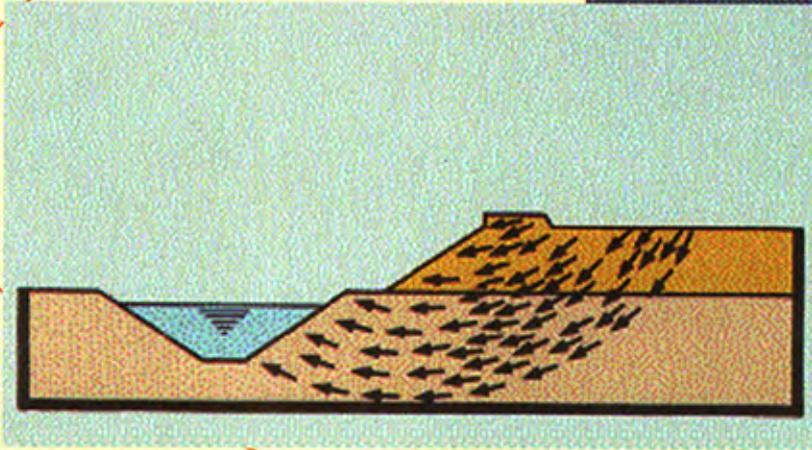
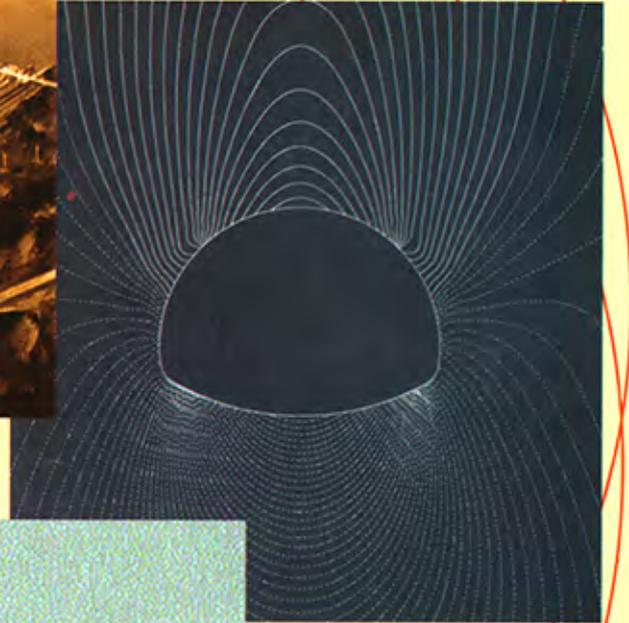


ISSN 1305-6859



MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ BÜLTENİ BULLETIN OF ENGINEERING GEOLOGY

2005
SAYI:20



ULUSLARARASI MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ TÜRK MİLLİ KOMİTESİ YAYINI
PUBLICATION OF INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY AND
THE ENVIRONMENT TURKISH NATIONAL COMMITTEE

MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ BÜLTENİ
BULLETIN OF ENGINEERING GEOLOGY

Yayın Sahibi / Owner on Behalf of the Committee

Erdoğan YÜZER

Yazı İşleri Müdürü / Publication Director

Atiye TUĞRUL

Editörler Kurulu / Editorial Board

Reşat ULUSAY

Recep KILIÇ

Tamer TOPAL

Yardımcı Editor / Assistant Editor

Murat ERCANOĞLU

Yayın Danışma Kurulu / Advisory Board

Ergin ARIOĞLU

Can AYDAY

Remzi DİLEK

Vedat DOYURAN

Mehmet EKMEKÇİ

Mustafa ERDOĞAN

Okay EROSKAY

Aziz ERTUNÇ

Candan GÖKÇEOĞLU

Okay GÜRPINAR

Remzi KARAGÜZEL

K. Erçin KASAPOĞLU

Şakir ŞİMŞEK

Atiye TUĞRUL

Necdet TÜRK

Mahir VARDAR

Erdoğan YÜZER

Uluslararası Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi Yönetim Kurulu

International Association of Engineering Geology and the Environment Turkish National Committee

Başkan: Erdoğan YÜZER (İTÜ)

Genel Sekreter: Atiye TUĞRUL (İÜ)

Sayman: Tamer TOPAL (ODTÜ)

Üye: Aziz ERTUNÇ (ÇÜ)

Üye: Reşat ULUSAY (HÜ)

Üye: Remzi KARAGÜZEL (SDÜ)

Bültenin Kapsamı / Scope of the Bulletin

Bülten'de mühendislik jeolojisi ile ilgili yapılmış bilimsel araştırmalara ve/veya uygulamaya yönelik çalışmaların ürünü olan Türkçe yazılara yer verilir. Bülten yılda iki kez yayınlanır.

Bulletin of Engineering Geology is a medium to the publication of original scientific studies and/or applications in the field of engineering geology written in Turkish. The bulletin is published twice a year.

Yazı Göndereceklere Not / Note to Contributors

Gönderilecek yazılar, Bülten'in Yayın Amaç ve Yazım Kuralları'nda belirtilen ilkelere uygun olmalıdır. Yazılar üç kopya halinde yazışma adresleri aşağıda verilen editörlerden birine gönderilmelidir.

Manuscripts should be prepared in the form required in the instructions entitled "Guide for Authors". Three copies should be submitted to the one of the editors whose corresponding addresses are given below.

Yazışma Adresleri / Correspondence Addresses

Prof. Dr. Reşat Ulusay

Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06532 Beytepe, Ankara

e-mail: resat@hacettepe.edu.tr

Tel : (312) 297 77 67

Fax: (312) 299 20 34

Prof. Dr. Recep Kiliç

Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06100 Tandoğan, Ankara

e-mail: rkilic@eng.ankara.edu.tr

Tel: (312) 212 67 20 /1343

Telefax: (312) 221 26 60

Doç. Dr. Tamer Topal

ODTÜ Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06531, Ankara

e-mail: topal@metu.edu.tr

Tel: (312) 210 26 90

Fax: (312) 210 12 63

MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ BÜLTENİ

BULLETIN OF ENGINEERING GEOLOGY

Sayı (No.): 20 Haziran (June) 2005

İÇİNDEKİLER (CONTENTS)

- Himmetoğlu (Göynük - Bolu) Linyit Açık İşletmesinde Yeraltısuyu Seviyesindeki Düşümün Kestirilmesi / Prediction of Groundwater Level Decline in Himmetoğlu Open Pit (Göynük-Bolu) / Mehmet EKMEKÇİ, Selim ERDOĞAN 1**
- 17 Mart 2005 Kuzulu (Koyulhisar, Sivas) Heyelanı / The March 17, 2005 Kuzulu (Koyulhisar, Sivas) Landslide / Candan GÖKÇEOĞLU, Harun SÖNMEZ, Tamer Y. DUMAN, Hakan A. NEFESLİOĞLU 17**
- Obruk Baraj Yerinin (Çorum)Mühendislik Jeolojisi Açısından İncelenmesi / Engineering Geological Investigation of the Obruk Dam Site (Çorum) / Ayhan KOÇBAY, Recep KILIÇ . . . 29**
- Kuşini Antik Yeraltı Mermer Ocağının Mühendislik Jeolojisi ve Kaya Mühendisliği Açısından Değerlendirilmesi / Investigation of the Kuşini Antique Underground Marble Quarry in view of Engineering Geology and Rock Engineering / Ömer AYDAN, Halil KUMSAR 41**
- 2003 Buldan Depremlerinin Özellikleri ve Hasar Gören Yenice (Denizli) Roma Yeraltı Mezarlarına İlişkin Bir Değerlendirme / Features of the 2003 Buldan Earthquakes and an Evaluation of Damaged Roman Underground Tombs in Yenice (Denizli) / Ömer AYDAN, Halil KUMSAR 61**
- Gölbaşı (Ankara) Güneyindeki Kütle Hareketlerinin İncelenmesi / An Investigation on the Mass Movements at South of Gölbaşı (Ankara) / Recep KILIÇ, Koray ULAMIŞ 75**

Değerli Okurlarımız,

Uluslararası Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi (UMJTMK) tarafından mühendislik jeolojisi konusunda Ülkemiz’de gerçekleştirilen araştırma ve uygulamaya yönelik çalışmaların duyurulmasının teşviki amacıyla “Mühendislik Jeolojisi Bülteni” 1978 yılından bu yana yayımlanmaktadır. Çoğu bilim dalında olduğu gibi, günümüzde, mühendislik jeolojisiyle ilgili Türkçe yayımlanan dergi sayısı son derece sınırlı kalmıştır. Bu durumun, mühendislik jeolojisi konusundaki çalışmaların sonuçlarından uygulamacıların yararlanabilmesi açısından getirdiği sınırlamaların yanı sıra, Türkçe bilim dilinin yeterli düzeyde gelişebilmesinde olumsuz rol oynadığı da bilinmektedir.

“Mühendislik Jeolojisi Bülteni” nin bu sayısından itibaren ISSN numarası alınmış, yazım ve yayım kuralları yeniden düzenlenmiş ve Yayın Kurulu genişletilmiş olup, Bülten’in Haziran ve Aralık aylarında olmak üzere yılda iki kez düzenli şekilde yayınlanmasına karar verilmiştir. Bülteni yeni şekli ve içeriğiyle sizlere sunmaktan mutluluk duymaktayız. Böylece, özgün sonuçların elde edildiği çalışmaların yanı sıra, uygulamaya dönük konuları da içeren Türkçe makalelere yer vererek mühendislik jeolojisi konusunda çalışan yerbilimciler arasındaki bilimsel ve teknik iletişime daha etkin şekilde katkı sağlanması amaçlanmıştır. Bu amacın gerçekleşmesinde kuşkusuz, araştırmacıların yanı sıra, uygulamaya dönük çalışan yerbilimcilerin de makalelerini Bülten’e göndereceklerine inanıyoruz. UMJTMK, Bülten’in bu yıldan itibaren basılan sayılarında yayımlanmış makaleler arasından seçilecek özgün bir makaleye her yıl “Erguvanlı Türkçe Makale Ödülü” verecektir. Ödülün mühendislik jeolojisi alanındaki çalışmaları ve yayınları özendirici olacağı inancını taşıyoruz. Daha etkin bir iletişimin sağlanması amacıyla Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi’nin web sayfasında (<http://www.muheo.org.tr>) Bülten’e ilişkin bilgiler de yeracaktır.

Mühendislik Jeolojisi Bülteni ile ilgili bu gelişmede destek ve teşviklerini esirgemeyen UMJTMK Yönetim Kurulu’na, Bülten’e makale gönderen araştırmacı ve uygulamacılara, Yayın Kurulu Üyeleri’ne ve Bülten’in baskısını üstlenen TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yönetim Kurulu’na ilgi ve katkılarından dolayı içten teşekkürlerimizi sunar, mühendislik jeolojisi camiasına başarılar dileriz.

Saygılarımızla

Editorler Kurulu



HİMMETOĞLU (GÖYNÜK-BOLU) LİNYİT AÇIK İŞLETMESİNDE YERALTISUYU SEVİYESİNDEKİ DÜŞÜMÜN KESTİRİLMESİ

Prediction of Groundwater Level Decline in Himmetoğlu Open Pit (Göynük-Bolu)

Mehmet EKMEKÇİ¹, Selim ERDOĞAN²

¹Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06532 Beytepe, Ankara

²Çevre ve Orman Bakanlığı, Doğal Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü, Ankara

ÖZ

Himmetoğlu Linyitleri Açık İşletmesi'nde (Bolu-Göynük) drenaj ve şev duraysızlığı, işletme ekonomisini ve güvenliğini etkileyen sorunların başında gelmektedir. Bu çalışmada, su durumunun şev duraylılığı açısından değerlendirilebilmesini sağlayacak drenaj-seviye koşullarının belirlenmesi amaçlanmıştır. İşletmenin derinleşmesine koşut olarak, kazı kotunun yeraltısuyu seviyesinin altına düşmesiyle birlikte, kazı yüzeylerinde kararsız akım koşullarında serbest drenaj gerçekleşmektedir. Kazı alanına doğru gerçekleşen drenaj, kazı yüzeyinin ardında yeraltısuyu seviyesinin konumunun zaman içinde değişimine neden olmaktadır. Şev duraylılığı analizlerinde gerek duyulan başlıca parametrelerden biri olan yeraltısuyu seviyesinin zaman içindeki konumu, çalışma alanı için uygun ortamların serbest drenajı probleminin belirli başlangıç ve sınır koşulları için türetilen analitik çözümüne dayandırılarak elde edilmiştir. Kullanılan analitik çözümün kuramsal temellerinin kısa bir özetinden sonra, Himmetoğlu linyit açık işletmesinde uygulanan yöntemin sonuçları örnek olarak verilmiştir. Himmetoğlu linyit açık işletmesinde kömür horizonunu içeren Himmetoğlu formasyonunun geometrisi jeolojik kesitlerden, formasyonun kömür horizonu üzerinde kalan ve marn-kiltaşından oluşan kesiminin etkin gözenekliliği ve hidrolik iletkenliği ise eklem analizlerine dayanan görgül eşitliklerden elde edilmiştir. Problemin analitik çözümü, şev duraylılığı analizleri için kritik süre olarak belirlenen yedi gün için gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalar sonucunda, duraylılık analizi yapılan üç kesit için Himmetoğlu formasyonuna ait mamlardaki kazı sırasında kesilen su tablasının aynadan iç kesime doğru alacağı konum kestirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Açık işletme, Himmetoğlu kömür ocağı, şev duraysızlığı, yeraltısuyu seviyesi.

ABSTRACT

Groundwater inflow and instability are the two major problems that adversely affect mining operations at the Himmetoğlu Lignite Open Pit (Göynük-Bolu). This study aims at demonstrating the use of the hydrologic relation between free flow and groundwater level decline in prediction of spatial position of the water table, an essential information required in slope stability analyses. At various stages of mining operations, free-drainage seepage faces are produced as a consequence of excavations cutting the water table in the area. Transient groundwater flow into the pit results in lowering of the water table at and behind the excavation facet. Prediction of this temporal change of water table is of major importance in slope stability analyses. After a concise review of the theoretical background of the problem, an analytical solution derived for certain initial and boundary conditions was applied to predict the areal and temporal position of the water table in the Himmetoğlu lignite open pit. The geological structure defining the boundary conditions of the problem was analyzed on geological cross-sections, while hydraulic characteristics (effective porosity and hydraulic conductivity) of the marl-claystone alternation overlying the coal seam were estimated by empirical relations based on joint analyses. The analytical solution was applied taking the time parameter as 7 days as suggested as a critical time period in the stability analyses. The results for three cases were then presented as graphs depicting the water table level at and behind the excavation facet.

Key Words: Open pit, Himmetoğlu coal mine, slope instability, groundwater level.

1. GİRİŞ

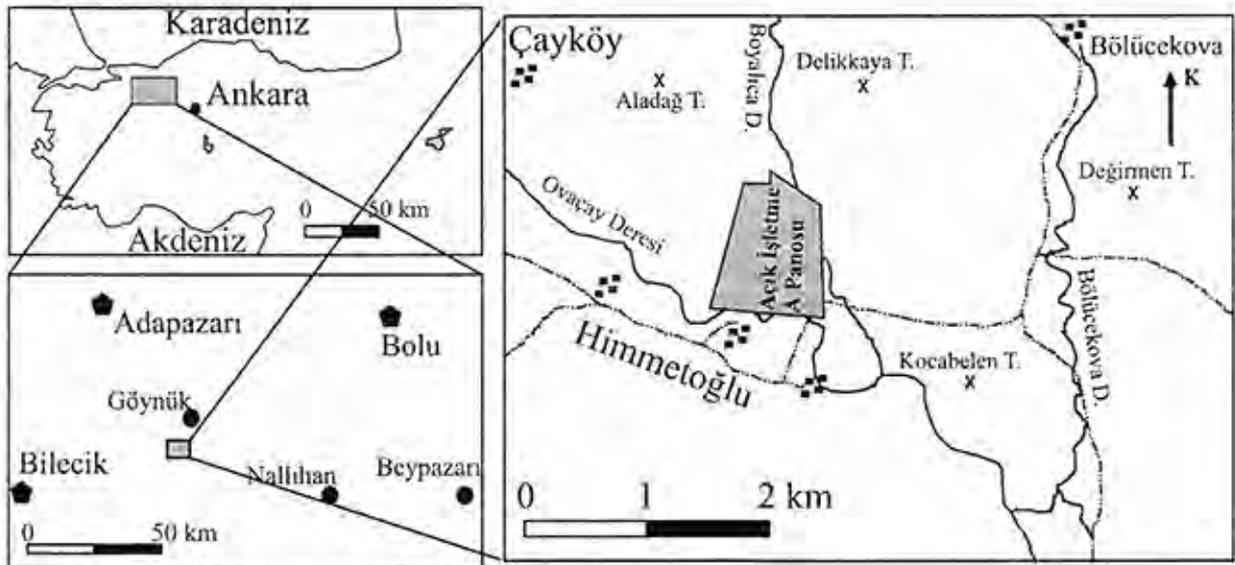
Bolu iline bağlı Göynük ilçesinin 30 km güneyinde Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ) tarafından açık ocak şeklinde işletilen Himmetoğlu linyit işletmesinde yeraltı suyunun gelişine bağlı olarak gelişen şev duraysızlığı ve drenaj sorunlarıyla karşılaşmıştır (Şekil 1). İşletme güvenliğini tehdit eden sorunların çözümüne yönelik olarak Ulusay vd., (1998) tarafından yapılan çalışmada yeraltı suyu koşullarının genel yaklaşımlar yerine ortamın hidrodinamik yapısını dikkate alan sayısal verilerin belirlenmesi gerekmiştir.

Açık işletmelerde karşılaşılan yeraltı suyu, genelde drenaj ve şev duraysızlığı olmak üzere, iki temel soruna neden olmaktadır. Yeraltı suyunun genellikle işletme gücünü yaratması, dolayısıyla işletme ekonomisini olumsuz yönde etkilemesi nedeniyle, drenaj kazısı gerektiren mühendislik projelerinde dikkatle çözümlenmesi gereken bir sorundur. Bu çalışmanın konusunu oluşturan yeraltı suyu koşullarının şev duraysızlığı üzerindeki etkisi ise, etkin gerilmeyi doğrudan etkileyen bir parametre olan 'gözenek suyu basıncı' şeklinde ortaya çıkmaktadır (Terzaghi, 1950). Gözenek suyu basıncı, h ; su yükü (L); u : basınç (MLT^{-2}), ρ : yoğunluk (M/L^3) ve g : yerçekimi ivmesi (L/T^2) olmak üzere,

$$h = u/\rho g \quad (1)$$

eşitliği ile su yükü cinsinden ifade edilebilmektedir.

Bu ilişkiye dayanarak, hidrojeolojik çalışmalarda gözenek suyu basıncının yeraltı suyu seviye ölçümlerinden itibaren elde edilebilmesi olanaklı olmaktadır. Yeraltı suyu seviyesinin zamansal değişiminin büyüklüğü, litolojik malzemenin hidrolik iletkenlik ve depolama gibi hidrolik özelliklerine bağlıdır. Doğal koşullarda mevsimsel ölçekte görülebilen bu değişim, kazı alanlarında kazı aynaları ve yakın dolayında çok daha kısa sürelerde önemli büyüklüklere ulaşabilmektedir. Kazının yeraltı suyu seviyesini kestiği andan itibaren kazı alanına yeraltı suyunun serbest drenajı gerçekleşmektedir. Kazı alanına doğru meydana gelen bu akış nedeniyle yeraltı suyu seviyesinin kazı aynasından iç kısımlara doğru zaman içinde gösterdiği değişimin kestirilmesi, Eşitlik (1)'e göre, belirli bir noktadaki gözenek suyu basıncının belirlenmesini sağlamaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritası.
Figure 1. Location map of the study area.

Yeraltısuyu seviyesinin serbest drenajla değişimi, hidrojeolojide serbest akiferlerde akım problemi şeklinde tanımlanmaktadır (Polubaroniva-Kochina, 1962; Bear vd., 1968; Bear, 1972 ve 1979). Tanımlanan problemin matematiksel ifadesi Boussinesq (1904) tarafından türetilmiştir. Serbest akifer koşullarında yeraltısuyu akımının matematiksel modelini ortaya koyan denklemin kazı alanlarına gelen yeraltısuyu akımına uygulanması, matematiksel denklemin karmaşık çözüm gerektirmesinden dolayı uzun yıllar almıştır. Bu nedenle, duraysızlık analizlerinde gözenek suyu basıncı değerini gerektiren hesaplamalarda genelde güvenli tarafta kalınacak şekilde, sınırlı sayıda gözleme dayanan varsayımlar yapılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan yöntemlerde yeraltısuyunun durumu, yeraltısuyu akımının zamanla değişmediği kararlı hal koşulları dikkate alınarak yapılan tahminlere dayandırılmaktadır. Kazı aynasının yeraltısuyu seviyesini kestiği andan itibaren başlayan drenajın kararlı koşullara ulaşma süresi, ortamın hidrolik iletkenlik ve depolama özellikleri ile sınır koşullarına bağlıdır. Açık maden işletmelerinde, basamak oluşturma ve cevher üretimi aşamalarında olduğu gibi, kazı geometrisinin kısa sürelerde değiştiği durumlar kararsız akım koşullarının sürdüğü dönemlerdir. Bu dönemlerde yeraltısuyu seviyesinin alansal ve zamansal değişimlerinin kestirilmesi önemli hale gelmektedir.

2. KURAMSAL TEMEL

2.1. Serbest Akiferlerde Kararsız Koşullarda Yeraltısuyu Akım Denklemi

Himmetoğlu açık işletmesinde işletme güvenliğini tehdit eden şev duraysızlığı sorununun çözümüne yönelik olarak Ulusay vd. (1998) tarafından gerçekleştirilen jeoteknik amaçlı çalışmalar alanda yeraltısuyu koşullarının da ortaya konmasını gerektirmiştir. Özellikle, kazı aynasının yeraltısuyu seviyesini kestiği kesimlerde, şev duraylılığına ilişkin geriye dönük analizlerde kullanılmak üzere belirli zaman dilimlerinde, kazı aynasında ve ayna gerisinde yeraltısuyu seviyesinin konumunun bilinmesine gerek duyulmuştur. Bu çalışma kapsamında, yeraltısuyu seviyesinin konumu, serbest akiferlerde kararsız akım koşullarını ifade eden ve izotrop ve homojen ortamlar için,

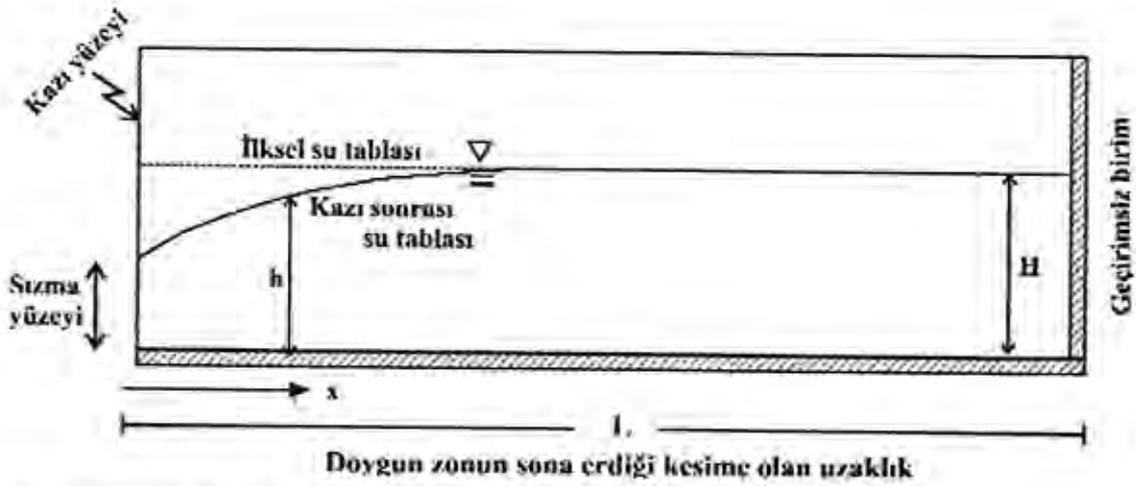
$$\frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(h \frac{\partial h}{\partial y} \right) = \frac{S_y}{K} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2)$$

kısmi diferansiyel denkleminin İbrahim ve Brutsaert (1965) tarafından türetilen analitik çözümü kullanılarak elde edilmiştir. Doğrusal olmayan bir kısmi diferansiyel denklem sınıfına giren yukarıdaki denklemin çözümü oldukça uzun ve karmaşık yöntemleri gerektirmektedir. Belirli sınır koşulları için çözümleri durumunda ise, akım alanının herhangi bir noktasında herhangi bir andaki hidrolik yük tanımlanmış olmaktadır. Diğer bir ifadeyle, çözüm, $h(x,y,z,t)$ değerlerinin dağılımını vermektedir.

2.2. Denklemin Analitik Çözümü

Her diferansiyel denklemin olduğu gibi, yukarıda verilen kısmi diferansiyel denklemin de tanımlanan her sınır koşulu için özel bir çözümü bulunmaktadır. Yukarıda tanımlanan kısmi diferansiyel denklemin farklı sınır koşulları için çözümleri genellikle kazı alanına gelen su miktarının tahmin edilmesine yönelik olarak türetilmeye çalışılmıştır (Goodman vd., 1965; Singh ve Atkins, 1984; Naugle ve Atkinson, 1993; Hanna vd., 1994). Özellikle madencilik faaliyetleri sırasında ortaya çıkan kazı aynalarında sızma yüzeylerinin olduğu durumları temsil edebilecek sınır koşullarını dikkate alarak, denklemin kazı aynasında ve ayna gerisinde yeraltısuyu seviyesinin konumunun kestirilmesine yönelik analitik bir çözümü İbrahim ve Brutsaert (1965) tarafından türetilmiştir. Laboratuvar koşullarında gerçekleştirilen deneylere dayanan yöntem daha sonra Verma ve Brutsaert (1970 ve 1971) tarafından sayısal yöntemler

kullanılarak doğrulanmıştır. İbrahim ve Brutsaert (1965) tarafından kurulan model ve sınır koşulları bir kesit üzerinde, iki boyutlu olarak Şekil 2'de gösterilmiştir. Buna göre, yeraltı suyu akışının meydana geldiği ortam alttan yatay geçirimsiz bir birimle sınırlanmıştır. Benzer şekilde, akifer ortamı kazı aynasından L uzaklığında geçirimsiz bir sınıra sahiptir. Başlangıç anında ($t=0$) yeraltı suyu seviyesi her noktada statik seviye (H) konumundadır. Kazı aynasından serbest drenajın başladığı andan itibaren herhangi bir noktada (x) herhangi bir andaki (t) yeraltı suyu seviyesi veya hidrolik yük $h(x,t)$ Eşitlik (2)'nin tek boyutlu halinin çözümü ile elde edilebilmektedir.



Şekil 2. Analitik çözümün dayandığı modelin sınır koşulları (İbrahim ve Brutsaert, 1965'ten).

Figure 2. Boundary conditions of the model considered in the analytical solution (after İbrahim and Brutsaert, 1965).

Problemi tanımlayan kısmi diferansiyel denklemin doğrusal olmaması nedeniyle, araştırmacılar çözümü olanaklı kılmak için çeşitli basitleştirmeler ve varsayımlar yapmışlardır. Yöntemin belirli bir alanda uygulanabilirliği, yöntemin dayandığı varsayımların uygulama alanında da geçerli olabilmesine bağlıdır. Yöntem; (1) kazı aynasının düşey olduğunu, (2) analizin yapıldığı düşey yüzeyin bir anda ortaya çıktığı, sızmanın kazı tamamlandıktan sonra başladığı, dolayısıyla kazı aynası ortaya çıktığında yeraltı suyunun statik seviyesinde bulunduğunu, (3) sistemin sınır koşullarının Şekil 2'de verildiği gibi, (4) ortamın homojen ve izotrop ve kazının daireselden çok uzunlamasına geliştiği, dolayısıyla kartezyen koordinatların geçerli olduğunu varsaymaktadır (İbrahim ve Brutsaert, 1965; Freeze ve Cherry, 1979)

Kazı aynasının yeraltı suyunu kestiği andan itibaren kazı alanına doğru meydana gelen akımın kararsız olması nedeniyle, gerek kazı aynasında gerekse ayna gerisinde yeraltı suyu seviyesi zamanla değişmektedir. İbrahim ve Brutsaert (1965) elde ettikleri çözümün laboratuvar model boyutlarından bağımsız hale getirilmesi amacıyla hidrolik yük, uzaklık, zaman ve akım gibi parametreleri uyarlamış ve boyutsuzlaştırmışlardır. Bu şekilde, elde ettikleri çözüm, yukarıdaki varsayımları gerçekleyen her özel problemde kullanılabilir hale gelmiştir.

Çözümün boyutsuz parametrelerle ifade edilmesi durumunda, akım alanındaki herhangi bir noktanın kazı aynasından uzaklığı (x) yerine $U=x/L$ şeklinde ve bu noktadaki hidrolik yük (h) yerine $Y=h/H$ şeklinde verilebilmektedir. Görüldüğü gibi uzaklık, kazı aynasından x uzaklığının, aynanın geçirimsiz sınıra kadar uzaklığına oranı ve bu noktadaki hidrolik yük de statik seviyeye oran şeklinde tanımlanmıştır.

Boyutsuz olarak verilen U ve Y parametrelerinin değeri 0 ile 1 arasında değişmektedir. Benzer şekilde, zaman parametresi de akiferde bir su molekülünün L uzaklığını alabilmesi için gereken süreye göre normalize edilerek boyutsuzlaştırılmıştır. Akiferde yeraltı suyu hareketini tanımlayan Darcy hızının (q) etkin gözenekliliğe (S_y) oranı, su molekülünün gerçek hızını (v) vermektedir. Darcy hızı, İbrahim ve Brutsaert (1965) modelinin sınır koşullarını temsil eden simgeler kullanılarak Darcy yasasından, K ortamın hidrolik iletkenlik katsayısı (m/s) olmak üzere,

$$q = K \frac{H}{L} \quad (3)$$

şeklinde yazılabilir. Buna göre, su molekülünün gerçek hızı,

$$v = \frac{q}{S_y} \quad (4)$$

ve bu eşitlikte q Eşitlik (3)'te tanımlandığı gibi yerine konursa,

$$v = \frac{KH}{S_y L} \quad (5)$$

olur. Yukarıda türetilen hız kullanılarak, bir su molekülünün L uzaklığındaki yolu alabilmesi için gereken süre ise,

$$\tau = \frac{L}{v} = \frac{L}{KH/S_y L} \quad (6)$$

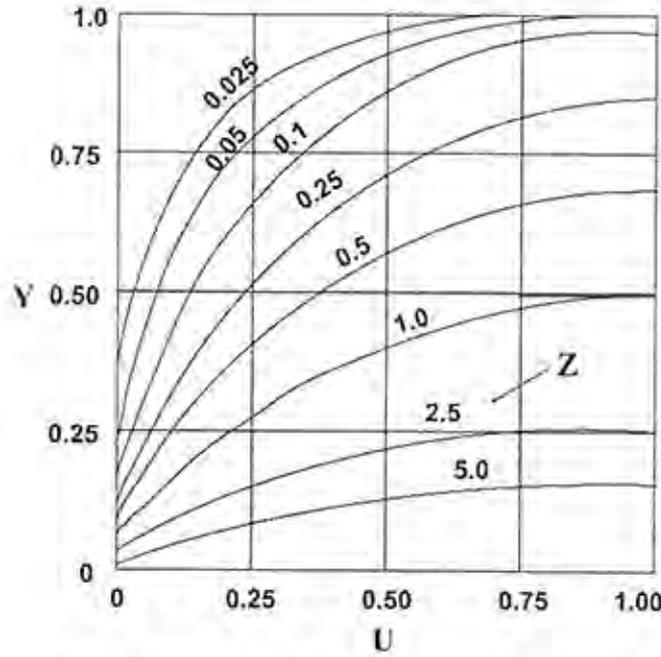
olarak elde edilir.

Hızın yol/zaman tanımından L uzaklığı alacağı süre $t=L/v$ ve $v=L/t$ ilişkisinden boyutsuz zaman parametresi Z, t/τ oranı şeklinde

$$Z = \frac{KH}{S_y L^2} t \quad (7)$$

olarak elde edilir. Burada, t, kazı aynasından serbest drenajın başladığı andan itibaren geçen süredir. Şekil 3'te analitik çözümün boyutsuz parametrelerle elde edilen sonuçları grafiksel olarak gösterilmiştir. Şekilde, zamana bağlı olarak akım alanının herhangi bir noktasındaki hidrolik yük zarf eğriler şeklide verilmiştir.

İbrahim ve Brutsaert (1965) tarafından kazı aynalarından meydana gelen serbest drenaj problemini tanımlayan diferansiyel denklemin analitik çözümü abaklara dönüştürülerek varsayımları sağlayan her özel durum için kullanılabilir hale getirilmiştir. Görüldüğü gibi, yöntemin özel durumlar için uygulanabilmesi, varsayımların sağlanmasının yanı sıra, ortama ilişkin hidrolik iletkenlik katsayısı (K), etkin gözeneklilik (S_y), statik seviye (H) ve aynadan geçirimsiz sınıra uzaklık (L) parametrelerinin bilinmesini gerektirmektedir. Boyutsuz zaman parametresi Z, Eşitlik (7)'den elde edildikten sonra herhangi bir noktadaki hidrolik yük $h(x,t)$ Şekil 3'ten elde edilebilmektedir.



Şekil 3. Farklı boyutsuz zaman (Z) değerleri için boyutsuz uzaklık (U) boyutsuz hidrolik yük (Y) ilişkisi (İbrahim ve Brutsaert, 1965'ten).

Figure 3. Relation between dimensionless distance (U) and dimensionless hydraulic head (Y) for various values of dimensionless time (Z) parameter (after İbrahim and Brutsaert, 1965)

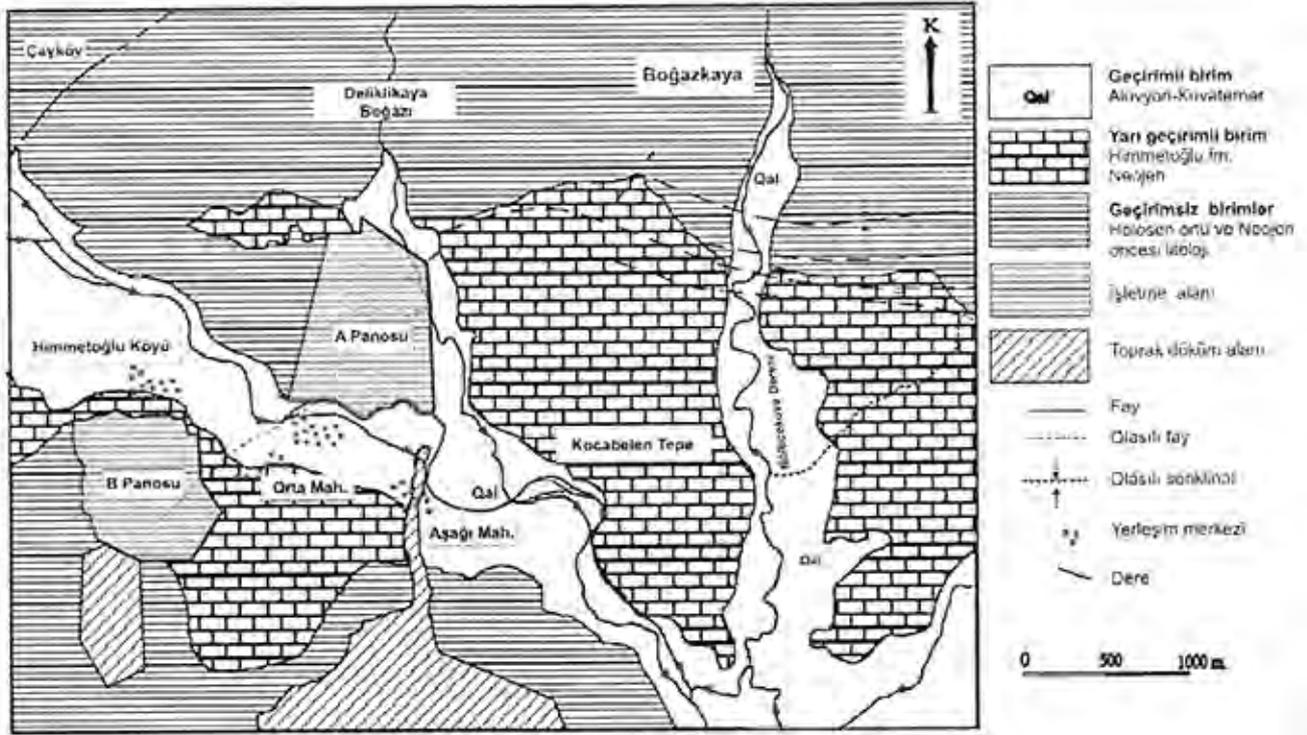
3. ANALİTİK ÇÖZÜMÜN HİMMETOĞLU LİNYİT AÇIK İŞLETMESİNDE UYGULANMASI

Himmetoğlu linyit açık işletmesinde kazılar sırasında oluşan sızma yüzeylerinde serbest drenaj problemine yukarıda açıklanan analitik yöntemin uygulanabilmesi için, öncelikle yöntemin akım sınır koşullarına ilişkin varsayımların gerçekleştiği ortaya konmalıdır. Bu doğrultuda alanın hidrojeolojik yapısı, akım alanının geometrisi ve sınır koşullarını gösterecek şekilde tanımlanmıştır. Öte yandan, analitik çözümün uygulanabilmesi için akımın meydana geldiği litolojik birimlerin hidrolik özelliklerinin belirlenmiştir.

3.1. Hidrojeolojik Durum ve Sınır Koşulları

Hidrojeoloji açısından karmaşık olmayan bir yapıya sahip olan bölgede yüzeylenen jeolojik birimler, hidrojeolojik özelliklerine göre arazi gözlemleri ve litolojilerin jeohidrolojik özellikleri yönünden değerlendirilerek sınıflandırılmıştır. Açık işletme ve yakın dolayını kapsayan yaklaşık 30 km²'lik bir alanda üç farklı hidrojeolojik birim ayrılanmıştır (Şekil 4). Ovaçay, Boyalıcadere ve Bölücekova Deresi gibi büyük akarsu yataklarında yüzeylenen ve kumlu çakıldan oluşan Kuvaterner yaşlı alüvyon çökelleri yeraltısuyunu iletebilen ve depolayabilen (akifer) birim olarak değerlendirilmiştir. Doğrudan yağışlardan süzülen sularla belirli oranda beslenebilen bu alüvyon akiferinin asıl beslenmesi akarsulardan süzülen sulardan oluşmaktadır.

Alanda en geniş yayılımına sahip olan ve tabanında kil ve gevşek konglomera, kömür ve kömürün üzerinde bitümlü şeyl, tüfit ve kıltaşı aratabakalı marndan oluşan Himmetoğlu formasyonu tektonik hareketlere bağlı olarak bol kırıklı-çatlaklı bir yapı kazanmıştır. Birincil gözenekliliği yüksek, ancak birincil



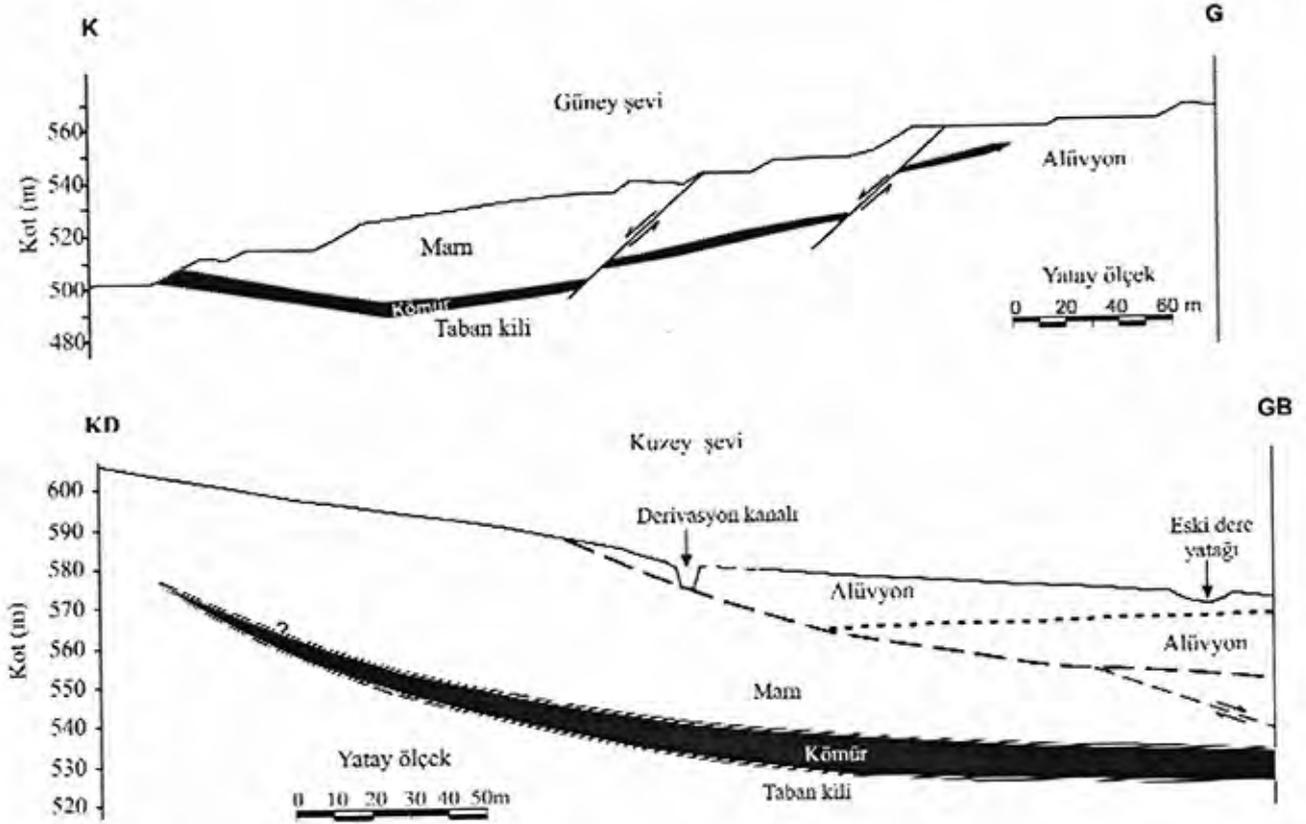
Şekil 4. Çalışma alanının yalınlaştırılmış hidrojeoloji haritası (Ulusay vd., 1998'den).

