

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ

Journal of Geological Engineering

Cilt - Volume 44
Sayı - Number 1

ISSN 1016 - 9172
Haziran / June 2020



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

Müge AKIN

Abdullah Gül Üniversitesi

Müh. Fak. İnşaat Müh. Bölümü

Sümer Kampüs 38080

Kocasinan /KAYSERİ

E-posta : muge.akin.jmd@gmail.com

Makale Gönderim Adresi:

TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası

PK. 464 Yenişehir, 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 ve İngilizce

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 : Haziran 2020

Baskı Adedi : 500

Yayın Kurulu / Editorial Board

Dr. Mutluhan AKIN (Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi)

Dr. Erhan ALTUNEL (Osman Gazi Üniversitesi)

Dr. Serdar BAYARI (Hacettepe Üniversitesi)

Dr. Zeki ÇAMUR (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)

Dr. Hasan ÇETİN (Çukurova Üniversitesi)

Dr. Mümtaz ÇOLAK (Dokuz Eylül Üniversitesi)

Dr. Özcan DUMANLILAR (Demir Export)

Dr. Nusret EMEKLİ (İller Bankası)

Dr. Murat ERCANOĞLU (Hacettepe Üniversitesi)

Dr. Nazan Yalçın ERİK (Cumhuriyet Üniversitesi)

Dr. Ünsal GEMİCİ (Dokuz Eylül Üniversitesi)

Dr. Candan GÖKÇEOĞLU (Hacettepe Üniversitesi)

Dr. Reyhan Kara GÜLBAY (Karadeniz Teknik Üniversitesi)

Dr. Nilgün GÜLEÇ (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)

Dr. Leyla KALENDER (Fırat Üniversitesi)

Dr. Remzi KARAGÜZEL (İstanbul Teknik Üniversitesi)

Dr. Nurkan KARAHANOĞLU (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)

Dr. Ali KAYABAŞI (Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi)

Dr. Recep KILIÇ (Ankara Üniversitesi)

Dr. Mehmet Yalçın KOCA (Dokuz Eylül Üniversitesi)

Dr. Ayhan KOÇBAY (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü)

Dr. Halil KUMSAR (Pamukkale Üniversitesi)

Dr. Yılmaz MAHMUTOĞLU (İstanbul Teknik Üniversitesi)

Dr. Harun SÖNMEZ (Hacettepe Üniversitesi)

Dr. Mehmet Lütfi SÜZEN (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)

Dr. Gültekin TARCAN (Dokuz Eylül Üniversitesi)

Dr. Atiye TUĞRUL (İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa)

Dr. Dilek TÜZER (Hacettepe Üniversitesi)

Dr. Necdet TÜRK (Dokuz Eylül Üniversitesi)

Dr. Asuman TÜRK MENOĞLU (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)

Dr. Taner ÜNLÜ (Ankara Üniversitesi)

Dr. Hasan YAZICIGİL (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)

Dr. Koray YILMAZ (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)

Dr. Murat YILMAZ (İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa)

Dr. Ali Bahadır YAVUZ (Dokuz Eylül Üniversitesi)

Jeoloji Mühendisliği Dergisi makale ve dizin özleri

SCOPUS, ULAKBİM, GeoREF, Geobase/Geo Abstracts, EBSCO ve Cabell uluslararası indeksleri tarafından taranmaktadır.

Journal of Geological Engineering is indexed and abstracted by

SCOPUS, ULAKBİM, GeoREF, Geobase/Geo Abstracts, EBSCO and Cabell

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

Hüseyin ALAN

Yüksel METİN

Faruk İLGÜN

D. Malik BAKIR

M. Emre KIBRIS

Gonca ŞAHİN

Buket YARARBAŞ ECEMİŞ

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.

Jeoloji Mühendisliği Dergisi / Journal of Geological Engineering

Cilt - Volume 44

Sayı - Number 1

Haziran / June 2020

İçindekiler / Contents

Makaleler / Articles

- 1- Araştırma Makalesi / *Research Article*
Baki Ömer FURAT, Fikri BULUT
Güneyce Karayolu Tüneli Sağ Tüp Giriş ve Çıkış Bölümlerinin Jeoteknik ve Destek Sistemi Açısından İncelenmesi
Investigation of Right Tube Inlet and Outlet Sections of Güneyce Highway Tunnel in terms of Geotechnical and Support System
- 19- Araştırma Makalesi / *Research Article*
Gülseren DAĞDELENLER
İki Farklı Örneklem Tekniği Kullanılarak Oluşturulan Heyelan Duyarlılık Haritalarının Frekans Oranı (FO) Yöntemi ile Karşılaştırılması
Comparison of the Landslide Susceptibility Maps Using Two Different Sampling Techniques with the Frequency Ratio (FR) Method
- 41- Araştırma Makalesi / *Research Article*
Saffet Deniz KARAGÖZ, Cem KINCAL, M. Yalçın KOCA
Menderes Masifi'nde Açılmış Açık Ocak Albit Madenindeki Bir Duraysızlığın Nedenlerinin Araştırılması ve Robotic Total Station Cihazı Kullanılarak Yenilme Öncesinde Şev Hareketlerinin İzlenmesi
Investigation of the Causes of an Instability in an Albite Mine Opened in Menderes Massif and Monitoring Slope Movements Before the Failure Employing Robotic Total Station Equipment
- 67- Araştırma Makalesi / *Research Article*
Koray ULAMIŞ, Recep KILIÇ
Karabağlar (İzmir) Bölgesindeki Heyelanların Olası Yenilme Koşulları
Possible Failure Conditions of the Landslides in Karabağlar (İzmir)
- 79- Araştırma Makalesi / *Research Article*
Muhterem DEMİROĞLU, Yüksel ÖRGÜN
Attepe - Elmadağ-Mentes-Karaçat Demir Sahalarında Yüzeysel Suyu-Yeraltı Suyu İlişkisinin Araştırılması
Investigation of Surface Water-Groundwater Interaction in Attepe - Elmadağ-Mentes - Karacat Iron Fields
- 99- Araştırma Makalesi / *Research Article*
Şehnaz ŞENER, Gözde CANPOLAT
Tavas (Denizli) Ovası ve Çevresinin Hidrojeokimyasal İncelemesi
Hydrogeochemical Investigation of Tavas (Denizli) Plain and Its Vicinity



Research Article / Araştırma Makalesi

Güneyce Karayolu Tüneli Sağ Tüp Giriş ve Çıkış Bölümlerinin Jeoteknik ve Destek Sistemi Açısından İncelenmesi

Investigation of Right Tube Inlet and Outlet Sections of Güneyce Highway Tunnel in terms of Geotechnical and Support System

Baki Ömer FURAT¹ , Fikri BULUT² 

¹ İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Avcılar, 34320 İstanbul

² Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 61080 Trabzon

Geliş (Received): 21 Mart (March) 2019, Düzeltme (Revised): 27 Haziran (June) 2019, Kabul (Accepted): 10 Eylül (September) 2019

ÖZ

Doğu Karadeniz bölgesinde birçok karayolu tüneli mevcuttur, bu tüneller ulaşım kolaylığı sağlamakla beraber ülke ekonomisinin kalkınmasında önemli rol oynamaktadır. Bu makalede, Rize-İspir Karayolu güzergâhı üzerinde bulunan ve delme patlatma yöntemi ile inşa edilmekte olan Güneyce (İkizdere-Rize) Tüneli'nin sağ tüp giriş ve çıkış bölümleri boyunca farklı kaya sınıflama yöntemleri ile önerilen tünel destek tipleri incelenmiştir. Çalışma kapsamında, birimlerin tanınması ve jeolojik modelin oluşturulabilmesi için 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası ve 1/100 ölçekli tünel içi jeoloji haritası hazırlanmıştır. Güneyce Tüneli'nin Geç Kretase yaşlı Kızılıkaya formasyonu ve İkizdere Granitoidi içinde açıldığı belirlenmiştir. Tünel güzergâhında toplamda üç adet sondaj bulunmaktadır ve bu güzergâhta yer alan jeoteknik birimlerden alınan kaya malzemelerine ait fiziksel, mekanik ve elastik özellikler belirlenmesi için Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Süreksizliklerin özelliklerini belirlemek amacıyla, Güneyce (İkizdere-Rize) Tüneli sağ tüp giriş ve çıkış bölümleri boyunca hat etüdü çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Güneyce (İkizdere-Rize) Tüneli sağ tüp giriş ve çıkış bölümleri boyunca yapılan hat etüdü çalışmaları ve kaya malzemeleri üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri sonucunda elde edilen veriler kullanılarak Q, RMR₁₄, NATM ve GSI kaya kütle sınıflama sistemlerine göre sınıflandırılmıştır. Ayrıca Q ve RMR₁₄ kaya kütle sınıflamalarına uygun ön destek tasarımları belirlenmiştir. Yapılan bu çalışmalar sonucunda Güneyce Tüneli'ndeki iki ayrı litolojik birimi kaya malzemesi özelliklerine göre dört ayrı jeoteknik birime ayırarak tünel tasarımı açısından kritik olabilecek özellikler tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kaya Kütle Sınıflaması, Tünel, Rize, NATM

ABSTRACT

There are many highway tunnels built in the Eastern Black Sea Region, these tunnels not only provide convenience for transportation, but also play an important role in country's economic growth and transportation. In this paper, different rock classification methods and proposed tunnel support systems were investigated along the right tube entrance and exit of Güneyce Tunnel (Ikizdere, Rize), which is under construction by drilling and blasting method on Rize-Ispir highway. A geological map of the study area at 1/100.000 scale and another geological map along the tunnel route at 1/100 scale were prepared in order to create the geological model and define geological units. It is determined that Güneyce tunnel is being constructed in Late Cretaceous Kizilkaya formation and Ikizdere Granitoid. There are three boreholes on tunnel route and laboratory tests were carried out in Karadeniz Technical University Geological Engineering Department. The related tests were conducted on rock specimens taken from the

geotechnical units along the tunnel route in order to determine their physical, mechanical and elastic properties. Discontinuity line survey studies were carried out along the right tube entrance and exit of the Güneyce Tunnel to define discontinuity conditions. Using the results from the line survey studies and laboratory tests, geotechnical units along the tunnel route were classified according to Q , RMR_{14} , NATM and GSI rock mass classification systems. Moreover, pre-support designs which were appropriate for Q and RMR_{14} rock mass classifications were identified. As a result of these studies, two different geological units along the Güneyce Tunnel route were divided into 4 different geotechnical units according to the properties of rock materials that could be critical in terms of tunnel design.

Keywords: Rock Mass Classification, Tunnel, Rize, NAT

GİRİŞ

Son yıllarda ülkemizdeki araç sayısı ve trafikte bulunan araç kalitesi, gelişen ve küreselleşen ekonomiye bağlı olarak sürekli artmaktadır. Bu gelişmeye bağlı olarak yeni, büyük ve daha rahat karayolu ulaşım hatlarının yapılması gündeme gelmiştir. Ülkemizin coğrafyasının dağlık olması sebebiyle, yeni inşa edilecek olan yolların standartlarının yüksek tutulması için doğal zorlukların çeşitli mühendislik çalışmalarıyla aşılması gerekmektedir (Kaya, 2012). Bu nedenle, karayolu tünelleri bahsettiğimiz sarp ve dağlık arazi koşullarında önemli bir mühendislik çözümü olarak ortaya çıkmaktadır. Bu tür uygulamaların maliyeti yüksek olsa da son yıllarda tünellerin uzunlukları ve sayıları giderek artmaktadır (Kanık, 2015).

Karadeniz Bölgesi'nde yapılmış olan birçok karayolu tüneli mevcut olmakla beraber bu alanda birçok akademik çalışma da yapılmıştır. Şans (2005) tarafından yapılan çalışmada Karadeniz Sahilyolu projesi Hapan tünel güzergâhının mühendislik jeolojisi ve jeomekanik değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışma sonucunda tünelde ölçülen deformasyonlar incelenmiş ve sorunlu kesimdeki güzergaha ait mühendislik jeolojisi verileri yorumlanmış ve geri hesap yöntemi kullanılarak iyileştirme çalışmaları için öneriler getirilmiştir. Kaya (2008) ise Konakönü Tüneli (Araklı-Trabzon) sol tüpünün giriş portalı jeoteknik açıdan incelenmiştir. Çalışma sonucunda kaya kütlesi sınıflama sistemleri ve laboratuvar verilerinden elde edilen sonuçların

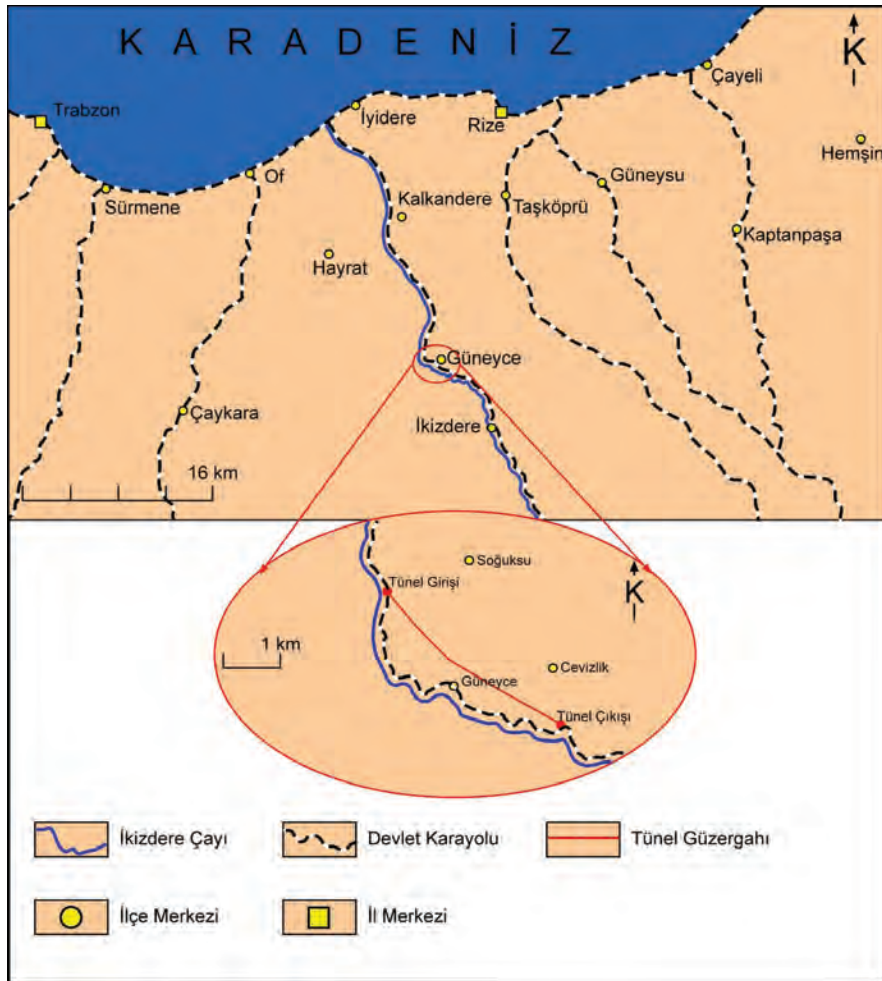
analitik değerlendirmesi ile tünel kazısı sırasında ortaya çıkacak olan gerilme ve deformasyonların analizleri yapılarak, kaya-destek etkileşimleri ile destek elemanları üzerinde meydana gelecek deformasyonlar belirlenmiştir. Kaya (2012), Cankurtaran Tüneli (Hopa-Artvin) güzergahını ve çevresini jeoteknik açıdan incelemiştir. Çalışma sonucunda fiziko-mekanik özelliklerden, sondaj ve hat etüdü çalışmalarından elde edilen veriler kullanılarak jeoteknik birimler RMR, Q , RMI, NATM ve GSI sistemlerine göre sınıflandırılmış ve tünel için ampirik ön destek elemanları belirlenmiş ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak, kaya-destek etkileşimleri ile ampirik destek elemanları üzerinde meydana gelecek deformasyonlar değerlendirilmiştir. Yılmaz (2017), Boztepe Tüneli (Ordu çevre yolu projesi) kazı çalışmalarında süreksizlik düzlemlerinin aşırı sökülmelelere etkisini incelemiştir. Çalışma sonucunda aglomeradan oluşan birim içerisindeki süreksizlik düzlemlerinin kesme dayanımının düşük olduğu değerlendirilmiştir. Bu çalışmada geometrik olarak tünel aynası ile kesişen süreksizlikler boyunca kama türü yenilmelerin geliştiği belirtilmiştir. Ayrıca aşırı sökülme meydana gelen bölgelerdeki durum, geriye dönük analiz yoluyla değerlendirilmiştir.

Güneyce Tüneli; Doğu Karadeniz Bölümü'nde bulunan, 1/25000 ölçekli Tortum G44-b3 ve G45-a4 paftalarının sınırları içerisinde yer almaktadır (Şekil 1). Güneyce Tüneli, 925-01 kontrol kesim numarası kapsamındaki İyidere-İkizdere arası varyant güzergâhının 22. ve 29. kilometreleri arasında inşa edilmektedir

ve İkizdere ilçesinin yaklaşık 15 km kuzeyinde yer almaktadır.

Bu çalışmada, Rize-İspir karayolu güzergâhı üzerinde bulunan ve inşaatı süren Güneyce Tüneli'ne ait 1/100 ölçekli genel jeoloji haritası, Güneyce Tüneli'ne ait 1/100 ölçeğinde olan tünel için jeoloji haritaları ve ölçeksiz tünel ayna kesitleri hazırlanmıştır. Tünel içerisinde yapılan çalışmalar sonucunda belirlenen jeolojik birimler için süreksizliklerin özellikleri (Çizelge 2), jeoteknik özellikleri ve bütün jeolojik birimlerin fiziko-mekanik ve elastik özelliklerini belirlemek için laboratuvarında ilgili deneyler yapılmıştır (Çizelge 1).

ön destek türünün belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla çalışma alanı ve çevresine ait 1/100.000 ölçekli genel jeoloji haritası, Güneyce Tüneli'ne ait 1/100 ölçeğinde olan tünel için jeoloji haritaları ve ölçeksiz tünel ayna kesitleri hazırlanmıştır. Tünel içerisinde yapılan çalışmalar sonucunda belirlenen jeolojik birimler için süreksizliklerin özellikleri (Çizelge 2), jeoteknik özellikleri ve bütün jeolojik birimlerin fiziko-mekanik ve elastik özelliklerini belirlemek için laboratuvarında ilgili deneyler yapılmıştır (Çizelge 1).



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.

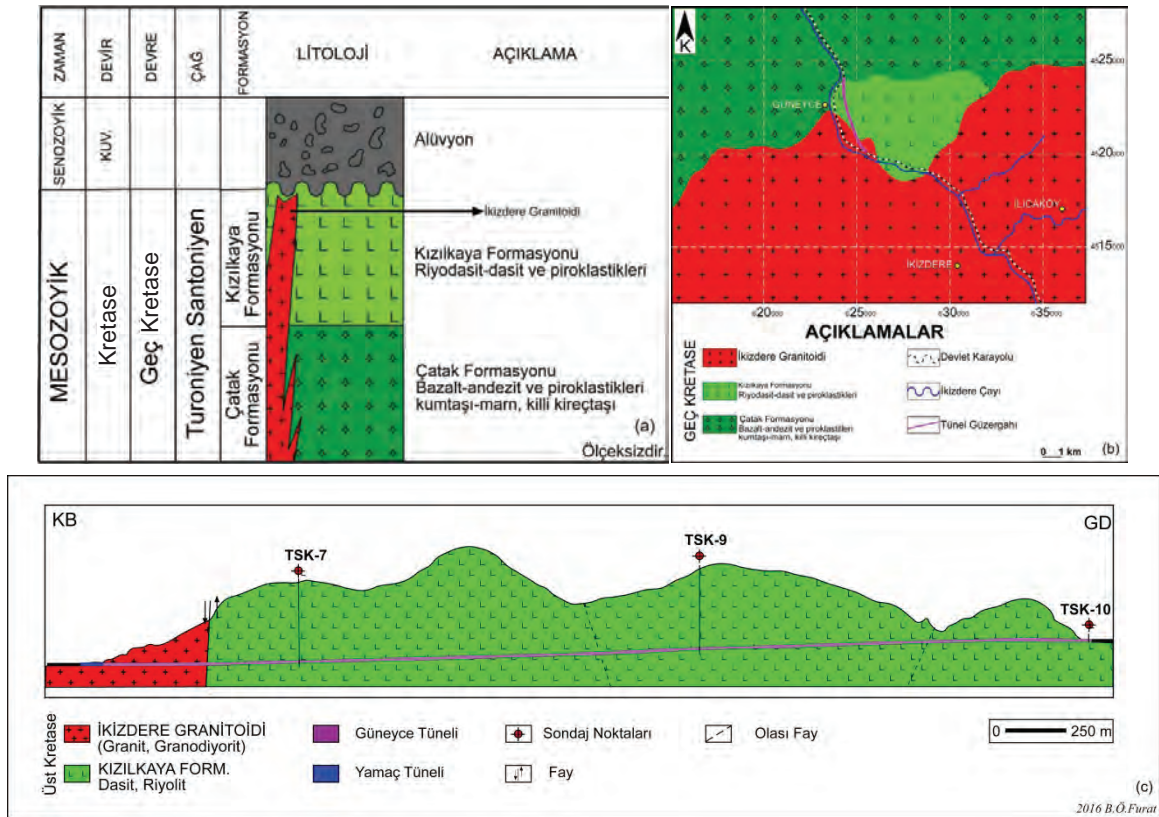
Figure 1. Location map of the study area.

JEOLOJİ

Güneyce Tüneli ve çevresinde yer alan kayalar, litostratigrafik isimlendirme ve sınıflama kurallarının (NACS, 1983) temel alınması ile tanımlanmıştır. Çalışma alanı ile çevresinde yaşlıdan gence Geç Kretase yaşlı Çatak formasyonu, Kızilkaya formasyonu ve bunlara sokulum yapan İkizdere Granitoidi ile Kuvaterner yaşlı alüvyonların yüzeylendiği belirlenmiştir (Şekil 2a).

Çatak Formasyonu

Çalışma alanının kuzeyinde bulunan Çatak formasyonu ilk defa Güven (1993) tarafından Trabzon'un Maçka ilçesinde yürütülen çalışma sonrasında isimlendirilmiştir (Şekil 2b). Bu birim otobreşik andezitik lav, ara katmanlar halinde volkanik kumtaşı ile kırmızı-gri renkli karbonatlar ve bazaltlardan oluşmaktadır. Çatak formasyonu, tabanda yeşil renkte olan bazalt-andezitlerle başlayarak üste doğru



Şekil 2. (a) Güneyce Tüneli çevresine ait stratigrafik kolon kesit. (b) Güneyce tüneli ve çevresinin jeoloji haritası (Akbaş vd., 2016'dan değiştirilmiştir). (c) Güneyce Tünel güzergâhına ait jeoloji kesiti.

Figure 2. (a) Stratigraphic columnar section of Güneyce Tunnel. (b) Geological map of Güneyce Tunnel and its vicinity (Modified after Akbaş et al., 2016). (c) Geological cross section of Güneyce Tunnel.

ve yanal olarak piroklastiklere geçmektedir. Volkanizmanın duraksadığı zamanlarda meydana gelen sedimanter–volkanosedimanter oluşumlar, volkanitlerin içinde ara katmanlar halinde bulunmaktadır. Çatak formasyonu'nun sedimanter birimleri ince katmanlı, kırmızı renkli karbonatlardan, şeyllerden ve marn ile gri renkteki kumtaşından meydana gelmektedir.

Kızılkaya Formasyonu

Çatak formasyonu'nun altında uyumlu bir şekilde bulunan ve çalışma alanında yüzeylenen Kızılkaya formasyonu ilk olarak Güven (1993) tarafından isimlendirilmiştir (Şekil 2(b)). Kızılkaya formasyonu, riyodasit lav, dasit ile piroklastikleriyle bazı yerlerde mercek şeklinde kırmızı veya gri renkli karbonatlardan meydana gelmektedir. Kızılkaya formasyonu bazalt, andezit ve piroklastiklerden meydana gelen Çatak formasyonu'nun üzerinde uyumlu bir şekilde yer alır.

İkizdere Granitoyidi

İsmi İkizdere (Rize) ilçesinden alan ve çalışma alanının geniş kısmında batolit şeklinde yüzeylenen İkizdere Granitoyidi tonalit, granodiyorit, diyorit, gabroyikdiyorit granit ve kuvarsmonzonit bileşimli kayaçları ve monzogabro, monzodiyorit ve monzonit bileşimli anklavları içermektedir. İkizdere Granitoyidi Üst Kretase yaşlı Çatak formasyonu ve Kızılkaya formasyonu'nu keserek yerleşmiştir (Güven, 1993).

Alüvyon

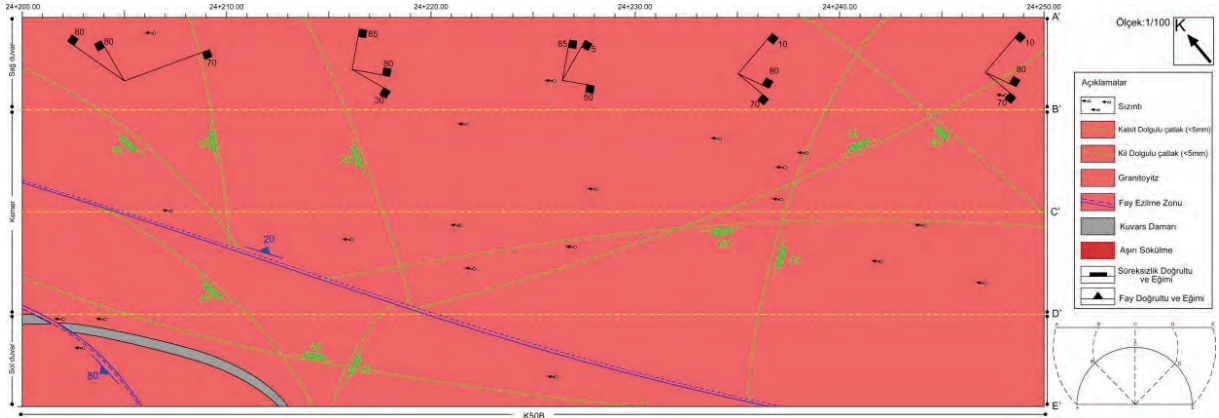
Alüvyonlar, akarsu vadilerinde oluşan bloklu, çakıllı, kumlu ve siltli malzemeler olarak tanımlanmaktadır. Çakılların boyutları genellikle 2-10 cm arasında değişmektedir, blok

boyutlarının ise 20-50 cm arasında değiştiği gözlenmektedir. Çakıllar çoğunlukla yuvarlak şekillidir fakat bloklar köşelidir.

JEOTEKNİK BİRİMLERİN TANIMLANMASI

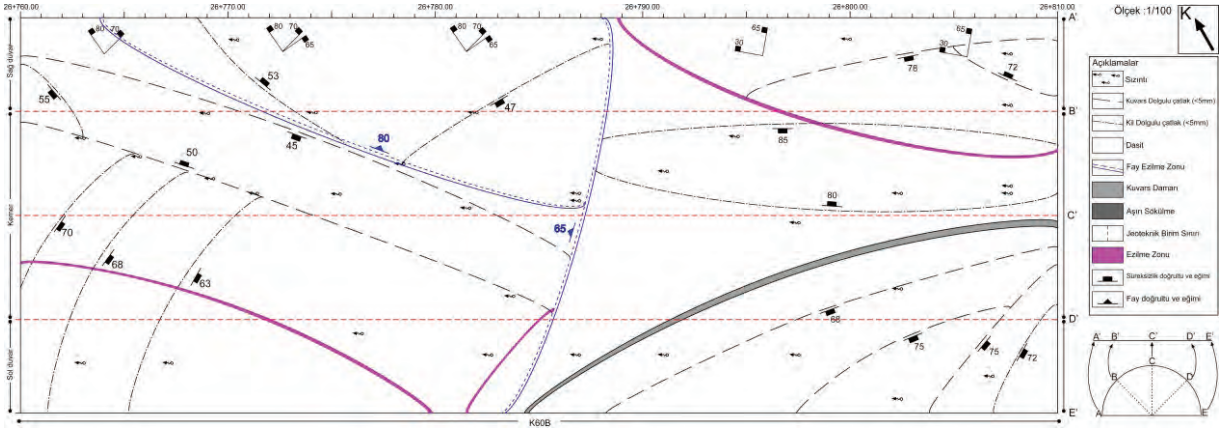
Jeoteknik birimlerin tanımlanmasında bazı ölçütler esas alınmaktadır. Esas alınmakta olan bu ölçütler; mineralojik bileşim, litolojik özellikler, süreksizliklerin sıklığı ve ayrışma durumudur. Bu özelliklerin tanımlanması arazi gözlemleri ile olmuştur. Jeoteknik birimlerin tanımlanması ise tanımlanan özelliklerin değiştiği kısımların saptanması ile olmaktadır. Jeoteknik birimlerin mühendislik özellikleri yapılan çalışmalar doğrultusunda birbirinden farklı olduğu saptanmaktadır.

Mineralojik bileşim, litolojik özellikler ve jeoteknik özellikler, jeoteknik birimlerin tanımlanması için kullanılmıştır. 1/100 ölçekli olarak hazırlanan tünel içine ait jeoloji haritası, sağ tüp giriş ve çıkış bölümlerindeki jeoteknik birimlerin düşey ve yanal devamlılıklarının saptanması için tünel içinde yapılan çalışmaların sonucunda hazırlanmıştır (Şekil 3 ve 4). Tünel içi jeoloji haritası hazırlanırken ISRM (1976) ve ANON (1976) tarafından önerilmiş olan, Dearman (1981) tarafından revize edilen mineralojik kökene, jeoteknik özelliklere ve litolojiye dayanmakta olan sınıflamadan yararlanılarak, sağ tüp giriş ve çıkış bölümlerindeki kayaçlar iki litolojik ve dört farklı jeoteknik birime ayrılarak incelenmiştir. İkizdere Granitoyidi'nden oluşan birim G jeoteknik birimi olarak, Kızılkaya formasyonu'ndan oluşan birim ise aynı petrografik olarak aynı kayaç grubu çıkmasına rağmen farklı fiziko-mekanik değerler vermesi sebebiyle kendi içerisinde K1, K2 ve K3 jeoteknik birimleri olarak adlandırılmıştır.



Şekil 3. Güneyce Tüneli Sağ Tüp Giriş Portalına ait 1/100 ölçekli tünel içi jeoloji haritası.

Figure 3. 1/100 scale inner-tunnel geological map of Güneyce Tunnel Right Tube Entrance Portal.



Şekil 4. Güneyce Tüneli Sağ Tüp Çıkış Portalına ait 1/100 ölçekli tünel içi jeoloji haritası.

Figure 4. 1/100 scale inner-tunnel geological map of Güneyce Tunnel Right Tube Exit Portal.

FİZİKO-MEKANİK VE ELASTİK ÖZELLİKLER

Güneyce Tüneli sağ tüp giriş ve çıkış bölümlerinde bulunan kaya bloklarından alınan 26 örnek üzerinde Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nün laboratuvar ortamında hazırlanmıştır. Hazırlanan örnekler üzerinde TSE'nin "TS 699 (2009)" ve ISRM (2007)'nin önerdiği yöntemlere göre deneyler yapılmıştır. Kaya malzemesinin, tek eksenli basınç dayanımının bulunması amacı ile

TSE'nin "TS EN 1926 (2013), Doğal Taş Deney Metotları-Tek Eksenli Basınç Dayanımı Tayini" şartnamesine uygun olarak önerilmiş olan standartlar esas alınmıştır. Dinamik elastisite modülünün saptanması amacı ile örneklerin boyuna olan elastik dalga tarafından kat edilme zamanı kullanılmıştır. Youash (1970)'ın önerdiği eşitliğin Bulut (1989)'un metrik sisteme çevrilmiş hali olan (1) numaralı eşitlikten yararlanılması ile doygun ve kuru kaya örneklerine özgü dinamik elastisite modülü hesaplanmıştır.

$$E_d = 1,29 L/d^2 \cdot w \cdot l/t^2 \cdot 10^6 \quad (1)$$

Burada; E_d : dinamik elastisite modülü (kg/cm^2), L: örnek boyu (cm), d: örnek çapı (cm), w: örnek ağırlığı (gr), t: elastik dalgaının örneği kat etme zamanıdır (mikrosaniye).

Daha sonra elde edilen verilerden yararlanılarak ASTM (1980)'nin önerdiği (2) numaralı eşitlikten doymun ve kuru kaya

malzemelerine özgü dinamik Poisson oranı hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 1'de verilmiştir.

$$v_{din} = (V_p^2/V_s^2) - 2 / 2[(V_p^2/V_s^2) - 1] \quad (2)$$

Burada; v_{din} : dinamik poisson oranı, V_p : elastik dalgaının boyuna yayılma hızı (m/sn), V_s : elastik dalgaının enine yayılma hızı (m/sn).

Çizelge 1. Jeoteknik birimlere ait kaya örneklerinin fiziko-mekanik ve elastik özellikleri.

Table 1. Physico-mechanical and elastic properties of rock samples of the geotechnical units.

Fiziko-Mekanik ve Elastik Özellikler	G Jeoteknik Birimi	K1 Jeoteknik Birimi	K2 Jeoteknik Birimi	K3 Jeoteknik Birimi	
Doğal Birim Hacim Ağırlık (kN/m^3)	Ortalama	25.07	26.76	25.04	24.12
	Max	25.34	27.09	25.36	24.50
	Min	24.89	26.55	24.80	23.86
Toplam Porozite (%)	Ortalama	1.24	0.68	0.95	1.32
	Max	1.34	0.81	1.11	1.54
	Min	1.18	0.57	0.80	1.11
Hacimce Su Emme (%)	Ortalama	1.18	0.51	0.86	1.14
	Max	1.35	0.68	1.07	1.34
	Min	0.99	0.40	0.69	1.08
Su Muhtevası (%)	Ortalama	0.65	0.34	0.48	0.82
	Max	0.87	0.45	0.59	1.03
	Min	0.59	0.25	0.29	0.78
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	148.06	182.94	149.40	104.35	
Dinamik elastisite modülü – Ed (kgf/cm^2) (Doymun örnekler)	4.65×10^5	9.25×10^5	4.77×10^5	3.71×10^5	
Dinamik elastisite modülü – Ed (kgf/cm^2) (Kuru örnekler)	7.18×10^5	9.39×10^5	7.37×10^5	5.68×10^5	
Dinamik Poisson oranı - v_{din}	0.45	0.22	0.43	0.62	

Çizelge 2. Jeoteknik birimlerde süreksizlik özelliklerinin tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi.

Table 2. Evaluation of discontinuity properties in the geotechnical units according to definition criteria.

Süreksizlik Özellikleri	G Jeoteknik Birimi	K1 Jeoteknik Birimi	K2 Jeoteknik Birimi	K3 Jeoteknik Birimi
	4 Eklem takımı	3 Eklem takımı	4 Eklem takımı	3 Eklem takımı
Süreksizlik takımları	(107/85) – (180/24) (235/90) – (95/70)	(110/30) – (280/85) (10/90)	(10/75) – (295/40) (145/55) – (285/20)	(255/42) – (120/85) (95/90)
Süreksizlik ara uzaklığı (m)	0.13	0.29	0.33	0.45
Tanımlama (ISRM, 2007)	Yakın ara uzaklıklı	Orta derecede ara uzaklıklı	Orta derecede ara uzaklıklı	Orta derecede ara uzaklıklı
Süreksizlik devamlılığı (m)	20.59	21.28	21.37	20.28
Tanımlama (ISRM, 2007)	Çok Yüksek Devamlı	Çok Yüksek Devamlı	Çok Yüksek Devamlı	Çok Yüksek Devamlı
Süreksizlik pürüzlülüğü (JRC)	4-6	2-4	6-8	4-6
Süreksizlik açıklığı (mm)	2.7	1.6	2.8	3.1
Tanımlama (ISRM, 2007)	Orta Derece Geniş	Açık	Orta Derece Geniş	Orta Derece Geniş
Süreksizlik yüzeylerinin ayrışma derecesi	W1	W1	W1	W1
Tanımlama (ISRM, 2007)	Kayacın bozunduğuna ilişkin gözle ayırt edilebilir bir belirti olmamakla birlikte, ana süreksizlik yüzeylerinde önemsiz bir renk değişimi gözükmemektedir.	Kayacın bozunduğuna ilişkin gözle ayırt edilebilir bir belirti olmamakla birlikte, ana süreksizlik yüzeylerinde önemsiz bir renk değişimi gözükmemektedir.	Kayacın bozunduğuna ilişkin gözle ayırt edilebilir bir belirti olmamakla birlikte, ana süreksizlik yüzeylerinde önemsiz bir renk değişimi gözükmemektedir.	Kayacın bozunduğuna ilişkin gözle ayırt edilebilir bir belirti olmamakla birlikte, ana süreksizlik yüzeylerinde önemsiz bir renk değişimi gözükmemektedir.
Süreksizlik yüzeylerindeki su durumu	4	4	4	4
Tanımlama (ISRM, 2007)	Süreksizlik yüzeyi nemli ancak su akışı yok	Süreksizlik yüzeyi nemli ancak su akışı yok	Süreksizlik yüzeyi nemli ancak su akışı yok	Süreksizlik yüzeyi nemli ancak su akışı yok
Hacimsel eklem sayısı (Jv) (Palmström, 1996)	19.8	21.75	16.26	11.5
Tanımlama (ISRM, 2007)	Küçük bloklar	Küçük bloklar	Küçük bloklar	Küçük bloklar
Kaya Kalite Göstergesi (% RQD) (Palmström, 2005)	60.5	55.63	69.35	81.25
Tanımlama (Deere, 1964)	Orta	Orta	Orta	İyi

GÜNEYCE TÜNELİ KAYA KÜTLELERİNİN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ

Süreksizlik Özellikleri

Güneyce Tüneli sağ tüp giriş ve çıkış bölümleri boyunca yapılmış olan ölçümler ve gözlemler aracılığıyla bütün jeoteknik birimlere özgü temel süreksizlik takımları ile bu takımların özellikleri saptanmıştır, süreksizliklere özgü olan bu özellikler ISRM (2007)'nin tanımladığı kriterlere göre, Çizelge 2'de gösterilmiştir.

Güneyce Tünelinin Sağ Tüp Giriş ve Çıkış Bölümlerinin Kaya Kütlelerinin Sınıflandırılması ve Tünel Destek Sistemi Tasarımı

Uluslararası uygulamalarda, tünel için destek tasarımında, deneysel anlamda farklı türlerdeki kaya sınıflamalarından yararlanılmaktadır. Kullanılan bu kaya sınıflamalarında iki sayısal sınıflandırma mevcuttur. Sayısal sınıflandırma sistemlerinden birisi, "Tünel Destekleme Tasarımı İçin Kaya Kütlelerinin Mühendislik Sınıflaması (Barton vd.,1974)"dir. Bir diğeri ise güncel olan "Geliştirilmiş Deneyime dayalı RMR Sistemi ile Yenilikçi Tünel Tasarımı (Celada vd., 2014)"dir. Bazı Avrupa ülkelerinde kullanılmakta olan NATM (Yeni Avusturya Tünelcilik Metodu) kaya sınıflaması (ÖNORM-B2203, 1994) ise, tanımsal bir niteliğe sahiptir.

Bu çalışmada, RMR_{14} ve Q sistemlerine uygun olarak kaya kütle özellikleri bulunmuştur. Gereken destek sistemleri; Q, Q sisteminden elde edilen RMR_{89} ve NATM sınıflandırmaları temel alınarak önerilmiştir. Ayrıca, RMR_{14} 'ün destek sistemi tasarımı kullanılmıştır.

Q Sınıflama Sistemi

Bu çalışmada, Güneyce Tüneli sağ tüp giriş ve çıkış bölümleri boyunca bulunan bütün jeoteknik birimlere özgü Q değeri sınıflaması için gereken değişkenler değerlendirilerek her birimin Q değerleri farklı olarak hesaplanmıştır. G ve K1 jeoteknik birimler "zayıf kaya", K2 ve K3 jeoteknik birimler de "orta kaya" olarak Barton vd. (1974)'e uygun olarak değerlendirilmiştir. Bütün jeoteknik birimlere özgü hesaplanan Q değerleri Çizelge 3'de gösterilmiştir.

Logaritmik ölçekte daha önce hazırlanan tünelin destek sistemine ait grafik ile saptanan Q değerine karşılık gelen Eşdeğer Boyut değeri (D_e), grafikte kesiştirilerek bütün jeoteknik birimlere özgü duvarlar ve tavan için önerilmiş olan destek sınıfları saptanmıştır.

Jeoteknik birimler için önerilen destek türleri, RMR ve Q kaya kütle sınıflamalarının ilişkileri Barton vd. (1974), Grimstad ve Barton (2002), Barton (2002) ve Barton ve Grimstad (2004) tarafından önerilmiş olan formüller ile saptanmıştır ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4'te gösterilmiştir. Ayrıca Kumar vd. (2004) tarafından önerilen (3) numaralı eşitlik ile Q sisteminden RMR_{89} puanı elde edilmiştir.

$$RMR_{89} = 6.4 \ln Q + 50 \quad (3)$$

Burada; RMR_{89} : Kaya Kütle Sınıflama Sistemi, Q: Q Kaya Kütle Sınıflama Sistemidir.

Furat, Bulut

Çizelge 3. Jeoteknik birimlerin Q kaya kütle sınıflamasına göre değerlendirilmesi.

Table 3. Evaluation of the geotechnical units according to Q rock mass classification.

	G Jeoteknik Birimi	K1 Jeoteknik Birimi	K2 Jeoteknik Birimi	K3 Jeoteknik Birimi
RQD (Kaya Kalite Göstergesi)	60.5	55.63	69.4	81.3
Tanımlama (Deere, 1964)	Orta	Orta	Orta	İyi
Jn (Eklem takım sayısı)	15	12	15	12
Tanımlama (Barton vd., 1974)	Dört veya daha fazla eklem takımı, geliş güzel, çok fazla sayıda, küp şeker görünümünde	Üç eklem takımı ve gelişigüzel eklemler	Dört veya daha fazla eklem takımı, geliş güzel, çok fazla sayıda, küp şeker görünümünde	Üç eklem takımı ve gelişigüzel eklemler
Jr (Eklem pürüzlülük sayısı)	1.5	1.5	3	3
Tanımlama (Barton vd., 1974)	Pürüzlü veya düzensiz, düzlemsel	Pürüzlü veya düzensiz, düzlemsel	Pürüzlü veya düzensiz, dalgalı	Pürüzlü veya düzensiz, dalgalı
Ja (Eklem yüzeyi bozunma sayısı)	1	1	1	1
Tanımlama (Barton vd., 1974)	Bozunmamış eklem yüzeyleri, yalnızca yüzeysel kirlenme	Bozunmamış eklem yüzeyleri, yalnızca yüzeysel kirlenme	Bozunmamış eklem yüzeyleri, yalnızca yüzeysel kirlenme	Bozunmamış eklem yüzeyleri, yalnızca yüzeysel kirlenme
Jw (Eklem suyu azaltma faktörü)	1	1	1	1
Tanımlama (Barton vd., 1974)	Kuru kazılar ya da küçük sızma, örneğin yerel olarak < 5 lt/dk	Kuru kazılar ya da küçük sızma, örneğin yerel olarak < 5 lt/dk	Kuru kazılar ya da küçük sızma, örneğin yerel olarak < 5 lt/dk	Kuru kazılar ya da küçük sızma, örneğin yerel olarak < 5 lt/dk
SRF (Gerilme azaltma faktörü)	2.5	2.5	2.5	2.5
Tanımlama (Barton ve Grimstad, 1994)	Kil içermeyen dayanımlı kayada tek bir makaslama zonu, (kazı derinliği >50 m)	Kil içermeyen dayanımlı kayada tek bir makaslama zonu, (kazı derinliği >50 m)	Kil içermeyen dayanımlı kayada tek bir makaslama zonu, (kazı derinliği >50 m)	Kil içermeyen dayanımlı kayada tek bir makaslama zonu, (kazı derinliği >50 m)
RQD/Jn (Blok boyutu)	4.03	4.63	4.62	6.77
Jr/Ja (Bloklar arası kayma direnci)	1.5	1.5	3	3
Jw/SRF (Aktif gerilme)	0.4	0.4	0.4	0.4
Q (RQD/Jn) x (Jr/Ja) x (Jw/SRF)	2.41	2.77	5.54	8.12
Kaya sınıfı (Barton vd., 1974)	Zayıf	Zayıf	Orta	Orta

Çizelge 4. Q kaya kütle sınıflamasına göre jeoteknik birimler için önerilen destek türleri ve RMR_{89} değeri arasındaki ilişki.

Table 4. Proposed support types for the geotechnical units according to Q rock mass classification and relationship between Q and RMR_{89} value.

