

# JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ

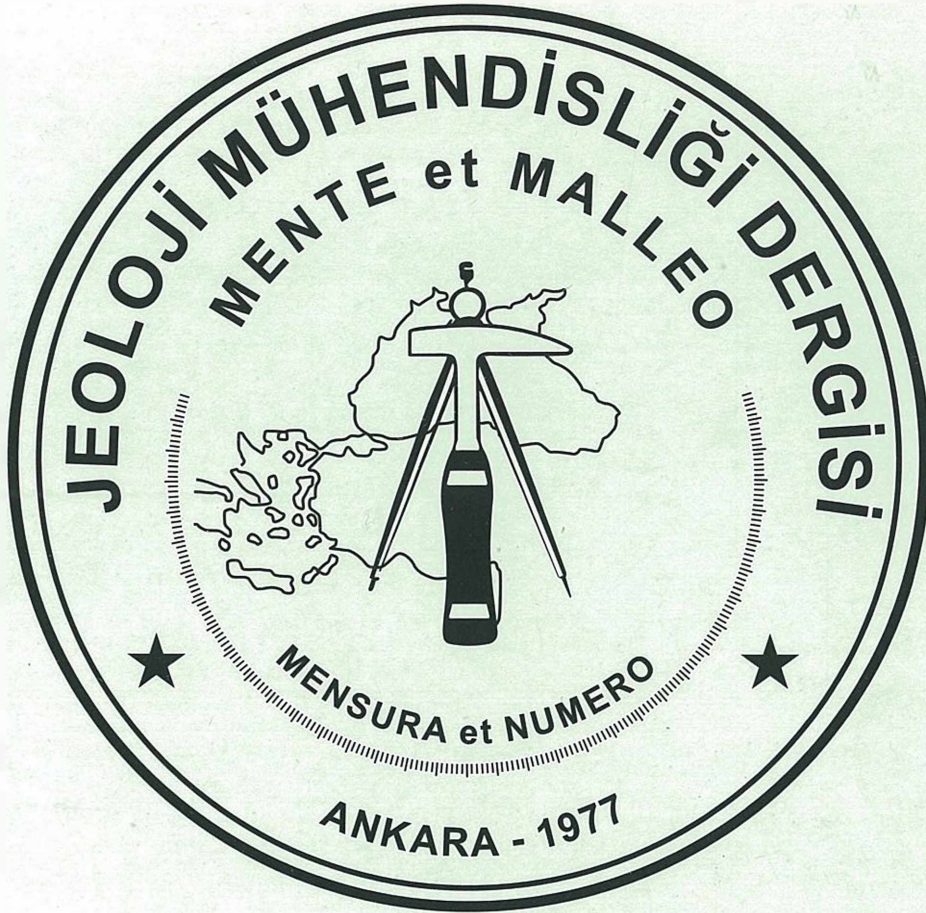
*Journal of Geological Engineering*

Cilt - Volume 35

Sayı - Number 1

ISSN 1016 - 9172

Haziran / June 2011



**TMMOB JEOLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI**  
**Chamber of Geological Engineers of Turkey**

## EDİTÖR

Tamer TOPAL

Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Jeoloji Mühendisliği Bölümü

06800, Ankara

Tel : 0 312 210 26 90

Faks: 0 312 210 57 50

E-Posta: topal@metu.edu.tr

## TEKNİK EDİTÖR

Yavuz KAYA

Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Jeoloji Mühendisliği Bölümü

## Yayın Kurulu / Editorial Board

Erhan ALTUNEL (Osman Gazi Üniversitesi)

Can AYDAY (Anadolu Üniversitesi)

Serdar BAYARI (Hacettepe Üniversitesi)

Zeki ÇAMUR (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)

Hasan ÇETİN (Çukurova Üniversitesi)

Vedat DOYURAN (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)

Mehmet EKMEKÇİ (Hacettepe Üniversitesi)

Nusret EMEKLİ (İller Bankası)

Yavuz ERGİNTAV (Karayolları Genel Müdürlüğü)

Candan GÖKÇEOĞLU (Hacettepe Üniversitesi)

Reyhan Kara GÜLBAY (Karadeniz Teknik Üniversitesi)

Nilgün GÜLEÇ (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)

Fikret KAÇAROĞLU (Cumhuriyet Üniversitesi)

Remzi KARAGÜZEL (İstanbul Teknik Üniversitesi)

Nurkan KARAHANOĞLU (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)

Muazzez Çelik KARAKAYA (Selçuk Üniversitesi)

K. Erçin KASAPOĞLU (Hacettepe Üniversitesi)

Recep KILIÇ (Ankara Üniversitesi)

Mehmet Yalçın KOCA (Dokuz Eylül Üniversitesi)

Ayhan KOÇBAY (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü)

Halil KUMSAR (Pamukkale Üniversitesi)

İlkay KUŞÇU (Muğla Üniversitesi)

Mahmut MUTLUTÜRK (Süleyman Demirel Üniversitesi)

Cengiz SOYLU (Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı)

Mehmet Lütfi SÜZEN (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)

Şakir ŞİMŞEK (Hacettepe Üniversitesi)

Atiye TUĞRUL (İstanbul Üniversitesi)

Necdet TÜRK (Dokuz Eylül Üniversitesi)

Asuman TÜRKMEÑOĞLU (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)

Taner ÜNLÜ (Ankara Üniversitesi)

Namık YALÇIN (İstanbul Üniversitesi)

Ali Bahadır YAVUZ (Dokuz Eylül Üniversitesi)

Hasan YAZICIGİL (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)

Işık YILMAZ (Cumhuriyet Üniversitesi)

Erdoğan YÜZER (İstanbul Teknik Üniversitesi)

## Yazışma Adresi

**TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası**

PK 464 Yenışehir, 06444 Ankara

Tel : 0312 434 36 01

Fax : 0312 434 23 88

E-Posta : jmo@jmo.org.tr

**Baskı :** Mattek Matbaacılık Bas.

Yay. Tan. San. Tic. Ltd. Şti.

Adakale Sokak No:32/27

Kızılay/Ankara

Tel: 0312 433 23 10

Jeoloji Mühendisliği Dergisi Makale ve Dizin Özleri

SCOPUS, ULAKBİM, GeoREF ve Geobase/Geo Abstracts

Uluslararası İndeksler tarafından taranmaktadır.

*Journal of Geological Engineering is indexed and abstracted by  
SCOPUS, ULAKBİM, GeoREF and Geobase/Geo Abstracts.*

## Jeoloji Mühendisleri Odası Chamber of Geological Engineers Yönetim Kurulu / Executive Board

Dünder ÇAĞLAN

Hüseyin ALAN

Çetin KURTOĞLU

Hakkı ATIL

Aliye YILMAZ GÜLER

Özcan DUMANLILAR

Necdet ARDA

Başkan / President

İkinci Başkan / Vice President

Yazman / Secretary

Sayman / Treasurer

Mesleki Uygulamalar Üyesi / Member of Professional Activities

Yayın Üyesi / Member of Publication

Sosyal İlişkiler Üyesi / Member of Social Affairs

*Jeoloji Mühendisliği Dergisi JMO yayını olup para ile satılmaz.*

# Jeoloji Mühendisliği Dergisi / Journal of Geological Engineering

Cilt - Volume 35

Sayı - Number 1

Haziran / June 2011

## İçindekiler / Contents

### Araştırma Makaleleri / Research Articles

- 1- **Belgin Çelik GÜNEŞ, Galip YÜCE**  
**Tane Boyu Analizlerine Dayalı Olarak Hesaplanan Geçirgenlik Katsayılarının Karşılaştırılması: Meşelik ve Tepebaşı (Eskişehir) Örnekleri**  
*Comparison of Permeability Coefficients Calculated on the Basis of Grain Size Analyses: Meşelik and Tepebaşı Examples*
- 27- **Nihat DİPOVA**  
**Zeminlerin Likit Limitinin Tek Nokta Koni Batma Yöntemiyle Belirlenmesi**  
*Determination of Liquid Limit of Soils Using One Point Fall Cone Method*
- 43- **Orhan KAVAK, Selami TOPRAK**  
**Gölbaşı Harmanlı (Adıyaman) Kömürlerinin Organik Jeokimyasal ve Petrografik Özellikleri**  
*Organic Geochemical and Petrographic Properties of Gölbaşı Harmanlı (Adıyaman) Coals*
- 79- **Ayberk KAYA, Selçuk ALEMDAĞ, Ali Osman YILMAZ, Mehmet ÇAPIK**  
**Doğal Taş Ocaklarında Blok Hacminin Belirlenmesi için RQD ve J,'nin Kullanılabilirliği**  
*Usability of RQD and J, for Prediction of Block Volume in Natural Stone Quarries*

## Tane Boyu Analizlerine Dayalı Olarak Hesaplanan Geçirgenlik Katsayılarının Karşılaştırılması: Meşelik ve Tepebaşı (Eskişehir) Örnekleri

*Comparison of Permeability Coefficients Calculated on the Basis of Grain Size Analyses: Meşelik and Tepebaşı Examples*

**Belgin Çelik GÜNEŞ, Galip YÜCE**

*Osmangazi Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Meşelik, ESKİŞEHİR*

### ÖZ

Bu çalışma, Eskişehir'deki yerleşim alanlarından Meşelik ve Tepebaşı bölgelerindeki zeminlere ait tane boyu analizlerine dayalı olarak farklı yaklaşımlarla hesaplanan geçirgenlik katsayılarının karşılaştırılması amacıyla yapılmıştır. Çalışmada 6 km<sup>2</sup>'lik alanda daha önceden açılmış olan 29 adet temel sondaj kuyusunda kesilen alüvyon içerisinde bulunan birimlere ait özellikler jeolojik raporlardaki sondaj logları yardımıyla incelenmiştir. Yapılan elek analizi deneylerine dayalı olarak granülometri eğrileri çizilmiştir. Grafiklerden D<sub>60</sub>, D<sub>50</sub>, D<sub>30</sub>, D<sub>20</sub>, D<sub>10</sub>, I<sub>0</sub>, U, C<sub>c</sub> değerleri hesaplanmıştır. Gözeneklilik değerleri dane özgül ağırlığı (Gs), birim yoğunluk ve su içeriği (w) değerlerinden hesaplanmıştır. Su içeriği değeri bulunmayan birimlere ait gözeneklilik değerleri için literatürden elde edilen değer aralıkları dikkate alınmış ve geçirgenlik katsayısı hesaplamaları yapılmıştır. Gözeneklilik değerlerine bağlı veya bu değerlerden bağımsız olarak, Hazen, Kozeny-Carman, Breyer, Slichter, Terzaghi, United States Bureau of Reclamation (USBR) ve Alyamani-Sen yaklaşımları ile her bir kuyuda, farklı derinliklerden alınan sediman örneklerine ait metraj aralıkları için ayrı ayrı geçirgenlik katsayıları hesaplanmış, hangi yaklaşımın hangi derinlikteki hangi birimler için uygun olduğu belirlenmiştir. Geçirgenlik katsayısının tane boyuna ve gözeneklilik farklılıklarına göre değişimi incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda, hesaplanan geçirgenlik katsayılarının, uniform olan birimlerde genellikle birbirine yakın, uniform olmayan birimlerde ise birbirinden farklı değerlerde olduğu belirlenmiştir. Yukarıda belirtilen yaklaşımların, kil cinsi malzeme için yapılan geçirgenlik katsayısı hesaplamalarında doğru sonuçlar vermediği görülmüştür. Sonuç olarak, geçirgenlik katsayısı hesaplamalarında uniform olmayan birimler için Breyer, Slichter, Terzaghi ve Alyamani-Sen yaklaşımların kullanılması, uniform olan birimler için ise Hazen, Kozeny-Carman ve USBR yaklaşımların kullanılması daha uygundur.

**Anahtar Kelimeler:** Elek analizi, Eskişehir, Geçirgenlik katsayısı, Gözeneklilik, Granülometri eğrisi.

### ABSTRACT

*This study aims to compare the permeability coefficients calculated based on the particle size analyses peculiar to the soil samples of some districts at Meşelik and Tepebaşı residential areas in Eskişehir. The study area covers 6 km<sup>2</sup>. In this study, the properties of units in alluvial deposit cut by 29 boreholes previously drilled in the area were examined from borehole logs contained in the geological*

reports. On the basis of the sieve analyses, particle size distribution curves were drawn. The parameters of  $D_{60}$ ,  $D_{50}$ ,  $D_{30}$ ,  $D_{20}$ ,  $D_{10}$ ,  $I_0$ ,  $U$ ,  $C_c$  values were calculated by using these graphs. Porosity values were calculated by using  $G_s$ , specific density and water content. Permeability coefficients were also calculated for the units having no water content values considering the intervals accepted by the literature. Dependently or independently on porosity values, permeability coefficients were individually calculated by using the Hazen, Kozeny-Carman, Breyer, Slichter, Terzaghi, USBR and Alyamani-Sen formulas, for each core samples from different depths of the boreholes and then the most appropriate formula for different depths and units was determined. Variations of permeability coefficient for different grain sizes and porosities were studied. Based on the outcomes of this study, calculated permeability coefficients are almost similar for uniform soil units, however, different for non-uniform units. It is inferred that using above-mentioned approaches for estimation of permeability coefficient for clay material is not suitable. As a conclusion, estimation of permeability coefficient using Breyer, Slichter, Terzaghi and Alyamani-Sen approaches are more suitable for non-uniform units while Hazen, Kozeny-Carman ve USBR are applicable for uniform units.

**Key Words:** Sieve analysis, Eskişehir, Permeability coefficient, Porosity, Grain size curve.

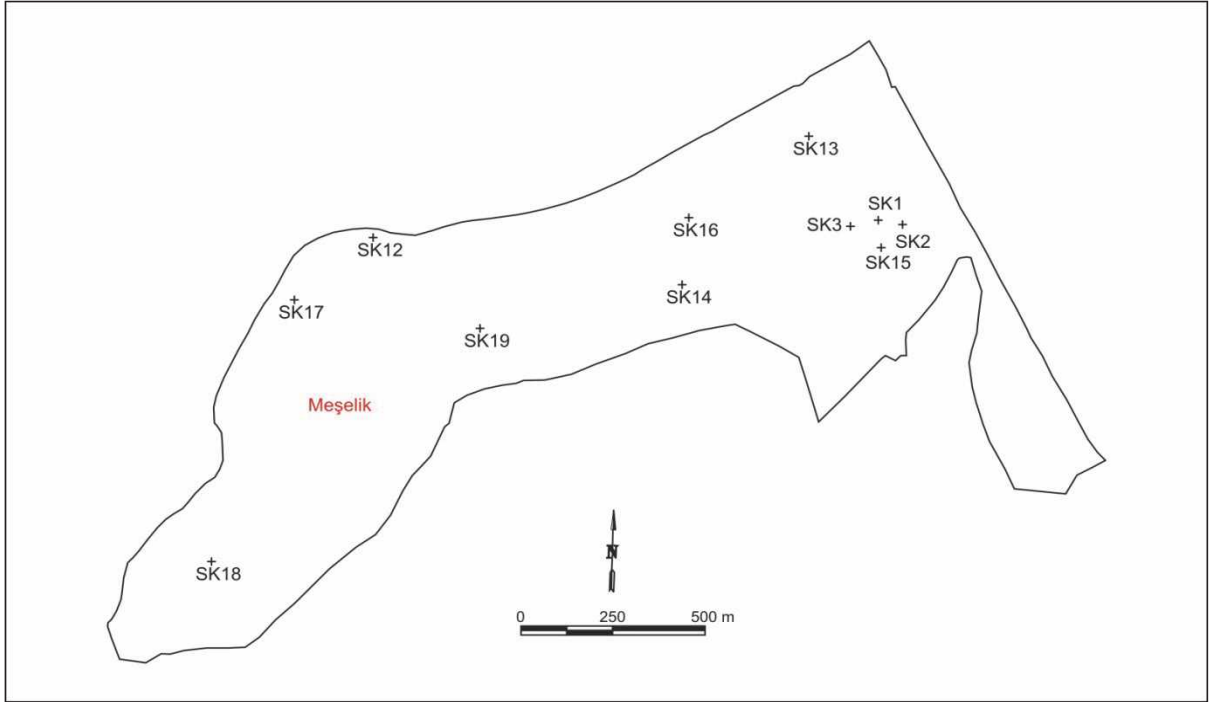
## GİRİŞ

Çalışma kapsamında Eskişehir’de Tepebaşı ve Meşelik bölgesi dahilindeki Büyükdere Mahallesi, Bağlar Mahallesi ve Güllük Mahallesi’nde açılan 29 adet temel sondaj kuyusundan (Şekil 1) alınan örneklerde yapılan elek analizi verilerine bağlı olarak, her elekten geçen % miktarına göre çizilen granülometri eğrilerinden, geçirgenlik katsayısı hesaplamaları yapılmıştır. Bu granülometri eğrilerinden,  $D_{60}$ ,  $D_{50}$ ,  $D_{30}$ ,  $D_{20}$ ,  $D_{10}$  değerleri okunup, okunan değerler ile uniformluk katsayısı  $U = D_{60}/D_{10}$  ve eğrilik katsayısı  $C_c = D_{30}^2/D_{60} * D_{10}$  değerleri bulunmuştur. Uniformluk katsayısı büyüdükçe, tane boyu dağılımı iyiye doğru gitmektedir. İyi derecelenmiş (yani her tane boyundan malzemenin yer aldığı-homojen) bir zeminde, ince taneler (silt ve kil) zemindeki boşlukları (gözenekleri) dolduracağından, geçirgenlik katsayısı değerlerinde azalma olacaktır.

İnceleme alanındaki en önemli akarsu, Eskişehir şehir merkezini batıdan doğuya doğru, boydan boya kat ederek geçen Porsuk Çayı’dır. Porsuk Çayı yan kollarıyla birlikte Eskişehir’in

güneybatısından gelir ve doğuya doğru devam eder. Sarısu Çayı ise İnönü’yü batı-doğu doğrultusunda kat ettikten sonra Eskişehir il merkezinin kuzeybatısında Porsuk Çayı ile birleşmektedir. İnceleme alanı genel olarak düz bir topoğrafya sunmaktadır.

İnceleme alanı sınırları içerisinde, konu ile ilgili yapılan önceki çalışmalarda, Eskişehir İl Merkezi Güney Bölümü temel zemininin jeomühendislik özellikleri (Orhan, 2005) ve Meşelik killilerinin özellikleri (Tosun vd., 1999) çalışılmıştır. Çalışmanın da konusunu oluşturan tane boyu dağılım özelliklerinden geçirgenlik katsayısı hesaplamalarında önemli iki yaklaşım arasında (Hazen ve Kozeny-Carman) karşılaştırmanın yapıldığı ve sonuçta Kozeny-Carman yaklaşımının daha uygun olduğunun önerildiği çalışmalar bulunduğu gibi (Carrier, 2003), yapay sinir ağları kullanılarak taneli zeminlerin geçirgenliğinin tahminine (Sezer vd., 2009) ve tane dağılım kompozisyonlarından gözenekli malzemelerin hidrolik iletkenliğinin belirlenmesine yönelik (Vukoic ve Soro, 1992) çalışmalar da bulunmaktadır.



Şekil 1a. Büyükdere Mahallesi Meşelik Mevki kuyularının haritada gösterimi.

Figure 1a. Location map of the boreholes in Büyükdere-Meşelik district.

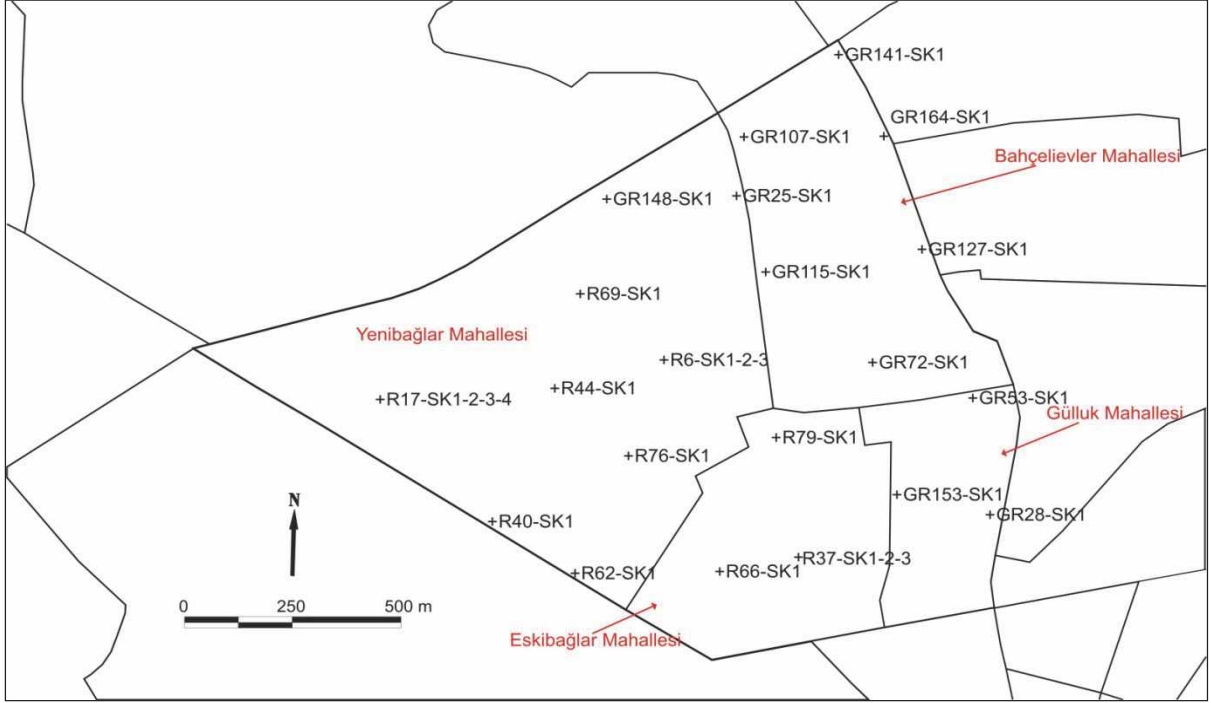
İnceleme alanı, Orta Anadolu Bölgesi'nin kuzeybatı kesiminde I24 ve I25 paftaları içerisinde yer almakta olup, yaklaşık 6 km<sup>2</sup>'lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 2).

Bu çalışmaya benzer bir araştırma da tane boyu dağılım deneyi sonucu elde edilen tane boyu değerlerine dayalı olarak çakıl ve kum boyutundaki malzeme için hidrolik iletkenlik katsayısı değerlerinin hesaplandığı bir çalışma olup, Breyer ve Kozeny-Carman yaklaşımlarının çakıl ve kum türü malzeme için uygun olduğu ileri sürülmüştür (Odong, 2008). Aynı araştırma heterojen malzemeler için Breyer yaklaşımının uygun olduğunu belirtmiştir.

Bu çalışma ile Eskişehir'deki farklı taneli zeminlere ait geçirgenlik katsayılarının hesaplanmasında yedi farklı yaklaşım kullanılmış, tane boyu dağılım grafiklerinden yararlanılarak geçirgenlik katsayısının farklı taneli zeminler için tahmini ve birbiriyle karşılaştırılması yapılmış, mevcut kuyulardaki litoloji ile yaklaşımlardan elde edilen değerlerin uyumluluğu araştırılmıştır. Yapılan çalışmada, her bir örnek için ayrı ayrı belirlenen veya literatürde kabul edilen gözeneklilik değerleri kullanılarak, Hazen, Kozeny-Carman, Breyer, Slichter, Terzaghi, USBR ve Alyamani-Sen formülleri ile geçirgenlik katsayıları hesaplanmış, kuyularda kesilen farklı litolojiler için (kum, silt, kil) hangi hesaplamaların uygun olduğu bulunmuş ve hesaplamalar birbiri ile karşılaştırılmıştır. Çalışma

kapsamında, ünifömlük katsayısı ve eğrilik katsayısı aralıkları (Çizelge 1) ile granülometri eğrilerinde malzeme tane boyu aralıklarını

belirlemek için Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemi (ASTM, 1992) kullanılmıştır (Çizelge 2).



Şekil 1b. Bağlar ve Güllük mahallesi kuyularının haritada gösterimi.

Figure 1b. Location map of the boreholes in Bağlar and Güllük district.

Çizelge 1. Ünifömlük ve eğrilik katsayılarının aralıkları.

Table 1. Uniformity coefficient and coefficient of curvature ranges.

Yüksek ünifömlük	$U < 5$	İyi yuvarlanmış çakıl	$Cc > 4$
Orta ünifömlük	$5 < U < 15$	İyi yuvarlanmış kum	$Cc > 6$
Ünifömlü olmayan	$U > 15$	İyi yuvarlanmış zemin	$Cc: 1-3$

Çizelge 2. Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sisteminde sediment tane boyu ve gözeneklilik aralıkları.

Table 2. Grain size and porosity ranges in Unified Soil Classification System.

Sediment	Tane boyutu	Gözeneklilik (%)
İri çakıl boyu malzeme	>75 mm	
Çakıl boyu malzeme	75mm-4.75 mm	25-40
Kum boyu malzeme	4.75mm-0.075 mm	30-50
Silt boyu malzeme	<0.075 mm	35-50
Kil	<0.002 mm	35-80

## BÖLGENİN JEOLJİK VE HİDROJEOLJİK ÖZELLİKLERİ

### Stratigrafi

İnceleme alanı sınırları içerisinde yaşları Jura öncesi ile Holosen arasında değişen birimler yer almaktadır. En alttaki Jura öncesi oluşmuş metamorfik-ofiyolitik metadetritik tektonik birliğin üzerine Jura-Kretase-Eosen-Miyosen-Pliyosen yaşlı sedimanter ve volkanik kayalar gelmektedir. Bölgedeki en genç birimleri ise Pleyistosen yaşlı, Gözler vd. (1996) tarafından eski alüvyon olarak tanımlanan Akçay formasyonu (gevşek tutturulmuş kil, silt, kum ve çakıl) ile güncel alüvyon (kil, silt, kum ve çakıl) oluşturmaktadır. İnceleme alanının ve çevresinin stratigrafik kesiti Şekil 2’de, jeolojik haritası ise Şekil 3’te verilmiştir.

Eskişehir il ve ilçelerinin bulunduğu bölge, Tetis kuşağı içinde yer almakta olup, Tetis’in kuzey kolunun kapanmasıyla birlikte oluşan bir dizi tektonik olaya bağlı olarak gelişmiştir.

Çalışma alanı içerisinde yukarıda belirtilen birimlerin tamamının görülmemesine rağmen,

bölge hakkında genel bir fikir vermesi açısından bu birimlere değinilmiştir. İnceleme alanı ve yakın çevresinde baskın olarak gözlenen birim alüvyondur. Diğer birimler ise Eskişehir metamorfikleri, Karkın formasyonu, Ofiyolitler, Mamuca formasyonu, Porsuk formasyonu, Ilıca formasyonu ve Akçay formasyonudur (Gözler vd.,1996).

### Alüvyon

Bölgedeki alüvyon, İnönü Ovası’ndan gelen Sarısu Deresi ile Porsuk Çayı ve yan kollarının getirip ovada biriktirdiği malzemenin oluşmaktadır. Eskişehir Havzası’nda geniş bir alanı kaplayan birim kil, silt, kum ve çakıl seviyelerinden oluşmaktadır. Meşelik mevkiindeki killer yüksek plastisite özelliğinde olup, çoğunlukla kırmızı renkte gözlenmektedir. Bu yüksek plastisiteli kil seviyesi, Tosun vd. (2001) tarafından Meşelik kili olarak adlandırılmıştır. Ovanın diğer kesimlerinde bulunan killer daha çok sarı ve bej renkte gözlenmektedirler. Birimin kalınlığının 10-25 m arasında değiştiği belirtilmektedir (DSİ, 2001 a ve b).

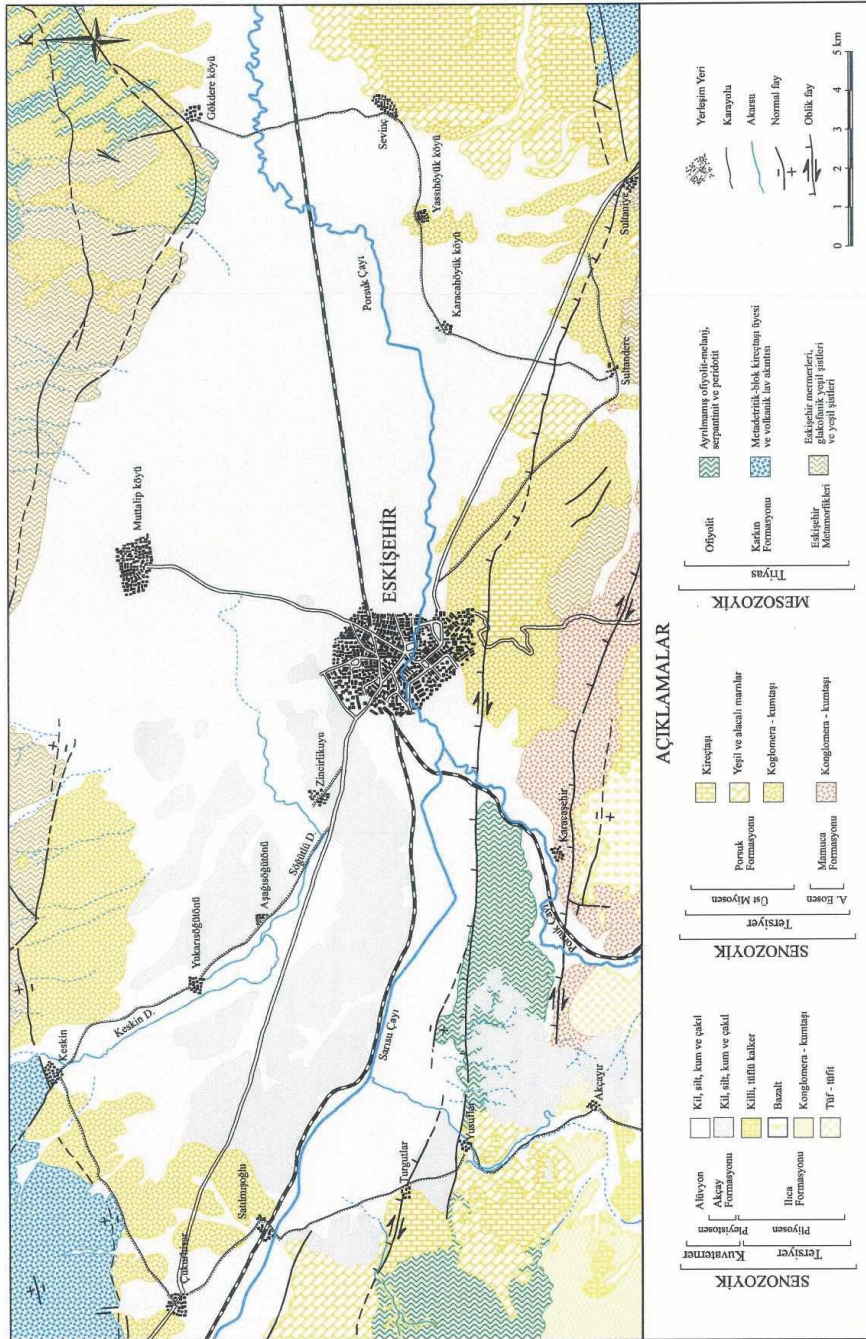


Güneş ve Yüce

Üst Sistem	Sistem/Devir	Seri	Formasyon	Kalınlık	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
SENOZOYİK	Kuvaterner			10-25 m		Alüvyon
		Plevistosen Villafrans	Akçay Formasyonu	10-120 m		Gri, açık gri renkli çapraz tabakalı çakıl, kum, kil ve çamur
	TERSİYER	PLİYOSEN	Ilca Formasyonu	50-400 m		Kireçtaşı Marn - Kil Bazalt - Andezit Tuf - Tuft Aglomera Konglomera - Kumtaşı
		MİYOSEN	Porsuk Formasyonu	50-600 m		Kireçtaşı Jips - Marn - Kil Tuf - Tuft, Bazalt Konglomera - Kumtaşı
		EOSEN	Mamuca Formasyonu	20-400 m		Kireçtaşı Kil - Marn Konglomera - Kumtaşı
MESOZOYİK	TRİYAS	ORTA - ÜST TRİYAS	TEKTONİK BİRİMLER		Ofiyolit	

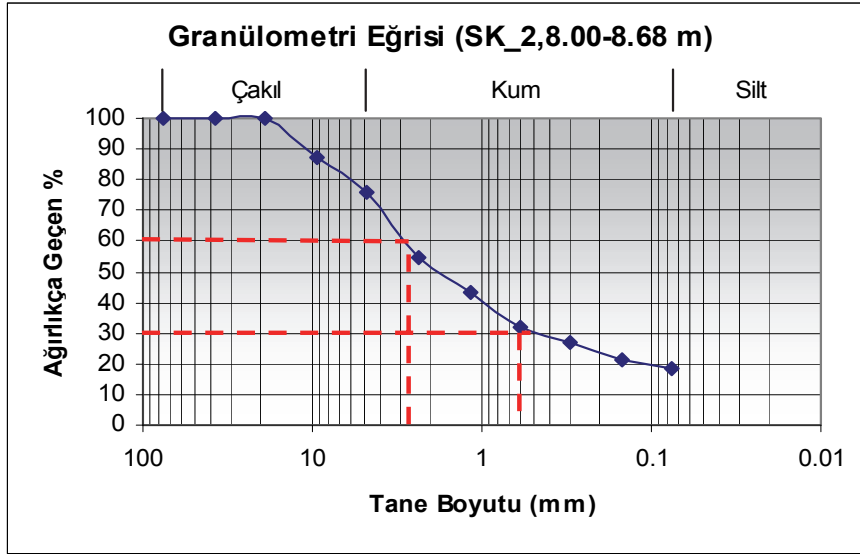
Şekil 2. İnceleme alanı ve yakın çevresinin geliştirilmiş stratigrafik kesiti (Gözler vd., 1996 ve Orhan, 2005 tarafından sadeleştirilerek yeniden çizilmiştir).

Figure 2. Generalized stratigraphic section of the investigation area and close vicinity (Gözler et al., 1996 and redrawn with simplification from Orhan, 2005)



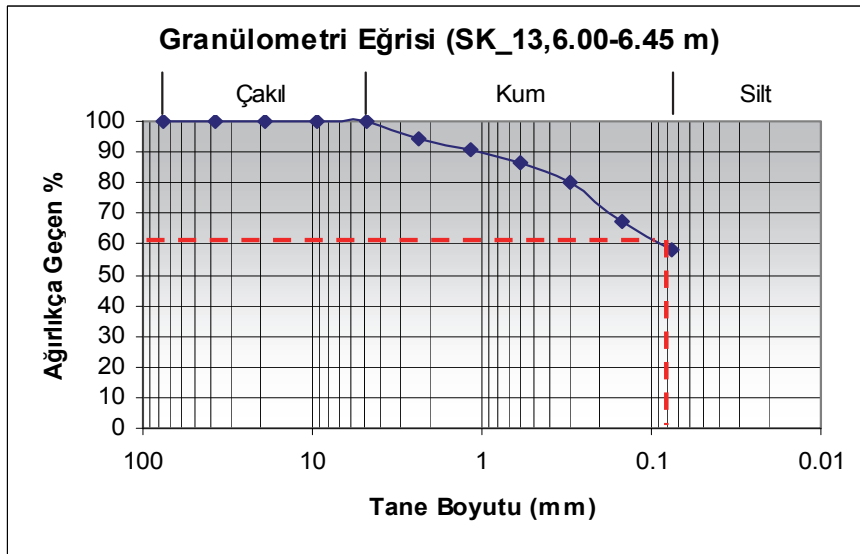
Şekil 3. İnceleme alanının bölgesel jeolojisi (Gözler vd., 1996 ve Altunel ve Barka, 1998'den değiştirilerek yeniden çizilmiştir).

Figure 3. Geological map of investigation area (Gözler et al., 1996 and redrawn with simplification from Altunel and Barka, 1998).



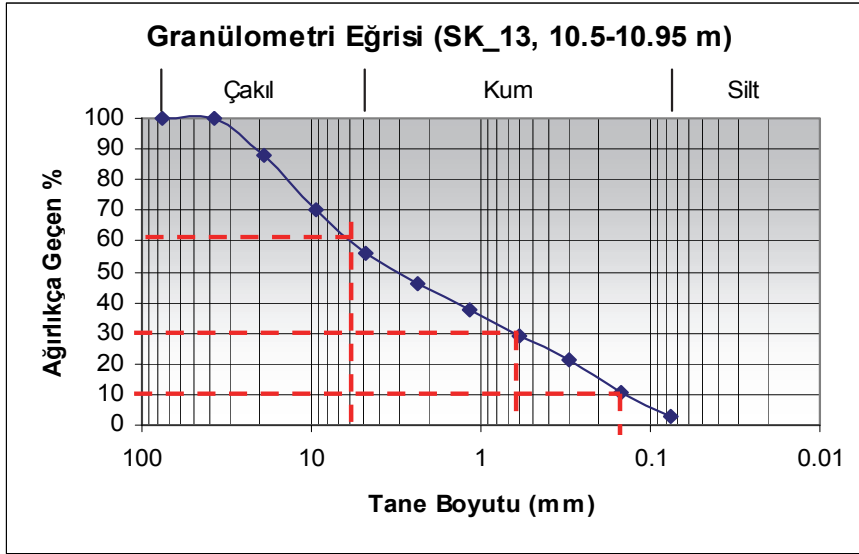
Şekil 4a. Meşelik SK\_2 (8.00-8.68) kuyusu örneğinin tane boyu dağılımı.

Figure 4a. Grain size distribution of the sample from Meşelik SK\_2 (8.00-8.68) borehole.



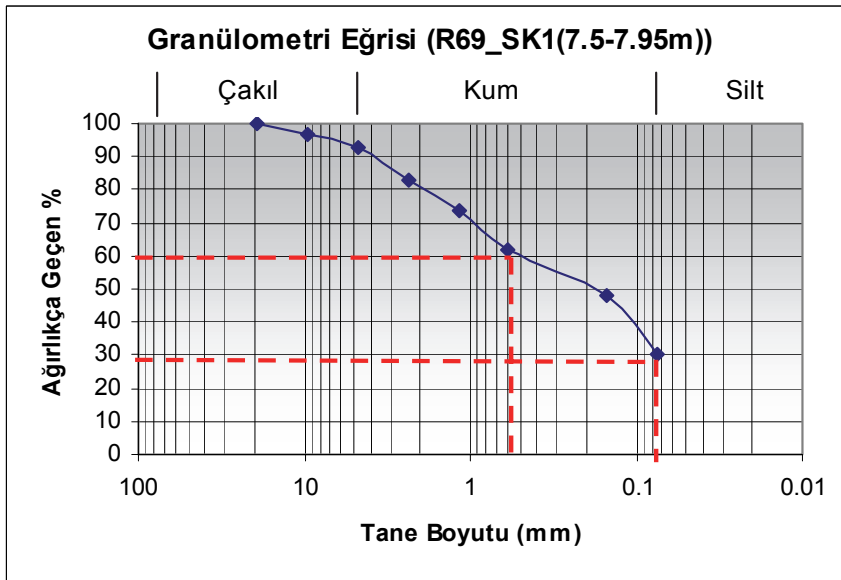
Şekil 4b. Meşelik SK\_13 (6.00-6.45) kuyusu örneğinin tane boyu dağılımı.

Figure 4b. Grain size distribution of the sample from Meşelik SK\_13 (6.00-6.45) borehole.



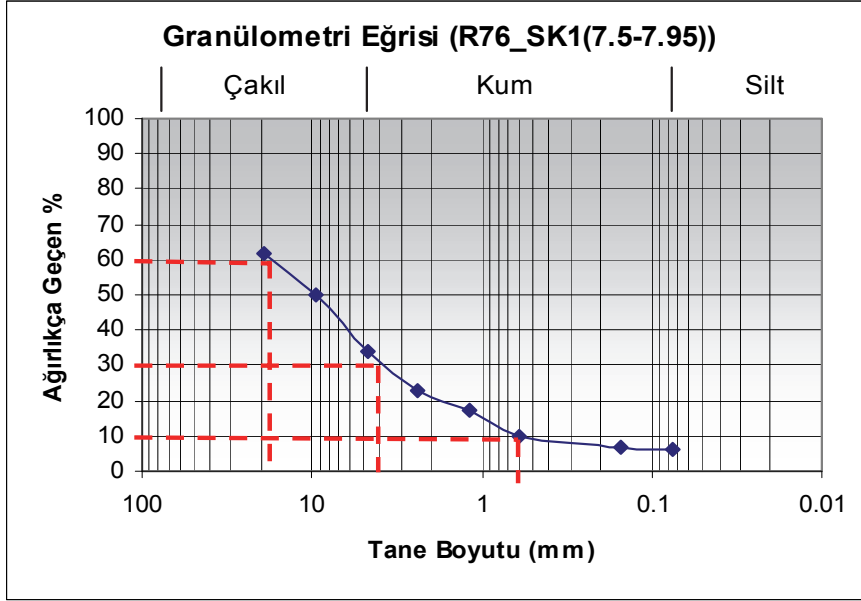
Şekil 4c. Meşelik SK\_13 (10.50-10.95) kuyusu örneğinin tane boyu dağılımı.

