

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ

Journal of Geological Engineering

Cilt - Volume 40

Sayı - Number 1

ISSN 1016 - 9172

Haziran / June 2016



TMMOB JEOLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI
Chamber of Geological Engineers of Turkey

EDİTÖR / EDITOR

Tamer TOPAL
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Jeoloji Mühendisliği Bölümü
06531, Ankara
Tel: 0 312 210 26 90
Faks: 0 312 210 57 50
E-Posta: topal@metu.edu.tr

TEKNİK EDİTÖR / TECHNICAL EDITOR

Yavuz KAYA
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Jeoloji Mühendisliği Bölümü

Makale Gönderim Adresi:

TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası
PK. 464 Yenışehir, 06410 Ankara
Tel : (0312) 434 36 01
Faks : (0312) 434 23 88
E-Posta : jmo@jmo.org.tr
URL : www.jmo.org.tr

Yayın Türü: Yaygın Süreli Yayın

Yayın Şekli: Yılda 2 kez (6 ayda bir)
Türkçe

Yayın Sahibi: TMMOB JMO Adına
Hüseyin ALAN

Yayının İdare Adresi: Kocatepe Mah.
Hatay 2 Sokak No: 21 Kocatepe/Ankara

Baskı: ERS Matbaacılık,
Kazım Karabekir Cad. Altıntop İşhanı
No:87/7 İskitler/Ankara
Tel : (0312) 384 54 88
Baskı Tarihi : Ağustos 2016
Baskı Adedi : 1000

Yayın Kurulu / Editorial Board

Mutluhan AKIN (Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi)
Erhan ALTUNEL (Osman Gazi Üniversitesi)
Serdar BAYARI (Hacettepe Üniversitesi)
Zeki ÇAMUR (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)
Hasan ÇETİN (Çukurova Üniversitesi)
Özcan DUMANLILAR (Demir Export)
Nusret EMEKLİ (İller Bankası)
Murat ERCANOĞLU (Hacettepe Üniversitesi)
Nazan Yalçın ERİK (Cumhuriyet Üniversitesi)
Ünsal GEMİCİ (Dokuz Eylül Üniversitesi)
Candan GÖKÇEOĞLU (Hacettepe Üniversitesi)
Reyhan Kara GÜLBAY (Karadeniz Teknik Üniversitesi)
Nilgün GÜLEÇ (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)
Leyla KALENDER (Fırat Üniversitesi)
Remzi KARAGÜZEL (İstanbul Teknik Üniversitesi)
Nurkan KARAHANOĞLU (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)
Ali KAYABAŞI (Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi)
Recep KILIÇ (Ankara Üniversitesi)
Mehmet Yalçın KOCA (Dokuz Eylül Üniversitesi)
Ayhan KOÇBAY (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü)
Halil KUMSAR (Pamukkale Üniversitesi)
Yılmaz MAHMUTOĞLU (İstanbul Teknik Üniversitesi)
Harun SÖNMEZ (Hacettepe Üniversitesi)
Mehmet Lütfi SÜZEN (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)
Gültekin TARCAN (Dokuz Eylül Üniversitesi)
Atiye TUĞRUL (İstanbul Üniversitesi)
Dilek TÜRER (Hacettepe Üniversitesi)
Necdet TÜRK (Dokuz Eylül Üniversitesi)
Asuman TÜRK MENOĞLU (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)
Taner ÜNLÜ (Ankara Üniversitesi)
Hasan YAZICIGİL (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)
Koray YILMAZ (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)
Ali Bahadır YAVUZ (Dokuz Eylül Üniversitesi)

Jeoloji Mühendisliği Dergisi makale ve dizin özlere
SCOPUS, ULAKBİM, GeoREF, Geobase/Geo Abstracts ve EBSCO
uluslararası indeksleri tarafından taranmaktadır.

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

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

Hüseyin ALAN
Yüksel METİN
Faruk İLGÜN
D. Malik BAKIR
Canan DEMİRALP
Düzgün ESİNA
Murat AKGÖZ

Başkan / President
İkinci Başkan / Vice President
Yazman / Secretary
Sayman / Treasurer
Mesleki Uygulamalar Üyesi / Member of Professional Activities
Sosyal İlişkiler Üyesi / Member of Social Affairs
Yayın Üyesi / Member of Publication

Jeoloji Mühendisliği Dergisi JMO yayını olup para ile satılmaz.

İçindekiler / Contents

Makaleler / Articles

- 1- **Diñer ÇAĞLAN, Levent TOSUN, Serdar Onur AVCI, Oğuz TURUNÇ, Gökhan KANAAT**
Şamlı (Balıkesir) Demir Madeni Doğu Ocağı Batı Şevlerini Oluşturan Kaya Kütlelerinin Duraylılık Değerlendirmesi
Slope Stability Assessment of Rock Masses in Western Sector of Balıkesir Şamlı Eastern Open Pit Iron Mine
- 27- **Saffet Deniz KARAGÖZ, M. Yalçın KOCA**
Alipaşa Açık Ocak Albit Madeninde Meydana Gelen Heyelanın GPS Kullanılarak İzlenmesi ve Oluşum Nedenleri
Monitoring of the Landslide Occurred in the Alipaşa Open-Pit Albite Mine by Using GPS and the Recognition of Causes of This Phenomenon
- 53- **Ayberk KAYA**
Bir Kaya Şevinin Devrilme Türü Duraysızlık Açısından Kinematik ve Sayısal Analizlerle Değerlendirilmesi (Devgeriş, Samsun)
Assessment of A Rock Slope in Terms of Toppling Failure by Kinematic and Numerical Analyses (Devgeriş, Samsun)
- 69- **Nuray MANNASOĞLU, Murat YILMAZ, Atiye TUĞRUL**
Granitik Agregaların Alkali Silis Reaksiyonu Yönünden Değerlendirilmesi
Evaluation of Alkali-Silica Reactivity of Granitic Aggregates
- 89- **Muhammet Oğuz SÜNNETCİ, Hakan ERSOY**
Ünye (Ordu) Killerinin Konsolidasyon ve Plastik Özellikleri Arasındaki İlişkilerin Araştırılması
Investigation of the Relationships Between Consolidation and Plastic Properties of the Clays in Ünye (Ordu)
- 103- **Rüstem PEHLİVAN**
Sarma Deresi Havzasındaki Yağışın Ayrışma ve Su Kalitesine Etkisi, Düzce, Türkiye
The Effects of Rainfall on Water Quality and Weathering in the Sarma Stream Basin, Duzce, Turkey

Şamlı (Balıkesir) Demir Madeni Doğu Ocağı Batı Şevlerini Oluşturan Kaya Kütlelerinin Duraylılık Değerlendirmesi

Slope Stability Assessment of Rock Masses in Western Sector of Balıkesir Şamlı Eastern Open Pit Iron Mine

**Dinçer ÇAĞLAN¹, Levent TOSUN², Serdar Onur AVCI¹,
Oğuz TURUNÇ¹, Gökhan KANAAT¹**

¹ *Demir Export A.Ş., Maden Arama Müdürlüğü, Kızılay/ANKARA*

² *Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, ANKARA*

Geliş (received) : 09 Aralık (December) 2015

Düzeltilme (revised) : 15 Şubat (February) 2016

Kabul (accepted) : 26 Şubat (February) 2016

ÖZ

Eklemlili kayaç kütleleri üzerinde inşa edilmiş mühendislik yapılarında, şev duraylılığı, sağlam kayacın dayanım parametrelerinden çok, süreksizliklerin dayanım parametreleriyle denetlenmektedir. Ayrıca süreksizliklerin dayanımını denetleyen başlıca parametrelerin, süreksizliklerin açıklığı, devamlılıkları, yüzey pürüzlülükleri, içerdikleri dolgunun kalınlığı ve türü olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada, Balıkesir-Şamlı Doğu Açık Ocağı'nda haritalanan hornfelsler içerisinde gelişmiş dolgu içermeyen süreksizliklerin Barton görgül yenilme ölçütü kullanılarak, makaslama dayanım parametreleri belirlenmiştir. Süreksizliklerin konumları ve makaslama dayanım parametreleri kullanılarak yapılan kinematik analizlerle, şevlerin kayma potansiyelleri belirlenmiştir. Belirlenen yenilme tiplerine göre duraylılık analizleri gerçekleştirilmiş, Şamlı Doğu Ocağı batı şevlerinin eğim yönlerinin kuzey kanadında 218°, güney kanadında ise 15° olarak açılması, basamak şev açılarının; W3 bozunma bölgelerinde 65°, W3-W4 bozunma bölgelerinde ise 60° olacak şekilde oluşturulması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Açık Ocak Demir Madeni, Barton Görgül Yenilme Ölçütü, Kinematik Analiz, Şev Duraylılığı.

ABSTRACT

The slope stability of rock masses which the engineering constructions build on is controlled by the strength parameters of discontinuity surfaces rather than shear strength parameters of rock bodies. In addition, it is known that the aperture, persistence, roughness, and if it presents, thickness and type of

D. Çağlan

E-posta: dincerc@demirexport.com

infill materials are the major parameters which control the strength of discontinuities. In this study, the shear strength parameters of discontinuities in the hornfels lithology in the Doğu Ocak (eastern sector of Balıkesir-Şamlı-Iron Open Pit Mine) were determined by using the Barton empirical failure criterion. The probable rock slope failure modes were established by means of kinematic analyses performed considering the orientations and shear strength parameters (cohesion and internal friction angle) of discontinuity surfaces. It is proposed that the orientation of the slopes are 218° in northern side and 15° in southern side whereas bench slopes are 65° and 60° in W3 and W3-W4 weathering zones respectively, in accordance with the stability analyses performed in the light of the information obtained from the models in the Doğu Ocak.

Key Words: Iron Open Pit Mine, Barton Empirical Failure Criterion, Kinematic Analyses, Slope Stability.

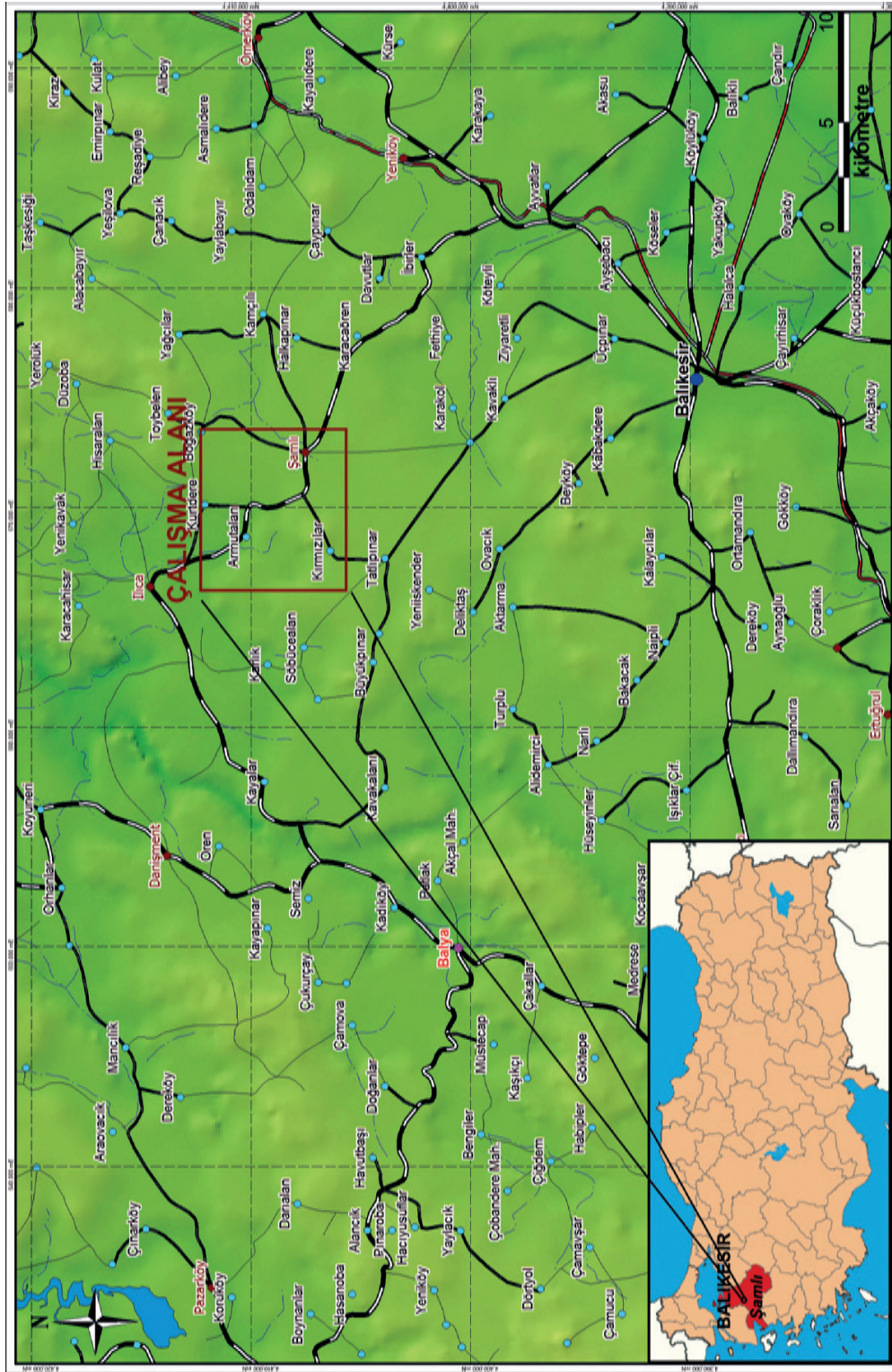
GİRİŞ

Yeraltı ve yerüstü madenlerinin işletilmeleri sırasında ortaya çıkabilecek her türlü güvenlik zafiyeti geri dönülemez sonuçlar doğurmaktadır. Bu nedenle, olası kazalara karşı gerekli tüm güvenlik önlemleri büyük bir titizlikle alınmalıdır. Güvenli bir açık ocak, işletmenin devamlılığının ve ekonomikliğinin sürdürülebilmesinin başlıca güvencesidir ve yürütülen şev duraylılığı çalışmaları ocak güvenliğinin sağlanabilmesi için yapılan çalışmaların başında gelir.

Şamlı demir ocağı, Balıkesir'in kuzeyinde yer almaktadır. Balıkesir'e 30 km, Şamlı ilçesine 4 km uzaklıktadır (Şekil 1).

1973 yılından itibaren işletilen Şamlı Demir Cevheri İşletmesi'nde, bugüne kadar 2 milyon ton demir cevheri üretimi gerçekleştirilmiştir. Geriye kalan demir cevheri rezervi yaklaşık 2 milyon tondur ve % 57 demir (Fe) içeriğine sahiptir. Ana cevher minerali manyetit olan işletmenin yıllık üretim kapasitesi 200.000 tondur.

Şamlı demir işletmelerinde Doğu ve Batı Ocakları olmak üzere iki ocakta üretim yapılmaktadır. 2016 yılının son çeyreğinde Şamlı Doğu Ocağı'nın batıya doğru ilerlemesi sağlanarak Doğu ve Batı ocaklarının birleştirilmesi planlanmaktadır. Oluşturulacak batı şevlerinin basamak şev yükseklikleri 10 m, basamak şev açıları 70° ve basamak genişlikleri 6 m olarak planlanmaktadır. Ancak doğu ocağı içerisinde mevcut şev açılarının 70° 'nin üstünde olduğu bölgeler belirlenmiş ve basamak bazında süreksizlik denetimli gelişen duraysızlıklar saptanmıştır. Duraysızlıklar genelde düzlemsel kayma şeklindedir ve yersel olarak kama tipi kaymalar da gözlenmektedir. Bu çalışmanın amacı, açık ocak kaya şevlerindeki duraysızlıkların oluşum mekanizmalarını araştırmak, duraysızlıklara neden olan süreksizliklerin jeoteknik özelliklerini saptamak ve oluşturulacak batı şevleri için duraylı şev geometrilerini belirlemektir.



Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritası.

Figure 1. The location map of study area.

YÖNTEMLER

Çalışma alanındaki süreksizlik denetimli duraysızlıkların engellenebilmesi için öncelikle süreksizliklerin dayanım parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla çalışma alanının mühendislik jeolojisi haritası hazırlanmış, hat etütleri yapılmış, süreksizlik yüzeylerine Schmidt çekici uygulanmış ve telli profilometre yardımıyla pürüzlülük profilleri çıkarılmıştır. Bu veriler yardımıyla Barton görgül yenilme ölçütü (Barton ve Choubey, 1977) yardımıyla süreksizlik yüzeylerinin dayanım parametreleri hesaplanmıştır.

Elde edilen dayanım parametreleri kullanılarak kinematik ve duraylılık analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerde Rocscience firması tarafından geliştirilen, kinematik analizler için Dips 6.0 (RocScience, 2015a) , düzlemsel kaymalar için RocPlane 3.0 (RocScience, 2015b) ve kama tipi kaymalar için ise Swedge 6.0 (RocScience, 2015c) programları kullanılmıştır. Kinematik analizlerde, düzlemsel ve devrilme türü duraysızlıklar için süreksizliklerin kutup noktaları, kama türü analizlerde ise süreksizliklerin büyük daireleri ile çalışılmıştır. Kama türü kaymaların duraylılık analizlerinde, kayma potansiyeli olan süreksizliklerden en riskli olan süreksizlere ait eğim açısı/eğim yönü değerleri kullanılmıştır.

Dips 6 programında, düzlemsel kaymaların kinematik analizleri kutup noktaları kullanılarak yapılmaktadır. Yüzlek zarfı içerisinde yer alan riskli zon içerisine düşen noktaların, süreksizliklerin kutup noktaları olması sebebiyle, içsel sürtünme açısı konisi, stereonetin merkezi

“0°” kabul edilerek çizilmektedir. Kama tipi yenilmelerin kinematik analizlerinde kaymaya neden olabilecek süreksizliklerin ve şevlerin büyük daireleri ile analiz yapıldığından içsel sürtünme açısı konisi, stereonetin dış çemberi “0°” kabul edilerek çizilmektedir. (RocScience, 2015a). Yüzlek zarfı pratikte, şevin büyük dairesini kesen olası tüm süreksizliklerin kutup noktalarının oluşturduğu bölgeyi belirleyen zarfa verilen isimdir (Lisle, 2004). Yüzlek zarfı içinde kalan ve kinematik anlamda düzlemsel kayma koşullarının sağlandığı alan ise riskli bölge olarak tanımlanmaktadır.

BÖLGENİN GENEL JEOLJİSİ

Balıkesir-Şamlı demir madeni sahası Kuzeybatı Anadolu’da Anatolitler içerisinde yer almaktadır. Çalışma alanı ve yakın civarında gözlenen en yaşlı kaya birimi Alt Triyas yaşlı Kınık Formasyonu’dur. Formasyon, yeşilist fasiyesinde düşük metamorfizma geçirmiş kumtaşı, çamurtaşı, kiltası, kireçtaşı ve diyabaz, spilit gibi volkanik kayalardan oluşur. Birim içerisinde Üst Permiyen yaşlı kireçtaşı blokları da yer alır. Kınık Formasyonu Alt Miyosen yaşlı yer yer porfiritik doku özellikleri sunan Şamlı Plutonu tarafından kesilir. Şamlı Plutonu KKD-GGB uzanım sunmaktadır. Bu plutonun felsik ve mafik olmak üzere iki farklı fazdan oluştuğu ifade edilmektedir (Yılmaz vd., 2014). Felsik faz kuvars monzonit, monzo-granit, granodiyorit ve granit porfir, mafik faz ise diyorit ve diyoritporfirler ile temsil edilmektedir. Çalışma alanında geniş bir yayılım sunan hornfelsler, Şamlı Plutonu’nun karbonatlı yan

kayaçlar ile intrüsyon ilişkisi sonucu oluşmuş skarn zonlarında gözlenir. Çalışma alanındaki en genç birimler olan ve genellikle volkanik ara katkılı kireçtaşlarıyla temsil edilen Bigadiç Formasyonu ile yanal devamlılık sunan Orta-Üst Miyosen yaşlı Yuntdağ Volkanitleri ise karasal ortamda, lav, aglomera ve tüf ardalamasından oluşmaktadır. Yuntdağ Volkanitleri tüm birimleri uyumsuz üstler konumdadır.

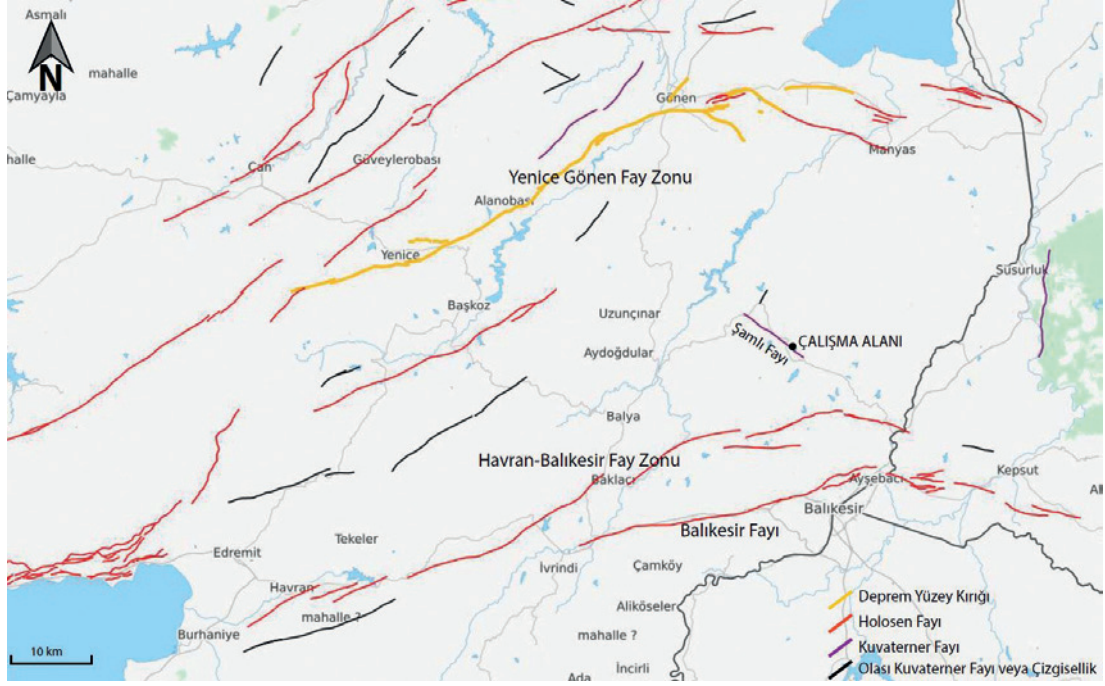
Cevherleşme, Şamlı Graniti'nin Kınık Formasyonu'na ait kaya birimlerini kesmesi sonucu, her iki kayaç dokanağında oluşan skarn zonu içerisinde izlenmektedir. Skarn zonu, kalk silikat mineralleri (granat, epidot, klorit, aktinolit) ile manyetit, hematit, az oranda pirit ve kalkopiritli cevher minerallerinden oluşmaktadır. Cevher mineralleri skarn zonu içerisinde masif mercer, bant, damar ve saçınımlı olarak izlenmektedir. Skarnlaşma sonrasında andezit bileşimli ve kalınlığı 1-20 m arasında değişen magmatik aktivite (olası Şamlı granitinin son fazı) tüm sistemi katetmektedir.

DEPREMSELLİK

Çalışma alanının da içinde yer aldığı Biga Yarımadası'nı etkileyen doğal afetler arasında depremler ilk sırada yer almaktadır. İnceleme alanı, Bakanlar Kurulu'nun 18.04.1996 tarih ve 96/8109 sayılı kararı ile yürürlüğe giren Deprem Bölgesi Haritası'na göre I. derece deprem bölgesi içinde yer almaktadır (Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı, 1996). Tarihsel ve aletsel dönemde, bölgede can kayıplarına ve hasarlara neden olan

çok sayıda orta ve büyük ölçekli depremler meydana gelmiştir.

Çalışma alanında ve yakın çevresinde etkili olan depremler, Yenice-Gönen Fay Zonu ve Balıkesir Fayı'nın Kepsut ve Gökçeyazi segmentlerinde meydana gelmiştir (Şekil 2). Yenice-Gönen Fay Zonu, kuzeydoğuda Gönen göneybatıda Yenice ilçeleri boyunca toplam 67 km uzunluğunda olup, K65D genel doğrultuludur (Emre vd., 2012). Magnitudü 7.2 olan, 1953 yılı Yenice-Gönen depremiyle oluşmuş yüzey kırıkları Yenice-Gönen arasında ilk defa Herece (1985) tarafından ayrıntılı olarak haritalanarak Yenice-Gönen Fayı olarak adlandırılmıştır (Sarı vd., 2010). Havran-Balıkesir Fay Zonu, Biga Yarımadası'nın Güneydoğusu'nda Balıkesir il sınırları içinde, Edremit Körfezi ile Kepsut arasında uzanan sağ yönlü doğrultu atımlı aktif fay sistemidir (Emre vd., 2012). Tarihsel ve aletsel dönem kayıtlarında Havran-Balya Fayı'nda büyük depremler geliştiğine ilişkin bilgiler mevcut değildir. Balıkesir Fayı, İvrindi-Kepsut ilçeleri arasında D-B genel doğrultusunda güneye doğru iç bükey olarak uzanır. Balıkesir Fayı'nın yaşı ve toplam atımı hakkında kesin bir veri yoktur (Emre vd., 2012). Çalışma alanının yakınında, Maden Tetkik Arama (MTA) verilerine göre aktif olan (MTA, 2012) KB-GD uzanımlı Şamlı fayı yer almaktadır. Tarihsel ve aletsel dönemde deprem ürettiğine dair yazılı bir belge bulunmamakla birlikte, Güler ve Ceryan (2015)'e göre bu fay, Büyüklüğü 6.0 olan bir deprem üretebilecektir.



Şekil 2. Çalışma alanı ve yakın civarının diri fay haritası (MTA, 2012).

Figure 2. Active fault map of the study area and its close vicinity.

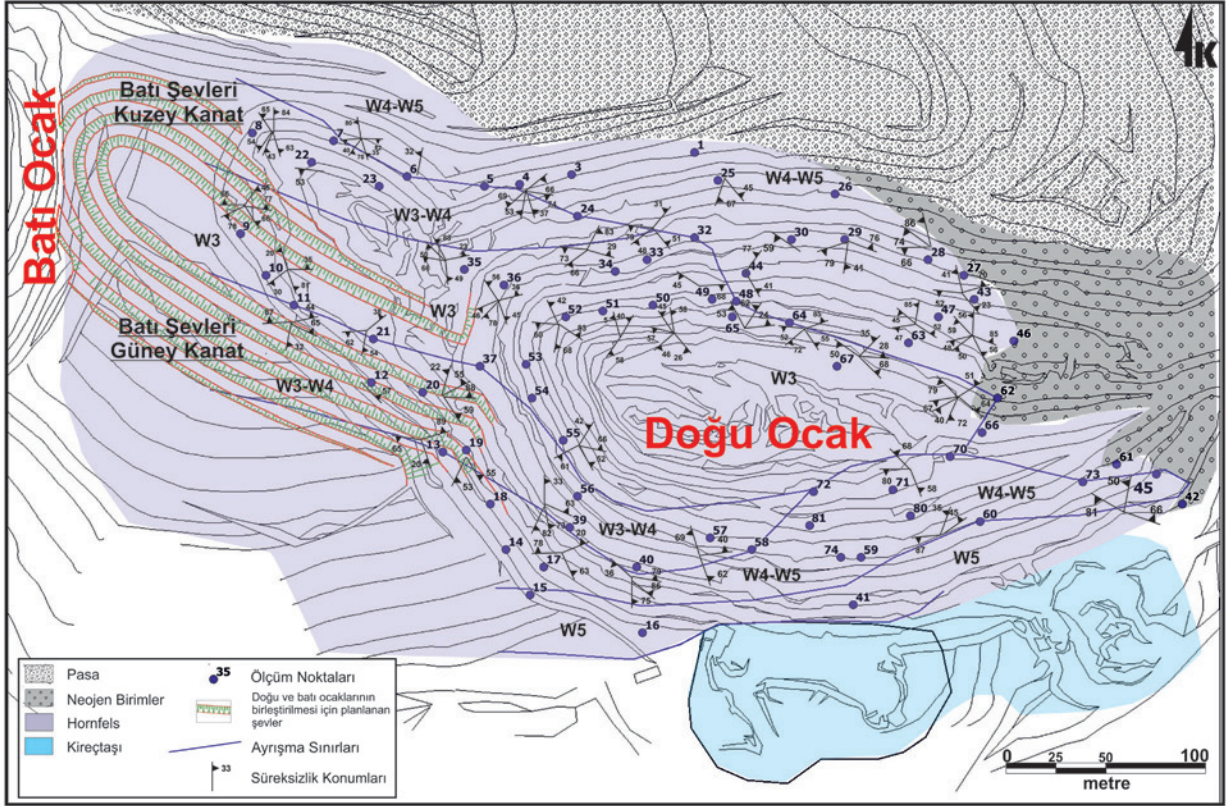
JEOTEKNİK ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, Şamlı Doğu Ocağı'nın mevcut basamaklarında gözlenen ve kaya özelliği taşıyan birimlerin jeoteknik özellikleri ele alınmıştır. Kaya birimlerinin duraylılık analizlerinde girdi olarak kullanılacak parametrelerin saptanabilmesi amacıyla mühendislik jeolojisi harita alım çalışmalarıyla eş zamanlı olarak basamaklarda gelişmiş duraysızlıklar üzerinde gözlemler yapılmış ve süreksizlik hat etüt çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Mühendislik Jeolojisi Haritası

Çalışma alanında, mevcut kayaç grupları üzerinde gelişmiş bozunma zonlarını gösteren 1/1000 ölçekli ayrıntılı mühendislik jeolojisi haritası hazırlanmıştır (Şekil 3). Bozunmaların

derinliğini ve yayılımlarını belirlemek için rezerv amaçlı olarak yapılan sondajlardan da yararlanılmıştır. Sahada kaya birimlerinin büyük bölümünün ISRM (1981)'e göre orta (W3) ve ileri derecede bozunmuş (W4) oldukları belirlenmiştir. Ocağın bazı kesimlerinde bozunma derecelerinin çok kısa aralıklarla değişmesi nedeniyle ayırtlanamayan bölgeler, her iki bozunma simgesi birlikte kullanılarak haritalanmıştır. Harita alım çalışmaları sırasında yapılan arazi gözlemlerinde genel olarak ocağın güney kesimindeki kaya birimlerinin, kuzey kesimindeki kaya birimlerine oranla daha fazla bozdukları saptanmıştır. Süreksizliklik yüzeylerinin ayrışmaları ile ilgili yorumlar, kaya kütlelerinin bozunma derecesi ile ilişkilendirilerek yapılmaya çalışılmıştır.



Şekil 3. Şamlı Doğu Ocağı'nın mühendislik jeolojisi haritası.

Figure 3. The engineering geological map of the Şamlı Doğu Ocak.

Süreksizlik Hat Etütleri

Çalışma alanı içerisinde gözlenen baskın litoloji killi ve karbonatlı sedimanter kayaların kontak metazomatizma ürünü olan hornfelslerdir. Birimlerin kaya özelliği göstermeleri, oluşturulması planlanan şevlerde gelişebilecek olası duraysızlıkların süreksizlik denetimli olabileceğine işaret eder. Arazi gözlemleri de, kaya birimlerinde gelişen duraysızlıkların süreksizlik denetimli olduğunu göstermektedir. Bu nedenle kaya birimlerde,

süreksizliklerin aşağıda sıralanan özelliklerinin saptanabilmesi amacıyla süreksizlik hat etütleri gerçekleştirilmiştir. Süreksizlik özelliklerinin tanımlanmasında Ulusay ve Sönmez (2007)'den yararlanılmıştır.

Süreksizliklerin devamlılıkları gözle, pürüzlülükleri ise tel profilometre yardımıyla belirlenmiştir. Ayrıca süreksizlik yüzeylerinin dayanımını belirleyebilmek için L tipi Schmidt Çekici kullanılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Schmidt çekici uygulaması.
Figure 4. Application of Schmidt hammer in the field.

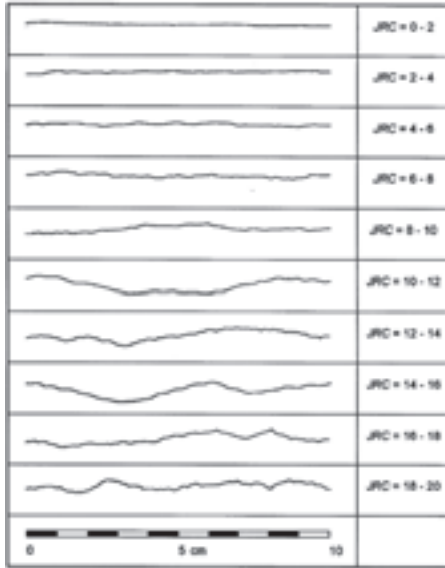
Yapılan çalışmalar sonucunda süreksizliklerin genel özellikleri Çizelge 1’de sunulmuştur.

Çizelge 1. Çalışma alanındaki süreksizliklerin özellikleri.
Table 1. The characteristics of the discontinuities in the study area.

Süreksizliğin türü (Eklem, Tabaka, Fay vd.)	Eklem
Süreksizliklerin yönelimi (Eğim açısı/ eğim yönü) (iki ana eklem sisteminin)	70/183 60/061
Süreksizlik açıklıkları	1-5 mm
Süreksizlik aralığı	20-150 cm
Pürüzlülük (JRC)	4-14
Dalgalılık	Az dalgalı (Golder Associates, 1979)
Devamlılık	> 20 m
Dolgu	Dolgunsuz (yer yer kalsit dolgulu)
Su sızıntısı	Kuru

Mühendislik jeolojisi harita alım çalışmaları sırasında ayırtlanan bozunma zonlarındaki süreksizlik yüzeylerinin dayanım parametrelerinin (kohezyon ve içsel sürtünme açısı) hesaplanmasında, Barton görgül yenilme ölçütü (Barton ve Choubey, 1977) kullanılmıştır. Çalışmalar sırasında süreksizlik yüzeylerinde yapılan Schmidt Çekici uygulamaları Barton ve Choubey (1977)’nin önerdiği şekilde yapılmıştır. Schmidt sertlik değerlerinin (R), süreksizlik yüzeylerinin bozunma derecelerine ve pürüzlüklerine bağlı olarak değişkenlik gösterdiği ve 16-65 arasında değiştiği belirlenmiştir.

Ayırtlanan bozunma bölgelerine göre ortalama Schmidt sertlik değerleri; W4 bozunma bölgesinde 22.4, W3-W4 bozunma bölgesinde 43.5 ve W3 bozunma bölgesinde 51.6 olarak bulunmuştur. Süreksizlik yüzeyinin pürüzlülük katsayısı değerleri (JRC), Barton ve Choubey (1977) tarafından önerilen abaktan karşılaştırma yapılarak bulunmuştur (Şekil 5). Her bozunma bölgesi için JRC değerlerinin 4-14 arasında değiştiği saptanmıştır. Yapılan çalışmalarda, JRC değerlerinin, bozunma derecelerine bağlı bir değişim gösterdiğine yönelik anlamlı bir ilişki görülememiştir. Batı şevlerinde, özellikle duraysızlığa neden olan süreksizlik yüzeylerinin pürüzlülüklerinin görece arttığı belirlenmiştir. Belirlenen JRC değerleri, çalışmalarda kolaylık sağlaması amacıyla bulunan değerlerin ortalamaları alınarak 5, 8 ve 12 olarak sınıflandırılmıştır.



Şekil 5. Barton pürüzlülük abağı (JRC: Pürüzlülük katsayısı) (Barton ve Choubey, 1977).

Figure 5. Rock joint roughness profiles showing the typical range of JRC (Barton and Choubey, 1977).

Duraysızlıklara İlişkin Gözlemler

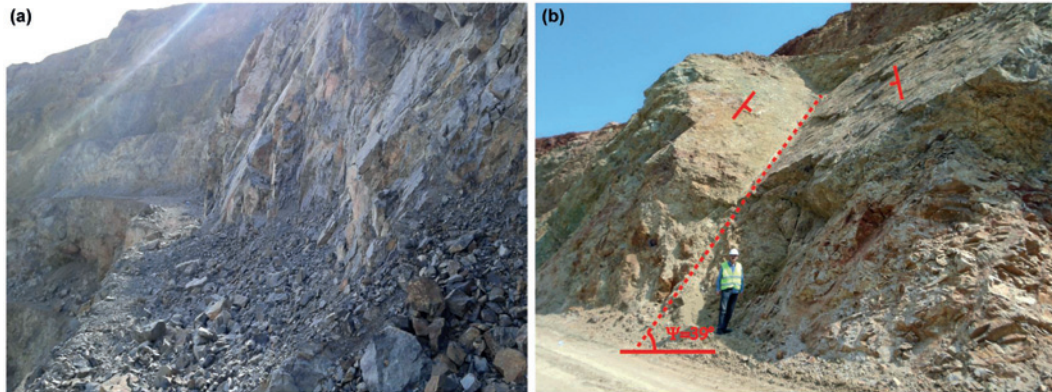
Şanlı Doğu Ocağı'nda, basamak şev açılarının yer yer 70° ve üstünde açıldığı gözlenmiş ve hemen hemen tüm şevlerde kaya birimler içinde basamak bazında düzlemsel (Şekil 6a) ve kama tipi (Şekil 6b) kaymaların

yaygın olarak geliştiği belirlenmiştir. Ayrıca, ocağın basamak şev açılarının çoğunlukla düzlemsel kaymalar tarafından kontrol edildiği gözlenmiştir.

Arazi çalışmaları sırasında belirlenen 35 düzlemsel kaymanın, 7 tanesinde, kaymaya neden olan süreksizlik açısının (α) 70° 'den, 11 tanesinin ise 60° 'den büyük olduğu saptanmıştır. Kalan 17 duraysızlıkta ise kaymalara neden olan süreksizlik açısı değerlerinin 40° ile 59° arasında değiştiği belirlenmiştir. Ayrıca, süreksizlik açısı 50° 'nin altında olan kaymaların hemen hemen tamamının, bozunma derecesine bakılmaksızın, pürüzlülük katsayıları düşük olan (JRC = 4-6) süreksizlikler boyunca geliştiği belirlenmiştir.

Çalışma alanında gözlenen kama tipi kaymaların genelde küçük boyutlu, sadece bir basamağı kapsayacak şekilde ve çoğunlukla Doğu Açık Ocağı'nın kuzey şevlerinde geliştiği gözlenmiştir. Şekil 6b'de görülen duraysızlık ocak içerisindeki en belirgin kama tipi kaymadır ve gelişen diğer kaymalar bu kaymanın yanında çok daha küçük boyutludur.

Arazi çalışmaları sırasında açık ocakta devrilme türü duraysızlık gözlenmemiştir.



Şekil 6. Ocak içinde gözlenen a) düzlemsel kaymalar b) kama tipi kayma.

Figure 6. Rock failure observed in cutting surfaces, a) planar sliding, b) wedge sliding.

Süreksizlik Yüzeylerinin Dayanım Parametrelerinin Hesaplanması

Süreksizliklerin makaslama dayanım parametrelerinin hesaplanmasında Barton (1973) tarafından önerilen aşağıdaki görgül yenilme ölçütü eşitliği kullanılmıştır.

$$\tau = \sigma_n \tan [JRC \log_{10}(JCS/\sigma_n) + \Phi_b] \quad (1)$$

Eşitlikte;

τ : doruk makaslama gerilmesi

σ_n : normal gerilme

JRC: süreksizlik yüzeyinin pürüzlülük katsayısı

JCS: süreksizlik yüzeyinin tek eksenli sıkışma dayanımı

Φ_b : temel içsel sürtünme açısı

Barton ve Choubey (1977), çalışmalarında Schmidt Çekici ile elde edilen verilere dayanarak, eklem yüzeylerinin Tek Eksenli Sıkışma Dayanımları'nın (σ_c) (JCS) hesaplanmasında aşağıdaki eşitliğin güvenilir sonuçlar verdiğini belirtmiştir.

$$\log_{10}(\sigma_c) = 0.00088 g R + 1.01 \quad (2)$$

Eşitlikte;

σ_c (JCS): Eklem yüzeyinin tek eksenli sıkışma dayanımı (MPa)

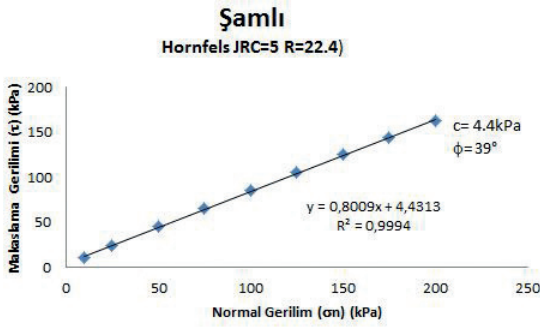
g : Kayacın kuru birim hacim ağırlığı (kN/m^3)

R : Schmidt sertlik değeri

Bu eşitlikte yer alan parametrelerden JRC ve JCS, arazi çalışmalarından elde edilen verilerle hesaplanmıştır. Eşitlik (1) de yer alan Φ_b ise metamorfik kayalar için önerilen değerler dikkate alınarak 28° (Barton ve Choubey, 1977) olarak kabul edilmiştir. Birim hacim ağırlık (g_n) değerleri ise, bozunma dereceleri göz önüne alınmadan, sondajlardan alınan karot örnekleri üzerinde yapılan deneyler sonucunda ortalama 26.6 kN/m^3 olarak bulunmuştur.

Arazi çalışmalarında ayırtılan her bölge için, (1) numaralı eşitlik kullanılarak farklı normal gerilmelere ait makaslama değerleri hesaplanmıştır. Bu veriler kullanılarak çizilen grafikten elde edilen " σ_n - τ " zarfı yardımıyla süreksizliklere ait genelleştirilmiş kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri belirlenmiştir (Şekil 7). Barton tarafından önerilen yenilme ölçütünde " σ_n - τ " zarfının eğrisel olduğu bilinmektedir (Barton ve Choubey, 1977). Ancak, Şekil 6 incelendiğinde, elde edilen zarfın doğrusal olduğu görülmektedir. Barton ve Choubey (1977)'nin yaptıkları çalışmalar sonucu hazırladıkları grafikler incelediğinde, pürüzlülük azaldıkça makaslama gerilmelerinin eğrisel davranıştan doğrusal davranışa doğru yöneldiği ve σ_n değerinin 3 MPa ve daha fazla olduğu görülmektedir. Bu makale kapsamında yapılan çalışmalarda ise, duraysızlıkların basamak boyutunda geliştiği belirlenmiştir. Basamak yükseklikleri 10 m olduğundan, burada gelişen/gelişebilecek duraysızlıkların kayma yüzeylerinde etkin olabilecek en yüksek normal gerilmelerin 200 kPa (0.2 MPa) civarında olacağı görülmektedir. Çok düşük normal gerilme değerleri kullanılarak yapılan hesaplamalar nedeniyle elde edilen grafiğin (Şekil 7) doğrusal olarak çıktığı düşünülmektedir. " σ_n - τ " zarfının doğrusal olması nedeniyle de duraylılık analizlerinde Mohr-Coulomb yaklaşımı kullanılmıştır.

Süreksizliklerin Schmidt sertlik değerleri ve pürüzlülükleri bozunma derecelerine de bağlı olarak farklılık gösterdiği için, hornfels birimine ait makaslama dayanım parametreleri her bir bozunma bölgesi için ayrı ayrı belirlenmiştir (Çizelge 2).



Şekil 7. Barton görgül yenilme ölçütü kullanılarak hazırlanan $\sigma_n - \tau$ zarfına bir örnek.

Figure 7. An example for $\sigma_n - \tau$ envelope drawn by using Barton empirical failure criterion.

batı şevlerinin kinematik ve duraylılık analizlerinde kullanılabilirliğini test etmek amacıyla bir yöntem kullanılmıştır. Güvenilirliğin araştırılmasında kullanılan bu yöntem (sınırlı sayıda da olsa yapılan araştırmalarda, bu yöntemin daha önce kullanıldığına yönelik bir literatüre rastlanılmamıştır. Yazarlar bu yöntemin elde edilen verilerin güvenilirliğini test etmede yeterli olduğunu düşünmektedirler.), kayma öncesi şev geometrisi, kaymaya neden olan süreksizliğin özellikleri ve Barton görgül yenilme ölçütünden hesaplanan genelleştirilmiş

Çizelge 2. Bozunma bölgelerine göre, farklı Schmidt sertlik (R) ve JRC değerlerine göre hesaplanan süreksizliklerin içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerleri.

Table 2. The internal friction angle and cohesion of the discontinuities based upon weathering zone, Schmidt hammer (R) and JRC values.

Birim	Birim hacim ağırlık (g) (kN/m ³) (Ortalama)	Bozunma derecesi	Schmidt Sertlik Değeri (Ortalama) (R)	JCS (MPa)	Pürüzlülük (JRC)	Kohezyon (c) (kPa)	İçsel Sürtünme açısı (φ) (°)
Hornfels	26.6	W4	22.4	34.2	5	4.5	39
					8	9.6	45
					12	25.2	53.8
		W3-W4	43.5	106.7	5	4.9	41.8
					8	11.7	50
					12	41.8	60
		W3	51.6	165.1	5	5.1	42.9
					8	12.7	51.6
					12	53.8	62.4
		W3	54*	187.9	5	5.1	43.2
					8	13.7	52.1

• W3 bozunma zonunda, 33, 49, 51 ve 52 numaralı lokasyonlarda alınan Schmidt sertlik değerleri, genel ortalamının üstünde çıktıklarından ayrı olarak değerlendirilmiştir.

Hesaplanan Dayanım Parametrelerinin Güvenilirliğinin Değerlendirilmesi

Barton görgül yenilme ölçütünden elde edilen genelleştirilmiş dayanım parametrelerinin,

dayanım parametrelerinin girdi verisi (Çizelge 2) olarak kullanıldığı duraylılık analizidir. Burada uygulanan yöntem, duraylılık analizlerinden elde edilen güvenlik katsayılarının, limit denge

koşulu olan $F = 1$ 'e eşit/yakın olması durumunda, geliştirilmiş parametrelerin kayma anında etkin olan dayanım parametreleri olduğuna yönelik bir kabule dayanmaktadır.

Ocak şevlerinde gelişen kayma öncesi şev geometrileri sağlıklı belirlenebilen 19 adet düzlemsel kaymada duraylılık analizleri yapılmıştır. Kayma öncesi şev geometrilerinin belirlenmesinde yaşanan en büyük zorluk, kaymaların gerçekleştiği basamakların ilksel (kayma öncesindeki) şev açılarının belirlenmesi olmuştur. Yapılan duraylılık analizlerinde her kayma için ayrı ayrı, kayma yüzeyinden alınan Schmidt sertlik ve JRC değerleri dikkate alınarak geliştiği bölgenin bozunma derecesine göre hesaplanan geliştirilmiş dayanım parametreleri (Çizelge 2) kullanılarak güvenlik katsayıları hesaplanmıştır.

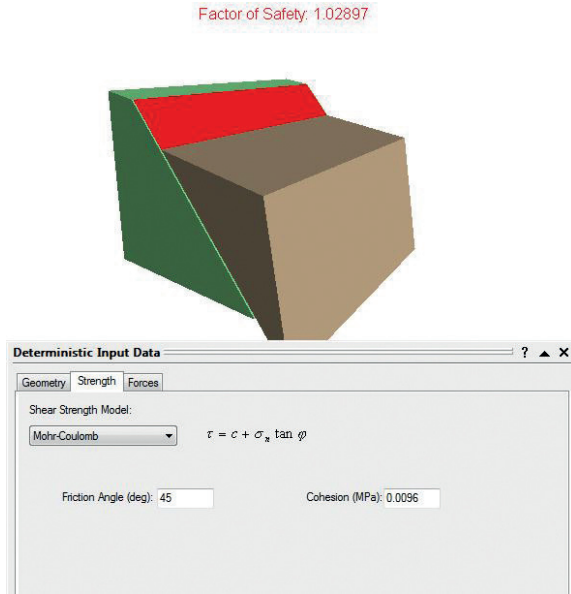
Duraylılık analizleri sonucunda, düzlemsel kaymalar için elde edilen güvenlik katsayılarının 0.90 - 1.05 arasında değiştiği, ortalama değer

0.99 olduğu saptanmıştır. Ortalama değer dikkate alındığında, bu değer, limit denge koşuluna göre kayma anında geçerli olduğu kabul edilen $F = 1$ güvenlik katsayısına çok yakın olduğu görülmektedir. Bu nedenle duraylılık analizlerinde Barton görgül yenilme ölçütünden hesaplanan geliştirilmiş dayanım parametrelerinin kullanılmasının uygun olduğuna karar verilmiştir. Yapılan analize örnek olarak, basamak boyutunda etkili olan, Doğu Ocak güney şevlerinde W4-W5 bozunma zonunda, 45 nolu ölçüm noktasında (Şekil 3) saptanan düzlemsel kaymanın duraylılık analizi Şekil 8'de verilmiştir. Bu örnekte, 45 nolu ölçüm noktasındaki düzlemsel kaymanın kayma yüzeyinde saptanan pürüzlülük katsayısı ve Schmidt sertlik değerlerine (JRC = 6-8, R = 29) en yakın olan ortalama değerler (JRC = 8, R = 22.4) kullanılarak hesaplanan geliştirilmiş dayanım parametreleri esas alınmıştır (Bkz. Çizelge 2).

Çizelge 3. Duraylılık analizlerinde kullanılan parametreler ve hesaplanan güvenlik katsayıları.

Table 3. The parameters used in the stability analyses and calculated factor of safeties.

Duraysızlık türü	Bozunma Derecesi	Pürüzlülük katsayısı (JRC)	Şev		Güvenlik katsayısı (F)		
			Yüksekliği (H) (m)	Şev Açısı (°)	Statik (F)	Depremlilik (F _d)	
Düzlemsel	W3-W4	8	10	65	1.39	1.00	
		5		50	1.31	0.92	
Kama (kuzey kanat şevleri)	W3-W4	5 (Her iki kayma yüzeyi)		65		1.19	0.84
		Bir yüzey 5, diğer yüzey 8				1.32	0.93
5 (Her iki kayma yüzeyi)			1.18		0.83		
Bir yüzey 5, diğer yüzey 8			1.54		1.12		



Şekil 8. Genelleştirilmiş dayanım parametreleri kullanılarak yapılan 45 nolu ölçüm noktasında saptanan düzlemsel kaymanın kuru koşullardaki duraylılık analizi (H=10 m, $\alpha=80^\circ$).

Figure 8. The stability analysis of location 45 performed by using shear strength parameters obtained from dry discontinuity surfaces.

Duraylılık İncelemeleri

Doğu Ocağı'nın batı kesiminde oluşturulması planlanan şevler, batı şevleri kuzey kanat ve batı şevleri güney kanat olarak iki ana bölgeye ayrılarak incelenmiştir.

Ocağın batı kesiminde oluşturulacak şevlerde genelde W3 (orta derecede bozunmuş) ve W3-W4 (orta-çok bozunmuş) kaya kütleleri yayılım göstermektedir. Arazi çalışmaları sırasında Doğu Ocağı'nın batı şevlerinde kaymalara neden olabilecek süreksizlik yüzeylerine ait pürüzlülük değerlerinin genelde JRC = 8 civarında olduğu belirlenmiştir. Şevlerin eğim açıları ve eğim yönlerinin belirlenmesinde proje mühendisleri tarafından hazırlanan planlar kullanılmıştır (Şekil 3). Bu planlarda batı şevlerinin kuzey kanadının

eğim yönü 218° , güney kanadının eğim yönü 34° , basamak yükseklikleri (H) 10 m, basamak şev açıları (α) 70° olarak kabul edilmiştir.

Süreksizliklerin ondülasyonları, (Golder Associates, 1979)'e göre yapılan sınıflandırma dikkate alınarak az dalgalı olarak belirlenmiştir. Arazide kayma yüzeyleri üzerinde yapılan incelemelerde de dalgalılık gözlenmemiştir. Doğu Ocağı batı şevlerinin oluşturulacağı kesim, büyük ölçüde örtülü olup, kaya birimler gözlenmemektedir. Duraylılık analizlerinde, bu durum göz önüne alınarak, güvenli tarafta kalınabilmesi amacıyla dalgalılık açısı 0° olarak kabul edilmiştir.

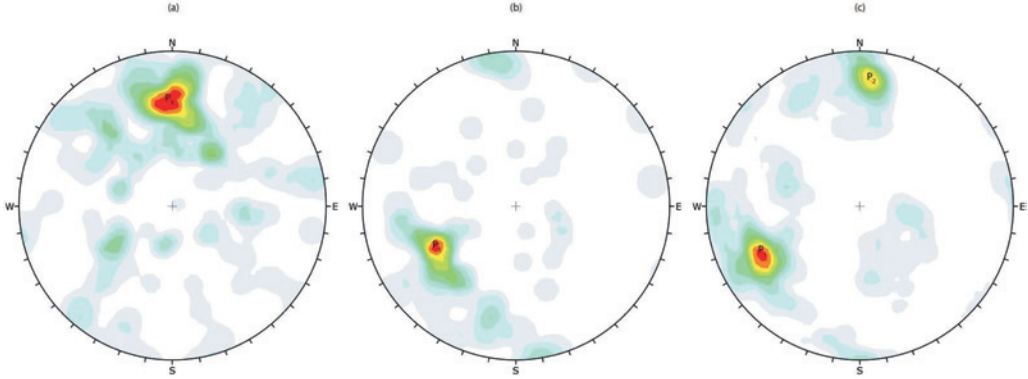
Kinematik analizler

İlk olarak Hoek ve Bray (1981) tarafından tanımlanmış kinematik analiz yöntemi, düzlemsel, kama tipi ve devrilme türü duraysızlıkların araştırılmasında kullanılmaktadır. Bu yöntem, kayma düzleminin, makaslama dayanım parametrelerinden sadece içsel sürtünme açısı (ϕ) dikkate almaktadır. Yöntemin esası, şev düzlemi, kayma ve/veya devrilme potansiyeline sahip süreksizlik düzlemi ve yüzey sürtünme açısının birbirleriyle karşılaştırılmasına dayanmaktadır. Bu çalışmada, kinematik analizlerde Schmidt eş alan neti kullanılmıştır.

Yeni oluşturulacak batı şevlerinin büyük bir kısmı örtülüdür. Bu nedenle bu şevleri temsil edecek yeterli sayıda süreksizlik ölçümü yapılamamıştır. Ocağın kuzey ve güney şevleri ile mevcut batı şevlerinden alınan süreksizlik ölçülerinin ayrı ayrı değerlendirilmesi sonucunda, süreksizlik yönelimlerinin pek fazla değişmediği belirlenmiştir (Şekil 9). Bu nedenle oluşturulacak batı şevlerinin kinematik analizlerinde,

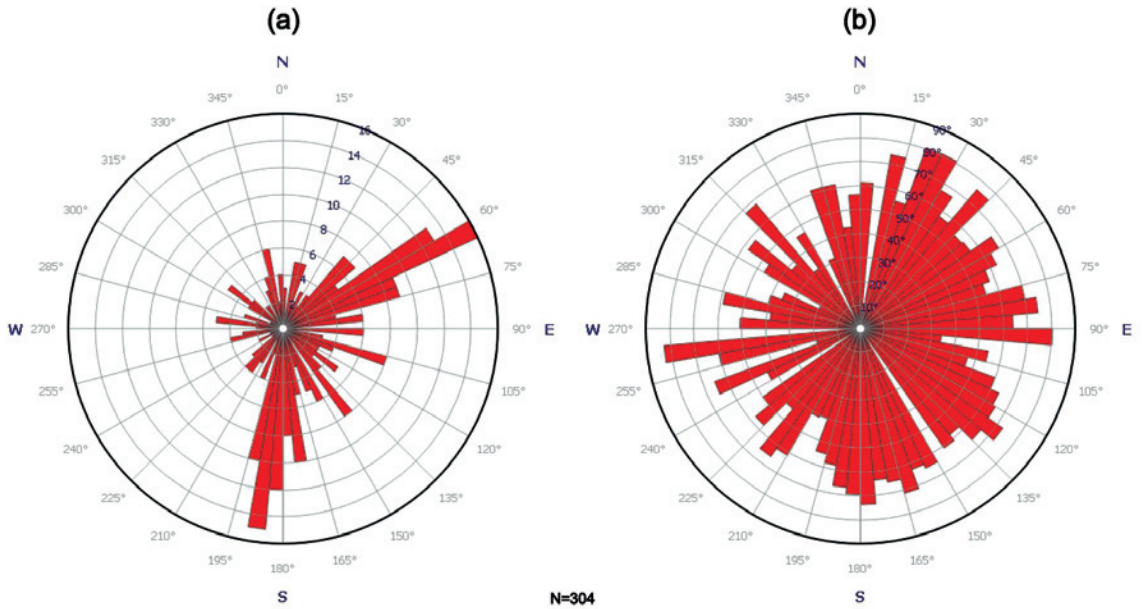
ocağın tamamından alınan süreksizlik verileri kullanılmıştır. Süreksizliklerin gül diyagramı çizildiğinde, iki adet ana iki adet de tali süreksizlik yönelimi saptanmıştır (Şekil 10). Ancak bu süreksizlik sistemlerinin kutup noktalarının stereonet üzerindeki dağılımlarına

bakıldığında, noktaların belli bölge ve/veya bölgelerde toplanmayıp bütün ağ üzerinde dağılım gösterdiği görülmektedir (Şekil 11). Diğer bir anlatımla, kutup yoğunlaşma noktaları belirgin olarak gözlenmemektedir.