	G Jeoteknik Birimi	K1 Jeoteknik Birimi	K2 Jeoteknik Birimi	K3 Jeoteknik Birimi
Kazı genişliği (m)			14	
Kazı yüksekliği (m)			9	
Kazı destek oranı (ESR)			1	
Kazı tipi			Tünel portalı	
D_e (Eşdeğer boyut) Kazı genişliği / Kazı destek oranı			14 / 1 = 14	
B_{max} (m) (Tavan ve duvar için desteksiz kalabilecek en büyük açıklık)	2.84	3.00	3.96	4.62
Q (tavan)	2.41	2.77	5.54	8.12
Q_w (duvar)	6.05	6.92	13.85	20.30
P tavan (kg/cm^2) (Kalıcı tavan destek basıncı)	0.99	0.94	0.37	0.33
P duvar (kg/cm^2) (Kalıcı duvar destek basıncı)	0.73	0.69	0.27	0.24
Tavan bulonları uzunluğu (m)			4.1	
Duvar bulonları uzunluğu (m)			3.35	
E_m (GPa) (Kaya kütleinin deformasyon modülü) (Barton, 2002)	15.28	17.18	20.23	20.39
Destekleme sınıfı	5	5	4	4
	Kaya bulonlu, çelik kafes takviyeli 5-9 cm kalınlığında püskürtme beton (Sfr+B)			
	Sistemik kaya bulonlama ve 4-10 cm kalınlığında donatsız püskürtme beton (B+S)			
RMR_{89} (Kumar vd., 2004)	55.62	56.52	60.95	63.40

RMR_{14} (Rock Mass Rating) Sınıflama Sistemi

Bu çalışmada, Güneyce Tüneli sağ tüp giriş ve çıkış bölümleri boyunca bulunan bütün jeoteknik birimlere özgü RMR_{14} sınıflamasında gereken bütün esaslar değerlendirilerek RMR_{14} değerleri her birim için farklı olarak hesaplanmıştır (Çizelge 5). RMR 'nin daha önceki versiyonlarından süreksizlik aralığı ve RQD

parametreleri için Bieniawski (1989) ve ISRM (1981) tarafından çeşitli grafikler hazırlanmıştır. Ancak RQD'nin belirlenmesi çoğu zaman kolay olmamıştır. RMR_{89} 'daki RQD zorluklarından dolayı RMR_{14} 'te 'bir metredeki süreksizlik sayısı' eklenmiştir. Bu parametre RMR_{89} 'un süreksizlik açıklığı parametresini kapsamaktadır. RMR_{14} 'e yeni eklenen bir parametre ise kayaçların altere

olabilirlik yüzdesidir ve bu parametre ASTM D4644-87 standartlarına göre yapılan Slake Durability (I_d) deneyi verisine dayandırılmıştır (Celada vd., 2014).

RMR₁₄'ün kaya kütlesi sınıflamasından yararlanılarak ortaya çıkan temel RMR puanı elde edilmiştir, bu temel RMR puanın hesaplanmasından sonra ilk olarak tünel güzergahındaki süreksizliklerin eğim ve eğim yönü etkisine (F_0) göre düzeltmeler yapılmaktadır. Gerilme-deformasyon davranışı (F_s) ve kazı metodu (F_c) düzeltmeleri, süreksizliklerin yönelimleri (F_0) düzeltmesinin bir sonraki aşamasıdır. Gerilme-deformasyonu davranışı ve kazı metodu düzeltmelerinin yapılması sırasında çeşitli eşitliklerden yararlanılmaktadır. Düzeltilmiş RMR₁₄ puanı hesaplandıktan sonra bütün jeoteknik birimler için farklı destek sınıfları belirlenmiştir (Çizelge 6).

RMR₁₄ puanı hesaplandıktan sonra sıra destek sistemi tasarımına gelmektedir ve bunun için birçok abak ve grafik vardır. İlk olarak kaya yükünün bulunması gerekmektedir. Kaya yükünün bulunması için RMR puanı ve kazı açıklığı değişkenleri kullanılmaktadır (Lawson, 2013). Kazı açıklığıyla ilişkili olan desteklenecek kaya yüksekliğinin belirlenmesi RMR₁₄'ün bize getirdiği en son yeniliklerden birisidir. Buradaki en önemli nokta bu abaklardaki kaya yükünün yerçekiminin kontrolünde olduğu ve aşırı gerilmenin bulunmadığı alanlarda kullanılabilir olmasıdır. Bir diğer destek sistemi için kullanılan parametre Bieniawski (1989)'nin önerdiği desteksiz durma süresidir. Lawson'nun 2013 yılında önerdiği bulon aralıklarının saptanması diğer destek sistemi belirlediğimiz husustur. Burada püskürtme betonunun kemerlenmeyi tek başına muhafaza edemediği durumlarda, bulon aralıklarının belirlenmesi gerekmektedir. Çatlak sıklığını ve bulonlar ile kaya arasındaki

uygun desteğin sağlanacağı püskürtme betonun kalınlığının ve özelliklerinin iyi belirlenmesi, bulonlar arasındaki mesafe seçiminde dikkat edilecek en önemli husustur. RMR₁₄ sisteminin getirmiş olduğu bir başka yenilik ise bulonların taşıyacakları yük kapasitesi için hazırlanan grafiklerdir. Grafikte kullanılacak bulon türünün 25 tonluk kuvvete dayanabilecek kapasiteye ve 25 mm çapa sahip olması buradaki en önemli noktadır. Lawson (2013) tarafından önerilen püskürtme beton dayanımı, bulonların kullanılması ile alakalı bütün özelliklerin saptanmasından sonra yapılmaktadır. Püskürtme beton ile bulon dayanımı kapasiteleri ve açıklık-RMR ilişkisinden yararlanılarak püskürtme beton kalınlığının belirlenmesi ise destek sistemimizin son elemanıdır. Her bir jeoteknik birimlere özgü önerilmiş olan destek türleri Çizelge 6'da bulunmaktadır.

Yeni Avusturya Tünel Açma (NATM) Yöntemine Temel Oluşturan Sınıflama Sistemi

Bu çalışmada, kaya kütlelerinin sınıflandırılması, Güneyce Tüneli sağ tüp giriş ve çıkış bölümünde bulunan bütün jeoteknik birimler için ayrı hesaplanmış olan Q ve Kumar vd.'nin 2004 yılında yayınladıkları 3 numaralı eşitlik kullanılarak elde edilen RMR₈₉ değerlerinin NATM sınıflamasıyla beraber değerlendirilmesi ile yapılmıştır. ÖNORM B2203 (1994)'a uygun olarak Q sisteminden elde edilen verilere göre, G ve K1 jeoteknik birimi "B2 Sınıfı", K2 ve K3 jeoteknik birimleri de "B1 Sınıfı" olarak, RMR₈₉ sisteminden elde edilen verilere göre ise G ve K1 jeoteknik birimi "B2 Sınıfı", K2 ve K3 jeoteknik birimleri de "B1 Sınıfı" olarak belirlenmiştir. NATM'a göre her bir jeoteknik birimlere özgü önerilmiş olan destek elemanları Çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge 5. Jeoteknik birimlerin RMR_{14} kaya kütle sınıflamasına göre değerlendirilmesi.

Table 5. Evaluation of the geotechnical units according to RMR_{14} rock mass classification.

	RMR_{14}	G Jeoteknik Birimi	K1 Jeoteknik Birimi	K2 Jeoteknik Birimi	K3 Jeoteknik Birimi
	Kaya Malzemesinin Dayanımı (MPa)	148.06	182.94	149.41	104.35
	Puan	10.80	12.43	10.83	8.57
	Bir Metredeki Süreksizlik Sayısı (I)	7.63	3.51	3.00	2.20
	Puan	23.52	28.50	29.17	30.52
	Devamlılık (m)	>10	>10	>10	>10
	Puan	0	0	0	0
Süreksizlik Durumu	Pürüzlülük	Pürüzlü	Pürüzlü	Pürüzlü	Pürüzlü
	Puan	3	3	3	3
	Dolgu	Yumuşak <5mm	Sert <5 mm	Yumuşak <5mm	Sert <5 mm
	Puan	2	5	2	5
	Bozunma	Bozunmamış	Bozunmamış	Bozunmamış	Bozunmamış
	Puan	5	5	5	5
	Su Durumu	Nemli	Nemli	Nemli	Nemli
	Puan	10	10	10	10
	Altere Olabilirlik (%)	>85	>85	>85	>85
	Puan	10	10	10	10
	Temel RMR_{14}	64.32	73.93	70	72.09
	Süreksizlik Eğim ve Eğim Yönü Etkisi (F_0)	-5	-5	-5	-5
	Kazı metodu (F_1)	1.12	1.09	1.10	1.09
	Gerilme-Deformasyon Davranışı (F_2)	1	1	1	1
	RMR_{14}	66.55	74.92	71.5	73.32

Çizelge 6. RMR_{14} değerleri için önerilen destek türleri.

Table 6. Recommended support types for RMR_{14} values.

	RMR_{14}	G Jeoteknik Birimi	K1 Jeoteknik Birimi	K2 Jeoteknik Birimi	K3 Jeoteknik Birimi
Destek Sisteminin Tasarımı	Kaya Yüku (MPa)	0.16	0.12	0.14	0.13
	Desteklenecek Kaya Zonunun Kalınlığı (m)	6.18	4.71	5.10	4.90
	Desteksiz Durma Süresi (gün)	41	334	165	270
	Bulonların Ara Mesafesi (m)	2.29	2.61	2.48	2.55
	Bulon Uzunluğu (m)	6.77	5.19	5.77	5.46
	Bulon Tasarım Kapasitesi (kN)	143.81	155.80	151.29	153.75
	Püskürtme Beton Dayanımı (MPa)	12.69	14.37	13.67	14.04
	Püskürtme Beton Kalınlığı (ihsasız) (mm)	89.28	52.28	61.11	58.33
	Püskürtme Beton Kalınlığı (mm)	89.58	59.37	69.79	64.58

Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) Sınıflama Sistemi

Bu çalışmada Güneyce Tüneli sağ tüp giriş ve çıkış bölümlerindeki jeoteknik birimleri teşkil eden kaya kütlelerinin jeolojik dayanım indeksi (GSI) (Hoek vd., 2013) sınıflama sistemi kullanılmıştır. Jeoteknik birimlere özgü Jeolojik Dayanım İndeksi değerleri, Hoek vd. (2013)'nin

önerdiği eşitlikler ve grafikler ile saptanmıştır. Bulunan değerler Çizelge 8'de verilmiştir ve Hoek vd. (2013) GSI tanımlama parametresi gereğince tanımlanmıştır. Hoek vd. (2013)'e göre G ve K1 jeoteknik birimi "Çok Bloklu", K2 ve K3 jeoteknik birimi de "Bloklu" olarak sınıflandırılmıştır.

Çizelge 7. Jeoteknik birimlerin NATM kaya kütle sınıflamasına göre değerlendirilmesi ve önerilen destek türleri.

Table 7. Evaluation of the geotechnical units according to NATM rock mass classification and recommended support types.

RMR ₁₄	G Jeoteknik Birimi	K1 Jeoteknik Birimi	K2 Jeoteknik Birimi	K3 Jeoteknik Birimi
Q (RQD/Jn) x (Jr/Ja) x (Jw/SRF)	2.41	2.77	5.54	8.12
Kaya sınıfı (Barton vd., 1974)	Zayıf	Zayıf	Orta	Orta
NATM kaya sınıfı (ÖNORM B 2203, 1994)	B2 / Çok Kırılgan		B1 / Kırılgan	
NATM'a göre destek elemanları	Tünel tavan ve duvarlarında sistematik destekleme gereklidir. Gerektiğinde tavanda süren kullanılacaktır.		Sınırlı bölgelerde sistematik destekleme yapılmalıdır. Lokal olarak ön destekleme gerekebilir.	
RMR ₈₉ (Kumar vd., 2004)	55.62	56.52	60.95	63.40
Kaya sınıfı (Bieniawski, 1989)	Orta	Orta	Orta	İyi
NATM kaya sınıfı (ÖNORM B 2203, 1994)	B2 / Çok Kırılgan		B1 / Kırılgan	
NATM'a göre destek elemanları	Tünel tavan ve duvarlarında sistematik destekleme gereklidir. Gerektiğinde tavanda süren kullanılacaktır.		Sınırlı bölgelerde sistematik destekleme yapılmalıdır. Lokal olarak ön destekleme gerekebilir.	

Çizelge 8. Jeoteknik birimlere ait Jeolojik Dayanım İndeksi hesapları ve tanımlaması.

Table 8. Geological Strength Index calculations and identification of the geotechnical units.

	G Jeoteknik Birimi	K1 Jeoteknik Birimi	K2 Jeoteknik Birimi	K3 Jeoteknik Birimi
1.5 JCond ₈₉	31.2	31.2	39	39
RQD/2	30.25	27.81	34.67	40.62
GSI	61.45	59.01	73.67	79.62
Tanımlama (Hoek vd., 2013)	Çok Bloklü	Çok Bloklü	Bloklü	Bloklü

SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemiz tünelciliğinde yaygın olarak kullanılan Q sistemi ve RMR_{89} kaya kütle sınıflama sistemleri kendi içlerinde ön destek sınıflarını belirleyebileceğimiz kaya kütle sınıflama sistemleridir. Q sistemi ve RMR_{89} sınıflama sistemlerinden elde edilen sonuçlardan geçiş yapılarak ulaştığımız NATM destekleme sistemi; makineli kazı veya delme patlatma metodu ile kazılan şehir ve dağ tünelciliğinin neredeyse hepsinde kullanılmıştır. Ancak gerek Q ve/veya RMR_{89} sistemlerinden elde edilen ön destek sistemleri, gerekse NATM destekleme sistemleri geçmişten günümüze kadar kullanılmış olsa bile, gerçekte çok doğru çözümler üretmemektedir. Destek sisteminin yetersiz kaldığı durumlarda göçmelere sebep olabilir, can ve mal kayıplarına yol açabilir.

Tünel jeolojisinin iki önemli parametresi olan gerilme-deformasyon ve tünel açıklığı Q sistemi ve RMR_{89} aksine RMR_{14} sisteminde kullanılmış ve alışlagelmiş sistemlerinden bir farklılık yaratmıştır. Bu nedenle RMR_{14} sisteminin yeni parametre ve düzeltmeleri sayesinde elde edilen sonuçlar tünel açıklığı ile destek sınıfı belirlenerek her bir RMR puanı için ayrı sonuçlar vermiştir. Özellikle gerilme-deformasyon davranışı düzeltilmesi hesaplanırken, ilk olarak yatay ilksel gerilmenin düşey ilksel gerilmeye oranı hesabına göre elastik davranış indeksi (ICE) parametresi belirlenmiştir. Bu düzeltme de bizlere yeni tünel jeolojisine yeni bir bakış açısı sağlamaktadır.

Geçmişten günümüze kadar gelen kaya kütle sınıfları sadece birbirinin türevleri olduğunu unutmamız gerekmektedir. Bu yüzden daha efektif bir sonuca varmak için kaya kütle sınıflamaları ile elde edilen ön destek sistemlerinin tünel en kesitlerinin her adımında elde edilen jeomekanik parametreler ile bilgisayar

ortamında iki veya üç boyutlu programlar yardımıyla nümerik analizlerle desteklenmelidir. Kazı öncesi ve sonrası tünel duvarları ve tepe noktasında ki plastik zon kalınlığı ile yer değiştirmeler incelenerek destek sisteminin yeterli olup olmadığına karar verilmelidir.

Bu çalışmada ise, Rize-İspir Karayolu güzergâhı üzerinde bulunan ve inşaatı süren Güneyce Tüneli'nin sağ tüp giriş ve çıkış bölümlerinde mühendislik jeolojisine ait incelemeler ve farklı kaya sınıflama yöntemleri ile önerilen tünel destek tipleri vurgulanmaktadır.

Çalışma alanı ve çevresinde bulunan birimlerin tanınması ve jeolojik modelin yapılabilmesi için 1/100.000 ölçekli genel jeoloji haritası ve 1/100 ölçekli olan tünel içinin jeoloji haritası hazırlanmıştır.

Çalışma alanındaki kayalar, litostratigrafik sınıflama ve isimlendirme kuralları (NACS, 1983) doğrultusunda tanımlanmış ve yaşlıdan gence doğru Üst Kretase yaşlı Çatak formasyonu, Üst Kretase yaşlı Kızılkaya formasyonu, Üst Kretase yaşlı İkizdere Granitoyidi, Kuvaterner yaşlı alüvyonlar ve yamaç molozları şekilde birimler sıralanmıştır.

Tünel güzergâhında yer alan kayalar jeoteknik, litolojik, mineralojik ve fiziko-mekanik özelliklere göre sınıflandırılarak dört farklı jeoteknik birime ayrılmıştır. Bunlar, İkizdere Granitoyidi'nden oluşan G jeoteknik birimi ve Kızılkaya formasyonu'ndan K1, K2 ve K3 jeoteknik birimi olarak isimlendirilmiştir.

Tünel güzergâhında yer alan jeoteknik birimlerden alınan kaya malzemelerine ait fiziko-mekanik ve elastik özellikler laboratuvar ortamında yapılmış olan deneyler ile saptanmıştır.

Güneyce Tüneli boyunca yapılmış olan hat etüdü çalışmaları ile jeoteknik birimlere özgü süreksizliklerin özellikleri ve yeraltı

suyunun mevcut durumu araştırılmıştır ve kaya kütlelerine ait Kaya Kalite Değeri (RQD) değerleri saptanmıştır.

Güneyce Tüneli'ndeki kaya kütleleri Q, RMR₁₄, NATM ve GSI kaya kütleleri sınıflandırma sistemlerine göre sınıflandırılmıştır. Q ve RMR₁₄ kaya kütle sınıflama sistemleri kullanılarak çeşitli ön destek sistemleri belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Akbaş, B., Akdeniz, N., Aksay, A., Altun, İ., Balcı, V., Bilginer, E., Bilgiç, T., Duru, M., Ercan, T., Gedik, İ., Günay, Y., Güven, İ.H., Hakyemez, H. Y., Konak, N., Papak, İ., Pehlivan, Ş., Sevin, M., Şenel, M., Tarhan, N., Turhan, N., Türkecan, A., Ulu, Ü., Uğuz, M.F., Yurtsever, A. ve diğerleri, 2016. Türkiye Jeoloji Haritası Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını. Ankara Türkiye. Değiştirilmiş.
- ANON, 1976. Engineering geological maps, a guide to their preparation, UNESCO Publishing House, Paris, 79.
- ASTM (American Society for Testing and Materials), 1980. Annual Book of ASTM Standarts, Natural Building Stones, Soil and Rock, Part 19, ASTM Publication, 634.
- Barton, N., Lien, R., Lunde, J., 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mechanics*, 6, 189-239.
- Barton, N., Grimstad, E., 1994. The Q-System following twenty years of application in NTM Support Selection, *Felsbau*, 428-436.
- Barton, N., 1995. The Influence of joint properties in modelling jointed rock masses, Keynote Lecture, Proceedings 8th ISRM Congress, Tokyo, 3, Balkema, Rotterdam, 1023-1032.
- Barton, N., 2002. Some New Q-Value correlations to assist in site characterization and tunnel design. *International Journal Rock Mechanics Mining Science*, 39, 185- 216.
- Bieniawski, Z. T., 1989. Engineering rock mass classifications. Wiley, New York, 238.
- Bulut, F., 1989. Çambaşı (Çaykara-Trabzon) Barajı ve Hidroelektrik Santral yerlerinin mühendislik jeolojisi açısından incelenmesi. Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Celada, B., Tardaguila, I., Varona, P., Rodriguez A., Bieniawski, Z.T., 2014. Innovating tunnel design by an improved experience-based RMR system. *World Tunnel Congress 2014, Iguassu Falls Brazil*.
- Dearman W. R., 1981. Engineering geology of carbonate rocks, Symposium on Engineering Geological Problems of Construction on Soluble Rocks, General Report, Session 1, United Kingdom, 24, 3-17.
- Deere, D.U., 1964. Technical description of rock cores for engineering purposed, *Rock Mechanics Rock Engineering*, 1, 17-22.
- Grimstad, E., Barton, N., 2002. Updating the Q-System for NMT. Proceedings International Symposium on Sprayed Concrete-Modern Use of Wet Mix Sprayed Concrete for Underground Support, Oslo, Norwegian Concrete Association, 44-66.
- Güven, İ. H., 1993, Doğu Pontidlerin 1/25 000 Ölçekli Jeolojisi ve Komplikasyonu, MTA, (Ankara) Yayınlanmamış.
- Hoek, E., Carter, T.G., Diederichs, M.S., 2013. Quantification of the Geological Strength Index Chart, USA.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1976. Engineering geological maps. The UNESCO Press, 15, 78.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1981. ISRM Suggested Methods, Rock Characterization, Testing and Monitoring, E. T. Brown (Ed), Pergamon Press London, 211.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 2007. The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring, eds: Ulusay R., J.A. Hudson, Kazan Offset Pres, Ankara, 628 s.

- Kanık, M., 2015. Maçka (Trabzon) Tüneli destek sistemlerinin görgül ve sayısal analizi. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Kaya, A., 2008. Konakönü (Araklı-Trabzon) Tüneli sol tüp giriş portalının jeoteknik açıdan incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kaya, A., 2012. Cankurtaran (Hopa-Artvin) tünel güzergahının ve çevresinin jeoteknik açıdan incelenmesi. Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kumar, N., Samadhiya, N.K., Anbalagan, R., 2004. Application of rock mass classification system for tunneling in Himalaya, India. International Journal of Rock Mechanics Mining Science, 41 (3), 531. SINOROCK2004 Symposium, Paper 3B 14.
- Lawson, A., Bieniawski, Z.T. 2013. Critical assessment of RMR-based tunnel design Practices: A practical Engineer's Approach. In: Proceedings. RETC 2013. Washington, DC: Society of Mining Engineers, p. 180-198.
- NACS (North American Commission On Stratigraphy), 1983. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 67(5), 841-875.
- ÖNORM B2203, 1994. Untertagebauarbeiten Werkvertragsnorm, Österreichischer Normen, Österreich.
- Palmström, A., 1996. RMI-A System for rock mass strength for use in rock engineering. Journal of Rock Mechanics and Tunneling, Technique, India, L-2, 69-108.
- Palmström, A., 2005. Measurements of and correlations between block size and rock quality designation (RQD). Tunnels and Underground Space Technology, 20, 326-377.
- Şans, G., 2005. Karadeniz Sahilyolu Projesi Hapan Tünel güzergahının mühendislik jeolojisi ve jeomekanik değerlendirmesi. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- TSE, 2009. TS 699, Doğal Yapı Taşları – İnceleme ve Laboratuvar Deney Yöntemleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TSE, 2013. TS EN 1926, Doğal Taşlar - Deney Yöntemleri - tek eksenli basınç dayanımı tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Yılmaz, Z., 2017. Boztepe Tüneli (Ordu Çevre Yolu Projesi) kazı çalışmaları sırasında meydana gelen aşırı sökülmelere süreksizlik düzlemlerinin etkisi. Yüksek Lisans Tezi, YYÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Youash, Y. Y., 1970. Dynamic physical properties of rock, Proceedings 2nd Congress International Society, Rock, Mechanics, Belgrade, Part -1, Theory and Procedure, 171 -183.



Araştırma Makalesi / Research Article

İki Farklı Örneklem Tekniği Kullanılarak Oluşturulan Heyelan Duyarlılık Haritalarının Frekans Oranı (FO) Yöntemi ile Karşılaştırılması

Comparison of the Landslide Susceptibility Maps Using Two Different Sampling Techniques with the Frequency Ratio (FR) Method

Gülseren DAĞDELENLER 

Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06800, Beytepe, Ankara

Geliş (Received): 27 Ağustos (August) 2019 / Düzeltme (Revised): 08 Ekim (October) 2019 / Kabul (Accepted): 11 Ekim (October) 2019

ÖZ

Heyelanların verdiği zararların azaltılması amacıyla heyelan oluşumunun önceden tahmini ve heyelana duyarlı alanların literatürde mevcut yöntemlerle belirlenmesi son derece önemlidir. Bu doğrultuda, heyelanların aynı litolojide geliştiği Bartın ilinin Ulus ilçesinin heyelan duyarlılık haritalamasının yapılması amaçlanmıştır. Çalışmanın önemli noktası, Chebyshev teoreminin bu çalışmada seçilen çalışma alanı için sınanması ve bu yöntemle üretilen duyarlılık haritasının mevcut literatürde sıklıkla kullanılan tüm heyelan kütleleri içerisindeki piksel sayma tekniği ile oluşturulan veri seti kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritası ile karşılaştırılmasıdır. Çalışma alanında toplam 195 adet heyelan haritalanmış ve heyelanlı ve heyelanlı olmayan alanların belirlenmesinde Chebyshev teoremi ve tüm heyelan kütleleri içerisindeki piksel sayma tekniği olmak üzere iki farklı örneklem tekniği kullanılmıştır. Heyelan duyarlılık analizlerinde kullanılmak üzere topoğrafik yükselik, eğim, baki, eğrisellik ve NDVI (normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi) olmak üzere toplam 5 adet parametre haritası üretilmiştir. Her iki örneklem tekniği kullanılarak yapılan duyarlılık analizlerinde literatürde sıklıkla kullanılan Frekans Oranı (FO) yöntemi kullanılmış ve iki farklı harita üretilmiştir. Duyarlılık haritalarının performansı ise Eğri Altında Kalan Alan yöntemine (ROC-EAA) göre değerlendirilmiş ve EAA değerleri sırasıyla Chebyshev teoremi için 0.78 ve tüm heyelan kütlelerindeki piksel sayılarına göre yapılan örneklem tekniği için ise 0.72 olarak belirlenmiştir. Bu değerlere göre, üretilen her iki duyarlılık haritasının da kabul edilebilir düzeyde olduğu ve Chebyshev teoremi ile örneklem yapılarak üretilen duyarlılık haritasının performansının, diğer örneklem yöntemine göre nispeten daha yüksek çıktığı görülmüştür. Elde edilen bu sonuç, çalışmada kullanılan Chebyshev yönteminin de heyelan duyarlılık haritalama çalışmalarında etkin olarak kullanılabilir alternatif bir yöntem olduğunu ve bu yöntemle üretilen duyarlılık haritasının da başarılı bir kestirime sahip olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Chebyshev Teoremi, Eğri Altında Kalan Alan (EAA), Frekans Oranı (FO), Heyelan Duyarlılık, Örneklem Tekniği

ABSTRACT

In order to reduce the damages caused by the landslides, it is very important to predict the landslide occurrences and to determine the landslide susceptibility areas by the current methods in the literature. In this respect, it is aimed to produce landslide susceptibility maps of Ulus district of Bartın where landslides develop in the same lithology. The important point of the study is that Chebyshev theorem is tested for selected study area in this study and the susceptibility map produced by this method is compared with the landslide susceptibility map produced by using data

set with pixel counting technique within the entire landslide body which is frequently used in the current literature. A total of 195 landslides were mapped in the study area and two different sampling strategies, Chebyshev's theorem and landslide mass were used in the determination of landslide and non-landslide areas. In this study, landslide susceptibility analysis has been done for the study area by using topographic elevation, aspect, curvature and NDVI parameters. In the susceptibility analysis using both sampling strategies, Frequency Ratio (FO) method, which is frequently used in literature, was used and two different susceptibility maps were produced. The performance of the susceptibility maps was evaluated according to Area Under Curve method (ROC-AUC) and the AUC values were determined as 0.78 for Chebyshev theorem and 0.72 for the sampling technique according to the number of pixels in the entire landslide mass, respectively. According to these values, both susceptibility maps were acceptable and the performance of the susceptibility map produced by sampling with the Chebyshev theorem is relatively higher than the other sampling method. This result shows that Chebyshev method used in the study is an alternative method that can be used effectively in landslide susceptibility mapping studies and that the susceptibility map produced by this method has a successful prediction capacity.

Keywords: Area Under Curve (AUC), Chebyshev Theorem, Frequency Ratio (FR), Landslide Susceptibility, Sampling Technique

GİRİŞ

Heyelanlar genel olarak kütle hareketleri içerisinde değerlendirilmekte olup, yamaçtaki kaya, toprak ve moloz türü malzemenin yerçekimi etkisiyle yamaç aşağı yöndeki hareketi olarak tanımlanmaktadır (Cruden and Varnes, 1996). Heyelanlar tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de can ve mal kayıplarına neden olan doğal afetlerin başında yer almaktadır. 2016 yılında Dünya'da meydana gelen doğa kaynaklı toplam 342 adet doğal afet kayıt altına alınmış ve doğa kaynaklı bu afetlerden etkilenen insan sayısı 410 milyon, afetlerde yaşamını yitiren insan sayısı ise 7,628 olarak belirlenmiştir (EMDAT, 2016). Türkiye'de ise 2016 yılında meydana gelen can ve mal kaybına neden olan doğal afet sayısı 323'tür ve bunların %20'sini (65 adet) heyelanların oluşturduğu görülmüştür (Ersoy vd., 2017). Ersoy vd. (2017) 2016 yılına ait yaptıkları bu araştırmada doğa kaynaklı afetlerden yaşamını yitiren insan sayısını 83 ve bunlardan 22'sinin heyelan türü doğal afet sırasında yaşamını kaybettiğini vurgulamışlardır. Heyelanların neden olduğu can ve mal kayıplarının önlenmesi amacıyla heyelan duyarlılık çalışmalarına verilen önem

gün geçtikçe artmaktadır. Heyelan duyarlılık haritaları, gelecekte olabilecek heyelanlara karşı duyarlı alanları ortaya koymanın yanı sıra herhangi bir alanın heyelan oluşumuna karşı eğilimini de ifade ederler (Aleotti ve Chowdhury, 1999; Guzzetti vd., 1999; Fell vd., 2008; Dağdelenler, 2013). Heyelan duyarlılık çalışmalarında amaç, geçmişte meydana gelen heyelanlardan hareketle, gelecekte oluşabilecek heyelanlı alanların tahminine yönelik çalışmaların gerçekleştirilmesidir. Heyelan duyarlılık harita üretiminde temel unsur, çalışma alanındaki mevcut kütle hareketlerinin mekansal dağılımlarının, yani heyelan envanter bilgisinin doğru ve güvenilir bir şekilde üretilmesidir. Doğru ve güvenilir bir şekilde çıkarılan envanter bilgisi heyelan duyarlılık değerlendirmelerinin yanı sıra tehlike ve risk değerlendirmelerinin de temelini oluşturmaktadır (Guzzetti vd., 1999; Van Westen vd., 2008; Fell vd., 2008).

Heyelan duyarlılık haritalama çalışmaları gerek ülkemizde gerekse de dünyada gün geçtikçe artmaktadır. Literatürde son yıllarda heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde yapay sinir ağları (YSA) (Ercanoğlu, 2005; Melchiorre vd., 2008; Kawabata ve Bandidas,

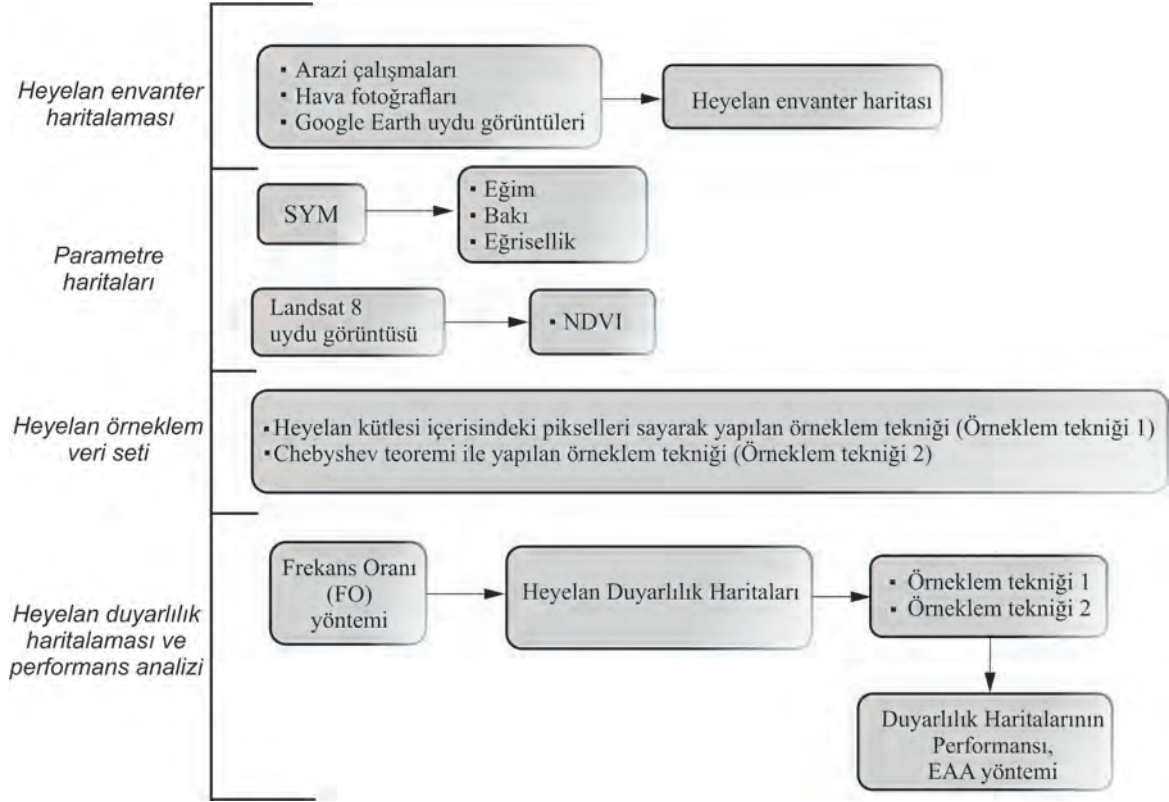
2009; Choi vd., 2012; Conforti vd., 2014; Romer ve Ferentinou, 2016; Aditian vd., 2018; Can vd., 2019); bulanık mantık yaklaşımı (Kanungu vd., 2009; Yılmaz, 2010; Akgün vd., 2011; Ercanoğlu ve Temiz, 2011; Wang vd., 2013; Chen vd., 2017); analitik hiyerarşi yöntemi (AHP) (Komac, 2006; Ercanoğlu vd., 2008; Yalçın vd., 2011; Althuwaynee vd., 2014; Chen vd., 2016); lojistik regresyon (Yeşilnacar ve Topal, 2005; Duman vd., 2006; Nefeslioglu vd., 2008; Tunusluoğlu vd., 2008; Nandi ve Shakoor, 2009; Kundu vd., 2013; Wang vd., 2015; Akgün ve Erkan, 2016); frekans oranı (FO) (Akgün vd., 2008; Yılmaz, 2009; 2010; Pradhan ve Lee, 2010; Akgun, 2012; Ozdemir ve Altural, 2013; Umar vd., 2014) ve destek vektör makinesi (SVM) (Yao vd., 2008; Pradhan, 2013; San, 2014; Tien vd., 2016) gibi değişik yöntemler kullanılmaktadır.

Herhangi bir çalışma alanına ait heyelan duyarlılık haritasının oluşturulması, ilk olarak uygun bir haritalandırma biriminin seçimi ile başlamaktadır (Guzzetti vd., 2005). Haritalama biriminin seçimi büyük ölçüde sonraki tüm analizleri ve duyarlılık modellemesini etkiler. Heyelan duyarlılık haritalama çalışmalarında çoğunlukla piksel tabanlı heyelan duyarlılık haritalaması tercih edilmekte ve piksel tabanlı yapılan bu haritalamanın ilk aşamasında heyelan olan ve olmayan alanların çıkarılması yani heyelan envanteri içerisinde örneklerin nereden yapılacağına (tüm heyelan kütlesi veya scarp alanı içerisinde kalan pikseller, scarp noktasına konulan tek bir piksel, veya kök hücre tekniği kullanılarak) çalışmanın amacına uygun bir şekilde karar verilir. Heyelan duyarlılık haritalama çalışmalarında kullanılan örneklem tekniklerinin çalışmanın amacına uygun olarak farklılık göstermesi gerekliliği literatürde birçok araştırmacı tarafından dile getirilmiştir (Fernandez vd., 2003; Süzen ve Doyuran, 2004; Clerici vd., 2006; Guzzetti vd., 2006; Görüm

vd., 2008; Nefeslioglu vd., 2008; Yılmaz, 2010; Nefeslioglu vd., 2011; Erener ve Düzgün, 2012; Dağdelenler vd., 2016; Ercanoğlu vd., 2016). Tüm bu mevcut heyelan örneklem tekniklerinden uygun olanının seçilmesi ve heyelan veri setinin de buna göre oluşturulması, sonuç heyelan duyarlılık haritasının doğruluk ve güvenilirliğini, pozitif yönde arttıracaktır. Bunları göz önünde bulunduran Ercanoğlu vd. (2016) yaptıkları çalışmada, heyelanlı ve heyelanlı olmayan alanları çıkartmak diğer bir deyişle heyelan veri setini oluşturmak için literatürde kullanılan tekniklerden farklı olarak Chebyshev teoremini kullanmışlar ve çalıştıkları alanın duyarlılık haritasını oluşturmuşlardır.

Bu çalışmada, heyelanlı ve heyelanlı olmayan alanların belirlenmesinde Ercanoğlu vd. (2016)'nın önerdiği Chebyshev teoremi ve tüm heyelan kütlesi içerisinde kalan piksellerin sayılması üzere iki farklı teknik kullanılmış ve Bartın ilinin Ulus ilçesine ait iki farklı heyelan duyarlılık haritası literatürde sıkça kullanılan Frekans Oranı (FO) yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Bu farklı iki örneklem tekniği kullanılarak oluşturulan veri setine ait duyarlılık haritalarının performansı ROC Eğrisi Altında Kalan Alan (EAA) yöntemi ile değerlendirilmiş ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Çalışmada heyelan hazırlayıcı parametrelerden topoğrafik yükseklik, eğim, bakı, eğrisellik ve normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi (NDVI) dikkate alınmıştır. Çalışmada izlenen yol aşağıda iş-akış diyagramı olarak Şekil 1'de verilmiştir. Chebyshev örneklem tekniğinin bu çalışmada kullanılması ve literatürde sıkça kullanılan başka bir teknikle karşılaştırılması bu çalışmanın özgünlüğünü arttırmakta ve Chebyshev tekniğinin de literatürdeki diğer örneklem tekniklerine alternatif bir teknik olarak kullanılabileceğini vurgulamaktadır.

Dağdelenler



Şekil 1. Çalışmada kullanılan iş-akış diyagramı.

Figure 1. A flow chart used in the study.

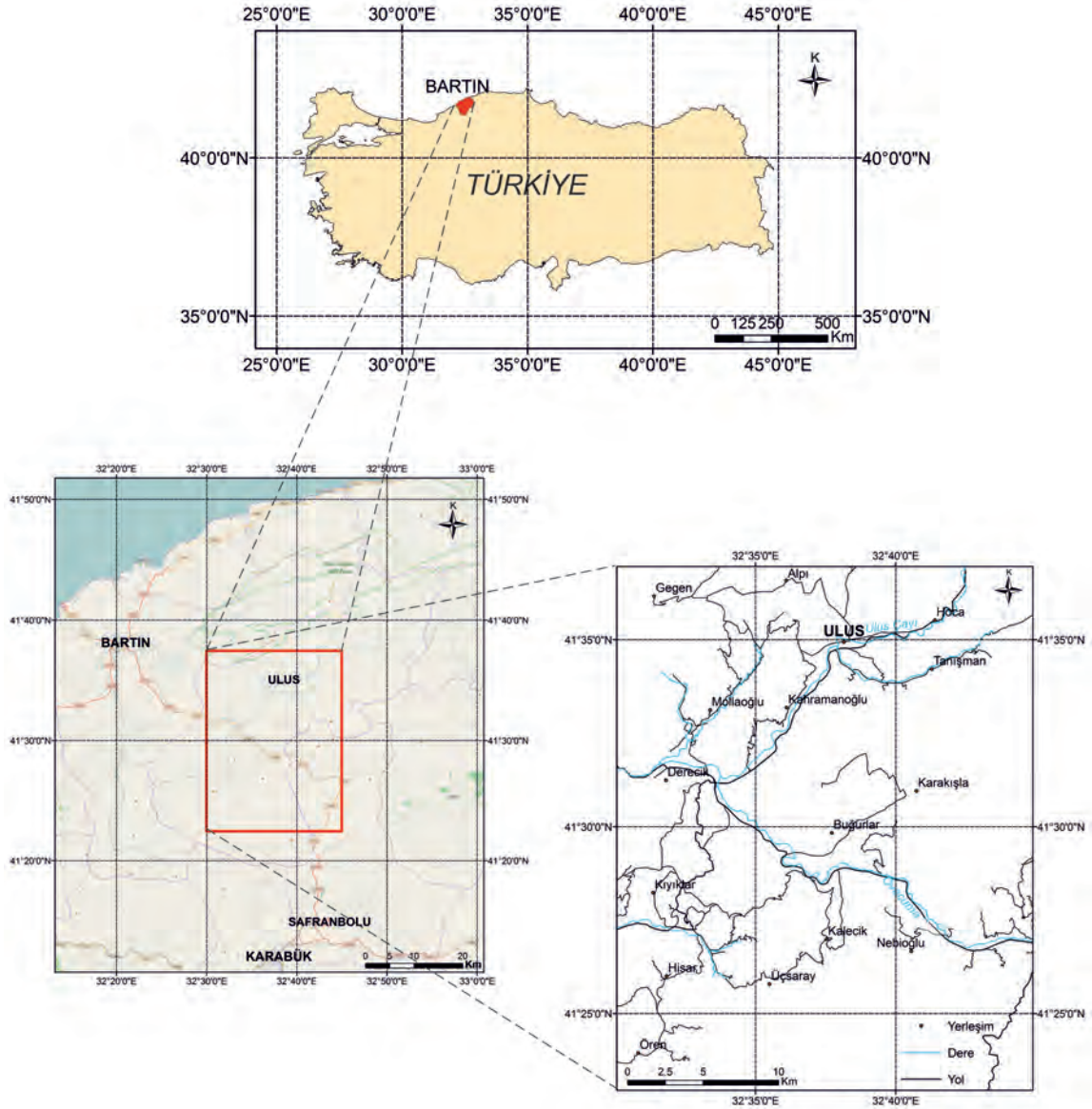
ÇALIŞMA ALANI VE JEOLJİSİ

Çalışma alanı olarak, Zonguldak E29d3, E29d4, F29a1 ve F29a2 paftaları içinde yer alan Batı Karadeniz Bölgesindeki Bartın ilinin Ulus ilçesi seçilmiştir (Dağdelenler vd., 2017'den değiştirilerek alınmıştır) (Şekil 2). Çalışma alanı içerisindeki en önemli akarsu yaklaşık KD'dan GB'ya doğru akan Ulus Çayı'dır. Çalışma alanındaki birimler zayıf zemin özellikleri gösterdiğinden çalışma alanının özelliklerinden biri olan yağışın da etkisiyle bölgenin heyelana oldukça duyarlı olduğu görülmektedir. Ulus ilçesinin yıllık ortalama sıcaklık 13 derece ve yıllık ortalama yağış miktarı 782 mm'dir. En fazla yağış miktarı yıllık 100 mm ortalama yağış ile Aralık ayında görülmektedir.

Bu çalışma kapsamında incelenen Ulus Havzası'nın temel kayaçlarını Üst Jura-Alt Kretase yaşlı krem-gri-koyu gri bozunma ve açık gri-krem-beyaz taze kırık renkli, rekristalize kireçtaşlarından oluşan İnalıtı Formasyonu oluştururken bu birimleri üzerleyen Kretase yaşlı Ulus Formasyonu ve yamaç molozu/alüvyon birimleri örtü kayaçları meydana getirmektedir (Şekil 3). Çalışma alanının büyük bir bölümünde gözlenen Ulus Formasyonu ilk kez Akyol vd. (1974) tarafından Bartın iline bağlı Ulus ilçesi çevresinde tanımlanmış olup en iyi gözlenebildiği yer Karabük-Yenice arasındaki yüzleklerdir. Bu formasyon, kahverengi-bozkoyu yeşil, ince-orta tabakalı, ince-orta taneli kumtaşı ve koyu yeşil-koyu gri renkli, orta-

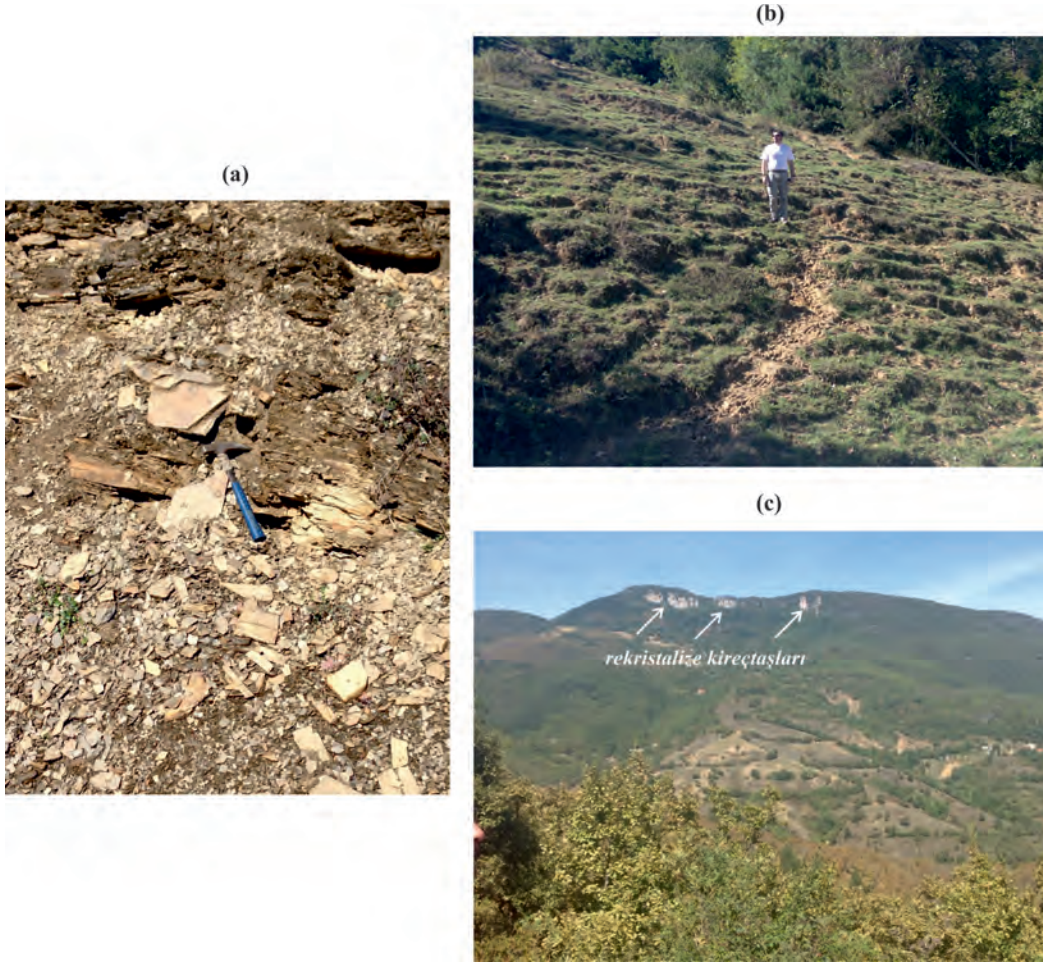
kalın tabakalı şeyllerden oluşan birim önceki çalışmalarda filiş çökelleri olarak tanımlanmıştır (Şekil 3 a). Çalışma alanında bulunan Kuvaterner yaşlı yamaç molozu genellikle yüksek eğim açısına sahip yamaçların eteklerinde yer almakta

olup, ince taneli malzeme de içermesinin yanı sıra çoğunlukla, köşeli, gevşek tutturulmuş çakıl ve bloklardan ve ince taneli oluşmaktadır. Çakılların arasında kum, silt ve kilden oluşan bir bağlayıcı malzeme de bulunmaktadır.