Figure 4c. Grain size distribution of the sample from Meşelik SK\_13 (10.50-10.95) borehole.



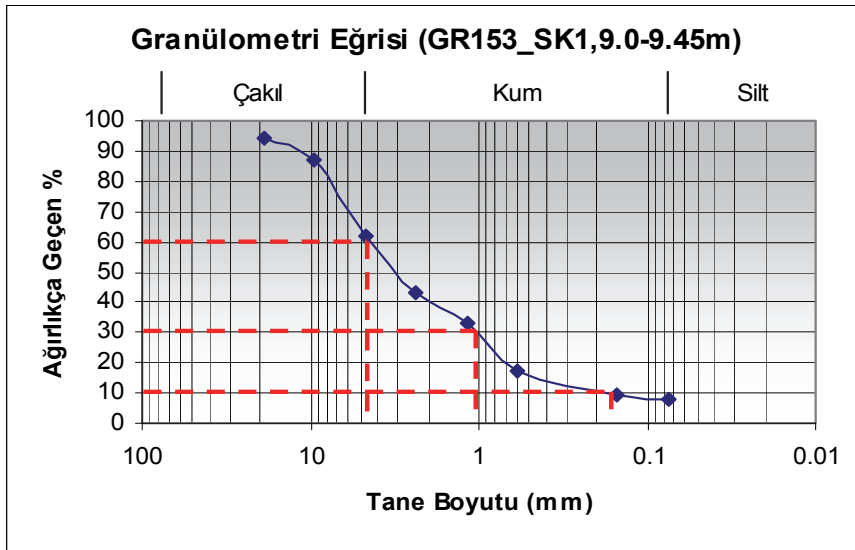
Şekil 5a. Bağlar R69\_SK1 (7.50-7.95) kuyusu örneğinin tane boyu dağılımı.

Figure 5a. Grain size distribution of the sample from Bağlar 69\_SK1 (7.50-7.95) borehole.



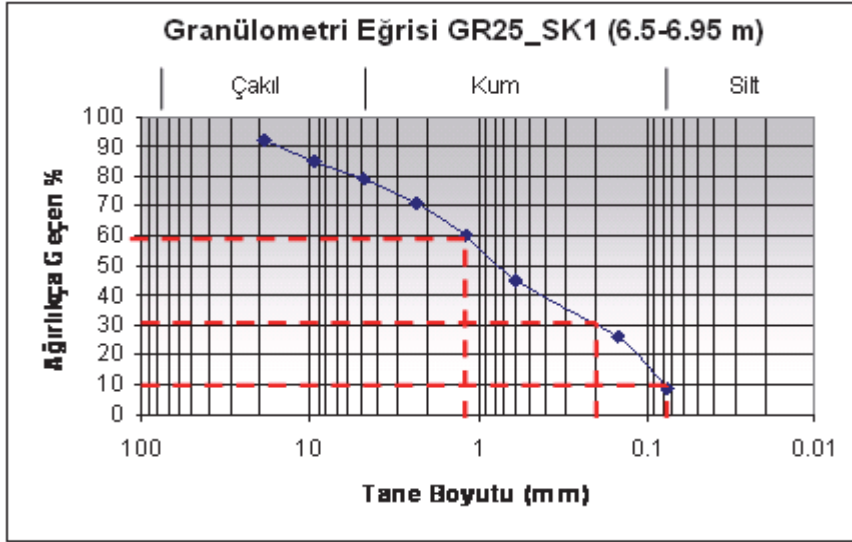
Şekil 5b. Bağlar R76\_SK1 (7.50-7.95) kuyusu örneğinin tane boyu dağılımı.

Figure 5b. Grain size distribution of the sample from Bağlar R76\_SK1 (7.50-7.95) borehole.



Şekil 6a. Güllük GR153\_SK1 (9.0-9.45) kuyusu örneğinin tane boyu dağılımı.

Figure 6a. Grain size distribution of the sample from Güllük GR153\_SK1 (9.0-9.45) borehole.



Şekil 6b. Güllük GR25\_SK1 (6.5-6.95) kuyusu örneğinin tane boyu dağılımı.

Figure 6b. Grain size distribution of the sample from Güllük GR25\_SK1 (6.5-6.95) borehole.

## Hidrojeoloji

Sulama amaçlı olarak Eskişehir Ovası'nda kullanılan Porsuk Çayı'nın inceleme alanı sınırları içerisindeki kotu yaklaşık 790 – 800 m'dir. DSİ tarafından Porsuk Çayı üzerine yapılmış bir regülatörden şehrin değişik bölgelerine kanallar vasıtasıyla sulama suyu iletilmektedir.

İnceleme alanının yakın civarında sıcak su kaynakları bulunmaktadır. Eskişehir il merkezinde bulunan kaplıcaların bazıları kaynak şeklinde doğrudan yüzeye çıkmakla birlikte, resmi kurumlar ve özel şahıslar tarafından da termal suların yararlanmak amacıyla sığ (7-15 m) ve derin (50-800 m) kuyular açılmıştır.

Eskişehir Ovası'nda özellikle akifer sistemini oluşturan birimler, Kuvaterner yaşlı olup, önceki araştırmacılar (Esen vd., 1975; Kaçaroğlu, 1991) tarafından eski alüvyon olarak tanımlanan, Akçay formasyonu ve güncel alüvyondur. Ova içerisinde gerek resmi, gerekse özel kuruluşlar tarafından açılan çok sayıda sondaj kuyusu aracılığıyla alüvyon birimlerden su alınmaktadır. İnceleme alanı ve yakın çevresinde açılan su ve temel sondaj kuyularında, düzenli aralıklarla su seviyesi ölçümleri yapılarak ovanın yeraltısuyu haritası hazırlanmıştır (Yüce vd., 2001). Buna göre, Eskişehir il merkezinin bulunduğu kesimlerde yeraltısuyu seviyesindeki mevsimsel değişimler 0.1 – 0.5 m arasında olup, bu kesimlerde Porsuk Çayı, yeraltısuyu ile hidrolik ilişkiindedir (Yüce vd., 2002, 2006; Yüce, 2007).

**YÖNTEM****Gözeneklilik ve geçirgenlik katsayısı hesabı****Gözeneklilik (Porozite)**

Bir kayacın toplam boşluk hacminin toplam hacmine oranı gözeneklilik olarak adlandırılır. Gözeneklilik % cinsinden tanımlanır ve n ile gösterilir.

Gözeneklilik = (Boşluk hacmi/Toplam hacim) \* 100

$$n = (V_b/V_t) * 100$$

n değerinin hesabında boşluk oranı (e) hesaplamalarından yararlanılmıştır:

$$\rho = G_s (1+w) / e+1$$

$$e = (G_s (1+w) / \rho) -1$$

$$n = e/1+e$$

$G_s$  = Özgül yoğunluk

$\rho$  = Kütlenin birim yoğunluğu

w = Su muhtevası (%) dir.

$G_s$ ,  $\rho$  ya da w gibi parametreler bazı örneklerde bulunmamaktadır. Bu örneklerle ait n (gözeneklilik) değerleri için, literatürde değişik (McWorter ve Sunada, 1977) tane boyları için verilen minimum ve maksimum gözeneklilik değerleri dikkate alınarak kabuller yapılmıştır (Çizelge 3).

Çizelge 3. Gözeneklilik kabul aralıkları (McWorter ve Sunada, 1977'den değiştirilerek) . En düşük ve en yüksek değer hesaplamalarında kullanılmıştır.

Table 3. Porosity acceptance ranges (modified from McWorter and Sunada, 1977). Minimum and maximum values are used for the calculations.

	Toplam Gözeneklilik		Etkin Gözeneklilik	
	Aralık	Aritmetik Ortalama	Aralık	Aritmetik Ortalama
Sedimanter materyal				
Kumtaşı (ince)	-	-	0.02 – 0,40	0.21
Kumtaşı (orta)	0.14 – 0.49	0.34	0.12 – 0,41	0.27
Silttaşı	0.21 – 0.41	0.35	0.01 – 0,33	0.12
Kum (ince)	0.25 – 0.53	0.43	0.01 – 0,46	0.33
Kum (orta)	-	-	0.16 – 0,46	0.32
Kum (iri)	0.31 – 0.46	0.39	0.18 – 0,43	0.30
Çakıl (ince)	0.25 – 0.38	0.34	0.13 – 0,40	0.28
Çakıl (orta)	-	-	0.17 – 0,44	0.24
Çakıl (iri)	0.24 – 0.36	0.28	0.13 – 0,25	0.21
Silt	0.34 – 0.51	0.45	0.01 – 0,39	0.20
Kil	0.34 – 0.57	0.42	0.01 – 0,18	0.06

### Geçirgenlik Katsayısı (Permeabilite)

Çeşitli kütlelerin, yeraltılarını tutması, bir yandan diğer bir yana geçirmesi ve bu suyu vermesi farklı oranlardadır. Kütlelerin suyu tutması ve iletmesi, akifer türlerine ve geçirgenlik özelliklerine bağlıdır. Geçirgenlik, bir akışkanın boşluklu bir ortamdan geçebilme yeteneğidir.

$$k = Q/(A * i)$$

Darcy eşitliği olarak bilinen yukarıdaki eşitlikte k geçirgenlik katsayısı, Q (l/s) debi, A (m<sup>2</sup>) kesit alanı ve i hidrolik eğimi ifade etmektedir.

### Geçirgenlik katsayısının ölçülmesi

Zeminin en önemli hidrolik özelliklerinden biri olan geçirgenlik değeri laboratuvar ve arazide çeşitli yöntemlerle bulunur. Laboratuvar çalışmalarında geçirgenlik değerlerinin eldesinde permeametre adı verilen aletler kullanılmaktadır. Darcy eşitliğindeki değişkenler ölçülerek geçirgenlik katsayısı değeri elde edilir.

Laboratuvarında zemin örneğinin geçirgenliğinin yüksek veya çok düşük olmasına bağlı olarak, içinden geçen suyun basıncının sabit ya da değişken biçimde uygulanmasına göre düşen ya da sabit seviyeli permeametreler vardır (Carrier, 2003). Granülometrik analiz (tane boyu analizi) yoluyla k hesaplanabilir.

$$k = c (D_{10})^2 \text{ dir.}$$

D<sub>10</sub>, zemin örneğinin %10'unun elek altına geçtiği çaptır. c sabit bir katsayıdır.

Etkin tane boyunun karesi ile geçirgenlik katsayısı doğru orantılı olarak artar. Teorik olarak tane boyu ile gözeneklilik arasında bir ilgi olmamasına rağmen pratikte ince taneli çökeller iri taneli olanlara oranla daha fazla gözeneğe sahiptir. Geçirgenliğin tane boyu ile doğru orantılı olarak arttığı, ancak, tane boyu küçüldükçe geçirgenliğin azaldığı bilinmektedir (Shepherd, 1989; Freeze ve Cheery, 1979) (Çizelge 4). Geçirgenlikteki bu azalma, boşluklar arasındaki boğazların daralmasından ve buna bağlı olarak kapiler basıncın artmasından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 4. Zemin tiplerine göre kabul edilen geçirgenlik katsayıları (Freeze ve Cherry, 1979).

Table 4. Accepted permeability coefficients according to soil types (Freeze and Cherry, 1979).

Zemin Tipi	Geçirgenlik Katsayısı (m/s)	Geçirgenlik Katsayısı (m/gün)
Çakıl	$1 \times 10^0 - 1 \times 10^{-3}$	$86.4 \times 10^3 - 86.4$
Temiz Kum	$1 \times 10^{-2} - 5 \times 10^{-5}$	864-4.32
Siltli Kum	$1 \times 10^{-2} - 1 \times 10^{-7}$	$864 - 86.4 \times 10^{-4}$
Silt, Lös	$1 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-9}$	$4.32 - 86.4 \times 10^{-6}$



### Tane Boyu Analizlerine Dayalı Olarak Geçirgenlik Katsayısının Hesaplanmasında Uygulanan Yaklaşımlar

Konu ile ilgili yaklaşımların açıklanmasında Odong (2008)'den yararlanılmıştır.

#### Hazen (Hazen, 1892)

Bu yaklaşım  $U < 5$  olduğunda ve 0.1 – 0.3 mm arasında etkin tane boyuna ( $D_{10}$ ) sahip yüksek üniform kütlelerde uygulanabilir.

$$k = (g/v) * 6 * 10^{-4} [1 + 10(n - 0.26)] D_{10}^2$$

$D_{10}$ : Etkin tane boyu (% 10'a karşılık gelen tane boyu)

$D_{30}$ : % 30'a karşılık gelen tane boyu

$D_{60}$ : % 60'a karşılık gelen tane boyu

$$C_c: D_{30}^2 / D_{60} * D_{10}$$

$$U: D_{60} / D_{10}$$

$g$ : Yerçekimi ivmesi 9.807 m/s<sup>2</sup>

$v$ : Kinematik viskozite 1.14 \* 10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s  $v = \left[ \frac{\mu}{\rho} \right]$

$\mu$ : Dinamik viskozite m<sup>2</sup>/s

$\rho$ : Akışkan yoğunluğu g/m<sup>3</sup>

**Kozeny-Carman** (Kozeny, 1927; Carman 1937 ve 1956)

Bu yaklaşım  $U < 2$  olduğunda ve 0.5- 4 mm arasında etkin tane boyuna ( $D_{10}$ ) sahip üniform (çakıl-kum) kütlelerde uygulanabilir.

$$k = (g/v) * 8,3 * 10^{-3} \left[ n^3 / (1 - n)^2 \right] D_{10}^2$$

#### Breyer

Bu yaklaşım  $U = 1-20$  olduğunda ve 0.06- 0.6 mm arasında etkin tane boyuna ( $D_{10}$ ) sahip heterojen, kötü boylanmış kütlelerde uygulanabilir. Gözenekliliğe bağlı değildir.

$$k = (g/v) * 6 * 10^{-4} \log(500/U) D_{10}^2$$

#### Slitcher

Bu yaklaşım 0.01 - 5 mm arasında etkin tane boyuna ( $D_{10}$ ) sahip heterojen kütlelerde uygulanabilir.

$$k = (g/v) * 1 * 10^{-2} n^{3,287} D_{10}^2$$

#### Terzaghi (Terzaghi ve Peck, 1964)

Bu yaklaşım kum tane boyuna sahip kütlelerde uygulanabilir.

$$k = (g/v) * C_t * \left[ (n - 0.13) / (1 - n)^{1/3} \right]^2$$

$C_t$  (sorting coefficient) kabul aralığı  $C_t = 6.1 * 10^{-3} < C_t < 10.7 * 10^{-3}$

(Hesaplamalarda  $C_t$ 'nin ortalama değeri  $8.4 * 10^{-3}$  kabul edilmiştir)

#### USBR

Bu yaklaşım  $U < 5$  olduğunda ve iri kumlarda uygulanabilir (Cheng ve Chen 2007). Gözenekliliğe bağlı değildir.

$$k = (g/v) * 4.8 * 10^{-4} D_{20}^{0,3} * D_{20}^2$$

$D_{20}$ : % 20'ye karşılık gelen tane boyu

**Alyamani-Sen** (Alyamani ve Sen,1993)

Bu yaklaşım  $I_0$ ,  $D_{50}$  ve  $D_{10}$  etkin tane çapı değerlerinin bulunabildiği kütlelere uygulanır. Gözenekliliğe bağlı değildir.

$$k=1300[I_0 + 0,025(D_{50} - D_{10})]^2$$

$D_{50}$  :% 50'ye karşılık gelen tane boyu

$I_0$ : Grafikte, tane boyu eğrisi üzerinde  $D_{10}$  ve  $D_{50}$  noktalarından geçen doğrunun tane boyu ekseninde kesişim yaptığı değerdir.

Tane boyu analizlerine dayalı olarak hesaplanan geçirgenlik katsayıları için kullanılan eşitlikler ve uygulanabilme koşulları Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5. Tane boyu analizlerine dayalı olarak hesaplanan geçirgenlik katsayıları için kullanılan eşitlikler ve uygulanabilme koşulları (Sezer vd., 2009'dan değiştirilerek).

Table 5. Equations used for permeability coefficients that are calculated on the basis of grain size analyse,s and their applicability (modified from Sezer et al., 2009).

Yaklaşım Adı	Formülü	U	$d_{10}$ (mm)	Uygulanan Malzemeler	Gözeneklilik (n)
Hazen	$k=\frac{g}{v} \times 6 \times 10^{-4} [1+10(n-0,26)] D_{10}^2$	<5	0.1-0.3	İyi boylanmış	Var
Kozeny-Carman	$k=\frac{g}{v} \times 8,3 \times 10^{-3} \left[ \frac{n^3}{(1-n)^2} \right] D_{10}^2$	<2	0.5-4	Kum boyu	Var
Breyer	$k=\frac{g}{v} \times 6 \times 10^{-4} \log \left( \frac{500}{U} \right) D_{10}^2$	-	0.06-0.6	Heterojen kötü boylanmış	Yok
Slitcher	$k=\frac{g}{v} \times 1 \times 10^{-2} n^{3,287} D_{10}^2$	-	0.01-5	-	Var
Terzaghi	$k=\frac{g}{v} \times C_t \times \left[ \frac{n-0,13}{(1-n)^{1/3}} \right]^2$	-	-	Kum boyu	Var
USBR	$k=\frac{g}{v} \times 4,8 \times 10^{-4} D_{20}^{0,3} \times D_{20}^2$	<5	-	İri kum	Yok
Alyamani ve Sen	$k=1300[I_0 + 0,025(D_{50} - D_{10})]^2$	-	-	$D_{10}$ ve $D_{50}$ olan tüm sedimanlar	Yok

## YAPILAN ÇALIŞMALAR

Büyükdere Mahallesi Meşelik Mevkii'nde (8 adet), Bağlar Mahallesi'nde (10 adet) ve Güllük Mahallesi'nde (11 adet) açılan temel sondaj kuyularından elde edilen verilere dayalı olarak elek analizi granülometri eğrileri çizilmiş, çizilen bu eğriler yardımı ile  $D_{60}$ ,  $D_{50}$ ,  $D_{30}$ ,  $D_{20}$ ,  $D_{10}$ ,  $I_0$ ,  $U$  ve  $C_c$  parametreleri belirlenmiştir. İlgili bölgelere ait parametreler ve granülometri eğrilerine ait örnekler, Çizelgeler 6-8 ve Şekiller 4-6 ile verilmiştir.

Elek analizi granülometri eğrileri çizimlerinden, Meşelik Mevkii, Bağlar Mahallesi ve Güllük Mahallesi'nde  $D_{60}$ ,  $D_{30}$ ,  $D_{50}$ ,  $D_{20}$ ,  $D_{10}$  değerleri okunup, okunan değerler ile  $U$ ,  $C_c$  parametreleri bulunmuş ve yukarıda belirtilen yaklaşımlar ile geçirgenlik katsayıları hesaplanmıştır. Grafikten okunmayan etkin tane boyu değerleri ise  $D_{60}$  değerlerinin bulunduğu grafiklerdeki eğrilerin son noktası  $D_{10}$  değeri kabul edilerek belirlenmiştir. (Çizelgeler 6-8). Yapılan hesaplamalarda alt ve üst değer veren yaklaşımlar (örneğin Slitcher-Terzaghi) için  $n_1$  ve  $n_2$ , sırasıyla en düşük ve en yüksek gözeneklilik değer aralıkları dikkate alınarak kullanılmıştır (Çizelge 3, McWorter ve Sunada, 1977). Gözeneklilik değerleri  $G_s$ , birim yoğunluk ve  $w$  değerlerinden hesaplanmıştır.  $G_s$  değerleri olmayan örnekler için de literatürde öngörülen alt ve üst sınır değerlerinden yararlanılmıştır (<http://gozips.uakron.edu/>). İkişer değer veren yaklaşım formüllerinde (Slitcher-Terzaghi) ise gözeneklilik değeri vardır. Tek değer veren yaklaşımlarda ise (Breyer, USBR, Alyamani-Sen) gözeneklilik değeri yoktur. Meşelik Mevkii, Bağlar ve Güllük Mahalleleri'nde hesaplanan geçirgenlik katsayısı değerleri harita üzerinde Şekil 7 ve 8'de görülmektedir. Haritalarda bulunan geçirgenlik katsayısı hesaplamaları ise, Slitcher ve Terzaghi

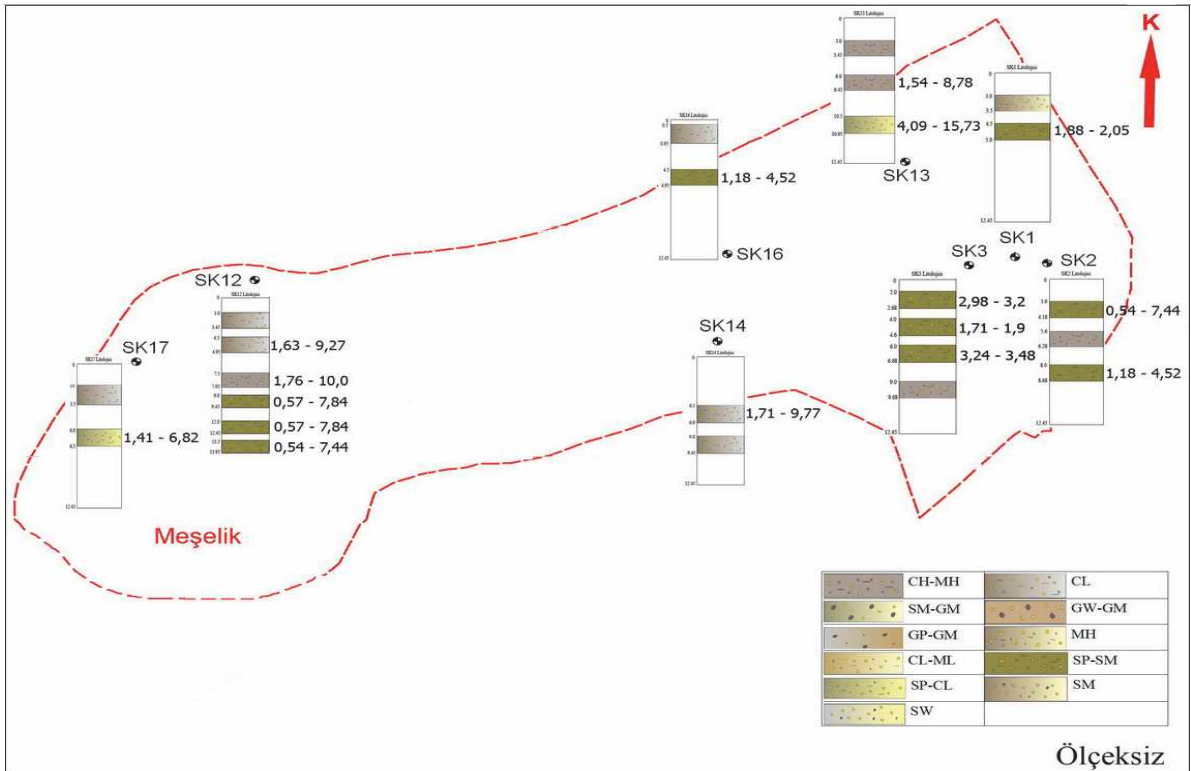
yaklaşımlarından elde edilen en düşük geçirgenlik katsayılarının ortalaması ile yine aynı yaklaşımlardan elde edilen en yüksek geçirgenlik katsayılarının ortalaması dikkate alınarak yapılmıştır. Örneğin; Çizelge 6'da SK 2 için, 3.60 – 4.18 m aralığında, en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla Slitcher'a göre 0.45 – 5.33 m/gün ve Terzaghi'ye göre 0.63 – 9.55 m/gün olarak bulunmuştur. Şekil 7'de bu iki yaklaşıma ait en düşük ve en yüksek değerlerin ortalamaları 0.54 – 7.44 m/gün olarak bulunmuş olup, Breyer yaklaşımı da çoğunlukla bu aralıklar arasında kalmaktadır. Aynı hesaplamalar Şekil 8 için de yapılmıştır.

Hazen yaklaşımı, iyi boylanmış malzemelere uygulanabilir olup, uygulama aralıkları  $U < 5$ ,  $D_{10}$ : 0.1 - 3 mm arasındadır (Çizelge 5). Bu çalışma kapsamında hesaplanan  $D_{10}$  ve  $U$  değerleri uygun olmadığından dolayı Hazen fomülüyle yapılan hesaplamalar uygun değildir. Kozeny-Carman yaklaşımı, kötü boylanmış, çakıl, kum boyu kütlelerde uygulanır. Kozeny-Carman yaklaşımı için uygulama aralıkları  $U < 2$ ,  $D_{10}$ : 0.5-4 mm arasındadır. Bu aralıklar, bu çalışma kapsamında hesaplanan bazı  $U$  değerleri için uygundur, ancak  $D_{10}$  değerlerine uymamaktadır. Bu yüzden Kozeny-Carman yaklaşımıyla yapılan hesaplamalar uygun değildir. Breyer yaklaşımı uygulama aralıkları  $U = 1 - 20$ ,  $D_{10}$ : 0.06 – 0.6 mm arasındadır. Breyer yaklaşımı bazı kuyulardan elde edilen veriler için uygulanmıştır. Slitcher yaklaşımı ise heterojen malzemeler için uygulanmıştır. Slitcher yaklaşımı için uygulama aralıkları  $D_{10}$ : 0.01 - 5 mm arasındadır. Slitcher yaklaşımı bu çalışma kapsamında hemen tüm değerler için uygundur. USBR yaklaşımı orta boylanmış kum boyu kütleler için uygundur. USBR yaklaşımı uygulama aralıkları  $U < 5$  ve  $D_{20}$  tane boyu belirlenmiş olmalıdır. Çalışma kapsamında  $D_{20}$  değeri olmayan değerler uygun değildir. Terzaghi

yaklaşımı iri taneli kum boyu malzemelerde uygulanmaktadır. Alyamani ve Sen (1993),  $I_0$  değerinin bulunduğu tüm hesaplamalarda uygulanır. Çizelgeler 6-8'de altı çizgili koyu renkte belirtilmiş olan sonuçlar, ilgili yaklaşımlardaki koşulları sağlamış olan, kabul edilebilir değerlerdir.

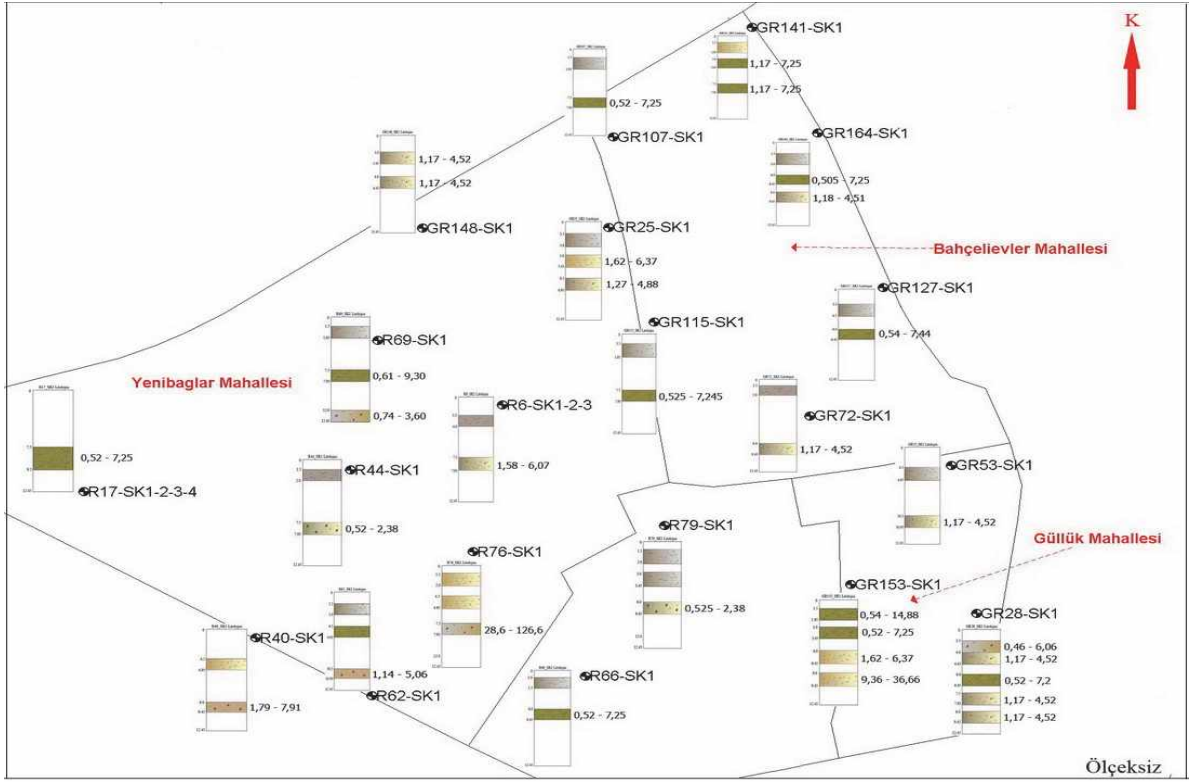
Meşelik Mevkii'nde genellikle Breyer, Slichter ve Terzaghi yöntemleri ile hesaplamalar yapılabilmektedir. SK2 ve SK13 kuyularından alınan örnekler ile yapılan geçirgenlik katsayıları hesaplamaları sonuçları şu şekildedir:

SK2 kuyusunun 3.60 – 4.18 metreleri arasında az killi, siltli, çakıllı orta derecelenmiş kum boyu malzeme mevcuttur. Bu metreler arası için, Breyer, Slichter ve Terzaghi yöntemleri uygulanabilmiş olup, her bir yöntem için ayrı ayrı hesaplanan geçirgenlik katsayısı değerleri birbirine yakın çıkmıştır. SK2 kuyusunun 8.00 – 8.68 metreleri arasında az killi, siltli, çakıllı orta derecelenmiş kum boyu malzeme mevcuttur. Burası için de Breyer, Slichter, ve Terzaghi yaklaşımları uygulanmış olup, hesaplanan geçirgenlik katsayısı değerleri birbirine yakındır (Çizelge 6).



Şekil 7. Meşelik mevkiinde hesaplanan geçirgenlik katsayılarının kuyular üzerinde gösterimi. Kırmızı renkli gösterilenler, yaklaşık olarak hesaplanan geçirgenlik katsayılarıdır.

Figure 7. Permeability coefficients of the samples shown at the borehole locations belonging to Meşelik site. Approximately calculated permeability coefficients are shown with red.



Şekil 8. Bağlar ve Güllük mahallelerinde hesaplanan geçirgenlik katsayılarının kuyular üzerinde gösterimi. Kırmızı renkli gösterilenler, yaklaşık olarak hesaplanan geçirgenlik katsayılarıdır.

Figure 8. Permeability coefficients of the samples shown at the borehole locations belonging to Bağlar and Güllük distinct. Approximately calculated permeability coefficients are shown with red.

SK13 kuyusunda 3.00 – 3.45 m arasında az kumlu, siltli, yüksek plastisiteli kil malzeme mevcuttur fakat tane boyu değerleri ( $D_{60}$ ,  $D_{50}$ ,  $D_{30}$ ,  $D_{20}$ ,  $D_{10}$ ) uygun olmadığından geçirgenlik katsayısı hesaplamaları yapılamamıştır. 6.00 – 6.45 m arasında ise az kumlu siltli yüksek plastisiteli kil boyu malzeme mevcuttur. Breyer, Slichter, Terzaghi yaklaşımları uygulanabilmiş ve hesaplanan geçirgenlik katsayısı değerleri birbiri ile uyumlu çıkmıştır. 10.5 – 10.95 m arasında çok az killi siltli kötü derecelenmiş kum boyu malzeme mevcuttur. Hazen, Kozeny-Carman dışındaki tüm yaklaşımlar uygulanabilmiş, her bir yöntem için ayrı olarak hesaplanan

geçirgenlik katsayısı değerleri birbirine yakın çıkmıştır (Çizelge 6).

Bağlar mahallesinde Breyer, Slichter, Terzaghi, Alyamani-Sen yaklaşımları ile hesaplamalar yapılabilmektedir. R69\_SK1 ve R76\_SK1 kuyularından alınan örnekler ile yapılan geçirgenlik katsayıları hesaplamalarında; R69\_SK1 kuyusunda 1.50 – 1.95 m arasında az kumlu siltli düşük plastisiteli kil boyu malzeme olmasına rağmen tane boyu değerleri ( $D_{60}$ ,  $D_{50}$ ,  $D_{30}$ ,  $D_{20}$ ,  $D_{10}$ ) uygun olmadığından geçirgenlik katsayısı hesaplamaları yapılamamıştır. Gene aynı kuyuda 7.50 – 7.95 m arasında çok az killi siltli çakıl

orta derecelenmiş kum boyu malzeme mevcuttur. Breyer, Terzaghi yaklaşımları uygulanabilmiş olup, hesaplanan geçirgenlik katsayısı değerleri birbiriyle uyumludur. Aynı kuyunun 12.00 – 12.45 m arasında kötü boylanmış çakıl taneleri içeren kumlu çakıl boyu malzeme mevcuttur. Terzaghi ve Alyamani-Sen yaklaşımları uygulanabilmiş ve her bir yaklaşım için ayrı olarak hesaplanan geçirgenlik katsayısı değerlerinin birbirine yakın olduğu gözlenmiştir (Çizelge 7).

R76\_SK 1 kuyusunda 1.50 – 2.00 m ve 4.50 – 4.95 m arasında az kumlu yüksek plastisiteli killi silt boyu malzeme mevcuttur fakat bu metreler arasında tane boyu değerleri ( $D_{60}$ ,  $D_{50}$ ,  $D_{30}$ ,  $D_{20}$ ,  $D_{10}$ ) uygun olmadığından, geçirgenlik katsayısı hesaplamaları yapılamamıştır. Aynı kuyunun 7.50 – 7.95 metreleri arası kötü boylanmış çakıl taneleri içeren kumlu çakıl boyu malzemedir. Slichter, Terzaghi yaklaşımları uygulanabilmiş, hesaplanan geçirgenlik katsayısı değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür.  $D_{60}$  değerleri çok yüksek olduğundan dolayı geçirgenlik katsayısı hesaplamaları diğer kuyulara oranla daha yüksek çıkmıştır (Çizelge 7).

Güllük Mahallesi'nde Breyer, Slichter, Terzaghi, Alyamani-Sen yaklaşımları uygulanabilmiştir. GR25\_SK1 nolu kuyunun 5.00 – 5.45 m arasında az kumlu yüksek plastisiteli killi silt boyu malzeme mevcuttur. Bu metreler arasına Breyer, Slichter, Terzaghi yaklaşımları uygulanabilmiş, geçirgenlik katsayısı değerleri de yine birbirine yakın çıkmıştır. Aynı kuyunun 6.50 – 6.95 m arasında çakıllı orta derecelenmiş kum boyu malzeme mevcuttur. Breyer, Slichter, Terzaghi, Alyamani-Sen yaklaşımları uygulanabilmiş ve her bir yaklaşım için ayrı olarak hesaplanan geçirgenlik katsayısı da birbirine yakın çıkmıştır (Çizelge 8).

GR153\_SK1 kuyusunda 1.50 – 1.95 m arasında çok az killi siltli çakıllı orta derecelenmiş kum boyu malzeme mevcuttur. Slichter, Terzaghi yaklaşımları uygulanabilmiştir ve her bir yaklaşım için ayrı olarak hesaplanan geçirgenlik katsayısı değerleri birbirine yakın çıkmıştır. 3.00 – 3.45 m arasında çok az killi siltli çakıllı orta derecelenmiş kum boyu malzeme mevcuttur. Slichter, Terzaghi, yaklaşımları uygulanabilmiş, hesaplanan geçirgenlik katsayısı değerleri birbirine yakın çıkmıştır. 6.00 – 6.45 m arasında az kumlu düşük plastisiteli killi silt boyu malzeme mevcuttur. Breyer, Slichter, Terzaghi yaklaşımları uygulanabilmiş, hesaplanan geçirgenlik katsayısı değerleri birbiriyle uyumlu çıkmıştır. 9.00 – 9.45 m arasında az kumlu düşük plastisiteli killi silt boyu malzeme mevcut olup, Slichter, Terzaghi, Alyamani-Sen yaklaşımları uygulanabilmiş, hesaplanan geçirgenlik katsayısı değerleri birbirine yakın çıkmıştır (Çizelge 8).

## ANALİZ SONUÇLARINA İLİŞKİN DEĞERLENDİRMELER

Elde edilen değerlendirmeler sonucunda Meşelik Mevkii'nde genellikle düşük plastisiteli, iyi derecelenmemiş, kum, kil, silt boyu kütleler bulunmaktadır. Kil ve silt boyu kütlelerin gözeneklilikleri yüksek ancak geçirgenlikleri düşüktür ve bu kütlelerin etkin tane boyu çapları belirlenemediğinden SK1'in 3.00 – 3.50 m ile 6.0 – 6.28 m, SK3'ün 9.00 – 9.60 m, SK13'ün 3.00 – 3.45 m, SK14'ün 9.00 – 9.45 m, SK15'in 6.00 – 6.45 m, ile 10.50 – 10.95 m, SK17'nin 3.00 – 3.50 m ve SK19'un 3.00 – 3.30 m aralıkları için geçirgenlik katsayısı hesaplamaları yapılamamıştır. Güllük Mahallesi'nde, genellikle düşük plastisiteli, kötü boylanmış, çakıl, kum, kil, silt boyu kütleler bulunmaktadır. Bağlar Mahallesi'nde, genellikle düşük plastisiteli, iyi derecelenmemiş, çakıl, kum, kil, boyu malzeme bulunmaktadır.

Bazı hesaplamalarda, örneğin (Çizelge 6) SK3 kuyusu 4.00 – 4.60 m ve SK12 kuyusu 12.00 – 13.95 metreler arasında  $D_{10}$  değerleri kabul görülen değerler (eğrinin son noktası kabul görülen değer olarak alınmıştır) olduğundan dolayı  $I_0$  değeri belirlenememiş ve Alyamani-Sen'e göre hesaplamalar yapılamamıştır.

Ortalama olarak üniformluk katsayısı, kum boyutu malzeme için  $U = 10 - 30$ , silt boyu malzeme için  $U = 2 - 4$ , kil boyutu malzeme için  $U = 10 - 100$  aralığında bulunmuştur (Çizelgeler 6 - 8).

Meşelik Mevkii SK13 kuyusunun 6.00 – 6.45 metreleri arasında geçirgenlik katsayısı değerleri Slitcher'e göre 3.10 – 11.35 m/gün, Terzaghi'ye göre 5.8 – 20.10 m/gün, Alyamani-Sen'e göre ise 6.38 m/gün olarak hesaplanmıştır. SK3 kuyusunun 4.00 – 4.60 metreleri arasında Slitcher'e göre 1.27 – 1.39 m/gün ve Terzaghi'ye göre 2.16 – 2.38 m/gün olarak hesaplanan değerler birbirine yakındır.

Bağlar Mahallesi R6\_SK1 kuyusu 7.5 – 7.95 m arasında formüllerde geçirgenlik katsayısı değerleri Slitcher'e göre 1.20 – 4.38 m/gün, Terzaghi 1.96 – 7.76 m/gün, Alyamani-Sen 3.26 m/gün olarak hesaplanmış olup, değerler birbirine yakındır. R40\_SK1 kuyusunun 9.00 – 9.45 m aralığı incelendiğinde, geçirgenlik katsayısı değerleri Slitcher için 1.54 – 5.82 m/gün ve Terzaghi için 2.04 -10,1 m/gün olarak hesaplanmış olup, bu değerler birbirine yakındır.