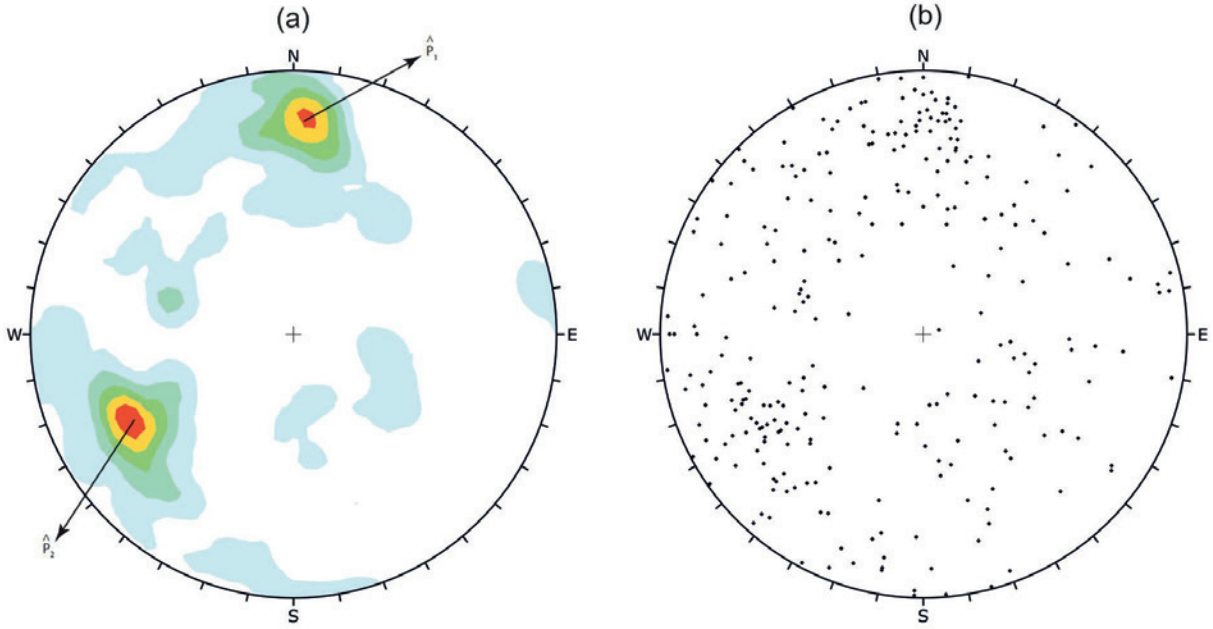
Şekil 9. Doğu Ocak şevlerinden alınan süreksizlik ölçümleri, a) kuzey şevleri, b) güney şevleri, c) batı şevleri.

Figure 9. Discontinuity measurements from the Doğu Ocak of (a) northern slopes b) southern slopes c) western slopes.



Şekil 10. Şamlı Doğu ocağından alınan süreksizlik ölçümlerinin (a) eğim yönlerine ve (b) eğim açlarına göre gül diyagramı.

Figure 10. The rose diagram of the discontinuity measurements at Şamlı Doğu ocak based upon a) dip direction and b) dip amount.

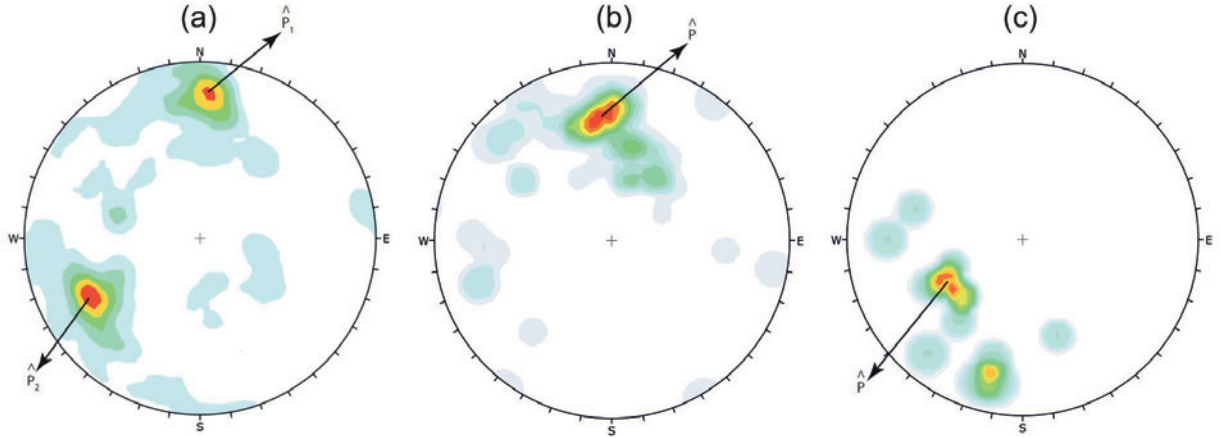


Şekil 11. Süreksizliklerin kontur diyagramı ve kutup noktalarının stereonet üzerindeki dağılımları.

Figure 11. The contour diagram of the discontinuities surfaces and the distribution of their poles on stereonet.

Kinematik anlamda, Doğu Ocağı'nın kuzey ve güney şevlerinde saptanan tüm süreksizliklerin (Şekil 12a) ve kaymalara neden olan süreksizliklerin (Şekil 12b ve c). stereonet üzerindeki dağılımları incelenmiştir. Bu süreksizliklere bağlı gelişmiş duraysızlıkların oluşumlarında, kuzey şevlerinde genelde yaklaşık doğu-batı uzanlı ve güneye eğimli süreksizlikler etkin olurken, güney şevlerinde ise, doğrultuları kuzeybatı-güneydoğu, eğimleri

kuzeydoğu olan süreksizliklerin etkin olduğu görülmüştür. Genel olarak, Şekil 12'de kutup noktalarının en yoğun olduğu kırmızı renkli konturların temsil ettiği süreksizliklerin, arazide saptanan düzlemsel kaymalara neden olan süreksizliklere, geniş bir alana yayılım sunan mavi renkli konturların ise kama tipi kaymalara neden olan süreksizliklere karşılık geldiği belirlenmiştir.

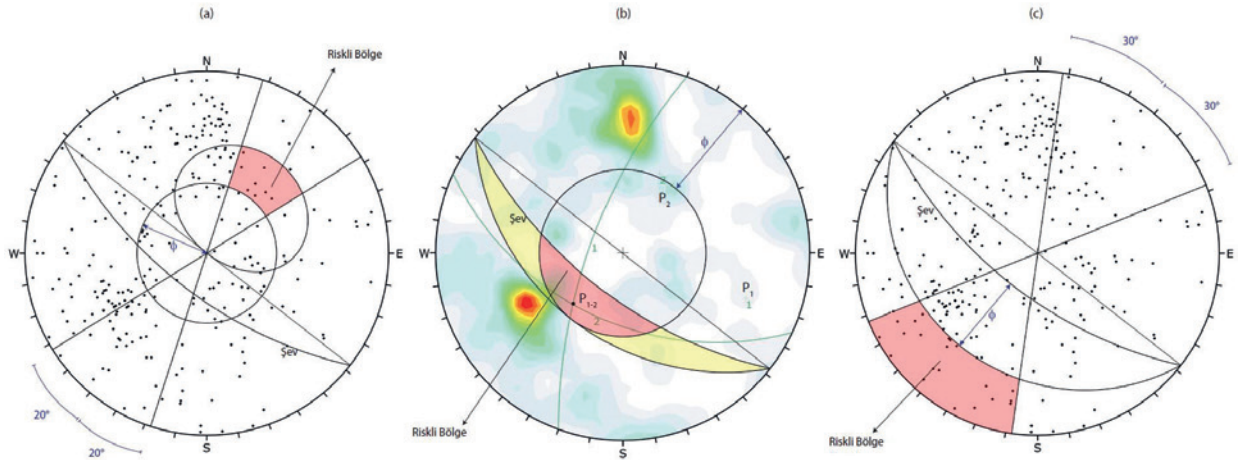


Şekil 12. Duraysızlıklara neden olan süreksizliklerin stereonet üzerindeki dağılımı: a) Ocağın tamamına ait süreksizlikler, b) Kuzey şevleri, c) Güney şevleri

Figure 12. Distribution of the discontinuities causing instabilities for (a) whole pit, (b) northern slope, (c) southern slope.

Yeni oluşturulacak batı şevlerinin kuzey ve güney kanatlarının yönelimleri, Doğu Ocağı'nın kuzey ve güney şevleriyle yaklaşık uyumlu olduğundan (Şekil 3), gelişebilecek duraysızlıklarda da aynı süreksizlik setlerinin etkin olacağı düşünülmektedir. Batı şevleri

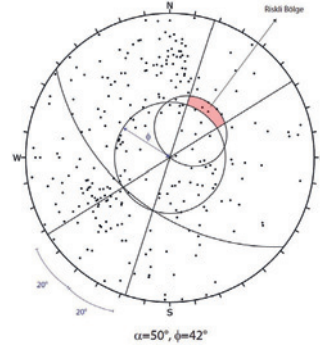
kuzey kanat için yapılan kinematik analizler sonucunda, 70° olarak planlanan basamak şev açısının 65° 'ye düşürülmesi koşulunda da, mevcut şev geometrisinde düzlemsel, kama ve devrilme türü duraysızlıkların gelişebileceği görülmektedir (Şekil 13).



Şekil 13. Doğu ocak batı şevleri kuzey kanadının kinematik analizleri sonuçları: a) düzlemsel kaymalar, b) kama tipi kayma, c) devrilme.

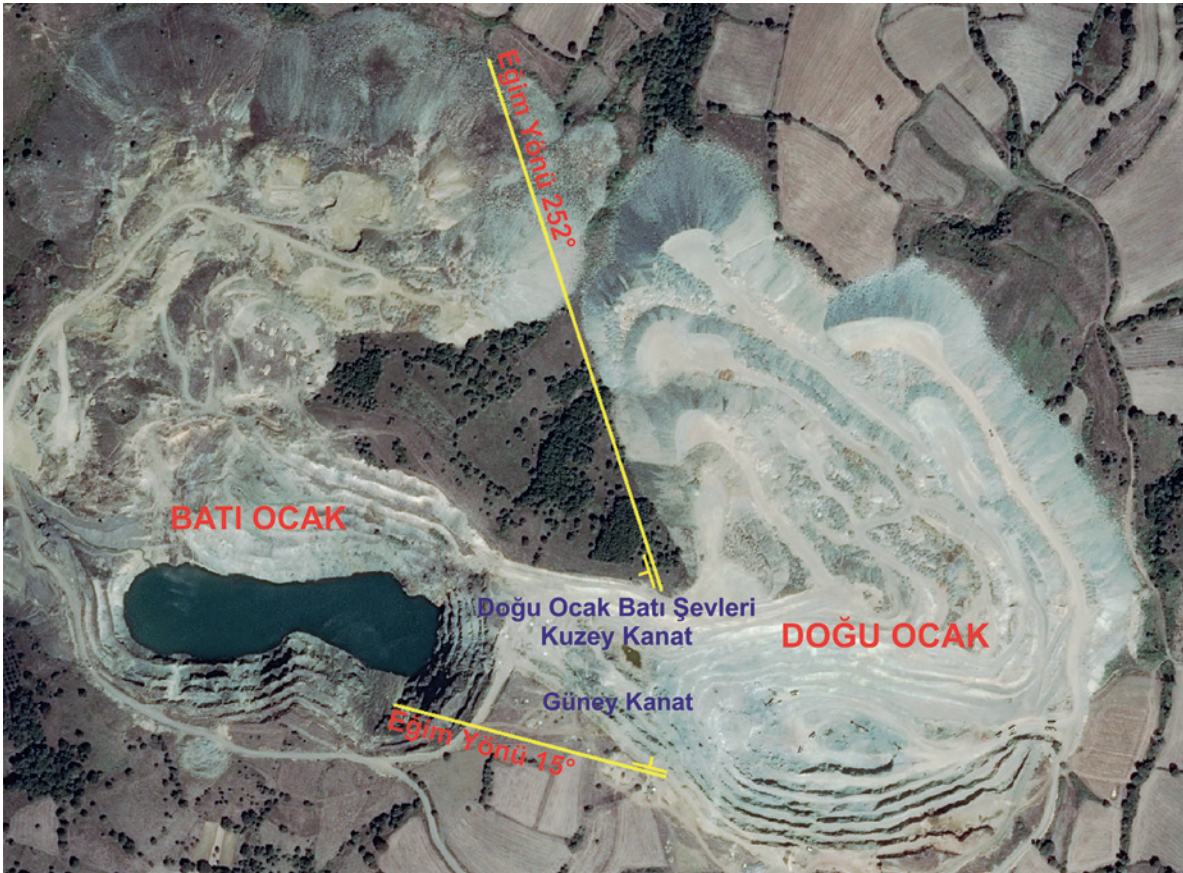
Figure 13. Kinematic analysis of western side of the northern slopes at Doğu ocak: a) planar sliding, b) wedge sliding, c) toppling.

Olası düzlemsel kaymaların büyük bir bölümünün önlenmesi için şevlerinin eğim yönlerinin 252° olarak planlanması gerekmektedir. Ancak, bu durum Doğu ve Batı Ocakları'nın birleştirilmesi planı ile çelişmektedir (Şekil 14). Bu nedenle, yapılan çalışmalar, olası duraysızlıkları önlemek için şev doğrultuları yerine eğim açılarının değiştirilmesi üzerine yoğunlaştırılmıştır. Ancak bu durumda, şev açısı 50° 'ye düşürülse bile, düzlemsel kaymaları tamamen önlemek mümkün olamamaktadır (Şekil 15).



Şekil 15. Batı şevleri kuzey kanat basamak şev açısı (α) 50° olması koşulunda düzlemsel kaymaların kinematik analizi.

Figure 15. The kinematic analysis of planar sliding in the case that northern side of western slope (α) is 50° .



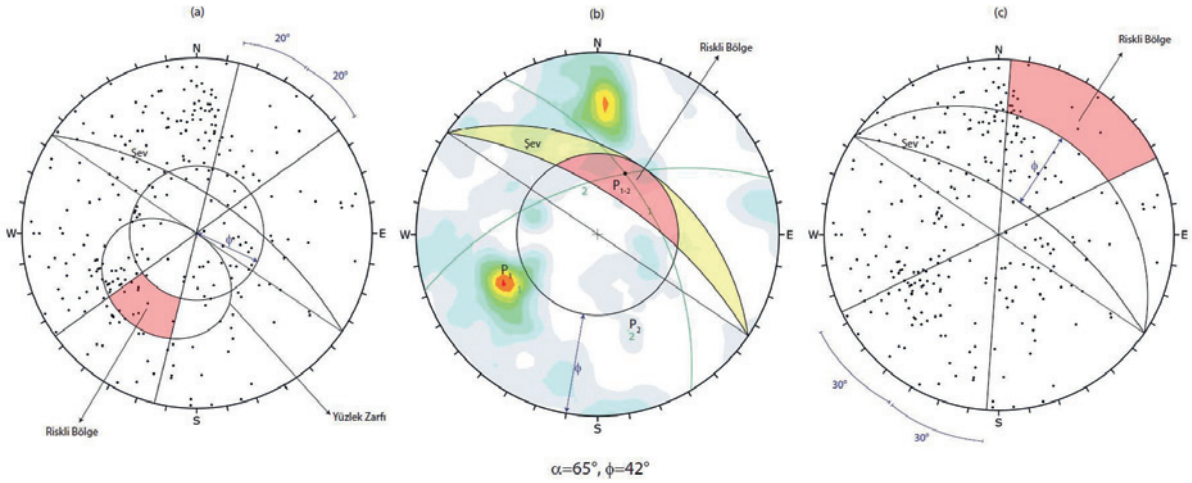
Şekil 14. Batı şevleri Kuzey kanat eğim yönünün 252° olması durumunda Doğu ve Batı ocaklarının birleşememe durumu.

Figure 14. The eastern and northern slopes cannot be met in case dip direction of the northern side of the western slope is 252° when Doğu Ocak and Batı Ocak are merged.

Batı şevleri güney kanat için planlanan şev doğrultuları (eğim yönü 34°) esas alınarak yapılan kinematik analizler sonucunda da basamak şev açısının 65° olması koşulunda düzlemsel, kama ve devrilme türü duraysızlıkların gelişebileceği görülmektedir (Şekil 16).

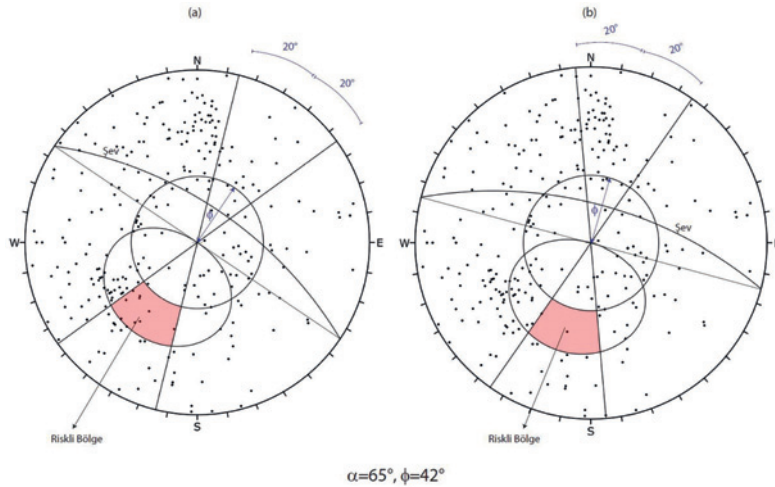
Güney kanat şev eğim yönlerinin başlangıçta planlanan 34° 'den 15° 'ye değiştirilmesi

durumunda, riskli bölgeye, düzlemsel kaymaya neden olabilecek yalnızca bir adet süresizlik düzlemine ait kutup noktası düşmektedir (Şekil 17). Bu koşulun bölgedeki olası düzlemsel kaymaları çok büyük bir oranda azaltacağı açıktır. Ayrıca, şevlerin eğim yönlerinin 15° olarak planlanması iki ocağın birleşmesinde herhangi bir sorun oluşturmamaktadır (Şekil 14).



Şekil 16. Batı şevleri güney kanadının kinematik analiz sonuçları: a) düzlemsel kaymalar, b) kama tipi kayma, c) devrilme.

Figure 16. Results of kinematic analyses for a) planar sliding, b) wedge sliding, c) toppling at southern side of the western slope.

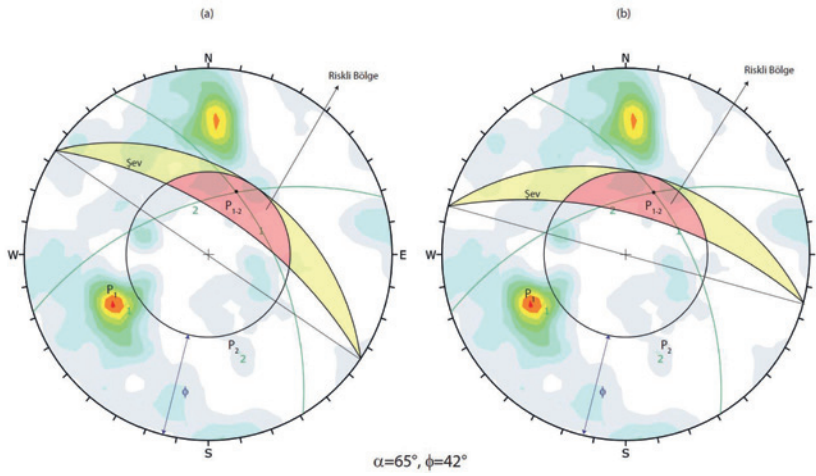


Şekil 17. Batı şevleri güney kanadının a) eğim yönü 34° , b) eğim yönü 15° için düzlemsel duraysızlıkların kinematik analizleri.

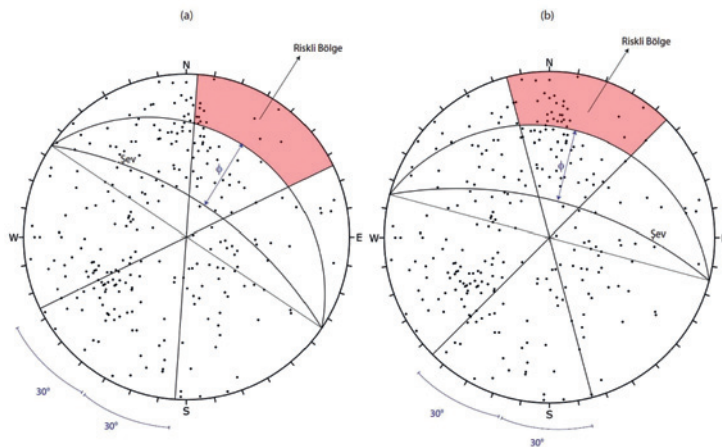
Figure 17. Kinematic analyses of planar sliding based upon a) 34° and b) 15° dip directions at southern side of the western slope.

Güney kanat kama tipi kayma potansiyeli için yapılan kinematik analizlerde kayma potansiyeli oluşturan süreksizliklerin kesişme noktaları, şevlerin eğim yönlerinin hem 34° hem de 15° olması koşulunda, kritik bölge içerisinde kalmaktadır (Şekil 18). Şekil 18’de kama tipi duraysızlığa neden olabilecek (duraylılık analizlerinde en düşük güvenlik katsayısını veren) süreksizliklerin kesişme noktası örnek olarak gösterilmiştir.

Batı şevlerinin kuzey ve güney kanatlarında, kinematik olarak devrilme potansiyeli vardır. Güney kanat için eğim yönleri 34° ve 15° olan şevler için devrilme potansiyeli de kinematik olarak incelenmiş ve devrilme türü duraysızlığın gelişebileceği belirlenmiştir (Şekil 19). Ancak, şevin eğim yönünün 15° olması durumunda devrilme açısından riskli bölgeye düşen süreksizlik sayısının arttığı görülmektedir.



Şekil 18. Batı şevlerinin güney kanadının a) eğim yönü 34° , b) eğim yönü 15° için kama tipi duraysızlıkların kinematik analizleri.
Figure 18. Kinematic analyses of wedge sliding based upon a) 34° and b) 15° dip directions at southern side of the western slope.



Şekil 19. Batı şevlerinin güney kanadının a) eğim yönü 34° , b) eğim yönü 15° için devrilme tipi duraysızlıkların kinematik analizleri.
Figure 19. Kinematic analyses of toppling based upon a) 34° and b) 15° dip directions at southern side of the western slope.

Arazi çalışmaları sırasında, Doğu ocağının kuzey ve güney şevlerinin eğim yönlerinin batı şevleri kuzey kanat ve güney kanat şev eğim yönleriyle uyumlu olan kesimlerinde devrilme türü duraysızlık gözlenmemiştir. Bu nedenle kinematik olarak devrilme potansiyeli bulunmasına karşın, batı şevleri kuzey kanadında devrilme türü duraysızlık beklenmemektedir.

Duraylılık analizleri

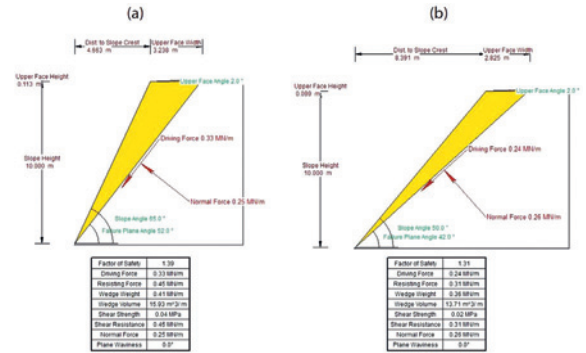
Duraylılık analizleri limit denge kavramını esas alan iki boyutlu deterministik analiz yöntemleri ile yapılmıştır.

Düzlemsel kaymalar için yapılan duraylılık analizlerinde kullanılan programlarda, şevlerin yönelimleriyle ilgili parametre değerlendirilmeye alınmamaktadır. Bu nedenle, batı şevleri kuzey kanat ve güney kanat için ayrı ayrı düzlemsel kayma duraysızlık analizleri yapılmamıştır. Yapılan kinematik analizler dikkate alınarak duraylılık analizlerinde şev eğimlerinin öncelikle 65° olması koşulu araştırılmıştır. Duraylılık analizlerinde basamak yükseklikleri (H) 10 m ve şevler kuru olarak kabul edilmiştir.

Duraylılık analizleri dinamik (depremlı) koşullar için de gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanımıza en yakın aktif fay Şamlı Fayı'dır ve $M_w \geq 6.0$ büyüklüğünde deprem üretme potansiyelinin olması nedeniyle analizlerde yatay ivme $0.2g$ olarak alınmıştır.

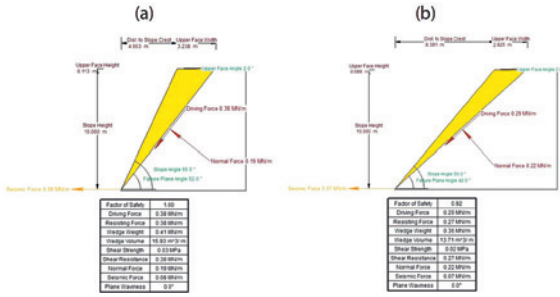
Yapılan duraylılık analizlerinin sonuçları Çizelge 3'te verilmiştir.

Düzlemsel kayma duraylılık analizleri sonucunda, süreksizlik yüzeylerine ait pürüzlülük katsayılarının $JRC = 8$ olması durumunda W3-W4 ve W3 bozunma dereceli zonlar için elde edilen dayanım parametreleriyle hesaplanan güvenlik katsayılarının 1.3'ten büyük ($F > 1.3$) olduğu belirlenmiştir (Şekil 20a, Çizelge 3). Bu katsayılar, açık ocak şevlerinde statik koşullar için kabul edilen güvenlik katsayılarıyla uyumludur. W3-W4 dereceli bozunma zonunda, pürüzlülük katsayısının $JRC = 5$ olması durumunda ise basamak şev açılarının 50° 'ye kadar düşürülmesi koşulunda $F > 1.3$ değeri elde edilebilmektedir (Şekil 20a, Çizelge 3). Depremlı koşul için yapılan analizlerde ise güvenlik katsayıları W3-W4 bozunma zonunda $JRC = 8$ olması durumunda $F_d = 1.0$, $JRC = 5$ olması durumunda $F_d < 1.0$ elde edilmektedir (Şekil 21, Çizelge 3).



Şekil 20. Düzlemsel kaymaların W3-W4 bozunma zonunda statik koşulda $F \geq 1.3$ sağlayan duraylılık analizleri a) $JRC=8$ b) $JRC=5$ için.

Figure 20. In W3-W4 weathering zones, the stability analysis of planar sliding in the case of $F \geq 1.3$ for a) $JRC=8$ and b) $JRC=5$ under static conditions.

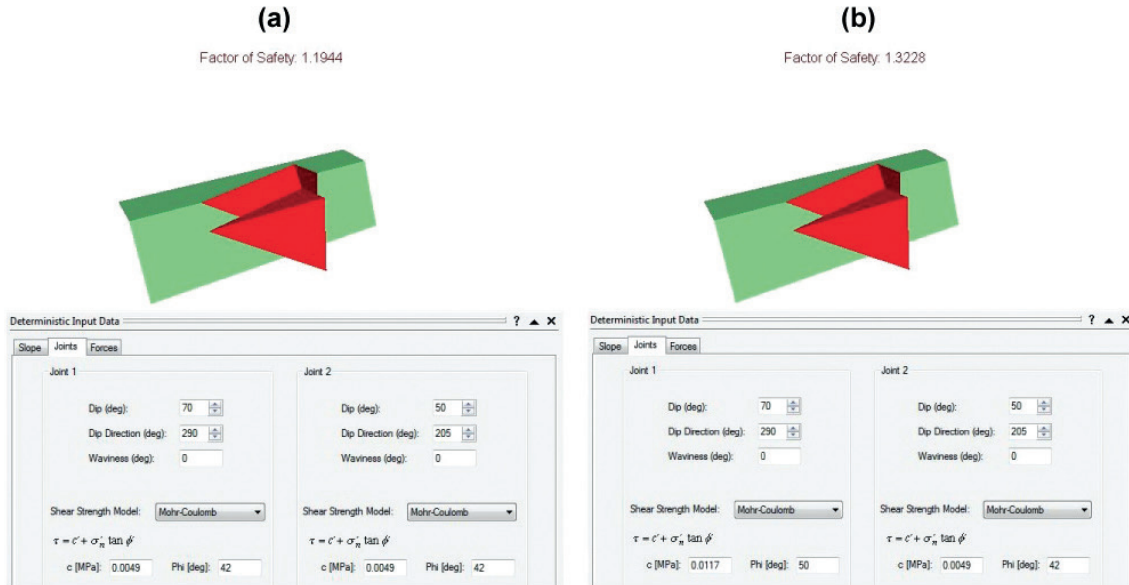


Şekil 21. Düzlemsel kaymaların W3-W4 bozunma zonunda depremleri için duraylılık analizleri a) JRC=8 b) JRC=5 için.

Figure 21. In W3-W4 weathering zone, the stability analysis of planar sliding under dynamic conditions induced by earthquake and for a) JRC=8 and b) JRC=5 values.

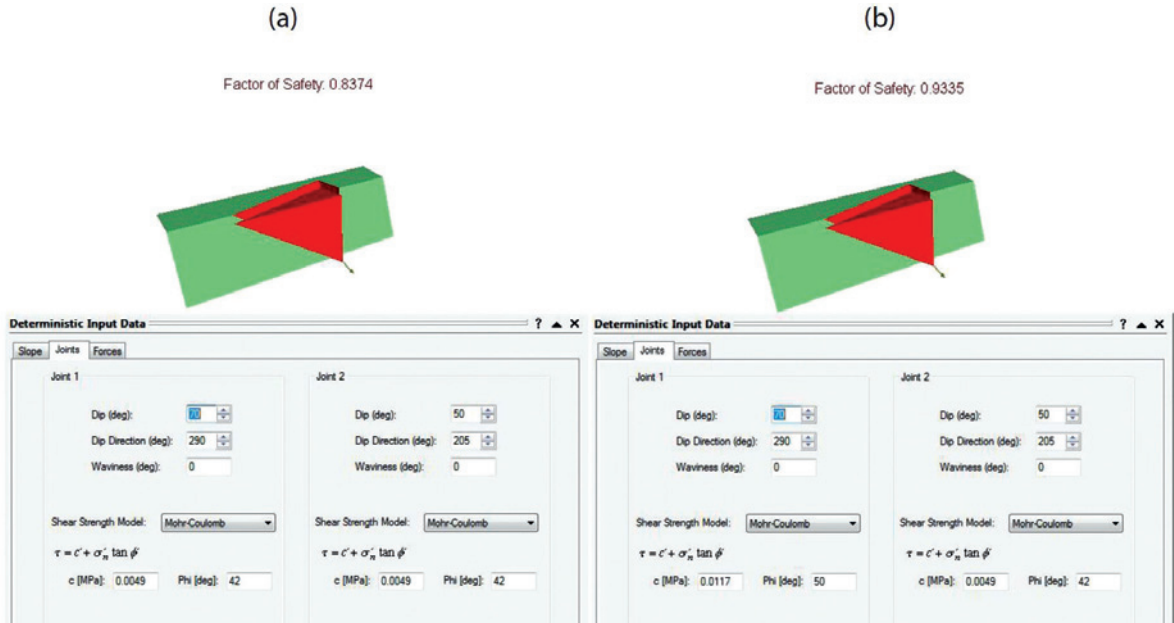
Kuzey kanat kama tipi kaymaların duraylılık analizlerinde, kayma potansiyeline

sahip süreksizliklere (Şekil 13b) ait eğim açısı/ eğim yönü değerleri kullanılmıştır. Kama tipi duraysızlığı oluşturan süreksizliklerin dayanım parametreleri olarak JRC = 5 için hesaplanan dayanım parametreleri kullanıldığında, elde edilen en düşük güvenlik katsayısı statik koşulda $F = 1.19$ 'dur (Şekil 22a, Çizelge 3). Ancak, kamanın herhangi bir kanadı için JRC = 5 yerine JRC = 8 için hesaplanan dayanım parametreleri kullanıldığında ise güvenlik katsayısının 1.3'ün üzerinde kaldığı görülmektedir (Şekil 22b, Çizelge 3). Depremleri koşullar altında kamanın her iki kanadının pürüzlülük değeri JRC = 5 olduğunda $F_d = 0.84$ (Şekil 23a, Çizelge 3), herhangi bir kanat için pürüzlülük değeri JRC = 8 alındığında ise $F_d = 0.93$ değeri elde edilmektedir (Şekil 23b, Çizelge 3).



Şekil 22. Kuzey kanat şevlerinin kama tipi kaymalarda a) her iki yüzey JRC= 5 için, b) yüzeylerden biri JRC=5 diğeri ise JRC=8 için statik koşullarda duraylılık analizi.

Figure 22. Stability analysis of wedge sliding at northern side of the western slope based upon a) JRC= 5 for both faces, and b) JRC=5 for one face and JRC=8 for other face under static conditions.



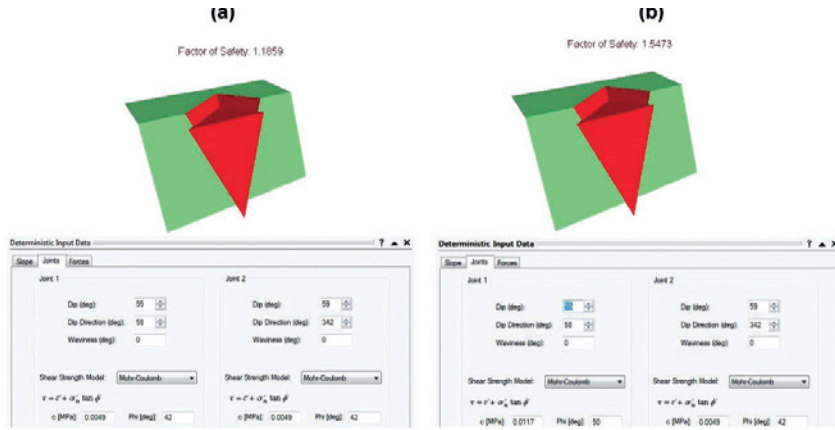
Şekil 23. Kuzey kanat şevlerinin kama tipi kaymalarda a) her iki yüzey JRC=5 için, b) yüzeylerden biri JRC=5 diğeri ise JRC=8 için depremlı koşullarda duraylılık analizi.

Figure 23. Stability analysis of wedge sliding at northern side of the western slope based upon a) JRC= 5 for both faces, and b) JRC=5 for one face and JRC=8 for other face under dynamic conditions induced by earthquake.

Güney kanat düzlemsel kaymalar için kinematik anlamda duraysızlık beklenmemektedir. Kama tipi kaymalar için yapılan kinematik analizlerde, riskli bölgeye düşen kesişme noktaları için duraylılık analizleri yapılmıştır. Bu analizlerde güney kanat şevlerinin eğim açısı/eğim yönü değerleri için planlanan (65/034) ve düzlemsel kaymaların kinematik analizlerine göre önerilen (65/015) şev konumları dikkate alınmıştır. Yapılan duraylılık analizlerinde en düşük güvenlik katsayısını, her iki şev konumu için de, 1 ve 2 nolu süreksizlikler vermektedir (Şekil 18). Kaymaya neden olabilecek süreksizliklerin pürüzlülük katsayıları JRC = 5 için hesaplanan dayanım parametreleri kullanılarak yapılan analizlerde ise güvenlik katsayısı $F = 1.18$ olarak hesaplanmıştır (Şekil 24a, Çizelge 3). Herhangi bir kanat için JRC

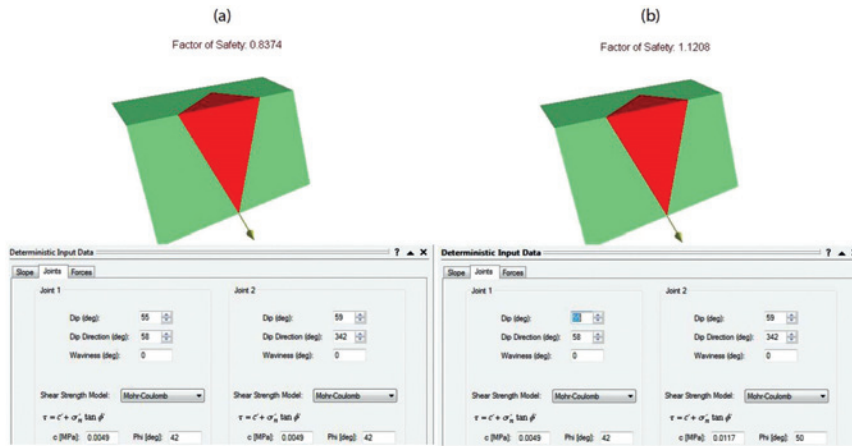
= 8'e göre hesaplanan dayanım parametresi kullanıldığında ise güvenlik katsayısı $F = 1.54$ olmaktadır (Şekil 24b, Çizelge 3). Depremlı koşulda yapılan duraylılık analizlerinde ise güvenlik katsayıları sırasıyla 0.83 ve 1.12 olarak elde edilmektedir (Şekil 25, Çizelge 3).

Batı şevlerinde süreksizliklerin pürüzlülük katsayıları (JRC) ortalama 8 olarak bulunduğundan, kuzey ve güney kanat şevlerinde, basamak şev açılarının 65° olması durumunda statik koşullarda düzlemsel ve kama tipi kaymaların gelişmesi öngörülmektedir (Çizelge 3). Süreksizliklerin pürüzlülük katsayılarının azaldığı bölgelerde lokal olarak düzlemsel kayma potansiyeli bulunmaktadır. Bu durum bozunma derecesinin W3-W4 olduğu bölgelerde daha da artmaktadır.



Şekil 24. Güney kanat şevlerinin kama tipi kaymalarda a) her iki yüzey JRC= 5 için, b) yüzeylerden biri JRC=5 diğeri ise JRC=8 için statik koşullarda duraylılık analizi.

Figure 24. Stability analysis of wedge sliding at southern side of the western slope based upon a) JRC= 5 for both faces, and b) JRC=5 for one face and JRC=8 for other face under static conditions.



Şekil 25. Güney kanat şevlerinin kama tipi kaymalarda a) her iki yüzey JRC= 5 için, b) yüzeylerden biri JRC=5 diğeri ise JRC=8 için depremlili koşullarda duraylılık analizi.

Figure 25. Stability analysis of wedge sliding at southern side of the western slope based upon a) JRC= 5 for both faces, and b) JRC=5 for one face and JRC=8 for other face under dynamic conditions induced by earthquake.

Sonuç olarak, Doğu Ocak batı şevlerinin kuzey kanadında düzlemsel kaymalar, basamak şev açıları, W3 bozunma zonunda 65°, W3-W4 bozunma zonunda ise 60° olması koşullarında engellenebilecektir. Güney kanatta ise kinematik olarak düzlemsel kayma potansiyeli olmamakla

birlikte, bozunma kuzey kanada göre daha fazla olduğundan, basamak şev açılarının kuzey kanat için önerilenlerle aynı olması önerilir. Kama türü kaymalar için statik koşulları dikkate alan duraylılık analizlerinde ise $F > 1.3$ çıkmaktadır. Dinamik koşullarda yapılan duraylılık

analizlerinde ise, W3-W4 bozunma zonunda güvenlik katsayıları hemen hemen tüm duraysızlık türleri için $F \leq 1.00$ çıkmaktadır. Ancak, yapılan planlamalara göre, işletme ömrünün yaklaşık 10 yıl olması ve herhangi bir deprem durumunda da ocakta sadece basamak bazında duraysızlıkların gelişebileceği (derin kaymaların beklenmediği) tahmin edildiğinden, ocak şevlerinin statik koşullara göre tasarlanmasının uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

SONUÇLAR

Arazi çalışmaları ve yapılandırma değerlendirmeler sonucunda, dolgunuz süreksizlik yüzeylerinin dayanım parametrelerinin belirlenmesinde, Bartongörgü yenilme ölçütünün kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır.

Arazi gözlemleri, kinematik ve limit denge şev duraylılık analizi çalışmaları sonucunda; şevlerin eğim yönlerinin batı şevleri kuzey kanadında 218° , güney kanadında ise 15° olarak açılması önerilmiştir. Güney kanat şevleri için yapılan analizlerde 65° 'den daha yüksek basamak şev açıları ile çalışılabileceği belirlenmiştir. Ancak, güney kanat şevlerinde bozunma oranının kuzey kanada göre daha fazla olmasından dolayı, her iki kanatta da basamak şev açılarının; W3 bozunma bölgelerinde 65° , W3-W4 bozunma bölgelerinde ise 60° ile açılması önerilmiştir. Ayrıca, basamak genişliklerinin yapılan planlara uygun olarak 6.0 m olarak açılmasında bir sakınca görülmemektedir. Şevlerin oluşturulması sırasında ve sonrasında, bir veya birkaç basamağı kapsayacak olası yersel duraysızlıklara dikkat edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Barton, N., Choubey, V., 1977. The shear strength of rock joints in theory and practice. *Rock Mechanics*, 10, 1-54.
- Barton, N., 1973. Review of a new shear-strength criterion for rock joints. *Engineering Geology*, 7 (4), 287-332.
- Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı, 1996. Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası.
- Emre, Ö., Doğan, A., Yıldırım, C., 2012. Biga Yarımadası'nın diri fayları ve deprem potansiyeli. (editör: E. Yüzer, G. Tunay). Biga Yarımadasının Genel ve Ekonomik Jeolojisi, 28, 63-191.
- Golder Associates, 1979. Instruction Manual-I: Geotechnical Data Collection. UNDP Training Project, Contact No: Con. 97/78, 56 s (yayımlanmamış)
- Güler, E., Ceryan, Ş., 2015. Burhaniye (Balıkesir) yerleşim alanının sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesi. *Yerbilimleri Dergisi*, 36 (2), 81-96.
- Herece, E., 1985. The Yenice-Gonen earthquake of 1953 and some examples of recent tectonic events in the Biga Peninsula of northwest Turkey: a thesis in geology. Penn State Universty.
- Hoek, E., Bray, J.W., 1981. *Rock Slope Engineering*. 3rd edition. London, Institute of Mining and Metallurgy. 358-402 p.
- ISRM, 1981. Rock characterization, testing and monitoring. International Society for Rock Mechanics Suggested Methods. Pergamon, Oxford. 211 p.
- Lisle, R. J., 2004. Calculation of the daylight envelope for plane failure of rock slopes. *Geotechnique*, 54 (4), 279-280.
- MTA, 2012. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Türkiye. <http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx>, son erişim 15.05.2015.

- Rocscience, 2015a. Dips, V. 6.0, *Graphical and Statistical Analysis of Orientation Data*, Rocscience Inc. Canada.
- Rocscience, 2015b. Plane, V.3.0, *Planar Sliding Stability Analysis For Rock Slopes*, Rocscience Inc. Canada.
- Rocscience, 2015c. Swedge, V.6.0, *3D Surface Wedge Analysis For Slope*, Rocscience Inc. Canada.
- Sarı, R., Tufan, E.A., Yenigün, K.G., 2010. Kentimizin heyelan, deprem ve taşkın alanları açısından irdelenmesi. Balıkesir Kent Sempozyumu Bildiriler Kitabı, EMO Yayın No: SK/2011/3, Balıkesir, 139-150.
- Ulusay, R., Sönmez, H., 2007. Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayın No: 60, Ankara
- Yılmazer, E., Güleç, N., Kuşcu, İ., Lentz, D. R. 2014. Geology, geochemistry, and geochronology of Fe oxide Cu (\pm Au) mineralization associated with Şamlı pluton, western Turkey. *Ore Geology Reviews*, 57, 191-215.

Alipaşa Açık Ocak Albit Madeninde Meydana Gelen Heyelanın GPS Kullanılarak İzlenmesi ve Oluşum Nedenleri

Monitoring of the Landslide Occurred in the Alipaşa Open-Pit Albite Mine by Using GPS and the Recognition of Causes of This Phenomenon

Saffet Deniz KARAGÖZ¹, M. Yalçın KOCA²

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı, İZMİR

² Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İZMİR

Geliş (received) : 12 Ocak (January) 2016
Düzeltilme (revised) : 14 Nisan (April) 2016
Kabul (accepted) : 19 Nisan (April) 2016

ÖZ

Açık ocak madenlerinde en yaygın kütle hareketi heyelanlardır. Ciddi bir şev duraysızlığına genellikle şev üstünde veya gerisinde bir veya daha fazla sayıda gerilme çatlak eşlik eder. Zamana bağlı yer değiştirmelerin izlenmesine bu çatlaklar imkân verir. GPS veya diğer cihazlarla şev hareket hızlarının doğru bir şekilde analiz edilmesi, yüzey-yer değiştirme hareketlerini ve dolayısıyla şev davranışını tahmin etmede genellikle uygundur. Bu çalışma, Aydın/Karpuzlu/Alipaşa açık ocak albit madeninin güneydoğusunda yer alan heyelan sahasındaki şev hareketlerinin izlenmesi ve bu olayın nedenlerinin araştırılmasıyla ilgilidir. Bu kapsamda, hem kütle hareketlerinin yenilme tipi hem de heyelanı oluşturan nedenlerin ortaya çıkarılması için iki ilişki araştırılmıştır. Birincisi; her bir istasyondaki kümülatif yer değiştirme hareketinin yönlem ve dalımıyla, gnayslar içinde mevcut foliasyon düzlemlerinin eğim yönü-eğim açısı değerleri arasında, ikincisi ise, önceki topoğrafyada mevcut dere yataklarının akış yönleriyle bu yatakların yakınında yer alan foliasyonların eğim yönleri arasındadır. Heyelandan etkilenmiş alan günümüzde de madencilik faaliyetlerini tehdit etmektedir. Heyelan sahasındaki kayan kütlelerin içindeki yatay ve düşey yöndeki hareketler GPS ile belirlenmektedir. Bu çalışmalar yapılırken yağış miktarları da günlük olarak ölçülüp kaydedilmiştir. Bu ölçümler şev hareket verileriyle birlikte değerlendirilmiştir. Kaymayı önlemek ve kontrol etmek için heyelan sahasında şev inceltme kazıları yapılmış ve yüzey suları bölgenin dışına çıkarılmıştır. Böylece, şev hareketlerinin yavaşlaması ve iyileştirme çalışmalarının olumlu etkisi şev izlemeleriyle takip edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Açık Ocak Madeni, Heyelan İzleme, İki Düzlemlili Kayma, Yağış.

Y. Koca

E-Posta: yalcin.koca@deu.edu.tr

ABSTRACT

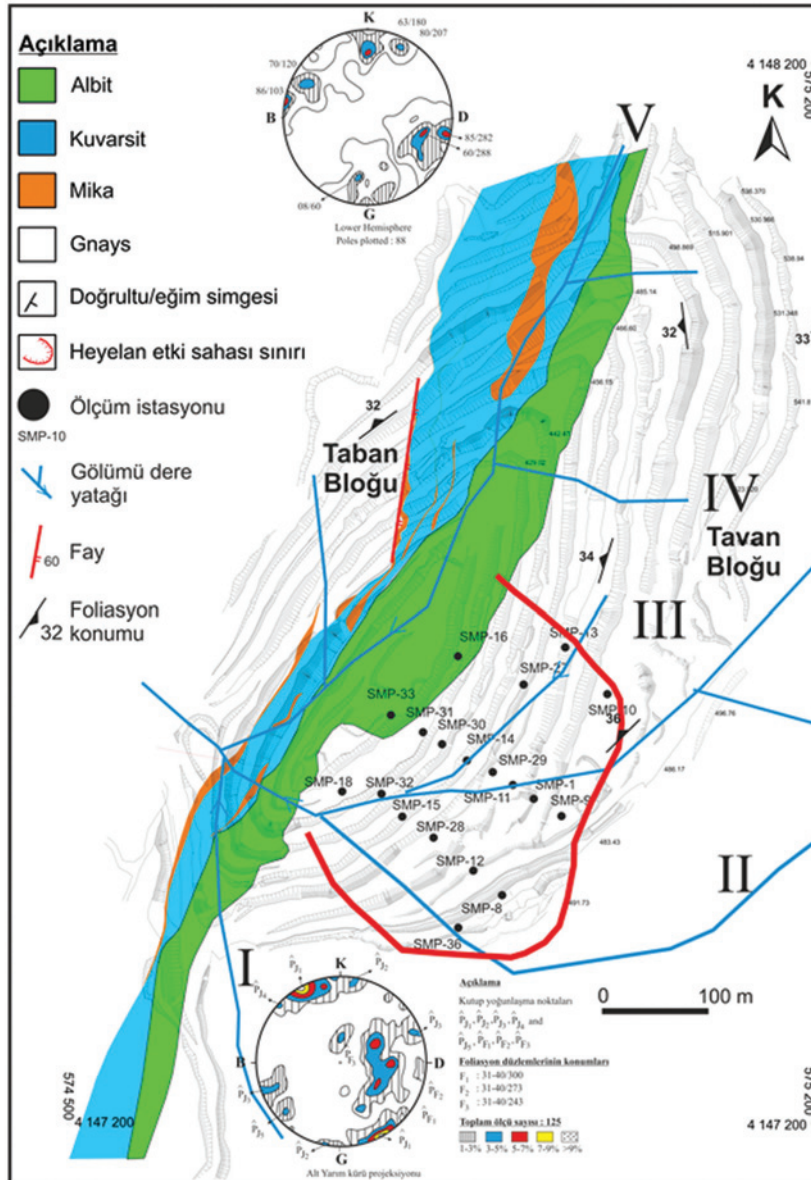
Landslide is the most common mass movement in open-pit mines. A serious slope-instability condition is usually accompanied by gradual development of one or more tension cracks behind or near the crest of the slope, allowing for time-displacement monitoring. Surface-displacement movements employing GPS and other instruments with attendant prompt analysis of slope-movement velocities are usually adequate for predicting slope behavior. This study relates to investigate the causes of this phenomena and monitoring of the slope movements in the landslide area in southeastern side of the Alipaşa open-pit albite mine in Karpuzlu/Aydın. In this context, two relations were investigated in order to determine both the mode of failure of mass movement and the recognition of landslide causes. The first one is between the trend and plunge of cumulative surface-displacement movement at each observation point and dip angle-dip direction values of the foliation planes in gneiss unit. The second is, on the other hand, between the flowing directions of the stream beds in the former topography of the landslide area and dip directions of the foliation planes located in and nearby of these beds. The affected area from the slide still threatens the mining operations. Absolute lateral and vertical movements within the sliding mass in the landslide area were measured by using GPS. During the monitoring studies, rainfall amounts were also measured and recorded. They have been evaluated in conjunction with the slope movement data. In order to prevent and control the sliding-movement, the excavations were implemented in the landslide area with the purpose of decreasing the slope height and the surface water was drained out of the landslide area. Thus, decelerating slope movements and the positive effects of the mitigation measures were attained and monitored in this study.

Key Words: *Open Pit Mine, Landslide Monitoring, Two Planes Slide, Rainfall.*

GİRİŞ

Alipaşa açık ocağının güneydoğusunda Ekim 2011 tarihinde yüzeyde ve şev gerisinde gerilme çatlaklarının oluşmasıyla bir heyelan tehdidi oluşmuştur. Bu tehdit bugün de devam etmektedir. Heyelan, ocağın GD şevinde, +415 - +485 m. kotları arasında meydana gelmiştir.

+415 - +475 metreler arası ocak şevini, 10 metrelik en üst bölüm ise doğal topoğrafyayı kapsamaktadır (Şekil 1). Heyelan etki sahasının KD-GB yönündeki genişliği 255-286 m, KB-GD yönündeki (heyelan hareket yönü) boyu ise 232-236 m. arasındadır.



Şekil 1. Alipaşa açık ocağının mühendislik jeolojisi haritası ve süreksizlik ölçülerine ait kontur diagramları (I, II, III, IV ve V: Gölümü dere yatakları).

Figure 1. Engineering geological map of the Alipaşa open-pit mine and the contour diagrams of the discontinuity measurements (I, II, III, IV and V: Burried stream beds).

Geometrik koşulları tanımlanan heyelan sahasındaki şev hareketi izlenen ve harekete neden olan şartların belirlenmeye çalışıldığı bu çalışmada, iki ilişki araştırılmıştır. Birincisi,

katlanmış (kümülatif) hareket yer değiştirme vektörlerinin yönlem ve dalımlarıyla gnayslardaki foliasyon düzlemlerinin konumları, ikincisi ise, önceki topoğrafyada mevcut dere yataklarının

akış yönleriyle foliasyon düzlemlerinin eğim yönlerinin karşılaştırılmasıdır.

2012-2014 yılları arasında 700 günlük dönemde şev hareketleri izleme sonuçları mühendislik jeolojisi açısından değerlendirilip yorumlanmıştır. Ekim 2011'de şev üst yüzeyinde gözlenen gerilme çatlaklarıyla heyelan oluşum süreci başlamış ve farklı dönemlerde iki kez önemli artışlar göstererek günümüze kadar hareketler sürmüştür. Açık ocaktaki ölçümler hâlâ devam etmektedir.

Açık ocakta çalışan mühendisler, ocaktaki olağan dışı görsel değişimleri kolaylıkla algılayabilirler. Bu değişimler; şev kademelerinde veya şev gerisinde meydana gelen gerilme çatlaklarını, şev tabanında veya basamaklarda taban kabarmaları (heave) şeklindeki küçük kubbemsi yükselmeleri ve kaya ortamda süreksizliklerde meydana gelen açılmaları kapsar. Hareketin izlenmesiyle şevin duraylığı doğrudan denetlenmiş olur (Bell ve Glade, 2004). Şevler uygun bir şekilde izleniyorsa ve şev yenilme mekanizmaları tam olarak anlaşılırsa, deneyimler göstermiştir ki açık ocak işletmelerinde üretime çok kısa aralıklarla güvenli bir şekilde devam edilebilmektedir (Wilson, 1970; Wylie ve Munn, 1978; Savely, 1993; Martin, 1993; Sjöberg, 1996; Allasia vd., 2009; Wang vd., 2010).

Genelde kaya şevlerinde zamana bağlı deformasyonlar, Başlangıç tepkisi aşaması, Regresif aşama ve Progresif aşama olmak üzere üç belirgin aşamadan geçer. Başlangıç tepki aşaması, kazı nedeniye küttele meydana

gelen gerilme değişimlerini kapsar ve kaya kütlelerinin dilatasyonu veya gevşemesi ile sonuçlanır. Hareket hızları $V = 0.1 - 4.0$ mm/gün aralığındadır. Başlangıç tepkisi olarak hareket hızlarının $V > 35$ mm/yıl olması beklenir. Şev hareketi dış bir etkiyle tetiklenir, hareket başlar ve zamanla sönümlenir (Şekil 2). Tekrar bir dış etkiyle bu hareket tetiklenebilir ve daha sonra yine sönümlenebilir. Regresif aşamada, zamana bağlı olarak şev üzerindeki herhangi bir noktadaki hareketin hızı negatif eksponansiyel olarak azalır (Martin, 1993). Geriye ve ileriye dönük yenilme aşamaları (regresif ve progresif aşamalar) açık ocak şevlerinde gözlenen başlangıç tepkisi sonrasında, şev üst yüzeyinde ve şev yüzeyi boyunca meydana gelen yenilmeleri kapsar. Yenilme genelde şev üst yüzeyinde ve şev yüzeyi boyunca bir veya daha fazla gerilme çatlağının oluşması sonrasında meydana gelir. Uygun izleme ve zamana bağlı yer değiştirme kayıtları, tansiyon çatlaklarının analizleri, genellikle şev davranışını tahmin etmede ve yenilen bir şevin madencilik açısından işletilme güvenliğini değerlendirmede çok önemlidir (Read ve Stacey, 2009). Regresif bir yenilmede zamana bağlı olarak toplam yer değiştirme eğrisi (Eğri-A) Şekil 2'de görülmektedir. Şev hareketlerinin sürekli izlenmesi durumunda, A-eğrisi üzerinde yer alan 1, 2 ve 3 numaralı noktalar dış uyarıcıların sisteme dâhil olduğunu göstermektedir. Çünkü hareket tetiklenmiştir. Bu noktalar arasında yer alan her bir aşamada yer değiştirme eğilimi giderek azalır. Sonunda şevde stabilite tekrar sağlanır (Şekil 2).



