oner Mermer Bayburt	[6] Bayburt Oniks	53.69	65.56	6810
Dimer Mermer Diyarbakır	[6] Hani Bej	56.07	54.04	5980
	[6] Hazro Pempe	52.87	47.41	5920
Ber-Oner Mermer Kayseri	[6] Marone Traverten	50.3	40.48	5570
	[6] Tanbay Traverten	44.27	37.32	5330
Gün Mermer Bitlis	[6] Bitlis Traverten	40.4	26.00	3970

Çizelge 2'nin devamı

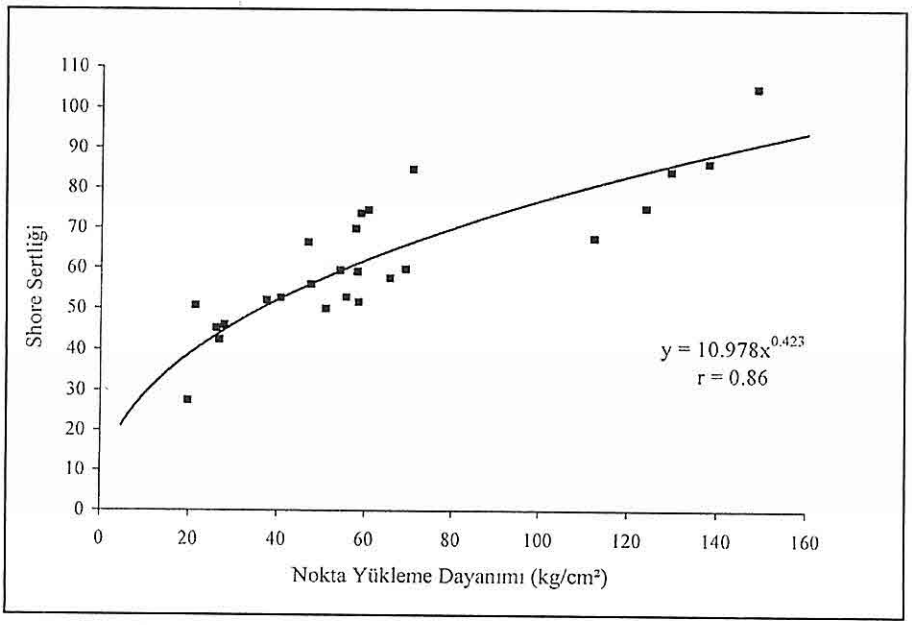
İşletme	Kaya Birimi	Mineral Tane Yoğunluğu (gr/cm³)	Tabii Birim Ağırlık (gr/cm³)	Toplam Porozite %	Nem Oranı %	Dolaylı Çekme Dayanımı (kg/cm²)	Darbe Dayanımı kgf.cm/cm³	Suda Dağılma Dayanımı İndeksi (Id-2) (%)	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (kg/cm²)	Kohezyon (kg/cm²)	İçsel Sürünme Açısı (°)	Shore Sertliği	Elastisite Modülü (Et , GPa)	Poisson Oranı (υ_t)
Emmioğlu Mermer Ltd. Şti. Sivas	Yıldız Siyah	2.708	2.7	0.417	0.116	69.54	3.74	99.64	696.87	266.85	43.82	74.53	35.81	0.273
Ak Mermer A.Ş. Sivas	Sarı Traverten	2.676	2.411	10.19	0.329	52.82	9.15	99.32	385.45	195.37	26.14	51.7	29.55	0.292
ART Mermercilik Diyarbakır	Karacadağ Bazalt	2.72	2.7	0.919	0.19	111.76	11.797	-	1567.81	352.61	48.96	86.3	147.53	0.49
	Siverek Bazalt	2.71	2.682	1.292	0.202	98.81	10.81	-	1439.63	417.57	41.91	84.2	94.16	0.31
	Silvan Bazalt	2.704	2.676	1.516	0.39	98.6	9.117	-	1269.24	302.44	46.59	75.1	64.68	0.19
	Devegeçidi Bazalt	2.695	2.66	1.744	0.457	87.59	8.132	-	921.92	192.31	51.09	67.6	61.09	0.183
Ber-Oner Mermer Bayburt	Bayburt Oniks	2.682	2.676	0.261	0.035	76.58	3.427	-	749.49	193.64	50.52	57.6	59.21	0.13
Dimer Mermer Diyarbakır	Hani Bej	2.676	2.639	1.606	0.21	74.09	4.778	-	737.15	303.77	42.83	59.5	56.77	0.302
	Hazro Pempe	2.655	2.622	1.506	0.253	69.54	3.283	-	686.47	245.24	36.13	56.1	64.86	0.18
Ber-Oner Mermer Kayseri	Marone Traverten	2.481	2.382	4.797	0.842	53.94	2.861	-	524.13	90.34	44.2	52.7	50.39	0.32
	Tanbay Traverten	2.473	2.342	6.146	0.907	46.8	2.328	-	369.44	189.25	23.64	52	54.38	0.296
Gün Mermer Bitlis	Bitlis Traverten	2.43	2.318	5.556	1.059	26.71	1.981	-	286.43	60.36	33.21	45.3	11.85	0.11

Çizelge 3. Regresyon analizi sonuçları.

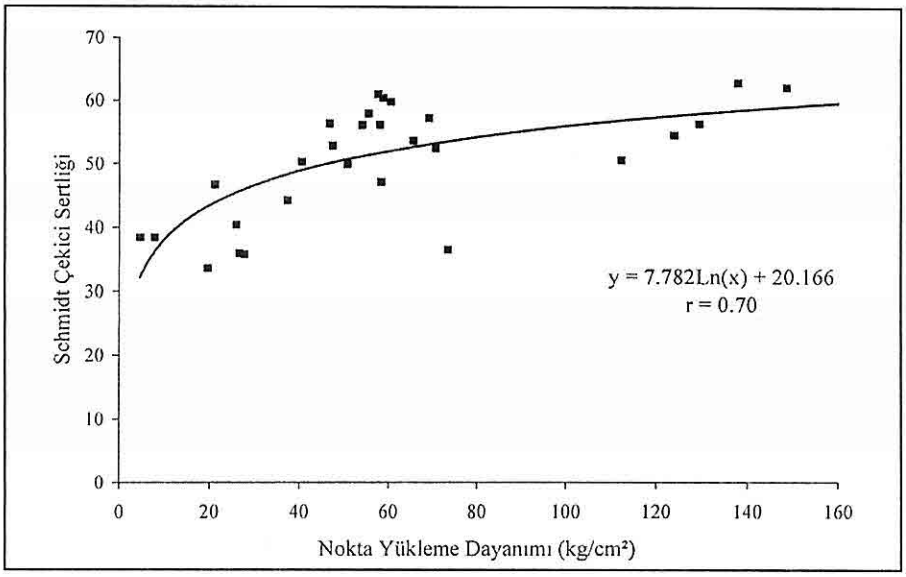
Bağımlı Değişken (Y)	Fonksiyon Türü	Eşitlik X: Nokta Yükleme Dayanımı (kg/cm^2)	Korelasyon Katsayısı (r)
Dolaylı Çekme Dayanımı, kg/cm^2	Doğrusal	$y = 0.4623x + 31.308$	0.77
	Logaritmik	$y = 26.504*\ln(x) - 42.439$	0.83
	Üssel	$y = 5.7256x^{0.5755}$	0.87
	Eksponansiyel	$y = 30.49e^{0.0089x}$	0.72
Suda Dağılma Dayanımı İndeksi (Id-2) (%)	Doğrusal	$y = 0.0466x + 95.006$	0.52
	Logaritmik	$y = 3.3582*\ln(x) + 85.218$	0.84
	Üssel	$y = 85.499x^{0.0357}$	0.83
	Eksponansiyel	$y = 94.872e^{0.0005x}$	0.52
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (kg/cm^2)	Doğrusal	$y = 6.7344x + 201.8$	0.80
	Logaritmik	$y = 356.76*\ln(x) - 757.84$	0.79
	Üssel	$y = 30.794x^{0.7269}$	0.88
	Eksponansiyel	$y = 248.27e^{0.0117x}$	0.76
Kohezyon (kg/cm^2)	Doğrusal	$y = 1.4854x + 90.068$	0.66
	Logaritmik	$y = 86.907*\ln(x) - 153.71$	0.72
	Üssel	$y = 7.2488x^{0.775}$	0.79
	Eksponansiyel	$y = 72.837e^{0.0112x}$	0.61
Elastisite Modülü (Et , GPA)	Doğrusal	$y = 0.4328x + 15.629$	0.66
	Logaritmik	$y = 24.147*\ln(x) - 50.812$	0.69
	Üssel	$y = 1.1545x^{0.8656}$	0.87
	Eksponansiyel	$y = 15.32e^{0.0124x}$	0.66
Shore Sertliği	Doğrusal	$y = 0.3835x + 37.438$	0.84
	Logaritmik	$y = 25.432*\ln(x) - 39.905$	0.85
	Üssel	$y = 10.978x^{0.423}$	0.86
	Eksponansiyel	$y = 40.572e^{0.0061x}$	0.80
Schmidt Çekici Sertliği	Doğrusal	$y = 0.1298x + 42.203$	0.63
	Logaritmik	$y = 7.782*\ln(x) + 20.166$	0.70
	Üssel	$y = 26.198x^{0.164}$	0.69
	Eksponansiyel	$y = 41.794e^{0.0027x}$	0.62



Şekil 6. Nokta yükleme dayanımı - elastisite modülü ilişkisi.



Şekil 7. Nokta yükleme dayanımı - Shore sertliği ilişkisi.



Şekil 8. Nokta yükleme dayanımı - Schmidt çekici sertliği ilişkisi.

yükleme dayanımı değerleri ile diğer kaya mekaniği arazi ve laboratuvar deney sonuçları arasında ilişkiler geliştirmek amacı ile basit regresyon analizleri yapılmıştır. Gerçekleştirilen bu regresyon analizleri sonucunda, nokta yükleme dayanımı ile dolaylı çekme dayanımı, suda dağılma dayanımı indeksi, tek eksenli basınç dayanımı, kohezyon, elastisite modülü, Shore sertliği ve Schmidt çekici sertliği arasında anlamlı ve oldukça yüksek korelasyonlu ilişkiler elde edilmiştir (Şekil 2-8). Nokta yükleme dayanımı değeri kullanılarak diğer bazı önemli malzeme özelliklerinin tahmin edilebileceği bu ilişkilerin, değişik türdeki kaya birimlerinde yapılacak ölçümlerle geliştirilmesinde yarar görülmektedir.

5. KAYNAKLAR

Ceylanoğlu, A., 1995, Sivas-Ulaş Sölestit Cevheri ve Yankayaçlarının Bazı Malzeme/Kütle Özelliklerinin Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi, Madencilik, Cilt 24, Sayı 4, s. 11-19.

Ceylanoğlu A., Kahriman, A., Durutürk, Y., Uysal, Ö., Gül, Y., 1996, Eskişehir Karaburhan Krom Açık Ocağı Kaya Birimlerinin Kazılabilirlik Sınıflaması ve Örtü/Kazı Birim Maliyet Analizi, Madencilik, Cilt 25, Sayı 3, s. 3-15.

Ceylanoğlu, A., Durutürk, Y.S., 1996, Divriği Demir Açık Ocağı (A-Kafa) Kaya Birimlerinin Kazılabilirlik Açısından Değerlendirilmesi, Yerbilimleri/Geosound, Sayı 29, s. 235-246.

Ceylanoğlu, A., Görgülü, K., Arpaz, E., Durutürk, Y.S., 1999, Bazı Mermer Birimleri İçin Optimum Aşındırma-Cilalama Koşullarını Belirleme Çalışmaları, TÜBİTAK-MİSAG, Proje

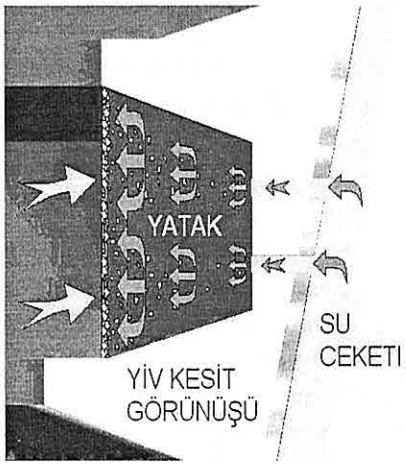
1. GİRİŞ

1978 yılında Byron Knelson'ın ilk Knelson santrifüj konsantratörü icat etmesinden bu yana, bu yeni nesil gravite konsantratörleri tüm dünyada oldukça yaygın kullanım olanağı bulmuşlardır.