Güllük Mahallesi GR25\_SK1 kuyusu 3.5 – 3.95 metre ve GR164\_SK1 kuyusu 2.5 – 3.0 metreler arası CL tipi malzeme için hesaplanan geçirgenlik katsayılarının birbirinden oldukça farklı ve kil malzemenin geçirgenliğini yansıtmayacak ölçüde yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. Bu durum, yaklaşımların kil malzeme dışında geçerli olacağını ifade etmektedir. Çünkü kil gibi yüksek gözenekliliğe sahip zeminin geçirgenliğinin çok düşük olması

beklenirken birbirinden oldukça farklı ve yüksek değerlerde olması, kil malzeme için yaklaşımların doğru olmayacağını göstermektedir. Gözeneklilik verisi bulunmayan örneklerde, değerler literatürden minimum ve maksimum aralıklar için (Çizelge 5) alındığından diğer hesaplamalarda da farklılıkların ortaya çıkması doğaldır. Ancak, kil malzeme için geçirgenlik katsayısı değişim oranları çok yüksek olup değerlendirme dışında tutulmuştur.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda, hesaplanan geçirgenlik katsayılarının genelde, sondaj kuyularında geçilen malzemenin türü ile (kötü ve iyi boylanmış silt, kum, çakıl) uyumlu olduğu görülmüştür (Şekil 7 ve 8). Elde edilen geçirgenlik katsayılarının Breyer, Slitcher, Terzaghi ve Alyamani-Sen yaklaşımları ile uyumlu, Hazen, Cozeny-Carman ve USBR yaklaşımları ile uyumlu olmadığı görülmüştür. Bunun nedeni, Hazen ve USBR yaklaşımları için  $U < 5$  ve Cozeny-Carman yaklaşımı için  $U < 2$  koşulunun sağlanmasıdır. Bu koşulu sağlayan kuyulardaki ilgili seviye aralıklarına ilişkin litoloji ile Kozany-Carman ve Hazen yaklaşımlarından elde edilen geçirgenlik katsayıları SK-1 (4.5 – 5.0 m arası SM), SK-2 (3.60 – 4.18 m arası SM), SK-3 (6.0 – 6.68 m arası SM), SK-16 (4.5 – 4.95 m arası SM-SH), GR115 - SK-1 (7.5 – 7.95 m arası SM) Çizelge 4'de verilen literatüre uygun sonuçlar vermektedir.  $U < 5$  koşulunun aranmadığı diğer kuyular için Breyer, Slitcher ve Terzaghi yaklaşımları (iri kum olmak üzere) kullanılarak hesaplanan geçirgenlik katsayıları da Çizelge 4 ile uyumlu sonuçlar vermektedir. Örneğin; Meşelik Mevkii'nde açılan SK-2 kuyusunda 8.00 – 8.68 m arasında siltli kum boyutunda malzeme mevcut olup, bu aralıkta, değişik yaklaşımlardan yararlanılarak hesaplanan ortalama geçirgenlik katsayısı değerlerinin 0.89 – 5.77 m/gün arasında değiştiği ve bu değerlerin literatürdeki (Çizelge 4) değerler ile uyumlu olduğu görülmektedir. Benzer şekilde, R76\_SK 1 kuyusunda, 7.50 – 7.95 m arasındaki kötü derecelenmiş çakıl-siltli çakıl

(GP-GP) türü malzeme için hesaplanan geçirgenlik katsayısı değerleri 24.56 m/gün – 160.10 m/gün arasında olup, Çizelge 4 ile

verilen malzeme cinsine ilişkin geçirgenlik katsayılarının aralığıyla uyumludur.

Çizelge 6. Meşelik mevkii kuyularına ait grup sembolleri, doğal yoğunluk, su muhtevası,  $G_s$  kabul aralığı, hesaplanan  $e_1$ ,  $e_2$  ve  $n_1$ ,  $n_2$  aralıkları, granülometri eğrilerinden okunan,  $D_{60}$ ,  $D_{50}$ ,  $D_{30}$ ,  $D_{20}$ ,  $D_{10}$ ,  $I_0$  değerleri ve hesaplanan  $C_c$  değerleri, farklı yaklaşımlarla hesaplanan geçirgenlik katsayıları (H: Hazen, K-C: Kozeyn-Carman, B: Breyer, S: Slitcher, T: Terzaghi, U: USBR, A-S: Alyamani-Sen). Granülometri eğrilerinden okunan  $D_{10}$  ve hesaplanan  $U$  değerleri olup, koyu renk gösterilenler ise kabul edilen değerlerdir.

Table 6. Group symbol, natural density, water content,  $G_s$  acceptance interval and calculated  $e_1$ ,  $e_2$  and  $n_1$ ,  $n_2$  intervals,  $D_{60}$ ,  $D_{50}$ ,  $D_{30}$ ,  $D_{20}$ ,  $D_{10}$ ,  $I_0$  values that are read from grain size curve, and the calculated  $C_c$  values that belong to Meselik area boreholes (H: Hazen, K-C: Kozeyn-Carman, B: Breyer, S: Slitcher, T: Terzaghi, U: USBR, A-S: Alyamani-Sen).  $D_{10}$  and  $U$  values are read and calculated from grain size distribution curves, respectively. The accepted values are shown with bold.

SK1	Grup Sembolü	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	Aralığı	$n_1$	$n_2$	$D_{60}$	$D_{50}$	$D_{30}$	$D_{20}$	$D_{10}$	$I_0$	$U$	$C_c$	H	K-C	B	S	T	USBR	A-S					
																					Aralığı	Aralığı	Aralığı	Aralığı	Aralığı
3,000-3,500	MH	1,71	0,35	2,65	2,70	0,52	0,53	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					
4,500-5,000	SM	1,97	0,16	2,63	2,67	0,35	0,36	0,20	0,11	—	0,07	2,67	4,87	5,12	3,70	4,14	5,08	1,88	1,51	2,87	2,69				
3,600-4,100	SM	—	0,19	2,63	2,67	0,25	0,53	0,20	0,10	—	0,08	2,63	2,32	9,53	0,99	24,02	5,87	9,45	5,33	9,63	9,55				
5,600-6,200	CH-MH	1,8	0,28	2,67	2,90	0,47	0,51	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
8,000-8,600	SM	—	0,09	—	—	0,31	0,46	2,60	2,00	0,60	0,13	0,07	34,67	1,85	3,77	7,53	2,17	11,58	2,91	9,89	3,36	1,46	5,77	0,41	
2,000-2,600	SM	1,96	0,25	2,63	2,67	0,40	0,42	0,60	0,14	—	0,07	8,00	—	6,18	6,40	6,60	7,25	4,51	2,16	2,32	3,79	4,08	—		
4,000-4,600	SM	1,92	0,11	2,63	2,67	0,34	0,35	4,00	2,37	0,30	0,08	0,07	53,33	0,30	4,65	4,89	3,33	3,74	2,44	1,37	1,82	2,16	2,38	0,12	
6,000-6,600	SM	1,78	0,16	2,63	2,67	0,42	0,42	0,20	0,10	—	0,07	2,67	—	6,44	6,66	7,37	8,08	5,20	2,85	1,52	5,12	5,43	—		
9,000-9,600	CH-MH	—	0,38	2,67	2,90	0,34	0,57	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
3,000-3,450	CL-ML	—	0,06	2,67	2,90	0,34	0,57	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
4,500-4,950	CL-ML	—	0,07	2,67	2,90	0,34	0,57	0,12	—	—	0,07	1,60	—	4,52	10,29	3,13	34,76	6,26	1,21	5,59	2,04	11,94	—		
7,500-7,950	CH-MH	—	0,09	2,67	2,90	0,34	0,57	0,08	—	—	0,08	1,03	—	4,89	11,13	3,39	37,59	2,82	1,31	7,13	2,11	12,21	—		
9,000-9,450	SM-ML	—	0,05	2,63	2,67	0,25	0,53	0,28	0,16	—	0,08	3,59	—	2,44	10,04	1,04	25,30	5,82	0,48	5,61	0,66	10,06	—		
12,000-12,450	SM	—	—	2,63	2,67	0,25	0,53	2,90	1,50	0,30	0,16	0,08	—	37,18	0,40	2,44	10,04	1,04	25,30	3,06	9,48	9,66	10,06	0,66	
13,500-13,950	SM	—	—	2,63	2,67	0,25	0,53	2,90	1,50	0,30	0,16	0,08	—	32,89	0,47	2,32	9,53	0,99	24,02	3,05	9,45	5,33	9,63	9,48	0,66
3,000-3,450	CH-MH	—	—	2,67	2,90	0,34	0,57	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
6,000-6,450	CH	—	—	2,67	2,90	0,34	0,57	0,30	—	—	0,07	1,09	—	4,28	9,74	2,97	32,93	6,32	1,13	6,24	1,64	11,31	—	—	
10,5-10,950	SP	—	—	2,63	2,67	0,31	0,46	6,00	3,00	0,60	0,29	0,14	0,07	42,86	0,43	13,11	26,22	7,57	40,36	9,33	3,10	11,35	5,08	20,10	2,61
6,500-6,900	CL-ML	—	0,3	2,67	2,90	0,34	0,57	2,30	1,00	0,22	0,14	0,08	—	29,87	0,27	4,76	10,84	3,30	36,64	3,24	1,37	6,05	2,15	12,58	0,49
9,000-9,450	CL-CH	—	—	2,67	2,90	0,34	0,57	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
6,500-6,950	CL	—	—	2,67	2,90	0,34	0,57	0,23	0,14	—	0,07	3,07	—	4,52	10,29	3,13	34,76	5,55	1,21	6,59	2,04	11,94	—	—	
4,500-4,950	SM-SH	—	—	2,67	2,90	0,31	0,46	0,40	0,20	—	0,07	—	5,33	—	3,76	7,53	2,17	11,58	4,05	0,89	3,36	1,46	5,77	—	
3,000-3,500	CL	1,97	0,13	2,67	2,90	0,35	0,40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
6,000-6,500	SP-CL	2,07	0,14	2,67	2,90	0,32	0,38	0,17	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	



Çizelge 7. Bağlar Mahallesi kuyularına ait grup semböli, su muhtevası,  $G_s$  kabul aralığı, hesaplanan  $e_1$ ,  $e_2$  ve  $n_1$ ,  $n_2$  aralıkları, granülometri eğrilerinden okunan,  $D_{60}$ ,  $D_{50}$ ,  $D_{30}$ ,  $D_{10}$ ,  $I_p$ ,  $I_c$  değerleri ve hesaplanan  $C_c$  değerleri, farklı yaklaşımlarla hesaplanan geçirgenlik katsayıları (H: Hazen, K-C: Kozeyn-Carman, B: Breyer, S: Slichter, T: Terzaghi, U: USBR, A-S: Alyamani-Sen). Granülometri eğrilerinden okunan  $D_{10}$  ve hesaplanan U değerleri olup, koyu renk gösterilenler ise kabul edilen değerlerdir.

Table 7. Group symbol, natural density, water content,  $G_s$  acceptance interval and calculated  $e_1$ ,  $e_2$  and  $n_1$ ,  $n_2$  intervals,  $D_{60}$ ,  $D_{50}$ ,  $D_{30}$ ,  $D_{10}$ ,  $I_p$ ,  $I_c$  values that are read from grain size curve, and the calculated  $C_c$  values that belong to Bağlar area boreholes (H: Hazen, K-C: Kozeyn-Carman, B: Breyer, S: Slichter, T: Terzaghi, U: USBR, A-S: Alyamani-Sen).  $D_{10}$  and U values are read and calculated from grain size distribution curves, respectively. The accepted values are shown with bold.

Grup Semböli	$n_1$	$n_2$	$D_{10}$	$D_{20}$	$D_{30}$	$D_{40}$	$D_{50}$	$D_{60}$	$I_p$	$I_c$	U	$C_c$	H	K-C	B	S	T	USBR	A-S	
<b>B6_SKI</b> 7,5-7,95m	0,31	0,46	5,00	2,00	0,40	0,13	0,09	0,05	57,47	0,37	5,06	10,13	2,92	15,59	3,17	1,70	4,38	1,96	7,76	0,41
<b>B07_SKI</b>	0,25	0,53	0,50	0,30	0,11	—	0,08	—	6,67	0,32	2,26	9,28	0,97	23,39	4,70	0,44	5,19	0,61	9,30	—
<b>B07_SKI</b> 7,5-7,95	0,25	0,53	6,00	4,00	1,00	0,60	0,14	0,06	42,86	1,19	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<b>B00_SKI</b> 9,00-9,45m	0,24	0,36	18,00	8,00	2,40	0,88	0,15	0,06	120,00	2,11	8,03	20,07	3,32	15,81	6,32	1,54	5,83	7,84	10,81	33,47
<b>B04_SKI</b> 7,5-7,95m	0,25	0,38	7,00	3,50	0,95	0,25	0,08	—	99,33	1,72	2,26	5,52	0,96	4,95	1,83	0,44	1,74	0,61	3,07	1,85
<b>B02_SKI</b> 2,5-3,00m	0,34	0,57	0,15	—	—	—	0,08	—	2	—	4,52	10,29	3,13	34,76	6,02	1,21	6,59	2,04	11,94	—
<b>B05-10,95m</b> GM-GW	0,24	0,36	6,00	4,00	0,95	0,60	0,12	0,05	50,00	1,25	5,14	12,84	2,13	10,12	6,42	0,98	3,73	1,81	6,40	13,87
<b>B06_SKI</b> 6,00-6,45m	0,25	0,53	0,320	0,25	0,15	—	0,08	—	4,27	0,94	2,26	9,28	0,96	23,39	5,19	0,44	5,19	0,61	9,30	—
<b>B09_SKI</b> 7,5-7,95m	0,25	0,53	0,570	0,18	0,08	—	0,08	—	7,60	0,14	2,26	9,28	0,96	23,39	4,56	0,44	5,19	0,61	9,30	—
<b>B10-12,45m</b> GP-GM	0,24	0,36	7,00	4,00	0,90	0,30	0,09	0,04	77,78	1,29	3,89	7,23	1,20	5,69	2,92	0,55	2,10	0,74	1,60	2,82
<b>B16_SKI</b> 7,5-7,95	0,24	0,36	18,00	9,51	4,00	1,80	0,60	—	30,00	1,48	128,44	331,09	53,15	253,97	196,16	24,56	93,11	37,66	160,10	175,59
<b>B09_SKI</b> 3,00-3,45m	0,34	0,57	0,14	—	—	—	0,08	—	1,87	—	4,52	10,29	3,13	34,76	6,09	1,21	6,59	2,04	11,94	—
<b>B00-6,45m</b> GM	0,25	0,38	4,70	2,36	0,15	—	0,08	—	62,67	0,06	2,26	5,52	0,96	4,95	2,26	0,44	1,74	0,61	3,07	—

Çizelge 8. Güllük Mahallesi kuyularına ait grup semböli, su muhtevası,  $G_s$  kabul aralığı, hesaplanan  $e_1$ ,  $e_2$  ve  $n_1$ ,  $n_2$  aralıkları, granülometri eğrilerinden okunan,  $D_{60}$ ,  $D_{50}$ ,  $D_{30}$ ,  $D_{10}$ ,  $I_0$  değerleri ve hesaplanan  $C_c$  değerleri, farklı yaklaşımlarla hesaplanan geçirgenlik katsayıları (H: Hazen, K-C: Kozeyn-Carman, B: Breyer, S: Slichter, T: Terzaghi, U: USBR, A-S: Alyamani-Sen). Granülometri eğrilerinden okunan  $D_{10}$  ve hesaplanan U değerleri olup, koyu renk gösterilenler ise kabul edilen değerlerdir.

Table 8. Group symbol, natural density, water content,  $G_s$  acceptance interval and calculated  $e_1$ ,  $e_2$  and  $n_1$ ,  $n_2$  intervals,  $D_{60}$ ,  $D_{50}$ ,  $D_{30}$ ,  $D_{10}$ ,  $I_0$  values that are read from grain size curve, and the calculated  $C_c$  values that belong to Güllük area boreholes (H: Hazen, K-C: Kozeyn-Carman, B: Breyer, S: Slichter, T: Terzaghi, U: USBR, A-S: Alyamani-Sen).  $D_{10}$  and U values are read and calculated from grain size distribution curves, respectively. The accepted values are shown with bold.

Grup Semböli	$n_1$	$n_2$	$D_{60}$	$D_{50}$	$D_{30}$	$D_{10}$	$I_0$	U	$C_c$	H	K-C	B	S	T	USBR	A-S				
<b>GR15 SKI</b>	0.34	0.57	0.08	—	—	0.08	—	1.01	—	4.52	10.29	3.13	34.76	6.76	1.21	6.59	2.04	11.94	—	—
CL	0.34	0.51	0.12	—	—	0.08	—	1.60	—	4.52	8.78	3.13	19.17	6.26	1.21	4.57	2.04	8.16	—	—
5.0-5.45m	0.31	0.46	1.18	0.80	0.20	0.12	0.08	19.13	0.44	4.07	8.14	2.35	12.53	4.13	0.96	3.57	1.58	9.24	0.34	4.68
5.5-6.95m	0.24	0.36	3.50	4.90	2.36	1.00	0.08	72.37	13.33	2.06	5.15	0.85	4.06	2.16	0.40	1.49	0.52	2.57	44.92	6.39
<b>GR25 SKI</b>	0.31	0.46	1.60	1.20	0.80	0.60	0.08	21.33	5.33	3.76	7.53	2.17	11.50	3.44	0.82	3.26	1.46	5.77	13.87	2.08
4.0-4.45m	0.25	0.53	1.50	0.90	0.20	0.09	0.08	20.00	0.16	2.26	9.28	0.96	23.39	3.51	0.44	5.12	2.30	0.16	—	—
6.0-6.45m	0.31	0.46	2.40	1.15	0.65	0.30	0.08	32.00	2.35	3.76	7.53	2.17	11.59	3.00	0.82	3.26	1.46	5.77	2.32	2.08
7.5-7.95m	0.31	0.46	3.00	1.60	0.70	0.34	0.08	40.00	2.18	3.76	7.53	2.17	11.59	2.75	0.82	3.26	1.46	5.77	3.76	2.08
<b>GR35 SKI</b>	0.31	0.46	1.40	0.70	0.15	0.10	0.08	18.67	0.22	3.76	7.53	2.17	11.59	3.58	0.82	3.26	1.46	5.77	0.23	4.68
10.5-10.95m	0.31	0.46	5.30	3.60	0.90	0.35	0.08	73.33	1.97	3.76	7.53	2.17	11.59	2.02	0.82	3.26	1.46	5.77	11.36	1.18
<b>GR75 SKI</b>	0.25	0.53	0.65	0.30	0.10	0.08	0.08	8.67	0.21	2.26	9.28	0.96	23.39	4.43	0.44	5.12	0.61	9.30	—	—
GR107 SKI	0.25	0.53	0.35	0.14	—	—	0.08	—	4.67	—	2.26	9.28	0.96	23.39	5.02	0.44	5.12	0.61	9.30	—
6.0-6.45m	0.25	0.53	0.85	0.50	0.10	—	0.08	—	11.19	0.16	2.32	9.53	0.99	24.02	4.45	0.45	5.33	0.63	9.55	—
GR141 SKI	0.25	0.53	0.95	0.70	0.20	—	0.08	—	12.67	0.56	2.26	9.28	0.96	23.39	4.01	0.44	5.12	0.61	9.30	0.23
3.0-3.45m	0.25	0.53	0.90	0.60	0.20	0.10	0.08	—	12.00	0.59	2.26	9.28	0.96	23.39	4.06	0.44	5.12	0.61	9.30	0.23
7.5-7.95m	0.31	0.46	1.15	0.95	0.65	0.35	0.08	0.04	15.33	4.90	3.76	7.53	2.17	11.58	3.00	0.82	3.26	1.46	5.77	4.02
3.0-3.45m	0.31	0.46	2.00	1.20	0.60	0.30	0.08	0.04	26.67	2.40	3.76	7.53	2.17	11.58	3.19	0.82	3.26	1.46	5.77	4.02
6.0-6.45m	0.25	0.53	2.30	0.92	0.14	—	0.08	—	30.26	0.11	2.32	9.53	0.99	24.02	3.14	0.45	5.33	0.63	9.55	—
1.5-1.95m	0.25	0.53	1.80	1.20	0.70	0.33	0.08	—	24.00	3.63	2.26	9.28	0.96	23.39	3.31	0.44	5.12	0.61	9.30	3.51
3.0-3.45m	0.34	0.51	0.23	—	—	—	0.08	—	3.07	—	4.52	8.78	3.13	19.17	5.55	1.21	4.58	2.04	8.16	—
6.0-6.45m	0.34	0.51	4.50	3.00	1.10	0.70	0.18	0.10	23.00	1.50	26.01	50.57	18.04	110.43	18.80	0.45	26.33	11.77	47.03	19.78
9.0-9.45m	0.34	0.57	4.30	3.10	1.10	0.70	0.18	—	25.00	1.50	26.01	59.24	18.04	200.20	18.80	0.95	37.93	11.77	68.74	19.78
2.5-3.0m	0.25	0.53	0.40	0.08	—	—	0.08	—	5.33	—	2.26	9.28	0.96	23.39	4.85	0.4	5.12	0.61	9.30	—
6.0-6.45m	0.31	0.46	3.50	2.50	0.95	0.60	0.08	0.03	46.67	3.44	3.76	7.53	2.17	11.58	2.58	0.8	3.26	1.46	5.77	13.87
9.0-9.45m	0.31	0.46	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Geçirgenlik katsayısı hesaplamalarında Hazen, Cozeny-Carman ve USBR yaklaşımlarının yalnızca uniform birimler için uygun olduğu, oysa bu çalışmadaki birimlerin çoğunun uniform olmadığı, yani her tip tane boyutunun olmadığı, homojen özellik sunan malzemelerden oluştuğu dikkate alınır, uniformluk koşulu istemeyen Breyer, Slitcher, Terzaghi ve Alyamani-Sen yaklaşımlarının literatür ve malzeme türü ile uyumlu şekilde kabul edilebilir ölçülerde geçirgenlik katsayısı değerleri verdiğini görülmektedir. Bulunan sonuçlar, bu konuda yapılmış benzer çalışma ile de örtüşmektedir (Odong, 2008). Ancak, kil malzeme için bu yaklaşımların sağlıklı sonuçlar vermediği anlaşılmıştır.

## TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, Eskişehir yerleşim alanı Meşelik ve Tepebaşı'nın bazı bölgelerinin tane boyu analizlerine dayalı olarak geçirgenlik katsayılarının farklı yaklaşımlarla karşılaştırılması, çeşitli hesaplamalar ve grafikler yardımıyla yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1) Çalışma alanında zemin alüvyondur. Alüvyon zemin, nehir depoziti şeklinde oluşmuş olup, değişken bir profile sahiptir. Yüzeye yakın kısımlarda ince taneli olan zemin, daha aşağıda göreceli olarak daha iri taneli heterojen dağılım gösteren bir yapıya sahiptir.

2) Meşelik, Bağlar ve Güllük mahalleri olarak her 3 bölge için temsili olarak seçilen kuyularda yapılan hesaplamalar sonucunda, kuyularda geçilen belirli aralıklar için elde edilen geçirgenlik katsayılarının, ilgili aralıklarda kesilen litoloji ile kısmen uyumlu olduğu gözlenmiştir. Bu uyumluluk Breyer, Slitcher ve Terzaghi yaklaşımlarından elde edilen geçirgen-

lik katsayısı değerleri için geçerli olup, literatürde verilen geçirgenlik katsayısı aralıkları ile nispeten örtüşmektedir (Çizelge 4). Hazen, Cozeny-Carman ve USBR yaklaşımlarından elde edilen geçirgenlik katsayısı değerleri anılan yaklaşımlarda  $U < 5$  olma şartı sağlanmadığı için literatüre göre kabul edilebilir büyüklükte değildir.

3) Geçirgenlik katsayısının tane boyuna dayalı olarak değişik yaklaşımlar ile tahminine yönelik bu çalışmadan elde edilen en önemli sonuç, yaklaşımların malzemenin türüne göre seçilmesi, tane boyutunun belirleyici bir öğe olmasıdır. Ayrıca uniform olan birimler için yapılacak hesaplamalarda Hazen, Cozeny-Carman ve USBR yaklaşımlarının literatürle daha uyumlu sonuçlar verdiği izlenmiştir. Tane boyu uniform olmayan birimler için ise Breyer, Slitcher ve Terzaghi yaklaşımlarının malzeme türü ile uyumlu geçirgenlik katsayısı değerlerinin tahmin edilebildiği anlaşılmıştır.

## KATKI BELİRTME

Çalışmada verilerin sağlanmasında yardımcı olan Yrd. Doç. Dr Ahmet Orhan'a, Üç Eksen firmasından Şener Altun'a ve İsmail Korkmaz'a, makalenin hazırlanmasında katkısı bulunan Didem Yasin'e teşekkürü borç biliriz. Ayrıca bilimsel yöndeki eleştirileri ve önerileriyle makalenin geliştirilmesine önemli katkıları olan her iki hakeme de şükranlarımızı sunarız.

## KAYNAKLAR

- Alyamani, M.S., Sen, Z., 1993. Determination of Hydraulic Conductivity from Grain-Size Distribution Curves. *Groundwater*, 31, 551-555.
- ASTM, 1992. Classification of soils for engineering purposes (Unified Soil Classification System), ASTM D2487, 325-335.

- Carman, P. C., 1937. Fluid Flow through Granular Beds. *Trans.Inst.Chem. Eng.*, 15,150p.
- Carman, P.C., 1956. Flow of Gases through Porous Media. Butterworths Scientific Publications, London.
- Carrier, W.D., 2003. Goodbye Hazen; Hello Kozeny-Carman. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 129, 1054-1056.
- Cheng, C., Chen, X., 2007. Evaluation of methods for determination of hydraulic properties in an aquifer-aquitard system hydrologically connected to river. *Hydrogeology Journal*, 15, 669-678.
- DSİ, 2001a. Porsuk havzası su yönetim planı projesi hidroloji raporu, s. 223, Eskişehir.
- DSİ, 2001b. Porsuk havzası su yönetim planı projesi ara raporu, s. 248, Eskişehir.
- Esen, E., Yakal, M., Gökçen, M., Mumcu, N., Türkman, M., Dirik, M., 1975. Eskişehir ve İnönü ovaları hidrojeolojik etüt raporu. DSİ Rapor No: 40, 49 s, Ankara.
- Freeze, A.R, Cherry, J.A., 1979. Groundwater. Pentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, USA.
- Gözler, M.Z., Cevher, F. Ergül, E. Asutay, H.J., 1996. Orta Sakarya ve güneyinin jeolojisi, MTA Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Rapor no: 9973, s. 87, Ankara (yayımlanmamış)
- Hazen, A., 1892. Some Physical Properties of Sands and Gravels, with Special Reference to their Use in Filtration. 24<sup>th</sup> Annual Report, Massachusetts State Board of Health, Pub.Doc. No.34, 539-556 <http://gozips.uakron.edu/~mcbelch/documents/SpecificGravityofSoils.ppt>
- Kaçaroğlu, F., 1991. Eskişehir ovası yeraltısuyu kirliliği incelemesi. Doktora Tezi, H.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 340 s, Ankara (yayımlanmamış).
- Kozeny, J., 1927. Über Kapillare Leitung Des Wassers in Boden. *Sitzungsber Akad. Wiss.Wien Math.Naturwiss.Kl., Abt.2a*, 136, 271-306.
- McWorter, D. B., Sunada, D. K., 1977. Ground-water hydrology and hydraulics. Water Resources Publications, Littleton, Colorado.
- Odong, J., 2008. Evaluation of empirical formula for determination of hydraulic conductivity based on grain-size analysis. *Journal of American Science*, 4 (1), 1-6.
- Orhan, A., 2005. Eskişehir il merkezi güney bölümü temel zemin birimlerinin jeo-mühendislik özellikleri ve coğrafi bilgi sisteminin uygulanması. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Doktora Tezi, 125 s, Eskişehir (yayımlanmamış).
- Sezer, A., Goktepe, A.B., Altun S., 2009. Estimation of the permeability of granular soils using neuro-fuzzy system. *Artificial Intelligence Applications in Environmental Protection Workshop collocated with 5<sup>th</sup> IFIP Conference on Artificial Intelligence Applications and Innovations*, Thessaloniki, Greece, April 23-25, 86-95.
- Shepherd, G.R., 1989. Correlations of permeability and grain size. *Ground Water*, 27 (5), 633-638.
- Terzaghi, K., Peck, R.B., 1964. Soil Mechanics in Engineering Practice. Wiley, New York.
- Tosun, H., Türköz, M., Orhan, A., Çamdalı, B., 2001. Meşelik killilerinin geoteknik özellikleri, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Fonu Raporu no:1999-15015, s. 86, Eskişehir.
- Vukoic, M., Soro, A., 1992. Determination of hydraulic conductivity of porous media from grain-size composition. Water Resources Publications, Littleton, Colorado
- Yüce, G., 2007. Spatial distribution of groundwater pollution in the Porsuk river basin (PRB), Turkey. *International Journal of Environment and Pollution*, 30, 539-547.
- Yüce, G., Kuran, U., Gördük, S., 2001. Yeraltısı seviye değişimleri ile depremler arasındaki ilişkinin araştırılması: Eskişehir civarındaki gözlemler. ATAG-5 Toplantısı, 37-38, Ankara.
- Yüce, G., Pınarbaşı, A., Özçelik, Ş., 2002. Eskişehir ovası yeraltısuyu kirliliğinin incelenmesi.

Güneş ve Yüce

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Araştırma projesi sonuç raporu, Proje No: 2001/28, s.135, Eskişehir.

Yüce, G., Pınarbaşı, A., Özçelik, Ş., Uğurluoğlu, D., 2006. Soil and water pollution derived from

anthropogenic activities in the Porsuk River Basin, Turkey. *Environmental Geology*, 49 (3), 359–375.

## Zeminlerin Likit Limitinin Tek Nokta Koni Batma Yöntemiyle Belirlenmesi

*Determination of Liquid Limit of Soils Using One Point Fall Cone Method*

**Nihat DİPOVA**

*Akdeniz Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kampüs, ANTALYA*

### ÖZ

Likit limit, zeminlerin önemli tanımlama parametrelerinden biri olup Casagrande ve koni batma olmak üzere 2 standart yöntemle belirlenir. Koni batma yöntemi ile likit limit belirlenmesi konik uçlu bir metalin hazırlanan homojen bir zemin çamuru içine kendi ağırlığı ile batırılması esasına dayanır. Casagrande yöntemine göre daha az operatör bağımlı olması ve daha kesin sonuçlar vermesine rağmen, koni batma yöntemi ile çok sayıda deney yapılması gerektiğinde TS 1900 de öngörülen 4 deney yöntemi çok zaman almaktadır. Bu çalışmada 138 adet kil örneği üzerinde koni batması yöntemiyle likit limit deneyi yapılmış ve deney sonuçları istatistiksel yöntemlerle incelenerek tek nokta ile likit limitin belirlenmesi konusu araştırılmıştır. Yapılan deneysel ve istatistiksel çalışmalar sonucunda likit limitin tek nokta koni batma deneyinden elde edilmesine yönelik 3 adet görgül eşitlik elde edilmiş ve bunlardan “ $LL = W / (0.33 * (P/20) + 0.66)$ ” eşitliğinin en güvenilir sonucu verdiği anlaşılmıştır. 4 nokta deney yapıldığında deneyde yapılan hatalar eğilim doğrusu çizilmesi suretiyle paylaşıldığından, bulunan LL değerine daha az yansımaktadır. Ancak tek nokta yönteminde yapılan hatalar doğrudan LL değerine yansıtacağından, tek nokta yönteminde deneyle ilgili tüm ayrıntılara daha fazla özen gösterilmelidir. Likit limitin koni batma yöntemi ile belirlenmesi Türk Standartları’nda önerilen yöntem olmasına rağmen, tek nokta deney konusundan bahsedilmemektedir. Diğer ülkelerin standartlarında olduğu gibi Türk standartlarında da tek nokta yöntemine yer verilmesinin yerinde olacağı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Kıvam limitleri, Koni batma, Likit limit, Tek nokta.

### ABSTRACT

*Liquid limit is one of the important soil index parameters and it is determined by means of two standard methods; Casagrande and fall-cone methods. Determination of liquid limit by fall-cone is based on penetration of cone shaped metal object into a homogeneously prepared soil mud with free fall. Even though it is less operator dependent and it gives more accurate results, compared to the Casagrande method, standard 4 point fall-cone method as imposed in TS 1900, takes long time when too many samples are to be tested for identification purposes. In this study 138 clay samples were tested with fall-cone method, test results were evaluated statistically and determination of liquid limit by means of one point fall-cone was investigated. After the experimental and statistical studies, 3 empirical equations were developed and “ $LL = W / (0.33 * (P/20) + 0.66)$ ” equation seemed to be more reliable. Faults to happen*

during the application of standard 4 point method are reflected on the graph and after drawing a trend line, these faults will be distributed along the trend line. However in the one point method faults will be reflected directly on a single liquid limit value. Therefore, in one point method, test procedure should be obeyed carefully. Although the fall-cone liquid limit test method is proposed method in Turkish Standards, one point method is not mentioned. As in the standards of other countries, it is thought to be appropriate that Turkish Standards include one point fall-cone method.

**Key Words:** Consistency limits, Fall cone, Liquid limit, One point.

## GİRİŞ

Zeminler için 5 ayrı kıvam limiti (kohezyon limiti, yapışma limiti, büzülme limiti, plastik limit ve likit limit) ilk kez 1911’de Atterberg tarafından tanımlanmıştır. Bu kıvam limitlerinden likit limit (LL) zeminlerin önemli indeks parametrelerinden birisini oluşturmaktadır. Bir mühendislik parametresi olarak likit limitin deneysel olarak belirlenmesi Casagrande (1932) tarafından gerçekleştirilmiştir. Casagrande’nin bu amaçla geliştirmiş olduğu cihaz, günümüzde de kullanılmaktadır (TS 1900, ASTM D 4318, BS 1377). Bir zeminin Casagrande yöntemiyle belirlenen likit limiti, deney düzeneğindeki düşürme levhasının cinsine, operatörün performansına, oluk açma bıçağı ile ayrılan parçaların birlikte kayma eğilimine ve zemin türüne bağlı olarak geniş bir aralıkta değişim göstermektedir (Johnston ve Strohm, 1968; Wroth ve Wood, 1978; Whyte, 1982; Lee ve Freeman, 2007). Bu nedenle, deney uygulamasının zorluğunun yanı sıra, deney sonucunda elde edilen grafiğin regresyon katsayısı çoğu zaman düşük çıkmaktadır. Alternatif yöntem olarak “koni batma (penetrasyon) yöntemi” geliştirilmiştir. Koni batma yöntemi Casagrande yöntemine göre daha kolay olmasının yanı sıra daha az operatör bağımlı bir yöntemdir. İngiltere, Hindistan, İsveç ve Kanada’da olduğu gibi Türkiye’nin zemin mekaniği laboratuvar deneyleri ile ilgili standardı TS 1900 (TSE, 1987)’de de koni batma yöntemi “önerilen metot”, Casagrande yöntemi ise “yedek

metot” olarak yer almaktadır. Ölçüm mekanizmaları birbirinden farklı olduğundan, bazı araştırmacılar (Wasti ve Bezirci, 1986; Sridharan ve Nagaraj, 1999; Sridharan vd., 1999; Mendoza ve Orozco, 2001; Orhan vd., 2006) Casagrande cihazı ve koni batma yöntemi kullanarak elde ettikleri likit limit sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Likit limit değeri yaklaşık 100’e kadar her iki yöntem arasındaki fark çok fazla değilken, likit limit değeri % 100’ün üzerine çıktığında Casagrande yöntemi belirgin bir şekilde koni yöntemine göre yüksek sonuçlar vermektedir. Standard yöntem olarak kullanılan bu 2 yöntem alternatif olarak Kayabalı ve Tüfenççi (2010) çapı 38 mm olan hazne ile ortasındaki deliğin çapı 6 mm olan pistondan oluşan bir düzenek ile gerçekleştirilen ters ekstrüzyon yöntemini geliştirmişlerdir. Bu deneyde likit limit, 38 mm çapındaki hazne ile 6 mm delikli pistondan oluşan ters ekstrüzyon deney düzeneğinde 30 kPa gerilme altında akma gözlenen zeminin su içeriği olarak tanımlanmıştır.

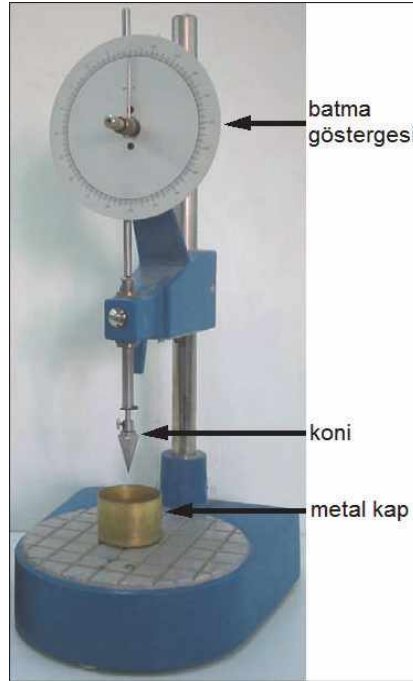
Casagrande yönteminde 4 nokta elde etmek için deneyin 4 kez tekrarlanması zaman kaybına neden olduğundan likit limitin tek nokta ile belirlenmesi araştırmalara konu olmuştur. “ $LL=W.(N/25)^{\tan\beta}$ ” eşitliğindeki “ $\tan\beta$ ” değerini Olmstead ve Johnston (1955) 0.135, Norman (1959) 0.092, Eden (1960) 0.108 olarak belirlemişlerdir. Casagrande yöntemine göre daha kolay olmasına rağmen, koni batma yöntemi ile çok sayıda deney yapılması

gerektiğinde 4 deney yöntemi çok zaman almaktadır. Bu çalışmada 138 adet kil örneği üzerinde koni batması yöntemiyle yapılmış likit limit deneyi sonuçları istatistiksel yöntemlerle incelenerek tek nokta deney ile likit limitin belirlenmesi konusu araştırılmıştır.

## KONİ BATMA YÖNTEMİ

Koni batma yöntemi ile likit limit belirlenmesi konik uçlu bir metalin kendi ağırlığı ile önceden belirli bir su içeriğinde hazırlanan homojen zemin çamuru içine batırılması esasına dayanır (Şekil 1). Zeminin su içeriği ile batma derinliği arasında ters ilişki vardır. Dünyada değişik özelliklerde koniler kullanılmakta olup,

bunlardan birisi “İsveç konisi” olarak bilinen tepe açısı  $60^\circ$  ve ağırlığı 60 g olan ve 10 mm batmanın likit limite karşılık geldiği konidir. Bir diğeri “İngiliz konisi” olarak bilinen tepe açısı  $30^\circ$ , ağırlığı 80 g olan ve 20 mm batmanın likit limite karşılık geldiği konidir. Çin’de  $30^\circ/76$  g koni kullanılmakta ve 17 mm batma likit limite karşılık gelmekte, Bulgaristan, Yugoslavya ve Rusya’da yine  $30^\circ/76$  g koni kullanılmakta ancak 20 mm batma likit limite karşılık gelmekte, Fransa’da ise İngiliz konisi ( $30^\circ/80$  g) kullanılmakta, ancak 17 mm batma likit limite karşılık gelmektedir (Leroueil ve Le Bihan, 1996). Ülkemizde TS 1900 (TSE, 1987)’de öngörülen koni, tepe açısı  $30^\circ$ , ağırlığı 80 g olan koni tipidir.



Şekil 1. Koni batma deney düzeneği

Figure 1. Fall cone apparatus.



TS 1900 (TSE, 1987) 'e göre 400 mikronluk elekten geçirilmiş 200 g numune cam plaka üzerinde palet bıçaklar (spatula) kullanılarak suyla çamur haline getirilir. Hazırlanan homojen çamur metal deney kabına içinde hava kabarcığı kalmayacak şekilde sıkıca yerleştirildikten sonra yüzeyi çelik cetvelle düzlenir ve penetrometre tabanına yerleştirilir. Zeminin hemen tümünün 400 mikronluk elekten geçeceğinin görüldüğü durumlarda, iri taneler karıştırma sırasında elle ayıklanarak, deney doğal su içeriğinde yapılabilir. Koninin zemine batması için 5 sn süreyle koni serbest düşmeye bırakılır ve bu süre sonunda batma miktarı ölçülür. Batan koni çevresinden örnek alınarak zeminin su içeriği belirlenir. Bu işlem artan su içerikleri için 4 kez tekrarlanır. 4 deney için batmaya karşı su içeriği grafiği oluşturulur ve 4 noktanın doğrusal eğilim çizgisi çizilir. Bu eğilim çizgisinde 20 mm batmaya karşılık gelen su içeriği zeminin likit limiti olarak kabul edilir. Yapılan deneyin kalitesi deney eğrisinin regresyon eğrisine yansımaktadır. Kaliteli bir deneyde  $R^2$  değerinin 1'e yakın olması gerekir. Deneyde kaliteyi artırmak için bazı hususlara dikkat edilmesi gerekir. Karışımın homojen olması için çamur yeterince karıştırılmalıdır. Homojenliğin kontrolü karışımda kıvam farkı ve renk farkı olmaması ile sağlanır. Koni ve deney kabının her

denemeden sonra temizlenmesi ve kurulanması gerekir. Her bir denemede çamurun su içeriği, penetrasyon değerlerinin 15 ile 25 mm arasında olacağı biçimde ayarlanmalı ve deney kurudan ıslak karışıma doğru yürütülmelidir.

Koni batma yönteminin Casagrande yöntemine göre avantajları olmakla birlikte, özellikle büyük projelerde tanımlama amaçlı çok sayıda deney yapılması gerektiğinde 4 deney yöntemi çok zaman almaktadır. Bu nedenle bazı araştırmacılar tarafından (Clayton and Jukes, 1978; Nagaraj ve Jayadeva, 1981; Federico, 1983; Leroueil ve Le Bihan, 1996) yalnızca bir deney yapılarak likit limitin belirlenmesi araştırılmıştır. Clayton ve Jukes (1978) çalışması sonucunda elde edilen düzeltme katsayısına dayalı yöntem İngiliz Standardları'nda (BS 1990, BS:1377), Nagaraj ve Jayadeva (1981) yöntemi ise Hindistan Standardları'nda (IS 1983, IS:2720) yer almıştır. Kanada Standartları'nda da tek deney likit limit yöntemi bulunmaktadır (CAN/BNQ, 1986). Clayton and Jukes (1978) yöntemi 15-25 arasındaki penetrasyon değerlerine karşılık gelen su içeriklerinin 0.909-1.098 arasında değişen düzeltme katsayıları ile çarpımına dayanan amprik bir yaklaşımdır. Diğer çalışmalarda ise istatistiksel analizler yardımı ile Çizelge 1'de verilen tahmin eşitlikleri üretilmiştir.