Şekil 2. Regresif ve progresif şev hareketi yer değiştirme eğrileri (Zavodni, 2000).

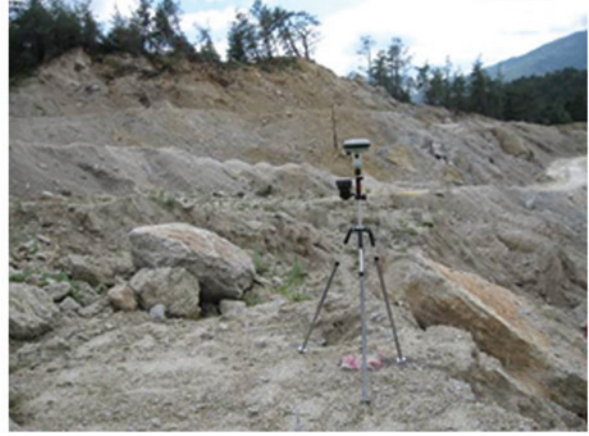
Figure 2. Displacement curves for regressive and progressive slope movements (Zavodni, 2000).

Progresif sistemde ise yer değiştirme hareketi devamlıdır. Yer değiştirme ve hız, kesintiye uğramaksızın artar (Şekil 2). Bu duruma bağlı olarak ivme de artma eğilimi gösterir ve sonunda şev yenilir (Zavodni, 2000). Regresif durum dış etmenler en aza indirilerek veya bertaraf edilerek düzeltilebilir. Regresif aşamada meydana gelen yenilmelerle ilgili olarak: i) Tutucu kuvvetlerin kaydırıcı kuvvetlere oranı yer değiştirmeye azalır. ii) Şev zamanla daha duraylı hale gelme eğilimi gösterir ve her aşamada (1, 2 ve 3 nolu dış etkiler arasında kalan aşamalar) ivme de giderek azalma eğilimi gösterir. Herhangi bir açık ocakta yer alan bir şevdeki koşullar başlangıçta regresif durumu yansıtırken daha sonra progresif aşamaya geçebilir (Şekil 2). Doğal olarak, progresif duruma geçmek için sabit hızda sürekli durum devam ederken, kayda değer bir yer değiştirme hareketinin gerçekleşmesi gerekmektedir. Sürekli durumda kesme direnci doruk değerlere değil,

kalıntı değerlere yakındır. Topuk kabarmalarını gösteren yenilmeler regresiftir. Ancak, yataya yakın veya topuğa doğru ilerleyen yenilmelerde kayma yüzeyi topukta açığa çıkmaz. Değişik dış nedenlerle (örneğin boşluk suyu basıncının aniden artması gibi) hareketin progresif aşamaya geçmesiyle kayma yüzeyi bir makaslama zonu şeklinde şevde açığa çıkar.

YÖNTEMLER

Bir heyelanda meydana gelen değişimleri, yer hareketi ölçüm aletleriyle ölçmek mümkündür. Bu çalışmadaki şev hareketleri, Leica Viva GS 15 GPS cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Cihaz bir adet gezici ve bir adet sabit istasyondan oluşmaktadır (Şekil 3). GPS cihazı yatayda 5 düşeyde 10 mm hassasiyete sahiptir. Sistem uydu bağlantılı çalıştığı için mesafe sınırlaması yoktur. GPS ölçümleri açık ocakta 2011 yılından itibaren kullanılmaya başlanmıştır.

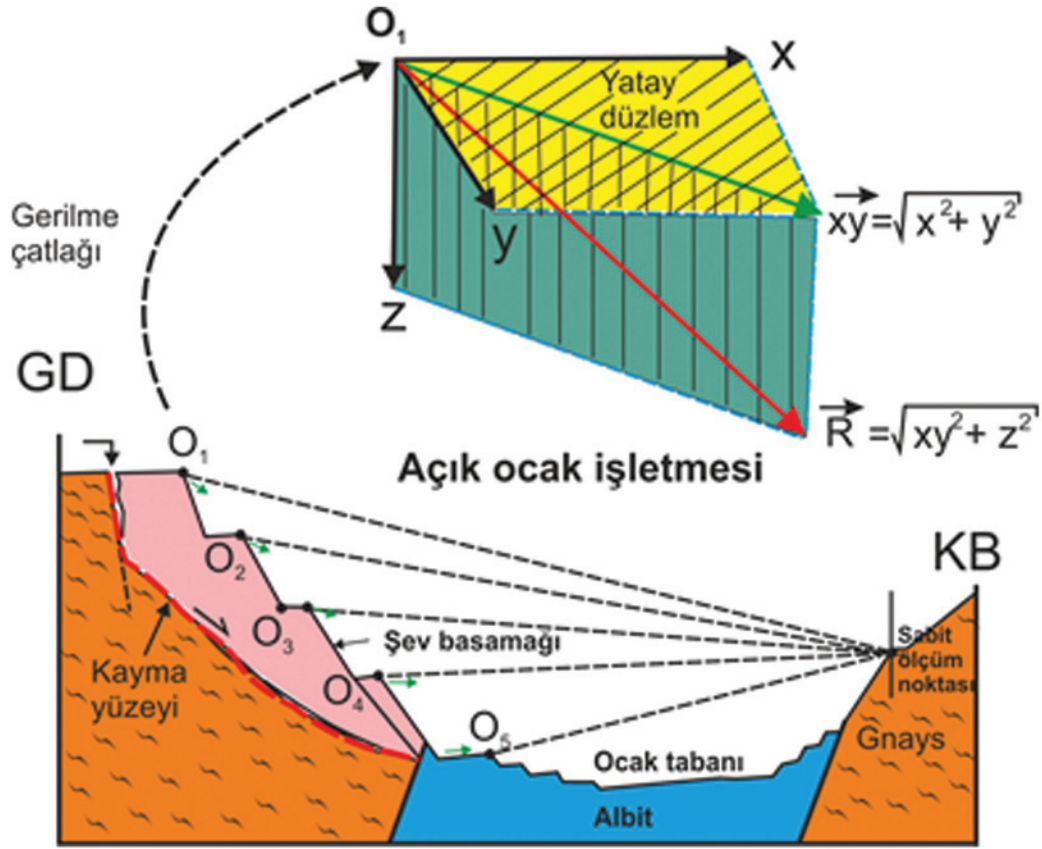


Şekil 3. Ocağın KB köşesine konumlandırılmış sabit ve gezici GPS üniteleri.

Figure 3. Stable and mobile GPS-units located at NW corner of the pit.

Şev kesitleri üzerinde yer alan çok sayıda "Hareket İzleme Noktası (SMP - Slope Monitoring Point)" duraysızlığın modeli hakkında bilgi sağlar. Öncelikle, her ölçüm noktasında saptanan hareketin bileşke vektörünün (yönüne gereksinim vardır (Şekil 4). GPS aracılığıyla ölçülen koordinatların üç boyutlu düzlemde incelenmesi ve hatalı ölçümlerin ayıklanarak üç boyutlu hareket vektörlerinin çizilmesi işlemlerinde GEOVIA Surpac 6.6.1 (2013) yazılımı kullanılmıştır (Geovia Surpac, Dassault Systems, SSI-23486). GPS aracılığıyla ölçülen koordinatların iki boyutlu düzlemde incelenmesi, hatalı ölçümlerin ayıklanarak üç boyutlu vektörlerin çizilmesinde NetCad GIS 7 (2015) yazılımı kullanılmıştır.

Açık ocağın güneydoğusunda 2011 ve 2014 yılları arasında 38 adet şev hareketi izleme noktası (SMP) kurulmuş ancak bu istasyonların bir kısmı üretim faaliyetleri bir kısmı da heyelan hareketi nedeniyle kaybolmuştur. Bunlardan sadece 19 tanesi günümüze kadar korunmuştur. Gerilme çatlakları ortaya çıktıkça yeni istasyonlar kurulmuştur. SMP noktalarına ait deformasyon verileri kullanılarak tematik harita oluşturulmuştur. Bunun için MapInfo Professional yazılımı kullanılmıştır (MapInfo Professional 8.0, 2000). Tematik haritada eski dere yatakları, güncel topoğrafya, eklemeli hareket vektörlerinin miktarları ve yönleri birlikte gösterilmiştir.



Şekil 4. O_1, O_2, \dots, O_n kayma noktalarındaki hareket vektörlerinin konumlarına göre kayma yüzeyinin yeri (ölçeksiz).

Figure 4. Location of the slip surface based on the orientations of movement vectors on sliding points O_1, O_2, \dots, O_n (not to scale).

Şev hareketi izleme istasyonlarının her birinde yapılan ölçümler ve bu ölçümlerden hesaplanan değerler; ölçüm tarihleri, her ölçümün X, Y ve Z koordinatları, önceki ve bir sonraki ölçüm arasındaki fark ve bu farkın eklemeli/katlanmış değeri, hareketin yatay ve düşey hızları (mm/gün), bileşke hareket vektörünün yönlem ve dalımıdır. Bu ölçümlerin takip edilebilmesi için SMP-14 istasyonunda yapılan 700 günlük ölçümlere (21 Aralık 2012 ile 25 Aralık 2014 tarihleri arası) ait ayrıntılar Çizelge 1'de verilmiştir. 21.12.2012 ile 19.11.2013 tarihleri arasında yatay ve düşeyde ölçülen

hareket miktarları sırasıyla 2342.1 ve 583.59 mm, bileşke katlamalı hareket ise 2420.8 mm'dir. Hareketin yönlem ve dalımının 313.65/14 (K 44 B / 14 KB) olduğu, yatay şev hareket hızının 21 Aralık 2012 ile 28 Şubat 2013 tarihleri arasında en yüksek olduğu ve bazı günlerde hareket hızının 0.5 cm/gün'den büyük olduğu Çizelge 1'den anlaşılmaktadır. Hız verileri için:

$$[(Z_2 - Z_1 / \text{Gün}_2 - \text{Gün}_1) * 1000] \quad (1)$$

eşitliği kullanılmıştır.

Burada;

Z: Düşey kotu (m)

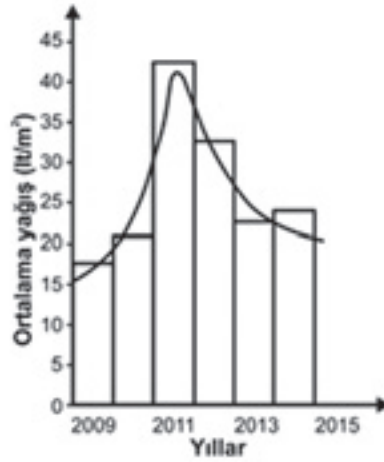
Gün₂-Gün₁: Ölçüm tarihleri arasındaki gün farkını göstermektedir.

Aynı zaman aralığında, en yüksek düşey hareket hızı da 1.35 cm/gün değerine erişmiştir.

Çalışmada, ayakları gerilme çatlağının her iki tarafına konumlanacak şekilde ve çatlak uzanımına dik yönde, çatlak açıklığı izleme istasyonları da kurulmuştur (OMP). Şev hareketiyle birlikte oluşan yer değiştirmeler nedeniyle çelik barların uçlarının paralellikleri bozulmaktadır. Bu yöntemle elde edilen hareket verilerinde yatay hareket kolaylıkla tespit edilirken, düşey hareketleri tespit etmek daha zor olmaktadır. Bu nedenle alınan ölçüler GPS verileriyle birlikte değerlendirilmiştir.

Açık ocakta üç adet plüvyogram yardımıyla yağış verileri kaydedilmektedir.

Hareket izleme istasyonlarından elde edilen şev hareket verileri yağış verileriyle birlikte değerlendirilmiştir. Halihazırda, Alipaşa açık ocağının güneydoğusunda üç ana kesit ekseninde 19 adet şev izleme noktası ve 3 adet yağış ölçüm istasyonu vardır. Aydın yöresi için aylara göre yıllık yağış ortalaması 1.8 kg/m² ile 107 kg/m² arasında değişmektedir (DMİ, 2014). En yüksek yağış miktarının Ocak, en düşük yağış miktarının ise Ağustos ayında gerçekleştiği belirlenmiştir. Alipaşa açık ocak madeninin farklı bölgelerine yerleştirilmiş 3 plüvyogram yardımıyla 14.10.2009 ile 30.10.2014 tarihleri arasında düzenli olarak yağış ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Yıllara göre ortalama yağış miktarları Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Yıllara göre (2009-2014) ortalama yağış miktarları.

Figure 5. Mean amount of precipitation by the years 2009 to 2014.

İnceleme alanında yüksek eğimli ve eğim yönleri ocak tabanına doğru olan çatlaklar foliasyon düzlemlerini kesmektedir. Foliasyon düzlemleriyle kesişen çatlaklar geniş açılı yapılar

iki düzlemli ve kayma potansiyeline sahip kaya bloklarını oluşturmaktadır. Süreksizliklerin oluşturduğu kaya blokları yoğun yağışlı dönemlerde, ocak tabanına doğru, birkaç

şev kademesini etkileyecek şekilde, göreceli daha düşük eğim değerine sahip (26° - 40°) foliasyon düzlemleri boyunca zaman zaman hareket etmektedir. Bu hareketler 2011'den günümüze kadar cevher (feldispat-albit) üretimini de aksatacak şekilde kaymalara neden olmaktadır. Bu çalışmada, iki düzlemlilik blok kayması (düzlemsel kayma), kinematik olarak Kıncal (2014) tarafından önerilen stereografik projeksiyon tekniği kullanılarak incelenmiştir.

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı yazılım kullanılarak eklemeli hareket vektörlerinin yönlemleri, bileşke yer değiştirme miktarları, eski dere yatakları ve güncel topoğrafya gibi veri katmanları çakıştırılarak (overlay process) tematik harita elde edilmiştir. Haritada bileşke yer değiştirme miktarları zonlanarak deformasyonların maksimum, minimum olduğu bölgeler ortaya çıkarılmıştır.

JEOLOJİ

Açık ocak madeni Menderes Masifi'nin Çine Asmasifi içerisinde, çekirdek serisi olarak adlandırılan gözlü gnayslar içerisinde yer almaktadır. Açık ocağı boydan boya kesen Karadere makaslama zonu boyunca albit cevherleşmesi gerçekleşmiştir. Ayrıca zon boyunca mika ve kuvarsit zenginleşmeleri de gözlenmiştir (Şekil 1). Gözlü gnayslar foliasyonlu ve çatlaklı bir yapı gösterirler (Koca, vd. 2010; Koca vd., 2012; Tanyaş ve Ulusay, 2013; Kadakçı, 2014). Heyelanlı saha içerisinde foliasyonların konumları Şekil 1'deki kontur diyagramlarında gösterilmiştir. Buna göre; foliasyonların eğim açıları 26° - 40° arasında

değişirken doğrultuları genelde K-G veya KB-GD'dur. Foliasyonların eğim yönleri ise 210° - 347° arasındadır. Foliasyon düzlemlerinin eğim yönleri ocağın güneydoğusunda yamaç dışına eğimliken, kuzeybatısında yamaç içine eğimlidir (Şekil 1). Çatlak setlerinin konumları ise; Set-1: 80-90/325-340, 80-90/290-320, Set-2: 70-85/190-210, 80-90/40-70'dur.

MÜHENDİSLİK JEOLOJİSİ

Şev Duraysızlığına İlişkin Gözlemler

Açık ocağın güneydoğusunda yer alan ana nakliye yolunda ve 475 m kotlu şev kademesinin kuzeydoğu kesiminde 17.10.2011 tarihinde tansiyon çatlakları meydana gelmiştir. Tansiyon çatlaklarının tespitinden sonra haritalama çalışmaları başlatılarak heyelan etki sahası belirlenmiştir (Şekil 1). Ocak faaliyete geçmeden önce topoğrafya ve mevcut dere yataklarının konumları Şekil 6'da gösterilmiştir. Alipaşa açık ocağının güneydoğusunda meydana gelen heyelanın ana nedeni, Yarealan Deresi'nin II ve III nolu kolları boyunca dere sularının ocağı beslemesidir. III nolu kolun üzeri şev planlaması sırasında örtülmüştür. Bu nedenle yüzeyden akışı gözlenmemektedir. Ocak planlaması sonrasında şev basamakları teşkil edilmiş ve dere yatağının yönü değiştirilmiştir. Ancak gömülü eski yatak, faaliyetini sürdürmüştür. Eski dere yatağı boyunca gelen sular gnaysları yumuşatmış ve dayanım parametrelerini azaltmıştır. Buna ek olarak, mevcut süreksizlikler boyunca kohezyonun kaybolmasına da neden olmuştur. Bu durum açık ocak şevlerinde kayma koşullarını hazırlamıştır.

Karagöz, Koca

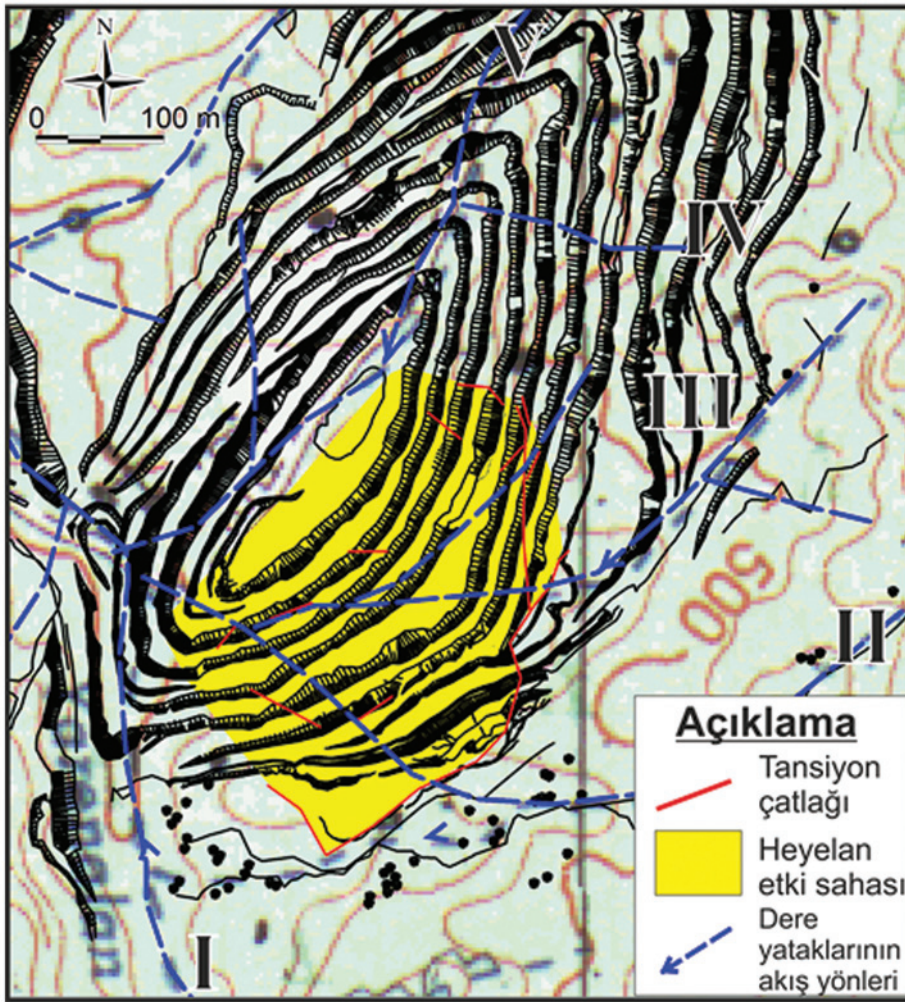
Çizelge 1. SMP-14 İstasyonuna ait ölçümler ve elde edilen veriler.

Table 1. Data of the displacement movements obtained from the measurement station of SMP-14.

Tarih	X		Y		Z		Yönlem		Yatay hız (mm/day)	Mesafe (mm)	Hareket Vektörü			
	Fark (mm)	Küm. (mm)	Fark (mm)	Küm. (mm)	Fark (mm)	Küm. (mm)	Küm. (mm)	Fark (mm)			Küm. (mm)	Fark (mm)	Küm. (mm)	
21.12.12	574877.38	4147545.78	429.22	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0	188.7	0.0				
26.12.12	574877.25	4147545.91	429.17	-129.9	126.3	-52.8	-52.80	-10.6	36.2	287.0	188.7	314.19	314.19	-16
02.01.13	574877.04	4147546.09	429.09	-206.8	183.9	-75.9	-128.69	-10.8	39.5	388.5	475.7	311.65	312.65	-15
17.01.13	574876.78	4147546.36	428.98	-262.4	265.3	-108.3	-237.00	-7.2	24.9	469.2	864.2	315.31	313.85	-16
25.01.13	574876.44	4147546.67	428.89	-337.3	312.1	-94.5	-331.51	-11.8	57.4	274.7	1333.4	312.78	313.47	-12
31.01.13	574876.26	4147546.86	428.81	-181.1	190.0	-80.9	-412.38	-13.5	43.7	172.0	1608.0	316.37	313.96	-17
11.02.13	574876.13	4147546.97	428.79	-129.9	110.8	-20.9	-433.29	-1.9	15.5	287.7	1780.0	310.46	313.61	-7
28.02.13	574875.93	4147547.16	428.71	-200.9	1379.3	-77.1	-510.40	-4.5	16.3	21.7	2067.7	313.54	313.60	-16
11.03.13	574875.92	4147547.18	428.70	-6.3	1399.5	-5.0	-515.41	-0.5	1.9	24.5	2089.5	342.68	313.89	-13
22.03.13	574875.90	4147547.19	428.70	-20.9	1408.7	-8.8	-524.20	-0.8	2.1	125.7	2113.9	293.76	313.67	-21
16.04.13	574875.81	4147547.28	428.67	-86.4	1495.5	-28.1	-552.31	-1.1	4.9	7.8	2239.6	315.13	313.76	-13
29.04.13	574875.81	4147547.28	428.67	-5.4	1500.9	-1.5	-553.80	-0.1	0.6	18.4	2247.4	315.00	313.76	-11
17.05.13	574875.80	4147547.29	428.66	-10.6	1510.6	-11.5	-565.31	-0.6	0.8	22.0	2265.8	312.46	313.75	-39
27.06.13	574875.78	4147547.30	428.65	-16.8	1521.4	-9.3	-574.58	-0.2	0.5	34.5	2287.8	302.74	313.65	-25
30.09.13	574875.76	4147547.33	428.64	-22.7	1547.3	-2.3	-576.90	0.0	0.4	40.0	2322.3	318.77	313.73	-4
22.10.13	574875.73	4147547.36	428.64	-26.4	1643.8	-3.3	-580.20	-0.1	1.8	58.4	2362.3	318.56	313.82	-5
19.11.13	574875.69	4147547.40	428.64	-46.6	1690.4	-3.4	-583.59	-0.1	2.1	107.8	2420.8	306.99	313.65	-3
03.12.13	574875.61	4147547.46	428.60	-77.7	1768.1	-36.8	-620.39	-2.6	7.2	54.2	2528.6	309.91	313.49	-20
17.12.13	574875.59	4147547.51	428.59	-20.0	1725.8	-13.7	-634.09	-1.0	3.7	45.2	2582.8	337.59	313.98	-15
09.01.14	574875.55	4147547.54	428.58	-33.4	1821.5	-5.5	-639.60	-0.2	2.0	160.7	2628.0	311.93	313.95	-7
06.02.14	574875.44	4147547.63	428.52	-114.7	1936.2	-9.5	-698.88	-2.1	5.3	58.8	2788.7	309.84	313.72	-22
27.02.14	574875.41	4147547.68	428.52	-33.6	1899.8	48.3	-698.70	0.0	2.8	168.3	2847.6	325.18	313.96	0
12.03.14	574875.28	4147547.79	428.49	-122.1	2009.9	-36.0	-734.70	-2.8	12.6	61.9	3015.9	312.04	313.85	-12
17.04.14	574875.24	4147547.83	428.46	-40.4	2050.3	-23.7	-758.39	-0.7	1.6	42.3	3077.7	315.00	313.88	-23
06.05.14	574875.21	4147547.86	428.45	-30.8	2077.3	-10.6	-769.01	-0.6	2.2	41.7	3108.0	311.24	313.84	-15
14.08.14	574875.19	4147547.89	428.44	-27.2	2190.3	-29.8	-779.70	-0.1	0.4	104.9	3161.8	317.61	313.89	-15
25.12.14	574875.11	4147547.96	428.42	-76.4	2175.6	-21.9	-801.60	-0.2	0.8	0.0	3266.7	311.88	313.83	-12

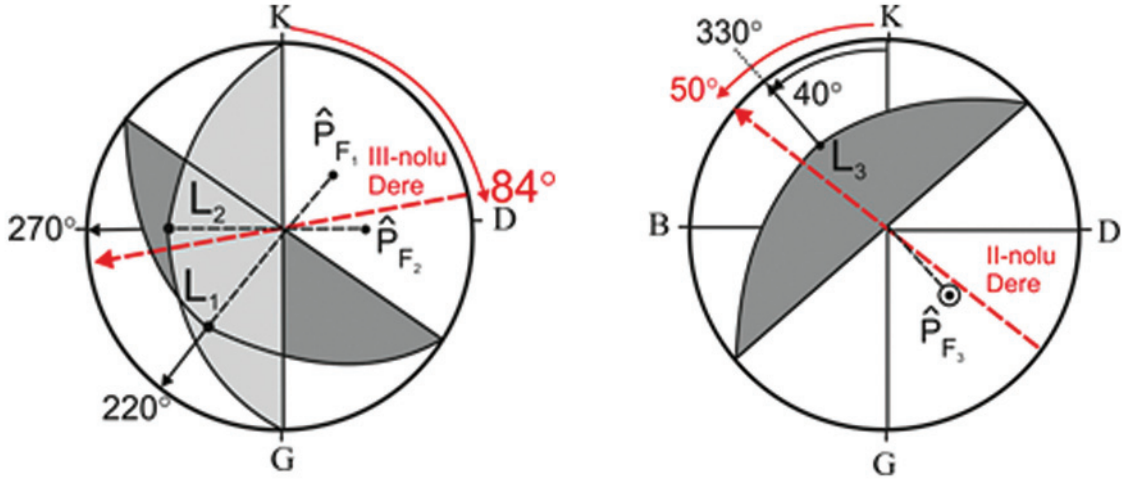
Şekil 7'de verilen kontur diyagramında foliasyon düzlemlerinin ve 2 - nolu çatlak setinin oluşturduğu kutup yoğunlaşma noktaları , , ve simgeleriyle gösterilmiştir. ve kutup noktalarını oluşturan foliasyonların eğim yönleri sırasıyla 220°, 270° ve 320°'dir (Şekil 7). Yarenalan Deresi'nin III nolu kolunun ocak içindeki uzanımı K 84 D - G 84 B ve akış yönü G 84 B, II nolu kolun ocak içine yönelen bölümünün

uzanımı ise K50B–G50D, akış yönü K 50 B'dir (Şekil 7). Ocak içine yönelen dere kolunun akış yönüyle 'ü oluşturan foliasyonların eğim yönleri yaklaşık örtüşmektedir. Foliasyon düzlemleri boyunca eski dere yatağı gelişmiştir (Şekil 7). Bu örtüşme, süreksizlik düzlemleri boyunca heyelan sahasına su getiriminin olduğuna işaret etmektedir.



Şekil 6. Hem yüzeysel akışa sahip hem de gömülü durumda olan dere yatakları (Önceki topoğrafya üzerine açık ocak şevleri işlenmiştir).

Figure 6. Stream beds both in surface flow and buried position (open pit slopes were marked on the previous topography).



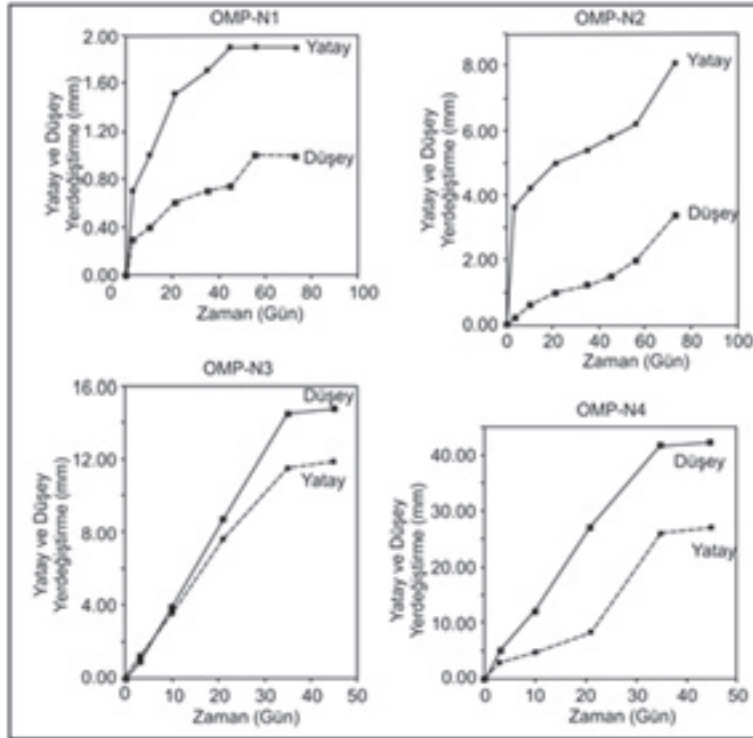
Şekil 7. Foliasyon düzlemlerinin eğim yönleriyle gömülü dere yataklarının akış yönü ilişkisi (\bar{P}_{F1} , \bar{P}_{F2} ve \bar{P}_{F3} : Foliasyon kutup noktaları, L_1 ve L_2 : Eğim yönü çizgisi. Eğim yönü çizgileri stereo-net üzerinde süreksizlik düzlemlerini temsil etmektedir).

Figure 7. The relationship between dip directions of foliations and flow directions of buried stream beds (\bar{P}_{F1} , \bar{P}_{F2} ve \bar{P}_{F3} : Pole points of foliations, L_1 ve L_2 : Dip direction lines. Dip direction lines represent the discontinuity planes on the stereographic net).

Gerilme Çatlağı Açıklık Ölçümleri

Açık ocağın GD kesiminde gerilme çatlaklarında meydana gelen yatay ve düşey hareketlerin izlendiği hareket izleme istasyonları (OMP) heyelanın taç bölgesinde yer alır. Hareket izleme noktaları hareketin başladığı ilk günlerde kurulmuştur. Süreksizlik açıklığı ölçümleri, çatlak üzerine kurulan çelik barlarla yapılmaktadır. Ölçümler dört noktada gerçekleştirilmiştir (OMP-N₁, OMP-N₂, OMP-N₃ ve OMP-N₄). OMP-N₁ ve OMP-N₂'de sekiz kez, OMP-N₃ ve OMP-N₄ noktalarında altı kez ölçüm yapılmıştır. Zamana bağlı olarak, yatay ve düşey yer değiştirme miktarlarının grafiği çizilmiştir (Şekil 8). OMP-N₁ ve OMP-N₂ noktalarında yer

değiştirme miktarları 80, OMP-N₃ ve OMP-N₄ noktalarında ise 48 günlük bir zaman diliminde gerçekleştirilmiştir. Bu durum, hareket hızlarının OMP-N₃ ve OMP-N₄ noktalarında çok daha yüksek olduğuna işaret etmektedir. Bu noktalar I nolu dere yatağına daha yakın konumdadır (Şekil 1). Gerilme çatlağı açıklığı en fazla OMP-N₄ noktasında, en düşük ise OMP-N₁ noktasında ölçülmüştür (Şekil 8). OMP-N₄ noktasında istasyonun kaybına kadar geçen sürede yatayda 42 cm düşeyde 27.2 cm hareket meydana gelmiştir. Bileşke yer değiştirme miktarı 50.0 cm'dir. Gerilme çatlağında günlük ortalama yer değiştirme hızı 0.5 cm/gün'dür. OMP-N₁ noktasında yatayda 1.90 cm düşeyde 1.0 cm hareket meydana gelmiştir.



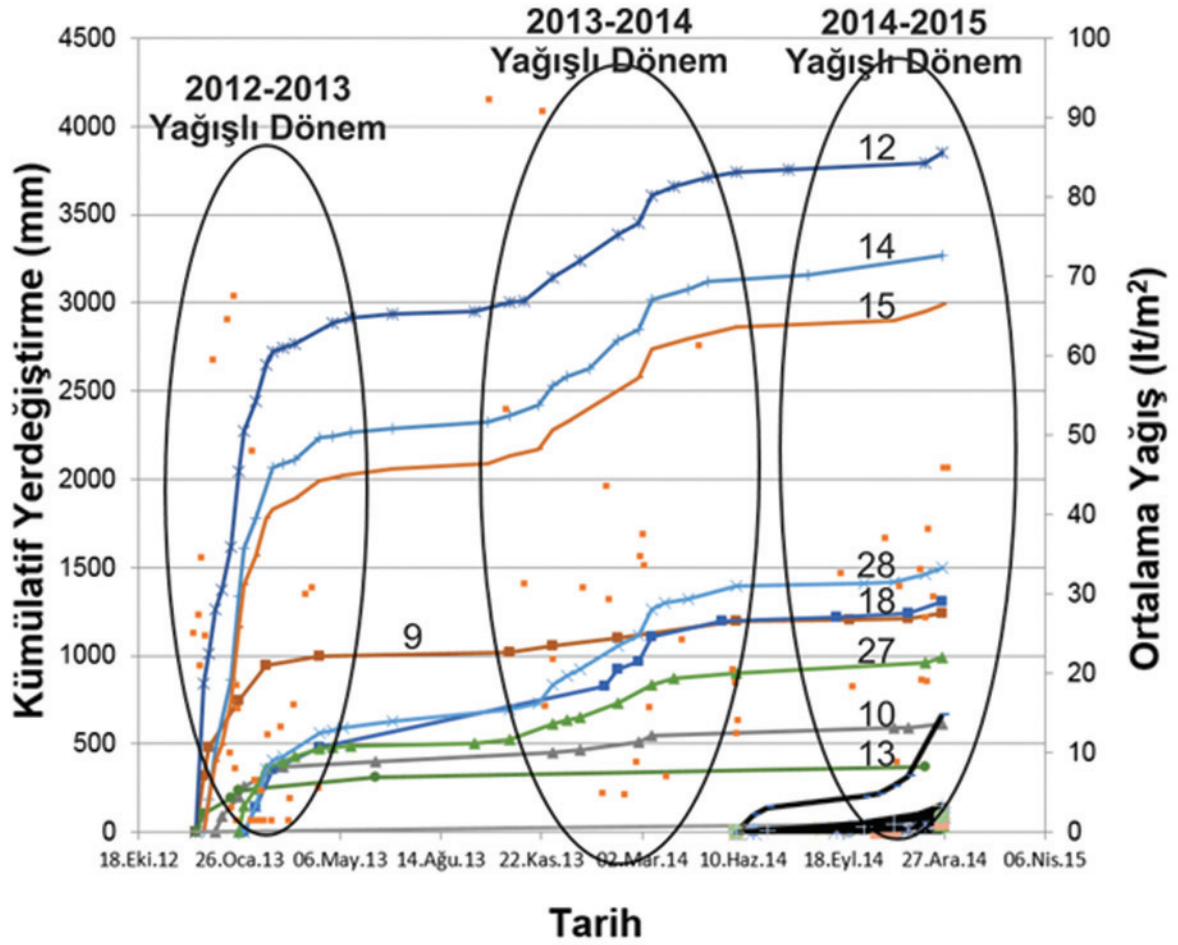
Şekil 8. Gerilme çatlaklarında yatay ve düşey yer değiştirme miktarlarının zamana bağlı değişimleri (Başlangıç ve bitiş ölçüm tarihleri: N_1 ve N_2 için: 21.10.2011 – 12.01.2012, N_3 ve N_4 için: 21.10.2011 – 05.12.2011'dir).

Figure 8. Variations of horizontal and vertical displacement amounts on the tension cracks with time (Date of start and finish of the measurements; for N_1 and N_2 measurement points: 21. 10. 2011 – 12. 01. 2012, for N_3 and N_4 measurement points: 21. 10. 2011 – 05. 12. 2011).

Şev Hareketleri İzleme Ölçümleri

Heyelanın etki sınırları içerisinde, hareket yönüne koşut üç eksen üzerine konumlanmış 19 istasyonun yerleri (SMP-noktaları) Şekil 1'de gösterilmiştir. Bu istasyonlarda yağışlı mevsimlerde haftada bir ölçüm, yaz aylarında ise 15 günde bir ölçüm alınmıştır. Her noktadaki katlanmış bileşke yer değiştirme miktarları Çizelge 2'de sunulmuştur. 2012-2014 yılları arasında şev hareketi ölçüm noktalarındaki katlanmış değerlere bakıldığında; I-nolu eksen katlanmış değerlerin ortalamasının diğer eksenlere göre çok yüksek olduğu görülmektedir

(Çizelge 2). Bu durum, heyelana ait kayma dairesinin I-nolu eksene paralel ve yakınından geçtiğine işaret etmektedir. İstasyonlarda yapılan ölçümlerden elde edilen katlanmış yer değiştirme miktarlarının zamana bağlı grafikleri toplu olarak Şekil 9'da sunulmuştur. Aralık 2012 – Mart 2013 ile Aralık 2013 – Mart 2014 dönemlerinde şev hareketlerinde artışlar olduğu, zaman-yer değiştirme eğrilerinden anlaşılmaktadır. Belirlenen bu iki aralıkta eğrilerin eğiminin arttığı açık olarak gözlenmektedir. Özellikle Aralık 2013 – Mart 2014 zaman aralığında eğrilerin eğimi 80° 'ye varmaktadır (Şekil 9).



Şekil 9. 19 adet SMP noktasına ait 2012-2014 yılları arasında alınan ölçümlerle ilgili zaman-katlanmış yer değıştirme ilişkileri.

Figure 9. The relationships between time and cummulative surface displacement movement related to the measurements recorded between 2012 and 2014 years at 19 SMP points.

Tüm SMP noktalarında katlamalı bileşke hareket vektörlerinin yönlem ve dalımları toplu olarak Çizelge 3'te verilmiştir. Bileşke hareket vektörünün yönlem ve dalım değerleriyle, ölçümün yapıldığı lokasyondaki foliasyon düzlemlerinin konumları karşılaştırılmıştır. Burada amaç, 26°-40° şev dışına eğimli foliasyonların ve/veya GB yönüne eğimli -

kutup yoğunlaşma noktasını oluşturan 82-90/40-70 konumlu süreksizliklerin, şev hareketine neden olup/olmadığına karar vermektir. Ayrıca, basamaklarda süreksizliklerin kesişmesinden oluşan ve yönlemleri genelde şev tabanına doğru olan kamalara ait ara kesitlerin de su aktarımında sınırlı etkileri olabilir.

Çizelge 2. Heyelan hareket izleme noktaları, toplam yer değiştirme miktarı, ölçümlerin başlangıç ve son tarihleri, ölçüm sayıları.
Table 2. Monitoring points of the landslide movement, amount of total displacements, date of start and finish of the measurements, number of measurements.

Sıra no	İstasyon adı	Zaman aralığı	Ölçüm sayısı	2012-2014 arası toplam yer değiştirme (mm)	2013-2014 arası toplam yer değiştirme (mm)
1	SMP-1	21. 5. 2014 - 7.12. 2014	04	-	5
2	SMP-8.2	31. 1. 2013 - 1. 1. 2015	33	1307.27	292.74
3	SMP-8.3	21. 5. 2014 - 7. 12. 2014	07	-	22 ?
4	SMP-9	14. 12. 2012 - 22. 2. 2015	29	1347.41*	65.0
5	SMP-10	2. 1. 2013 - 13. 3. 2015	26	1522.01	846.83
6	SMP-11	21. 5. 2014 - 7.12. 2014	09	-	98.2
7	SMP-12	14. 12. 2012 - 22. 2. 2015	44	3968.85*	628.04
8	SMP-13	14. 12. 2012 - 22. 2. 2015	21	373.44*	40
9	SMP-14	21. 12. 2012 – 1. 3. 2015	43	3266.7*	534.62
10	SMP-15	21. 12. 2012 – 1. 3. 2015	41	2987.46*	554.78
11	SMP-16	18.10.2012 – 27. 12. 2014	10	532.5	10
12	SMP-27	25. 1. 2013 – 26. 12. 2014	30	989.43	211.18
13	SMP-28	31. 1. 2013 – 1. 1. 2015	37	1498.81	495.44
14	SMP-29	21. 5. 2014-7.12. 2014	08	-	122.8
15	SMP-30	21. 5. 2014-7.12. 2014	04	-	121.2
16	SMP-31	21. 5. 2014-7.12. 2014	05	-	55.7
17	SMP-32	21. 5. 2014-7.12. 2014	07	-	112.4
18	SMP-33	21. 5. 2014-7.12. 2014	03	-	16.7
19	SMP-36	21. 5. 2014-7.12. 2014	06	-	123.7

Yüzey sularının drenajı sonrası yapılan ölçümler

*: Şev yüzeyi üzerinde ilk gerilme çatlaklarının gözlemlendiği ölçüm noktaları.

Karagöz, Koca

Çizelge 3. Bileşke hareket vektörünün yönlem ve dalımının foliasyon düzlemlerinin eğim ve doğrultularıyla karşılaştırılması.
 Table 3. Comparison of the trend and plunge angle of the resultant movement vector with the strike and dip angle of the foliation planes.

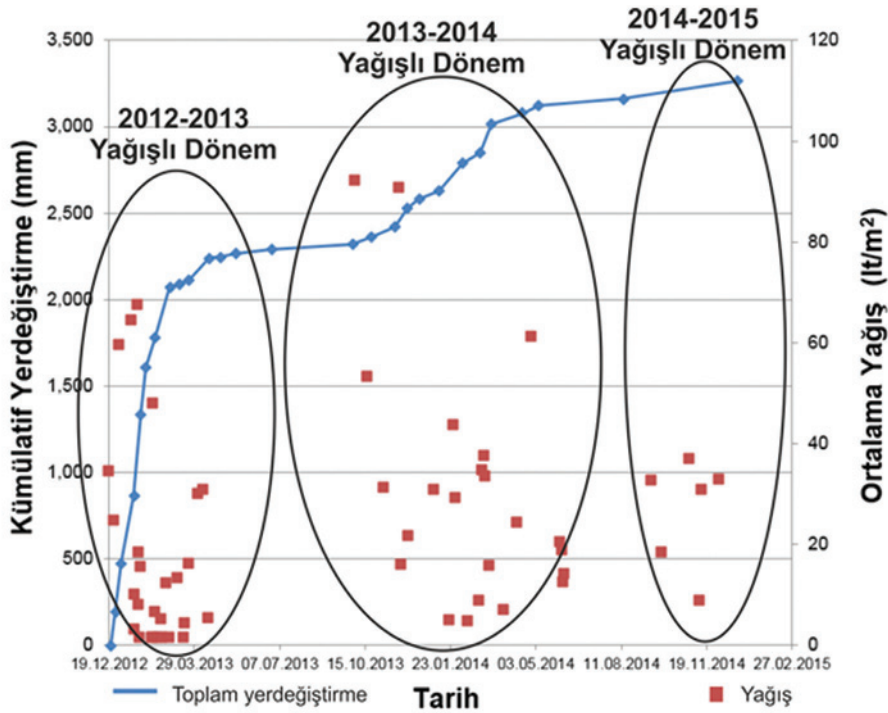
Sıra no	İstasyon adı	İzleme süresi (Gün)	Ölçüm sayısı	Katlanmış hareket vektörü yönlemi (°)	Katlanmış hareket vektörü dalım açısı (°)	Foliasyon açısının eğimi (°)	Veri uyumu kontrolü ve uyumlu kutup
1	SMP-1	171	04	286.40	-33	30	-
2	SMP-18	659	33	313.34	-23	41	-
3	SMP-8	171	07	323.85	-32	36	+
4	SMP-9	707	29	286.43	-18.92	27	+
5	SMP-10	688	26	252.39	-30.5	36	+
6	SMP-11	171	09	300.07	-29	24	+
7	SMP-12	707	44	337.31	-25.17	28	+
8	SMP-13	707	21	312.52	-3.96	-	-
9	SMP-14	700	43	313.83	-14.26	-	-
10	SMP-15	700	41	324.45	-14	24	+
11	SMP-16	707	10	294.07	-22.65	41	-
12	SMP-27	665	30	297.70	-20	26	+
13	SMP-28	659	37	328.26	-20.1	27	+
14	SMP-29	171	08	310.33	-16	24	+
15	SMP-30	171	04	311.53	-12	-	-
16	SMP-31	171	05	295.92	-2	-	-
17	SMP-32	171	07	309.16	-14	26	+
18	SMP-33	171	03	287.24	-1	-	-
19	SMP-36	171	06	312.44	-34	38	+

Açıklama: Hareketin yönü ocak tabanına doğruysa “-“, yukarıya doğruysa “+“ olarak ifade edilmiştir.

Çizelge 3'ün son sütununda ölçüm değerleri eşleştirilerek veri uyumu kontrol edilmiştir. SMP-8, SMP-10, SMP-11, SMP-12, SMP-14, SMP-27, SMP-28, SMP-29, SMP-32 ve SMP-36 şev hareketi izleme noktalarında bileşke hareket vektörünün dalım açılarıyla, istasyonun yer aldığı alanda ölçülen foliasyonların eğim açısı değerleri uyum göstermiştir. Ayrıca bu vektörlerin yönlemleri dikkate alındığında; SMP-10'da (\circ), SMP-9'da (\circ) ve SMP - 27'de (+) ölçülen hareket vektörlerinin yönlemleri ve kutup noktalarına ait foliasyonlarla eğim yönleri uyumludur. SMP - 8, SMP - 11, SMP - 12, SMP - 28, SMP - 29, SMP - 32 ve SMP - 36'da ölçülen hareket vektörleri de kutup noktasını oluşturan foliasyonlarla uyumludur (Çizelge 3).

SMP - 14 Lokasyonu Şev Hareketi Yer Değiştirme ve Hız Verilerinin Yağış Verileriyle Deneytirilmesi

SMP-14 lokasyonu, şev hareketlerinin başlangıcından sonuna kadar geçen sürede takip edilen bir kontrol noktasıdır. 21 Aralık 2012 ve 21 Kasım 2014 tarihleri arasındaki 700 günlük sürede katlamalı yer değiştirme sonuçlarının grafiği ortalama yağış verileriyle birlikte verilmiştir (Şekil 10). Grafikte kırmızı noktalar günlük ortalama yağış miktarlarını (lt/m^2) göstermektedir. Kırmızı noktaların yoğunlaştığı alanlar yağışlı dönemleri işaret etmektedir.

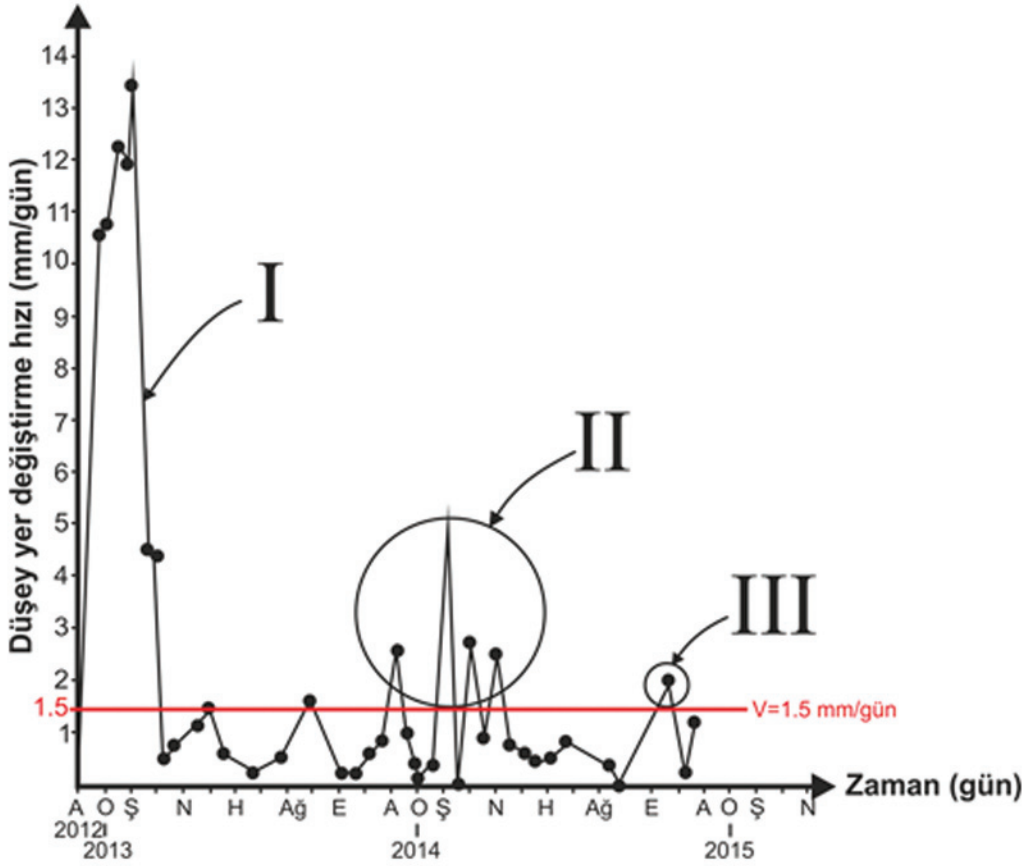


Şekil 10. SMP-14'te katlamalı yer değiştirme hareket vektörünün zamana bağlı değişimi ve bu ilişkinin ortalama yağış verileriyle deneytirilmesi.

Figure 10. Changing the cumulative surface-displacement movement's vector with time at the SMP-14 and its comparison with the mean rainfall-data.

Şev hareketi izleme çalışmaları yağış ölçümleriyle birlikte analiz edildiğinde, şev hareketlerinin yağışlı mevsimlerde en üst seviyelere ulaştığını, kurak geçen yaz aylarında da en yavaş seviyelerde kaldığını göstermektedir (Şekil 10). Şev hareketlerinin en hızlı olduğu istasyon SMP-14'tür. 21 Aralık 2012 ile 19 Kasım 2013 tarihleri arasında yatay ve düşeyde ölçülen hareket miktarları sırasıyla 2342.1 ve 583.59 mm'dir (Çizelge 1). Bileşke kümülatif hareket

ise 2420.8 mm'dir. Hareketin yönlem ve dalmı 14/313.83 (K45B/14 KB)'tür. 16 Nisan 2013 ile 19 Kasım 2013 tarihleri arasındaki yağışsız dönemde kümülatif bileşke hareket miktarı 181.2 mm olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 1). 19 Kasım 2013 ile 06 Mayıs 2014 tarihleri arasındaki yağışlı dönemde katlamalı bileşke hareket 3108.039 mm olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 1). Hareketin yönü 13/313.93 (K46B/13KB)'tür (Şekil 11).



Şekil 11. SMP-14 istasyonunda birbirini takip eden ölçümler arasındaki düşey hız farklarının (mm/gün) zamana bağlı değişimi (veriler için Çizelge 2'ye bakınız).

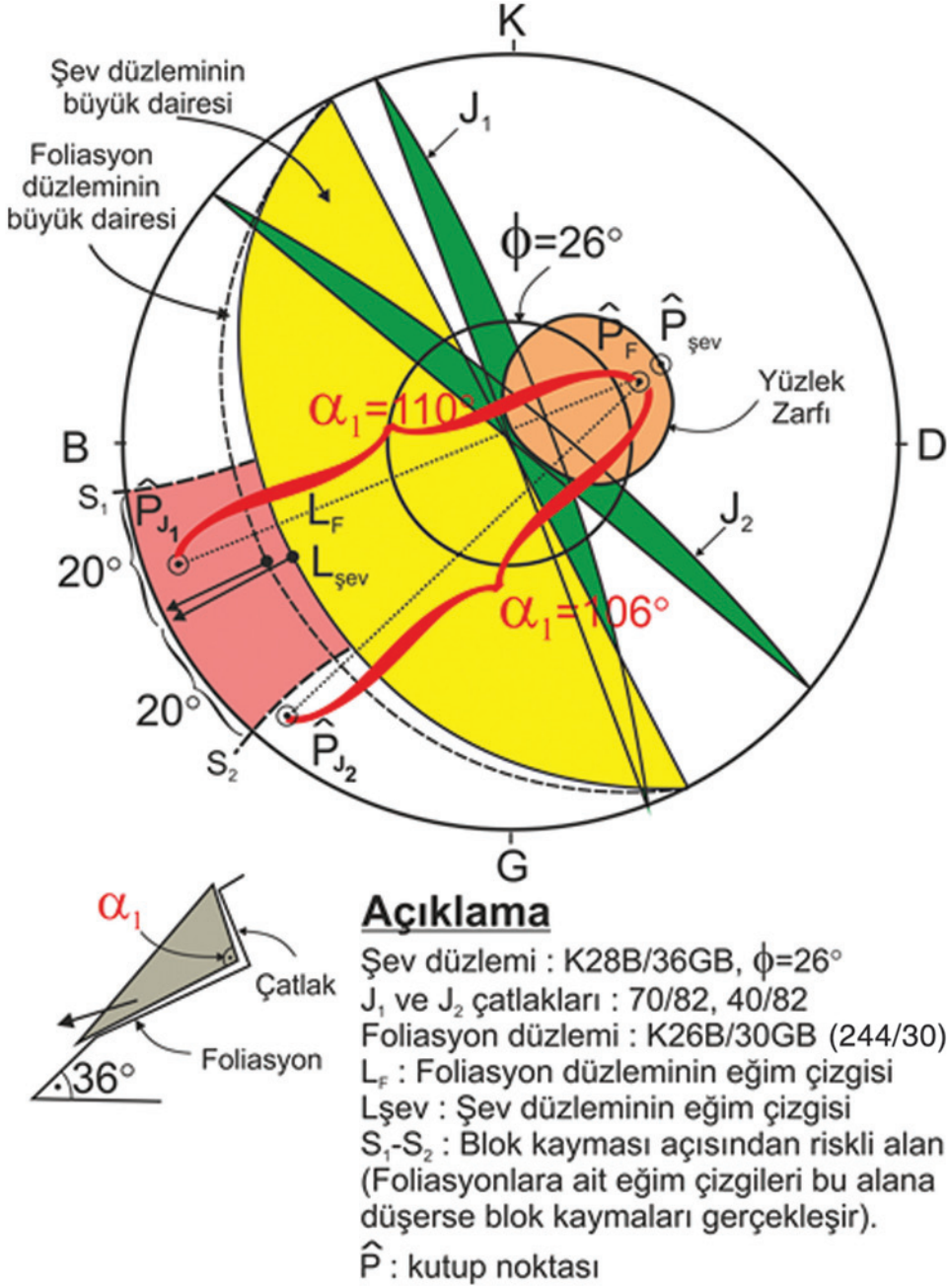
Figure 11. Time-dependent variation of the vertical displacement velocity differences (mm/day) (differences (mm/day) among successive measurements at SMP – 14 station (see Table 2 for the data).

SMP-14 istasyonunda düşeyde meydana gelen hareket hızının zamana bağlı değişimi grafik olarak Şekil 11'de sunulmuştur. Grafik üzerinde $V > 1.5$ mm/gün (Franklin, 1977 tarafından önerilen deformasyonlar için limit hız değeri) değerinin üzerinde üç farklı bölgenin olduğu (I, II ve III nolu bölgeler) görülmektedir. Sırasıyla bu bölgeler; 21 Aralık 2012 - Mart 2013, 19 Kasım 2013 – 17 Nisan 2014 ve 23 Ekim 2014 – 21 Kasım 2014 tarihleri arasındaki yağışlı dönemlere denk gelmektedir. Kurak dönemlerde hareket hızları $V \leq 1.0$ mm/gün civarındadır. I-nolu bölgede en yüksek hız değeri 13.5 mm/gün, II-nolu bölgede 5.0 mm/gün ve III-nolu bölgede ise 2.0 mm/gün mertebesinde (Şekil 11). II ve III-nolu bölgelerde düşey hareket hızlarının I - nolu bölgeye göre çok daha yavaş olmasının nedeni; ikinci bölge yağışları başlamadan önce drenaj çalışmalarının tamamlanmış olmasıdır.