Figure 4 . Simplified hydrogeological map of the study area (after Ulusay et al., 1998).

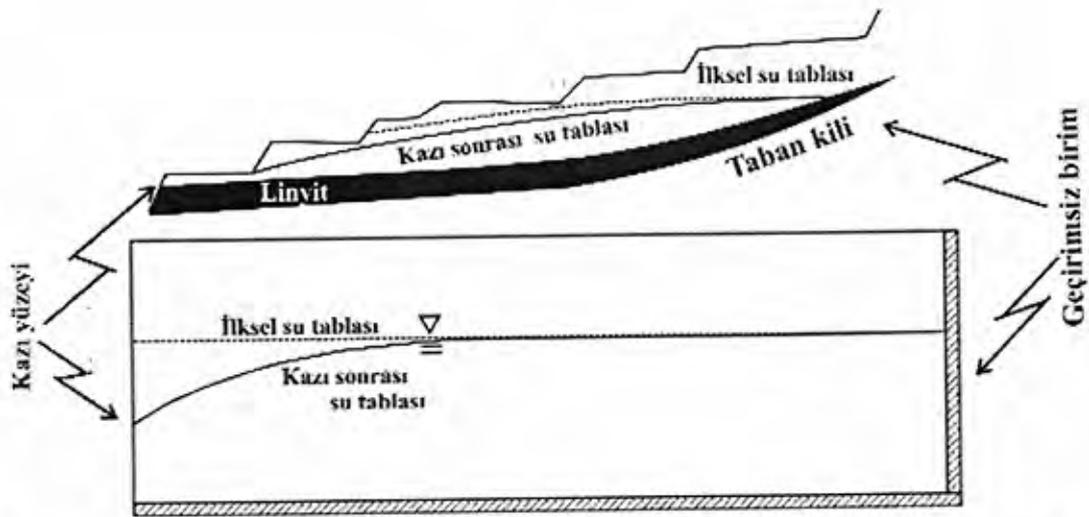
geçirgenliği düşük-çok düşük olan bu formasyonun özellikle kömür ile kömürün üzerindeki kilitli ara-tabakalı marnlardan oluşan kesiminde ikincil geçirimsizlik dike yakın ve devamlılığı yüksek eklemler nedeniyle yükselmiştir. Bu nedenle, genel hidrojeolojik yapı içerisinde Himmetoğlu formasyonu belirli oranlarda su taşıyabilen, ancak taşıdığı suyu yavaş iletebilen 'akitard' niteliğinde bir birim olarak değerlendirilmiştir.

İşletme amacıyla dekapaj çalışmalarının yapıldığı alanda Himmetoğlu formasyonu, Kuvaterner (olasılıkla Holosen) yaşlı alüvyon çökelleri ile örtülüdür. Yer yer kumlu, çakıllı seviyeler içeren birimde özellikle üst kesimlerde hakim malzeme, genellikle kahverengi-grü, killi-siltli ince kumdan oluşmaktadır. Bu birim, pratikte hidrojeolojik açıdan geçirimsiz olarak kabul edilebilecek derecede düşük geçirimsizliğe sahip olduğundan, 'akiklud' niteliğinde değerlendirilmiştir.

Alanda yayılım gösteren birimlerin yanal ve düşey yönlere birbirleri ile olan ilişkileri Şekil 5'te verilen hidrojeoloji kesitlerinde gösterilmiştir. Geçirimsiz kil katmanı üzerinde yer alan kömür horizonunu da içeren Himmetoğlu formasyonunda katmanlanmanın havzanın içine doğru olduğu ve eğimlerin karşılıklı olarak havzanın kenarlarından orta kesimlerine doğru yataylaştığı görülmektedir. Katmanlanmanın bu genel durumundan çanak şeklindeki göl havzasının kıvrılarak bir senklinal yapısının oluştuğu görülmektedir (bkz. Şekil 5). Analitik çözümün uygulandığı kazı aynalarında, katmanların bu kıvrımlı yapısı, İbrahim ve Brutsaert (1965) tarafından verilen modeldeki geçirimsiz sınır koşulunun sağlanması şeklinde değerlendirilmiştir (Şekil 6).



Şekil 5 . Himmetoğlu açık işletmesinde linyit horizonunun oluşturduğu senklinal yapı.
 Figure 5 . Syncline structure of the lignite horizon at Himmetoğlu open pit.



Şekil 6. Himmetoğlu kazı alanındaki sınır koşullarının İbrahim ve Brutsaert (1965) modeli ile karşılaştırılması.
 Figure 6. Comparison of boundary conditions of the Himmetoğlu case and the model suggested by İbrahim and Brutsaert (1965).

3.2. Hidrolik Parametreler

Akifer olma özelliğinin depolama yanında iletkenlik özelliğini de gerektirdiği dikkate alınarak, çakıllı ve siltli-kumlu seviyelerin hidrolik iletkenlik katsayıları laboratuvarında düşen ve sabit seviyeli permeametreler kullanılarak belirlenmiştir. Hidrolik iletkenlik katsayılarının değerlerine göre çakıllı seviyeler verimli (10^{-3} m/s), kumlu-siltli seviyeler ise düşük verimliliğe (10^{-5} m/s) sahip akifer özelliği göstermektedirler.

Analitik çözümde kullanılmak üzere Himmetoğlu formasyonuna ait etkin gözeneklilik (S_y) ve hidrolik iletkenlik (K) gibi hidrolik karakteristikler, eklem aralığı ve açıklığı kullanılarak kestirilmiştir. Alüvyon gibi tanelerarası gözenekliliğe sahip akiferlerden farklı olarak, kırıklı-çatlaklı akiferlerde yeraltı suyu akımı kübik yasa olarak da bilinen

$$Q = \left(\frac{\rho g N b^2}{12\mu} \right) (bw) \left(\frac{\partial h}{\partial l} \right) \quad (8)$$

veya

$$Q = \left(\frac{\rho g N b^3}{12\mu} \right) w \left(\frac{\partial h}{\partial l} \right) \quad (9)$$

eşitliğine uygun gerçekleşmektedir (Bear, 1979; Whitherspoon vd., 1980; Domenico ve Schwartz, 1998).

Eşitlik 9'da; r : suyun yoğunluğu, g : yerçekimi ivmesi, N : kırık-çatlak frekansı, b : kırık-çatlak açıklığı, w : kırığın akım yoluna dik yöndeki genişliği, $(\delta h/\delta l)$ terimi ise hidrolik eğimdir. Eşitlik, kırıklı çatlaklı akiferlerde akım miktarının kırık-çatlak açıklığı b 'nin küpü ile doğru orantılı olduğunu göstermektedir. Görüldüğü gibi Eşitlik (9), ilk terim hidrolik iletkenlik K , ikinci terim akımın kesit alanı A ve son terim hidrolik eğim, i olmak üzere, $Q=K.i.A$ şeklinde ifade edilen Darcy yasasına eşdeğerdir. Buna göre kırıklı çatlaklı ortamların hidrolik iletkenlikleri

$$K = \frac{\rho g N b^2}{12\mu} \quad (10)$$

ifadesiyle tanımlanabilir.

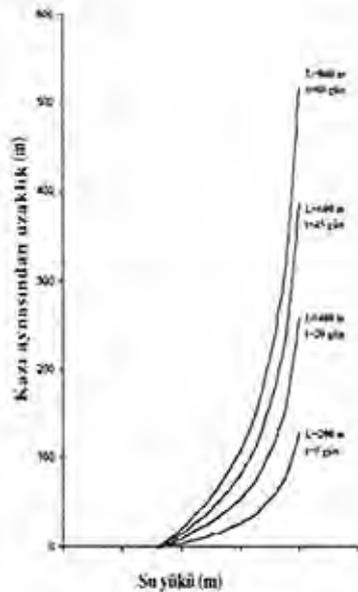
Himmetoğlu formasyonunda yapılan süreksizlik ölçümlerine göre marnlarda süreksizlik aralığı ortalama olarak 0.37 m (1 metredeki eklem sayısı 2.65) ve süreksizlik açıklığı ise genelde kapalı ve en fazla 1 mm'dir (Ulusay vd., 1998). Bu nedenle, hesaplamalarda açıklık 0.5 mm olarak alınmıştır. Kübik yasa esas alınarak yapılan hesaplamalardan elde edilen hidrolik iletkenlik değerlerine göre, Himmetoğlu formasyonuna ait marnların ve kömürün hidrolik iletkenlik değerlerinin verilen yöntemle uygun olarak 5×10^{-5} ile 1×10^{-6} m/s arasında değiştiği belirlenmiş olup, hesaplamalarda su sıcaklığının 10-20 °C arasında değiştiği varsayılmıştır.

Marn ve kiltaşlarından oluşan Himmetoğlu formasyonunun etkin gözenekliliği ise; tanelerarası boşluklardan kaynaklanan birincil gözenekliliğinin yanı sıra, ikincil gözeneklilik de dikkate alınarak, güvenli tarafta kalınmak amacıyla 0.1 olarak kabul edilmiştir.

3.3. Analitik Çözüm Sonuçları

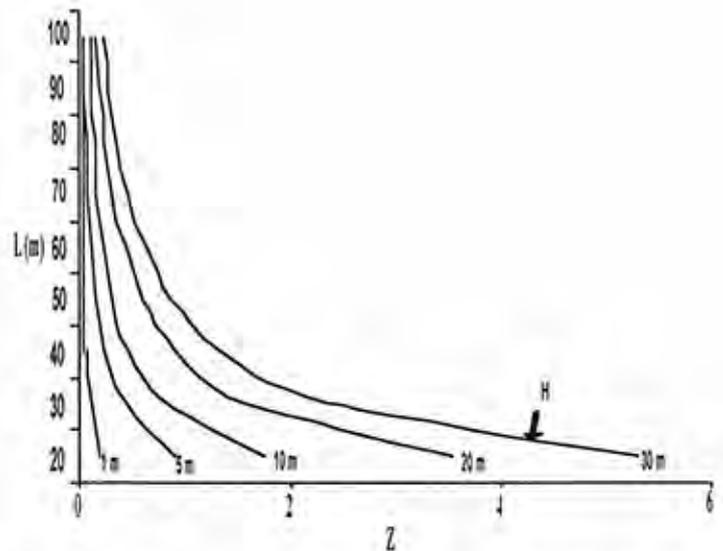
Himmetoğlu formasyonuna ilişkin hidrolik parametreler kullanılarak, yeraltısuyu seviyesinin kazı aynasından farklı x uzaklıklarındaki seviyeleri hesaplanmıştır. Hesaplamalar, jeoteknik analizler açısından kritik süre olarak belirlenen $t=7$ gün için yapılmıştır (Ulusay vd., 1998). Uygulama alanında, kazı aynasının bulunduğu farklı kesitlerdeki H ve L değerlerinin değişimi dikkate alınarak, farklı L ve H değerleri için hesaplamalar tekrarlanmıştır. Jeoteknik analizlerde kolaylıkla kullanılabilmesi amacıyla, hesaplamalardan elde edilen sonuçlar grafiksel olarak sunulmuştur. Şekil 7'de verilen örnek grafik, ilksel doymun kalınlığının (H) 20 m olduğu farklı L değerleri için hazırlanmıştır. Örnek olarak verilen grafikte, kazı aynasının yeraltısuyu seviyesini kestiği andan itibaren 5, 20, 40 ve 80. günde yeraltısuyu seviyesinin alacağı konum gösterilmiştir. Şekil 7'den görüldüğü gibi, geçirimsiz sınırın kazı aynasına yakın olması, düşümde hızlı bir artışa neden olmaktadır. Öte yandan, Eşitlik 7 ve Şekil 8'den de anlaşılacağı gibi, kazı alanında doymun kalınlığının artması, Z parametresini arttıracığından, yeraltısuyu seviyesindeki düşüm aynadan gerilere doğru daha yüksek oranda gerçekleşmektedir. Diğer bir ifadeyle, doymun kalınlık arttıkça, aynadan iç kısımlara doğru yeraltısuyu düşümü daha yüksek oranda gözlenmektedir.

Jeoteknik amaçlı analizlerde, ilgilenilen kesitteki doymun kalınlık (H) ve kazı aynasının geçirimsiz birime olan uzaklığı (L) belirlendikten sonra, aynadan istenen uzaklıktaki seviye, Şekil 7'deki abaktan doğrudan okunabilmektedir. Himmetoğlu linyit açık işletmesinin hidrolojik koşulları dikkate alınarak toplam 12 kesit için yapılan hesaplamalarda doymun kalınlığının 1 ile 30 m arasında değiştiği dikkate alınmıştır. Örnek olarak seçilen 3 kesite ilişkin analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.



Şekil 7. Analitik çözümün Himmetoğlu açık işletmesinde uygulanması ile elde edilen sonuçların grafiksel gösterimine bir örnek.

Figure 7. A graphical presentation of results as an example to the application of the analytical solution to Himmetoğlu open pit case.

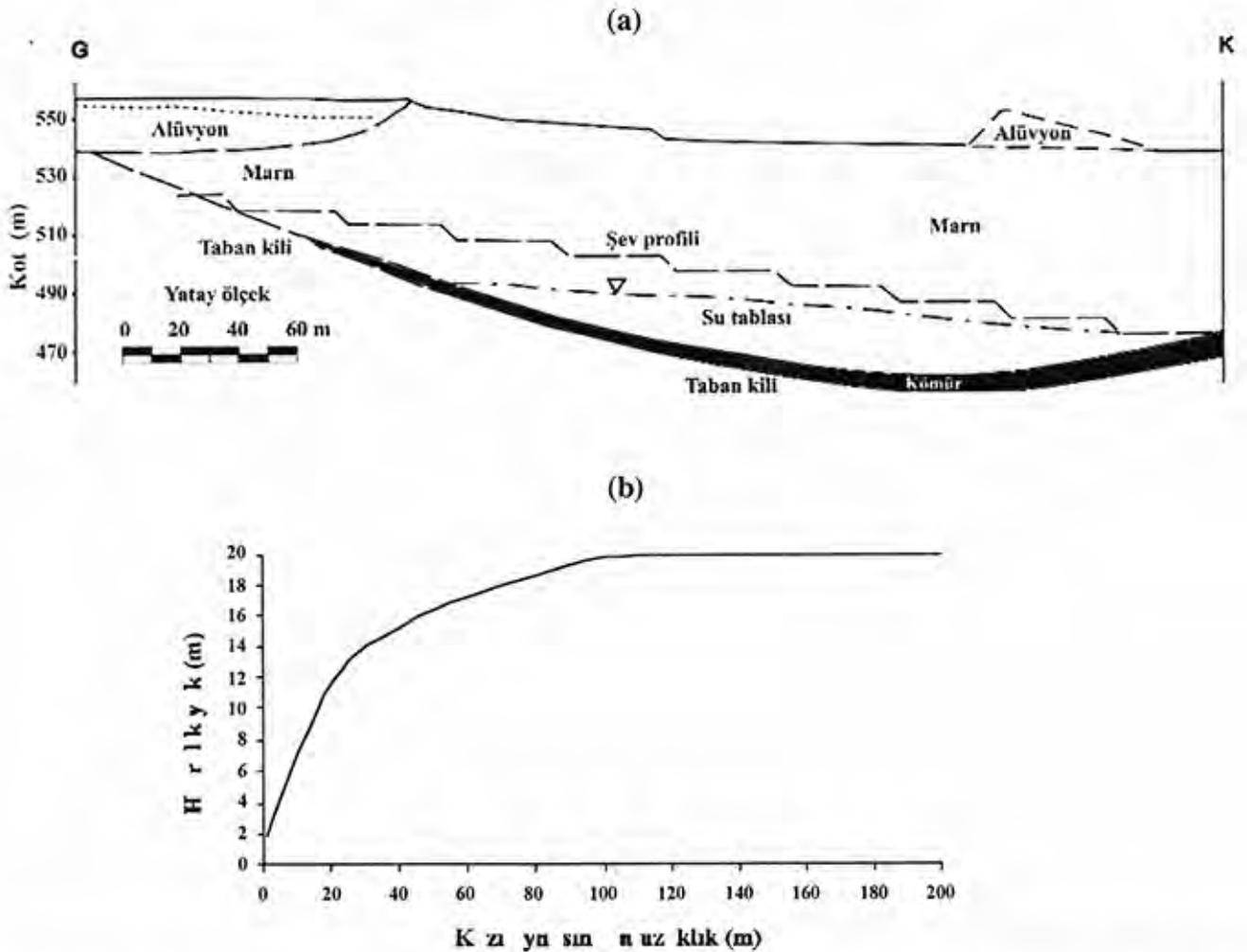


Şekil 8. Himmetoğlu formasyonu için hesaplanan boyutsuz zaman parametresinin (Z) doymun kalınlık (H) ve yeraltısuyunun yayılımı (L) ile ilişkisi.

Figure 8. Graph depicting the dependence of the dimensionless time parameter (Z) calculated for Himmetoğlu formation on thickness (H) and extension (L) of the saturated zone.

3.3.1. Kesit-1'e ait analizler

Açık işletme alanını kuzey-güney doğrultusunda kesen kesitte yeraltısuyunun yaklaşık olarak 200 m'lik bir yayılım ve 20 m'lik bir kalınlığa sahip olduğu görülmektedir (Şekil 9 a). Buna göre, analitik çözümün gerektirdiği sınır koşulları açısından $L=200$ m ve $H=20$ m alınabilir. Hesaplamalarda akiferin hidrolik parametreleri olan hidrolik iletkenlik katsayısı (K) ve özgül verim (S_y) sırasıyla 1 m/gün (1.15×10^{-5} m/s) ve 0.1 olarak alınmışlardır. Kazı sırasında meydana gelecek basamakların yeraltısuyu seviyesini keseceği andan itibaren 7. gün için boyutsuz zaman parametresi $Z=0.035$ olarak hesaplanmıştır. Buna göre yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen yeraltısuyu seviyesinin konumu Şekil 9 b'de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, kazıdan 7 gün sonra, aynadan 100 m'den daha iç kesimlerde yeraltısuyu seviyesinde bir düşüm gözlenmemektedir. Kazı aynasında yaklaşık olarak 18 m olan düşüm, aynadan 20 m uzaklıkta yaklaşık 9 m ve 40 m uzaklıkta ise 5 m civarındadır.

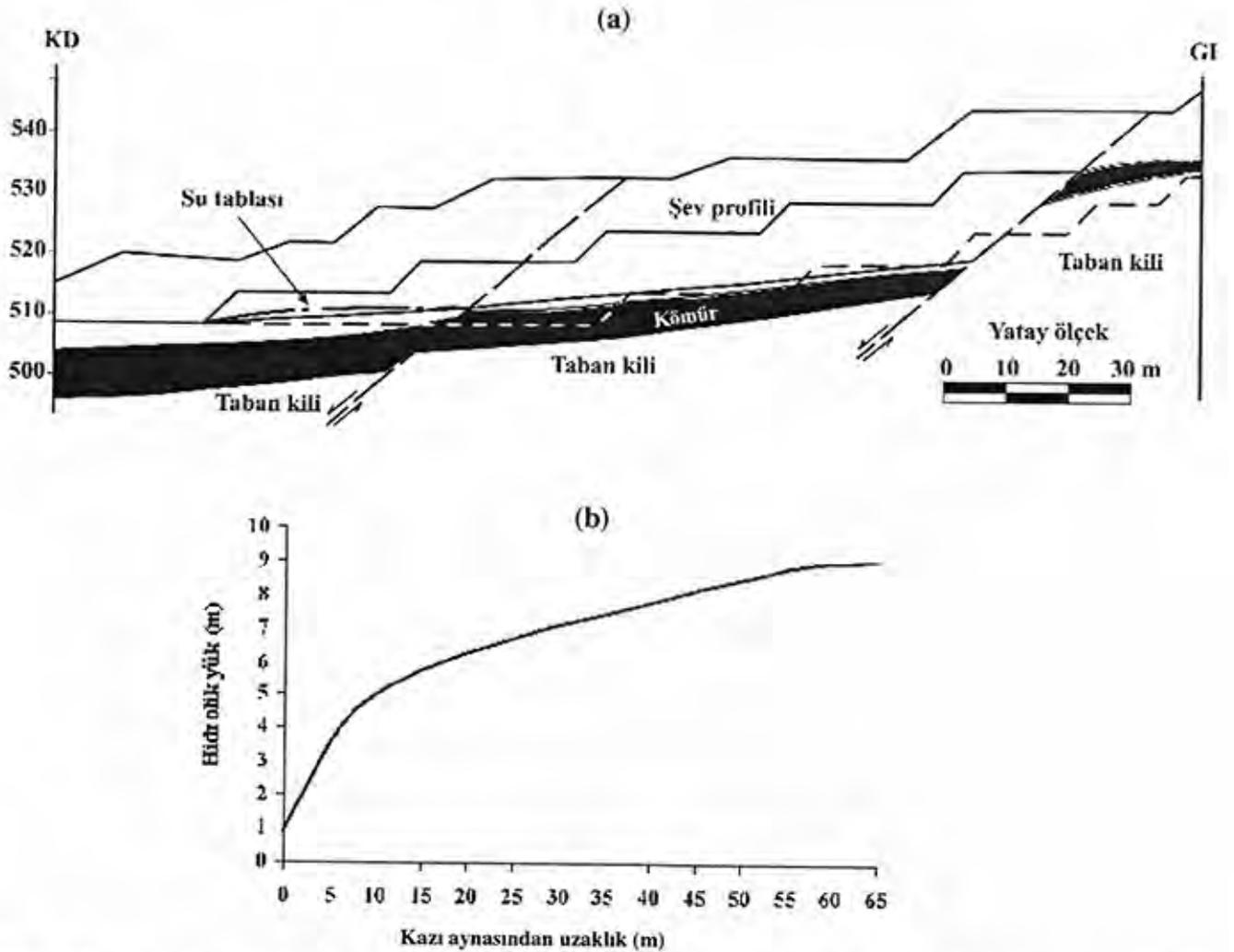


Şekil 9. Analitik çözümün Himmetoğlu açık işletmesinde uygulandığı Kesit-1: (a) hidrojeolojik koşullar ve (b) analitik çözümden elde edilen yeraltısuyu seviyesinin konumu ($L=200$ m, $H=20$ m, $t=7$ gün, $K=1$ m/gün, $S_y=0.1$).

Figure 9. Cross-section-1 where the analytical method was applied in Himmetoğlu open pit: (a) hydrogeological conditions and (b) position of groundwater level as predicted by the analytical method ($L=200$ m, $H=20$ m, $t=7$ days, $K=1$ m/day, $S_y=0.1$).

3.3.2. Kesit-2'ye ait analizler

Açık işletmeyi kuzeydoğu-güneybatı doğrultusunda kesen ikinci kesitte ise, yeraltısuyunun yayılımı (L) 65 m civarındadır. Bu kesimde doymun kalınlık (H) yaklaşık olarak 10 m olarak gerçekleşmektedir (Şekil 10 a). Akifer hidrolik karakteristiklerinin Kesit-1 örneğinde olduğu gibi alınmasıyla yapılan hesaplamalar sonucunda boyutsuz zaman parametresi $Z=0.1657$ olarak bulunmuştur. Kazı aynasından uzaklığa göre yapılan hidrolik yük hesaplamaları sonucunda yeraltısuyu seviyesinin konumunu gösteren grafik Şekil 10 b'de verilmiştir. Buna göre, bu kesitte kazı aynasından yeraltısuyu seviyesinin kazı tabanına kadar düştüğü, aynadan 5 m içeride yeraltısuyu seviyesinin yaklaşık olarak 3 m, 10 metre uzaklıkta ise 5 m civarında olduğu görülmektedir. Geçirimsiz sınırın aynaya uzaklığının küçük (65 m) ve aynı zamanda doymun kalınlığının düşük (10 m) olması nedeniyle, kazıdan sonraki 7. günde, aynadan en uzak noktada dahi (65 m) yeraltısuyu seviyesinin yaklaşık olarak 1 m düştüğü görülmektedir.

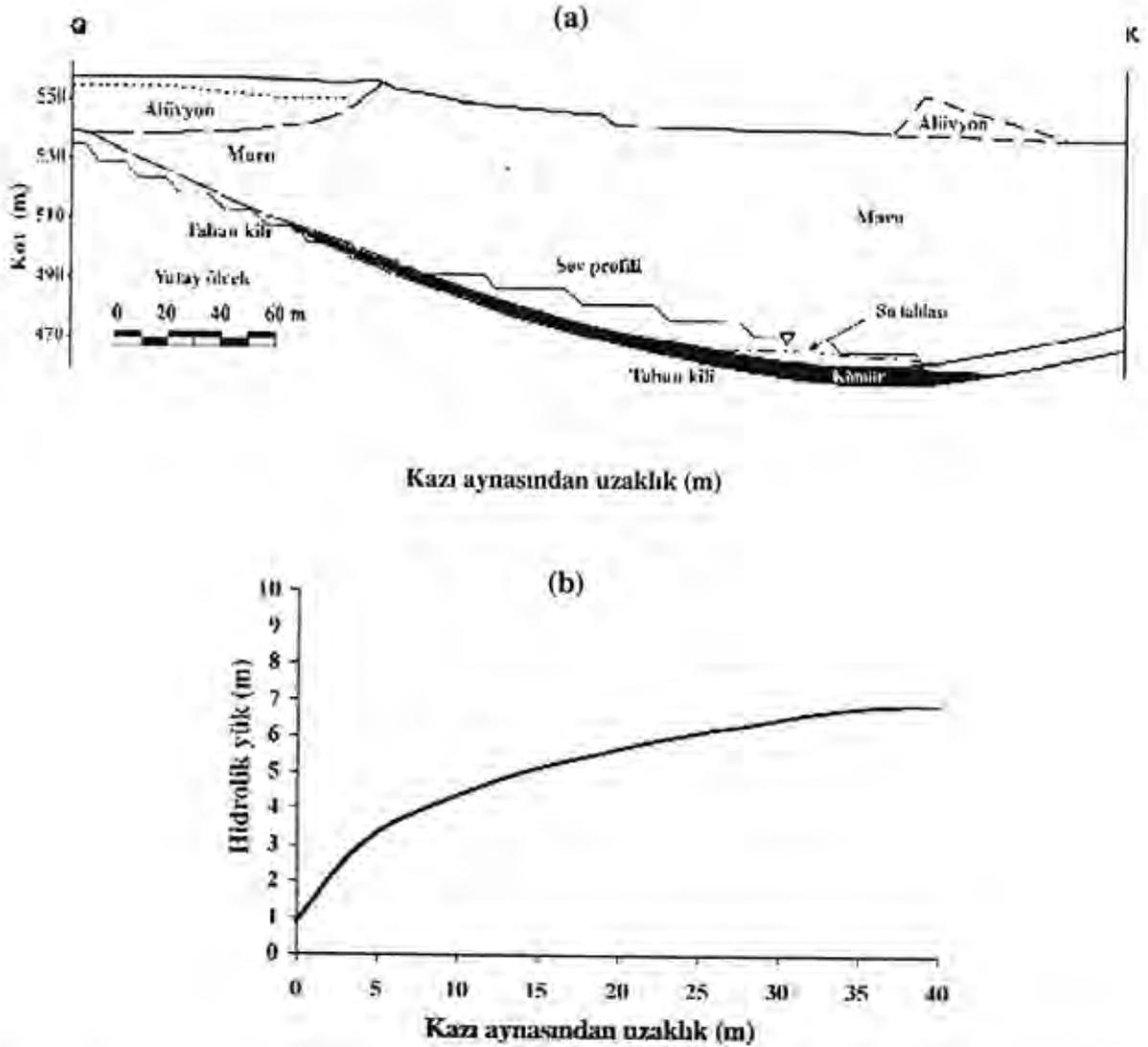


Şekil 10. Analitik çözümün Himmetoğlu açık işletmesinde uygulandığı Kesit-2: (a) hidrojeolojik koşullar ve (b) analitik çözümden elde edilen yeraltısuyu seviyesinin konumu (L= 65 m, H= 10 m, t= 7 gün, K= 1 m/gün, $S_y = 0.1$).

Figure 10. Cross-section-2 where the analytical method was applied in Himmetoğlu open pit: (a) hydrogeological conditions and (b) position of groundwater level as predicted by the analytical method (L= 65 m, H= 10 m, t= 7 days, K= 1 m/day, $S_y = 0.1$).

3.3.3. Kesit-3'e ait analizler

Bu örnekte, Kesit-1'de tanımlanan koşulların kazının ilerlemesiyle alacağı geometriye bağlı olarak ortaya çıkan durum ele alınmıştır. Kazının ilerlemesi sonucunda, basamakların kömür horizonuna yaklaşmasıyla ortaya çıkan durumda kazı aynasının gerisinde yeraltısuyunun yayılımı (L) 40 m'ye, doymun kalınlık da (H) 10 m'ye düşmektedir (Şekil 11 a). Yeni durum için yinelenen hesaplamalar sonucunda boyutsuz zaman parametresi $Z=0.4375$ olarak bulunmuştur. Buna göre yapılan hidrolik yük hesaplamaları, kazı aynasından iç kesimlere doğru yeraltısuyu seviyesinin konumunun Şekil 11 b'de verildiği gibi gerçekleşeceğini ortaya koymuştur. Kazı aynasında 1 m'nin altına düşen yeraltısuyu seviyesi, aynadan en uzak noktada (40 m) 3 m'den fazla bir düşüm göstermektedir.



Şekil 11. Analitik çözümün Himmetoğlu açık işletmesinde uygulandığı Kesit-3: (a) hidrojeolojik koşullar ve (b) analitik çözümden elde edilen yeraltısuyu seviyesinin konumu ($L=40$ m, $H=10$ m, $t=7$ gün, $K=1$ m/gün; $S_y=0.1$).

Figure 11. Cross-section-3 where the analytical method was applied in Himmetoğlu open pit: (a) conditions and (b) position of groundwater level as predicted by the analytical method ($L=40$ m, $H=10$ m, $t=7$ days, $K=1$ m/day, $S_y=0.1$).

4. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Kazı aynalarından serbest drenajla meydana gelen yeraltısuyu akımına bağlı olarak kazı aynasında ve ayna gerisinde yeraltısuyu seviyesinin zamanla değişimi, şev duraylılığı analizlerinde etkili olan parametrelerden biridir. Serbest akiferlerde kararsız koşullarda yeraltısuyu akımını ifade eden matematiksel denklemin çözümündeki güçlükler, denklemin belirli sınır koşulları için analitik çözümlerinin türetilmesine yol açmıştır. İbrahim ve Brutsaert (1965) tarafından geliştirilen analitik çözüm, kazı alanlarında oluşan sızma yüzeylerindeki akımın kestirilebilmesini sağlamaktadır. Söz konusu çözüm, kazı aynası ve ayna gerisinde yeraltısuyu seviyesindeki değişimlerin kestirilmesini de olanaklı kılmaktadır.

Himmetoğlu linyit açık işletmesinde uygulanan yöntem, jeoteknik çalışmalar açısından kritik süre olarak belirlenen yedi gün için gerçekleştirilmiştir. İncelenen kesitlerde geçirimsiz sınırların aynadan uzaklığı ve statik seviye değerleri dikkate alınarak ve hesaplamalar farklı değerler için tekrarlanarak elde edilen sonuçlar, kullanımı kolaylaştıracak şekilde abaklara dönüştürülmüştür. Yöntem, başta jeoteknik çalışmalar olmak üzere, yeraltısuyu seviyesinin alansal ve zamansal değişiminin kestirilmesini gerektiren çalışmalara önemli katkılar sağlamaktadır. Bununla birlikte, yöntemin analitik bir çözüme dayanması nedeniyle, uygulama alanlarında söz konusu varsayımların gerçekleşmesi, sonuçların güvenilirliği açısından büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda, yöntemin uygulanacağı alanın hidrojeolojik yapısının, sınır koşulları ve hidrodinamik ilişkileri de kapsayacak kavramsal bir modelle ortaya konması gerekmektedir. Himmetoğlu örneğinde, alandaki senklinal yapısını ortaya koyan jeolojik kesitlerden, yöntemin sınır koşullarının önemli oranda karşılandığı görülmektedir. Ayrıca, yöntem, homojen ve izotrop olarak kabul ettiği akım ortamına ilişkin hidrolik parametreleri gerektirmektedir. Bu nedenle, etkin gözeneklilik ve hidrolik iletkenlik gibi parametrelerin olabildiğince alanı temsil edecek sayıda ve dağılımda, mümkünse yerinde yapılan deneylerle elde edilmeleri aynı derecede önemli ve gereklidir. Himmetoğlu örneğinde hidrolik karakteristikler, eklem ölçümlerinden dolayı olarak yapılan hesaplamalarla elde edilmişlerdir. Eklem ölçümleri, alanı kapsayacak şekilde uzun hatlar boyunca yapılmasına karşın, hesaplamalarda belirsizlik kaynaklarından birini oluşturmuştur. Abak şeklinde verilen analiz sonuçlarının özel durumlar için uygulanabilmesi, söz konusu alandaki statik seviyeye ait bilgiyi gerektirdiğinden, hidrojeolojik kavramsal modelin bir parçası olan hidrojeolojik haritanın işletme öncesine ilişkin bir yeraltısuyu seviye haritasının yapılmış olması gerekmektedir. Bunun için, maden aramaları sırasında rezerv belirleme amacıyla açılan araştırma kuyularında yeraltısuyu koşullarına ilişkin bilgi ve ölçümlerin kaydedilmesi, hesaplamalardaki belirsizliği önemli oranda azaltacaktır.

Gerek yöntemin varsayımlarına, gerekse varsayımların Himmetoğlu linyit açık işletmesi örneğinde gerçekleşme derecesine bağlı belirsizliklere karşın, yöntem bu amaçla kullanılan genel yaklaşımlara önemli üstünlükler sağlamaktadır.

KATKI BELİRLEME

Bu çalışma, Türkiye Kömür İşletmeleri Genel Müdürlüğü (TKİ) tarafından desteklenen "TKİ Himmetoğlu Linyit Açık İşletmesi Şev Duraylılığı Projesi" kapsamında yapılan analizlerin bir bölümünü içermektedir. Yazarlar; proje ekibine, çalışmalara destek olan TKİ personeline ve çizimleri yapan tekniker Bülent Topuz'a teşekkür borçludurlar.

KAYNAKLAR

- Bear, J., 1972. Dynamics of Fluids in Porous Media. Elsevier, New York, 764p.
- Bear, J., 1979. Hydraulics of Groundwater. McGraw-Hill, New York, 561p.
- Bear, J., Zaslavsky, D., and Irmay, S., 1968. Physical Principles of Water Percolation and Seepage. UNESCO, Paris, 465p.
- Boussinesq, J., 1904. Recherches theoretiques sur l'ecoulement des nappes d'eau infiltrées dans le sol et sur le debit des sources. *Journal de Mathematique Pure et Appliquee*, 10, 5-78.
- Domenico, P. A. and Schwartz, F. W., 1998. Physical and Chemical Hydrogeology. John Wiley and Sons, Second Edition, New York, 506p.
- Freeze R. A., and Cherry, J. A., 1979. Groundwater. Prentice-Hall Inc., New Jersey, 604p.
- Goodman, R.E., Moye, D.G., Van Schalkwyk, A., and Javandel, I. 1965. Groundwater inflow during tunnel driving. *Engineering Geology*, 2(1), 39-56.
- Hanna, T. M., Azrag, E. A., and Atkinson, L. C. 1994. Use of an analytical solution for preliminary estimates of groundwater inflow to a pit. *Mining Engineering*, 46(2), 149-152.
- Ibrahim, H.A., and Brutsaert, W., 1965. Inflow hydrographs from large unconfined aquifers. *Journal of Irrigation and Drainage Division, Proceedings of American Society of Civil Engineers*, 91, 21-38.
- Naugle, G. D., and Atkinson, C.L., 1993. Estimating the rate of post-mining filling of pit lakes. *Mining Engineering*, 45(4), 402-404.
- Polubarinova-Kochina, P. Ya., 1962. Theory of Groundwater Movement. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 613p.
- Singh, R.N., and Atkins, A.S., 1984. Application of analytical solutions to simulate some mine inflow problems in underground mining. *International Journal of the Mine Water Association*, 3(4), 1-27.
- Terzaghi, K., 1950. Mechanism of landslides. *Berkey Volume: Application of Geology to Engineering Practice*, Geological Society of America, New York, pp. 83-123.
- Ulusay, R., Ekmekçi, M., Gökçeoğlu C., Sönmez, H., Tuncay, E. ve Erdoğan, S., 1998. TKİ Himmetoğlu Linyit Açık İşletmesi Şev Duraylılığı Projesi. Hacettepe Üniversitesi, YUVAM Proje Raporu No. 97-58 (yayımlanmamış).
- Verma, R.D., and Brutsaert, W., 1970. Unconfined aquifer seepage by capillary flow theory. *Journal of Hydraulic Division, Proceedings of American Association of Civil Engineers*, 96, 1331-1344.
- Verma, R.D., and Brutsaert, W., 1971. Unsteady free surface groundwater seepage. *Journal of Hydraulic Division, Proceedings of American Association of Civil Engineers*, 97, 1213-1229.
- Whiterspoon, P.A., Wang, J.Y.S., Iwai, K., and Gale, J.E., 1980. Validity of cubic law for fluid flow in a deformable rock fracture. *Water Resources Research*, 16(6), 1016-1024



17 MART 2005 KUZULU (KOYULHİSAR, SİVAS) HEYELANI

The March 17, 2005 Kuzulu (Koyulhisar, Sivas) Landslide

Çandan GÖKÇEOĞLU¹, Tamer Y. DUMAN², Harun SÖNMEZ¹, Hakan A. NEFESLİOĞLU²

¹Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06532 Beytepe, Ankara

²MTA Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etüdüleri Dairesi, 06520 Balgat, Ankara

ÖZ

Heyelanlar, ülkemizde yaygın olarak meydana gelen doğal tehlikelerdir. Kanal aşındırması, sismik aktivite, aşırı yağışlar ve insan etkileri heyelanları tetikleyen başlıca faktörlerdir. Ancak, 17 Mart 2005 günü Sivas il sınırları içinde, Kuzulu heyelanı olarak isimlendirilen ve kar erimesi sonucu tetiklenen, ayrıca herhangi bir ön belirti olmaksızın büyük boyutlu katastrofik bir heyelan meydana gelmiştir. Bu çalışmanın başlıca amacı, Kuzulu heyelanının meydana gelmesinde etkili olan faktörleri tanımlamak ve bunun çevresel etkilerini ortaya koymaktır. Kuzulu heyelanı başlangıçta dairesel kayma şeklinde gelişmiştir. Dairesel kaymayı takiben, birikme zonundaki malzeme dik topografya ve yüksek su içeriği nedeniyle hızlı akma şeklinde bir hareket sergilemiştir. İçinde Kuzulu mahallesinin de yer aldığı Agnus Deresi vadisi akan malzeme tarafından doldurulmuş ve bu derenin üst kotlarında yüzey alanı 6900 m² olan bir heyelan gölü oluşmuştur. Dairesel kaymanın topuğuyla akmanın topuğu arasındaki mesafe 1800 m olarak ölçülmüş ve yaklaşık 12.5 milyon metreküp malzeme bu mesafeyi katetmiştir. Kuzulu heyelanının hızı 6 m/s civarında olup, aşırı hızlı bir harekete karşılık gelmektedir. Kuzulu heyelanı boyunca, heyelanların çevre üzerindeki olumsuz etkilerinin hemen tamamı meydana gelmiştir. Heyelanın aşırı hızlı olması nedeniyle 15 kişi toprak altında kalarak yaşamlarını yitirmiştir. Toplam 34 ev ve bir cami tamamiyle yıkılmış, ayrıca önemli miktarda tarım alanı ve 47000 m² orman alanı tahrip olmuştur. Agnus Deresi, Türkiye'nin önemli akarsularından birisi olan Kelkit Nehri'ne boşalmaktadır. 4 gün boyunca yaklaşık 5.3 milyon m³ toprak malzeme, Agnus Deresi tarafından Kelkit Nehri'ne taşınmıştır. Bu malzemenin Kelkit Nehri'ne karışması, su kalitesinin azalmasına ve yatak sediman yükünün artmasına neden olmuştur. Saha gözlemleri dikkate alındığında, heyelanın genye doğru sıçramasının beklendiği ve Kuzulu mahallesinin diğer bölümlerinin de heyelan tehlikesi tehdidi altında olduğu söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Akma, dairesel kayma, heyelan, heyelan tehlikesi, Kuzulu (Sivas).