Çizelge 1. Likit Limitin (LL) tek nokta koni batma deneyi ile belirlenmesi için literatürde önerilen eşitlikler

Table 1. Equations given in the literature for determination of liquid limit (LL) by means of one point fall cone.

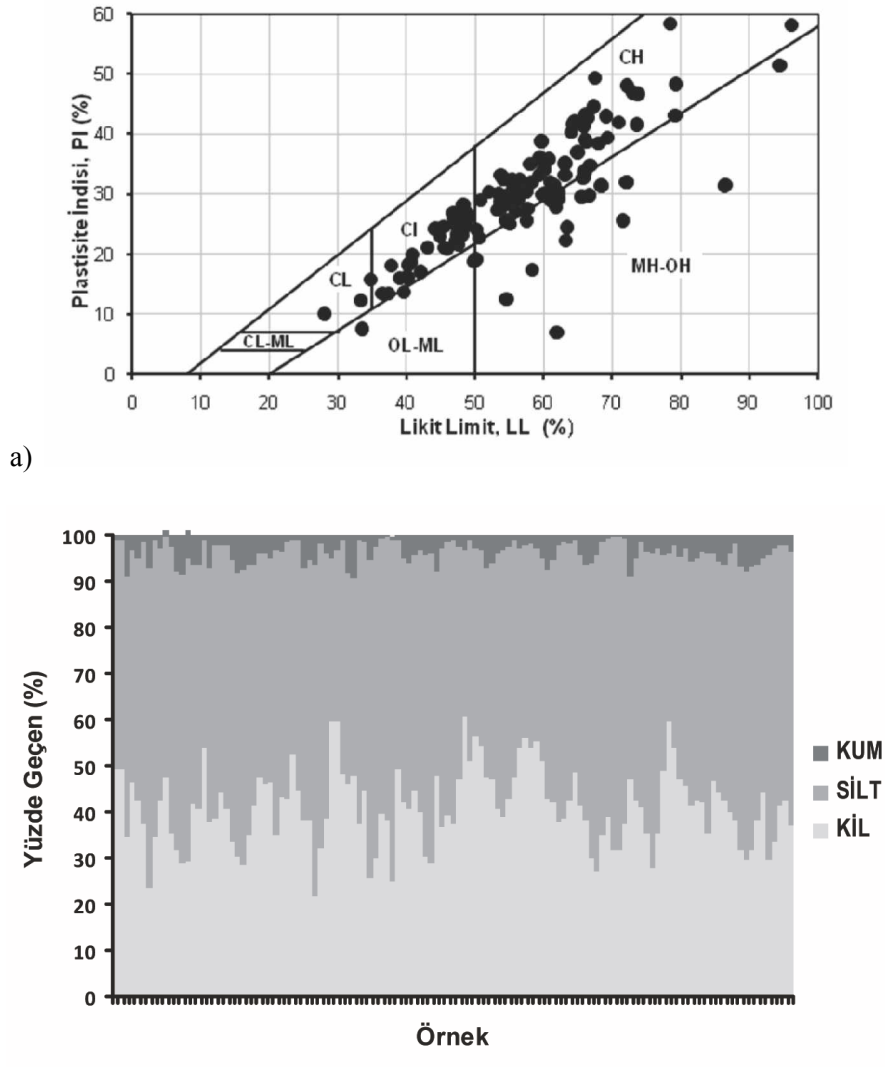
Nagaraj ve Jayadeva (1981)	$LL=W/(0.65+0.0175*P)$
Federico (1983)	$LL=W/(0.102+0.688*LogP)$
Leroueil ve Le Bihan (1996)	$LL=(40*(W-15)/(P+20))+15$
IS 2720 (1983)	$LL=W/(0.77*LogP)$

P=Batma derinliği (mm), W=Su içeriği (%)

## DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çalışma kapsamında yapılan deneylerde kullanılan zemin örnekleri çoğunlukla orta ve yüksek plastisiteli kil özelliğinde olup az miktarda düşük plastisiteli ve organik içerikli

zeminler de bulunmaktadır. Toplam 138 adet zemin örneği Antalya ilçeleri olan Korkuteli, Manavgat, Konyaaltı, Muratpaşa ve Alanya'dan alınmıştır. Örneklere ait plastisite ve tane boyu özellikleri Şekil 2'de sunulmaktadır.



Şekil 2. Deneylerde kullanılan zemin örneklerinin kıvam (a) ve tane boyu (b) özellikleri.

Figure 2. (a) Consistency, and (b) grain size properties of the soil samples which were used in the tests.

Araştırma kapsamında yapılan deneyler TS 1900'de öngörülen yöntemle göre koni tepe açısı 30°, ağırlığı 80 g olan koni kullanılarak 4 nokta belirlenmesi esasına dayalı olarak yapılmıştır. Deney örnekleri havada kurutulup 400 mikronluk elekten elendikten sonra damıtık su kullanılarak tekrar çamur haline getirilmiştir. İlgili standarda deneylerde batma değerlerinin 15-25 mm arasında kalması öngörülmesine rağmen, batma miktarı değişkeninin deney sonuçlarına etkisinin anlaşılması amacıyla daha geniş aralıkta batma değerleri (10-30 mm) uygulanmıştır. Batma değerlerine karşılık gelen su içerikleri koninin battığı bölgeden küçük bir örnek alınıp 105°C'lik etüvde 24 saat kurutulması ile belirlenmiştir. Deney sonuçları bir işlem sayfasında depolanarak değişkenler arası ilişkiler istatistiksel yöntemlerle araştırılmış ve görgül tahmin eşitlikleri üretilmiştir.

### İSTATİSTİKSEL ÇALIŞMALAR

4 nokta yöntemiyle yapılan tekil deney sonuçları incelendiğinde, her bir deney için su içeriği-batma (W-P) grafiğinin eğilim çizgisinin doğrusal olduğu ve regresyon katsayılarının  $R^2=0.99$  civarında olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca deneylere ait eğilim çizgilerinin eğiminin benzerlik gösterdiği fark edilmektedir (Şekil 3). Her bir deney için deney doğrusunun denklemi;

$$W=a*P+b \quad (1)$$

olarak yazılabilir. Bu durumda  $P=20$  mm için su içeriğini tahmin ederek likit limiti (LL) belirlemek mümkün olacaktır.

$$LL=W+(20-P)*a \quad (2)$$

LL: Likit limit

P : Batma derinliği (mm)

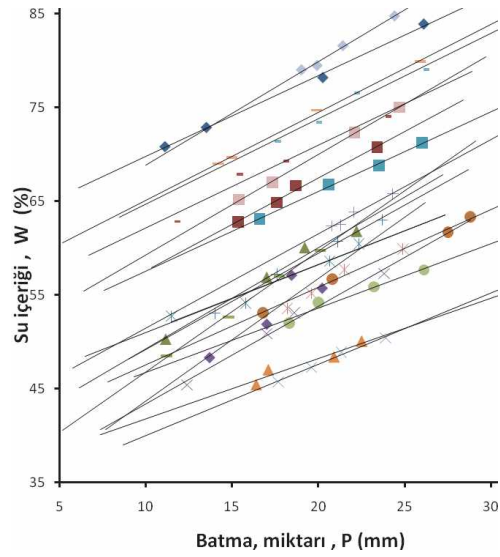
W : Su içeriği (%)

a : Eğilim doğrusunun eğimi

Eşitlik 2'nin çözümü için "a" eğiminin tahmini gerekmektedir. Bu değer belirlenmesi için teorik ya da ampirik yollar denenmiş ancak anlamlı bir ilişki bulunamamıştır. Alternatif bir yol izlenerek tüm deneylere ait a değerleri bir histogram yardımı ile incelenmiştir. Şekil 4 te gösterilen histograma göre en yüksek yüzde frekans  $a=0.8$  değerinde elde edilmiştir. Aritmetik ortalama ise  $a=0.93$  tür. Her iki a değeri için LL değerleri tahmin edilmiş ve ölçülen LL değerleri ile karşılaştırılmıştır. Aritmetik ortalama kullanılarak hesaplanan LL değerleri ölçülen değerlere daha yakın olduğundan,  $a=0.93$  olarak alınabileceği görülmüştür. Bu durumda eşitlik 2, eşitlik 3'e dönüşür.

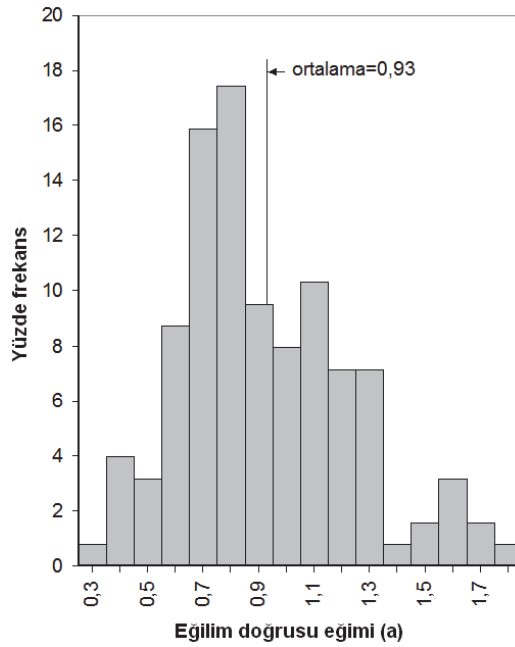
$$LL=W+(20-P)*0.93 \quad (3)$$

Eşitlik 3 kullanılarak tahmin edilen likit limit değerlerine karşılık doğrudan ölçülen likit limit değerleri Şekil 5a' daki grafikte gösterilmektedir. Her bir deney düşünüldüğünde batma (P) değeri 20 ye yaklaştıkça tahmin edilen ve ölçülen değerler arasındaki fark azalmakta, batma değeri 20 den uzaklaştıkça fark da artmaktadır. Bu durum tahmin edilen değerlerin yüzde hata değerlerinin hesaplanması ve bir histogramda gösterilmesi ile araştırılmıştır (Şekil 5b). Tahmin edilen değerlerin tümü için yüzde hata standart sapması = 3.06, aritmetik ortalaması = 0.31'dir.



Şekil 3. Standard 4 nokta koni batma yöntemi ile elde edilen W-P grafikleri.

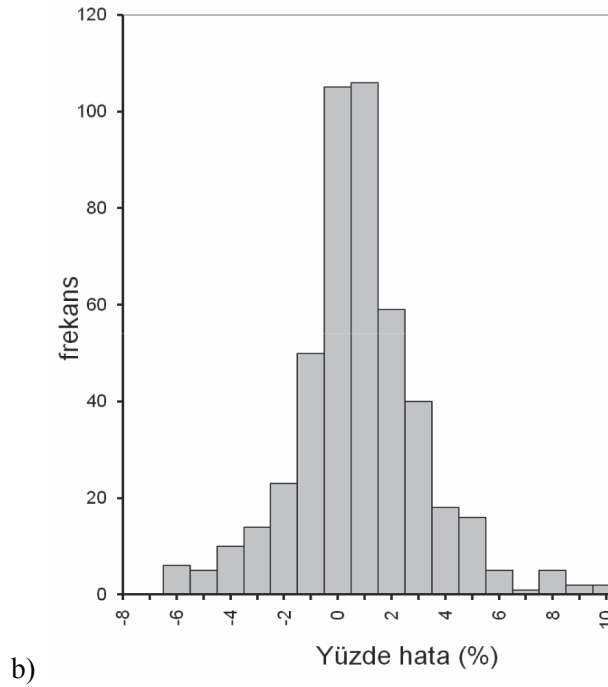
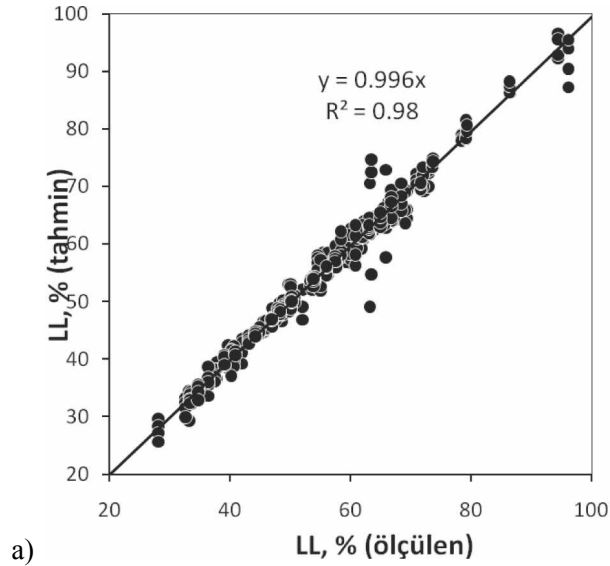
Figure 3. W-P graphs obtained after standard 4 point fall cone method.



Şekil 4. Eğilim doğrusu eğimlerinin (a) histogramı

Figure 4. The histogram of slopes (a) of trend lines.

Dipova



Şekil 5. a) Eşitlik 3 kullanılarak tahmin edilen likit limit değerlerinin ölçülen değerlerle karşılaştırması, b) Tahmin edilen değerlerin ölçülenlere göre yüzde hata dağılımı (Standart sapma = 3.06, Aritmetik ortalama = 0.31).

Figure 5. a) Comparison between measured and estimated (using equation 3) liquid limit values, b) Distribution of percent differences between liquid limits which are measured and estimated (Standard deviation = 3.06, Arithmetical mean = 0.31).

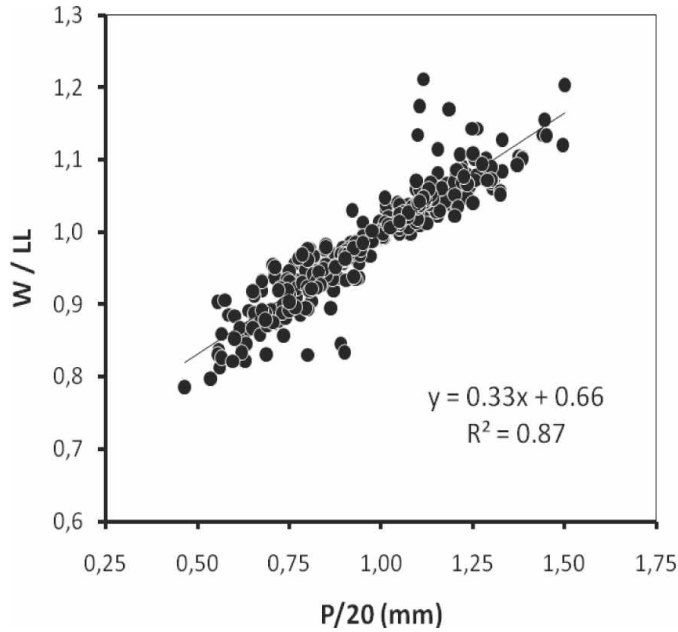
Deney sonuçlarının analizinden, her bir deneyde su içeriği değerlerinin likit limit ile normalize edilmiş halinin (W/LL) batma derinliğinin standart batma değerine oranı (P/20) ile ilişki içinde olduğu ( $R^2 = \% 87$ ) görülmektedir (Şekil 6). Bu ilişkinin denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$W/LL = 0.33*(P/20) + 0.66 \quad (4)$$

Buradan da zeminin likit limiti tek nokta verisinden:

$$LL = W / (0.33*(P/20) + 0.66) \quad (5)$$

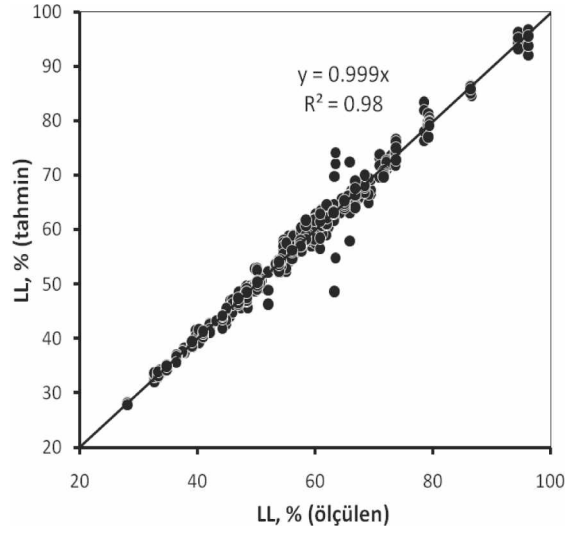
olarak elde edilebilir. Eşitlik 5 kullanılarak tahmin edilen likit limit değerlerine karşılık doğrudan ölçülen likit limit değerleri Şekil 7a'daki grafikte gösterilmektedir. Tahmin edilen ve ölçülen değerler arasındaki fark yüzde hata değerlerinin hesaplanması ve bir histogramda gösterilmesi ile araştırılmıştır (Şekil 7b). Tahmin edilen değerlerin tümü için standart sapma = 2.74, aritmetik ortalama = 0.055'tir.



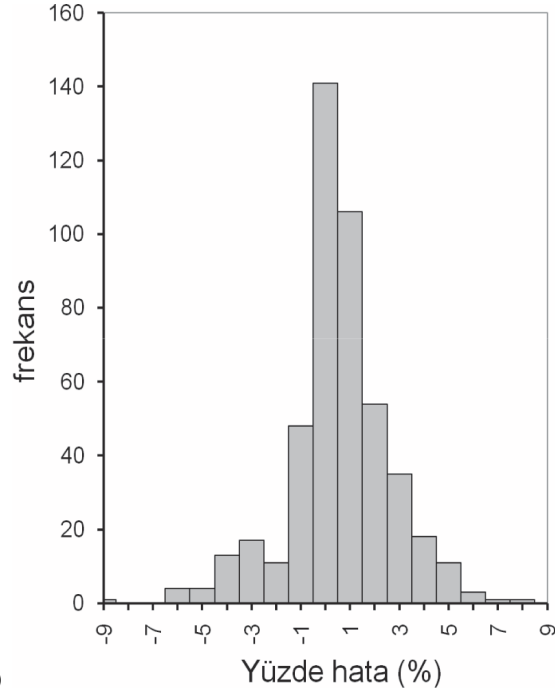
Şekil 6. W/LL - P/20 grafiği.

Figure 6. Relationship between (W/LL) and (P/20).

Dipova



a)



b)

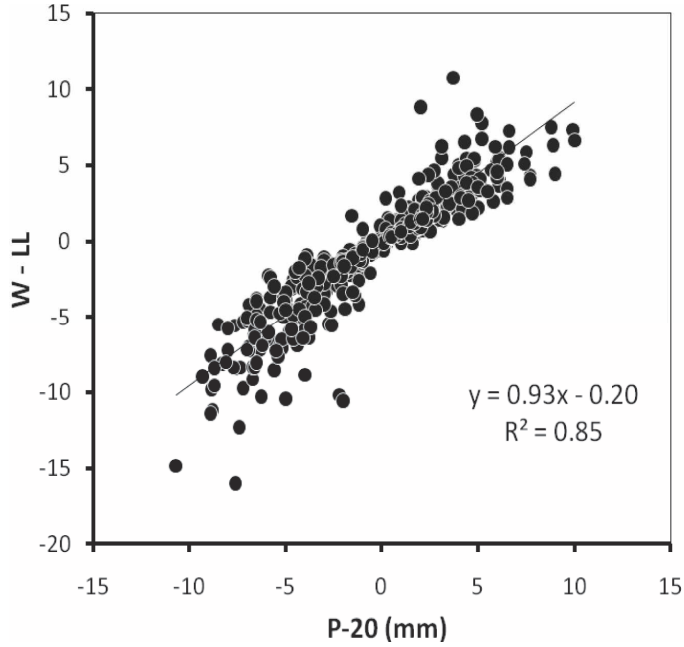
Şekil 7. a) Eşitlik 5 kullanılarak tahmin edilen likit limit değerlerinin ölçülen değerlerle karşılaştırması, b) Tahmin edilen değerlerin ölçülenlere göre yüzde hata histogramı (Standard sapma=2.74, Aritmetik ortalama=0.055).

Figure 7. a) Comparison between measured and estimated (using equation 5) liquid limit values, b) Distribution of percent differences between liquid limits which are measured and estimated (Standard deviation=2.74, Arithmetical mean=0.055).

Deney sonuçlarından elde edilen bir diğer ilişki ise (W-LL) ve (P-20) arasında kurulmuş ve bu ilişki Şekil 8’ deki grafikte gösterilmiştir. Bu ilişkiden de likit limit aşağıdaki eşitlikle belirlenebilir.

$$LL = W - (0.93 * (P - 20)) - 0.20 \quad (6)$$

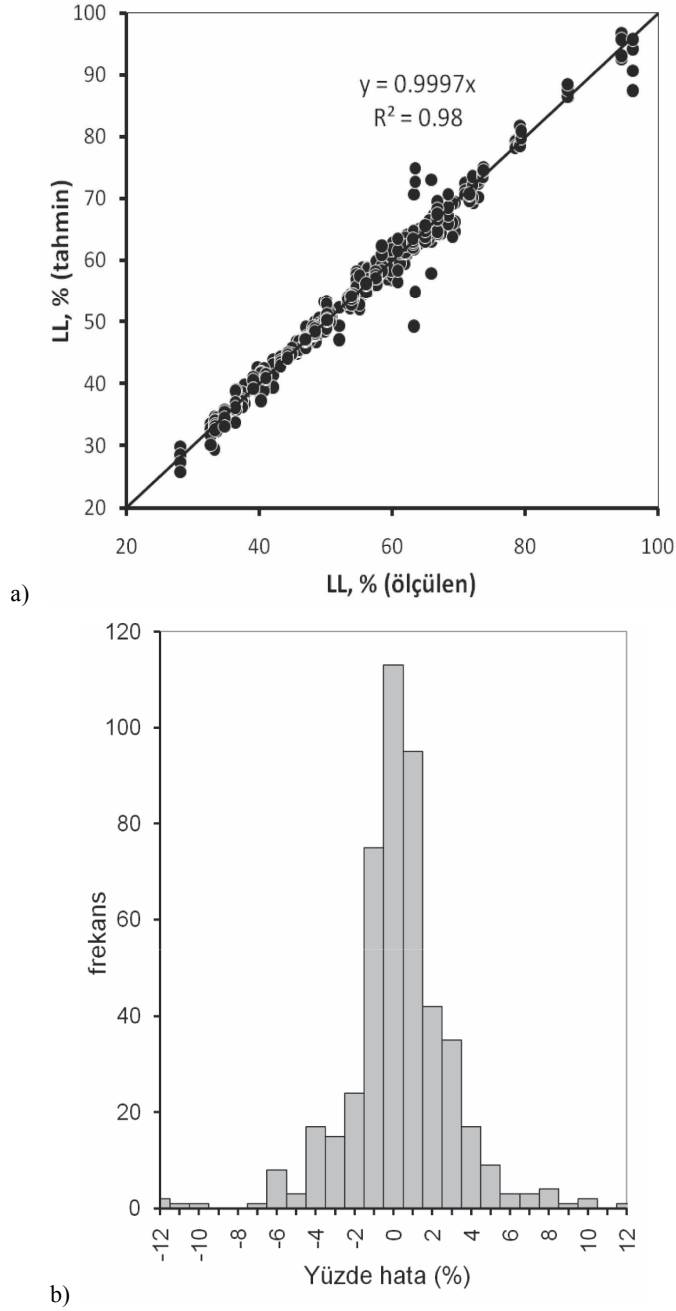
Tahmin edilen ve ölçülen değerler arasındaki farkın yüzde hata değerleri analiz edilmiş ve sonuçlar Şekil 9’da sunulmuştur (Standard sapma = 3.07, Aritmetik ortalama = -0.077).



Şekil 8. (W-LL) ve (P-20) arası ilişki.

Figure 8. Relationship between (W-LL) and (P-20).





Şekil 9. a) Eşitlik 6 kullanılarak tahmin edilen likit limit değerlerinin ölçülen değerlerle karşılaştırması, b) Tahmin edilen değerlerin ölçülenlere göre yüzde hata histogramı (Standard sapma=3.07, Aritmetik ortalama=-0.077).

Figure 9. a) Comparison between measured and estimated (using equation 6) liquid limit values, b) Distribution of percent differences between liquid limits which are measured and estimated (Standard deviation=3.07, Arithmetical mean=-0.077).

## SONUÇLAR

Zeminlerin likit limitinin belirlenmesinde koni batma yöntemi Casagrande yöntemine göre daha az operatör bağımlı olması ve daha kesin sonuçlar vermesi nedenlerinden ötürü daha fazla tercih edilmektedir. Ancak özellikle kısa sürede çok sayıda deney yapılması gerektiğinde TS 1900 de öngörülen 4 deney yöntemi çok zaman

almaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada, yalnızca bir deney yapılarak bulunan su içeriği ve buna karşılık gelen batma derinliği kullanılarak likit limitin belirlenmesi araştırılmıştır.

Yapılan deneysel ve istatistiksel çalışmalar sonucunda likit limitin tek nokta koni batma deneyinden elde edilmesine yönelik 3 adet görgül eşitlik elde edilmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Deneysel ve istatistiksel çalışmalar sonucunda belirlenen görgül eşitlikler.

Table 2. Empirical equations driven after experimental and statistical studies.

	Eşitlik	Ortalama yüzde hata	Standard sapma
1	$LL=W+((20-P)*0.93)$	0.31	3.06
2	$LL= W/(0.33*(P/20)+0.66)$	0.055	2.74
3	$LL= W-(0.93*(P-20)-0.20)$	-0.077	3.07

Çizelge 2'deki 2 numaralı eşitlik diğerlerine göre daha düşük ortalama hata ve standart sapmaya sahiptir. Ortalama yüzde hata kabul edilebilir bir değerdir. Standard sapma değerindeki yükseklik ise batma değerinin geniş aralıkta seçilmiş olmasından kaynaklanmaktadır. Yüzde hata değerleri TS 1900 de önerilen P=15-25 değerlerinin dışındaki değerler ayıklanarak tekrar analiz edildiğinde standart sapma değerinin 1.62'ye düştüğü görülmektedir. Bu nedenlerle Çizelge 2'deki 2 numaralı eşitlik, tek nokta deney ile likit limit belirlenmesi için önerilmektedir.

Koni batma yöntemi, hazırlanan çamurun homojenliğinden ve kabın ve koninin temiz ve kuru olmasından etkilenmektedir. 4 nokta deney

yapıldığında deneyde yapılan hatalar grafiğe yansımakta ve eğilim çizgisinin regresyon katsayısı düşük çıkmaktadır. Bu durumda deney tekrar yapılmakta veya eğilim doğrusu çizilmesi suretiyle hata paylaştırıldığından LL değerine bu hata az yansımaktadır. Ancak tek nokta yönteminde yapılan hatalar doğrudan belirlenen LL değerine yansımaktadır. Bu nedenle tek nokta yönteminde deneyin yapılışı ile ilgili ayrıntılara daha fazla özen gösterilmelidir.

Likit limitin koni batma yöntemi ile belirlenmesi Türk standartlarında (TS 1900) öncelikli yöntem olmasına rağmen, bunun tek nokta deney ile yapılması konusundan bahsedilmemektedir. Diğer ülkelerin standartlarında olduğu gibi Türk Standartları'nda da tek nokta

yöntemine yer verilmesinin yerinde olacağı düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- ASTM, 2000. ASTM D 4318 (American Society of Testing and Materials), Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit and Plasticity Index of Soils, Annual Book of ASTM Standarts.
- BS, 1990. BS 1377: Part 2:4.3 (British Standard Institution), Liquid Limit-Cone Penetrometer Method, England.
- CAN/BNQ, 1986. Soils-Determination of Liquid Limit by the Fall Cone Penetrometer Method and Determination of Plastic Limit. Canadian Standards Association and Bureau de normalisation du Quebec, CAN/BNQ 2501-092-M-86.
- Casagrande, A., 1932. Research on the Atterberg limits of soils. Public Roads, 13 (3), 121-136.
- Clayton, C.R.I., Jukes, A.W., 1978. A One-Point Cone Penetrometer Liquid Limit Test, Geotechnique, 28 (4), 469-472.
- Eden, W.J., 1960. Use of a one - point liquid limit procedure, NRC 5599, National Research Council, Canada, Division Of Building Research.
- Federico, A., 1983. Relationships (Cu-w) and (Cu- $\delta$ ) for remolded clayey soils at high water content. Riv. Ital. Geotec., XVII (1), 38-41.
- IS, 1983. IS 2720 Part 5, Indian Standard Code for determination of liquid limit and plastic limit of soils. Bureau of Indian standards, New Delhi.
- Johnston, M. M., Strohm, W. E., 1968. Results of second division laboratory testing program on standard soil samples, Misc. Paper 3-978, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station Vicksburg, Mississippi, USA.
- Kayabalı, K., Tüfenççi, O.O., 2010. Determination of Plastic and Liquid Limits Using the Reverse Extrusion Technique, Geotechnical Testing Journal (GTJ), 33 (1), 14-22.
- Lee, L.T., Freeman, R. B., 2007. An alternative test method for assessing consistency limits, Geotechnical Testing Journal, 30 (4), 1-8.
- Leroueil, S., Le Bihan, J. P., 1996. Liquid Limits and Fall Cones, Canadian Geotechnical Journal, 33, 793-798.
- Mendoza, M.J., Orozco, M., 2001. Quick and Reliable Procedure for Liquid Limit Determination of Fine-Grained Soils, Geotechnical Testing Journal, 24 (1), 103-108.
- Nagaraj, T.S., Jayadeva, M.S., 1981. Re-examination of one-point methods of liquid limit determination. Geotechnique, 31 (3), 413-425.
- Norman, L. E. J., 1959. The One-Point Method of Determining the Value of the Liquid Limit of a Soil, Geotechnique, 9 (1), 1-8.
- Olmstead F.R., Johnston C.M., 1955. Rapid Methods for Determining Liquid Limits of Soils, Bulletin 95, p.27, Highway Research Board, Washington.
- Orhan M., Özer M., Işık, N.S., 2006. Doğal zeminlerin likit limitinin belirlenmesinde Casagrande ve koni batma yöntemlerinin karşılaştırılması, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi, 21 (4), 711-720.
- Sridharan, A., Nagaraj, H.B., 1999. Absorption Water Content and Liquid Limit of Soils, Geotechnical Testing Journal, 22 ( 2), 127-133.
- Sridharan, A., Nagaraj, H. B., Prakash, K., 1999. Determination of the Plasticity Index from Flow Index, Geotechnical Testing Journal, 22 (2), 175-181.
- TSE, 1987. TS 1900 (Türk Standartları), İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri, TSE, Bakanlıklar, Ankara, 1987, 133 sayfa.
- Wasti, Y., Bezirci, M.H., 1986. Determination of the Consistency Limits of Soils by the Fall Cone Test, Canadian Geotechnical Journal, 23, 241-246.

Whyte, I. L., 1982. Soil plasticity and strength – a new approach for using extrusion, *Ground Engineering*, 15 (1), 16-24.

Wroth, C.P., Wood, D.M., 1978. The Correlation of Index Properties with Some Basic Engineering Properties of Soils. *Canadian Geotechnical Journal*, 15 (2), 137-145.

Dipova

## Gölbaşı Harmanlı (Adıyaman) Kömürlerinin Organik Jeokimyasal ve Petrografik Özellikleri

*Organic Geochemical and Petrographic Properties of Gölbaşı Harmanlı (Adıyaman) Coals*

Orhan KAVAK<sup>1</sup>, Selami TOPRAK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, DİYARBAKIR

<sup>2</sup>MTA Genel Müdürlüğü, MAT Dairesi, ANKARA

### ÖZ

Bu çalışma, Adıyaman–Gölbaşı–Harmanlı Mevkii’nde yer alan kömür oluşumunun olduğu havzada yapılmıştır. Tersiyer yaşlı kömürlerin kimyasal ve petrografik analizleri yapılmış, organik jeokimyasal özellikleri değerlendirilmiştir. Kömür kalite değerlendirmesi, kimyasal (nem, uçucu madde, sabit karbon, kül) ve elementer analizler (C, H, O, S, N) yapılarak ortaya konmuştur. Hüminit Ro yansıtma değerleri organik maddece zengin ve kömürlü düzeylerde %0.28 ve %0.516 arasında değişmekte olup, düşük olgunluk düzeyine karşılık gelmektedir. Bu parametre floresans renkleri, kalorifik değer (ortalama orijinal 2736, kuru 3727 Kcal/kg) ve ortalama  $T_{max}$  (422 C°) ile uyumludur. İncelenen kömürlerde organik maddeler düşük litostatik basınç nedeniyle düşük dereceli dönüşüm gösterir. GC analizinde, n-C<sub>17</sub>, n-C<sub>27</sub>, n-C<sub>30</sub> ve n-C<sub>3</sub> gibi düşük karbon sayılı n-alkanlar ile CS<sub>2</sub> ve benzen belirlenmiştir. Örneklerin GC-MS verileri triterpanoid bileşenleri mevcut olduğu saptanmış ve bunların yüksek karasal bitki bileşimlerine, gammaceran değerlerinin ise hipersalin çökelim koşullarına işaret ettiği sanılmaktadır. Organik petrografik analizlere ve kimyasal analiz verilerine bağlı olarak, Gölbaşı kömürlerinin düşük olgunlaşma derecesi gösterdikleri ve alt-bitümlü kömür - linyit kömürleşme derecelerine sahip olduğu belirlenmiştir. Rock-Eval analiz sonuçları TİP II/III karışımı ve TİP III kerojeni, ortalama 422 C°  $T_{max}$  değeri hidrokarbon türümü için olgunlaşmamış ve erken olgun düzeyi ifade eder. Kömürler baskın olarak hüminit maserallerinden meydana gelmekte, az miktarlarda da inertinit ve liptinit maseralleri içermektedirler. Gölbaşı kömürleri egemen olarak gelinit olmak üzere yüksek hüminit içerikleri ile karakteristiktir. Mineral maddeleri ise başlıca kalsit, killer ve sülfürlü minerallerdir.

**Anahtar Kelimeler:** Adıyaman - Gölbaşı, Harmanlı, Organik jeokimya, Organik petrografi, Tersiyer kömürleri.

### ABSTRACT

*This study was carried out in Gölbaşı-Harmanlı (Adıyaman) region where coal basin exists. Chemical, petrographical and organic geochemical analyses of the Tertiary aged coals were taken into consideration. Coal quality investigation along with proximate (moisture, volatile matter, fixed carbon,*

*ash) and elemental analyses (C, H, O, S, N) were performed. The huminite reflectances of organically abundant matter and coal levels were found to be between 0.28% and 0.516% which refer to low maturity levels. This parameter is compatible with fluorescence colors, calorific value (average original 2736 - dry 3727 Kcal/kg) and average  $T_{max}$  (422 °C). Organic matters of the investigated coals exhibit a low grade transformation, due to a low lithostatic pressure on them. In GC analyses, n-alkanes with low carbon numbers as n-C<sub>17</sub>, n-C<sub>27</sub>, n-C<sub>30</sub> and n-C<sub>3</sub> and CS<sub>2</sub> as well as benzen were detected. Triterpanoid component was determined with GC-MS data and tends to imply high ground continental vegetation, but gammacera values to hypersaline depositional conditions. Gölbaşı coals show sub-bituminous and lignite coalification ranks. Rock Eval analysis results show TYPE II/III and III kerogen, with average  $T_{max}$  value is 422 °C, and corresponding to the immature and premature rank for hydrocarbon generation. The coals are characterised with their abundance of huminite maceral group with small amount of inertinite and liptinite macerals. Mineral matters of the Gölbaşı coals are calcite, clays, and sulfur bearing minerals.*

**Key Words:** Adıyaman Gölbaşı, Harmanlı, Organic geochemistry, Organic petrography, Tertiary aged coals.

## GİRİŞ

Kömür önemli enerji kaynaklarımızdan biri olup, hayatımızda da önemli bir yere sahiptir. Teknolojinin gelişimine paralel olarak, insanlar bu enerji kaynağından farklı şekillerde yararlanma ihtiyacı duymuşlardır. Kömürün kullanım alanları incelendiğinde, çoğunlukla termik santrallerde elektrik enerjisi üretiminde yakıt hammaddesi olarak, ısınmada, endüstride ve demir çelik fabrikalarında kok üretiminde, gaz üretiminde kullanıldığı görülmektedir.

Ülkemizde ve dünyada endüstrinin gelişmesi ve nüfusun hızla artışı ile birlikte, enerji kaynaklarının hızlı bir şekilde tükenmesi, yeni rezervlerin bulunmasını veya farklı enerji kaynaklarının ortaya konmasını zorunlu kılmaktadır. Petrolün tükenbilir ve rezervinin çok sınırlı olması, ve buna karşın modern hayatta petrokimyasal ürünlerin oldukça geniş tüketim perspektifi sunması nedeni ile var olan rezervler dışında yeni kaynakların belirlenmesi ve kömür kökenli hidrokarbon türüm potansiyellerinin ortaya konması konuları son

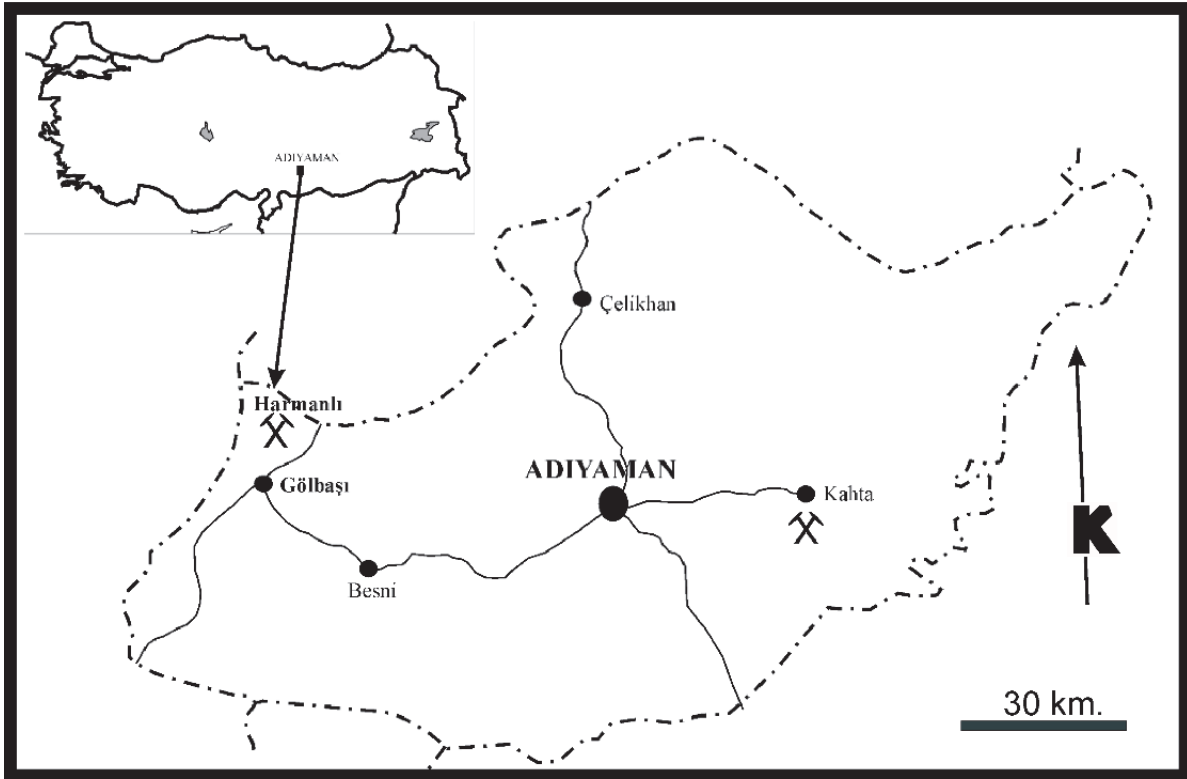
yıllarda ciddi bir şekilde araştırmacıların ilgisini çekmiştir. Özellikle karasal sedimanlar içinde yer alan organik maddelerin, basenin gömülmesiyle artan ısı ile petrol veya gaz türüm potansiyeline sahip olabileceğini gösteren bazı çalışmalar, ayrıntılı araştırmalar için temel oluşturmuştur (Hubbard, 1950). Piroiliz analizi gibi bazı laboratuvar incelemeleri sonucunda hümik özellikteki kömürlerin gaz türüm potansiyeli olduğu anlaşılmış ve çalışmalar bu alanda yoğunlaşmıştır (Durand ve Paratte, 1983; Espitalié vd., 1977, 1985; Kalkreuth vd., 1998).

Türkiye'de, özel şirketler tarafından işletilen küçük rezervli kömür yatakları, ekonomik ve endüstriyel anlamda kullanılabilecek bir enerji kaynağı olarak yeterli özelliklere sahip değildir. Özellikle ülkemizde artan enerji talebi, petrolün ithal edilmesi ve artan petrol fiyatları, kömürlerin daha verimli kullanımını ve kömür kökenli hidrokarbon türüm potansiyellerinin araştırılmasını gündeme getirmiştir. Bu konuda Zonguldak-Amasra civarındaki taşkömürlerinin gaz türüm özellikleri ile ilgili önemli çalışmalar yapılmış olup, günümüzde de bu konularda

devam eden projeler bulunmaktadır (İnan, 2007; Yalçın vd., 2007).