Şekil 2. Çalışma alanının lokasyon haritası (Dağdelenler vd., 2017'den değiştirilerek alınmıştır).

Figure 2. Location map of the study area (modified from Dagdelenler et al., 2017).



Şekil 3. (a) Karabük-Yenice arası Ulus formasyonunun karakteristik birimi filiş çökelmelerine, (b) çalışma alanında gözlenen yamaç molozuna ve (c) İnalti Formasyonunda gözlemlenen kristalize kireçtaşlarına bir örnek.

Figure 3. An example of (a) the flysch deposits of the Karabuk-Yenice characteristic unit of Ulus formation, (b) the talus observed in the study area and (c) the crystallized limestones observed in the İnalti Formation.

MATERYAL VE YÖNTEM

Literatürde heyelanlı ve heyelansız alanların belirlenmesinde farklı araştırmacılar tarafından farklı heyelan örnekleme teknikleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada öncelikle heyelanlı ve heyelansız alanların belirlenmesinde (örnekleme veri setinin oluşturulmasında) tüm heyelan kütleleri içerisindeki piksellerin sayılarak yapıldığı örnekleme tekniği (örnekleme tekniği 1) ve Chebyshev teoremi kullanılarak yapılan

örnekleme tekniği (örnekleme tekniği 2) olmak üzere iki farklı örnekleme tekniği kullanılmış ve çalışma alanının bu iki örnekleme tekniğine göre heyelan duyarlılık haritaları üretilmiştir. “Örnekleme tekniği 1” olarak tanımlanan örnekleme tekniği, tüm heyelan kütleleri içerisindeki piksellerin heyelanlı alan olarak; heyelan kütleleri dışında kalan piksellerin ise heyelansız alan olarak değerlendirilmesine dayanmaktadır. “Örnekleme tekniği 2” ise, Ercanoğlu vd. (2016)

tarafından literatürde ilk defa önerilen bir yöntem olan heyelanlı ve heyelansız alanlardaki piksellerin “Chebyshev yöntemi” ile belirlendiği tekniktir. Bu farklı iki yöntemle belirlenen heyelanlı ve heyelansız alanların heyelan hazırlayıcı parametreler ve çalışma alanının heyelan envanter haritası ile ilişkilendirilerek parametre gruplarının heyelanlarla ilişkisi ortaya konulmuştur. Böylelikle, iki farklı örneklem tekniği için hazırlanan veri tabanı yardımıyla frekans oranı (FO) yöntemi kullanılarak çalışma alanına ait iki farklı heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Devam eden bölümlerde heyelan duyarlılık haritalamasına kadar yapılan aşamalar sırasıyla anlatılmıştır.

Örneklem Veri Setinin Oluşturulması

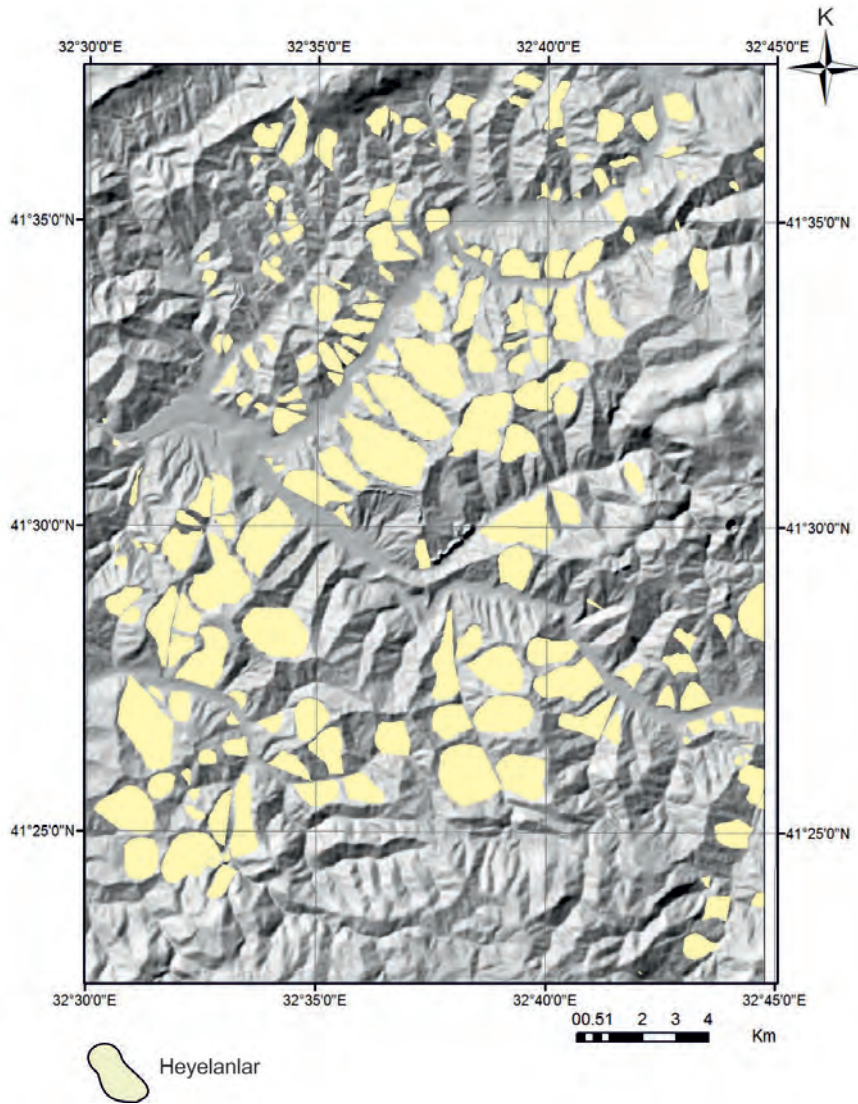
Çalışmanın ilk aşamasında, heyelan duyarlılık analizinde kullanılmak üzere çalışma alanına ait heyelan envanter haritalaması yapılmıştır. Yapılan detaylı arazi gözlemleri, alana ait hava fotoğraflarının ve Google Earth uydu görüntülerinin incelenmesi sonucunda çalışma alanında toplam 195 adet heyelanlı alan belirlenmiş ve belirlenen bu heyelan lokasyonları 1/25000 ölçekli topoğrafik haritaya işlenmiştir (Dağdelenler vd., 2017) (Şekil 4). 25 m çözünürlük için toplam 578 km²'lik çalışma alanında, heyelanlı alanlar yaklaşık 103 km²'lik bir alanı (165217 piksel) kaplamaktadır ve 195 adet heyelan içerisinde en büyük heyelan alanın ise 10.4 km² olduğu görülmektedir. Çalışma alanında meydana gelen heyelanların Varnes (1978) heyelan sınıflama sistemine göre çoğunlukla kütleli derin dairesel kaymalar olduğu gözlemlenmiştir. Çalışma alanında gözlenen heyelanlar ve kayma yönlerine ait örnekler Şekil 5'te görülmektedir.

Çalışmanın ikinci aşamasını, yine heyelan duyarlılık analizlerinde kullanılacak heyelana

neden olan parametre haritalarının üretilmesi oluşturmaktadır. Bu çalışma kapsamında, SYM ve Landsat 8 uydu görüntüsü temel alınarak doğrudan ya da ikincil harita üretimleri gerçekleştirilmiştir. SYM'den itibaren topoğrafik yükseklik (doğrudan), eğim, bakı, eğrisellik (ikincil olarak); Landsat 8 görüntüsü kullanılarak da, çalışma alanının normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi (NDVI) (aritmetiksel işlemlerle ikincil olarak) haritaları olmak üzere, toplam 5 adet parametre haritası üretilmiştir. Heyelana neden olan bir diğer parametre de litolojidir. Fakat bu çalışmada litoloji duyarlılık analizlerinde girdi parametresi olarak kullanılmamıştır. Litoloji parametresinin girdi parametresi olarak dahil edilmemesinin nedeni, heyelanların hemen hemen hepsinin aynı litolojide (Ulus formasyonu olarak bilinen filiş çökellerinde) meydana gelmesi, farklı iki örneklem tekniği kullanılsa bile duyarlılık analiz sonuçlarında hiçbir değişiklik olmayacağıdır. Çalışma alanı yaklaşık 578 km²'lik bir alanı (toplam 1436022 piksel) kaplamaktadır. Çalışma alanına ait sayısal yükseklik modeli (SYM), Harita Genel Müdürlüğü (HGK)'nın 2001 yılına ait 1/25000 ölçekli topoğrafik haritaları 25x25m çözünürlükte sayısallaştırma işlemi yapılarak elde edilmiştir (Şekil 6a). Oluşturulan SYM'den ArcGIS 10.3 programının “spatial analyst” modülü kullanılarak eğim, bakı ve eğrisellik parametre haritaları yine raster veri formatında ve 25 m mekansal çözünürlüğe sahip olarak üretilmiştir (Şekil 6b,c,d,e). Çalışma alanında yükseklik değerleri 83 m ile 1570 m arasında değişmekte olup, ortalama yükseklik değeri 556 m'yi bulmaktadır. Bu çalışmada kullanılan eğim açısı heyelan duyarlılık haritalamasında sıklıkla kullanılan bir parametredir (Cevik ve Topal, 2003; Yalçın ve Bulut, 2007; Yalçın, 2008; Yılmaz, 2009; Erener ve Düzgün, 2010; Dağ vd., 2011). Çalışma alanındaki eğim değerleri 0°-72°

arasında değişmekte olup, ortalama eğim 20° 'yi bulmaktadır. Çalışma alanındaki eğrisellik değerleri topografyanın morfolojik yapısı ile ilgilidir (Lee ve Min, 2001; Erener ve Düzgün, 2010). Çalışma alanına ait eğrisellik haritası Şekil 6 (d)'de görülmektedir. Çalışma alanına

ait Landsat 8 ETM+ uydu görüntüsü yardımıyla elde edilen NDVI değerlerine göre alanın bitki yoğunluğu değerlendirilmiştir. Çalışma alanının genelinde NDVI değerleri $-0.41-0.2$ arasında değişmektedir (Şekil 6e).



Şekil 4. Çalışma alanında haritalanan heyelanlar (Dağdelenler vd., 2017).

Figure 4. Landslides mapped in the study area (Dagdelenler et al., 2017).



Şekil 5 (a,b,c). Çalışma alanındaki Buğurlar köyü civarında gözlenen heyelanlar ve kayma yönleri.

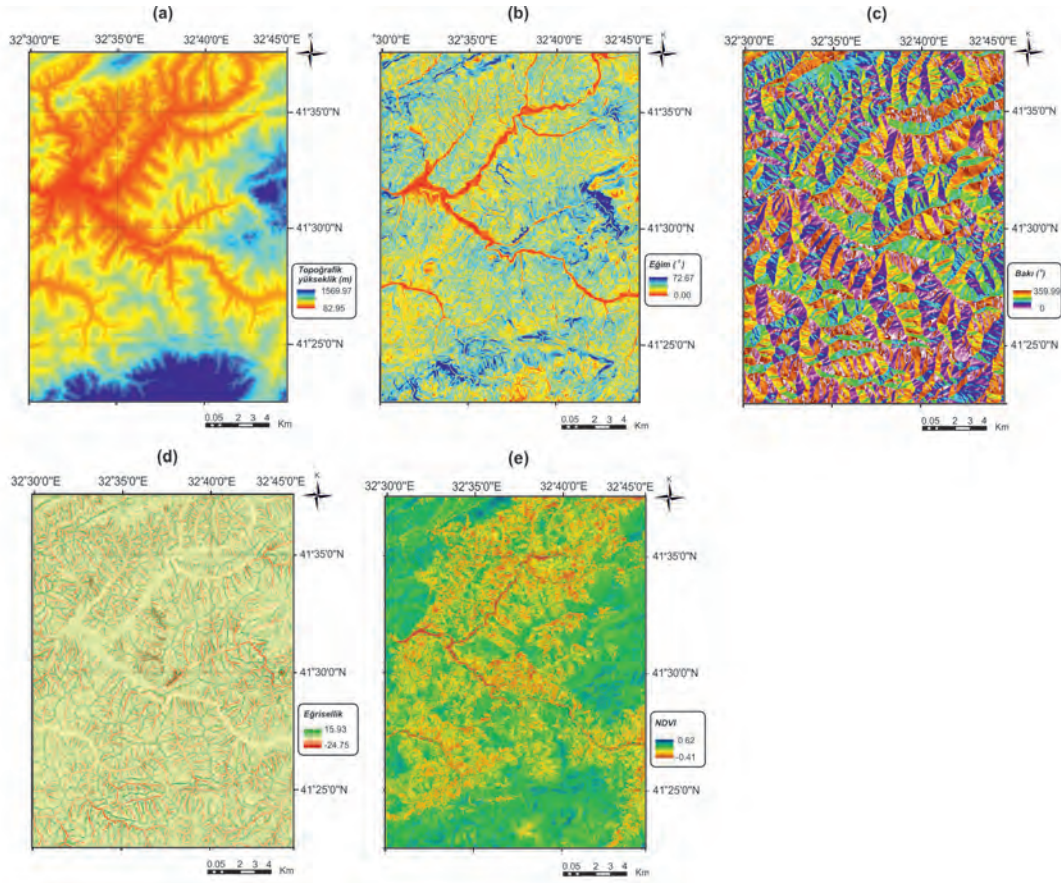
Figure 5 (a,b,c). Landslides and sliding directions observed around the Bugurlar village in the study area.

Kullanılan Örneklem Teknikleri

Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde literatürde birçok farklı örneklem veri seti tekniği kullanılmaktadır. Bu çalışmada da veri üretimi için tüm heyelan kütleleri içerisindeki piksel sayılarına göre yapılan (örneklem tekniği 1) ve Chebyshev teoremi kullanılarak yapılan örneklem tekniği (örneklem tekniği 2) olmak üzere iki farklı örneklem tekniği kullanılmış, tüm çalışma alanı, heyelanlı ve heyelansız alanlardaki heyelana neden olan parametrelerin heyelan üzerindeki etkilerinin istatistiksel dağılımları (en küçük, en büyük, ortalama ve standart sapma değerleri) ortaya konulmuştur.

Çalışma alanının rastgele %75'i modelleme aşamasında, %25'i ise veriyi sınama aşamasında kullanılmıştır. Tüm heyelan kütleleri içerisindeki piksellerin heyelanlı alan olarak, dışarıdaki piksellerin ise heyelansız alan olarak değerlendirildiği örneklem tekniği 1 için topoğrafik yükseklik, eğim, bakı, eğrisellik ve NDVI parametrelerinin çalışma alanı, heyelanlı ve heyelansız alanlardaki istatistiksel dağılımları Çizelge 1'de görülmektedir. Örneklem tekniği 1 için toplam alan 918760 adet pikselden oluşmakta ve bunlardan heyelanlı alan 163733 ve heyelansız alan ise 755027 piksel sayısına karşılık gelmektedir.

Dağdelenler



Şekil 6. Çalışmada kullanılan veri tabanı haritaları (a) topoğrafik yükseklik; (b) eğim; (c) bakı; (d) eğrisellik; (e) NDVI.

Figure 6. Database maps used in the study (a) topographical elevation; (b) slope; (c) aspect; (d) curvature; (e) NDVI.

Chebyshev teoremi herhangi bir veri seti veya olasılık dağılım değerlerinin neredeyse tümünün ortalama değere yakın olmasının sağlandığı ilkesine dayanmaktadır. Diğer bir ifadeyle, bir veri seti veya olasılık dağılım değerlerinin, k standart sapma değeri ise $1/k^2$ oranından daha büyük olmayan oranının, ortalamasından $\pm k$ standart sapma açıklığı dışında temsil edici olmadığını ifade etmektedir. Ercanoğlu vd. (2016) yaptıkları çalışmada çok sayıda ve türde veri gruplarının içerildiği heyelan değerlendirmelerinde, objektif ve veriye dayalı bir veri tabanı oluşturulabilmesi

yönünde katkı sağlayacağını düşünerek, standart sapma k değerindeki değişimin göz önünde bulundurulmasıyla; $k=1.25-3$ arasında değişen değerler için heyelan veri tabanı oluşturmuşlardır. Araştırmacılar, rastgele değişkenin değişim aralığının ya da standart deviasyonunun küçük olmasının o değişkene ait birçok değerlerin ortalama değere çok yakın olduğunu gösterdiğini buna göre, Chebyshev teoreminde ortalama yaklaşık simetrik herhangi iki değer arasında kalan alan dağılımının standart deviasyonla ilişkili olduğunu vurgulamışlardır. Chebyshev yöntemi aşağıdaki eşitlikle tanımlanmaktadır.

Çizelge 1. Heyelana neden olan parametrelerin çalışma alanının, heyelanlı ve heyelansız alanlardaki basit istatistiksel dağılımları (örneklem tekniği 1 için).

Table 1. Simple statistical distributions of the parameters causing landslide in landslide and non-landslide areas (for sampling technique 1).

Parametre	Çalışma Alanı				Heyelanlı Alan				Heyelansız Alan			
	Ort.	En büyük	En küçük	Std. sapma	Ort.	En büyük	En küçük	Std. sapma	Ort.	En büyük	En küçük	Std. sapma
Topoğrafik yükseklik (m)	556.26	1569.97	82.95	301.14	436.84	1183.44	104.50	143.08	580.15	1569.94	82.99	319.66
Eğim (°)	20.16	72.67	0	7.98	19.13	45.78	0.60	5.55	20.36	72.41	0.05	8.20
Bakı (°)	185.15	359.99	0	107.74	178.31	359.77	0.35	99.20	186.42	359.99	0.00	105.30
Eğrisellik	0	15.93	-24.75	0.59	-0.06	6.44	-3.49	0.47	0.01	11.33	-19.00	0.57
NDVI	0.25	0.62	-0.41	0.15	0.18	0.55	-0.37	0.13	0.26	0.60	-0.40	0.15

$$P(\mu - k\sigma) < X < \mu + k\sigma \geq 1 - \frac{1}{k^2} \quad (1)$$

P olasılık, ortalama, k 1'den büyük olan herhangi bir sayı, standart deviasyon ve X ise rastgele değişkeni ifade etmektedir. Bu teorem, bir rastgele değişkenin k standart sapma aralığında bir değer alması olasılığını tahmin etmektedir (Ercanoğlu vd., 2016).

Ercanoğlu vd. (2016) yaptıkları çalışmada veri gruplarından ± 2 standart sapma aralığındaki değerleri incelediklerinde herhangi bir verinin bir grupta bulunma olasılığının 0.75 olduğunu hesaplamışlar ve bu değer de tüm veri setinin en az %75'ine karşılık geldiğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar, $k=1.25-3$ standart sapma değerleri ile oluşturulan veri tabanını kullanarak ürettikleri duyarlılık haritalarından en iyi performansı $k=2$ standart sapma değeri ile üretilen harita olduğunu vurgulamışlardır. Buradan yola çıkarak bu çalışmada Chebyshev teoremi için $k=2$ standart sapma değer aralığı için veri seti oluşturulmuş ve analizlerde bu veri tabanı kullanılmıştır. Chebyshev örneklem veri tabanının oluşturulması için her girdi parametresinin standart sapma, ortalama, en büyük ve en küçük değerleri CBS ortamında hesaplanmıştır. Tüm parametreler için $k=\pm 2$ standart sapma değerleri dikkate alınarak hem heyelanlı hem de heyelanlı olmayan alanlardaki

$k=2$ standart sapma değerleri hesaplanmış ve veri seti buna göre oluşturulmuştur. Her bir parametrenin (topoğrafik yükseklik, eğim, bakı, eğrisellik ve NDVI) heyelanlı ve heyelansız alanlardaki dağılımları Çizelge 2'de verilmiştir. Örneklem tekniği 2 için toplam alan 895900 adet pikselden oluşmakta ve bunlardan heyelanlı alan 156669 ve heyelansız alan ise 739231 piksel sayısına karşılık gelmektedir.

HEYELAN DUYARLILIK HARİTALARININ ÜRETİLMESİ

Bu çalışmada her iki örneklem tekniğine ait heyelan duyarlılık analizleri için Frekans Oranı (FO) yöntemi kullanılmıştır. Lee ve Talib (2005) tarafından önerilen Frekans Oranı (FO) yönteminde, dikkate alınan parametreler CBS ortamına aktarıldıktan sonra, heyelan envanter haritası ile ilişkilendirilerek, temelde yoğunluk analizleri yapılmaktadır. Frekans Oranı (FO) aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır.

$$FO = a/b \quad (2)$$

Bu eşitlikte FO, Frekans Oranı; a katsayısı, parametre alt gruplarındaki heyelanlı piksel sayısının, toplam heyelanlı piksel sayısı oranına; b katsayısı, parametre alt grubunun dikkate alınan alandaki piksel sayısının, dikkate alınan

Dağdelenler

alandaki toplam piksel sayısı oranına karşılık gelmektedir (Lee ve Talib, 2005). Yukarıdaki eşitlikte görüldüğü gibi Frekans Oranı (FO), a katsayısının, b katsayısına bölünmesi sonucunda elde edilmektedir. Kullanılan bu yöntemde FO değerinin 1'den büyük olması parametrenin göreceli olarak heyelan oluşumunda daha etkili olduğu, FO değerinin 1'den küçük olması ise, parametrenin heyelan oluşumunda daha az etkin olduğunu ifade etmektedir (Lee ve Talib, 2005). Bu yaklaşımdan hareketle, FO değerlerini hesaplamak için öncelikle çalışmada her iki örnekleme tekniği için de kullanılan 5 ayrı parametrenin sınıf alt grupları oluşturulmuştur. Daha sonra, bu sınıf alt gruplarına düşen o alt gruptaki heyelanlı piksel sayısı (GHPS) ve dikkate alınan alt gruptaki toplam piksel sayıları (GTPS) CBS ortamında belirlenmiştir. Belirlenen bu değerler, sırasıyla ilgili gruba ait heyelanlı piksel sayısına bölünerek a katsayısı; gruptaki toplam piksel değerine bölünerek ise b katsayısı CBS ortamında hesaplanmış ve daha sonra bu değerler birbirine oranlanarak, her bir parametre alt grubu

için, FO değeri belirlenmiştir (Çizelge 3 ve 4). Çalışmada kullanılan her bir parametre alt grubu için hesaplanan FO değerleri, ilgili parametreye atanmış ve CBS ortamında karşılaştırılmıştır. FO değeri atanmış parametreler daha sonra CBS ortamında toplanarak, heyelan duyarlılık değerleri elde edilmiştir. Belirlenen bu heyelan duyarlılık değerleri çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek derecede duyarlı olmak üzere 5 sınıfa ayrılmış ve çalışma alanındaki her iki örnekleme yöntemine ait heyelan duyarlılık haritaları oluşturulmuştur (Şekil 7a,b).

Duyarlılık haritaları incelendiğinde; örnekleme tekniği 1 için ayrılan duyarlılık sınıflarının tercih edilen piksel yüzdeleri; çok düşük %0.94, düşük %11.05, orta %21.73, yüksek %38.19 ve çok yüksek %28.09 şeklindedir. Örnekleme tekniği 2 kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritasının duyarlılık sınıflarına bakıldığında ise; piksel yüzdeleri; çok düşük %0.49, düşük %20.34, orta %32.90, yüksek %28.90 ve çok yüksek %17.37 şeklinde olduğu görülmektedir.

Çizelge 2. Heyelana neden olan parametrelerin çalışma alanın, heyelanlı ve heyelansız alanlardaki basit istatistiksel dağılımları (örnekleme tekniği 2 için).

Table 2. Simple statistical distributions of the parameters causing landslide in landslide and non-landslide areas (for sampling technique 2).

Parametre	Heyelanlı Alan				Heyelansız Alan			
	Ort.	En büyük	En küçük	Std. sapma	Ort.	En büyük	En küçük	Std. sapma
Topoğrafik Yükseklik (m)	428.95	722.99	150.69	130.93	543.25	1491.1	82.99	286.63
Eğim (°)	19.05	30.13	8.03	4.88	20.40	72.41	0.00	8.19
Bakı (°)	178.31	359.77	0.35	99.20	186.41	359.99	0.00	105.30
Eğrisellik	-0.06	0.88	-0.99	0.38	0.01	15.33	-19.00	0.57
NDVI	0.18	0.44	-0.08	0.12	0.26	0.62	-0.41	0.15

Çizelge 3. Örneklem tekniği 1 için hesaplanan her bir parametreye ait frekans oranı (FO) değerleri.

Table 3. Frequency ratio (FR) values for each parameter calculated for sampling technique 1.

Topoğrafik yükseklik (m)	GHPS	GTPS	a	b	FO
82.95-248.18	16117	109082	0.098	0.119	0.83
248.18-413.40	57173	244242	0.349	0.266	1.31
413.40-578.63	73304	217622	0.448	0.237	1.89*
578.63-743.85	13880	142722	0.085	0.155	0.55
743.85-909.08	3146	79185	0.019	0.086	0.22
909.08-1074.30	106	46919	0.001	0.051	0.01
1074.30-1239.52	7	40492	0.000	0.044	0.00
1239.52-1404.75	0	32135	0.000	0.035	0.00
1404.75-1569.97	0	6361	0.000	0.007	0.00
Eğim (°)					
0-8.08	3185	70120	0.019	0.076	0.25
8.08-16.15	46666	197657	0.285	0.215	1.32
16.15-24.23	84668	373982	0.517	0.407	1.27
24.23-32.30	27507	224323	0.168	0.244	0.69
32.3-40.37	1631	46673	0.010	0.051	0.20
40.37-48.45	76	5152	0.000	0.006	0.08
48.45-56.52	0	686	0.000	0.001	0.00
56.52-64.60	0	85	0.000	0.000	0.00
64.60-72.67	0	82	0.000	0.000	0.00
Bakı (°)					
-1-0 (düz)	0	1	0.000	0.000	0.00
0-45	17153	119118	0.105	0.130	0.81
45-90	21550	109897	0.132	0.120	1.10
90-135	24979	110121	0.153	0.120	1.27
135-180	20288	106232	0.124	0.116	1.07
180-225	18965	97372	0.116	0.106	1.09
225-270	22793	106962	0.139	0.116	1.20
270-315	20750	133572	0.127	0.145	0.87
315-360	17255	135485	0.105	0.147	0.71
Eğrisellik					
-24.75--1.55	554	8630	0.003	0.009	0.36
-1.55--0.96	4560	34562	0.028	0.038	0.74
-0.96--0.37	32030	160103	0.196	0.174	1.12
-0.37-0.21	85090	416770	0.520	0.454	1.15
0.21-0.80	36135	230602	0.221	0.251	0.88
0.80-15.93	5364	68093	0.033	0.074	0.44
NDVI					
-0.41--0.29	69	1471	0.000	0.002	0.26
-0.29--0.18	315	6902	0.002	0.008	0.26
-0.18--0.07	5242	22901	0.032	0.025	1.28
-0.07-0.05	23614	77025	0.144	0.084	1.72
0.05-0.16	41063	142586	0.251	0.155	1.62
0.16-0.28	52643	207123	0.322	0.225	1.43
0.28-0.39	33474	295930	0.204	0.322	0.63
0.39-0.51	7277	160620	0.044	0.175	0.25
0.51-0.62	36	4202	0.000	0.005	0.05

GHPS: Gruptaki Heyelanlı Piksel Sayısı; GTPS: Gruptaki Toplam Piksel Sayısı; a: parametre alt grubundaki heyelanlı piksel sayısının, toplam heyelanlı piksel sayısına oranı; b: parametre alt grubunun alandaki piksel sayısının, alandaki toplam piksel sayısına oranı; FO: Frekans Oranı $\sum GHPS=163733$; $\sum GTPS=918760$; *: En yüksek FO değeri.

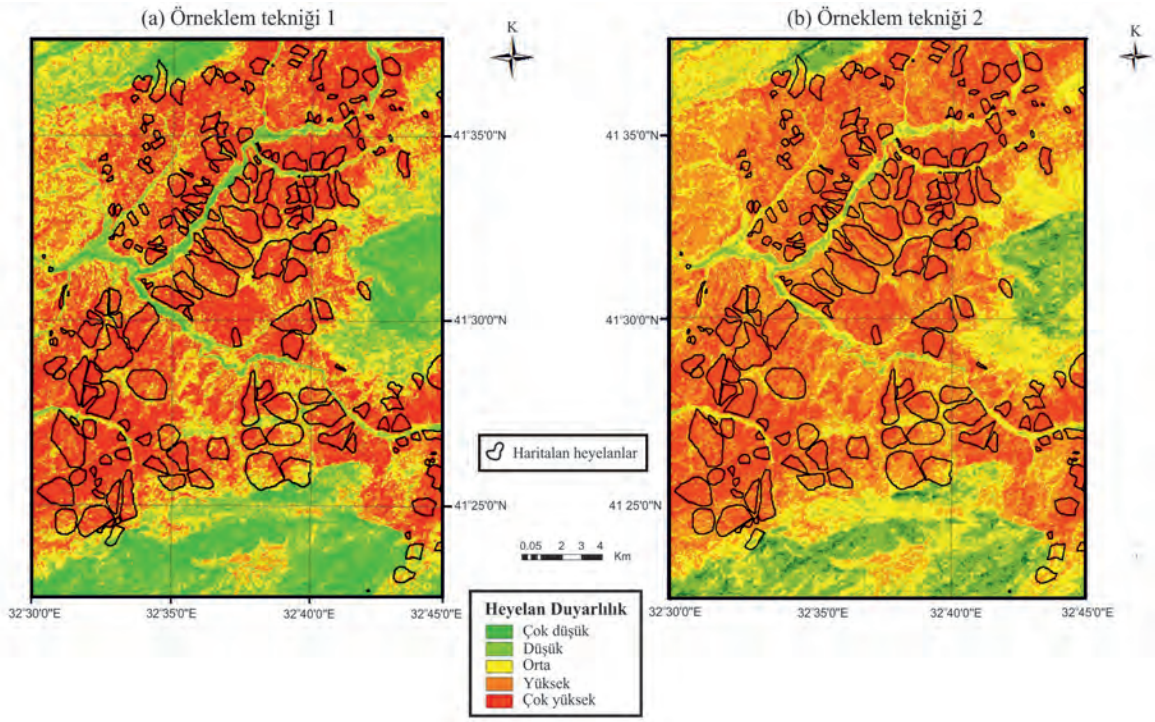
Dağdelenler

Çizelge 4. Örnekleme tekniği 2 için hesaplanan her bir parametreye ait frekans oranı (FO) değerleri.

Table 4. Frequency ratio (FR) values for each parameter calculated for sampling technique 2.

Topoğrafik yükseklik (m)	GHPS	GTPS	a	b	FO
82.95-248.18	15029	250662	0.096	0.287	0.34
248.18-413.40	57002	191214	0.361	0.218	1.70
413.40-578.63	63200	155844	0.400	0.178	2.32*
578.63-743.85	21468	137350	0.143	0.134	0.89
743.85-909.08	0	72981	0.000	0.082	0.00
909.08-1074.30	0	41360	0.000	0.047	0.00
1074.30-1239.52	0	28719	0.000	0.033	0.00
1239.52-1404.75	0	16360	0.000	0.019	0.00
1404.75-1569.97	0	1410	0.000	0.002	0.00
Eğim (°)					
0-8.08	69	208981	0.000	0.233	0.00
8.08-16.15	46666	152823	0.298	0.171	1.75
16.15-24.23	84668	293793	0.540	0.328	1.65
24.23-32.30	25266	192159	0.161	0.214	0.75
32.3-40.37	0	42558	0.000	0.048	0.00
40.37-48.45	0	4778	0.000	0.005	0.00
48.45-56.52	0	651	0.000	0.001	0.00
56.52-64.60	0	74	0.000	0.000	0.00
64.60-72.67	0	83	0.000	0.000	0.00
Bakı (°)					
-1-0 (düz)	0	137068	0.000	0.169	0.00
0-45	17053	91125	0.105	0.099	1.07
45-90	21450	91610	0.132	0.100	1.34
90-135	21779	89712	0.153	0.098	1.39
135-180	20268	92762	0.124	0.101	1.25
180-225	17966	84125	0.116	0.093	1.22
225-270	21743	88129	0.139	0.096	1.41
270-315	20452	115092	0.127	0.127	1.02
315-360	15988	106277	0.105	0.117	0.86
Eğrisellik					
-24.75--1.55	1	5938	0.000	0.007	0.00
-1.55--0.96	740	28638	0.004	0.031	0.15
-0.96--0.37	32028	132669	0.206	0.140	1.38
-0.37-0.21	85090	473590	0.548	0.545	1.03
0.21-0.80	36135	195130	0.233	0.214	1.06
0.80-15.93	2705	59890	0.010	0.064	0.26
NDVI					
-0.41--0.29	52	1543	0.000	0.002	0.19
-0.29--0.18	258	6583	0.002	0.007	0.22
-0.18--0.07	4410	24144	0.028	0.027	1.04
-0.07-0.05	31976	100438	0.204	0.112	1.82
0.05-0.16	38053	150802	0.243	0.168	1.44
0.16-0.28	52303	196626	0.334	0.219	1.52
0.28-0.39	24344	252901	0.155	0.282	0.55
0.39-0.51	5303	157867	0.034	0.176	0.19
0.51-0.62	0	4996	0.000	0.006	0.00

GHPS= 156699; \sum GTPS=895900; *: En yüksek FO değeri



Şekil 7. (a) Örneklem tekniği 1 ile üretilen heyelan duyarlılık haritası ve (b) Örneklem tekniği 2 ile üretilen heyelan duyarlılık haritası.

Figure 7. (a) Landslide susceptibility map produced by sampling technique 1 and (b) Landslide susceptibility map produced by sampling technique 2.

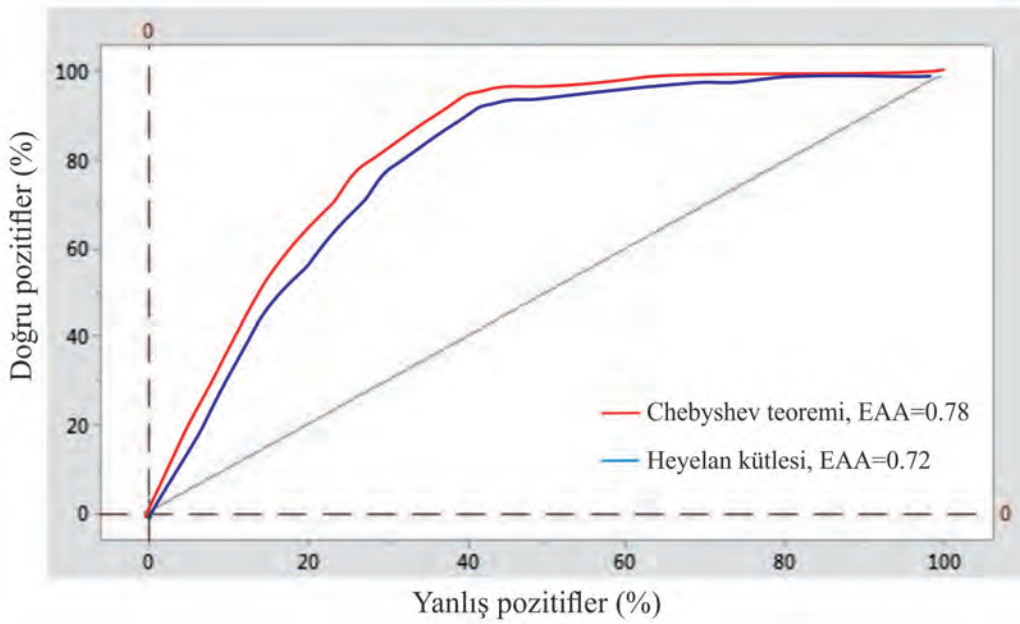
DUYARLILIK HARİTALARININ DOĞRULUK DEĞERLENDİRMESİ

Çalışma kapsamında üretilen heyelan duyarlılık haritalarının doğruluğunun sınanması, diğer bir deyişle, haritaların mevcut heyelanları ne derecede tahmin ettiğinin belirlenmesi gerekmektedir. Heyelan duyarlılık haritalarının doğruluğunun belirlenmesi için literatürde kullanılan birçok yöntem vardır. Bu çalışmada, farklı iki örneklem tekniği (örneklem tekniği 1 ve 2) ile üretilen duyarlılık haritalarının doğruluğunun değerlendirilmesi amacıyla ROC Eğrisi Altında Kalan Alan (EAA) yaklaşımı kullanılmıştır. ROC eğrisi, farklı eşik değerleri için dikey eksen üzerinde doğru pozitiflik (duyarlılık) ve yatay eksen üzerinde yanlış

pozitiflik (1-belirlilik) oranlarının yer aldığı bir eğridir (Dirican, 1991; Faraggi ve Reiser, 2002; Obuchowski vd., 2005; Beguiera, 2006; Dağdelenler, 2013). EAA değerinin 1'e yakın olması modelin doğruluğunun yüksek, 0.5'e yakın olması ise modelin doğruluğunun oldukça düşük olduğunu göstermektedir (Ayalew ve Yamagishi, 2005; Fawcett, 2006; Akgün ve Türk, 2010; Akgün, 2018). Bu çalışmada, EAA değerlerinin belirlenmesi için kontrol veri seti ile Idrisi Selva programının ROC modülü kullanılarak ROC analizi yapılmış ve Minitab 17 istatistiksel yazılım programı kullanılarak her iki model için ROC eğrileri çizilmiştir (Şekil 8). Her iki model için çizilen ROC eğrisinin 0.5 referans çizgisine uzak olduğu görülmektedir. Tüm

heyelan kütleleri içerisindeki pikselleri sayarak yapılan örnekleme tekniği (örnekleme tekniği 1) ve Chebyshev teoremi ile yapılan örnekleme tekniği (örnekleme tekniği 2) ile $k=2$ standart sapma veri seti ile kullanılarak yapılan duyarlılık haritalarının performans değerlendirilmesi sonucunda belirlenen EAA değerleri sırasıyla örnekleme tekniği 1 için 0.78 ve örnekleme tekniği 2 için ise 0.72 olarak belirlenmiştir (Şekil 8).

çalışmalarında önermiş olduğu Chebyshev teoremi kullanılarak $k=2$ standart sapma değeri için oluşturulan veri seti ile yapılan ve literatürde sıkça rastlanan rastgele noktalama yöntemi ile yapılan örnekleme teknikleri kullanılmış ve karşılaştırılmıştır. Çalışma alanı toplamda 578 km^2 'lik bir alanı kaplamakta olup, alanda toplam 195 adet dairesel kayma özelliğinde heyelan haritalanmıştır. Çalışma alanına ait topoğrafik yükseklik, eğim, baki, eğrisellik ve NDVI olmak



Şekil 8. İki farklı heyelan duyarlılık haritasına ait çizilen ROC eğrileri.

Figure 8. ROC curves of the two different landslide susceptibility maps.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Heyelanların sıklıkla meydana geldiği Batı Karadeniz Bölgesinin Bartın ilinin Ulus ilçesinde yapılan bu çalışmada iki farklı örnekleme tekniği ile veri seti hazırlanması ve daha sonra aynı çalışma alanı için iki farklı heyelan duyarlılık haritasının frekans oranı (FO) yöntemi ile üretilmesi amaçlanmıştır. Duyarlılık analizleri için veri setinin hazırlanmasında literatüre yeni girmiş olan Ercanoğlu vd. (2016)'nın

üzere toplam 5 adet parametre haritası 25mx25m çözünürlüğe sahip olacak şekilde oluşturulmuş ve bu parametre haritaları duyarlılık analizlerinde heyelan envanteri ile birlikte girdi parametresi olarak kullanılmıştır. İki farklı örnekleme tekniği ile yapılan duyarlılık analizlerinde frekans oranı (FO) yöntemi kullanılmıştır. Heyelan oluşumunda etkili 5 adet parametrenin FO oranı değerlerine bakıldığında; her iki örnekleme tekniği için de topoğrafik yükseklik değerinin 250-580 m arasında, eğim değerinin de 8-16°

arasında en yüksek FO oranına sahip olduğu, bakı değerlerine bakıldığında ise, en yüksek FO değerlerini GD (örneklem tekniği 1 için)-GB (örneklem tekniği 2 için) yönlerinin verdiği görülmektedir. Her iki örneklem tekniğinde de kullanılan bu 5 adet parametre alt gruplarında FO değeri en yüksek olan parametrenin topoğrafik yükseklik parametresi olduğu ortaya çıkmıştır (Bkz. Çizelge 3 ve 4).

Sonraki aşamada, çalışma alanındaki mevcut heyelanlarla, üretilen iki farklı heyelan duyarlılık haritası karşılaştırılmıştır. Buna göre, heyelan kütlesi içerisinde kalan piksel sayısına göre üretilen duyarlılık haritasında heyelanların %28.09'u çok yüksek duyarlı, %38.19'u yüksek duyarlı, %21.73'ü orta duyarlı, %11.05'i düşük duyarlı ve %0.94'ü ise çok düşük duyarlı sınıfta yer aldığı; Chebyshev teoremi ile yapılan örnekleme sonucu üretilen duyarlılık haritasında ise heyelanların %17.37'si çok yüksek duyarlı, %28.90'ı yüksek duyarlı, %32.90'ı orta duyarlı, %20.34'ü düşük duyarlı ve %0.49'u ise çok düşük duyarlı sınıfta yer aldığı görülmektedir.

Bu çalışmada heyelan tehlike ve risk değerlendirmelerinin oldukça önemli bir bölümünü oluşturan heyelan duyarlılık haritalamasında kullanılan farklı iki örneklem tekniği karşılaştırılmıştır. İki farklı örneklem veri seti ile üretilen iki farklı heyelan duyarlılık haritasının doğruluk performans değerlendirilmesi Eğri Altında Kalan Alan (EAA) değer yaklaşımı ile yapılmıştır. İki duyarlılık haritasının da doğruluk performansına bakıldığında performans açısından belirgin bir fark bulunmamakla birlikte, mevcut heyelanları temsil etmekte daha yüksek performansa sahip haritanın, Chebyshev teoremi ile yapılan örneklem sonucu üretilen harita olduğu görülmektedir.

Çalışmada dikkate alınan örneklem tekniklerinin birbirine yakın sonuç üretmesinin heyelan envanter haritasının güvenilirliği ile doğrudan ilişkili olduğu söylenebilir. Bu durum, bu tür çalışmalarda temel unsurun,

heyelan envanter haritasının mevcut heyelanlı alanları ne derecede iyi temsil ettiğinin de bir göstergesi olarak değerlendirilebilir. Diğer bir deyişle, heyelan envanter haritasının kalitesinin/doğruluğunun/güvenilirliğinin düşük olması, değerlendirme veya örnekleme yöntemini, üst düzey algoritmalar içerse bile, olumsuz yönde etkileyeceği açıktır. Bu nedenle, heyelanlar ve sonucunda oluşabilecek potansiyel hasarların/zararların en aza indirgenmesindeki temel unsurun, sağlıklı ve güvenilir bir heyelan envanteri ve veri tabanının olduğu göz ardı edilmemelidir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışmanın bir bölümü yürütücüsü olduğum Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi 014 D02 602 006-527 kodlu projenin bir kısım veri tabanı dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Yazar, projede araştırmacı olarak görev alan tüm proje ekibine katkılarından dolayı ve ayrıca makaleyi değerlendiren hakemlere de değerli yorumları için teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- Adition, A., Kubota, T., Shinohara, Y., 2018. Comparison of GIS-based landslide susceptibility models using frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network in a tertiary region of Ambon, Indonesia. *Geomorphology*, 318, 101-111.
- Akgün, A., Dağ, S., Bulut, F., 2008. Landslide susceptibility mapping for a landslide-prone area (Findikli, NE of Turkey) by likelihood-frequency ratio and weighted linear combination models. *Environmental Geology*, 54, 1127-1143.
- Akgün, A., Türk, N., 2010. İki ve çok değişkenli istatistik ve sezgisel tabanlı heyelan duyarlılık modellerinin karşılaştırılması: Ayvalık (Balıkesir, Kuzeybatı Türkiye) örneği. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 34(2), 85-112.