ABSTRACT

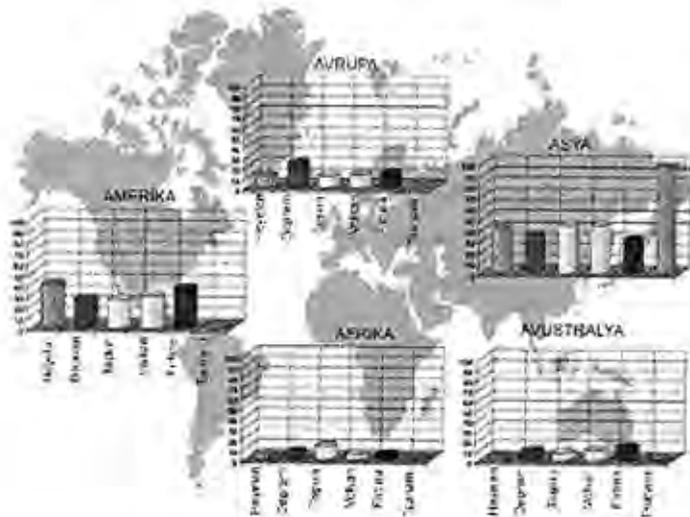
Landslides are common natural hazards in our country. Channel incisions, seismic activity, heavy rainfall and anthropogenic effects are the main triggering factors of landslides. However, on March 17 2005 a catastrophic large landslide, called Kuzulu landslide, which is located in the administrative boundaries of Sivas, was triggered by snow melting without any precursor. The main goal of this study is to describe the factors governing the Kuzulu landslide and to put forward its environmental impacts. The initial type of failure of the Kuzulu landslide was rotational. Following the rotational failure, the earth material in the zone of accumulation exhibited an extremely rapid flow due to steep topography and high water content. The Agnus Creek valley, where the Kuzulu village is founded, was filled by the flowed earth material, and a landslide lake with an area of 6900 m² formed in the upper part of the creek. The distance from the toe of the rotational failure down to the toe of the earthflow was more than 1800 m with about 12.5 million m³ displaced earth material. The velocity of the Kuzulu landslide was extremely fast, approximately 6 m/sec. During the Kuzulu landslide, almost all negative impacts of landslides on the environment occurred. Fifteen people (villagers) were buried under the displaced material because of its extremely high speed. A total of thirtyfour houses and one mosque were completely demolished, and a large farming area and an important forest cover with an area of 47000 m² were completely destroyed. The Agnus Creek discharges to the Kelkit River which is one of the important rivers of Turkey. Through four days, approximately 5.3 million m³ earth materials were transported to the Kelkit River by the Agnus Creek. The materials transported to the Kelkit River caused a decrease in water quality and an increase in the sediment load in the river bed. Based on the field observations, retrogressing landslide activity is expected and the other parts of the Kuzulu village are under the threat of the subsequent landslide hazard.

Key Words: Earthflow, rotational sliding, landslide, landslide hazard, Kuzulu (Sivas).

1. GİRİŞ

Genel olarak, bir yamacı oluşturan kaya ve toprak zeminin veya yamacı örten molozların yamaç aşağı doğru hareket etmesi olarak tanımlanan heyelanlar nedeniyle, dünyada her yıl çok sayıda kişinin yaşamını yitirdiği bilinmektedir. Bunun yanı sıra, Amerika Birleşik Devletleri, Japonya, Avusturya, Fransa, İtalya, İsviçre ve Hindistan'da heyelanlardan kaynaklanan yıllık ekonomik kayıpların 1 ile 5 milyar dolar arasında değiştiği tahmin edilmektedir (Alacantara-Ayala, 2002). Dünyada olduğu gibi, Türkiye'de de doğal afetler nedeniyle, her yıl bir çok insan yaşamını yitirmekte ve önemli düzeyde ekonomik zararlar oluşmaktadır. Dünya geneli için Alacantara-Ayala (2002) tarafından yapılan bir değerlendirmede (Şekil 1), heyelanlar dünyanın hemen her bölgesinde karşılaşılan doğal tehlikelerdir. Türkiye'de ise, heyelanlar neden oldukları kayıplar açısından depremlerden sonra ikinci sırada yer almaktadır (İldır, 1995).

Dünya heyelan literatüründe; münferit, ancak son derece geniş alanları kaplayan, katastrofik ve çok sayıda can ve mal kaybına neden olan heyelanlara ilişkin çalışmaları bulmak mümkündür. Örneğin, 28 Temmuz 1992 tarihinde meydana gelen Valpola (Valtellina, Orta Alpler, İtalya) heyelanında 34 milyon metreküp malzeme hareket etmiş ve bunun sonucunda da 27 kişi hayatını kaybetmiştir (Azzoni vd., 1992). 18 Ağustos 1998'de meydana gelen Malpa (Kumaun Himalaya, Hindistan) heyelanında çok daha az miktarda bir malzeme (1 milyon metreküp) hareket etmesine rağmen, 221 kişinin yaşamını kaybetmesine neden olmuştur (Paul vd., 2000). Ayrıca, La Valetta (Squarzonei vd., 2003 ve 2005), Corvara (Corsini vd., 2005), Super-Sauza (Malet vd., 2005), La Orotava (Hurlimann vd., 2004), Pozzano (Calcaterra ve Santo, 2004), Stoze (Mikos vd., 2004), Limbe (Ayonghe vd., 2004), Vajont (Kilburn ve Petley, 2003), Dağköy (Ocağolu vd., 2002), Sesa (Crosta, 2001), Tessina (Montovani vd., 2000; van Westen ve Getahun, 2003), La Clapiere (Casson vd., 2003) ve Köfels (Sorenson ve Bauer, 2003) heyelanları gibi heyelanları konu alan çok sayıda çalışma mevcuttur. Heyelanlar, can kayıplarının ve ekonomik zararlarının yanı sıra, kentleşmeye zarar vermekte, tarım ve orman alanları ile akarsuların kalitesi üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır (Schuster ve Fleming, 1986). Çoğu zaman heyelan zararları, heyelanı tetikleyen en önemli faktörlerden olan deprem ve aşırı yağış dikkate alınarak



Şekil 1. Dünyada meydana gelen doğal afetlerin kıtalar bazındaki dağılımı (Alacantara-Ayala, 2002).

Figure 1. Distribution of the natural hazards occurred in the world based on continents (Alacantara-Ayala, 2002).

değerlendirilmekte ve bunun sonucu olarak heyelan zararlarının boyutları olduğundan daha düşük tahmin edilmektedir. Ancak heyelanlar, zaman zaman depremler veya aşırı yağışlar gibi doğal tetikleyici unsurlar olmaksızın da meydana gelebilmektedir.

Bu çalışmanın amacı, 17/03/2005 tarihinde Sivas'ın Koyulhisar ilçesine bağlı Sugözü köyü Kuzulu mahallesinde aşırı yağış ve deprem gibi belirgin bir tetikleyici faktör olmaksızın, zamana bağlı olarak gelişen heyelana ilişkin gözlem ve değerlendirmelerin ortaya konulmasıdır. Bu çalışma kapsamında, yerinde yapılan gözlemlerin yanı sıra, heyelanlı saha ve yakın çevresini içerisine alan alanın sayısal arazi modeli (SAM) ve SAM'dan üretilen morfolojik haritalar ve jeolojik özelliklerden yararlanılmıştır.

17/03/2005 tarihinde Sivas ili, Koyulhisar ilçesi, Sugözü köyünün batısındaki Kuzulu Mahallesi'nin doğu yamacının üst kotlarında meydana gelen Kuzulu heyelanı sonucunda yerdeğiştiren malzeme, doğu-batı doğrultulu dar ve dik bir vadi içersinde yerdeğiştirmeye devam etmiş ve daha düşük kotlardaki kuzey-güney doğrultulu Agnus Deresi boyunca yaklaşık 1 km daha ilerledikten sonra hareket sonlanmışır. Agnus Deresi çevresinde kurulmuş olan Kuzulu Mahallesi'nde 15 kişi hareket eden malzemenin altında kalarak yaşamını yitirmiş ve bu yayının hazırlandığı sırada yaşamını yitiren kişilere halen ulaşamamıştır. Ayrıca, Kuzulu köyü camisinin yanı sıra, 21 ev ve 375 adet hayvan da hareket eden malzeme tarafından tamamen örtülmüştür.

Heyelanın geliştiği alan tipik karasal iklimin hüküm sürdüğü Orta Anadolu Bölgesi'nde yer almaktadır (Şekil 2). Bölgede genelde yazları sıcak ve kurak, kışları ise soğuk ve yağışlı iklim koşulları egemendir.

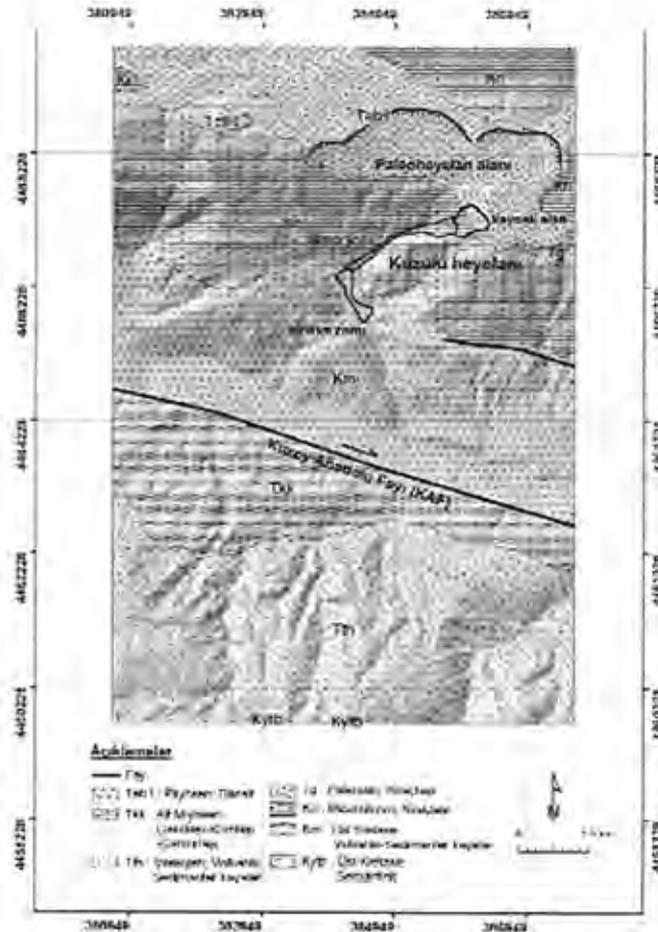


Şekil 2. Kuzulu heyelanının genel coğrafik konumu.
Figure 2. Geographic setting of the Kuzulu landslide.

Bölgede ortalama yıllık yağış 400 mm civarında olup, ağırlıklı olarak kış aylarında gerçekleşen bu yağışlar yüksek kotlarda genellikle kar şeklinde görülür. Bununla birlikte, söz konusu heyelan öncesinde bölgede etkili bir yağış kayıtlı edilmemiştir.

2. JEOLÖJİK VE MORFOLOJİK ÖZELLİKLER

Heyelanın geliştiği saha Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ)'nin yaklaşık 3 km kuzeyinde yer almaktadır. Bu nedenle bölge, tipik aktif fay hattı morfolojisine sahiptir. Diğer bir ifadeyle, fay zonunun uzandığı doğu-batı doğrultusu boyunca derin bir vadi, bunun kuzey ve güney kesimlerinde ise kısa mesafelerde aniden yükselen bir topografya mevcuttur (Şekil 3). Fay zonunun geçtiği vadi ise, Türkiye'nin önemi akarsularından Kelkit Nehri'nin yaklaşık 580 m kotundaki yatağını oluşturmaktadır. Kuzey ve güney kesimlerdeki ikincil akarsu yatakları ise Kelkit Nehri'ni beslemektedir. Heyelan, Kelkit Nehri'nin kuzeyindeki dağlık alanın 1800 m civarındaki kotlarında meydana gelmiş olup, hareket eden malzeme Kelkit Nehri'ne boşalan ve 750 m civarında bir kota sahip ikincil drenaj kanallarından birisi olan Agnus Deresi boyunca yaklaşık 600 m kotlarına kadar hareketini sürdürmüştür (Şekil 3). MTA tarafından hazırlanan jeoloji haritasına göre, Kuzey Anadolu Fayının kuzeyindeki bölgede yaşlıdan gence doğru Üst Kretase yaşlı volkanik ve sedimanter birimler, Maestrihtiyen yaşlı kireçtaşları ile Pliyosen yaşlı bazalt ve diğer volkanik birimler yer almaktadır. Alt kotlardaki Üst

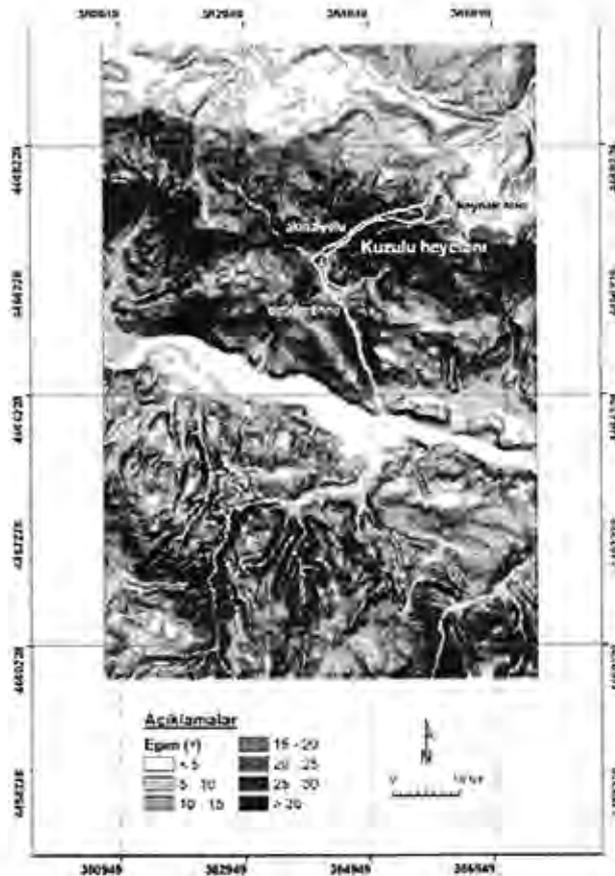


Şekil 3. Heyelan alanı ve yakın çevresinin jeoloji haritası (MTA, 2002).

Figure 3. Geological map of the landslide area and its close vicinity (MTA, 2002).

Kretase yaşlı volkanik ve sedimanter birimler düşük eğimli bir morfoloji gösterirken, Maestrihtiyen yaşlı kireçtaşları son derece dik bir morfoloji sunmaktadır. Bu kireçtaşlarında, tabaka eğim yönleri KAFZ'nun etkisiyle kısa mesafelerde değişim göstermekle birlikte, genellikle kuzeydoğu'ya doğrudur. Üst kottardaki Pliyosen yaşlı volkanik birimler de ise, özellikle bozunma sonucu, önemli bir kalınlığa sahip regolit zonu oluşmuştur. Gerek hava fotoğraflarının incelenmesiyle gerekse yerinde yapılan gözlemlerle bu volkanik birimlerin daha önce de heyelana maruz kaldıkları saptanmıştır (Şekil 3). Paleoheyelan morfolojisi heyelan aynaları, heyelan malzemesi ve kabarma yapıları ile 1/35.000 ölçekli siyah-beyaz düşey hava fotoğraflarında ve sayısal arazi modelinden elde edilen gölgelendirilmiş kabartı haritasında belirgin olarak gözlenmektedir (Şekil 3). Bu nedenle, Pliyosen yaşlı volkanitler tipik paleoheyelan morfolojisi sunmaktadır. Kuzulu heyelanı ise, bu paleoheyelan bölgesinin doğu kesimlerinde ve Pliyosen yaşlı volkanitler içerisinde meydana gelmiştir.

Kuzulu heyelanının da içinde yer aldığı alanın genel topoğrafik ve morfolojik özellikleri 1/25000 ölçekli sayısal arazi modeli kullanılarak değerlendirilmiştir. Buna göre, incelenen alandaki topoğrafik yükseklik değerleri 580 ile 1830 m arasında değişmekte olup, ortalama değer 1115 m'dir. Topoğrafyadaki bu değişime bağlı olarak, incelenen alanın eğim değerleri de yüksektir (Şekil 4). Eğim değerleri 0° - 64° aralığında değişmekte ve ortalama değer 18.5° 'dir. Ancak, Kuzulu heyelanının meydana geldiği kesimde eğim 20° civarında olup, Agnus Deresi'ne malzemeyi taşıyan kanalın eğimi 35° 'den yüksektir. Sahada yamaçların eğim yönü değişim göstermekle birlikte, genel fizyografik eğilim doğu-batı yönünde-



Şekil 4. Heyelan alanı ve yakın çevresinin eğim haritası.

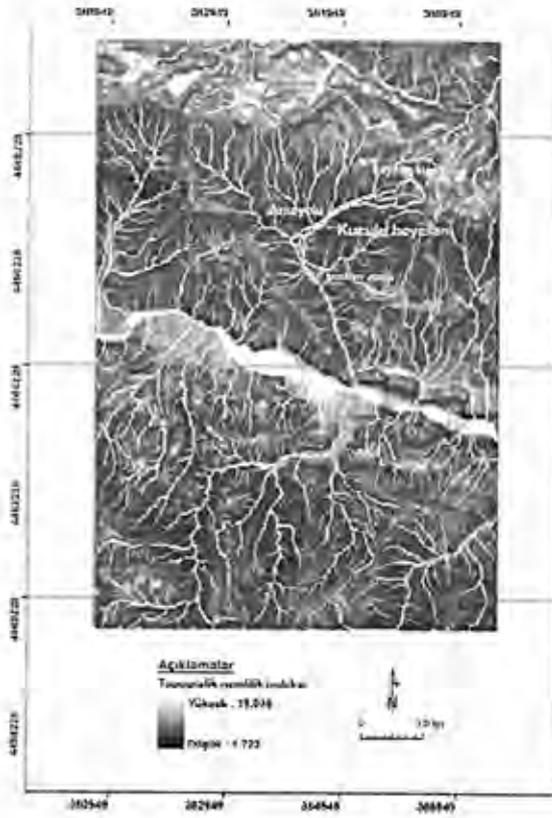
Figure 4. Slope map of the landslide area and its close vicinity.

dir (Şekil 5). Bu durum, incelenen sahada doğu-batı doğrultusuyla yer alan KAFZ'nun konumuyla ilişkilidir. Kuzulu heyelanının geliştiği yerde ise, yamaçların eğim yönü kuzeybatı-güneybatı aralığında değişmektedir.



Şekil 5. Heyelan alanı ve yakın çevresinin baki haritası.
Figure 5. Aspect map of the landslide area and its close vicinity.

Bir sahadaki jeolojik malzemenin doygunluğuna ilişkin yorumlarda kullanılan göstergelerden birisi "topoğrafik nemlilik indeksi"dir (Moore vd., 1991). Bu husus dikkate alınarak, sahanın topoğrafik nemlilik indeksi haritası da oluşturulmuştur (Şekil 6). Buna göre, topoğrafik nemlilik indeksi genel olarak Kelkit Nehri vadisiyle kuzeydeki volkanik birimler içinde yüksektir. Bu durum, özellikle eski bir heyelen bölgesi olan kuzeydeki yüksek kesimlerin önemli çukur alanları içerdiğine ve buna bağlı olarak, bu kesimlere düşen yağışın önemli bir bölümünün yüzey akışına geçemediğine ve malzemenin içine süzülmesine işaret etmektedir. Diğer bir ifadeyle, Kuzulu heyelanının meydana geldiği yerde yağışlar genellikle kar şeklinde olup, bahar aylarında kar erimesi sonucu oluşan suların tamamına yakını malzeme içine süzülmemektedir. Bu görüş, alt kotlarda gözlenen çok sayıda su boşalımıyla (su kaynağı) da doğrulanmaktadır. Suyun malzeme içerisine süzülmesi, hem malzemede gözenek suyu basınçlarının artmasına, hem de malzemenin dayanımının azalmasına neden olmaktadır. Üst kotlarda meydana gelen Kuzulu heyelanının topuğundaki ikincil drenaj kanalı boyunca uzun mesafe katederek hareket etmesinin nedeninin araştırılması amacıyla sahanın akış aşındırma indeksi haritası oluşturulmuştur (Şekil 7). Buna göre, akma şeklindeki hareketin olduğu kanalın akış aşındırma indeksi 9'dan fazla olup, bu değer kanalın son derece yüksek hızdaki akışlara neden olabilecek bir potansiyelinin olduğunu göstermektedir.



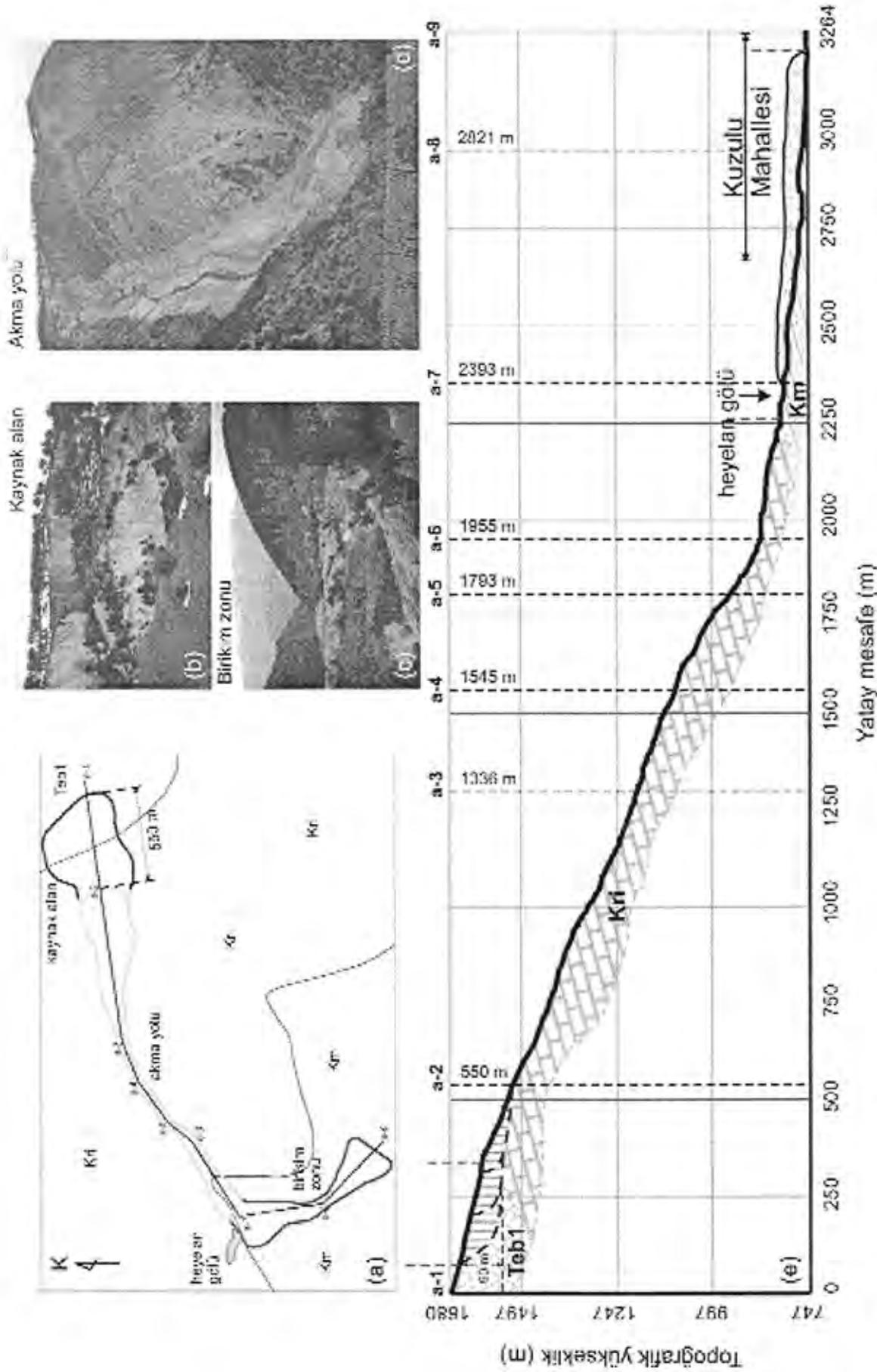
Şekil 6. Heyelan alanı ve yakın çevresinin topoğrafik nemlilik indeksi haritası.
Figure 6. Topographic wetness index map of the landslide area and its close vicinity.



Şekil 7. Heyelan alanı ve yakın çevresinin akış aşındırma indeksi haritası.
Figure 7. Stream power index map of the landslide area and its close vicinity.

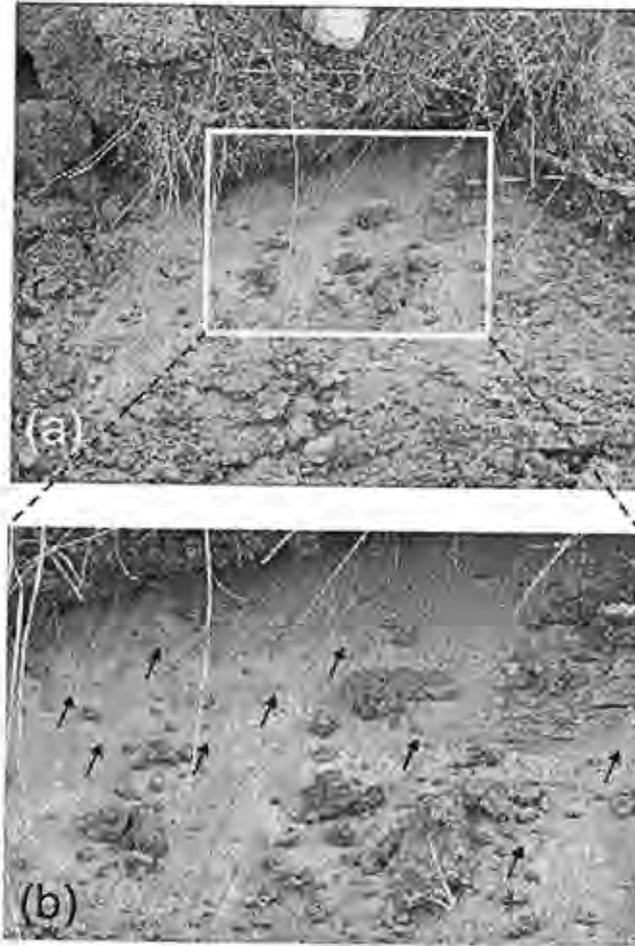
3. KUZULU HEYELANININ ÖZELLİKLERİ VE MEKANİZMASI

Kuzulu heyelanı, 1800 m kotlarında volkanik birimlerin bozunma zonu içerisinde dairesel kayma şeklinde başlamıştır. Kayma yüzeyinin dairesel olduğunun göstergesi olan geriye doğru eğilmiş ağaçlar heyelanlı kütle içerisinde belirgin şekilde izlenebilmektedir (Şekil 8b). Bunun yanı sıra, kayma yüzeyi yakından incelendiğinde, hareketin etkisiyle yüzeyin kayganlaşmış olduğu ve hareket yönünü gösteren kayma çizgileri belirgin bir şekilde görülmektedir (Şekil 9). Şekil 8e’de heyelanın taç bölgesinden itibaren, malzemenin depolandığı bölüme kadar olan bir hat boyunca alınmış kesit görülmektedir. Ayrıca bu kesit üzerinde sahada belirlenebilen kayma yüzeylerinin yaklaşık konumları ile depolanan malzeme de gösterilmiştir. Buna göre, dairesel kayma şeklinde başlayan duraysızlığın topuk bölgesinde hareket eden malzemenin depolanacağı bir alan olmadığından, heyelan kütlesi doğrudan kireçtaşları içerisindeki drenaj kanalına dolmuştur. Kayma yüzeyinin derinliği yer yer 150 m’ye kadar ulaşmaktadır. Kayma alanının yaklaşık 167000 m² olduğu ve ortalama kayma derinliği de 75 m alınarak (Şekil 8e), hareket eden malzemenin hacmi yaklaşık 12.5 milyon m³ olarak hesaplanmıştır. Drenaj kanalına ulaşan bu örse-lenmiş malzeme, kanalın eğiminin yüksek olması (Şekil 8d) ve çevresindeki su kaynakları tarafından da beslenmesiyle, hızlanarak hareketini aşağıya doğru akma şeklinde güneybatı yönünde sürdürerek Agnus Deresine ulaşmıştır. Agnus Deresine ulaştığı kesimden itibaren malzeme depolanmaya başlamış,



Şekil 8. Heyelan alanının plan görünümü (a), dairesel kaymanın meydana geldiği alanda geriye eğilmiş ağaçlar (b), birikim zonu (c), akma yolu (d), heyelanın taş bölgesinden itibaren, malzemenin depolandığı bölüme kadar olan hat boyunca alınmış topografik ve jeolojik kesit (e).
 Figure 8. Plan view of the landslide area (a), back tilted trees in the zone which the circular failure occurred in (b), accumulation zone (c), flow path (d), topographic and geologic cross section drawn through a line between the scarp of the slide and accumulation zone (e).

ancak bu derenin de katkısıyla hareketini bir miktar daha devam ettirdikten sonra ve Kuzulu Mahallesi'nin bir kısmını da örterek (Şekil 8c) sonlanmıştır. Üst kotlardaki ana heyelanın topuğundan itibaren, malzemenin durduğu son nokta arasındaki mesafe yaklaşık 1800 m'dir. Yerel halktan alınan bilgilere göre, hareketin sesi algılandıktan itibaren Kuzulu Mahallesi'ne malzemenin ulaşması 5 dakikadan daha az bir sürede gerçekleşmiştir. Bu bilgiye göre hareketin hızı yaklaşık 6 m/sn olup, Varnes (1978) sınıflamasına göre aşırı hızlı bir heyelandır. Bu tip heyelanlar; katastrofik özellikte ve çarptığı yapıları tamamiyle yıkabilecek güçte olup, ani ve hızlı gelişmeleri nedeniyle, insanların kaçabilme şansı ise hemen hemen yoktur (Varnes, 1978). Nitekim, Kuzulu heyelanında da olaylar böyle gerçekleşmiş olup, malzemenin hareket yolunda bulunan 15 kişi kaçmayı başaramamış ve malzemenin altında kalarak yaşamlarını yitirmişlerdir. Hareket eden malzeme, akma kanalından Agnus Deresine ulaştığı noktada birikmeye başlamış ve alanı yaklaşık 6900 m² olan bir heyelan gölü oluşturmuştur (Şekil 8a).

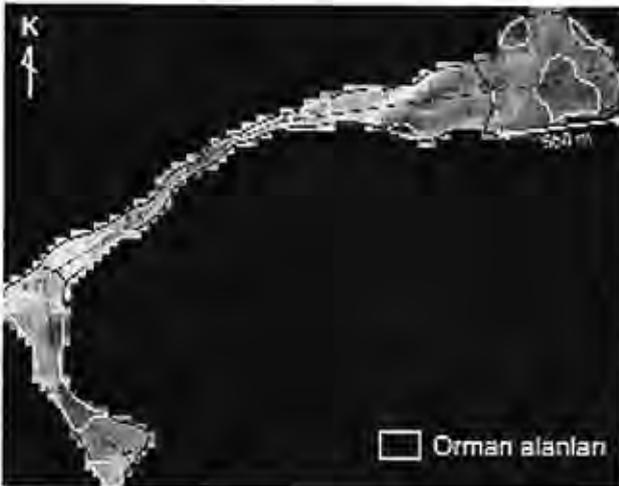


Şekil 9. Yenilme yüzeyi (a) ve kayma çizikleri (b).
Figure 9. Sliding surface (a) and slickensides (b).

Birikme zonunda malzemenin kalınlığı topuğun güney kesimlerinde 10 m'den başlayıp kuzeye doğru yer yer 100 m'yi geçmektedir. Birikme zonunun alanı 121000 m² olarak hesaplanmış olup, ortalama 80 m kalınlık dikkate alındığında 9.7 milyon m³ hacmindeki bir malzeme Agnus Deresinde Kuzulu Mahallesi'nin bir kesimini örtmüş durumdadır. Heyelanın kaynak bölgesinde hareket eden malzeme miktarı 12.5 milyon metreküp olarak hesaplanmıştır. Hareket eden malzemenin kabarma faktörü de 1.2 olarak alındığında, depolanan alandaki malzemenin hacminin 15 milyon metreküp olması gerekmektedir. Ancak, aradaki 5.3 milyon metreküp malzemenin bir kısmı heyelan gölü altında kalmış, geriye kalan kısmı ise debisi yaklaşık 2 m³/sn olan Agnus Deresi tarafından taşınarak Kelkit Nehri'ne ulaştırılmıştır.

Kuzulu heyelanının çevresel etkilerinden birisi de önemli miktardaki bir orman alanını tahrip etmesidir. Heyelan bölgesini içine alan 1986 tarihli Landsat TM görüntüsü (band kombinasyonu 7-4-1) kullanılarak yapılan değerlendirme sonucunda yaklaşık 131.2 bin m²'lik orman alanının heyelan tarafından tamamen tahrip edildiği saptanmıştır (Şekil 10).

Sahada 19.03.2005 tarihinde yapılan değerlendirmeler sonucunda, önemli miktarda kütleli sınırlanan tansiyon çatlakları saptanmıştır (Şekil 11). Bu belirleme çerçevesinde heyelanın aktivitesini ciddi biçimde sürdürdüğü, arama-tarama çalışmalarının son derece riskli olduğu ve bu çalışmalara son verilmesi gerektiği belirtilmiştir (Tatar vd., 2005). 24 Mart 2005'te meydana gelen ikinci heyelanda yaklaşık 5 milyon m³ malzeme daha kaymış ve Kuzulu mahallesindeki 13 evin tamamen yıkılmasına neden olmuştur. Ayrıca, paleoheyelan alanı olarak belirlenen alanın doğu kesimindeki tansiyon çatlakları dikkate alındığında, yaklaşık 20 milyon m³ malzemenin kayma potansiyeline sahip olduğu, tetikleyici bir faktöre bağlı olarak gelecekte hareket etme olasılığı bulunduğu söylenebilir.



Şekil 10. Kuzulu heyelanından etkilenen orman alanlarını gösterir zenginleştirilmiş 1986 tarihli Landsat TM uydu görüntüsü (band kombinasyonu 7-4-1).

Figure 10. 1986 dated enhanced Landsat TM imagery (band combination 7-4-1) showing the perturbed forest area due to Kuzulu landslide.



Şekil 11. Heyelan tacının gerisinde karla örtülü tansiyon çatlaklarının kar birikintisi üzerinde oluşturduğu çizgisellikler.

Figure 11. Lineaments in the snow accumulation due to tension cracks covered by snow behind the scarp of the landslide.

4 SONUÇ VE ÖNERİLER

Gerek saha gözlemleri, gerekse sayısal arazi modeli üzerinde gerçekleştirilen analiz sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, Kuzulu heyelanına ilişkin başlıca sonuçlar ve öneriler aşağıda verilmiştir.

- (a) Kuzulu heyelanı, üst kotlardaki bozunmuş volkanik birimler içerisinde gelişen dairesel bir kaymadır. Kayan malzeme, topuk bölgesinde depolanmaya uygun bir düzlük alan bulunmadığından, Agnus Deresi'nin yan drenaj kanalına ulaşmıştır. Son derece dik eğime sahip bu kanalda malzeme hızlanarak hareket etmiş ve Kuzulu Mahallesi'nin bir bölümünü örtmüştür. Bunun sonucunda 21 ev ve bir cami tamamen toprak altında kalmıştır.
- (b) Hareket eden malzemenin hızı yaklaşık 6 m/sn olup, "aşırı hızlı heyelan" sınıfına girmektedir. Bunun sonucunda, 15 insan kurtulmayı başaramamış ve toprak altında kalarak hayatını kaybetmiştir.
- (c) Yaklaşık 1800 m kotlarında başlayan heyelanın kaynak bölgesinden hareket eden malzemenin hacmi 12.5 milyon m³'tür. Depolanma bölgesinde biriken malzemenin miktarı ise 9.7 milyon metreküp olarak hesaplanmıştır. Ayrıca kabarma faktörü de 1.2 olarak dikkate alındığında, depolanma bölgesinde malzemenin 15 milyon metreküp olması gerekmektedir. Aradaki 5.3 milyon m³ malzemenin bir kısmı heyelan gölü altında kalmış, daha çok da Agnus Deresi tarafından taşınmıştır.
- (d) Heyelanın altında kalanları arama çalışmaları, risk arzettiği için durdurulmuştur. Bu gözlemi doğrulayan ikinci heyelan 24/03/2005 günü meydana gelmiş ve yaklaşık 5 milyon m³ malzeme daha kayarak Kuzulu mahallesinde boşaltılmış olan 13 evin tamamen toprak altında kalmasına neden olmuştur.
- (e) 24/03/2005 günü meydana gelen ikinci heyelana rağmen, bölgedeki heyelan aktivitesi devam etmekte olup, paleoheyelan alanının doğu kesimleri harekete geçebilecek durumdadır. Sahadaki tansiyon çatlakları dikkate alınarak yapılan ilk değerlendirmelerde, gerekli koşullar oluştuğunda yaklaşık 20 milyon m³'lük bir malzemenin daha kayma olasılığı yüksektir.
- (f) Tüm bu bulgular dikkate alınığında, Agnus Deresi ve Kuzulu Mahallesi'nin önemli bir heyelan riski altında olduğu görülmektedir. Bu nedenle, ilk önlem olarak bölgenin insan girişine kapatılması, can güvenliği açısından önemlidir.

KAYNAKLAR

- Alacantara – Ayala, I., 2002. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. *Geomorphology*, 47 (2-4), 107-124.
- Ayonghe, S.N., Ntasin, E.B., Samalang, P., and Suh, C.E., 2004. The June 27, 2001 landslide on volcanic cones in Limbe, Mount Cameroon, West Africa. *Journal of African Earth Sciences*, 39, 435-439.
- Azzoni, A., Chiesa, S., Frassoni, A., and Govi, M., 1992. The Valpola landslide. *Engineering Geology*, 33, 59-70.
- Calcaterra, D., and Santo, A., 2004. The January 10, 1997 Pozzano landslide, Sorrento Peninsula, Italy. *Engineering Geology*, 75, 181-200.
- Casson, B., Delacourt, C., Baratoux, D., and Allemand, P., 2003. Seventeen years of the La Clapiere landslide evolution analysed from ortho-rectified aerial photographs. *Engineering Geology*, 68, 123-139.
- Corsini, A., Pasuto, A., Soldati, M., and Zannoni, A., 2005. Field monitoring of the Corvara landslide

- (Dolomites, Italy) and its relevance for hazard assessment. *Geomorphology*, 66, 149-165.
- Crosta, G.B., 2001. Failure and development of a complex slide: the 1993 Sesa landslide. *Engineering Geology*, 59, 173-199.
- Hurlimann, M., Marti, J., and Ledesma, A., 2004. Morphological and geological aspects related to large slope failures on oceanic islands: The huge La Orotava landslides on Tenerife, Canary Islands. *Geomorphology*, 62, 143-158.
- Ildır, A., 1995. Türkiyede heyelanların dağılımı ve afetler yasası ile ilgili uygulamalar. 2. Ulusal Heyelan Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Sapanca, 1-9.
- Kilburn, C.R.J., and Petley, D.N., 2003. Forecasting giant, catastrophic slope collapse: lessons from Vajont, Northern Italy. *Geomorphology*, 54, 21-32.
- Malet, J.P., Laigle, D., Remaitre, A., and Maquaire, O., 2005. Triggering conditions and mobility of debris flows associated to complex earthflow. *Geomorphology*, 66, 215-235.
- Mikos, M., Cetina, M., and Brilly, M., 2004. Hydrologic conditions responsible for triggering the Stoze landslide, Slovenia. *Engineering Geology*, 73, 193-213.
- Montovani, F., Pasuto, A., Silvano, S., and Zannoni, A., 2000. Collecting data to define future hazard scenarios of the Tessina landslide. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2, 33-40.
- Moore, I.D., Grayson, R.B., and Ladson, A.R. 1991. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological Processes*, 5, 3-30.
- Ocakoğlu, F., Gökçeoğlu, C., and Ercanoğlu, M., 2002. Dynamics of a complex mass movement triggered by heavy rainfall: a case study from NW Turkey. *Geomorphology*, 42, 329-341.
- Paul, S.K., Bartarya, S.K., Rautela, P., and Mahajan, A.K., 2000. Catastrophic mass movement of 1998 monsoons at Malpa in Kali Valley, Kumaun Himalaya (India). *Geomorphology*, 35, 169-180.
- Schuster, R.L., and Fleming, R.W., 1986. Economic losses and fatalities due to landslides. *Bulletin of the Association of Engineering Geologists*, XXIII, 11-28.
- Sorenson, S.A., and Bauer, B., 2003. On the dynamics of the Kofels sturzstrom. *Geomorphology*, 54, 11-19.
- Squarzoni, C., Delacourt, C., and Allemand, A., 2003. Nine years of spatial and temporal evolution of the La Valette landslide observed by SAR interferometry. *Engineering Geology*, 68, 53-66.
- Squarzoni, C., Delacourt, C., and Allemand, A., 2005. Differential single-frequency GPS monitoring of the La Valette landslide (French Alps). *Engineering Geology* (In press).
- Tatar, O., Gürsoy, H., Sönmez, H., Gökçeoğlu, C., Koçbulut, F., Duman, T.Y., Kök, S., Süllü, H., Şenyurt, A., İleri, N., Ozatay, S. ve Osman, P., 2005. 17 Mart 2005 Sivas ili Koyulhisar ilçesi Sugözü Köyü Kuzulu Mahallesi heyelanı 2. değerlendirme raporu. <http://www.koyulhisar.gov.tr/bulten3.doc>.
- van Westen, C.J., and Getahun, F.L., 2003. Analyzing the evolution of the Tessina landslide using aerial photographs and digital elevation models. *Geomorphology*, 54, 77-89.
- Varnes, D. J., 1978. Landslides Types and Processes. In: *Landslides and Engineering Practice*. E.B. Eckel, (ed.), Highway Research Board Special Report, 29, 20-47.