Bölgede, Adıyaman ili Eskikahta kuzey-doğusunda denizel marn ve kumtaşları içerisinde ince ve en fazla kalınlığı 0.02 cm olan parlak linyitler vardır. Ancak ekonomik değer taşımadıkları için bu çalışmada sadece Adıyaman-Gölbaşı-Harmanlı mevkiinde yer alan linyit

oluşumları araştırılmıştır. İnceleme alanı, Adıyaman iline bağlı Gölbaşı ilçesinin kuzey doğusundaki Harmanlı (Perveri) ve Ozan köyleri arasında kalan bölgeyi kapsamaktadır (Şekil 1). Linyit sahasının deniz seviyesinden yüksekliği 900–1000 metre arasında değişmektedir. Gölbaşı Harmanlı (Perveri) linyit kömürleri endüstrinin değişik alanlarında kullanılmaktadır.



Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru haritası

Figure 1. Location map of the study area

Kömür seviyesi, Doğu Anadolu Fayı (DAF) kontrolünde gelişmiş dar bir havzada, tabanda kırmızı renkli çamurtaşı, beyaz renkli tebeşirli kiltası ve marn ardalanması ile başlayan; üstte ise beyaz renkli tebeşirli, çok az tutturulmuş kiltası, şeyl, marn ve kireçtaşı ile temsil edilen Üst Pliyosen yaşlı birim içinde yer almaktadır. Açık işletme sahasında kömürün içinde yer

aldığı birimin asimetrik olarak kıvrımlandığı görülmektedir. Kömürler çökelimden sonra DAF tarafından sol yanal olarak ötelenmiştir. Kömür kalınlıkları değişken olup, havza ortasında kömür en büyük kalınlığa ulaşmaktadır. Sondaj çalışmalarında toplam kömürün dikey kalınlığının 3.90 - 87 m arasında değiştiği gözlenmiştir (Aydoğan, 1985; Soykan, 1997).



Kömür sahasında görünür, muhtemel ve mümkün olmak üzere toplam 60 milyon ton rezerv bulunmaktadır. Saha da 100 MW gücüne sahip “Termik Santral” ve sanayide ve ısınmada kullanılacak kömürün kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla “Kurutma Tesisi” kurulması için fizibilite çalışmaları yapılmıştır.

Bu çalışmanın amacı, Adıyaman Gölbaşı Harmanlı (Perveri) linyit sahasındaki kömürlerin organik jeokimyasal, organik petrografik ve kömür kalite özelliklerinin belirlenmesidir. Bu kapsamda, daha çok yüzey örneklerinden yararlanılarak yapılan incelemelerle, kömürlerin endüstriyel özelliklerinin yanı sıra, hidrokarbon kaynak kaya potansiyelleri de belirlenebilmiştir.

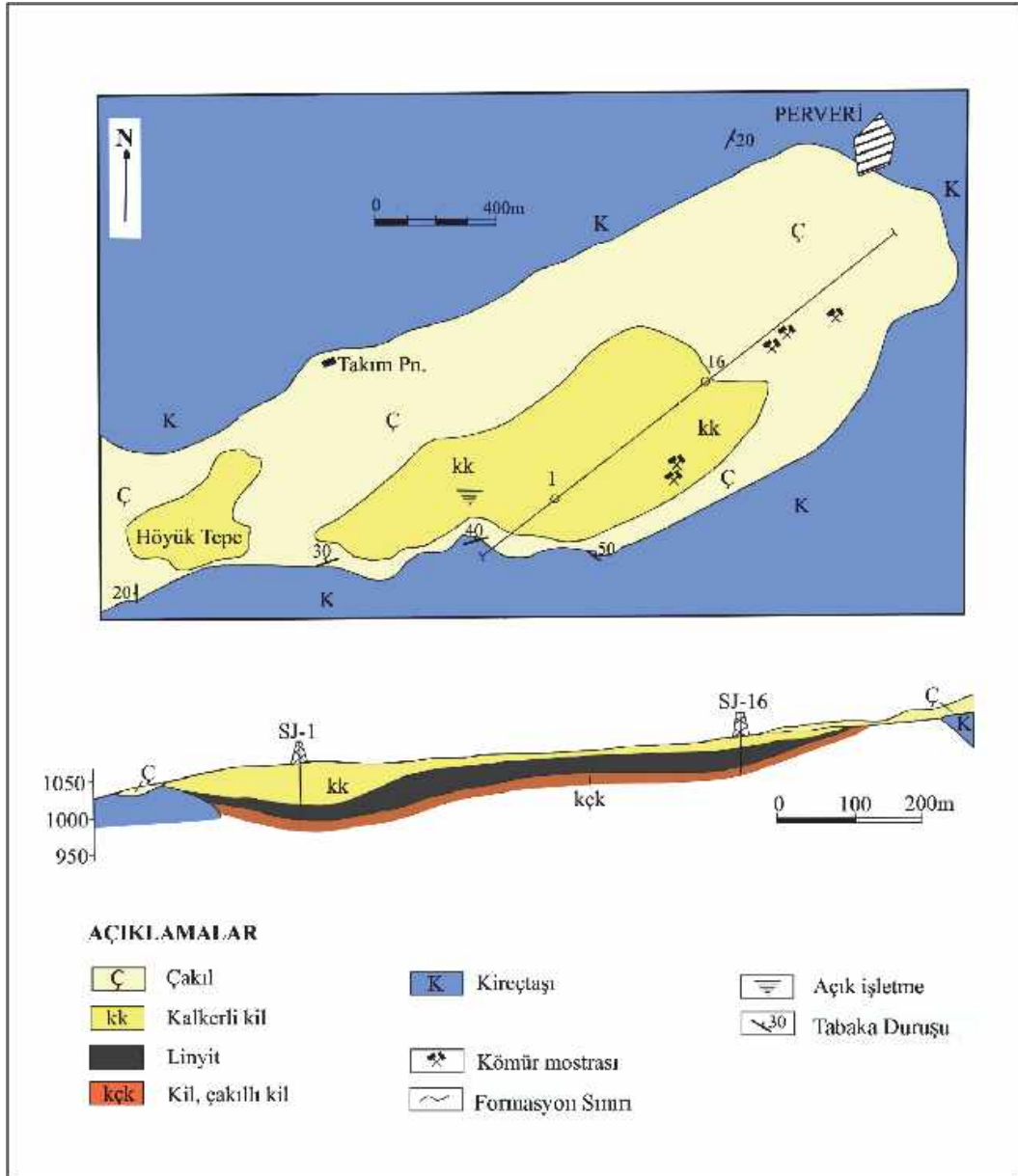
## JEOLOJİK DEĞERLENDİRME

### Jeoloji

İnceleme alanı Adıyaman iline bağlı Gölbaşı ilçesinin kuzeydoğusundaki Harmanlı (Perveri) ve Ozan köyleri arasında kalan bölgeyi kapsamaktadır. Gölbaşı'nın Ozan Köyü'ne olan uzaklığı 5 km, Harmanlı (Perveri) Köyü'ne ise 8 km'dir.

Bölge Güneydoğu Anadolu kıvrımlanmış kenar kuşağı üzerinde ve Hassa-Kahramanmaraş istikametinden gelen fay zonunun Toros yükselimi ile kesiştiği Gölbaşı civarındadır. Hassa-Kahramanmaraş-Gölbaşı çukurluğu topografik olarak bir graben görünümünde olmasına rağmen, çok yönlü ve doğrultu atımlı bir fay üzerinde yer almaktadır. Alanda Pliyosen sonrası bir tektonik hareket gözlenmemiştir. Kömürlü sahada küçük ve normal atımlı faylar vardır. İnceleme alanı genel olarak Kuvaterner birimlerle örtülü olmasından dolayı detaylı olarak çalışılmamıştır. Bölgenin en büyük kırık hattı Doğu Anadolu Fayı'dır.

İnceleme alanında Üst Kretase flişi üzerine, diskordans ile Eosen kireçtaşları ve Neojen sedimanları gelmektedir. Eosen yaşlı kireçtaşları Alp Orojenezi'nin etkisi ile kıvrılmıştır. Eosen sonrası epirojenik hareketlerle KD-GB doğrultusunda Gölbaşı çöküntüsü meydana gelmiştir (Şekil 2). Burada görüldüğü gibi kömür güneydoğuya doğru eğimli olup, bir senklinal yapma eğilimindedir. Stratigrafik dizilişi üç bölümde incelemek yerinde olacaktır: **1** ) Neojen öncesi kayaçlar **2** ) Neojen çökelleri **3** ) Neojen sonrası çökeller



Şekil 2. Jeoloji haritası ve jeolojik kesiti (Gökmen vd., 1993'den geliştirilmiştir).

Figure 2. Geological map and geologic section (developed from Gökmen et al., 1993).

**1) Neojen öncesi kayalar:** Fliş, ofiyolitler ve kireçtaşlarından oluşan kayalar Neojen'in temelini oluşturmaktadır. Fliş, inceleme alanının en yaşlı kayacıdır. Fliş serisi alacalı, yeşilimsi gri renkli marn, kumtaşı ve kireçtaşı tabakalarının ardalanmasından meydana gel-

miştir. Kumtaşı ince ve kalın taneli tabakalar halinde olup, kalker çimentoludur. Serinin üst seviyelerinde kireçtaşları baskın durumdadır. Bu kalkerlerin tavanında serpantin çakıllı demir çimentolu kırmızı renkli konglomeralar yer almaktadır. Bu durum, fliş tabakalarının,

tektonizma etkisi ile ultrabazik intrüzyonlar tarafından kesilmesi şeklinde açıklanabilmektedir. Fliş serisinin, çevrede yapılmış incelemelerden, Üst Kretase yaşında olduğu kabul edilmiştir. Bölgede görülen ofiyolitler serpantinleşmiş peridotitlerdir. Bu birim inceleme alanının dışında, fliş tabakaları ile girift bir yapı görünümündedir. Renkleri gri, koyu yeşil olan serpantinler, fliş serilerini kesmektedir. Bu seriler Tersiyer birimleri tarafından örtülmektedir. Serpantinlerin yaşları Üst Kretase olarak kabul edilmektedir. Üst Kretase fliş serileri üzerine diskordans olarak gri beyaz renkli marnlı kalkerlerle hafif sarı renkli kalkerler gelmektedir. Neojen birimlerini çevreleyen kayalar tamamen bu kireçtaşlarından ibarettir. Bu birim 10 ile 200 m arasında değişen bir kalınlık göstermektedir. Bu seriler bol miktarda Nummulit fosilleri içerirler. Yaşları Eosen olarak belirlenen bu birimler arasında 5 - 20 cm'lik silis bantları görülmektedir (Aydoğan, 1985; Soykan, 1997).

**2) Neojen çökelleri:** Neojen çökelleri taban konglomerası, kıltaşı - silttaşı ve killi kalkerlerden ibarettir. İnceleme alanında, Neojen yaşlı transgresif seri taban konglomerası ile başlar. En iyi görüldüğü yer açık işletme sahasının güneybatısında Çerkez Kayası Mevkii ile Büyük Tepe'nin güneybatısıdır. Taban konglomerası küçük boyutlardadır. Taban konglomerasının içerisindeki çakılların boyutları 1 - 25 cm arasındadır. Konglomeranın çakılları yuvarlak olup, Eosen kireçtaşları ve sileks gibi temel taşlarından oluşmuşlardır. Çimento gevşek olup, taban konglomerasının kalınlığı 1 - 3 metre arasında değişmektedir. Taban konglomerasında yaş tayinine yararlı olacak herhangi bir fosil bulunamamıştır. Kömür tabakası için belirlenen Plio - Pleistosen yaşı bu seviye içinde geçerli sayılmıştır. Bu alanda görülmeyen bu birim, ancak sondajlar aracılığı ile belirlenmiştir. Neojen çökelleri seviyesinin kalınlığı 200 m'nin

üzerindedir. Gri renkli olup, kömürlü serinin altında yer almaktadır. Tabandaki kil - silttaşı ve konglomera üzerine, kalkerli killerden oluşan ve kömür damarları içeren bir düzey gelmektedir. Beyaz renkli kalkerli killerin kalınlığı 4.00 - 74 metre arasında değişmekte olup, Kuvaterner serileri tarafından örtülmüştür. Bu birim yüzeysel ayrışma ile kaolinleşmiştir. Beyaz görünümü ile adlandırıldığı Akyer ismini doğrulamaktadır. Kömür damarı kalkerli killerin içinde alt düzeyde bulunmaktadır. Sahada Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından yapılan sondajlardan alınan örneklerin palinolojik sonuçlarında kömürlerin, Plio - Pleistosen yaşlı oldukları tespit edilmiştir (Aydoğan, 1985; Soykan, 1997).

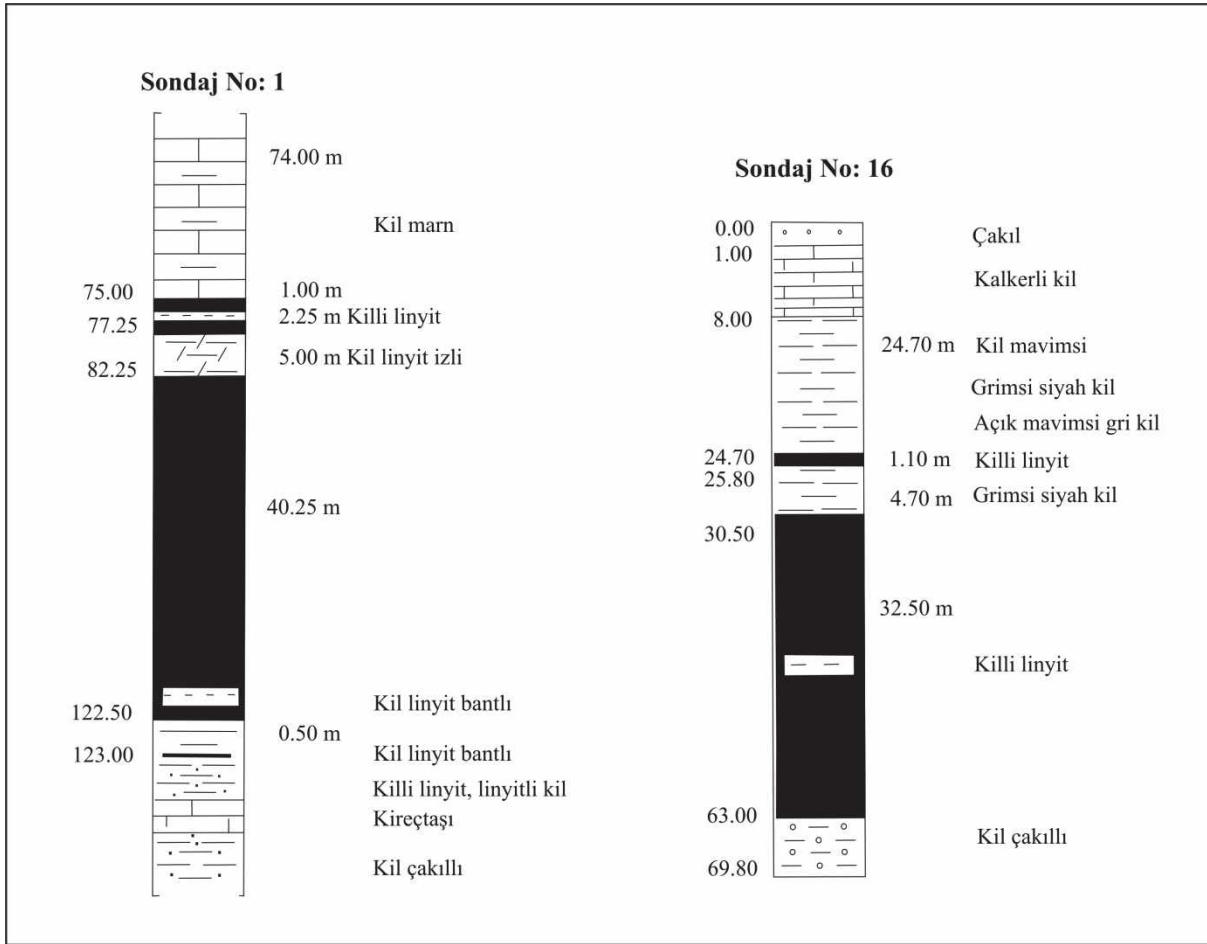
**3) Neojen sonrası çökeller (Kuvaterner):** İnceleme alanının Neojen sonrası oluşukları çakıl ve alüvyonlardan ibarettir. Kuvaterner olarak tahmin edilen çakıllar inceleme alanının büyük bir bölümünü kaplar. Kuvaterner birimleri Plio-Pleistosen oluşuklarını örtmektedir. Bol miktarda temel çakılları içerir. Çakıllar genellikle yuvarlak olup, yer yer köşelidir. Gölbaşı Gölü'nün kuzeydoğusu tamamen alüvyon sahası olup, alüvyonlar ince taneli malzemenin ibarettir. Gölbaşı Gölü, alüvyon sahasında büyük bir bataklık meydana getirmektedir.

### Sedimentasyon

Harmanlı kömürleri limnik havza tipine uygun bir ortamda çökelmiştir. Kömürlerin oluşumları sırasında monoton şartların baskın olduğu düşünülmektedir. Havza dar bir koridor şeklinde olup, kuzeyden Doğu Anadolu Fayı ile sınırlanmıştır. Kömür seviyesinin kalınlığı değişkendir. Havza ortasında kömür en büyük kalınlığına ulaşır. Havzada kömürlü seviye kalınlığı 3.90 - 87 m arasında değişmektedir. Kömür kalınlıklarının içinde 0.50 m den daha

kalın kömür izli killler, kalkerli killler ve kömürlü killler ara kesme olarak değerlendirilmiştir. Kömürün taban kayaçları; üstte kömür izli kil, kil, marnlı seviyeler, daha altta ise, siltli kumlu ve çakıllı litolojilerden oluşmaktadır (Şekil 3).

Tavan kayaçları ise; çakıl, kalkerli kil ve mavi renkli kilden oluşmakta olup, kalınlıkları 4 – 74 m arasında değişmektedir (Aydoğan,1985; Soykan, 1997).



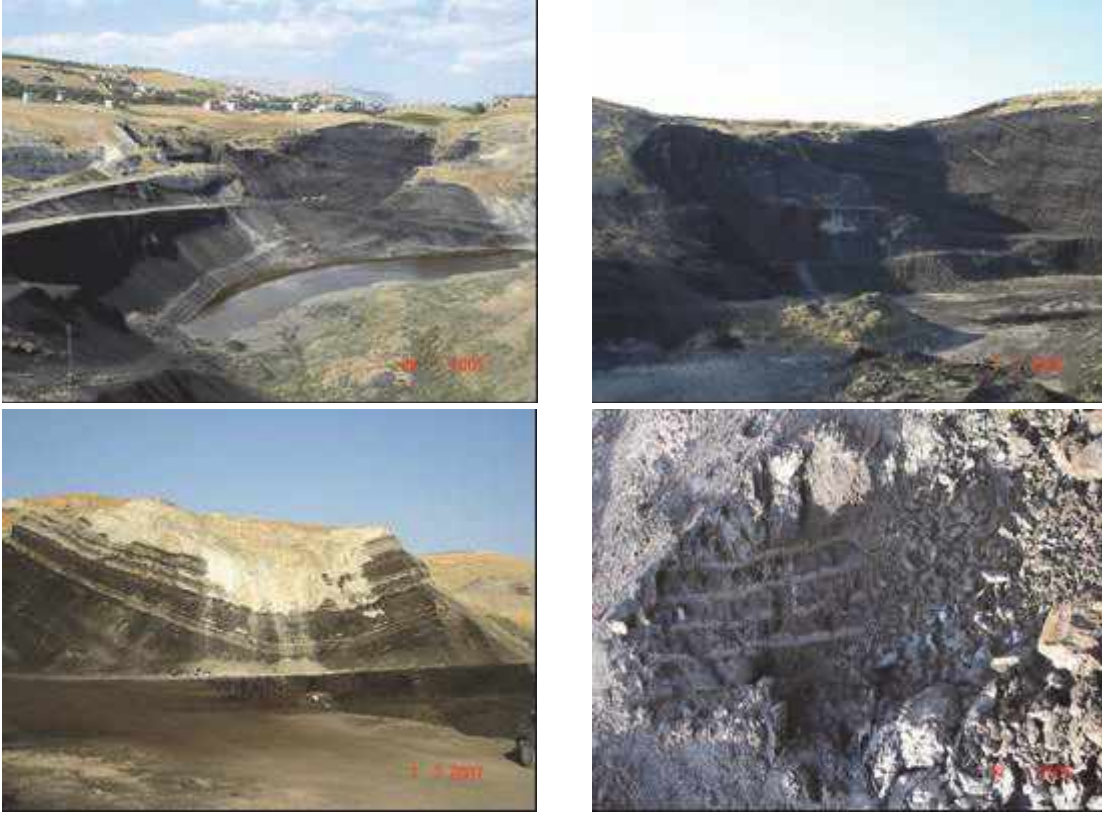
Şekil 3. İncelenen kömürlere ait sondaj kesitleri.

Figure 3. Drilling sections of the studied coals.

## MATERYAL VE YÖNTEMLER

İnceleme alanı olan Adıyaman iline bağlı Gölbaşı ilçesinin kuzeydoğusundaki Harmanlı (Perveri) ve Ozan Köyleri arasında kalan bölgede kömür damarı bulunmaktadır. Bu alanda MTA tarafından 18 adet sondaj yapılmıştır (1979 – 1984 arası). Sondajların bazılarında kömür kesilmiş, bazılarında

kesilmemiştir. Bu sondajlar sonucunda kömür kalınlıkları belirlenmiştir. Kömür yarmalarından sistematik olarak 20 adet örnek, yaklaşık 5 – 10 cm aralıklarda, kanal örneği şeklinde alınmıştır. Kanal örnekleri, her kömür damarından sistematik aralıklarda alındığı için, organik jeokimyasal ve organik petrografik analizler tam olarak kömür damarını temsil edebilmektedir (Şekil 3 ve 4).



Şekil 4. İncelenen kömürlerin arazi görünüşleri.

Figure 4. Field views of the studied coals.

Kömürlü serideki inorganik bileşenlerin özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla 15 örnekte X-ışınları tüm kayaç difraksiyonu incelemesi Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) Ankara Araştırma Merkezi Laboratuvarları'nda yapılmıştır (Şekil 5). Kimyasal ve elementer analizler için kömür örnekleri ASTM (1983) standartlarına göre tane boyu <100 mesh olacak biçimde öğütülerek homojenleştirilmiş ve

analiz edilmiştir. Bu analizler MTA Genel Müdürlüğü Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi Başkanlığı (MAT) Ankara Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Kömürde kimyasal analiz (toplam nem, kül, uçucu madde, sabit karbon ve kalorifik değer) incelemeleri İKA 4000 adiabatik kalorimetre ile TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (TÜBİTAK-MAM) Laboratuvarları'nda yapılmıştır. Toplam kükürt,

karbon, hidrojen ve azot bileşimlerini kapsayan elementer analizler ise aynı laboratuvarında LECO analizatörü ile yapılmıştır. Petrografik analiz için 6 adet örnek ICCP (1998 ve 2001) standart tekniklerine göre hazırlanmıştır. Maseral ve mineral bileşimlerinin belirlenebilmesi amacıyla yansımali, beyaz ışık ve floresan mikroskopları kullanılmıştır. Petrografik ve mineralojik bileşim değerlendirmeleri Leitz MPV-SP mikroskobu ile saptanmış, hüminit, liptinit ve inertinit maseral grup oranlarının belirlenmesi mümkün olmuştur. Parlatılmış örnekler, önce 50 büyültmeli yağlı objektifle ve 20 bölmeli 10x büyültmeli okülerle taranmıştır. Her bir örnekte yansımali beyaz ışıkta en az 500 nokta sayılmıştır. Örneklerin aynı büyültme ve 546 nm'deki yansıma değerleri (önce  $R_{max}$ ,  $R_{mean}$  ve  $R_{min}$  değerleri) ayrı ayrı, safir standardı ( $R_{max} = \% 0.534$ ) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.  $R_o$  yansıma değerleri, yansımalarda yağlı objektifteki  $R_{mean}$  değerlerini temsil etmektedir. Yansıma ölçümlerinde, 50x yağlı objektifler kullanılmıştır. Örneklerde yansıma ölçümlerinde kırılma indisi (n) 1.518 olan özel yağlar kullanılmış ve minimum 100 nokta ölçümü esas alınmıştır. Bunun için MPV Geor yazılımı kullanılmıştır. Örnek hazırlama ve yansıma ölçümleri MTA MAT Dairesi Laboratuvarı'nda (Ankara) gerçekleştirilmiştir.

İnceleme alanından alınan 5 adet örneğin, standart palinolojik yöntemlerle (Durand ve Nicaise, 1980; Tissot ve Welte, 1984) kerojen slaytları hazırlanmış ve alttan aydınlatmalı mikroskopta değerlendirilerek bileşimini oluşturan organik madde türleri, kerojen alterasyon ve spor renk indeksleri belirlenmiştir.

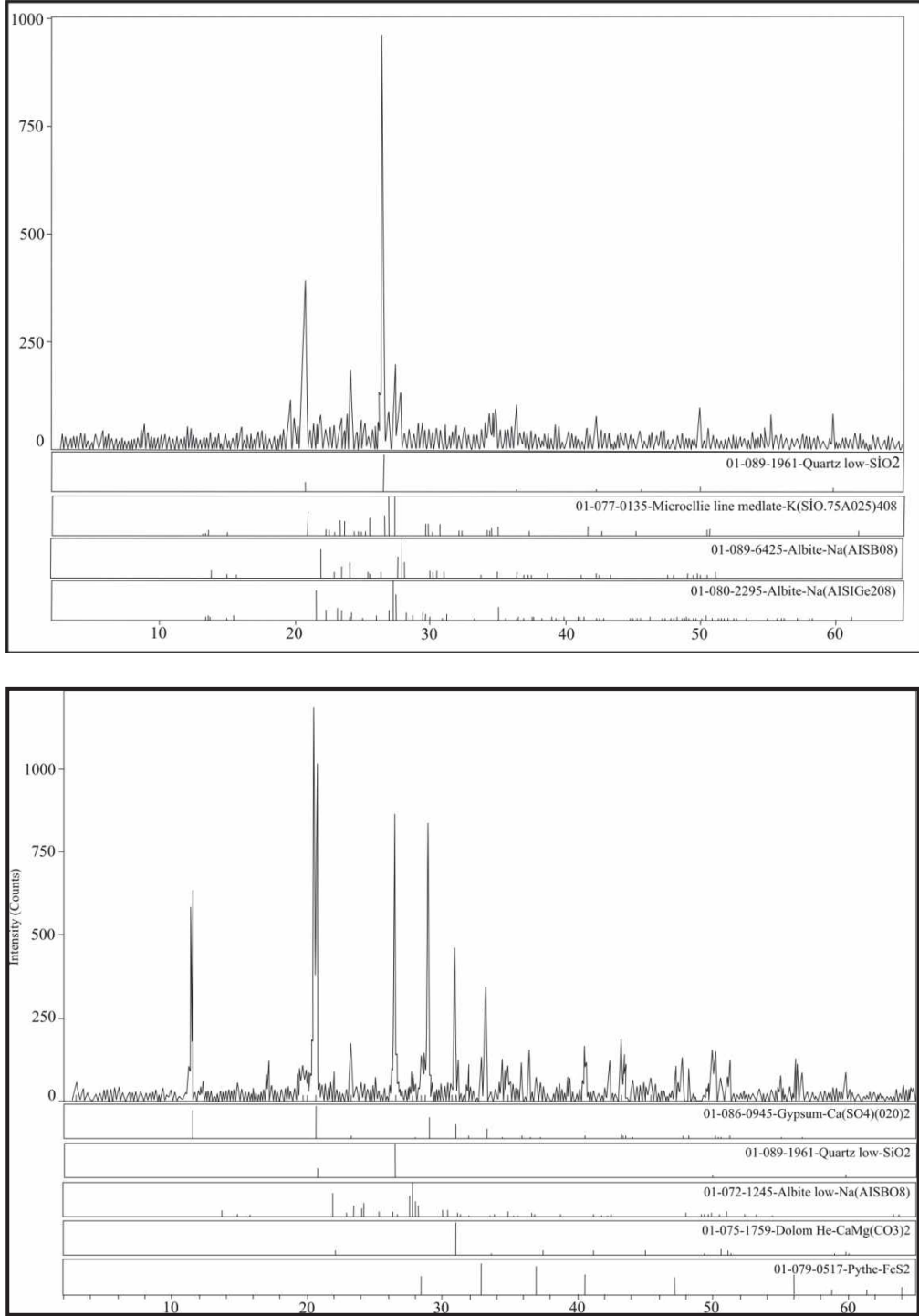
Organik Petrografik (kerojen çalışmaları) değerlendirmeleri TPAO Araştırma Merkezi Laboratuvarları'nda (Ankara) yapılmıştır.

Hidrokarbon ana kaya özellikleri TOC-Rock Eval piroliz analizi ile toplam 15 örnekte değerlendirilmiştir. Biyomarker analizleri için Rock-Eval, TOC sonuçlarına göre ayırtılan 5 örnek yaklaşık 40 saat Diklorometan ile ASE 300 (Accelerated Solvent Extraction) de çözme işlemine tabi tutulmuştur. Çözünmeden sonra özütler Kolon Kromatografi ile asfalttan arındırılarak, doymuş kısımların analizleri Agilent 6850 tüm özüt GC aleti ile, Gaz Kromatografi-Kütle Spektrometre analizleri ise Agilent 7890A/5975C GC-MS aleti ile TÜBİTAK MAM Laboratuvarları'nda yapılmıştır.

## BULGULAR VE TARTIŞMA

### Kimyasal ve Elementer Analiz (Mineral Madde Bileşim) Değerlendirmeleri

Kömür örneklerinin elementer analiz değerleri C, H, N+O ve S'den oluşmaktadır. İncelenen 6 örnekteki elementer analizler sonucunda orijinal örneklerde egemen element C (% 22.33 -25.22)'dir. Element H % 1.97 – 2.28, N+O % 9.95 – 13.40, ve element S (% 0.60 – 0.68) mertebelerindedir. Havada kuru örneklerde ise yine egemen element C (% 35.60 – 36.27)'dir. H % 3.11 – 3.23, N+O % 15.21 – 16.01, S % 1.08 – 1.12 olarak belirlenmiştir (Çizelge 1).



Şekil 5. Örneklerin X-ray grafikleri.

Figure 5. X-ray graphics of the samples.

Çizelge 1. Adıyaman-Gölbashi kömürlerinin elementer analiz sonuçları

Table 1. Results of elementary analysis of Adıyaman-Gölbashi coal

Örnek No	Orijinal Örnekte				Kuru Örnekte			
	C (%)	H (%)	(N+O) (%)	S (%)	C (%)	H (%)	(N+O) (%)	S (%)
<b>AOK-2</b>	25.22	2.28	13.40	0.60	35.60	3.22	15.54	1.08
<b>AOK-4</b>	22.33	1.97	9.95	0.68	36.21	3.11	15.42	1.10
<b>AOK-6</b>	23.42	2.11	10.13	0.65	35.88	3.18	16.01	1.12
<b>AOK-8</b>	25.17	2.23	12.50	0.63	36.27	3.19	15.73	1.09
<b>AOK-10</b>	24.47	2.18	13.20	0.61	35.96	3.21	15.72	1.08
<b>AOK-12</b>	23.01	2.21	12.79	0.64	36.13	3.23	15.21	1.11

Kömür örneklerinin kül bileşenleri ise 15 örnekte belirlenmiştir. Baskın bileşen olarak  $\text{SiO}_2$  değeri % 32.41 – 45.41'dir.  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$  % 13.07 – 19.36,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  % 7.84 – 8.71,  $\text{CaO}$  % 11.69 – 21.92,  $\text{MgO}$  % 4.50 – 5.81,  $\text{SO}_3$  % 10.60 – 16.56,  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  % 1.41 – 1.50 olarak belirlenmiştir (Çizelge 2). Yüksek orandaki kalsiyum, ortama ikincil kalsiyum girişini işaret etmektedir. Kömürler ve killi düzeylerde pirit oranı oldukça yüksek olup, genellikle framboidal pirit şeklinde izlenmektedir. Bu pirit tipi bakteri faaliyetlerine işaret etmektedir ve mineral ile maseraller içinde değişik biçim ve kalınlıklardaki bantlar, boşluk dolguları ve çatlak dolguları şeklinde izlenirler.

Çizelge 3'te incelenen kömür örneklerindeki toplam nem, kül, kükürt, uçucu madde ile kalori ve Çizelge 4'te petrografik bileşenleri ve hüminit yansımaya ( $R_o$ ) değerleri verilmiştir. Çizelge 5'te yansımaya değerleri ve kömürleşme dereceleri ayrıntılı olarak görülmektedir. İncelenen örneklerde kül içeriği yüksek olup (% 16.01 – 37.05, orijinal örnekte % 21.25 – 54.08 kuru), petrografik değerlendirmelerde izlenen mineral madde

miktarı ile uyumludur. Bu veri acı su koşullarında oluşan kömürlerdeki yoğun organik madde bozunması ve bunun sonucunda inorganik bileşenlerin artışına işaret etmektedir. (Teichmüller vd., 1998). İncelenen kömürler ortalama % 1.28 – 5.11 orijinal, %1.74 – 6.43 kuru numunede kükürt ve yüksek kül değerleri ile ortama kükürt ve kırıntı girdilerinin olduğuna işaret etmektedir. Uçucu madde içeriği (% 22.99 – 38.40 orijinal, % 34.01 – 50.97 kuru) ve elementer analiz verileri (Çizelge 2 ve 3), kömür rankı ile uyumluluk göstermektedirler (Çizelge 4 ve 5). Bu Çizelgelerden de anlaşılacağı gibi kömürleşme dereceleri düşük kömürleşme (linyit ve alt bitümlü kömür) derecelerine karşılık gelmektedir (Stach vd., 1982). Kömürlerin yansımaya değerlerinin kısmen yüksek (alt bitümlü kömür) dereceler göstermesinin, yöreye yakın tektonik etkileşimlerden kaynaklandığı sanılmaktadır. Zira bölgenin çok yakınındaki Sincik bölgesindeki organik oluşumların yüksek kömürleşme derecelerine ulaştığı, grafitte dönüştüğü ve % 11 civarında  $R_{\max}$  değerleri sunduğu saptanmıştır (Toprak, 2009).



Kavak ve Toprak

Çizelge 2. Adıyaman-Gölbashi kömür örneklerinin kül bileşimleri

Table 2. Ash components of the Adıyaman-Gölbashi coal samples

Örnek No	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O (%)
AOK-1	44.53	17.16	8.71	12.69	4.81	10.66	1.44
AOK-2	32.41	17.12	8.18	20.05	4.50	16.33	1.41
AOK-3	42.30	15.70	7.84	14.35	5.81	12.50	1.50
AOK-4	33.45	18.15	8.18	18.01	4.50	16.30	1.41
AOK-5	43.40	16.14	8.76	14.79	4.87	10.60	1.44
AOK-6	35.44	15.09	8.22	20.01	4.60	16.22	1.42
AOK-7	41.35	15.10	8.24	13.62	4.85	15.39	1.45
AOK-8	36.48	13.07	8.20	21.05	4.70	15.02	1.41
AOK-9	34.24	15.09	8.22	21.92	4.90	14.20	1.43
AOK-10	41.55	16.99	8.41	14.99	4.80	11.88	1.47
AOK-11	39.33	19.36	8.43	11.97	4.90	14.56	1.45
AOK-12	45.41	16.23	8.21	11.69	4.55	12.43	1.48
AOK-13	37.42	13.95	8.27	19.08	4.58	15.21	1.49
AOK-14	35.40	15.13	8.21	19.09	4.62	16.14	1.41
AOK-15	37.33	14.36	8.43	14.97	4.90	16.56	1.45

Çizelge 3. Adıyaman-Gölbashi kömür örneklerinin kaba kimyasal (proximate) analiz sonuçları

Table 3. Results of proximate analysis of Adıyaman-Gölbashi coal samples

Orijinal Örnekte						
Örnek No	Nem %	Uçucu %	Kül %	Toplam Kükürt %	Üst Isıl Değer (Kcal/gr)	Alt Isıl Değer (Kcal/gr)
AOK-2	32.4	22.99	37.05	1.28	1646	1375
AOK-4	20.55	35.95	27.32	5.11	2951	2685
AOK-6	35.31	30.89	17.40	1.95	2699	2371
AOK-8	24.83	31.22	29.62	2.00	2632	2361
AOK-10	24.67	38.40	16.01	1.31	3383	3082
AOK-12	23.28	36.44	21.95	1.67	3107	2824
Kuru Örnekte						
Örnek No	Uçucu %	Kül %	Toplam Kükürt %	Üst Isıl Değer (Kcal/gr)	Alt Isıl Değer (Kcal/gr)	
AOK-2	34.01	54.8	1.89	2435	2298	
AOK-4	45.24	34.38	6.43	3715	3522	
AOK-6	47.75	26.90	3.01	4172	3966	
AOK-8	41.53	39.40	2.66	3501	3323	
AOK-10	50.97	21.25	1.74	4490	4271	
AOK-12	47.50	28.61	2.17	4050	3848	

Üst ısıl değerler 1646 - 3383 Kcal/kg (ortalama 2736 orijinal örnekte Kcal/kg), 2435 - 4490 (ortalama kuru 3727 Kcal/kg) arasında değişmekte olup (Çizelge 3), ASTM kömürleşme derecesinin belirlenebilmesi için kalori değerleri BTU/lb'ye dönüştürülmüş, kuru

mineral maddesiz bazda değerlendirilmiştir. Elementer analiz sonuçları da Çizelge 4 ve 5'teki gibi kömürleşme dereceleri ile uyumluluk içindedir ve bu kömürlerin Alt bitümlü Linyit kömür tipinde olduğunu işaret etmektedir (ASTM D388).

Çizelge 5. Adıyaman-Gölbaşı kömür örneklerinin hüminit (vitrinit) yansıma değerleri ve kömürleşme dereceleri.

Table 5. Huminite (Vitrinite) reflection values of the Adıyaman-Gölbaşı coal samples and their corresponding ranks.

Örnek Kodu	R <sub>max</sub> %	R <sub>o</sub> (R <sub>mean</sub> ) %	R <sub>min</sub> %	St.D. %	Kömürleşme Derecesi
AOK-2	0.504	0.420	0.350	0.019	Alt Bitümlü Kömür
AOK-4	0.421	0.383	0.337	0.018	Alt Bitümlü Kömür
AOK-6	0.361	0.305	0.259	0.027	Linyit
AOK-8	0.557	0.516	0.249	0.031	Alt Bitümlü Kömür
AOK-10	0.330	0.280	0.230	0.012	Linyit
AOK-12	0.411	0.384	0.345	0.02	Alt Bitümlü Kömür

Kül içeriğindeki artışla birlikte kalori değeri azalır, buna karşın kalori değeri ile doğru orantılı olarak, sabit karbon, karbon, uçucu madde değerleri artar. Sabit karbon değerleri kuru bazda olup Rock-Eval aleti ile belirlenen organik karbon değeri ile uyumludur. Hidrojen oranı arttığında ise karbon oranı artar, oksijen azalır. Kömür kalite değerlendirmesinde önemli veriler olan uçucu madde ve kül içeriği arasında da, uçucu madde arttıkça is yapma özelliği arttığı ve kül içeriği arttıkça kalori miktarı düştüğü için negatif ilişki bulunmaktadır.

İncelenen kömürlerdeki yüksek kükürt içeriği, kömür oluşum ortamını etkileyen göl suyu veya acı su şartları ile veya yüksek su tablasının yüksek pH ve düşük Eh koşullarını geliştirmesi ve turba oluşumu sırasında deniz sularındaki sülfat iyonlarının etkisi ile bol miktarda kükürtün gelişmiş olabileceği şeklinde açıklanabilir. Bunlara ek olarak, birincil organik maddeye ve çevre kayaçlara bağlı olarak artabileceği de belirlenmiştir (Stach vd., 1982).