Knelson santrifüj separatörler yüksek tenörlü ağır mineral ön konsantrelerin üretiminde kullanılabildiği gibi, fiziksel yöntemlerle üretilmiş ön konsantrelerin temizlenmesi veya artıklara uygulanacak süpürme işlemleri için de ideal konsantrasyon cihazlarıdırlar. Kolay taşınabilir, kurulabilir ve işletilebilir olmaları nedeniyle küçük çaplı madencilik uygulamaları için yaygın olarak tercih edilmektedirler (Knelson ve Edwards, 1990; Turner, 1991; Knelson ve Jones, 1994; Patchejieff ve ark., 1994; Burt ark.,1995; Dandois ark., 1998; Burt, 1999; Chernet ark., 1999; Delfini ark., 2000; Coulter ve Subasinghe, 2005; Rickford, 2006).

Bu cihazlarla serbest altın kazanımı hızlı, verimli ve düşük maliyetli olmaktadır. Öğütme devrelerinde Knelson santrifüj separatör kullanımı, öğütme ile boyutu küçültülemeyen altın tanelerinin devrede birikmesini önlemekte, bu tanelerin kazanılmasını takiben nakit para akışı sağlamaktadır. Flotasyon ve liç devreleri öncesi Knelson kullanımı ile iri altın tanelerinin bu prosesler de yaratabileceği verim kaybı problemleri önlenebilmektedir.

Knelson santrifüj separatörlerde bir santrifuj alan kuvveti içinde engelli çökme klasifikasyonu geçerli olmaktadır. Konsantrasyon konisi, bir dış duvar ve sadece su jetlerinin geçişine izin veren bir geçirgen iç duvardan oluşmaktadır. Dönüş ekseni bu duvar arasına su geçişine izin verecek şekilde içi boş olarak tasarımlanmıştır. Bu duvarın iç yüzeyine altın taneciklerinin toplanması için yivler açılmıştır (Knelson ve Edwards, 1990).



Şekil 1. Knelson santrifüj separatör.

Cihaz % 0-70 katı oranlarında çalışabilmektedir. Artık, cihazın çıkış kısmından suyla beraber sürekli olarak atılırken, kesikli çalışan konsantratörlerde (Batch type); konsantre temizleme işlemine kadar konik kısmında birikmekte, sürekli çalışan modelde ise belli aralıklarla otomatik olarak cihaz dışına alınmaktadır.

Knelson santrifüj separatör kullanılarak altın taneciklerinin konsantrasyonu üzerine birçok araştırmacı farklı çalışmalar yürütmüştür. Yapılan çalışmalar sonucu cevher içerisindeki gravimetrik altın miktarının tespiti için uygulama prosedürleri geliştirilmiştir

(Woodcock ve Laplante, 1993, Laplante ve ark., 1996a; Laplante ve ark., 1996b). Bu konuda ülkemizde yapılan çalışmalara örnek olarak Celep ve ark., (2006) verilebilir. Celep ve ark., yaptıkları çalışmada laboratuar çap bir Knelson santrifüj gravite ayırıcısı kullanmışlardır. Bu çalışma ile Mastra (Gümüşhane) altın cevherinden % 47,2 altın kazanım verimi ile 771,95 gr/ton tenörlü bir altın konsantresi elde edilmiştir.

1.1. Knelson Santrifüj Separatör Tipleri

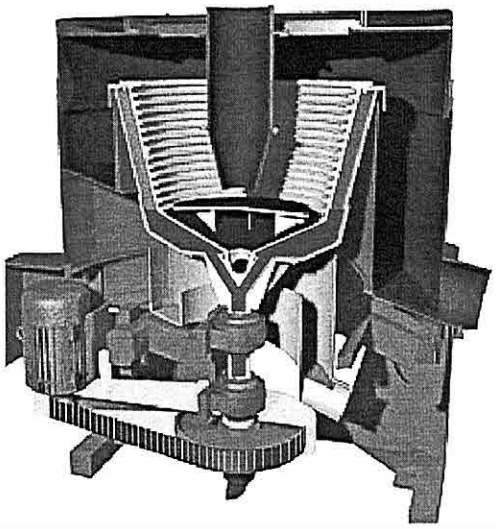
1.1.1. Kesikli Çalışan (Batch) Tip Knelson Santrifüj Separatörler

Kesikli (batch tip) Knelson santrifüj separatörler endüstride en çok kullanılan santrifüj konsantratör türüdür. Laboratuar çaptan 150 ton/saat katı kapasiteye kadar çok çeşitli kapasitelerde çalışabilen tipleri mevcuttur.

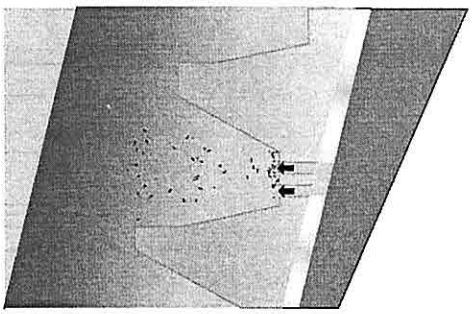
Bu tip konsantratörlerin çalışma düzeni aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir;

Cihaza verilen su konsantrasyon konisi içerisine yerleştirilmiş olan yivlerden içeri dolar. Cihaza katı-sıvı karışımı beslenir. Pülp koni dibine ulaştığında santrifüj kuvvet etkisiyle koni duvarına doğru savrulur. Konsantrasyon konisi içerisine verilen pülp içerisindeki katı taneler yivleri doldururur. Santrifüj kuvvet tersi yönünde yivler içerisinden verilen suyun etkisi ile katı taneler yivler içerisinde bir akışkan yatak oluşturur. Ağır katı taneler oyuk diplerine yerleşirler. Hafif mineraller akışkan yatak dışında kalarak su tarafından sürüklenip cihazı terk ederler. Belirli bir çalışma süresi sonunda cihaza yeni malzeme ilavesi durdurulur ve konsantrasyon konisi dibinde birikmiş olan ağır taneler cihaz dışarısına alınırlar.

Özellikle altın, platin, gümüş, cıva ve nabit bakır zenginleştirilmesinde kullanılmaktadırlar.



(a)



Şekil 2. Knelson kesikli (Batch) tip konsantratör çalışma şekli.

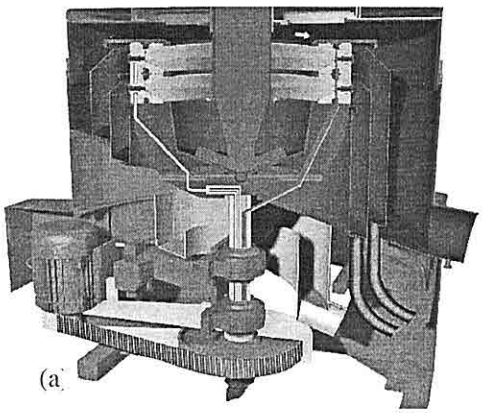
1.1.2. Sürekli Çalışabilen (CVD) Knelson Santrifüj Separatörler

Sürekli çalışabilen Knelson santrifüj separatörler (Continuous Variable-

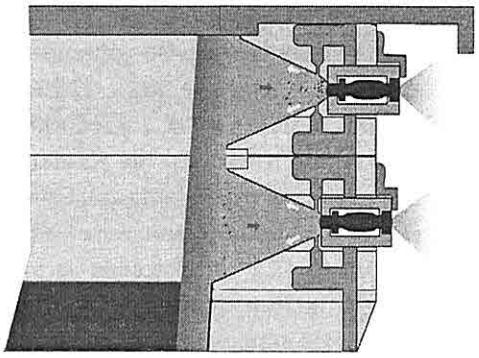
Discharge) yüksek ağır mineral içerikli cevherlerin zenginleştirilmesinde tercih edilmektedirler. Sürekli çalışabilen Knelson santrifüj separatörlerin kesikli çalışan tiplere göre avantajı, üretilen konsantrelerin cihazdan uzaklaştırılmasının sürekli olarak gerçekleştirilebilmesidir. Eğer cevher içerisinde kazanılması hedeflenen mineralin miktarı katı olarak % 0.5 i aşıyor ise bu tip konsantratörlerin kullanılması daha uygun olmaktadır.

Bu tip cihazlarda yiv diplerine yerleştirilmiş olan valfler, ağır minerallerin yivleri doldurması ile oluşan iç basınç değişikliğinin etkisi ile kontrollü olarak açılıp kapanarak, ağır minerallerin konsantrasyon konisi dışına alınmasını sağlar. Ağır mineraller, ağır mineral tahliye kanalından, hafif mineraller ise akışkan yatak dışında kalarak su tarafından sürüklenip cihazı terk ederler.

Sürekli çalışan Knelson santrifüj separatörler endüstride yaygın olarak talk içerisindeki demirin uzaklaştırılması, kasiterit, altın sülfürler ve kromit zenginleştirilmesi, ince kömür kazanımı amaçları ile kullanılabilmektedirler.



(a)



(b)

Şekil 3. CVD tip Knelson santrifüj separatör çalışma şekli

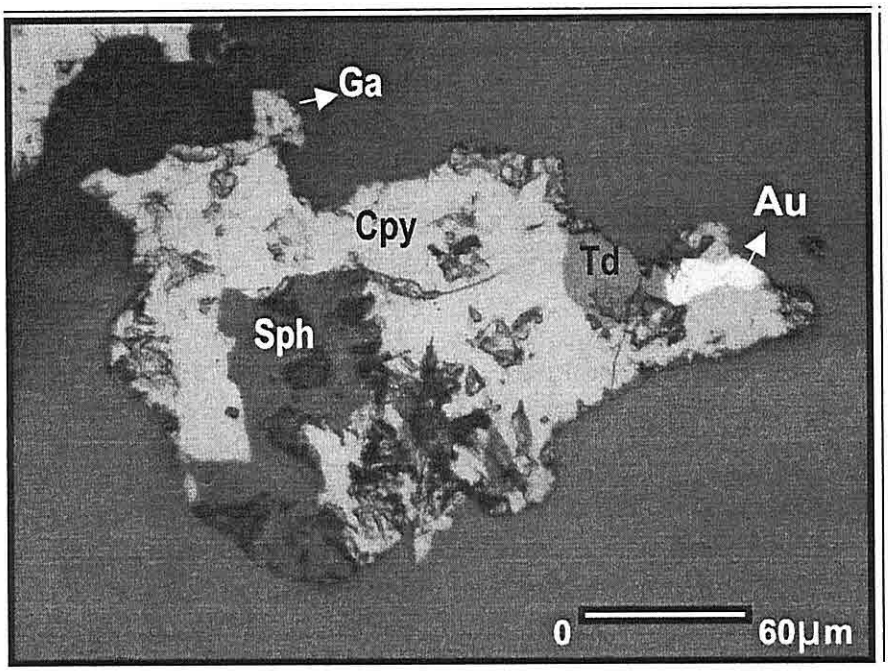
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Malzeme ve Yöntem

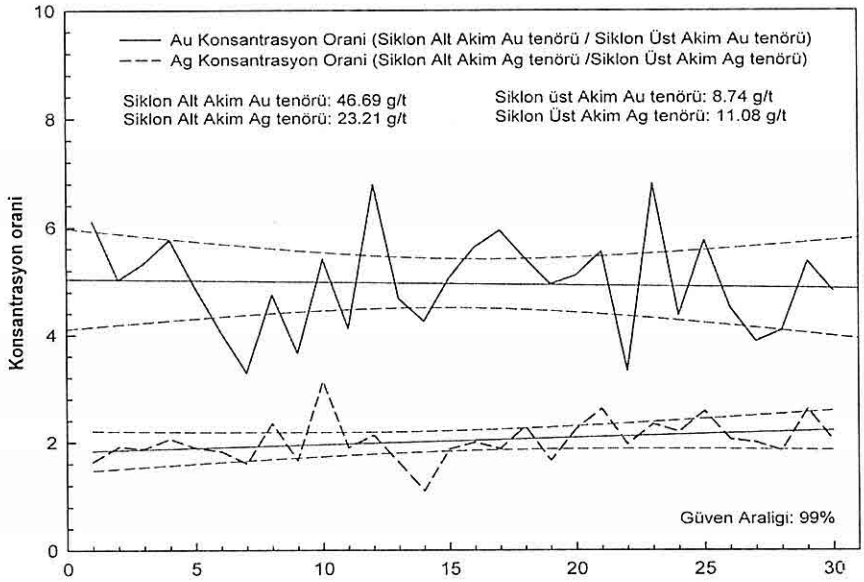
Bergama-Ovacık altın cevheri sülfür içeriği % 2 nin altında ve % 95 oranında SiO2 içeren, ortalama 8 g/t tenörlü, epitermal tip bir altın cevheridir (Yılmaz ve ark., 2006). Cevher çok ince altın taneleri içermektedir. Yapılan mikroskopik incelemeler ve elek metal çalışmaları cevher altın içeriğinin büyük bir kısmının ince tanede (-106 mikron) yoğunlaştığını göstermektedir

Çalışmaların başlangıç aşamasında tesis öğütme devresi devreden yük altın içeriği değişimi bir ay boyunca günde iki defa yapılan analizlerle takip edilmiştir. Tesis devreden yük altın içeriğinin değişimi Şekil 5'de verilmiştir.