OBRUK BARAJ YERİNİN (ÇORUM) MÜHENDİSLİK JEOLOJİSİ AÇISINDAN İNCELENMESİ *Engineering Geological Investigation of the Obruk Dam Site (Çorum)*

Ayhan KOÇBAY¹, Recep KILIÇ²

¹DSİ Genel Müdürlüğü, Jeoteknik Hizmetler ve YAS Dairesi Başkanlığı, 06100 Ankara

²Ankara Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06100 Ankara

ÖZ

Barajların eksen yeri, çevirme tüneli, enerji tüneli ve dolusavak güzergahındaki kaya kütlelerinin süreksizlikleri, bozunma derecesi, dayanımı, geçirimsizliği vb. gibi mühendislik jeolojisi özellikleri incelenerek, karşılaşılabilecek sorunlar ile alınabilecek önlemler araştırılır. Bu çalışmada, Orta Anadolu'da, Çorum'un kuzeyinde Kızılırmak Nehri üzerinde inşa edilen Obruk Baraj yeri mühendislik jeolojisi açısından incelenmiştir. Baraj eksen yerinde yaklaşık 65 m kalınlığında alüvyon mevcuttur. Alüvyonun altında, çevirme ve enerji tünel güzergahında Eosen yaşlı bazalt bulunmaktadır. Bazaltın yatay ve düşey yöndeki dağılımının, yeraltısuyu seviyesinin belirlenmesi ve temsil edici karot örneklerinin alınması için Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü tarafından açtırılan jeoteknik amaçlı sondajlardan yararlanılmıştır. Bazaltın jeolojik ve jeomekanik özellikleri ile ayrışma derecesi tektonizmaya bağlı olarak yakın mesafelerde değişiklik göstermektedir. Sondaj karotlarından ve yüzeyden alınan bazalt örneklerinin mineralojik, petrografik, fiziksel ve jeomekanik özellikler belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre eksen yerinin geçirimsizliği belirlenmiş, tünelleme açısından kaya kütle sınıflamaları yapılmış ve destek sistemleriyle ilgili öneriler getirilmiştir.

Anahtar kelimeler : Bazalt, destek tipi, kaya kütlesi sınıflaması, Obruk baraj yeri.

ABSTRACT

Engineering geological properties of rock masses such as discontinuities, degree of weathering, strength and permeability, along the axis, diversion tunnel, power tunnel and spillway of dams are investigated in order to determine probable problems and necessary precautions before the construction. In this study, Obruk dam site, that has been constructed on the Kızılırmak River at the north of Çorum, Central Anatolia, has been investigated in terms of the mentioned engineering geological aspects. The thickness of the Quaternary alluvium at the dam site is about 65 m and it overlies the Eocene aged basalt basement. The diversion and power tunnels have been constructed in the basalts. In order to determine distribution of the basalt, both in horizontal and vertical directions some core samples were collected from the preliminary geotechnical boreholes drilled by the General Directorate of State Hydraulic Works, and depth of groundwater level was measured in these boreholes. The geological and geomechanical properties of the basalt is controlled by tectonism and weathering, and vary close distances. The mineralogical, petrographical, and geomechanical properties of the basalt core samples were determined. Based on the test results, the rock mass cropping out at the dam site were classified for tunneling and support systems were suggested.

Key words : Basalt, support type, rock mass classification, Obruk dam site.

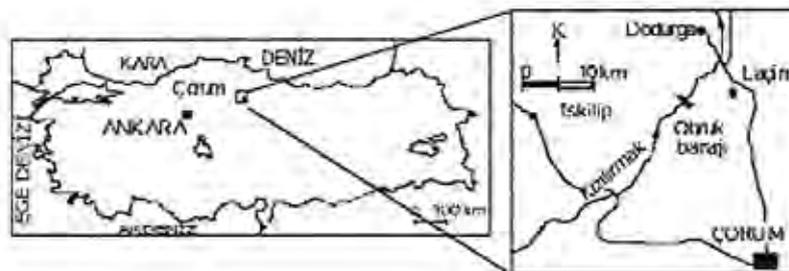
1. GİRİŞ

Kayaçların jeomekanik özelliklerini denetleyen başlıca faktörler; jeolojik yapı, mineralojik bileşim, süreksizlikler ve bozunma derecesidir. Baraj gibi büyük mühendislik yapılarının temel zeminini oluşturan kayaların jeolojik ve jeoteknik özellikleri arazi ve laboratuvar yöntemleri ile önceden belirlenmelidir. Eksen yeri, dolusayak, çevirme ve enerji tüneli güzergahlarındaki kayaların kazılabilirliği, sıyırma kazısı, enjeksiyon sınırı ve tünel için destek sistemlerinin belirlenmesi, projelendirmenin optimum şekilde tasarlanması bakımından da önemlidir.

Bu çalışmada, Orta Anadolu'da Çorum ilinin yaklaşık 50 km kuzeybatısında, Kızılırmak Nehri üzerinde inşa edilen Obruk barajının temel zeminini oluşturan bazaltlar mühendislik jeolojisi açısından incelenmiştir (Şekil 1). Sulama ve enerji üretimi amaçlı toprak dolgu tipinde inşa edilen bu barajın talvegten yüksekliği 67 m, temelden yüksekliği ise 126 m, gövde hacmi 12000 hm³, gücü 203 MW ve yıllık enerji üretimi 473 GWh olarak planlanmıştır. DSİ (1979 ve 1983) tarafından, Aşağı Kızılırmak Projesi kapsamında inşa edilecek olan Obruk barajının ilk eksen yerinde araştırma sondajları yapılarak mühendislik jeolojisi planlama raporu hazırlanmıştır. Kılıç (1999), Obruk barajının planlanan ilk eksen yerindeki bazaltın jeomekanik özelliklerini incelemiş ve bu kayacı bozunma derecesine göre beş gruba ayırmıştır. Koçbay (2003), Osmancık-Çorum yöresindeki bazaltların bozunma karakteristiklerini ve derecesini inceleyerek ayırışmaya yönelik bir sınıflama önermiştir. Koçbay ve Kılıç (2003) ise, bu bazaltların doğal yapı malzemesi olarak kullanımına yönelik çalışmışlardır.

Obruk barajının ilk eksen yeri, yaklaşık 500 m menba tarafında aktif bir heyelenin varlığı nedeniyle değiştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında ise, seçilen ikinci eksen yeri mühendislik jeolojisi açısından incelenmiştir. Baraj projesi kapsamındaki yapı yerlerinde bazaltın düşey ve yatay yönlerdeki değişimini incelemek, bazalttan karot örnekleri almak, geçirgenlik katsayısının belirlenmesi için Lugeon deneyleri yapmak ve yeraltısuyu seviyesinin konumunu belirlemek üzere, derinlikleri 40 m ile 160 m arasında değişen ve Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü tarafından yapılan toplam 1512 m uzunluğundaki 17 adet temel araştırma sondajından yararlanılmıştır. Bazaltlardaki eklemlerin hakim doğrultu ve eğimleri belirlenmiş ve mostralardan temsil edici blok örnekler alınmıştır.

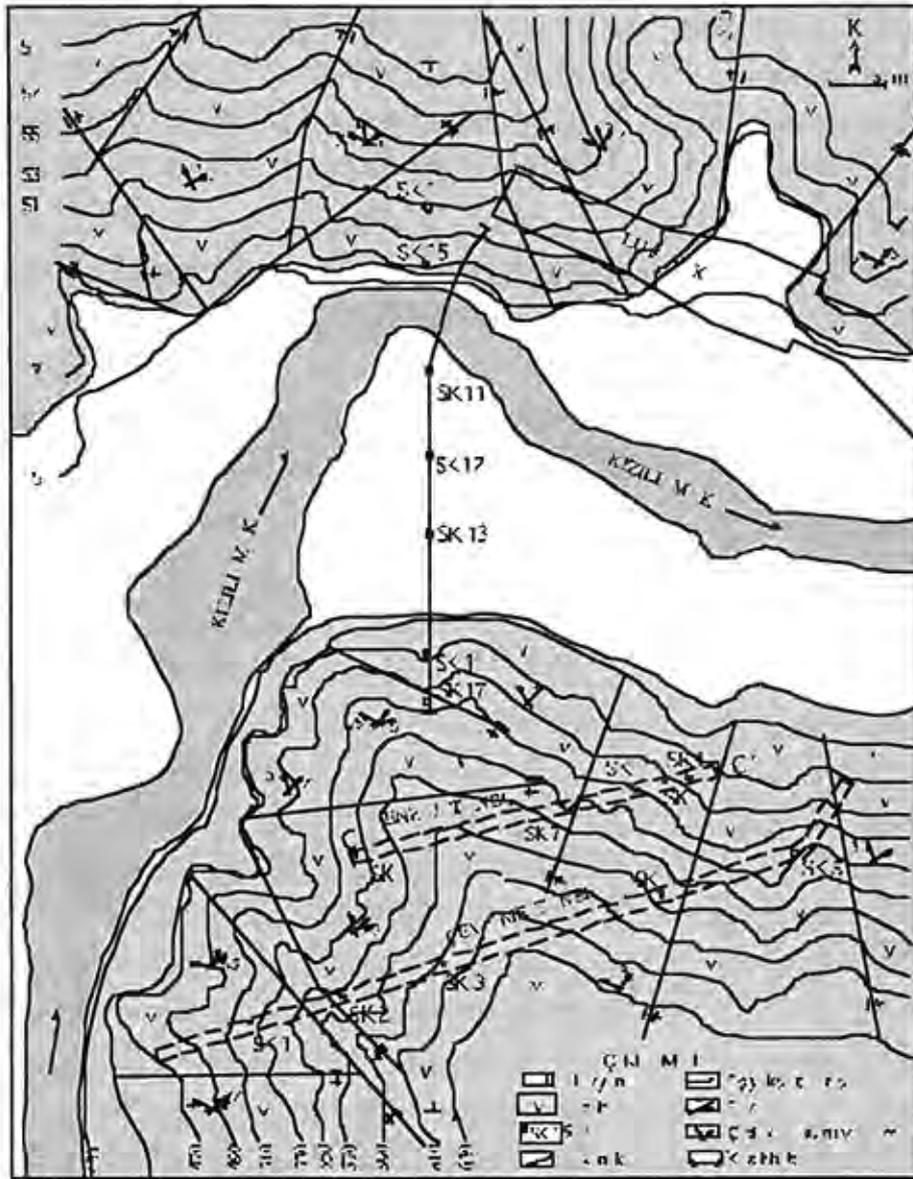
Örnekler, öncelikle mineralojik, petrografik ve kimyasal özellikleri belirlenerek bozunma derecelerine göre gruplandırılmıştır. Daha sonra, 172 adet bazalt örneğinin fiziksel ve jeomekanik özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen verilerle Obruk barajının yeni eksen yeri ile enerji ve çevirme tüneli güzergahının mühendislik jeolojisi haritası ve kesitleri hazırlanmıştır. Tüm bu özelliklere göre tünelcilik açısından kaya kütlesi sınıflandırılmıştır.



Şekil 1. İnceleme alanı yer belirleme haritası.
Figure 1. Location map of the study area.

2. BARAJ YERİNİN JEOLojİSİ

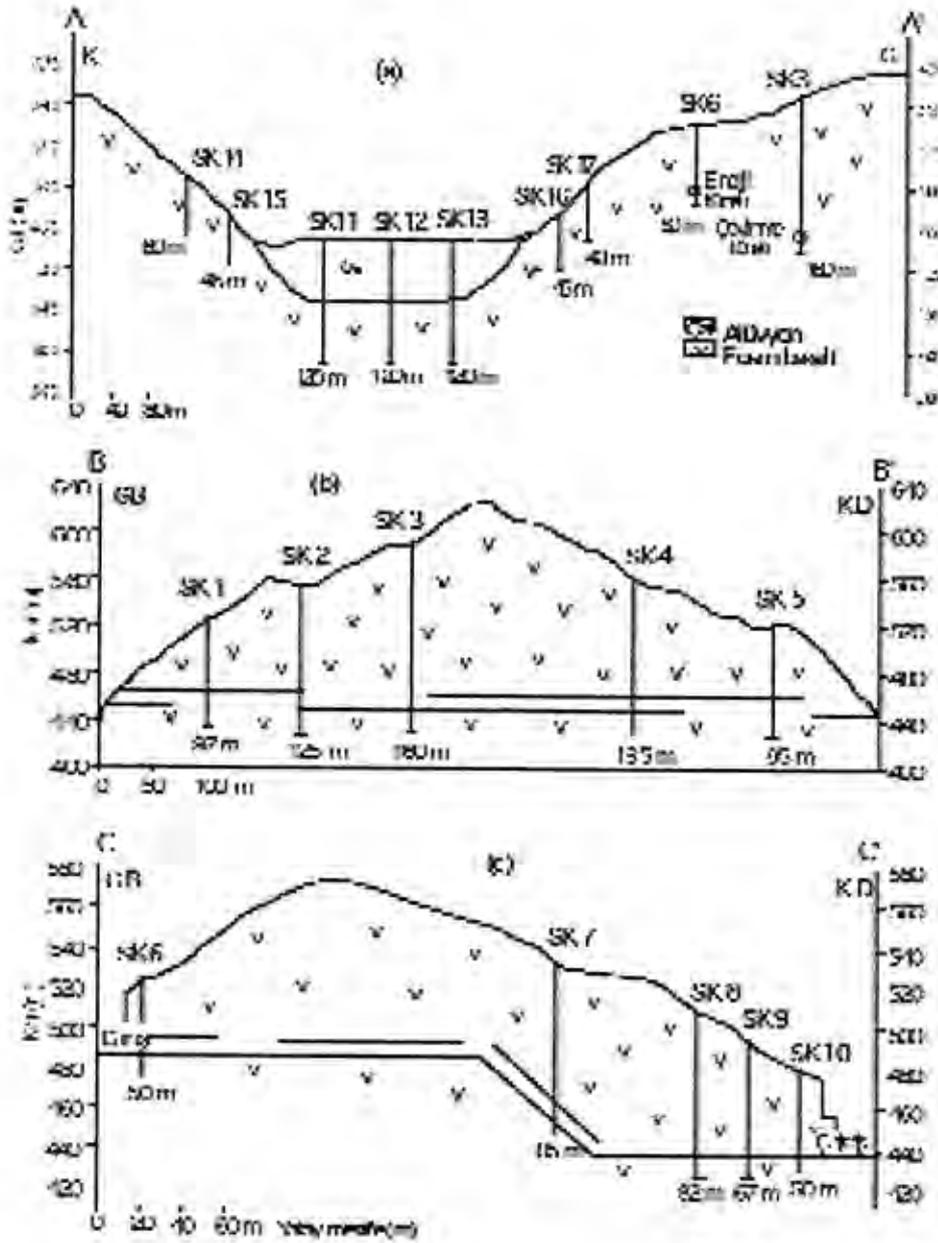
İnceleme alanında volkanitler ve fliş arakatıklarından oluşan Lütésiyen yaşlı Bayat formasyonu bulunmaktadır (MTA, 1975). Baraj yeri çevresinde yaygın olarak görülen Bayat formasyonunda hakim litoloji bazalttır. Bazalt; ince taneli koyu renkli matriks, orta büyüklükte plajiyoklas kristalleri, iri taneli piroksen ve olivin fenokristalleri ile opak minerallerden oluşmaktadır. Opak mineraller içerisinde yer yer pirit minerallerine de rastlanmaktadır. Camsı hamur ve piroksenlerde kloritleşme yaygın olup, plajiyoklaslar kile dönüşmüştür. Karbonatlaşma, silisleşme, kloritleşme ve killeşme ayrışma derecesine ve hidrotermal ayrışmaya bağlı olarak artmaktadır. Süreksizlikler boyunca ayrışmanın yoğunlaştığı ve çatlaklarda jips dolguları gözlenmektedir. En üstte ise; serbest blok, çakıl, kum, silt ve kil tane boyutlarındaki malzemedan oluşan Kuvaterner yaşlı alüvyon istif yer almaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Obruk barajının yapı ve sondaj yerleri ve mühendislik jeolojisi haritası.

Figure 2. Locations of the boreholes and main structures, and engineering geological map of the Obruk dam site.

İnceleme alanı, Türkiye'deki önemli tektonik hatlardan Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ)'na yaklaşık 35 km uzaklıktadır ve tektonizmadan çok etkilenmiştir. Baraj eksen yeri sağ ve sol sahilinde değişik boyutta, KD-GB ve KB-GD doğrultulu çok sayıda normal fay bulunmaktadır. Ayrıca tektonizmanın etkisi ile gelişen eklemler mevcuttur. Baraj yeri, çevirme tüneli, enerji tüneli, dolu savak yeri ile sağ ve sol yamaçların mühendislik jeolojisi haritası Şekil 2'de, mühendislik jeolojisi kesitleri ise Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil.3. (a) Baraj eksen yeri, (b) çevirme tüneli ve (c) enerji tüneline jeoloji kesitleri ile sondaj yerleri.

Figure 3. Borehole locations and engineering geological cross-sections of the (a) dam axis, (b) derivation tunnel and (c) power tunnel.

3. MİNERALOGİK VE KİMYASAL ÖZELLİKLER

Arazi çalışmaları sırasında yüzeyden ve sondajlardan örnekler alınmış, birincil ve bozunma sonucu oluşan ikincil mineraller ile dokusal özellikler belirlenerek kaya tanımlaması yapılmıştır. Petrografik incelemelere göre; baraj yerindeki volkanik kayaların, bazalt ve az miktarda andezitik bazalt olduğu saptanmıştır. Her iki kaya grubu da plajiyoklas (oligoklas, andezin ve kısmen labrador), amfibol ve ojitten oluşmaktadır. Bu minerallerin yanında ikincil bileşen olarak biyotit, apatit, pirit ve opak mineraller mevcuttur. Bazaltın camsı malzemesi, bozunma derecesine bağlı olarak, serizit ve klorite dönüşmüştür. Ayrıca, eklem dolgusu şeklinde serizit, klorit, kalsit, kil ve jips de gözlenmektedir.

Ayrışmadan dolayı mikroskop altında tanımlanamayan minerallerin belirlenmesi amacıyla, temsil edici 10 adet bazalt örneği X-ışınları kırınım (XRD) yöntemiyle analiz edilmiştir. XRD diyagramlarına göre mikroskop altında özlenen minerallerin yanında simektit, kaolinit, dolomit ve hematit mineralleri de belirlenmiştir. Kaolinitler büyük olasılıkla feldispatların, simektitler ise daha çok plajiyoklasların bozunması sonucu oluşmuşlardır. Bunların oranlarında derinliğe bağlı bir artış olduğu görülmektedir. Aynı şekilde XRD diyagramlarında derinden alınmış örneklerde amorf malzemeler de görülebildiğinden, bazı kristallerin pikleri gizlenmiştir. Derinden gelen hidrotermal çözeltiler silisce zengin olup, kimi yerlerde ani bir şekilde katılarak tridimit ve opal gibi amorf yapıları, kimi yerde ise iyice kristallenerek tarak dokusu şeklinde iri kuvarsları oluşturdukları saptanmıştır.

Bazaltın kimyasal özelliklerini incelemek, bu özelliklerin ayrışmayla ve derinlikle değişimini belirlemek üzere sondajların değişik derinliklerinden 20 adet karot örneği ile yüzeyden 3 adet örnek alınmıştır. Analizler, Kanada Acme Analytical Laboratories Limited Şirketi'nde ICP-MS yöntemi kullanılarak toz örnekler üzerinde yapılmıştır. Kimyasal analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir. Bu değerlerin; gerek karot örnekleri, gerekse yüzeyden alınan örneklerin majör oksit ve iz elementleri bazında normal bir bazaltın kimyasal bileşiminden çok farklı olduğu görülmektedir. Bu farklılığın başlıca sebebi derinden gelen hidrotermal çözeltilerdir. Bu nedenle, kimyasal değerlere bağlı olarak kayaç adlandırması yapılmamıştır.

Çizelge 1. Bazaltın jeokimyasal analiz sonuçları.
Table 1. Results of chemical analyses for basalts.

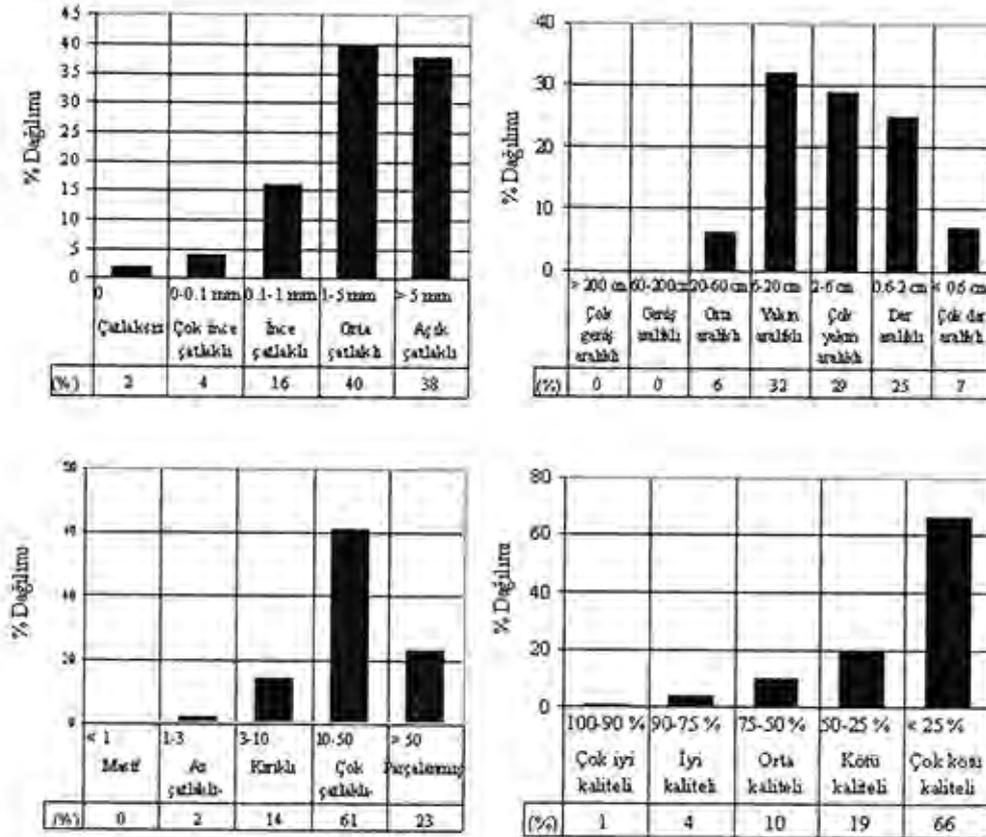
Kimyasal bileşim	En az (%)	En çok (%)	Ortalama (%)
SiO ₂	39.39	53.71	46.55
Al ₂ O ₃	12.18	19.92	22.14
Fe ₂ O ₃	5.90	9.29	7.60
MgO	3.06	10.90	6.98
CaO	1.03	9.43	5.23
Na ₂ O	0.25	3.00	1.63
K ₂ O	1.12	4.20	2.66
TiO ₂	0.56	0.94	0.75
P ₂ O ₅	0.21	0.41	0.31
MnO	0.08	0.19	0.14
Cr ₂ O ₃	0.04	0.09	0.06
Ateş kaybı	4.03	24.73	14.38

4. SÜREKSİZLİKLERİN ÖZELLİKLERİ

İnceleme alanında tektonizmanın etkisiyle farklı yönlerde çok sayıda çatlak ve kırık gelişmiştir. Çatlakların yönelimi, açıklığı, sıklığı, dolgulu olup olmaması ve varsa dolgunun özellikleri kaya kütle

özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Barajın sağ sahilinde 1715 adet ve sol sahilinde 1424 adet olmak üzere, bazalt mostralarında toplam 3139 adet eklem doğrultu ve eğimi ölçülmüştür. Bu ölçümler; Diederichs ve Hoek (1989) tarafından hazırlanmış ve stereografik izdüşüm tekniğini esas alan "DIPS" programı kullanılarak değerlendirilmiştir. Sağ sahilde hakim doğrultu ve eğim K75B/75GB, K37B/66GB ve K57D/62GD iken, sol sahilde K32D/46KB ve DB/21K'dir.

Süreksizlikler, kalınlıkları 1 mm ile 5 cm arasında değişen jips, kil, kalsit ve silis dolguludur. Kil ve jips dolgunun bazı kesimlerde yüzey suları tarafından yıkanmış olduğu gözlenmiştir. Dolguların kalınlığı, dolgu malzemesinin türü, tane boyu dağılımı, geçirgenlik özelliği, süreksizlik yüzeyinin pürüzlülüğü, kayacın kırılma ve parçalanma özelliği bozunma derecesini etkilemektedir. Kalsit, kuvars ve pirit gibi yüksek dayanımlı mineral dolguları, kaya dayanımına olumlu etki yapmaktadır. Jips dolgunun olduğu kesimlerde ise, suların sülfat konsantrasyonunun artacağı ve buradaki yapıların olumsuz etkileneceği dikkate alınmalıdır. Bazaltlardaki çatlakların açıklığının Deere (1963)'e, çatlaklar arası mesafenin ve 1 metredeki çatlak sıklığının ISRM (1981)'e göre sınıflandırılmaları ile yüzde dağılımları Şekil 4'de verilmiştir. Kaya kalitesi bakımından baraj eksen yerinde, çevirme tüneline ve enerji tüneli güzergahında çok kötü ve kötü kaliteli bazaltların yer aldığı belirlenmiştir. Bazaltlarda bozunma derecesi arttıkça RQD değerleri azalmaktadır (Koçbay, 2003). RQD'ye göre sınıflama ve yüzde dağılımı Şekil 4d'de verilmiştir.



Şekil 4. Bazaltın (a) çatlak açıklığının Deere (1963)'e, (b) çatlaklar arası mesafenin ISRM (1981)'ye, (c) 1m'deki çatlak sıklığının ISRM (1981)'ye ve (d) RQD'nin Deere (1963)'e göre sınıflaması ve yüzde dağılımları.

Figure 4. Histograms showing percentage distribution and classification of the basalt based on (a) fracture spacing (Deere, 1963), (b) distance between fractures (ISRM, 1981), (c) frequency of fractures in 1 m (ISRM, 1981) and (d) RQD (Deere, 1963).

5. BAZALTLARIN FİZİKSEL VE JEOMEKANİK ÖZELLİKLERİ

Çevirme tüneli sondajlarının farklı derinliklerinden 105, enerji tüneli sondajlarından 23 ve eksen yerinden 44 olmak üzere, toplam 172 adet 54 mm çaplı karot üzerinde Ankara Üniversitesi, Mühendislik Jeolojisi Araştırma ve Uygulama Laboratuvarı ile DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Beton ve Malzeme Laboratuvarı'nda bazaltın jeomekanik özellikleri tayin edilmiştir.

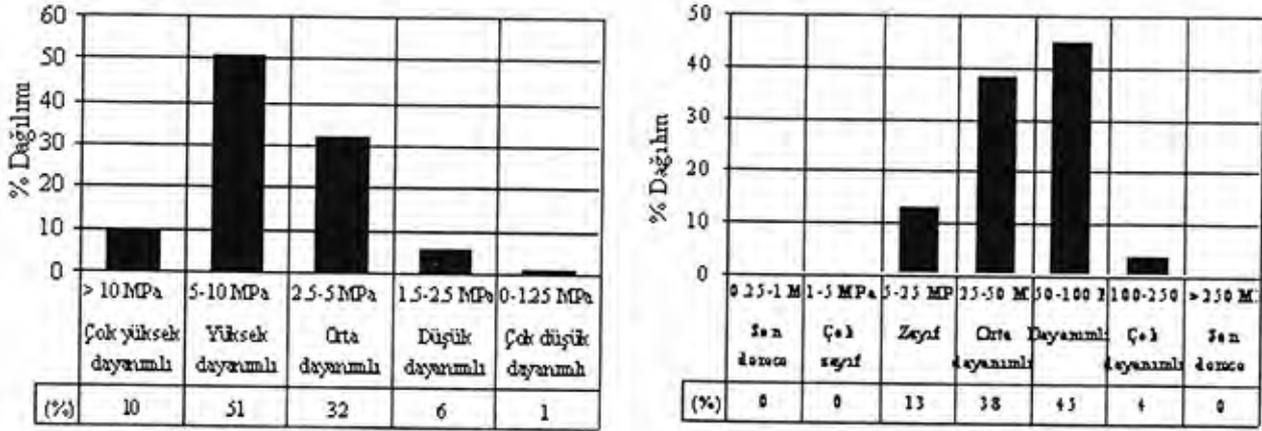
Bazaltın kuru birim hacim ağırlığı, doymun birim hacim ağırlığı, ağırlıkça su emme, hacimce su emme, gözeneklilik, özgül ağırlık, nokta yükü dayanım indeksi, tek eksenli sıkışma dayanımı, P ve S dalga hızları, dinamik ve statik elastisite modülleri ile Poisson oranı, ASTM (1980 ve 1996) ve ISRM (1978, 1981 ve 1985)'ye göre tayin edilmiştir. Tayin edilen parametrelerin en az, en çok, ortalama, standart sapma ve standart hata değerleri ise Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. İnceleme alanındaki bazaltların indeks ve jeomekanik özelliklerinin istatistiksel değerlendirmesi.
Table 2. Statistical evaluation of index and geomechanical properties of the basalts in the study area.

Özellik	Örnek sayısı	En küçük	En büyük	Aritmetik ortalama	Standart hata	Standart sapma
Doymun birim hacim ağırlığı, γ_d (kN/m ³)	172	23.23	28.42	26.01	0.07	0.92
Kuru birim hacim ağırlığı, γ_s (kN/m ³)	172	22.25	28.32	25.71	0.08	1.02
Ağırlıkça su emme, A_s (%)	172	0.14	5.30	1.20	0.08	0.98
Hacimce su emme, A_h (%)	172	0.40	12.80	3.07	0.18	2.41
Gözeneklilik, n (%)	172	2.10	14.90	7.17	0.19	2.56
Özgül ağırlık, G_s	172	2.80	3.04	2.88	0.004	0.05
Poisson oranı, ν	172	0.21	0.43	0.33	0.002	0.03
P dalga hızı, V_p (m/s)	172	3088	6985	4997	62.56	820.44
S dalga hızı, V_s (m/s)	172	1576	3495	2525	28.48	373.49
Nokta yükü dayanım indeksi, Is_{50} (MPa)	149	1.15	15.10	6.27	0.23	2.82
Tek eksenli sıkışma dayanımı, σ_c (MPa)	114	9.80	130.20	52.57	2.24	23.89
Statik elastisite modülü, E_s (GPa)	99	8.92	89.08	39.25	1.73	17.17
Dinamik elastisite modülü, E_d (GPa)	172	159.67	856.61	451.64	10.55	138.33

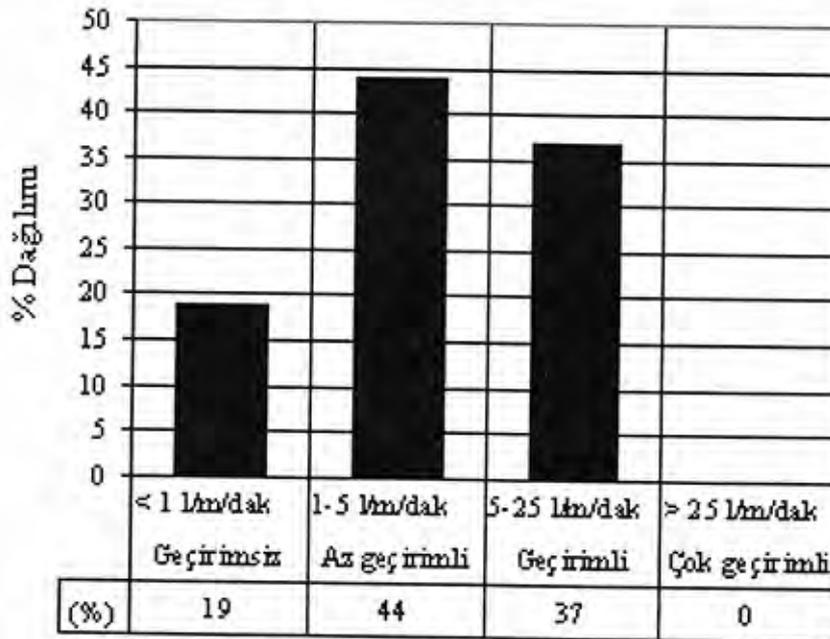
Bazaltın özgül ağırlığı 2.80 ile 3.04 arasında olup, bu değer in yüksek olmasının nedeni, kayacın pirit gibi koyu renkli mineralleri içermesidir. Deere ve Miller (1966)'e göre nokta yükü dayanım indeksi dikkate alınarak yapılan sınıflamada bazaltın yüksek ve orta dayanımlı olduğu, ISRM (1981)'ye göre tek eksenli sıkışma dayanımı dikkate alınarak yapılan sınıflamada ise yüksek ve orta dayanımlı olduğu belirlenmiştir (Şekil 5).

Baraj eksen yeri, çevirme tüneli ve enerji tünel güzergahındaki sondajlar sırasında geçirgenliği belirlemek üzere Lugeon deneyleri yapılmış ve bazaltın çoğunlukla geçirimsiz ve az geçirimli olduğu belirlenmiştir (Şekil 6). Bazaltın içerdiği süreksizliklerin sık aralıklı olmalarına rağmen, geçirimliliğin düşük olmasının nedeni, bozunma sonucu oluşan killerin çatlakları doldurmasıdır.



Şekil 5. Bazaltın (a) nokta yükü dayanım indeksinin Deere ve Miller (1966)'e ve (b) tek eksenli sıkışma dayanımının ISRM (1981)'ye göre sınıflandırılması ve yüzde dağılımları.

Figure 5. Histograms showing percentage distribution and classification of basalt based on (a) point load index (Deere and Miller, 1966), and (b) uniaxial compressive strength (ISRM, 1981).



Şekil 6. Bazaltın Lugeon (Lugeon, 1933) birimine göre sınıflandırılması ve yüzde dağılımı.

Figure 6. Histograms showing percentage distribution and classification of the basalt based on Lugeon unit (Lugeon, 1933).

6. KAYA KÜTLESİNİN MÜHENDİSLİK SINIFLAMASI

Çevirme ve enerji tünellerindeki uygulanacak destek sistemlerinin belirlenmesi amacı ile bazalt, RMR (Bieniawski, 1989) ve Q (Barton vd., 1974; Barton, 2002) sistemlerine göre sınıflandırılmıştır. RMR değeri, kaya kütle sınıflamasında kullanılan parametreler, bunlara karşılık gelen puanlar en iyi ve en kötü durumlar için Çizelge 3’de verilmiştir. En kötü koşullar için belirlenen RMR değeri 13’tür. Buna göre bazalt “çok zayıf kaya (V)” gurubunda yer almaktadır. Bu gruptaki kaya kütle için; tavan ve tabanda beraber ilerleme sağlanmalı, tavanda 0.5-1 m ilerlenerek kazıyla birlikte destek yerleştirilmeli, ayrıca patlatmadan hemen sonra püskürtme beton uygulanmalıdır. Tel kafesli duvarlarda ve kemerlerde 1-1.5 m aralıklı, 5 m uzunluklu sistematik bulonlar, tavan kemerinde 150-200 mm, yan duvarlarda 150 mm, aynada 50 mm püskürtme beton, çelik iksalı 0.75 m aralıklı orta-ağır traversler kullanılmalıdır. En iyi koşullar için elde edilen toplam sayısal değer ise 58’dir. Buna göre bazalt “orta kaya (III)” gurubunda yer almaktadır. Bu gruptaki kaya kütle için; tavan kemeri ve tabandan ilerleme sağlanmalı, tavanda 1.5-3 m ilerlenerek kazıyla birlikte aynaya 10 m mesafeye kadar komple destek yerleştirilmelidir. Tel kafesli duvarlarda ve kemerlerde 1.5-2 m aralıklı, 3-4 m uzunluklu sistematik bulonlar, tavan kemerinde 50-100 mm, yan duvarlarda 30 mm püskürtme beton uygulanmalıdır.

Çizelge 3. Baraj yerindeki bazaltın RMR sistemine göre kaya kütle sınıflaması.

Table 3 . Classification of the basalt at the dam site based on RMR system.

Sınıflama parametreleri	Parametre değeri veya tanımı			
	En kötü durum	Puan	En iyi durum	Puan
Tek eksenli sıkışma dayanımı (MPa)	9.80	2	130.20	12
Kaya kalite göstergesi (%)	20	3	80	17
Süreksizlik aralığı (mm)	< 60	5	> 180	15
Süreksizliklerin durumu				
Devamlılık (m)	> 20	0	< 1	6
Açıklık (mm)	> 5	0	Yok	6
Pürüzlülük	Kaygan	0	Düz	1
Dolgu	Yok	6	Sert	2
Bozunma derecesi	Çok	0	Az	5
Su durumu	Islak	7	Damlama	4
Süreksizlik yönelimi	Uygun değil	-10	Uygun değil	-10
Nihai RMR puanı		13		58

Q kaya kütle sınıflamasında kullanılan parametreler, bunlara karşılık gelen değerler en iyi ve en kötü durumlar için Çizelge 4’de verilmiştir. Buradan hesaplanan Q değerleri ve Grimstad ile Barton (1993) tarafından revize edilmiş olan abaktan yararlanılarak, 10 m çapındaki çevirme tüneli ve 8 m çapındaki enerji tüneli için destek türleri belirlenmiştir. En kötü koşullar için elde edilen Q değeri 0.02’dir. Buna göre bazalt “son derece zayıf kaya” gurubunda yer almaktadır. Bu gruptaki kaya kütle için önerilen destek sisteminde; kaya saplamalı, çelik iksalı, kafes takviyeli 15-25 cm kalınlığında püskürtme beton kullanılmalıdır. En iyi koşullar için elde edilen Q değeri 3.52 olup, buna göre bazalt “zayıf” gurubunda yer almaktadır. Bu gruptaki kaya için önerilen destek sisteminde; sistematik kaya saplamalı, 4-5 cm kalınlığında püskürtme beton kullanılmalıdır.

Çizelge 4. Baraj yerindeki bazaltın Q sistemine göre kaya kütle sınıflaması.
Table 4. Classification of the basalt at the dam site based on Q system.

Parametre	Puan	
	En kötü durum	En iyi durum
Kaya kalite göstergesi (%)	20	80
Eklem takımı sayısı (Jn)	20	6
Eklem pürüzlülük sayısı (Jr)	2	1
Eklem yüzeyi durumu (Ja)	4	1
Eklem durumu (Jw)	0.33	0.66
Gerilim azaltma faktörü (SRF)	10	2.5
Q	0.02	3.52

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kızılırmak Nehri üzerinde inşa edilen Obruk barajının eksen yeri, çevirme tüneli, enerji tüneline Eosen yaşlı bazaltların fiziksel ve jeomekanik özellikleri arazide ve laboratuvarında belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda kısaca sunulmuştur.