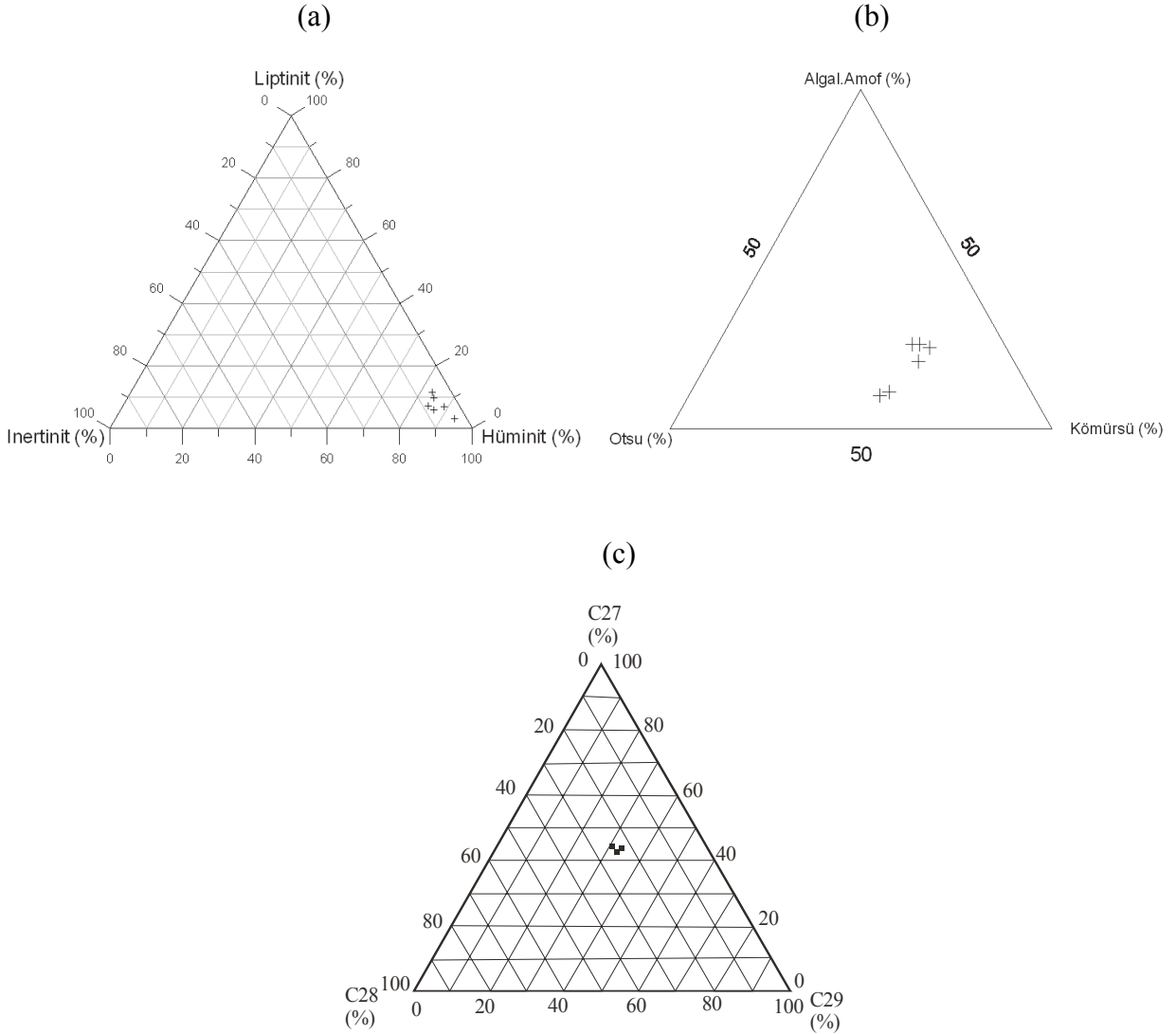
### Organik Petrografik Değerlendirmeler

İncelenen kömür istifi egemen olarak mat, bunun yanı sıra mat bantlar ve bantlı litotip özelliklerinin araldanması olarak izlenir. Bu bantlar incelenen kömürlerin yüksek kül içeriği nedeniyle ayrıntılı olarak tanımlanamamıştır. Kömür örneklerinde petrografik değerlendirmeler Stach vd. (1982)'de belirtilen özelliklere göre yapılmış olup liptinit, hüminit ve inertinit maseral grupları tanımlanmış, bu veriler üçgen diyagramlarda sunulmuştur (Şekil 6). Organik petrografik bileşimin karmaşık özelliklere sahip olması, örneklerde turba gelişimi sırasında heterojen bir malzeme birikimi olduğunu göstermektedir. Kömürler hüminit maseral grubunca zengin olup (% 58 – 70), egemen maseral grubu gelinitlerdir. Gelinitler hüminit maseral grubunda hücresel yapı göstermeyen jelleşmiş özellikteki maseralerdir. Örnekler içerisinde kırıntılı maseralardan densinitler oldukça yaygındır (Şekil 7a,b,c,d). İntertinit ve liptinit maseral grupları hüminit grubuna göre daha düşük orandadır.

Çizelge 4. Ağaçtan-Çiftlikte Alınan Çökeltilerin Mineral İçeriklerinin ve  $R_0$  Değerleri (%)Table 4. Results of mineral analysis and  $R_0$  values of the Adıyaman Colliery coal samples

HTEL- Teşhismat: Dlt- M. Desubilitat; HCOL- Gredulizasyon; TOP- bıldatı; FEISE- İnanıltı; LIF- Lıptıltı; İNER- İnerıtıt; PIR- Pıltı; Cl- Kl; Qz- Kuvaz; Cu- Kaktı; İNOR- İnoırganık Madde; Fez- Fezıltı; Tul- Tekarı-İltıme; İul- İu-İltıme; Ab- Aırtıltı; Dn- Demırtı; Oat- Oatıltı; Knt- Kırptıltıltıltı; Sp- Spırtıltı; Alr- Alırtı; Rr- Rızıme; Ctt- İltıltı; Ldt- Lıptıltıltı; Pus- Puzıltı; Ma- Madde; Fg- Fırtıltı; İdet- İstedıltı; Fe- Fırtıltı; Tu- Eıltıltı; Krtıltı; Fİ- Çıltıltı ve bıldak bıldıme pırtı.

Örnek No	$R_0$	Hümitit										Lıptıltı						İnerıtıt						Pırtı			İNOR (Cl+Qz +Ca)
		HTEL			DILUM			HCOL		TOP HUM	Sp	Alg	Rs	Cut	Ldt	TOP LIP	Pus	Ma	Fg	İdet	TOP İNER	Fr	Eu	Fı	TOP PIR		
		Tex	Tul	Eul	Art	Dn	Gel	Kor																			
AOK-2	0.420	2	4	4	11	16	23	0	60	2	0	0	0	0	2	1	1	0	0	0	2	3	1	0	4	30	
AOK-4	0.381	2	3	5	10	13	25	0	58	3	0	1	0	0	4	1	4	0	0	0	5	3	3	1	7	26	
AOK-6	0.305	3	5	4	9	14	26	2	63	3	0	1	1	0	5	0	3	0	0	0	3	3	1	0	4	25	
AOK-8	0.516	3	4	5	7	13	26	2	60	4	1	1	1	0	7	1	3	0	0	0	4	3	0	0	3	26	
AOK-10	0.280	1	3	8	4	15	36	1	70	3	1	0	2	0	6	2	4	0	1	1	7	2	1	0	3	14	
AOK-12	0.384	4	7	12	6	14	20	2	65	3	2	0	3	1	9	0	4	0	0	0	4	2	0	0	2	20	



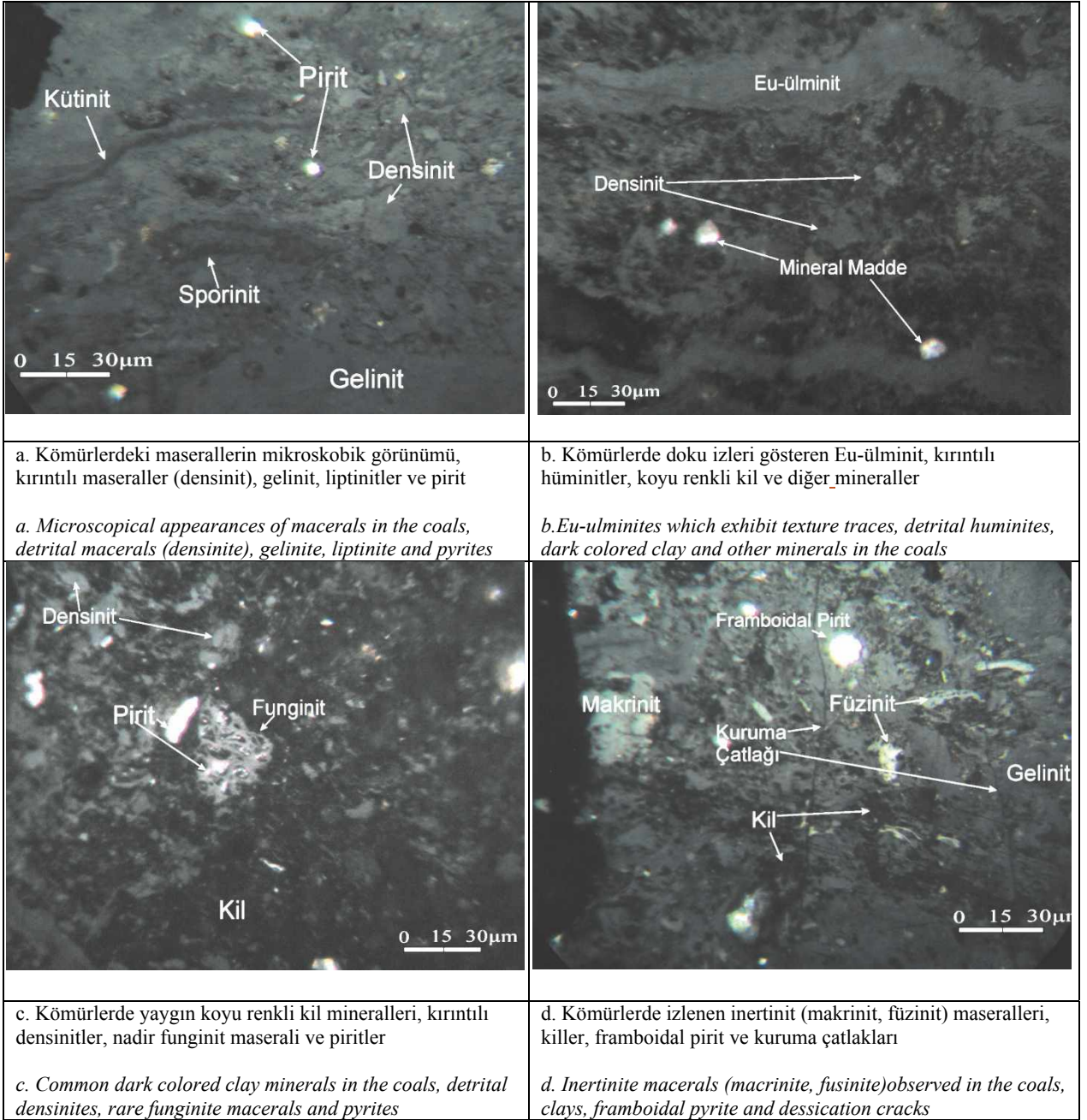
Şekil 6. a.b.c. Gölbaşı kömür örneklerinin organik madde tiplerinin üçgen diyagramları.

Figure 6. a.b.c. Triangular diagrammes of organic material types of Gölbaşı coal samples.

Liptinit bileşimi % 2 - 9 arasında belirlenmiş olup, sporinit, resinit ve kütinit maseralleri en yaygın liptinit maseralleridir. İnertinit grubu maseralleri ise başlıca makrinit ve fusinitten oluşmaktadır (% 2 - 7). Maser

gruplarının oranları ve hüminit yansıma değerleri Çizelge 4'te sunulmaktadır. Karakteristik maseral tipi ve değişik maseral birliktelikleri mikro fotoğraflarda gösterilmektedir (Şekil 7a,b,c,d).

## Kavak ve Toprak



Şekil 7. Gölbaşı kömürlerinin Petrografik görüntüleri.

Figure 7. Petrographic images of the Gölbaşı coals.

Yüksek gelinit miktarı organik maddelerin dokularının bozulduğuna, oluşumu esnasında pH değerlerinin nötr değerlere yakınlaştığına işaret etmekte, füsinit ve makrinit gibi inertinit maseralleri de bataklıklarda gelişen oksidasyon şartlarının artışı ve azalan su düzeyini göstermektedir (Şekil 7d) (Flores, 2002; Stach vd., 1982). İncelenen kömürler ayrıca sporinit ve kil mineralleri bakımından zengin olup (Şekil 7a), sazlık ortamdaki sualtı koşullarında, yüksek bakteriyel aktivite faaliyeti ile bozunmayı işaret etmektedir. Mineral madde oranı % 14 - 30 olup, başlıca karbonatlar, killer ve silikat minerallerinden oluşmaktadır (Şekil 7b ve c). Bu düzeyler, turba gelişimi sırasında organik maddece zengin düzeylerin yerini zaman zaman inorganik maddelerin aldığı göstermektedir. Yüksek oranda mineral madde içeriği, kırıntılı maseral içeriği ve dokuların seyrek oluşu, kömürlerin bulunduğu ortamda taşınma ve tektonik hareketlere maruz kalma izlenimi vermektedir. Şekil 7d'de kömürlerde mikro izler halinde bile olsa kuruma çatlaklarının görülmesi yüksek oranlarda su tutan kil mineralleri gibi mineral maddelerin fazla olduğuna ve nem kaybına işaret etmektedir. Kömürlerin petrografik bileşenleri Toprak (2009)'da belirtildiği gibi benzer özellikler göstermekte ve gölsel oluşum izlenimi vermektedir. Bu durum diğer bulgular ile de ortaya konmaktadır. Stach vd. (1982), bu özellikte ve yüksek oranda densinit gibi kırıntılı maseral bileşenlerine sahip oluşum tipini "hipotokton" yani çökme ortamı içerisinde taşınmalar göstermiş kömürler olarak yorumlamaktadırlar. Yansıma ölçümlerinin ülkemizde bulunan aynı kalitedeki kömürlere kıyasla daha yüksek oluşu da, muhtemelen, kömürlerin bulunduğu ortamın, çok önemli tektonik hatlara (Arap Kalkanı Sütur Zonu'na ve DAF'a) yakınlığındandır.

İncelenen kömürlerde de olduğu gibi yüksek kalsiyum oranı, alkalın çökelim ortamlarını işaret eder ve bakteriler hümit jellerin oluşumu nitrojen veya hidrojen zengin kömürleşme ürünlerinin oluşumu gibi farklı etkilere yol açabilir (Teichmüller vd., 1998). Bu özellikler Amynteo Baseni'ndeki (Yunanistan) Pliosen yaşlı linyitlerde de benzer şekilde izlenmiştir (Iordanidis ve Georgakopoulos, 2003). Bu çalışmada TPI (Doku korunma düzeyleri, turba gelişimi sırasında, organik indeks) ile VI (bitki örtüsü İndeks) değerleri organik maddece zengin düzeyleri gösterir (Georgakopoulos ve Valceva, 2000) ve GWI (yeraltı suyu indeksi) ise azaldığında inorganik maddelerin arttığına işaret eder. GI (jelleşme indeksi) değerleri ise Diessel (1986)'ya göre belirlenmiştir. Düşük TPI değerleri ya bitkisel malzemenin tipine (yüksek angiosperm/gymnosperm oranı) ya da düşük doku korunma şartlarına bağlı olarak gelişmiştir (Kolcon ve Sachsenhofer, 1999). Gölbaşı kömür örneklerinde TPI değeri 0.03 - 0.08 arasında değişmektedir. GI değeri yeraltı su seviyesini ve/veya pH düzeyini işaret eder. Diessel (1986) grafiğinde, GI değerinin 1 değerinden az olması durumunda yeraltı su tablasının altında oluşan kömürleşmelere işaret edilmektedir. Jelleşme için düzenli su akışı, bakteri faaliyetleri ve düşük asidik şartlar gerekir (Kolcon ve Sachsenhofer, 1999). Gölbaşı örneklerinde GI değeri 8 - 37.5, GWI değerleri 1.09 - 1.27, VI değerleri ise 0.06 - 0.30 arasında değişmekte olup bu durum gölsel çökelim ortamını ve yeraltı su tablasının altında oluşan organik birikimi ortaya koymaktadır.

TPI değerlerinin 0.5'ten küçük, GI değerlerinin 5'ten büyük, GWI değerinin 1'den büyük, VI değerinin ise 1'den küçük oluşu, ayrıca yüksek pirit içeriği ve gastropod kavrıkları limnik ortamı işaret etmektedir. Kömürleşme

yüksek yeraltısuyu düzeyinde ve ortalama gömülme oranıyla otoktondan hipotoktona kadar değişen şartlarda meydana gelmiştir. Düşük TPI değerleri yüksek bakteriyel faaliyet ve yüksek pH değerlerinin belirteçidir. Gastropod kavkılarının yaygın olarak bulunuşu da Amyneto Baseni'ndeki gibi (Yunanistan) alkalın ortam şartlarını destekleyen bir veridir (İordanidis ve Georgakopoulos, 2003).

### Organik Jeokimyasal Değerlendirmeler

Organik jeokimyasal değerlendirmeler kapsamında incelenen kömür örnekleri Organik Madde Miktarı Toplam Organik Karbon (% TOC), Organik Madde Tipi (Türü) ve Olgunlaşması ise Rock-Eval Piroliz analizi ile belirlenmiştir. GC, GC-MS ve GC-IRMS analizleri ile de biyomarker verileri sağlanmıştır.

İncelenen örneklerin organik maddece zenginliği, organik madde tipi, diyajenetik gelişim süreci ve kaynak kaya potansiyeli Rock-Eval Piroliz verileri ile değerlendirilmiştir. Genellikle kaynak kaya özelliği araştırılan karbonatlar ve şeyllerde uygulanmakta olan bu tekniğin, özellikle Rock-Eval 6 cihazının kömürlü örneklerde daha iyi sonuç vermesi, petrografik bilgilere katkıda bulunması nedeniyle kömürlü örneklerde de kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır (Teichmüller ve Durand, 1983; Durand ve Paratte, 1983; Fowler

vd., 1991; Korkmaz ve Kara Gülbay, 2007, Erik vd., 2008).

### Organik Madde Miktarı (Toplam Organik Karbon)

Toplam Organik Karbon (% TOC) analizi 15 örnekte yapılmış olup, değerler % 20.29 – 45.54 arasında değişmektedir (Çizelge 6). Bu sonuçlar Gölbaşı kömürlerinin organik madde içeriği bakımından zengin olduğunu (TOC > 0.5) ve kaynak kaya olarak düşünülebileceklerini göstermektedir. TOC değerlerinin düzensiz olmasının sebebi olasılıkla organik madde miktarını etkileyen birincil biyolojik üretkenlik, fiziko-kimyasal koşullar, tane boyu, sedimentasyon hızı ve kayacın cinsi ile bağlantılı olarak değişebilmektedir. Organik maddeler oksijenli ortamlarda olmayıp, süratle bozularak su ve karbondioksite dönüşürler. Organik maddenin korunması için anoksik ve asidik kimyasal şartlar gereklidir. Organik madde miktarı kayacın litolojisine de bağlıdır ve kıltaşı, çamurtaşı gibi kayalar organik maddece zengin, silttaşı ve kumtaşı gibi kayalar ise organik maddece fakirdir. Karbonat kayalar ise organik madde miktarı açısından bu iki tip arasında yer alır ve değişken oranlarda organik madde içerebilirler. İncelenen örneklerin değişik oranlarda organik madde içermesinin sebebini bu şekilde ve kırıntı girdisiyle açıklamak mümkündür (Kavak, 2010).

Çizelge 6. Adıyaman-Gölbaşı kömür örneklerinin toplam organik karbon (% TOK) ve Rock-Eval piroliz sonuçları

Table 6. Total organic carbon (TOC %) and Rock-Eval pyrolysis results of the Adıyaman-Gölbaşı coal samples

Örnek No	TOC	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>2</sub> /S <sub>3</sub>	T <sub>max</sub>	HI	OI	PI	PY
AOK-1	20.33	1.71	38.28	24.39	1.56	432	191	123	0.06	39.99
AOK-2	20.29	1.69	38.22	24.35	1.56	431	189	120	0.05	39.31
AOK-3	32.02	4.08	40.10	35.82	1.11	370	130	115	0.08	44.18
AOK-4	31.64	4.01	39.95	35.73	1.11	366	127	113	0.09	43.96
AOK-5	29.30	2.51	42.52	30.13	1.41	420	147	106	0.07	45.03
AOK-6	28.66	2.49	41.46	29.89	1.38	414	144	104	0.06	43.95
AOK-7	27.53	2.15	45.25	29.65	1.52	427	165	108	0.05	47.40
AOK-8	27.18	2.14	45.18	28.62	1.57	426	167	105	0.05	47.32
AOK-9	42.68	3.68	62.92	53.78	1.30	426	140	121	0.06	66.60
AOK-10	44.62	3.48	60.90	51.89	1.17	425	137	117	0.06	64.38
AOK-11	40.73	3.51	59.03	52.67	1.12	420	135	118	0.05	62.54
AOK-12	33.98	2.57	46.70	38.22	1.22	425	138	113	0.06	49.27
AOK-13	25.40	2.22	46.28	29.55	1.56	423	170	109	0.05	48.55
AOK-14	45.54	3.22	61.50	53.40	1.15	425	143	119	0.06	64.72
AOK-15	35.74	3.98	40.05	37.98	1.05	421	132	114	0.06	44.03

TOK: Toplam organik karbon (%), S<sub>1</sub>: mg HC/g rock, S<sub>2</sub>: Kerojenin parçalanması ile oluşan hidrokarbonlar (mg HC/ g TOK), S<sub>3</sub>: CO<sub>2</sub> değeri (mg CO<sub>2</sub>/g TOK), T<sub>max</sub>: Piroliz analizi boyunca S<sub>2</sub> pikinin maksimum olduğu andaki sıcaklık (°C), HI: Hidrojen indeksi (mg HC/ g TOK), OI: Oksijen indeksi (mg CO<sub>2</sub>/g TOK), PI: Üretim indeksi (mg HC/g TOK), S<sub>2</sub>/S<sub>3</sub>: Hidrokarbon tip indeksi, PY: Potansiyel verim (mg HC/g TOK).

## Organik Madde Türü

Bir kayacın kaynak kaya olabilmesi için, yeterli miktarda organik maddeye sahip olmasının yanı sıra, organik madde tiplerinin de petrol veya gaz türümüne uygun olması gerekmektedir. Bu nedenle organik jeokimyasal verilerle birimlerdeki organik madde tipleri belirlenmeye çalışılır. Organik petrografik incelemelerin yanı sıra Rock-Eval piroliz analizi ile elde edilen Hidrojen İndeksi (HI), Oksijen İndeksi (OI) ve Tmax değerleri kullanılarak hazırlanan HI-OI ve HI-Tmax diyagramları ile

örneklerin içerdiği organik madde tipleri kolayca belirlenebilmektedir. Rock-Eval Piroliz analizi ile kerojen tipi ve olgunlaşma düzeyi belirlenmiştir. Rock-Eval piroliz analizinden elde edilen kerojen tipleri verileri aracılığıyla organik madde türleri ve bunların sonuçlarından hidrokarbon kaynak kaya potansiyeli hakkında bilgi edinilmektedir.

Organik maddeler, hidrojen ve oksijen indeksi değerlerine ve petrol türetme potansiyellerine göre TİP I, II ve III kerojen şeklinde sınıflandırılmaktadır (Tissot vd., 1984).



Mineral madde içeriği bu örneklerde olduğu gibi kil ve karbonatlarca zengin örneklerde de piroliz sonuçlarını oldukça etkilemektedir (Peters, 1986; Langford ve Blanc-Valleron, 1990). Piroliz sıcaklıklarında inorganik maddelerde de farklı maddeler farklı davranışlar göstermekte, kimyasal ve ısıl olarak çalışmalar etkilenebilmektedir. Hidrojen İndeksi-Oksijen İndeksi ve HI-T<sub>max</sub> diyagramlarında örneklerin büyük kısmının TİP II-III (karasal ve denizel) ve TİP III (karasal, kalıntı organik madde) alanında dağıldığı izlenmektedir. Bu örneklerin petrol türetme potansiyeli sınırlı olup, ancak az miktarda gaz türüm potansiyelinden söz edilebilir.

Gölbaşı kömürlerinde hidrojen indeks değerleri 127 – 191 mg HC/g TOC, oksijen indeks değerleri ise 104 – 123 mg CO<sub>2</sub>/g TOC arasındadır. Üretim indeksi (PI):  $S_1/(S_1+S_2)$  değeri özellikle % 0.05'ten büyük olduğunda yorumlama açısından önem teşkil etmektedir. Gölbaşı örneklerinde bu değer ortalama % 0.06 olarak belirlenmiştir (Çizelge 6).

Bazı yüksek oksijen indeks değerleri (>150 mg CO<sub>2</sub>/g TOC) mineral matriks etkisine veya piroliz işlemi sırasında mineral dekompozisyonuna bağlı olarak gelişmiştir. Mineral madde içeriği özellikle incelenen örneklerde kil ve karbonatlarca zengin ise, piroliz sonuçlarını oldukça etkilemektedir (Peters, 1986; Langford ve Blanc-Valleron, 1990). Piroliz verilerini hangi unsurların daha çok etkilediğinin belirlenebilmesi için karşılaştırmalarda en sık tartışılan konu olan maseral bileşimleri kullanılmıştır. Örneğin hidrojen indeksi ile liptinit bileşimi arasında negatif ilişki varken, liptinitlere hüminit oranları da eklendiğinde bu ilişki pozitif dönüşmektedir. Toplam organik karbon ve elementer analiz ile elde edilen karbon değeri arasında da güçlü

pozitif bir ilişki belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, mineral madde içeriği ile hidrojen indeksi, TOC, Pc, Rc arasında negatif ilişki bulunmaktadır.

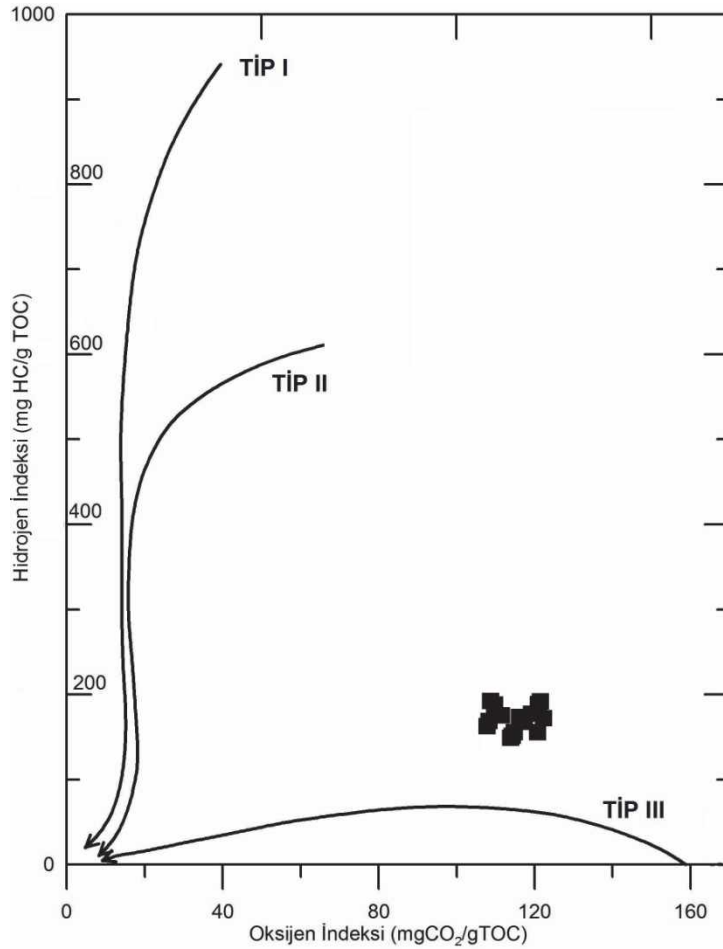
Van Krevelen (1961) (Hidrojen İndeksi-Oksijen İndeksi) ve HI-T<sub>max</sub> diyagramlarında örneklerin büyük kısmı TİP II-III (karasal ve denizel) ve TİP III alanında dağılmıştır (Şekil 8 ve 9). Bu tanımlama kerojen preparatlarındaki palinolojik değerlendirmeler ile de desteklenmekte olup, kömürsü-odunsu malzemenin egemen olduğunu göstermektedir. İncelenen örneklerde kömürsü (% 73 - 92), odunsu (% 7 - 18), otsu (% 6) ve amorf (% 6 - 12) olmak üzere farklı oranlarda organik maddeler gözlenmiştir (Şekil 6). Amorf organik bileşenler, çoğunlukla, karasal kökenli malzemelerin taşınma sırasında geçirdikleri alterasyon sonucunda kırılıp parçalanması ile oluşmuştur.

İncelenen kömürlerde farklı analiz verilerinin birbirleri ile karşılaştırması sonucunda bazı önemli ilişkiler belirlenebilmiştir. Örneğin, toplam organik karbon ve üst ısıl değer arasında güçlü bir paralel olarak artan ilişki bulunmaktadır. Rock-Eval parametrelerinden olan kalıntı karbon arttığında sabit karbon ve karbon değeri artmakta buna karşın kül içeriği azalmaktadır. Piroliz edilen karbon miktarı ile sabit karbon, oksijen indeksi ile oksijen arasında da benzer bir ilişki vardır, S<sub>3</sub> - kül, ve oksijen indeksi - üst ısıl değer arasında ise tersi bir ilişki bulunmaktadır. Ayrıca, hidrojen miktarı arttığında üst ısıl değer azalır ve benzer ilişki T<sub>max</sub> ile üst ısıl değer, karbon ve sabit karbon arasında da izlenir.

Gölbaşı örneklerinin gaz kromatogramlarında düşük karbon sayılı n-alkanların özellikle n-C<sub>6</sub> ve n-C<sub>17</sub> gibi bileşenlerin çok düşük oranlarda bulunuşu ayrıca C<sub>32</sub>'den yüksek

bileşen olmaması, karasal ve denizel organik madde varlığına işaret edebilir. Seçilen örneklerde yapılan biyomarker analizinde n-alkan dağılımında yüksek moleküler ağırlıklı ( $C_{20+}$ ) bileşenler egemendir.  $C_{25}$  -  $C_{31}$  aralığındaki tek karbon sayılı n-alkanlarda,  $C_{29}$

steranların  $C_{27}$  ve  $C_{28}$ 'lere göre baskın oluşu, bu steranların,  $C_{29}$   $\alpha\alpha R$  isomerlerinin (Erik vd., 2008) bolluğu yüksek karasal malzemeden türeyen organik maddelerin varlığına işaret edilebilmektedir.



Şekil 8. İncelenen örneklerin Hidrojen indeksi-Oksijen indeksi diyagramı (Tissot ve Welte, 1984).

Figure 8. Hydrogen index - Oxygen index diagramme of the studied samples (Tissot and Welte, 1984).

### Organik Olgunlaşma

Sedimanlar içinde yer alan organik maddeler, gömülme artışı ile artan sıcaklıklara maruz kalır ve çeşitli kimyasal reaksiyonlar sonucunda hidrokarbonları oluştururlar. Bilindiği gibi hidrokarbonların oluşabilmesi için özellikle organik olgunlaşmanın gerçekleşmesi, kerojenin ısıl parçalanmasını sağlayacak sıcaklık şartlarına ulaşılabilmesi gerekmektedir.

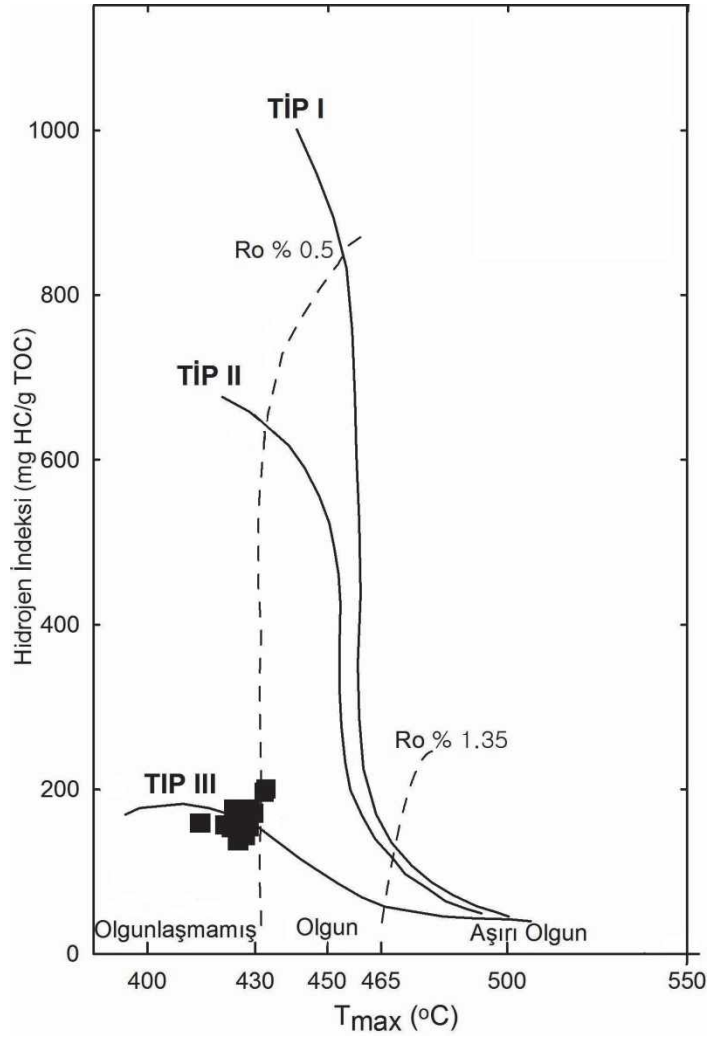
Organik analiz yöntemler, optik ve kimyasal yöntemler olmak üzere ikiye ayrılır. Kimyasal yöntemlerin en sık kullanılanı piroliz analizidir ve kaynak kayanın olgunluk değerini veren  $T_{max}$  değeri piroliz sırasında  $S_2$  değerinin maksimum olduğu andaki en yüksek ısıyı gösteren bir parametre olup derinlik artışıyla birlikte  $T_{max}$  değeri de genellikle artmaktadır (Espitalié vd., 1977).

Yukarıda da belirtildiği gibi,  $T_{max}$  ( $^{\circ}C$ ) değeri ısıl olgunlaşma değerini ifade eden bir organik jeokimyasal parametredir ve artan derinlikle birlikte artan olgunluğu belirtir. Gölbaşı örneklerinin  $T_{max}$  ( $^{\circ}C$ ) değerleri 414 – 432  $^{\circ}C$  arasında değişmekte olup, ortalama değer 422  $^{\circ}C$ 'dir (Çizelge 6). Bu değerler kömürün organik maddece zengin düzeylerin olgunlaşmamış-erken olgun zonda olduğunu gösterir. Kerojen preparatlarındaki açık sarı, açık kahverengi organik madde alterasyon renkleri, açık sarı-renksiz sporlar, ve düşük  $R_{max}$  değerleri de  $T_{max}$  verisini desteklemektedir. HI- $T_{max}$  diyagramında örneklerin büyük kısmı erken olgun ve olgunlaşmamış zonda dağılmıştır (Şekil

9). Bu örneklerin PI değerleri  $<0.10$ 'dur ve düşük olgunlaşmayı belirtir. Hüminit yansıma değerleri ( $R_o$ ) % 0.28 - 0.516 arasında değişir.

Yüksek kül içeriği bu karşılaştırmayı etkilediği için kül içerikleri % 15'ten düşük örneklerde hüminit yansıması ve kalori değeri karşılaştırılmıştır. Her iki veri de birbirinden bağımsız olarak olgunlaşmamış düzeyi belirtmekle birlikte, petrografik bileşim farklılıklarından dolayı hüminit yansıması ( $R_o$ ) ve  $T_{max}$  değerleri arasında anlamlı bir doğrusal ilişki bulunmamaktadır.

$20(S)/(20S+20R)$  ve  $\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$  steran oranı  $T_{max}$  ve  $R_o$  değerleri ile doğru orantılı olarak artar. Steran oranları, incelenen örneklerde 1'den küçük olup, olgunlaşmamış aşamayı belirtir (Peters ve Moldovan, 1993).  $Ts/(Ts+Tm)$  oranı 0.11 – 0.17'dir (Çizelge 7).  $Ts/Tm < 1$  değeri olgunlaşmamış organik maddeyi belirtir. Gölbaşı kömürlerinde  $18\alpha(H)-22, 29, 30$ -trisorneohopan ( $Ts$ )/( $Ts+Tm$ ) 0.80 – 0.84'tür (Çizelge 7). Genellikle  $C_{31}$  veya  $C_{32}$  homohopanlar  $22S/ (22S+22R)$  oranının hesaplanmasında kullanılmaktadır. Bu oran artan olgunlukla birlikte 0'dan yaklaşık 0.6'ya kadar artmakta olup, incelenen örneklerde 0.51 – 0.59 arasındadır. Diasteran/steran oranı olgunlaşmamış sedimanlarda genellikle düşük olup, incelenen örneklerde de 2.89 – 4.20 arasındadır (Arfaoui vd., 2007). Bu değerler diasteranın oldukça bol ve steranlara göre baskın olduğunu gösterir. Moretan/Hopan oranları 0.56 – 0.57 olup, genellikle artan olgunlukla birlikte azalmaktadır (Kvenvolden ve Simoneit, 1990).



Şekil 9. Hidrojen İndeksi -  $T_{max}$  diyagramı ile kerojen tiplerinin sınıflandırması (Mukhopadyay vd., 1995).

Figure 9. Classification of kerogene types by Hydrogen Index-  $T_{max}$  -diagramme (Mukhopadyay et al., 1995).

Çizelge 7. m/z 217 ve m/z 191 kütle kromatogramlarından hesaplanan biomarker parametreleri

Table 7. Biomarker parameters derived from the m/z 217 and m/z 191 mass chromatograms

Örnek Kodu	191		217		
	H/(H+M)	Ts/Tm	C <sub>27</sub> %	C <sub>28</sub> %	C <sub>29</sub> %
AOK-4	0.81	0.17	44	25	31
AOK-2	0.80	0.11	43	24	33
AOK-10	0.84	0.12	45	23	32

Ayrıca düşük bitüm / TOC oranı ile GC kromatogramlarında steran ve triterpan alanındaki şiddetli pik dağılımı olgunlaşmamış zonu belirtmektedir (Tissot ve Welte, 1984). C<sub>29</sub> düzenli steranlardan türeyen bir olgunluk parametresi de 5 $\alpha$ (H), 14 $\beta$ (H), 17 $\beta$ (H) C<sub>29</sub> steran ve 5 $\alpha$ (H), 14 $\alpha$ (H), 17 $\alpha$ (H) C<sub>29</sub> steran ( $\alpha\beta\beta/(\alpha\beta\beta+\alpha\alpha\alpha)$ ) oranıdır. Ts/Tm oranı, 0.51 – 0.59'dur.

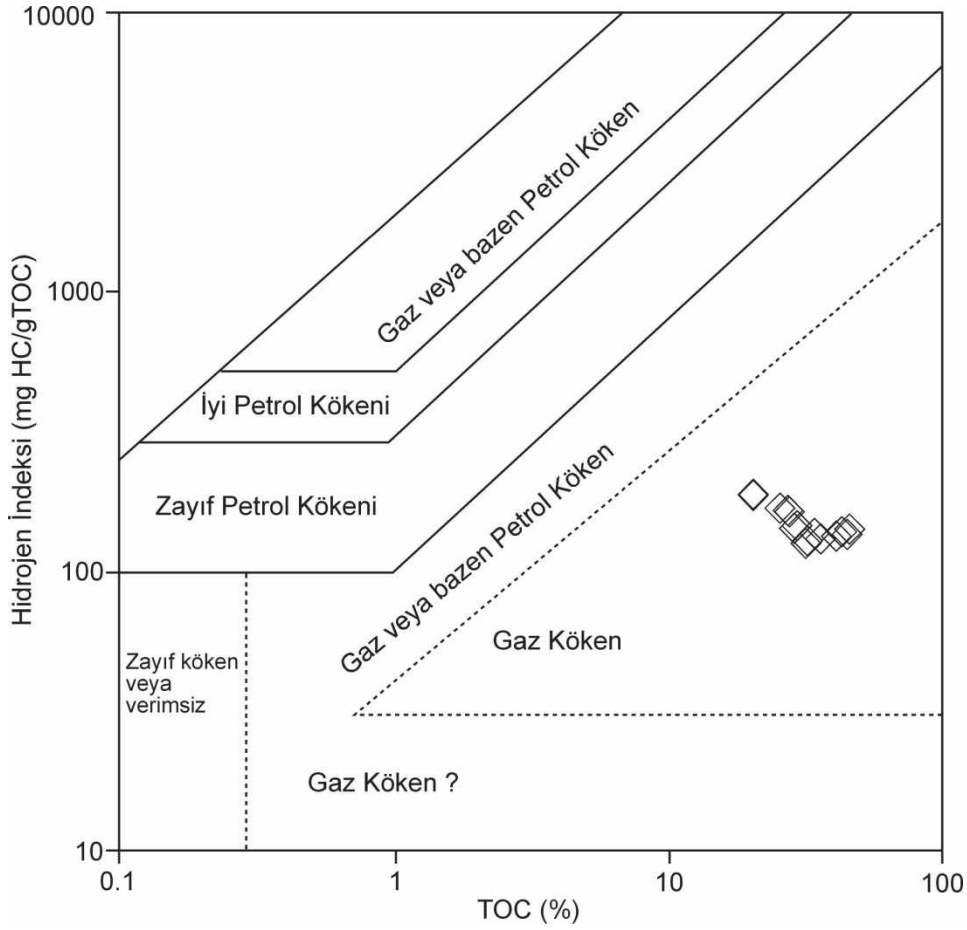
### Hidrokarbon Türüm Potansiyeli

Hidrokarbon türüm potansiyeli Potansiyel Verim (PY = S<sub>1</sub>+S<sub>2</sub>) ile de değerlendirilmekte olup genellikle TOC sonuçları ile uyum içindedir. İncelenen örneklerin hidrokarbon türüm potansiyellerinin farklı teknik ve grafikler ile yorumlanması ve birbiri ile denştirilmesi, sonuçlarda hata yapılmasını engelleyecektir. Özellikle kömürün kaynağının tespit edilebilmesi için bu çalışmada köken zenginliği diyagramı kullanılmıştır.