İki Düzlemli Blok Hareketinin Kinematik İncelemesi

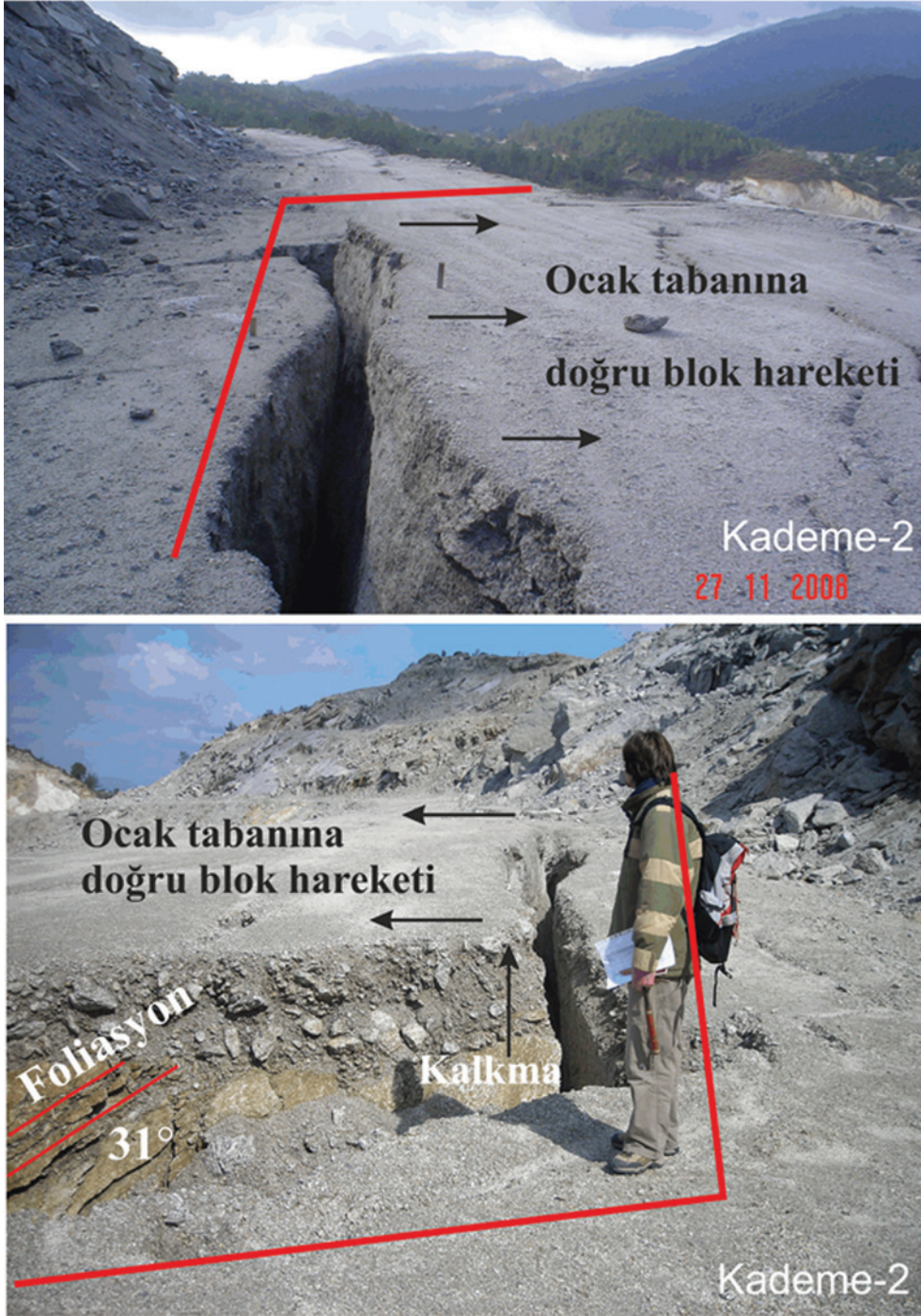
Yaklaşık düşey konumlu çatlakların (82/40 ve 82/70) foliasyon düzlemlerini (\bar{P}_{f1}) kutbunu oluşturan foliasyonlar) kesmesiyle oluşmuş blok kaymalarına ait stereogram Şekil 12'de sunulmuştur. Çatlaklar bloğu geriden sınırlayan süreksizliklerdir ve gerilme çatlakları bu yüzeylerden itibaren gelişmiştir (Şekil 13). Esas kayma düzlemi foliasyon yüzeyleridir. Blok hareketi sırasında, çatlaklardan itibaren çekme gerilmeleri etkili olmaktadır. Şekil 12'deki

projeksiyonda foliasyon ve şev düzlemlerini, eğim çizgileri (L_F ve $L_{şev}$) temsil etmektedir. α_1 - açısı; foliasyonlarla yaklaşık düşey konumlu çatlaklar arasındaki açıyı göstermektedir. $L_{şev}$ 'in her iki yanında yer alan $\pm 20^\circ$ 'lik alan içerisine, çatlakların kutup noktalarının düşmesi halinde blok kayma potansiyelinin varlığı ortaya çıkmaktadır. Blok kayma potansiyelinin en yüksek olduğu durum $\bar{P}_{şev} - \bar{P}_{foliasyon} - \bar{P}_{çatlak}$ kutup noktalarının aynı hat üzerinde yer almasıyla oluşmaktadır. Şekil 12'de bu durum gerçekleşmiş görülmektedir. Verilere göre, incelenen sahadaki hareketin tipi, iki düzlemli birleşik bir blok kayma hareketidir. Bir diğer anlatımla, kayma düzlemi kaşık şekilli eğri bir yüzey değil, foliasyonların oluşturduğu iki düzlemli (çatlak + foliasyon) bir yüzeydir (Şekil 14). Şekil 13'te görüldüğü üzere şev içine eğimli çatlaklarda yenilmeyi oluşturan mekanizma; açık ocağa doğru blok kayma hareketi gerçekleşmeden önce, kayması muhtemel kaya bloğunun yukarı yönde yükselmesine (blok öne eğilirken, arka tarafı yukarıya doğru yükselmektedir), beklenenin tersi yönde bloklararası bir makaslamanın gelişmesine neden olmaktadır. Bu tür hareketler açık işeltme şev basamaklarının tabanında yükselmelere (kabarmalara) neden olmaktadır. Düşeye yakın çatlaklar KD yönüne eğimli olup, konumları 40-70 / 82-90 aralığındadır. Şev gerisindeki gerilme çatlaklarının bu süreksizlik düzlemlerinden itibaren geliştikleri, stereografik izdüşüm çalışmalarıyla anlaşılmıştır (Şekil 7'de \bar{P}_{j3} nolu kutup noktasını oluşturan süreksizlikler).



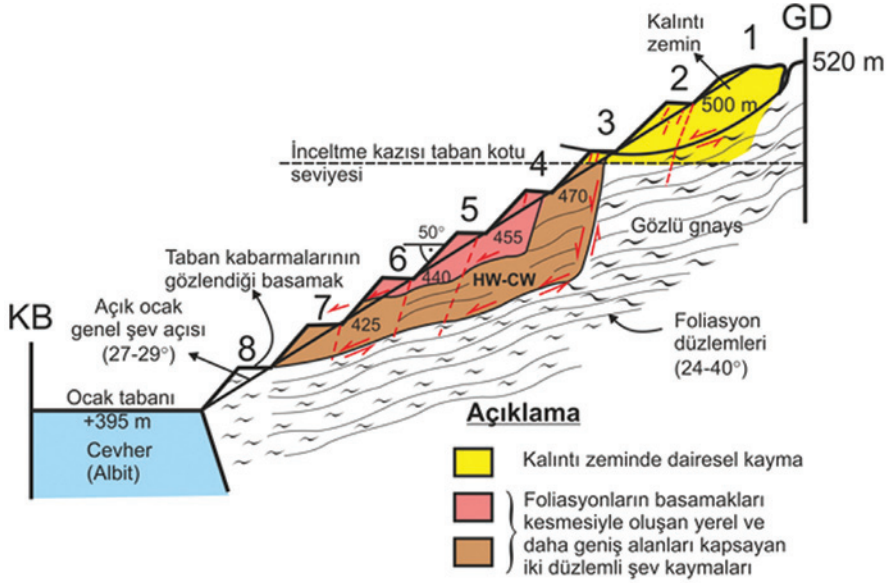
Şekil 12. Yaklaşık düşey konumlu çatlakların (J_1 ve J_2) foliasyon düzlemlerini kesmesiyle oluşmuş blok kaymalarına ait alt yarım küre projeksiyonu.

Figure 12. Lower hemisphere projection of the block slidings formed due to the intersection of almost vertical joints (J_1 and J_2) with the foliation planes.



Şekil 13. Yaklaşık düşey konumlu, eğim yönü şev tabanına doğru olan çatlaklar ve foliasyon düzlemlerinin kesişmesinden oluşan bloklardaki α_1 -açıları.

Figure 13. α_1 - angles at the blocks formed by intersection of the foliation planes and nearly vertical joints dipping to the slope base.



Şekil 14. Açık ocak heyelanı duraysızlık mekanizmasına ilişkin hazırlanmış model.

Figure 14. Model of the landslide mechanism in open-pit mine.

DEĞERLENDİRME

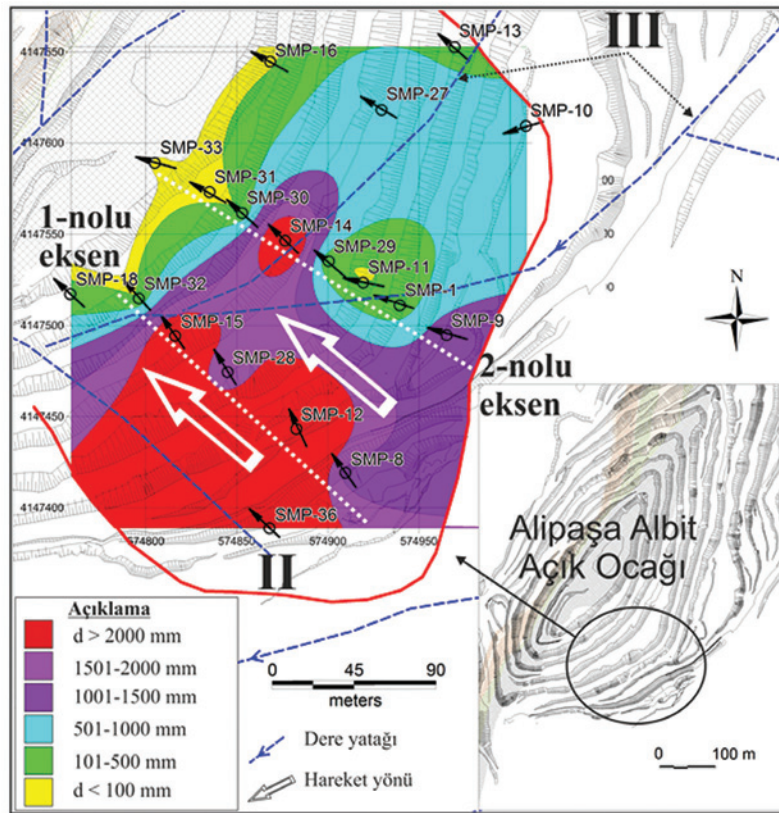
Açık ocak işletmeye açılmadan önce, sahanın topoğrafik koşullarının güncel topoğrafyadan çok daha farklı olduğu, önceki topoğrafik haritaların incelenmesiyle anlaşılmıştır. Heyelan sahasının gerisinde (taç bölgesinde) yer alan dere yatakları, güncel topoğrafyada yer almamaktadır. Ocak planlaması yapıldıktan sonra, eski derelerin yatakları değiştirilmiştir. Ancak süreksizlikler boyunca gelişmiş bu yataklar, eğimle birlikte, ocak içine doğru sızıntı suları taşımaya devam etmiştir. Bu sonuca varılmasını sağlayan etmenler şunlardır: i) Heyelan sahasında yer altı su seviyesinin ocağın diğer bölümlerine göre daha yüksek olması (+462 m), ii) Heyelan etki sahasında yer alan gnaysların oldukça-tamamen ayrılmış (yer yer kalıntı zemine dönüşmüş) durumda olmaları, iii) Heyelan sahasındaki süreksizlik zonlarının nemli olması, yer yer damlama şeklinde su gelişlerinin gözlenmesi iv) Gömülü dere yataklarının akış

yönleriyle, süreksizlik düzlemlerinin eğim yönlerinin örtüşmesi (Şekil 15).

Üç nolu kutup noktasını () oluşturan foliasyonların eğim yönleriyle II-nolu derenin akış yönünün, III-nolu derenin akış yönüyle de ve kutuplarını oluşturan foliasyon düzlemlerinin eğim yönlerinin örtüştüğü belirlenmiştir (Şekil 15). Gömülü dere yatakları boyunca sızan suların geniş foliasyon yüzeyleri boyunca heyelan sahasına taşındığı anlaşılmıştır. Ayrıca açık ocaktaki basamak şevlerini kesen foliasyonlar boyunca nemli zonların varlığı ve bu düzlemler boyunca düzlemsel kaymaların geliştiği gözlenmiştir. SMP-19 noktasında bileşke hareket vektörünün yönlem ve dalımları, foliasyon düzlemlerinin doğrultu ve eğimleriyle ilişkilendirilmiştir. SMP-10 hariç (hareket yönü; bileşke kayma yönü-GB yönünü göstermektedir), bileşke hareket vektörü yönlemlerinin 286.40° ile 337.31° arasında değiştiği belirlenmiştir. SMP-18 noktasının ortalama bileşke hareket

vektörü yönlem açısı 308.04° 'dir. I-nolu eksende ölçülen kümülatif hareket yönlerinin ortalama değeri 322.73 , II-nolu eksende ise 297.58° 'dir. Bu ortalama değerlerin ortalaması 310.154° 'tür (Şekil 15; burada, hareket yönü, miktarı, güncel topoğrafya ve önceki topoğrafyaya ait dere yatakları arasındaki ilişki CBS yardımıyla açık olarak ortaya konmuştur). Bu değer -kutbunu oluşturan foliasyon düzlemlerinin eğim yönüyle örtüşmektedir ($\alpha=320^\circ$). Ek olarak, SMP-10 noktasında ölçülen değer ise + kutbunu oluşturan foliasyonlarla örtüşmektedir. SMP-10, III-nolu derenin kollarının tam ortasında yer almakta olup, şev hareketinin yönü 252.39° 'dir. Bu durumda SMP-10'un hareket yönü II-nolu dere

kolunun akış yönüne yaklaşık dik ve heyelanın KB yönüne hareketi (310.154°) nedeniyle oluşan boşluğu dolduracak şekilde gelişmiştir. SMP-10'un hareket yönünü, hem foliasyonların eğim yönleri hem de heyelanın KB yönüne hareketi nedeniyle gelişen GB yönlü çekme gerilmeleri belirlemiştir. Bileşke hareket vektörünün yönlem ve dalım açısı değerleriyle foliasyon düzlemlerinin doğrultu ve eğim açıları birlikte eşleştirildiğinde; SMP-8, SMP-10, SMP-11, SMP-12, SMP-14, SMP-27, SMP-28, SMP-29, SMP-32 ve SMP-36 şev hareketi izleme noktalarında tam bir uyumun olduğu ortaya çıkmaktadır.



Şekil 15. Alipaşa açık ocağına ait tematik deformasyon haritası.
Figure 15. Thematic deformation map of the Alipaşa open-pit mine.

SMP-10 noktası, heyelanın KD yönündeki en uç noktasında yer almaktadır. Diğer dokuz nokta ise heyelanın I ve II nolu eksenleri üzerinde yer almaktadır. Bu eksenlerde kayma hareketi en hızlı ve en büyük değerlere ulaşmaktadır. Bileşke hareket vektörlerinin yönleri (18 noktanın) dikkate alındığında; açık ocağın güneydoğusunda yer alan heyelanın kayma yönü, ocak tabanına doğrudur ve yönlemi 310.154° (K50B)'dir. Kayma, şev dışına eğimli (26° - 40°) foliasyon düzlemleri tarafından denetlenmektedir.

Bileşke hareket yer değiştirme miktarı-zaman eğrileri incelendiğinde; eğriler üzerinde iki adet yüksek açılı rampanın yer aldığı görülür. Bu rampalar üçer aylık iki çok yağışlı döneme karşılık gelmektedir. Birinci dönem; Aralık 2012 – Mart 2013, ikinci dönem ise Aralık 2013 – Mart 2014 tarihleri arasındadır. Bu iki dönemin öncesinde ve sonrasında önemli bir şev deformasyonuna hiçbir SMP noktasında rastlanmamıştır. İlk üç aylık yağışlı dönemde SMP-8, SMP-9, SMP-12, SMP-14, SMP-15, SMP-27 ve SMP-28 noktalarında toplam yer değiştirme (bileşik hareket vektöründe) miktarları 1.0 m'den daha fazladır. SMP-12, SMP-14 ve SMP-15 noktalarında bileşke toplam hareket miktarı ise ≥ 3.0 m olarak gerçekleşmiştir. Bileşke hareket yer değiştirme-zaman eğrileri iki kez dış etkilere maruz kalmıştır. Buna ek olarak, 11 Ekim 2011'de ilk gerilme çatlakları gelişmiştir. Önlem olarak şev inceltme kazıları yapılmış ve yaklaşık 200.000 m³ kaya malzemesi kaldırılmıştır (Şekil 14). Böylece, şev hareketleri biraz olsun yavaşlatılmıştır. Ancak, Aralık 2012'de başlayan ve Mart 2013'e kadar devam eden yoğun yağışlarla birlikte düzlemsel kayma türünde, iki düzlemlerli şev deformasyonları meydana gelmiştir. 2013 yılı sonuna doğru drenaj çalışmalarına

başlanmıştır. Heyelan sahasının gerisinde yer alan dere yataklarına ve diğer akaçlamalara 50 cm çaplı körüklü plastik su boruları döşenmiş ve yüzey sularının heyelan sahasına yönelmesi engellenmiştir. Drene edilen sular, iki adet küçük ölçekli tahliye barajında biriktirilmiş ve daha sonra da duraysız bölge dışındaki bir dere yatağına aktarılmıştır. Ayrıca, gerilme çatlakları yarı geçirgen ince malzemeyle kaplanarak sıkıştırılmıştır. Böylece yüzey sularının derine nüfuz etmesi önlenmiştir. Bu önlemlere ek olarak, şev kademelerinin tabanında oluşturulan kanallar aracılığıyla palyelerde biriken sular tahliye barajlarına aktarılmıştır. Böylece Aralık 2013'e gelmeden heyelan önleme çalışmaları tamamlanmıştır. Heyelan sahası, Aralık 2013 ile Mart 2014 döneminde yine yoğun yağış almış, şev hareketleri tekrar başlamıştır. Ancak, alınan önlemlerle şev hareketleri sınırlanmış ve önceki döneme göre bu hareketler çok daha sınırlı olarak gerçekleşmiştir. Günümüz koşullarında da şev hareketleri sınırlı tutularak ocak tabanında cevher üretimine devam edilmektedir.

Bileşke kuvvet yer değiştirme miktarlarının zamana bağlı değişiminden elde edilen eğriler incelendiğinde; yoğun yağışların neden olduğu yeraltı su seviyesi yükselmeleri heyelan sahasında boşluk suyu basınçlarını arttırmıştır. Şev hareketlerinin incelendiği dönem içinde boşluk suyu basınçları iki kez yükselmiş ve yükselişleri sonucunda da şev deformasyonlarında ciddi artışlar olmuştur. Bu dönemlerin öncesinde ve sonrasında (kurak dönemler) sınırlı şev deformasyonları meydana gelmiş, eğrilerin eğimleri yataya yakın bir konum almıştır. Heyelanlı sahadaki 410 m kotlu şev basamağında, topuk kabarmaları gözlenmiştir. Ancak kayma dairesi kademe şevinde günlenmediği için

retrogresif safhada olan heyelan henüz progresif safhaya geçmemiştir.

SONUÇLAR

Katlamalı hareket vektörlerinin yönlemlerinin 253.09° ile 337.31° arasında, dalım açılarının ise 21° ile 34° arasında olduğu GPS verilerinin değerlendirilmesiyle elde edilmiştir. 21° ile 34° dalım açısına sahip bileşke vektörlerin, istasyonların üzerinde kuruldukları gnaysların içerdikleri foliasyon eğim açısı ve eğim yönleriyle uyumlu oldukları belirlenmiştir. Diğer taraftan, foliasyon düzlemi eğim yönlerinin gömülü dere yataklarının akış yönleriyle de uyumlu oldukları saptanmıştır. Bu iki neden; kütle hareketini oluşturan esas kayma düzleminin yer yer basamakları kesen foliasyon düzlemleri olduğunu göstermektedir. Gerilme çatlaklarının, konumları $40-70 / 82-90$ aralığında olan düşey çatlaklardan itibaren geliştiği, bu çatlakların kayan kütlelerin şev gerisindeki bölümünü sınırlayan çatlaklar olduğu ve gerilme çatlaklarının da bu yüzeylerden itibaren geliştiği belirlenmiştir. Bu sonuçlar, kayan kütlelerin, şev gerisi ucu gerilme çatlaklarıyla sınırlı, iki yüzeyli (çatlak + foliasyon) bir düzlemsel kayma modeli olduğuna işaret etmektedir.

Hareket izleme çalışmalarından, katlamalı bileşke hareket vektörlerinin yönlem ve dalımlarından ve saha gözlemlerinden edinilen veriler ışığında, açık ocakta meydana gelen heyelan hareketinin yerel olmadığı ve şev üst noktasından ocak tabanına yakın bir kesime kadar olan bölümü (+ 410 m kotuna kadar) etkilediği belirlenmiştir. Bu anlamda heyelanın 6 şev basamağını etkileyecek büyüklükte olduğu anlaşılmıştır. Ancak heyelan retrogresif

aşamadadır ve henüz progresif aşamaya geçmediği belirlenmiştir.

Aralık 2012 - Mart 2013 ve Aralık 2013 - Mart 2014 dönemlerindeki yoğun yağışlar sonrasında heyelan sahasındaki şev basamaklarında deformasyonların arttığı saptanmıştır. Bu durum zamana bağlı katlamalı hareket yer değiştirme eğrileriyle her istasyon için saptanmıştır. Eğri üzerinde iki artış meydana gelmiştir. Birinci rampanın eğimi $70^\circ - 80^\circ$, ikinci rampanın eğimi ise $30^\circ - 40^\circ$ civarındadır. Rampaların öncesinde ve sonrasında eğrinin eğimi yataya yakın seyretmektedir. Birinci rampanın Aralık 2012 - Mart 2013, ikinci rampanın da Aralık 2013 - Mart 2014 dönemleriyle tam olarak çakıştığı belirlenmiştir. Rampalarda düşey hareket hızları da kurak dönemlerin çok üzerinde değerler vermiştir. En yüksek ölçülen hızlar birinci rampada 13.5 mm/gün , ikinci rampada ise 5.0 mm/gün 'dür. İkinci rampanın eğiminin birinci rampaya göre çok daha düşük olmasının nedeni; 2013 Ocak ayının sonlarında gerçekleştirilen drenaj projesinin uygulamaya geçirilmesidir. Böylelikle şev gerisindeki yüzey sularının, gömülü dere yatakları aracılığıyla heyelan sahasını beslemesinin önüne geçilmiştir.

KAYNAKLAR

- Allasia, P., Manconi, A., Giordan, D., Baldo, M., Lollino, G., 2009. ADVICE: A new approach for near-real-time monitoring of surface displacements in landslide hazard scenarios. *Sensors*, 13, 8285–8302.
- Bell, R., Glade, T., 2004. Natural hazards and earth system sciences quantitative risk analysis for landslides – Examples from B'ıldudalur, NW-Iceland. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4, 117–131.

- D.M.İ., 2014. Devlet Meteoroloji İstasyonu Kayıtları, Aydın.
- Franklin, J. A., 1977. The monitoring of structures in rock: Intl. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 14, 163-192.
- GEOVIA Surpac 6.6.1. (2013). GEOVIA Surpac Reference Manual.
- Kadakçı, K. T., Koca, M. Y., 2014. Açık ocak albit işletmesindeki kaya şevlerinin sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak duraylılık değerlendirmesi, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 38, 1, 1-19.
- Kıncal, C., 2014. Application of two new stereographic projection techniques to slope stability problems. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 66, 136-150.
- Koca, M. Y., Kahraman, B., Karakuş, D., Özdoğan, M. V., 2010. General assessment of the stability of Overall slope of Ali Paşa Albite Mine. Dokuz Eylül Üniversitesi, 156 s (unpublished).
- Koca, M.Y., Kahraman, B., Kıncal C., 2012. Report of Overall Slope Stability Assessment of The Alipasa Open Pit Mine. Dokuz Eylül Üniversitesi, 80 s (unpublished).
- MapInfo Professional 8.0, 2000. MapInfo Professional 8.0 software manual.
- Martin, D. C., 1993. Time dependent deformation of rock slopes. University of London, PhD Thesis, London.
- NetCad GIS 7 (2015). NetCad GIS Yazılım Kullanma Kılavuzu.
- Read, J., Stacey, P. F., 2009. Guidelines for Open Pit Design, CSIRO Publishing, Melbourne, 496 p.
- Savely, J. P., 1993. Slope management strategies for succesful mining. Proceedings Innovative Mine Design for the 21st Century, Balkema, Rotterdam, 25-34.
- Sjöberg, J., 1996. Large scale slope stability in open pit mining – a review, technical report. Division of Rock Mechanics, Lulea University of Technology, Sweden, 215 p.
- Tanyaş, H., Ulusay, R., 2013. Assessment of structurally-controlled slope failure mechanisms and remedial design considerations at a feldspar open pit mine, Western Turkey. Engineering Geology, 155, 54– 68.
- Wang J., Gao J., Liu Ch., Wang J., 2010. High precision slope deformation monitoring model based on the GPS/Pseudolites technology in open-pit mine. Mining Science and Technology 20, 0126–0132.
- Wilson, S.D., 1970. Observational data on ground movements related to slope instability. Journal of Soil Mechanics and Foundation Division, American Society of Civil Engineers Proceedings, 96, 1521-1544.
- Wylie, D. C., Munn, F. J., 1978. The use of movement to minimise production losses due to pit slope failures. Proceedings, First International Symposium on Stability in Coal Mining, eds. Brawner & Dorfling, Vancouver, 75-94.
- Zavodni, Z. M., 2000. Time-Dependent Movements of Open-Pit Slopes. Slope Stability in Surface Mining. Hustrulid, W.A. (ed). SME, Littleton, CO, USA, Ch. 8. p.110.

Bir Kaya Şevinin Devrilme Türü Duraysızlık Açısından Kinematik ve Sayısal Analizlerle Değerlendirilmesi (Devgeriş, Samsun)

Assessment of A Rock Slope in Terms of Toppling Failure by Kinematic and Numerical Analyses (Devgeriş, Samsun)

Ayberk KAYA

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, RİZE

Geliş (received) : 25 Ocak (January) 2016
Düzeltilme (revised) : 22 Mart (March) 2016
Kabul (accepted) : 13 Nisan (April) 2016

ÖZ

Devrilme, yamaç içine doğru eğimli, birbirine paralel ve dike yakın süreksizlikler içeren kaya kütlerinde açılmış şevlerde gözlenen bir yenilme türüdür. Karadeniz Sahil Yolu'nun Devgeriş (Samsun) Mahallesi kesimindeki Eosen yaşlı tüflerde açılmış kaya şevi, süreksizlik kontrollü bir yenilmeye maruz kalma riski altındadır. Bu kaya şevinin kuzeybatı sınırından itibaren açılmış taşocağından malzeme alımı neticesinde şev içine doğru eğimli olan J2 nolu (245/80) eklem seti boyunca açılmalar meydana gelmiştir. Bu nedenle, kaya şevinde eklemlere bağlı olan bir yenilmenin gerçekleşme durumunu araştırmak için kinematik analizlerden ve sonlu elemanlar (FEM) tabanlı sayısal duraylılık analizlerinden yararlanılmıştır. Yapılan kinematik analizler, J2 nolu eklemler boyunca devrilme olasılığının olduğunu göstermektedir. Devrilme olasılığı sayısal analizlerle incelendiğinde güvenlik sayısının en kötü koşullar için 0.86, mevcut koşullar için 1.23 olduğu ve devrilme türü bir yenilmenin gerçekleşebileceği belirlenmiştir. Kaya şevi, bulonlarla desteklendiğinde veya yatıklaştırıldığında duraysızlık sorunu ortadan kalkmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Destek Tasarımı, Devrilme, Kaya Şevi, Kinematik Analiz, Sonlu Elemanlar Yöntemi, Şev Duraylılığı.

ABSTRACT

Toppling is a failure mode observed in rock slopes with parallel and almost vertical discontinuities which are inclined into the hill. The rock slope excavated in Eocene aged tuffs, is located in the Devgeriş (Samsun) district of Black Sea coast highway, and exposed to discontinuity-controlled failures. As a result of the quarry operation at the northwest side of studied rock slope, some cracks occurred along

A.Kaya

E-posta: ayberk.kaya@erdogan.edu.tr

the direction of J2 (245/80) joint set. Therefore, the kinematic and FEM-based numerical analyses were carried out in order to investigate the possibility of discontinuity-controlled failures. The results of the kinematic analyses showed that toppling failure is possible along the J2 joint set. It was determined that the factor of safety value is 0.86 for the worst condition and 1.23 for current condition when possibility of toppling failure is investigated by numerical analyses. After bolting or slope flattening, the rock slope becomes stable.

Key Words: *Support Design, Toppling, Rock Slope, Kinematic Analysis, Finite Element Method, Slope Stability.*

GİRİŞ

Türkiye’de kütle hareketlerinin en çok gözlemlendiği bölge Doğu Karadeniz Bölgesi’dir. Bölgenin topoğrafik ve jeolojik yapısı, yağışların bol olması ve buna bağlı olarak kayaçların ayrışması, potansiyel heyelan alanlarını oluşturmaktadır. Son yıllarda hızlı nüfus artışına bağlı olarak bu alanlarda yeni yerleşim yerleri için büyük hacimli kazıların yapılması veya plansız açık ocak işletmeciliği, pek çok kütle hareketini tetiklemiştir ve tetiklemeye devam etmektedir. Meydana gelen bu duraysızlıklar, hem ekonomik kayıplara hem de can kayıplarına yol açmaktadır. Kaya şevlerinde meydana gelen yenilmeler ise genellikle kütle içindeki süreksizliklere bağlı olarak gelişmektedir. Kazı aşamasında bu tür duraysızlık sorunlarıyla karşılaşmamak için şevlerin duraylılığı, tasarım aşamasında uygun analiz yöntemleriyle araştırılmalıdır.

Samsun İli’nin Devgeriş Mahallesi’ndeki çalışma alanı (Şekil 1), şehir merkezinden yaklaşık 3 km uzaklıkta olup, Karadeniz Sahil Yolu’nun hemen bitişiğindeki 2008 yılında basamaklandırılmış kaya şevini kapsamaktadır. Bu kaya şevinin kuzeybatı sınırından itibaren 6 yıl süre ile hidrolik kırıcı kullanılarak açık ocak işletmeciliği yapılmış ve düzensiz geometriye

sahip bir alan meydana getirilmiştir (Şekil 2). Bu faaliyet sonucunda taşocağı sınırından itibaren kaya şevini kesen süreksizler boyunca açılmalar meydana gelmiştir. Bu amaçla, Eosen yaşlı tüflerde açılmış bu şevin duraylılığını araştırmak için ayrıntılı mühendislik jeolojisi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar arazi, laboratuvar ve duraylılık analiz çalışmaları olmak üzere üç aşamada yürütülmüştür. Arazi çalışmaları kapsamında jeoloji haritası hazırlanmış, eklemlerin özelliklerini belirlemek için hat etütleri yapılmış ve laboratuvar deneylerinde kullanılmak üzere blok örnekler alınmıştır. Laboratuvar çalışmalarında tüflerin fiziko-mekanik ve elastik özelliklerini belirlemek için deneyler yapılmıştır. Şev duraylılık araştırmalarında ise kinematik ve sonlu elemanlar tabanlı sayısal analizlerden yararlanılmıştır.

ÇALIŞMA ALANININ VE ÇEVRESİNİN JEOLJİSİ

Çalışma alanı ve çevresinde, yaşlıdan gence doğru Geç Kretase yaşlı tortul kayaçlar, Eosen yaşlı volkanik ve tortul kayaçlar, Miyosen-Pliyosen yaşlı tortul kayaçlar ve Kuvaterner yaşlı alüvyonlar yüzeylenmektedir (Güven, 1993).

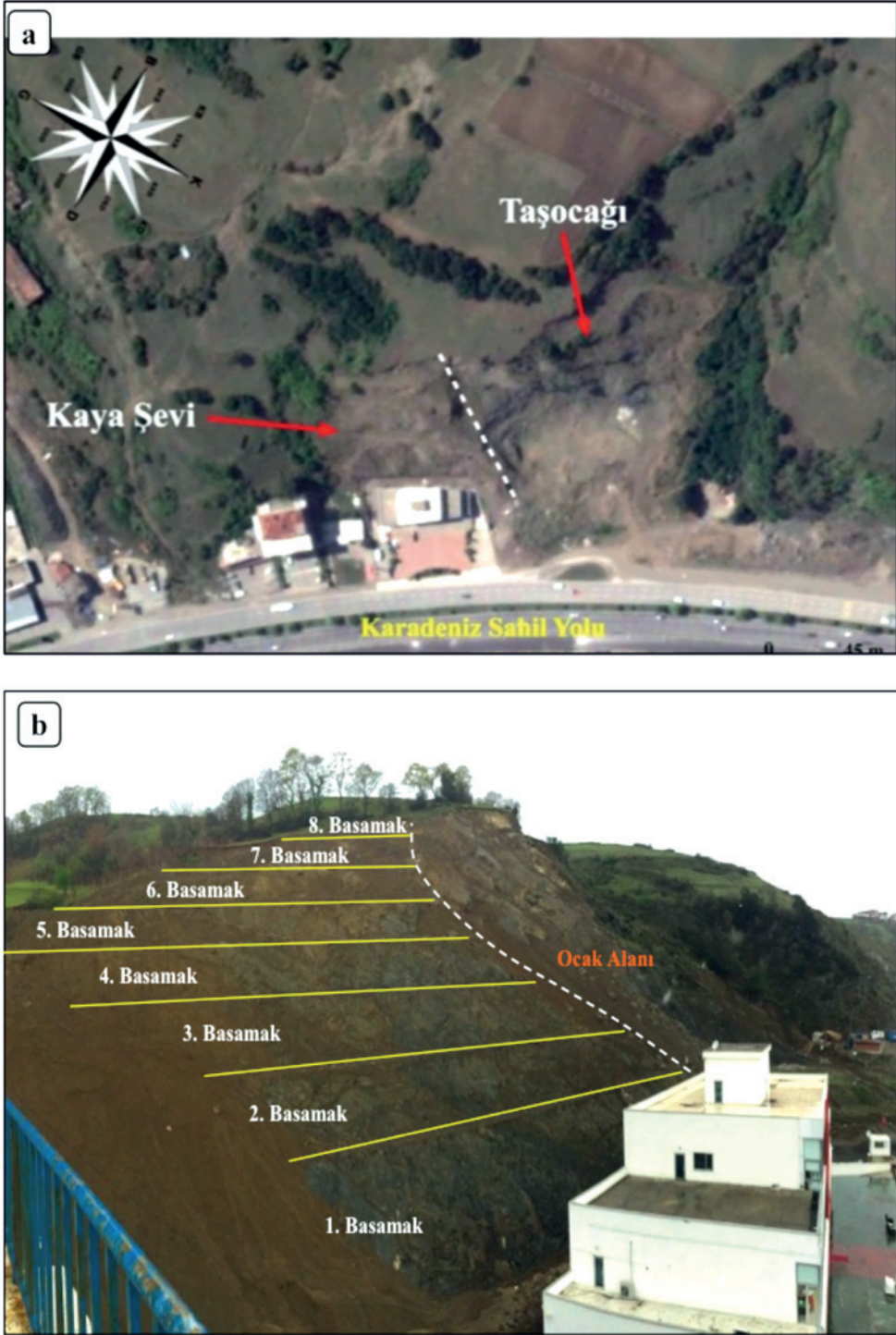
İlk defa Barka vd. (1986) tarafından tanımlanan Tekkeköy Formasyonu, KB-GD doğrultusu boyunca çalışma alanında ve çevresinde genişçe bir alanda yüzeylenmektedir. Formasyon, tabanda ince tabakalı kumtaşı ve marn ile başlayıp üst seviyelere doğru kalın tabakalı tüflerle son bulmaktadır. Birim, yer yer bazalt daykları tarafından kesilmiştir. Çalışma alanında, formasyona ait, içinde eksfoliasyonların geliştiği açık yeşil renkli tüfler

yüzeylenmektedir. Yer yer ince laminalı tuf seviyeleri de gözlenmektedir. Birim, sistematik ve geliş güzel olmuş eklemeler içermektedir. Eklem yüzeyleri orta derecede bozunmuş olup, bozunma rengi koyu kahve-sarı arasındadır. Birimin yaşı, Barka vd. (1986) tarafından yapılan çalışmada Eosen olarak belirlenmiştir. Çalışma alanı ve çevresine ait jeoloji haritası Şekil 3'te verilmiştir.



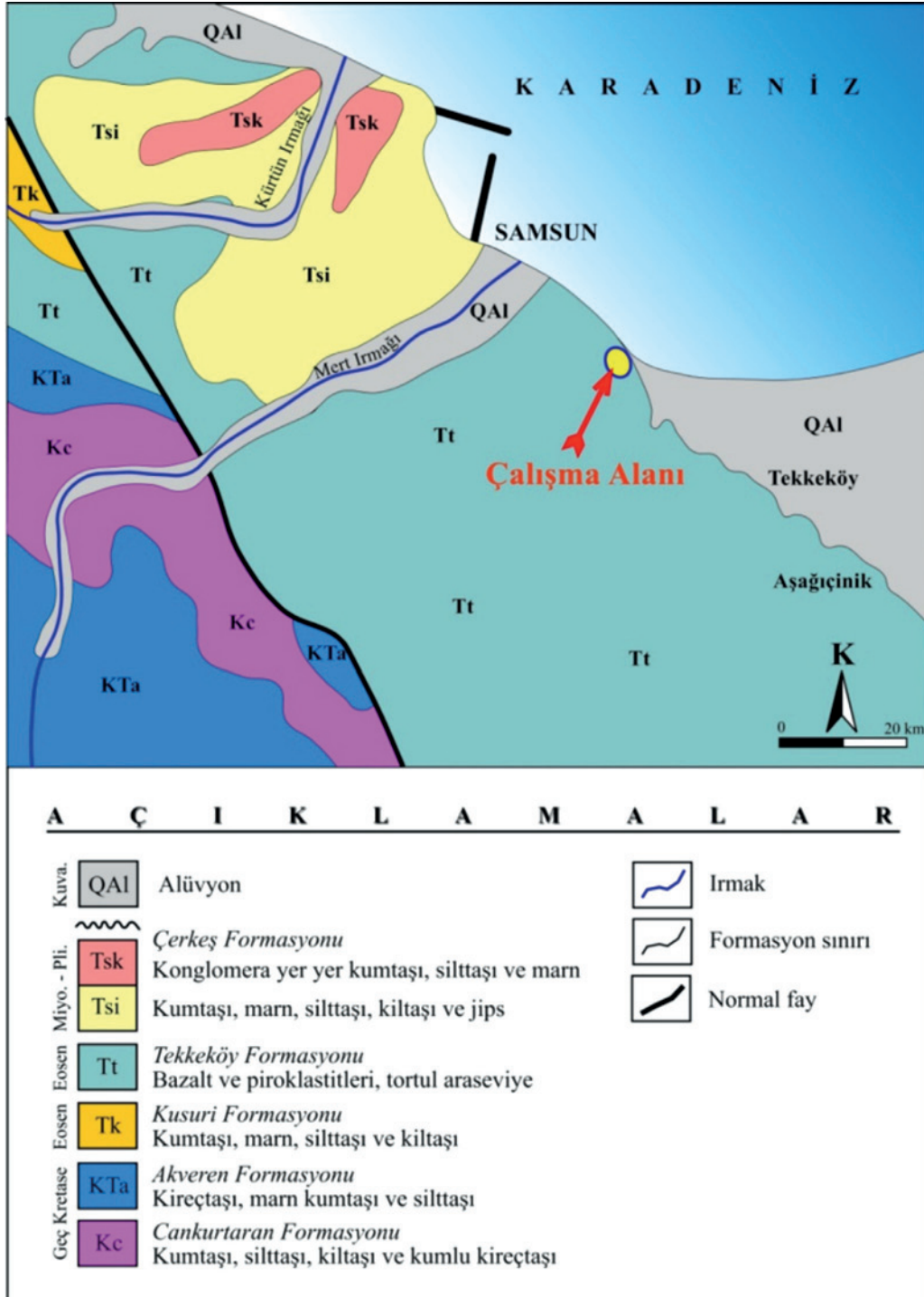
Şekil 1. Çalışma alanına ait yer bulduru haritası.

Figure 1. Location map of the study area.



Şekil 2. Kaya şevinin ve taşocağının (a) hava fotoğrafındaki ve (b) arazideki görünüşleri.

Figure 2. (a) Aerial and (b) field views of the studied rock slope and quarry.



Şekil 3. Çalışma alanı ve yakın çevresine ait jeoloji haritası (Güven, 1993'ten değiştirilerek).

Figure 3. Geological map of the close vicinity of the study area (modified from Güven, 1993).

TÜFLERİN FİZİKO-MEKANİK VE ELASTİK ÖZELLİKLERİ

Çalışma alanından alınan bloklardan laboratuvar ortamında silindirik numuneler hazırlanarak tüflerin fiziko-mekanik ve elastik özellikleri belirlenmiştir.

ISRM (2007) tarafından önerilen yöntemler esas alınarak tüflerin birim hacim ağırlığı, nokta yükü dayanım indeksi, tek eksenli basınç dayanımı ve elastisite modülü değerleri saptanmıştır. Tüflerin taze ve eklem yüzeylerinden, ISRM (2007) tarafından önerilen yöntemlere göre L-tipi Schmidt sertlik çekici kullanılarak geri tepme sayısı ölçümleri alınmıştır. Ölçümler düşey tutuş açısına göre yapıldığı için belirlenen değerlere herhangi bir düzeltme uygulanmamıştır.

Tüflerin birim hacim ağırlık (γ), nokta yükü dayanım indeksi ($I_{s(50)}$), tek eksenli basınç dayanımı (σ_{ci}), elastisite modülü (E_i) ve Schmidt sertlik çekici geri tepme sayısı (R ve r) değerleri Çizelge 1’de özet olarak verilmiştir.

Çizelge 1. Tüflere ait fiziko-mekanik ve elastik özellikler.
Table 1. Physico-mechanical and elastic properties of the tuffs.

Özellikler	Örnek Sayısı	Ortalama	En Büyük	En Küçük	Std. Sp.
Birim hacim ağırlık (g, kN/m ³)	18	19.84	21.46	18.71	2.14
Nokta yükü dayanım indeksi ($I_{s(50)}$, MPa)	42	4.10	6.71	2.84	2.02
Tek eksenli basınç dayanımı (σ_{ci} , MPa)	15	20.52	34.41	14.16	6.13
Elastisite modülü (E_i , GPa)	5	5.4	7.3	5.7	2.4
Schmidt sertlik çekici geri tepme sayısı*		R: 36, r: 26			

*R-taze yüzey, r-eklem yüzeyi

EKLEMLERİN ÖZELLİKLERİ

Çalışma alanındaki tüflerin içerdiği eklemlerin özelliklerini belirlemek için kaya şevindeki basamak aynalarında yapılan hat etüdü çalışmalarından yararlanılmıştır.

Eklemlerin özellikleri, ISRM (2007) tarafından önerilen ölçütlere göre tanımlanmıştır. Hat etüdü çalışmaları ile eklemlere ait yönelim, aralık, açıklık, devamlılık, yüzey pürüzlülüğü ve dalgalılığı, bozunma derecesi, dolgu malzemesinin özelliği ve yüzeylerindeki su durumu gibi özellikler tespit edilmiştir.

Pürüzlü özellikte olan eklem yüzeylerinin makaslama dayanımı parametreleri ise Barton ve Bandis (1990) tarafından tavsiye edilen yenilme ölçütü kullanılarak belirlenmiştir. İlk önce CANMET (1977) tarafından önerilen yöntemle göre deformasyon kontrollü doğrudan makaslama deneyleri yapılmış ve tüflere ait temel sürtünme açısı (ϕ_b) 30° olarak belirlenmiştir (Şekil 4a). Kaya şevine etkiyen normal gerilme seviyesi, şevin yüksekliği (65 m) ile kayanın birim hacim ağırlığının (19.84 kN/m³) çarpılmasıyla 1.3 MPa olarak hesaplanmıştır. Daha sonra da 0-1.3 MPa arasında değişen farklı normal gerilmeler (σ_n) için (1) ve (2) nolu eşitlikler yardımıyla kayma gerilmesi (τ) değerleri hesaplanmış ve elde edilen

σ_n - τ veri çiftleri kullanılarak doğrusal olmayan yenilme zarfı çizilmiştir. Bu yenilme zarfına çizilen teğetten pürüzlü eklem yüzeylerinin sürtünme açısı (ϕ) ve kohezyon (c) değerleri belirlenmiştir (Şekil 4b).

$$\phi_r = (\phi_b - 20) + 20(r/R) \quad (1)$$

$$\tau = \sigma_n \tan \phi_r + JRC \log \frac{JCS}{\sigma_n} \quad (2)$$

Burada;

τ : kayma gerilmesi (MPa)

σ_n : eklem düzlemine etki eden normal gerilme (MPa)

JRC: eklem yüzeyi pürüzlülük katsayısı

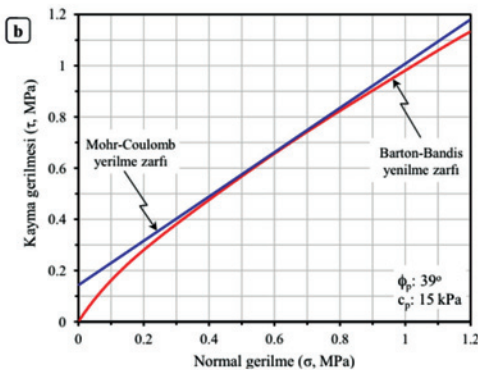
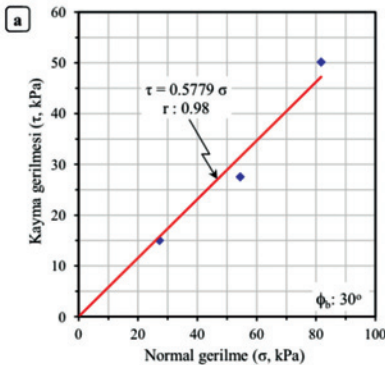
JCS: eklem yüzeyinin dayanımı (MPa)

ϕ_r : artık sürtünme açısı

ϕ_b : pürüzsüz ve düz yüzeye ait temel sürtünme açısı

R: taze yüzeyin Schmidt çekici geri tepme sayısı ve

r: eklem yüzeyinin Schmidt çekici geri tepme sayısıdır.



Şekil 4. (a) Pürüzsüz yüzeye ait ϕ_b değeri ile (b) eklem yüzeylerine ait ϕ ve c değerlerini belirlemek için çizilen σ - τ grafikleri.

Figure 4. σ - τ graphs in order to determine (a) ϕ_b value of the smooth surface and (b) ϕ and c values of the joint surfaces.

Kaya kalite göstergesi (RQD), Priest ve Hudson (1976) tarafından önerilen (3) nolu eşitlikten; hacimsel eklem sayısı (J_v) ise Palmström (2005) tarafından tavsiye edilen (4) nolu eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$RQD = 100e^{-0.12} (0.1\lambda + 1) \quad (3)$$

$$J_v = \frac{110 - RQD}{2.5} \quad (4)$$

Burada;

λ : 1 metre uzunluğundaki ölçüm hattını kesen eklem sayısı ve

J_v : 1 m³'lük kaya bloğundaki eklem sayısıdır.

ISRM (2007) tarafından önerilen tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilen eklemlerin özellikleri ile literatürde tanımlanan yöntemlere göre belirlenen eklem sıklığı (λ), kaya kalite göstergesi (RQD), hacimsel eklem sayısı (J_v), sürtünme açısı (ϕ) ve kohezyon (c) değerleri Çizelge 2'de özet olarak sunulmuştur.

TÜFLERİN KAYA KÜTLESİ ÖZELLİKLERİ

Tüflerden oluşan kaya kütesine ait tek eksenli basınç dayanımı ve kaya kütle sabitleri Hoek vd. (2002) tarafından önerilen eşitlikler yardımıyla; deformasyon modülü ise Hoek ve Diederichs (2006) tarafından önerilen eşitlik kullanılarak belirlenmiştir. Poisson oranı hesaplanırken Aydan vd. (1993) tarafından önerilen ampirik eşitlikten yararlanılmıştır. Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) değerini saptamak için Hoek vd. (2013) tarafından önerilen denklem kullanılmış ve GSI değeri 46 olarak belirlenmiştir. Ayrıca,

Kaya

RocLab v1.0 (Rocscience, 2002) programından yararlanılarak tüfler için kaya malzemesi sabiti (m_f) 13 olarak, şev kazısı sırasında mekanik

kazı uygulandığı için örselenme faktörü (D) 0.7 olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 2. Tüflerdeki eklemlere ait özellikler.
Table 2. Properties of joints in the tuffs.

Özellik	Değer
Eklem takımları	J1: 320/60 (Set 1) J2: 245/80 (Set 2) J3: 080/60 (Set 3)
Eklem aralığı (cm)	6.7*
Tanımlama (ISRM, 2007)	Yakın aralıklı
Eklem açıklığı (mm)	1.5*
Tanımlama (ISRM, 2007)	Açık
Eklem devamlılığı (m)	10.5*
Tanımlama (ISRM, 2007)	Yüksek devamlı
Eklem yüzeyi pürüzlülüğü (JRC)	14-16
Tanımlama (ISRM, 2007)	Dalgalı pürüzlü
Eklemdeki dolgu malzemesinin özelliği	Çok ince kil sıvaması yer yer <2 mm kalsit dolgu
Eklem yüzeylerinin bozunma derecesi (ISRM, 2007)	Orta derecede bozunmuş
Eklem yüzeylerindeki su durumu (ISRM, 2007)	Kuru ve sızıntı yok
Eklem sıklığı (l, m^{-1})	15*
Tanımlama (Franklin vd., 1971)	Çok çatlaklı- kırıklı
Hacimsel eklem sayısı ($J_v, eklem/m^3$)	22
Tanımlama (ISRM, 2007)	Çok küçük bloklar
Kaya kalite göstergesi (RQD, %)	55.7
Tanımlama (Deere, 1964)	Orta
Sürtünme açısı ($\phi, ^\circ$)	39
Kohezyon (c, kPa)	15

* Ortalama değer

Sayısal duraylılık analizlerinde kullanılmak amacıyla belirlenen Poisson oranı (ν_m), deformasyon modülü (E_m), tek eksenli basınç

dayanımı (σ_{cm}), kaya kütle sabitleri (m_b, s, a) ve hesaplamalarda kullanılan eşitlikler Çizelge 3'te verilmiştir.

DURAYLILIK ANALİZLERİ

Bu çalışmada, tüflerde açılan kaya şevinin duraylılığı kinematik ve sayısal analizler yapılarak incelenmiştir. Duraylılık analizleri iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, kaya şevindeki yenilmelerin eklemeler tarafından kontrol edildiği varsayılarak potansiyel yenilme türlerini (düzlemsel ve kama tipi kayma, devrilme) ortaya koymak amacıyla kinematik analizler yapılmıştır. Kinematik analizlerde girdi parametresi olarak ana eklem takımlarının ve kaya şevinin yönelimleri ile eklem yüzeylerine ait sürtünme açısı değeri (φ : 39°) kullanılmıştır.

Çalışmada, Hoek ve Bray (1981) tarafından önerilen kinematik analiz yönteminden yararlanılmıştır. Sekiz adet basamaktan oluşan 070/48 yönelimli kaya şevi için yapılan kinematik analizler sonucunda J2 nolu (245/80) eklem setinin devrilme türü bir yenilme oluşturma olasılığının olduğu belirlenmiştir (Şekil 5). Taşocağı ile kaya şevi sınırındaki 6. ve 7. basamaklarda gözlenen açılmalar, devrilme riski taşıyan J2 nolu eklemelerin doğrultusu boyunca gelişmiştir (Şekil 6). Arazideki bu durum kinematik analiz sonuçlarıyla da uyumluluk göstermektedir.

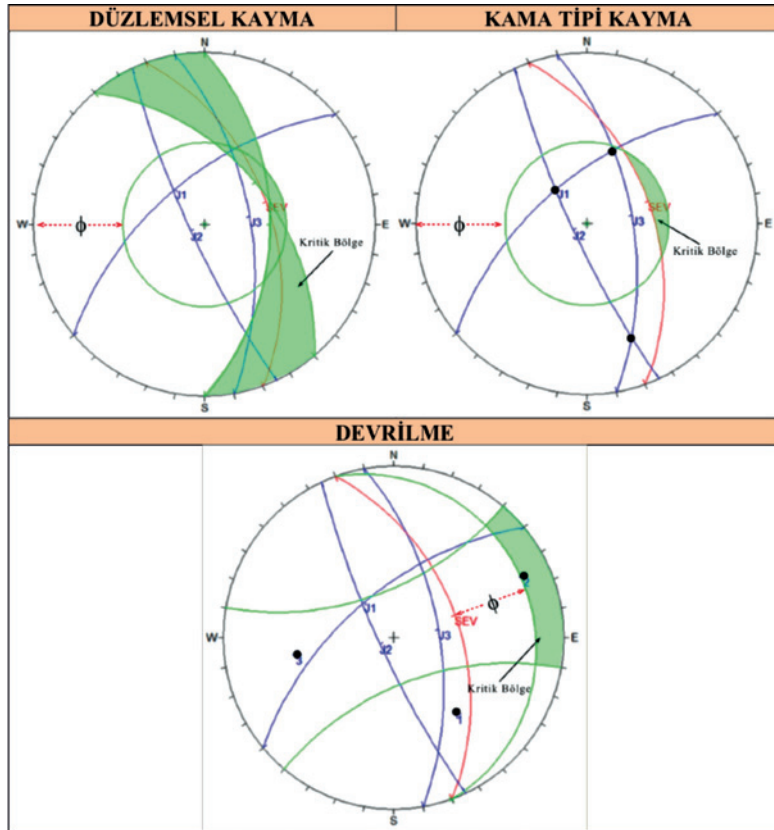
Çizelge 3. Tüflere ait kaya kütle özellikleri ve hesaplamalarda kullanılan eşitlikler.
Table 3. Rock mass properties of the tuffs, and equations used in the calculations.