Dağdelenler

- Akgün, A., Sezer, E.A., Nefeslioglu, H.A., Gökçeoğlu, C., Pradhan, B., 2011. An easy-to-use MATLAB program (MamLand) for the assessment of landslide susceptibility using a Mamdani fuzzy algorithm. *Computers Geosciences*, 38(1), 23-34.
- Akgün, A., 2012. A comparison of landslide susceptibility maps produced by logistic regression, multicriteria decision and likelihood ratio methods: case study at Izmir, Turkey. *Landslides*, 9(1), 93-106.
- Akgün, A., Erkan, O., 2016. Landslide susceptibility mapping by geographical information system-based multivariate statistical and deterministic models: in an artificial reservoir area at Northern Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 9, 165, doi: 10.1007/s12517-015-2142-7.
- Akgün, A., 2018. Bulanık Uyarlanabilir Rezonans Teorisi (FuzzyART) Yöntemi Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Analizi: Tonya (Trabzon) Örneği. *GÜFBED/GUSTIJ* 8(1), 135-146. doi: 10.17714/gumusfenbil.346532.
- Akyol, Z., Arpat, E., Erdoğan, B., Göğer, E., Güner, Y., Şaroğlu, F., Şentürk, İ., Tütüncü, K. ve Uysal, Ş., 1974. 1/50.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası Serisi, Zonguldak E29 a, E29 b, E29 c, E29 d, Kastamonu E30 a, E30 d. MTA Yayınları, Ankara.
- Aleotti, P., Chowdhury, R., 1999. Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and Environment*, 58, 21-44.
- Althuwaynee, O.F., Pradhan, B., Park, H.J., 2014. A novel ensemble bivariate statistical evidential belief function with knowledge-based analytical hierarchy process and multivariate statistical logistic regression for landslide susceptibility mapping. *Catena*, 114, 21-36. doi: 10.1016/j.catena.2013.10.011.
- Ayalew, L., Yamagishi, H., 2005. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology*, 65, 15-31.
- Begueria, S., 2006. Validation and evaluation of predictive models in hazard assessment and risk management. *Natural Hazards*, 37(3), 315-329.
- Can, A., Dagdelenler, G., Ercanoglu, M., Sonmez, H., 2019. Landslide susceptibility mapping at Ovacık-Karabük (Turkey) using different artificial neural network models: comparison of training algorithms. *Bulletin of Engineering Geological Environment*, 78, 89-102.
- Cevik, E., Topal, T., 2003. GIS-based landslide susceptibility mapping for a problematic segment of the natural gas pipeline, Hendek (Turkey). *Environmental Geology*, 44, 949-962.
- Chen, W., Li, W., Chai, H., Hou, E., Li, X., Ding, X., 2016. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process (AHP) and certainty factor (CF) models for the Baozhong region of Baoji City, China. *Environmental Earth Sciences*, 75, 1-14.
- Chen, W., Pourghasemi, H.R., Panahi, M., Kornejady, A., Wanh, J., Xie, X., Cao, S., 2017. Spatial prediction of landslide susceptibility using an adaptive neuro-fuzzy inference system combined with frequency ratio, generalized additive model, and support vector machine techniques. *Geomorphology*, 297, 69-85.
- Choi, J., Oh, H.-J., Lee, C., Lee, S., 2012. Combining landslide susceptibility maps obtained from frequency ratio, logistic regression and artificial neural network models using ASTER images and GIS. *Engineering Geology*, 124, 12-23.
- Clerici, A., Perego, S., Tellini, C., Vescovi, P., 2006. A GIS-Based automated procedure for landslide susceptibility mapping by the conditional analysis method: The Baganza valley case study (Italian Northern Apennines). *Environmental Geology*, 50, 941-961.
- Conforti, M., Pascale, S., Robustelli, G., Sdao, F., 2014. Evaluation of prediction capability of the artificial neural networks for mapping landslide susceptibility in the Turbolo River catchment (Northern Calabria, Italy). *Catena*, 113, 236-250.
- Dağ, S., Bulut, F., Alemdağ, S., Kaya, A., 2011. heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde kullanılan yöntem ve parametrelere ilişkin genel bir değerlendirme. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1(2), 151-176.
- Dağdelenler, G., 2013. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Örnekleme ve Doğrulama Stratejilerinin Değerlendirilmesi (Gelibolu Yarımadası'nın Doğu Kesimi). Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.

- Dağdelenler, G., Nefeslioğlu, H.A., Gökçeoğlu, C., 2016. Modification of seed cell sampling strategy for landslide susceptibility mapping: an application from the Eastern part of the Gallipoli Peninsula (Canakkale, Turkey). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 75, 575-590.
- Dağdelenler, G., Ercanoğlu, M., Sönmez, H., Özsayın, E., Güleç, F., 2017. Topoğrafik haritalardan yararlanarak heyelan envanter haritalamasının coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ortamında otomatik olarak elde edilmesine yönelik bir çalışma: Ulus (Bartın) havzası. Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi, Destek Projesi, Proje No: 014 D02 602 006-527.
- Dirican, A., 1991. ROC eğrisi çözümlenmesi ile tanı testlerinin değerlendirilmesi ve bilgisayar uygulaması. Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Duman, T.Y., Can, T., Gokceoglu, C., 2006. Application of logistic regression for landslide susceptibility zoning of Cekmece Area Istanbul Turkey. *Environmental Geology*, 51(2), 241-256.
- EMDAT, 2016. The International Disaster Database. <http://www.emdat.be>.
- Ercanoğlu, M., 2005. Landslide susceptibility assessment of SE Bartın (West Black Sea region, Turkey) by artificial neural networks. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5, 979-992.
- Ercanoğlu, M., Kasmer, O., Temiz, N., 2008. Adaptation and comparison of expert opinion to analytical hierarchy process for landslide susceptibility mapping. *Bulletin of Engineering Geology and Environment*, 67, 565-578.
- Ercanoğlu, M., Temiz, F.A., 2011. Application of logistic regression and fuzzy operators to landslide susceptibility assessment in Azdavay (Kastamonu, Turkey). *Environmental Earth Sciences*, 64, 949-964.
- Ercanoğlu, M., Dağdelenler, G., Özsayın, E., Alkeveli, T., Sönmez, H., Özyurt, N.N., Kahraman, B., Uçar, İ., Çetinkaya, S., 2016. Application of Chebyshev theorem to data preparation in landslide susceptibility mapping studies: an example from Yenice (Karabük, Turkey) region. *Journal of Mountain Science*, 13(11). doi: 10.1007/s11629-016-3880-z.
- Erener, A., Düzgün, H.S.B., 2010. Improvement of statistical landslide susceptibility mapping by using spatial and global regression methods in the case of more and romsdal (Norway). *Landslides*, 7(1), 55-68.
- Erener, A., Düzgün, H.S.B., 2012. Landslide susceptibility assessment: what are the effects of mapping unit and mapping method? *Environmental Earth Science*, 66, 859-877. DOI 10.1007/s12665-011-1297-0.
- Ersoy, Ş., Nurlu, M., Gökçe, O., Özmen, B., 2017. 2016 Yılında Dünyada ve Türkiye’de Meydana Gelen Doğa Kaynaklı Afet Kayıplarının İstatistiksel Değerlendirmesi. *Mavi Gezegen*, Sayı:22, 13-27 s.
- Faraggi, D., Reiser, B., 2002. Estimation of the area under the ROC curve. *Stat Med*. 21, 3093-3106.
- Fawcett, T., 2006. An introduction to ROC analysis. *Pattern Recognition Letters*, 27, 861- 874.
- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., Savage, W.Z., 2008. On behalf of the itc-1 joint technical committee on landslides and engineered slopes: guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. *Engineering Geology*, 102, 85-98.
- Fernandez, T., Irigaray, C., El Hamdouni, R., Chacon, J., 2003. methodology for landslide susceptibility mapping by means of a GIS application to the contravies area (Granada, Spain). *Natural Hazards*, 30(3), 297-308.
- Gorum, T., Gonencgil, B., Gokceoglu, C., Nefeslioglu, H.A., 2008. Implementation of reconstructed geomorphologic units in landslide susceptibility mapping: The Melen Gorge (NW Turkey). *Natural Hazards*, 46(3), 323-351.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., Reichenbach, P., 1999. Landslide hazard evolution: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology*, 31, 181-216.
- Guzzetti, F., Reichenbach, P., Cardinali, M., Galli, M., Ardizzone, F., 2005. Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale. *Geomorphology*, 72, 272-299.

Dağdelenler

- Guzzetti, F., Reichenbach, P., Ardizzone, F., Cardinali, M., Galli, M., 2006. Landslide hazard assessment in the Collazzone area, Umbria, Central Italy. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6, 115–131.
- Kanungu, D.P., Arora, M.K., Sarkar, S., Gupta, R.P., 2009. A fuzzy set based approach for integration of thematic maps for landslide susceptibility zonation. *Georisk*, Vol. 3, Issue 1, 30-43.
- Kawabata, D., Bandibas, J., 2009. Landslide susceptibility mapping using geological data, a DEM from ASTER images and an Artificial Neural Network (ANN). *Geomorphology*, 113, 97-109.
- Komac, M., 2006. A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia. *Geomorphology*, 74 (1-4), 17-28.
- Kundu, S., Saha, A.K., Sharma, D.C., 2013. Remote sensing and gis based landslide susceptibility assessment using binary logistic regression model: a case study in the ganeshganga watershed himalayas. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 41(3), 697-709. doi: 10.1007/ s12524-012-0255-y.
- Lee, S., Talib, J.A., 2005. Probabilistic landslide susceptibility and factor effect analysis. *Environmental Geology*, 47(7), 982-990.
- Lee, S., Min, K., 2001. Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea. *Environmental Geology*, 40, 1095-1113.
- Melchiorre, C., Matteucci, M., Azzoni, A., Zanchi, A., 2008. Artificial neural networks and cluster analysis in landslide susceptibility zonation. *Geomorphology*, 94, 379-400.
- Nandi, A., Shakoor, A., 2009. A GIS-based landslide susceptibility evaluation using bivariate and multivariate statistical analyses. *Engineering Geology*, 110(1-2), 11-20. doi: 10.1016/j.enggeo.2009.10.001.
- Nefeslioglu, H., Gokceoglu, C., Sonmez, H., 2008. An assessment on the use of logistic regression and artificial neural networks with different sampling strategies for the preparation of landslide susceptibility maps. *Engineering Geology*, 97(3/4), 171–191.
- Nefeslioglu, H.A., Gökçeoğlu, C., Sönmez, H., Görüm, T., 2011. Medium-scale hazard mapping for shallow landslide initiation: the Buyukoy catchment area (Cayeli, Rize, Turkey). *Landslides*, 8(4), 459-483.
- Obuchowski, N.A., 2005. ROC analysis. *American Journal of Roentgenology*, 184, 364-372.
- Ozdemir, A., Altural, T., 2013. A comparative study of frequency ratio, weights of evidence and logistic regression methods for landslide susceptibility mapping: Sultan Mountains, SW Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 64, 180-197.
- Pradhan, B., Lee, S., 2010. Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: back propagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modelling. *Environmental Modelling and Software*, 25, 747-759.
- Pradhan, B., 2013. A comparative study on the predictive ability of the decision tree support vector machine and neuro-fuzzy models in landslide susceptibility mapping using GIS. *Computers & Geosciences*, 51, 350-365. doi: 10.1016/j.cageo.2012.08.023.
- Romer, C., Ferentinou, M., 2016. Shallow landslide susceptibility assessment in a semiarid environment-A Quarternary catchment of KwaZulu-Natal, South Africa. *Engineering Geology*, 201, 29-44.
- San, B.T., 2014. An evaluation of SVM using polygon-based random sampling in landslide susceptibility mapping: The Candir catchment area (western Antalya Turkey). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 26, 399-412. doi:10.1016/j.jag.2013.09.010.
- Suzen, M.L., Doyuran, V., 2004. Data driven bivariate landslide susceptibility assessment using geographical information systems: A method and application to Asarsuyu catchment, Turkey. *Engineering Geology*, 71, 303-321.
- Tien Bui, D., Tuan, T., Klempe, H., Pradhan, B., Revhaug, I., 2016. Spatial prediction models for shallow landslide hazards: a comparative assessment of the efficacy of support vector machines, artificial neural networks, kernel logistic regression, and logistic model tree.

- Landslides, 13(2), 361–378. doi:10.1007/s10346-015-0557-6.
- Tunusluoglu, M.C., Gökçeoğlu, C., Nefeslioğlu, H.A. ve Sönmez, H., 2008. Extraction of potential debris source areas by logistic regression technique: A case study from Barla. Besparmak and Kapi Mountains (NW Taurids. Turkey). *Environmental Geology*, 54: 9–22.
- Ozdemir, A., Altural, T., 2013. A comparative study of frequency ratio weights of evidence and logistic regression methods for landslide susceptibility mapping: Sultan Mountains, SW Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 64, 180-197.
- Umar, Z., Pradhan, B., Ahmad, A., Jebur, M.N. ve Tehrani, M.S., 2014. Earthquake induced landslide susceptibility mapping using an integrated ensemble frequency ratio and logistic regression models in West Sumatera Province. *Indonesia, CATENA*, 118, 124-135.
- Van Westen, C.J., Castellanos, E., Kuriakose, S.L., 2008. Spatial data for landslide susceptibility, hazard and vulnerability assessment: An overview. *Engineering Geology*, 102, 112-131.
- Varnes, D.J., 1978. Slope Movement Types and Processes. In: Schuster, R.L. and Krizek, R.J., Eds., *Landslides: analysis and control*, National Research Council, Washington DC, Transportation Research Board, Special Report 176, National Academy Press, Washington DC, 11-33.
- Wang, L.J., Sawada, K., Moriguchi, S., 2013. Landslide susceptibility analysis with logistic regression model based on FCM sampling strategy. *Computers and Geosciences*, 57, 81-92.
- Wang, L.J., Guo, M., Sawada, K., Lin, J., Zhang, J., 2015. Landslide susceptibility mapping in Mizunami City, Japan: a comparison between logistic regression, bivariate statistical analysis and multivariate adaptive regression spline models. *Catena*, 135, 271-282.
- Yalçın, A., Bulut, F., 2007. Landslide susceptibility mapping using GIS and digital photogrammetric techniques: A case study from Adresen (NE-Turkey). *Natural Hazards*, 41, 201-226.
- Yalçın, A., 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Adresen (Turkey): Comparisons of results and confirmations. *Catena*, 72, 1-12.
- Yalçın, A., Reis, S., Aydınoglu, A.C., Yomralioğlu, T., 2011. A GIS-based comparative study of frequency ratio, analytical hierarchy process, bivariate statistics and logistics regression methods for landslide susceptibility mapping in Trabzon, Ne Turkey. *Catena*, 85, 274–287.
- Yao, X., Tham, L.G., Dai, F.C., 2008. Landslide susceptibility mapping based on support vector machine: a case study on natural slopes of Hong Kong, China. *Geomorphology*, 101, 572–582.
- Yesilnacar, E., Topal, T., 2005. Landslide susceptibility mapping: A comparison of logistic regression and neural networks methods in a medium scale study Hendek region (Turkey). *Engineering Geology*, 79(3-4), 251-266. doi:10.1016/j.enggeo.2005.02.002.
- Yılmaz, I., 2009. Landslide susceptibility mapping using frequency ratio logistic regression artificial neural networks and their comparison: A case study from Kat landslides (Tokat-Turkey). *Computers & Geosciences*, 35(6), 1125-1138. doi: 10.1016/j.cageo.2008.08.007
- Yılmaz, I., 2010. The effect of the sampling strategies on the landslide susceptibility mapping by conditional probability and artificial neural networks. *Environmental Earth Sciences*, 60(3), 505-519. doi: 10.1007/s12665-009-0191-5.



Araştırma Makalesi / Research Article

Menderes Masifi'nde Açılmış Açık Ocak Albit Madenindeki Bir Duraysızlığın Nedenlerinin Araştırılması ve Robotic Total Station Cihazı Kullanılarak Yenilme Öncesinde Şev Hareketlerinin İzlenmesi

Investigation of the Causes of an Instability in an Albite Mine Opened in Menderes Massif and Monitoring Slope Movements Before the Failure Employing Robotic Total Station Equipment

Saffet Deniz KARAGÖZ¹ , Cem KINCAL²  ve M. Yalçın KOCA² ,

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Tınaztepe, Buca/İzmir

² Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Tınaztepe, Buca/İzmir.

Geliş (Received): 10 Ekim (October) 2019 / Düzeltme (Revised): 30 Aralık (December) 2019 / Kabul (Accepted): 25 Şubat (February) 2020

ÖZ

19.12.2018 tarihinde Menderes Masifi içinde, ayrılmış gnaylarda yer alan bir açık ocak madeninde büyük ölçekli bir heyelan meydana gelmiştir. Hemen hemen şev yüzeyine paralel uzanan bir yenilme yüzeyi oldukça sığ bir derinlikte gelişmiştir (Maksimum derinlik: 17 m). Duraysızlığın geliştiği şevin genel açısı 25° ve genel şev yüksekliği ise 80 m'dir (Kotlar: 490 m – 410 m). Kayan malzeme miktarı ise yaklaşık 700×10³ m³'tür. Açık ocağındaki kaya şevlerinde duraysızlık tümüyle gerçekleşmeden önce kayda değer deformasyonlar meydana gelmiştir. Heyelan oluşumu öncesindeki söz konusu şev hareketlerinin zamana bağlı olarak (2017–2018 yılları arası, 750 gün) izlenmesi ve duraysızlığın nedenlerinin araştırılması bu çalışmada amaçlanmıştır. Hareket izleme çalışmaları sırasında günlük ve saatlik yağış miktarları da ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Jeolojik yapı ile duraysızlığın mekanizması arasındaki ilişkiyi belirlemek için şev hareketi ölçüm verileri eş zamanlı yağış verileriyle birlikte “GeoMoS” bilgisayar programı kullanılarak değerlendirilmiştir. Önceden cevherin tavan bloğunda küçük ölçekli bazı şev duraysızlıkları not edilmiştir. Diğer taraftan, gelişmiş yenilme yüzeyi boyunca, yeraltı suyu basınç değişimlerinin tetiklediği daha büyük yer değiştirmeleri kapsayan yoğun yağışlı dönemler, cevherin tavan bloğunda meydana gelen büyük ölçekli yenilmeyi ilerletmiştir. Kurak dönemlerde, şev hareketlerinin hızı ortalama 3.5 mm/gün'dür. 04.12.2018 tarihinde gerçekleştirilen üçüncü dekapaj çalışması nedeniyle açık ocağıda şev hareketleri bir miktar ivmelenmiştir. Şev topuğunda gerçekleştirilen kontrolsüz kazıya kadar (14.12.2018), şevin toplam bileşke yer değiştirme miktarı 100 cm artmıştır ve bu dönemde hareketlerin ortalama hızı 10 cm/gün olarak hesaplanmıştır. Son olarak, topuk kazısından duraysızlığın geliştiği tarihe kadar (19.12.2018), yoğun yağışların eşlik ettiği hareketin miktarı 160 cm/gün olarak gerçekleşmiştir. Hareket izleme ölçümlerine göre şevin toplam bileşke yer değiştirmesi 10.5 m seviyesinde gerçekleşmiştir. Ayrıca, duraysızlığın gelişimindeki farklı safhalarını tanımlamaya yönelik olarak bazı göstergeler de belirlenmiştir. En önemli göstergeler yer değiştirmeler, topuktaki kabarmalar ve şev topuğuna yakın yüksekliklerde meydana gelen makaslama deformasyon birikimleridir.

Anahtar kelimeler: Heyelan, Açık ocak, Şev hareketleri, Yağış, İzleme

ABSTRACT

A large-scale landslide in an open pit mine located in weathered gneiss unit in Menderes Massif occurred on 19.12.2018. The open pit mine failure occurred on a fairly shallow failure surface (maximum depth: 17 m), running almost parallel to the slope face. At that time, the overall slope height was 80 meters (elevations: 490 m – 410 m) and overall slope angle 25°. The failure involved around $700 \times 10^3 \text{ m}^3$ of rock. Significant displacements in rock slopes in the pit occurred before the failure surfaces had fully developed. This study aims to investigate the causes of the landslide and to monitor slope movements in the landslide area before the failure. While monitoring the movement (between 2017 and 2018, 750 days), amount of rainfall per day and per hour was also measured and recorded. The amount of rainfall has been evaluated in conjunction with the time-dependent slope movement data (time-dependent surface displacement measurements) by using the software “GeoMoS” to determine the relationship between the geological structure and the landslide mechanism. Some small scale instabilities have been observed in the hanging wall beforehand. The large scale failure of the hanging wall, however, has progressed during the periods of heavy rainfall, suggesting that the variations in groundwater pressures triggered larger displacements along the developed failure surface. During dry weather, the slope moved at a rate of about 3.5 mm/day. Slope movement slightly accelerated in open pit due to the work of third overburden removal at the date of 04.12.2018. Until the uncontrolled overburden removal at the slope toe (14.12.2018), the amount of the total resultant displacement of the slope increased up to 100 cm and the rate of slope movement was calculated as 10 cm/day. Finally, from the uncontrolled excavation of the slope toe (14.12.2018) to 19.12.2018 (when the landslide occurred) the movement accompanied by the intense rainfall, occurred as 160 cm/day. Total resulting displacement of the slope at the end of this measurement campaign was at the amount of 10.5 m. In addition, some indicators before the failure were determined to define the different stages of the landslide. It was also determined that the most important indicators are the displacements, heaves, and shear-strain accumulation at an elevation near the slope toe.

Keywords: *Landslide, Open pit, Slope movements, Rainfall, Monitoring*

GİRİŞ

İnceleme alanı, Menderes Masifi'nin Çine As masifine ait gözlü gnayslar içerisinde açılmış bir açık maden ocağıdır. Açık ocak, Karadere makaslama zonu boyunca oluşmuş olan albit cevherinde açılmıştır (Karagöz ve Koca, 2016; Koca, vd. 2010; Koca vd., 2012; Tanyaş ve Ulusay, 2013; Kıncal, 2014; Kadakçı ve Koca, 2014).

Heyelan öncesine ait 2012-2014 yılları arasındaki 700 günlük dönemde, şev hareketlerini izleme sonuçlarını mühendislik jeolojisi açısından değerlendirmesi Karagöz ve Koca (2016) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada ise 10.02.2017–19.12.2018 tarihleri arasındaki heyelan öncesine ait son 750 günlük dönem aynı amaçlar doğrultusunda “Robotic Total Station” cihazıyla alınan ölçümler kullanılarak değerlendirilmiştir. 19.12.2018'de açık ocağın

tavan bloğunda heyelan meydana gelmiş ve sekiz şev kademesi etkilenmiştir (Şekil 1). Bu araştırmanın amacı, 19.12.2018 tarihinde oluşan heyelanın (Şekil 1) öncesindeki gelişim sürecini, oluşum nedenlerini ve sonucunu deformasyon ölçümleri, farklı zamanlarda alınmış insansız hava aracı görüntüleri, çatlak gelişimlerinin haritalanması ve yağış verileriyle birlikte incelemek, hassas ölçümlere dayanan verilerle saha gözlemlerini karşılaştırmak, heyelan kaymasının başlangıç, gelişme ve oluş mekanizmasını deformasyonları dikkate alarak modellemektir. Bu incelemelerde çatlak ölçümleri, deformasyon ölçümleri ve yağış verilerinin yanısıra aynı hat üzerinde farklı tarihlerde alınmış dört topoğrafik kesitin çakıştırılmasından da yararlanılmıştır. Heyelanın değişik aşamalarında, farklı tarihlerde alınmış insansız hava aracı görüntülerinden heyelanın belirteçleri belgelenerek dökümantasyon

sağlanmıştır. Çalışmanın diğer bir amacı, Karagöz ve Koca (2016)'da potansiyel heyelanın öngörülen etki alanıyla, heyelan gerçekleşikten sonra oluşan etki alanını karşılaştırmaktır.

Heyelan 19.12.2018 tarihinde meydana gelmiştir. Kayma öncesindeki son beş günde şevde çok yüksek deformasyonlar kaydedilmiştir. Önceden yağış ve deformasyon rampalarında (yağış ve deformasyonların artış gösterdiği zaman aralıkları) meydana gelen olumsuzluklar belli dönemlerde gerçekleştirilen inceltme kazıları ve drenajla üstesinden gelinmiştir. Her defasında heyelanın regresif aşamadan (geriye dönük yenilme aşaması) progresif aşamaya (ileriye dönük yenilme aşaması) geçmesi alınan önlemlerle bertaraf edilmiştir. Karagöz ve Koca (2016) tarafından yayımlanan makale Aydın/Karpuzlu'daki açık ocak albit madeninin GD'da yeralan potansiyel heyelan sahasındaki şev hareketlerinin izlenmesi ve nedenlerinin araştırılmasıyla ilgilidir.

Karagöz ve Koca (2016) tarafından hazırlanan makalede iki ilişki ayrıntılı olarak incelenmiştir. Birincisi; heyelan izleme istasyonlarındaki kümülatif yer değiştirme hareketlerinin yönlem ve dalımıyla, gnayslar içinde mevcut foliasyon düzlemlerinin eğim yönü-eğim açısı değerleri arasındaki ilişkidir. İkincisi ise, önceki topoğrafyada mevcut dere yataklarının akış yönleriyle bu yatakların yakınında yer alan foliasyonların eğim yönleri arasındaki ilişki belgelenmiştir. Makalede, gömülü dere yatakları boyunca sızan suların geniş foliasyon yüzeyleri boyunca heyelan sahasına taşındığı belirtilmiştir. Ayrıca açık ocaktaki basamak şevlerini kesen foliasyonlar boyunca

nemli zonların varlığı ve bu düzlemler boyunca birkaç basamağı etkileyen düzlemsel ve kama tipi kaymaların geliştiğine vurgu yapılmıştır (Regresif yenilmeler). Makalede heyelanın etki sahasının KD-GB yönündeki uzunluğu yaklaşık 300 m, KB-GD yönündeki boyu ise (heyelanın hareket yönünde) yaklaşık 230 m olarak tahmin edilmiştir (Şekil 2). Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak eklemeli hareket vektörlerinin yönlemleri, bileşke yer değiştirme miktarları, eski dere yatakları ve güncel topoğrafya gibi veri katmanları çakıştırılmıştır. Elde edilen tematik haritada bileşke yer değiştirme miktarları zonlanarak potansiyel heyelan sahasında deformasyonların en yüksek ve en düşük olduğu bölgeler ortaya çıkartılmıştır (Karagöz ve Koca, 2016). Heyelanın olası kayma yönünün 310° (K50B) ile ocak tabanına doğru olduğu belirtilmiştir.

Açık ocaktaki olağan dışı değişimler, basamaklarda veya şev gerisinde meydana gelen gerilme çatlakları, kabarmalar şeklinde genellikle şev topuğunda meydana gelen küçük kubbemsi yükselmeler ve kaya ortamda süreksizliklerde meydana gelen açılmaları kapsar (Call ve Savely, 1991; Bell ve Glade, 2004). Açık ocaktaki şev yenilmelerinin mekanizmaları tam olarak anlaşılma, açık ocaklarda kısa zaman aralıklarıyla güvenli bir şekilde cevher üretimine devam edilmektedir (Wang vd., 2010; Allasia vd., 2013). Ancak bu durum, uzmanlarca yapılan önerilere tam uyum göstermekle mümkün olmaktadır. Açık ocakta birden fazla olumsuz etkinin (yanlış kazı, uzun süren aşırı yağışlar ve sismik etki gibi) aynı zaman diliminde etkinleşmesi de kütle hareketlerinin meydana gelme potansiyelini arttırmaktadır.



Şekil 1. Yenilme sonrası heyelan topoğrafyası (Foto:19.12.2018, sabah-7.30).

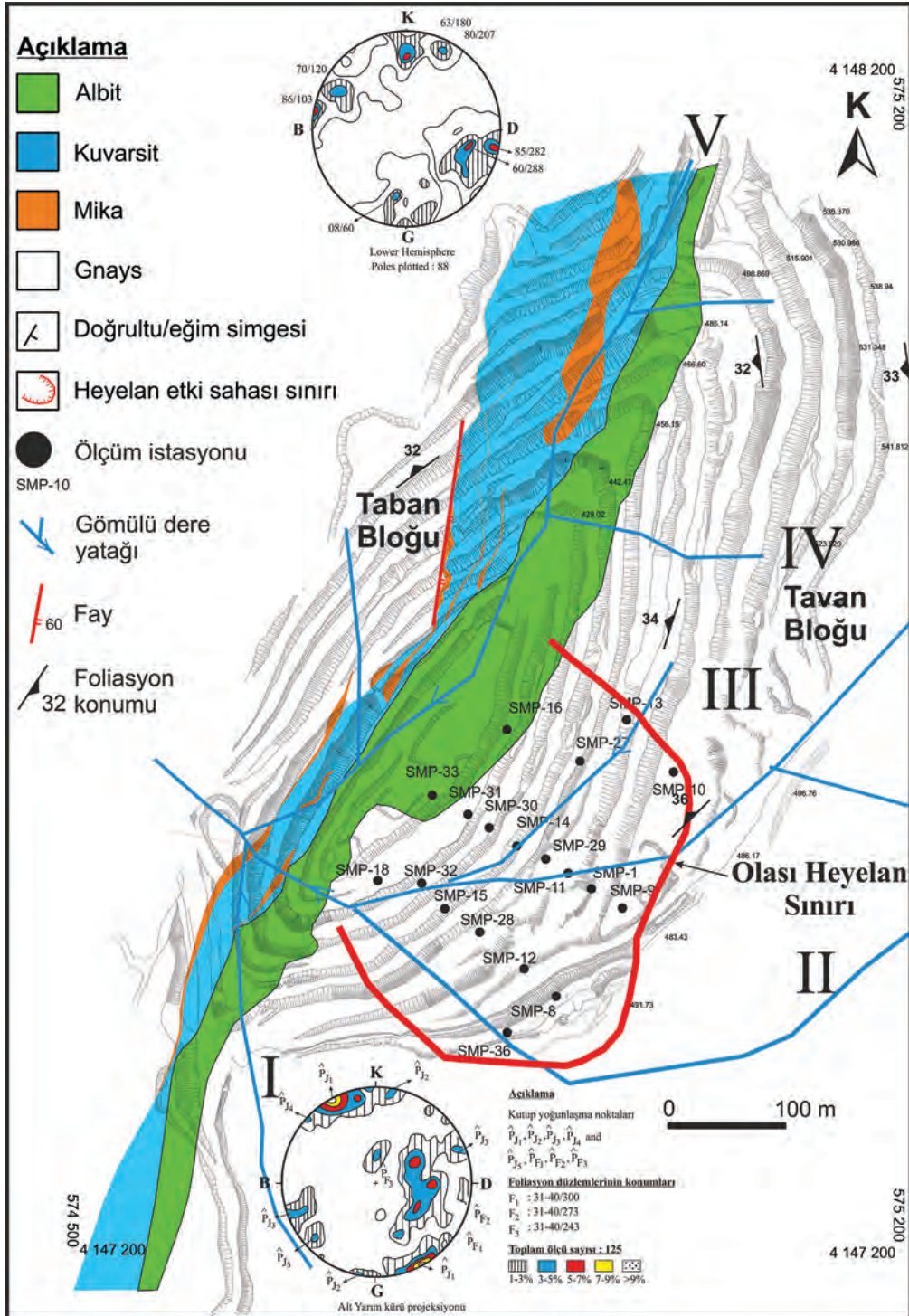
Figure 1. Landslide topography after the failure (Photo: 19.12.2018, 7.30 am).

JEOLOJİ

Açık ocak madeni Menderes Masifi'nin Çine As masifi içerisinde, çekirdek serisi olarak adlandırılan gözlü gnayslar içerisinde yer almaktadır. Açık ocağı boydan boya kesen Karadere makaslama zonu boyunca feldispat (albit) cevheri zenginleşmiştir. Ayrıca zon boyunca mika ve kuvarsit damarları da gözlenmiştir (Şekil 2). Açık ocak işletmesi K25D yönünde uzanır ve 450 m uzunluğa ve 25–55 m genişliğe sahiptir. Gözlü gnayslar foliasyonlu ve çatlaklı bir yapı gösterirler (Koca vd., 2010; Koca vd., 2012; Tanyaş ve Ulusay, 2013; Kadakçı, 2014). Heyelan potansiyeline sahip saha içerisinde foliasyonların konumları Şekil 2'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 GD'da yamaç dışına eğimliken, KB'da yamaç içine eğimlidir (Şekil 2). Çatlak setlerinin konumları ise; Set-1: 80-90/325-340, 80-90/290-320, Set-2: 70-85/190-210, 82-90/40-70'dur. Açık ocak işletmesinde yaklaşık düşey konumlu çatlakların (82-90/40-70) foliasyon düzlemlerini kestiği ve blok oluşumuna neden olduğu belirlenmiştir. Foliasyonlar şev kademelerini kesmekte, ancak genel şevi kesmemektedir. Açık ocak şevlerinde blok oluşumunu tamamlayan diğer bir çatlak seti ise 325–340/ 80° – 90° konumludur (Şekil 2).

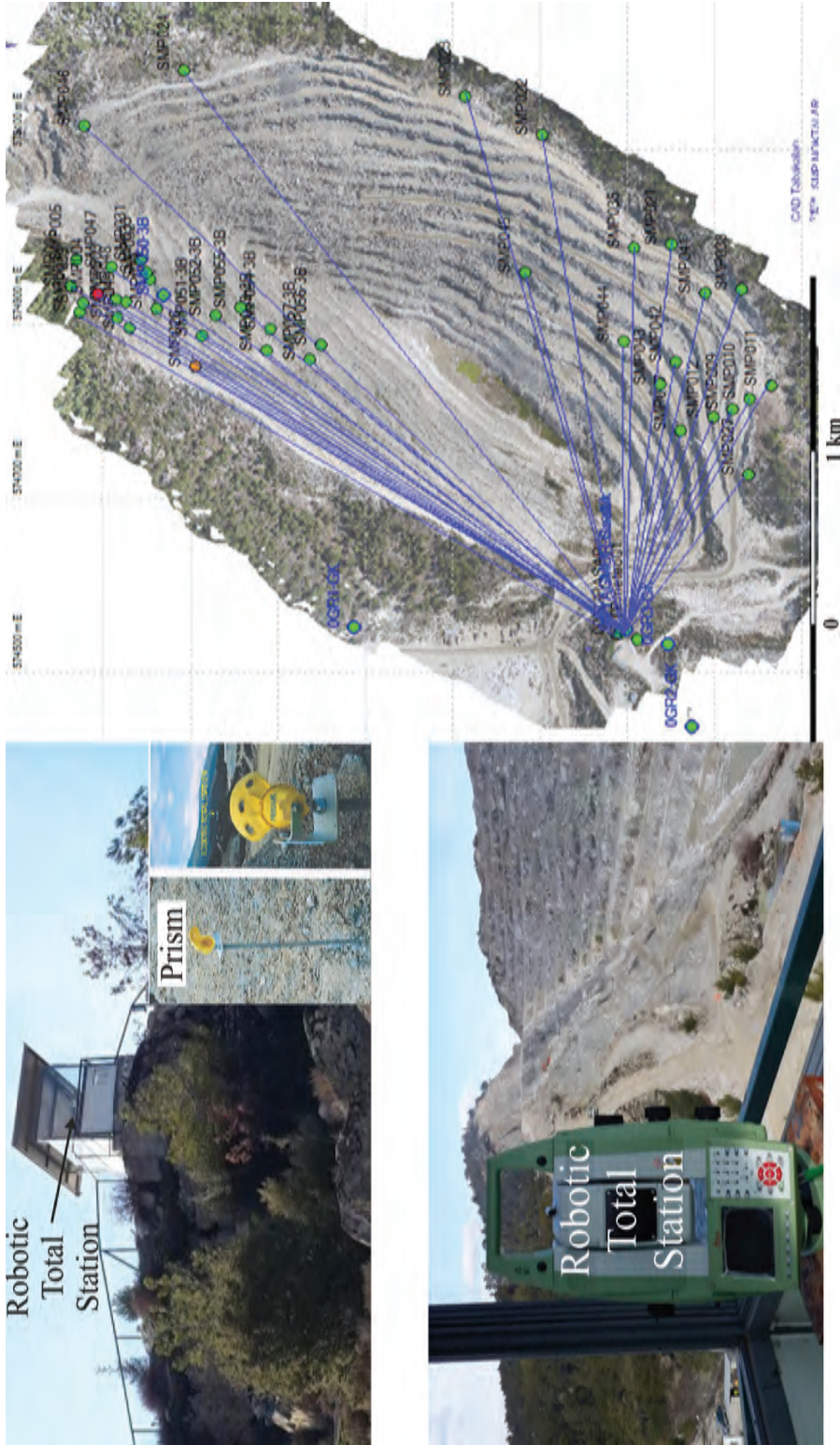
YÖNTEMLER

Açık ocağıdaki tüm deformasyon ölçümleri (yer değiştirme ölçümleri) 2017 yılının başından itibaren (10.02.2017) 7/24 LEICA tm50 marka "Robotic Total Station" cihazıyla yapılmaktadır. İnceleme alanında 2017 yılı öncesinde şev hareketleri "Leica GS15" GPS aracılığıyla yapılmıştır. Robotic Total Station ile alınan ölçümler "Leica GeoMoS" yazılımı yardımıyla işlenmekte ve veriler grafik olarak elde edilebilmektedir. Söz konusu cihaz heyelanlı sahaya yerleştirilmiş prizmalar (Target prism) ve bu prizmaları görecekte şekilde konumlandırılmış bir ana istasyondan (Base station) oluşur (Şekil 3). Robotic Total Station (GRS – Geotechnical E. 541 – 7394/7306) ile sürekli izleme sisteminin yerleştirileceği yer; sahaya hakim olan ve şehir şebeke elektriği ve iletişim altyapısından yararlanabilecek bir seyir terasıdır (Base station), (Call, 1982; Palozzo vd., 2006; Afeni vd., 2013). Sahanın konumu ve mesafeler tam bu çalışmalar için uygun olmalıdır. Şekil 4'te deformasyon ölçüm noktalarının lokasyonları ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Sahada cevher üretimine yönelik patlatmalardan ana istasyonun etkilenmemesi için cihaz üzerine bir eğim sensörü tesis edilmiştir. Bu bağımsız bir yöntemle kaidenin kontrolünü sağlamaktadır. Bu tür çalışmalarda kabin yerinin seçimi kadar, kabin ile sunucu (server) arasındaki iletişimin sürekliliğinin sağlanması da önemlidir.



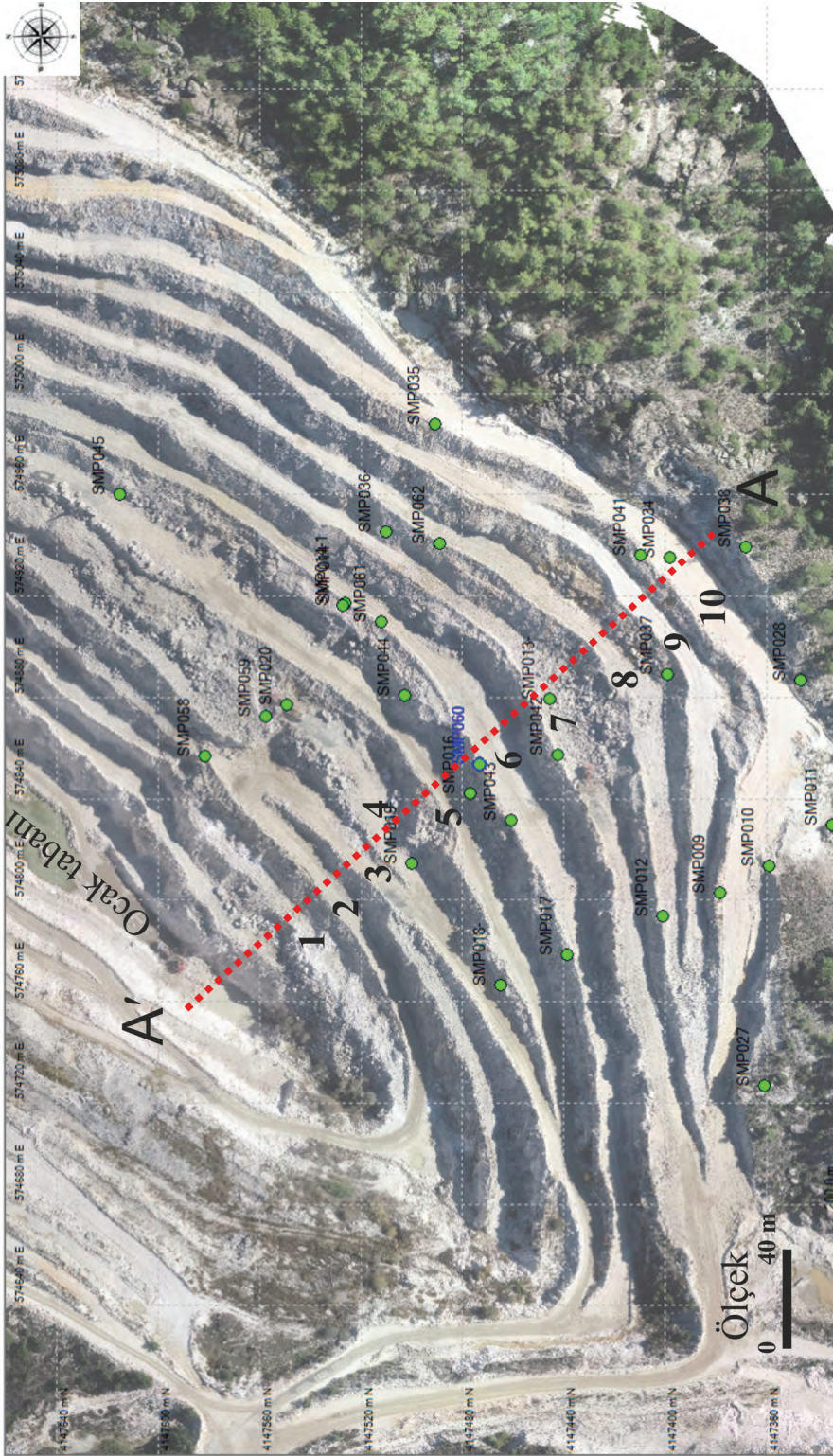
Şekil 2. Açık ocak işletme sahasının mühendislik jeolojisi haritası (Karagöz ve Koca, 2016).

Figure 2. Engineering geological map of the open-pit mine site (Karagöz and Koca, 2016).



Şekil 3. Şev deformasyonu ölçüm noktaları ve “robotik total station” cihazının yeri (Uzaktan kumandalı sistem, Yarenalan Tepe ve eteklerini sürekli/devamlı olarak izler).

Figure 3. Slope deformation measurement points and the location of the robotic total station (The system with remote connection constantly monitor the Yarenalan hill and its skirts).



Şekil 4. Eski ve yeni deformasyon ölçüm noktaları ve A – A' kesit hattı (1, 2, 310: Şev basamakları).

Figure 4. Old and new (target prism) deformation measurement points and A – A' cross-section line (1, 2, 310: Benches).

Sunucu (server) sahada bulunan büroya kurulmuştur. Böylece, total station ile kabin arasında kablolu bir iletişim sağlanmıştır. “GeoMoS” oldukça esnek otomatik bir deformasyon gözlem sistemi sunar. GeoMoS Monitör ile sahadaki tüm gerçek zamanlı sensörlerin yönetimi sağlanmaktadır. Veriler ham halleriyle GeoMoS monitörde görselleştirilir. Bir prizma noktası ve yağmur sensörüne ilişkin bilgileri tablolar ve grafikler halinde birlikte gösterebilmektedir (GeoMoS Analyzer).

Kamerallı insansız hava aracı incelemesi “The DJI PHANTOM™ 4Pro (Capturing 20 megapixel stills)” cihazıyla yapılmış, heyelan sahasının farklı tarihlerde yerden kumandalı insansız hava aracı görüntüleri alınmıştır. İnsansız hava araçları lazer, GPS ve infra-red kameralar gibi farklı teknoloji ürünü cihazlarla donatılmıştır. Bu cihaz ile alınan hava fotoğrafları ortofotoya dönüştürülmüştür. Ortofotolardan NETCAD GIS yazılımıyla “heyelan kırıklıklık haritası” elde edilmiştir (NETCAD GIS, K. Lisans: 7526). Bu harita üzerinde, heyelan öncesinde, geriye dönük belirli zaman aralıklarında kırıklıklık gelişimini, her seferinde toplam kırık uzunluğunu ve yoğunluğunu görmek mümkün olmaktadır. Farklı dönemlerdeki kırıklar harita üzerinde farklı renklerde gösterilmektedir.

Yağış ve Deformasyon Ölçümlerinin Zamana Bağlı Değişimi

Deformasyon ölçümleri “GeoMos” yazılımıyla işlenmiştir. Şekil 4’te verilen grafik bu program kullanılarak elde edilmiştir. Ölçümler 10.02.2017 tarihinde başlatılmış ve günümüze değin sürdürülmüştür. Bu araştırmada 10.02.2017 ile heyelanın meydana geldiği tarih (19.12.2018) arasındaki 750 günlük süre içerisinde alınmış olan eş zamanlı yağış ve şev deformasyon ölçümleri verilmiştir (Şekil 5).