Altın tanecikleri duktil yapıları nedeniyle öğütme işlemi boyunca tane boyutu küçülmesinden daha çok şekil değişikliğine maruz kalmaktadırlar. Bu nedenden ötürü, bir altın tanesinin



Şekil 4. Bergama-Ovacık altın cevheri minerolojisi (Kalkopirit (Cpy), tetrahedrit (Td), nabit altın (Au), Sfalerit (Sph), Galen (Ga))



Şekil 5. Bergama Ovacık CIP tesisi öğütme devresi devreden yük altın ve gümüş tenörlerinin devre çıkışına göre oransal değişimi

parçalanması ve öğütme devresini terk edebilmesi için öğütme devresinde defalarca öğütücüden geçmesi gerekmektedir. Bu olgunun yanı sıra hidrosiklonlar içinde ince ağır tanelerin siklon alt akımına kapılarak iri tane çıkışından cihazı terk etmeleri de bu tanelerin devreden yük içerisindeki konsantrasyonunun artmasına neden olmaktadır. Şekil 5 den de gözlenebildiği gibi devreden yük altın içeriği öğütme devresi çıkışı altın içeriğine oranla 4-6 kat daha fazla olmaktadır. Bu oran gümüş içeriği için 1.5 ile 2.5 arasında değişmektedir.

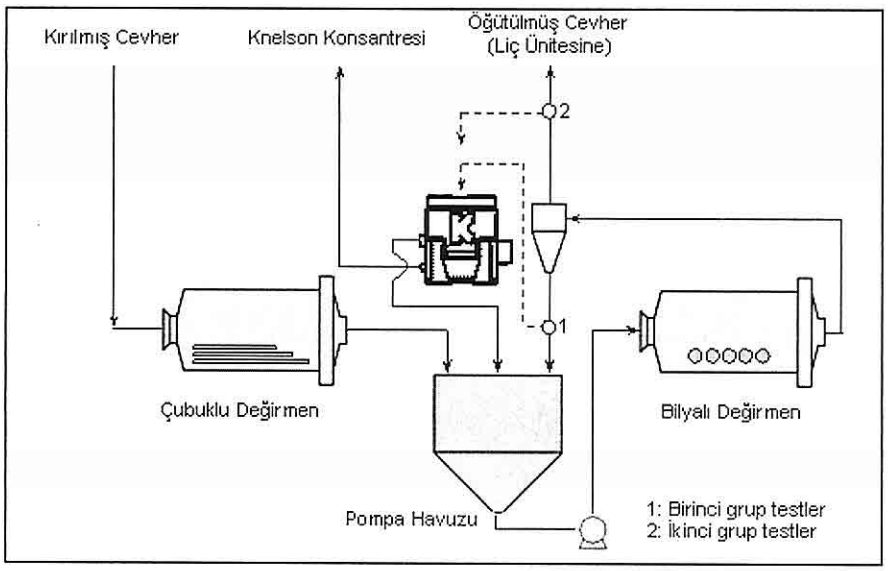
altın taneciklerinin kazanılabilirliğinin tespiti için öğütme devresi siklon üst akımı (ince malzeme) çıkışından alınan numuneler ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 6).

2.2. Konsantrasyon Testleri

2.2.1. Test 1: 12 psi Yıkama Suyu Basıncı, 45 dk. Konsantrasyon Süresi

İlk test sırasında cihaza beslenen toplam malzeme miktarı 674 kg olarak ölçülmüştür. Cihaz yıkama suyu basıncı 12 psi olarak ayarlanarak test gerçekleştirilmiştir.

Deney esnasında sürekli beslemenin



Şekil 6. Knelson santrifüj separatör test düzeneği

Konsantrasyon testleri KC-MD7.5 Knelson santrifüj separatör kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İlk grup testler öğütme devresi hidrosiklon ünitesi iri malzeme çıkışına kurulan paralel bir besleme hattı ile cihaza malzeme beslenerek, ikinci grup testler ise çok ince

yapıldığı boru hattından belirli zaman aralıklarıyla alınan besleme malı numunesi, deney sonucu elde edilen konsantre ve cihazın çalışması sırasında artık çıkışından yine belirli zaman aralıklarıyla alınan artık numunelerinin elek–metal analizleri yapılmıştır. Besleme

Çizelge 1. Besleme malı elek/metal analiz sonuçları.

Tane iriliği (mikron)	Ağırlık (%)	Tenör (g/t)		Kümülatif Elek Altı		Au dağılım	
		Au	Ag	Au (g/t)	Ag (g/t)	(%)	Elek altı (%)
2000 - 1180	10.53	9.24	7.79	35.78	15.39	2.72	100.00
1180 - 710	7.79	8.56	6.79	38.90	16.29	1.86	97.28
710 - 180	34.98	7.98	5.64	41.79	17.19	7.80	95.42
180 - 106	20.59	11.94	6.28	67.12	25.85	6.87	87.62
106 - 38	16.26	87.24	30.55	110.64	41.29	39.66	80.74
-38	9.84	149.3	59.02	149.30	59.02	41.08	41.08
Toplam	**100.00**	**35.78**	**15.39**			**100.0**	

malı elek metal analizleri incelendiğinde altın içeriğinin % 80 inin 106 mikron tane iriliğinin altında, % 41 inin ise 38 mikron tane iriliğinin altında olduğu görülmektedir. Konsantrenin -38 mikron tane boyutu fraksiyonundaki altın tenörü 117.2 kg/t olarak oldukça yüksektir. Bu fraksiyonda Au/Ag tenör oranı 170 iken toplam konsantredeki Au/Ag tenör oranı 9.9 dur. Bu fark tanelerin boyutu küçüldükçe yüksek oranda altın içeren taneciklerin yüksek özgül ağırlıklarından dolayı seçimli olarak konsantreye geçtiklerinin bariz bir göstergesidir.

Besleme malı, konsantre, artık elek/metal analizleri ve Çizelge 2'deki (Çizelge 2 son sütun) konsantre artık ağırlık dağılımı kullanılarak hesaplanan tane boyutu sınıflarına göre -710 +106 mikron tane sınıfındaki altın taneciklerinin verim değerlerinin ortalama % 45 civarında olduğu gözlenmektedir. Daha alt fraksiyonlarda verim değerleri % 28'lere düşmektedir.

Çalışmada dikkati çeken ve olası bir Knelson uygulamasının avantajlarından biri olarak kabul edilmesi gereken husus Knelson konsantratörünün seçimli olarak oldukça saf altın taneciklerini zenginleştirmesidir. Knelson konsantresin de Au tenörü Ag tenörünün 35 katına kadar çıkabilmektedir. Diğer bir deyişle Knelson konsantresinde elde edilen altının saflığı % 97 oranında olabilmektedir.

2.2.2. Test 2: 12 psi Yıkama Suyu Basıncı, 60 dk. Konsantrasyon Süresi

Bu testte sınıflandırma siklonu alt çıkışından sürekli olarak cihaza 982 kg malzeme beslenmiş ve 12 psi çalışma suyu basıncı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5'de verilmektedir.

Bu test ile çalışma süresinin uzaması durumunda cihazın performansı

Çizelge 2. Konsantre elek/metal analiz sonuçları.

Tane iriliği (mikron)	Ağırlık (%)	Tenör (g/t)		Kümülatif Elek Altı		Au dağılım		Fraksiyonel Au kazanımı (%)
		Au	Ag	Au (g/t)	Ag (g/t)	(%)	Elek alt	
2000 - 1180	11.15	1591.00	405.00	6780.73	682.21	2.62	100.00	25.30
1180 - 710	10.59	1342.00	366.00	7432.00	716.99	2.10	97.38	24.92
710 - 180	43.85	1977.00	552.50	8256.09	764.49	12.78	95.29	41.80
180 - 106	21.72	5972.00	1265.00	16257.78	1034.64	19.13	82.50	56.13
106 - 38	10.37	15216.11	629.81	33862.74	640.36	23.27	63.37	39.11
-38	2.32	117210.00	687.50	117210.00	687.50	40.10	40.10	28.32
Toplam	**100.00**	**6780.73**	**682.21**			**100.0**		**35.18**

Çizelge 3. Artık elek/metal analiz sonuçları.

Tane iriliği (mikron)	Ağırlık (%)	Tenör (g/t)		Kümülatif Elek Altı (%)		Au dağılım		Fraksiyonel Au kaçağı (%)
		Au	Ag	Au (g/t)	Ag (g/t)	(%)	Elek altı (%)	
2000 - 1180	8.56	11.35	8.48	23.23	12.21	4.18	100.00	74.70
1180 - 710	7.72	10.29	7.6	24.35	12.56	3.42	95.81	75.08
710 - 180	35.73	6.27	5.53	25.64	13.02	9.64	92.39	58.20
180 - 106	24.13	7.8	5.81	40.07	18.60	8.10	82.75	43.87
106 - 38	13.87	32.88	15.45	72.70	31.53	19.63	74.65	60.89
-38	9.99	128	53.86	128.00	53.86	55.03	55.03	71.68
Toplam	**100.00**	**23.23**	**12.21**			**100.0**		**64.82**

incelenmiştir. Üretilen konsantreden ve çalışma süresi boyunca belirli zaman aralıklarıyla besleme girişinden ve cihaz artık çıkışından alınan numuneler analiz edilmiştir. Ürün analizlerinden yola çıkılarak hesaplanan verim değerleri Au için % 32.32 ve Ag için % 1.11 olarak gerçekleşmiştir.

Üretilen altın konsantresi toplam malzemenin % 0.12 sini oluşturmaktadır. Konsantre tenörü 15 kg/t gibi oldukça yüksek bir değerdir.

2.2.3. Test 3: Öğütülmüş Malzeme Konsantrasyon Testi

Test besleme malı olarak siklon üst

Çizelge 4. Test sonuçlarını içeren birleştirilmiş çizelge

Ürün	Ağırlık %	Tenör (g/t)	Verim (%)	
		Au	Au	Ag
Konsantre	0.185	6780.73	35.18	9.41
Artık	99.81	23.23	64.82	90.59
Besleme Malı	100.00	35.78	100.00	100.00

Çizelge 5. 12 psi yıkama suyu basıncı ve 60 dk. çalışma süresi kullanılarak yapılan test sonuçları.

Ürün	Ağırlık %	Tenör (g/t)		Verim (%)	
		Au	Ag	Au	Ag
Konsantre	0.12	15020.0	203.80	32.32	1.11
Artık	99.88	39.00	22.44	67.68	98.89
Besleme Malı	100.00	57.55	22.66	100.00	100.00

Çizelge 6. Siklon üst akım numunesinden elde edilen konsantrenin elek/metal analiz sonuçları

Ürün	Ağırlık %	Tenör (g/t)		Dağılım (%)	
		Au	Ag	Au	Ag
180 - 75	58.96	65.46	18.93	6.45	5.70
-75.00	41.04	1365.00	450.21	93.55	94.30
Toplam	100.00	598.75		100.00	100.00

Çizelge 7. Siklon üst akım numunesinden elde edilen artığın elek/metal analiz sonuçları

Ürün	Ağırlık %	Tenör (g/t)		Dağılım (%)	
		Au	Ag	Au	Ag
180 - 75	19.30	10.9	3.1	15.28	6.26
-75.00	80.70	14.5	10.9	84.72	93.74
Toplam	100.0	13.80		100.00	100.00

çıkışından temsili olarak alınan, 100 kg numune kullanılmıştır. Cihaz yıkama suyu basıncı 5 psi olarak ayarlanmıştır. Testin uygulanması aşamasında, konsantrasyon konisi içerisinde yapay bir yatak tabakası oluşturmak amacı ile -3 mm temiz kuvars kumu kullanılmıştır.

zenginleşme oranına göre daha düşük olması dikkati çeken bir husustur.