Literatür	Eşitlik	Not	Değerler
Hoek vd. (2013)	$GSI = 1.5JCond_{99} + RQD/2$	$JCond_{99}$: 12	46
Aydan vd. (1993)	$v_m = 0.25(1 + e^{-\alpha_m/4})$		0.40
Hoek ve Diederichs (2006)	$E_m = E_i \left(0.02 + \frac{1 - (D/2)}{1 + e^{(60+15D-GSI)/11}} \right)$	GPa	0.45
	$\sigma_{cm} = \sigma_{ci} \cdot \frac{(m_b + 4s - a(m_b - 8s))(m_b/4 + s)^{a-1}}{2(1+a)(2+a)}$	MPa	2.17
	$m_b = m_i e^{\frac{GSI-100}{28-14D}}$	m_i : 13 D : 0.7	0.66
Hoek vd. (2002)	$s = e^{\frac{GSI-100}{9-3D}}$		0.0004
	$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right)$		0.508

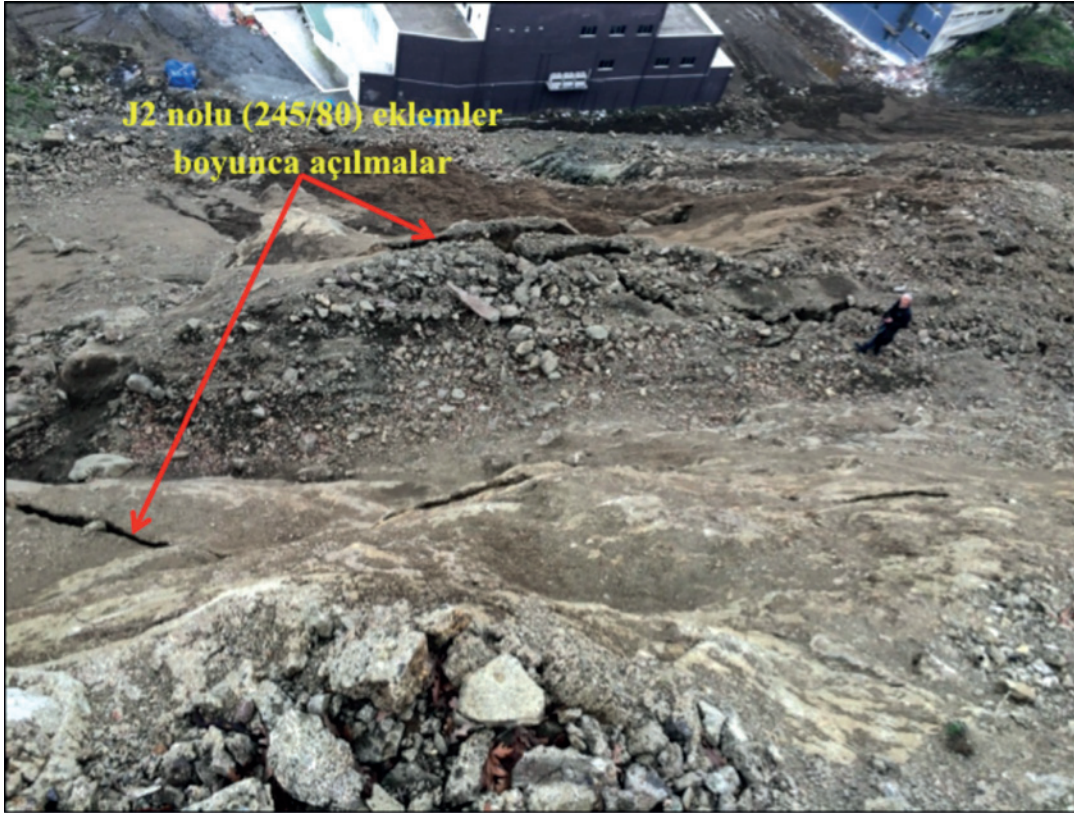
$JCond_{99}$: Eklem durumu puanı, Bieniawski (1989) tarafından tanımlanmıştır

Son aşamada ise incelenen kaya şevindeki eklem kontrollü kayma riski, hem kaya kütesinin deformasyon ve kütle özelliklerinin hem de eklemlerin makaslama dayanımının göz önüne alındığı sonlu elemanlar (FEM) tabanlı Phase² v8.0 (Rocscience, 2011) programı kullanılarak incelenmiştir. Oluşturulan üç düğüm noktalı üçgen sonlu elemanlar modelinde Hoek-Brown yenilme ölçütü kullanılarak gerilme-deformasyon analizleri yapılmış ve yenilme türleri incelenmiştir. Sayısal analizlerde şevin mevcut koşullardaki duraylılık durumunun yanı sıra en kötü koşullardaki duraylılık durumu da incelenmiştir. En kötü koşullardaki duraylılık durumu incelenirken, eklemlerin suyla dolu

olduğu varsayılmış ve sismik yükler dikkate alınmıştır. Ulusay vd. (2004) tarafından önerilen deprem azalım ilişkisi yardımıyla en büyük yatay yer ivmesi, 0.17 g olarak hesaplanmış ve sismik yük olarak modele eklenmiştir. Hesaplamalarda, çalışma alanına yaklaşık 20 km uzaklıkta bulunan ve son yıllarda sismik hareketlilik açısından aktif olan Karadeniz Fayı dikkate alınmıştır. Bu çalışmada, kaya şevinin duraylılık durumu için yeterli güvenlik sayısı değeri, 1.3 olarak seçilmiştir (Mines Branch, 1972). Analizlerde kullanılan değişkenler Çizelge 1-3'te sunulmuştur. Şevin geometrisi sekiz basamaklı kazı düzenine göre oluşturulmuştur (Şekil 7).

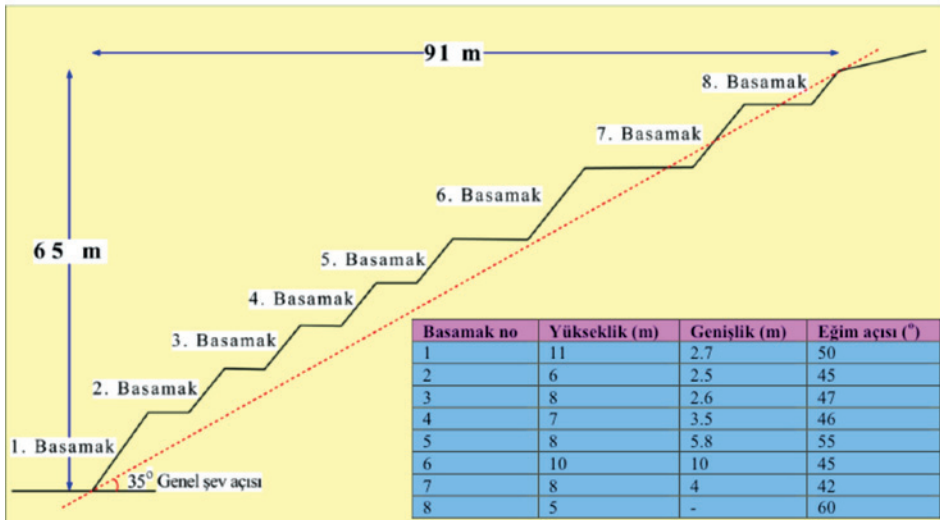


Şekil 5. Kaya şevi için düzlemsel kayma, kama tipi kayma ve devrilmenin kinematik analizi.
Figure 5. Kinematic analyses of planar sliding, wedge sliding and toppling for the rock slope.



Şekil 6. Kaya şevindeki J2 nolu (245/80) eklemler boyunca açılmaları gösteren fotoğraf.

Figure 6. The photograph showing cracks developed along the J2 joint plane (245/80) at the rock slope.



Şekil 7. Çalışma alanındaki kaya şevinin geometrisini gösteren kesit.

Figure 7. Cross-section showing the geometry of the rock slope in the study area.

Yapılan sayısal duraylılık analizleri sonucunda kaya şevine ait güvenlik sayısının en kötü koşullar için 0.86 (Şekil 8a); mevcut koşullar için ise 1.23 (Şekil 8b) olduğu ve devrilme riski taşıdığı saptanmıştır. Şekil 8c'de, yenilmelerin J2 nolu eklemler boyunca basamakların üst bölümünde geliştiği ve derinlere doğru eğilme deformasyonu şekli olarak yamaç aşağı doğru hareket ettiği görülmektedir. Dolayısıyla, olası yenilme probleminin önlenmesi için kaya şevinin desteklenmesi veya yeniden basamaklandırılması gerekmektedir.

Kaya şevini duraylı hale getirecek en uygun yöntemi belirlemek için Phase² v8.0 programından yararlanılmış ve yapılan sayısal analizler iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, mevcut şev geometrisi dikkate alınarak sistematik bulonlama uygulaması yapılmıştır. Duraylılık için kabul edilen güvenlik sayısını (F: 1.3) sağlayacak optimum bulon tasarımını belirlemek amacıyla farklı aralıklarda ve uzunluklarda Ø28 mm çaplı SN tip kaya bulonları kullanılmış ve performansları test edilmiştir. Sonuç olarak, kaya şevinin ikinci, üçüncü, dördüncü ve beşinci basamakları 2.0 x 2.0 m aralığında ve 6 m uzunluğunda; açılmaların gözlemlendiği altıncı, yedinci ve sekizinci basamakların ise 2.0 x 2.0 m aralığında ve 10 m uzunluğunda bulonlarla desteklenmesi halinde güvenlik sayısının 1.24'ten 1.33'e çıktığı belirlenmiştir (Şekil 9a).

İkinci aşamada ise J2 nolu eklemler boyunca açılmaların gözlemlendiği kütleli ortadan kaldırmak için altıncı basamağın topuğundan itibaren farklı açılarda ve yüksekliklerde şev

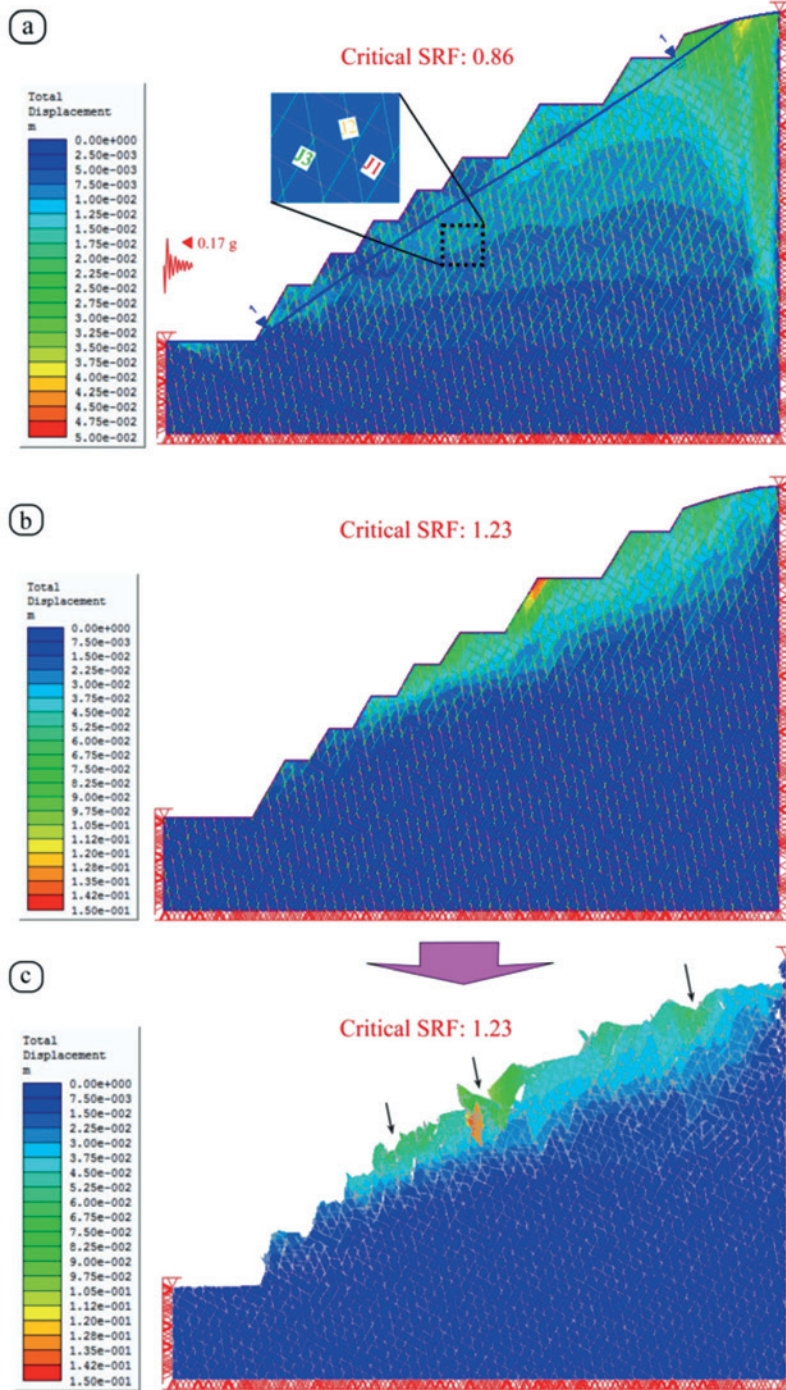
kazıları uygulanmış ve duraylılık için kabul edilen güvenlik sayısını sağlayan optimum basamak geometrisi belirlenmiştir. Kaya şevinin üst zonu, 30° eğiminde, 12 m yüksekliğinde ve 5 m genişliğinde üç basamak olarak yatıklaştırıldığında güvenlik sayısının 1.42 olduğu saptanmıştır (Şekil 9b).

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Karadeniz Sahil Yolu'nun Devgeriş (Samsun) mahallesi kesimindeki Eosen yaşlı tüflerde açılmış kaya şevinin duraylılığı, kinematik ve sayısal analizler yapılarak araştırılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur:

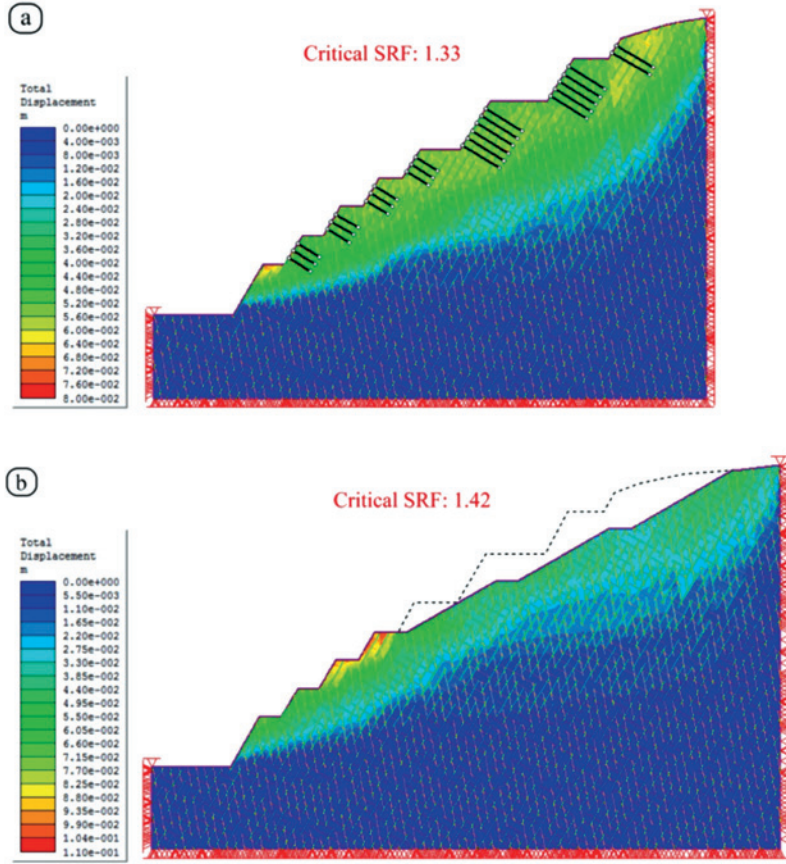
a) Yapılan kinematik analizler sonucunda kaya şevindeki J2 nolu (245/80) eklem setinin, devrilme türü bir yenilme oluşturma olasılığının olduğu belirlenmiştir. Taşocağı ile kaya şevi sınırındaki 6. ve 7. basamaklarda, J2 nolu eklemlerin doğrultusu boyunca gelişmiş açılmalar, kinematik analiz sonuçlarının doğruluğunu kanıtlamaktadır.

b) Kaya şevinde J2 nolu (245/80) eklem setine bağlı bir yenilmenin gerçekleşme olasılığı sonlu elemanlar (FEM) tabanlı sayısal analiz yöntemi ile incelendiğinde kaya şevi için güvenlik sayısı en kötü koşullar için 0.86, mevcut koşullar için ise 1.23 olmaktadır. Bu değerler, duraylılık için kabul edilen F: 1.3 değerinden küçüktür.



Şekil 8. Kaya şevinin yenilme öncesi (a) en kötü ve (b) mevcut koşullardaki durumu ile (c) yenilme sonrası durumunu gösteren sayısal analiz sonuçları.

Figure 8. Results of numerical analyses for the rock slope showing the pre-failure case (a) in worst, (b) current conditions, and (c) post-failure case.



Şekil 9. Kaya şevinin (a) bulon uygulaması ve (b) yatıklaştırması sonrasında duraylılık durumlarını gösteren sayısal analiz sonuçları.

Figure 9. Results of numerical analyses for the rock slope showing stability conditions after (a) bolting and (b) slope flattening.

c) Sayısal duraylılık analizi sonuçlarına göre kaya şevinde devrilme türü bir yenilme beklenilmektedir. Kaya şevinin duraylılığının sağlanması için bulonlama yapılması veya şevin yatıklaştırılması önerilmektedir. İyileştirme yöntemlerinin performansları FEM tabanlı sayısal analiz yöntemiyle incelendiğinde bulonlama sonrası güvenlik sayısı 1.33'e, şev yatıklaştırma işlemi sonrası ise 1.42'ye çıkmaktadır. Önerilen yöntemlerden hangisinin uygulanacağına maliyet analizleri yapılarak karar verilmelidir.

d) Kaya şevlerinin duraylılığının araştırılmasında hem kaya kütlelerinin hem de

süreksizliklerin özelliklerini dikkate alan sayısal analizleri kullanmak daha gerçekçi sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır. Dolayısıyla, duraylılık değerlendirmelerinde birden fazla yöntemi kullanarak sonuçları kontrol etmek, güvenilir şev tasarımı açısından önemlidir.

TEŞEKKÜR

Arazi çalışmalarının yürütülmesinde yardımcı olan Jeoloji Mühendisi Köksal AKIN'a, çalışmayı titizlikle değerlendiren hakemlere ve editöre teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- Aydan, Ö., Akagi, T., Kawamoto, T., 1993. The squeezing potential of rocks around tunnels; theory and prediction. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 26 (2), 137-163.
- Barka, A., Sütçü Y. F., Gedik, İ., Tekin, T. F., Arel, E., Özdemir, M., Erkal, T., 1986. Sinop nükleer enerji santrali için jeolojik araştırmalar sonuç raporu, MTA, Rapor No: 7963, Ankara.
- Barton, N., Bandis, S. C., 1990. Review of predictive capabilities of JRC-JCS model in engineering practice. *Proceedings of the International Symposium on Rock Joints*, Loen, Norway, 603-610.
- CANMET, 1977. Pit slope manual: supplement 5-1, plane shear analysis. *Canada Centre for Mineral and Energy Technology Report*, 16-77.
- Deere, D. U., 1964. Technical description of rock cores for engineering purposed. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 1, 17-22.
- Franklin, J. A., Broch, E., Walton, G., 1971. Logging the mechanical character of rock. *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy*, 80 (A), 1-9.
- Güven, İ. H., 1993. Doğu Pontidlerin jeolojisi ve 1/250000 ölçekli komplikasyonu, MTA, Ankara.
- Hoek, E., Bray, J. W., 1981. *Rock Slope Engineering*. Institution of Mining, Metallurgy, London, 358 p.
- Hoek, E., Carranza-Torres, C., Corkum, B., 2002. Hoek-Brown failure criterion. *Proceedings of the 5th North American Rock Mechanics Symposium and 17th Tunneling Association of Canada Conference*, Toronto, Canada, 267-273.
- Hoek, E., Diederichs, M. S., 2006. Empirical estimation of rock mass modulus. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 43, 203-215.
- Hoek, E., Carter, T.G., Diederichs, M. S., 2013. Quantification of the Geological Strength Index chart. *47th US Rock Mechanics and Geomechanics Symposium*, San Francisco, USA.
- ISRM, 2007. *The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974-2006* (Editors: Ulusay and Hudson), International Society for Rock Mechanics, Kozan Ofset, Ankara, 628 p.
- Mines Branch, 1972. *Tentative design guide for mine waste embankments in Canada*. Department of Energy, Mines and Resources, Canada, 200 p.
- Palmström, A., 2005. *Measurements of and Correlations Between Block Size and Rock Quality Designation (RQD)*, *Tunnels and Underground Space Technology*, 20, 362-377.
- Priest, S. D., Hudson, J. A., 1976. *Discontinuity spacing in rock*. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics, Abstracts*, 13, 135-148.
- Rocscience, 2002. *RocLab v1.0 rock mass strength analysis using the generalized Hoek-Brown failure criterion*. Rocscience Inc., Toronto, Ontario, Canada.
- Rocscience, 2011. *Phase² v8.0 2D finite element program for calculating stresses and estimating support around the underground excavations*. Geomechanics Software and Research, Rocscience Inc., Toronto, Ontario, Canada.
- Ulusay, R., Tuncay, E., Sonmez, H., Gökçeoglu, C., 2004. An attenuation relationship based on Turkish strong motion data and iso-acceleration map of Turkey. *Engineering Geology*, 74 (3-4), 265-291.

Granitik Agregaların Alkali Silis Reaksiyonu Yönünden Değerlendirilmesi

Evaluation of Alkali-Silica Reactivity of Granitic Aggregates

Nuray MANNASOĞLU, Murat YILMAZ, Atiye TUĞRUL

İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Avcılar, İSTANBUL

Geliş (received) : 02 Mart (March) 2016

Düzeltilme (revised) : 23 Mart (March) 2016

Kabul (accepted) : 24 Mart (March) 2016

ÖZ

Agrega, beton bileşiminde en çok kullanılan malzeme olduğundan, özellikleri betonun dayanıklılığını (durabilitesini) doğrudan etkilemektedir. Agreganın türü, mineralojisi, dokusu gibi jeolojik faktörler betonun dayanımında ve dayanıklılığında önemli etkilere sahiptir. Bu çalışmada; Türkiye'nin farklı bölgelerinden alınan granitik kayalar, betonda alkali silis reaksiyonu açısından incelenmiştir. Çalışma kapsamında; öncelikle granitik kayaların mineralojik, petrografik ve kimyasal özellikleri incelenmiş, daha sonra bu granit örnekler üzerinde hızlandırılmış harç çubuğu deneyleri yapılmıştır. Oluşan alkali silis reaksiyonunun etkileri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Elde edilen veriler, granitlerin beton agregası olarak kullanılması durumunda, örneklerin büyük çoğunluğunun alkali silis reaksiyonu açısından riskli olmadığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Agrega, Alkali-Silis Reaksiyonu, Granit, Türkiye.

ABSTRACT

Aggregate has widely used in concrete composition and its properties directly affects the durability of concrete. Geological factors such as aggregate type, mineralogy and texture have significant effects on concrete strength and durability. In this study, granitic rocks collected from different parts of Turkey, have been investigated from the point of alkali-silica reactions in concrete. Firstly, mineralogical, petrographic and chemical characteristics of granitic rocks were investigated. Then, accelerated mortar bar tests were performed on these granite samples. The effects of alkali-silica reactions were also investigated by scanning electron microscope (SEM). According to results obtained, granites, when used as concrete aggregate, are not generally found to be potentially dangerous for alkali-silica reactions.

Key Words: Aggregate, Alkali-Silica Reaction, Granite, Turkey.

M. Yılmaz

E-posta: yilmazm@istanbul.edu.tr

GİRİŞ

Alkali-silis reaksiyonu (ASR); reaktif silis formları içeren agregaların çimento ve/veya dış kaynaklardan gelen alkali oksitlerle reaksiyona girmesi ve bunun sonucunda genleşebilme özelliğine sahip bir jelin meydana gelmesidir (Neville, 1981; Moranville-Regourd, 1997). Bu jel, su emdikçe hacmi daha çok artmakta, betonda çatlamlara neden olmakta (Nixon ve Page, 1987; Binal, 2008) ve bu çatlaklar betonun dayanımını önemli oranda düşürmektedir (Fookes, 1980; Struble ve Diamond, 1981; Wakizaka, 1998; Marzouk ve Langdon, 2003).

Reaksiyonun oluşabilmesi için, çimentodaki alkali içeriğinin, bir başka deyişle $\text{Na}_2\text{O} + 0.658 \text{K}_2\text{O}$ değerinin, % 0.60'ı ve ortamdaki nemin 20 °C sıcaklıkta % 85'i aşması gerekir (Arnould, 1997). Bu koşullardan herhangi biri olmazsa alkali-silis reaksiyonu nedeniyle bir genleşme de olmayacaktır. Bunun dışında ortamın gözenekliliği de reaksiyon açısından önemlidir (Swamy, 1992; Moranville-Regourd, 1997; Rivard vd., 2002).

Bazı agregalar kökenleri ile ilgili olarak reaksiyona girebilen silisten oluşan bileşenleri içerebilirler. Bu tür bileşenler, betonun boşluk suyunda çözünen alkali hidroksit ile güçlü bir kimyasal reaksiyona girer ve önce berrak, çoğunlukla yüksek konsantrasyonlu ve sonra yüksek viskoziteli alkali silis çözeltisini meydana getirir (Ben Haha, 2006). Agreganın alkaliye duyarlı bileşenleri böylece yumuşar ve çözünür (Swamy, 1992). Reaksiyon süresi ve şiddeti, özellikle agreganın alkaliye duyarlı bileşenlerinin cins ve miktarına, tane büyüklüğüne ve dağılışına, betonun boşluğunda bulunan çözeltideki alkali hidroksit miktarına ve sertleşmiş betonun çevre koşullarına bağlıdır

(Hobbs ve Gutteridge, 1979; Stark vd., 1993; Gillott ve Rogers, 1994; Prince vd., 2001). Bu nedenle, alkaliye duyarlı tanelerin tek başına değerlendirilmesi yeterli değildir (Fookes, 1980; Swamy, 1992; Fournier ve Berube, 2000).

Agregayı oluşturan bileşenlerin tümü ve formu agreganın reaktifliğini belirler. Alkali-silis reaksiyonu ilk kez Stanton (1940) tarafından tanımlanmıştır. Reaksiyona neden olan mineraller; opal (McConnell vd., 1950; Ineson, 1990; Bell, 1998), kalsedon ve volkan camı (Rhoades, 1942; McConnell vd., 1950; Katayama ve Kaneshige, 1986; Ineson, 1990; Shrimmer vd., 2000), kriptokristalin kuvars (Stanton, 1940), tridimit (Hornibrook vd., 1943; McConnell vd., 1950; Ineson, 1990; Bell, 1998), kristobalit (Landgren ve Sweet, 1952; Mielenz, 1954; Ineson, 1990) ile basınç etkisinde kalmış çatlaklı kuvarstır (McConnell vd., 1950; Gogte, 1973; Bell, 1998). Genel olarak opal, çört ve kalsedon gibi aktif silisçe zengin kayaçların alkali-silis reaksiyonuna neden olmalarının yanı sıra, silisçe zengin kayaçların çoğu da bu reaksiyona neden olabilmektedir; (1) granit ve kuvarsit (Mullick vd., 1986); (2) fillit, kuvarsit ve gnays (Buck, 1986); (3) granodiyorit (Moranville-Regourd, 1997); (4) sedimanter agregalar (Shayan ve Lancucki, 1986); (5) çört ve silttaşı (Joyce, 1996). Bu tür malzemeler, beton üretiminde kullanıldıklarında reaksiyon oluşturabilir. Alkali-silis reaksiyonu konusunda yapılan araştırmalarda, fillitler içerisinde bulunan hidromikanın (illit) alkali-silikat reaksiyonuna neden olduğu ifade edilmiştir (McConnell vd., 1950; Bell, 1998; Lorenzi vd., 2001). Alkali-agrega reaksiyonunun belirlenmesi amacıyla birçok standart geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları; BS 7943 (1999), BS 812: Part 123

(1999), TS 2517 (1977), ASTM C 289 (1994), ASTM C 295 (1994), ASTM C-1260 (1994) ve CSA A23.2 (1994)'tür.

Bu araştırma kapsamında, Türkiye'nin değişik bölgelerinden alınan farklı doku ve bileşime sahip granitik kayaların, betonda alkali silis reaksiyonu açısından incelenmesi amaçlanmıştır. Araştırmanın yapıldığı inceleme alanları; Marmara Bölgesi'nde yer alan Kırklareli-Balaban (KB), Çatalca-Şeytandere (CS), Gebze-Sancaktepe (GS), Armutlu-Fıstıklı (AF), Kapıdağ Yarımadası'nda bulunan Erdek (ER), Çanakkale-Kestanbol (CK), Ege Bölgesi'nde yer alan Bergama-Kozak (IB), Karadeniz Bölgesi'nde yer alan Giresun-Bulancak (GV),

İç Anadolu Bölgesi'ndeki Aksaray-Yaylak Köyü (AY) ve Aksaray-Sipahi Köyü (AS) bölgelerini kapsamaktadır (Şekil 1). Bu çalışmada öncelikle, granitik kayaların bileşiminde alkali-silis reaksiyonuna yol açabilen minerallerin varlığı, polarizan mikroskop incelemeleriyle belirlenmiştir. Daha sonra, kimyasal analizlerle bu kayaların içerdiği ana element oksit yüzdeleri belirlenmiştir. ASTM C 1260 (1999) tarafından verilen esaslara uyularak hızlandırılmış harç çubuğu deneyleri ile granitik kayaların alkali-silis reaktivitesi araştırılmıştır. SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) incelemeleri ile reaksiyon ürünlerinin gelişimi ve agrega-çimento sınırı incelenmiştir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan granitik kayaların alındığı ocak yerlerinin yer bulduru haritası.

Figure 1. Map showing the sampling locations of the granitic rocks tested in the present work.

Mannasoğlu, Yılmaz, Tuğrul

İNCELENEN GRANİTİK KAYAÇLARIN MİNERALOJİK VE PETROGRAFİK ÖZELLİKLERİ

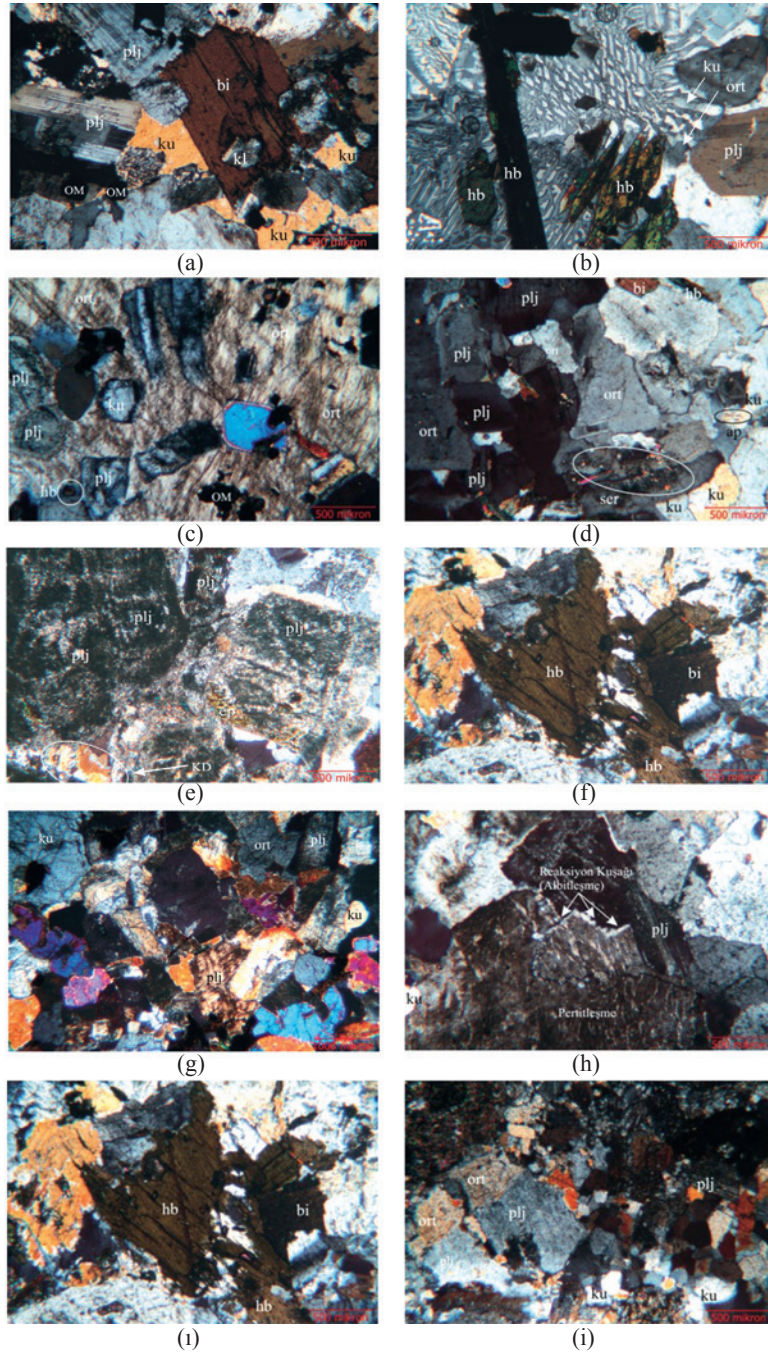
Türkiye'nin çeşitli bölgelerinden alınan granitik kayaçların mineralojik ve petrografik

özelliklerini belirlemek amacıyla ince kesitler hazırlanmıştır. Hazırlanan ince kesitler üzerinde yapılan incelemeler sonucunda belirlenen granitik kayaçların petrografik özellikleri Çizelge 1'de ve Şekil 2'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Granitik kayaçların petrografik özellikleri.

Table 1. *Petrographic properties of the granitic rocks.*

Örnek Kodu	Alındığı yer	Doku	Kristal boyutu (Erkan, 2004)	Mineralojik bileşim	Ayrışma/Hidrotermal alterasyon	Kayaç adı (Streckeisen, 1979)
GV	Giresun-Bulancak	Holokristalin taneseli doku	İnce-orta taneli	Ortoklaz, plajiyoklaz, kuvars, hornblend, biyotit, klorit, epidot, titanit	Albitleşme, killeşme, serizitleşme, kloritleşme	Kuvars monzonit
IB	Bergama-Kozak	Tüm kristalli yarı özşekilli taneseli doku	İnce-orta taneli	Plajiyoklaz, kuvars, ortoklaz, hornblend, biyotit, çok fazla opak min.	Killeşme, serizitleşme	Kuvars monzonit
CK	Çanakkale-Kestanbol	Holokristalin taneseli doku	Orta-iri taneli	Ortoklaz, plajiyoklaz, kuvars amfibol (hornblend), biyotit	Kloritleşme, epidotlaşma, killeşme	Kuvars monzonit
ER	Bandırma-Erdek	Holokristalin taneseli doku	İnce taneli	Kuvars, plajiyoklaz, ortoklaz, biyotit, amfibol (mafik mineral oranı az), klorit, muskovit	Kloritleşme, muskovitleşme, killeşme, serizitleşme	Granit/monzogranit
KB	Kırklareli-Balaban	Blastoholokris-talin (blasto-granüler doku)	İnce-orta taneli	Kuvars, feldispat (ortoklaz, plajiyoklaz) amfibol, muskovit, epidot, klorit, sfen	Feldispatlarda kloritleşme, epidotlaşma, albitleşme	Granit/monzogranit (Metagranit)
AY	Aksaray-Yaylak	Holokristalin taneseli doku	Orta taneli	Ortoklaz, plajiyoklaz, kuvars, biyotit ve az miktarda amfibol, opak min., zirkon	Killeşme, serizitleşme	Granit/monzogranit
AF	Armutlu-Fıstıklı	Holokristalin taneseli doku	Orta-iri taneli	Kuvars, plajiyoklaz, ortoklaz biyotit, amfibol, piroksen	Kloritleşme, killeşme, serizitleşme	Granit/monzogranit
GS	Gebze-Sancaktepe	Holokristalin taneseli doku	Orta-iri taneli	Ortoklaz, kuvars, plajiyoklaz, biyotit, zirkon	Serizitleşme, albitleşme, pertitleşme	Granit/monzogranit
AS	Aksaray-Sipahi	Holokristalin taneseli doku	Orta-iri taneli	Kuvars, plajiyoklaz, ortoklaz, hornblend, biyotit, epidot, klorit, titanit, zirkon	Kloritleşme, epidotlaşma	Granit/Monzogranit (Metagranit)
CS	Çatalca-Şeytandere	Holokristalin taneseli doku	İnce-orta taneli	Ortoklaz, kuvars, plajiyoklaz, amfibol, biyotitten muskovit, klorit	Serizitleşme, albitleşme, killeşme	Granit/monzogranit



Şekil 2. Granitik kayaların ince kesit görüntüleri, (a) GV, (b) IB, (c) CK, (d) ER, (e) KB, (f) AY, (g) AF, (h) GS, (i) AS, (i) CS. (ort: ortoklaz, plj: plajiyoklaz, ku: kuvars, bi: biyotit, kl: klorit, OM: opak mineral, hb: hornblend, ser: serizit, ap: apatit, ep: epidot, KD: kataklastik doku).

Figure 2. Thin sections of the granitic rocks, (a) GV, (b) IB, (c) CK, (d) ER, (e) KB, (f) AY, (g) AF, (h) GS, (i) AS, (i) CS. (ort: orthoclase, plj: plagioclase, ku: quartz, bi: biotite, kl: chlorite, OM: opaque mineral, hb: hornblende, ser: serizite, ap: apatite, ep: epidote, KD: cataclastic texture).

Mannasoğlu, Yılmaz, Tuğrul

Granitik kayaç örnekleri üzerinde nokta sayacı ile yapılan petrografik incelemelerden elde edilen modal mineral oranları Çizelge 2’de,

bu oranlardan türetilmiş olan QAP (Streckeisen, 1967) Diyagramı Şekil 3’te sunulmuştur.



Şekil 3. Granitlerin modal minerolojik bileşimine göre Q (Kuars)- A (Alkali Feldspat)- P (Plajiyoklaz) diyagramında (Streckeisen, 1967) sınıflandırılması.

Figure 3. Modal mineralogic composition of granites according to Q (Quartz)- A (Alkali Feldspar)- P (Plagioclase) classification (Streckeisen, 1967).

Çizelge 2. Granitik kayaçların modal mineral analiz sonuçları.

Table 2. Results of modal mineral analyses of the granitic rocks.

Örnek kodu	Kuars	Plajiyoklaz	Ortoklaz	Biyotit	Hornblend	Altere min.	Klorit	Opak min.
GV	7.6	39	34.6	5.4	4.6	5.3	1.9	1
IB	14.7	43.9	26.8	8.5	5.2	0.5	-	-
CK	12.1	37.4	37.5	4.7	7.5	0.7	-	-
ER	24	40.5	26	5.2	1.8	2.5	-	-
KB	21.5	16.4	28.2	1.2	5.5	26.9	-	-
AY	14.3	25	31.6	9.3	1	16.2	-	2.5
AF	29.3	24.8	21.9	13.1	3	6.6	1.2	-
GS	18.9	8.3	31.1	2.9	-	36.7	0.5	1.4
AS	19.5	33.4	28.5	5.2	4.5	2.7	2.3	1.5
CS	27.2	20.1	24.4	7.1	4.4	15.6	1.1	-

İNCELENEN GRANİTİK KAYAÇLARIN KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Araştırma kapsamındaki granitik kayaçların kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla kimyasal analizler yapılmıştır. Analizler için, granitik kayaç örneklerinden taze örnekler hazırlanmış ve içerdikleri ana element oksit yüzdeleri belirlenmiştir. Analizler, Kanada ACME Laboratuvarında XRF yöntemine göre yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 3'te sunulmuştur.

Çizelge 3. Granitik kayaçların ana element oksit yüzdeleri.

Table 3. Main element oxide percentages of the granitic rocks.

Örnek kodu	Ana element oksit yüzdeleri (%)									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO
GV	60.94	16.49	5.92	1.10	3.75	3.09	6.39	0.45	0.37	0.17
IB	65.29	14.36	4.46	2.34	5.03	3.29	2.93	0.37	0.47	0.10
CK	63.53	14.84	4.87	2.21	4.52	3.82	4.06	0.61	0.35	0.10
ER	71.63	14.39	2.01	0.50	2.90	3.84	3.15	0.25	0.16	0.08
KB	69.45	12.80	3.49	1.66	3.50	2.88	3.26	0.63	0.34	0.09
AY	71.79	14.52	2.32	0.35	2.58	3.28	4.14	0.13	0.08	0.07
AF	67.77	15.45	3.08	0.78	2.54	3.84	3.22	0.32	0.09	0.15
GS	73.10	13.54	1.96	0.24	0.77	3.48	5.15	0.44	0.06	0.03
AS	68.76	15.30	2.49	0.70	3.94	4.41	2.51	0.36	0.27	0.08
CS	74.38	12.72	3.15	0.41	0.82	3.43	3.40	0.25	0.06	0.10

ALKALİ SİLİS REAKSİYONU

Hızlandırılmış Harç Çubuğu Deneyi

İncelenen granit örneklerindeki aktif silis ile diğer reaktif minerallerin zararlı etkilerini belirlemek amacıyla, ASTM C1260 (1999) tarafından verilen esaslara uyularak hızlandırılmış harç çubuğu deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerle, incelenen granitlerin, çimento hamuruyla oluşturabileceği reaksiyon nedeniyle meydana gelen genleşmelere bağlı boyca uzamaları belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan çimentonun (CEM I 42.5R portland çimentosu) özellikleri Çizelge 4'te sunulmuştur.

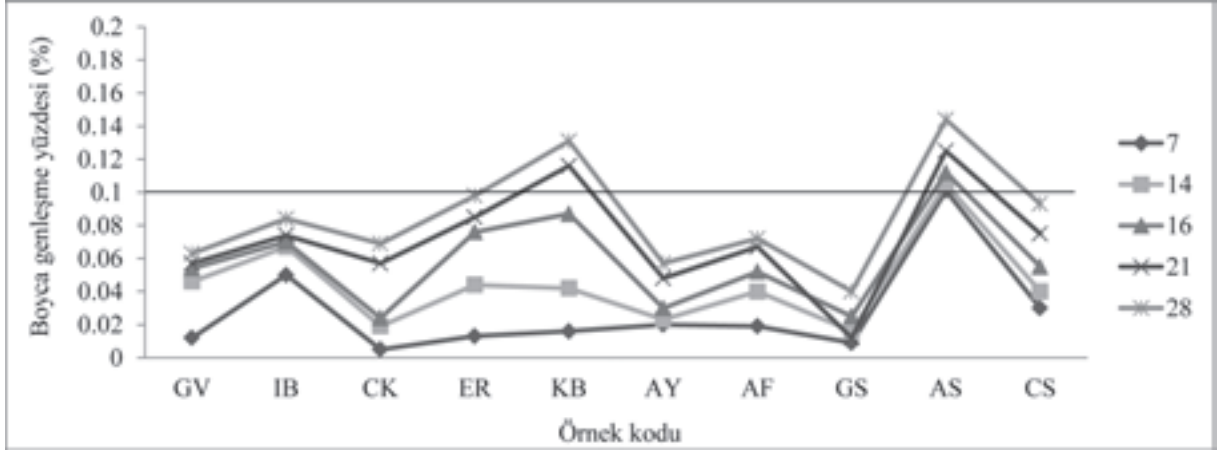
Çizelge 4. Deneylerde kullanılan çimentonun (CEM I 42.5 R) özellikleri.

Table 4. Properties of cement used in the experiments.

Kimyasal özellikler	Deney sonuçları (%)
Kızdırma kaybı	4.03
SiO ₂	19.61
Al ₂ O ₃	4.84
Fe ₂ O ₃	3.13
CaO	62.81
MgO	1.30
SO ₃	3.09
K ₂ O	0.74
Na ₂ O	0.22
Çözünmeyen kalıntı	0.21

Deneyler, en az üç örnek üzerinde yapılmış olup, elde edilen genleşme oranları; 7, 14, 16, 21 ve 28 günlük dönemler halinde Çizelge 5'te ve Şekil 4'te sunulmuştur. Bu çizelgede görüldüğü gibi, tüm ölçümler sonucunda, ortalama en yüksek genleşmenin AS kodlu granit ile üretilen harç çubuklarında olduğu belirlenmiştir (Şekil 4).

Mannasoğlu, Yılmaz, Tuğrul



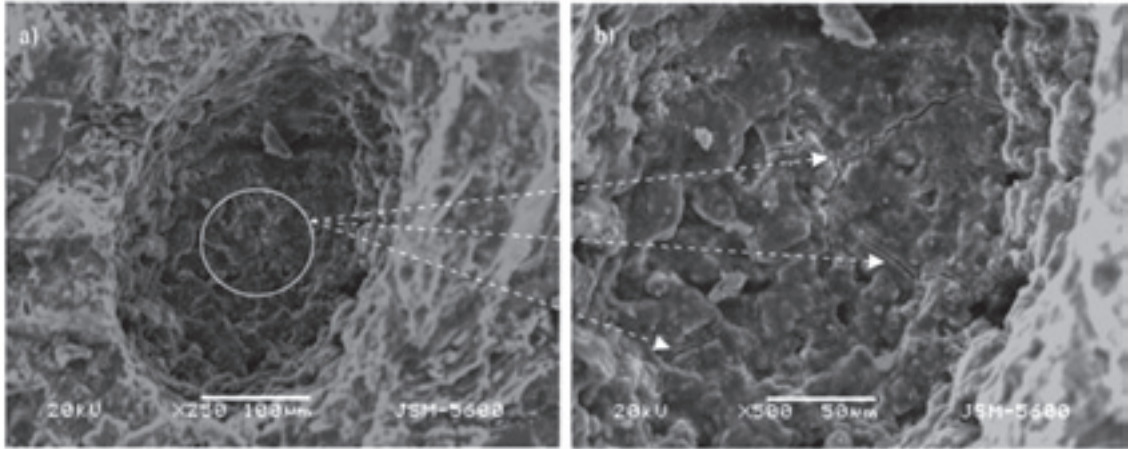
Şekil 4. 7, 14, 16, 21 ve 28 günlük genişleme değerlerinin değişimi.

Figure 4. Changes in expansion values at 7, 14, 16, 21 and 28 days.

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) İncelemeleri

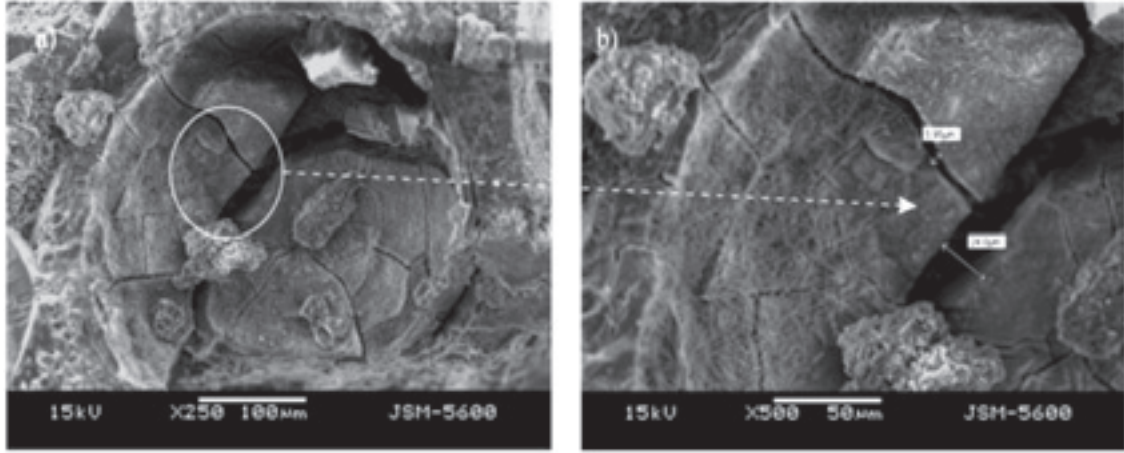
Hızlandırılmış harç çubuğu deneylerinde kullanılan örnekler üzerindeki alkali-silis reaksiyonu etkilerini gözlemlemek amacıyla

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) incelemeleri yapılmıştır. Harç numunelerine ait elektron mikroskobu görüntüleri Şekil 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 ve 14'te sunulmuştur.



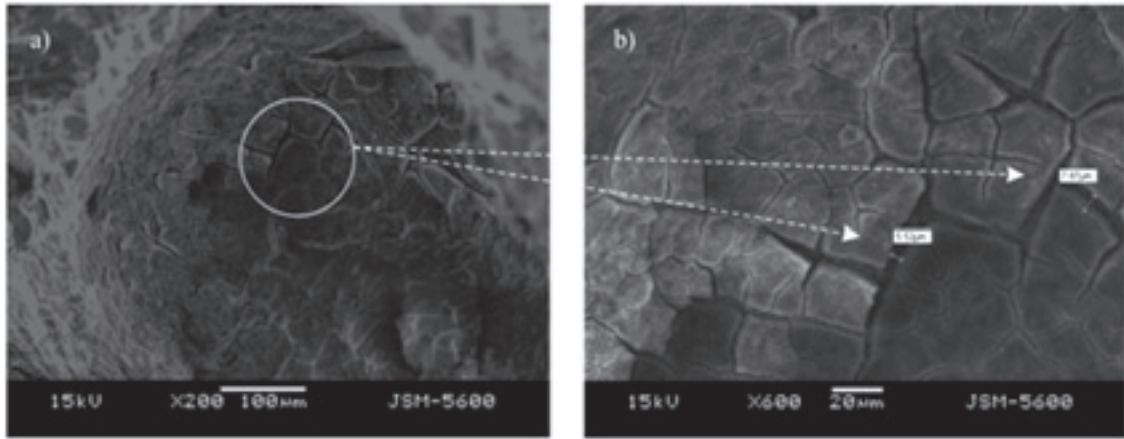
Şekil 5. GV kodlu granitlerden üretilen harç çubuklarının SEM görüntüleri: a) tane yüzeyinde gelişen tipik genişleme çatlakları, b) aynı çatlakların yakından görünümü.

Figure 5. SEM images of mortar bars produced by GV coded granite: a) typical expansion cracks developed on the particle surface, b) close view of same cracks.



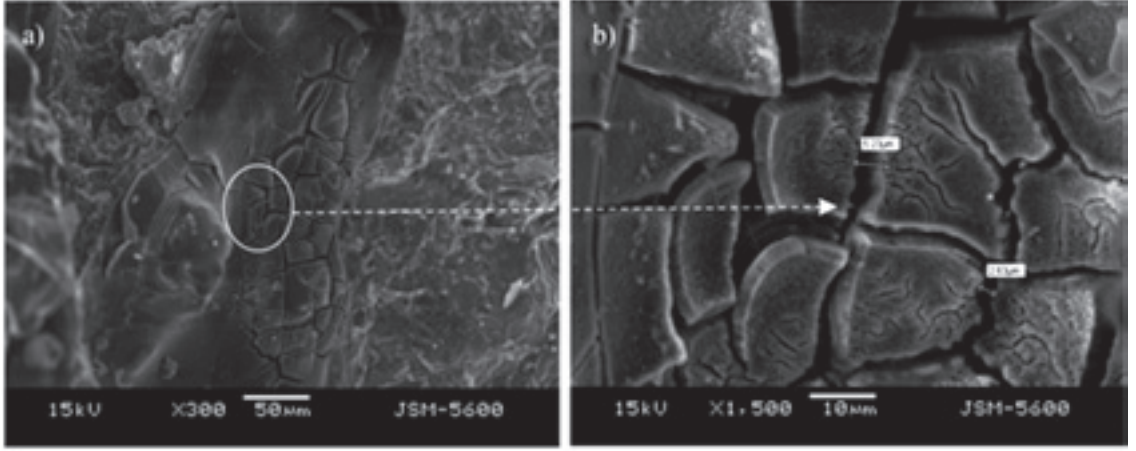
Şekil 6. IB kodlu granitlerden üretilen harç çubuklarının SEM görüntüleri: a) jelde oluşan genişleme çatlakları, b) aynı çatlakların ve çatlak açıklığının yakından görünümü.

Figure 6. SEM images of mortar bars produced by IB coded granite: a) expansion cracks developed in gel, b) close view of same cracks and crack aperture.



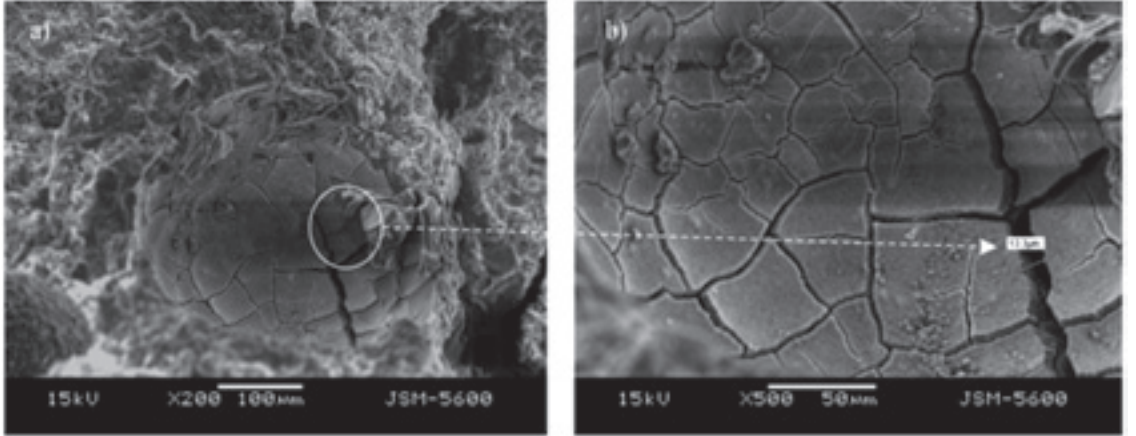
Şekil 7. CK kodlu granitlerden üretilen harç çubuklarının SEM görüntüleri: a) çatlakların görünümü, b) çatlakların yakından görünümü ve açıklık ölçümü.

Figure 7. SEM images of mortar bars produced by CK coded granite: a) view of cracks, b) close view of same cracks and crack aperture.



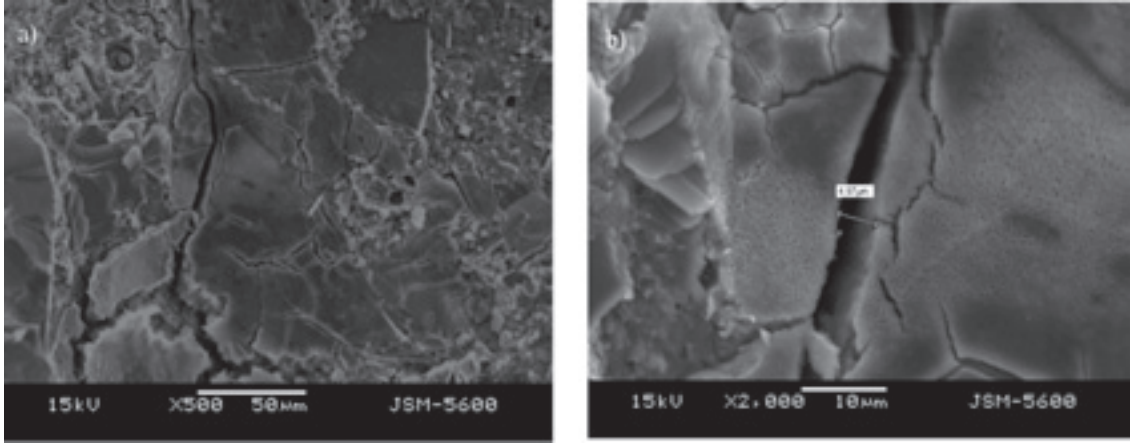
Şekil 8. ER kodlu granitlerden üretilen harç çubuklarının SEM görüntüleri: a) çatlakların görünümü, b) çatlakların yakından görünümü ve açıklık ölçümü.

Figure 8. SEM images of mortar bars produced by ER coded granite: a) view of cracks, b) close view of same cracks and crack aperture.

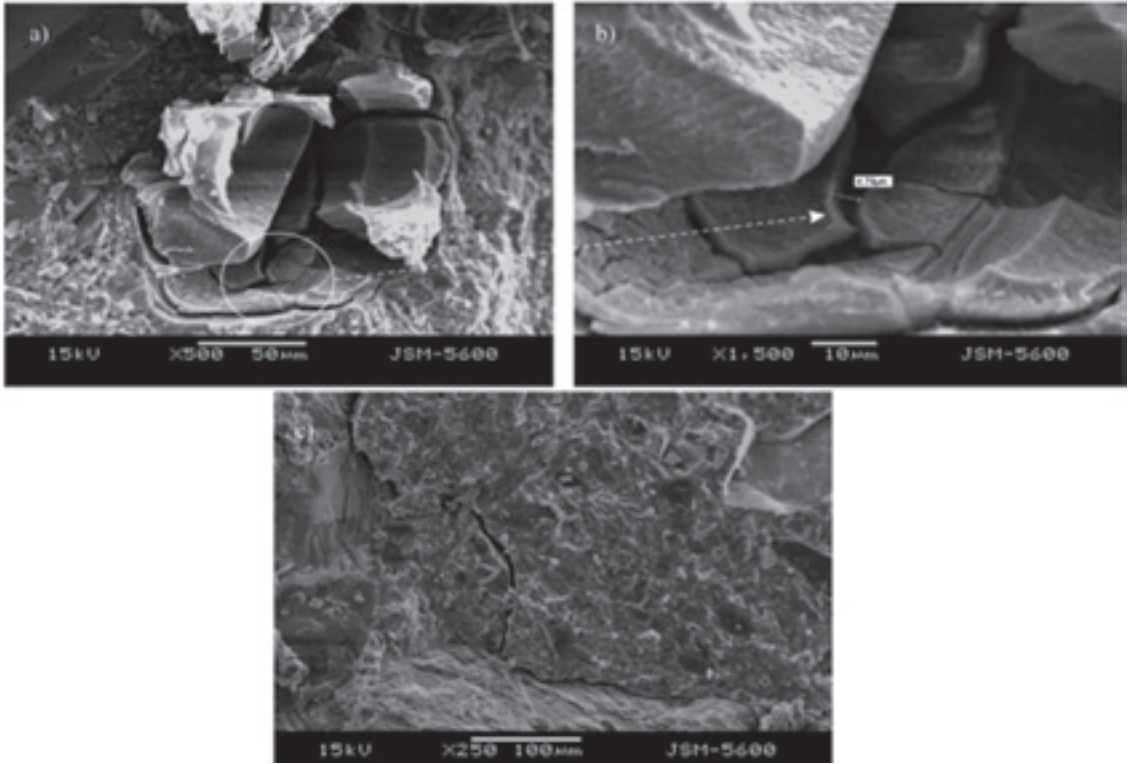


Şekil 9. KB kodlu granitlerden üretilen harç çubuklarının SEM görüntüleri: a) jelde oluşan tipik genişleme çatlakları, b) çatlak açıklığının yakından görünümü.