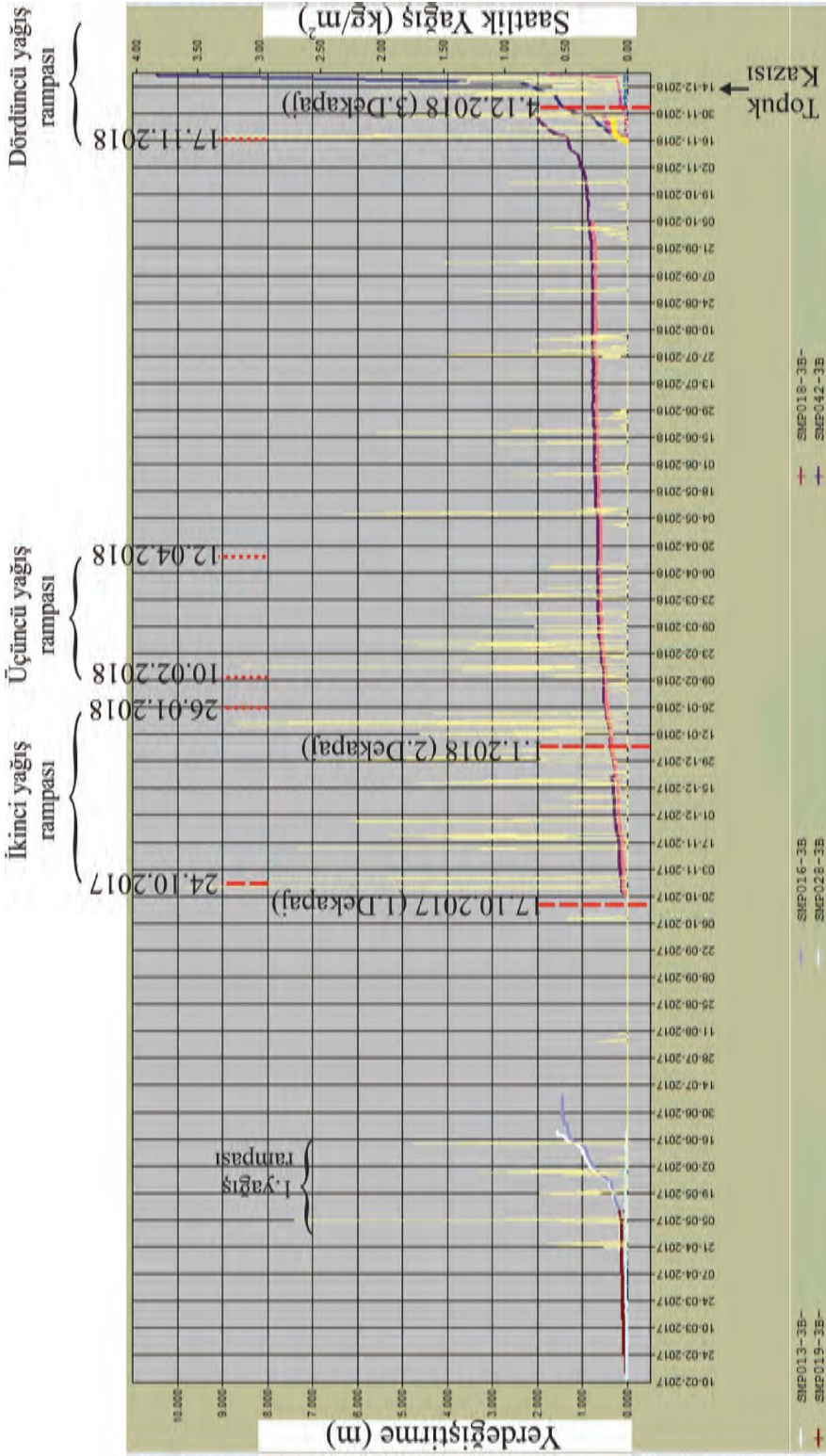
Bu zaman aralığında deformasyon ölçümleri grafikte, kümülatif (toplamalı) olarak 15 günlük aralıklarla sunulmuştur. Böylece, toplamda 50 veri grafikte görünmektedir. Zamana bağlı deformasyon ölçümleri ve aynı tarihlerdeki yağış verileri kullanılan yazılımla otomatik olarak bir grafik üzerine aktarılmıştır. İlk kez deformasyonlar 19.05.2017’de başlamış, 06.07.2017’ye kadar devam etmiş ve alınan önlemlerle şev tekrar duraylı hale gelmiştir. Aynı tarihlerde yağış verilerinin de yükseldiği, hatta 05.05.2017’de saatte 2.75 kg/m²’ye eriştiği görülmüştür (Birinci yağış rampası). 113 gün aradan sonra 24.10.2017’de Kasım ayı itibarıyla yağışlar tekrar başlamış ve 26.01.2018’e dek sürmüştür (İkinci yağış rampası). Oldukça yoğun yağışlar özellikle 2017’nin sonu ve 2018’in başında alınmıştır (Şekil 5). Üçüncü yağış rampası (artışı) 10.02.2018 ile 12.04.2018 tarihleri arasında (Şubat-Mart-Nisan ayları) yer alır. Bu tarihten 17.11.2018 tarihine dek ara ara yağışlar olmuş ancak, günlük olarak yağış bir kez 23.0 kg/m² seviyesine erişmiştir (Şekil 5 ve 6). Genelde günlük 13.0 kg/m² nin altında seyretmiştir. İkinci, üçüncü yağış rampaları ve üçüncü yağış rampasından 17.11.2018 tarihine kadar ölçüm noktalarında kümülatif olarak deformasyonlar 5 cm ile 100 cm arasında değerler almıştır (Şekil 5). 09.02.2018 ile 02.11.2018 arasında ortalama deformasyon (katlamalı bileşke yerdeğiştirmeler) 73 cm mertebesinde (Şekil 5). 267 günlük bu dönemde ortalama yer değiştirme hızının 2.73 mm/gün olduğu belirlenmiştir. Deformasyon hızı, $V > 1.5$ mm/gün Franklin (1977) tarafından önerilen deformasyonlar için limit hız değeridir. Tüm yağış rampalarında limit değerlerin aşıldığı ve üçüncü rampadan 17.11.2018’e kadar olan ve ara sıra yüksek yağışların olduğu dönemde de söz konusu limitin aşıldığı Şekil 5 ve 6’dan anlaşılmaktadır. 17.11.2018’de günlük 52.5 kg/m² lik ölçülen en yüksek yağışla dördüncü yağış

rampası başlamıştır (Şekil 6). Dördüncü rampa (yoğun yağış dönemi) 17.11.2018'de başlamış ve heyelanın gerçekleştiği ana kadar 32 gün sürmüştür. 17.11.2018 ve 18.12.2018 (Kasım – Aralık 2018) tarihlerinde açık ocak oldukça yüksek yağışlar almıştır (Şekil 6). Daha önceki dönemlerde de açık ocak yüksek yağışlar almış ancak, hiçbir zaman kümülatif bileşke toplam yer değiştirmeler (şev deformasyonları) 1.0 m'yi aşmamıştır. SMP-042, SMP-016 ve SMP-60 prizma noktaları deformasyon okuma farklarının en yüksek olduğu ölçüm yerleridir. Dördüncü yağış rampasının başlangıcından itibaren (17.11.2018) takip eden 13 günün sonunda (30.11.2018), SMP-042'de okunan deformasyon ölçümleri arasındaki fark 0.60 m'dir. Aynı zaman aralığında SMP-016'da bu fark 1.0 m'dir (Şekil 5). SMP-016'da 30.11.2018 ve 14.12.2018 (Topuk kazısı) tarihleri arasında da bu fark 1.0 m olarak ölçülmüştür. SMP-042'de hareketin hızı 4.61 cm/gün, SMP-016'da ise her iki ölçüm döneminde de 7.69 cm/gün'dür. SMP-016'da şev hareketlerinin hızı SMP-042'den yaklaşık iki kat daha hızlı olarak gerçekleşmiştir. SMP-060'da 21.11.2018, 26.11.2018, 04.12.2018, 14.12.2018 ve 19.12.2018 tarihlerinde ölçülen toplam yer değiştirme miktarları sırasıyla 0.0, 0.50 m, 1.0 m, 2.50 m, ve 10.5 m olarak gerçekleşmiştir (Şekil 6). Hareket hızları 8.33 cm/gün olarak başlamış ve 04.12.2018 tarihine dek devam etmiştir. Daha sonra hareketin hızı bir miktar artmış ve 10 cm/gün olmuştur. 14.12.2018'den başlayarak hız daha da yükselmiştir. Heyelan öncesindeki son 5 günde hareketin hızı giderekten artmış ve

nihayet 160 cm/gün değerine erişmiştir (Şekil 6). Bu aşama, makaslama deformasyon birikiminin şev üst noktasına eriştiği ve şev topuğunda bu deformasyonların açık olarak gözlenebildiği (bu aşamada kayma yüzeyi artık gelişmiştir) aşamadır.

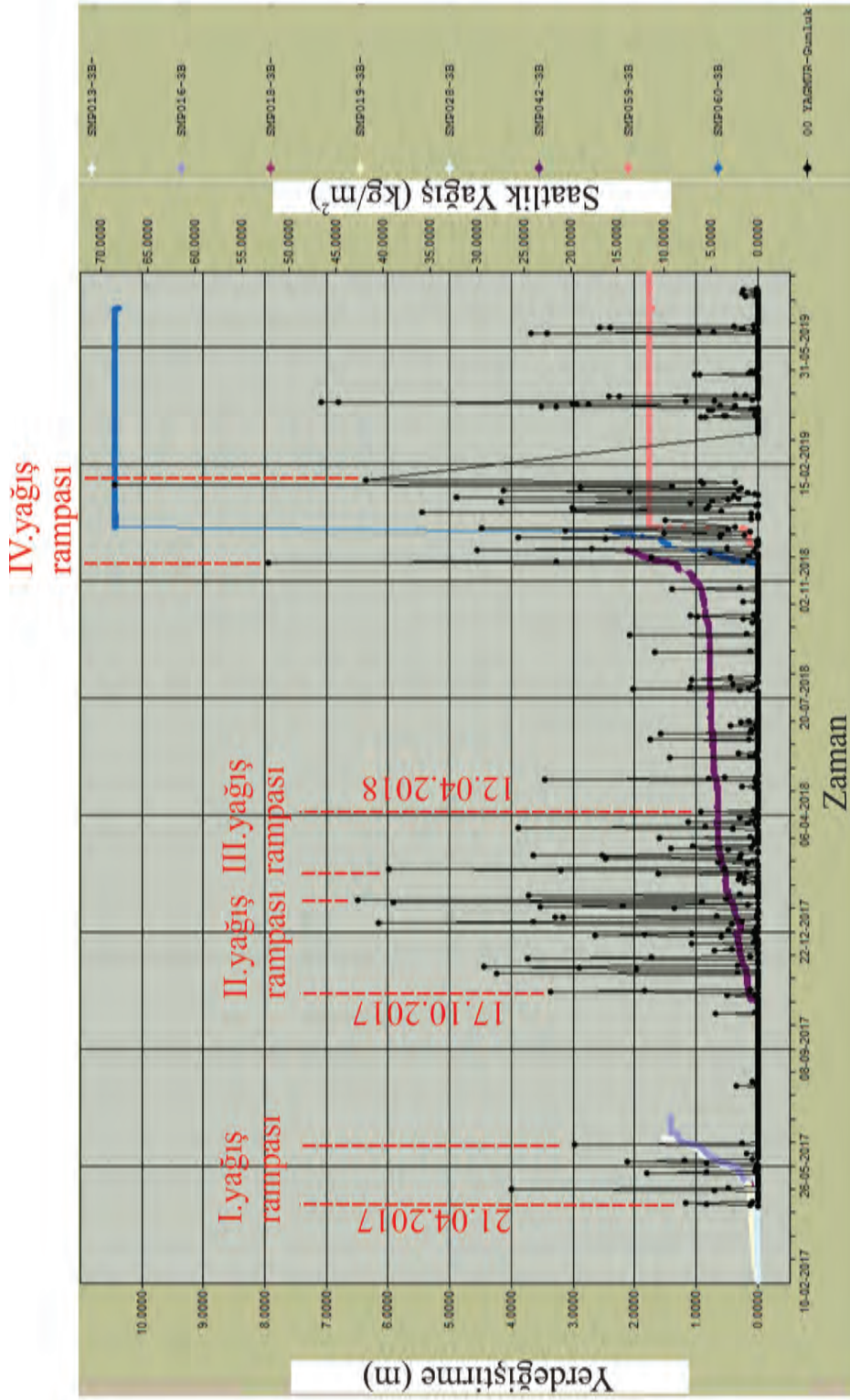
19.12.2018 sabah saat 03:00 sularında heyelan oluştuğunda SMP-060 noktasında ölçülen son toplam şev deformasyon miktarı (kümülatif bileşke yer değiştirme miktarı) 10.5 m'dir (Şekil 6). 18.12.2018 öğleden sonra ve 19.12.2018 sabahına dek geçen sürede ölçülen toplam yağış miktarı ise 29.4 kg/m²'dir (Şekil 6).

SMP-042 ocak tabanından itibaren 7., SMP-016 5. ve SMP-060 ise 6. basamağın üzerinde yer alır (Şekil 4). SMP-060 ve SMP-016 ölçüm noktaları ocak tabanına daha yakındır. SMP-060 iki ölçüm noktasının arasında, ancak SMP-016'ya daha yakın konumdadır. SMP-042 ve SMP-016 noktaları arasındaki topografik kot farkı 34 m'dir. Üç ölçüm noktası da kayma dairesi üzerinde yer alır. SMP-060 ve SMP-016 noktalarında göreceli makaslama gerilmeleri SMP-042'ye göre daha yüksek seviyelerde ölçülmüştür. Bu nedenle, bu noktalarda daha yüksek makaslama yer değiştirmeleri meydana gelmiştir. Bunun nedeni, SMP-060 ve SMP-016 noktaları kayan kütlelerin ağırlık merkezine daha yakın konumdadır. Kütle ağırlık merkezinde, normal gerilmeler en yüksek değerdedir. Bu nedenle, makaslama gerilmeleri de en yüksek değerlere erişir. Böylece, bu ölçüm noktalarında daha yüksek makaslama deformasyonları oluşmuştur.



Şekil 5. Altı ölçüm istasyonunda ölçülmüş katlamalı yer değiştirme hareketlerinin zamana bağlı değişimi ve bu ilişkinin günlük yağış verileriyle deneştirilmesi

Figure 5. The variation of cumulative surface displacement movements depending on time at six measurement stations and comparison of this relation to the day-rainfall-data.



Şekil 6. Dokuz ölçüm istasyonundan alınmış katlamalı yerdeğiştirme hareketlerinin zamana bağlı değişimi ve bu ilişkinin günlük yağış verileriyle deneştirilmesi

Figure 6. The variation of cumulative surface displacement movements depending on time at nine measurement stations and comparison of this relation to the day – rainfall – data.

Heyelana İlişkin Yüzey Kırıklılık Haritalaması

Heyelan olmadan önce, 2018 yılı içinde dört farklı tarihte (02.10.2018, 02.11.2018, 12.11.2018 ve 04.12.2018 tarihlerinde) inceleme alanının insansız hava aracı görüntüleri alınmıştır. İnsansız hava aracıyla alınan hava fotoğrafları ortofotoya dönüştürülmüş ve ortofotolardan NetCad GIS yazılımıyla heyelan kırıklılık haritası elde edilmiştir (Şekil 7). Bu harita üzerinde çatlak gelişimini zamana ve olaylara bağlı olarak takip etmek mümkün olmaktadır. Her insansız hava aracı görüntüsüne ait yüzey kırıkları Şekil 7'deki haritada farklı renklerde takip edilmektedir. 12.11.2018'de büyük heyelan oluşmadan önce, daha küçük boyutlu, öncü bir heyelan meydana gelmiştir (Gerilme çatlakları mavi renklerde görüntülenmiş alan). Küçük heyelan büyük heyelanın doğu kanadında yer almaktadır (Şekil 7). Buna ek olarak, KB'ya kayma eğilimi nedeniyle batı kanadında da KD'ya doğru çekme gerilmelerinin meydana gelmesine neden olmuştur. 30.11.2018'de yer değiştirmeler SMP-016 ve SMP-042'de 1.0 m olarak ölçülmüştür. Öncü, küçük heyelan 12.11.2018 tarihinde meydana geldiğinde, SMP-042'de kümülatif yer değiştirmeler 1.50 m'ye erişmiştir. Bu tarihten 19 gün sonra 30.11.2018'de ise 2.0 m'ye ulaşmıştır. 19 günde 0.50 m'lik kümülatif bileşke yer değiştirmeler gerçekleşmiştir ($V=26.3$ mm/gün). Yukarıda ölçülen yer değiştirmeler, ana heyelanın batı kanadında KD'ya doğru (ana kayma yönüne doğru) çekmelerin geliştiğini işaret etmektedir. Bu yönün doğruluğunu, kayma sonrasında heyelanın batı kanadında kayma hareketlerinin neden olduğu yerli kayma yüzeyinde meydana gelen kayma çiziklerinin yönelimi göstermiştir.

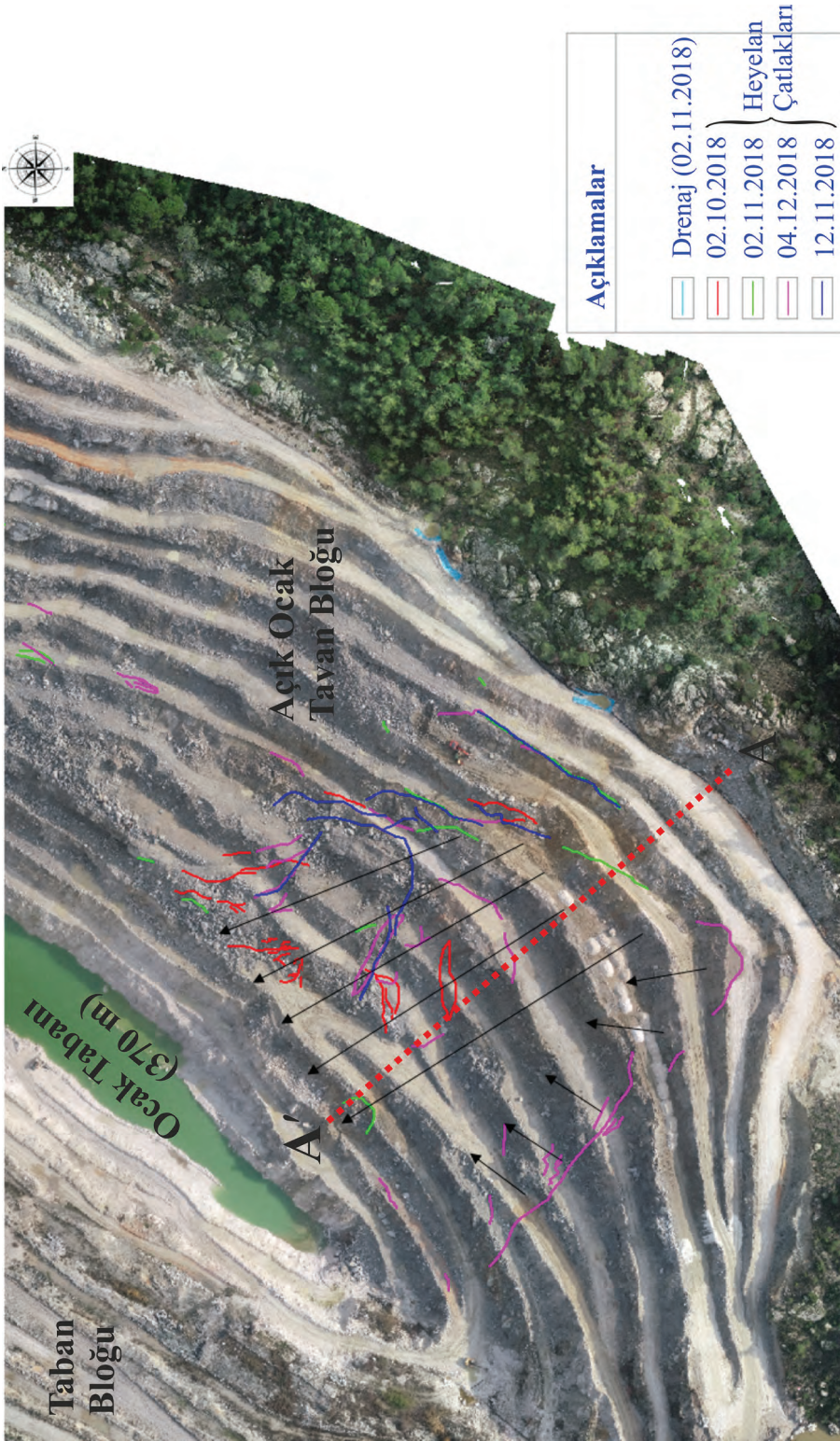
Heyelanın Öncesinde ve Sonrasında Aynı Hattan Alınmış Topoğrafik Kesitlerin Çakıştırılması

Farklı zamanlarda gerçekleştirilen şev iyileştirme, inceltme kazıları ve su drenajı gibi önlemlerle saha zaman zaman rehabilite edilmiştir (Şekil 8). Ekim 2011'de (17.10.2011, birinci dekapaj çalışması) şev üst yüzeyinde gözlenen gerilme çatlaklarıyla heyelan oluşum süreci başlamış ve farklı dönemlerde iki kez önemli artışlar göstermiştir. 2011'de genel şev açısının 30° olması, gerilme çatlaklarının oluşumunu açıklamaktadır. Burada 30° lik genel şev açısı, önerilenden 6° daha yüksektir. 17.10.2011- Birinci dekapaj çalışması, 01.01.2018- İkinci dekapaj çalışması, 04.12.2018- Üçüncü dekapaj çalışması ve 19.12.2018 tarihlerinde A-A' hattı boyunca alınmış topoğrafik kesitlerin çakıştırılması ve olası kayma dairesinin konumu Şekil 8'de verilmiştir. Buna ek olarak, aynı kesitte cevher kütlelerinin ve nihai genel şev açısının ($\alpha_{overall} = 25^\circ$) konumları da gösterilmiştir. Farklı tarihlerde, aynı hat üzerinde (K50B) alınmış topoğrafik kesitlerin çakıştırılması, yapılan dekapaj kazılarının miktarını (dekapaj miktarını) şevin yedi yıllık gelişimini (2011-2018 yılları arası), heyelan sonrasında oluşan genel şevin konumunu ($\alpha_{overall} = 21^\circ$), şev üst kesimlerindeki kayarak hareket eden kütlelerin toplam yer değiştirme miktarını ve daha alt şev kademelerinde doldurduğu yerleri görmeyi mümkün kılmaktadır (Şekil 8). Buna ek olarak, farklı tarihlerde alınmış topoğrafik kesitlerin hem şev üst noktasında ($h_1 = 463.5$ m) hem de şev tabanındaki ($h_2 = 410$ m) kesişme noktaları gerçek şev yüksekliğini belirtmektedir (Geri analizlerde bu yükseklik dikkate alınmalıdır). 04.12.2018 (Üçüncü dekapaj çalışması) ve 19.12.2018 tarihlerinde alınan topoğrafik kesitler sırasıyla heyelan öncesindeki en son ve heyelan oluşumu sonrasında ilk kesitlerdir. Bu kesitlerin şev üst noktasında ve şev topuğundaki

kesim noktaları arasındaki yükseklik farkı ($h_1-h_2 = 53.5$ m) 53.5 m' dir ve bu değer heyelan etmiş kütlelerin gerçek yüksekliğidir. Çünkü 04.12.2018 öncesindeki topoğrafyaya ait malzemeler gerek inceleme kazıları gerekse de cevher üretimine yönelik dekapajla (overburden removal) alınmıştır. Ekim 2011'de meydana gelen gerilme çatlaklarının yer aldığı şev üst yüzeyi de dikkate alındığında bu yükseklik ($490-410= 80$ m) 80 m'ye erişmektedir. Stabilité analizleri sonucu önerilen nihai şev açısı (final overall slope angle) 24° dir. Ancak 2011 yılında (17.10.2011-birinci dekapaj çalışması) üretime 30° genel şev açısında başlanmıştır (Şekil 8). Bu durum, şev gerisinde ilk kez gerilme çatlaklarının oluşmasına neden olmuştur. 01.01.2018'de gerçekleştirilen dekapajla (ikinci dekapaj çalışması) genel şev eğimi artırılmış ve şev gerisinde ikinci kez gerilme çatlakları oluşmuştur (Şekil 9). 04.12.2018'de alınan topoğrafik kesitten (üçüncü dekapaj çalışması sonunda) genel şev açısının 25° 'ye eriştiği anlaşılmıştır (Şekil 9). Cevher üretimine yönelik şev topuğunda kazı 14.12.2018'de yapılmış ve genel şev açısı daha da arttırılmıştır. Böylece, 415 m kotuyla o günkü ocak tabanı (384 m) arasındaki şev kesiminde ($H=31$ m) genel şev açısı 33° ye çıkmıştır (Şekil 9). Topukta şev açısının artması, genel şev açısını da arttırarak önerilen sınır değer ($\alpha = 24^\circ$) üzerine çıkmasına neden olmuştur (Şekil 9). Bu durum, 19.12.2018'de meydana gelen ana heyelanı tetiklemiştir ve yoğun yağışlarla birlikte heyelanın oluşum nedenlerinden biri olarak ortaya çıkmıştır.

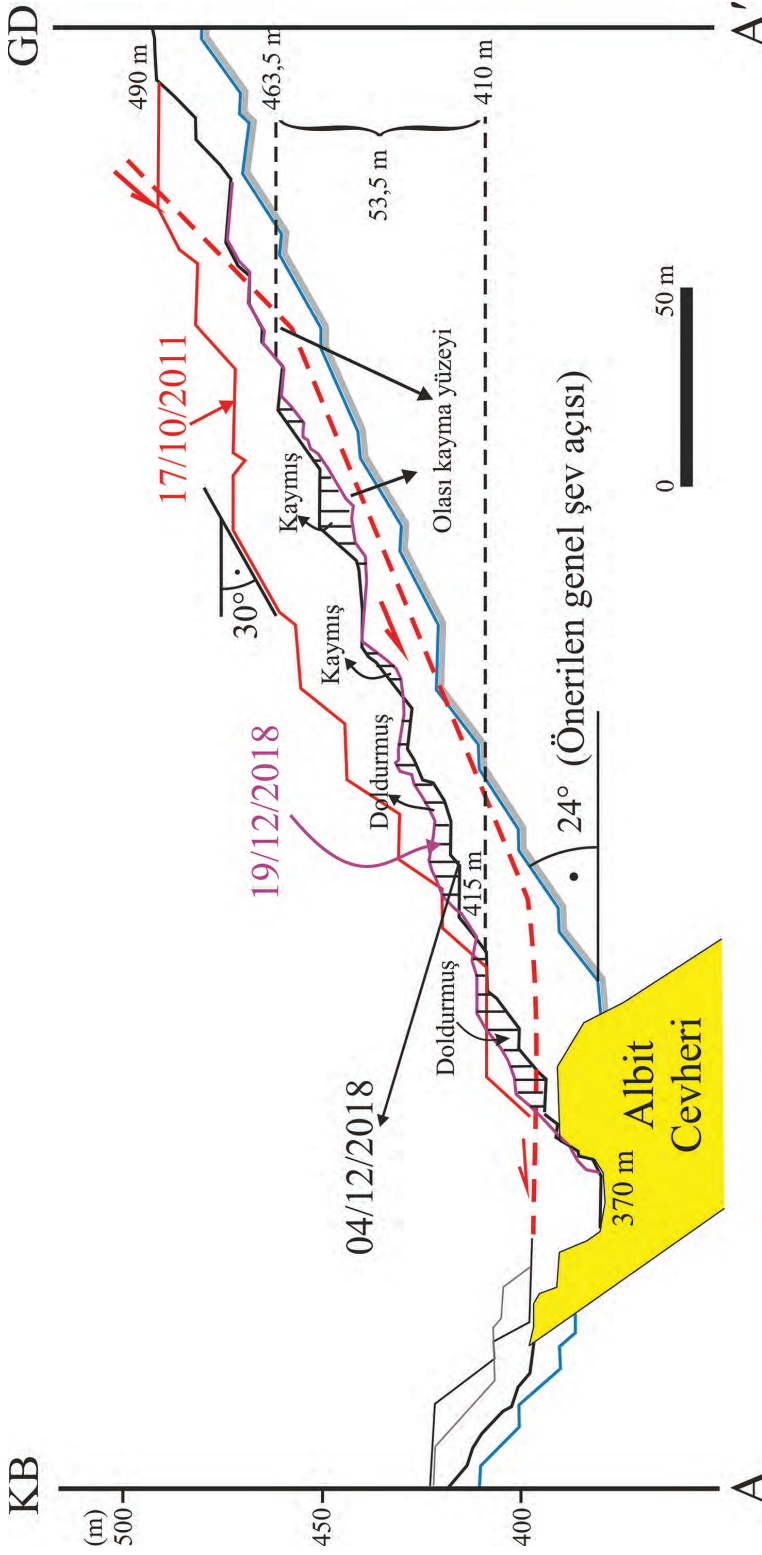
Heyelan Öncesinde Gözlenen Deformasyonların Yorumlanması ve Yenilme Mekanizmasının Yorumu

Açık ocak işletmesinde 19.12.2018 tarihinde iki düzlemlili kayma yenilmesi şeklinde bir mekanizmaya sahip büyük ölçekli bir heyelan meydana gelmiştir (Şekil 8 ve 9). Heyelan hareketi 410 ve 490 m kotları arasında yer alan sık çatlaklı, ayrılmış gnaysları etkilemiştir. Heyelan öncesi başlangıç aşamasında şev tepesinde ve basamaklarda meydana gelen gerilme çatlakları ve yüzeyel dökülmeler (heyelan başlangıç tepkisi safhası), daha sonra heyelanın şev topuğuna yakın kesimlerindeki kademelerde meydana gelen kabarmalar (heave) ve nihayet kaymanın meydana geldiği an aşama aşama fotoğraflanarak belgelenmiştir (Şekil 10, 11 ve 12). Kaya şevlerinde zamana bağlı deformasyonlar üç belirgin aşamadan geçer. Birinci aşama olan başlangıç tepkisi safhası, kazı nedeniyle kütlede meydana gelen gerilme değişimlerini kapsar ve kayaç külesinin dilatasyonu veya gevşemesi ile sonuçlanır (Martin, 1993). Heyelan hareketiyle ilgili en önemli belirteç; kayma öncesinde yüzeyde gözlenen gerilme çatlaklarının yanısıra şev topuğuna yakın kotlardaki kabarmalar ve küçük ölçekli yer değiştirmelerdir.



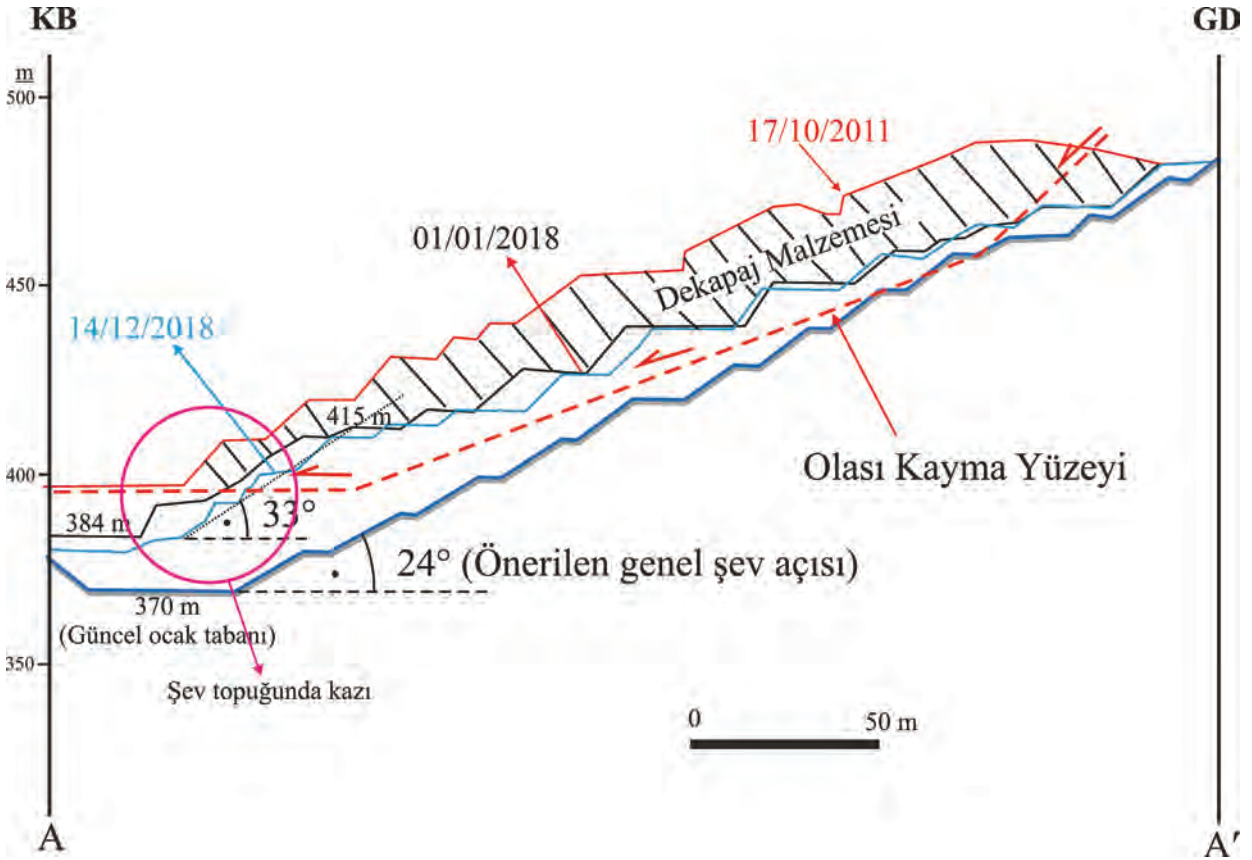
Şekil 7. Kaymadan önceki heyelan sahasının kırıklık haritası. Ölçümler dört farklı tarihte alınmıştır.

Figure 7. Fracture map of the potential landslide area before the landslide. Discontinuity measurements were performed at four different dates.



Şekil 8. 17.10.2011, 01.01.2018, 04.12.2018 ve 19.12.2018 tarihlerinde A – A' hatnı boyunca alınmış topoğrafik kesitlerin çakıştırılması ve olası kayma dairesinin konumu (Maksimum kayma derinliği: 17 m).

Figure 8. Overlay process of the topographic-sections constructed through the A – A' line in the date of 17.10.2011, 01.01.2018, 04.12.2018 and 19.12.2018 and orientation of the probable sliding-curve (Maximum depth of the failure surface: 17 m).



Şekil 9. 01.01.2018'de yapılan inceltme kazısı ve 04.12.2018'de şev topuğunda üretim amaçlı yapılan dekapaj çalışmaları sonucu şev eğiminin artması.

Figure 9. Increasing the dip angle of the overall slope as a result of the works of overburden removal at the date of 01.01.2018 and 04.12.2018 for the aim of the ore-production at the slope-toe.

Heyelan hareketi öncesinde, sadece elastik yer değiştirmeler kayaç kütesinin hareketlenmesine veya kalkmasına neden olur (Call ve Savely, 1991; Sjöberg, 1999; Simon vd., 2012). Elastik yer değiştirmeler, kalkma şeklinde yükselmeler, şev topuğuna yakın kotlarda makaslama deformasyon oluşumları/birikimlerini meydana getirmiştir. Bu deformasyonlar açık ocak şevlerinde (topuğa yakın şev kademelerinde) yüzeysel dökülmeler ve kabarmalar şeklinde ortaya çıkmıştır (Başlangıç tepki safhası), (Şekil 10). Makaslama deformasyon birikimleri (shear strain

accumulation) açık ocakta 410 m kademesinde başlayarak hafifçe artan yer değiştirmelerle şev yukarısına doğru ilerlemiştir (Şekil 10). Bu aşamada günde 1 cm–5 cm seviyesinde yer değiştirmeler ve şev topuğunda kabarmalar şeklinde deformasyonlar gözlenmiştir (Şekil 10). Makaslama deformasyon birikimlerinin şev tepesine erişmesi, kayma yüzeyinin oluşması (Şekil 11 ve 12) ve büyük yer değiştirmelerin gelişmesi şev topuğundaki örselenmeye bakılarak anlaşılmıştır. Son aşamada, yenilen kütle şevden kayarak uzaklaşmıştır (19. 12. 2018).

Genelde foliasyon düzlemleri genel şev yüzeyini kesmez ($\alpha_{overall\ slope} < \alpha_{foliasyon}$). Bu nedenle, şevde yüzeylenmezler. Fakat, şev içerisinde, hafifçe şev tabanına eğimli (açık ocağa eğimli) bir zayıflık düzlemi oluştururlar. 30° 'ye yakın eğim değerlerinde olanlar şev yüzeyine ($\alpha_{overall\ slope} = 25^\circ$) yaklaşık paralel bir uzanım gösterirler (an ubiquitous discontinuity set). Bu konumdaki foliasyonlar, genelde açık ocakta regresif yenilmelerin en yaygın olan özelliğidir (Call vd., 2000). Açık ocağa eğimli foliasyonlar genel şev yüzeyine paralel konumda birer

gerilme hattı oluşturmuş ve şev hareketlerini bu hızda arttırmıştır. Buna ek olarak, şev topuğuna doğru foliasyon yüzeylerinde giderekten artan gerilmeler, topukta çatlaklı yapının yayılmasına da neden olmuştur (Şekil 13). Bu durum, yenilmenin hemen öncesinde şev topuğunda 0.5–1.0 m kalınlığa ulaşan makaslama deformasyon zonunu oluşturmuştur (makaslama nedeniyle aşırı örselenme zonu). Bu deformasyonlar artık, makaslama zonu boyunca kütlenin şev dışına doğru kayacağına dair en önemli verilerdir.



Şekil 10. Yenilme öncesindeki ilk şev deformasyonları ve 12.11.2018'de meydana gelen öncü-küçük heyelan (1, 2, 3, ..., 10: şev kademeleri).

Figure 10. First slope-movements (displacements) and small-scale landslide occurrence before the large-scale landslide at the date of 12.11.2018 (1, 2, 3, ..., 10: slope benches).



Şekil 11. Kayma yüzeyinin şev topuğunda gnaysı kesmesi (cevheri kıramamıştır).

Figure 11. Intersection of the sliding-curve and the gneiss (could not cut the ore-body).

Diğer taraftan, foliasyon düzlemleri genel şevi kesmemesine karşın, şev kademelerini kesmektedir ($\alpha_{overall\ slope\ angle} < \alpha_{bench\ face\ angle}$), (Şekil 13). Yenilme, genel şevin topuğuna yakın bir kottaki kayaç kütlesi boyunca makaslamayı ve süreksizlikler (foliasyonlar) üzerinde kaymayı kapsar (Şekil 13). Açık ocak işletmesi heyelanı oldukça sığ yenilme yüzeyine sahiptir (Şekil 11 ve 12). Yenilme yüzeyi başlangıçta hemen hemen şeve paralel uzanır, daha sonra, şeve yönelerek şevi kesmektedir. Bu nedenle, başlangıçtan itibaren düşünüldüğünde hareket göreceli yavaştır. Cevher üretimi devam ettikçe şev yüksekliği artmaktadır. Buna bağlı olarak yeni

şev geometrileri oluşmakta ve böylece gerilmeler de şev topuğunda artmaktadır. Gerilmelere bağlı olarak gelişen makaslama deformasyonları foliasyon düzlemlerinin şev topuğuna yakın kesimlerde eğimleri nedeniyle maksimum olmaktadır (principal stress aligns). Heyelan sahasında gnayslar oldukça ayrılmış (HW) olup, zayıf kayaç özelliğindedir ve oluşturdukları genel şev açısı 25° olmasına karşın heyelan etmişlerdir. Kayma yönünde alınan kesitlerden elde edilen heyelan geometrisi, aşağı yukarı belli bir doğrultuyu takip eder (Şekil 12, düzlemsel yenilme), fakat enine alınmış kesitlerinde yenilme yüzeyi, hafif eğrisel bir yüzeye sahiptir.

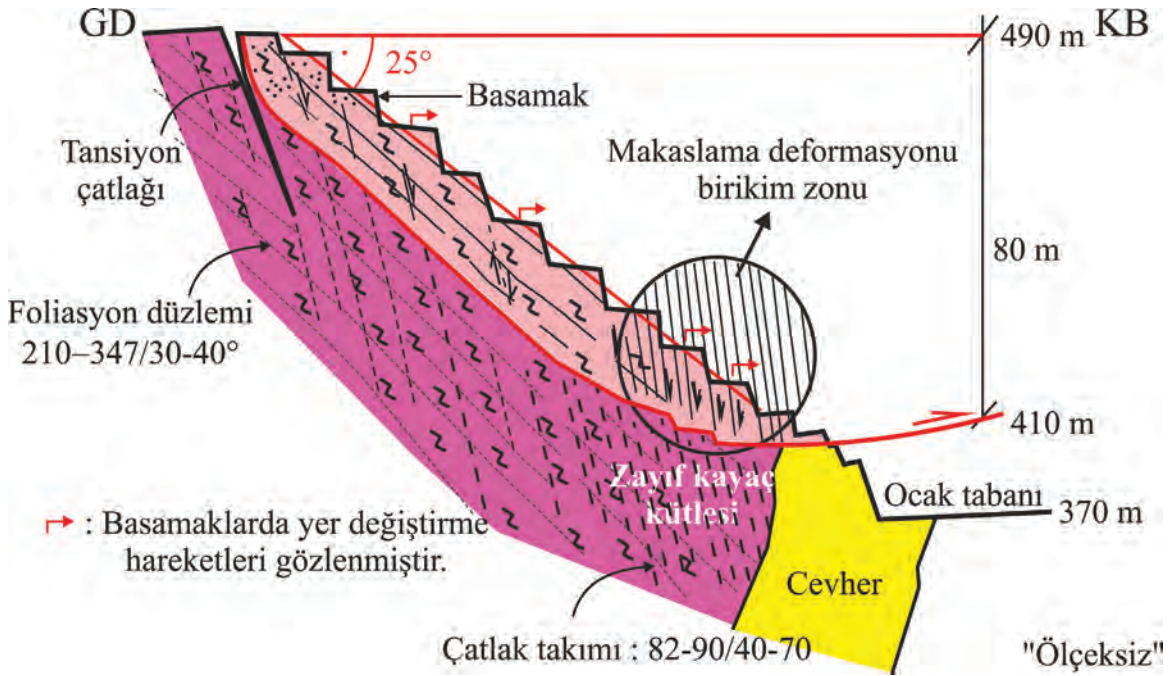


Şekil 12. Heyelan sonrası oluşan topoğrafya (19.12.2018, sabah: 7:30).

Figure 12. Topography after the landslide (19.12.2018, 7:30 am).

Böylece, gerilme çatlığından itibaren yaklaşık düşey ve daha sonra şev yüzeyine yaklaşık paralel konumlu foliasyon düzlemini takip eden bir yenilme yüzeyi oluşmuştur. Şev topuğuna yakın yerde bu yüzey şev dışına dönerek şevi kesmektedir (Şekil 13). Sonuçta, foliasyon yüzeyleri boyunca kaymayı, şev topuğuna yakın kesimlerde sık çatlaklı kayaç kütlelerinde makaslama içerikli gerilme çatlaklı ve foliasyon kontrollü bir yenilme yüzeyi oluşmuştur (Şekil 13). Gerek süreksizlikten itibaren gelişmiş gerilme çatlaklı (82–90/40–70) gerekse de foliasyonlar (210–270/26–40) dikkate

alındığında, yenilmenin süreksizlik kontrollü kombine bir hareket olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, çalışmada, sık çatlaklı kayaçlarda (belirgin yapısal öğeler bulunmuyorsa) gelişen “eğrisel kayma yüzeyine sahip heyelan” terimi (Rotational shear failure and/or circular failure) kullanılmamıştır. Bu terim yerine, kullanımda rotasyonel ve düzlemsel makaslama yenilmelerini içeren “gerilme çatlaklı, iki düzlemli kayma yenilmesi” terimi (sliding failure with two planars including rotational shear and plane shear failures) tercih edilmiştir.