D80 tane iriliği 75 mikron olan sınıflandırma siklonları üst çıkışından (öğütme devresi çıkışı) alınan öğütülmüş malzeme ile test yapılmış ve yapılan test sonucu % 9.61 altın kazanma verimi ile

Çizelge 8. Siklon üst akım numunesi ile yapılan testin kütle/metal bilançosu.

Ürün	Ağırlık %	Tenör (g/t)		Verim (%)	
		Au	Ag	Au	Ag
Konsantre	0.24	598.75	203.80	9.61	2.18
Artık	99.76	13.80	22.44	90.39	97.82
Besleme Malı	100.00	15.23	22.88	100.00	100.00

Elde edilen konsantre ve artıktan alınan numuneler üzerinde elek-metal analizleri yapılmıştır. Yapılan analizlerde söz konusu numunelerde ki altın taneciklerinin % 95 e yakın kısmının -75 mikron tane iriliğinde olduğu tespit edilmiştir. 0.6 kg/t Au tenörlü bir konsantre % 10 civarı bir verim değeri ile üretilebilmiştir.

3. SONUÇLAR

Çalışma öncesi Bergama CIP tesisi devreden yük altın içeriği bir ay boyunca günde 2 defa yapılan analizlerle izlenmiştir. Yapılan bu çalışma sonucunda tesis devreden yük altın içeriğinin öğütme devresi çıkışı altın içeriğine oranla 4-6 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu oran gümüş içeriği için 1.5 ile 2.5 arasında değişmektedir. Hidrosiklon alt akımında gümüş zenginleşme oranı altının

598.8 g/t tenörlü bir konsantre üretilebilmiştir. Verim değeri oldukça düşüktür. Bunun en önemli sebebi ise cevher içerisindeki altın taneciklerinin tane iriliğinin oldukça ince olmasıdır.

Yapılan testler sonucunda, cevher numunesinin içerdiği altın tanelerinin Knelson santrifüj separatör kullanılarak gravimetrik konsantrasyon işlemi için uygun bir cevher olmadığı söylenebilir. Tamamen gravimetrik separasyon tekniği kullanılarak üretim ekonomik değildir. Öğütme devresine kurulacak bir Knelson santrifüj separatör ile devrede biriken altının sadece % 32 si kazanılabilmektedir. Öğütme devresinde kullanılan Knelson konsantratörü çok düşük kapasiteli pilot çap bir separatör olduğundan devreden yükteki birikmiş altınının çok az bir bölümünü alabilmiştir. Öğütme devresinde bu cihazın kurulması ile

endüstriyel boyuttaki uygulamalarda olduğu şekilde bir denge kurulması mümkün olmamış, dolayısıyla cihaza kısa test süresi esnasında beslenen malzemenin altın tenörü endüstriyel uygulamalardan farklı olarak zamanla düşüp dengede kalmamıştır. Öğütme devresinde endüstriyel boyutta bir Knelson konsantratör kullanıldığında elde edilen altın veriminin çok daha düşük olacağı açıktır. Bu sebepten dolayı bu tip bir uygulama ekonomik olmaktan oldukça uzaktır.

4. TEŞEKKÜR

Bergama Ovacık Liç Tesisi yönetimi ve çalışanlarına, D.E.Ü Jeoloji Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Sayın Yrd. Doç. Dr. Tolga Oyman'a yardımları ve verdikleri teknik destek için teşekkürlerimizi sunarız.

5. KAYNAKLAR

Burt R.O., Korinek G., Young S.R., Deveau C., 1995, Ultrafine tantalum recovery strategies, Minerals Engineering, 8, 8, pp. 859-870.

Burt, R., 1999, The role of gravity concentration in modern processing plants, Minerals Engineering, 12, 11, pp. 1291-1300.

Celep, O., Alp, İ., Deveci, H., Vıcıl, M., Yılmaz, T., 2006, Knelson Santrifüj Gravite Ayırıcısıyla Mastra (Gümüşhane) Cevherinden Altın Kazanımı, İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi, 19, 2, 175-182.

Chernet T., Marmo J., Nissinen A., 1999. Significantly Improved Recovery of Slightly Heavy Minerals from Quaternary Samples Using GTK Modified 3" Knelson Preconcentrator, Minerals Engineering, 12, 12, pp. 1521-1526.

Coulter, T., and Subasinghe, G.K.N., 2005, A mechanistic approach to modelling Knelson concentrators, Minerals Engineering, 18, pp.9–17.

Dandois, P., Cáceres, G., Joly P., and Frenay J., 1998, Development of a pilot plant using clean technology for the recovery of gold from small scale mines, Minerals Engineering, 11, 5, pp. 453-455.

Delfini M., Manni A., Massacci P., 2000. Gold Recovery from Jewellery Waste, Minerals Engineering, 13, 6, 2000 , pp. 663-666.

Knelson B., and Jones, R., 1994, "A new generation of Knelson concentrators" a totally secure system goes on line, Minerals Engineering, 7, 2-3, pp. 201-207.

Knelson, B., Edwards, R., 1990, Development and economic application of Knelson concentrators in low grade alluvial deposits. The AusIMM Annual Conference, Rotorua/New Zealand, 123-128.

Laplante A.R., Shu, Y. and Marois, J., 1996, Canadian Metal. Quart., 35(1),pp. 23-29.

Laplante, A.R., Vincent, F., Luinstra, W., 1996, A Laboratory Procedure to determine the amount of the gravity recoverable gold. Proc. of 28th Ann. Canadian Mineral Processors Conf. Ottowa, January, paper 8, 8-14.

Patchejieff, B., Gaidarjiev St., and Lazarova, D., 1994, Minerals Engineering, 7, 2-3, pp. 405-409.

Rickford V., 2006, Mercury-free gold mining technologies: possibilities for adoption in the Guianas, Journal of Cleaner Production 14, pp. 448-454.

Turner, J.F., 199,. Gravity concentration, past, present and future, Minerals Engineering, 4, 3-4, pp. 213-223.

Woodcock, F. and Laplante A.R., 1993. A laboratory method for determining the amount of gravity recoverable gold, Randol Gold Forum, Beaver Creek, Septemper, 151-155.

Yılmaz, H., Oyman, T., Arehart, G. B., Colakoglu A. R., and Billor, Z., 2007, Low-sulfidation type Au–Ag mineralization at Bergama, Izmir, Turkey, Ore Geology Reviews, 32, 1-2, pp. 81-124.

YERBİLİMLERİ GEOSOUND | ARALIK DECEMBER 2008 | SAYI NO 53 | ISSN 1019-1003

KADİRLİ BÖLGESİ (OSMANİYE), YERLEŞİME AÇILMASI DÜŞÜNÜLEN ZEMİNLERİN JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ VE UYGUNLUK AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Ahmet Mahmut KILIÇ, Nil YAPICI
Ç.Ü., Maden Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye
Ahmet Şeref AYKAMIŞ
MTA, Doğu Akdeniz Bölge Müdürlüğü, Adana/Türkiye

ÖZET: *Bu çalışmada, Osmaniye ili, Kadirli İlçesi sınırları içersinde yer alan, alana sahip ve yerleşime açılması düşünülen 3.6 km^2'lik bir bölgenin, yerleşime uygunluk açısından zeminin değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışma kapsamında toplam 200 metre uzunlukta ve her biri 20 metre olan, 10 adet zemin etüt sondajı yapılmıştır. Sondajlardan elde edilen örselenmiş (20 adet) ve örselenmemiş (6 adet) numuneler üzerinde indeks ve mühendislik özelliklerini belirlemek için zemin deneyleri gerçekleştirilmiştir. Arazi gözlemleri ve zemin deneyleri ile; topoğrafik durum, yeraltı su durumu, standart penetrasyon deney değerler (SPT), karot yüzdesi, kaya kalite indeksi (RQD) ve zeminine ait bazı temel mühendislik parametreleri belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda incelemesi yapılan bölge; yerleşime uygun (UA), önlem gerektiren (ÖA) ve yerleşime uygun olmayan alanlar (UOA) olarak bölgelere ayrılmıştır.*

GEOTECHNICAL PROPERTIES OF SOIL INVESTIGATIONS FOR URBANIZATION OF KADIRLI (OSMANIYE) AND ASSESSMENT OF SETTLEMENT CONFORMITY

ABSTRACT: *In this study, many soil investigations were evaluated for being taught on totally 3.6 km^2 areas as settlement zones in Kadirli County (Osmaniye) urbanization. According to this work, 10 soil investigation points were drilled, each which was 20 m deep and at a total 200 m long. Also soil experiments were done on 20 (disturbed samples) and 6 (undisturbed samples) taken from the drilling points to determine index and engineering parameters. However, topographic situation, subsoil water structure, engineering geology, SPT, mean core percentage, rock quality index (RQD) and the other engineering parameters were evaluated by land observations and soil experiments. As a result of this research, suitable zones, important zones and unsuitable zones for the settlement were determined in this field at the end.*

1. GİRİŞ

Zeminlerde, doğal su içeriği, likit limit, plastik limit, plastisite indeksi, doğal birim hacim ağırlığı, özgül ağırlık, doğal boşluk oranı, jeoteknik özellikler, kıvam limitleri kayma mukavemeti, sıkışabilirlik, penetrasyon darbe sayısı, kaya kalite indisi (RQD), granülometrik özellikler, Atterberg (kıvam) limitleri, mukavemet ve konsolidasyon özellikleri gibi zemin parametreleri yer ve zamana bağlı olarak değişmekte ve rastgele bir özellik göstermektedir (Aytekin, 2004; Uzuner; Özaydın, 1997; Özdoğru, Tan ve Aksoy, 1996; Kumbasar ve Kip, 1992). Bu parametreler, zemin araştırmaları ve zeminden alınan örneklerden elde edilen laboratuar deney sonuçlarından elde edilmektedir. Elde edilen bu sonuçlar, yeni yerleşime açılacak olan alanların yerleşime uygunluk açısından, değerlendirilmesinde önem kazanmaktadır.

Zemin özellikleri ve üst yapı karakteristikleri, arazi çalışmalarında kullanılacak yöntemlerin belirlenmesinde oldukça önemlidir. Etütlerin kapsamı ve içeriği; yapı özellikleri, zemin koşulları, civardaki yapılar, depremsellik, çevre ilişkileri ve yeraltı suyu durumu gibi faktörlere bağlıdır. Deneylerden elde edilen değerlerin yorumlanması, gerekli düzenlemelerin yapılması, doğru yerlerde amaca uygun kullanılması, yapı güvenliği ve ekonomisi açısından büyük önem taşımaktadır.

Zemindeki bilinmeyenlerin azaltılması ve gerçekçi bir tasarımın gerçekleştirilebilmesi için yeterli bir jeoteknik araştırmanın yapılması gerekmektedir. Ancak bu durum, çoğu zaman gerçekleşmemekte ve arazi jeoteknik araştırmalarının maliyeti, bazen toplam proje bedelinin % 0.1-0.3 aralığına düşebilmektedir. Düşük araştırma seviyelerinde, zemin ile ilgili belirsizliklerin çok daha fazla olacağı bir gerçektir. Bu nedenle, NCR (1984); konuyla ilgili olarak uluslararası bir standart olmamasına rağmen, jeoteknik araştırma maliyetinin toplam proje bedelinin en az %3'ü kadar olması noktasında bir öneri getirmiştir. Ancak yapılacak jeoteknik araştırma kapsamının, temel zeminiyle ilgili değişkenlere göre daraltılıp, genişletilebileceği de ifade edilmektedir (Littlejohn vd., 1994; Whyte, 1995).