İnceleme alanında yaygın olarak görülen bazalt hiyalopilitik ve hiyalopilitik porfirik dokuludur. Killeşme, silisleşme, kloritleşme, karbonatlaşma ve demiroksitleşme yaygın olarak gözlenmekte olup, bazaltlarda bozunma etkilidir.

Baraj eksen yerinin sağ ve sol sahilinde üç yönlü eklem takımı yanında gelişigüzel eklemler bulunmaktadır. Bazalt, çatlak açıklığına göre "orta-açık çatlaklı", çatlaklar arası mesafeye göre "yakın aralıklı" sınıfındadır. Baraj eksen yeri, çevirme tüneli ve enerji tüneli güzergahındaki bazalt kaya kalite göstergesine (RQD) göre "çok kötü kaliteli" ve "kötü kaliteli"dir. Bazalt, nokta yükü dayanım indeksine göre "orta-yüksek dayanımlı", tek eksenli sıkışma dayanımına göre "dayanımlı-orta dayanımlı"dır.

Baraj eksen yeri, çevirme tüneli ve enerji tüneli güzergahındaki bazaltın "geçirimsiz" ve "az geçirimli" olduğu belirlenmiştir. Sık süreksizliklere rağmen geçirimsizliğin azalmasının nedeni, bozunma sonucu oluşan killerin çatlakları doldurmasıdır. Ancak baraj eksen yerinde geçirimsizliği tam olarak sağlamak ve tünellerde duraylılığı arttırmak amacıyla enjeksiyon yapılması uygun olacaktır. Jips dolgudan dolayı barajın betonarme yapılarında sülfata dayanıklı çimento kullanılmalıdır. RMR kaya kütle sınıflamasına göre bazalt "çok zayıf kaya (V)" ve "orta kaya (III)", Q kaya kütle sınıflamasına göre ise "son derece zayıf" ve "zayıf" kaya kütle gurubunda yer almaktadır.

KATKI BELİRTME

Yazarlar; 97K12080 nolu proje kapsamında destek sağlayan Devlet Planlama Teşkilatı'na, Ankara Üniversitesi Rektörlüğü'ne ve Bilimsel Araştırma Fonu'na, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'ne, kayaların mineralojik ve petrografik tanımlamalarında katkılarından dolayı Dr.Yusuf Kaan Kadioğlu ve Dr. Koray Sözeri'ye teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- ASTM, 1980. Annual Book of ASTM Standards - Natural Building Stones; Soil and Rock. Part 19. ASTM Publication, 634 p.
- ASTM, 1996. Standard Test Method for Laboratory Determination of Pulse Velocities and Ultrasonic Elastic Constants of Rock, D2845. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA.
- Barton, N., 2002. Some new Q-value correlation to assist in site characterisation and tunnel Design. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 39,185-216
- Barton, N., Lien, R., and Lunde, J., 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mechanics, 6, 189-243.
- Bieniawski, Z.T., 1989. Engineering Rock Mass Classifications. Wiley-Interscience, 237 p.
- Deere, D.U., 1963. Technical description of rock cores for engineering purposes. Engineering Geology, 1, 1-18.
- Deere, D.U., and Miller, R.P., 1966. Engineering classification and index properties for intact rock. Air Force Weapons Laboratory Technical Report, Volume I-II, Leonard Hill, 270 p.
- Diederichs, M.S. and Hoek, E., 1989. Data interpretation package using stereographic projection (DIPS) Version 2.22. Rock Engineering Group, Department of Civil Engineering, University of Toronto.
- DSİ, 1979. Aşağı Kızılırmak Projesi Obruk barajı mühendislik jeolojisi planlama raporu. DSİ Genel Müdürlüğü, Ankara, 33s (yayımlanmamış).
- DSİ, 1983. Kızılırmak Obruk Projesi planlama raporu. DSİ Genel Müdürlüğü, Ankara, 89 s, (yayımlanmamış).
- Grimstad, E., and Barton, N., 1993. Updating the Q-System for NMT. Proceeding International Symposium On Sprayed Concret-Modern Use of Wet Mix Sprayed Concrete for Underground Support, Oslo, Norwegian Concrete Association, 44-66.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1978. Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses, International Journal of Rock Mechanics Mining Science and Geomechanical Abstract, 15, 319-368.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1981. Rock Characterization, Testing and Monitoring: ISRM Suggested Methods E.T.Brown (ed), Pergamon Press, Oxford, 211p.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1985. Suggested method for determining point load strength International Journal of Rock Mechanics Mining Science and Geomechanical Abstract, 22 (2), 51-60.
- Kılıç, R., 1999. The Unified Alteration Index (UAI) for mafic rocks. Environmental and Engineering Geoscience, 4, 475-483
- Koçbay, A., 2003. Osmancık-Çorum yöresindeki bazaltların ayrışma karakteristiklerinin ve derecesinin incelenmesi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 146 s (yayımlanmamış).

- Koçbay, A., and Kılıç, R., 2003. The effect of alteration degree of basalt using as a natural construction material in Çorum-Turkey. Proceedings of Industrial Minerals and Building Stones, IMBS'2003, İstanbul, Turkey, 707-715.
- Lugeon, M., 1933. Barrages et geologie metods de recherches terrasement etunpermeabilisation. Litrairedes Universite, Paris.
- MTA, 1975. Çankırı-Çorum havzasının jeolojisi ve petrol olanakları, MTA Derleme Rapor No: 5621, 67 s (yayımlanmamış).



KUŞİNİ ANTİK YERALTI MERMER OCAĞININ MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ VE KAYA MÜHENDİSLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRMESİ

*Investigation of the Kuşini Antique Underground Marble Quarry in view of Engineering
Geology and Rock Engineering*

Ömer AYDAN¹, Halil KUMSAR²

¹Tokai University, Department of Marine Civil Engineering, Shizuoka, Japonya

²Pamukkale Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Denizli

ÖZ

Kuşini antik yeraltı mermer ocağı, bilinen en eski mermer ocağı olup, Roma döneminden kaldığı öne sürülmektedir. Bu çalışmada, İzmir ili Selçuk ilçesi sınırları içinde yer alan Kuşini antik yeraltı mermer ocağı, mühendislik jeolojisi ve kaya mekaniği açısından değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme, ocak çevresinin kısa bir jeolojisi ve tektoniğini, süreksizlikler ve özelliklerini, kayanın mekanik ve fiziksel özelliklerini, ocak içi sıcaklık ve nem değişimlerini, duraylılık durumu ve sorunlarını, bir kaya yapısı olarak uzun süreli kaya davranışını kapsamaktadır. Elde edilen veriler ışığında, yeraltı açıklığı çevresindeki kaya kütlelerinin elastik davranış gösterdiği ve kısmen çekme gerilmelerinden dolayı yenilme zonunun oluşabileceği ortaya konmuştur.

Anahtar kelimeler: Kaya mekaniği, Kuşini, mühendislik jeolojisi, yeraltı mermer ocağı.

ABSTRACT

The Kuşini antique underground marble quarry is said to be remained from Roman era and it is the oldest underground marble quarry in the World. In this study Kuşini antique underground marble quarry, situated in Selçuk town of İzmir city, was investigated in view of engineering geology and rock mechanics. Geology and tectonics of the quarry and its vicinity, mechanical and physical features of discontinuities, temperature and moisture changes within the underground quarry, some preliminary stability assessment and long term behaviour of the underground quarry were investigated. The analyses indicate that rock mass behaves elastic, and some local tensile stress may cause failure zones.

Keywords: Rock mechanics, Kuşini, engineering geology, underground marble quarry.

1. GİRİŞ

Dünyada ilk yeraltı madenciliği Anadolu'da başlamıştır. Bunun ilk örneği Niğde'nin Celaller köyündeki demir ocağıdır (Kaptan, 1992). Tarihçesi bilinen diğer bir yeraltı taş ocağı ise Luxor'daki Qurna antik kireçtaşı ocağıdır (Nishimoto vd., 2002). Buradan çıkarılan taş blokları Deir El Bahri Tapınağında kullanılmıştır (Şekil 1). Bunun yanı sıra, Mısır'daki yeraltı Firavun mezarlarının tarihçesi günümüzden 3500 yıl öncesine uzanmaktadır (Aydın ve Geniş, 2004) (Şekil 2). Benzer şekilde, Orta Anadolu'daki yeraltı şehirleri ve yeraltı mezarlarının da, Hititlerin Mısır ile olan tarihsel ilişkileri göz önüne alındığında, en azından 3000-4000 senelik bir geçmişe sahip olabileceği düşünülebilir. Örneğin Hattuşaş'ta kaledeki duvar içinin tünel girişi ile Kapadokya bölgesindeki Acıgöl yeraltı şehrinin giriş ağzındaki yapısal benzerlik (Şekil 3), Anadolu'daki yeraltı boşluklarının tarihinin oldukça eskilere dayandığını göstermektedir. Bunun yanı sıra, Türklerin Orta Asya'daki çıkışlarını anlatan Ergenekon destanında demir

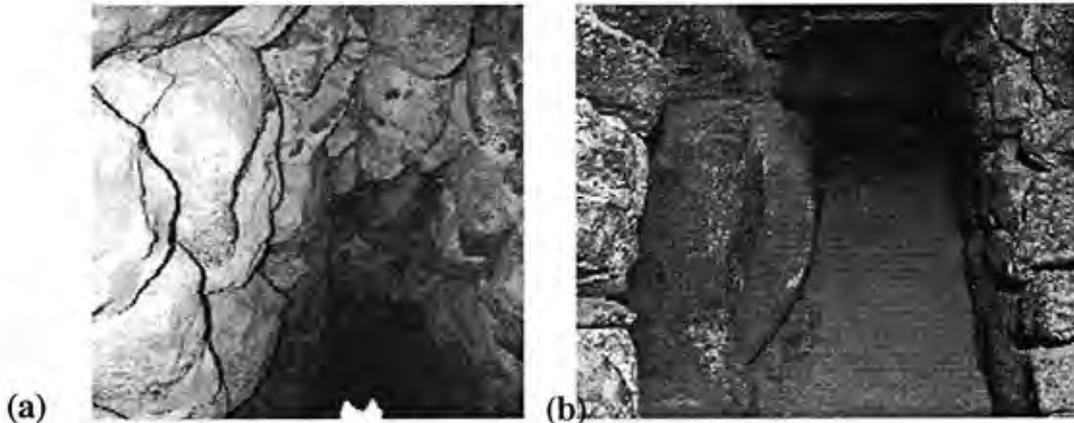
dağları eriterek açılan tünelden çıkışı, Türklerin yeraltı kazı ve madenciliğinde belki bilinen eski mitolojik bilgi ve deneyimine sahip olduğuna işaret etmektedir.



Şekil 1. a) Qurna antik yeraltı taş ocağı ve (b) taşlarının kullanıldığı Deir El Bahri Tapınağı.
Figure 1. a) Qurna antique underground stone quarry and (b) Deir El Bahri Temple where the stones used.



Şekil 2. Luxor yakınlarındaki firavun mezarlarından bazı görüntüler.
Figure 2. Some views of pharaoh graves near Luxor.



Şekil 3. (a) Hattuşaş ve (b) Acıgöl'deki (Kapadokya) tünellerin görünümü.
Figure 3. View of the tunnels at Hattuşaş (a) and Acıgöl (Kapadokya).

2. JEOLojİ VE TEKTONİK

Kuşini antik mermer ocağının bulunduğu Kuşini Tepesini oluşturan kaya kütlesi alttan üste doğru şistler (mikaşist, yeşil sistler, kuvarsit), mermer ve yarı kristalize kireçtaşlarından oluşmaktadır (Şekil 5). Şistosite düzlemleri KD'ya doğru 20-40° ile eğimli olup, mermer ve kireçtaşlarındaki eğimler alttaki şistlerin eğimine yakındır. Mermer kaya biriminde çatlak aralığı oldukça geniştir (Şekil 6). Ocak içinde gözlenen bazı doğrultu atımlı fayların yakınlarında çatlak aralığı sıklaşmaktadır. Kireçtaşı birimi oldukça çatlaklı ve tabaka kalınlığı 5 ile 120 cm arasında değişmekte ve erime boşlukları içermektedir. Kuşini Tepesini oluşturan kaya birimlerinin topoğrafik yüksekliği ile çevre vadi ve tepelerindeki benzer kaya birimleri kıyaslandığında, tepenin faylarla biçimlendirildiğini söylenebilir (Şekil 7). Bölgedeki fayların büyük bir kısmı verev atımlı normal fay niteliğine sahiptir. Ocak içinde sağ yanal atımlı ve çok az bindirme bileşeni olan bir küçük fay gözlenmiştir. Bu fay için Aydan (2000)'in yöntemi kullanılarak elde edilen faylanma mekanizması ve gerilme ortamı Şekil 8'de verilmiştir. Tahmin edilen gerilme ortamından elde edilen en büyük yatay gerilmenin yönü doğu-batı olup, bu yönelim yazarların daha önce yaptıkları çalışmalardan elde edilenlerle benzerlik göstermektedir (Aydan vd., 2000).



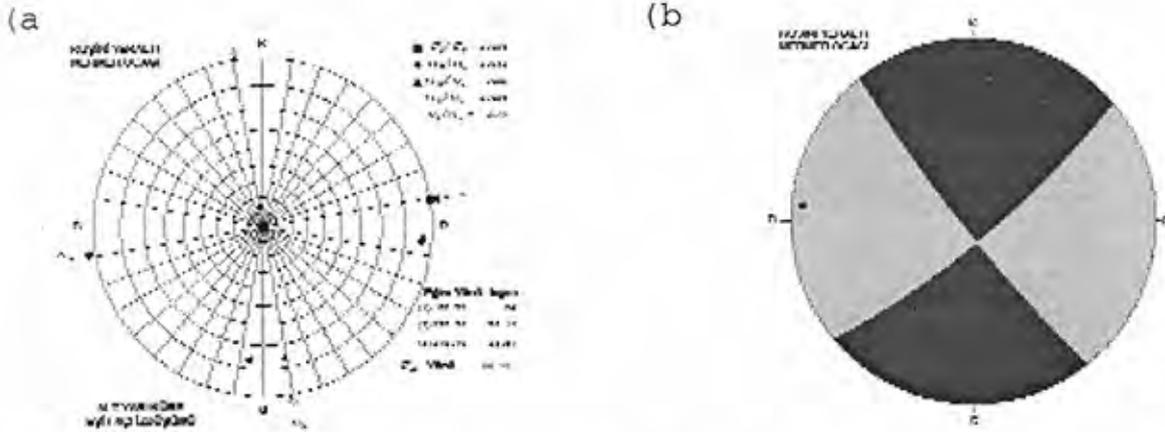
Şekil 5. Kuşini antik mermer ocağının görünümü ve kaya birimleri.
Figure 5. General view of the Kuşini antique marble quarry and rock units.



Şekil 6. Ocak içi ve eklemlerin görünümü.
Figure 6. View of inner part of the quarry and joints.



Şekil 7. Kuşini tepesinden Küçük Menderes Nehrinin kuzey tarafındaki fayın görünümü
Figure 7. View of the fault plane at north of Küçük Menderes River looking at from Kuşini hill.



Şekil 8. Kuşini mermer ocağındaki fay yüzeyinde tahmin edilen gerilme ortamı (a) ve faylanma mekanizması (b).
Figure 8. Estimated stress state (a) and faulting mechanism of the fault plane (b) in the Kuşini marble quarry.

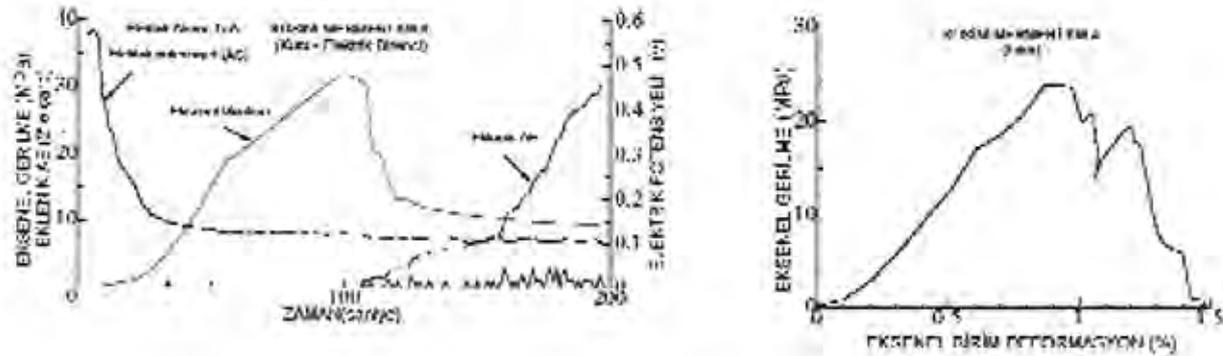
3. MÜHENDİSLİK JEOLojİSİ VE KAYA MEKANİĞİ İNCELEMELERİ

3.1. Fiziksel ve Mekanik Özellikler

Arazi incelemeleri sırasında ocak içinden bazı kaya örnekleri alınmış ve bunlardan hazırlanan örneklerde birim hacim ağırlık, makaslama dalgı hızı, tek eksenli sıkışma dayanımı, elastik modül gibi kayanın fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Her bir kaya birimi için yapılan deneylerde elde edilen bazı parametrelerin değışimi ise Şekil 9 ve 10'da gösterilmiştir. Belirlenen özelliklerin değışim aralıkları Çizelge 1'de verilmiştir.

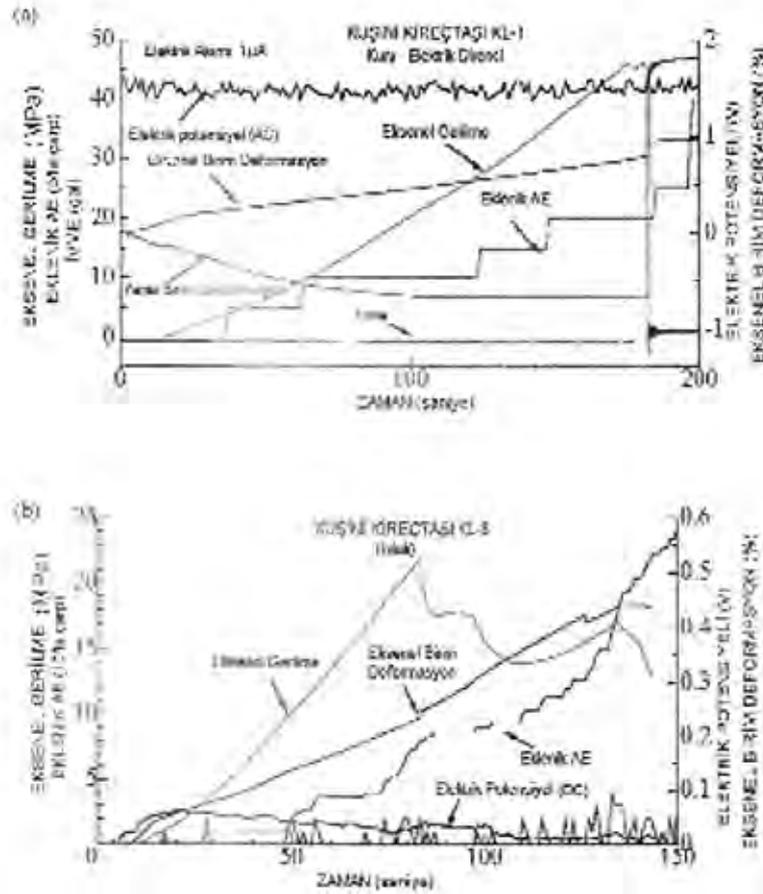
Çizelge 1. Mermer ve kireçtaşının fiziksel ve mekanik özellikleri.
 Table 1. Physical and mechanical properties of marble and limestone.

Kaya birimi	Birim hacim ağırlık (kN/m ³)	Makaslama dalgası hızı (km/s)	Tek eksenli sıkışma dayanımı (MPa)	Elastik modül (GPa)
Mermer	24.8-25.6	5.56-6.75	23.94-31.61	2.31-2.40
Kireçtaşı	26.4-26.6	6.40-7.28	22.08-46.13	4.75-7.75



Şekil 9. Kuşini mermerinin tek eksenli sıkışma deneyi sırasındaki eklenik akustik emisyon (AE), elektrik potansiyel (AC) (a) ve eksenel şekil değişikliği davranışı (b).

Figure 9. Accumulated acoustic emission (AE), electric potential (AC) (a), and axial deformation behaviour (b) of the Kuşini marble during uniaxial compression test.

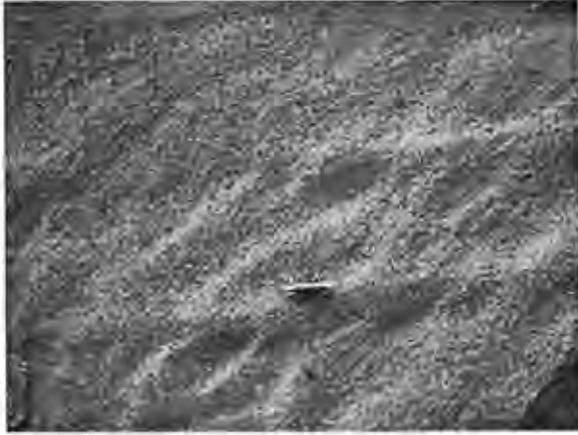


Şekil 10. Kuşini kireçtaşına ait KL-1 (a) ve KL-2 (b) örneklerinin tek eksenli sıkıştırma deneyi sırasındaki eksenel akustik emisyon (AE), elektrik potansiyel (AC ve DC), elektrik akımı, ivme ve eksenel birim deformasyon değişimi davranışı.

Figure 10. Behaviour of accumulated acoustic emission, (AE), electric potential (AC and DC), electric current, acceleration, uniaxial unit deformation during uniaxial pressure test of the Kuşini limestone (KL-1, a and KL-2, b).

3.2. Süreksizlikler ve Özellikleri

Antik mermer ocağının örtü tabakasının ince olması örtü yükü basıncının düşük olmasına, yamaç eğiminin yaklaşık 28° olması ocağın yapısal duraylılığında ve yamaç duraylılığında süreksizliklerin oldukça önemli olacağına işaret etmektedir. Arazide yapılan eğimlendirme (tilt) deneylerinden süreksizlik yüzeylerinin sürtünme açısı 32° - 36° olarak ölçülmüştür. Süreksizliklerin yüzeysel durumunu yansıtan bazı görüntüler Şekil 11'de gösterilmiştir. Ocak içinde ve dışında süreksizliklerin eğim ve eğim yönleri ölçülmüş ve Şekil 12'de gösterilmiştir. Eklem-1 ile eklem-2'nin kesişme açısı oldukça dik olup, özellikle yanal yönde bir sıkışma türü gerilmenin etkimemesi halinde ocak girişinde blok düşme olasılığının yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Diğer yandan, şistozite yüzeyleri ile eklem takımlarının arakesit doğrusunun eğim açıları hem sürtünme açısından küçük, hem de yamaç eğiminin ters yönüne, yamaç içine doğru olduğu için yamaç duraylılığı açısından bir sorun yaratması mümkün değildir.

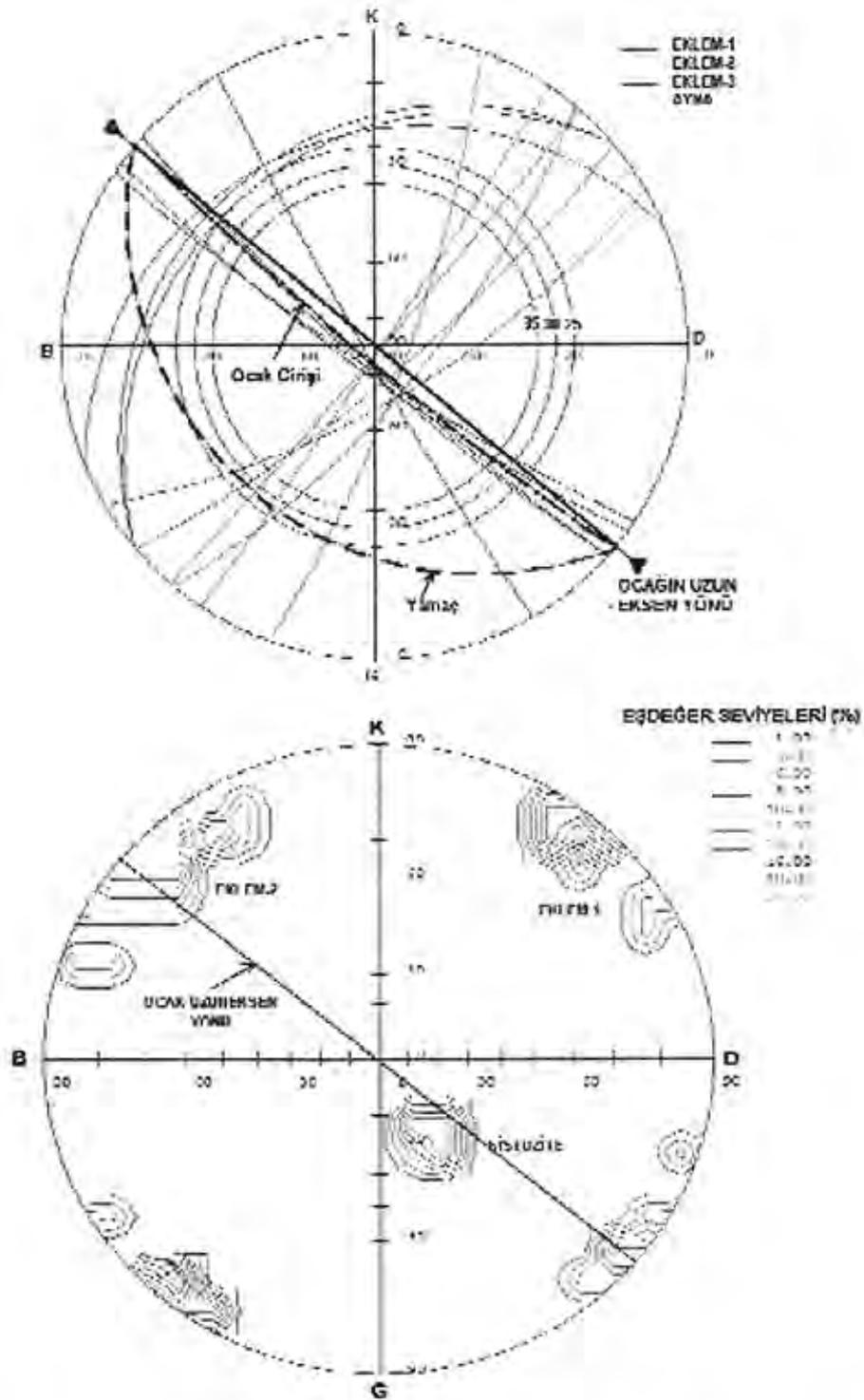


(a) Şistozite yüzeyi



(b) Eklem yüzeyi

Şekil 11: Mermer içinde şistozite ve eklem yüzeylerinin görünümü (pilin boyutu 43 mm).
 Figure 11. View of shistosity and joint surfaces within marble (battery size is 43 mm).

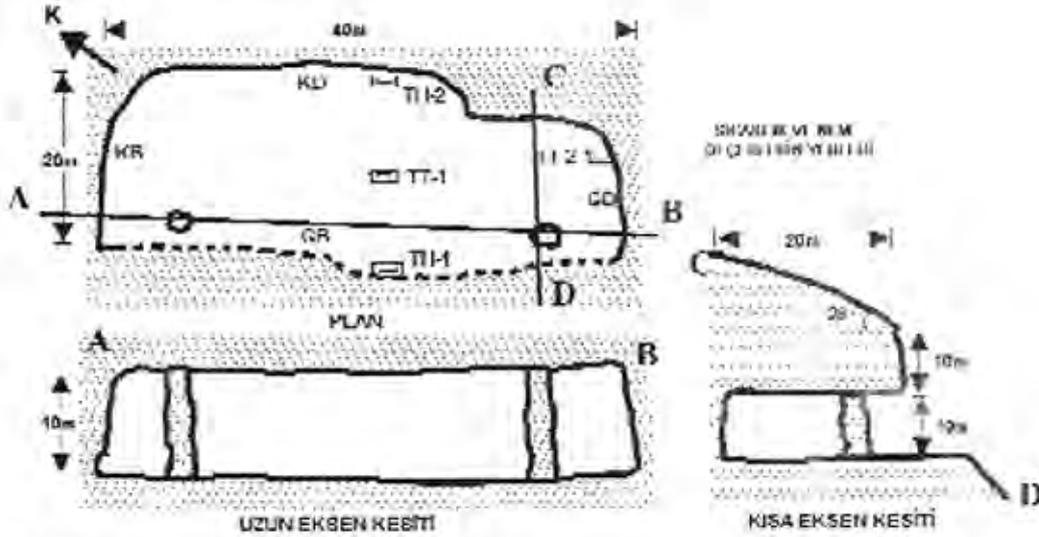


Şekil 12. Kuşini mermer ocağında ölçülen süreksizliklerin stereografik izdüşümü: (a) eşit açı izdüşümü, (b) eş kutup noktaları çizimi.

Figure 12. Stereographic projections of discontinuities measured at the Kuşini marble quarry: (a) equal angle projection, (b) equal poles plot.

3.3. Mermer Ocağının Özellikleri

Kuşini yeraltı mermer ocağı uzun oval şekilde olup, uzun eksenini yaklaşık 40-45 m, kısa eksenini ise 20-25 m (Şekil 13), yüksekliği 7-9 m arasında değişmekle birlikte, ocak tabanındaki toprak birikintisi gözonüne alınrsa, 10 m dolaylarında olacağı söylenebilir. Ocağın giriş ağzında boyutları 3x4x2 m olan düşmüş kaya blokları gözlenmiştir (Şekil 14). Blokların kazı sonrası düştüğü düşünülürse gerçek ocak genişliği 30 m dolaylarında olabilir. Ocağın giriş ağzının her iki tarafında iki tane topuk vardır. Kuzeydeki topukta kaya içersindeki eklem açılmış ve yer yer kırılmalar gelişmiştir (Şekil 14). Madencilik gereği sadece uçta topuk bırakılması düşünülemez, giriş ağzının orta kısmındaki topukların işletme sonrası kırılmış olabilir.



Şekil 13. Kuşini antik mermer ocağının planı ve kesitleri.
Figure 13. Plan view of the Kuşini antique marble quarry.

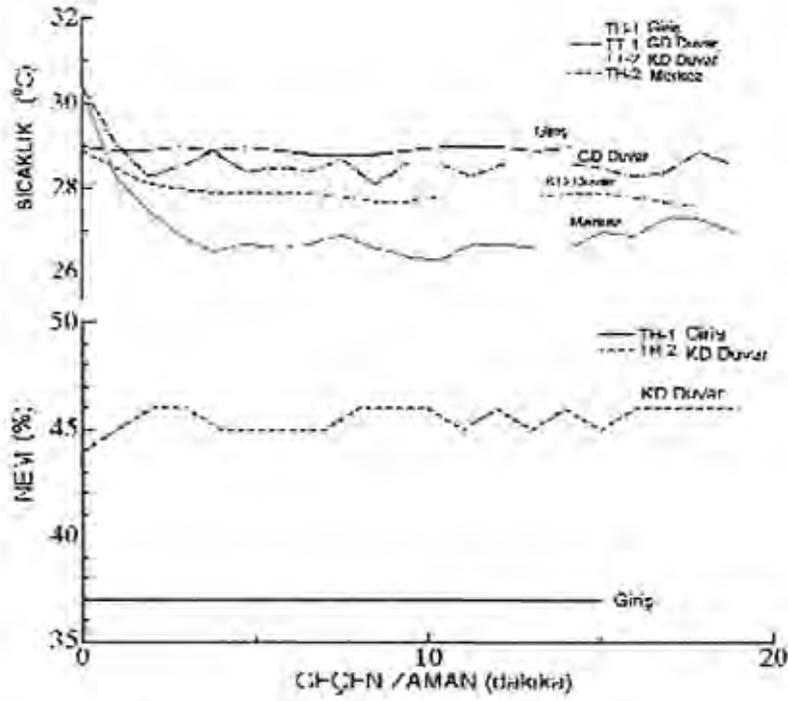


Şekil 14. Antik mermer ocağının giriş ağzı, topukların durumu ve ocak ağzında gözlenen düşmüş kaya blokları.
 Figure 14. Entrance of the antique marble quarry, conditions of the pillars and the fallen rock blocks at the entrance of the quarry.

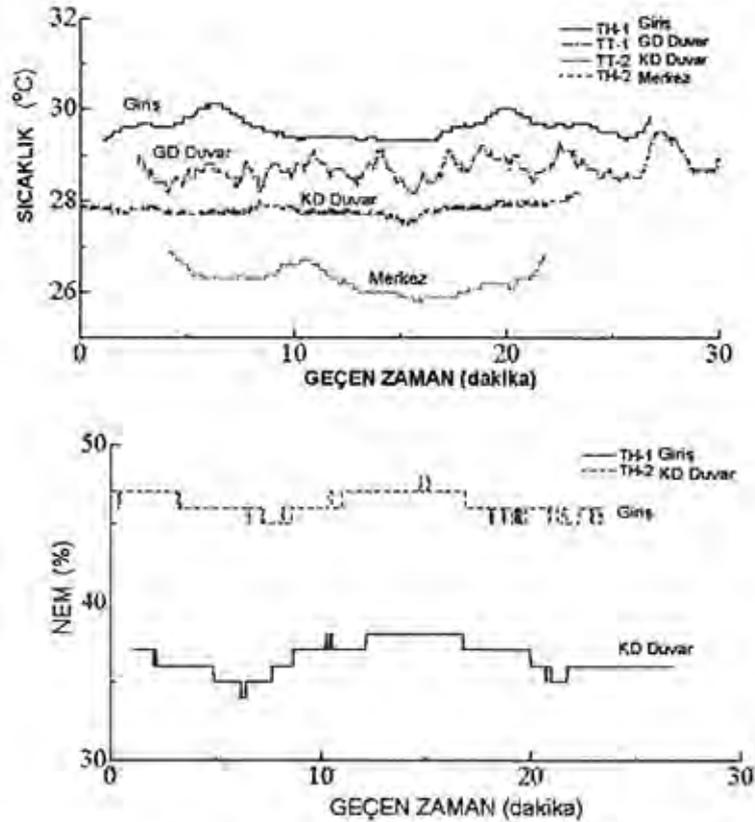
3.4. Çevresel Koşullar

Ocak içindeki sıcaklık ve nem değişimleri ocağın uzun süreli duraylılığında oldukça önemlidir. Bu amaçla uzun süreli ocak içi sıcaklık ve nem değişimi ölçümü gerekmektedir. Böyle bir çalışma şu anda mümkün olmamakla birlikte, ocakta yapılan inceleme boyunca belirli noktalarda sıcaklık ve nem ölçümleri alınmıştır. Bu ölçümler, ocağın KD yarısını kapsamakta olup, Şekil 13'te gösterilen 4 farklı noktada gerçekleştirilmiştir. İlk nokta ocağın giriş ağzında ortaya, ikinci ölçer açıklığının ortasına, üçüncü ölçer ocağın en dip duvar yakınına ve dördüncü ölçer ise ocağın GD duvarı yakınına yerleştirilmiştir. Ölçümler 13:30-15:00 arasında alınmıştır. Şekil 15 ve 16 ölçülen sıcaklık ve nem değişimlerini göstermektedir. Beklendiği gibi, ocağın orta kısmında sıcaklık düşük ve nem oranı yüksektir. Bunun yanı sıra, sıcaklık ve nem oranları değişimi ocak girişine yaklaşıldıkça büyük değişim göstermekte ve girişten uzaklaşıldıkça azalmaktadır.

Ocak girişi ile iç kesimdeki sıcaklık arasında yaklaşık 4°C'lik, Ocak içinde yaklaşık %10 dolaylarında fark belirlenmiştir. Diğer bir deyişle, ocak için sıcaklık ve nem değişimleri farklı olduğu için uzun sürede çevre kayada görülebilecek etkiler de farklı olacaktır.



Şekil 15. Kuşini mermer ocağında yapılan birinci ölçümde elde edilen sıcaklık ve nem değişimleri.
Figure 15. Temperature and moisture changes of the first measurement taken in the Kuşini marble quarry.



Şekil 16. Kuşini mermer ocağında yapılan ikinci ölçümde elde edilen sıcaklık ve nem değişimleri.
Figure 16. Temperature and moisture changes of the second measurement taken in the Kuşini marble quarry.

3.5. Kaya Kütlesi Sınıflaması

Kaya kütlesi sınıflamaları, kaya yapılarının tasarlanmasında ve ilk uygunluk koşullarının incelenmesinde yaygınca kullanılmaktadır. Bunların arasında dünyada en yaygın olarak kullanılan sınıflamalar RMR (Bieniawski, 1989) ve Q (Barton vd., 1974) kaya kütlesi sınıflama sistemleridir. Bu çalışmada, ocağın duraylılığı ile doğrudan ilişkili mermer tabakası ve üstteki örtüyü oluşturan silisli kireçtaşı için kaya sınıflamaları yapılmış ve kaya kütlesinin mekanik özellikleri tahmin edilmiştir (Çizelge 2). Bu sınıflamaların yanı sıra, Hoek (2000) tarafından önerilen Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) de hesaplanmıştır. Bu sınıflama sistemlerine göre kaya kütlesinin oranlanmış tek eksenli sıkışma dayanımı ve oranlanmış elastik modülleri ise Çizelge 3 ve 4'te verilmiştir. Görüldüğü üzere, Hoek (2000) tarafından önerilen ilişkiler kullanıldığında kaya kütlesinin dayanımı çok küçük ve deformasyon modülü ise çok yüksek olarak elde edilmektedir. İlk yazar tarafından daha önce işaret edildiği gibi, Hoek'un önerisi yerinde deneylerle sınanmamıştır (Aydan vd., 1997; Aydan ve Kawamoto, 2000). Dolayısıyla günümüzde yaygın kullanılan bu yaklaşımın tartışmaya açık olduğu görülmektedir.

Çizelge 2. Başlıca kaya kütlesi sınıflama sistemlerine göre kaya kütlesi puanlarının değişim aralıkları.

Table 2. Changing intervals of rock mass points according to some rock mass classification systems.

Sınıflama sistemi	Mermer		Kireçtaşı
	Masif	Kırıklı	
Temel RMR	74-92	47-74	37-65
Q	6.25-16.7	4.16-11.7	2.08-12.5
GSI	75-85	55-75	45-55

Çizelge 3. Kaya sınıflama sistemlerine göre kaya kütlesinin tek eksenli sıkışma dayanımı.

Table 3. Uniaxial compressive strength of rock mass according to rock mass classification systems.

Sınıflama sistemi	Oranlanmış tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_{cm} / σ_c)		
	Mermer		Kireçtaşı
	Masif	Kırıklı	
Aydan ve Kawamoto (2000)	0.322-0.657	0.129-0.322	0.089-0.236
Hoek – RMR (Hoek, 2000)	0.249-0.434	0.012-0.249	0.030-0.143
Hoek – GSI (Hoek, 2000)	0.249-0.436	0.024-0.249	0.047-0.082

Çizelge 4. Kaya sınıflama sistemlerine göre kaya kütlesinin deformasyon modülü.

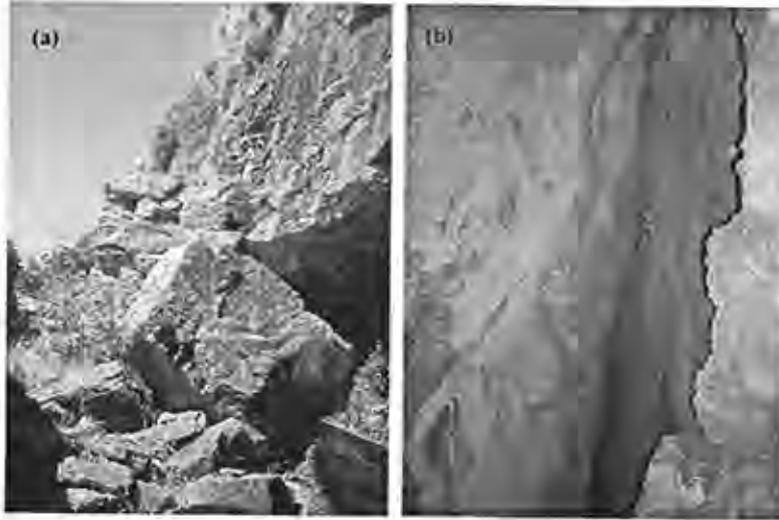
Table 4. Deformation modules of rock mass according to rock mass classification systems.