İncelenen örneklerin köken zenginliği diyagramındaki dağılımları (HI-TOC) (Jackson vd., 1985) Şekil 10'da verilmiştir. Hidrokarbonların oluşabilmesi için özellikle organik olgunlaşmanın gerçekleşmesi, kerojenin ısısal parçalanmasını sağlayacak sıcaklık şartlarına ulaşılabilmesi gerekmektedir. Bu

nedenle de organik olgunlaşma verilerinin belirlenmesi için T<sub>max</sub> ve PI değerleri göz önünde bulundurulmaktadır.

İncelenen örneklerin S<sub>1</sub> değerleri oldukça düşük olup, 1.69 – 4.08 mg HC/g kaya; S<sub>2</sub> değerleri 38.22 – 62.92 mg HC/g kaya arasında değişmektedir (Çizelge 6). S<sub>2</sub> değeri 4.0 mg HC/g kaya'dan düşük olduğundan genellikle zayıf ana kaya potansiyeli; 4.0'dan büyük olduğunda ise hidrokarbon ana kaya potansiyelinden bahsedilir. Bu nedenle incelenen örneklerde S<sub>2</sub> değerleri birçok örneğin iyi ve çok iyi ana kaya potansiyelli olduğuna işaret etmektedir (Çizelge 6). Bu veriye göre kömürlerin ana kaya potansiyeli olmakla birlikte diğer organik maddece zengin (AOK-2 ve 8 örnekleri gibi) karbonatlı seviyelerin ana kaya potansiyeli bulunmamaktadır. Özellikle kömür kökenli sıvı hidrokarbon türümünde en kritik veri hidrojen zengin organik maddelerin varlığıdır. Hunt (1995)'e göre kömürler ve karasal malzemelerden hidrokarbon türümü için 200 mg HC/g TOC'den büyük hidrojen indeksi gerekmektedir. İncelenen örneklerde yüksek hidrojen indeksi değerleri ile HI-T<sub>max</sub> diyagramındaki örnek dağılımları bir miktar sucul organik madde girişini ve sınırlı gaz türüm potansiyelini ifade etmektedir.



Şekil 10. Gölbaşı kömür örneklerinin Hidrojen indeksi - TOC diyagramı (Jackson vd.,1985'ten geliştirilerek)

Figure 10. Hydrogen index - TOC diagram of the Gölbaşı coal samples (developed from Jackson et al.,1985).

İnceleme alanındaki örneklerde olduğu gibi hümik kömürler, genelde, TİP III kerojenden oluşur ve gaz türetebilir özelliktedirler. Adıyaman-Gölbaşı kömür örneklerinin gaz türüm potansiyelleri olmakla birlikte, olgunlaşmalarının düşük olması bunu engellemektedir. Hidrokarbon türüm potansiyeli jenetik potansiyel veya üretim indeksi ile de değerlendirilebilmektedir ve bu değer ( $S_1+S_2$ ) genellikle TOC değerlerine benzer sonuçlar vermektedir.  $S_2/S_3$  değerleri 2'den küçüktür. PI değerleri 0.1'den küçük ve  $T_{max}$  değerleri olgunlaşmamış aşamayı belirtir. HI-TOC

diyagramında bazı örnekler zayıf türüm alanında dağılmış olup (Şekil 10), bazı örnekler ise gaz ve bir miktar petrol türüm potansiyelini işaret etmektedir.

Organik olgunlaşma verilerine göre incelenen kömürlü ve organik maddece zengin düzeyler, hidrokarbon türümü için yeterli organik maddeye sahip olmakla birlikte olgunlaşmalarının düşük olması türümü engellemiştir.

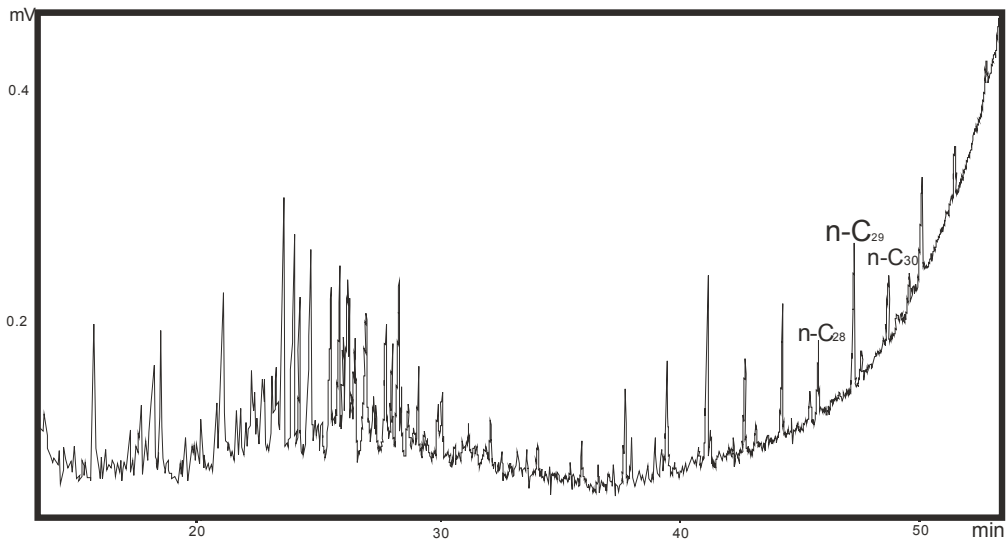
### Kömürlerin Moleküler Bileşimi

İncelenen örneklerin özüt miktarı düşüktür (1560 – 6430 ppm arasında), bileşim rezin ve asfaltanlar gibi düşük olgunluktaki organik maddeleri içermektedir. Steran ve terpan dağılımları m/z 191 ve m/z 217 kütle kromatogramlarında kaydedilmiştir.

N-alkanlar  $C_{20}$ - $C_{32}$  (Çizelgeler 8, 9 ve 10) aralığında dağılmıştır (Şekil 11). GC analizinde, n- $C_{17}$ , n- $C_{27}$ , n- $C_{30}$  ve n- $C_3$  gibi düşük karbon sayılı n-alkanlar ile  $CS_2$  ve benzen belirlenmiştir. İncelenen örneklerin tipik doymuş hidrokarbon GC-MS verileri Şekil 12a, 12b, ve 12c'de gösterilmektedir. Başlıca biyomarkerler  $C_{25}$  (22S+22R) tricycliterpane,  $C_{24}$  tetracycliterpane (seco),  $C_{26}$  22R tricycliterpan,  $C_{28}$  tricycliterpan'dır. Bu triterpanoid bileşenlerinin kömür örneklerinde bulunuşu onların yüksek karasal bitki bileşimlerini, gammaceran ise hipersalin

çökelim koşullarını belirtmektedir. Uzun zincirli  $C_{27}$  -  $C_{31}$  n-alkanların toplam n-alkanlar içindeki nispi bolluğu karasal bitkileri ifade ederken (Moldowan vd., 1985), Gölbaşı örneklerinde düşük oranda olan kısa zincirli n-alkanlar ( $<C_{20}$ ) egemen olarak alg ve mikroorganizmalarda bulunur. Örneklerde egemen olarak orta ve yüksek molekül ağırlıktaki n-alkanlar ( $C_{21-25}$ ) olup, bu durum, karasal ve gölssel organik malzemenin birlikte bulunduğuna işaret eder.

İncelenen örneklerin m/z 217 kütle kromatogramlarında  $C_{27}$ ,  $C_{28}$ ,  $C_{29}$  steran ve bunların 20S ve 20R epimerleri (Çizelge 7, 8 ve 9; Şekil 12b) tanımlanmıştır. Gölbaşı kömür örnekleri  $C_{27}$  ve  $C_{29}$  steranlar ile düşük oranlarda da aromatik olmayan hidrokarbon bileşenlerini içerir. Örneklerde  $C_{28}$  steran ve  $C_{28}$  diasteranlar çok düşük orandadır (Şekil 6). Algler  $C_{27}$  sterollerin birincil kaynağı olarak belirtilmekte iken  $C_{29}$  steroller daha çok karasal bitkilerden oluşmaktadır.

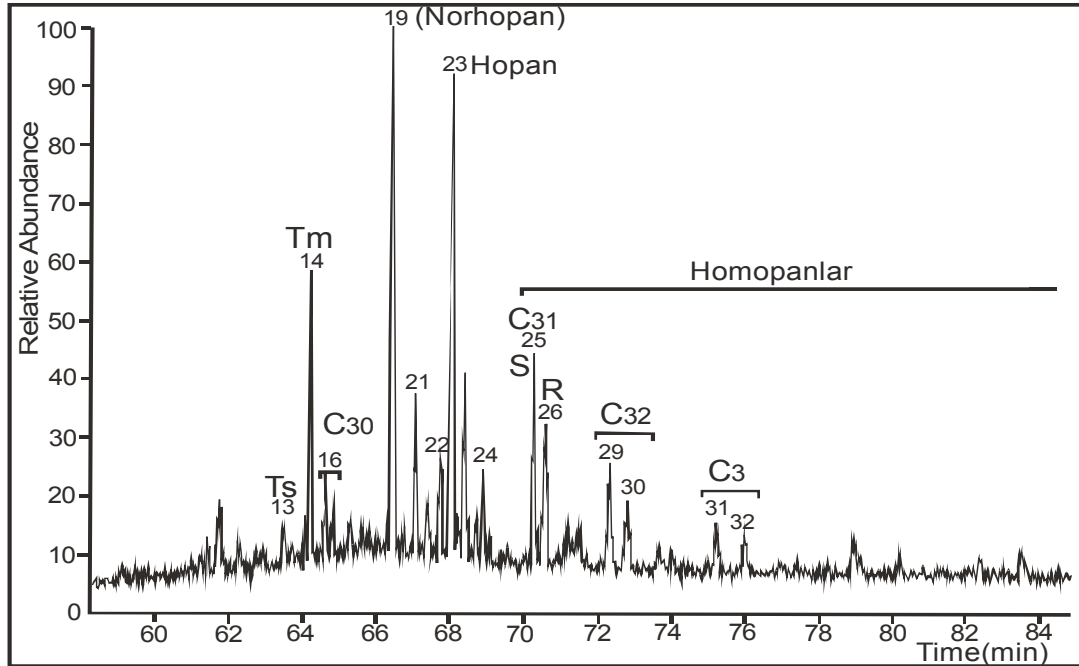


Şekil 11. GC diyagramı

Figure 11. GC diagram

Örneklerde ayrıca  $C_{20}$ ,  $C_{21}$ ,  $C_{23}$ ,  $C_{24}$ ,  $C_{26}$ ,  $C_{28}$ ,  $C_{29}$  tricyclic terpanlar da belirlenmiştir.  $C_{24}$  tetracyclic terpanın özüt içinde nispi bolluğu karasal organik madde girişini gösterir (Peters ve Moldowan, 1993). Kömür örneklerinde  $C_{23}/C_{24}$  oranları 0.84 - 1.52;  $C_{28}/C_{29}$  steran oranı 0.40 - 2.58;  $C_{27}/C_{29}$  steran oranları 1.30 - 1.45 arasında değişir. Özellikle bu örneklerde olduğu gibi karasal alanda gelişen turba oluşumuna deniz suyunun etkisi  $C_{27}$  düzenli steran oranının  $C_{29}$  ve  $C_{28}$  steranlara göre nispi bolluğu ile izlenir. Bray ve Evans (1961)'e göre, CPI ( $C_{24}$  -

$C_{34}$ ) = 1, CPI ( $C_{16}$  -  $C_{26}$ ) = 2.00'dır. m/z 191 kütle fregmantogramında iki örnekte çok düşük tricyclic terpan izlenmiştir (Şekil 12a). Gölbaşı kömür örneklerinde  $C_{29}$  norhopan  $C_{30}$  hopana göre daha azdır. İncelenen üç örnekte de  $C_{32}$  homohopanolardan daha büyük karbon numaralı bileşen bulunmamaktadır. Steran/hopan oranı 0.80 - 1.60 olup, steranlar hopanlara göre daha boldur.  $C_{29}/C_{30}$  hopan karbonat ve kırıntılı litolojiyi ayırt etmekte kullanılır ve (Waples ve Machihara, 1991) bu oran 0.60 - 0.65'tir (Çizelge 7).

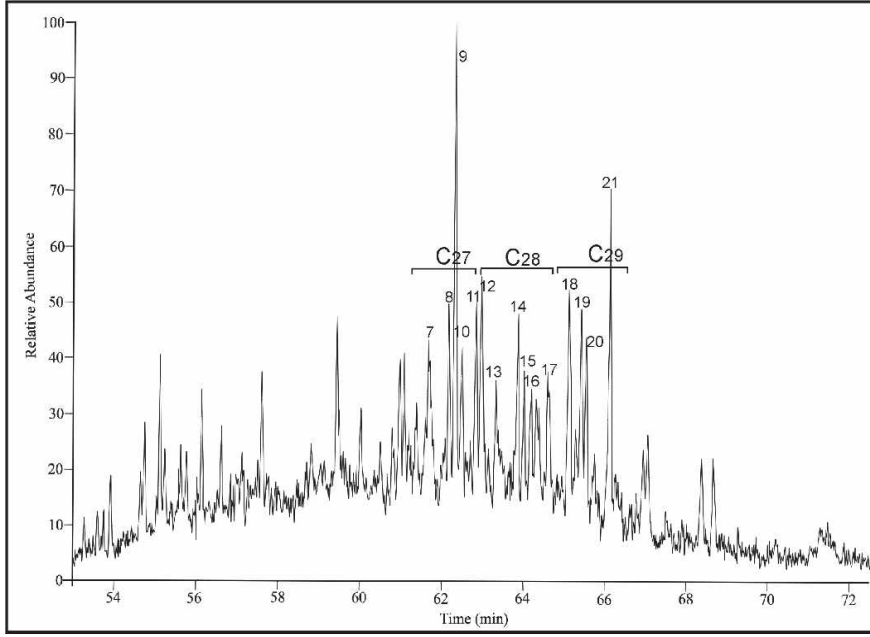


Şekil 12a. 191 için GC-MS diyagramı (AOK-10 Örneği için)

Figure 12a. GC-MS diagram for 191 (for AOK-10 sample)

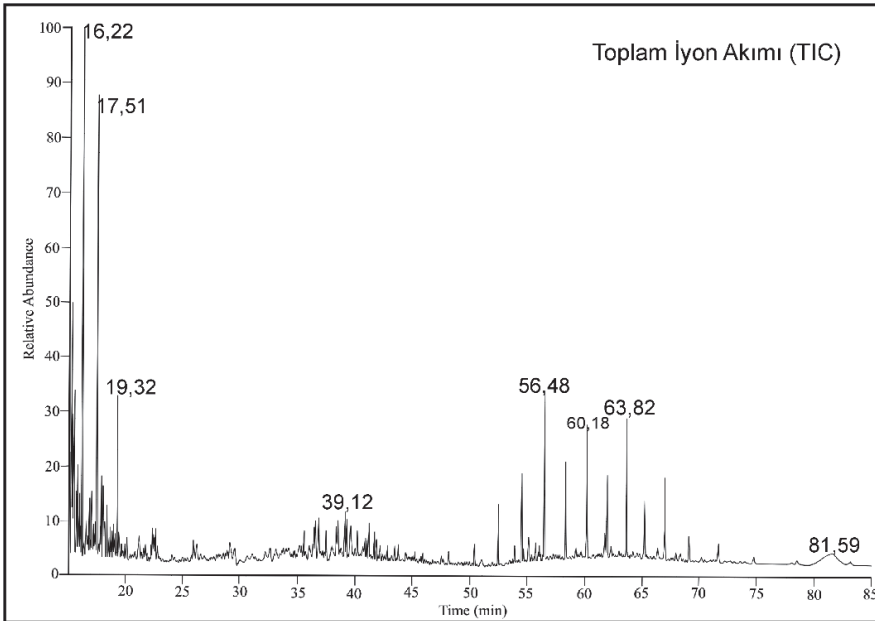


## Kavak ve Toprak



Şekil 12b. 217 için GC-MS diyagramı (AOK-10 örneği)

Figure 12b. GC-MS diagram for 217 (AOK-10 sample)



Şekil 12c. TIC'in GC-MS diyagramı (AOK-10 örneği için)

Figure 12c. GC-MS diagram of TIC (for AOK-10 sample)

## Çökelim Ortam Özellikleri

ASTM (D388) standartlarına göre incelenen kömürler alt bitümlü linyit kömür özelliğindedir. Paleortam şartlarında uygun koşullarda karasal ve gösel özellikteki bitkisel parçalar genellikle yüksek ancak değişen su düzeyinde bozunmaya uğramıştır. Bu olay hüminite grubu maserallerin (gelinitlerin) varlığı ile açıklanabilmektedir. Özellikle hüminite grubu içinde gelinit maserallerinin egemenliği bataklik şartlarını, füsinitler ise bataklik oksidasyon veya yangınlarını işaret etmektedir (Toprak, 1996; Altunsoy ve Özçelik, 1993). Kömürlerin densinite içeriğinin fazla olması, ortama etkiyen tektonik etmenlerin veya dinamik aktivitelerin fazla olduğunu belirtmektedir (Toprak, 2009). Kömürlerin yansıma (%  $R_{max}$ ) ve paleo-sıcaklık değerlerine göre (Boggs, 1987) kömürlü ortamın geçmişte geçirdiği en büyük sıcaklık değerinin yaklaşık 100 – 125 C° arasında olabileceği belirlenmiştir.

Kömürlerin biyomarker analiz değerlendirmeleri paleortam özelliklerinin açıklanması bakımından önemlidir. Örneğin, 17 $\alpha$ (H)-homohopan oranları paleoklim belirteçidir (Waples ve Machihara, 1991). C<sub>31</sub>'den C<sub>35</sub>'e kadar hopan oranının azalımı klastik fasiyesi yansıtırken, yüksek C<sub>31</sub> hopan oranları turba ve kömüre karşılık gelir. Bu açıdan değerlendirildiğinde her üç örnekte de homohopanlar bulunmakta ve C<sub>31</sub>'den C<sub>35</sub>'e doğru homohopan pik yüksekliğindeki düzenli azalım kırıntılı fasiyesler için tipik olarak izlenmektedir (Waples ve Machihara, 1991). Yüksek tuzluluk belirteci olan gammaceran

oranları incelenen örneklerde organik maddelerin çökelişi sırasında su kolonundaki tabakalanmaya ve örneklerin Geç Protorezoik yaşlı olduğuna işaret etmektedir (Waples ve Machihara, 1991; Connan, 1993; Peters ve Moldowan, 1993; Hunt, 1995).

C<sub>28</sub>/C<sub>29</sub> steran oranları 1'den küçük olup, incelenen kömürlerin yaş verisi jeolojik yaş ile uyumludur. Tricyclic terpanlar bütün örneklerde bulunmaktadır. Genellikle kömür örnekleri nispeten yüksek oranlarda C<sub>25</sub> tricyclicterpan ve düşük C<sub>23</sub> tricyclicterpan içermektedir. C<sub>24</sub> tetracyclic terpanların nispi bollukları örneklerin karasal organik madde içerdiğini gösterir (Peters ve Moldowan, 1993).  $\alpha\beta$ -Moretan/ $\alpha\beta$ -hopan (moretan/hopan) oranı 0.52 – 0.57 olup, olgunlaşmamış aşamayı ve organik madde çökelim ortamının tuzlu olduğuna işaret eder (Waples ve Machihara, 1991; Peters ve Moldowan, 1993). Framboidal pirit bütün kömür damarlarında yaygın olarak izlenmiştir ve anaerobik ortam şartlarını yansıtır. Pr/Ph ve diasteran/steran oranları redoks koşullarındaki ve depolanma ortam şartlarındaki değişiklikleri belirtir (Peters ve Moldowan, 1993; Bechtel vd., 2005). Düşük Pr/Ph (Ten Haven vd., 1987) <0.5 ve <2 ile Pr/n C<sub>17</sub> oranının <0.5 olması anoksik ve hipersalin ortam ile büyük su kütlelerinin etkisini ifade eder. C<sub>30</sub> steranların değer olarak az veya hiç bulunmaması gösel ortam işareti olup, C<sub>28</sub> oranı ile diasteran/steran oranının çok düşük olması da limnik çökelim ortamlarını gösterir (Peters ve Moldowan, 1993). Bu veriler ışığında incelenen kömür örneklerinin denizden ve tatlı sudan zaman zaman etkilenmiş gösel bir bataklikta oluştuğu düşünülmektedir (Çizelge 8).

## Kavak ve Toprak

Çizelge 8. m/z 217 kütle kromatogramlarında steranların pik tanımlamaları

Table 8. Sterane peak determinations on m/z 217 mass chromatograms

Pik Numarası	Bileşen Adı
1	C27 13β(H),17α(H)-DIASTERAN (20S)
2	C27 13β(H),17α(H)-DIASTERAN (20R)
3	C27 13β(H),17α(H)-DIASTERAN (20S)
4	C27 13β(H),17α(H)-DIASTERAN (20R)
5	C28 13β(H),17α(H)-DIASTERAN (20S)
6	C28 13β(H),17α(H)-DIASTERAN (20R)
7	C28 13β(H),17β(H)-DIASTERAN (20S)
8	C27 5α(H),14α(H),17α(H)-STERAN (20S)+C28 13α(H),17β(H)-DIASTERAN (20S)
9	C27 5α(H),14β(H),17β(H)-STERAN (20R)+C29 13β(H),17α(H)-DIASTERAN (20S)
10	C27 5α(H),14β(H),17β(H)-STERAN (20S)+C28 13α(H),17β(H)-DIASTERAN (20R)
11	C27 5α(H),14α(H),17α(H)-STERAN (20R)
12	C29 13β(H),17α(H)-DIASTERAN (20R)
13	C29 13α(H),17β(H)-DIASTERAN (20S)
14	C28 5α(H),14α(H)-17α(H)-STERAN (20S)
15	C28 5α(H),14β(H)-17β(H)-STERAN (20R)+ C29 13α(H),17β(H)-DIASTERAN (20R)
16	C28 5α(H),14β(H)-17β(H)-STERAN (20S)
17	C28 5α(H),14α(H),17α(H)-STERAN (20R)
18	C29 5α(H),14β(H),17α(H)-STERAN (20R)
19	C29 5α(H),14β(H),17β(H)-STERAN (20R)
20	C29 5α(H),14β(H),17β(H)-STERAN (20S)
21	C29 5α(H),14α(H),17α(H)-STERAN (20R)
22	C29 5α(H),14α(H),17α(H)-STERAN (20S)
23	C30 5α(H),14β(H)-17β(H)-STERAN (20R)
24	C30 5α(H),14β(H)-17β(H)-STERAN (20S)
25	C30 5α(H),14α(H),17α(H)-STERAN (20R)

Çizelge 9. m/z 191 kütle kromatogramlarında triterpanların pik tanımlamaları

Table 9. Triterpane peak determinations on m/z 191 mass chromatograms

Pik Numarası	Bileşen Adı
1	C19 TRICYCLICTERPAN
2	C20 TRICYCLICTERPAN
3	C21 TRICYCLICTERPAN
4	C22 TRICYCLICTERPAN
5	C23 TRICYCLICTERPAN
6	C24 TRICYCLICTERPAN
7	C25 TRICYCLICTERPAN (22S+22R)
8	C24 TETRACYCLICHOPAN (SECO)
9	C26 TRICYCLICTERPAN 22 (S)
10	C26 TRICYCLICTERPAN 22 (R)
11	C28 TRICYCLICTERPAN
12	C29 TRICYCLICTERPAN
13	C27 18 $\alpha$ (H)-22,29,30-TRISNORHOPAN (Ts)
14	C27 17 $\alpha$ (H)-22,29,30-TRISNORHOPAN (Tm)
15	17 $\alpha$ (H)-29,30-BISNORHOPAN
16	C30 TRICYCLICTERPAN
17	17 $\alpha$ (H)-28,30-BISNORHOPAN
18	C29 17 $\alpha$ (H),21 $\beta$ (H)-30-NORHOPAN
19	C29 Ts (18 $\alpha$ (H)-30-NORHOPAN
20	C30 17 $\alpha$ (H) DIAHOPAN
21	C29 17 $\beta$ (H),21 $\alpha$ (H)-30 NORMORATEN
22	OLEANAN
23	C30 17 $\alpha$ (H),21 $\beta$ (H)-HOPAN
24	C30 17 $\beta$ (H),21 $\alpha$ (H)-MORETAN
25	C31 17 $\alpha$ (H),21 $\beta$ (H)-30-HOMOHOPAN (22S)
26	C31 17 $\alpha$ (H),21 $\beta$ (H)-30-HOMOHOPAN (22R)
27	GAMMACERAN
28	HOMOMORETAN
29	HOMOHOPAN
30	C32 17 $\alpha$ (H),21 $\beta$ (H)-30,31-BISHOMOHOPAN (22R)
31	C33 17 $\alpha$ (H),21 $\beta$ (H)-30,31,32-TRISHOMOHOPAN (22S)
32	C33 17 $\alpha$ (H),21 $\beta$ (H)-30,31,32-TRISHOMOHOPAN (22R)
33	C34 17 $\alpha$ (H),21 $\beta$ (H)-30,31,32,33-TETRAKISHOMOHOPAN (22S)
34	C34 17 $\alpha$ (H),21 $\beta$ (H)-30,31,32,33-TETRAKISHOMOHOPAN (22R)
35	C35 17 $\alpha$ (H),21 $\beta$ (H)-30,31,32,33,34-PENTAKISHOMOHOPAN (22S)
36	C35 17 $\alpha$ (H),21 $\beta$ (H)-30,31,32,33,34-PENTAKISHOMOHOPAN (22R)

Kavak ve Toprak

Çizelge 10. Gölbaşı kömür örneklerinin gaz kromatografi sonuçları.

Table 10. Gas chromatography results of Gölbaşı coal samples.

Örnek Kodu	Pr/Ph	CPI	n-Alkan Dağılımı	Açıklama
AOK-2	0.8	-	C <sub>14</sub> -C <sub>20</sub>	Kömüre katkıda bulunan iki tip organik madde türü tespit edilmiştir.
AOK-4	0.3	-	Karışım C <sub>22</sub> -C <sub>30</sub>	Kömüre katkıda bulunan iki tip organik madde türü tespit edilmiştir.
AOK-10	0.4	2.0	Karışım nC <sub>12</sub> -nC <sub>33</sub>	Kömüre katkıda bulunan iki tip organik madde türü tespit edilmiştir.
AOK-12	0.4	2.0	Karışım nC <sub>12</sub> -nC <sub>33</sub>	Kömüre katkıda bulunan iki tip organik madde türü tespit edilmiştir.
AOK-14	0.4	2.0	Karışım nC <sub>12</sub> -nC <sub>33</sub>	Kömüre katkıda bulunan iki tip organik madde türü tespit edilmiştir.

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Gölbaşı kömür sahasında Tersiyer yaşlı organik maddece zengin ve kömürlü serilerin organik jeokimyasal, organik petrografik ve kömür kalite değerlendirmesi yapılmıştır. Petrografik değerlendirme sonuçlarına göre Gölbaşı kömürleri hüminit grubu maseraller bakımından zengin, buna karşın liptinit ve inertinitçe fakirdir. Hüminit maseral grubunda ise gelinitler egemendir. Pirit içeriği oldukça yüksek olup, çoğunlukla framboidal oluşumludur. Hüminit (Ro) yansıma değerleri % 0.28 ile 0.516 arasında değişir ve diyajeneze karşılık gelen düşük olgunluk seviyesini belirtir. Kömürle birlikte bulunan karbonatlı ve killi düzeylerde yansıma değerleri daha düşüktür. T<sub>max</sub> değerleri 414 ile 432 C° arasında değişir (ortalama T<sub>max</sub> 422 C°). Bu değer olgunlaşmamış-erken olgun aşamayı gösterir. Alkan oranları yüksek resen ve asfaltenden dolayı oldukça düşüktür ve buna göre de olgunlaşma düşüktür. HI-T<sub>max</sub> ve hidrojen indeksi-oksijen indeksi diyagramlarında TİP II-III ve TİP III organik madde tipi egemendir. Organik jeokimyasal analizlerde elde edilen parametrelerle kömür petrografi ve kömür kalite değerleri birbiri ile uyum göstermektedir.

İncelenen kömürlerin özellikle petrografik değerlendirmesi Alt-Bitümlü Linyit kömürleri işaret eder. Moretan/hopan ve C<sub>32</sub> homohopan izomerizasyon oranları diğer olgunluk parametreleri ile uyumlu olup, olgunlaşmamış aşamayı belirtir. Petrografik veriler gibi kömür kalite parametreleri de Gölbaşı kömürlerinin kömürleşme derecesi ile uyumludur, alkale ve indirgen koşulları gösterir. Pristan/Fitan oranları 1'den düşük olup, anoksik koşullara işaret eder. Genelde, optik ve jeokimyasal veriler arasında iyi bir uyum bulunmaktadır ve tüm parametreler düşük litostatik basınç etkisini ve düşük olgunlaşmayı belirtir. Yüksek kül içeriği ve düşük kömürleşme derecesi Gölbaşı kömürlerinin kullanım potansiyelini sınırlamaktadır. Kömür kalite verileri, organik jeokimya ve organik petrografik analiz sonuçlarına göre incelenen kömürler düşük olgunluk düzeyindedir. Organik madde tipi ve miktarına göre gaz türüm potansiyeli olmasına karşın düşük olgunlaşma düzeyi nedeniyle bu potansiyelden bahsedilemez. Gölbaşı kömürlerin gölsel oluşumlu olduğu ve hipotokton özellikler gösterdiği elde edilen özelliklerden anlaşılmaktadır.

## KATKI BELİRTME

Bu çalışma DÜAPK-03-MF-85 projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Yazarlar, yardımlarından dolayı Prof. Dr. M. Namık Yalçın'a (İstanbul Üniversitesi), Velat Alabaş'a (Dicle Üniversitesi), Kıvılcım Önen'e (Dicle Üniversitesi), Veysel Yalçındağ'a (Dicle Üniversitesi), Merve Fakılı'ya (Cumhuriyet Üniversitesi), Selçuk Gördük'e (DSİ) ve Adıyaman Soykan Kömür İşletmeleri'nin tüm personeline teşekkür ederler.

## KAYNAKLAR

- Altunsoy, M., Özçelik, O., 1993. Organik fasiyesler, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 43, 34-39.
- Arfaoui, A., Montacer, M., Kamoun, F., Rigane, A., 2007. Comparative study between Rock-Eval pyrolysis and bio-markers parameters: a case study of Ypresian source rocks in central-northern Tunisia. *Marine and Petroleum Geology*, 24, 566-578.
- ASTM, 1983. Annual book of ASTM standards. Gaseous Fuels; Coal and Coke (D-388-82, D-2798-79, D-3172-73, D-2799-72, D-3174-82, D-3175-82): 1916 Race Street, Philadelphia, PA 19103, 05.05, 520p.
- Aydoğan, M., 1985. Adıyaman-Gölbaşı-Harmanlı linyit havzası değerlendirme raporu, Ankara, MTA rapor no: 7695(yayınlanmamış), 23s.
- Bechtel, A., Saschenhofer, R.F., Zdravkov, A., Kostova, I., Gratzner, R., 2005. Influence of floral assemblage, facies and diagenesis on petrography and organic geochemistry of the Eocene Bourgas coal and the Miocene Maritza East lignite (Bulgaria). *Organic Geochemistry*, 36, 1498-1522.
- Boggs, S. Jr., 1987. Principles of Sedimentology and Stratigraphy. Merrill Publishing Company: A Bell&Howell Company, Columbus Toronto London Melbourne, 784p.
- Bray, E. E., Evans, E. D., 1961. Distribution of n-paraffins as a clue for recognition of source beds. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 22, 2-15.
- Connan, J., 1993. Molecular geochemistry in oil exploration (in: M. L. Bordenave, Editor). *Applied Petroleum Geochemistry*, Editions Technip, Paris, 175-204.
- Diessel, K., 1986. The correlation between coal facies and depositional environments. *Advances in the Study of the Sydney Basin. Proceedings of 20<sup>th</sup> Symposium*, The University of Newcastle, 19-22.
- Durand, B., Niçaise, G., 1980. Procedures for kerogen isolation. In: Durand, B. (Ed.), *Kerogen, insoluble organic matter from sedimentary rocks*. Techniq, Paris, 35-53.
- Durand, B., Paratte, M., 1983. Oil potential of coals: a geochemical approach. In: Brooks, J. (Ed.), *Petroleum Geochemistry and Exploration of Europe*, The Geological Society Special Publication, 12, 255-265.
- Erik, Y.N., Sancar, S., Toprak, S., 2008. Hafik kömürlerinin (Sivas) organik jeokimyasal ve organik petrografik özellikleri. *Türkiye Petrol Jeologları Bülteni*, 20 (2), 9-33.
- Espitalié, J., La Porte, J.L., Madec, M., Marquis, F., Le Plat, P., Paulet, J., Boutefeu, A., 1977. Methodé Rapide De Caractérisation Des Roches Méres De Leur Potentiel Pétrolier Et De Leur Degré D"Évolution. *Rev. L"Inst. Francais pétrole*, 32 (1), 23-42.
- Espitalié, J., Deroo, G., Marquis, F., 1985. La pyrolyse Rock-Eval et ses applications (deuxième partie). *Revue Institut Francais du Pétrole*, 40, 755-784.
- Flores, D., 2002. Organic facies and depositional palaeoenvironment of lignites from Rio Maior Basin (Portugal). *International Journal of Coal Geology*, 48, 181-195.
- Fowler, M.G., Gentzis, T., Goodarzi, F., Foscolos, A. E., 1991. The petroleum potential of some

## Kavak ve Toprak

- Tertiary lignites from northern Greece as determined using pyrolysis and organic petrological techniques. *Organic Geochemistry*, 17, 805-826.
- Georgakopoulos, A., Valceva, S., 2000. Petrographic characteristics of Neogene Lignites from the Ptolemais and Servia basins, Northern Greece. *Energy Sources*, 22, 587-602.
- Gökmen, V., Memikoğlu, O., Dağlı, M., Öz, D., Tuncalı, E., 1993. Türkiye Linyit Envanteri. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, 356s.
- Hubbard, B., 1950. Coal as a possible petroleum source rock. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 34 (12), 2347-2359.
- Hunt, J.M., 1995. *Petroleum Geochemistry and Geology*. W. H. Freeman and Company, New York, 743p.
- International Committee for Coal and Organic Petrology (ICCP), 1998. The new vitrinite classification. *Fuel*, 77, 349-358.
- International Committee for Coal and Organic Petrology (ICCP), 2001. The new inertinite classification. *Fuel*, 80, 459-471.
- Jordanidis, A. ve Georgakopoulos, A., 2003. Pliocene lignites from Apofysis mine, Amynteo basin, Northwestern Greece: Petrographical characteristics and depositional environment. *International Journal of Coal Geology*, 54, 57-68.
- İnan, S., 2007. Coalbed gas of biogenic origin in the miocene Soma Basin (Western Turkey). 23<sup>rd</sup> International Meeting on Organic Geochemistry, The Riviera International Conference Centre, Turkey, 2s.
- Jackson, K.S., Hawkins, P.J., Bennett, A.J.R., 1985. Regional facies and geochemical evolution of Southern Denison Trough. *Australian Petroleum Exploration Association Journal*, 20, 143-158.
- Kalkreuth, W., Keuser, C., Fowler, M., Li, M., McIntyre, D., Püttmann, W., Richardson, R., 1998. The petrology, organic geochemistry and palynology of Tertiary age Eureka Sound Group coals, Arctic Canada. *Organic Geochemistry*, 29, 799-809.
- Kavak, O., 2010. Petroleum properties of Karaboğaz formation in Adıyaman oil field at South East Turkey through organic geochemical studies. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, 6 (562), 30-38.
- Kolcon, I., Sachsenhofer, R.F., 1999. Petrography, palynology and depositional environments of the early Miocene Oberdorf lignite seam, (Styrian Basin, Austria). *International Journal of Coal Geology*, 4, 275-308.
- Korkmaz, S., Kara Gülbay, R., 2007. Organic geochemical characteristics and depositional environments of the Jurassic coals in the Western Taurus of Southern Turkey. *International Journal of Coal Geology*, 70 (4), 292-304.
- Kvenvolden, K.A., Simoneit, B. R. T., 1990. Hydrothermal derived petroleum examples from Guaymas Basin, Gulf of California, and Escabana Trough, north-east Pacific Ocean. *American Association of Petroleum Geologists*, 74, 223-237.
- Langford, F.F., Blanc-Valleron, M. M., 1990. Interpreting Rock-Eval pyrolysis data using graphs of pyrolyzable hydro-carbons vs. total organic carbon. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 74, 799-804.
- Moldowan, M., Seifert, W. K., E. J. 1985. Gallegos, Relationship between petroleum composition and depositional environment of petroleum source rocks. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 69, 1255-1268.
- Mukhopadhyay, P.K., Wade, J.A., Kruege, M.A., 1995. Organic facies and maturation of Jurassic/Cretaceous rocks, and possible oil-source rock correlation based on pyrolysis of asphaltenes: Scotian Basin, Canada. *Organic Geochemistry*, 22 (1), 85-104.

- Peters, K.E., 1986. Guidelines for evaluating petroleum source rock using pro-grammed pyrolysis. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 70, 318-329.
- Peters K. E., Moldowan, J. M., 1993. *The Biomarker Guide: Interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 363p.
- Soykan 1997. *Adıyaman-Gölbaşı Soykan kömür işletmeleri tanıtımı ve gelişimi*, Ankara, 135s.
- Stach, E., Mackowsky, M.-Th., Teichmüller, M., Taylor, G. H., Chandra, D., Teichmüller, R., 1982. *Stach's Textbook of Coal Petrology*. Gebrüder Borntraeger, Berlin, 535p.
- Teichmüller, M., Durand, B., 1983. Fluorescence microscopical rank studies on liptinites and vitrinites in peat and coals, and comparison with results of the Rock-Eval pyrolysis. *International Journal of Coal Geology*, 2, 197- 230.
- Teichmüller, M., Littke, R., Taylor, G.H., 1998. *The Origin of Organic Matter in Sedimentary Rocks* (In Taylor, G.H., Teicmüller, M., Davis, A., Diessel, C.F.K., Littke, R., Robert, P., (eds). *Organic petrology*, Gebrüder Borntraeger, Berlin, 704p.
- Ten Haven, H. L., De Leeuw, J. W., Rullkotter, J., Sinninghe Damste, J. S., 1987. Restricted utility of the pristane/phytane ratio as a paleoenvironmental indicator. *Nature*, 330, 641-643.
- Tissot, B.P., Welte, D.H., 1984. *Petroleum Formation and Occurrence*. Springer-Verlag, Berlin, 699p.
- Toprak, S., 1996. *Alpagut - Dodurga (Osmancık - Çorum) bölgesi çevresindeki kömürlerin oluşum ortamları ve özelliklerinin belirlenmesi*. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Doktora tezi, 168s (yayımlanmamış).
- Toprak, S., 2009. Petrographic properties of major coal seams in Turkey and their formation. *International Journal of Coal Geology*, 78, 263-275.
- Van Krevelen, D.W., 1961. *Coal*. Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 514p.
- Waples, D. W., Machihara, T., 1991. Biomarkers for geologists-a practical guide to the application of steranes and triterpanes in petroleum geology. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 9, 91p.
- Yalçın, M.N., Schaefer, R.G., Mann, U., 2007. Methane generation from Miocene lacustrine coals and organic-rich sedimentary rocks containing different types of organic matter. *Fuel*, 86 (4), 504-511.





## Doğal Taş Ocaklarında Blok Hacminin Belirlenmesi için RQD ve $J_v$ 'nin Kullanılabilirliği

*Usability of RQD and  $J_v$  for Prediction of Block Volume in Natural Stone Quarries*

Ayberk KAYA<sup>1</sup>, Selçuk ALEMDAĞ<sup>1</sup>, Ali Osman YILMAZ<sup>2</sup>, Mehmet ÇAPIK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Gümüşhane Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, GÜMÜŞHANE

<sup>2</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, TRABZON

### ÖZ

Bu çalışmada, Doğan kent (Giresun) yöresinde yüzeylenen Harşit Granitoyidi'nden üretilebilecek blokların hacminin belirlenmesinde, Kaya Kalite Göstergesi (RQD) ve Hacimsel Eklem Sayısı ( $J_v$ ) parametrelerinin kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla, pilot çalışma alanı olarak bir ocak seçilmiş ve açılan şevlerde hat etüdü çalışmaları yapılarak, süreksizliklerin özellikleri tayin edilmiştir. Harşit Granitoyidi'nden elde edilebilecek Blok Hacminin belirlenmesinde Kaya Kütle İndeksi (RMi) sınıflama sisteminde girdi parametresi olan blok hacmi ( $V_b$ ) kullanılmıştır.  $V_b$  değerinin belirlenmesinde kullanılan  $J_v$  ve RQD değişkenleri ocak içindeki farklı şevlerde yapılan süreksizlikler arası ölçümler ile belirlenmiştir. RMi sınıflamasında kullanılan Blok Şekli Faktörüne ( $\beta$ ) göre yapılan değerlendirmede blokların genellikle "kompakt, hafifçe uzun-düz" şekilli olduğu tesbit edilmiştir. Blok hacminin belirlenmesinde kullanılan parametrelerden RQD değişkeninin sınırlamalar içermesi nedeniyle, blok hacminin hesaplanmasında  $J_v$  değerlerinin kullanılması tercih edilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda Harşit Granitoyidi'nden üretilecek blokların ortalama hacminin  $V_b = 7.15 \text{ m}^3$  olduğu belirlenmiş olup, bu değer ticari olarak değerlendirilebilecek blok hacmi aralığındadır.