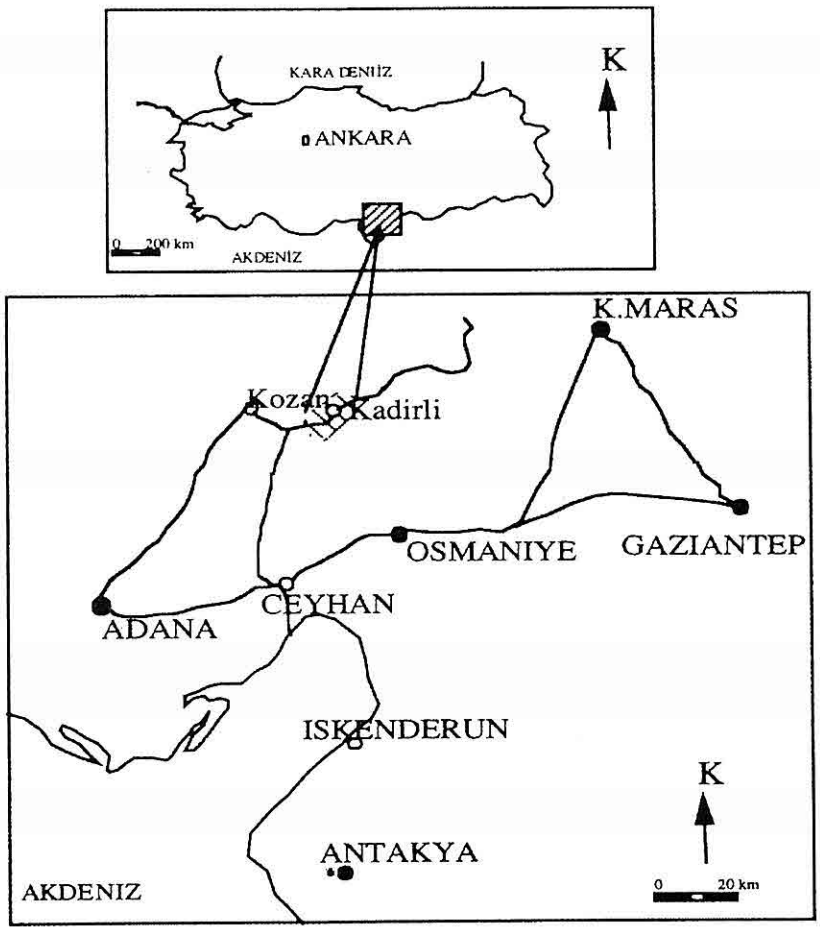
Zeminlerden örnek alma işleri birçok aşamadan meydana gelmektedir. Bu işlemler sayesinde zeminlerin tanınması daha basit olmakta ve zemin etüt çalışmalarında kolaylık sağlamaktadır (Kılıç ve Yapıcı, 2005).

Zemin özelliklerinin belirlenebilmesi için, zeminlerin; fiziksel, plastisite, dane (granülometri) dağılım özellikleri ile geçirimliliği, konsolidasyonu, oturması ve kayma direnci gibi özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir (Kılıç ve Yapıcı, 2005).

Çalışmaların gerçekleştirildiği bölge, Gaziantep-N36-a4 paftasında, Osmaniye İli, Kadirli İlçesi sınırları içersinde bulunmaktadır. Kadirli İlçesi, Doğu Akdeniz Bölgesinde olup Çukurova'nın kuzeydoğusunda yer alır. İlçenin doğusunda Andırın ve Düziçi, güneyinde

Ceyhan ve Osmaniye, batısında Kozan, kuzeyinde Feke ve Saimbeyli bulunmaktadır. İlçenin doğal sınırları ise, doğuda Ceyhan ve Keşiş, güneyinde Ceyhan Irmağı, batıda Sumbas Çayı, kuzeyde Akçadağ ve Toklu Dağı ile çevrilidir (Şekil 1). Kadirli' nin yüzölçümü 1497 km^2'dir. İlçe merkezinin deniz seviyesinden yüksekliği ise 95 metredir.

uygunluğunun belirlenebilmesi için, Kadirli Belediyesi tarafından bu bölgeyle ilgili olarak bir zemin etüt şirketince yaptırılan, zemin etüt çalışmaları sonuçlarına yer verilmiştir. Bu kapsamda gözlemsel olarak, saha jeolojisi çalışmaları, temel araştırma sondajları, yeraltı suyu seviye ölçümü, zemine ait mukavemet ve konsolidasyon özellikleri



Şekil 1. İnceleme alanı yer bulduru haritası.

Zeminin jeolojik ve jeoteknik açıdan değerlendirebilmesi ve yerleşime

ve alınan örneklerin laboratuar deneyleri gerçekleştirilmiştir. Arazi araştırmaları ve

laboratuar deneyleri sonucunda, yerleşime uygun alanlar belirlenmiştir.

2. ÇALIŞMA ALANININ JEOLOJİSİ

İnceleme bölgesi ve yakın çevresi, Miyosen-Pliyosen yaşlı Kadirli Formasyonu içerisinde yer almaktadır. Bu formasyon tüm yerleşim alanı içerisinde gözlenilmiş ve yer yer kaliçilerle geçişli dokanak sunmuştur.

Kadirli Formasyonu adını ilk kez Schmidt (1961) kullanmıştır. Ancak Kadirli yöresinde yüzeyleyen gölsel oluşuk ile Osmaniye-Haruniye yöresinde yüzeyleyen daha genç karasal oluşukları birlikte düşünmüştür. Formasyon başlıca az tutturulmuş konglomera, kumtaşı, killi kireçtaşı, kil taşı ve marnlardan oluşmaktadır. Bu seviyeler ardalanmalı olarak yataya yakın konumda bulunmaktadırlar. Konglomeralar, çevrede bulunan daha yaşlı formasyonların (Mesozoyik yaşlı kireçtaşı ve ofiyolit) bazen iyi yuvarlaklaşmış bazen de köşeli çakıllarını içermektedir. Kiltaşları gri renkli, yer yer bol gastropod kavkılı, kumtaşları, kalın katmanlı, ince taneli ve gevşek çimentoludur. Rengi açık sarımsı gridir ve çok kırılgandır. Marnlar ise yer yer kömürleşmiş bitki kalıntılarını içermektedir. Saha gözlemleri ve sondajlı etütlerde üst seviyelerin atmosferik koşullar nedeni ile ayrıştığı ve çakıllı-kumlu-killi-marnlı rezidüel toprak tabakasına ve kalınlıkları yer yer 6.5 m'ye yaklaşan kaliçi oluşumlarına dönüştüğü görülmüştür. Bölgede en genç birimleri ise alüvyon çökeller oluşturmaktadır (Şekil 2 ve 3).

Kadirli formasyonun içerisindeki ostracodların incelenmesi sonucunda bazı araştırmacılar tarafından;

Cyprideis cf. *Torosa* (JONES), *Cyprideis* cf. *maksima* n.s.p., *Candona* sp., *Zonocypris* sp., *Melanopsis* (Lyrcaea) cf. *Narzolina Bonelli* bulunmuş ve yaş olarak Pliyosen verilmiştir (Pampal 1985).

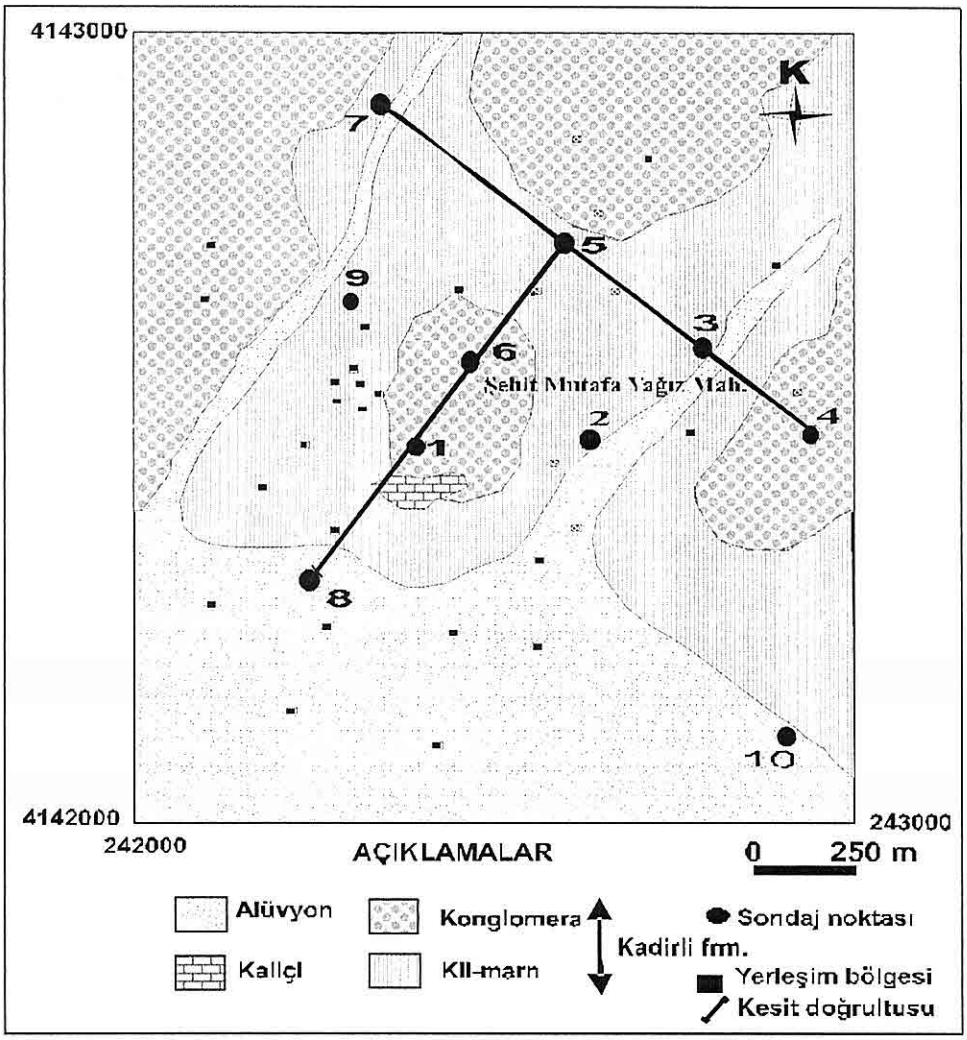
Kadirli formasyonunun yatay ve yataya yakın katmansı özelliği, bölgede meydana gelen ana hareketler sonrası çökeldiğini göstermektedir. Denizden çok uzakta olmayan gölsel bir ortam çökeli olarak söylenilebilinir.

2.1. Bölgenin Tektonik Yapısı

Osmaniye ili, doğuda Doğu Anadolu Fay zonu, batı ve kuzeybatıda ise Ecemiş fayı ile çevrelenmiş konumdadır. Türkiye'nin en büyük fay zonlarından birisi olan bu faylar günümüzde halen hareketini sürdüren aktif faylar olarak kabul edilmektedirler.

Bölgede, son oluşan depremlerin sebebi ile daha aktif hale gelmiş, 2 adet ana fay zonu daha bulunmaktadır. Bunlar Karaisalı-Karsantı fay zonu ve Karataş-Osmaniye fay zonudur (Gökçen, 1988).

Bölgede en önemli kırık olan Karataş-Osmaniye fay zonu adı verilen (Şaroğlu ve diğ.,1992), Misis Grubu ile Kızıldere formasyonu arasında izlenen fay oldukça aktif olup, Kadirlinin Karatepe-Aslantaş Milli Park alanının güneydoğusundan geçmektedir. Adana ovasının GD'sunda Karataş-Osmaniye arasında genel doğrultusu KD-GB olan, yaklaşık 120 km uzunluğunda bir zon içinde birbirine paralel bir çok faydan oluşmaktadır.