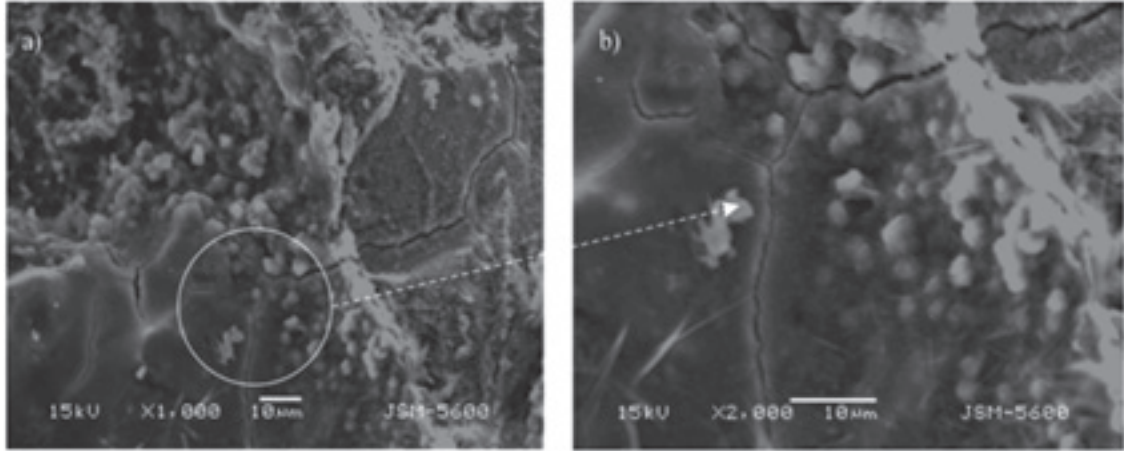
Figure 9. SEM images of mortar bars produced by KB coded granite: a) typical expansion cracks developed in gel, b) close view of crack aperture.



Şekil 10. a) AY kodlu granitlerden üretilen harç çubuklarının SEM görüntüleri, b) jelde oluşan tipik genişleme çatlakları.
 Figure 10. a) SEM images of mortar bars produced by AY coded granite, b) typical expansion cracks developed in gel.

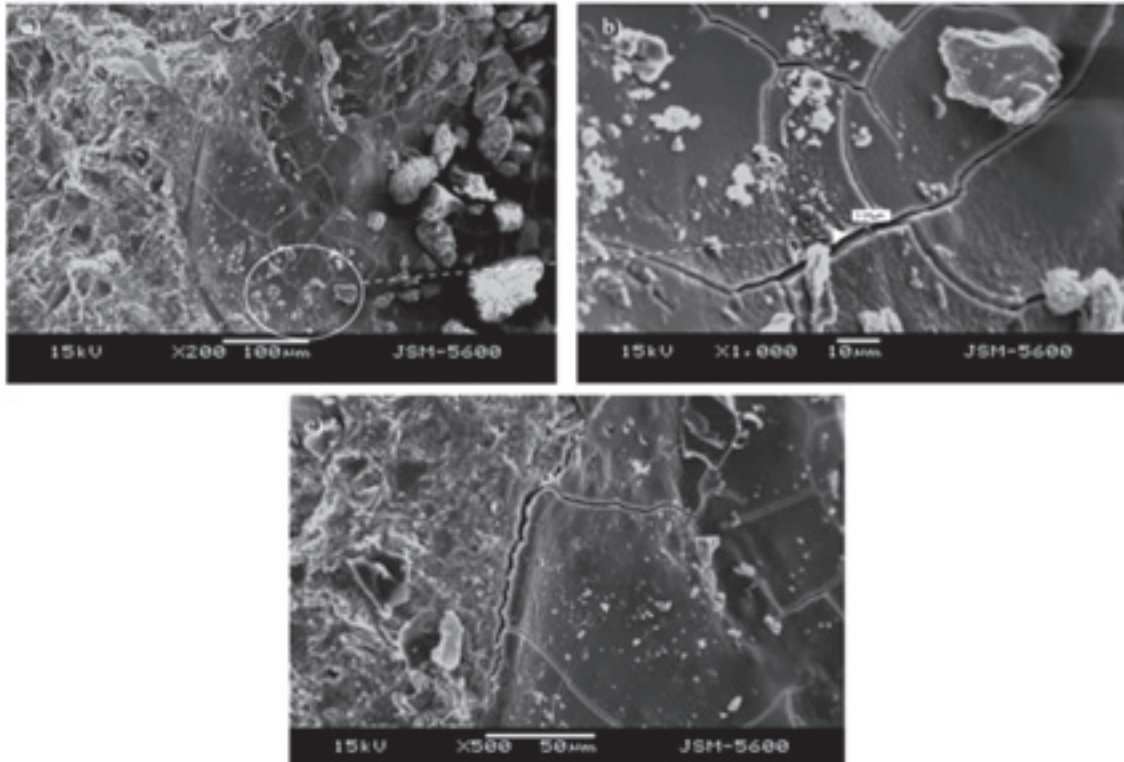


Şekil 11. AF kodlu granitlerden üretilen harç çubuklarının SEM görüntüleri ve jelde oluşan tipik genişleme çatlakları.
 Figure 11. SEM images of mortar bars produced by AF coded granite and typical expansion cracks developed in gel.



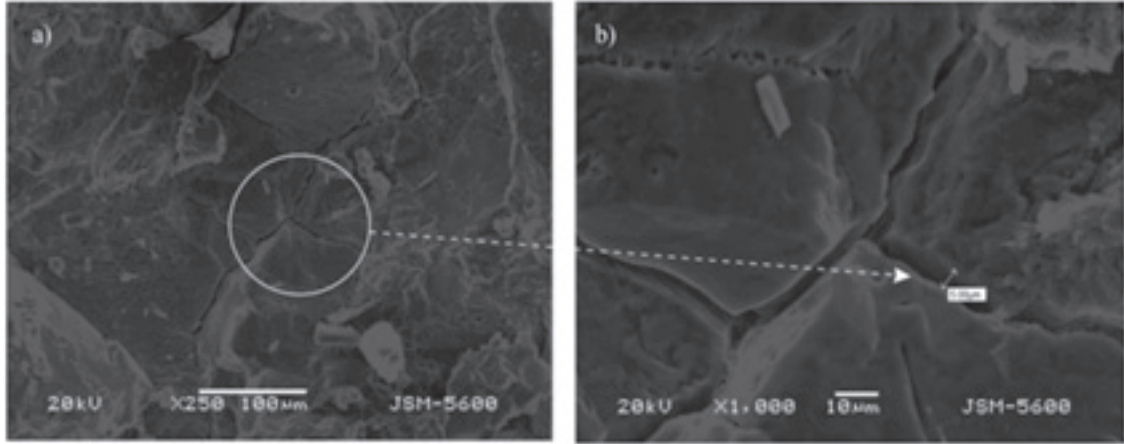
Şekil 12. GS kodlu granitlerden üretilen harç çubuklarının SEM görüntüleri: a) tipik genleşme çatlakları, b) aynı çatlakların yakından görünümü.

Figure 12. SEM images of mortar bars produced by GS coded granite: a) typical expansion cracks, b) close view of same cracks.



Şekil 13. a, b, c) AS kodlu granitlerden üretilen harç çubuklarının SEM görüntüleri: a, c) tipik genleşme çatlakları, b) aynı çatlakların yakından görünümü.

Figure 13. a, b, c) SEM images of mortar bars produced by AS coded granite: a,e) typical expansion cracks produced in gel, b) close view of same cracks.



Şekil 14. CS kodlu granitlerden üretilen harç çubuklarının SEM görümleri: a) tipik genişleme çatlakları, b) aynı çatlakların yakından görünümü.

Figure 14. SEM images of mortar bars produced by AS coded granite: a) typical expansion cracks produced in gel, b) close view of same cracks.

DENEYSEL VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Petrografik incelemelere göre; bu çalışmada kullanılan granitik kayaçlarda kuvars, ortoklaz, plajiyoklaz, hornblend ve biyotit ana mineraller olarak gözlenmiştir. Bunun yanı sıra; klorit, epidot, muskovit, serizit, kalsit ikincil mineral olarak, titanit, zirkon, apatit ve opak mineraller ise tâli mineraller olarak bulunmuştur. Bu minerallerden ikincil olanlar, ayrışma ve/veya hidrotermal alterasyon ürünleridir (Çizelge 1, 2 ve Şekil 2).

ASTM C 1260 (1994)'te, 16 günlük genişleme oranına göre değerlendirme yapılması gerektiği belirtilmiştir. Buna göre, genişleme oranı, % 0.1'den düşük ise agrega "zararsız", % 0.2'den büyük ise "potansiyel zararlı" kabul edilmektedir. Genişleme oranı % 0.1-0.2 arasında ise ek bilgi sağlayan yöntemlere başvurulmalıdır. Bu yöntemler petrografik analiz ve alkali-silis reaksiyon ürünlerinin tanımlanmasıdır. Ayrıca, genişleme oranındaki değişime bağlı olarak deney

süresi 21 ile 28 gün arasında değişebilir. Çizelge 5'te görüldüğü gibi, hazırlanan harç çubuklarının 7 günlük boyca uzama yüzdesi ölçümleri sonucunda, ortalama en yüksek genişlemenin AS kodlu granitler ile hazırlanan harç çubuklarında, ortalama en düşük genişlemenin ise CK kodlu granitler ile hazırlanan harç çubuklarında olduğu belirlenmiştir. 16 günlük boyca uzama yüzdesi ölçümlerine bakıldığında, en yüksek boyca genişleme yüzdesinin AS kodlu örneğe ait olduğu, en düşük genişleme oranının ise CK kodlu örneğe ait olduğu belirlenmiştir. 16 gün sonunda elde edilen veriler sonucunda AS kodlu granitin genişleme oranının yukarıda belirtildiği gibi % 0.1'lik genişleme oranı limitini geçmesi, bu örneğin alkali silis reaksiyonu için potansiyel zararlı olduğunu göstermiştir. Bu sebeple Çizelge 5'te görüldüğü gibi deneyler 28 güne kadar uzatılmış ve sonuçta ortalama en yüksek genişlemenin yine AS kodlu granitler ile hazırlanan harç çubuklarında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4).

Mannasoğlu, Yılmaz, Tuğrul

Çizelge 5. Granit örnekleriyle hazırlanan harç çubuklarının boyca genleşme yüzdeleri.

Table 5. Expansion percentages of mortar bars prepared with the granite samples.

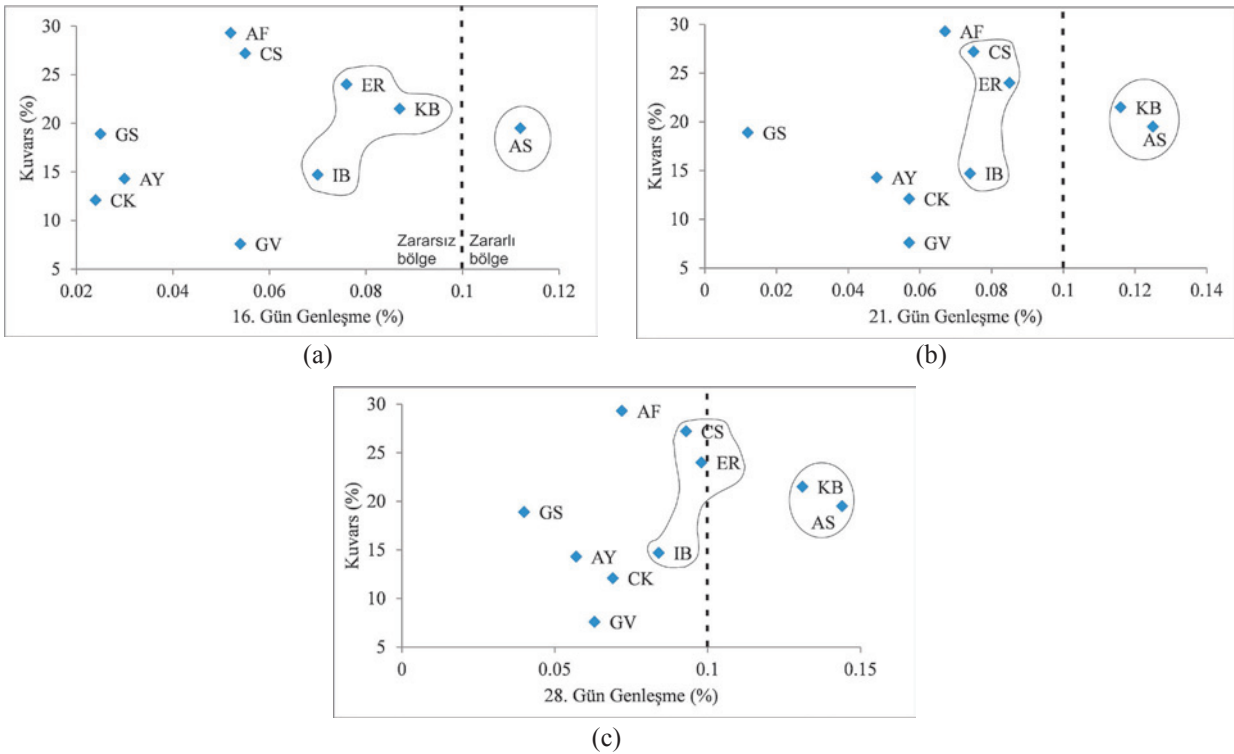
Örnek kodu		7. gün	14. gün	16. gün	21. gün	28. gün
GV	En Düşük	0.007	0.021	0.025	0.026	0.030
	En Yüksek	0.021	0.070	0.081	0.086	0.090
	% Ort.	0.012	0.046	0.054	0.057	0.063
IB	En Düşük	0.012	0.018	0.021	0.024	0.028
	En Yüksek	0.058	0.098	0.105	0.108	0.108
	% Ort.	0.050	0.067	0.070	0.074	0.084
CK	En Düşük	0.001	0.007	0.008	0.036	0.044
	En Yüksek	0.013	0.027	0.036	0.069	0.083
	% Ort.	0.005	0.019	0.024	0.057	0.069
ER	En Düşük	0.007	0.023	0.072	0.074	0.084
	En Yüksek	0.019	0.068	0.085	0.123	0.129
	% Ort.	0.013	0.044	0.076	0.085	0.098
KB	En Düşük	0.004	0.007	0.066	0.081	0.095
	En Yüksek	0.035	0.069	0.118	0.139	0.150
	% Ort.	0.016	0.042	0.087	0.116	0.131
AY	En Düşük	0.004	0.006	0.010	0.018	0.026
	En Yüksek	0.036	0.043	0.046	0.082	0.094
	% Ort.	0.020	0.023	0.030	0.048	0.057
AF	En Düşük	0.010	0.014	0.021	0.022	0.023
	En Yüksek	0.035	0.053	0.068	0.099	0.101
	% Ort.	0.019	0.040	0.052	0.067	0.072
GS	En Düşük	0.002	0.009	0.009	0.002	0.021
	En Yüksek	0.017	0.022	0.053	0.057	0.072
	% Ort.	0.009	0.016	0.025	0.012	0.040
AS	En Düşük	0.098	0.103	0.109	0.115	0.123
	En Yüksek	0.103	0.108	0.115	0.143	0.167
	% Ort.	0.101	0.105	0.112	0.125	0.144
CS	En Düşük	0.016	0.022	0.031	0.047	0.069
	En Yüksek	0.057	0.060	0.072	0.102	0.114
	% Ort.	0.030	0.040	0.055	0.075	0.093

Alkali silis reaksiyonunun etkilerini belirlemede kullanılan ve benzer deney yöntemlerinde biri olan CSA A23.2 (1994)'te ise 14 günlük genleşme oranları dikkate alınmaktadır. Bu standarda göre; 14 günlük genleşmelerin %0.1'den fazla olması durumunda

agregalar reaksiyon açısından sakıncalı olarak değerlendirilmektedir. Özellikleri Çizelge 4'te sunulan çimento ile yapılan harç çubuklarının 14 günlük ortalama genleşme yüzdelerine bakıldığında, AS kodlu granitin yüzdesi standart limitin üzerindedir (Çizelge 5).

İncelenen harç örneklerinden AS örneği dışındaki diğer tüm harç çubuklarında, 16 gün sonunda, alkali silis reaksiyonu oluşumu görülmemektedir (Çizelge 5). Bununla birlikte, granitlerin bileşiminde bulunan kuvars yüzdelерinin genişleme ile ilişkisini belirlemek amacı ile kuvars yüzdesi-genişleme diyagramları hazırlanmıştır (Şekil 15). 16 günlük genişleme diyagramını incelendiğinde (Şekil 15a); AS kodlu örnek zararlı bölgede, KB, ER ve IB kodlu örnekler ise zararsız bölgede olup zararlı bölgeye en yakın yerde konumlanmışlardır. 21 günlük genişleme diyagramını incelendiğinde (Şekil 15b);

KB kodlu örnekte genişleme oranı artmış ve AS kodlu örneğe yakın bir sonuç vermiştir. ER ve IB kodlu örneklerde fazla genişleme olmazken, CS kodlu örnekte genişleme artmıştır. 28 günlük genişleme diyagramını incelendiğinde ise (Şekil 15c); AS ve KB'nin genişlemeleri artmaya devam etmiştir. ER, IB ve CS kodlu örneklerde az oranda genişleme devam etmiştir. Başta AS olmak üzere KB kodlu örnekte de görülen yüksek genişlemenin, bu örneklerin bileşiminde bulunan ve metamorfizmadan etkilenen kuvarslardan kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 15. Granitler içerisindeki a) 16 günlük b) 21 günlük c) 28 günlük kuvars yüzdesi genişleme diyagramları.

Figure 15. a) 16 day b) 21 day c) 28 day expansion diagrams including quartz percentage in the granities.

Alkali silis reaksiyonunun meydana gelmesi ile ilgili pek çok çalışma yapılmıştır. Ben Haha (2006) tarafından da belirtildiği gibi, yeni yapılmış betonda reaksiyon oluşmasını engellemek amacı ile yeni metodlar geliştirilmesine rağmen, gelecekte meydana gelebilecek reaksiyon ve etkileri belirlemek için de bazı çalışmalar yapılması gerekmektedir. Alkali silis reaksiyonu, kompleks mineral yapısı olan ve reaktif olmayan agregalarda son derece yavaş ilerleyen bir olaydır. Bu sebeple reaksiyon aşamalarını tespit etmek için; agregadaki mevcut reaktivite derecelerini, mevcut durum ve gelecekteki reaksiyon potansiyelini, mekanik özelliklerini ve betondaki boyutsal genişmeyi gözlemek gerekir (Ben Haha, 2006). Bu amaç ile harç çubuklarından elde edilen numuneler üzerinde taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri yapılmıştır.

Granitler üzerinde yapılan petrografik incelemelerde her ne kadar alkali silis reaksiyonuna neden olabilecek kuvars polimorflarına rastlanmasa da, Stanton (1940), Gogte (1973), Shrimmer vd. (2000) ve Bell (1998) tarafından da belirtildiği gibi, metamorfizma etkisi ile kuvarsların basınç altında kalması ve çatlaklı olması alkali silis reaksiyonuna neden olabilmektedir. Bu nedenle yapılan SEM incelemeleri sonucunda, numunelerde çatlaklara rastlanmıştır. Granit tanelerinin yüzeyinde ince bir kabuk olduğu ancak bu kabukta çatlakların gelişmediği ya da çok az geliştiği görülmüştür. Bu çatlaklar fazla olmamakla birlikte agrega yüzeyini kaplayan jelde meydana gelmiş olup, katılmış harcın bütün alanında gözlemlenmemiştir.

Deneylerde kullanılan harç çubuklarından elde edilen SEM görüntülerinde, incelenen

granitik kayalar ile üretilen harç çubuklarının alkali silis reaksiyonundan az miktarda etkilendikleri görülmektedir. Jeller tanelerin üzerini kaplamış ve çatlaklara neden olmuştur. Ancak jel oluşumu fazla olmadığı için ve dolayısıyla genişleme de fazla gerçekleşmediği için meydana gelen bu açıklıklar oldukça küçük miktardadır. SEM görüntüleri incelendiğinde oluşan jel sebebi ile meydana gelen çatlakların genellikle çizgisel, dairesel ve ağ şeklinde bir yapı gösterdiği görülmektedir (Şekil 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 ve 14).

Reaktif agrega tanelerinin boyutları, alkali silis reaksiyonu sonucunda harç çubuklarında belirlenen ve geniş bir yayılım sergileyen genişlemeye büyük oranda etki ederler (Diamond ve Thaulow, 1974; Lu vd., 2006). Nitekim incelenen granitik kayalardan ince taneli olanlar (ER), orta-iri taneli olanlardan (KB, AY, AF, GS) daha az genişlemeye neden olmuşlardır.

SONUÇLAR

Çalışmaya konu olan granitik kayalar monzonit, granit ve granodiyorit bileşimlerinde olup, bunlardan bazıları metamorfizmaya, bazıları da az oranda yüzeysel ayrışma ve/veya hidrotermal alterasyona uğramışlardır.

Granitik kayalar kullanılarak hazırlanan harç çubukları üzerinde yapılan hızlandırılmış harç çubuğu deney sonuçlarına göre; örneklerin çoğunluğu standartlarda verilen limit değerlerin altında kalırken, metamorfizmaya uğramış granit/monzogranit örneklerinde genişleme değerleri bu limitlerin üzerine çıkmıştır.

Granitik kayalar örnekleri ile hazırlanan harç çubuklarındaki genişleme oranı sınırlı olduğundan yapılan SEM incelemelerinde reaksiyon sonucu

gelişen jelin ve bu jeldeki genişleme çatlaklarının sınırlı olduğu, özellikle boşluklarda geliştiği görülmüştür. Ayrıca bu incelemelerde genişleme çatlaklarının sadece agrega yüzeyini kaplayan jelde meydana geldiği görülmüştür.

Her ne kadar ASTM C1260'da 16 günlük genişleme oranı dikkate alınsa da; yapılan değerlendirmelerde; farklı granit örnekleri ile hazırlanan harç çubuklarındaki alkali-silis ve alkali-silikat reaksiyonu etkilerini belirlemek için hızlandırılmış harç çubuğu deneylerinin en az 21 gün devam ettirilmesinin, daha doğru sonuç almak için gerekli olduğu sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Arnould, M., 1997. Alkali reaction with silico alkaline aggregates results of recent researches in France. Proceedings'97 International Three Gorges Project Technical Seminar, Yichang, China, 184-195.
- ASTM C 1260, 1994. Standard method for potential alkali-silica reactivity of aggregates (mortar bar method). Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.02, Concrete and Aggregates, 648-651.
- ASTM C 289, 1994. Potential alkali-silica reactivity of aggregates (chemical method). Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.02, Concrete and Aggregates, 157-163.
- ASTM C 295, 1994. Petrographic Examination of Aggregates for Concrete. Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.02, Concrete and Aggregates, 1-8.
- Bell, F.G, 1998. Engineering Geology. Blackwell Science, Oxford, 579 p.
- Ben Haha, M., 2006. Mechanical effects of alkali silica reaction in concrete studied by sem-image analysis. Swiss Institute of Technology Lausanne, These No. 3516.
- Binal, A., 2008. The determination of gel swelling pressure of reactive aggregates by ASGPM devices and a new reactive-innocuous aggregate decision chart. Construction and Building Materials, 22, 1-13.
- BS 812 Part 123, 1999. Method for the determination of alkali - silica reactivity: Concrete prism method. British Standards Institution, 18 p.
- BS 7943, 1999. Guide to the interpretation of petrographical examinations for alkali-silica reactivity. British Standards Institution, 20 p.
- Buck, A.D., 1986. Petrographic criteria for recognition of alkali-reactive strained quartz, evaluation of quartzite and granite aggregates containing strained quartz. Proceedings of the 7th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction, Ottawa, 419-423.
- CSA (Canadian Standards Association), 1994. Test method for detection of alkali-silica reactive aggregate by accelerated expansion of mortar bars. A23.2-25A, Methods of Test for Concrete, Canadian Standards Association, Ontario, Canada, 236-242.
- Diamond, S., and Thaulow, N., 1974. A study of expansion due to alkali-silica reaction as conditioned by the grain size of the reactive aggregate. Cement and Concrete Research, 4, 591-607.
- Erkan, Y., 2004. Magmatik Petrografi, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, 93, Ankara, 176 s.
- Fookes, P.G., 1980. An introduction to the influence of natural aggregates on the performance and durability of concrete. Quarterly Journal of Engineering Geology, 123, 207-229.

- Fournier, B., and Berube, M.A., 2000. Alkali-aggregate reaction in concrete: a review of basic concepts and engineering implications. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 27, 167-191.
- Gillott, J.E., and Rogers, C.A., 1994. Alkali-aggregate reaction and internal release of alkalis. *Magazine of Concrete Research*, 167, 99-112.
- Gogte, B.S., 1973. An evaluation of some common Indian rocks with special reference to alkali-aggregate reactions. *Engineering Geology*, 7, 135-153.
- Hobbs D.W., and Gutteridge, W.A., 1979. Particle size of aggregate and its influence upon the expansion caused by the alkali-silica reaction. *Magazine of Concrete Research*, 31, 235-242.
- Hornibrook, F.B., Insley, H., and Schuman, L., 1943. Report on committee C-1 on cement (appendix). *Proceedings American Society Test Materials* 43, 218 p.
- Ineson, P.R., 1990. Siliceous components in aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 12, 185-190.
- Joyce, A.S., 1996. Petrographic aspects of alkali-silica reaction in Eastern Australian concretes. *Proceedings of the 10th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete*, Melbourne, 767-774.
- Katayama, T., and Kaneshige, Y., 1986. Diagenetic changes in potential alkali-aggregate reactivity of volcanic rocks in Japan-A geological interpretation. *Proceedings of the 7th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction*, P.E., Grattan-Bellew (ed.), Ottawa, Canada, 489-493.
- Landgren, R., and Sweet, S., 1952. Investigation of durability of Wyoming aggregates. *Proceedings Highway Restoration Board*, 31, 202-217.
- Lorenzi, G., Jensen, J., Wigum, B., Sibbick, R., Haugen, M., Guédon, S., and Åkesson, U., 2001. Petrographic atlas of the potentially alkali-reactive rocks in Europe. PARTNER-project-GRD1-CT-2001-40103.
- Lu, D., Fournier, B., and Grattan-Bellew, P.E., 2006. Evaluation of accelerated test methods for determining alkali-silica reactivity of concrete aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 28, 546-554.
- Marzouk, H., and Langdon, S., 2003. The effect of alkali-aggregate reactivity on the mechanical properties of high and normal strength concrete. *Cement and Concrete Composites*, 25, 549-556.
- McConnell, D., Mielenz, R. C., Holland, W.Y., and Grene, K.T., 1950. Petrology of concrete affected by cement aggregate reaction. In *Application of Geology to Engineering Practice*, S. Paige (ed.), Berkeley Volume, *Memoir American Geological Society*, 222-250.
- Mielenz, R.C., 1954. Petrographic examination of concrete aggregate. *Proceedings American Society Test Materials*, 54, 1188-1218.
- Moranville-Regourd, M., 1997. Modelling of expansion induced by ASR-new approaches. *Cement and Concrete Research*, 19, 415-425.
- Mullick, A.K., Wason, R.C., Sinha, S.K., and Rao, L.H., 1986. Evaluation of quartzite and granite aggregates containing strained quartz. *Proceedings of the 7th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete*, Ottawa, 428-433.
- Neville, A. M., 1981. *Properties of Concrete*. Longman Scientific & Technical, London, England.
- Nixon, P.J., and Page, C.L., 1987. Pore solution chemistry and alkali aggregate reaction. *American Concrete Institute Special Publication*, 100, 1833-1862.
- Prince, W., Castanier, G., and Giafferi, J.L., 2001. Similarity between alkali-aggregate reaction

- and the natural alteration of rocks. *Cement and Concrete Research*, 31, 271-276.
- Rivard, P., Ollivier, J.P., and Ballivy, G., 2002. Characterization of the ASR rim application to the Potsdam sandstone. *Cement and Concrete Research*, 32, 1-9.
- Rhoades, R., 1942. Discussion of a paper by Stanton, Porter, Meder and Nicol: California experience with the expansion of concrete through reaction between cement and aggregate. *Journal of American Concrete Institute Proceedings*, 38, 7-11.
- Shayan, A., and Lancucki, C.J., 1986. Alkali-aggregate reaction in the Causeway Brigde, Perth, Western Australia. *Proceedings of the 7th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete*, Ottawa, 392-397.
- Shrimer, F. H., Ooi, O., and Gerry, W. J., 2000. Control of alkali-aggregate reactivity, Pointe Seraphine Berth improvements, St. Lucia. *11th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction*, M.A. Bérubé, B. Fournier, B. Durand (eds.), Quebec, Canada, 473-482.
- Stanton, T.E., 1940. Influence of cement and aggregate on concrete expansion. *Engineering News Record*, February 1, 59-61.
- Stark, D., Morgan, B., Okamoto, P., and Diamon, S., 1993. Eliminating or minimizing alkali-silica reactivity. Strategic Highway Research Program, National Research Council Washington.
- Streckeisen, A., 1967, Classification and Nomenclature of Igneous Rocks, *Neues Jahrbuch Fur Mineralogie-Abhandlungen*, 107, 144-240.
- Struble, L.J., and Diamond S., 1981. Swelling properties of synthetic alkali-silica gel. *Journal of the American Ceramic Society*, 64(11), 611-55.
- Swamy, R.N., 1992. Alkali-aggregate reaction in concrete; material and structural implications, sciences in concrete technology. *Energy, Mines and Resources*, Ottawa Canada, 533-581.
- TS 2517, 1977. Alkali agregre reaktivitesinin kimyasal yolla tayini. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 8 s.
- Wakizaka, Y., 1998. Reactivity of rocks and minerals in alkaline solution. *Journal Research, Public Works Research Institutes*, 34-146.

Ünye (Ordu) Killerinin Konsolidasyon ve Plastik Özellikleri Arasındaki İlişkilerin Araştırılması

Investigation of the Relationships Between Consolidation and Plastic Properties of the Clays in Ünye (Ordu)

Muhammet Oğuz SÜNNETCİ, Hakan ERSOY

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, TRABZON

Geliş (received) : 12 Şubat (February) 2016
Düzeltilme (revised) : 10 Nisan (April) 2016
Kabul (accepted) : 11 Nisan (April) 2016

ÖZ

Killerin konsolidasyon özelliklerinin plastik veya indeks özellikleri yardımı ile tahmin edilmesi ve çalışılan zeminin konsolidasyon özellikleri hakkında önceden bilgi edinilmesi amacı ile son yıllarda çok sayıda araştırma yapılmaktadır. Bu özellikler arasında kurulan basit ampirik ilişkiler, belirli zeminlere kolaylıkla uygulanabilmekte, böylece uzun süren deneyler yapılmadan, konsolidasyon özelliklerinin önceden tahmininde zaman kazanılmaktadır. Literatürde, bu konuda çok sayıda çalışma bulunmakla birlikte bu çalışmaların çoğunlukla saf killer üzerinde (cam kili vb.) yapılmış olması, ampirik ilişkilerin uygulanabilirliğini kısıtlamaktadır. Bu çalışmada, farklı bir yaklaşım, Cevizdere (Ünye, Ordu) yöresindeki killi zeminlere uygulanmış, çalışma alanında belirlenen 15 ayrı noktadan alınan doğal zemin örnekleri üzerinde ödometre ile konsolidasyon özellikleri, Atterberg limitleri, özgül ağırlıkları; ıslak elek analizi ve hidrometre ile tane boyu dağılımları ve X-ışını kırınımı yöntemi ile örneklerin içerisindeki kil minerallerinin türü belirlenmiştir. Zemin örnekleri % 28 kum, % 38 silt ve % 34 kil boyutlu malzemeden oluşmaktadır. Örneklerin likit limiti % 63 ile % 76 arasında, plastik limitleri ise % 24 ile % 34 arasında değişmektedir. IAEG (1976)'nın plastisite sınıflamasına göre incelenen zeminlerin yüksek-çok yüksek plastisiteli zemindir. Birleşik zemin sınıflama sistemine (USCS) göre yüksek plastisiteli kil (CH)'dir. Zemin örneklerindeki kil mineralleri montmorillonittir. Ödometre deneyleri sonucunda zemin örneklerinin sıkışma indisi (Cc) 0.189 ile 0.625 arasında, yeniden sıkışma indisi (Cr) 0.011 ile 0.041 arasında, aşırı konsolidasyon oranı (OCR) ise 4.16 ile 95 arasında değişmektedir. Aşırı konsolidasyon sınırı değerlerine göre örneklerin orta-ileri derecede aşırı konsolide oldukları belirlenmiştir. Zeminin ön konsolidasyon gerilmesi (ÖKG) değerleri ile likit limit (LL) değerleri arasındaki ilişki istatistiksel olarak incelenmiş ve aralarındaki korelasyon katsayısı $K = 0.5$ olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İndeks Özellikler, Kil, Konsolidasyon, Ünye.

M.O.Sünneci

E-Posta:moguzsunnetci@ktu.edu.tr

ABSTRACT

Many studies have been carried out in recent years on estimating consolidation properties of clays from their plastic and index properties, and to prefigure about consolidation behaviour of soils. The simple empirical equations between these parameters can be calculated and applied to specific soil types easily, thus saving time on estimating the consolidation properties of soils prior to detailed laboratory tests. Although there are quite a number of studies presented in the literature, most of these studies have been done on pure clays (e.g. glass clay), which restrict the applicability of the calculated equations. In this study, a different approach was applied to the clayey soils near Cevizdere region in Ünye (Ordu, Turkey), and the consolidation properties via standard one dimensional consolidation (oedometer) test, Atterberg limits, specific gravities, grain size distribution via wet sieve analysis and hydrometer tests, and the type of clay minerals via X-ray diffraction (XRD) analyses of 15 natural soil samples were determined. The soil samples overall consist of 28 % sand-sized, 38 % silt-sized, and 34 % clay-sized particles. The liquid limits of the samples vary between 63 % and 76 %, and plastic limits between 24 % and 34 %. According to the IAEG (1976) plasticity classification, the soil samples are classified as highly-very highly plastic. The XRD analyses show the clay minerals in the soil samples are of montmorillonite type. The oedometer test results indicate that the soil samples have compression index (C_c) values ranging between 0.189 and 0.625, re-compression index (C_r) values ranging between 0.011 and 0.041, and over-consolidation ratio (OCR) values ranging between 4.16 and 95. The studied soil is classified as moderately-highly over-consolidated according to the over-consolidation limit classification. The pre-consolidation stresses and liquid limits of the soil samples were investigated statistically and the coefficient of correlation is calculated as 0.5

Key Words: Index Properties, Clay, Consolidation, Ünye.

GİRİŞ

Kil ve silt gibi ince taneli zeminler, iri taneli zeminlerin aksine ortamda suyun varlığına bağlı olarak şişme veya büzülme eğilimi gösterdikleri için, yer mühendisliği açısından, genellikle sorunlu malzemeler olarak bilinmektedir. Ayrıca ince taneli zeminlerin belirli bir yük altında sıkışma süreçlerinin uzun zaman alması, yapının inşası ile başlayan oturma süreçlerinin önceden analiz edilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle jeoteknik projelerde zeminin plastik ve indeks özelliklerinin yanı sıra sıkışma parametrelerinin de belirlenmesi gereklidir. Ancak bazen bu parametrelerin belirlenmesi

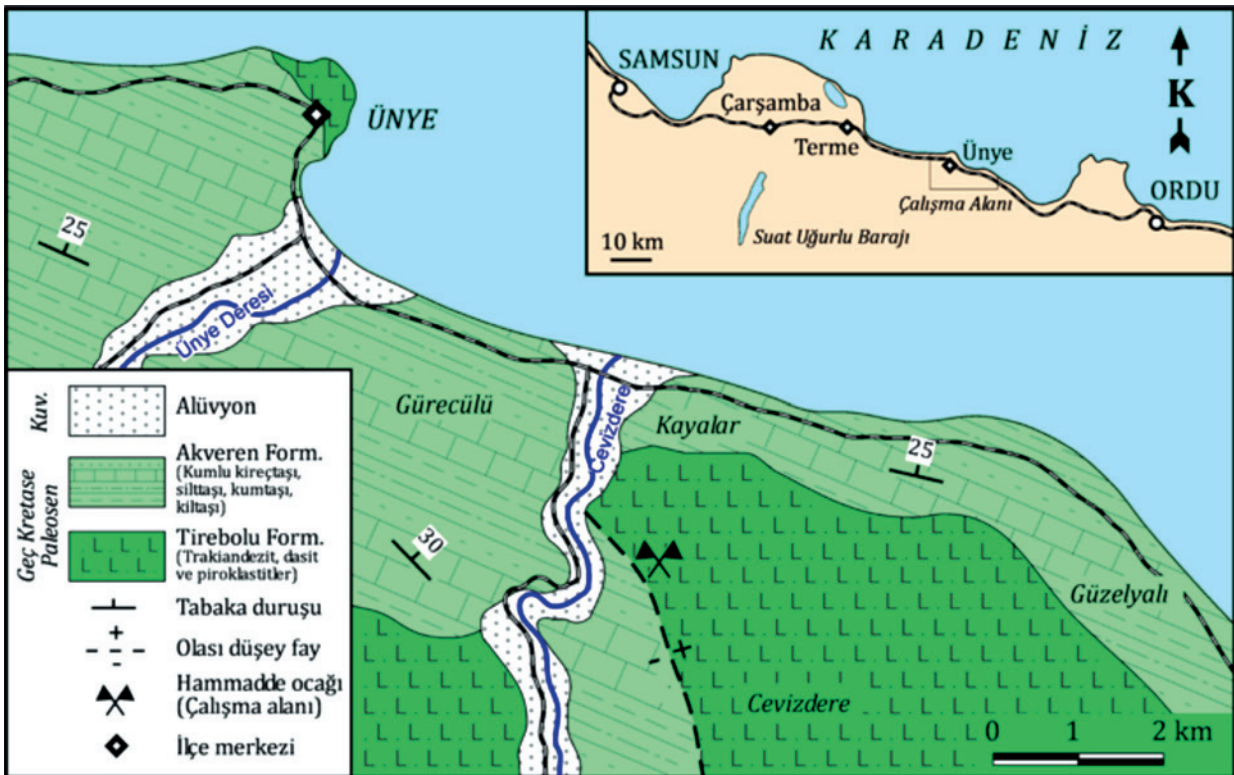
zaman darlığı veya ekonomik nedenlerden dolayı zor olmaktadır. Özellikle konsolidasyon özelliklerinin belirlenmesinde uzun laboratuvar deney işlemlerinin olması zaman kaybına neden olmaktadır. Konsolidasyon özellikleri ile birlikte, zeminlerin sınıflanabilmesi için plastik özelliklerinin de belirlenmesi gerekebilmektedir. Mayne ve Kulhawy (1982), zeminlerin yanal basınç katsayılarının (K_0) zeminin aşırı konsolidasyon oranıyla (OCR) ilişkili olduğunu belirlemiştir. Böyle bir durumda, zeminin yanal basınç katsayısını belirlemek için ödometre deneyleri yapmak ciddi anlamda zaman kaybına neden olacaktır. Bu nedenle araştırmacılar,

1940'lı yıllardan beri, zeminlerin dayanım veya sıkışma parametrelerini, plastik veya indeks özelliklerinden istatistiksel olarak belirleme yoluna gitmişlerdir. Son yıllarda, Sridharan ve Nagaraj (2005), Sivrikaya vd. (2008), Di Matteo vd. (2009) ve Jesmani vd. (2012), zemin granülometrisi, plastisite ve indeks özellikleri kullanarak bu zeminlerin sıkışma karakteristiklerini belirlemeye çalışmışlardır. Dolinar ve Skrabl (2013) ve Sivrikaya ve Hakbilir (2013), zeminlerin şişme potansiyellerinin, kuru birim hacim ağırlıklarından ve emme basınçlarından hesaplanması üzerine çalışmalar yapmışlardır.

Bu çalışmada Cevizdere (Ünye, Ordu) yöresinden alınan 15 adet (örselenmiş ve örselenmemiş) zemin örneğinin plastik, indeks ve sıkışma özellikleri belirlenmiş ve bu özellikler arasında istatistiksel bir ilişkinin olup olmadığı araştırılmıştır.

ÇALIŞMA ALANININ KONUMU VE JEOLJİSİ

Çalışma alanı Ünye'nin (Ordu) yaklaşık 6 km doğusunda bulunan Cevizdere mevkiinde bulunmakta ve 1/25000 ölçekli Samsun F38-c4 paftası içerisinde yer almaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru ve jeoloji haritası.

Figure 1. Location and geological map of the study area.

İnceleme alanında yaşlıdan gence doğru Santoniyen-Kampaniyen yaşlı Tirebolu Formasyonu, Kampaniyen-Selandiyen yaşlı Akveren Formasyonu ve Kuvaterner yaşlı denizel taraça ve alüvyonlar tespit edilmiştir.

Andezit, trakiandezit, riyodasit, dasitik tüf ve bentonitlerden oluşan Tirebolu Formasyonu çalışma alanındaki temel birimi oluşturmaktadır. Tirebolu Formasyonu üzerine uyumlu olarak Akveren Formasyonu gelmektedir. Beyaz-krem renkli kireçtaşı, türbiditik kireçtaşı, ince taneli kumtaşı, kiltası, marn ve tüfit araldanmasından oluşan birim bol fosillidir (Abdioğlu, 2002). Çalışma alanının içerisinden geçen dereler boyunca görülen Kuvaterner yaşlı alüvyonlar ve Karadeniz sahili boyunca yüzeylenen denizel taraçalar diğer birimleri uyumsuz bir şekilde örtmektedir (Şekil 1).

BULGULAR

Plastik ve İndeks Özellikler

İncelenen zemin örnekleri, Ünye'nin yaklaşık 6 km doğusundaki Cevizdere mevkiinde işletilmekte olan bir kil ocağında meydana gelmiş bir heyelanın aynasından alınmıştır. 15 ayrı noktadan, 5 ile 10 metre arasında değişen aralıklarla, örselenmiş ve örselenmemiş zemin örnekleri alınmıştır (Şekil 2). Örnekler, heyelan tepesinden, yüzeyden itibaren 0.3 ile 3.0 m arasında değişen derinliklerden alınmıştır.

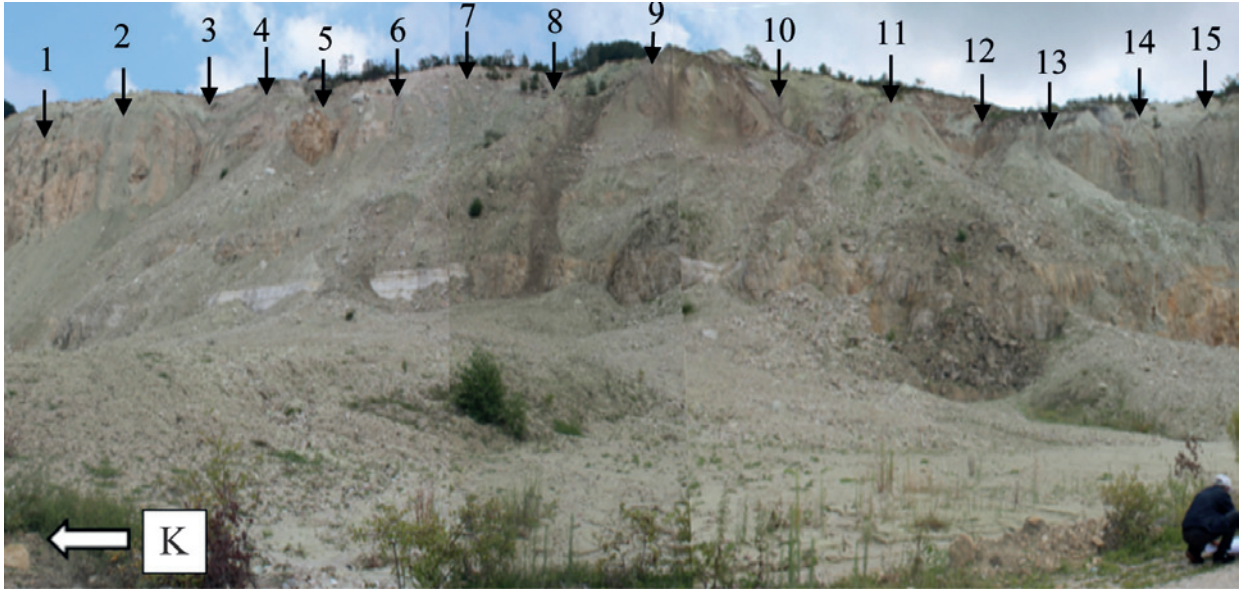
Çalışma alanından alınan zemin örneklerinin likit limiti, plastik limiti ve indeks özellikleri ASTM D 4318-10e1 standardına göre (ASTM, 2010) belirlenmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Örneklerin plastik ve indeks özellikleri.

Table 1. Plastic and index properties of the samples.

Örnek No.	LL (%)	PL (%)	PI (%)	G	W_n (%)	Örnek No.	LL (%)	PL (%)	PI (%)	G	W_n (%)
1	71	28	43	2.236	41.63	9	65	25	40	2.230	34.54
2	72	31	41	2.224	39.06	10	72	30	42	2.192	43.28
3	68	33	35	2.192	44.29	11	69	31	38	2.148	32.89
4	65	29	36	2.248	38.41	12	68	33	35	2.175	40.54
5	68	29	39	2.251	35.95	13	66	31	35	2.195	32.54
6	67	29	38	2.175	41.62	14	76	34	42	2.129	35.95
7	71	26	45	2.200	26.75	15	66	28	38	2.489	38.13
8	63	24	39	2.225	38.14						

Açıklama: LL: likit limit, PL: plastik limit, w: su içeriği ve G: özgül ağırlık



Şekil 2. Çalışma alanındaki heyelanın görünümü ve örnek alım noktaları.

Figure 2. View of the landslide in the study area and the sampling locations.

Zemin örneklerinin likit limitleri % 63 ile % 76 arasında, plastik limitleri % 24 ile % 34 arasında ve plastisite indisleri % 35 ile % 45 arasında değişmektedir.

Zemin örnekleri, IAEG (1976)'nın likit limite bağlı plastisite sınıflamasına göre yüksek, çok yüksek ve çok daha yüksek plastisiteli zemin; Burmister (1951)'e göre yüksek - çok yüksek plastisiteli kil – siltli kil; Leonards (1962)'nin plastisite sınıflamasına göre plastik – çok plastik zemin; IAEG (1976)'nın plastisite indisine bağlı plastisite sınıflandırmasına göre yüksek ve çok yüksek plastisiteli zemin sınıfındadır.

Zemin sınıflaması, zemin malzemesinin plastik davranışının anlaşılması açısından oldukça kullanışlı bir yöntemdir. Zeminler genellikle değişik boyut ve şekillerde malzeme içerdiklerinden bunların tane boyutuna göre sınıflandırılması oldukça yaygındır. Bu çalışmada ASTM D422-63 standardına (ASTM, 2007)

uygun olarak ıslak elek analizi ve hidrometre deneyleri ile tane boyu dağılımları belirlenmiştir. Örneklerin tane dağılımları Çizelge 2'de verilmiştir. Zeminler % 28 kum, % 38 silt ve % 34 kilden oluşmaktadır.

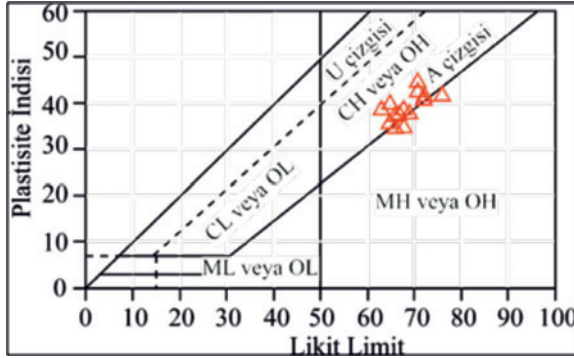
Çizelge 2. Örneklerin tane boyu dağılımları.

Table 2. Grain size distributions of the samples.

Örnek No	%Kil	%Silt	%Kum
1	37	36	27
2	38	40	22
3	32	42	26
4	31	38	31
5	33	37	30
6	33	35	32
7	37	36	27
8	27	33	40
9	30	35	35
10	38	39	23
11	36	39	25
12	34	42	24
13	32	40	28
14	40	41	19
15	32	37	31

Sünneci, Ersoy

Atterberg limitleri ve tane boyu dağılımı verileri kullanılarak incelenen zeminler, Birleştirilmiş Zemin Sınıflaması Sistemi'ne (USCS) göre sınıflandırılmış ve örneklerin, yüksek plastisiteli yağlı killer (CH) sınıfında olduğu belirlenmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Örneklerin Casagrande plastisite kartındaki dağılımları.

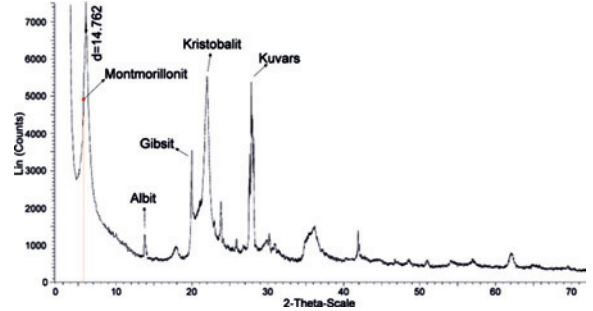
Figure 3. Distribution of the samples on the Casagrande plasticity chart.

Zemin Örneklerinin Mineralojisi

Killerin mineralojik tayininde kullanılacak olan örnekler, yaklaşık bir ay oda sıcaklığında kurutulduktan sonra plastik çekiç yardımıyla 3 cm ile 5 cm arasında değişen boyutta parçalara bölünmüş ve ahşap plakalar arasında ezilerek ufalanmıştır. Ufalama işleminden sonra, örnekler 200 no'lu elekten elenmiştir.

Farklı plastik özelliğe sahip 6 örnek içerisindeki kilin, diğer minerallerden ayrılmasını sağlamak amacıyla kimyasal çözme, santrifüjleme - boşaltma-yıkama ve sedimentasyon - sifonlama - santrifüjleme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Örnekler etilen glikol ile işleme tabi tutulmamıştır. Analizler bakır kullanılarak yapılmıştır. 8 numaralı örneğe ait XRD analizi sonucu Şekil 4'te verilmiştir (Sünneci, 2015). XRD analizi sonuçlarına göre incelenen zeminlerdeki killerin montmorillonit

türü olduğu belirlenmiştir. Ayrıca montmorillonit ile birlikte albit, kalsit, kuvars, kristobalit ve gipsit de gözlenmiştir



Şekil 4. 8 numaralı örneğe ait XRD difraktogramı.

Figure 4. XRD-diffractogram of sample #8.

Konsolidasyon Özellikleri

Çakıl ve kum gibi iri taneli zeminler üzerine yük uygulandığında, boşluklardaki su uzaklaşır, boşluklar azalır ve ani sıkışma meydana gelir. Ancak ince taneli zeminlerde boşluklardaki suyun uzaklaşması ve boşlukların kapanması uzun sürede meydana geldiğinden oturmaya bağlı olarak üstündeki yapılarda hasarlar meydana gelebilmektedir. Bu nedenle kil ve silt gibi ince taneli zeminlerin konsolidasyon özelliklerinin belirlenmesi önem kazanmaktadır.

Çalışma alanında belirlenen 15 örnek alım noktasında, dairesel örnek alım tüpleri farklı derinliklerde zemine çakılmış ve tüpün etrafındaki zemin malzemesi kazılarak örselenmemiş zemin örnekleri alınmıştır. Örnekler, nemliliğin korunması amacıyla alüminyum folyo ve streç film ile sarılıp kilitli örnek poşetlerine konularak laboratuvara taşınmış, burada deneye tabi tutulana kadar desikatörde saklanmıştır. Örnekler üzerinde ASTM D 2435-03 standardına (ASTM, 2003) uygun olarak tek yönlü konsolidasyon (ödometre) deneyleri yapılmış

ve Casagrande (Casagrande, 1936) yöntemiyle sıkışma parametreleri hesaplanmıştır. Örneklerin sıkışma parametreleri hesaplanırken örselenme etkisini ortadan kaldırmak için Schmertmann (Schmertmann, 1955) düzeltmesi uygulanmıştır

(Şekil 5). Örneklerin alındığı derinlikler, birim hacim ağırlıkları ve örtü yükleri Çizelge 3'te, hesaplanan sıkışma parametreleri ise Çizelge 4'te verilmiştir (Sünetci, 2015).

Çizelge 3. Örneklerin alındığı derinlikler, birim hacim ağırlıkları ve örtü yükleri.

Table 3. Depth, unit weight and effective stress of the obtained samples.

Örnek No	Alındığı Derinlik (m)	Birim hacim ağırlık (kN/m ³)	Örtü Yüğü σ'_{z0} (kPa)	Örnek No	Alındığı Derinlik (m)	Birim hacim ağırlık (kN/m ³)	Örtü Yüğü σ'_{z0} (kPa)
1	1	17.53	17.53	9	1	17.16	17.16
2	2	16.44	32.87	10	1,5	16.59	24.89
3	2	16.6	33.2	11	1	19.76	19.76
4	0,3	16.94	5.08	12	2	16.99	33.99
5	1,8	17.67	31.81	13	3	21.44	64.32
6	1,5	18.23	27.34	14	1	16.88	16.88
7	2,5	18.13	45.33	15	1	18.07	18.07
8	3	17.38	52.13				

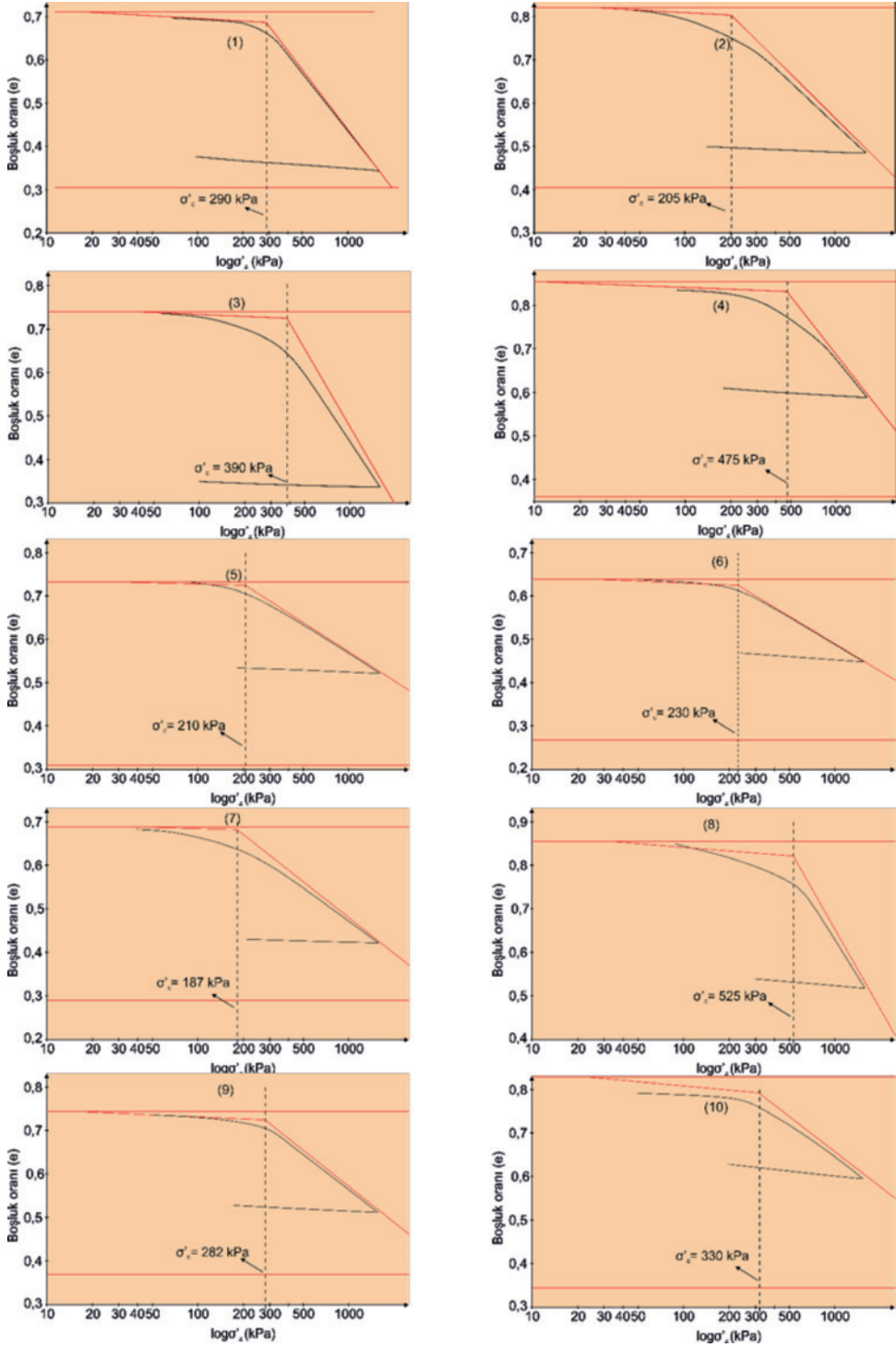
Çizelge 4. Örneklere ait sıkışma parametreleri.