Sınıflama sistemi	Oranlanmış deformasyon modülü (E_m / E_s)		
	Mermer		Kireçtaşı
	Masif	Kırıklı	
Aydan ve Kawamoto (2000)	0.322-0.657	0.129-0.322	0.089-0.236
Hoek – RMR (Hoek, 2000) ($E_1=32$ GPa)	0.883-2.489	0.187-0.883	0.105-0.526
Hoek – GSI (Hoek, 2000) ($E_1=32$ GPa)	0.935-1.664	0.295-0.935	0.166-0.295

4. YER ALTI MERMER OCAĞININ DURAYLILIĞI

4.1. Kaya Bloğu Düşmeleri

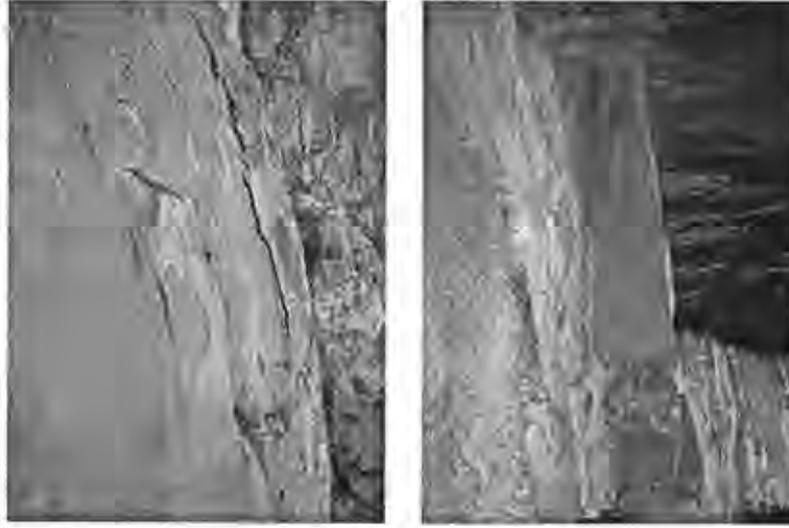
Kuşini antik yer altı mermer ocağının giriş ağzına yakın kısımlarda duraysızlıkların meydana geldiği, saha çalışmaları sırasında görülmüştür (Şekil 14). Özellikle iki eklem takımı ile sınırlanmış kaya blokları tavandan koparak yerçekimi etkisi altında ocağın giriş kısmında düşmüştür. Bu blokların bir kısmı ocak dışına, bir kısmı da ocak içine doğru düştükten sonra yuvarlanmışlardır. Düşen kısmı sınırlayan, KB topuğunu da ikiye ayıran, KB'ya eğimli tavanı oluşturan kireçtaşında erime boşlukları gelişmiştir. Bu erime boşluklarının gelişiminde kaya birimi içinde sürekliliği olan çatlakların etkili olduğu görülmüştür (Şekil 17). Şekil 14'de görülen ocak ağzının KB kısmında, eklem yüzeyi boyunca kaydığı tahmin edilen üst üste dizili kaya bloğu yığınının alttaki topuğun yenilmesi ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Bunun dışında ocak içinde önemli düzeyde kaya düşmesinin izlerine rastlanmamıştır.



Şekil 17. Ocak ağzında kaya düşmeleri ve kaymış kaya blokları (a) ile erime boşluğu olan çatlak (b).
Figure 17. Fallen and slid rock blocks at the entrance of the quarry (a), and karstic space along a joint surface (b).

4.2. Çevre Kaya Yenilmesi

Açıklığın boyutlarının oldukça büyük ve ocağın giriş kısmındaki genişliğin en az 30 m olması ve ayrıca yamaç içine doğru genişliğinin 20 m'yi aşması nedeniyle, kaya kütlelerinde gerilme yoğunlaşmasına bağlı olarak, yenilmenin meydana gelme olasılığı yüksektir. Böyle bir durumda özellikle ocağın giriş ağzına paralel yamaç içindeki en dip duvarda (KD duvarı) yenilmenin oluşma olasılığı yüksek olup, kavlaklanma olarak adlandırılabilir bir yenilme şeklinin görülme olasılığının yüksek olduğuna işaret etmektedir. Şekil 18, söz konusu yerde gözlenen iki kavlaklanma davranışını göstermektedir. Kavlaklanmaya neden olan diğer bir etken ise, Kuşini Tepesinde kış aylarında sıcaklığın oldukça azalmasıdır. Sıcaklık azalması, özellikle duvara dik yöndeki çekme gerilmelerinin artmasına neden olacağı için, yüzeye paralel kavlaklanma açısından uygun koşullar oluşmaktadır.



Şekil 18. Mermer ocağında görülen kavlaklanmalara örnekler.
 Figure 18. Examples of relief observed at the marble quarry.

4.3. Basit Duraylılık Analizleri

Antik mermer ocağı, Şekil 14'de gösterildiği gibi, ocak tavanı KB, KD ve GD duvarları boyunca kaya kütlelerinin gösterdiği direnç ile duraylılığını sağlamaktadır. Ocağın bu durumu, ancak 3 boyutlu duraylılık analiz yöntemleri ile araştırılabilir. Burada duraylılık problemini basitleştirmek için ocağın duraylılığı; uzun eksenini boyunca basit kiriş, iki ucu sabit kiriş ve kemerlenme koşulları için incelenmiştir. Kısa eksenini boyunca ise çıkma (tek ucu sabitlenmiş) kiriş olarak düşünülerek duraylılık analizleri yapılmıştır. Duraylılık analizlerinde kullanılan formülasyonların ayrıntıları Aydan (1989 ve 1990) ve Kawamoto vd. (1991)'ne ait yayınlarında bulunmaktadır. Ocak girişinde örtü tabakasını oluşturan kireçtaşı'nın kalınlığı 10 m olup, ocak içine doğru gidildikçe bu tabakanın kalınlığı giderek artmakta ve yaklaşık 25 m'ye ulaşmaktadır.

(a) Basit kiriş kuramına göre duraylılık analizi: Ocak tavanının KD duvarındaki direncin ihmal edilmesi varsayımı ile birlikte basit kiriş olarak düşünülürse, tavanın orta kısmında oluşan çekme gerilmesi yaklaşık olarak 1.78 MPa'dır. Bu durumda ocağın orta kısmında açılma çatlaklarının oluşması beklenir.

(b) İki ucu sabitlenmiş kiriş kuramına göre duraylılık analizi: Aynı şekilde; ocak tavanının KD duvarındaki direncin ihmal edilmesi varsayımı ile birlikte iki ucu sabitlenmiş kiriş olarak düşünülürse, tavanın üst yüzeyinde ve orta kısmında oluşan çekme gerilmeleri yaklaşık olarak 1.14 MPa ve 0.57 MPa'dır. Bu durumda tavanın üst yüzeyinde ve ocağın orta kısmında açılma çatlakları oluşması beklenir.

(c) Kemerlenme kuramına göre duraylılık analizi: Tavan kiriş olarak düşünüldüğünde, kaya içinde çekme gerilmelerinin oluşması kaçınılmazdır. Kayanın süreksizlik içermesi halinde, çekme gerilmesinin olmadığı varsayımı yaygındır. Eğer kayanın çekme dayanımının sıfır olduğu varsayılırsa, kemere etkiyen sıkışma gerilmesi 0.86 MPa olarak elde edilir ve kemerin alt yüzeyinde gerilme sıfır olur. Böyle bir gerilme ortamı için ocak tavanının duraylı olması beklenir. Kemer içindeki bu tür bir gerilme ortamı için kemerin ortasında veya duvarda kaya kemer içindeki süreksizliklerin direnci sürtünme şeklinde düşü-

nülürse, kaymaya karşı kemerin güvenlik katsayısı yaklaşık 30°'lik sürtünme açısı için 1.98'dir. Sonuç olarak tavanın kiriş halinde çalışmasıyla oluşacak çekme gerilmelerinden kaynaklanan düşey çatlaklar oluşsa bile, kemerlenme olgusu nedeniyle ocak tavanı tekrar kendini dengeleyerek duraylı hale gelmektedir. Ocakta uzun dönemde tavan göçmesi oluşumu, kayanın tek eksenli sıkışma dayanımı ve sürtünme açısının zamanla azalması sonucu oluşabilir.

(d) Çıkma (konsol) kiriş kuramına göre duraylılık analizi: Ocak tavanının, KB ve GD duvarlarındaki direncin ihmal edilmesi varsayımı ile birlikte çıkma (konsol) kiriş olarak düşünülürse, tavanın yamaç kısmında üst yüzeyde oluşan çekme gerilmesi yaklaşık olarak 0.72 MPa'dır. Bu durumda yamaç yüzeyinde ocağın KD duvarına paralel konumla uzun bir çatlağın oluşması beklenir. Böyle bir durumda, ocağın daha kazı süresinde göçmüş olması gerekmektedir. Ocağın açılmasından sonra en az 1000 seneyi aşkın bir sürenin geçtiği dikkate alınırsa, ocağın tavanı için çıkma kiriş yaklaşımının geçerli olmayacağı sonucuna varılabilir.

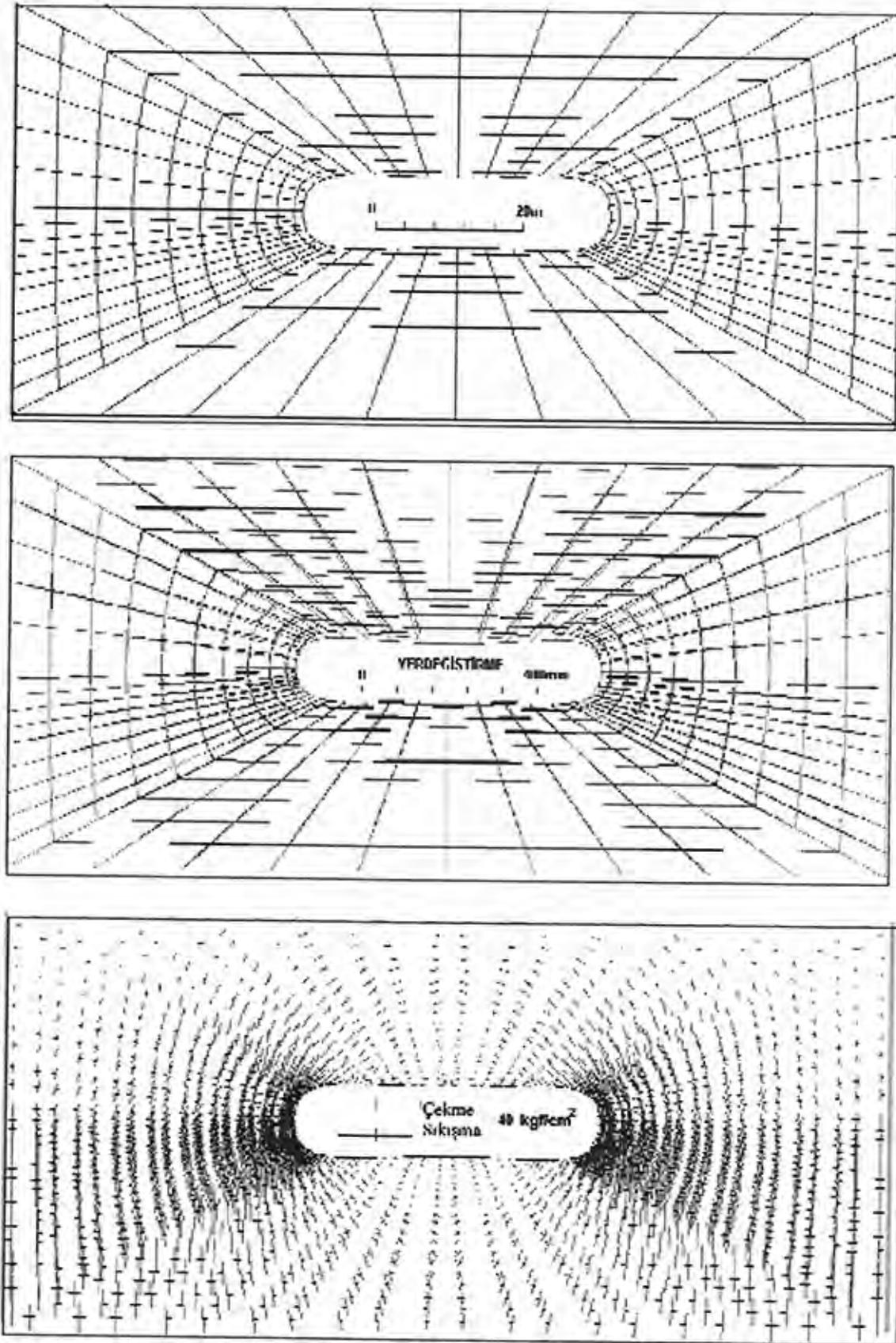
4.4. Sonlu Elemanlar Yöntemine Göre Duraylılık Analizleri

Kuşini antik mermer ocağının yakınlarında alınmış gerilme ölçümleri bulunmamaktadır. Ocak içinde gözlenen fay ve yakın civarda örneğin Efes, Kuşadası, Gümüldür, Bayındır'da alınan fay çiziklerinden tahmin edilen gerilme ortamları gözönüne alınarak yanal gerilme katsayısı yaklaşık 0.4 olarak alınmıştır. Hem yanal gerilme katsayısının, hem de ocağın şeklinin ocağın deformasyonuna, gerilim dağılımına ve yenilme zonu oluşumuna etkisini incelemek üzere elasto-plastik sonlu elemanlar yöntemiyle analizler yapılmıştır. Hesaplamalarda kullanılan girdi parametreleri Çizelge 5'te, elde edilen sonuçlar Şekil 19 ve 20'de verilmiştir.

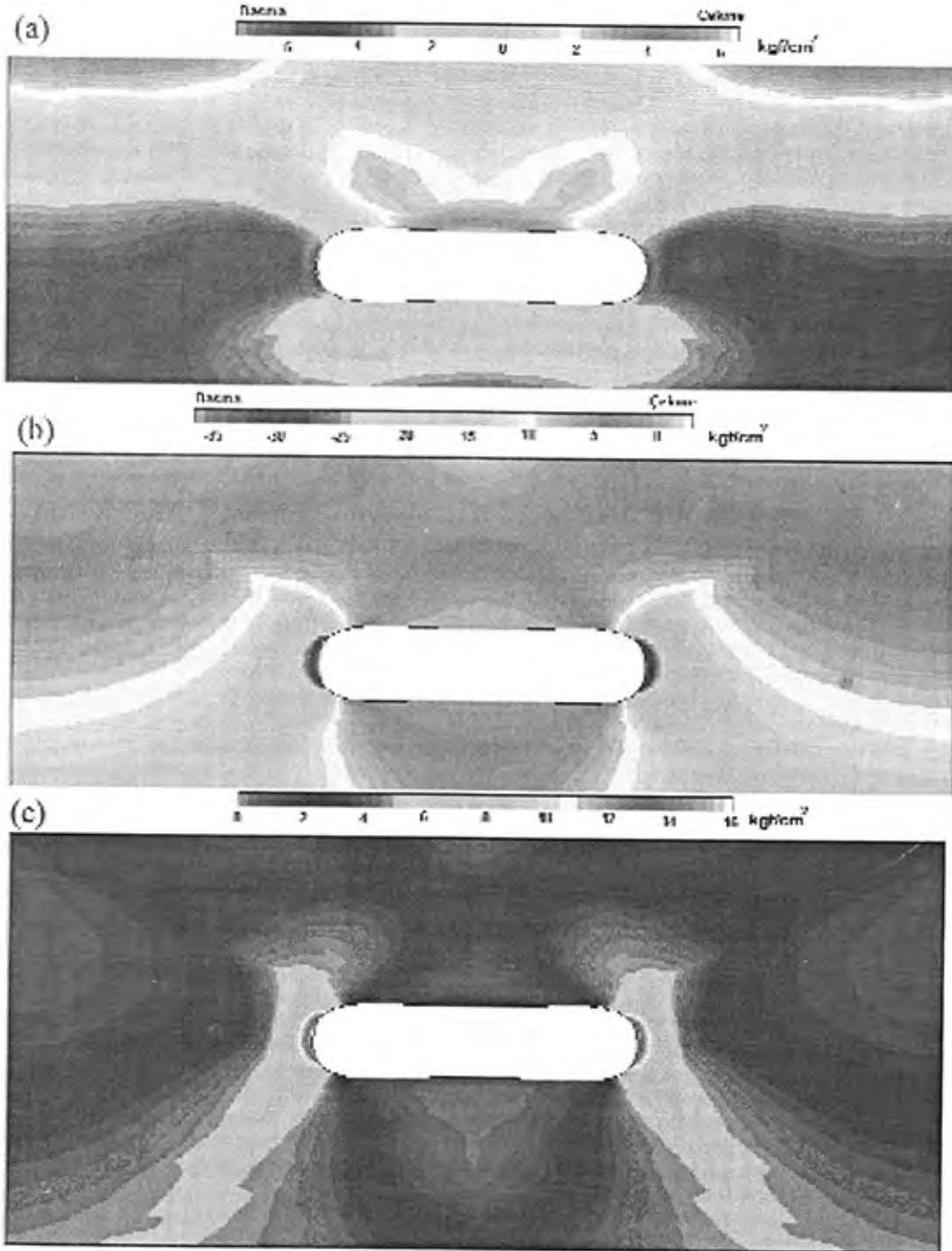
Çizelge 5. Sonlu elemanlar analizinde kullanılan malzeme özellikleri.
Table 5. Properties of the material used for finite element analysis.

Ortam	Birim hacim ağırlık (kN/m ³)	Kohezyon (MPa)	Sürtünme açısı (°)	Deformasyon modülü (MPa)	Poisson oranı
Kaya	25	1.71	34	2064	0.32

Yapılan analizler, kaya kütlelerinin elastik davranış göstermesi gerektiğine işaret etmektedir. Tavanda çekme gerilmeleri oluşmakta ve çekme gerilmesi örtü tabakasının kalınlığının 0.22 katına kadar yayılmaktadır. Diğer bir deyişle, tavanda yenilmenin görülme olasılığının yüksek olduğuna işaret etmektedir. Ancak analizlerde Drucker-Prager yenilme fonksiyonunun kullanılması halinde yenilme olgusu oluşmamaktadır. Bunun yanı sıra, ocağın her iki duvarında yüksek sıkıştırıcı gerilmeler oluşmakta ve bunların değeri yaklaşık 3.5 MPa civarındadır. Fay çiziklerinden elde edilen gerilme ortamının geçerli olması halinde, sonlu elemanlar yönteminden elde edilen sonuçların ocağın gözlenen durumuna yakın olması beklenmektedir. Bununla birlikte, yapılan analizler sürekli ortamlar için geçerli olduğundan süreksizlik içeren kayalarda çekme gerilmelerinin oluştuğu kısımlarda özellikle tavadan blok düşmesi beklenebilir.



Şekil 19. Sonlu elemanlar analizinde kullanılan ağ (a), elde edilen yer değiştirme (b) ve asal gerilmeler (c).
 Figure 19. Finite element net (a), calculated deformation (b), and axial stresses (c).



Şekil 20. Sonlu elemanlar analizinden elde edilen en büyük (a) ve en küçük (b) asal gerilmeler ile en büyük maksilama gerilmesi eşdeğer eğrilerinin (c) dağılımı.
 Figure 20. The maximum (a) and the minimum axial stresses (b) obtained from finite element analysis, and (c) equal contours of the maximum shear stress.

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Kuşini (Selçuk) antik yeraltı mermer ocağının mühendislik jeolojisi ve kaya mühendisliği açısından incelenmesi amacıyla yerinde ölçümler yapılmıştır. Ocak içinde yapılan bu ölçümler başlıca; sürekli sıcaklık, nem, süreksizliklerin yönleri, sürtünme direnç özellikleri ile fay düzlemi ve kayma açıları olup, elde edilen verilerin ışığı altında bazı mühendislik değerlendirmeleri yapılmıştır. Yapılan değerlendirmeler gerilme ortamının normal faylanmaya yakın ve yanal gerilme katsayısının 0.4 civarında olacağını göstermiştir. Kaya sınıflamalarından yararlanarak çevre kayasının mekanik özellikleri tahmin edilmiş ve bu özellikler kullanılarak tünelin deformasyon, gerilme ve yenilme zonu oluşumları incelenmiştir. Bu incelemeler, yeraltı çevresindeki kaya kütesinin elastik davranış göstermesi gerektiğini ve kısmen çekme gerilmelerinden dolayı yenilme zonunun oluşabileceğini işaret etmiştir. Bu çalışma ilk değerlendirmeleri işaret etmekte olup, ocağın daha sağlıklı analizi için ilave deneylerin ve 3 boyutlu duraylılık analizlerinin yapılmasının daha uygun olacağı düşünülmüştür.

KAYNAKLAR

- Aydan, Ö., 1989. The stabilisation of rock engineering structures by rockbolts. Doctorate Thesis, Nagoya University, Japan.
- Aydan, Ö., 1990. Kemerlenmede kaya sapmalarının etkisi. Madencilik, 30(2), 33-40.
- Aydan, Ö., 2000. Fay çiziklerinden yer kabuğuna etkileyen gerilmelerin saptanması için yeni bir yöntem ve uygulaması. Yerbilimleri, 22, 223-236.
- Aydan, Ö. ve Geniş, M., 2004. III. Amenhotep kaya mezarının (Mısır) çevre kaya özellikleri ve açıklıklarının duraylılığı. 7. Kaya Mekaniği Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Sivas, 191-202.
- Aydan, Ö., and Kawamoto, T., 2000, The assessment of mechanical properties of rock masses through RMR rock classification system. GeoEng2000, UW0926, Melbourne.
- Aydan, Ö., Ulusay, R., and Kawamoto, T., 1997. Assessment of rock mass strength for underground excavations. Proceedings of the 36th US Rock Mechanics Symposium, 777-786.
- Aydan Ö., Ulusay R., and Kumsar H., 2000. The implications of crustal strain - stress rate variations computed from GPS measurements on the earthquake potential of Turkey. ICGESA, The Second International Conference on GIS for Earth Science Applications, Menemen, Turkey (on CD)
- Barton, N., Lien, R., and Lunde, I., 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel supports. Rock Mechanics, 6(4), 189-239.
- Bieniawski, Z.T., 1989. Engineering Rock Mass Classifications. New York, Wiley.
- Hoek, E., 2000. Practical Rock Engineering <http://www.rocscience.com/hoek/>
- İleri, S., Kun, N. ve Türkmen, F., 1999. Antik dönem Anadolu mermerciliğinde jeolojinin önemi. Mermer Dergisi, 6, 16-20.
- Inceoğlu, İ., 1974. İzmir Selçuk-Torbali arası mermer zuhurları. MTA Rapor No. 5155 (yayımlanmamış).
- Kaptan, E., 1992. Tin and acient underground tin mining in Anatolia. Geological Engineering, 40, 15-19.

- Kawamoto, T., Aydan, Ö., and Tsuchiyama, S., 1991. A consideration on the local instability of large underground openings. Proceedings of the International Conference GEOMECHANICS'91, Hradec, 33-41.
- Kumsar, H., Çelik, S.B., Aydan, Ö., and Ulusay, R. 2003. Aphrodisias: Anatolian antique city of building and sculptural stones, Proceedings of Int. Symposium on Industrial Minerals and Building Stones, İstanbul, pp 301-309.
- Nishimoto, S., Yoshimura, Y., and Kondo, J., 2002. 'Hieratic Inscriptions from the Quarry at Qurna: an interim Report. British Museum Studies in Ancient Egypt and Sudan (BMSAES), 20-31.

2003 BULDAN DEPREMLERİNİN ÖZELLİKLERİ VE HASAR GÖREN YENİCE (DENİZLİ) ROMA YERALTI MEZARLARINA İLİŞKİN BİR DEĞERLENDİRME

Features of the 2003 Buldan Earthquakes and an Evaluation of Damaged Roman Underground Tombs in Yenice (Denizli)

Ömer AYDAN¹, Halil KUMSAR²

¹Department of Marine Civil Engineering, Tokai University, Shizuoka, Japonya

²Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Pamukkale Üniversitesi, Denizli

ÖZ

Yenice tarihi mezarları; Denizli ilinin 20 km kuzeybatısında Yenicekent beldesi sınırları içindeki Tripolis antik şehrinin yaklaşık 2 km kuzeyinde olup, Roma döneminden kaldığı öne sürülmektedir. Mısırlılarda olduğu gibi, bu mezarlar genellikle yumuşak ve süresizlik içermeyen tül ve killi kireçtaşı gibi kayalarda açılmıştır. Yazarlar, Temmuz 2003 Buldan depremleri öncesi söz konusu yeraltı mezarlarını incelemiş ve mezarları oluşturan kaya kutlesi ile mezar geometrisini belirlemişlerdir. 2003 Buldan depremleri sonrası mezarlar kısmen hasar görmüş ve yer yer kaya kopmaları gözlemlenmiştir. Bu çalışmada, mezarlar ile içinde açıldıkları çevre kayasındaki yenilmeler değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme mezarların ve yakın çevresinin jeolojisi ile tektoniğini ve süreksizliklerin yanı sıra, Temmuz 2003 Buldan depremleri ile kayanın mekanik ve fiziksel özelliklerini, deprem sırasında oluşan duraysızlık durumunu ile neden olduğu sorunları ile bir kaya yapısı olarak mezar boşlukları içeren killi kireçtaşının uzun süreli kaya davranışını kapsamaktadır.

Anahtar kelimeler: 2003 Buldan depremleri, duraylılık, Yenice-Tripolis antik mezarları.

ABSTRACT

Yenice antique tombs, belong to Roman time, are located in Tripolis antique city of Yenice town 20 km northwest of Denizli city. As used by Egyptians, these tombs were opened in soft rocks like tuff and clayey limestone. The authors investigated the underground tombs and their geometry before the 2003 Buldan earthquakes. Some rock falls and toppling occurred and the tombs were damaged during 2003 Buldan earthquakes. In this study, the failures of tombs and host rock were investigated. This evaluation covers geology and tectonics of tombs and surrounding rock, features of discontinuities and 2003 Buldan earthquakes, instability during the earthquakes, long-term rock behaviour of clayey limestone in which tombs were opened.

Key words: 2003 Buldan earthquakes, stability, Yenice-Tripolis antique tombs.

1. GİRİŞ

Yerüstü ve yeraltı madenciliği, Dünyada ilk kez Anadolu'da başlamıştır. Bunun ilk örneği Niğde'nin Celaller köyündeki demir ocağıdır (Kaptan, 1992). Ancak yeraltında mezar açımı ilk kez Mısır'daki firavun mezarlarında görülmekte ve bu kazıların 3500 sene önce yapıldığı bilinmektedir (Nishimoto vd., 2002; Aydan ve Geniş, 2004). Anadolu'daki yeraltı mezarları ilk kez Romalılar tarafından kazılmış ve bu gelenek Bizanslılar tarafından da kısmen devam ettirilmiştir. Romalılarda özellikle soylu insanların yeraltı mezarlarına gömülmesi, büyük bir olasılıkla, Mısırda firavunların yeraltı mezarlarına gömülmesinin dinsel bir etkinin devamı olduğu söylenebilir.

Bu kaya yapılarının büyük bir kısmı tahkimatsız olarak doğrudan kaya kütlesi içinde açılmıştır. Geçmişteki kazı teknolojisi ve deneyimler ışığında, bu amaçla mümkün olduğu kadar süreksizlik içermeyen, kazılması kolay olan tuf, kireçtaşı ve marn gibi kaya türleri tercih edilmiştir. Uzun dönem boyunca kuşkusuz söz konusu yapılar zaman zaman depremlere maruz kalmışlardır. Günümüzde bu tür yapıların tarihsel değerleri dışında, kullanımı söz konusu olmamakla birlikte, uzun süreli kayaların davranışları ve tahkimatsız kaya yapılarının statik ve dinamik koşullarda duraylılıklarının araştırılması oldukça önemli veriler elde edilmesine olanak sağlamıştır.

Yenice Roma kaya mezarları, antik Tripolis kentinin çok yakınında kazılmış ve yol inşası nedeniyle bir kısmı tahrip olmuştur. Bu mezarların açıldığı kaya kütlesinin indeks özellikleri ve kazı geometrisi incelenmiştir. 2003 Buldan depremi, sonrası bu antik kaya mezarlarında kısmen hasar meydana gelmiş ve yer yer kaya kopmaları ile kaya devrilmeleri gözlenmiştir (Şekil 1). Bu çalışmada, güncel kaya mekaniği ve mühendislik jeolojisinin eriştiği bilgi düzeyinin ışığı altında Yenice tarihi yeraltı mezarları ve çevre kayacı değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmede tarihi yeraltı mezarları çevresinin jeolojisi ve tektoniği özetle verilmiş, daha sonra Temmuz 2003 Buldan depremleri ile süreksizliklerin özellikleri, kayanın mekanik ve fiziksel özellikleri, deprem sırasında oluşan duraysızlık durumu ve sorunları ile bir kaya yapısı olarak mezarların uzun süreli kaya davranışı üzerinde durulmuştur.



Şekil 1. Yenice'deki Roma mezarlarının Temmuz 2003 Buldan depremi sonrasına ait görünümü.
Figure 1. View of antique Roman tombs in Yenice after the July 2003 Buldan earthquakes.

2. İNCELEME ALANI VE ÇEVRESİNİN JEOLojİSİ

İnceleme alanı ve çevresinin yerel jeolojisi Şekil 2'deki haritada gösterilmiştir. Temel kaya şist olup, bölgenin kuzey kısmında görülmekte ve GB'ya 20°-30° eğimlidir. Bu temel kayaç Neojen yaşlı marn, kireçtaşı, kumtaşı ardalanması tarafından üzerlenir. Bu tortul istifteki tabakaları genel eğimi GB'ya doğru olmakla birlikte, zaman zaman bu eğimler meydana gelen tektonik hareketler sonucu

değişmiştir. Antik mezarların içinde açıldığı kaya birimi, Kolonkaya formasyonuna ait marnlardan oluşmaktadır ve tabaka eğimi GB'ya doğru 15° - 20° arasında değişim göstermektedir. Mezarların kazıldığı kayayı oluşturan kısımda tabaka kalınlığı 25-40 m arasında olup, kalınlığının en fazla olduğu ve süreksizliklerin pek görülmediği bir marn seviyesinin mezarlar için en uygun kaya birimi olarak seçildiği gözlenmiştir.



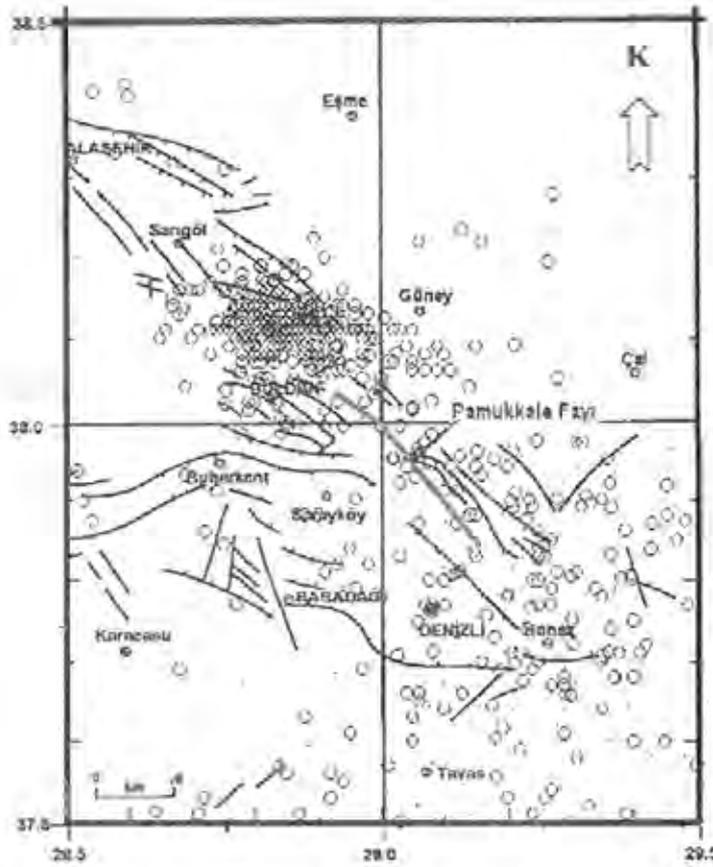
Şekil 2. İnceleme alanı ve çevresinin yerel jeolojisi (Çakır, 1999'dan düzenlenmiştir).
Figure 2. Local geology of the study area and surroundings (arranged from Çakır, 1999).

3. İNCELEME ALANININ SİSMOTEKTONİK ÖZELLİLLERİ

İnceleme alanı ve çevresi, Ege bölgesinin genişleme alanı içinde yer almaktadır. Türkiye'nin tektonik yapısına bağlı olarak, Ege bölgesinde devam eden açılma süresince Denizli ili ve çevresindeki yerleşim alanlarını etkileyen önemli yıkıcı depremler meydana gelmiştir. Bu depremler tarihsel dönem ve aletsel dönem depremleri olarak gruplandırılabilirler. Şekil 3, bölgedeki diri faylar ile Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi (DAD)'nin 1991-2004 yılları arasında meydana gelmiş depremlere ait merkez üslerini göstermektedir. Antik mezarların hemen güneyinden Pamukkale fayı ile ilişkili Yenice (Tripolis) fayı bulunmakta ve bu fay Büyük Menderes Nehri'nin aktığı vadide doğrultu atımın belirgin olduğu bir fay zonudur. Temmuz 2003 Buldan depremine ait artçı depremler bu fay zonu üzerinde meydana gelmiştir.

Tarihsel döneme ait depremlerdeki veriler değerlendirildiğinde, günümüzde Pamukkale olarak adlandırılan ve antik dönemde Hierapolis kenti olan Roma dönemlerinde yoğun yerleşimin olduğu şehri etkileyen yıkıcı depremlere ait kayıtlar mevcuttur. Bu verilere göre M.S. 17, M.S. 60, M.S. 300, M.S. 494 ve 700 tarihlerinde meydana gelen depremlerde Pamukkale ve yakın çevresinde büyük hasarlar ve yıkılmalar meydana gelmiştir (Altunel, 2000). 1358 yılında meydana gelen deprem sonucu Pamukkale'de büyük hasar meydana gelmiş ve bunun sonucunda da Pamukkale terk edilmiştir. 1878 yılında mey-

dana gelen deprem sonrasında Pamukkale ve çevresindeki hasar tespiti için Sultan II Abdulhamit tarafından bir teknik eleman görevlendirilmiştir.

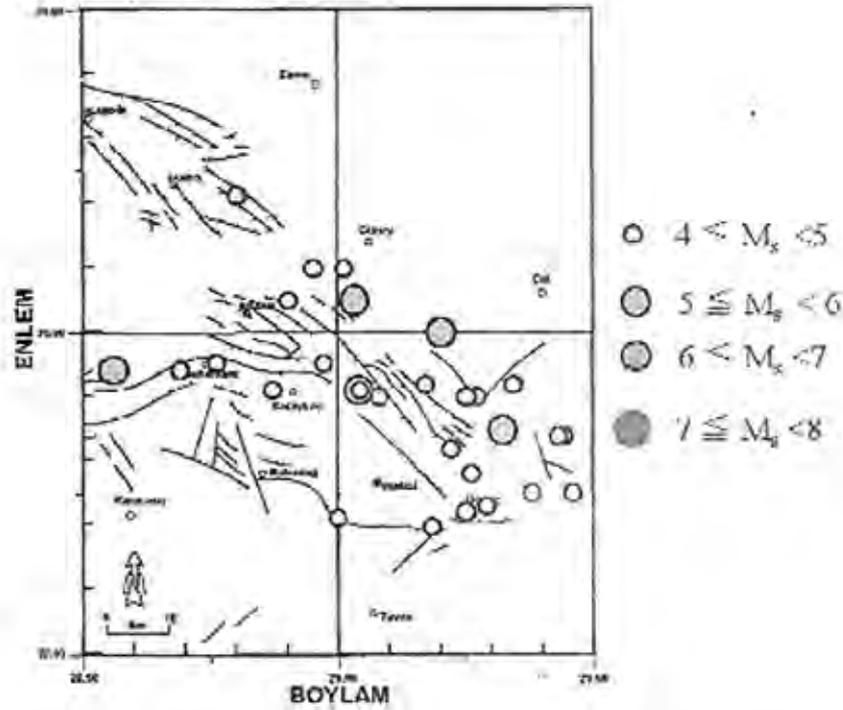


Şekil 3. Ocak 1991 ve Kasım 2004 tarihleri arasında Denizli Ovası'nda meydana gelen depremlerin merkez üstlerinin dağılımları ve bölgedeki başlıca faylar (deprem verileri DAD (2004)'ten alınmıştır).

Figure 3. Epicentre distribution of earthquakes in the Denizli Plain between January 1991 and November 2004, and main faults in the region (earthquake data were obtained from DAD (2004)).

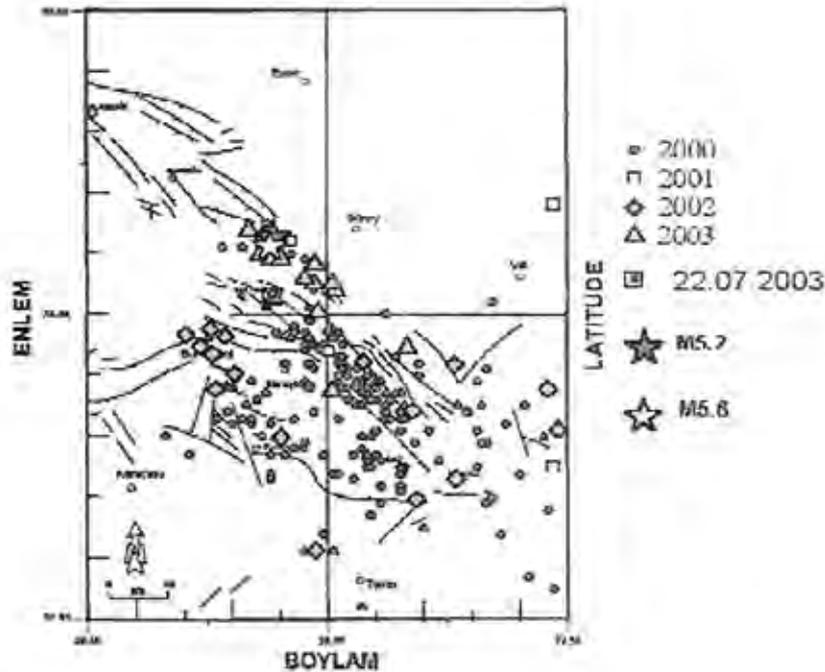
Türkiye Deprem Vakfı (TDV, 2000) verilerine göre, 1900 yılı ve sonrasında Denizli'de meydana gelen ve aletsel büyüklüğü en fazla olan depremi 1945'deki 6.8 büyüklüğündeki depremdir. Ancak bu depreme ait güvenilir kayıtlar mevcut değildir. 1925 yılında 5.9, 1933 yılında 5.7 ve 1945 yılında meydana gelen 6.8 büyüklüğündeki depremlere ilişkin ayrıntılı verilere de ulaşamamıştır. Denizli ve çevresinde 1900-2003 yılları arasında meydana gelen ve büyüklükleri 4'den büyük depremlerin dağılımları Şekil 4'de verilmiştir.

1965 yılında aletsel büyüklüğü 5.7 olan Honaz odak merkezli depreme ilgili olarak yaklaşık 15 km uzunluğunda ve Karateke köyü, Honaz ilçesi ve Kızıyer köyü arasındaki alanda KD-GB doğrultulu bir yüzey kırığının oluştuğu bu depremi yaşayan yöre halkı tarafından sözlü olarak ifade edilmiştir. Bu depremlerin dışında 1990 yılında Çameli'de 5.2 büyüklüğünde, 21 Nisan 2000 tarihinde merkez üstü Honaz ilçesi olan 5.2 büyüklüğünde, 23-26 Temmuz 2003 tarihleri arasında Merkez üstü Buldan ilçesi civarında 5.2, 5.0 ve 5.6 büyüklüklerinde depremler meydana gelmiştir (Şekil 5).



Şekil 4. 1900–20.07.2003 tarihleri arasında Denizli Ovası'nda meydana gelen depremlerin merkez üstlerinin dağılımı ve bölgenin tektonik yapısı ile olan ilişkisi (Aydın vd., 1996 ve KOERI, 2003'ten alınan verilere göre hazırlanmıştır, fay haritası MTA (1992)'den alınmıştır).

Figure 4. Earthquake activity between 1900 and 20.07.2003, and relationship with tectonic structure of the Denizli Plain (prepared with the data of Aydın et al, 1996 and KOERI, 2003, tectonic map was taken from MTA (1992)).