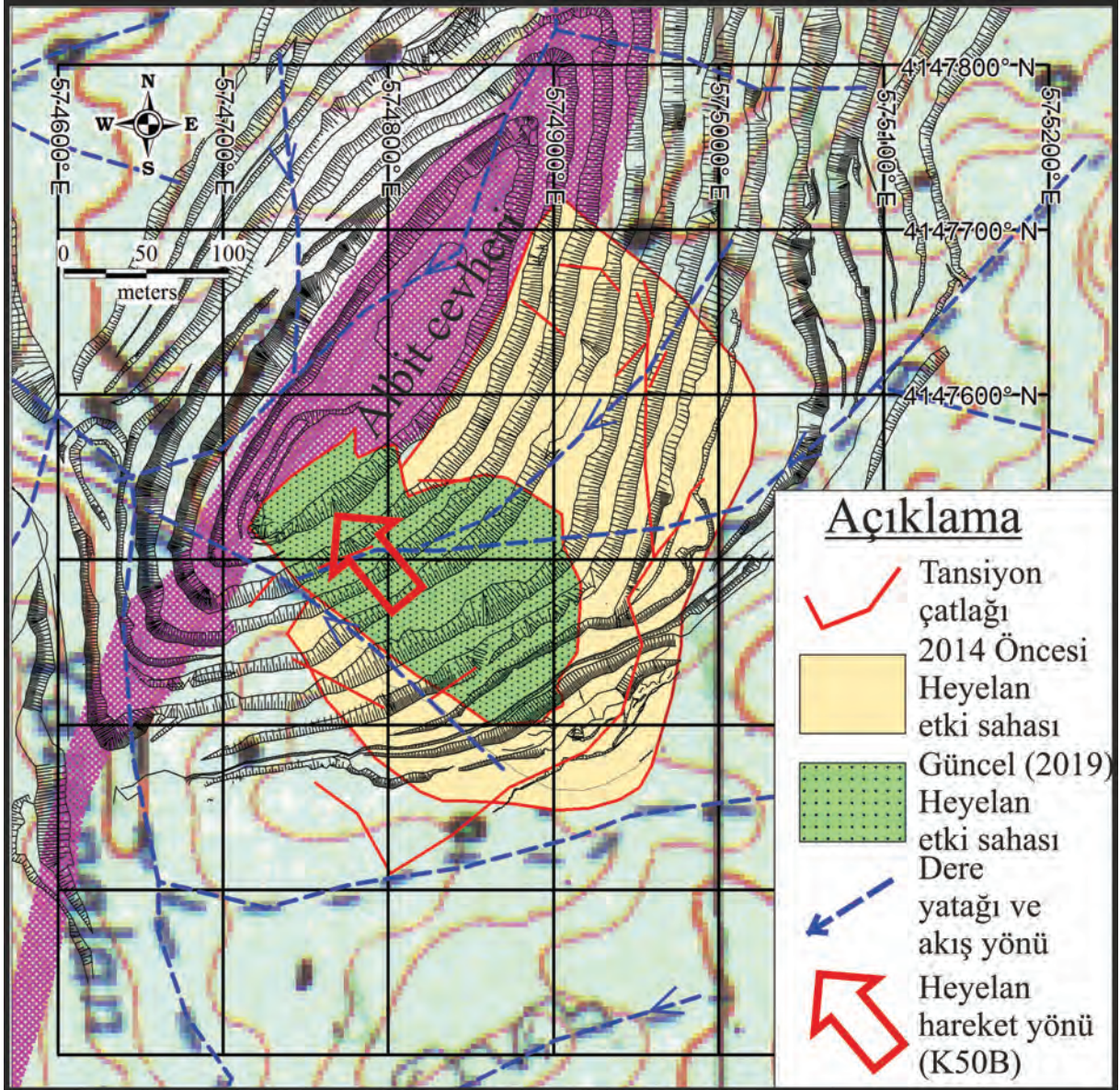
Şekil 13. Şev yüzeyine yaklaşık paralel konumdaki foliasyon düzlemlerinin şev topuğuna yakın kesimlerinde çatlaklı yapı oluşturması ve sığ derinlikte foliasyon kontrollü yenilme yüzeyi (Dairesel ve düzlemsel makaslama yenilmeleri).

Figure 13. Forming the jointed structure at the elevation near the slope-toe due to the foliation planes which are oriented nearly parallel to the slope face and failure surface controlled by the foliations at shallow depth (Rotational and plane shear failures).

Potansiyel Heyelan Alanı ve Gözlenen Heyelan Alanının Karşılaştırılması

2014 yılında açık ocakta heyelan potansiyeline sahip topoğrafyanın yüzey alanı 62800 m², 19.12.2018'de gerçekleşen heyelanın yüzey alanı ise 21040 m² olarak MapInfo Professional 8.0 (2000) yazılımı kullanılarak ölçülmüştür. Bu alanların konumları ve koordinatları Şekil 14'te sunulmuştur. 2014 ile 2018 yılları arasında şev kazısıyla 41760 m² lik alan cevher üretimine yönelik olarak alınmıştır. Heyelanın yüzey alanı 2014'te öngörülen potansiyel heyelan sahasının üçte biri kadardır. Bunun nedeni, 01.01.2018 ve 04.12.2018 tarihlerinde gerçekleştirilen ikinci ve üçüncü dekapaj çalışmaları ve şev yüksekliğini azaltmaya yönelik inceleme kazılarıdır.

Potansiyel heyelan alanı, K-G yönünde şev kademelerine paralel uzanmış bir görüntü vermiştir (Şekil 14). Alanın tamamı eski dere yataklarının denetimi altındadır. 19.12.2018'deki heyelanın nedenlerinden biri olan ana dere, heyelanın kayma yönünde (K50B) bir uzanımına sahiptir ve heyelanın GB kanadını oluşturmuştur. Ana derenin kollarından biri şev kademelerine paralel uzanırken diğeri, kademeleri dar açı yapacak şekilde kesmektedir. Bu veriler, 2014'deki açık ocakta yan yana iki adet potansiyel sahanın varlığına işaret etmektedir. Biri ana derenin akış yönünde diğeri ise, ana dereyi besleyen iki kolun denetimindedir.



Şekil 14. Potansiyel ve gerçek heyelan sahalarının yüzey alanlarının karşılaştırılması.

Figure 14. Comparison of the potential and the real landslide surface areas.

TARTIŞMA

Açık ocak işletmesinin güneydoğusunda üçüncü şev dekapajıyla birlikte genel şev açısı 25° 'ye erişmiş ve zamana bağlı kümülatif yer değiştirmeler ve şev hareketlerinin hızı, o

tarihten itibaren ivmelenerek artmıştır (Şekil 15). Şevdeki önemli deformasyonlar 14.12.2018 tarihindeki kontrolsüz topuk kazısıyla başlamış ve o tarihten itibaren şev hareketleri progresif yenilme durumunu yansıtmıştır (Şekil 15).

Herhangi bir açık ocakta yer alan bir şevdeki koşullar başlangıçta regresif durumu yansıtırken daha sonra progresif aşamaya geçebilir. Doğal olarak, progresif duruma geçmek için sabit hızla sürekli durum devam ederken kayda değer bir yer değiştirme hareketinin gerçekleşmesi gerekmektedir. Şevde kayda değer yer değiştirme hareketi 14.12.2018'de cevher üretimine yönelik topukta gerçekleştirilen kontrolsüz kazı ile başlamıştır. Böylece, şev eğimi artmıştır. Buna ek olarak, 17.11.2018 itibarıyla yılın en yağışlı dönemi başlamıştır (Dördüncü yağış rampası). Üçüncü dekapaj çalışmasıyla (04.12.2018) 14.12.2018 (topuk kazısının yapıldığı gün) tarihleri arasında toplam bileşke hareket miktarı 100 cm artmıştır ve hareketin hızı 10 cm/gün olarak belirlenmiştir. 14.12.2018 tarihinden sonraki beş günlük zaman aralığında SMP-060 noktasında hareketin hızı 160 cm/gün olarak elde edilmiştir (Şekil 15).

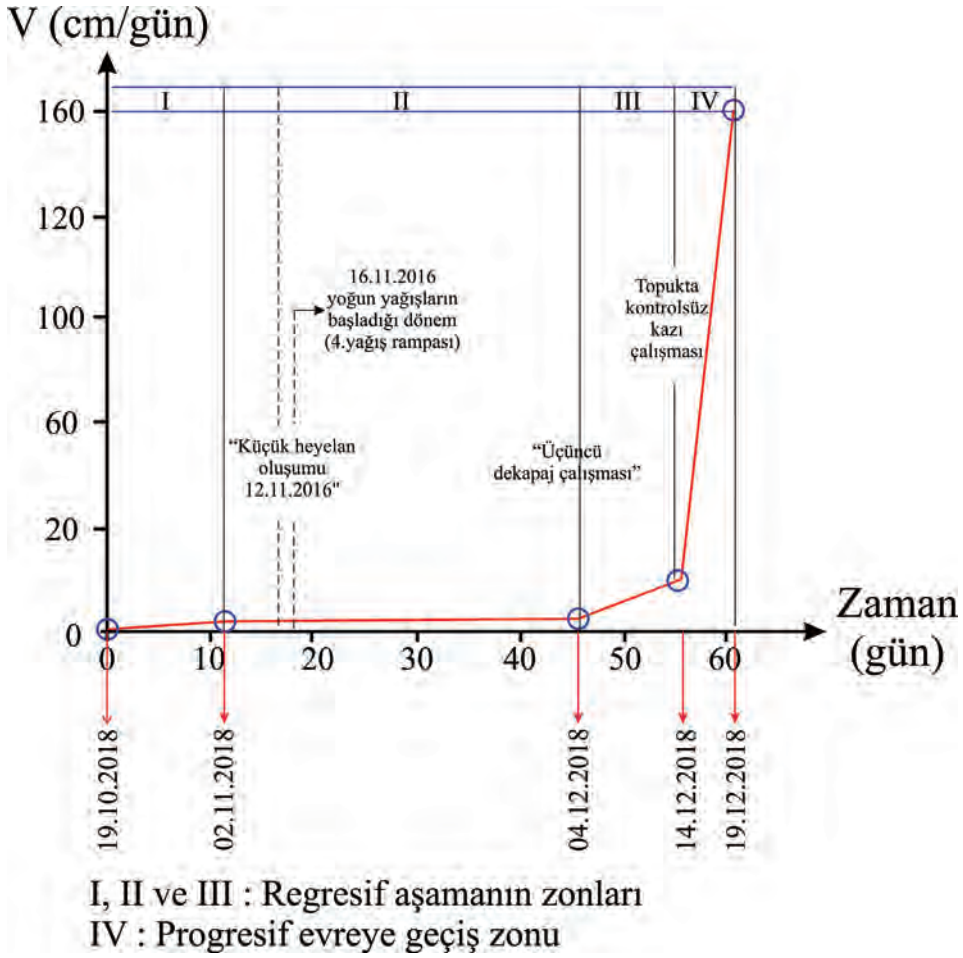
Özellikle cevher üretimine yönelik şev topuğunda yapılan kazıların genel şev açısını aşmayacak şekilde yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle, şev kazılarıyla ilgili uygulamalarda açık ocak mühendislerinin daha duyarlı davranmaları (hassas nivelman ölçümleri yapılarak kazıya başlanmalıdır) gerekmektedir.

Yoğun yağışları takip eden dönemlerde şevlerin stabilitesi bozulmakta ancak, drenaj gibi şev iyileştirme çalışmalarıyla stabilite tekrar sağlanmaktadır. Bir diğer anlatımla, stabilite üzerine olumsuz etkiye sahip etmen ortadan kaldırıldığında, şevin stabilitesi tekrar eski durumuna kavuşmakta ve açık ocakta cevher üretimine devam edilebilmektedir.

Bu tür regresif hareketlerde zamana bağlı yer değiştirme grafikleri basamaklı bir yapı sunmaktadır (birinci yağış rampası). Zamana bağlı hız değişim grafiği ise, önce artan sonra azalan bir seyir takip etmektedir. Diğer taraftan, progresif hareketlerde zamana bağlı hareketin hızı ve yer değiştirme miktarı devamlı artmakta ve heyelan oluşumuna kadar bu artış devam etmektedir. 19.12.2018 tarihinde gerçekleşen heyelan belirlenen özellikleriyle progresif bir hareketi tanımlamaktadır.

Zamana bağlı olarak alınan deformasyon ölçümleri, farklı zamanlarda, heyelan öncesinde ve sonrasında alınmış topoğrafik kesitlerin karşılaştırılması, insansız hava aracı görüntülerinden elde edilen heyelan gelişimine ait belirteçler ve yerinde yapılan günlük gözlemler sonucunda, heyelan öncesinde oluşan şev deformasyonları Şekil 16'daki gibi modellenmiştir.

Foliasyon düzlemleriyle çatlakların yaklaşık birbirine dik olması şevdeki blok oluşumunu sağlamaktadır (Şekil 16). Foliasyonların genel şev yüzeyine yaklaşık paralel olması, genel şev kaymasının meydana gelmesini kinematik olarak mümkün kılmaz ($\alpha_{foliasyon} \geq \alpha_{overall}$). Diğer taraftan, madencilik faaliyetleri nedeniyle (topukta yapılan hafriyat sebebiyle) oluşan gerilme artışları, şev tepesinden (gerilme çatlakları oluşumu) şev topuğuna (kabarma meydana gelmesiyle) transfer olur. Bu transferin sağlanmasında foliasyonlar etkin rol oynar. Sonuçta; şev topuğunda yer alan kayaç kütlesi daha kırıklı/sık çatlaklı hale gelir ve topukta makaslama yer değiştirmelerinin meydana gelme eğilimini artırır.



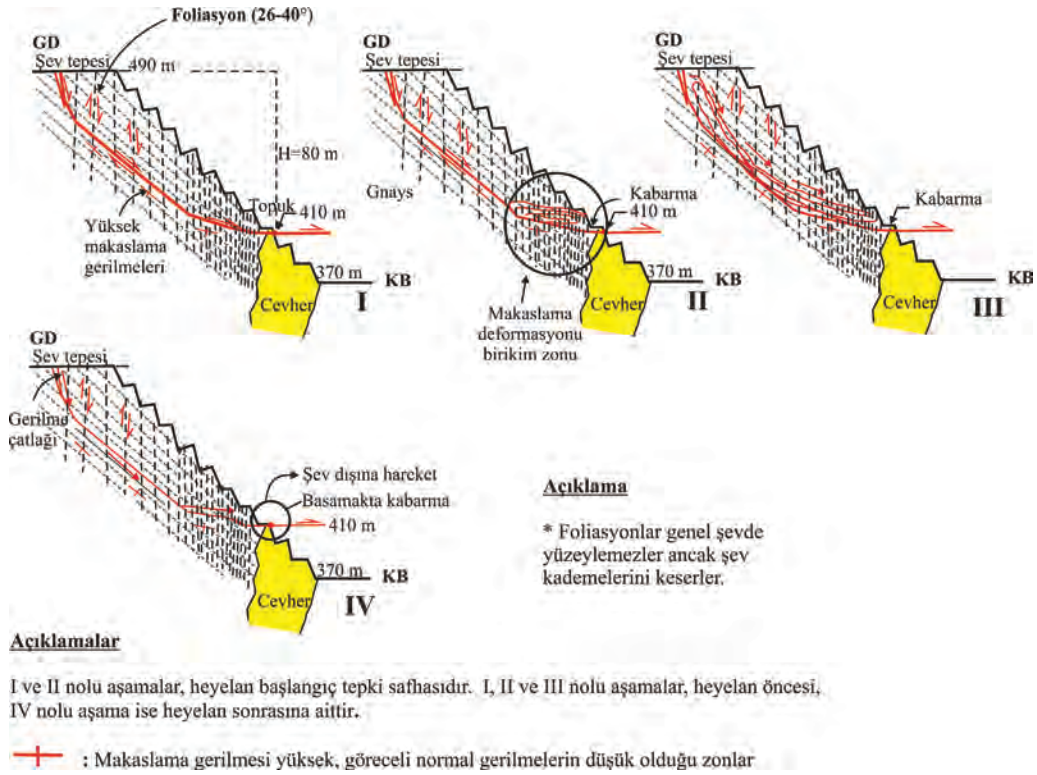
Şekil 15. Şev hareket hızı ve zaman arasındaki ilişki (14.12.2018'den önce şev deformasyonları sabit hızda ilerlemiştir ve daha sonra kayan kütle ivmelenmiş veya aktive olmuştur).

Figure 15. Relationship between the velocity of slope movement and time (Slope deformations had progressed at a constant speed before the date of 14.12.2018 and later activated or accelerated the movement of the sliding mass).

SONUÇLAR

Heyelan, açık ocağın GD şevinde 490 m ile 410 m kotları arasında meydana gelmiştir ($H_{overall} = 80$ m, $\alpha_{overall\ slope} = 25^\circ$). Açık ocak işletmesinin GD'da meydana gelen heyelanın ana nedeni, Yarenalan Deresi'nin kolları boyunca dere sularının ocağı beslemesidir. Şev planlaması sırasında şev basamakları teşkil edilmiş ve dere yataklarının yönü değiştirilmiştir. Ancak gömülü eski dere yataklarının faaliyetlerini

derinden sürdürdüğü belirlenmiştir. Çalışan gömülü dere yatakları boyunca gelen sızıntı suları gnyasları etkilemiştir. Yumuşamaya bağlı olarak makaslama dayanım parametreleri (c , ϕ) azalmıştır. Buna ek olarak, mevcut süreksizlikler boyunca kohezyonun kaybolmasına neden olmuştur. Bunun en önemli verisi, yer değiştirme hareketlerinin başlamış olmasıdır. Bu durum, açık ocak şevlerinde kayma koşullarını hazırlayan parametrelerden birisidir.



Şekil 16. Heyelanın öncesinde açık ocak albit madeninde oluşan şev deformasyonlarının aşamaları.

Figure 16. The stages of the slope deformations occurred before the landslide in the open pit albite mine.

10.02.2017'den 20.10.2017'ye dek şev hareketleri bir kez artış göstermiştir. Alınan drenaj önlemleriyle heyelan tehdidi ortadan kaldırılmıştır. Geçen yaklaşık sekiz aylık sürede şevde kayda değer deformasyonlar gelişmemiştir. 20.10.2017'den itibaren yağışlarla birlikte deformasyonlar tekrar artış göstermiştir. Yer değiştirmeler artarak 02.11.2018'de kümülatif olarak 1.0 m'ye erişmiştir. 01.01.2018'de ikinci dekapaj çalışması sonucu genel şev açısı artmış ve 2011 yılından sonra ikinci kez gerilme çatlakları şev üst yüzeyinde gelişmiştir. 02. 11. 2018'e dek deformasyonların artış nedeni yağışlar ve dekapaj çalışmaları sonrasında oluşan yeni gerilme koşulları olduğu belirlenmiştir.

14.12.2018'den itibaren deformasyonlar maksimum düzeye erişmiş ve şevin yenilmesi

kaçınılmaz bir noktaya gelmiştir (Progresif aşama). Bu aşamada, yer değiştirmeler arttıkça şevin stabilitesi kaybolmuş ve yenilme (kırılma) tam olarak gerçekleşmiştir. Geline nokta gerilme artmamasına karşın, şev dışına doğru kayma hareketi devam etmektedir. Aynı zaman aralığında yoğun yağışlar ve topuk kazısı, kayma koşulunu oluşturan ikinci parametre olarak belirlenmiştir.

Şev yüzeyine paralel uzanan foliasyonların eğimleri nedeniyle gerilmeleri şev topuğunda arttırdığı ve topukta çatlak gelişiminin yayılmasına neden olduğu anlaşılmıştır. Buna bağlı olarak yenilme modeli, foliasyonlar boyunca kaymayı, foliasyonları yaklaşık dik kesen 82–90/040–070 konumlu çatlak seti ve topukta gelişen sık çatlaklı zondaki

makaslamaları kapsamaktadır. Kayma dairesinin zayıf kaya kütlesi özelliğindeki gnayları kestiği, göreceli yüksek dayanıma sahip cevheri kesmeden, dokanaktan ilerlediği belirlenmiştir.

Potansiyel heyelan sahası 2014 yılı saha ölçümlerine göre 62800 m², 19.12.2018'de gerçekleşen heyelanın ise 21040 m² olarak ölçülmüştür. Öngörülen ile gerçekleşen arasındaki farkın, dekapaj ve inceltme kazıları sonucu potansiyel heyelan alanının küçülmesi nedeniyle meydana geldiği belirlenmiştir. Heyelanın hareket yönünde herhangi bir farklılık oluşmamıştır.

KAYNAKLAR

- Afeni, T.B., Cawood, F.T., 2013. Slope monitoring using total station: What are the challenges and how should these be mitigated? *South African Journal of Geomatics*, Vol. 2, No. 1, 41 – 53.
- Allasia, P., Manconi, A., Giordan, D. Baldo, M. Lollino, G., 2009. ADVICE: A new pproach for near-real-time monitoring of surface displacements in landslide hazard scenarios. *Sensors*, 3, 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.
- Call, R.D., 1982. Monitoring pit slope behavior, In Proc. 3rd Int. Conf. on Stability in Surface Mining (Vancouver, June 1 – 3, pp. 229 – 248. New York: Society of Mining Engineers, A. I. M. E.
- Call, R.D., Savely, J.P., 1991. Open pit rock mechanics. In *SME Mine Engineering Handbook*. New York; AIME, pp. 860 – 882.
- Call, R.D., Cicchini, P.F., Ryan, T.M., Barkley, R.C., 2000. Managing and analyzing overall pit slopes. In *Slope Stability in Surface Mining/Edited by William A. Hustrulid, Michael K. McCarter, Dirk, J. A. Van Zyl*, Published by the Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. p. 442.
- Franklin, J.A., 1977. The monitoring of structures in rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 14, 163 – 192.
- GEOVIA Surpac 6. 6. 1., 2013. GEOVIA Surpac reference manual.
- NetCad GIS 7, 2015. NetCad GIS yazılım kullanma kılavuzu.
- karagöz, S.D., Koca, M.Y., 2016. Alipaşa açık ocak albit madeninde meydana gelen heyelanın GPS kullanılarak izlenmesi ve oluşum nedenleri. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 40 (1), s. 27–52.
- Kadakçı, K.T., Koca, M.Y., 2014. Açık ocak albit işletmesindeki kaya şevlerinin sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak duraylık değerlendirmesi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 38(1), 1 – 19.
- Koca, M.Y., Kahraman, B., Karakuş, D., Özdoğan, M.V., 2010. General assessment of the stability of overall slope of the Alipaşa albite mine. *Dokuz Eylül Üniversitesi*, 156 s. (unpublished).
- Koca, M.Y., Kahraman, B., Kıncal, C., 2012. Report of overall slope stability assessment of the Alipaşa open pit mine. *Dokuz Eylül University*, 80 s. (unpublished).
- Leica Geosystems AG, 2013. Amberg Technologies AG. Ankara. www.sistemas.com.tr. Total Station GRS tm50– Geotechnical E. 541 – 7394/7306/.
- MapInfo Professional 8.0, 2000. Software manual.
- Martin, D.C., 1993. Time dependent deformation of rock slopes. *University of London*, PhD Thesis, London.
- Palozzo, D., Friedmann, R., Nadal, C., Santos-Filho, M., Veiga, L., Faggion, P., 2006. Dynamic monitoring of structures using a Robotic Total Station. XXIII FIG Congress, Munich, Germany, Oct. 8-13, 10pp.
- Sjöberg, J., 1999. Analysis of large-scale rock slopes. Doctoral thesis 1999: 01, Division of Rock Mechanics, Lule University of Technology.
- Simon, L., Valentin, G., Jeffrey, M.Keller, Signer, A., 2012. Monitoring of potentially catastrophic rockslides. *CRC Press*, London, 101 – 116.
- 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.



Araştırma Makalesi / Research Article

Karabağlar (İzmir) Bölgesindeki Heyelanların Olası Yenilme Koşulları Possible Failure Conditions of the Landslides in Karabağlar (İzmir)

Koray ULAMIŞ* , Recep KILIÇ 

Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06830, Ankara

Geliş (Received): 02 Ağustos (August) 2019 / Düzeltme (Revised): 20 Eylül (September) 2019 / Kabul (Accepted): 17 Ekim (October) 2019

ÖZ

Kentleşmede doğal afet potansiyelinin ve olası etkilerinin önceden belirlenmesi önem arz etmektedir. Ülkemizde en sık görülen afetlerden olan heyelan, mühendislik yapılarını ve çevreyi olumsuz etkilemektedir. Bu çalışmada, İzmir ili, Karabağlar ilçesi sınırlarındaki heyelanların mühendislik jeolojisi özellikleri incelenerek, yenilme kriterleri değerlendirilmiştir. İnceleme alanında Üst Kretase yaşlı Bornova Karmaşığı üzerinde uyumsuz Miyosen yaşlı killi kireçtaşı ile Kuvaterner yamaç molozu bulunmaktadır. Arazide heyelanların boyutları belirlenerek, kayma yüzeyi derinlikleri ile yeraltı suyu seviyesini ölçmek için derinlikleri 10.0 m ile 35.0 m arasında değişen 52 adet sondaj yapılmıştır. İnceleme alanını oluşturan Şamlı Tepe'nin güney, batı ve kuzey kesimlerinde toplam 58 adet heyelan belirlenmiştir. Heyelanlar, Miyosen yaşlı karbonatlı seviyeler ile çakıl, kum ve silt mercekleri bulunduran kil içerisinde gelişmiştir. Heyelanların kabarma ve akma bölgelerinde daha küçük boyutlu çok sayıda ikincil yenilmeler mevcuttur. Heyelanlarda geriye dönük analizler yapılarak limit denge şartlarındaki rezidüel içsel sürtünme açısı ve rezidüel kohezyon belirlenmiştir. Şamlı Tepe ve güneyindeki yol kazısında geçmişte topuktan yük alınması ve K-G doğrultulu dere yatağının aşındırması ile düşük kotlarda başlayan yenilmeler kuzeye doğru gerileyerek daha büyük çaptaki heyelanı tetiklemiştir. Şevlerde statik koşul yanında inceleme alanının deprenselliği de dikkate alınarak psödostatik analizler yapılmıştır. Güvenlik katsayısı ile psödostatik katsayı ilişkisi incelenerek, analizlerde limit denge koşulunu sağlayan katsayı 0.10 olarak belirlenmiştir. Elde edilen değer inceleme alanı ve çevresindeki en büyük yatay yer ivmesi ile beraber değerlendirildiğinde ileride yapılacak şev duraylılığı çalışmalarında kullanılabilir niteliktedir.

Anahtar Kelimeler: Karabağlar, Heyelan, Stabilite, Psödostatik katsayı, Güvenlik katsayısı

ABSTRACT

Determination of the natural hazard potential and possible effects on urbanization is a key factor: Landslide is the most prominent hazard in Turkey, causing adverse effects on the engineering structures and environment. This study aims to investigate the engineering geological investigation and failure criteria of the landslides which took place in Karabağlar district of İzmir. Upper Cretaceous aged Bornova Mélange is unconformably overlain by Miocene aged clayey limestone and Quaternary aged alluvium. The dimensions of the landslides were determined. A total of 52 boreholes with depths ranging between 10 m and 35 m were drilled in order to obtain the sliding depth and groundwater level. There existed 58 landslides around the southern, western and northern parts of the Şamlı hill. Landslides took place mainly in the Miocene aged clay and carbonates with gravel, sand and silt lenses. Secondary minor slides have occurred in the depletion and accumulation zones. Back analyses were conducted to attain the residual internal friction angle and residual cohesion which provided limit equilibrium. The main slide has been triggered by the minor failures which have taken place at lower elevations, being retrogressive to north. Main reasons of these slides are the road excavation at the south and carving of the creek which flows in N-S direction. Static and pseudo-static slope stability analyses were done with particular concern in the seismicity of the region.

The relation between the factor of safety and pseudo-static coefficient was investigated. The pseudo-static coefficient at limit equilibrium was determined as 0.10. This value should be taken into account with peak ground acceleration for the future slope stability investigations for the study area and its vicinity.

Keywords: Karabağlar, Landslide, Stability, Pseudostatic coefficient, Factor of safety

GİRİŞ

Heyelanların incelenmesi ve gerekli önlemlerin önceden alınması yer seçiminde önemli bir faktördür. Heyelanları tetikleyen unsurlar deprem ve aşırı yağışlar (Cruden ve Fell, 1997) ile nüfus artışına paralel olarak gelişen hızlı ve plansız yapılaşmalardır (Schuster, 1996). Heyelan kavramı teknik olarak ilk defa Onions vd. (1933) tarafından kullanılmış olup, farklı araştırmacılar ve kurumlar tarafından detaylı olarak açıklanmıştır (Cruden, 1991; IAEG, 1990; WP/WLI, 1993; Varnes, 1978; Cruden ve Fell, 1997; Hungr vd., 2014). Heyelan oluşum mekanizması, duraylılık analizi ve iyileştirme yöntemleri ile ilgili bir çok çalışma yapılmıştır (Fellenius, 1927; Bishop, 1955; Lowe ve Karafiath, 1960; Morgenstern ve Price, 1965; Spencer, 1967; Janbu, 1968; US Army of Corps, 1970; Sarma, 1973).

Kıncal vd. (2009), İzmir şehir merkezi ve çevresi için heyelan hassasiyet haritası üretmişlerdir. Tarcan ve Koca (2000), İzmir ili, Kadifekale civarındaki heyelanların jeoteknik

ve hidrojeolojik incelemesini yapmıştır. İller Bankası Genel Müdürlüğü'nün 1994 yılında hazırlanmış olduğu "Uzundere-İzmir Belediyesi İmar Planına Esas Jeolojik Etüd Raporu"nda Karabağlar bölgesinin kireçtaşı ve marndan oluştuğunu belirtmiş, mevcut ve muhtemel heyelan nedeni ile "Afete Maruz Bölge" olarak tanımlamıştır. İzmir ili, Karabağlar ilçesi sınırları içinde Şamlı Tepe ve çevresindeki alan, heyelanlar nedeni ile 6306 sayılı kanun kapsamında 2012 yılında Bakanlar Kurulu kararı ile "Yapılaşma Riskli Alan" ilan edilmiştir. İnceleme alanında heyelanların mühendislik jeolojisi konusunda herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. İzmir ili, Karabağlar İlçesi'nde (Şekil 1) heyelanların sınıflaması (Varnes, 1984), boyutları ve oluşum mekanizmaları arazi gözlemleri, jeoteknik amaçlı sondajlar ve jeofizik yöntemlerle incelenerek mühendislik jeolojisi haritası hazırlanmıştır (Kılıç, 2013). Heyelanların statik ve dinamik koşullarda duraylılık analizleri yapılmış ve limit denge koşulunu veren ideal psödostatik katsayı belirlenmiştir.



Şekil 1. İnceleme alanı yer bulduru haritası ve belirgin heyelanların görüntüsü.

Figure 1. Location map of the study area and significant landslides.

JEOLOJİ

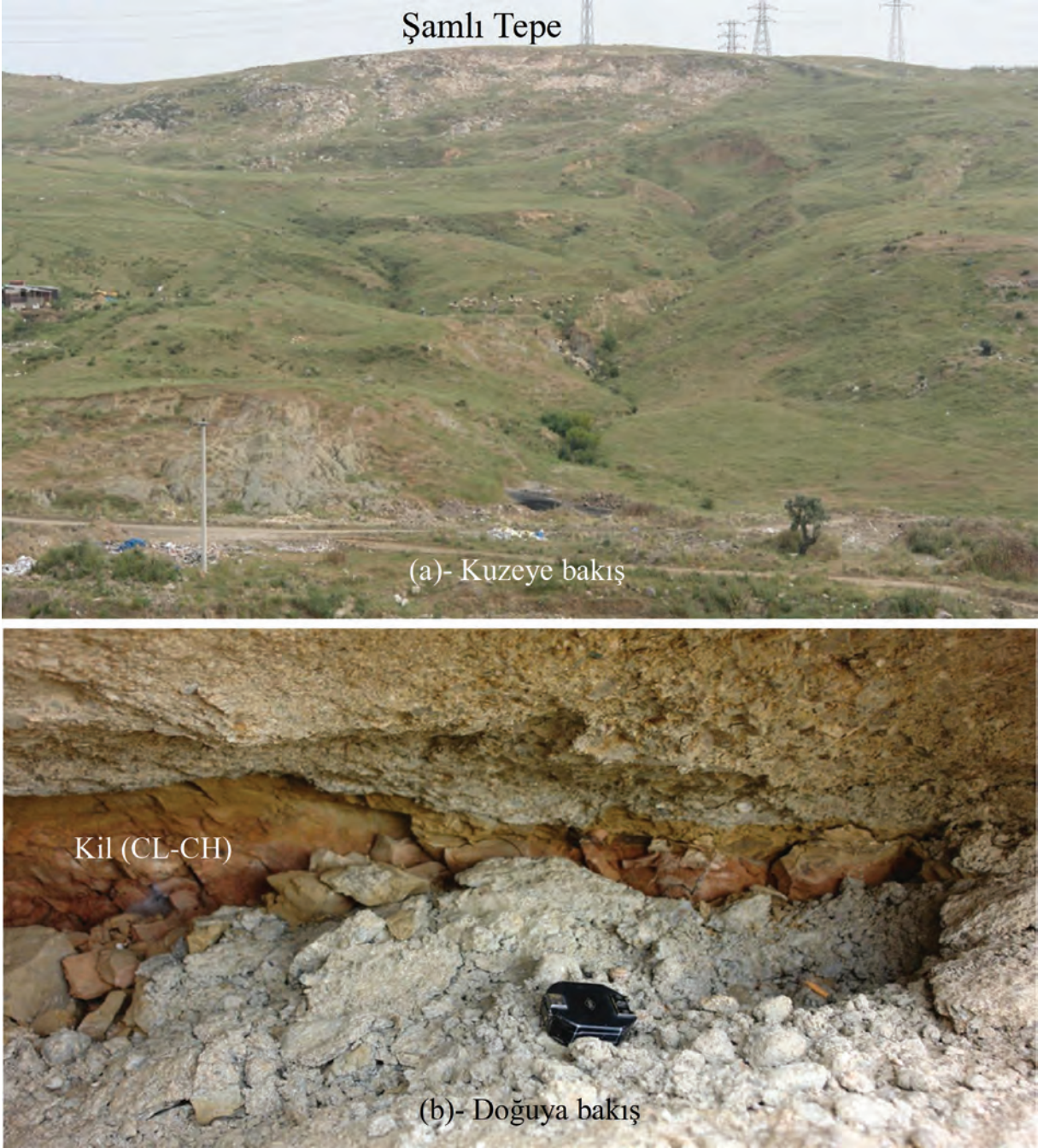
İnceleme alanı ve çevresinde temel birimler Paleozoyik yaşlı gnays ve şistler (Şengör vd., 1984) olup, üzerlerine tektonik dokanakla Üst Kretase-Paleosen yaşlı Bornova Karmaşığı gelir (Erdoğan, 1990). Bu birimlerin üzerine açısız uyumsuz Alt Miyosen-Erken Pliyosen yaşlı kireçtaşı ve marn gelmektedir (Yılmaz vd. 2000; Genç vd. 2001). İnceleme alanını çevreleyen dere yataklarında alüvyon ile güneyde Uzundere yatağı civarında kalınlığı 1.0-7.0 m. arasında değişen dolgu yer alır (Kılıç, 2013). İzmir fayı eğim atımlı normal bir fay olup, Holosen'de yüzey yırtılmasıyla sonuçlanan büyük depremlere kaynaklık etmiştir. Tuzla fayı, İzmir'in güneybatısında Gaziemir ile Doğanbey arasında KD-GB genel uzanımlı sağ yanal doğrultu atımlı fay karakterindedir (Emre vd. 2005). İnceleme alanı, İzmir fayı ve Tuzla Fay Zonu arasında kalan dar bir alanda basınç sırtı niteliğinde gelişmiştir.

ARAZİ ÇALIŞMALARI

İnceleme alanındaki heyelanların konumları, arazinin en belirgin yükseltisi olan Şamlı Tepe (204 m)'nin güney, batı ve kuzey yamacındakiler ayrı ayrı incelenmiştir (Şekil 2a ve 2b). Heyelanların boyutlarını belirlemek, birimlerin yatay ve düşey yöndeki değişimlerini belirlemek ve temsil edici örnekler almak, sıklık ve kıvamını belirlemek amacı ile derinlikleri 10 m ile 35 m arasında değişen 52 adet sondaj çalışması gerçekleştirilmiştir (Altundağ, 2013). Sondaj kuyularına plastik borular yerleştirilerek yeraltı suyu seviyeleri ölçülmüştür. Heyelanlar üzerinde sondaj yapılamayan yerlerde açılan 9 adet 3.5 m derinliğinde AÇ simgesi ile gösterilen araştırma çukurlarından (Şekil 3) kayma yüzeyindeki zeminlerden kesme kutusu deneyleri için örselenmemiş örnekler alınmıştır.

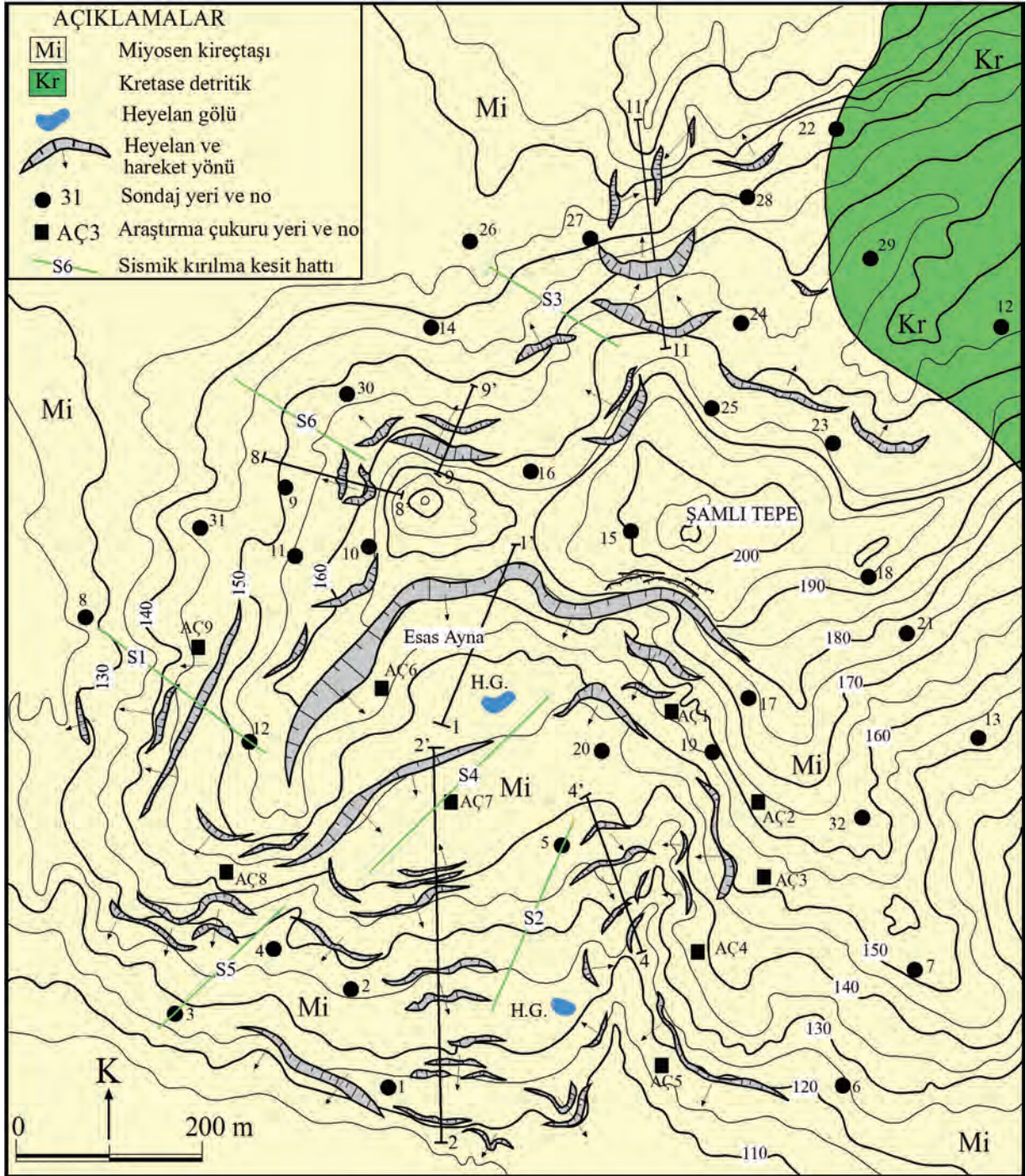
HEYELANLARIN MORFOLOJİSİ VE JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ

İnceleme alanında Miyosen yaşlı karbonatlı seviyeler ile çakıl ve kum mercikleri içeren killerde irili ufaklı 58 adet heyelanın meydana geldiği belirlenmiştir. Karbonatlı seviyeler genelde yüksek kotlarda olup, bu seviyelerin altındaki doygun killerden itibaren kaymalar gerçekleşmiştir. İnceleme döneminde yeraltı suyu seviyesi 1.0m ile 7.5m arasında değişmektedir. Şamlı tepenin güneyindeki eğimler %15-20 arasında, kuzeyindeki eğim %14-18 arasında ve batısındaki eğim %17-22 arasında değişmektedir (Şekil 2a ve Şekil 3). Şamlı Tepe'nin güneydeki yenilmeler alt kotlardan başlayarak kuzeye doğru ilerlemiş, heyelanın uzunluğu ve genişliğini artırmış ve daha geniş alanları etkilemiştir. Güney yamaçtaki en büyük heyelanın uzunluğu 600m, genişliği 450m ve kayma derinliği en çok 20 m'dir. Batı yamaçtaki heyelanların kayma derinlikleri 9.0m ile 13.0m, kuzey yamaçtaki heyelanların kayma derinliği ise 7.0m ile 10.0m arasında değişmektedir. Kayma derinliklerinin belirlenmesinde sondajlar ve jeofizik hatlar ile sismik kesit hatlarından yararlanılmıştır. Ayrıca, heyelan aynası belirgin olan kaymalarda kayma dairesi ve konsantrik daire yöntemleri ile kayma derinlikleri belirlenmiştir. İnceleme alanının 1/1000 ölçekli topoğrafik harita üzerine işlenmiş Şekil 3'teki mühendislik jeoloji haritasında sondaj numaraları ve yeri, esas heyelan aynaları, heyelan gölleri ve duraylılık analizleri için belirlenen kesit hatları ile sismik kesit hatları gösterilmiştir. Kesit hatları arazinin morfolojisi ve heyelan geometrisini en ideal şekilde yansıtabilecek şekilde belirlenmiştir. Ayrıca, arazide belirlenebilen heyelan gölü, su çıkış noktaları, ikincil yenilmelerin konumları ve heyelana bağlı gelişen topoğrafik bozukluklar da dikkate alınmıştır.



Şekil 2. Heyelanın güney yamacının görünüşü (a) ve batı yamacındaki kumtaşlarının üzerinde kaydığı kilin görünüşü (b).

Figure 2. View of the south slope of the landslides (a) and the clay sliding on the sandstones in the western slope (b).



Şekil 3. İnceleme alanının mühendislik jeolojisi haritası ve heyelanların konumları.

Figure 3. Engineering geological map of the study area and landslide locations.

Sondajlar ve araştırma çukurlarından alınan kayma düzlemindeki killerin doğal su içeriği, tane boyu dağılımı, kıvam limitleri, doğal birim ağırlığı belirlenerek sınıflaması TS 1900-1 (2006)'e göre yapılmış, örselenmemiş örneklerde doruk ve artık makaslama parametreleri konsolidasyonlu-drenajsız (CU) şartlarda ASTM D5628-17 (2017) standardına göre belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 1'de verilmiştir (Kılıç, 2013).

yapılan geriye dönük analizlerde yenilmenin gerçekleştiği şevlerde güvenlik sayısı 1.006 ile 1.097 arasında değişmektedir. Geriye dönük analiz ile halihazırda laboratuvarında belirlenen makaslama parametreleri karşılaştırıldığında, kayma düzlemindeki killerin artık kohezyon değerlerinin önemli ölçüde azaldığı belirlenmiştir. Şamlı Tepe güneyi, kuzeyi ve batısındaki kesit hatlarında limit denge koşulunu sağlayan (GS=1.0) statik ve psödo statik analizlerden elde edilen makaslama parametreleri, ile kayma

Çizelge 1. Heyelanın kayma yüzeyindeki CL ve CH grubu killerin indeks özellikleri ile artık makaslama dayanım parametreleri.

Table 1. Index properties and the residual shear strength parameters of the CL and CH soils obtained from the sliding surface of the landslide.

w_n , %	g_n , kN/m ³	+4# elek	-200# elek	LL, %	PL, %	PI, %	c' , kPa	ϕ' , °
17	18.22	2.0	73.1	53.8	28.6	25.2	33	10
20	18.26	0.9	86.8	60.8	28.4	32.4	39	8
18	18.12	3.6	64.8	51.0	25.5	25.5	30	9
25	17.89	0.8	77.6	40.8	22.1	18.7	28	9
11	18.05	4.6	60.2	37.8	19.3	18.5	34	9
20	18.31	0.6	87.3	32.5	16.1	16.4	33	11
21	18.23	0.7	73.9	57.1	26.5	30.6	20	7

ŞEV DURAYLILIK ANALİZLERİ

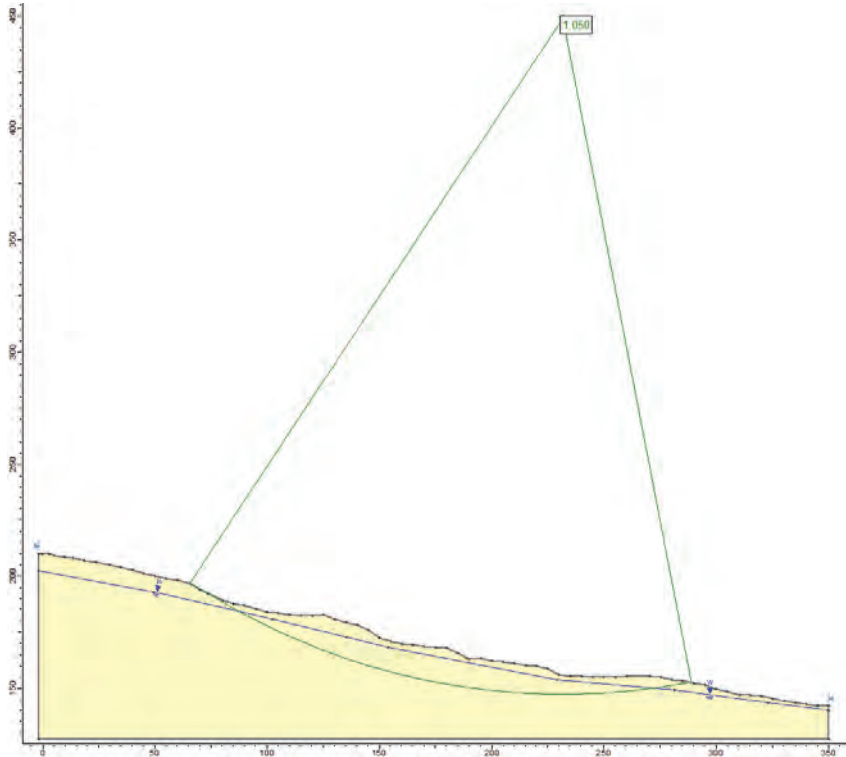
İnceleme alanındaki heyelanlarda duraylılık analizleri statik ve psödo statik koşulda geriye dönük yapılarak limit denge koşulunu sağlayan artık kohezyon ve artık içsel sürtünme açıları belirlenmiştir. Laboratuvar deneylerinden elde edilen artık makaslama parametrelerine göre yapılan şev duraylılık analizlerinde şevlerin duraylı olduğu belirlenmiştir. Statik şartlarda

düzlemi derinlikleri Çizelge 2'de verilmiştir. Şekil 4'te mühendislik jeolojisi haritasındaki 1-1' numaralı kesit hattındaki statik duraylılık analizi verilmiştir. Analizler dairesel yenilmeyi esas alan ve hem sığ, hem de derindeki kaymalar için güvenilir sonuçlar veren Bishop (1955) yöntemine göre Slide 6.0® programı kullanılarak yapılmıştır. Arazi gözlemleri, sondaj ve jeofizik veriler değerlendirildiğine yenilmeler dairesel düzlemde gelişmiştir.