Table 4. Compaction parameters of the samples.

Örnek No	C_c	C_r	OCR	σ'_m (kPa)	Konsolidasyon Oranı
1	0.46	0.022	16.57	272.5	ODAK
2	0.342	0.02	6.24	172.13	ODAK
3	0.625	0.018	11.751	356.81	ODAK
4	0.441	0.016	95	470	İDAK
5	0.227	0.014	6.6	178.19	ODAK
6	0.201	0.023	8.52	203	ODAK
7	0.266	0.011	4.16	142	ODAK
8	0.613	0.026	15.9	492	İDAK
9	0.276	0.017	16.59	265	ODAK
10	0.267	0.039	13.75	306	ODAK
11	0.202	0.014	11.84	206	ODAK
12	0.379	0.041	8.82	266	ODAK
13	0.189	0.028	5.16	266	ODAK
14	0.26	0.014	14.15	224	ODAK
15	0.264	0.012	15	252	ODAK

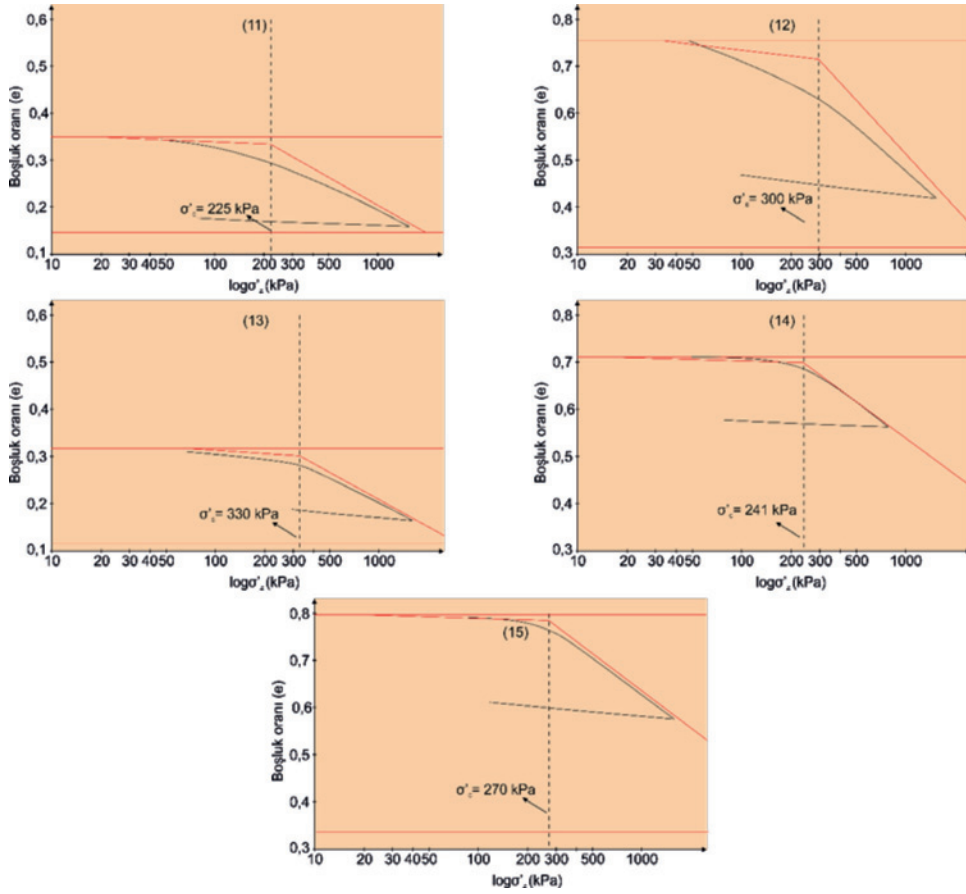
ODAK: Orta derecede aşırı konsolide İDAK: İleri derecede aşırı konsolide

Sünnetci, Ersoy



Şekil 5. Casagrande yöntemiyle ön konsolidasyon basıncının bulunması (a) ve Schmertmann düzeltmesi (b).

Figure 5. Determination of pre-consolidation pressure with Casagrande method (a) and the Schmertmann procedure (b).



Şekil 5. (devamı)

Figure 5. (cont'd.)

Örneklerin birim hacim ağırlıkları 16.25 kN/m^3 ile 21.44 kN/m^3 arasında ve örtü yükleri ise 5.08 kPa ile 52.13 kPa arasında değişmektedir.

Ödometre deneyleri sonucunda örneklerin sıkışma indisinin (Cc) 0.189 ile 0.625 arasında, yeniden sıkışma indisi (Cr) değerlerinin 0.011 ile 0.041 arasında, aşırı konsolidasyon oranının

(OCR) 4.16 ile 95 arasında, aşırı konsolidasyon sınırının (σ'_m) (Coduto, 1995) ise 142 kPa ile 492 kPa arasında değiştiği görülmüştür. Aşırı konsolidasyon sınırına göre yapılan sınıflamaya göre örneklerin orta-ileri derecede aşırı konsolide oldukları belirlenmiştir (Çizelge 5).

Sünneci, Ersoy

Çizelge 6. Killi zeminlerin sıkışma indisi ile doğal su içeriği ve likit limiti arasındaki ilişkiler (Rani ve Rao, 2013'ten).

Table 6. Relationships between the compression index and natural water content or liquid limit of clayey soils (from Rani and Rao, 2013).

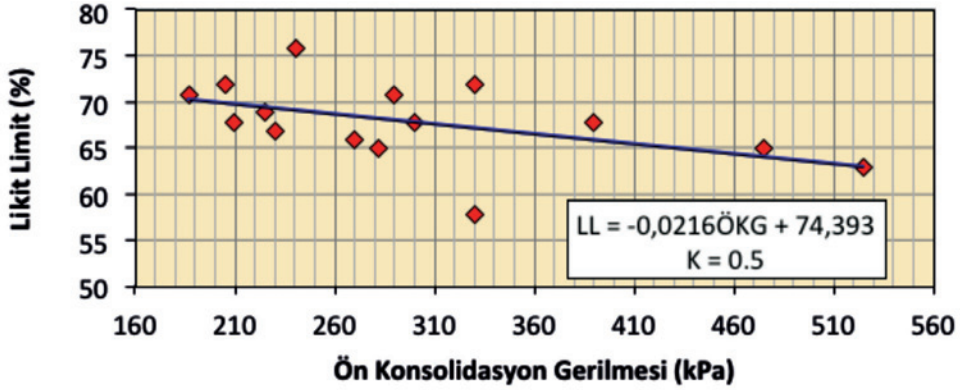
Eşitlik	Referans	Uygulanma koşulu
$C_c = 0,0115 W_n$	Bowles (1979)	Organik silt ve killler
$C_c = 0,0046 (W_L - 9)$	Bowles (1979)	Brezilya Killeri
$C_c = 0,156 e_0 + 0,0107$	Bowles (1979)	Tüm killler
$C_c = 0,208 (e_0 - 0,0083)$ Bowles (1979)		Şikago Killeri
$C_c = 0,75(e_0 - 0,5)$	Bowles (1979)	Düşük plastisiteli killler
$C_c = 0,007(W_L - 7)$	Skempton (1944)	Örselenmiş killler
$C_c = 0,009(W_L - 10)$	Terzaghi ve Peck (1967)	Normal konsolide, orta hassasiyette killler
$C_c = 0,01 W_n$	Koppula (1981)	Şikago ve Alberta Killeri
$C_c = 0,30(e_0 - 0,27)$	Hough (1957)	İnorganik siltli kum - siltli killler
$C_c = 1,15(e_0 - 0,35)$	Nishida (1956)	Tüm killler
$C_c = 0,5(\gamma_w / \gamma_d)^{1,2}$	Oswald (1980)	Tüm karmaşıklıkta ve tipteki zeminler
$C_c = (-0,629 + (0,0027 * W_L) + (0,007 * mc) + (0,031 * \gamma_d) + (0,002 * PI)$	Rani (2007)	Tüm çimentolanmış zeminler
$ÖKG = -26,537LL + 2138,3$	Bu çalışma	Yüksek plastisiteli siltli-kumlu killler

Özellikler Arasındaki İlişkiler

Zeminin sıkışma özellikleri ile plastik özellikleri arasındaki olası bir istatistiksel ilişkiyi ortaya çıkarmak adına elde edilen tüm parametreler üzerinde regresyon analizleri yapılmıştır. Zeminin ön konsolidasyon basıncı ile likit limiti arasında korelasyon katsayısı 0.5 olan bir ilişki belirlenmiştir (Şekil 6).

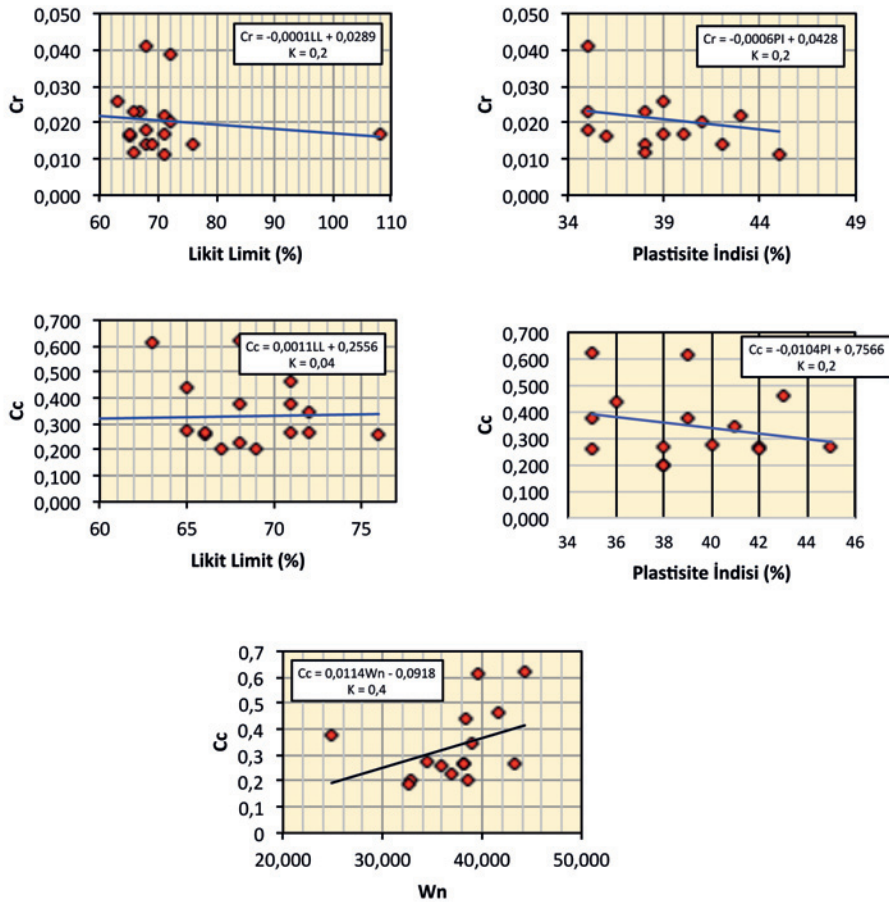
Elde edilen bağıntının ve korelasyon katsayısının, literatürdeki çalışmalarla kıyaslandığında farklılık gösterdiği görülmektedir. Bu durumun, literatürdeki çalışmaların genellikle saf killler

(cam kili vb.) üzerinde gerçekleştirilmesinden kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Bu çalışmada incelenen zemin saf kil olmayıp, kil-silt-kum karışımından oluşan doğal bir zemindir. Bu da plastik özellikler ile konsolidasyon parametreleri arasındaki istatistiksel ilişkiyi olumsuz yönde etkilemektedir. Şekil 7'de, aralarında anlamlı bir istatistiksel ilişkinin tespit edilemediği parametrelere ait grafikler sunulmuştur. Çizelge 6'da, literatürdeki bazı çalışmalarda belirlenen eşitlikler verilmiştir.



Şekil 6. Ön konsolidasyon gerilmesi ile likit limit arasındaki istatistiksel ilişki.

Figure 6. Statistical relationship between pre-consolidation pressure and liquid limit.



Şekil 7. Diğer parametreler arasındaki istatistiksel ilişkiler.

Figure 7. Statistical relationships among the other parameters.

SONUÇLAR

Bu çalışmada Cevizdere (Ünye, Ordu) yöresinden alınan killi zeminlerin, likit limit, plastik limit, doğal su içeriği, sıkışma indisi ve yeniden sıkışma indisi belirlenmiş ve bu parametreler arasında istatistiksel bir ilişkinin olup olmadığı araştırılmıştır.

% 28 kum, % 38 silt ve % 34 kil boyutlu malzemeden oluşan zeminlerin montmorillonit türü kil mineralleri içerdiği belirlenmiştir. Zemin örneklerinin, Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemi'ne (ASTM, 2011) göre yüksek plastisiteli inorganik yağlı killer (CH) sınıfında olduğu belirlenmiştir.

Yapılan hesaplamalar sonucu örneklerin sıkışma indisi (Cc) değerlerinin 0.189 ile 0.625 arasında, yeniden sıkışma indisi (Cr) değerlerinin 0.011 ve 0.041 arasında, aşırı konsolidasyon oranı (OCR) değerlerinin 4.16 ile 95 arasında, aşırı konsolidasyon sınırı (σ'_m) değerlerinin ise 142 ile 492 kPa arasında değiştiği belirlenmiştir. Aşırı konsolidasyon sınırı sınıflamasına göre örneklerin orta-ileri derecede aşırı konsolide oldukları saptanmıştır.

Plastik özellikler ile sıkışma parametreleri arasında yapılan istatistiksel incelemelerde, ön konsolidasyon basıncı ile likit limit arasında $K = 0,5$ korelasyon katsayısına sahip bir ilişki tespit edilmiş; Cc ve Cr ile likit limit, plastisite indisi ve doğal su içeriği arasında $K = 0,04$ ile $0,4$ arasında değişen ilişkiler elde edilmiştir.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, konsolidasyon özellikleri ile plastik ve indeks özellikler arasındaki ilişkinin yüksek korelasyon oranlarına sahip olduğu görülmektedir. Ancak bu çalışmalar çoğunlukla saf killer üzerinde yapılmıştır. Ancak doğadaki zeminler çoğunlukla

farklı boyuttaki malzemelerden oluşmaktadır ve bu durum literatürde önerilen ampirik eşitliklerin pratikte uygulanmasını güçleştirmektedir. Çalışma kapsamında incelenen zeminlerin plastik ve indeks özellikleri ile konsolidasyon özellikleri arasındaki istatistiksel ilişkinin, literatürdeki çalışmalara kıyasla daha zayıf olması, çalışılan zeminin kil-silt-kum karışımı olmasından kaynaklanmaktadır. Böyle bir çalışmanın doğal zeminler üzerinde yapılması, elde edilen ampirik ilişkilerin kullanım alanını genişletirken ilişkinin korelasyon katsayısını düşürmektedir.

KAYNAKLAR

- Abdioğlu, E., 2002. Kavaklar (Ünye-Fatsa, Ordu) yöresindeki kil oluşumlarının mineralojik, jeokimyasal ve kökensele incelenmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Yüksek Lisans Tezi, 127 s (yayımlanmamış).
- ASTM (American Society for Testing and Materials), 2003. ASTM D2435-03, Standard Test Method for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM (American Society for Testing and Materials), 2007. D422-63, Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM (American Society for Testing and Materials), 2010. D4318-10, Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM D4318-10 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010.

- ASTM D2487-11 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011.
- Bowles, J. W., 1979. *Physical and Geotechnical Properties of Soils*, McGraw Hill, New York, 478 p.
- Burmister, D. M., 1951. Identification and classification of soil an appraisal and statement of principles. ASTM STP 113, American Society for Testing and Materials, Philadelphia.
- Casagrande, A., 1936. The Determination of the Pre-Consolidation Load and Its Practical Significance. Discussion D-34, Proceedings of the First International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Cambridge, III, 60 – 64.
- Coduto, D. P., 1995. *Geoteknik Mühendisliği*. Gazi Kitabevi, Ankara, 759 s.
- Di Matteo, L., Bigotti, F., Ricco, R., 2009. Best-fit models to modified proctor properties of compacted soil. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 135 (7), 992-996.
- Dolar, B., Stanislav, S., 2013. Atterberg limits in relation to other properties of fine-grained soils, *Acta Geotechnica Slovenica*, 10 (2), 4-13.
- Hough, B. K., 1957. *Basic Soil Engineering*, Ronald Press, New York, 513 p.
- IAEG, 1976. *Engineering Geology Maps: a Guide to Their Preparation*, Unesco Pres, Paris, 79 p.
- Jesmani, M., Vaezi, R., Kamalzare, M., 2012. Correlation between C_c alpha/ C_c ratio and index parameters of soil. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 45 (2), 207-220.
- Koppula, S. D., 1981. Statistical estimation of compression index. *Geotechnical Testing Journal*, 4 (2), 68-73.
- Mayne, P. W., Kulhawy, F. H., 1982. K₀-OCR relationships in soil. *Journal of Geotechnical Engineering*, 108 (GT6), 851-872.
- Leonards, G. A., 1962. *Foundation Engineering*, McGraw Hill Book Company, New York, 1136 s.
- Nishida, Y., 1956. A brief note on compression index of soil. *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Engineering Proceedings of The American Society of Civil Engineers*. 82, (SM3), 1027-1 – 1027-14.
- Oswald, R. H., 1980. Universal compression index equation. *Journal of Geotechnical Engineering Division, American Society of Civil Engineers*, 106, 1179-1199.
- Rani, C. S., 2007. *A Knowledge Based System for Soil Identification and Assessment of Volume Change Characteristics of Clayey Soils*. Sri Venkateswara University, Tirupati, India, PhD. Thesis (yayımlanmamış).
- Rani, C. S., Rao, K. M., 2013. Statistical evaluation of compression index equation. *International Journal of Civil Engineering and Tunnel Technology*, 4-2, 104-117.
- Schmertmann, J. H., 1955. The undisturbed consolidation behavior of clay. *Transactions, ASCE*, 120, 1201 – 1233.
- Sivrikaya, O., Togrol, E., Kayadelen, C., 2008. Estimating compaction behavior of fine-grained soils based on energy, *Canadian Geotechnical Journal*, 45, 877-887.
- Sivrikaya, O., Hakbilir, S., 2013. Comparison of fine-grained soils of the Kolsuz and Araplı areas in the Central Anatolia (Niğde, Turkey) in terms of geotechnical properties. *Eurasian Soil Science*, 46 (5), 587-598.
- Skempton, A. W., 1944. Notes on the compressibility of clays. *Quarterly Journal of the Geological Society of London*, 100, 119-135.

Sünnetçi, Ersoy

Sridharan, A., Nagaraj, H. B., 2005. Plastic limit and compaction characteristics of fine grained soils, *Ground Improvements*, 9 (1), 17-22.

Sünnetçi, M. O., 2015. Cevizdere (Ünye, Ordu) yöresi killerinin konsolidasyon parametrelerinin ve şişme özelliklerinin araştırılması.

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Yüksek Lisans Tezi, 59 s (yayımlanmamış).

Terzaghi, K., Peck, R. B., 1967. *Soil Mechanics in Engineering Practice*, John Wiley and Sons, New York, 729 p.

Sarma Deresi Havzasındaki Yağışın Ayrışma ve Su Kalitesine Etkisi, Düzce, Türkiye

The Effects of Rainfall on Water Quality and Weathering in the Sarma Stream Basin, Duzce, Turkey

Rüstem PEHLİVAN

İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Avcılar İSTANBUL

Geliş (received) : 21 Mart (March) 2016
Düzeltilme (revised) : 18 Nisan (April) 2016
Kabul (accepted) : 19 Nisan (April) 2016

ÖZ

Sarma Deresi, Düzce ili Akçakoca İlçesinde bulunur. Su havzası yaklaşık 121.2 km²'lik bir alan kaplar. Sarma Deresi, yağışlı dönemde bulanık akar ve Karadeniz'e 85 l/s debi ile dökülür. Akçakoca ilçesindeki içme suyu ihtiyacını karşılamak amacıyla Sarma Deresi havzasında Sarıayla Barajı'nın yapılmasına karar verilmiştir. Asit yağışı ve etkileri konusundaki araştırmalar Türkiye'de İstanbul özelinde yapılmıştır. Bu nedenle, asit yağışların Sarma Deresi suyunun hidrojeokimyasal özelliklerine etkisini değerlendirmek için Sarma Deresi su havzasından kayaç, toprak, dere suyu, askıda katı madde, dere çamuru ve yağış örnekleri alınmıştır. Araştırma sahasındaki yağışların pH değeri 5.6'nın altındadır. Dere sularında iyon zenginleşmesinde ve jeolojik birimlerin ayrışmasında asidik yağışın etkisi vardır. Dere çamuru örneği ile askıda katı madde örneğine ait Kimyasal Ayrışma İndeksi (CIA) değerleri sırasıyla 76 ve 77'dir. Yağışlı dönemde, Sarma Deresi'nin bulanık akmasına, su havzasında mostra veren kil minerallerince zengin kumtaşları ve toprak neden olur. Sarma Deresi'nin yağışlı dönemdeki askıda katı madde miktarı 70 mg/l'dir. Sarma Deresi suyu kalsiyum ve bikarbonatca zengindir. Yağmur suyu, kar suyuna göre NH₄, NO₃ ve SO₄ iyonlarınca, kar suyu da yağmur suyuna göre Al, Ba, Cu, Pb, Mn, Ni, Si, U ve Zn elementlerince zengindir. Yağmur, kar ve dere suyu örneklerindeki Al, Ba, B, Fe, Mn ve Zn gibi bazı ağır metal ve elementlerin konsantrasyon miktarı 10 ppb üzeridir. Sarma Deresi suyu, içme suyu gösterge limit değerlerini (örneğin Al, Fe ve Mn elementleri bakımından) aşmaktadır. Bu nedenle, Sarıayla Baraj suyunda arıtma işlemine gereksinim olabilir.

Anahtar Kelimeler : Asit Yağışı, Ayrışma, Sarma Deresi, Su Kalitesi.

R. Pehlivan

E-Posta:pehlivan@istanbul.edu.tr

ABSTRACT

The Sarma Stream is located in southwest of Akcakoca town in Duzce City, Turkey. Its drainage basin is approximately 121.2 km². The Sarma stream flows muddy into the Black Sea with an output of 85 l/s during rainy season. It was decided that the Sariyayla reservoir should be built on the Sarma Stream for the drinking water needs of Akcakoca. Chemical compounds in natural water are altered by interactions with geologic units, by physical and chemical weathering and environmental factors. Generally, research on acid rain and its effect has been done in Istanbul. In this study, effects of acid rainfall on the hydrogeochemistry of the Sarma stream water were investigated. Therefore, samples of rock, soil, rainfall, stream water, suspended and bed sediments were taken in the Sarma Stream basin. The pH of rainfall and snowmelt in the research area are below 5.6. Acid rain affects the dissolution of the geological units and the abundance of principal ions in stream water. The Chemical Index of Alteration (CIA) values of the bed sediment sample and suspended sediment sample are 76 and 77, respectively. Sandstone, which erodes easily and is rich in clay minerals, causes the Sarma Stream to become muddy during the rainy season. The suspended sediment amount of the Sarma Stream in the rainy season is 70 mg/l. The water of the Sarma Stream is rich in calcium and bicarbonate. Rain water is richer in NH₄, NO₃ and SO₄ ions than snowmelt. Snowmelt is richer than rain water in heavy metals such as Al, Ba, Cu, Pb, Mn, Ni, Si, U and Zn. The concentration of heavy metals and some elements such as Al, Ba, B, Fe, Mn and Zn are 10 ppb and more in rain, snowmelt and stream water. Some ions in the Sarma Stream basin waters exceed the drinking indicator water limit values (e.g. Al, Fe and Mn ions). Hence, water in the Sariyayla Reservoir might need to be treated.

Key Words : Acid Rain, Weathering, Sarma Stream, Water Quality.

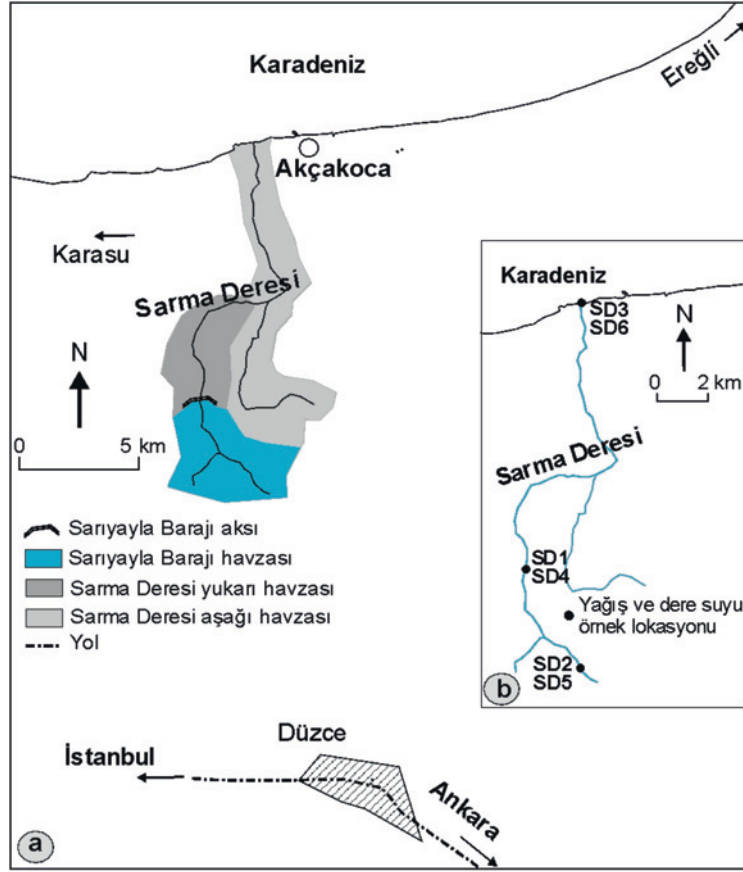
GİRİŞ

Akçakoca, Düzce ilinin deniz kenarındaki tek ilçesidir. 463 km²lik yüzölçümüne sahip Akçakoca'da 8 mahalle ve 43 köy bulunmaktadır. Akçakoca'nın nüfusu 37.119'dur. Tatil bölgesi olduğu için nüfus, yaz aylarında 100.000 kişiye ulaşır.

Akçakoca ilçesinde çok uzun süredir devam eden içme suyu sorununu çözmek için Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından Sarma Deresi üzerinde bir içme suyu barajının yapılmasına karar verilmiştir (**Şekil 1a**). Temeli 2013 yılının Ağustos ayında

atılan Sariyayla Barajı'nda 2016 yılı Ağustos ayından itibaren su tutulmaya başlanacaktır. Su havzası 35 km² olan Sariyayla Barajı'nda yaklaşık 5 milyon m³ su birikecektir. Sariyayla Barajı'nın gövdesi beton, yüksekliği ise 63 metre olacaktır.

Bu çalışmada, asidik yağışların ve su - kayac etkileşiminin Sariyayla Barajı'nda birikecek ham suyun hidrojeokimyasal özelliklerine etkisi araştırılmış, Sariyayla Barajı ham suyunun içilebilirliği, su kalitesi ve insan sağlığına etkisi belirlenmeye çalışılmıştır.



Şekil 1. İnceleme alanının (a) su havzası ve (b) su örneği lokasyon haritaları.

Figure 1. Location maps of (a) the drainage basin and (b) the water sample of the study area.

ÖNCEKİ ARAŞTIRMALAR

Bilindiği gibi, doğal suların kimyasal bileşimleri, jeolojik birimlerle olan etkileşim, çevre kayalarda gelişen fiziksel ve kimyasal ayrışmalar ve çevresel etkenler ile değişir. Bu sulara insan sağlığı için olumsuz etkileri olabilecek (WHO, 2011; EPA, 2009) bazı ağır metallerin ve iyonların bulunması hâlinde su kirliliğinden söz edilebilir. Su kirliliğine az oranda jeolojik birimler, yaygın olarak çevresel faktörler (evsel ve sanayi sıvı atıkları, tarımsal verimi arttırmak için kullanılan gübreler ile asit yağışları) neden olur.

Doğal ve çevresel kaynaklı su kirliliği, su-kayaç etkileşimi, su kimyası, su kalitesi, dere çamuru, askıda katı madde jeokimyası ve asit yağışlarının çevresel etkisi konusunda çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları, özetle, asit yağışlarının sucul ekosistemlere etkisi Gorham (1976) tarafından, Avrupa'daki asit yağışları Hettelingh ve Hordijk (1986) tarafından, dere çamurlarında metal birikimi ve su kalitesi Kumar vd. (1998) tarafından, Hindistan'da, Avrupa'da ve Amerika Birleşik Devletleri'ndeki (ABD) asit yağışları Menz ve Seip (2004) tarafından, askıda katı madde ve

dere çamurlarının jeokimyası Piper vd. (2006) tarafından, Mississippi Nehri'nde, asit yağışının granitlerdeki kimyasal ayırışmaya etkisi Lee vd. (2009) tarafından, Kore'de, atmosferik nitrojen ve sülfür oluşumu Im vd. (2013) tarafından, Güneydoğu Avrupa, Akdeniz ve Karadeniz'de, Jianghan havzasının hidrojeokimyasal özellikleri Zhou vd. (2013) tarafından, Çin'de, asit yağışlarının kimyasal bileşimi ve Zn, Al, Pb, Ba, As ve Cr elementlerince zengin olan asit yağışlarının suya, bitkiye ve insan sağlığına etkisi Sun vd. (2015) tarafından çalışılmıştır.

Türkiye'de ise benzer konulardaki araştırmalar sınırlı sayıda olup, asit yağışı ve etkileri konusundaki araştırmalar genellikle İstanbul özelinde yapılmıştır. Asit yağışlarının çevreye etkisi Toros vd. (1997) ile Toros (2000) tarafından, asit yağışlarının içme suyu kaynaklarına etkisi Alp vd. (2004) tarafından, İstanbul'da görülen asidik yağışların Cd, Cu, V, Zn, Ni, Pb ve Cr gibi ağır metallerce zenginliğinin belirlenmesi Başak ve Alagha (2010) tarafından çalışılmıştır. Zirai üretimin çevreye etkisi konusunda Keskin (2010) tarafından yapılan araştırma ile de Eskipazar Çayı ham suyunun bazı ağır metallerle ve nitrat iyonunca kirlendiği belirlenmiştir.

MATERYAL VE METOT

Sarma Deresi havzasından yağmur, kar ve dere suyu örnekleri yağışlı (Aralık 2012 ve Şubat 2013) ve kurak (Haziran 2013) dönemlerde, kayaç, toprak ve dere sedimenti örnekleri yaz dönemi arazi çalışması esnasında, dere çamuru ve askıda katı madde örnekleri ise yağışlı dönemde alınmıştır.

Yağış ve dere suyu örneklerinin elektriksel iletkenlik (Ec) ve pH değerleri arazide

ölçülmüştür. Su örneklerinin ana iyon analizleri (Na, K, Ca, Mg, SO₄, HCO₃, Cl, NH₄, NO₃, PO₄) İstanbul Halk Sağlığı Laboratuvarı'nda yaptırılmıştır. Yağış ve dere suyu örneklerindeki NO₃, SO₄, Cl ve PO₄ iyonları kromatografi yöntemiyle, NH₄ iyonu spektrofotometri yöntemiyle, HCO₃ iyonu titrimetrik yöntemle, Na, K, Ca ve Mg iyonlarının analizleri ise "İndüktif Olarak Eşleştirilmiş Plazma-Kütle Spektrometresi" (Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer - ICP-MS) ile yapılmıştır. İyon yük dengesi hesabına göre analiz hata yüzdesi ± 7.9 olarak bulunmuştur. Ağır metal analizi için alınan yağış ve dere suyu örnekleri + 4 C°'deki ortamda, HNO₃ asiti ile koruma altında tutulmuştur. Su örneklerinin bazı ağır metal ve bazı element analizleri (Al, Fe, As, Ag, Hg, Co, Cd, Cr, Pb, Ni, Ti, Ba, Mn, Zn, Cu, Se, Sb, B ve U) ise ALS Global (Kanada) laboratuvarında ICP-MS yöntemi ile yaptırılmıştır. Dere suyu örnekleri için ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır. Kayaç örneklerinin mineralojik ve petrografik incelemeleri polarizan mikroskopu ile; dere sedimenti, toprak, çamur ve askıda katı madde örneklerinin mineralojik bileşimleri ise X-ışını difraksiyonu (XRD) ile belirlenmiştir. Örneklerin XRD çekimleri İstanbul Üniversitesi İleri Analizler Laboratuvarı'nda yaptırılmıştır. Kayaç, toprak, askıda katı madde ve dere çamuru örneklerindeki ana element (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, MnO, CaO, TiO₂, Na₂O, K₂O, P₂O₅, AK) analizleri XRF yöntemiyle, iz element (Al, Fe, As, Ag, Hg, Co, Cd, Cr, Pb, Ni, Ti, Ba, Mn, Zn, Cu, Se, Sb, B ve U) analizleri de ICP-MS yöntemiyle ALS Global (Kanada) laboratuvarında yaptırılmıştır. Kayaç gruplandırmasındaki sayı da 3'ten az olduğu için standart hata değerlendirmesi yapılamamıştır.

İKLİM VE YAĞIŞ

Akçakoca, deniz kıyısında yer aldığı için iklimi nemlidir. Akçakoca’da, sonbahar ve kış aylarında çoğunlukla kar ve karla karışık yağmur yağar. Yıllık ortalama sıcaklık 14.4 C°’dir. Bölgenin en soğuk ayı Ocak (6.0 C°), en sıcak ayı ise Ağustos’tur (24.5 C°). Akçakoca Meteoroloji İstasyonu’nun 2004–2014 yılları arasındaki 11 yıllık yağış verisine göre (MGM, 2014), Akçakoca’ya yıllık 894.9 mm’lik yağış düşmüştür. 1970-2013 yılları arasındaki 43 yıllık dönemde Türkiye’de gerçekleşen yağış miktarı ise 644.8 mm’dir (MGM, 2013). Bu veriler, araştırma sahası ve yakın çevresinin Türkiye ortalamasına göre çok daha fazla yağış aldığını göstermektedir.

ASİT YAĞIŞI

Kömür ve petrol kökenli fosil yakıtlar, evlerde ısınma, sanayide elektrik enerjisi elde etme işleminde kullanılır. Kömür ve fosil yakıtların yakılması ile açığa çıkan kükürt ve azot oksitler atmosferde birikir. Atmosferde biriken bu gazlar, kimyasal dönüşümden geçtikten sonra bulutlardaki su damlacıkları tarafından emilir. Böylelikle, sülfürik asit ve nitrik asit damlacıkları oluşur. Bu damlacıklar suyun hidrolojik çevrimi sırasında yeryüzüne yağmur veya kar olarak düşer. Asit yağış olarak kabul edilen bu tür yağışların pH’ı 5.6’dan küçüktür (Carlson ve Rodhe, 1982; İlhan vd., 2006).

Birçok Avrupa ülkesinde (Örneğin Avusturya, Çek Cumhuriyeti, Finlandiya, Fransa, Almanya, Litvanya, Hollanda, Norveç, Polonya, Portekiz, Rusya, İsveç, İsviçre ve İngiltere) son 32 yıllık dönemde gerçekleşen yağışlar asidik karakterlidir (Lajtha ve Jones, 2013).

Tuncel vd. (1991) tarafından yapılan “Karadeniz Atmosferinde Eser Element Taşınımı” başlıklı araştırmada, günümüzden tam 25 yıl önce, Batı Karadeniz Bölgesi’nde görülecek yağışların asidik karakterli olabileceğine yönelik bilimsel görüş dikkat çekicidir.

Asit yağışlarının kaynakları ve etkileri konusunda Toros (2000) tarafından İstanbul’da gerçekleştirilen araştırmada da ilginç sonuçlar elde edilmiştir. Araştırmaya göre, İstanbul’da gerçekleşen asidik yağışların % 31’i batı-güneybatı (Yunanistan yönünden), % 24’ü kuzey-kuzeybatı (Avrupa tarafından), % 19’u kuzey-kuzeydoğu (Sibirya’dan), % 16’sı batı-kuzeybatı (Balkanlar’dan) ve % 9’u ise güney-güneybatı yönünden (Ege Denizi’nden) gelmektedir.

Sarma Deresi havzasında gerçekleşen yağışların ilk 40 dakikalık süreçteki karakteri asidiktir. 40 dakikadan sonrasındaki süreçte, yağışın pH değeri yükselmektedir. Kar yağışında ise bu türden bir özellik gözlenmemiştir. Yağmur ve kar yağışlarının elektriksel iletkenlik (Ec) değerleri zamana bağlı olarak azalmaktadır (Çizelge 1).

Pehlivan

Çizelge 1. Sarma Deresi yağış örneklerinin zamana bağlı pH ve Ec değişimleri.

Table 1. Temporal variation of pH and EC values of the rainfall samples.

	Yağmur suyu (Ekim 2012)	Kar suyu (Şubat 2013)	Yağmur suyu (Haziran 2013)
1. Kap (0- 20 dakika), pH	< 5.6	< 5.6	< 5.6
2. Kap (20-40 dakika), pH	< 5.6	< 5.6	< 5.6
3. Kap (40-60 dakika), pH	> 5.6	< 5.6	> 5.6
Ec ₁ (µS/cm)	45,05	56,81	95,30
Ec ₂ (µS/cm)	42,55	56,37	85,51
Ec ₃ (µS/cm)	35,40	51,04	58,13

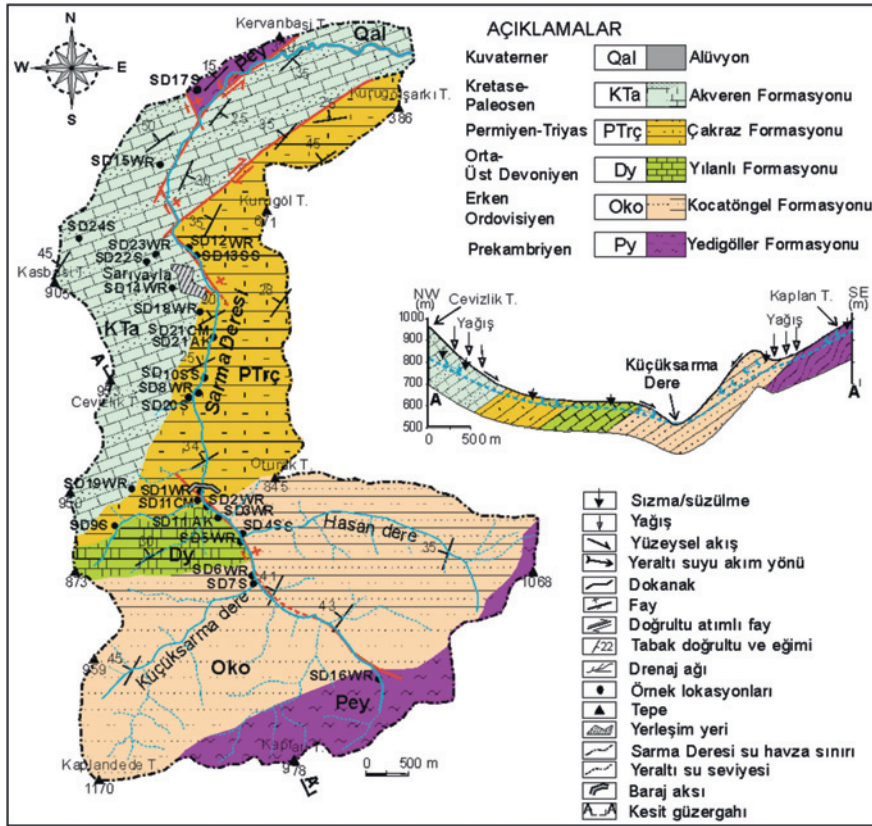
Asit yağışları, toprağın kimyasal yapısını bozar, biyolojik koşullarını etkiler ve üzerinde yetişen bitkilere zarar verir. Topraktaki asit birikimi, besin elementlerinin (Örneğin, Ca, K, Mg ve Na'nın) bitkiler tarafından kullanılamamasına neden olur. Asit yağışları topraktaki Fe, Al ve Mn gibi toksik elementleri açığa çıkararak yüzey ve yeraltı suyuna karışmasına neden olur (Carlson ve Haines, 1989).

JEOLOJİ

Araştırma sahasında, temelde amfibolit ve gnays gibi kayaçlardan oluşan Prekambriyen yaşlı Yedigöller Formasyonu yer alır (Şekil 2) ve bunların üzerine uyumsuz olarak şeyl, çamurtaşı ve kumtaşı içeren Alt Ordovisyen yaşlı Kocatöngel Formasyonu ile başlayan İstanbul Paleozoyik istifi gelir. İstifin diğer birimi kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşından oluşan Orta Devoniyen-Alt Karbonifer yaşlı Yılanlı

Formasyonu'dur. İstanbul Paleozoyik istifinin üzerinde açılal uyumsuzlukla karasal çamurtaşı, kumtaşı ve konglomera ardalanmalı Permiyen-Triyas yaşta Çakraz Formasyonu yer alır. Geçişli olarak Üst kampaniyen-Alt Eosen yaşta kireçtaşı fliş karakterindeki Akveren Formasyonu, alttaki birimler üzerine açılal uyumsuzlukla gelir. Bölgenin en genç birimi ise Kuvaterner yaşlı alüvyonlardır (Pehlivan vd., 2002).

Kuzey Anadolu Fayı'nın etkisiyle Sarma Deresi havzasında pek çok fay oluşmuştur. Bu faylardan en önemlisi Sarıayla Barajı rezervuar alanında yer alan 3 km uzunluğundaki eğim atımlı faydır. Fay, Sarma Deresi memba kesiminde ve dere yatağında bulunur. Fayın doğrultusu KD - GB yönlüdür. Sarma Deresi havzasında gelişen diğer faylar ise doğrultu atımlıdır. Sarıayla Köyü'nün kuzeyindeki alanda bulunan doğrultulu atımlı faylar sağ yönlüdür.



Şekil 2. Sarma Deresi havzasının jeoloji haritası.
Figure 2. Geological map of the Sarma Stream basin.

JEOKİMYA

Sarma Deresi sedimentleri kuvars, plajiyoklas, k-feldspat, amfibol, klorit ve manyetit gibi mineraller içerir. Askıda katı maddeler, kayaçların fiziksel ayrışması ve zemin erozyonundan dere suyuna geçmektedir. Dere sularında asılı halde bulunan askıda katı maddeler, su akımı süresince devamlı olarak askıda kalamayabilirler. Yerçekimi etkisiyle sudaki katı maddeler dere tabanında birikerek dere çamurunu oluşturur. Sarma Deresi havzasına ait dere çamuru (SD11CM) ve askıda katı madde (SD11AK) örneklerinde kuvars, plajiyoklas ve kil mineralleri bulunur. Dere çamuru

örneklerindeki kil boyutundaki mineraller için kil zenginleştirme çalışması yapılmıştır. Kil fraksiyonlarından hazırlanan plakelerin X-ışını difraksiyonu çekimine göre, SD11CM nolu dere çamuru örneğinde % 50 illit, % 30 klorit ve % 20 montmorillonit, SD21CM nolu dere çamuru örneğinde ise % 70 kaolinit ve % 30 illit minerali saptanmıştır. SD11AK nolu askıda katı madde örneği ise % 60 kaolinit, % 20 illit ve % 20 montmorillonit minerallerinden oluşmaktadır.

Sarma Deresi havzasına ait kayaç, toprak, askıda katı madde ve dere çamuru örneklerinde yapılan ana ve iz element analiz sonuçları Çizelge 2’de ve 3’te verilmektedir.

Pehlivan

Çizelge 2. Kayaç (WR), toprak (S), askıda katı madde (AK) ve çamur (CM) örneklerinin ana element analiz sonuçları (%).
Table 2. Major oxides compositions (%) of some rock (WR), soil (S), bed (CM) and suspended sediment (AK) samples.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	LOI
SD2WR	0.56	0.15	0.05	55.04	0.42	<0.01	0.02	<0.01	0.03	0.01	43.6
SD6WR	44.65	10.23	4.66	18.23	1.88	0.73	2.43	0.54	0.14	0.075	15.55
SD7S	58.88	15.18	5.96	4.38	2.14	0.82	3.69	0.87	0.04	0.141	7.1
SD8WR	95.48	1.40	1.30	0.07	0.10	0.03	0.27	0.09	<0.01	0.021	0.56
SD9S	76.26	9.87	4.26	0.21	0.70	0.62	1.38	0.68	0.07	0.074	5.39
SD12WR	74.66	3.89	2.37	8.33	0.56	0.55	1.00	0.26	0.01	0.048	7.34
SD14WR	13.60	2.77	1.86	43.99	0.38	0.13	0.28	0.12	0.10	0.038	36.3
SD16WR	47.46	15.65	9.57	9.43	8.26	2.75	1.18	1.04	0.16	0.072	4.07
SD11CM	61.67	13.77	5.69	1.19	1.32	1.05	2.03	0.82	0.13	0.151	11.6
SD11AK	59.69	15.06	6.1	1.09	1.45	0.94	2.29	0.87	0.12	0.177	11.5
UCC ^a	65.70	15.10	4.93	4.2	2.19	3.9	3.40	0.5	0.08	0.06	-

^a Üst Kıtasal Kabuk (Upper Continental Crust, UCC) (Taylor ve McLennan, 1995)

Çizelge 3. Kayaç (WR), toprak (S), çamur (CM) ve askıda katı madde (AK) örneklerinin iz element analiz sonuçları (ppm).
Table 3. Trace element analysis results (ppm) in rock (WR), soil (S), bed (CM) and suspended sediment (AK) samples.

	Ag	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sb	Se	U	Zn	Zr
SD2WR	0.03	<5	10	0.05	0.6	2	1.7	<0.1	3.9	8.8	0.27	1	1.6	10	1.9
SD6WR	0.27	9	270	0.05	15.1	52	20	0.02	32.6	26.8	0.59	1	1.7	53	82.5
SD7S	0.17	24.6	360	0.03	26.3	98	52.3	0.03	64.3	44.7	1.14	2	2.8	59	139
SD8WR	0.06	10.2	40	0.03	1.3	17	5.7	<0.01	5	4.8	0.35	1	0.6	37	21.7
SD9S	0.05	8.2	230	0.07	10.8	59	15.5	0.04	27.6	13.1	0.62	2	2.5	61	92
SD12WR	0.05	3.7	170	0.06	4.2	29	5.5	<0.01	11	6.7	0.27	1	1	34	29
SD14WR	0.04	<5	780	0.23	5.7	15	17.5	0.02	13.8	6.5	0.28	1	0.4	30	18
SD16WR	0.05	2.4	290	0.08	37.6	247	119	0.03	112	1.3	<0.05	2	0.1	70	9
SD11CM	0.09	9.5	370	0.25	17.9	78	36.1	0.06	44.4	19.3	0.83	2	2.2	104	106
SD11AK	0.09	9.9	410	0.24	18.5	80	38.6	0.06	48.6	20.1	0.89	2	2.2	122	111
UCC	0.05	1.5	550	0.1	10	35	25	0.04	20	20	0.2	50	2.8	71	190

Kayaç, Toprak, Askıda Katı Madde ve Dere Çamur Örneklerinin Elementel Oranı

Askıda katı madde ve dere çamuru örneklerinin kimyasal bileşimi, ayrışmaya uğrayan jeolojik birimlerden çözülen elementlerin mobilitesine bağlı olarak değişir (Stallard, 1988). Sarma Deresi havzasında gelişen ayrışmanın askıda madde ve dere çamuru örneklerindeki ana ve iz element miktarına yansımaları değerlendirilmek için mobilitesi az olan Al₂O₃

ve Üst Kıtasal kabuk (Upper Continental Crust, UCC) değerleri (Çizelge 2 ve 3) baz alınarak:

$$\text{Elementel oran (x)} = \frac{X / \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ (Sarma Deresi Sedimentleri)}}{X / \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ (Üst Kıtasal Kabuk)}}$$

formülü ile hesaplanmıştır. Formüldeki X değişkendir. Formüldeki X yerine, dere sedimenti örneğine ait ana element analiz sonuçlarının (Al₂O₃ hariç) değerleri ayrı ayrı yazılarak elementel oranları belirlenir.

Sarma Deresi havzasında mostra veren arduvaz (SD6WR) ile arduvazın fiziksel ayrışması ile oluşmuş toprak örneği (SD7S), kumtaşı (SD12WR) ile fiziksel ayrışma sonucu oluşmuş toprak örneği (SD9S), volkanik kumtaşı (SD14WR) ve amfibolit kuvars şist (SD16WR) örneklerindeki Al_2O_3 miktarı baz alınarak UCC'ye ait jeokimyasal verilere göre belirlenmiş element oranlarının değişimleri Çizelge 4'te

verilmektedir. Çizelge 4'ten de görüleceği üzere, volkanik kumtaşı (SD14WR), kumtaşı (SD12WR) ve toprak (SD9S) örneğindeki çok sayıda element UCC'ye göre daha zengindir.

Dere çamuru örneği (SD11CM), askıda katı madde (SD11AK) örneğine göre Al_2O_3 (% 13.77) ve Fe_2O_3 (% 6.1) açısından daha zengindir. Askıda katı madde örneği ise UCC'ye göre TiO_2 ve Zn açısından zenginleşmiştir.

Çizelge 4. Bazı kayaç, toprak ve çamur örneklerinin UCC'a göre zenginleşme oranları.

Table 4. Enrichment rates of some rock, soil and bed sediment samples according to UCC.

		SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	MnO	P_2O_5
SD6WR	Arduvaz	1.47	0.46	1.48	1.5	1.4	1.43	1.25	1.11	1.75
SD7S	Toprak (arduvaz)	0.99	1	0.96	1	1	1	1	1	1
SD9S	Toprak (kumtaşı)	1.52	1.53	44	1.75	1.5	4.11	1.12	1.75	1.75
SD12WR	Kumtaşı	3.88	4	3.9	3.5	3.5	4.16	3.52	3.33	4
SD14WR	Volkanik Kumtaşı	5.44	5.58	5.45	4.33	0.44	5	5.71	6.66	4.3
SD16WR	Metebazit	0.96	0.96	0.96	0.96	0.94	0.88	1.14	1	1.25
SD21CM	Çamur	1.1	1.1	1.28	1.12	1.14	1.07	1.2	1.25	1
SD21AK	Askıda katı	1	1	1	1	1	1	1.2	0.88	1

Çizelge 4. (devamı).

Table 4. (Cont'd).

	Ag	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sb	Se	U	Zn	Zr
SD6WR	1.1	1.4	1.3	1.6	1.5	4.98	1.47	2	1.47	1.48	1.25	1.28	1.45	1.48	1.47
SD7S	0.9	1	0.99	1	1	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.87	1	1	0.99	0.97
SD9S	1.6	1.5	1.5	1.75	1.46	1.53	1.53	2	1.53	1.53	1.5	1.53	1.56	1.52	1.53
SD12WR	3.3	4	3.8	3.75	3.82	3.88	3.91	3.3	3.91	3.9	4.1	3.57	3.57	3.88	3.88
SD14WR	3	0.2	5.4	5.3	0.82	5.46	5.43	7	5.5	5.2	0.55	5.14	7	5.46	5.46
SD16WR	1	1	0.96	1	1	0.96	0.96	0.5	0.96	0.93	1	0.92	0.1	0.96	0.96
SD21CM	1	1.1	1.09	1.1	1.08	1.09	1.09	1	1.06	1.09	1.1	1.07	1.07	1.09	1.09
SD21AK	1	1	1	1	1	1	1	0.75	1	1	1	1	1	1.1	1

Kimyasal Mobilite ve Kimyasal Ayrışma İndeksi

Kayaçların ayrışması sonrasında dere yataklarında biriken dere çamuru ve sulara serbest halde bulunan katı madde örneklerindeki major ve iz elementlerin zenginleşmesi, elementlerin kimyasal mobilitelerine göre gerçekleşmektedir. Kimyasal mobiliteleri, birincil ve ikincil minerallerin taşınması, minerallerdeki iyon değişimi, redoks potansiyeli ve yeniden çökme gibi değişik aşamalar etkiler (Chesworth vd., 1981). Ayrışmalarda immobil olan Ti elementi ve UCC değerleri baz alınarak kimyasal mobilite, Nesbitt (1979) tarafından önerildiği şekilde, % değişim = $[(X/TiO_2)_{sample} / (X/TiO_2)_{UCC} - 1]$ formülü ile hesaplanabilir.

Jeolojik birimlerin kimyasal ayrışmasında, ayrışmanın değeri kimyasal ayrışma indeks (Chemical Index of Alteration, CIA) formülü ile ifade edilebilir (Nesbitt ve Young, 1982) ve CIA = $[Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O + K_2O)] \times 100$ şeklinde hesaplanır. Çamur (SD11CM) ve askıda katı madde (SD11AK) örneklerine ait kimyasal ayrışma indeks değerlerinin sırasıyla 76 ve 77 olarak belirlenmiş olması, Sarma havzası jeolojik birimlerinde orta derecede kimyasal ayrışmanın (Price ve Vebel, 2003) olduğuna işaret eder.

HİDROJEOKİMYA

Sarma Deresi kış aylarında 140 l/s, yaz aylarında ise 60 l/s debi ile Karadeniz'e dökülür. Dereyi besleyen yeraltı sularının akım yönü

Çizelge 5. Sarma Deresi havzası çamur ve askıda katı madde örneklerinin kimyasal mobilite değerleri.

Table 5. Chemical mobility values of the bed and suspended sediment samples in the Sarma Stream basin.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	P ₂ O ₅
SD11CM (Çamur örneği)	61	60	61	60	60	60	60	57	60
SD11AK (Askıda katı)	57	57	57	57	57	57	56	57	57

Çizelge 5. (devamı).

Table 5. (Cont'd).

	Ag	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sb	Se	U	Zn	Zr
SD11CM (Çamur örneği)	60	61	60	57	57	57	57	57	57	57	60	60	60	60	60
SD11AK (Askıda katı)	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57

Hesaplama sonucunda, dere çamuru (SD11CM) ve askıda katı madde (SD11AK) örneklerindeki elementlerin kimyasal mobilite değerlerinin % 57 ile % 61 arasında değiştiği belirlenmiştir (Çizelge 5).

Karadeniz'e doğrudur. Araştırma sahasındaki akiferler yağmur ve kar yağışlarından beslenir. Sarma Deresi'nin yaz aylarında kurumamasının en önemli nedeni kışın yağın karların yaz aylarına doğru erimesidir. Sarma Deresi havzasında yüzlek veren jeolojik birimler,

hidrojeolojik olarak geçirimli ve yarı geçirimli özelliğe sahiptir.

Sarma deresi havzasından Aralık 2012, Şubat 2013 ve Haziran 2013'te alınan yağmur, kar ve dere suyu örneklerinin (Şekil 1b) pH ve Ec değerleri arazide ölçülmüştür. Na, K, Ca, Mg, SO₄, HCO₃, Cl, NH₄, NO₃ ve PO₄ gibi ana iyonların analizleri ise laboratuvarında yaptırılmıştır (Çizelge 6).

SD1 nolu yağmur suyunun katı inorganik madde (TDS) içeriği 27.0 mg/l, SD4 nolu kar suyunun TDS içeriği 45.8 mg/l, Sarma Deresi memba kesiminden alınan SD2 nolu dere suyu örneğinin TDS içeriği 101.8 mg/l, Sarma

Deresi mansap kesiminden alınan SD3 nolu dere suyunun TDS içeriği ise 234.3 mg/l dir. Sarma Deresi memba kesiminden alınan SD5 nolu dere suyunun TDS içeriği 84.0 mg/l iken mansap lokasyonunun (SD6) TDS içeriği 252.4 mg/l'dir. Sarma Deresi mansap örnekleri (SD3 ve SD6) memba örneklerine (SD2 ve SD5) göre Mg, SO₄ ve NO₃ iyonlarınca zengindir. Yağmur suyundaki NH₄ ve NO₃ gibi iyonların miktarı, memba kesimi dere suyu örneklerinde azalırken, mansap kesimi örneklerinde artış göstermektedir. Kurak dönemin SD5 ve SD6 nolu dere suyu örneklerinde NH₄ iyonu ile, tüm yağış ve dere suyu örneklerinde PO₄ iyonu deteksiyon limitinin altındadır.

Çizelge 6. Yağış ve dere suyu örneklerinin ana iyon analiz sonuçları ve iyonların bolluk sıralanımı.