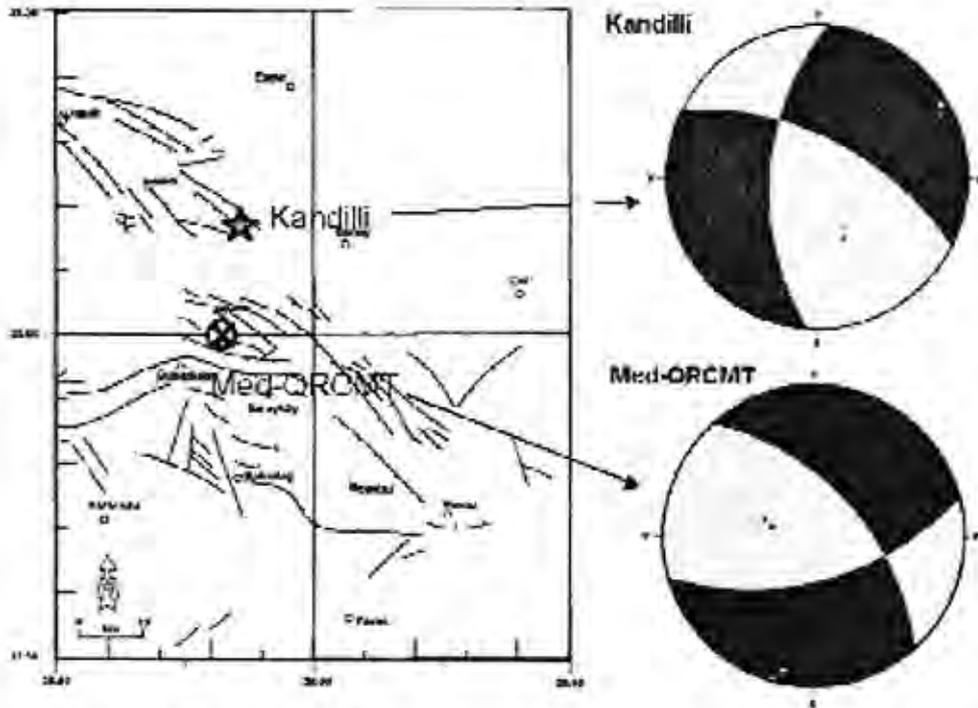
Şekil 5. 21.04.2000 tarihi ve 27.07.2003 tarihleri arasında Denizli Ovası'nda meydana gelen depremlerin merkez üstlerinin dağılımı ve bölgenin tektonik yapısı ile olan ilişkisi (Aydın vd., 1996 ve KOERI, 2003'ten alınan verilere göre hazırlanmıştır, fay haritası MTA (1992)'den alınmıştır).

Figure 5. Earthquake activity between 21.04.2000 and 27.07.2003, and relationship with tectonic structure of Denizli basin (prepared using the data of Aydın et al, 1996 and KOERI, 2003, tectonic map was taken from MTA (1992)).

4. 2003 BULDAN DEPREMLERİNİN ÖZELLİKLERİ

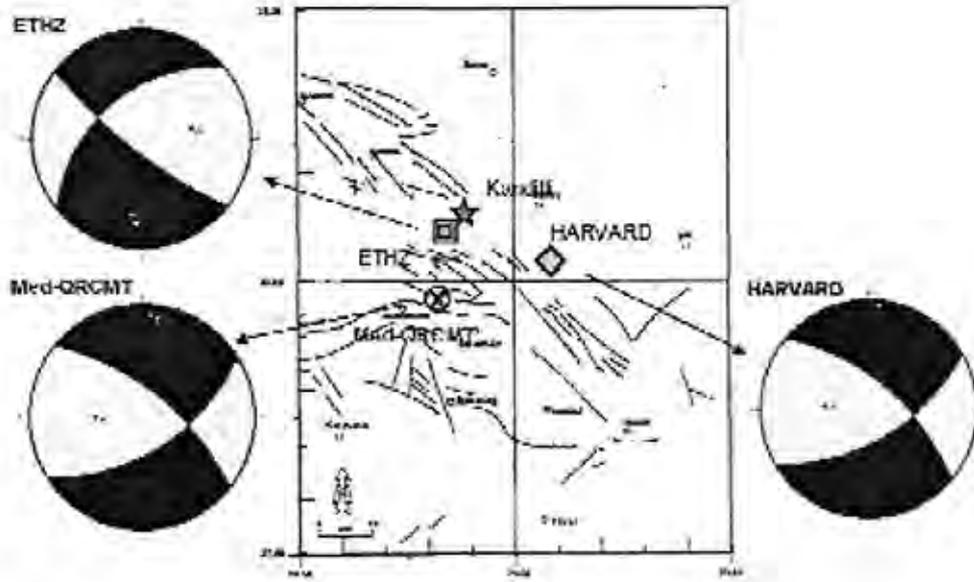
23 ve 26 Temmuz 2003 tarihlerinde Denizli'nin Buldan ilçesi yakınlarında meydana gelen depremlerin faylanma mekanizmaları ve bunların bölgede bilinen aktif faylarla ilişkisi bu bölümde sunulmuştur. Büyüklükleri 5.2 ve 5.6 olarak Kandilli Gözlemevi tarafından belirlenen bu depremlerin mekanizmaları Kandilli Gözlemevi ve Med-QRCMT tarafından sunulmuş ve INTERNET aracılığı ile ulaştırılabilir hale getirilmiştir. Söz konusu kuruluşlar tarafından belirlenen depremin yeri ve faylanma parametreleri Çizelge 1 ve Çizelge 2'de sunulmuştur. Şekil 6 Çizelge 1'de, Şekil 7 ise Çizelge 2'de verilen mekanizmaları ve depremlerin tahmin edilen merkez üstünü MTA tarafından hazırlanan haritadaki aktif faylarla birlikte göstermektedir. 5.2 büyüklüğündeki deremi oluşturan fay KB-GD doğrultulu olup, KD'ya eğimlidir. Kandilli'nin (KOERI, 2003) çözümü sağ yanal atımlı normal faylanma olmasına karşın, Med-QRCMT (2003) çözümünde ise, yanal bileşen sağ yöndedir. Bu depremin 1969 Alaşehir depreminde kırılan fayın doğu ucundaki bir bölgede meydana geldiği anlaşılmaktadır.

26 Temmuz 2003'de 5.6 büyüklüğündeki depremi oluşturan fayın 5.2'lik depreme eşlenik ikinci bir fay üzerinde meydana geldiği, deprem sonrası artçı dağılımı dikkate alınarak tahmin edilmektedir. Bu fay KD-GB gidişli olup, ETHZ (2003)'e göre KB'ya ve Harvard ve Med-QRCMT'e göre ise GB'ya eğimlidir. Bütün çözümler yatay bileşenin sağ yanal yönlü olduğuna işaret etmektedir. Bu fay, MTA'nın hazırladığı aktif fay haritasında gözükmemekle birlikte, uydu görüntülerinde gözlenen KD-GB gidişli doğrusallık ile uyum içersindedir.



Şekil 6. 23 Temmuz 2003'de Buldan'da meydana gelen 5.2 büyüklüğündeki deprem için Kandilli Gözlemevi (KOERI, 2003) ve Med-QRCMT (2003)'in belirledikleri merkez üsleri ve faylanma çözümleri.

Figure 6. Epicentre location of 5.2 magnitude of the 23 June 2003 Buldan earthquake and its focal plane solutions determined by Kandilli Observatory (KOERI, 2003) and Med-QRCMT (2003).



Şekil 7. 26 Temmuz 2003'de Buldan'da meydana gelen deprem için Kandilli Gözlemevi (KOERI, 2003) ve Med-QRCMT (2003) 'in belirledikleri merkez üsleri ve faylanma çözümleri.

Figure 7. Epicentre location of 5.6 magnitude of the 26 June 2003 Buldan earthquake and its focal plane solutions determined by Kandilli Observatory (KOERI, 2003) and Med-QRCMT (2003).

Çizelge 1. M5.2 Buldan depreminin değişik kuruluşlar tarafından belirlenen parametreleri.

Table 1. Parameters of the M5.2 Buldan earthquake determined by different institutions.

Kuruluş	Enlem	Boylam	Derinlik (km)	Büyüklik	Doğrultu	Eğim	Kayma Açısı
Kandilli (2003)	38.1718	28.8533	5.0	$M_L = 5.2$	NP1 297	60	-139
Med-QRCM	38.00	28.82	6.0	$M_w = 5.3$	NP1 318	55	-41
T (2003)					NP2 74	58	-137

Çizelge 2. M5.6 Buldan depreminin değişik kuruluşlar tarafından belirlenen parametreleri.

Table 2. Parameters of the M5.2 Buldan earthquake determined by different institutions.

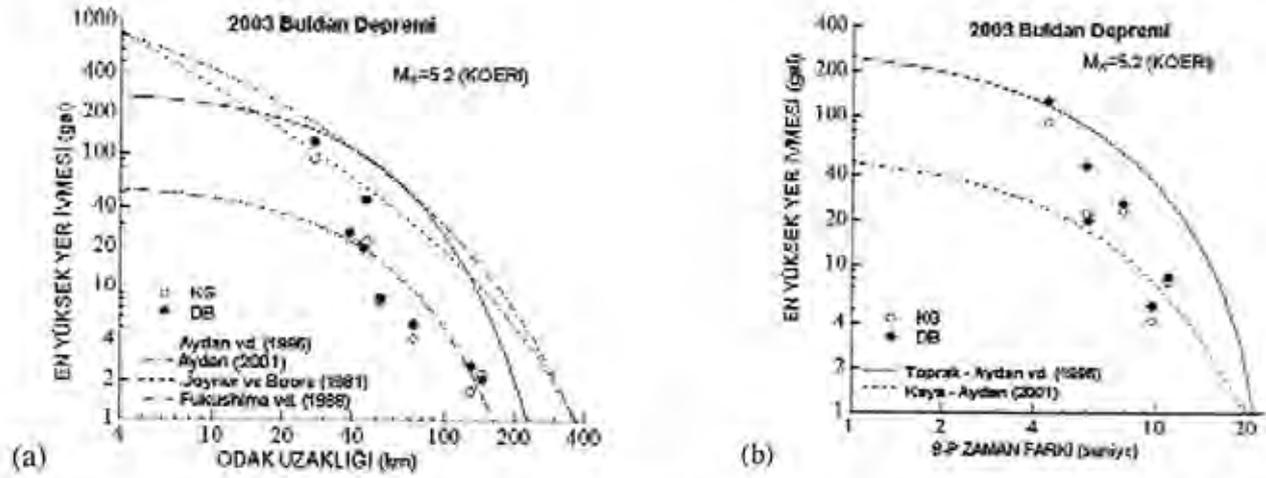
Kuruluş	Enlem	Boylam	Derinlik (km)	Büyüklik	Doğrultu	Eğim	Kayma açısı
KOERI (2003)	38.1718	28.8533	5.0	$M_L = 5.6$			
ETHZ (2003)	38.09	28.84	25.0	$M_w = 5.5$	NP1 230	46	-163
Harvard (2003)	38.04	29.08	22.3	$M_w = 5.4$	NP1 60	58	-146
					NP2 310	62	-37
Med-QRCMT (2003)	37.97	28.82	15.0	$M_w = 5.4$	NP1 58	56	-148
					NP2 309	64	-39

5. 2003 BULDAN DEPREMİYLE İLGİLİ KUVVETLİ YER HAREKETLERİ

5.1. M5.2'lik Buldan Depreminin İvme Kayıtları ve Özellikleri

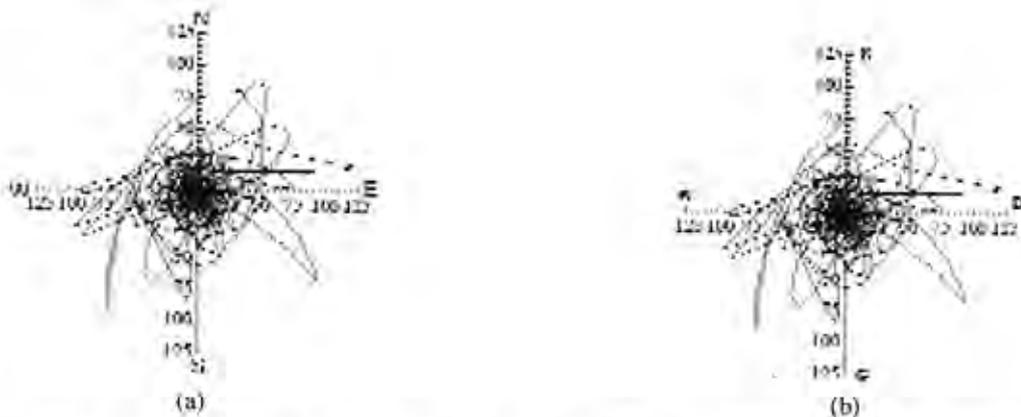
Deprem Araştırma Dairesi tarafından Denizli, Manisa, Uşak, Nazilli, Kuyucak, Köşk, Bornova ve Sarayköy kuvvetli yer hareketi istasyonlarında bu depremle ilgili alınan kayıtlara İNTERNET aracılığı ile ulaşılmıştır. Elde edilen kayıtlar arasında Sarayköy kaydı oldukça önemli olup, en yüksek ivme 120 gal dolaylarındadır.

Elde edilen en yüksek ivmenin uzaklığa ve S-P zaman farkına göre değişimi Şekil 8a ve 8b'de gösterilmiştir. Sarayköy istasyonu depremin dış merkezine 27.4 km ve Denizli ise 45.9 km uzaklıktadır. Sarayköy'deki kaydın en yüksek değeri 120 gal dolaylarındadır. Şekil 9a yatay düzlemde Sarayköy ve Şekil 11a Denizli'deki ivmenin etkime şeklini göstermektedir.



Şekil 8. 5.2 büyüklüğündeki depreme ilişkin (a) ivmenin odaktan olan uzaklıkla azalımı ve (b) ivmenin S-P zaman farkına göre azalımı.

Figure 8. Distribution of acceleration against distance (a), and S-P wave time difference for 5.2 magnitude of earthquake.

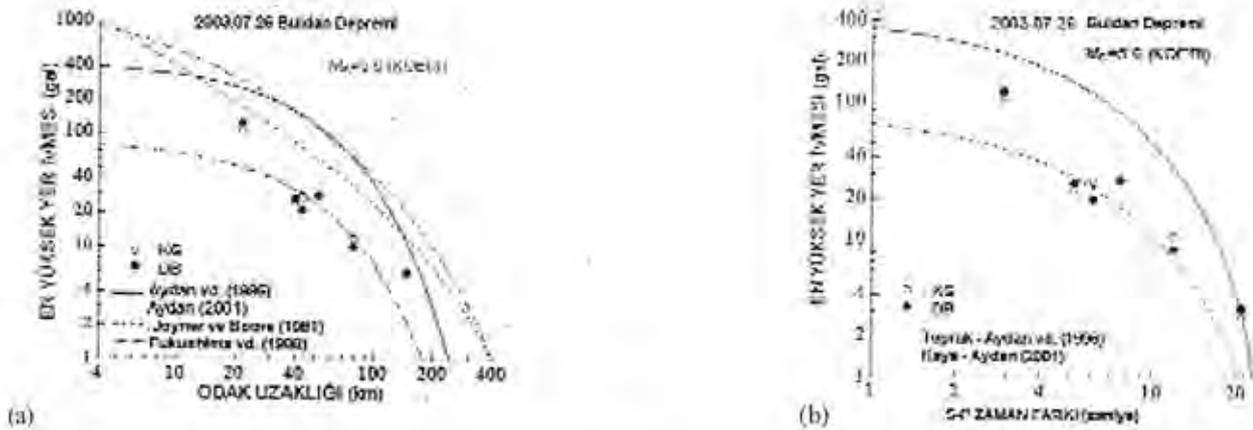


Şekil 9. Sarayköy'de yatay düzlemde ivmenin etkime şekli: (a) 5.2 büyüklüğündeki deprem ve (b) 5.6 büyüklüğündeki deprem.

Figure 9. Trace of acceleration response on horizontal plane in Sarayköy for 5.2 (a) and 5.6 (b) earthquakes.

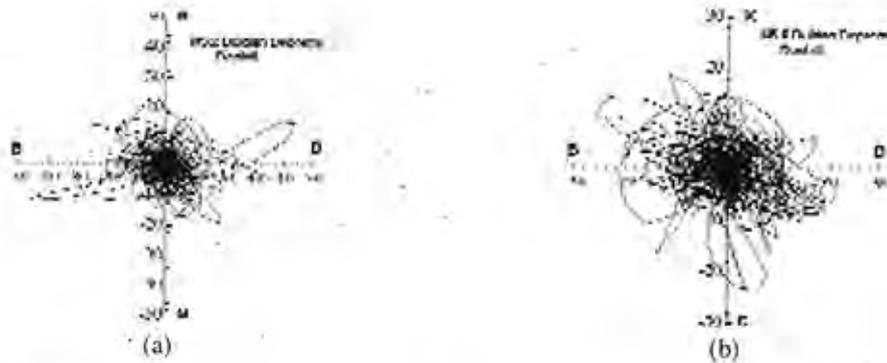
5.2. M5.6'lık Buldan Depreminin İvme Kayıtları ve Özellikleri

26 Temmuz 2003 tarihinde meydana gelen 5,6 büyüklüğündeki depreme ilişkin elde edilen kayıtlardan Denizli ile Sarayköy kayıtları Şekil 10a ve 10b'de gösterilmiştir. Elde edilen en yüksek ivmenin uzaklığa ve S-P zaman farkına göre değişimi Şekil 10b'de gösterilmiştir. Sarayköy istasyonu depremin dış merkezine 27.4km ve Denizli ise 45.9km uzaklıktadır. Sarayköy'deki kayıtların en yüksek değeri 153 gal dolaylarındadır. Şekil 9b ve 11b yatay düzlemde Sarayköy ve Denizli'deki ivmenin etkime şeklini göstermektedir.



Şekil 10. 5.6 büyüklüğündeki depreme ilişkin (a) ivmenin odakta olan uzaklıkla azalımı ve (b) ivmenin S-P zaman farkına göre azalımı.

Figure 10. Distribution of acceleration against distance (a), and S-P wave time difference for 5.6 magnitude of earthquake.

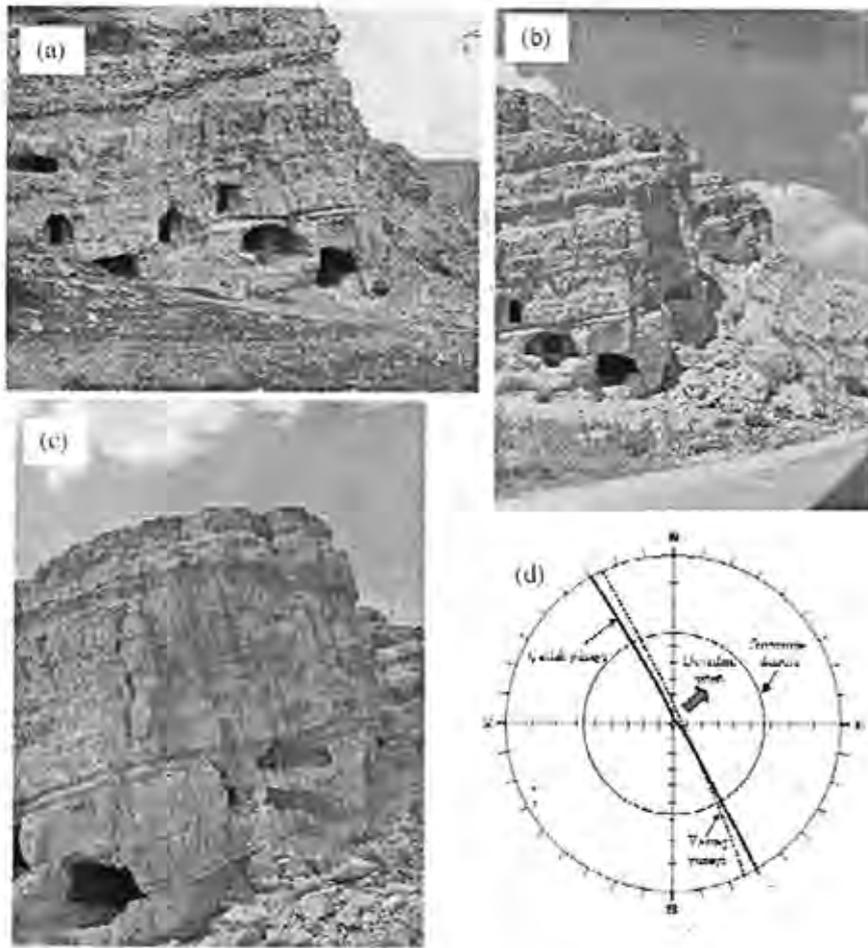


Şekil 11. Denizli'de yatay düzlemde ivmenin etkime şekli: (a) 5.2 büyüklüğündeki deprem ve (b) 5.6 büyüklüğündeki deprem.

Figure 11. Trace of acceleration response on horizontal plane in Denizli for 5.2 (a), and 5.6 (b) earthquakes.

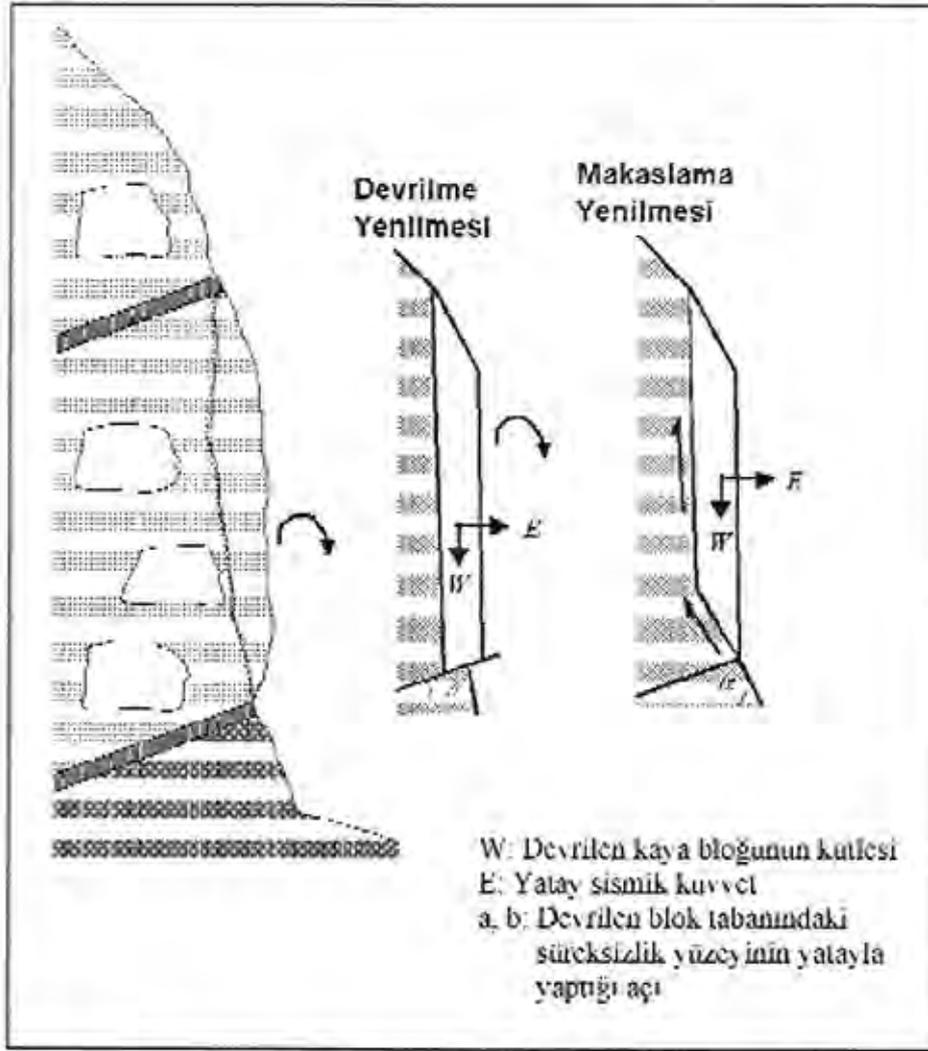
6. ANTİK YERALTI MEZARLARINDA GÖZLENEN HASARLAR

Tripolis antik kenti; Karia, Lydia ve Phrygia bölgelerini ayıran sınır bölgesinde yer alan bir Lydia kenti olarak bilinir. Antik kent, İ.Ö. 160-159 yıllarında Bergama Kralı II. Attalos tarafından önceden var olan üç yerleşim yerinin bir araya getirilmesi ile kurulmuş ve Tripolis olarak isimlendirilmiştir (Ceylan, 2000). Çalışma alanında yapılan incelemelerde, antik mezar boşluğu elde etmek için yumuşak kayanın oyulması sonucunda, kayanın kısmen hasar gördüğü ve Buldan depreminin etkisiyle de kaya kopmalarının meydana geldiği gözlenmiştir. (Kumsar vd., 2003). Şekil 12 deprem öncesi ve sonrasındaki antik mezarların durumunu göstermektedir. Devrilmeler ve düşmeler, özellikle yamacın doğu veya kuzeydoğu cephesinde gözlenmiştir. Bir önceki bölümde sunulan yatay düzlemedeki ivme izleri ile karşılaştırıldığında, yenilme yönünün ivmenin etkime şekli ile doğrudan ilişkili olduğu anlaşılmaktadır. Yenilmelerin meydana gelmesinde tabakalanmaya dik yöndeki eklem sistemleri ile marınların içindeki az pekişmiş kumtaşı tabakalarının serbest yüzey oluşumunda etkili olduğu anlaşılmaktadır. Yenilme biçimlerinin, Şekil 13'de gösterildiği gibi, iki şekilde mekanik olarak modellenmesi mümkündür.



Şekil 12: Yenice-Tripolis kaya içi antik mezarlarının kazıldığı yamaç yüzeyinin (a) deprem öncesi, (b) ve (c) deprem sonrası görünümü, (d) yamaçtaki devrilmelerin kinematik analizi.

Figure 12. View of Yenice-Tripolis antique underground tombs before the earthquakes (a), after the earthquakes (b and c), kinematical analysis of toppling on the slope (d).



Şekil 13. Antik Mezarlarda olası yenilme biçimleri için mekanik modeller.
Figure 13. Mechanical models for possible failure types at antique tombs.

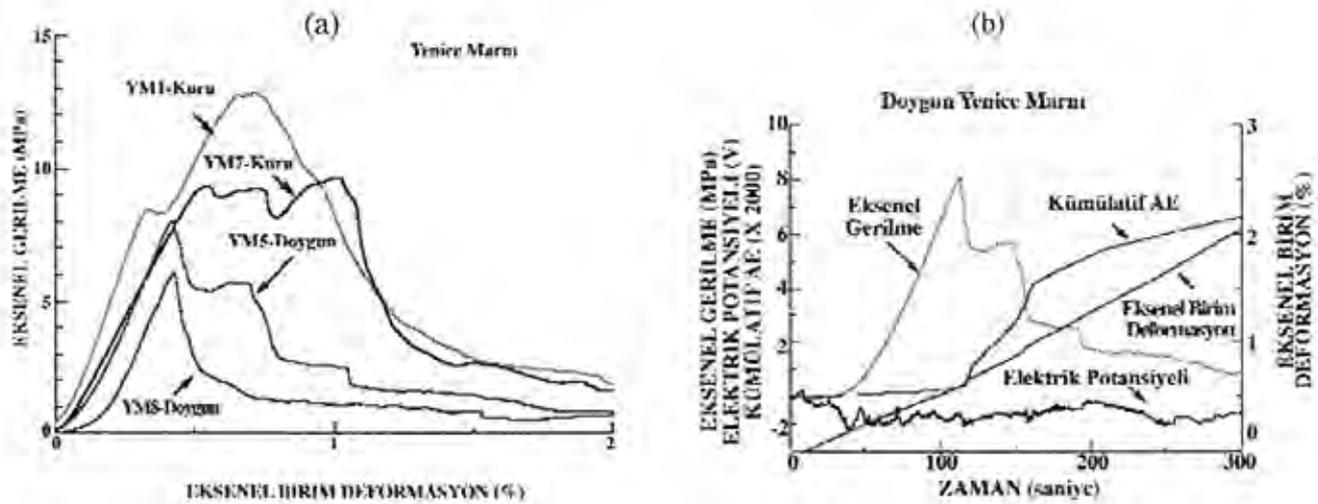
7. ÇEVRE KAYASININ MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Antik mezarlardan devrilen kaya parçalarından bazı örnekler alınmış ve bunların laboratuvarında fiziksel ve mekanik özellikleri tayin edilmiştir. Kumtaşı tabakası hemen hemen kohezyonsuz olup, çok çabuk dağılmaktadır. Bu birim, aynı zamanda Babadağ ilçesinde görülen kumtaşına oldukça benzer olup, tek eksenli sıkışma dayanımı 100-200 kPa dolaylarındadır. Antik mezarların açıldığı mam tabakasının yüzeyinin kuru ve ıslak durumda belirlenmiş fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3'de verilmiştir. Deneyler sırasında tayin edilen bazı parametrelerin değişimi ise, Şekil 14a ve 14b'de görülmektedir. Kaya, suya karşı dayanıklı olmakla birlikte, dayanımı kuru durumdaki dayanımın yaklaşık % 30-40'ı kadar azalmaktadır.

Araziden alınan ve yamaçtaki süreksizlik yüzeyinden kopmuş örnekler üzerinde yapılan eğimlendirme (tilt masası) deneylerinden süreksizlik yüzeylerinin sürtünme açısı 32°-37° arasında ölçülmüştür. Düzlenmiş yüzeylerde ölçülen sürtünme açısı 28°-32° arasında bir değişim göstermektedir.

Çizelge 3. Marnın kuru ve ıslak durumda fiziksel ve mekanik özellikleri.
Table 3. Physical and mechanical properties of marl under dry and wet conditions.

Koşul	Birim hacim ağırlık (kN/m ³)	Makaslama dalgası hızı (km/s)	Tek eksenli sıkışma dayanımı (MPa)	Elastik modül (GPa)	İğne batma katsayısı (NPI) (N/mm)
Kuru	19.0-20.9	2.64-3.49	9.74-12.81	1.82-1.83	125-200
Islak	19.3-21.1	2.75-3.77	6.08-8.08	1.26-1.32	50-100



Şekil 14. (a) Farklı marn örnekleri için kuru ve ıslak durumda gerilme-birim deformasyon ilişkileri ve (b) ıslak marn örneğinin tek eksenli sıkışma deneyi sırasındaki davranışı.

Figure 14. Relation between stress and unit deformation for different marl samples under dry and wet conditions, and (b) behaviour of wet marl during uniaxial compression test.

8. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Tripolis antik şehrinin yaklaşık 2 km kuzeyindeki Roma döneminden kalmış Yenice tarihi mezarlarında 2003 Buldan depremi kısmen hasar meydana gelmiş ve yer yer kaya kopmaları gözlenmiştir. Yazarlar bu çalışmada bu tarihi yeraltı mezarlarının çevre kayacını değerlendirmiş ve oluşan yenilme nedenleri araştırılmıştır. Çevre kayacının, marnın su içermesine bağlı olarak, dayanımı azalmakla birlikte suya karşı duraylı olduğu söylenebilir. İnce katmanlı az pekişmiş kumtaşı ile bu marn tabakaları ardalanmalıdır. Çevre kayacı içersinde tabakalanmanın yanı sıra, yamaç yüzeyine yakın düşey eklem takımları ve deprem sırasında etkiyen en büyük ivme yönü yenilmenin ana nedenleridir. Yenilme için devrilme ve makaslama yenilmesi biçimleri mümkün olup, hangisinin etken olduğu yapılacak duraylılık analizleri ile açıklığa kavuşacaktır. Bu tür analizler, sınır denge yaklaşımı ile dinamik sönümlü sayısal yöntemler aracılığı ile mümkündür.

KAYNAKLAR

- Altunel, E., 2000. L'attivit  sismica a Hierapolis e nelle zone limitrofe (Hierapolis ve yakın çevresinde tarihsel deprem aktivitesi) *Ricerche Archeologiche Turche Nella Vale del Kykos, (Lykos Vadisi Türk Arkeoloji Araştırmaları)*. Francesco D'Andria and Francesca Silvestrelli (eds.), Universita Di Lecce, Italy, 229-325.
- Aydan,  . ve Geniş, M., 2004. III. Amenhotep kaya mezarının (Mısır) evre kaya özellikleri ve açıklıklarının duraylılığı. 7. Kaya Mekaniği Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Sivas, 191-202
- Aydan,  ., Sezaki, M., and Yazar, R., 1996. The seismic characteristics of Turkish earthquakes. 11th World Conference on Earthquake Engineering, Acapulco, Mexico, CD-2, Paper No. 1025.
- Ceylan., A., 2000. Scavia Tripolis nella necropoli di Buldan (Tripolis antik kenti ve Buldan nekropol kazı alışmaları). *Lykos Vadisi Türk Arkeoloji Araştırmaları*, F. D'Andria and F. Silvesterelli (eds.), 69-95.
- akır, Z., 1999. Along - strike discontinuity of active normal faults and its influence on Quaternary travertine deposition: Examples From Western Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 8, 67 - 80.
- DAD, 2004. <http://www.deprem.gov.tr>
- ETHZ, 2003. http://seismo.ethz.ch/moment_tensor/
- Harvard, 2003. <http://www.seismology.harvard.edu/>
- Kaptan, E., 1992. Anadolu'da kalay ve eski yeraltı kalay madenciliği. *Jeoloji Mhendisliđi*, 40, 15-19.
- KOERI 2003. <http://www.koeri.boun.edu.tr/>
- Kumsar, H., elik, S., and Aydan,  ., 2003. Some characteristics of recent earthquakes in western Turkey. *International Colloquium on Instrumentation and Monitoring of Landslides and Earthquakes in Japan and Turkey*, Koriyama, Japan, 111-122.
- Med-QRCMT, 2003. <http://mednet.ingv.it/events/QRCMT/>
- MTA, 1992. 1/1.000.000  lekli Türkiye diri fay haritası. MTA Yayını, Ankara.
- Nishimoto, S., Yoshimura, Y., and Kondo, J., 2002. Hieratic inscriptions from the quarry at Qurna: an interim report' *British Museum Studies in Ancient Egypt and Sudan (BMSAES)*, 20-31.
- TDV (Türkiye Deprem Vakfı), 2000. <http://www.ins.itu.edu.tr/tdv>



GÖLBAŞI (ANKARA) GÜNEYİNDEKİ KÜTLE HAREKETLERİNİN İNCELENMESİ

An Investigation on the Mass Movements at South of Gölbaşı (Ankara)

Recep KILIÇ, Koray ULAMIŞ

Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06100 Ankara

ÖZ

Kütle hareketlerinin yerleşim alanlarında ve mühendislik yapılarında can kayıplarına ve maddi hasarlara neden olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, potansiyel kütle hareketlerinin gelişebileceği veya hareketin olduğu alanların mühendislik jeolojisi açısından incelenerek duraylılık analizleri yapılır ve alınabilecek önlemler belirlenir. Bu çalışmada, Ankara ili Gölbaşı İlçesi'nin güneyinde, Mogan Gölü'nün doğu kıyısındaki kütle hareketleri mühendislik jeolojisi açısından incelenerek duraylılık analizleri yapılmıştır. Mogan Gölü'nün doğusundaki hareketli alan 360 m uzunluğunda ve 40 m genişliğindedir. Kayma yüzeyinin derinliği yaklaşık 12 m'dir. Kayma bölgesinde, yaklaşık 2 m kalınlığında dolgu zeminin ek yük oluşturması ve su borularındaki kaçak nedeniyle üç adet heyelan oluşmuştur. Ayrıca aynı alanda yol kazısı sonrasında üç adet şev kayması da gözlenmiştir. Kaymalar, Üst Pliyosen yaşlı Gölbaşı formasyonu'na ait yüksek plastisiteli ve yer yer kum bantları içeren inorganik siltlerde gelişmiştir. Kayma yüzeylerinden alınan silt örneklerinin makaslama dayanımı belirlenmiştir. Artık kohezyon ve artık içsel sürtünme açısı değerleri kullanılarak heyelan ve şev kaymalarının olduğu üç kesit hattı boyunca şev duraylılığı statik koşullar için incelenmiştir. Statik koşullarda güvenlik katsayıları kesit hatları için 1.05 ile 1.07 arasında değişmektedir. Ayrıca heyelanlar için geriye dönük analizi de yapılmıştır. Yolun duraylılığının ve yol kazısındaki kalıcı şevlerin güvenlik katsayılarının artırılması için kazık veya betonarme perde ankraj vb. gibi iyileştirme yöntemlerinin uygulanabilirliği yapılacak analizlerle araştırılmalıdır.

Anahtar kelimeler : Ankara, Gölbaşı formasyonu, kütle hareketi, makaslama dayanımı, şev duraylılığı analizi.

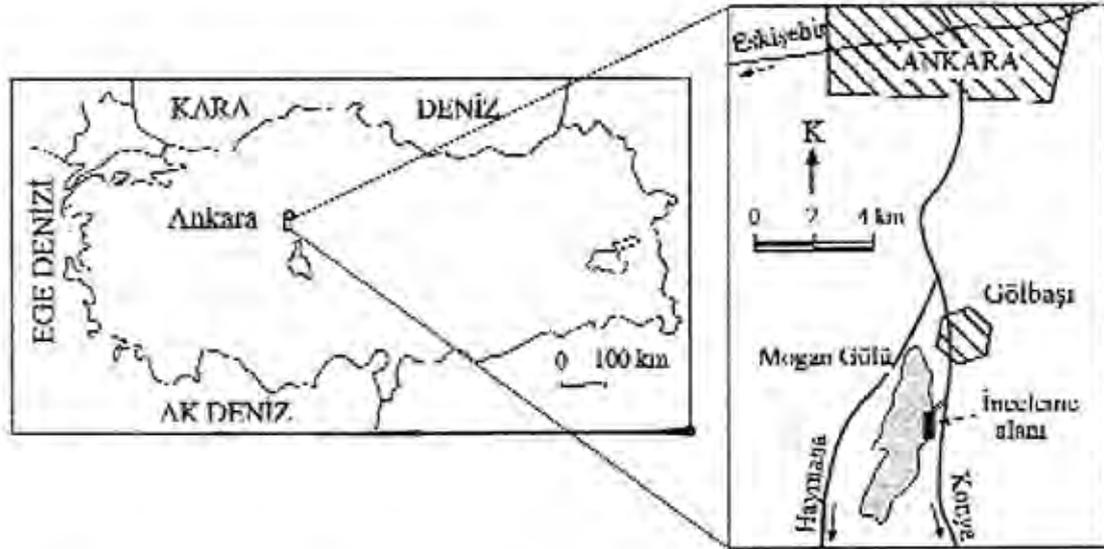
ABSTRACT

It is well known that mass movements cause several damages on engineering structures and in settlement areas in terms of loss of life and economy. For this reason, engineering geology of the potential mass movements should be investigated and necessary precautions should be taken using with available data. In this study, engineering geological properties of the mass movements on the east bank of the Mogan Lake (Ankara-Gölbaşı) were investigated. Slope stability analyses were carried out. The sliding area has dimensions of 360 m length and 40 m width. Depth of the slip surface is about 12 m. Three landslides occurred due to external loading caused by the artificial soil cover of 2 m thick, and water leakage from the water pipes. Besides, three slope failures were also detected after the road excavation in the same area. The failures occurred in the Upper Pliocene aged high plasticity inorganic silt, occasionally involving silty sand lenses. Shear strength of the samples obtained from the slip surface were experimentally determined. The stability of the landslides and the slope failures along the cross-sections were investigated in terms of static conditions using the values of residual cohesion and residual internal friction angle. The factors of safety calculated range between 1.05 and 1.07 under static conditions. In addition, three landslides were back analysed. The improvement methods such as piles, anchorage etc. should be investigated after more detailed analyses to achieve stable conditions.

Key words : Ankara, Gölbaşı formation, mass movement, shear strength, slope stability analysis.

1. GİRİŞ

Ankara ve çevresinde Üst Pliyosen yaşlı Gölbaşı formasyonu geniş alanlar kaplar (Erol,1980; Kılıç ve Demirbaş, 1989; Kasapoğlu, 2000). Gölbaşı ilçesi yerleşim alanı ve çevresindeki bu birimlerde heyelanlara sıkça rastlanmaktadır. Mogan Gölü'nün doğusunda, Ankara Üniversitesi Sosyal Tesislerinin de yer aldığı killi ve siltli zeminler üzerinde etkileyen ek yükün ve su borularından suyun sızması ile 2000 yılında Kayıkevi'nin güneyinde dairesel kayma yüzeyli L1 heyelanı meydana gelmiş ve kayan kütle Mogan Gölü içerisine doğru hareket etmiştir. 2001' de ise, hareket düşük hızla devam etmiş ve durmuştur. 2003 yılında Kayıkevine ulaşım amacıyla göle paralel ve kuzey-güney yönünde yol kazısı yapılmıştır. Açılan yolun doğu şevinde üç adet şev kayması meydana gelmiş ve gerilme çatlakları oluşmuştur (Şekil 1). 2004 yılı Kasım ayında açılan yol şevinde Lokal binasının batısında L2 no'lu heyelan meydana gelmiştir. L2 no'lu heyelanın gerilemesi ile Lokal binasının 3 m batısında L3 no'lu heyelan olmuştur. İnceleme kapsamındaki kütle hareketlerinin durdurulması amacıyla alınabilecek önlemleri belirlemek için bu alandaki birimlerin yatay ve düşey yöndeki dağılımları, yeraltısuyu durumu, zeminlerin indeks ve jeoteknik özellikleri belirlenerek, inceleme alanının mühendislik jeolojisi haritası ve kesitleri hazırlanmış, şev kesitleri üzerinde duraylılık analizleri yapılmıştır.