**Anahtar Kelimeler:** Blok hacmi, Harşit Granitoyidi,  $J_v$ , RMi, RQD.

### ABSTRACT

*In this study, use of Rock Quality Designation (RQD) and Volumetric Joint Count ( $J_v$ ) parameters for prediction of block volume from Harşit Granitoid exposed in Dogankent (Giresun) area, was investigated. For this purpose, a quarry was chosen as the study area and properties of discontinuities were determined by performing scan-line surveys on the pit slopes. In prediction of block volume from Harşit Granitoid,  $V_b$  which is an input parameter of Rock Mass Index (RMi) system, was used.  $J_v$  and RQD variables used for predicting  $V_b$  value were defined from the discontinuity spacing measurements performed on different slopes within the quarry. When considering the Block Shape Factor ( $\beta$ ), the blocks can be generally classified as "compact, slightly long-flat" shaped. Due to some constrains of RQD, use of  $J_v$  values is*

A. Kaya

E-Posta: ayberkkaya@gumushane.edu.tr

*more effective for predicting block volume. It was concluded that, the average producible block volume from Harşit Granitoid was determined to be  $V_b = 7.15 \text{ m}^3$  and this value is within the range of the economically producible block volume.*

**Key Words:** Block volume, Harşit Granitoid,  $J_v$ , RMI, RQD.

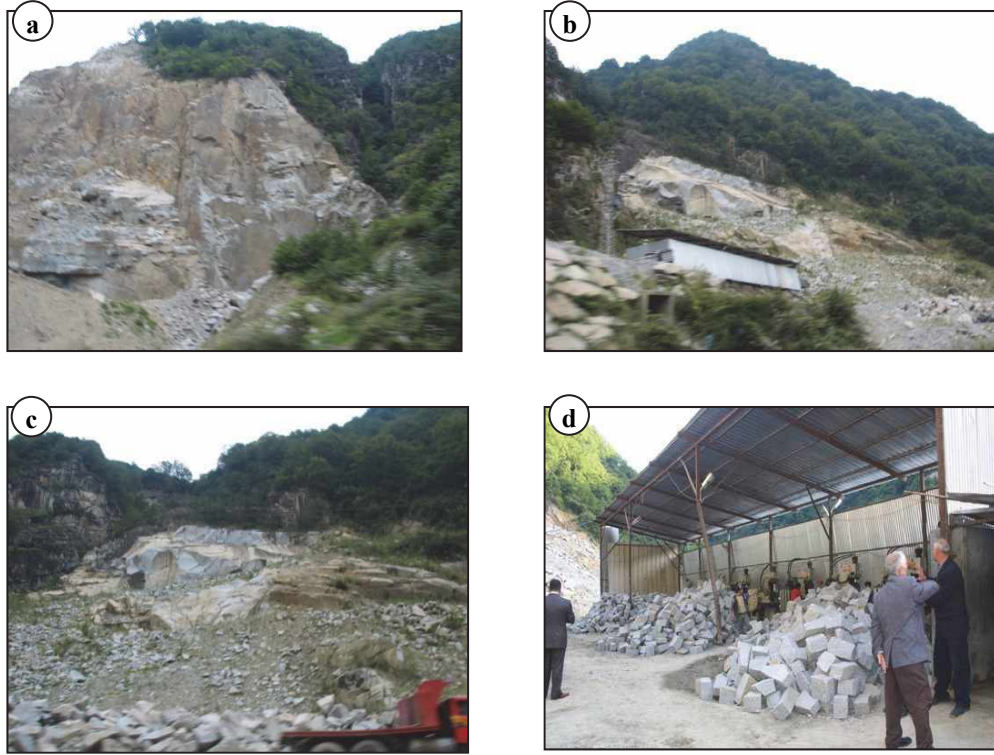
## GİRİŞ

Doğal taş işletmeciliği ülkemizde hızla gelişmekte olan bir sektör olup, ülkemiz madenciliği ve ekonomisi için önemli bir yere sahiptir. Bir doğal taş ocağının işletilebilmesi için üretilebilecek blok hacminin ve şeklinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Blok şekli ve hacmi; eklem takımı sayısı, eklem ara uzaklığı ve devamlılığı ile kontrol edilmektedir. Blok boyutunu belirlemeye yönelik yapılmış olan çalışmalarda (ISRM, 1981; Palmström, 1982; Wang vd., 1991; Goodman, 1995; Sönmez ve Ulusay, 1999) araştırmacılar teorik olarak blokların şeklini ifade etmişlerdir. İlk defa Palmström (1996) tarafından blok hacmi, sayısal bir değer ile ifade edilmiştir. Bir doğal taş ocağının işletilebilmesi için en önemli parametrelerden biri blok hacmidir. Buna ek olarak taşın rengi, dayanımı, rezervi, pazar durumu gibi özelliklerde ocağın işletilebilmesi için gerekli diğer hususlardır. Bu nedenle, blok hacmini belirlemeye yönelik yapılan arazi çalışmalarından olumlu sonuçlar aldıktan sonra taşın kullanım alanını belirlemeye yönelik laboratuvar çalışmaları ve piyasa araştırması yapılmalıdır.

Bu çalışmanın amacı doğal taş ocaklarında blok hacminin belirlenebilmesi için RQD ve  $J_v$  parametrelerinin kullanılabilirliğini araştırmaktır.

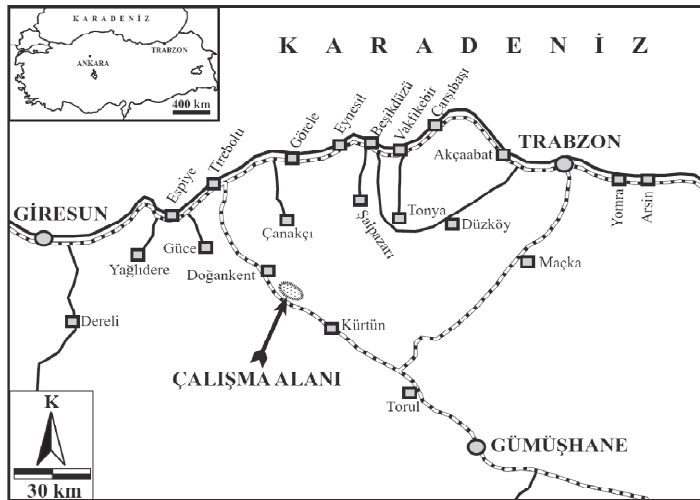
Bu amaçla, Harşit Granitoidi'nden blok taş üretimi yapılan Doğan kent ocağı pilot çalışma alanı olarak seçilmiştir (Şekil 1). Ocak alanında üretim yapan firmanın büyük bloklardan plaka kesme için ST (blok kesme makinesi) düzeneği olmadığından, şu an ebatlı taş üretimi yapılmaktadır (Şekil 1d).

Bu ocaktan üretilebilecek en büyük, en küçük ve ortalama blok hacmini belirlemek için Kaya Kütle İndeksi (RMI) sınıflama sisteminde bir girdi parametresi olan blok hacmi ( $V_b$ ) kullanılmıştır. Çalışma kapsamında, ocak içinde açılmış şevlerde hat etüdü çalışmaları yapılmış ve eklemlerin mühendislik özellikleri belirlenmiştir (ISRM, 1981). Belirlenen hacimsel eklem sayısı ( $J_v$ ) ve kaya kalite göstergesi (RQD) değerlerine göre ocaktan üretilebilecek blok hacminin değişim aralıkları tespit edilmiştir. Çalışma alanına ait yer bulduru haritası Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. (a, b, c) Doğankent doğal taş ocağına ait farklı açılardan çekilmiş resimler, (d) ocak alanından üretilen granitlerden hazırlanmış ebatlı taşlar.

Figure 1. (a, b, c) Pictures taken from Doğankent natural stone quarry, (d) sized stones produced from granites.



Şekil 2. Çalışma alanına ait yer bulduru haritası.

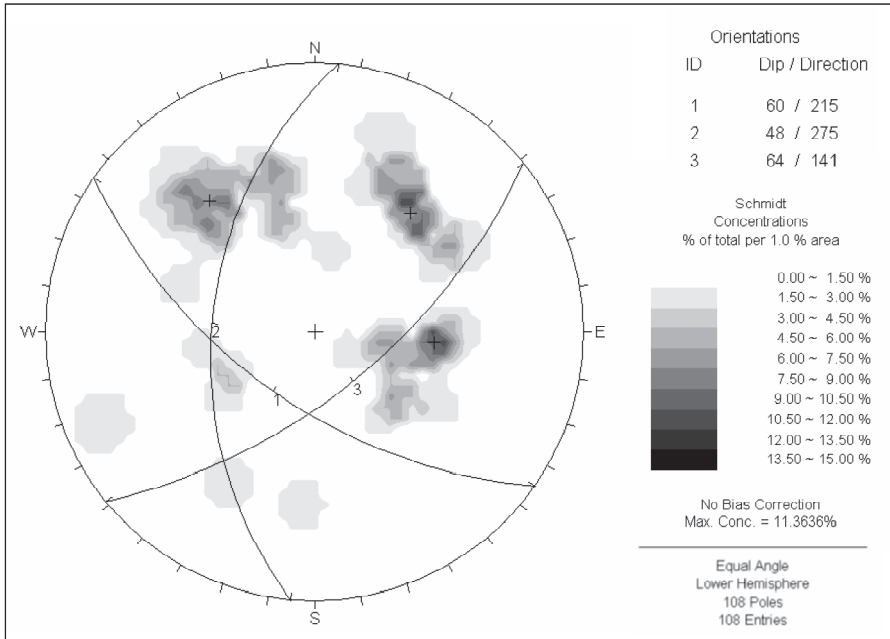
Figure 2. Location map of the study area.

## ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ

Çalışma alanında yüzeylenen Harşit Granitoyidi, ilk defa Schultze-Westrum (1961) tarafından Harşit Graniti olarak tanımlanmış ve daha sonraları Gedikoğlu (1978) tarafından Harşit Granit Karmaşığı olarak adlandırılmıştır. Çalışma alanında ve çevresinde bulunan granitoidik kayalar tek bir isim altında toplanamayacak kadar çok fazla değişim göstermektedir. Birim; granit, alkali granit, alkali feldispat, granit, granodiyorit, kuvarslı diyorit ve diyorit'e kadar bileşim değişikliği gösteren kayaç topluluklarından oluşmaktadır. Bu çeşitlilik büyük bir olasılıkla, aynı magma odasından türemiş birbiri ardına gelen magma akıntılarının katılmasından kaynaklanmaktadır (Köprübaşı, 1993). Köprübaşı (1992) tarafından Harşit Granitoyidi olarak adlandırılan birim, Pontid Alt Bazik Volkanik Karmaşığı'nı keserek yerleşmiştir.

## EKLEMLERİN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ

İnceleme alanında yüzeylenen granitler tektonizmanın etkisiyle sistematik olarak gelişmiş eklem setleri içermektedir. Yapılan arazi çalışmaları ile granitlerin içerdiği bu eklemlerin ana yönelim, aralık ve devamlılık özellikleri ISRM (1981) tanımlama ölçütleri esas alınarak ve hat etüdü yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Ocak alanında açılmış olan şevlerden toplam 108 adet eklem yönelim ölçüsü alınmıştır. Bu yönelim ölçüleri DIPS 5.1 (Rocscience, 2002) bilgisayar programı ile değerlendirilmiş ve inceleme alanındaki granitlerin içerdiği ana eklem setlerinin yönelimleri; 60/215 (Set 1), 48/275 (Set 2) ve 64/141 (Set 3) olarak belirlenmiştir (Şekil 3).

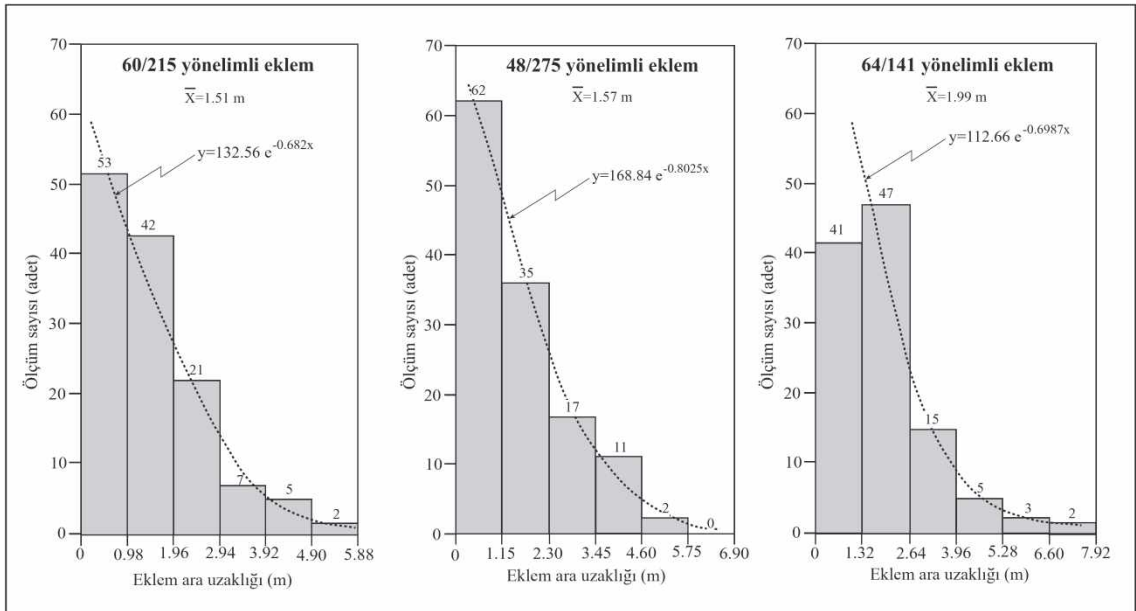


Şekil 3. Granitlerdeki eklem yönelimlerine ait kontur diyagramı.

Figure 3. Contour diagram of the joint orientations in granites.

Eklem ara uzaklığı; ocak alanında yüzeylenen mostralarda hat etüdü çalışmaları yapılarak belirlenmiş olup, her bir eklem seti için ara uzaklık değerleri histogramlarla gösterilmiştir (Şekil 4). Eklem setlerine ait ara uzaklık değerlerinin, istatistiksel dağılım modellerinden negatif eksponansiyel dağılıma uygun olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, her bir eklem setine ait ara uzaklık değerleri Çizelge 1’de verilmiştir. Buna

göre; ortalama eklem ara uzaklığı 60/215 yönelimli eklem için 1.51 m, 48/275 yönelimli eklem için 1.57 m ve 64/141 yönelimli eklem için 1.99 m olarak hesaplanmıştır. ISRM (1981) tanımlama ölçütlerine göre eklemeler “geniş ara uzaklıklı” olarak tanımlanmıştır. Eklemelere ait ara uzaklık değerleri 1.5 m’den büyük olup, blok taş üretimi için uygun değerlere sahiptir.



Şekil 4. Eklem setlerine ait ara uzaklık histogramları.

Figure 4. Spacing histograms of the joint sets.

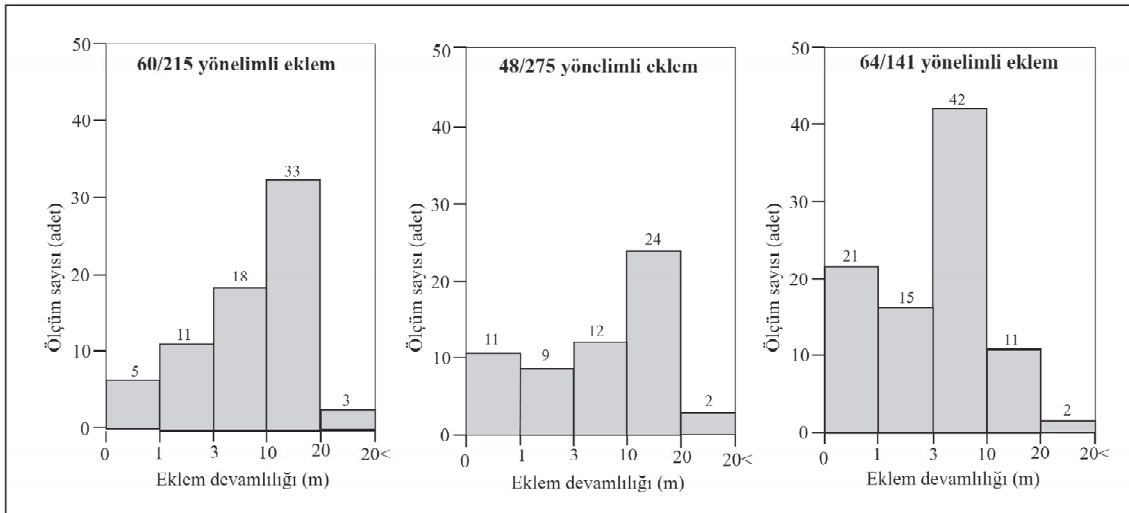
Eklem setlerine ait devamlılık değerleri açılmış olan şev aynalarında yapılan ölçümlerle belirlenmiş ve histogramları çizilerek dağılımları tespit edilmiştir (Şekil 5). ISRM (1981)

tarafından önerilen sınıflamaya göre; 60/215 ve 48/275 yönelimli eklemeler “yüksek devamlı”, 64/141 yönelimli eklem ise “orta derecede devamlı” olarak tanımlanmıştır.

Çizelge 1. Eklem setlerine ait ara uzaklık değerlerinin frekans dağılımı ve istatistiksel olarak değerlendirilmesi.

Table 1. Frequency distribution of spacig values of the joint sets and their statistical evaluations.

Eklem ara uzaklığı (m)	Tanımlama	60/215	48/275	64/141
		Süreksizlik ara uzaklığı ölçüm sayısı (adet)		
< 0.02	Çok dar ara uzaklıklı	-	-	-
0.02-0.06	Dar ara uzaklıklı	5	10	-
0.06-0.2	Yakın ara uzaklıklı	10	18	13
0.2-0.6	Orta derecede ara uzaklıklı	32	30	25
0.6-2	Geniş ara uzaklıklı	56	61	49
2-6	Çok geniş ara uzaklıklı	27	11	23
>6	İleri derecede geniş ara uzaklıklı	-	-	3
	En küçük	0.49	0.58	0.66
	En büyük	5.39	5.18	7.26
	Ortalama	1.51	1.57	1.99
	Standart Sapma	± 1.15	± 1.20	± 1.44
	Tanımlama ölçütleri (ISRM, 1981)	Geniş ara uzaklıklı	Geniş ara uzaklıklı	Geniş ara uzaklıklı



Şekil 5. Eklem setlerine ait devamlılık histogramları.

Figure 5. Persistence histograms of the joint sets.

Çizelge 2. Eklem setlerine ait devamlılık değerlerinin frekans dağılımı ve istatistiksel olarak değerlendirilmesi.

Table 2. Frequency distribution of persistency values of the joint sets and their statistical evaluations.

Eklem devamlılığı (m)	Tanımlama	60/215	48/275	64/141
		Eklem devamlılığı ölçüm sayısı (adet)		
< 1	Çok düşük devamlı	5	11	21
1-3	Düşük derecede devamlı	11	9	15
3-10	Orta derecede devamlı	18	12	42
10-20	Yüksek devamlı	33	24	11
>20	Çok yüksek devamlı	3	2	2
	En küçük	0.50	0.40	0.70
	En büyük	21.00	23.00	24.00
	Ortalama	17.12	13.00	6.20
	Standart Sapma	± 6.41	± 6.80	± 5.24
	Tanımlama ölçütleri (ISRM, 1981)	Yüksek devamlı	Yüksek devamlı	Orta derecede devamlı

## BLOK HACMİNİN BELİRLENMESİ

Blok hacmi ( $V_b$ ) eklem sıklığının hacimsel olarak ifadesi olup, kaya kütlelerinin kalitesini gösteren en önemli parametrelerden biridir (Palmström, 1996; Cai vd., 2004).  $V_b$  değeri; eklem ara uzaklığına, eklem takım sayısına, eklem yönelimine ve eklem devamlılığına bağlıdır. Üç veya daha fazla eklem takımı içeren kaya kütlelerindeki blok hacmi, eklem ara uzaklığına bağlı olarak eşitlik 1 ve 2'den hesaplanmaktadır (Palmström, 1995 ve 2005). Söz konusu eşitliklerde, eklemlerin %100 devamlı olduğu kabul edilir.

$$V_b = \beta \cdot J_v^{-3} \cdot \frac{1}{\text{Sin}\gamma_1 \cdot \text{Sin}\gamma_2 \cdot \text{Sin}\gamma_3} \quad (1)$$

$$V_b = \beta \cdot \left(44 - \frac{RQD}{2.5}\right)^{-3} \cdot \frac{1}{\text{Sin}\gamma_1 \cdot \text{Sin}\gamma_2 \cdot \text{Sin}\gamma_3} \quad (2)$$

Burada;  $V_b$ : Blok Hacmi,  $J_v$ : Hacimsel Eklem Sayısı, RQD: Kaya Kalite Göstergesi,  $\beta$ : Şekil Faktörü,  $\gamma_1$ -  $\gamma_2$ -  $\gamma_3$ : eklem düzlemleri arasındaki açılardır.

Blok hacmi belirlenirken farklı eklem ara uzaklığı değerlerine göre değişen  $J_v$  ile eklem sıklığı değerlerinden elde edilen RQD değişkenleri kullanılmıştır. Blok hacminin belirlenmesinde kullanılan  $J_v$ , RQD ve  $\beta$  parametrelerinin belirlenmesi aşağıdaki gibidir.

### Hacimsel Eklem Sayısı ( $J_v$ )

Palmström (1982, 1985 ve 1996) tarafından tanımlanan Hacimsel Eklem Sayısı ( $J_v$ ), birim hacimdeki, diğer bir ifadeyle  $1 \text{ m}^3$ 'deki eklem sayısını göstermektedir ve aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır.



Kaya, Alemdağ, Yılmaz ve Çapık

$$J_v = \frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} + \frac{1}{S_3} + \dots + \frac{1}{S_n} \quad (3)$$

Burada;  $S_n$ : gözlenen her bir eklem seti için bulunan eklem ara uzaklığıdır.

Her bir eklem setine ait ara uzaklık değerlerinden yararlanılarak bulunan Hacimsel Eklem Sayısı, ISRM (1981) ve Palmström (1996) tarafından önerilen tanımlama ölçütlerine göre sınıflanmıştır (Çizelge 3).

Çizelge 3. Hacimsel eklem sayısı değerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi.

Table 3. Statistical evaluation of the volumetric joint count values.

<b>Eklem ara uzaklığı (m)</b>	<b>60/215</b>	<b>48/275</b>	<b>64/141</b>
En büyük	5.39	5.18	7.26
En küçük	0.49	0.58	0.66
Ortalama	<b>1.51</b>	<b>1.57</b>	<b>1.99</b>
Standart Sapma	± 1.15	± 1.20	± 1.44
<b>Hacimsel eklem sayısı, <math>J_v</math> (eklem/m<sup>3</sup>)</b>			
En büyük	5.30		
En küçük	0.52		
Ortalama	1.80		
Tanımlama (ISRM, 1981)	Geniş bloklar		
Tanımlama (Palmström, 1996)	Düşük $J_v$		

### Kaya Kalite Göstergesi (RQD)

RQD değeri, ocak alanındaki şev aynalarında birbirine dik yönde yapılan ölçümlerle belirlenen eklem sıklığı ( $\lambda$ ) değerlerinden yararlanılarak hesaplanmıştır (Çizelge 4). İnceleme alanında sistematik eklemlerin yanı sıra düzensiz eklemlerin de gelişmiş olması nedeniyle RQD'yi belirlemek için Priest ve Hudson (1976) tarafından önerilen 4 numaralı eşitlikten yararlanılmıştır.

4 numaralı eşitlik, eklem ara uzaklığı negatif eksponansiyel dağılım gösteren kaya kütlelerinde RQD için en doğru sonuçları vermektedir.

$$RQD = 100e^{-0.1\lambda} (0.1\lambda + 1) \quad (4)$$

Burada;  $\lambda$ : 1m deki eklem sayısıdır.

Diğer dağılım modellerini gösteren eklem ara uzaklık değerleri için Palmström (2005) tarafından önerilen 5 numaralı eşitliği kullanmak, RQD değeri için daha anlamlı sonuçların elde edilmesine yardımcı olacaktır. Ancak,  $J_v$  değeri hesaplanırken düzensiz gelişmiş eklemler göz ardı edildiğinden, 5 numaralı eşitlik doğal taş ocakları için blok hacmi hesaplamalarında pek kullanışlı değildir.

$$RQD = 110 - 2.5 J_v \quad (5)$$

Burada;  $J_v$ : 1 m<sup>3</sup>'lük kaya bloğundaki çatlak sayısıdır ( $J_v < 4$  ise RQD = 100 alınır).

Çizelge 4. Kaya Kalite Göstergesi (RQD) değerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi.

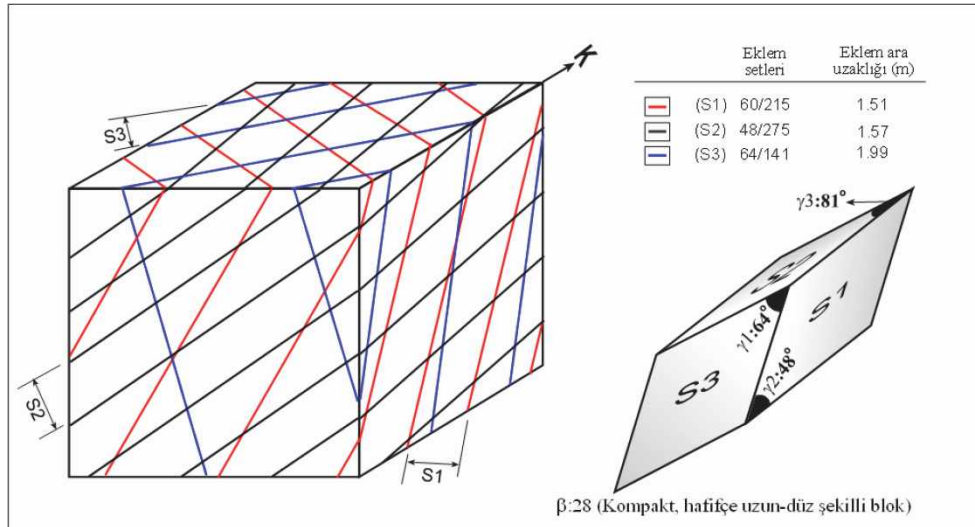
Table 4. Statistical evaluations of the rock quality designation (RQD) values.

Ölçüm hattı uzunluğu (m)	Ölçüm hattı sayısı	Eklem sıklığı ( $\lambda$ ) ( $m^{-1}$ )			RQD (%)		
		En küçük	En büyük	Ortalama	En küçük	En büyük	Ortalama
10	17	1.2	2.0	1.5	98.25	99.34	98.98
Tanımlama (Deere, 1964)						Çok iyi	

### Blok Şekli

Ocak alanından üretilen blokların şekillerini belirlemek için Palmström (1995) tarafından önerilen Şekil faktörü'nden ( $\beta$ )

yararlanılmıştır. Bu amaçla, eklem takımlarının konumlarına göre çizilen blok diyagram ve süreksizlik düzlemlerinin birbirleriyle yaptıkları açılara göre oluşacak blok şekli Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Granit kaya kütleindeki eklem setlerini gösteren blok diyagram ve blok şekli.

Figure 6. Block diagram and block shape showing the joint sets in granite rock mass.

Şekil faktörü  $\beta$ 'nin belirlenmesinde 6 numaralı eşitlikten yararlanılmıştır.

$$\beta = \frac{(\alpha_2 + \alpha_2 \cdot \alpha_3 + \alpha_3)^3}{(\alpha_2 \cdot \alpha_3)^2} \quad (6)$$

Kaya, Alemdağ, Yılmaz ve Çapık

Burada;  $\beta$ : Şekil Faktörü,  $\alpha_2=S_2/S_1$ ,  $\alpha_3=S_3/S_1$ ,  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ : gerçek eklem ara uzaklıklarıdır ( $S_3>S_2>S_1$ ).

Bu çalışmada, Şekil Faktörü'nün hesaplanmasında kullanılan  $\alpha_2$ - $\alpha_3$  değerleri sırayla 1.04 ve 1.32 olarak hesap edilmiş olup,  $\beta$  ise 28 olarak belirlenmiştir.

Bu değer Palmström (1995) tarafından önerilen sınıflandırmaya göre (Çizelge 5) “kompakt, hafifçe uzun-düz şekilli” olarak tanımlanmıştır.

Çizelge 5. Blok şekli faktörünün Palmström (1995) tarafından önerilen tanımlamalara göre değerlendirilmesi.

Table 5. Evaluations of the block shape factor according to the definitions proposed by Palmström (1995).

Eklem seti sayısı	Blok şekli	Blokların tipi	$\beta$ 'nin değer aralıkları
Bir eklem seti	Çok-Çok fazla	Düz bloklar	100-5000
Bir eklem seti ve düzensiz eklemler	Orta-Çok	Düz bloklar	75-300
İki eklem seti	Çok-Çok fazla	Uzun veya düz bloklar	75-500
İki eklem seti ve düzensiz eklemler	Orta-Çok	Uzun veya düz bloklar	50-200
Üç eklem seti Üç eklem seti ve düzensiz eklemler Dört veya daha fazla eklem setleri	Kompakt, hafifçe uzun-düz bloklar		27-75

Bu çalışmada, blok hacmi hesap edilirken farklı eklem ara uzaklığı değerlerine göre değişen  $J_v$  ve eklem sıklığı yardımıyla belirlenen RQD değerleri kullanılmıştır. Hacim hesaplamalarında

eşitlik 1 ve 2'den yararlanılmıştır. Hesaplama kullanılan girdi parametreleri ve ocaktan üretilebilecek blok hacimleri Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. Granit kaya kütlesi için hesaplanan blok hacmi ( $V_b$ ) değerleri.

Table 6. Block volume values calculated for granite rock mass.

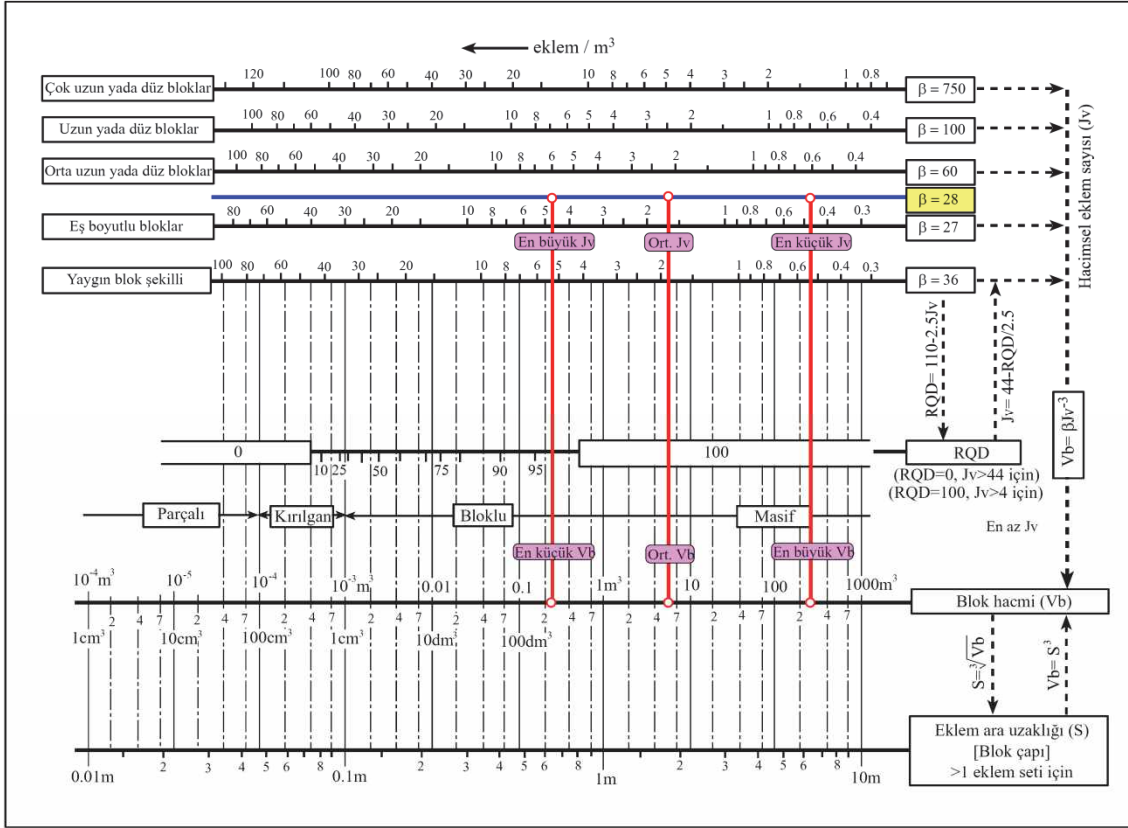
Girdi Parametreleri							
$\alpha_2=1.04$	$\gamma_1 (S1-S2)= 64^\circ$	RQD (%)			$J_v$ (eklem/ $m^3$ )		
		En küçük	En büyük	Ortalama	En küçük	En büyük	Ortalama
$\alpha_3=1.32$	$\gamma_2 (S1-S3)= 48^\circ$	98.25	99.34	98.98	0.52	5.30	1.80
$\beta=28$	$\gamma_3 (S2-S3)= 81^\circ$						
Blok hacmi		$V_b (m^3)$			$V_b (m^3)$		
		0.40	0.54	0.49	0.28	303.61	<b>7.15</b>

Ocak alanından üretilebilecek ortalama blok hacmi  $J_v$ 'ye göre  $7.15 m^3$ , RQD'ye göre ise  $0.49 m^3$  olarak bulunmuştur. RQD'nin belirlenmesinde bazı sınırlamalar olduğundan hesaplanan blok hacmi değerleri arasında farklılıklar meydana gelmiştir.

RQD'nin girdi parametresi olarak kullanıldığı 2 numaralı eşitliğe göre blok hacmi hesaplandığında, RQD=100 değeri için oldukça küçük değerler elde edilmektedir. Bu nedenle, üretilebilecek blok hacmini belirlemede RQD'yi kullanmak ocaktaki gerçek durumu yansıtmayacağı için blok hacminin hesaplanmasında  $J_v$  değerinin kullanılması daha uygun olacaktır. Palmström (2005) tarafından önerilen abaktan da (Şekil 7) anlaşılacağı üzere,

$J_v$  değişkenini kullanarak blok hacmini belirlemede herhangi bir sınırlama yoktur. Söz konusu abak yardımıyla,  $J_v$  değerlerine karşılık gelen  $V_b$  değerleri kolaylıkla hesaplanabilmektedir.

Bir kaya kütesinin istenilen ticari boyutlarda blok verebilmesi için  $1.5-12 m^3$  aralığında bloklar veriyor olması esastır (Kaya, 2005). Ocak alanında yapılan incelemelerde, çıkarılan blokların  $1-16 m^3$  arasında olduğu belirlenmiştir. Hesaplanan ortalama blok hacminin  $7.15 m^3$  olduğu da göz önüne alındığında, bu değer, ticari açıdan değerlendirilebilecek blok boyutu aralığında olduğu görülmektedir.



Şekil 7. RQD,  $J_v$ , S ve  $V_b$  arasındaki ilişkiler (Palmström, 2005).

Figure 7. Relations among RQD,  $J_v$ , S and  $V_b$  (Palmström, 2005).

## SONUÇLAR

Bu çalışmada, Doğan kent (Giresun) yöresinde yüzeylenen Harşit Granitoyidi'nden üretilebilecek blokların hacimleri RMI sisteminde girdi parametresi olan  $V_b$  kullanılarak belirlenmiş olup, yapılan çalışmalar neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur:

- 1) Granit kaya kütlelerinde 60/215, 64/141 ve 48/275 yönelimli üç ana eklem setinin olduğu belirlenmiştir.
- 2) Ortalama Hacimsel Eklem Sayısı ( $J_v$ ) 1.8 eklem/ $m^3$  olarak hesaplanmış olup,

ISRM (1981)'e göre "geniş bloklar", Palmström (1996)'ya göre "düşük  $J_v$ " olarak tanımlanmıştır.

- 3) Süreksizlik sıklığı değerine göre Kaya Kalite Göstergesi'nin (RQD) %98-99 aralığında değişmekte olduğu tespit edilmiştir. Deere (1964) tarafından yapılan tanımlama ölçütlerine göre "çok iyi" olarak sınıflandırılmıştır.
- 4) Blok hacminin hesaplanmasında kullanılan Şekil Faktörü  $\beta=28$  olarak hesaplanmış ve Palmström (1995)

tarafından yapılan sınıflandırmaya göre bloklar “kompakt, hafifçe uzun- düz şekilli” olarak tanımlanmıştır.

- 5) RQD değişkeninin sınırlamalar içermesi nedeniyle blok hacminin hesaplanmasında  $J_v$  değerlerinin kullanılmasının daha uygun olacağı sonucuna varılmıştır. Bu nedenle, belirlenen ortalama  $J_v$  değerinin kullanılmasıyla  $V_b = 7.15 \text{ m}^3$  olarak hesaplanmıştır. Ortalama blok hacmi göz önüne alındığında, bu değer ticari açıdan değerlendirilebilecek blok hacmi aralığında olduğu belirlenmiştir.

## KAYNAKLAR

- Cai, M., Kaiser, P. K., Uno, H., Tasaka, Y. ve Minami, M., 2004. Estimation of rock mass deformation modulus and strength of jointed hard rock masses using the GSI system, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 41(1), 3-19.
- Deere, D. U., 1964. Technical description of rock cores for engineering purposed, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 1, 17-22p.
- Gediköglü, A., 1978, Harşit Granit Karmaştığı ve çevre kayaçları, Doçentlik Tezi, K.T.Ü. Yer Bilimleri Fakültesi, Trabzon.
- Goodman R. E. 1995. Block theory and its application, *Geotechnique*, 45(3), 383-423p.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1981. Rock characterization, Testing and monitoring. International Society of Rock Mechanics Suggested Methods, Pergamon Press, Oxford, 211p.
- Kaya, K., 2005. Rmi kayaç kütle sınıflama yönteminin mermer ocaklarında blok üretim boyutlarının belirlenmesinde kullanılabilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Köprübaşı, N., 1992. Aşağı Harşit bölgesinin mağmatik petrojenezi ve masif sülfidlerde jeokimyasal hedef saptama uygulamaları, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Köprübaşı, N., 1993. Tirebolu-Harşit (Giresun) arası Jura-Kretase yaşlı magmatik kayaçların petrolojisi ve jeokimyası, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 36, 139-150.
- Palmstöm, A., 1982. The volumetric joint count- a useful and simple measure of the degree of jointing, 4th Int. Congress IAEG, New Delhi, 221-228.
- Palmström, A., 1985. Application of the volumetric joint count as a measure of rock mass jointing, *Proc. Int. Symp. on Fundamentals of Rock Joints*, Sweden, 103-110.
- Palmström A. 1995. Rmi – A system for characterization of rock masses for rock engineering purposes, Ph.D. Thesis, Univeristy of Oslo, Norway, 408.
- Palmström A. 1996. The weighted joint density method leads to improved characterization of jointing, *Proc. Conference on Recent Advances in Tunnelling Technology*, New Delhi, 6p.
- Palmström, A., 2005. Measurements of and correlations between block size and rock quality designation (RQD), *Tunnels and Underground Space Technology*, 20, 362-377.
- Priest, S.D. ve Hudson J.A., 1976. Discontinuity spacing in rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*, 13, 135-148.
- Rocscience, 2002. DIPS v5.1- User's Guide. Rocscience Inc., Toronto, Ontario, Canada, 90p.
- Schultze - Westrum, H., 1961. Giresun vilayeti Espiye sahasının jeolojisi ve yatak bilimi bakımından etüdü (G41 % ve ag), M.T.A. Rapor No: 3090 (Yayınlanmamış), Ankara.

Sönmez, H. ve Ulusay, R., 1999. Modifications to the Geological Strength Index (GSI) and their applicability to stability of slopes, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 36(6), 743-760.

Wang, H., Latham, J. P. ve Poole, A. B., 1991. Predictions of block size distribution for quarrying, *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 24, 91-99.