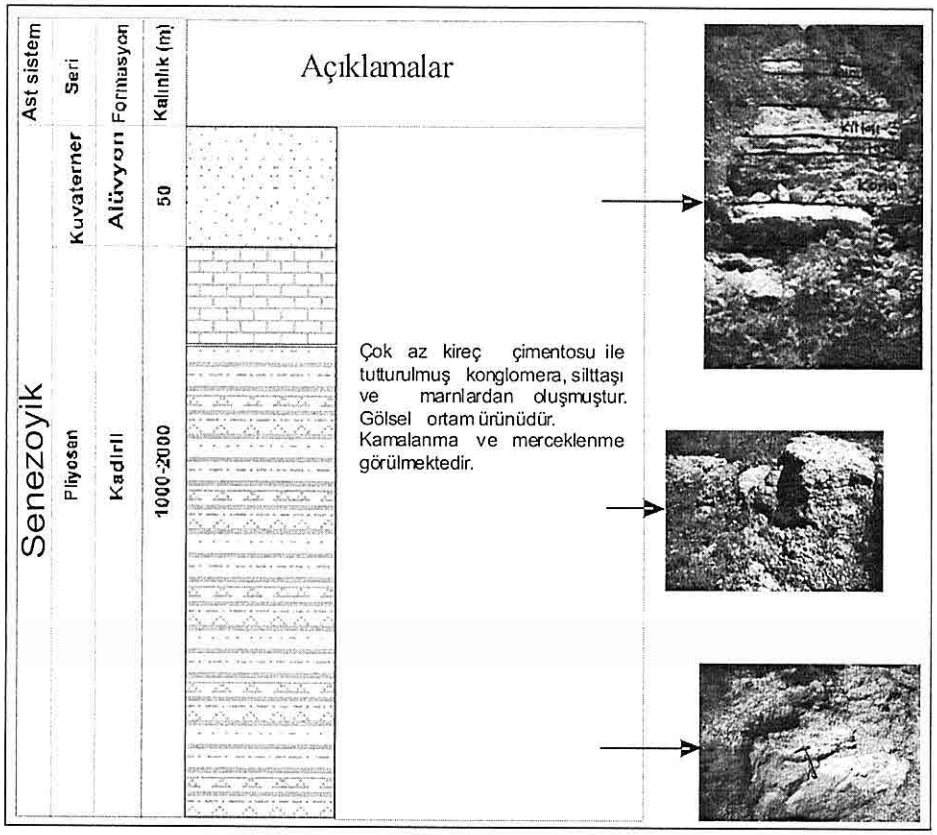


Şekil 2. Çalışma alanı jeoloji haritası ve sondaj noktaları.

Birçoğu kıyıya paralel olan bu faylar belirgin morfolojik görünümleri yanında Kuvaterner yaşlı kaya birimlerini etkilemeleri nedeniyle de önemlidirler (Adalier ve Aydıngün, 1998).

2.2. Yeraltı ve Yüzey Suyu

Gerçekleştirilen sondajlarla, yeraltı su seviyesinin 2.3-15.5 metre arasında değiştiği belirlenmiştir. Yüzeyde toprak örtüsü ve kaliçi olan birim, özellikle yağışlı mevsimlerde asılı su tablası oluşturmaktadır. Bölgede devamlı akar halde su bulunmamakta, fakat mevsimsel etkilere bağlı dereler oluşmaktadır. Doğu Akdeniz iklimine sahip olan bölge, yaz



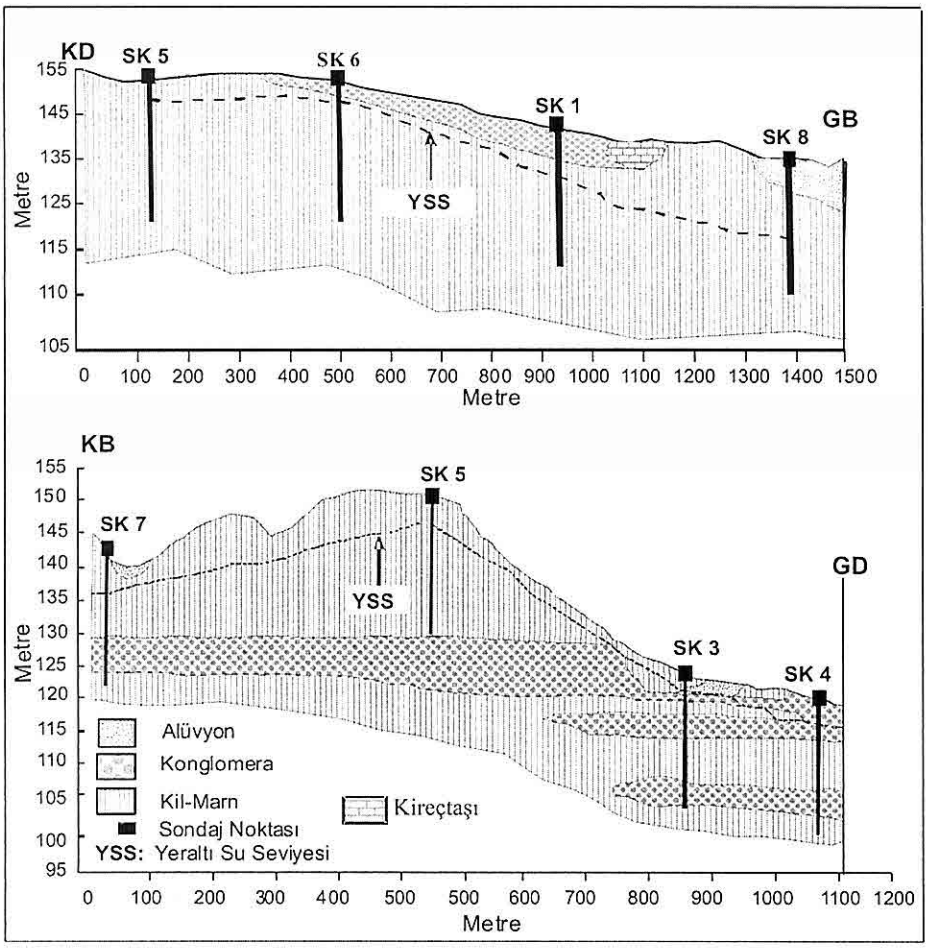
Şekil 3. Çalışma alanına ait düşey stratigrafik kesit.

ayları hariç oldukça yağış almaktadır. Yağış durumu 24.1 mm (Ağustos) ile 113.4 mm (Aralık) arasında değişmekte olup, yağış ortalaması aylık ise 68.98 mm'dir (DMİ, 2002).

3. ARAZİ İNCELEMELERİ

Çalışma kapsamında Osmaniye İli'ne bağlı Kadirli İlçesi'nde yeni yerleşime açılması düşünülen saha için, saha jeolojisi ve zemin etüt çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Zemin ve kaya birimlerine ait özellikleri belirlemek için, derinlikleri 20 metre olan 10 noktada toplam 200 metre derinliğe sahip sondaj yapılarak, zemin numuneleri alınmıştır (TS 1901). Sondaj çalışmaları Crealius XC 90H/Rotary tipi sondaj makinesi ile gerçekleştirilmiş olup sondaj noktalarına ait kesitler Şekil 4'de verilmektedir.

Zemin özelliği taşıyan birimlerinin sertlik ve sıkılığını kontrol etmek amacı ile, sondaj kuyuları içinde her 1.5 metre derinlikte bir standart penetrasyon testi (SPT) yapılmıştır. Sondajlarda toplam 20 adet örselenmiş numune ile ince taneli zeminlerde hidrolik baskı kullanarak 6 adet örselenmemiş numune alınmıştır.



Şekil 4. Yapılan sondaj kuyularına ait yatay stratigrafik kesitler ve bölgenin yer altı su seviyesi (SS) durumu.

Alınan bu numunelerden faydalanılarak zeminlere ait özellikler belirlenmiştir. Kaya birimi özelliği taşıyan formasyonlardan da karot örnekleri alınarak, bu birimlere ait toplam karot yüzdesi ve kaya kalitesi (RQD) değerleri belirlenmiştir.

Arazi deneyleri sonucunda belirlenen çalışma alanına ait standart penetrasyon (SPT) (N) darbe sayısı (değeri), ortalama karot uzunluğu ve kaya kalite indeksi (RQD) değerleri Çizelge 1'de verilmiştir.

SPT testleri, zemin özelliği taşıyan kaliçi, Kadirli formasyonu (kil-silt) ve Konglomera birimlerinde belirlenmiş olup, ortalama değerler 59-60 arasında tespit edilmiştir. Bu değerler de zemininin sert ve sıkı bir yapıya sahip olduğu göstermektedir (Çizelge 1). Kaya kalitesini belirlemede kullanılan (RQD)

değerleri ise kaya birimi özelliği taşıyan kumtaşı-kiltaşı (Kadirli formasyonu) biriminde belirlenmiş olup bulunan bu değer bu birimin kaya kalitesi olarak, "orta kalitede" olduğunu (%46) göstermektedir (Deere, 1964) (Çizelge 1).

Çizelge 1. Arazi deneyleri sonuçları.

Jeolojik Birimler		Deney	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standard Sapma (SD)
Kaliçi		*SPT-N	23.00	87.00	60.00	25.29
*K.For	Kil-Silt	*SPT-N	16.00	89.00	53.60	33.38
	Kumtaşı -Kiltaşı	RQD	25.00	65.00	46.00	17.81
Konglomera		*SPT-N	40.00	80.00	59.00	15.16

*K.For.: Kadirli Formasyonu
*SPT-N: N Darbe Sayısı (Değeri)

4. LABORATUAR ÇALIŞMALARI

Sondaj çalışmaları sırasında zemin tabakalarından alınan 20 adet örselenmiş ve 6 adet örselenmemiş örnek üzerinde, zeminin mühendislik parametrelerinin belirlenmesi amacıyla (ASTM, 1994 ve TSE 1900) standartlara uygun olarak zemin mekaniği deneyleri yapılmıştır.

Zemin mekaniği deneyleri sonucunda yerleşime açılması düşünülen sahaya ait doğal su içeriği, Atterberg Limitleri, tabii birim hacim ağırlığı değerleri belirlenmiş, elek ve hidrometre analizleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda zemin ve kayaçlara ait mukavemet ve konsolidasyon özellikleri belirlenirken, bunların yanı sıra kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri belirlenmiştir.

4.1. Doğal Su İçeriği ve Atterberg (Kıvam) Limitleri

Çalışma alanında yer alan zemin birimlerinin doğal su içerikleri ve Atterberg (Kıvam) limitleri, örselenmiş ve örselenmemiş numunelerden faydalanılarak tespit edilmiştir. Buna göre; kaliçi birimlerinin doğal su içerikleri; w_n=%17.70-31.40 aralığında değişim gösterirken, Kadirli formasyonunun killi-siltli birimlerinde ise bu değişimin wn=%18.80-29.60 arasında olduğu görülmüştür (Çizelge 2).

Atterberg limitleri değerleri ise maksimum ve minimum olarak, likit limit (LL) %30.80-50.80, plastik limit (PL) %15.60-20.20 ve plastisite indisi (PI) %16-34.80 arasında değişiklik göstermiştir (Çizelge 2).

Deneye tabii tutulan birimlerde (kaliçi ve kil-silt) likit limit (LL) değerinin, doğal su içeriğinden, doğal su içeriğinin de, plastik limitten daha büyük değerlere sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca bu birimlerde likitlik indeksi (LI) ve kıvam

indeksi (CI) değerlerinin 0<LI, CI<1 şeklinde çıkması, bu zeminlerin plastik bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir (Çizelge 2). Aktivite katsayı değerleri ise, kaliçi birimlerinde, 2.0, kil-silt birimlerinde ise 0.65 olarak tespit edilmiştir.

maksimum ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 3'de, ortalama değerlere göre çizilen granülometri eğrileri ise Şekil 5'de verilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre her bir birimin farklı farklı tane yapılarından oluştukları görülmüştür.

Çizelge 2. Atterberg (kıvam) limitleri.

Jeolojik Birim		Kıvam limitleri (%)	*Min. (%) Değerler	*Maks. (%) Sapma	Ortalama	Standard
		(SD)				
Kaliçi		Su içeriği (wn)	17.70	31.40	24.55	6.60
		Likit limit (LL)	39.90	50.80	45.88	5.15
		Plastik limit (PL)	15.60	16.00	15.80	0.15
		Plastisite indeksi (PI)	25.30	34.80	30.08	3.72
		Likidite indeksi (LI)	0.08	0.44	0.22	0.14
		Kıvam indeksi (CI)	0.55	0.88	0.70	0.12
Kadirli Form.	Kil-Silt	Su içeriği (wn)	18.80	29.60	24.48	3.11
		Likit limit (LL)	30.80	42.40	36.60	4.82
		Plastik limit (PL)	14.80	20.20	17.08	2.30
		Plastisite indeksi (PI)	16.00	22.20	19.52	2.82
		Likidite indeksi (LI)	0.25	0.42	0.37	6.89×10^{-2}
		Kıvam indeksi (CI)	0.55	0.75	0.62	8.00×10^{-2}

*Min.: Minimum; *Maks.: Maksimum

4.2. Granülometrik Özellikleri

Kaliçi, Kadirli formasyonu (kil-silt) ve konglomera birimlerinden alınan zemin örnekleri, laboratuarda deneyler için hazırlanarak 4, 10, 40 ve 200 no lu eleklerden geçirilmiştir. 200 no lu eleğin altında kalan silt ve kil, hidrometre analizine tabii tutulmuştur. Granülometri analizi sonucunda elde edilen minimum,

4.3. İndeks ve Mekanik Özellikleri

Laboratuar deneyleri sonucunda, zemin ve kayaçlara ait indeks ve mekanik özellikler belirlenmiştir. Bu deneylerde, özgül ağırlık (G_s), 2.25-2.40, doğal birim hacim ağırlığı (γ) 1.90-2.05 g/cm^3, boşluk oranı (e) %42.7-%68.3, porozite (n) %29.9-%40, serbest basınç mukavemeti (q_u) 1.28-13.53 kg/cm^2, şişme basıncı

Çizelge 3. Tane boyu dağılımı sonuçları

Jeolojik Birimler	Tane Boyu	Minimum (%)	Maksimum (%)	Ortalama Değerler (%)	Standart Sapma (SD)
Kaliçi	Çakıl	16.20	49.50	32.84	12.06
	Kum	35.20	55.00	45.14	7.20
	Silt	15.30	28.30	21.80	4.64
	Kil	10.30	20.30	15.31	3.62
Kadirli Form. Kil-Silt	Çakıl	1.60	5.10	3.34	1.24
	Kum	19.70	25.80	22.80	2.24
	Silt	42.50	48.50	45.52	2.23
	Kil	28.30	32.40	30.35	1.62
Konglomera	Çakıl	38.30	56.70	47.51	7.97
	Kum	28.20	35.40	31.86	3.09
	Silt	5.75	8.10	6.92	0.92
	Kil	3.85	6.50	5.18	1.30

(P_s) 0.065-0.278, konsolidasyon (P_c) 1.49-2.17 kg/cm^2 olarak bulunmuştur (Çizelge 4).