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

2. JEOLJİ

Ankara Üniversitesi Sosyal Tesislerinin de üzerinde yer aldığı temel birim, Ankara ve Gölbaşı çevresinde geniş yayılım gösteren Üst Pliyosen yaşlı kahverengi silt ve bunun içerisinde kum ve çakıl merceklerinden oluşmaktadır. Siltlerin üst seviyelerinde yer yer kalış oluşumları gözlenir (Şekil 2). Çakıl ve kum taneleri kuvars, bazalt, kireçtaşı, radyolarit ve metakumtaşı parçalarından oluşmuştur. Heyelanın üst kısımlarında 2 m' ye varan kalınlıkta dolgu zemin bulunmaktadır. İnceleme alanının doğusunda ki havuz inşaatı için yapılan jeoteknik araştırma sondajları sırasında yeraltısuyu seviyesinin yaklaşık 3 m derinde olduğu belirlenmiş olup, boşalımı Mogan Gölü'nedir (Kılıç, 2003a).



Şekil 2. Üst Pliyosen yaşlı Gölbaşı formasyonundan bir görünüm.
Figure 2. A view from the Upper Pliocene aged Gölbaşı formation.

3. ARAZİ İNCELEMELERİ VE ZEMİNİN JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ

İnceleme alanının 1/2000 ölçekli topoğrafik haritası üzerine, heyelan, şev kayması ve gerilme çatlaklarının konumları işlenerek, duraysız alanın mühendislik jeolojisi haritası hazırlanmıştır (Şekil 3). Sosyal tesis içerisinde ve gölün yaklaşık 70 m doğusunda planlanan havuz inşaat alanının jeoteknik incelemesi sırasında birimlerin yatay ve düşey yöndeki dağılımı ile yeraltısuyunun derinliğini belirlemek üzere Şekil 3'te gösterilen yerlerde toplam derinliği 45 m olan üç adet jeoteknik amaçlı sondaj yapılmıştır. Sondajlar sırasında zeminlerin yerindeki kıvamlarını ve sıklığını belirlemek ve örselenmiş örnekler almak üzere Standart Penetrasyon Deneyle (SPT) yapılmıştır. Ayrıca, Shelby tüpü ile örselenmemiş örnekler de alınmış ve bunların jeoteknik özellikleri laboratuvar deneyleleriyle belirlenmiştir (Kılıç, 2003a).

Zeminlerin, Çizelge 1' de verilen jeoteknik özellikleri; Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Jeolojisi Araştırma ve Uygulama Laboratuvarında TS-EN 1900 (1997) ve ASTM (1994) standartlarına göre yapılan deneylelerle belirlenmiştir. İnceleme alanında "yüksek plastisiteli inorganik silt - MH" türü zemin bulunmaktadır. Bunun içerisinde yatay ve düşey yönde değişiklik gösteren ve Birleşik Zemin Sınıflama Sistemi'ne göre SM grubu "az çakıllı ve siltli kum" mercikleri mevcuttur. MH türü zeminlerin konsolidasyonlu-drenajlı (CD) koşullarda doruk ve artık kohezyon ve içsel sürtünme açısı 6 adet örnek üzerinde zemin makaslama kutusu deneyle ile belirlenmiştir. Doruk ve artık makaslama gerilmesi-normal gerilme arasındaki ilişki regresyon analizi ile incelenmiş ve korelasyon katsayıları (r) belirlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre;

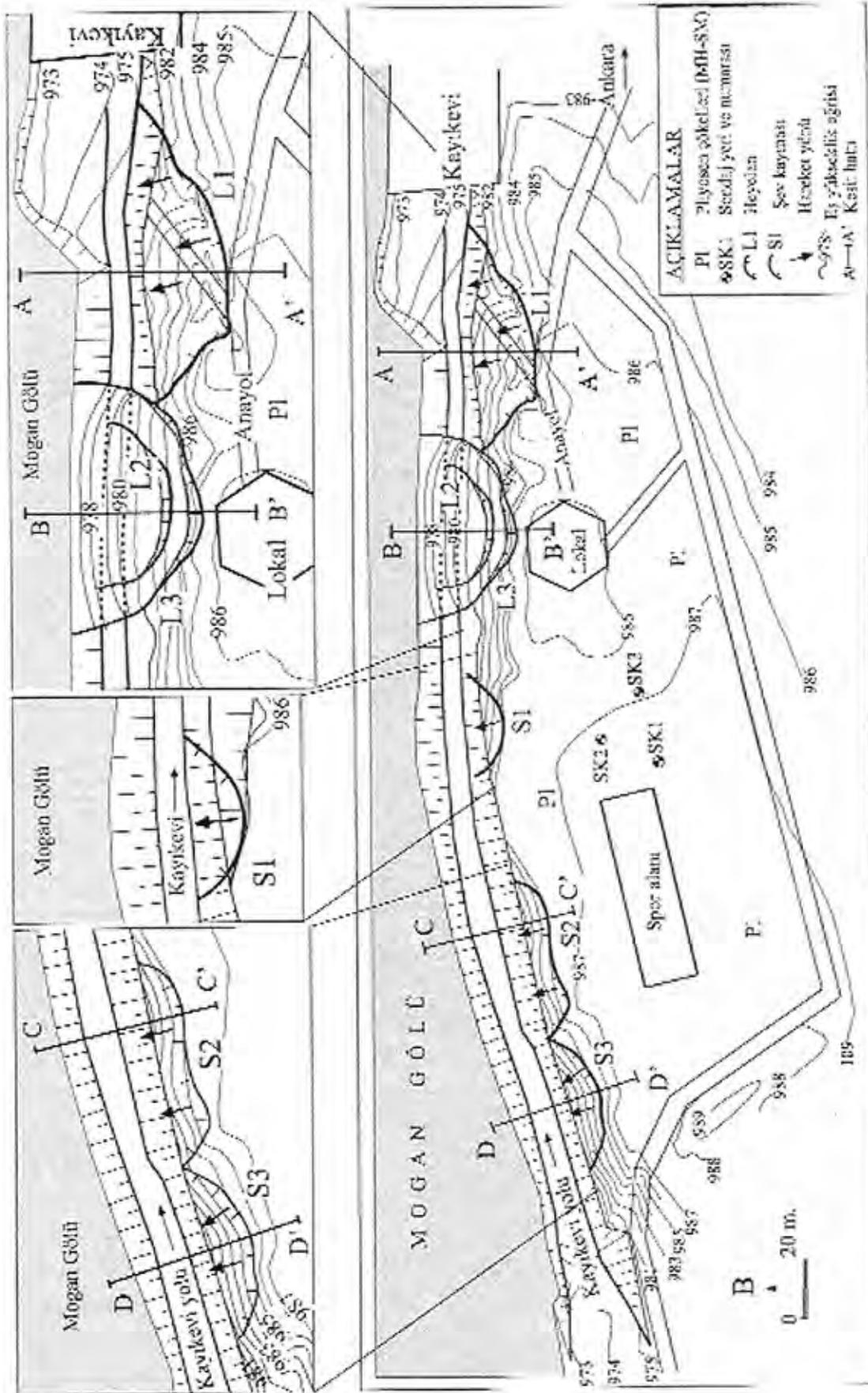
$$\tau_p = 27.48 + \sigma \tan 6^\circ \quad (r=0.89, \text{dorum}) \quad (1)$$

$$\tau_r = 19.01 + \sigma \tan 4^\circ \quad (r=0.87, \text{artık}) \quad (2)$$

olarak belirlenmiştir. MH grubu zeminin doruk ve artık normal gerilme gerilme - makaslama gerilmesi ilişkisi Şekil 4'de ve makaslama gerilmesi-makaslama yer değiştirmesi ilişkisi ise Şekil 5'de verilmiştir.

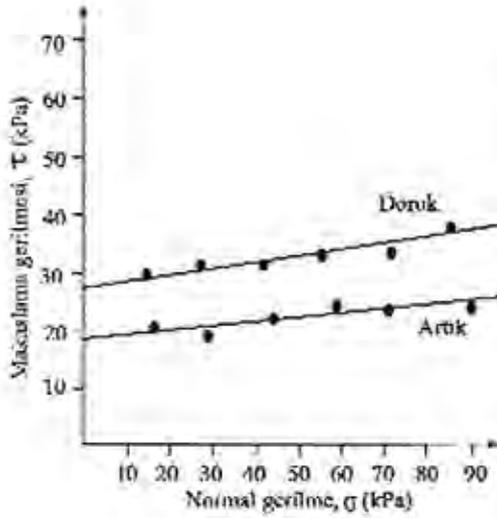
Çizelge 1. Gölbaşı formasyonuna ait MH ve SM grubundaki zeminlerin indeks ve jeoteknik özellikleri.
Table 1. Geotechnical and index properties of the MH and SM group soils of the Gölbaşı formation.

Zemin grubu	MH			SM		
	En az	En çok	Ort.	En az	En çok	Ort.
Su içeriği (%)	31	42	39	14	37	19
Birim hacim ağırlık (kN/m ³)	16.7	18.1	17.5	-	-	-
Likit Limit (%)	55	77	64	40	65	49
Plastik Limit (%)	25	63	45	25	48	35
Plastisite İndisi (%)	8	33	19	10	18	15
Artık kohezyon (kPa)	22	30	26	-	-	-
Artık içsel sürtünme açısı (°)	4	6	5	-	-	-
Dorum kohezyon (kPa)	31	37	34	-	-	-
Dorum içsel sürtünme açısı (°)	7	9	8	-	-	-
+ 4# elek (%)	0	10	3	1	44	18
- 200# elek (%)	46	73	57	14	54	36

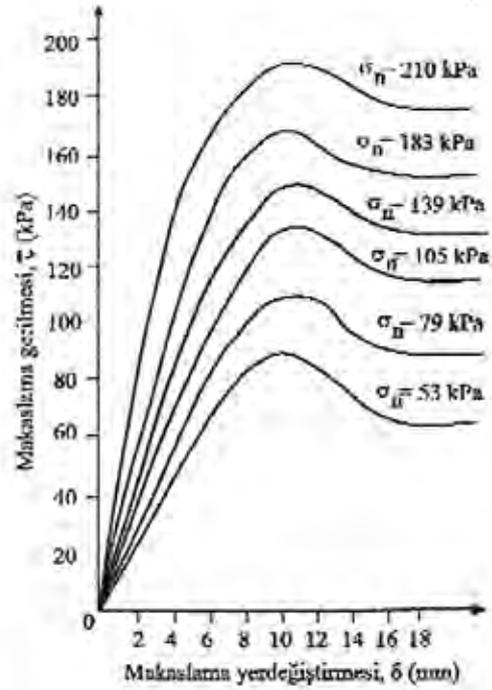


Şekil 3 İnceleme alanının mühendislik jeolojisi haritası.

Figure 3 Engineering geological map of the study area.



Şekil 4. MH grubu zemin örneklerinin t-s grafiği.
Figure 4. t-s plots of the MH group soil samples.



Şekil 5. MH grubu zemin örneklerinin t-d grafiği.
Figure 5. t-d graphs of the MH group soil samples.

4. KÜTLE HAREKETLERİ

Sosyal tesislerdeki Kayıkevi'nin güneyinde ve Mogan Gölü'nün doğusundaki doğal yamaçta 2000 yılında Şekil 3'te L1 ile gösterilen bir heyelan meydana gelmiştir. Ayrıca Kayıkevi'ne ulaşımı sağlamak amacı ile Mogan Gölü'ne paralel olarak kuzey-güney yönünde 2003 yılında açılan yolun doğu şevinde S1, S2 ve S3 numaraları ile gösterilen sığ şev kaymaları oluşmuştur. Yol şevinde L2 ve daha sonra bu heyelanın gerilemesi ile L3 no.lu heyelan olmuştur. Bu kütle hareketleri arazide incelenerek, konumları Şekil 3' teki mühendislik jeolojisi haritasında gösterilmiştir. Hareketli alan, 360 m uzunluğunda ve 40 m genişliğindedir. L1, L2 ve L3 no.lu heyelanlar ile S1, S2 ve S3 no.lu şev kaymalarının özellikleri aşağıda açıklanmıştır.

L1 no.lu heyelan: Heyelanın tepe kısmında yaklaşık 2 m kalınlığındaki dolgu toprak malzemesi bir ek yük oluşturmuştur. Ayrıca heyelan tepesinin yakınından geçen su borusunun çatlaması sonucu akan su, dolgu malzemesine ve temeldeki MH grubu silte ulaşmış, kritik denge durumundaki doğal yamaçta Mogan Gölü'ne doğru 2000 yılında bir duraysızlık meydana gelmiştir. Heyelanın boyutları, kuzey-güney yönünde 85 m ve doğu-batı yönünde yaklaşık 40 m' dir. Kayan kütle kalınlığı en fazla 12 m, kayma dairesi tabanı 970 m kotundan geçmekte ve göl tabanında 972 m kotunda son bulmaktadır. Heyelan; Şekil 3' deki mühendislik jeolojisi haritasında, Şekil 6' daki fotoğraf ile Şekil 10a' daki mühendislik jeolojisi kesitinde görülmektedir.

Heyelanının tepesi, Üniversite lokaline giden yolun batısından geçmekte olup, kayma aynası yüksekliği yaklaşık 3 m' dir. Heyelanın geliştiği şevin eğimi yaklaşık 20° veya 3/1' dir. Heyelan tepesindeki ay-

nanın şev açısı 85° olup, eğimi batıya doğrudur. Taban heyelanı şeklinde gelişmiştir ve üzerinde çok sayıda gerilme çatlakları mevcuttur (Kılıç, 2003b). Gerilme çatlaklarından giren yüzey suları kayma yüzeyine ulaşarak hareketin tekrarlanmasına neden olmuştur.

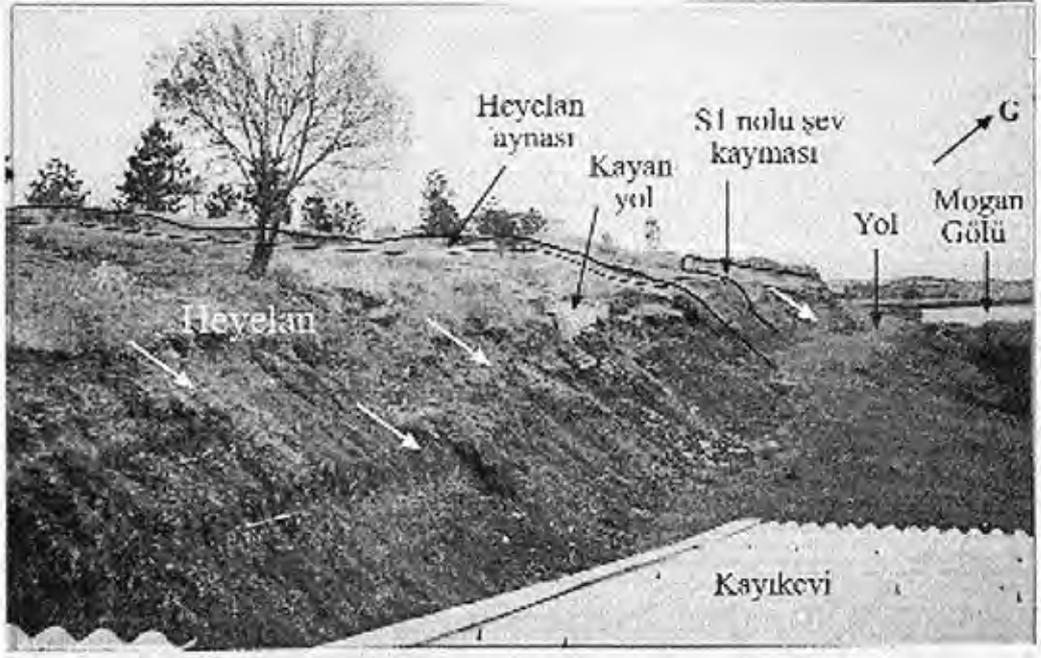
L2 no.lu heyelan : Heyelan, 2003 yılında açılan yol şevinde 2004 yılı Kasım ayında meydana gelmiş ve üzerinde çok sayıda gerilme çatlakları mevcuttur. Yaklaşık 2 m yüksekliğindeki şev aynası 983 m kotundan ve heyelan topuğu yol kotu olan 978 m'den geçmektedir. Kayma yüzeyi yüksek plastisiteli inorganik silt (MH) içerisinden geçmektedir. Batıya doğru kayan malzeme Kayıkevi yolu üzerinde depolanmış olup bir kısmı Mogan gölüne dökülmüştür. Heyelanın boyutları, kuzey-güney yönünde yaklaşık 40 m ve doğu-batı yönünde yaklaşık 15 m'dir. Kayan kütle kalınlığı yaklaşık 4 m'dir. Heyelan, Şekil 3'deki mühendislik jeolojisi haritasında, Şekil 7 ve 8'deki fotoğraflar ile Şekil 10b'deki mühendislik jeolojisi kesitinde gösterilmiştir.

L3 no.lu heyelan : L2 no.lu heyelanda kayan malzeme ile yol şevinin topuğundan yük azalmış ve gerilme çatlaklarından giren yüzey suları kayma yüzeyine ulaşarak kaymanın gerileyerek tekrarlanmasına, diğer bir ifadeyle 2005 Ocak ayında L3 no.lu heyelanın oluşmasına neden olmuştur. L3 no.lu heyelanın asıl aynasının yüksekliği 3 m'dir. L3 no.lu heyelanın tepe noktasının 3 m doğusunda Lokal binası bulunmaktadır. Heyelan topuğu Kayıkevi yolu kotundadır. Kayma yüzeyi yüksek plastisiteli inorganik silt (MH) içerisinden geçmekte ve L2 no.lu heyelan ile bütünlük göstermektedir. Heyelanın boyutları, kuzey-güney yönünde yaklaşık 60 m ve doğu-batı yönünde yaklaşık 32 m ve kayan kütle kalınlığı yaklaşık 6 m'dir. Heyelan, Şekil 3'deki mühendislik jeolojisi haritasında, Şekil 8'deki fotoğrafta ve Şekil 10b'deki mühendislik jeolojisi kesitinde gösterilmiştir.

S1 no.lu şev kayması : Bu duraysızlık, yol kazısından sonra yol şevinde topuk heyelanı şeklinde 2003 yılında oluşmuştur. Şekil 3'deki mühendislik jeolojisi haritasında ve Şekil 6'daki fotoğrafta gösterilmiştir. Dairesel yüzeyli şev kaymasının boyutları kuzey güney yönünde yaklaşık 35 m, doğu-batı yönünde 11 m ve kayma derinliği yaklaşık 6 m'dir. Şevin topuğu yol seviyesinde (978 m) ve eğimi yaklaşık 35° veya 1.45/1'dir.

S2 no.lu şev kayması : Yol kazısından sonra yol şevinde topuk heyelanı şeklinde 2003 yılında oluşmuştur. Şekil 3'deki mühendislik jeolojisi haritasında ve Şekil 9'daki mühendislik jeolojisi kesitinde gösterilmiştir. Dairesel yüzeyli şev kaymasının boyutları kuzey-güney yönünde yaklaşık 58 m, doğu-batı yönünde 12 m ve kayma derinliği yaklaşık 7 m'dir. Şevin topuğu yol seviyesindedir ve eğimi yaklaşık 32° veya 1.6/1'dir.

S3 no.lu şev kayması : Yol kazısından sonra yol şevinde topuk heyelanı şeklinde 2003 yılında oluşmuştur. Şekil 3'deki mühendislik jeolojisi haritasında ve Şekil 10d'deki mühendislik jeolojisi kesitinde gösterilmiştir. Dairesel yüzeyli şev kaymasının boyutları kuzey güney yönünde yaklaşık 48 m, doğu-batı yönünde 11.5 m ve kayma derinliği yaklaşık 6.5 m'dir. Şevin topuğu yol seviyesinde ve eğimi 23° ile 28° arasında veya yaklaşık 1.6/1'dir.



Şekil 6. L1 no.lu heyelan ve S1 no.lu şev kaymasının görünümü.
Figure 6. A view of the landslide L1 and slope failure S1.



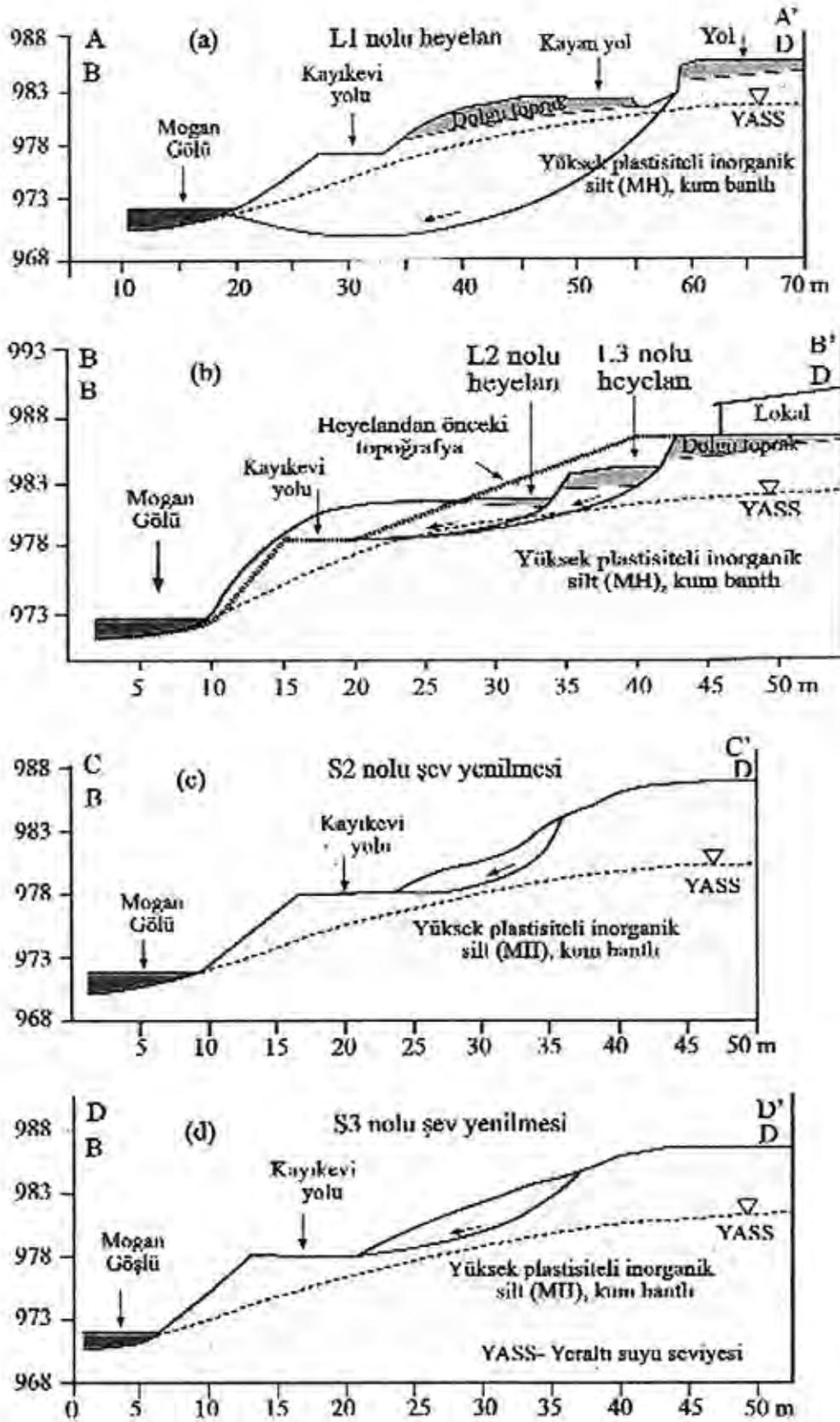
Şekil 7. L2 ve L3 no.lu heyelanların görünümü.
Figure 7. View of the landslides L2 and L3.



Şekil 8. L3 no.lu heyelanın görünümü.
Figure 8. A view of landslide L2.



Şekil 9. S2 no.lu şev kaymasının görünümü.
Figure 9. A view of slope failure S2 .



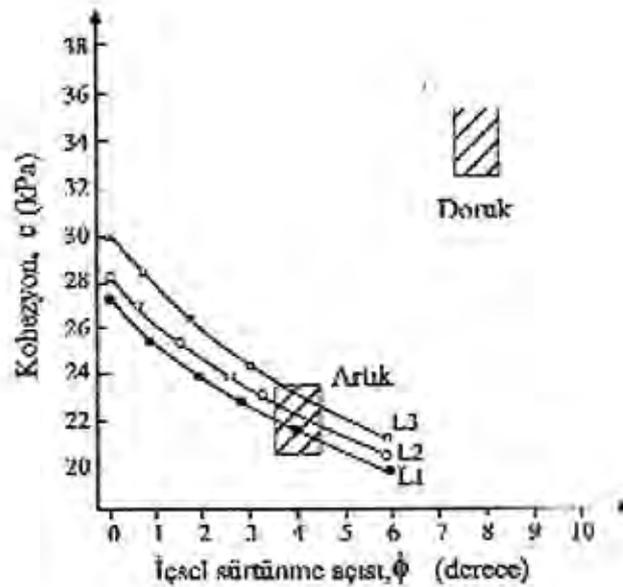
Şekil 10. (a) L1 nolu heyelan, (b) L2 ve L3 nolu heyelan, (c) S2 nolu şev kayması ve S3 nolu şev kaymasının mühendislik jeolojisi kesitleri.

Figure 10. Engineering geological cross-sections of (a) landslide L1, (b) landslides L2 and L3, (c) slope failure S2 and (d) slope failure S3.

5. ŞEV DURAYLILIĞI ANALİZLERİ

L1 no.lu heyelanın Şekil 3' de gösterilen A-A', L2 ve L3 nolu heyelanların B-B' kesitleri için geriye dönük analizleri yapılmıştır. Analizlerde, artık ve doruk kohezyon ile içsel sürtünme açıları için Çizelge 1'de verilen değişim aralıkları limit denge ($GK=1$) koşulunu sağlayacak artık kohezyon ve artık içsel sürtünme açısı değerleri ile karşılaştırılmıştır. Şekil 11'de gösterildiği gibi, kayma yüzeyi boyunca ortalama olarak artık makaslama dayanımı parametrelerinin etkin olduğu anlaşılmaktadır.

S2 no.lu şev kaymasının C-C' ve S3 nolu şev kaymasının D-D' kesitleri boyunca "GGU Stability" bilgisayar programı ile Bishop (1955) yöntemine göre kayma daireleri belirlenmiş ve duraylılık analizleri yapılmıştır. S1 no.lu şev kayması analize dahil edilmemiştir. Duraylılık analizlerinde yüksek plastisiteli inorganik siltin ve üstteki yapay dolgunun birim hacim ağırlığı ortalama 17.5 kN/m^3 , siltin artık kohezyonun en düşük değeri olan 22 kPa ve artık içsel sürtünme açısının en düşük değeri olan 4° alınmıştır. Statik koşullarda güvenlik katsayıları sırasıyla, A-A' kesiti üzerinde 1.05, B-B' için 1.04, C-C' için 1.07 ve D-D' için 1.06 olarak hesaplanmış olup, bu değerler limit denge koşuluna oldukça yakındır.



Şekil 11. Heyelanların geriye dönük analizlerinden elde edilen c- ϕ grafiği.

Figure 11. The c- ϕ plot of the back analyses of the investigated landslides.

6. SONUÇLAR

Mogan Gölü doğusundaki Üst Pliyosen yaşlı Gölbaşı formasyonunda meydana gelen üç adet heyelan ile üç adet şev kaymasının mühendislik jeolojisi açısından incelenerek şev duraylılık analizleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur:

- (1) Heyelan ve şev kaymaları yüksek plastisiteli inorganik siltte dairesel kayma şeklinde meydana gelmişlerdir. Silt içerisinde az çakıllı siltli kum bant ve mercekleri bulunmaktadır.
- (2) Heyelanların, üzerindeki yapay dolgu ve su borusundaki sızmanın etkisi ile meydana geldiği düşünülmektedir. Şev kaymaları ise Kayıkevi'ne ulaşım için açılan şevlerde şev eğiminin yüksek olması nedeniyle oluşmuştur. Hareketli alan yaklaşık 360 m uzunluğunda ve 40 m genişliğindedir. Şev duraylılık analizlerine göre heyelan ve şev kaymalarında dairesel kayma derinliği yaklaşık 12 m olarak hesaplanmıştır.
- (3) Statik koşullarda heyelanlar ve şev kaymaları için duraylılık analizleri yapılmıştır. Statik koşullarda güvenlik katsayıları sırasıyla A-A' kesiti üzerinde 1.05, B-B' için 1.04, C-C' için 1.07 ve D-D' için 1.06 hesaplanmıştır.
- (4) B-B' kesitindeki L3 nolu heyelanın gerileyeceği ve lokali olumsuz etkileyeceği gözönüne alınmalıdır.
- (5) Şevlerde statik koşullarda güvenlik katsayıları 1'in çok az üzerinde olmasına karşılık, kalıcı şevlerde güvenlik katsayısının artırılması için yüzey sularının kayma yüzeyine sızmasını engellemek amacıyla yüzey drenajı yapılmalıdır. Ayrıca heyelanların ve şevlerin topuklarının Mogan Gölü içerisinde bulunması zamanla topuğun aşınmasına ve hareketin devam etmesine neden olacağı açıktır. Kayıkevi yolunun ve şevlerinin duraylılığını sağlamak amacıyla kazık veya betonarme perde vb. gibi yöntemlerin uygulanabilirliği araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- ASTM (American Society for Testing and Materials), 1994. Annual Book of ASTM Standards- Construction: Soil and Rock. ASTM Publications, Vol.04.08, NY, 1225pp.
- Bishop, A., W., 1955. The use of slip circle in the stability analysis of earth slopes. *Geotechnique*, 5(1), 7-17.
- Erol, O., 1980. Ankara metropolitan arazi kullanım haritası. MTA raporu, 99 s (yayımlanmamış).
- Kasapoğlu, K., E., 2000. Ankara Kenti Zeminlerinin Jeoteknik Özellikleri ve Depremselligi. JMO Yayın No: 54, 180 s.
- Kılıç, R., 2003a. T.C. Ankara Üniversitesi Gölbaşı (Ankara) sosyal tesisleri havuz inşaatı jeolojik ve jeoteknik inceleme raporu. Ankara Üniversitesi, 35s (yayımlanmamış).
- Kılıç, R., 2003b. Ankara Üniversitesi Gölbaşı (Ankara) sosyal tesisleri, kayıkevi yolu heyelanı jeolojik ve jeoteknik inceleme raporu. Ankara Üniversitesi, 10s (yayımlanmamış).
- Kılıç, R. ve Demirbaş, E., 1989. Sincan (Ankara) Kepir Gölü civarındaki Üst Pliyosen çökellerinin jeoteknik özellikleri. *Yerbilimleri*, 15, 123 – 128.
- TS EN 1900, 1997. İnşaat mühendisliğinde zemin mekaniği laboratuvar deneyleri. Türk Standardları Enstitüsü, 153 s.

MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ BÜLTENİ AMAÇ, YAYINA KABUL İLKELERİ VE YAZIM KURALLARI

AMAÇ

Mühendislik Jeolojisi Bülteni,

1. Türkiye’de mühendislik jeolojisi konusunda gerek duyulan bilimsel teknik iletişimi sağlamak,
2. Türkçe’nin bilimsel ve mesleki yayın dili olarak gelişmesi ve yabancı sözcüklerden arındırılması çabalarına katkıda bulunmak,
3. Mühendislik jeolojisi konusunda uluslararası düzeyde yapılan çalışmaların özellikle uygulamacılar tarafından kolayca izlenebilmesini ve yararlanılabilirliğini sağlamak amacıyla yayımlanmaktadır.

NİTELİK

Mühendislik Jeolojisi Bülteni’nde yayımlanması istemiyle gönderilecek olan yazılar mühendislik jeolojisinin herhangi bir alanında bir konuyu içermesi koşuluyla, aşağıdaki niteliklerden en az birini taşımaktadır:

1. Bilimsel yöntemlerle yapılmış özgün sonuçları olan bir çalışma,
2. Mühendislik jeolojisi konusunda daha önce yapılmış çalışmaları eleştirel bir yaklaşımla derleyen ve o konuda katkı sağlayan eleştirel derleme veya uygulamaya dönük bir çalışma,
3. Mühendislik jeolojisi konusunda Türkiye’yi büyük ölçüde ilgilendiren ve yabancı bir dilde yayımlanmış bir yazının Türkçe versiyonu.

Yazıların Bülten’de yayımlanabilmesi için daha önce Türkçe yayımlanmamış olması gerekir.

YAZILARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE YAYINA KABUL İLKELERİ

Mühendislik Jeolojisi Bülteni Editörlüğü’ne sunulan yazılar, öncelikle içerik, sunum, yayım kuralları vd. yönlerden Editörlük tarafından incelenir ve daha sonra değerlendirilmek üzere en az iki Yayın Kurulu üyesine gönderilir. Yayın Kurulu üyelerinden gelecek görüşler doğrultusunda yazının doğrudan, az veya önemli ölçüde düzeltilmesi koşuluyla yayımlanmasına veya reddine Editörlüğe karar verilerek sonuç yazarlara bildirilir. Yazarlar, incelemecilerin ve Editörlüğün yaptığı eleştiri, öneri ve düzeltmelere ilişkin yanıtlarını ayrı sayfalarda gerekçeleriyle birlikte açıklamalıdır.

YAZIM DİLİ

Mühendislik Jeolojisi Bülteni’nin yazım dili “Türkçe” dir. Bununla birlikte yazıların başlıkları, özleri, anahtar kelimeler ve tüm çizelgelerin başlıkları ile şekil alu açıklamaları Türkçe ve İngilizce olarak iki dilde birlikte verilmelidir.

YAZIM KURALLARI

İncelenmek üzere Editörlüğe gönderilecek makalelerin hazırlanmasında dikkat edilecek yazım kuralları aşağıda verilmiştir. Yayına kabul edilen makalelerin derginin formatına göre dizilmesi işlemi, basımevi tarafından yapılmaktadır. Bu nedenle, yayına kabul edilen makalelerin metni, çizelgeleri, şekilleri ve şekiller dizini diskete veya CD’ye yüklenmiş olarak ayrıca makalenin bir orijinal çıktısıyla birlikte Editörlüğe gönderilmelidir.

Metin Bölümü

1. *Metin*: A4 boyutunda (29.7 x 21 cm) kağıtların üzerine bilgisayarda, 1.5 satır aralıklı, 12 punto ve Times New Roman fontuyla yazılmalıdır. Sayfaların alt, üst ve yanlarında 2.5 cm boşluk bırakılmalı ve sayfalar kurşun kalemle numaralandırılmalıdır. Bilgisayar çıktılarının silik olmamasına özen gösterilmelidir.
2. *Başlık*: konuyu en iyi şekilde belirtir ve 10 kelimeyi geçmeyecek şekilde kısa seçilmeli ve Türkçe başlığın (tamamı büyük harfle ve koyu yazılmış) yanı sıra, İngilizcesi (İtalik ve normal küçük harflerle) de yazılmalıdır.
3. *Öz*: yazının başlangıcında en fazla 200 kelimeyi geçmeyecek şekilde hazırlanmış, Türkçe ve İngilizce öz (abstract) bulunmalıdır. Bu bölüm, yayının diğer bölümlerinden ayrı olarak yayımlanabilecek düzende yazılmış, yazının tümünü en kısa, ancak öz biçimde yansıtır nitelikte (özellikle çalışmanın amacını ve başlıca sonuçlarını yansıtarak) olmalıdır. Öz içinde; yararlanılan kaynaklara, şekil, çizelge ve eşitlik numaralarına değinilmemelidir. Ayrıca, öz ve abstract bölümlerinin altında bir satır boşluk bırakılarak *Anahtar kelimeler* ve *Key words* (en az 3, en çok 6 kelime) verilmelidir.
4. Yazının genel olarak aşağıda belirtilen düzene göre sunulmasına özen gösterilmelidir.

- a. Başlık (Türkçe ve İngilizce)
 - b. Yazar ad(lar)ı ve adres(ler)i (yazar adları koyu karakterle ve soyadları tamamen büyük harfle, adresler İtalik olarak)
 - c. Öz (anahtar kelimler eklenerek)
 - d. Abstract (key words eklenerek)
 - e. Giriş (amaç, kapsam vd.)
 - f. Metin bölümü (yöntemler, çalışılan malzeme, saha tanımlamaları, bulgular vd.)
 - g. Sonuçlar ve Tartışmalar (Sonuçların tartışılması gerektiği durumlarda, tartışmalar sonuçlarla birlikte verilmelidir. Bu durumda "Sonuçlar" başlığı yerine "Tartışma ve Sonuçlar" başlığı kullanılmalıdır).
 - h. Katkı belirtme (gerekiyorsa)
 - i. Kaynaklar
5. Yazılarda okuyucuya aktarılması istenen veriler, görüşler, tartışmalar (metin kısmı), çizelgeler ve şekiller dahil en fazla 20 sayfayı aşmayacak şekilde düzenlenmelidir.
 6. Metin içinde ana bölüm başlıkları dışında en fazla üç alt başlık oluşturulmalı ve başlıklara numara verilmelidir. Bunların yazım şekli yandaki gibi olmalıdır (1., 1.1.,.....2., 2.1.,gibi).
 7. SI birimleri (kPa, kN/m³ vb.) kullanılmalıdır.
 8. Gerek metin içinde ve çizelgelerde, gerekse şekillerde rakamların ondalık bölümlerinin ayrılması için nokta kullanılmalıdır (3.1 gibi).

Kaynaklar

Kaynaklar, alfabetik sıraya göre ve türlerine göre aşağıda belirtilen formatlara uygun şekilde verilmelidir.

Makale:

Soyadı, A., Tarih. Makalenin başlığı. Derginin Açık Adı, sayı, başlangıç ve bitiş sayfaları.

Kitap:

Soyadı, A., Tarih. Kitabın Adı. Basımevi, Basıldığı Kentin Adı, sayfa sayısı.

Rapor ve tez:

Soyadı, A., Tarih. Rapor veya tezin başlığı. Kuruluş veya Üniversite adı, sayfa sayısı (yayınlanıp, yayınlanmadığı).

Nor: Tüm kaynaklarda ilk satırdan sonraki satırlar 3 harf içerden başlanarak yazılmalıdır.

Kaynaklara metin içerisinde yazarın soyadı ve yayın tarihi belirtilerek aşağıdaki örneklere benzer şekilde atıfta bulunulmalıdır.

Ketin ve Canitez (1972).....

bazı araştırmacılar (Bieniawski, 1989; Barton, 2002).....

Eşitlikler

- a. Eşitlikler elle yazılmamalı ve bilgisayardan yararlanılmalıdır. Eşitliklerde, yaygın olarak kullanılan uluslararası simgelere yer verilmesine özen gösterilmelidir.
- b. Her eşitliğe sırayla numara verilmeli, numaralar parantez içinde eşitliğin hizasında ve sayfanın sağ kenarında belirtilmelidir.

Çizelgeler

- a. Yazarlar, Bülten'in boyutlarını dikkate alarak, çizelge sayısını sınırlı tutmalı, gerekiyorsa çizelgeleri metinde kullanılabilecek oranla çizelgeleri daha küçük karakterlerle yazmalıdır. Tam sayfaya yerleştirilmesi zorunlu olan büyük çizelgelerin (çizelge açıklaması dahil) en fazla (15 x 20) cm boyutlarında olması gereklidir. Bu boyutlardan daha büyük ve katlanacak çizelgeler kabul edilmez.
- b. Çizelgelerin başlıkları, kısa ve öz olarak seçilerek, hem Türkçe (normal karakterle ve ilk harfi büyük diğerleri küçük harfle) hem de İngilizce (İtalik harflerle) hemen ilgili çizelgenin üzerinde verilmelidir.
- c. Çizelgelerde kolonsal ayrımı gösteren düşey çizgiler yer almamalı, sadece çizelgenin üst ve alt sınırları ve gerek görülen diğer bölümleri için yatay çizgiler kullanılmalıdır. Çizelgeler, metinden sonra ayrı sayfalarda verilmelidir.

Şekiller (Çizim ve fotoğraflar)

- a. Tüm çizim ve fotoğraflar şekil olarak değerlendirilip numaralandırılmalıdır. Şekil altı yazıları "Şekiller Dizini" başlığı altında hem Türkçe (normal karakterle ve ilk harfi büyük diğerleri küçük harflerle) hem de İngilizce (ilk harfi büyük diğerleri küçük İtalik harflerle) ayrı bir sayfada verilmelidir.
- b. Her şekil, ayrı bir sayfada yer alacak biçimde sıraya dizilerek Şekiller Dizini sayfasıyla birlikte çizelgelerden sonra sunulmalıdır. Şekil altı yazılarının ayrıca şekil sayfalarına da yazılmasına gerek olmayıp, şekil numaralarının kurşun kalemle her şeklin sağ üst köşesinde belirtilmesi yeterlidir.
- c. Harita, kesit ve planlarda sayısal ölçek yerine çubuk (bar) türü ölçek kullanılmalıdır.