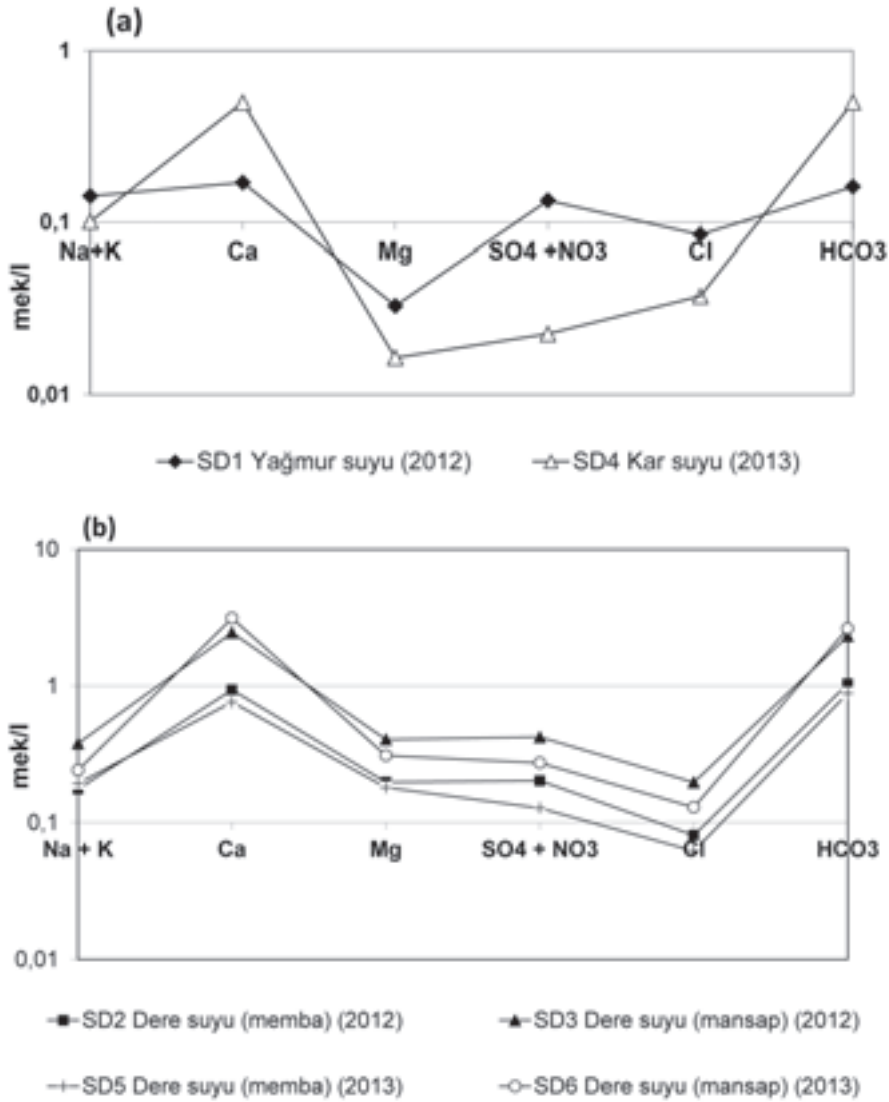
Table 6. Abundance order of ions and major ion analysis results of the Sarma stream water and rainfall samples.

Örnek no	SD1		SD2		SD3		SD4		SD5		SD6	
	Yağmur suyu (2012)		Dere suyu (membra) (2012)		Dere suyu (mansap) (2012)		Kar suyu (2013)		Dere suyu (membra) (2013)		Dere suyu (mansap) (2013)	
İyon	mg/l	mek/l	mg/l	mek/l	mg/l	mek/l	mg/l	mek/l	mg/l	mek/l	mg/l	mek/l
NH ₄ ⁺	0.2	0.0111	0.05	0.0027	0.05	0.0027	0.1	0.0055	-	-	-	-
PO ₄ ³⁻	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Na ⁺	2.3	0.1000	3.7	0.1608	7.7	0.3347	1.8	0.0782	4.4	0.1913	5.4	0.2347
K ⁺	1.2	0.0306	0.6	0.0153	1.8	0.0460	0.7	0.0170	0.1	0.0025	0.3	0.0076
Ca ²⁺	3.4	0.1697	18.8	0.9385	49.2	2.4600	10	0.4992	15.3	0.7638	62.9	3.1402
Mg ²⁺	0.4	0.0329	2.4	0.1980	4.94	0.4065	0.2	0.0164	2.2	0.1810	3.77	0.3102
Cl ⁻	3.0	0.0846	2.87	0.0809	7.0	0.1974	1.33	0.0375	2.2	0.0620	4.6	0.1297
NO ₃ ⁻	1.45	0.0233	1.11	0.0179	6.8	0.1096	0.49	0.0079	0.2	0.0032	6.17	0.0995
SO ₄ ²⁻	5.29	0.1101	8.89	0.1851	15.1	0.3141	0.71	0.0147	6.0	0.1249	8.4	0.1749
HCO ₃ ⁻	9.8	0.1606	63.4	1.0393	141.7	2.3229	30.5	0.5000	54	0.8852	161	2.6393
TDS	27.0		101.8		234.3		45.8		84		252.4	
EC (µS/cm)	46.9		162.7		371		58.3		106.5		273	
Katyonların bolluk sıralanımı	Ca>Na+K>Mg>NH ₄		Ca>Na+K>Mg>NH ₄		Ca>Na+K>Mg>NH ₄		Ca>Na+K>Mg>NH ₄		Ca>Na+K>Mg		Ca>Mg>Na+K	
Anyonların bolluk sıralanımı	HCO ₃ >SO ₄ >Cl>NO ₃		HCO ₃ >SO ₄ >Cl>NO ₃		HCO ₃ >SO ₄ >Cl>NO ₃		HCO ₃ >Cl>SO ₄ >NO ₃		HCO ₃ >SO ₄ >Cl>NO ₃		HCO ₃ >SO ₄ >Cl>NO ₃	
İyonik Denge Hatası	-7.8		-0.5		4.8		3.8		2.8		7.9	

Su - Kayaç Etkileşimi

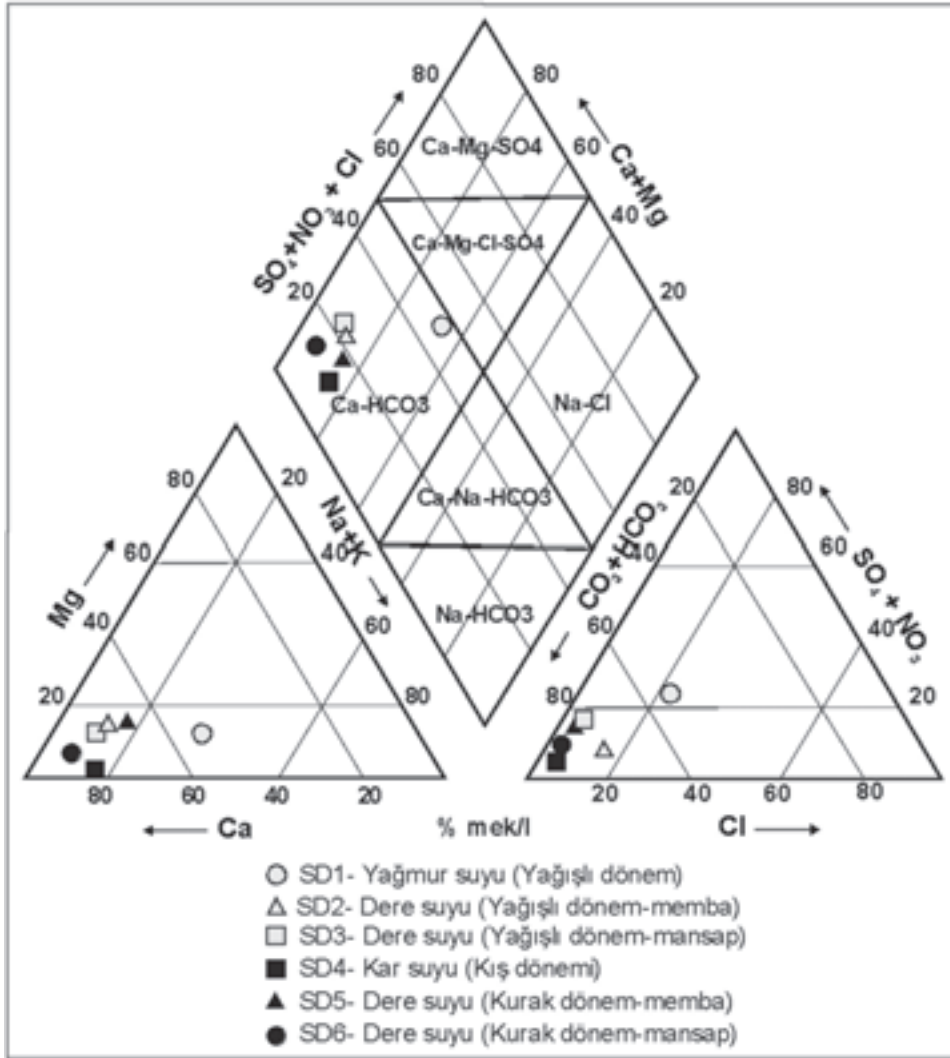
Yağmur, kar ve dere suyu örneklerine ait ana iyon analiz sonuçlarından Schoeller ve Piper diyagramları hazırlanmıştır (Şekil 3 ve 4). Schoeller diyagramına (Schoeller, 1962) göre,

yağmur, kar ve dere sularındaki katyonların mek/l sıralanımları $Ca > Na+K > Mg$, anyonların sıralanımları ise kar suyu ($HCO_3 > Cl > SO_4 > NO_3$) hariç $HCO_3 > SO_4 > Cl > NO_3$ şeklindedir. Yağmur suyu kar suyuna göre daha fazla SO_4 , Cl ve NO_3 içermektedir (Çizelge 6).



Şekil 3. (a) Yağmur ve kar suyu, (b) dere suyu örneklerinin Schoeller diyagramı.

Figure 3. The Schoeller diagram of (a) rainfall and snowmelt, and (b) the stream water samples.



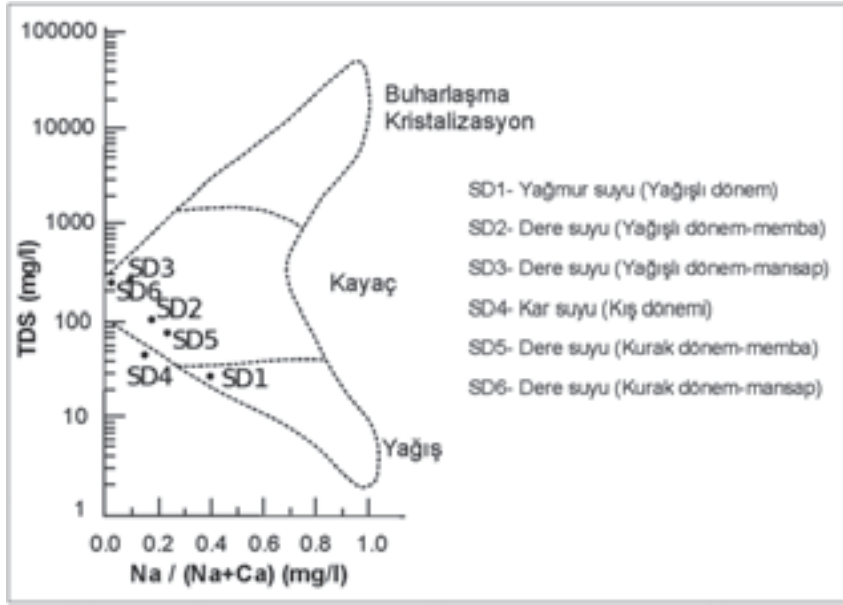
Şekil 4. Yağış ve dere suyu örneklerinin Piper diyagramı.

Figure 4. Piper diagram of the rainfall and the stream water samples.

Piper diyagramına (Piper, 1944) göre SD1 ve SD4 nolu yağış örnekleri ile SD2, SD3, SD5 ve SD6 nolu dere suyu örneklerinin su tipi Ca-HCO_3 'tür.

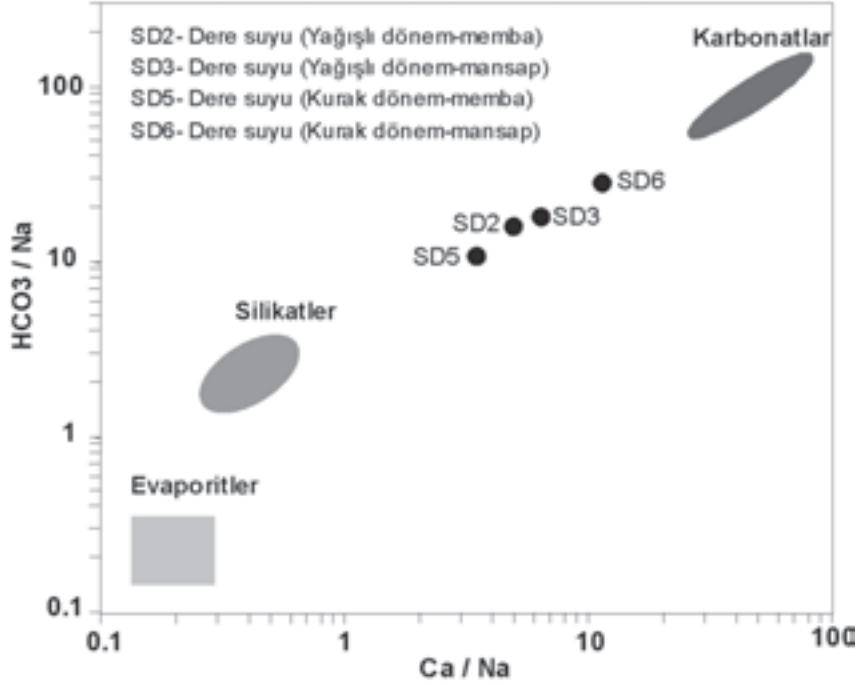
Yağış ve dere suyu örneklerinin TDS (toplam çözünmüş katı madde) (mg/l) ve $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Ca})$ (mg/l) değerlerine göre Gibbs

(1970) diyagramındaki konumları Şekil 5'te verilmektedir. Gibbs diyagramına göre Sarma Deresi sularındaki ana iyon zenginleşmesi su-kayaç etkileşimi ile gerçekleşmektedir. Ayrıca, kış ve yaz dönemi dere suyu örneklerinin HCO_3/Na ile Ca/Na diyagramına (Gaillardet vd., 1999) göre (Şekil 6), dere sularına silikatlar ve karbonatlardan iyon geçişi olmaktadır.



Şekil 5. Yağış ve dere suyu örneklerinin Gibbs diyagramı.

Figure 5. Gibbs diagram of the rainfall and the stream water samples.



Şekil 6. Dere suyu örneklerinin HCO_3/Na ve Ca/Na diyagramındaki konumu.

Figure 6. Position of the stream water in HCO_3/Na and Ca/Na diagram.

YAĞIŞ VE SARMA DERESİ SULARININ AĞIR METAL İÇERİĞİ

Yağış (yağmur, kar) ve dere sularının yağışlı dönem (Aralık 2012), kış mevsimi (Şubat 2013) ve kurak dönem (Haziran 2013) örneklerindeki ağır metal ve bazı element içeriklerini belirlemek için yaptırılan Al, Fe, As, Ag, Hg, Co, Cd, Cr, Pb, Ni, Ti, Ba, Mn, Zn, Cu, Se, Sb, B ve U elementlerine ait analiz sonuçları Çizelge 7’de verilmektedir.

dere sularındaki Al, Ba, B, Fe, Mn ve Zn gibi elementler 10 ppb ve üzeri konsantrasyona sahiptir. Yağış sularının toplam ağır metal içeriği, dere sularına göre oldukça düşüktür. Yeraltı suyu girdisine ek olarak Sarma Deresi’nin kaynağı olan yağışlar, su kayaç etkileşimi sonrasında bazı ağır metal ve elementlerce zenginleşmiştir. Sonbahar mevsiminin yağışlı dönemine ait yağmur suyu (SD1) ve dere suyu (SD2) örneklerine ait analiz sonuçları karşılaştırıldığında, Al, Sb,

Çizelge 7. Sarma Dere suyu ve yağış örneklerinin bazı element analiz sonuçları (ppb), standart sapma ve ortalama değerleri.
Table 7. Mean values, standard deviation and some element analysis results (ppb) of the Sarma Stream water and rainfall samples.

	SD1 Yağmur Suyu	SD2 Dere Suyu (memba)	SD3 Dere Suyu (mansap)	SD4 Kar suyu	SD5 Dere Suyu (memba)	SD6 Dere Suyu (mansap)	Ortalama (Dere suları için)	Standart Sapma (Dere suları için)
Al	56.9	27.8	85.5	254	105	227	111.3	72.6
Sb	0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0
As	0.3	0.8	0.4	0.2	0.79	0.56	0.64	0.16
Ba	7.1	21.6	84.5	45.5	19.6	68	48.4	32.8
B	<10	11	21	<10	11	18	15.3	5.05
Cd	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0
Cr	1.66	0.9	1	1.59	0.77	1.16	0.96	0.16
Co	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	0.12	0.26	0.16	0.08
Cu	2.38	1.39	1.93	8.3	2.72	1.55	1.89	0.59
Fe	87	45	117	88	147	301	152.5	107.9
Pb	1	0.4	0.3	1.5	0.77	0.97	0.61	0.31
Mn	4.86	3.95	55.8	9.59	11.8	26.2	24.4	22.8
Hg	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0
Ni	0.9	<0.5	0.8	1.4	1.34	1.35	1.16	0.46
Se	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	0
Si	254	5650	3710	465	6060	4700	5030	1048.3
Ag	0.024	0.010	0.010	0.013	0.23	0.064	0.08	0.1
Ti	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	0
U	<0.010	<0.028	0.25	0.15	<0.03	0.2	0.13	0.11
V	<1	<1	<1	<1	<1	1.1	1.03	0.1
Zn	15.7	<3	3.1	45	6.2	4.3	3.9	1.8

Analiz sonuçlarına göre, kar suyu yağmur suyuna göre Al, Ba, Cu, Pb, Mn, Ni, Si, U ve Zn gibi elementlerce zengindir. Yağış ve

Ag, Cr, Fe, Pb ve Zn gibi elementlerin yağmur suyunda daha fazla miktarda bulunuyor olması düşündürücüdür. Sarma Deresi’nin Karadeniz’e

dökülmeden önceki lokasyonundan alınan SD3 nolu dere suyu örneği ise, SD2 nolu dere suyu örneğine göre Al, Ba, B, Mn, U ve Fe elementlerince daha zengindir.

SARIYAYLA BARAJ SUYUNUN İÇİLEBİLİRLİĞİ VE SU KALİTESİ

İnşaa halindeki Sarıayla Barajı tamamlandığında, barajda birikecek olan ham su, Akçakoca İlçesinde içme ve kullanma suyu olarak tüketilecektir. Bu nedenle, Sarma Deresi suyunun içilebilirliğini değerlendirebilmek için Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011), ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA, 2009), İnsanı Tüketim Amaçlı Sular hakkında Yönetmelik (RG 25730, 2005) ve Avrupa Birliği (EU, 1998)'nin içme suyu gösterge limit değerlerini dikkate almak gerekir. Değerlendirme sonucunda, kar suyunda Al iyonu bakımından gösterge limit değerinin (0.2 mg/l) aşıldığı görülmektedir. Söz konusu Al elementi içeriği, kurak döneme ait (SD6 nolu mansap lokasyonu) dere suyu örneğinde de belirlenmiştir. Bu veri, Sarıayla Barajı'nda su tutulmaya başlandığında, baraj suyunun Al elementince zenginleşebileceğinden de işaretir. Aynı zamanda, SD6 nolu dere suyu örneğinde Fe elementi bakımından da 0.3 mg/l olan gösterge limit değeri aşılmaktadır. Yağışlı döneme ait (SD3 nolu mansap lokasyonu) dere su örneğinde ise Mn iyonunca da gösterge limit değeri aşılmaktadır.

Sarma Deresi'nin su kalitesini tespit etmek için ise yağmur, kar ve dere sularının element ve iyon içerikleri, Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (YSKY, 2015) limit değerleri ile karşılaştırılmıştır. Böylelikle, Sarma Deresi'nden kurak dönemde alınan (SD6 nolu mansap lokasyonuna ait) dere suyunun su kalite

sınıfı, NH_4 , NO_3 ve Fe iyonları bakımından 2 (az kirlenmiş su) olarak belirlenmiştir.

SONUÇLAR

Sarma Deresi havzasına düşen yağışlar ile Sarma Deresi sularının su tipi Ca-HCO₃'tür. Yağmur, kar ve dere sularındaki katyonların (mek/l miktarlarına göre) sıralanmaları benzerdir. Aynı benzerlik, anyonlarının sıralanımında görülmemektedir. Çünkü, kar suyu Cl iyonunca daha zengindir.

Sarma Deresi havzasında görülen asit yağışların, Sarma Deresi suyunun Fe, Al ve Mn gibi elementlerce daha da zenginleşmesine etkisi vardır. Kumtaşının (SD12WR) ayrışma ürünü toprak (SD7S) örneği ile arduvazın (SD6WR) ayrışma ürünü toprak (SD9S) örneğindeki ana ve iz element içeriklerinin kayaç örneklerine göre düşük olmasında su-kayaç etkileşimi etken olmuştur. Su havzasında gerçekleşen yağışın asidik karakterli olması toprak örneklerindeki elementlerin yüzey ve yeraltı suyuna geçişini kolaylaştırmıştır.

Sarma Deresi çamuru örnekleri kuvars, plajiyoklas ve kil minerallerinden oluşur. Dere çamuru ve askıda katı madde örneklerindeki ortak kil minerali, illit ve montmorillonittir. Bu minerallere, memba lokasyonu çamur örneğinde (SD11CM) klorit, mansap lokasyonu çamur örneğinde (SD21CM) ise kaolinit minerali eklenmektedir. SD11CM nolu dere çamuru ve SD11AK nolu askıda katı madde örneklerinin kimyasal ayrışma indeksi (CIA) değerleri, Sarma Deresi havzasında orta derecede kimyasal ayrışmanın hüküm sürdüğünü göstermektedir. Askıda katı madde örneğinin (SD11AK), Sarma Deresi çamur örneğine (SD11CM) göre Al₂O₃,

TiO₂ ve Zn elementlerince daha zengin olmasında kil minerallerinin adsorbe özelliği etkindir.

Yağmur, kar ve dere suyu örneklerinde bulunan Al, Ba, B, Fe, Mn ve Zn gibi elementler 10 ppb ve üzeri konsantrasyona sahiptir. Bölgedeki topoğrafik yükseltinin ve yüksek eğimin, su kayaç etkileşiminin uzun süreli olmasını engellediği için, su kalitesine olumlu yönde etkisi söz konusudur.

Sarma Deresi ham suyunun insan sağlığına olası etkisi, Dünya Sağlık Örgütü, ABD Çevre Koruma Ajansı, İnsanı Tüketim Amaçlı Sular ve Avrupa Birliği içme suyu gösterge limit değerlerine göre değerlendirildiğinde, kar suyunda Al elementi bakımından gösterge limit değerin aşıldığı, Zn elementi bakımından ise limit değere çok yaklaşıldığı görülmektedir. Bu zengin Al elementi içeriği, kurak döneme ait dere suyu örneğinin su kimyasına da yansımaktadır. Bu durum, Sarıayla Barajı'nda su tutulmaya başladığında baraj suyunun Al elementince de zengin olacağını göstermektedir. Bu nedenle, Sarıayla Barajı ham suyunda iyileştirme ve arıtma işlemlerine gereksinim olabilir. Öte yandan, Sarma Deresi'nin mansap lokasyonu için yağışlı döneme ait dere suyunda (SD3) Mn elementince, kurak döneme ait dere suyunda (SD6) ise Fe elementince de gösterge limit değerler aşılmaktadır. Yağmur suyunun (SD1) NH₄ iyonu ve dere suyunun (SD6) ise NO₃ iyonu bakımından su kalitesi 2 olarak belirlenmiştir. Bu veriler, Al, Zn ve Fe iyonlarının dere sularında zenginleşmesinde su kayaç etkileşiminin etken olduğunu, NO₃ iyonu zenginleşmesine ise yağmur suyu ve tarımsal üretimin etken olduğunu düşündürmektedir.

Sarma Deresi havzasında m²'ye bol yağış bırakan ve kısa süreli olan (20-40 dk süren) asidik

yağışların gerçekleştiği dönemlerde, Sarma Deresi suyu, Fe, Al, Zn ve Mn gibi ağır metal ve bazı elementlerce zenginleşmektedir (Pehlivan ve Emre, 2016). Söz konusu ağır metallerin veya benzerlerinin insan sağlığına olası olumsuz etkilerinin önlen(ebil)mesi için, Türkiye'nin kuzeyinde, batıdan - doğuya doğru Kırklareli ile Artvin arasındaki bölgede, Devlet Su İşleri (DSİ) ve/veya Belediyeler tarafından halkın içme suyu ihtiyacı için kullanılan Sakarya, Zonguldak, Kastamonu, Sinop, Samsun, Ordu, Ünye, Trabzon, Rize ve Artvin illerindeki göl, gölet ve içme suyu barajlarına ait su havzalarına sağanak türde düşen yağışlara dikkat edilmelidir. Söz konusu havzalardaki baraj veya göletlerde bu tür yağışlar ile biriken su, tüketim amacıyla yerleşim birimlerine verilmeden önce, ham suların fiziksel iyileştirmeden ziyade, arıtılmasını gerektirebilir.

KATKI BELİRTME

Bu araştırma, İstanbul Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir. Proje No : 24781. Yazar, makaleyi inceleyen ve bilimsel gelişimine katkı koyan hakemlere içtenlikle teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- Alp, K., Yazgan, M. S., Cıtil, E., Toros, H., Reis, B., 2004. Atmospheric deposition and its effects on drinking water resources of Istanbul. International symposium on water resources and environmental impact assessment, DSI, 223-232, Istanbul.
- Basak, B., Alagha, O., 2010. Trace metals solubility in rainwater: evaluation of rainwater quality at a watershed area, Istanbul. Environmental Monitoring and Assessment, 167, 493-503.

- Charlson, R. J., Rodhe, H., 1982. Factors Controlling the Acidity of Natural Rainwater. *Nature*, 95, 683-685.
- Carlson, C.L., Haines, B.L., 1989. *Acidic Precipitation. "Biological and Ecological Effects"*. Springer-Verlag New York Incorporation, 2, 1-50.
- Chesworth, W., Dejoux, J., Larroque, P., 1981. The weathering of basalts and relative mobilities of the major elements at Belbex. *France Geochimica et Cosmochimica Acta*, 45, 1235-1243.
- EPA (United States Environmental Protection Agency), 2009. National Primary Drinking Water Regulations. Office of Water, EPA 816-F-09-004, 6p., USA (<http://www.epa.gov/safewater/contaminants/index.html>).
- European Union, 1998. Council Directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption. *Official Journal*, 330, 32-54.
- Gaillardet, J., Dupre, B., Allegre, C. J., 1999. Geochemistry of large river suspended sediments: Silicate weathering or recycling tracer? *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 63 (23/24), 4037-4051.
- Gibbs, R. J., 1970. Mechanisms controlling world water chemistry. *Science*, 170, 1088- 1090.
- Gorham, E., 1976. Acid precipitation and its influence. Upon aquatic ecosystems-an overview. *Water, air, and soil pollution*, 6, 457-481.
- Hettelingh, J. P., Hordijk, L., 1986. Environmental conflicts: The case of Acid Rain in Europe. *The Annals of Regional Science*, 20 (3), 38-52.
- Im, U., Christodoulaki, S., Violaki, K., Zarmpas, P., Kocak, M., Daskalakis, N., Mihalopoulos, N., Kanakidou, M., 2013. Atmospheric deposition of nitrogen and sulfur over southern Europe with focus on the Mediterranean and the Black Sea. *Atmospheric Environment*, 81, 660-670.
- İlhan, A. I., Öz, N., Dündar, C., Kenet, F., Balta, T., 2006. Asit Yağmurları ve Hava Kirliliği Değerlendirme Raporu. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Teknik Rapor, <http://www.mgm.gov.tr/FILES/arastirma/AsitYagmurlariDegerlendirmeRaporu.pdf>, 361 s.
- Keskin, T. E., 2010. Nitrate and heavy metal pollution resulting from agricultural activity: a case study from Eskipazar (Karabuk, Turkey). *Environmental Earth Sciences*, 61, 703-721.
- Kumar, A., Kaur, I., Mathur, R. P., 1998. Water Quality and Metal Enrichment in Bed Sediments of the Rivers Kali and Hindon India. *Environmental Geochemistry and Health*, 20, 53-60.
- Lajtha, K., Jones, J., 2013. Trends in cation, nitrogen, sulfate and hydrogen ion concentrations in precipitation in the United States and Europe from 1978 to 2010: a new look at an old problem. *Biogeochemistry*, 116, 303-334.
- Lee, S. Y., Kim, S. J., Baik, M. H., 2009. Chemical weathering of granite under acid rainfall environment, Korea. *Environmental Geology*, 55, 853-862.
- Menz, F. C., Seip, H. M., 2004. Acid rain in Europe and the United States: an update. *Environmental Science and Policy*, 7, 253-265.
- MGM (Meteoroloji Genel Müdürlüğü), 2013. 1970 – 2013 yılları yağış değerleri, Türkiye Yağışları, <http://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/yillik-toplam-yagis-verileri.aspx#sfU>, 41 s.
- MGM (Meteoroloji Genel Müdürlüğü), 2014. 2004 – 2014 yılları yağış ve sıcaklık değerleri, Akçakoca Meteoroloji İstasyonu, <http://www.mgm.gov.tr/tahmin/il-ve-ilceler.aspx?m=AKCAKOCA>, 1 s.,
- Nesbitt, H. W., 1979. Mobility and fraction of rare earth elements during weathering of a granodiorite. *Science*, 279, 206-210.
- Nesbitt, H. W., Young, G. M., 1982. Early proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, 299, 715-717.
- Pehlivan, S., Bilginer, E., Aksay, A., 2002. 1/100000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları No: 33, Adapazarı G26 Paftası, MTA Jeoloji Etütleri Dairesi, 28 s.
- Pehlivan, R., Emre, H., 2016. Potability and hydrogeochemistry of the sarma stream water, düzce, Turkey. *Water Resources (In Press, Accepted Manuscript)*, 17.

- Piper, A. M., 1944. A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analyses. American Geophysical Union, 25, 914-923.
- Piper, D. Z., Ludington, S., Duval, J. S., Taylor, H. E., 2006. Geochemistry of Bed and Suspended Sediment in the Mississippi River System, Provenance Versus Weathering and winnowing. Science of the Total Environment, 362, 179-204.
- Price, J. R., Velbel, M. A., 2003. Chemical weathering indices applied to weathering profiles developed on heterogeneous felsic metamorphic parent rocks. Chemical Geology, 202, 397– 416.
- RG 25730, 2005. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik, Sağlık Bakanlığı, Resmi Gazete, 27 s.
- Schoeller, H., 1962. Les eaux souterraines, Hydrologie dynamique et chimique, Recherche, Exploitation et Évaluation des Ressources. Masson et cie, Paris, Vol 1, 642 p.
- Stallard, R. F., 1988. Weathering and erosion in the humid tropics, in: Lerman a, meybeck m, eds, physical and chemical weathering in geochemical cycles, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 225-246.
- Sun, L., Wang, Y., Yue, T., Yang, X., Xue, L., Wang, W., 2015. Evaluation of the behavior of clouds in a region of severe acid rain pollution in southern China: species, complexes, and variations. Environmental Science and Pollution Research, 22, 14280–14290.
- Taylor, S. R., McLennan, S. M., 1995. The Geochemical Evolution of the Continental Crust. Reviews in Geophysics, 33, 241-265.
- Toros, H., Şen, O., Saylan, L., 1997. İstanbul'da asit yağışları ve çevreye etkileri. Meteorolojik Karakterli Doğal Afetler Sempozyumu, TMMOB, 79-89.
- Toros, 2000. İstanbul'da asit yağışları, kaynakları ve etkileri. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Doktora Tezi, 97 s (yayımlanmamış).
- Tuncel, G., Balkas, T., Arami, M., Ataman, Y., Ölmez, I., Tuncel, S., Hacisalihoğlu, G., Eliyakut, F., Anwari, M., Herman, D. 1991. Karadeniz Atmosferinde Eser Element Taşınımı, TUBITAK, DEBCAG 48 : 1-153.
- WHO, 2011. Guidelines for Drinking-Water Quality. Fourth Edition, World Health Organization, Geneva, Switzerland, 541 p.
- YSKY, 2015. Yüzeysel su kalitesi yönetimi yönetmeliğinde değişiklik yapılmasına dair yönetmelik, Resmî Gazete, Sayı : 29327, 9 s.
- Zhou, Y., Wang, Y., Li, Y., Zwahlen, F., Boillat, J., 2013. Hydrogeochemical characteristics of central Jiangnan Plain, China. Environmental Earth Sciences, 68, 765 -778.

YAYIN AMAÇLARI VE KURALLARI, YAYINA KABUL İLKELERİ

AMAÇ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ

• İnsan ile Yerküre arasındaki etkileşimlere ilişkin bilgi ve deneyimleri doğal çevreyi de gözleterek daha güvenli ve rahat bir yaşam ortamı sağlamak amacı ile insanlığın hizmetine sunmayı hedefleyen Jeoloji Mühendisliği mesleğinin, günlük yaşamdaki yerini ve önemini daha etkin bir şekilde yansıtmak,

• Bu alanda ulusal ve uluslararası gelişmeleri Jeoloji Mühendisleri'nin bilgisine sunmak,

• Konu ile doğrudan veya dolaylı etkinliklerde bulunan biliminsanları, araştırmacılar, mühendisler ve diğer uygulayıcılar arasındaki bilgi ve deneyim paylaşımını güçlendirecek ve hızlandıracak, kolay erişilebilen, geniş katılımlı bir tartışma ortamı sağlamak ve bunları yayma olanağı yaratmak,

• Türkiye'nin toplumsal ve ekonomik kalkınmasını yakından ilgilendiren jeolojiye ilişkin sorunların daha etkin bir şekilde çözüme kavuşturulması açısından büyük önem taşıyan kurumlararası işbirliğinin başlatılmasına ve geliştirilmesine katkıda bulunmak,

• Türkçe'nin Jeoloji Mühendisliği alanında bilim dili olarak geliştirilmesini ve yabancı sözcüklerden arındırılmasını özendirmek amaçlarına sahiptir.

KAPSAM VE NİTELİK

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ, ulusal ve uluslararası platformlarda, yerbilimlerinin uygulamaya yönelik alanlarında çalışmalar yapan herkesin katkısına açıktır. Bu çerçevede;

- İnsanların yaşamını etkileyen jeolojik süreçler ile mühendislik yapıları ve bunlara ilişkin sorunlar ve çözümler
- Jeolojik kaynakların yönetimi ve ekonomik açıdan değerlendirilmesi
- Doğal ve yapay kirleticiler ve ekosisteme etkileri
- Jeolojik anıtların korunması
- Jeolojik sorunların çözümüne katkıda bulunan arazi ve laboratuvar yöntemlerinin ve tekniklerinin geliştirilmesi

ile ilgili kuramsal ve uygulamalı çalışmaları kapsayan ürünler, Yayın Kurulu'nun değerlendirmesinden geçtikten sonra Jeoloji Mühendisliği Dergisi'nde yayımlanır.

Jeolojinin uygulama alanlarına ilişkin her türlü çalışma Jeoloji Mühendisliği Dergisi'nin yayın amaçlarına uygundur. Bununla birlikte, çalışmaya konu olan sorunun kullanılan teknik ne olursa olsun, bilimsel yöntemlerle ele alınması ve jeolojinin uygulama alanlarına ilişkin olması aranan temel nitelikler arasındadır. Çalışmanın daha önce Türkçe yayımlanmamış olması gerekmektedir. Jeoloji Mühendisliği Dergisi'nde, yeni yapıyla beş tür yazı yayımlanacaktır:

1- ELEŞTİREL İNCELEME (Review Paper): Editörün daveti üzerine veya bilgisi dahilinde hazırlanan, Jeoloji Mühendisliği'nin herhangi bir alanında halen kullanılmakta olan teknik, yöntem ve yaklaşımları günümüz teknolojik gelişmeleri ve kendi deneyimleri ışığında inceleyen, bu açıdan öneriler geliştiren yazıdır. Yazı uzunluğu konuya bağlı olarak değişebilir. Yayın Kurulu incelemesi zorunluluğu yoktur.

2- ARAŞTIRMA MAKALESİ (Research Article): Özgün bir çalışmanın sunulduğu yazıdır. Kuramsal temel, yeterli miktar ve nitelikte veriye dayalı bulgu ve sonuçların ayrıntılıyla

değerlendirildiği bölümleri içermelidir. Yazının toplam uzunluğu 6000 sözcük eşdeğerini (10 JMD sayfası) aşmamalıdır. En az iki Yayın Kurulu üyesi tarafından incelendikten sonra yayımlanır.

3- TEKNİK NOT (Technical Note): Herhangi bir süreci veya tekniği, kuramsal temel, yeterli veri ve ayrıntılı değerlendirmeye dayanmadan sunan ve amacı, bu süreci veya teknikleri kullanabilecek yerbilimcilere duyurmak olan özgün yazıdır. Yazının uzunluğu 5000 sözcük eşdeğerini (5 JMD sayfası) aşmamalıdır. En az iki Yayın Kurulu üyesi tarafından incelendikten sonra yayımlanır.

4- ARAŞTIRMA NOTU (Research Note): Henüz tamamlanmamış, eksik veri ve bulgularla yüzeysel değerlendirmelere dayalı, kendi içinde tutarlı, özgün, deneysel, uygulamalı veya kuramsal araştırmaların ön sonuçlarının veya bulgularının sunulduğu yazıdır. Amaç, okuyucuya güncel bir konuya ilişkin bir çalışmanın ön bulgu ve sonuçlarını duyurarak konu üzerinde tartışma ortamı yaratmak, konunun gelişmesine diğer araştırmacıların katkılarını sağlamaktır. Yazı uzunluğu 5000 sözcük eşdeğerini (5 JMD sayfası) aşmamalıdır. En az iki Yayın Kurulu üyesi tarafından incelendikten sonra yayımlanır.

5- GÖRÜŞ-YORUM ve YANITLAR (View, Comment and Reply): Dergide yayımlanan yazılar hakkında her türlü görüş, yorum ve bunlara ilişkin yanıtları içerir. Editörün uygun gördüğü uzunlukta yayımlanır.

YAZILARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE YAYINA KABUL İLKELERİ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ Editörlüğü'ne 2 satır aralığında 12 punto harflerle yazılmış ve 1 nüsha halinde *.doc veya *.docx formatında hazırlanarak e-posta ile gönderilen yazılar, öncelikle içerik, sunum, yayım kuralları, vd. yönlerden Editörlük tarafından incelenir ve daha sonra değerlendirilmek üzere en az iki Yayın Kurulu üyesine ve/veya Kurul dışından seçilecek uzmanlara gönderilir. Yayın Kurulu üyelerinden gelecek görüşler doğrultusunda yazının doğrudan, az veya önemli ölçüde düzeltilmesi koşuluyla yayımlanmasına veya reddine Editörce karar verilir ve sonuç yazarlara bildirilir.

Yayın Kurulu üyelerinin birbiriyle çelişen görüş bildirmeleri durumunda, Editör'ün bir karara varabilmesi için yazı, üçüncü bir Yayın Kurulu üyesine veya yazı konusundaki uzmana gönderilir. Yayın Kurulu üyeleri gerekli görürlerse yazıları düzeltilmiş haliyle tekrar görüp değerlendirebilirler.

Yazarlar, Yayın Kurulu üyelerinin ve Editör'ün yaptığı eleştiri, öneri ve düzeltmeler arasında katılmadıkları hususlar olduğunda bunları ayrı bir sayfada gerekçeleriyle birlikte açıklamalıdır.

Gönderilen yazılar, JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ'nde yayımlansın veya yayımlanmasın yazarlara iade edilmez.

YAZIM DİLİ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ'nde yayın dili olarak "Türkçe" ve "İngilizce" kullanılmaktadır. Derginin oldukça geniş bir yurt dışı aboneliği ve sürümü olduğu için, Türkçe makalelerin, kabulden sonra "Genişletilmiş bir İngilizce Özeti'nin yazılması gerekmektedir. Dergide; ayrıca yazıların başlıkları, özetleri ve tüm çizelgeler ile şekillerin açıklamaları Türkçe ve İngilizce olarak iki dilde birlikte verilmelidir.

YAZIM KURALLARI

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ'nde yayımlanması kabul edilen yazıların basım öncesi dizgi işlemleri Editörlükçe yazarlara gönderilecek olan "**Makale Yazım Formatı**"na göre yazarlar tarafından yapılır. Zaman tasarrufu, ekonomiklik ve yazıların son şeklinin yazarlar tarafından da kontrolünü sağlamak açısından tercih edilen bu yöntemde, yazarlar yazılarını baskıya girecek şekilde bilgisayarda formata uygun bir şekilde dize ederler ve bırakılan boşluklara da şekil ve çizelgeleri yerleştirerek (camera-ready uygulamasına benzer şekilde) basım aşamasına getirerek Editörlüğe gönderirler.

Metin Bölümü

- 1- **Metin:** A4 boyutunda (29,7 x 21 cm) kağıtların üzerine bilgisayarda, 1,5 satır aralıkla, 10 punto ve Times New Roman yazı karakteri ile yazılmalıdır. Sayfa kenarlarında 3'er cm boşluk bırakılmalı ve sayfalar numaralandırılmalıdır.
- 2- **Başlık:** konuyu en iyi şekilde belirtecek ve 12 kelimeyi geçmeyecek şekilde kısa seçilmeli ve Türkçe başlığın (tamamı büyük harflerle ve koyu yazılmış) yanısıra, İngilizcesi (İtalik ve normal büyük harflerle) de yazılmalıdır. Eğer yazı İngilizce yazılmış ise, önce İngilizce sonra Türkçe başlık verilmelidir.
- 3- **Öz:** yazının başlangıcında 200 kelimeyi geçmeyecek şekilde hazırlanmış Öz/Abstract (Türkçe ve İngilizce) bulunmalıdır. Bu bölüm, yayının diğer bölümlerinden ayrı olarak yayımlanabilecek düzende yazılmış, yazının tümünü en kısa, ancak öz biçimde yansıtır nitelikte (özellikle çalışmanın amacını ve sonuçlarını yansıtarak) olmalıdır. Yazı Türkçe yazılmışsa Abstract'ın, İngilizce yazılmışsa Öz'ün başlığı ve metin kısmı italik karakterle yazılmalıdır. Ayrıca, Öz ve Abstract bölümlerinin altında bir satır boşluk bırakılarak **Anahtar Kelimeler ve Key Words** (en az 2, en çok 6 kelime alfabetik sıraya göre) verilmelidir. Eğer yazı İngilizce hazırlanmış ise, önce Abstract sonra Öz 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 büyük harflerle, adresler normal italik karakterlerle)
 - c) Öz (anahtar kelimeler eklenerek)
 - d) Abstract (key words eklenerek)
 - e) Giriş (amaç, kapsam, çalışma yöntemleri, vd.)
 - f) Metin bölümü (yöntemler, çalışılan malzeme, saha tanımlamaları, vd.)
 - g) Tartışmalar
 - h) Sonuçlar ve Öneriler
 - i) Katkı belirtme (gerekliyse)
 - j) Kaynaklar
- 5- Metin içinde ana bölüm başlıkları dışında en fazla üç alt başlık oluşturulmalı ve başlıklara numara verilmemelidir. Bunların yazım şekli aşağıdaki gibi olmalıdır:

ÖZ

ABSTRACT

GİRİŞ

ANA BAŞLIK

Birinci Derece Alt Başlık

İkinci derece alt başlık

Üçüncü derece alt başlık

TARTIŞMALAR

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

KATKI BELİRTME

KAYNAKLAR

- 6- Metrik sistem veya SI birimleri (kPa, kN/m³ vb.) kullanılmalıdır.
- 7- Gerek metin içinde ve çizelgelerde, gerekse şekillerde rakamların ondalık bölümlerinin ayrılması için nokta kullanılmalıdır (3.1 gibi).

Kaynaklar

- a) Metin içinde kaynaklara değinme yapılırken aşağıdaki örneklerde olduğu gibi, bibliyografya araştırmacı soyadı ve tarih sırasıyla verilir.
....Ford (1986) tarafından....
....bazı araştırmacılar (Williams, 1987; Gunn, 1990; Saraç ve Tarcan, 1995)

- b) Birden fazla sayıda yazarlı yayınlara metin içinde değinirken ilk soyadı belirtilmeli, diğer yazarlar için vd. İbaresini kullanılmamalıdır.
....Doyuran vd. (1995)....
....Smart vd.(1971)....
- c) Ulaşılamayan bir yayına metin içinde değinme yapılırken bu kaynakla birlikte alıntının yapıldığı kaynak da aşağıdaki şekilde belirtilmelidir. Ancak Kaynaklar Dizisinde sadece alıntının yapıldığı kaynak belirtilmelidir.
....Dreybrodt(1981; Schuster and White, 1971)....
- d) Kişisel görüşmelere metin içinde soyadı ve tarih belirtilerek değinilmeli, ayrıca "Kaynaklar Dizini"nde de yer verilmelidir. (Soyadı, Adı, Tarih. Kişisel görüşme. Görüşülen kişinin/kişilerin adres(ler)i)
- e) Kaynaklar, yazar soyadları esas alınarak alfabetik sırayla verilmeli ve metin içinde değinilen tüm kaynaklar, "Kaynaklar Dizini"nde eksiksiz olarak belirtilmelidir. Kaynakların yazılmasında aşağıdaki örneklerde belirtilen düzen esas alınmalıdır:

Sürelî yayınlar ve bildiriler

Yarbaşı, N., Kalkan, E., 2009. Geotechnical mapping for alluvial fan deposits controlled by active faults: a case study in the Erzurum, NE Turkey. Environmental Geology, 58 (4), 701-714.

[Yazar ad(lar)ı, Tarih. Makalenin Başlığı. Sürelî Yayımların Adı (kısaltılmamış), Cilt No. (Sayı No.), Sayfa No.]

Altındağ, R., Şengün, N., Güney, A., Mutlutürk, M., Karagüzel, R., Onargan, T., 2006. The integrity loss of physicommechanical properties of building stones when subjected to recurrent cycles of freeze-thaw (F-T) process. Fracture and Failure of Natural Building Stones-Applications in the Restoration of Ancient Monuments (Editors: Stavros and Kourkoulis), 363-372.

[Yazar ad(lar)ı, Tarih. Bildirinin Başlığı. Sempozyum veya Kongrenin Adı, Editörler, Basımevi, Cilt No. (birden fazla ciltten oluşuyorsa), Düzenlendiği Yerin Adı, Sayfa No.]

Kitaplar

Palmer, C.M., 1996. Principles of Contaminant Hydrogeology (2nd Edition). Lewis Publishers, New York, 235 p.

Ketin, İ., Camtez, N., 1972. Yapısal Jeoloji. İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu, Sayı:869,520 s.

[Yazar ad(lar)ı, Tarih. Kitabın Adı (ilk harfleri büyük). Yayımevi, Basıldığı Şehrin Adı, Sayfa Sayısı.]

Raporlar ve Tezler

Demirok, Y., 1978. Muğla-Yatağan linyit sahaları jeoloji ve rezerv ön raporu. MTA Derleme No:6234, 17 s (yayımlanmamış).

Akın, M., 2008. Eskipazar (Karabük) travertenlerinin bozunmasının araştırılması. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Doktora Tezi, 263 s (yayımlanmamış).

[Yazar ad(lar)ı, Tarih. Raporun veya Tezin Başlığı. Kuruluşun veya Üniversitenin Adı, Arşiv No. (varsa), Sayfa Sayısı (yayımlanıp, yayımlanmadığı)]

NOT: Tüm kaynaklarda ilk satırdan sonraki satırlar 0.7 cm içeriden başlanarak yazılmalıdır.

Eşitlikler ve Formüller

- a) Eşitlikler elle yazılmamalı ve bilgisayardan yararlanılmamalıdır. 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.
- c) Eşitliklerde kullanılacak alt ve üst indisler belirgin şekilde ve daha küçük karakterlerle yazılmalıdır (I_a , x^2 gibi).
- d) Eşitliklerdeki sembollerin açıklamaları eşitliğin hemen altındaki ilk paragrafta verilmelidir.
- e) Karekök işareti yerine parantezle birlikte üst indis olarak 0.5 kullanılmalıdır ($\sigma_{\text{cross}} = \sigma_c^{0.5}$ gibi).

- f) Bölme işareti olarak yatay çizgi yerine "/" simgesi kullanılmalıdır. Çarpma işareti olarak genellikle herhangi bir işaret kullanılmamalı, ancak zorunlu hallerde "*" işareti tercih edilmektedir ($y=5 * 10^{-3}$ gibi).
- g) Kimyasal formüllerde iyonların gösterilmesi amacıyla Ca^{++} veya CO^{-} gibi ifadeler yerine Ca^{2+} ve CO_3^{2-} kullanılmalıdır.
- h) İzotop numaraları, "¹⁸O" şeklinde verilmelidir.

Çizelgeler

- a) Yazarlar, derginin boyutlarını dikkate alarak, çizelgeleri sınırlamalı ve gerekiyorsa metinde kullanılanlara oranla daha küçük karakterlerle yazmalıdır. Bu amaçla çizelgeler tek sütuna (7.5 cm) veya çift sütuna (16 cm) yerleştirilebilecek şekilde hazırlanmalıdır. Tam sayfaya yerleştirilmesi zorunlu olan büyük çizelgelerin en fazla (16 x 21) cm boyutlarında olması gerekir. Bu boyutlardan daha büyük ve katlanacak çizelgeler kabul edilmez.
- b) Çizelgelerin hemen altında gerekli durumlarda açıklayıcı dip notlara veya kısaltmalara ilişkin açıklamalara yer verilmelidir.
- c) Çizelgelerin başlıkları, kısa ve öz olarak seçilmeli, hem Türkçe (normal karakterle ve ilk harfi büyük diğerleri küçük harfle) hem de İngilizce (ilk harfi büyük diğerleri küçük İtalic harflerle) "Çizelgeler Dizini" başlığı altında ayrı bir sayfaya yazılmalıdır. İngilizce olarak hazırlanmış yazılarda önce İngilizce sonra Türkçe çizelge başlığı verilmelidir.
- d) Çizelgelerde kolonsal ayrımı gösteren düşey çizgiler yer almamalı, sadece çizelgenin üst ve alt sınırları ve gerek görülen diğer bölümleri için yatay çizgiler kullanılmalıdır.
- e) Her çizelge, sıralı olarak ayrı bir sayfada olmalı ve çizelge başlıkları çizelgenin üzerine yazılmalıdır.

Şekiller (Çizim, fotoğraf ve levhalar)

- a) Şekiller, uygun bir bilgisayar yazılımı kullanılarak hazırlanmalı, değerlendirmeyi kolaylaştıracak biçimde yüksek kalitede, metin sonunda verilmelidir. Ancak bu durum, elektronik dosya boyutunu fazla büyütmemelidir.
- b) 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 İtalic harflerle) ayrı bir sayfada verilmelidir. Yazı İngilizce olarak hazırlanmışsa, şekil altı yazıları önce İngilizce sonra Türkçe verilmelidir.
- c) Her şekil, ayrı bir sayfada yer alacak biçimde sıraya dizilerek "Şekiller Dizini" sayfasıyla birlikte çizelgelerden sonra sunulmalıdır.
- d) Şekiller, ya tek sütuna (7.5 cm), ya da çift sütuna (en fazla 16 cm) yerleştirilebilecek boyutta hazırlanmalıdır. Tam sayfaya yerleştirilmesi zorunluluğu olan büyük şekillerin, şekil altı açıklamalarına da yer kalacak biçimde, en fazla (16 x 21 cm) boyutlarında olması gerekir. Belirtilen bu boyutlardan daha büyük ve katlanacak boyuttaki şekiller kabul edilmez.
- e) Harita, kesit ve planlarda sayısal ölçek yerine çubuk (bar) türü ölçek kullanılmalıdır.
- f) Şekiller yukarıda belirtilen boyutlarda hazırlanırken, şekil üzerindeki açıklamaların (karakterlerin) okunabilir boyutlarda olmasına özen gösterilmelidir.
- g) Fotoğraflar, şekiller için yukarıda belirtilen boyutlarda basılmış olmalıdır. Fotoğrafların üzerinde gösterilecek olan simgeler okunaklı olmalıdır. Özellikle koyu tonların egemen olduğu bölgelerde simgelerin beyaz renk ile gösterilmesi tavsiye edilir. Yaygın olarak kullanılan uluslararası simgelerin kullanılmasına özen gösterilmelidir.

Ek Açıklamalar ve Dipnotlar

- a) Ana metnin içine alındığında okuyucunun dikkatinin dağılmasına yol açabilecek, hatırlatma niteliğindeki bilgiler, yazının sonundaki "Ek Açıklamalar" başlığı altına konulabilir (İstatistik bilgilerin verilmesinde, formüllerin çıkarımının gösterilmesinde, bilgisayar programlarının verilmesinde, vb. konularda bu yol izlenebilir).
- b) Dipnotlar, yerleştirme ve yazılma açısından güçlükler neden olduğundan, çok gerekli durumlar dışında kullanılmamalıdır. Eğer dipnot kullanılırsa, yıldız (*) işareti ile gösterilmeli ve mümkün olduğunca kısa tutulmalıdır. Dipnotta eğer değinme yapılırsa bibliyografik bilgiler dipnotta değil, "Kaynaklar Dizini"nde verilmelidir.

YAZILARIN GÖNDERİLMESİ

JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ'nin "Yayın Amaçları ve Kuralları, Yayına Kabul İlkeleri"nde belirtilen ilkelere uygun olarak elektronik ortamda hazırlanmış yazılar, e-posta ile gönderilmelidir.

E-posta adresi: topal@metu.edu.tr

JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ EDITÖRLÜĞÜ

TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası

Hatay Sokak No: 21 Kocatepe/Ankara

Tel : (312) 432 30 85 / (312) 434 36 01

Faks : (312) 434 23 88

E-posta : topal@metu.edu.tr

AYRI BASKILAR

Dergide yayımlanması kabul edilen yazıların ayrı baskısından on adet yazarına veya birden fazla yazarlı yazılarda yayım için başvuruyu yapan yazara olanaklar çerçevesinde ücretsiz olarak gönderilir. Ondan fazla ayrı baskı talebinde bulunulması halinde, Jeoloji Mühendisleri Odası Yönetim Kurulu tarafından belirlenen ücret, her ayrı baskı için yazarlar tarafından ödenir.

İçindekiler / Contents

Makaleler / Articles

- 1- **Diñer ÇAĞLAN, Levent TOSUN, Serdar Onur AVCI, Oğuz TURUNÇ, Gökhan KANAAT**
Şamlı (Balıkesir) Demir Madeni Doğu Ocağı Batı Şevlerini Oluşturan Kaya Kütlelerinin Duraylılık Değerlendirmesi
Slope Stability Assessment of Rock Masses in Western Sector of Balıkesir Şamlı Eastern Open Pit Iron Mine
- 27- **Saffet Deniz KARAGÖZ, M. Yalçın KOCA**
Alipaşa Açık Ocak Albit Madeninde Meydana Gelen Heyelanın GPS Kullanılarak İzlenmesi ve Oluşum Nedenleri
Monitoring of the Landslide Occurred in the Alipaşa Open-Pit Albite Mine by Using GPS and the Recognition of Causes of This Phenomenon
- 53- **Ayberk KAYA**
Bir Kaya Şevinin Devrilme Türü Duraysızlık Açısından Kinematik ve Sayısal Analizlerle Değerlendirilmesi (Devgeriş, Samsun)
Assessment of A Rock Slope in Terms of Toppling Failure by Kinematic and Numerical Analyses (Devgeriş, Samsun)
- 69- **Nuray MANNASOĞLU, Murat YILMAZ, Atiye TUĞRUL**
Granitik Agregaların Alkali Silis Reaksiyonu Yönünden Değerlendirilmesi
Evaluation of Alkali-Silica Reactivity of Granitic Aggregates
- 89- **Muhammet Oğuz SÜNNETÇİ, Hakan ERSOY**
Ünye (Ordu) Killerinin Konsolidasyon ve Plastik Özellikleri Arasındaki İlişkilerin Araştırılması
Investigation of the Relationships Between Consolidation and Plastic Properties of the Clays in Ünye (Ordu)
- 103- **Rüstem PEHLİVAN**
Sarma Deresi Havzasındaki Yağışın Ayrışma ve Su Kalitesine Etkisi, Düzce, Türkiye
The Effects of Rainfall on Water Quality and Weathering in the Sarma Stream Basin, Duzce, Turkey