Çizelge 2. Kesit hatlarındaki geri analiz ile belirlenen güvenlik sayıları ile kayma derinlikleri.

Table 2. Factor of safety derived from back analyses and sliding depths relevant to the cross-sections.

Kesit Hattı	c'_r (kPa)	f'_r (°)	g_n (kN/m ³)	g_{sat} (kN/m ³)	GS (statik)	GS (psödostatik)	h (m)
1-1'	15	10	17.9	18.9	1.050	0.978	15
2-2'	16	4	18.5	19.8	1.049	0.936	11
4-4'	16	4	18.9	19.5	1.097	0.894	16
8-8'	18	5	18.0	19.2	1.006	0.925	13
9-9'	14	8	18.2	19.0	1.060	0.969	9
11-11'	23	8	18.0	18.8	1.071	0.988	14



Şekil 4. 1-1' kesit hattındaki heyelanın statik şartlarda kayma daresi ve güvenlik sayısı.

Figure 4. Sliding surface and factor of safety of the landslide on 1-1' cross-section under static conditions.

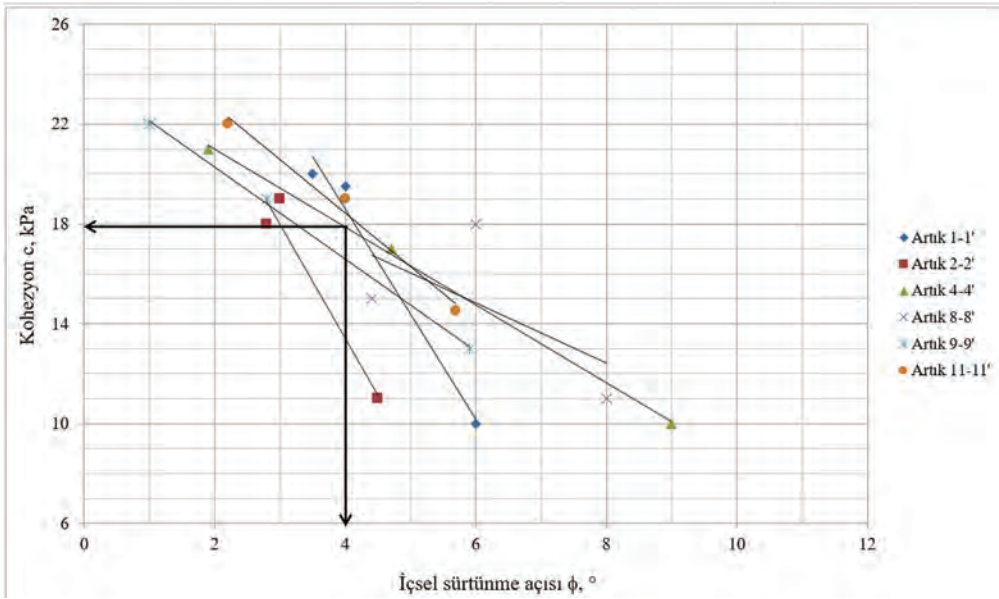
Çizelge 2'de statik koşulda 4-4' kesit hattı ve 11-11' kesit hattındaki güvenlik sayıları 1.1'e yakındır. Her iki kesit hattındaki yenilmeler

esas heyelana göre (1-1' hattındaki heyelan) daha düşük eğimde ve tali yenilmeler olarak gelişmiştir.

Geri analizlerde heyelan geometrisini ideal şekilde temsil eden 6 adet kesit hattında belirlenen artık kohezyon 18 kPa, artık içsel sürtünme açısı 4° olarak belirlenmiştir (Şekil 5). Psödostatik analiz yönteminde (Terzaghi, 1950) psödostatik katsayının (k_h) belirlenmesi önemli rol oynamaktadır. Yenilme esnasında kütle rijit kalmayacağından, etkiyen pik ivme kayan kütleyle kısa süreli etki eder. Dolayısıyla; başlangıç pik ivmenin şev duraylılık analizlerinde kullanılması güvenlik sayısında normal olmayan azalmalara neden olacaktır (Seed, 1979; Kramer, 1996).

sayılarının standart sapmaya göre değişim aralıkları Şekil 6'da verilmiştir. İki parametre arasında yapılan kikare analizine göre aralarında %95 anlamlılık seviyesinde lineer ters orantı bulunduğu belirlenmiştir. Güvenlik katsayısı, psödostatik katsayının 0.01 ile 0.2 arasındaki değerleri arttıkça azalmaktadır. Eşitlik 1'de inceleme alanında duraylılık analizi yapılan kesit hatlarında genelleştirilmiş güvenlik sayısı ile psödostatik katsayı ilişkisi verilmiştir.

$$GS=1.2 - 2.8764 \times k_h \quad (R^2=0.968) \quad (1)$$

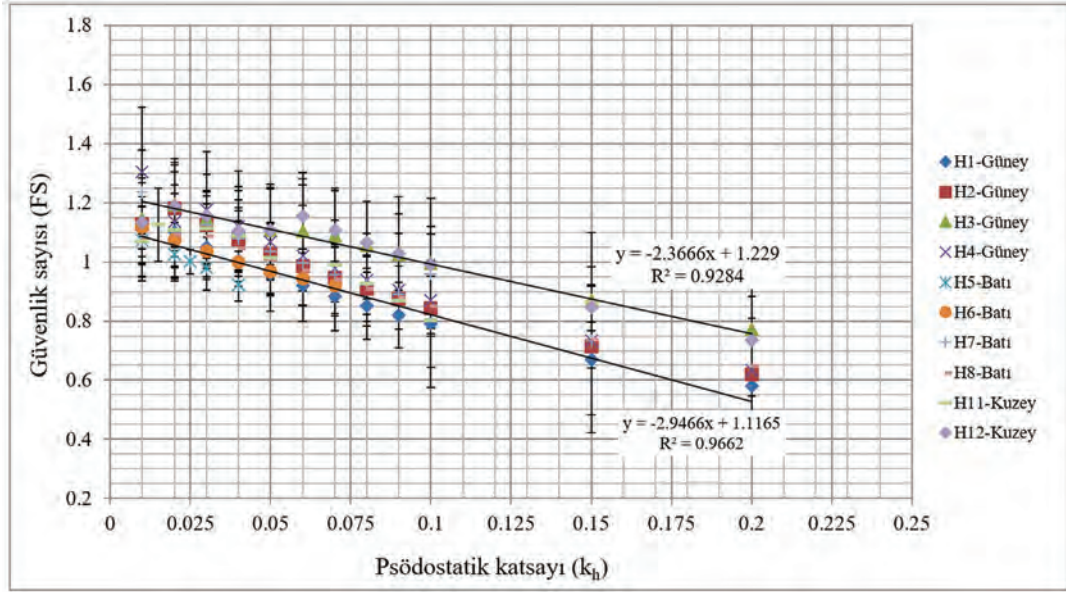


Şekil 5. Kesit hatlarında statik koşulda geri analizden elde edilen artık makaslama dayanım parametreleri.

Figure 5. Residual shear strength parameters determined from the back analyses of cross sections under static conditions.

Psödostatik katsayının duraylılık analizlerinde kullanılması ve dizayn deprem büyüklüğüne göre belirlenmesi ile ilgili çalışmalar yapılmıştır (Seed, 1979; Kramer, 1996; Melo ve Sharma, 2004; Jibson, 2011). Duraylılık analizlerinden belirlenen güvenlik sayıları (GS) ile psödostatik katsayılar (k_h) arasındaki ilişki incelenerek, güvenlik

Türkiye Deprem Tehlike Haritası (AFAD, 2018) kullanılarak inceleme alanı için belirlenen en büyük yatay yerivmesi $0.454g$ olup, psödostatik analizlerde kullanılması önerilen ilişkiler de dikkate alınarak (Çizelge 3) inceleme alanındaki duraylılık analizlerinde psödostatik katsayının 0.10 olarak kabul edilmesi uygun görülmüştür. Daha yüksek katsayı değerlerinde güvenlik sayısı



Şekil 6. Güvenlik katsayısı ile psödostatik katsayı ilişkisi.

Figure 6. Relation between the factor of safety and pseudostatic coefficient.

Çizelge 3. Psödostatik katsayı ile ilgili çalışmalar ve öneriler.

Table 3. Previous work about the pseudostatic coefficient and recommendations.

k_h	Açıklama
0.05-0.15	ABD
0.12-0.25	Japonya
0.1	Büyük depremler, Terzaghi (1950) $IX < RF < X$
0.2	Yıkıcı depremler
0.5	Katastrofik depremler
0.1-0.2	Seed (1979) $GS \geq 1.15$, $M=6.5$ ile 8.25 arasında
0.10	Büyük depremler Corps of Eng. (1982)
0.15	Çok büyük depremler
1/2 - 1/3 pga	Marcuson ve Franklin (1983), $GS > 1.0$
1/2 pga	Hynes-Griffin ve Franklin (1984), $GS > 1.0$
pga: en büyük yatay yer ivmesi	

0.75-0.80 aralığında kalmaktadır. İnceleme alanı Uzel ve Sözbilir (2008) tarafından tanımlanmış olan İzmir-Balıkesir Transfer Zonu içerisinde yer almakta olup, bir çok farklı türde faylar ile sınırlandırılmıştır. Aletsel dönemde büyüklüğü 5.0'den büyük 14 adet deprem kaydedilmiştir (Emre vd., 2005). Neotektonik fayların konumları, ürettikleri depremler ve inceleme alanının aktif bir zon içinde olması nedeni ile psödostatik analizler yapılmıştır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

İnceleme alanında Miyosen yaşlı killerin içinde güneyde yapılan yol kazısına bağlı topuktan yük alınması ve G-K doğrultudaki dere yatağının mevsimsel su taşımaya bağlı olarak aşındırması sonucunda farklı büyüklüklerde heyelanlar gelişmiştir. Kil üzerindeki ayrışmış kireçtaşı, kumtaşı ve bunların üzerindeki yamaç molozu kaymaktadır.

İnceleme alanının güney yamacında eğim %15 ile %18 arasında değişmektedir. Tali yolun yamacında ise eğim %23'e varmaktadır. Şamlı Tepe'de başlayan ve güney yamaçta yer alan en büyük heyelanın içinde ikincil yenilmeler belirlenmiştir. Kuzeye doğru (esas heyalan aynası) yenilmeler geliştikçe eğim azalarak geriye doğru ilerleyen türde bir heyelan gelişmiştir.

Kayma düzlemindeki killerden alınan örneklerde CU kesme kutusu deneyleri yapılmış olup, elde edilen artık makaslama parametrelerine göre şevler duraylıdır. Hareketin durakladığı heyelanlarda kayma düzlemindeki killi zemin hareket öncesindeki limit denge koşuluna göre göreceli olarak yüksek koheziona sahip olacaktır.

Heyelanların yenilme koşulunu daha doğru ifade edebilmek için geriye dönük analizler yapılmıştır. Analizler sonucunda statik koşulda artık kohezyon büyük ölçüde azalmış olup, yenilmenin kohezyon tarafından kontrol edildiği belirlenmiştir.

İnceleme alanının Ege Bölgesi horst-graben sistemi içinde bulunması, yakın çevresindeki faylar ve deprenselliği de dikkate alınarak psödostatik analizler gerçekleştirilmiştir. Kesit hatları için güvenlik sayısı ile psödostatik katsayı ilişkisi incelenerek, inceleme alanındaki heyelanlarda kullanılabilecek psödostatik katsayı belirlenmiştir.

İnceleme alanında yapılaşmaya izin verilebilmesi için detaylı jeoteknik inceleme yapılması ve heyelanların çevreye ve gelecekte planlanacak yapılara zarar vermesinin önlenmesi için gerekli iyileştirme yöntemlerinin dinamik şartlarda analizleri yapılarak belirlenmesi ve projelendirilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- AFAD, 2018. Türkiye deprem tehlike haritası, interaktif web uygulaması. (<https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml>). Ziyaret tarihi: 12.09.2019)
- Altundağ, E., 2013. İzmir ili, Karabağlar ilçesi, 540 hektarlık alanın 1/1.000 ölçekli imar planına esas jeolojik-jeoteknik etüd raporu, 241 s.
- ASTM D6528-17, 2017. Standard test method for consolidated undrained direct shear testing of fine grained soils. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Bishop, A. W., 1955. The use of slip circle in the stability analysis of earth slopes. *Geotechnique*, 5(1), 7-17.
- Corps of Engineers, 1982. Slope stability manual EM-1110-2-1902. Washington DC, Department of the Army, Office of the Chief of Engineers.
- Cruden, D.M., 1991. A simple definition of a landslide. *Bulletin International Association Engineering Geology*, 43, 27-30.
- Cruden, D.M., Fell, R., 1997. Workshop on landslide assessment. Proc. Int. Workshop on Landslide Risk Assessment, Hawaii, USA, 371p.
- Emre, Ö., Özalp, S., Doğan, A., Özaksoy, V., Yıldırım, C., Göktaş, F., 2005. İzmir yakın çevresinin diri fayları ve deprem potansiyelleri. MTA Raporu, 10754, 86 s.
- Erdoğan, B., 1990. İzmir-Ankara Zonu'nun İzmir ile Seferihisar arasındaki bölgede stratigrafik özellikleri ve tektonik evrimi. *TPJD Bülteni*, 2, 20 s.
- Fellenius, W., 1927. *Erdstatische Berechnungen mit Reibung und Kohäsion (Adhäsion) und unter Annahme kreiszylindrischer Gleitflächen* Ernst & Sohn, Berlin.
- Genç, S.C., Altunkaynak, S., Karacık, Z., Yazman, M., Yılmaz, Y., 2001. The Çubukludag graben, south of İzmir: tectonic significance in the Neogene geological evolution of the Western Anatolia. *Geodinamica Acta*, 14, 1-12.
- Hungr, O., Leroueli, S., Picarelli, L., 2014. The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*, 11, 167-194.

- Hynes-Griffin M.E., Franklin A.G., 1984. Rationalizing the seismic coefficient method. U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, GL-84-13, 21 p.
- IAEG Commission on Landslides, 1990. Suggested nomenclature for landslides. Bulletin of International Association of Engineering Geology, 41, 13-16.
- Janbu, N., 1968. Slope stability computations. Soil Mechanics and Foundation Engineering, Technical University of Norway.
- Jibson, R.W., 2011. Methods for assessing the stability of slopes during earthquakes, a retrospective. Engineering Geology, 122, 43-50.
- Kılıç, R., 2013. İzmir İli, Karabağlar Bölgesindeki heyelanların ve duraylılığının incelenmesine ait jeoteknik rapor, 40 s.
- Kıncal, C., Akgün, A., Koca, M.Y., 2009. Landslide susceptibility assessment in the İzmir (West Anatolia, Turkey) city center and its near vicinity by the logistic regression method. Environmental Earth Sciences, 59, 745-756.
- Kramer S.L., 1996. Geotechnical earthquake engineering. Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ, 653 p.
- Lowe, J., Karafiath, L., 1960. Stability of earth dams upon drawdown. 1st Pan American Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico City, 2, 537-552.
- Marcuson W.F, Franklin A.G, 1983. Seismic design, analysis and remedial measures to improve the stability of existing earth dams - Corps of Engineers approach. Seismic Design of Embankments and Caverns, T.R. Howard, Ed., NY, ASCE.
- Melo, C. and Sharma, S., 2004. Seismic coefficients for pseudostatic analysis. 13th World Conference on Earthquake Engineering. Paper no: 369, Vancouver, Canada, 15 p.
- Morgenstern, N.R., Price, V.E., 1965. The analysis of the stability of general slip surfaces. Geotechnique, 15(1), 77-93..
- Onions, C. T., William Little, H. W. Fowler, and J. S. Coulson, 1933. The Shorter Oxford English Dictionary. London: Oxford University Press. 2nd ed.
- Sarma, S. K., 1973. Stability analysis of embankment and slopes. Geotechnique, 23(3), 423-433.
- Schuster, R.L., 1996. Socio-economic significance of landslides. In: Turner, Schuster (eds.) Landslides: investigation and mitigation. TRB National Research Council Special report 247, 129-177 p.
- Seed, H.B., 1979. Considerations in the earthquake-resistant design of earth and rock fill dams. Géotechnique, 29(3), 215-263.
- Şengör, A.M.C., Satir, M., Akkök, R., 1984. Timing of tectonic events in the Menderes Massif, Western Turkey: implications for tectonic evolution and evidence for Pan African basement in Turkey. Tectonics, 3, 693-707.
- Spencer, E.A., 1967. Method of analysis of the stability of embankments, assuming parallel interslice forces. Geotechnique, 17, 11-26.
- Tarcan, G., Koca, M.Y., 2000. Hydrogeological and geotechnical assessment of the Kadifekale landslide area, İzmir, Turkey. Environmental Geology, 40 (3), 289-299 p.
- Terzaghi, K., 1950. Mechanisms of landslides. Engineering Geology (Berkeley) Volume, Geological Society of America.
- TS 1900-1, 2006. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri- Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini. Ankara, 99 s.
- U.S. Army Corps of Engineers, 1970. Engineering and design-stability of earth and rockfill dams. Engineer Manual EM1110-2-1902. Department of the Army, Corps of Engineers, Washington D.C.
- Uzel, B., Sözbilir, H., 2008. A first record of a strike-slip basin in western Anatolia and its tectonic implication: The Cumaovası Basin. Turkish Journal of Earth Sciences, 17, 559-591.
- Varnes, D.J., 1978. Slope movement types and processes. In: Schuster RL, Krizek RJ, editors.

- Landslides: Analysis and Control. TRB Special Report, 11-33 p.
- Varnes D.J, 1984. Landslide hazard zonation-a-review of principles and practice, UNESCO Press, Paris, 63 p.
- WP/WLI (Working Party on world landslide inventory), 1993. A suggested method for describing the activity of a landslide. Bulletin International Association Engineering Geology, 47, 53-57.
- Yılmaz, Y., Genç, S.C., Gürer, F., Bozcu, M., Yılmaz, K., Karacık, Z., Altunkaynak S., Elmas, A., 2000. When did the western Anatolian grabens begin to develop? In: Bozkurt E., Winchester J.A., Piper J.D.A. (Eds.). Tectonics and magmatism in Turkey and the surrounding area, Geological Society Special Publication, no: 173. Geological Society of London.



Araştırma Makalesi / Research Article

Attepe - Elmadağ-Menteş-Karaçat Demir Sahalarında YüzeY Suyu-Yeraltı Suyu İlişkisinin Araştırılması

*Investigation of Surface Water-Groundwater Interaction
in Attepe - Elmadağ-Menteş – Karacat Iron Fields*

Muhterem DEMİROĞLU¹ , Yüksel ÖRGÜN² 

¹ Hakkari Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Müh. Bölümü, Hakkari

² İTÜ Maden Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Maslak-İstanbul

Geliş (Received): 01 Ağustos (August) 2019 / Düzeltme (Revised): 17 Aralık (December) 2019 / Kabul (Accepted): 08 Ocak (January) 2020

ÖZ

Çalışmada, Seyhan nehri ana havzasında yer alan Mentеш havzası ve yakın çevresinde bulunan, Attepe-Elmadağ-Menteş-Karaçat demir sahalarında yüzeY ve yeraltı suları arasındaki ilişki incelenmiştir. İnceleme alanında Prekambriyen-Ordovisiyen yaş aralığında düşük dereceli metamorfizma geçirmiş metakarbonat ve metakırıntılılar ve bunları açılı uyumsuzlukla örten Miyosen konglomeralar ve güncel alüvyonlar yüzeylemektedir. Havzanın da içinde yer aldığı bölgede, tektonik hareketlerin etkisiyle aşırı kırıklı, çatlaklı ve yer yer ileri düzeyde karstik yapı kazanmış olan metakarbonatlar ana akifer olarak belirlenmiştir. Mentеш deresi karstik akiferin doğal yeraltı suyu boşalım güzergahını ve aynı zamanda aktif güncel karstlaşmanın erozyon seviyesini oluşturmaktadır. Faylar, havzadaki geçirimsiz olan diğer birimlerin yan al ve düşey konumlarını belirleyerek, karstik akiferin sürekliliğini engellemiştir. Alansal olarak yağışlarla, yanı sıra Mentеш deresinden büyük miktarda noktasal olarak beslenen yeraltı sularının, sıg dolaşım ve akiferle temas süresi kısa, 5-10 yıllık genç sular olduğu ortaya konmuştur. Mentеш deresi ortalama debisi doğu alt havzası çıkışında 474 L/sn olarak hesaplanmıştır. Debi ölçümleri Mentеш deresinden, kurak ve yağışlı devrelerde sırasıyla yaklaşık 150 ve 1000 L/sn suyun, yeraltı suyuna ilave olduğunu göstermiştir. Yeraltı maden ocağının da yer aldığı Karaçat akiferinin yan havzalardan ziyade Mentеш deresinden beslendiği belirlenmiştir. Hidrojeolojik değerlendirmeler ve izotop analiz sonuçları önceki çalışmalarda da belirlenen Attepe gölü ile Karaçat akiferi arasında hidrolik bir ilişkinin olmadığı değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: YüzeY suları, Yeraltı suları, Yeraltı suyu-yerüstü suyu ilişkisi, Akifer, Karst

ABSTRACT

In this study, surface waters and groundwater interactions were investigated at the Attepe-Elmadağ-Menteş-Karaçat iron fields. The study area takes place in the Mentеш upper watershed and the nearby surroundings, which is located in the Seyhan River main basin. The study area is composed of the metamorphic metacarbonates and metaclastics, which were subjected to low grade metamorphism in the Precambrian-Ordovician age range. Miocene conglomerates and current alluviums overlie them with angular unconformity. In the region where the basin is located, the metacarbonates (recrystallized limestone and dolomites) which are highly fractured, cracked and in some places have dominantly karstic structure, have been identified as the main aquifer. The Mentеш Stream forms the natural groundwater discharge route and the erosion level of karstification of the aquifer. The faults prevent the continuity of the karstic aquifer by determining the lateral and vertical positions of other impermeable units. It

has been shown that groundwater, recharged with diffuse infiltration by precipitation and a large amount of point infiltration from the Menteş creek, is shallow circulated young water with a short residence time of 5-10 years. It is determined that a large part of the Menteş Creek (150-1000 L/s at dry and wet seasons, respectively) disappeared and added to the Karaçat aquifer. The average flow rate of the Menteş stream was calculated as 474 L/s at the eastern lower basin exit. The Karaçat aquifer, which also includes Karaçat underground mine quarry, is recharged from the Menteş Creek rather than neighboring basins. Hydrogeological investigations and isotope data confirmed the previous work result that there is no flow relation between Attepe lake and Karaçat aquifer.

Keywords: Surface water, Groundwater, Aquifer, Karst, Surface water and groundwater interaction

GİRİŞ

Yeraltı suyu, beslenme alanlarından tahliye alanlarına, değişen uzunluklardaki akış yolları boyunca hareket eder ve akarsu, göl ve sulak alan gibi farklı tür yüzeY suyu ile etkileşim halindedir. Ancak, etkileşimlerin gözlemlenmesi ve ölçülmesi zordur. Akış yolları akiferin türüne bağlı olarak, onlarca, yüzlerce hatta binlerce metre uzunluğunda olabilir; Beslenme ve boşalım arasındaki zaman ise birkaç günden birkaç yıla, binlerce yıla kadar değişebilir. Yakında bulunan bir rezervuar kaynağın tahliyesi, şiddetli yağışlar, hızlı kar erimesi gibi etkenler akış yönünü ve zamanını çok kısa zaman dilimlerinde değiştirebilir. Ayrıca insan faaliyetleri, yeraltı suyu ve yüzeY suyu arasındaki etkileşimi hızlıca değiştirebilir.

Kireçtaşı ve dolomitlerin yaygın yüzeY alanına sahip olduğu Menteş havzasının en önemli özelliği, Mansurlu demir madenleri olarak adlandırılan ve Attepe-Elmadağ-Menteş-Karaçat ocakları başta olmak üzere, onlarca yıldır yüzeY ve yeraltı madencilik yöntemleriyle işletilen birçok demir sahasına sahip olmasıdır. Sahanın bir diğer özelliği ise yeraltı suyunun doğal akım yönü, beslenme ve boşalma koşullarında değişime neden olan yeraltı maden ocağı (Karaçat galerisi) ve bu galeride biriken suyu Menteş Deresine boşaltmak için yapılan yaklaşık 1 km uzunluğunda bir drenaj galerisinin varlığıdır. Zengin yeraltı suyu potansiyeline sahip

olduğu anlaşılan havzada, madencilik faaliyeti biten Attepe maden sahasında oluşan Attepe gölü ve dört mevsim su taşıyan Menteş deresi önemli yüzeY suyu kaynaklarını temsil etmektedir.

Ülkemizin önemli demir yataklarının bulunduğu bölgenin jeolojik ve mineralojik özelliklerine ve maden yataklarına yönelik yapılmış çok sayıda çalışma olup, bunların kapsamlı listesi Tiringa (2009) ve Eken (2012)'de verilmiştir. 1950 li yıllardan beri yüzeY ve yeraltı demir cevheri üretimi yapılan havzanın da içinde yer aldığı bölgenin hidrolojik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özelliklerini tanımlamaya yönelik sınırlı sayıda çalışma, Demiroğlu ve Örgün (2016) yayımında genel olarak tanıtılmıştır. Menteş Havzası hidrojeolojisi ilk defa Demiroğlu ve Örgün (2016) tarafından çalışılmış; Menteş Deresi Üst Havzada yer alan birimler yerel zengin, zayıf ve çok zayıf akiferler olarak sınıflandırılmış, hazırlanan hidrojeoloji haritasında sunulmuş ve suların hidrojeokimyasal özellikleri belirlenmiştir.

Yeraltı suyu, madencilik faaliyetlerinde en önemli risk faktörünü oluşturmaktadır. Türkiye'de 2011 yılında Afşin-Elbistan (Kahramanmaraş) kömür madeninde ve 2014 yılında Ermenek (Karaman) kömür madeninde meydana gelen ve can ve mal kayıplarına neden olan ani yeraltı suyu boşalımını, yeraltı suyunun seviyesi, dağılımını ve miktarının bilinmesinin, madencililiğin güvenli yapılabilmesi için ne kadar önemli olduğunu

ortaya koymuştur. Yeraltı suları ile ilgili bir diğer önemli konu da gözlemlenmesi ve ölçülmesi zor olan yüzey suları ile etkileşimidir.

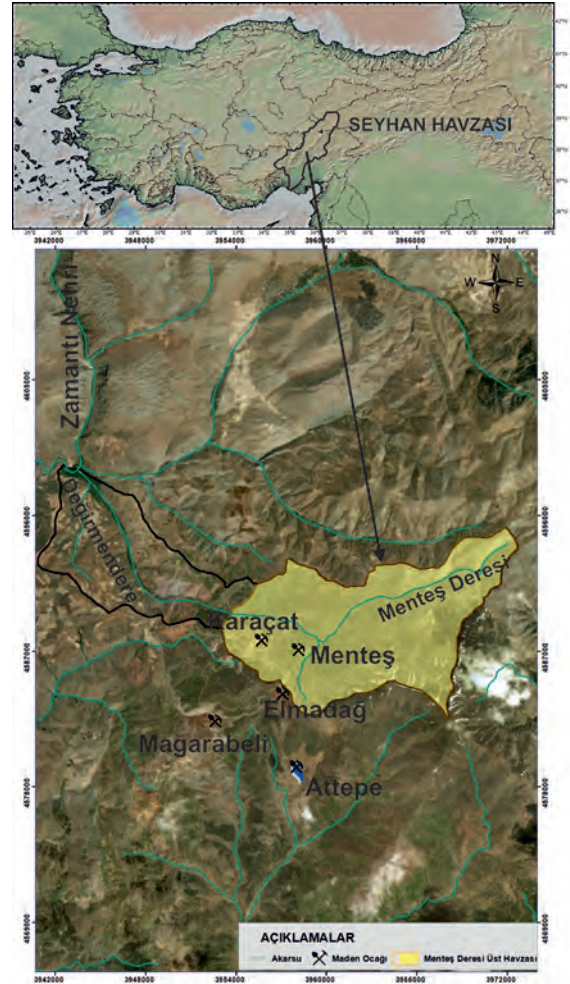
Bu çalışmada, Yahyalı (Kayseri) ilçesi sınırları içinde yer alan Mentеш deresi doğu alt havzasında bulunan, Elmadağ-Mentеш-Karaçat demir sahalarında yeraltısuları ve yüzey suları arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu amaca yönelik gözlem kuyuları açılmış, basınçlı su testleri, Mentеш deresinde ve drenaj galerisi çıkışında debi ölçümleri, hidrolojik hesaplamalar, su kimyası analizleri ve izotop analizleri yapılmıştır. Ayrıca Seyhan nehri ana havzasında yer alan bölgede, yüzey suyu Mentеш deresi ve Attepe gölü ile temsil edilmektedir. Karaçat sahasında yeraltı madenciliği yapmak amacıyla açılan Karaçat galerisinde üretim sırasında boşalan ve kontrol edilemeyen suyun, Attepe baraj gölünde biriken su ile bağlantılı olmadığını belirleyen Demiroğlu ve Örgün (2016)'nın sonuçları yeni veriler ışığında tekrar değerlendirilmiştir.

ÇALIŞMA ALANI

Genel Özellikler

Çalışma alanı, Seyhan nehri ana drenaj alanı içinde kalan Mentеш havzasında yer alır (1/25 000 ölçekli Kayseri L35-d3,d4 ve Kozan M35-a1,a2 topoğrafik paftaları). Kayseri ili Yahyalı ilçesi sınırlarında kalan Mentеш havzasının KD-GB sınırının şistlerle kesildiğinin belirlenmesinden sonra çalışma alanı, üretim yapılan ocakları da içerecek şekilde, Mentеш deresi doğu alt havzası adı altında drenaj kanalı çıkış bölgesiyle sınırlandırılmış ve havza alanı 27.7 km² olarak belirlenmiştir (Şekil 1). Belirlenen alanda demir cevheri üretimi yapılan Karaçat sahasında yüzey ve yeraltı madenciliği yapılmaktadır. Elmadağ ve Mentеш ocaklarında ve havza sınırının güneyinde kalan Attepe maden ocağında

üretim yapılmamaktadır. Yoğun madencilik faaliyetlerinin yanı sıra Karaçat yeraltı maden ocağında biriken suyu Mentеш deresine boşaltan yaklaşık 1 km uzunluğundaki drenaj galerisi ve terk edilmiş Attepe maden sahasında oluşmuş Attepe gölünün varlığı havzanın diğer önemli özellikleridir.



Şekil 1. İnceleme alanı yer bulduru haritası.

Figure 1. Location map of the study area.

Akdeniz iklimi ile karasal iklimin arasında “Geçiş İklimi” özelliğinde, yarı karasal iklim şartlarına sahip bölgede yazları sıcak ve kurak,

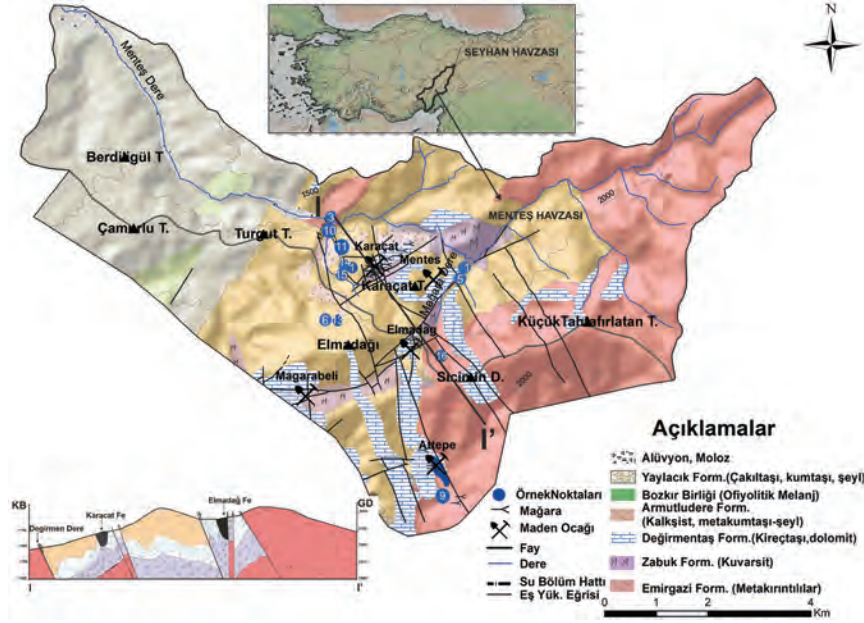
kışları ise soğuk ve kar yağışlı geçer. Seyhan Havzası içinde bir alt havza olan Mentеш havzasında, Zamantı ve Göksu Nehirleri birleşerek Seyhan Nehrini oluşturmaktadır. Alp orojenik kuşağı içinde yer alması nedeniyle, tektonik hareketlerden ileri derecede etkilenmiş olan bölgede engebeli bir morfoloji hâkimdir. Akarsu yönünden zengin olan bölgede yüksek debili birçok kaynak mevcuttur. Mentеш Deresi kuzey doğuda 2100 m ve 2150 m kotlarından boşalan kaynaklarla başlamakta, daha sonra Değirmendere adını alarak Zamantı Nehrine boşalmaktadır. Çalışma alanı içindeki kaynaklardan 1675 m ve 1685 m kotlarından boşalan Uyuz pınarı ve Karaköy'ün içme suyu kaynakları kuzeybatıya doğru Mentеш deresine boşalmaktadır. 1730 m-1740 m kotlarından boşalan Avlağa kaynağı ve Şantiye suyu kaynağı ise Mentеш deresi drenaj alanı dışındadır (Şekil 2).

Jeolojik ve Hidrojeolojik Özellikler

Çalışma alanında Prekambriyen-Ordovisiyen yaş aralığında düşük dereceli metamorfizma geçirmiş metakarbonat ve metakırıntılılar ve metatortul birimler, Üst Kretase yaşlı ofiyolitik kayalar ve bunları açılı uyumsuzlukla örten Miyosen yaşlı çökeller yüzeylemektedir. MTA 1/25000 ölçekli bölgenin jeoloji haritası, Arda vd. (2008) ve Demiroğlu ve Örgün (2016) çalışmalarından yararlanılarak hazırlanan çalışma alanının jeoloji haritası Şekil 2'de verilmiştir. Çalışma alanında Prekambriyen-Ordovisiyen dönemini temsil eden birimler, ağırlıklı metakırıntılılardan oluşan Emirgazi formasyonu, kuvarsitlerden oluşan Zabuk formasyonu, dolomit ve kireçtaşlarından oluşan Değirmentaş formasyonu ve metaşeyl, killi şistler, meta silten oluşan Armutludere formasyonudur. Çalışma sahasının güney batısında yüzeyleyen

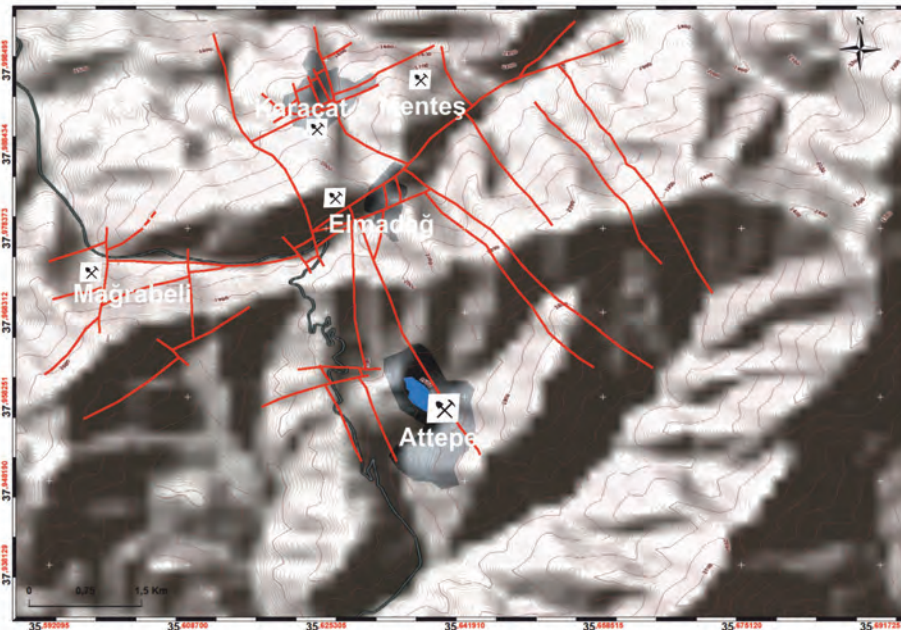
Üst Kretase yaşlı melanaj niteliğindeki Bozkır birliği asidik tuf ve bazik- ultrabazik kayalardan oluşur. Konglomera ve marn araldanmasından oluşan Miyosen yaşlı seri, tüm birimlerin üzerinde açıl uyumsuzlukla yer alır. Bölgenin genel jeolojik yapısı ve maden yatakları hakkında çok sayıda araştırmacı çalışmış olup bunlardan bazıları şunlardır: Lucias (1927), Blumenthal (1941), Rondot (1956), Gürkan (1966), Arıkan (1968), Özgül (1971, 1976), Özgül ve Kozlu (2002), Ayhan ve İplikçi (1978), Şahin ve Bakırdağ (1984), Şahin vd. (1985), Ayhan (1988), Küpeli (1991, 1998), Alan vd. (2007), Dayan (2007), Arda vd. (2008), Tiringa, (2009) ve Tringa vd. (2009). Sahadaki en genç birim akarsu yataklarında ve yatakların çevrelerinde biriken alüvyonlar ve yaklaşık 70 yıllık maden atıklarından oluşan moloz yığınlarıdır. Mentеш havzası ve yakın çevresinde ana akifer olarak tanımlanan Değirmentaş formasyonu çalışma alanında kuvarsitler üzerine killi seviyelerle başlar ve uyumlu olarak üste doğru dolomit-dolomitik kireçtaşlarıyla devam ederek kristalize kireçtaşlarıyla sona erer. Birim içinde yapılan sondajda 349 m kireçtaşı kesilmiş; sondaj aynı birim içinde sonlandırılmıştır (Demiroğlu ve Örgün, 2016).

Bölge jeolojik yapı ve konumunu, Üst Kretase sonunda, Alp orojenezinin Laramiyen fazıyla ilgili sıkıştırma hareketlerinin etkisiyle oluştuğu düşünülen tektonik hareketlerle kazanmıştır. Şiddetli tektonik hareketler sonucunda gelişen faylar, sahadaki birimlerin yanal ve düşey konumlarını belirleyerek, karstik akiferin sürekliliğini engellemiştir. Fay hatları Attepe maden kazı alanından, Karaçat maden ocağı ve Mentеш deresine kadar uzanmaktadır. Çalışma kapsamında oluşturulan inceleme alanının fay haritası Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 2. Çalışma alanının jeoloji haritası (MTA 1/25000 ölçekli bölgenin jeoloji haritası, Demiroğlu ve Örgün, 2016; Arda vd., 2008' den revize edilmiştir).

Figure 2. Geological map of the study area (MTA 1/25000 scale, revised after Demiroglu and Orgun, 2016; Arda et al., 2008).



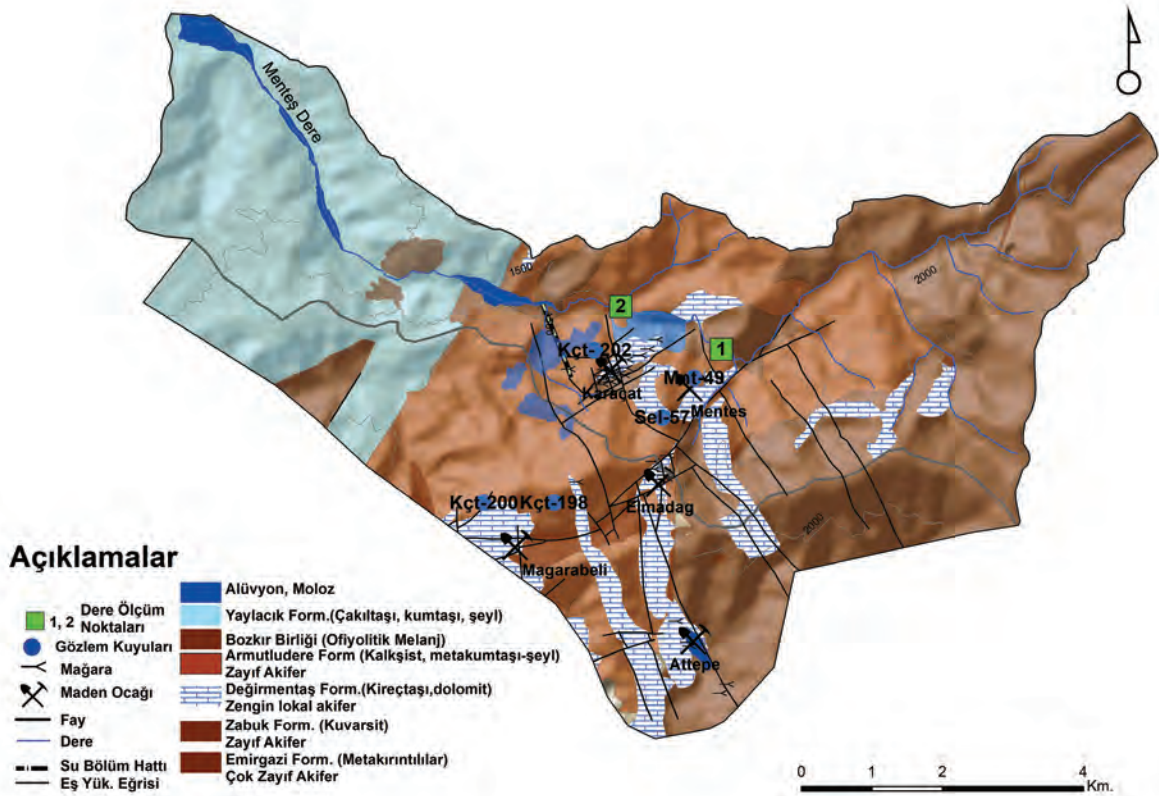
Şekil 3. İnceleme alanı fay haritası.

Figure 3. Fault map of the study area.