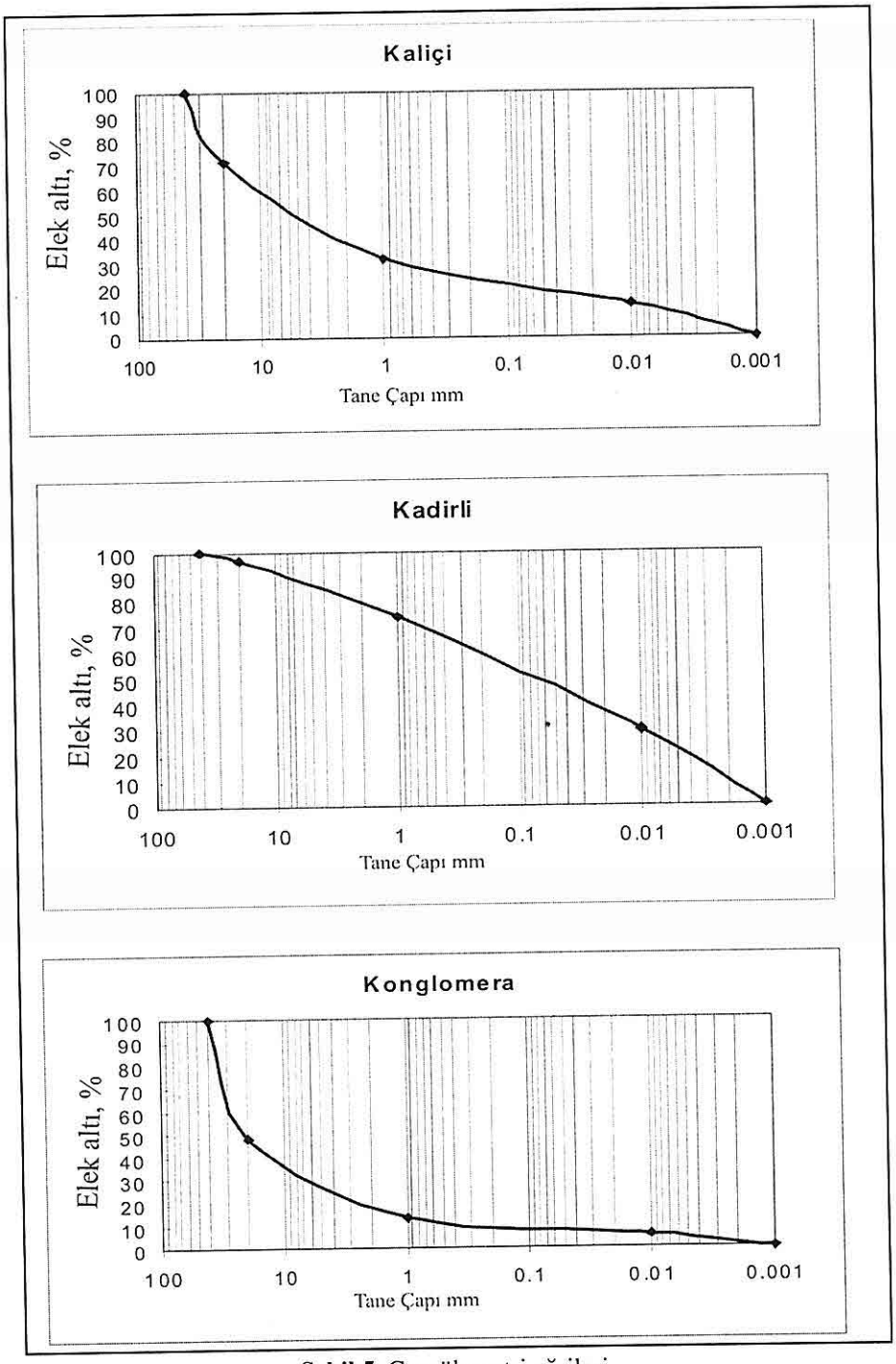
Serbest basınç direnci (q_u) deney sonuçları, kaliçi birimlerinin sert, kil-silt birimlerinin orta sert ve kumtaşı-kiltaşı birimlerinin ise çok sert kıvamda olduğu göstermiştir. 3-3.15 metre derinliğindeki kaliçi biriminden alınan numune üzerinde yapılan standart konsolidasyon deneyi sonucunda sıkışma katsayısı (C_c) 0.322 olarak bulunurken, 3-3.15 derinlikten alınan silt-kil biriminde bu değer 0.239 bulunmuştur. Son olarak 6-6.25 metre derinliğinde kumtaşı-kiltaşı biriminde ise bu değer 0.232 olarak tespit edilmiştir. Bunların yanı sıra üç eksenli basma deneyi ile birimlere ait kohezyon 10-44 kg/cm^2 ve içsel sürtünme açıları ise 6°-34° arasında bulunmuştur (Çizelge 4).

5. YERLEŞİME UYGUNLUK AÇISINDAN DEĞERLENDİRME

İnceleme alanında arazi gözlemleri, jeolojik-jeoteknik etüt, yeraltı suyu, topoğrafik eğim durumu, zemin taşıma gücü hesaplamaları ve değerlendirmeler gibi çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda etüt alanının 1/1000 ölçekli yerleşime uygunluk haritası yapılarak yerleşime uygun, yerleşim için önem gerektiren ve yerleşime uygun olmayan alanlar gösterilmiştir (Şekil 6).

5.1. Yerleşime Uygun Alanlar (UA)

Bu alanlar, topoğrafik olarak %0-15 arası eğime sahip, kaliçi, Kadirli formasyonu (kumtaşı-kiltaşı) ve Konglomeraların yüzeylendiği alanlardır. Bu nedenle zemin özellikleri bakımından yerleşime uygun bir özellik taşımakla



Şekil 5. Granülometri eğrileri

Çizelge 4. Zeminlere ait indeks ve mekanik özellikler

İndeks ve Mekanik Özellikler	Kadirli formasyonu		Kaliçi
	Kil-Silt	Kumtaşı-Kiltaşı	
Özgül Ağırlık (G_s)	2.25	2.40	2.35
Doğal Birim Ağırlığı (γ) g/cm^3	1.90	2.05	2.02
Tabii Boşluk Oranı (e) %	42.7	44.9-68.3	44.9-68.3
Porozite (n) %	29.9	31-40.6	31-40.6
Serbest Basınç (q_u) kg/cm^2	1.28	3.81	3.81
Şişme Basıncı (P_s) kg/cm^2	0.063	0.278	0.278
Konsolidasyon (P_c) kg/cm^2	1.49-1.977	1.620	1.620
Sıkışma Katsayısı (C_c)	0.239	0.322	0.322

birlikte, bu alanlar yerleşime uygunluk haritasına UA ile gösterilmiştir (Şekil 6). Ayrıca kaliçlerin suyla temas sonucu eriyebilme özelliği nedeniyle, gerekli çevre drenaj sisteminin yapılması da gerekmektedir.

5.2. Yerleşim İçin Önlem Gerektiren Alanlar (ÖA)

Topoğrafik olarak eğimin %15-30 arası olduğu kaliç ve Kadirli formasyonu (kil-silt) olarak adlandırılan alanlardır. Zemin yapısı bakımında özellikle kil-silt bulunması zemin açısından olumsuzluk oluşturmaktadır. Bu alanlar, yerleşime uygunluk haritasında ÖA ile gösterilmiştir (Şekil 6). Bu alanlardaki topoğrafik eğim nedeniyle yapılaşma esnasında oluşacak şevlerin istinat duvarları ile korunması gerekmektedir. Ayrıca düzenli bir drenaj sisteminin kurulması da zorunludur.

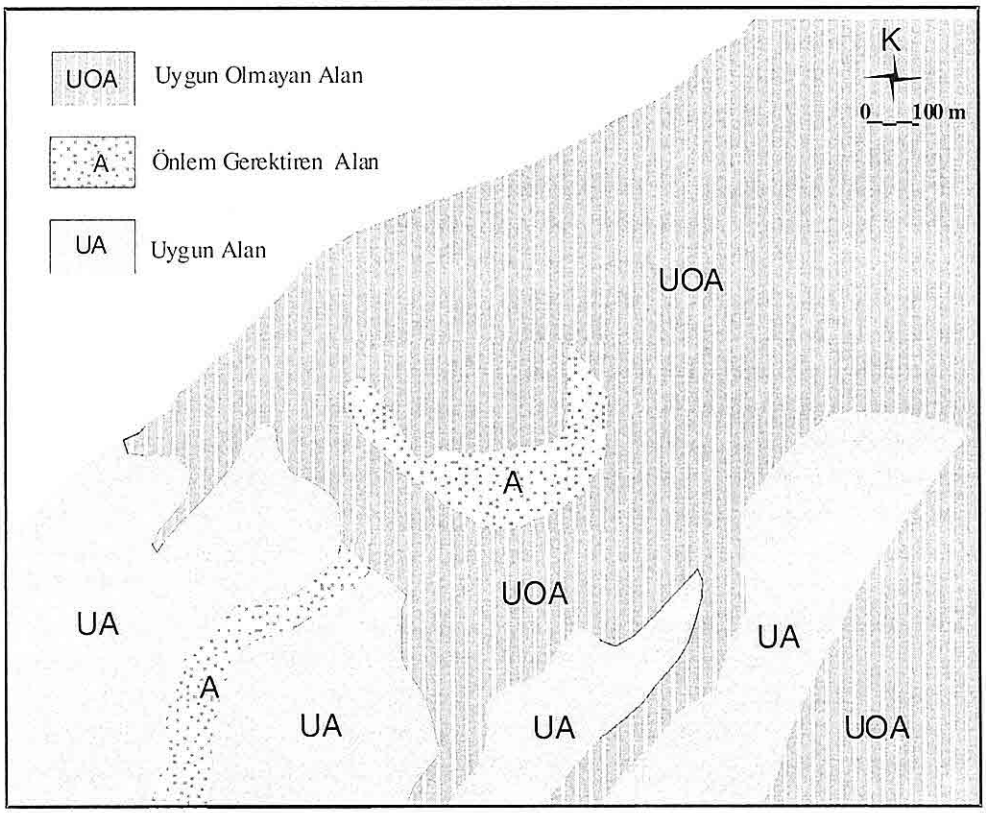
5.3. Yerleşime Uygun Olmayan Alanlar (UOA)

Topoğrafik olarak %30 ve daha yüksek eğime sahip alanlardır. Bu alanlar Kadirli formasyonu olarak adlandırılan silt ve kil olarak adlandırılan alanlardır. Bu nedenle yerleşime uygun bir alan özelliği göstermemektedir. Özellikle eğimin fazla (%30) olması ve bununla birlikte zemin yapısında silt-kil bulunması, özellikle yağışlı dönemlerde kayma riskini arttıran bir etken olacaktır. Bu nedenle bu alanlar yerleşime uygun olmayıp, harita da UOA ile gösterilmektedir (Şekil 6).

6. SONUÇLAR

Çalışma alanında gerçekleştirilen, saha jeoloji çalışmaları, temel araştırma sondajları, yeraltı suyu durumu tespiti, zeminin temel mühendislik parametrelerinin özelliklerinin belirlenmesi ve yerleşime uygunluk açısından değerlendirmeler sonucunda aşağıda belirtilen sonuçlar ortaya çıkmıştır;

* Çalışma alanı, Kaliçi, Kadirli Formasyonu (kil-silt ve kumtaşı-kiltaşı) ve konglomera birimlerinden meydana



Şekil 6. Çalışma alanına ait yerleşime uygunluk haritası

gelmiştir.

* Gerçekleştirilen sondaj çalışmaları neticesinde yer altı su seviyesinin 2.3-15.5 metre arsında değişim gösterdiği belirlenmiştir.

* Kaliçi, kil-silt (Kadirli Formasyonu) ve konglomera birimleri, SPT testlerine göre, sert ve sıkı bir yapı göstermektedir.

* RQD değerine göre kayaç özelliği taşıyan kumtaşı-kiltaşı (Kadirli formasyonu) birimi, kaya kalitesi olarak, orta kalitededir.

* Atterberg (Kıvam) limitleri ortamla değerlerinden, likitlik indeksi, kaliçi için 0.22, kil-silt için 0.37 ve kıvam indisi değerleri aynı birimler için 0.70 ve 0.62 olarak elde edilmiştir. Bu elde edilen değerler (0≤Likitlik İndisi≤1 ve 0≤Kıvam İndisi≤1) 0 ile 1 arasında olduğundan, bu birimler plastik bir yapıdadır.

* Aktivite katsayısı değerleri, kaliçi için 2.0 ve kil-silt birimleri için 0.65 olup, kaliçi birimleri aktif killer, kilt-silt birimleri ise aktif olmayan killer grubuna girmektedir.

* Granülometrik özelliklere göre; iri malzeme oranı (çakıl ve kum) kaliçi birimlerinde, %78, kil-silt birimlerinde

%26.14 ve konglomera birimlerinde ise %79.37 bulunurken, ince malzeme (sil ve kil) oranı ise aynı birimlerde sırasıyla %37.11, %75.87 ve %2.22 olarak bulunmuştur.

* Doğal birim hacim ağırlık değerleri, 1.90-2.05 kg/cm^3, kohezyon, 10-44 kg/cm^2 ve içsel sürtünme açısı değerleri 3-340 arasında değişim göstermektedir. Bu bulgular indeks ve mekanik özellikler açısından incelemesi yapılan zeminin değişken olduğunu göstermektedir.

* Çalışma sonucunda, yerleşme uygunluk açısından değerlendirme yapılmış yerleşime uygun (UA) alanlar, önlem gerektiren alanlar (ÖA) ve son olarak da uygun olmayan alanlar (UOA) belirlenerek haritada gösterilmiştir.

7. KAYNAKLAR

Adalier K. ve Aydingun O., 1998, Structural engineering aspects of the June 27, 1998., Adana Ceyhan (Turkey) earthquake", Engineering Structure, 23, Issue 4, 343-355.

ASTM (American Society for Testing and Material), 1994, Annual Boak of ASTM Standards Construction; Soil and Rock, ASTM Publication, V.04.08, 978 pp.

Arpat, E. ve Şaroğlu, F., 1972, Doğu Anadolu Fayı ile ilgili bazı gözlemler ve düşünceler, MTA Dergisi, 78, 44-50.

Aytekin, M., 2004, Deneysel Zemin Mekaniği, Teknik Yayınevi, K.T.Ü. Mühendislik-Mimarlık Yayınları, Ankara, 624s.

Deere, D.U., 1964, Technical description of rock cores for engineering purposes. Rock Mechanics and Rock Engineering, 1, 7-22.

DMİ, 2002; Devlet Meteoroloji İşleri Müdürlüğü, Kadirli İlçesine Ait Yağış İstatistikleri, Adana.

Gokcen S.I., Kelling G., Floyd P.A. and Gokcen N., 1988, "Sedimentology of a late cenozoic collsional sequence: the Misis complex, Adana, Southern Turkey, Sedimentary Geology, 59: 205-235.

Littlejohn, G.S., Cole, K.W and Mellors, T.W., 1994, Without Site Investigation Ground is A Hazard Proc, Inst. Civil Engrs.Civil Eng. Vol.102, May, 72-78.

Kılıç A.M. ve Yapıcı N., 2005, Kanalizasyon Şebekelerinin Kurulması Aşamasında Yapılması Gereken Jeoteknik Çalışmalar ve Örnek Bir Uygulama, The 19th International Mining Congress and Fair of Turkey , İzmir, 253-264.

Kumbasar V. ve Kip F., 1992, Zemin Mekaniği Problemleri, Çağlayan Kitapevi, İ.T.Ü., İnşaat Fakültesi Yayınları, İstanbul, 615 s.

NCR, 1984, Geotechnical Site Investigation for Underground Projects, US Nationale Research Council, National Committee on Tunneling Technology, V.I. National Academy Pres, Washington.

Pampal S., 1986, Savrun Dağı Batısında Yer alan Taş Köprü (Kadirli)Akçaluşağı-Zincirli kuyu (Kozan) Arasındaki Bölgenin jeolojisi, Gazi Üniversitesi Müh.-Mim. Fak. Dergisi, cilt 1, no: 1, 65-100.

Özaydın K., 1997; Zemin Mekaniği, Birsen Yayınevi, Y.T.Ü., İnşaat Fakültesi Yayınları, İstanbul, 261 s.

Özdoğru K., Tan O. ve Aksoy İ.H.,

1996; Çözümlü Problemlerle Zemin Mekaniği, Birsen Yayınevi, İ.T.Ü., İnşaat Fakültesi Yayınları, İstanbul, 160 s.

Şaroğlu, F., Emre, E., Kuşçu, İ., 1992, The East Anatolian fault zone of Turkey, Annal. Tecn., 6, 99-125.

Terzaghi, K., 1943, Theorical Soil Mechanics, Wiley, New York, USA.

TS 1500, İnşaat Mühendisliğinde Zemin Sınıflandırılması, Ankara.

TS 1900, İnşaat Mühendisliğinde Zemin Deneyleri, Ankara.

TS 1901, İnşaat Mühendisliğinde Sondaj Yolları ile Örselenmiş ve Örselenmemiş Numune Alma Yöntemleri, Ankara.

Uzuner B.A., 2001, Temel Zemin Mühendisliğine Giriş, Derya Yayınevi, Trabzon., 203s.

Wenk T., Corinne L. and Kaspar P., 1998, The Adana-Ceyhan earthquake of June 27, 1998, Report on the reconnaissance mission from July 6-12, of the Swiss Society of Earthquake Engineering and Structural Dynamics (SGEB).

Whyte, I.L., 1995, The Financial Benefit from Site Investigation Strategy, Ground Engineering, Oct., 33-36.

GEOSOUND / YERBİLİMLERİ

YAZIM KURALLARI

Yerbilimleri / Geosound, yerbilimleri dalında teorik veya araştırma sonuçlarını içeren ve özgün sonuçları olan Türkçe, İngilizce, Fransızca ve Almanca makaleleri kabul eder. Dergide ayrıca tanınmış bilim adamlarının güncel yenilikleri içeren tercüme yazılarına da yer verilebilir.

Makalelerin Türkçe olanlarına İngilizce, yabancı dillerde olanlarına da Türkçe özetler konulmalıdır. Makaleler şekil, çizelge veya tablo, fotoğraflı levhalar dahil 8 sayfayı geçemez. Ancak yazarları tarafından ısrar edilen ve kısaltılamıyacak makaleler her yıl sayfa başına tesbit edilen katkı payı miktarı kadar ödeme yapılarak yayınlanabilir. Yazılar A4 ebadındaki kağıtların bir yüzüne çevresine 2.5 cm boşluk bırakılarak yazılmalı, harita, kesit ve levhalar da aynı boyutta hazırlanmalıdır. Yazılar Macintosh bilgisayarda herhangi bir program dilinde hazırlanarak makale ekinde yazı disketi ile verilmelidir. Macintosh imkanı olmayan yazarlar ücret ödeyerek yazılarını yayın sekreterliğine yazdırabilirler.

Makaleler Türkçe başlık; Yazar adı soyadı ve kısa adresi; Özet; İngilizce başlık; Abstract; Giriş; Bölümler ve alt bölümler; Sonuçlar veya Tartışmalar ve sonuçlar; Teşekkür; Kaynaklar şeklinde olmalı, ayrıca Bölümler ve Alt Bölümler 1., 1.1., 2., 2.1., vs. şeklinde numaralanmalıdır.

Kaynaklara metin içerisinde yazar soyadı ve tarih sırasıyla atıfta bulunulmalı, bunlarla ilgili bilgiler ise Kaynaklar başlığında "Soyadı, Adının ilk harfi veya harfleri, Tarih, Makalenin başlığı, Derginin kısaltılmış adı, Cilt No, Başlangıç ve Bitiş sayfası" şeklinde verilmelidir.

Dergide yayınlanmayan yazılar geri gönderilir. Yayınlananlardan yazarlarına 20'şer adet ayrı baskı verilir. Çok yazarlı makalelerde bu sayı yazarlar arasında bölüştürülür. Yayınlanan yazılar için telif hakkı ödenmez.

Şekiller, haritalar, grafikler aydınger üzerine çini mürekkep kullanılarak, koyu bir şekilde çizilmeli, fotoğraf ve levhalar 13x19 cm boyutundaki çerçeve dışına çıkarılmadan hazırlanmalıdır. Yerbilimleri / Geosound ofset metoduyla basıldığı için yazıların mizanpajı yazarlar tarafından yapılmalı, şekiller, tablolar, fotoğraflar metin içine yerleştirilmeli ve alt yazılar tek dilde yazılmalıdır.

Makaleler, biri orjinal olmak üzere 3 nüsha halinde aşağıdaki adrese disketiyle birlikte gönderilmelidir.

Yerbilimleri / Geosound Editörlüğü
Çukurova Maden ve Jeoloji Mühendisleri Derneği
01330 - Balcalı / ADANA / TÜRKİYE
Tel (Fax): (322) 338 67 11
e-mail: manil@cu.edu.tr/ nyapici@cu.edu.tr

INSTRUCTION TO CONTRIBUTORS

Yerbilimleri / Geosound accepts theoretical work or results of a research together with original articles written in Turkish, English, French and German. Translated papers of any article written on the latest developments of a specific subject by known authors can also be accepted.

Turkish articles English, English, French and German articles should have a Turkish summary. Papers to be submitted should not exceed 8 pages including figures, tables, plates and photographs. The ones which are insisted by their authors not to be shortened can be published by charging for each additional page on the amount defined by editorial committee. Papers should be written on one side of A4 sheets leaving a blank space of 2.5 cm at each side of the sheet and maps, plates, cross sections must be prepared in the same form. Any wordprocesser compatible with Macintosh computer system should be used to type the papers and diskets including articles should be attached to the papers. It is possible for the editorial committee to get the articles written with an available Macintosh system but this has to be charged.

The papers should be orginised as follows: Title in Turkish; Author's name and address; Summary; Title in English; Abstract; Introduction; Sections and Sub-sections; Conclusions or Discussions and Conclusions; Acknowledgement; References; Appendices. Sections and Subsections should be enumerated in the form of 1., 1.1., 2., 2.1., etc.

References in the main text should be cited on the basis of Author's name and date. The information related to these should be given in the References section as: "Surname, Initial(s), Date, Title of Article, Abbreviated Name of the Journal, Volume No, First page-Last page".

Articles which are not published in the Journal are returned. 20 copies of the published papers are sent to the authors. In the joint papers this number is divided between the authors. Copy right is not paid for the published papers.

Figures, maps, graphics should be drown by black Indian ink on transparent drawing paper, photographs and plates should be prepared such that they can be placed in the frame of 13x19 cm. Yerbilimleri / Geosound is printed with offset printing method that's why coordination of the articles should be done by their authors; figures, tables and photographs should be orginised in the text and all explanations about these should be written in one language.

Papers should be sent in three copies, one being the original, to the following address together with the disket containing the article.

Yerbilimleri / Geosound Editörlüğü
Çukurova Maden ve Jeoloji Mühendisleri Derneği
01330 - Balcalı / ADANA / TÜRKİYE
Tel (Fax): (322) 338 67 11
e-mail: manil@cu.edu.tr/ nyapici@cu.edu.tr