Bölgede D-B yönlü sıkışmaların sonucu devrik ve yatık kıvrımlar ve yataya yakın büyük bindirmeler meydana gelmiştir. Bölgede kimi yerlerde kilometrelerce izlenebilen düşük eğimli tektonik düzlemler boyunca Prekambriyen yaşta Emirgazi Formasyonu, Ordovisiyen yaşlı Armutludere Formasyonunu üzerlemiştir. Çalışma alanında, Miyosen yaşlı çökelleri de etkileyen, KKD-GGB eksen gidişli antiklinal ve senklinaller gelişmiştir (Özgül ve Kozlu, 2002; Arda vd., 2008). Yapılan arazi çalışmalarında, sahada Eosen ve Miyosen sonu sıkışmalı tektonizma sonucu KD-GB doğrultulu bindirme faylarının geliştiği saptanmıştır (Mağarabeli, Karaçat, Kızıl ve Mağaradere fayları gibi). KD-GB doğrultulu sol yanal ve KB-GD uzanımlı sağ yanal doğrultu atımlı bu faylar, önemli ölçüde eğim atım bileşenine de sahip olup, eşlenik konumda Geç Kratese 'de gelişen bindirme fay dokanıklarını ve Eosende gelişen bindirme faylarını kesmektedir. Önemli demir cevherleri de bu kesişim zonlarında tanımlanmıştır (Attepe ve Elmadağbeli yatakları gibi). Sahadaki KD-GB uzanımlı sol yanal doğrultu atımlı en genç faylar ise, hem tüm fay sistemlerini hem de demir cevherleşmelerini kesmektedir. Geç Miyosenden itibaren geliştiği düşünülen bu faylar tamamen doğrultu atım karakterinde olup, yersel eğim atım bileşenine de sahiptir (Arda vd., 2008). Geç Kratese 'de geliştiği düşünülen bindirme fay zonu kataklastikleri Karaçat ve Mentеш akiferi arasında bariyer oluşturmuştur. Tüm bu tektonik olaylar sonucunda karbonatlı birimlerin aşırı kırıklı-çatlaklı bir yapı kazanmış olması yeraltı sularının dolaşım depolanmasının yanı sıra bölgedeki demir cevherlerinin oluşumunda ve yataklanmasında da birinci derecede etkili olmuştur. Mentеш havzası ve yakın çevresinde 10 dan fazla maden yatağı ve maden zuhuru tanımlanmıştır (Tiringa, 2009; Eken, 2012). Dolomitleri ve kireçtaşlarını geçmişte etkilemiş, günümüzde de devam eden karstik süreçler çalışma alanında birçok mağara ve dolin meydana gelmesine neden

olmuştur. Bölgede Alp orojenik kuşağı içinde yer alması nedeniyle, tektonik hareketlerden ileri derecede etkilenmiştir. Üst Kretase'den itibaren Miyosen dönemine kadar etkili olan sıkışmalı tektonizma sonucu, başta karbonatlı birimler olmak üzere bölgedeki kayaçların kazandığı aşırı kırıklı-çatlaklı yapı bölgenin iklim koşullarıyla buluşunca, bölge yerel zengin yeraltı suyu kaynaklarına sahip olmuştur. Değirmentaş Formasyonunun dolomit-dolomitik kireçtaşları, kireçtaşları ve kristalize kireçtaşları, tektonizma ve Tersiyer başlarından itibaren etkili olmaya başlayan karstlaşma süreçleri ile verimi iyi akifer özelliği kazanmıştır.

Havzada şist ve kuvarsitler ile sınırlanan Değirmentaş Formasyonu ana akifer niteliğindedir; şistlerin akifer ortam özelliği zayıf su taşımaz olup, bünyelerindeki kırık ve çatlaklar boyunca hareket eden su ile sınırlıdır. Elmadağ ve civarında, yüksek kotlarda, Armutludere şistlerinin aşınmasıyla yüzeyleyen karbonatlar da havzanın besleniminde önemli rol oynamaktadır. Bünyesinde birçok mağara ve dolin barındırmakta olan kristalize kireçtaşı ve dolomitlerde, Karaçat ocağı ve Attepe ocağı civarlarında 50 metre derinliğe ulaşan karstik boşluklar tespit edilmiştir (Demiroğlu ve Örgün, 2016). Çalışma alanında yeraltı sularının besleniminin, kar ve yağmur şeklindeki yağışlardan alansal olarak, Mentеш deresinden ise noktasal olarak gerçekleştiği bu çalışma ile belirlenmiştir. Yeraltı sularının Mentеш deresine doğru olan ana akım yönü, derenin alt kotunda, 1407 m, açılan drenaj galerisi faaliyete geçtikten sonra drenaj galerisine doğru değişmiştir. Çalışma sahasında dolomit-dolomitik kireçtaşları ve kristalize kireçtaşları yerel zengin akiferler, kuvarsitler ve Armutludere şistleri zayıf akiferler, Emirgazi metakirintilileri ise çok zayıf akiferler olarak sınıflandırılmıştır. Bu çalışma kapsamında hazırlanan Mentеш üst havzasının hidrojeoloji haritası Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. İnceleme alanı hidrojeoloji haritası ve civarında açılan gözlem kuyuları (Kçt-200, Kçt-202, vb.).

Figure 4. Hydrogeological map of the study area and observation wells opened in the close vicinity (Kçt-200, Kçt-202, etc.).

YÖNTEM

Elmadağ-Menteş-Karacat demir sahalarını da içine alan yaklaşık 27.7 km² drenaj alanına sahip Menteş deresi doğu alt havzasında yeraltı suları ile Menteş deresi ve Attepe gölü arasındaki ilişki araştırılmıştır. Çalışmalarda Demiroğlu ve Örgün (2016) tarafından hazırlanan harita ve şekillerden yararlanılmıştır. Yeraltı ve yüzey suları arasındaki ilişkiyi araştırmak için hidrolojik hesaplamalar, yeraltı su seviyesi (YSS), debi ölçümleri, basınçlı su testleri, su kimyası analizleri ve izotop analizleri yapılmıştır.

Menteş deresi drenaj alanı içinde yeraltı suyu beslenme koşullarının belirlenmesi için inceleme alanına yakın Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) ve Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüklerine ait yağış istasyonlarının verileri kullanılmıştır.

Demiroğlu ve Örgün (2016) çalışmasında da yer verilen su noktalarından 12 noktada tekrar yerinde ölçümler yapılmış, bu noktalardan sekizinden tekrar yağışlı ve kurak dönemi temsilen örnekler alınarak kimyasal analizleri (ana iyon ve iz elementler) ve izotop analizleri ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ ve $-T$ ritiyum) yapılmıştır. Proje bütçesi kapsamında bazı örnekler analiz

sonuçlarının kontrolü amaçlı çift alınıp, farklı numaralandırılarak, laboratuvarlara gönderilmiştir. Yerinde ölçüm yapılan su noktaları ve ölçüm sonuçları Çizelge 4’de verilmiştir. Bu noktalar Şekil 2’de gösterilmiştir. Sularının sıcaklık (T), pH, Eh, Elektriksel iletkenlik (EC), NaCl (Tuzluluk) ve toplam alkalinite parametreleri yerinde ölçülmüştür. Ölçümlerden önce cihazlar, bu cihazlar için hazırlanmış çözeltiler ile kalibre edilmiştir. pH ve Eh değerleri “Crison PH 25 model” EC ve Tuzluluk (NaCl) değerleri ise “Crison CM 35 model” cihazlarla ölçülmüştür. Anyon, katyon, iz element, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ ve $\delta^3\text{H}$ analizleri için örnek alma sırasında, USEP standart prosedürü takip edilmiştir. Buna göre her bir örnek kabı 3 kez çalkalanmış, sular filtrelenmiştir (0.45 μm millipore); katyon ve iz element analizleri için alınan örnekler pH<2.0 olacak şekilde % 2 HNO_3 (v/v) eklenmiştir. Örneklerin tümü laboratuvara gönderilinceye kadar 4°C’de saklanmıştır. Anyon analizleri İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Çevre Geliştirme Uygulama ve Araştırma Merkezi Laboratuvarlarında İyon Kromatografi (IC) yöntemiyle yapılmıştır. Katyon ve iz element analizleri ACME laboratuvarında STD TMDA-70 standards’a göre ICP-MS (PerkinElmer SCIEX-ELAN 9000) cihazıyla yapılmıştır. İzotop analizleri ise DSİ İzotop Laboratuvarında (Ankara) yapılmıştır. Analiz edilen parametrelerin hata oranlarını görmek için örneklerde tekrarlı analizler gerçekleştirilmiş olup, hata oranının %0 - < %2 arasında değişmiştir.

Uzun gözlem, inceleme, ölçme ve hidrojeokimyasal verilerden yararlanarak belirlenen 5 noktada gözlem kuyuları açılmış ve basınçlı su deneyleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 4). Karaçat galerisinde biriken yeraltı suyunu drene etmek amacıyla kullanılan drenaj galerisinden boşalan suyun yaklaşık 2 yıl süreyle aylık debi ölçümleri yapılmıştır.

Elde edilen veriler; saha gözlem ve incelemeleriyle birlikte değerlendirilerek Attepe-Elmadağ-Menteş-Karaçat demir sahalarında yeraltı suları ve yüzeysel suları arasındaki ilişki açıklanmaya çalışılmıştır.

BULGULAR

Hidroloji

Yaklaşık 49 km^2 yüzeysel alanına sahip Menteş deresi drenaj alanı içinde kalan çalışma alanında yarı karasal iklim şartları hâkim olup, bölgede morfoloji son derece engebelidir. Yerel zengin yeraltı su potansiyeline ve düşük debili birçok kaynağa sahip bölgede yeraltı sularının beslenmesi yağmur ve kar şeklindeki yağışlarla olmaktadır. Yağışlar kışları çoğunlukla kar şeklindedir; özellikle yüksek kotlarda yağışların kar şeklinde olması akiferlerin beslenmesi açısından önemlidir. Havzada en önemli akarsu kuzey doğuda 2100 m ve 2150 m kotlarından boşalan kaynaklarla başlayan, daha sonra Değirmendere adını alarak Zamantı Nehrine boşalan Menteş deresidir.

Sahada yıllık ortalama yağış miktarı 25,5 milyon m^3 dür ve bunun 4,3 milyon $\text{m}^3/\text{yıl}$ ’ı yeraltına sızmaktadır (Demiroğlu ve Örgün, 2016). Ancak maden sahalarında yeraltı sularını deşarj etmek için yapılan ve 2014 yılında devreye alınan drenaj galerisinden deşarj başladıktan sonra yapılan ölçümler, yeraltı suyu potansiyelinin daha yüksek olduğunu göstermiştir. Demiroğlu ve Örgün, (2016) tarafından trityum analizleriyle yeraltı sularının genç sular olduğunun anlaşılmasıyla yağış verileri yeniden değerlendirilmiştir. Seyhan Havzası içinde yer alan DSİ yağış istasyonu verileri temin edilerek Thiessen yağış poligonları oluşturulmuş ve ortalama yıllık toplam yağış değeri 985 mm olarak hesaplanmıştır. Hesaplama D18M012-

Hasançavuşlar ve D18M019-Çeralan DSİ meteoroloji gözlem istasyonlarının ortalama yıllık toplam yağış verileri kullanılmıştır. Menteş havzasının KD-GB sınırının şistlerle kesildiğinin belirlenmesiyle çalışma alanı Menteş havzası drenaj kanalı çıkış bölgesiyle sınırlandırılmış ve yaklaşık 27.7 km² yüzey alanına sahip havza “Menteş deresi doğu alt havzası” olarak adlandırılmıştır.

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yazılımlarında havza karakteristiklerini hesaplamak için havzanın Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) gerekmektedir. Bu veri <https://gdex.cr.usgs.gov/gdex/> web adresinden 30 m yatay ve düşey çözünürlükte elde edilmiş ve alt havzada ana akarsu eğimi 0.0853 olarak hesaplanmıştır. Menteş deresi üzerinde herhangi bir akım gözlem istasyonu olmadığı için debisi çevre istasyon verilerinden faydalanılarak hesaplanmıştır. Seyhan havzasında Zamantı Nehri üzerinde, Göksu Nehri ile birleştiği kısma kadar olan bölgede DSİ ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi'ne (EİEİ) ait 34 adet akım gözlem istasyonu (AGİ) belirlenmiştir. Bu istasyonlardan en az 10 yıl kesintisiz, eksiksiz ve müdahalesiz (baraj, gölet vs. yapılmadan önceki) verisi olan istasyonlar ele alınmıştır. Menteş deresi doğu alt havzası çıkışındaki ortalama debiyi tahmin etmek için eşitlik (1) çoklu regresyon yöntemiyle SPSS ve Minitab istatistik yazılımlarında elde edilmiştir:

$$Q = C \times (A \times P)^m \quad (1)$$

$$Q = C \times (A \times P)^m \times (S_0)^n \quad (2)$$

Burada Q havza çıkışındaki ortalama debiyi (m³/s), A yağış alanını (km²), P yıllık ortalama yağışı (mm) S₀ ana yatak eğimini, C, m ve n değerleri de katsayıları ifade etmektedir

(Temelsu Mühendislik Limited Şirketi, 1988; Burgan ve Aksoy, 2018).

Çalışma sırasında öncelikle debi ile alan ve yağış ilişkisi çoklu regresyon yöntemiyle $Q=0.101952 \times (A \times P)^{0.21995}$ denklemi elde edilmiş ve elde edilen denkleme göre Menteş deresi doğu alt havzası çıkışında ortalama debi 0.964 m³/s yani yaklaşık 1 m³/s olarak hesaplanmıştır. Kalibrasyon değerleri daha yüksek olmasına karşın validasyon için dere ölçümleri dikkate alınarak eğim değişkeni ilave edilmiştir. Zamantı Nehri havzasında bulunan yan kollardaki dereler üzerinde bulunan 11 adet AGİ için CBS yazılımları yardımıyla ana yatak eğimleri hesaplanmış (Çizelge 1) ve istatistik yazılımlarından aşağıdaki denklem (3) elde edilmiştir:

$$Q = 0.00175898 \times (A \times P)^{0.250291} (S_0)^{-1.23523} \quad (3)$$

Denklemin çıkarılması için kullanılan AGİ'lerin yağış alanları 9.9-173.7 km² arasında değişmektedir. Elde edilen denkleme göre Menteş Deresi Doğu Althavzası çıkışında ortalama debi 0.474 m³/s, yani yaklaşık 500 L/sn olarak hesaplanmıştır. Bu değer uzun yıllar ortalaması olarak düşünülmelidir.

$$Q = 0.00175898 \times (A \times P)^{0.250291} \times (S_0)^{-1.2352}$$

$$A = 27.7 \text{ km}^2$$

$$P = 985.05 \text{ mm}$$

$$S_0 = 0.085$$

$$C = 0.00175898$$

$$m = 0.250291$$

$$n = -1.23523$$

$$Q = C \times (A \times P)^m \times (S_0)^n = 0.474 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Demiroğlu, Örgün

Çizelge 1. Denklem için kullanılan akım gözlem istasyonlarının hesaplanan havza karakteristikleri.

Table 1. Calculated basin characteristics of the current observation stations used for the equation.

Sıra no	İstasyon no	İstasyon adı	Yağış alanı (km ²)	Ortalama yıllık toplam yağış (mm)	Akarsu ana yatak eğimi	Q _{ort} (m ³ /sn)
1	D18A008	Tacin	9.9	423.7	0.0686	1.013
2	D18A009	Örencik	36	403.8	0.0693	0.350
3	D18A010	Yeniköy	26.9	963.8	0.0687	0.887
4	D18A018	Hasançavuşlar	136	1006.3	0.0364	2.261
5	D18A024	Çamlıca	173.7	1006.3	0.0655	0.573
6	D18A041	Karacaören	15.5	269.7	0.0422	0.068
7	D18A053	Yahyalı	119.5	1006.3	0.0782	0.273
8	E18A016	Yukarıkaragöz	137.2	423.7	0.0352	2.404
9	E18A032	Büyükgümüşgün	166.3	423.7	0.0297	1.724
10	E18A037	Şamadan Beli	32.3	924.8	0.1278	0.712
11	E18A039	Çataloluk	103.2	963.8	0.0513	1.486

İleriki bölümlerde belirtilmiş olduğu gibi, Mentеш deresi yüzeysel ve yüzeysel altı akışının karstik boşluklar ve faylar vasıtasıyla yeraltı suyuna doğrudan eklendiği dere üzerinde yapılan ölçümlerle tespit edilmiştir. Mentеш deresinde atık sahası öncesi ve sonrasında üç kere debi ölçümü yapılmıştır (Şekil 4). Mentеш deresinde 06.07.2016 tarihinde yapılan ölçümde atık sahasının akış yukarısında 324 L/sn olan Mentеш deresi debisini, atık sahasını geçerken hızla azaldığı görülmüş olup, atık sahasının akış aşağısında ise yapılan ölçümde dere akımının 45 L/sn olduğu belirlenmiştir. 05/02/2017 tarihinde ise fark 1050 L/sn olarak ölçülmüştür. Yani kurak devrede 250 L/sn olan su kaybı yağışlı devrede 1000 L/sn ye ulaşmaktadır. 19.06.2018 tarihinde atık sahası öncesinde 195 L/sn olan debi sonrasında 20 L/sn ölçülmüştür. Mentеш deresinde ölçülen akım değerleri değerlendirildiğinde dere suyundaki kaybın % 90 civarında olduğu görülmektedir. Karaçat yeraltı maden işletmesinde, yeraltı

üretim faaliyetlerine devam edebilmek için açılan ve 1407-1418 kotlarını birleştiren drenaj galerisi ile yeraltı suyu seviyesi 1500 metreden 1418 metreye düşürülmüştür. Ancak yağışlı dönemlerde bu seviye yükselmektedir. Drenaj galerisinin tamamlanıp devreye alındığı 2014 yılı yağışlı devresinde KÇT-176 No'lu gözlem kuyusunda 1438m olarak ölçülen en yüksek yeraltı suyu seviyesi 2015 yılında 1435m, 2016 yılında 1433m, 2017 yağışlı devre sonunda 1426m ölçülmüştür.

Yeraltı Suyu Seviye Ölçümleri

Çalışma alanında yeraltı suyu seviyesi, açılan altı adet gözlem kuyusu vasıtasıyla belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca sahadaki maden arama temel sondajlarında, sondaj bitiminde de YSS ölçümleri yapılmıştır. Karaçat sahasında birçok temel sondaj kuyusunda YSS ölçülemediği. Gözlem kuyularından KÇT-202 ve MNT-49 no'lu kuyularda kaydedilen seviye

değişim değerleri Çizelge 2 ve Çizelge 3’de ayrı ayrı verilmiştir. Karaçat akiferi sınırları içinde yer alan KÇT-202 no’lu gözlem kuyusu seviye ölçümleri incelendiğinde, kuyuda 2018 yılı yağışlı devrede seviyenin 28.92 metre yükseldiği görülecektir. Bu kuyuda kurak devre sonunda (12/10/2017) 263.97m olan su seviye başlangıcı 8/4/2018 tarihinde 235.05m olarak ölçülmüştür (Çizelge 2). Menteş akiferinde açılan MNT-49 no’lu gözlem kuyusunda kurak ve yağışlı devrede suyun başlangıç seviyesi dar bir aralıkta değişmiş olup, değişim aralığı 199.62m (08/04/2018) ile 202.50m (10/11/2017) olarak kaydedilmiştir (Çizelge 3). KÇT-176 no’lu gözlem kuyusunda YSS seviyesi, 2015 yılı yağışlı devre sonunda 1435.87 m iken 2016 yılında 1433.38 m olarak ölçülmüştür. Aynı tarihlerde diğer gözlem kuyularında su seviyeleri 1426.48m ile 1427.7 m arasında değişmiştir. YSS ölçümleri, bölgede sistemin daha çok GD yönünden beslendiğini ve bu yönde ani yükselimleri sağlayan gelişmiş karstik yapıların yüzeysuları ile ilişkili olduğunu göstermektedir.

Çizelge 2. KÇT-202 no’lu gözlem kuyusu YSS değişimleri.

Table 2. *GWL changes in the observation well of KÇT-202.*

Tarih	Saat	Kuyu başlangıç kotu (m)	Suyun başladığı seviye (m)	Suyun başladığı kot (m)
13.07.2017	14:00	1688.52	257.20	1431.32
17.07.2017	17:00	1688.52	258.00	1430.52
24.08.2017	10:00	1688.52	261.70	1426.82
31.07.2017	10:00	1688.52	262.35	1424.17
24.09.2017	18:00	1688.52	263.70	1424.82
12.10.2017	15:00	1688.52	263.97	1427.55
10.11.2017	15:00	1688.52	261.45	1427.07
08.04.2018	14:00	1688.52	235.05	1453.47

Çizelge 3. MNT-49 no’lu gözlem kuyusu YSS değişimleri.

Table 3. *Observation MNT-49 well GWL changes.*

Tarih	Saat	Kuyu başlangıç kotu (m)	Suyun başladığı seviye (m)	Suyun başladığı kot (m)
21.05.2017	10:00	1873.78	200.72	1673.06
26.05.2017	10:00	1873.78	200.31	1673.47
27.05.2017	10:00	1873.78	200.42	1673.36
29.05.2017	10:00	1873.78	200.59	1673.19
04.06.2017	10:00	1873.78	200.90	1672.88
10.06.2017	10:00	1873.78	201.60	1672.18
17.06.2017	14:00	1873.78	201.24	1672.54
04.07.2017	11:00	1873.78	201.60	1672.18
31.08.2017	10:00	1873.78	202.28	1671.50
24.09.2017	18:00	1873.78	202.70	1671.08
12.10.2017	15:00	1873.78	202.43	1671.35
10.11.2017	15:00	1873.78	202.50	1671.28
08.04.2018	12:00	1873.78	199.62	1674.16

Basınçlı Su Testleri

Uzun gözlem, inceleme, ölçme ve hidrojeokimyasal verilerden yararlanarak seçilen 5 noktada açılan gözlem kuyularında basınçlı su deneyleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 4). Basınçlı su testleri, kuyularda pabuçlarla kapatılan bir bölgeye farklı basınçlarda su vererek kaybolan veya emilen suyun miktarını belirlemek esasına dayanır; ölçülen su miktarı Lugeon değeri olarak ifade edilir. Lugeon birimi (LU); 10 kg/cm² lik basınç altında 1 dakikada 1 metre uzunluğundaki deney zonundan litre olarak kaçan suyun miktarıdır. Bu kuyularda yapılan basınçlı su testlerinde elde edilen sonuçlardan, şistler ve kuvarsitlerin geçirimsiz olduğu değerlendirilmiştir. Kireçtaşı ve dolomitlerin kalınlığının 350 metreye ulaştığı alanlarda, tabanda yer alan dolomitik kireçtaşlarının Lugeon değerleri 1 den küçük bulunmuştur. Çalışma alanında gelişmiş karstlaşmanın

gözlenmediği zonlarda ise 5 Lugeondan küçük değerler ölçülmüştür. Bu değerler, arazinin bu kesimlerinde karstik boşluk ve kanallardan ziyade çatlak ve kırıklı bir yapının egemen olduğunu gösterebilir. Yüksek kotlarda 1950 m – 1870 m arasındaki 80 metrelik bölümde tanımlanan karstlaşma (Gözlem Kuyu no: Sel 57), diğer kuyularda faylanmalara bağlı olarak daha düşük kotlarda gözlenmiştir. Fay hatlarının Attepe maden sahasından, Karaçat maden ocağı ve Mentеш deresine kadar uzandığı arazide rahatlıkla takip edilmektedir (bakınız Şekil 3).

Hidrojeokimya

Havzada yüzeysel ve yeraltı suyu ilişkisi araştırmasında, yeraltı suyu seviye ölçüm verileri, basınçlı su testleri, debi ölçümleri, hidrolojik hesaplamalarından elde edilen verileri, hidrojeokimyasal verilerle de desteklemek amacıyla seçilen su noktasında yerinde ölçümler yapılmış, alınan örnekler üzerinde ana, iz element ve izotop analizler yapılmıştır.

Su noktalarında arazide-yerli yerinde ve farklı tarihlerde ölçülen T, pH, Eh, EC, NaCl (Tuzluluk) ve toplam alkalinite değerleri Çizelge 4'te verilmiştir; Çizelgede 2014 yılına ait verilerin bir kısmı Demiroğlu ve Örgün, (2016)'dan alınmıştır. Çizelgeden görüldüğü gibi farklı aylarda sıcaklık değerleri, tünel (örnek noktası 10: 18°C ve örnek 11: 18°C ve 15.5°C), galeri çıkışında (örnek noktası: 14, 15.5 °C) ve Mentеш derede (örnek noktası 3: 17°C) ölçülen değerler hariç, 8°C - 13°C arasında değişmiştir. Özellikle kaynak sularında ölçülen düşük sıcaklık değerleri suların sığ dolaşımli olduğunu göstermektedir. Ölçülen pH değerleri ise 6.96 (örnek noktası 16-Elmadağ kaynak) - 8.70 (örnek noktası 9-Menteş dere) arasında değişmiş olup, değerlerin yaklaşık %61'i 7.50-8.70 aralığında kalmıştır. Bu da suların karbonatlı akiferler

ile temas halinde olduğunu göstermektedir. Örneklerin Eh değerleri -23 mV (Elmadağ kaynak) ile -96mV (Menteş dere) arasında değişmiş olup, değerlerin yaklaşık %87'si -23 mV ile -60 mV arasında dağılmıştır. Bu sonuçta suların oksitleme potansiyeli düşük, sığ-yağışlardan hızla etkilenen-genç sular olduğunu göstermektedir. Mentеш deresinde farklı tarihlerde ölçülen -58mV, -70mV ve -96 mV değerlerinin yeraltı sularının değerlerine benzer çıkması da bu sonucu doğrulamakta olup, bölgede yaygın olan karstik sistemden dolayı yüzeysel ve yeraltı sularının doğrudan ilişkili olduğunu gösterebilir. Elektriksel iletkenlik (EC) değerleri 16.91 $\mu\text{S}/\text{cm}$ – 613 $\mu\text{S}/\text{cm}$ gibi geniş bir aralıkta değişmiş olup, yüksek değerler buharlaşma etkisi nedeniyle Attepe gölünü boşaltan kaynağa, düşük değerler ise kuvarsitten boşalan Elmadağ kaynak suyuna aittir. Çizelge 4'den görüleceği gibi, tuzluluk değerleri de, EC değerlerine paralel değişen bir parametre olarak, EC değerleri gibi geniş bir aralıkta değişmiş olup, yüksek ve düşük değerler aynı örnek noktalarında tespit edilmiştir. Her iki parametre ile ilgili olarak, yüksek değerlerin hem göldeki buharlaşmanın etkisi hem de tünel güzergâhları boyunca kayalarda oluşan fiziksel ayrışmanın iyon derişimi üzerindeki artırıcı etkisiyle açıklanabilir. Benzer şekilde suların sığ dolaşımli genç sular olmasının bir sonucu olarak, akiferler karbonatlı kayalar olmasına rağmen, toplam alkalinite değerleri de nispeten düşük olup, değişim aralığı 0.4 - 3.1 mmol/L olarak belirlenmiştir.

Yerinde ölçümler yapılan su noktalarından seçilen 8 noktada yağışlı ve kurak dönemde örnek alınarak ana iyon, iz element ve izotop analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları değerlendirildiğinde izotop değerleri hariç kurak ve yağışlı dönem arasında dikkat çekici düzenli bir değişim olmadığı; aksine değerlerin birbirine oldukça benzer olduğu görülmüştür.

Su kaynaklarında Mayıs 2016 döneminde alınarak analiz edilen örneklerin analiz sonuçları Çizelge 5’de verilmiştir. Suların iyon denge hata aralığının -0.205 ila -0.478 arasında değiştiği hesaplanmış olup, değişim aralığı analizlerin doğru olduğunu göstermektedir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda hem yüzey sularında hem de yeraltı sularında ana anyonunun HCO_3^- , ana katyonunun ise Ca^{+2} olduğu; bunun sonucu olarak suların karbonat sertliği $\%50$ ’den fazla olan Ca oranı yüksek Ca-Mg-Na+K- HCO_3 tipi sular sınıfında yer aldığı ortaya konmuştur. Bu sonuç Demiroğlu ve Örgün (2016)’de açıklanan sonucu doğrulamaktadır.

Ortaya çıkan tüm sonuçlar Menteş havzasında ana akiferin dolomit-dolomitik kireçtaşları ve kristalize kireçtaşı bileşimli olduğu şeklindeki arazi gözlemlerini desteklemiştir. Şekil 5’ de verilen yarı- logaritmik Schoeller diyagramında ortaya çıkan dağılım da kısmen yüksek sülfat ve magnezyum içeriği ile farklılık gösteren Attepe göl suyu (No: 9) hariç, suların aynı fasiyeste yer aldığını ve akiferin dolomit-dolomitik kireçtaşları ve kristalize kireçtaşı bileşiminde olduğunu ortaya koymuştur.

Öte yandan Şekil 5’te açıkça görüldüğü gibi 3 no’lu dere suyu örneğinin iyon eğilimi 5, 12, 14, 15 nolu yeraltı sularının eğilimleriyle bire bir örtüşmüştür. 6 ve 16 no’lu örnekler ise yüksek kotlardan boşalan dolaşım süresi çok kısa yağmur suyunu temsil edecek özellikteki yeraltı suyu örnekleri olduğunu belirtmek gerekir. Bu da daha önce belirtildiği gibi havzada önemli miktarda dere suyunun yeraltı suyuna karıştığı ve yeraltı suyunu beslediği sonucu ile örtüşmektedir.

Kimyasal analizler için alınan sekiz örnek bir paket program kapsamında 66 element

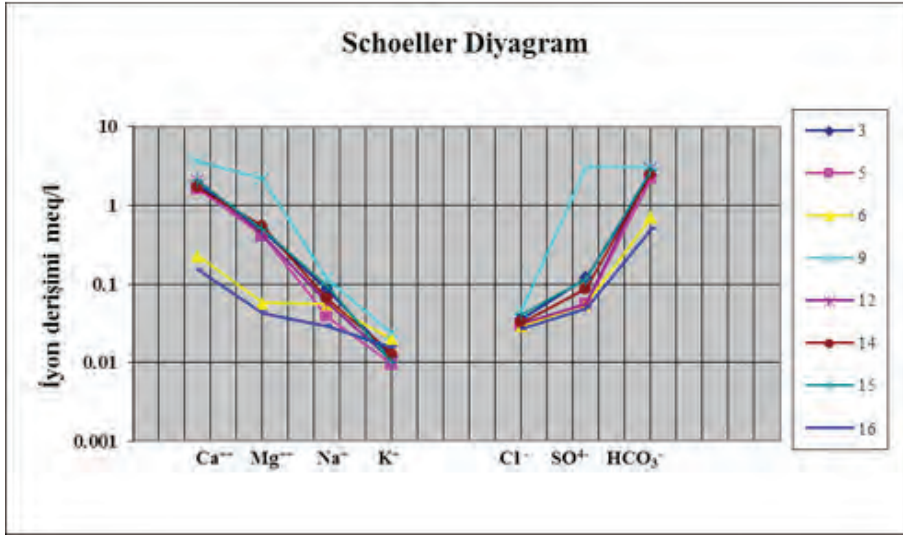
açısından ICP-MS yöntemiyle analiz edilmiştir. Bu elementlerden Ag, As, Au, Be, Bi, Cd, Ce, Cs, Dy, Er, Eu, Ga, Ge, Fe, Hf, Hg, Ho, In, Lu, Mo, Nb, Ni, Pd, Pr, Ru, Sn, Sm, Ta, Tb, Ti, Th, Tl, Tm, Yb, V, W, Zr, Ce, Gd, La, Pt, Re, Rh, Sc, Se, Te ve Y değerleri dedeksiyon limiti altında ve/veya ihmal edilecek derecede düşük çıkmıştır. Bu elementler dışında kalan diğer elementlerin sonuçları Çizelge 5’de verilmiştir. Ülkemizin Divriği-Hekimhan Havzası’ndan sonra ikinci büyük demir havzası olan Mansurlu bölgesinde yer alan Attepe-Elmadağ-Menteş-Karaçat demir sahalarında üretilen başlıca cevher mineralleri Hematit, Götit, Limonit ve az miktarda Siderittir. Sahanın demir cevheri üreten bir maden sahası olması nedeniyle, element dağılımları hakkında fikir vermesi bakımından, dedeksiyon limiti altında kalmasına rağmen Fe, Cr, Co ve As değerleri de ilgili çizelgede verilmiştir. Termodinamik veriler Fe^{+3} oksitlerin genellikle çok düşük çözünürlüğe sahip olduğunu ve $\text{pH}>6$ şartlarında çözünürlüğün daha da düştüğünü ortaya koymuştur (Schwertmann, 1991). Sahada işletilen cevher mineralleri Hematit ve Götit olup, her iki mineralin de çözünürlüğü son derece düşüktür. Yanı sıra oksitlenme potansiyeli yüksek olan pirit minerali sahada ihmal edilebilir miktardadır. Bu iki etkenle birlikte akiferlerin karbonatlı kayalardan meydana gelmesi ve suların alkali karakterde olması suların düşük Fe içeriğini açıklayabilir. İlgili çizelgeden görüleceği gibi Menteş dere ve Attepe gölü sularının (3 ve 9 no’lu örnekler) element içerikleri yeraltı sularının değerleriyle hemen hemen aynıdır ve değerler son derece düşüktür. Bu sonuç, bölgedeki maden yataklarının yüzey ve yeraltı sularının fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerinde belirlenebilir herhangi bir etki yaratmadığını göstermiştir.

Demiroğlu, Örgün

Çizelge 4. Su örnekleme yapılan lokasyonlar ve farklı tarihlerde su noktalarında yerinde yapılan ölçüm sonuçları. 2014 Nisan ve Temmuz verileri Demiroğlu ve Örgün (2016)'dan alınmıştır.

Table 4. Water sampling locations and on-site measurement results at different water points. The data for April and July 2014 were taken from Demiroğlu and Örgün (2016).

No	Lokasyon	Tarih	T(°C)	pH	Eh (mV)	EC (µS/cm)	NaCl (Tuzluluk) (mg/L)	Toplam Alkalinite (mmol/L)
1	Karaçat (Yertaş) Galerisi	01.04.2014	9.3	8.16	-66	274	128	-
		07.07.2014	12.5	8.09	-60	238	102	-
		09.10.2014	kuru					
10	Tünel (232.m.)	01.04.2014	-	7.98	-56	480	278	-
		07.07.2014	18	7.84	-57	490	"	
11	Tünel (426. m.)	01.04.2014	-	8.48	-86	530	241	-
		07.07.2014	18	7.77	-50	550	-	-
		09.10.2014	kuru					-
	Tünel (920.m.)	07.07.2014	15.5	7.26	-	173	-	-
		09.10.2014	11	7.54	-43	253	51.40	-
3	Menteş Dere	01.04.2014	12	8.70	-96	206	-	-
		07.07.2014	14	7.84	-58	218	128	2.19
		16.05.2016	17	7.83	-70	143.5	67.7	2.4
5	Uyuz pınarı kaynağı	07.07.2014	14	7,76	-42	194	94.8	1.95
		16.05.2016	13	7.51	-52	126.5	59.1	2.2
		06.03.2016	8	7,48	-49	131	62,1	2,7
6	Şantiye kaynak suyu	07.07.2014	13	7.81	-55	51	-	2.38
		16.05.2016	9.9	7.09	-33	28	12.8	1.9
9	Attepe gölünü boşaltan kaynağın suyu	07.07.2014	9.7	7.56	-40	613	279	4.28
		05.03.2016	10.5	7.21	-34	447	208	3.4
		16.05.2016	12	7.60	-58	440	211	3.1
		06.10.2016	10.5	7.21	-34	457	217	3.4
12	Karaköy kaynağı	07.07.2014	16	7.31	-30	204	-	2.38
		16.05.2016	12.6	7.33	-42	149.8	70	2.9
13	Avlağa kaynağı	09.10.2014	13	7,42	-25	144		
14	Drenaj Galerisi çıkışı	07.07.2014	15.5	7.26	-26	273	-	2.57
		16.05.2016	12.5	7.71	-59	137	64	2.5
		05.03.2016	9.9	7.60	-54	163.5	77	2.4
		06.03.2016	9.0	7.12	-47	158	74.6	3.4
15	Şantiye su kuyusu	07.07.2014	11	7.54	-43	253	-	2.57
		16.05.2016	13	7.63	-52	155.8	73.8	2.8
16	Elmadağ kaynak	16.05.2016	11	6.96	-27	16.91	7.77	0.5
		05.03.2016	8.4	7.01	-23	19.96	9.25	0.4



Şekil 5. Yarı- logaritmik Schoeller diyagramı.

Figure 5. Semi-logarithmic Schoeller diagram.

İzotop analizleri ile havzada yeraltı suyu dolaşım süresinin belirlenmesinin yanı sıra, Attepe göl ile Karaçat yeraltı maden galerisinde üretim sırasında boşalan ve kontrol edilemeyen su arasında bağlantı olup olmadığı araştırılmıştır. Bu amaçla Attepe gölünden boşalan kaynaktan (örnek no:9), Uyuz pınarı kaynağından (örnek no:5), Elmadağ kaynağından (örnek no:16), Şantiye kuyu suyundan (örnek no:15), Drenaj galerisi çıkışından (örnek no:14) ve Karaçat galerisinden boşalan yeraltı suyundan (örnek no:1) örnekler alınmıştır. Bu su noktalarından farklı tarihlerde alınan örneklerin sonuçları Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelgede verilen 1 no'lu örneğe ait sonuçlar ve 9 no'lu örneğe ait 2014 yılı sonuçları Demiroğlu ve Örgün (2016)'dan alınmıştır. İlgili çizelgeden Attepe göl suyuna ait değerlerin, diğer örneklerin değerinden beklendiği üzere farklı olduğu görülecektir. Dönem bazında diğer yeraltı sularının sonuçlarındaki kısmi benzerlik ve/veya yakın değerler ise kuvarsit ve şistlerle sınırlanarak birbirinden ayrılan akiferlerin, yine de zayıf iletimliliği olan faylarla birbirine

bağlandığını gösterebilir. Öte yandan, Attepe Göl suyu ile karışımı mümkün olmayan ve alandaki akım memba tarafı yeraltı suyunu temsil eden Uyuzpınarı değerleri dikkate alındığında, Uyuzpınarı ile benzer değerlere sahip drenaj galerisinden boşalan yeraltı sularına ait değerler, buharlaşmanın etkisiyle $\delta^{18}\text{O}$ ve D ($\delta^2\text{H}$) değerleri yüksek, Döteryum fazlası düşük olan Attepe Gölü suyunun, galeriden boşalan yeraltı suyu ile bağlantısının olmadığını (sülfat ve klor konsantrasyonlarının da işaret ettiği üzere) göstermekte ve Demiroğlu ve Örgün (2016)'nın bu husustaki değerlendirmelerini yeni veriler ile teyit etmektedir. Ancak, tüm örneklerin $\delta^{18}\text{O}$ ve D ($\delta^2\text{H}$) değeri, meteorik su doğruları üzerinde ve arasında dağılmış ve bu sonuç Demiroğlu ve Örgün (2016)'da belirtildiği gibi suların meteorik kökenli olduklarını ortaya koymuştur. Sahadan 2015-2017 yıllarında farklı aylarda alınan yeraltı suyu örneklerinin 2.44 ± 0.45 - 4.89 ± 0.76 arasında değişen Trityum değerleri, Demiroğlu ve Örgün (2016)'ün ortaya koyduğu sonuçlarla uyumlu olarak, suların akiferden geçiş süresi kısa ve en fazla 5-10 yıllık sular olduğunu ortaya koymuştur.

Demiroğlu, Örgün

Çizelge 5. Mayıs 2016 döneminde alınan su örneklerinin katyon, anyon (Ca - F, mg/L) ve iz element (Al - Zn, µg/L) analiz sonuçları.

Table 5. Cation, Anion (Ca - F, mg / L) and trace element (Al - Zn, µg/L) analysis results of the water samples taken in May 2016.

Örnek no	3	5	6	9	12	14	15	16
Ca	36.48	32.51	4.60	72.61	41.79	33.47	40.98	3.02
Mg	5.7	5.01	0.70	26.83	4.96	6.62	6.00	0.52
Na	1.95	0.88	1.28	2.70	1.32	1.48	2.19	0.67
K	0.46	0.37	0.77	0.92	0.41	0.51	0.39	0.61
HCO ₃	146	134	43	189	177	153	171	31
SO ₄	5.82	2.67	2.68	146.3	2.64	4.17	5.52	2.35
Cl	1.27	1.07	1.02	1.63	1.07	1.14	1.46	0.93
NO ₂	0.016	0.064	0.007	0.129	0.036	0.156	0.01	0.00
NO ₃	2.51	4.50	2.13	14.18	3.19	5.12	8.19	1.47
F	0.077	0.026	0.028	0.049	0.037	0.041	0.048	0.016
Al	1.00	1.00	3.00	3.00	2.00	6.00	3.00	5.00
As	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
B	<5	<5	<5	6	<5	<5	7	<5
Ba	140.8	94.9	7.85	31.4	127.9	101.2	152.6	8.32
Br	6	8	6	15	10	6	11	7
Co	<0.02	<0.02	0.02	0.04	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Cr	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Cu	0.3	0.2	0.2	1.8	0.3	0.2	0.4	0.2
Fe	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Li	0.8	0.2	0.2	1.5	0.3	0.7	0.8	0.1
Mn	1.58	0.5	0.39	4.9	1.47	0.63	2.39	0.59
Ni	<0.2	<0.2	<0.2	0.4	<0.2	<0.2	0.6	<0.2
P	18	19	37	13	25	16	13	80
Pb	<0.1	<0.1	<0.1	0.3	0.2	<0.1	0.1	0.1
Rb	0.18	0.23	0.08	0.71	0.22	0.43	0.30	0.12
Sb	0.06	<0.05	<0.05	0.88	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Si	3640	2717	3101	3199	2999	3196	3906	2766
Sr	56.04	32.45	15.51	98.45	43.64	53.93	64.21	13.28
U	0.22	0.21	<0.02	4.30	0.21	0.22	0.16	<0.02
Zn	3.5	0.5	0.8	2.4	0.9	0.8	3.0	1.3

Çizelge 6. Suların izotop analiz sonuçları.

Table 6. Isotope analysis results of the water samples.

Örnek No	Örnek yeri	Tarih*	$\delta^{18}\text{O}$	D ($\delta^2\text{H}$)	DF**	T
1	Karaçat galerisi	01.04.2014	-10.93	-64.18	23.26	5.68±0.49
1	Karaçat galerisi	09.10.2014	-10.07	-63.23	17.33	<5
6	Şantiye ezik zon	21.07.2015	-11.18	-63.23	23.21	4.58±0.76
5	Uyuzpınarı	03.11.2015			-	4.53±0.72
5	Uyuzpınarı	25.11.2016	-10.27±0.12	-61.59±0.89	20.57	3.5±0.88
5	Uyuzpınarı	02.09.2017	-9.84±0.09	-62.41±0.16	16.31	-
9	Attepe gölü	01.04.2014	-9.25±0.08	-62.10	11.9	6.75±0.50
9	Attepe gölü	09.10.2014	-8.27±0.07	-54.58	11.58	> 6
9	Attepe gölü	19.06.2015	-	-	-	4.34±0.35
9	Attepe gölü	20.06.2015	-	-	-	4.53±0.72
9	Attepe gölü	25.11.2016	-9.14±0.12	-56.59±0.89	16.53	2.843±0.88
9	Attepe gölü	02.09.2017	-8.57±0.06	-59.36±0.06	9.2	-
14	Drenaj Galerisi	19.06.2015	-11.07±0.13	-66.66	21.9	4.2±0.76
14	Drenaj Galerisi	03.11.2015	-	-		3.45±0.66
14	Drenaj Galerisi	25.11.2016	-10.34±0.12	-62.58±0.89	20.14	2.44±0.44
14	Drenaj Galerisi	02.09.2017	-9.88±0.18	-64.52±0.32	14.52	2.44±0.45
14	Drenaj Galerisi					4.71±0.74
15	Şantiye kuyusu					4.43±0.72
16	Elmadağ kaynak	25.11.2016	-9.73±0.12	-57.52±0.89	20.32	4.89±0.76
16	Elmadağ kaynak	02.9.2017	-9.15±0.07	-61.11±1.01	13.09	-

*:2014 yılına ait veriler Demiroğlu ve Örgün (2016)'dan alınmıştır

** :DF: Döteryum Fazlası

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Menteş havzasında geniş yüzey alanına sahip karbonatlı kayalar (dolomit-dolomitik kireçtaşları, kristalize kireçtaşları) Üst Kretase' den itibaren maruz kaldıkları tektonik hareketler sonucu aşırı kırıklı-çatlaklı bir yapı kazanmıştır. Bu yapısal süreksizlikler, karstlaşma süreçleriyle birlikte artarak, karbonatlı kayaların yeraltı sularının kolayca dolaşım-depolanabileceği bir yapı kazanmasını sağlamıştır. Sahanın hidrojeolojik yapısının, uygun iklim koşullarıyla birleşmesi, yani kışların yoğun yağışlı geçmesi, özellikle bölgenin yüksek kesimlerinde yağışın

kar şeklinde olması, bölgenin yeraltı ve yüzey suyu potansiyelini artırmıştır. Bölgedeki DSİ ve EİEİ'ye ait akım gözlem istasyonlarının verileri kullanılarak, Mentеш deresi doğu alt havzası için akarsu ana yatak eğiminin 0.0297-0.1278 arasında değiştiği hesaplanmış, elde edilen denklemden alt havza çıkışında ortalama debisi 0.474 m³/sn (yaklaşık 500 L/sn) olarak bulunmuştur.

Menteş deresi yüzeysel ve yüzey altı akışının karstik boşluklar ve faylarla yeraltı suyuna doğrudan eklendiği dere üzerinde yapılan debi ölçümleriyle tespit edilmiş olup boya

deneyleriyle doğrulanması önerilmiştir. Yıllık ortalama 500 L/sn yüzey suyunun 400-450 L/sn kadar miktarının yeraltı suyuna intikal ettiği anlaşılmıştır. Buna göre dere suyundan yeraltı suyuna olan katkı %90 civarındadır.

Arazi gözlemleri, yapılan ölçümler ve testler, yeraltı sularının kireçtaşı ve dolomitler içinde tamamen doymun olmadığı, tercihli akış yolları geliştirdiğini göstermektedir. Basınçlı su testlerinden elde edilen değerler, sahadaki şistler ve kuvarsitlerin geçirimsiz olduğunu, karbonatlı birimlerin kalın olduğu (yaklaşık 350m) kesimlerde tabandaki kristalize dolomitlerin iletililiğinin zayıf olduğunu (Lugeon değerinin <1) ve gelişmiş karstlaşmanın gözlenmediği zonlarda (< 5 Lugeon) karstik boşluk ve kanallardan ziyade çatlak ve kırıklı bir yapının egemen olduğunu göstermiştir.

Karaçat sahasında birçok temel sondaj kuyusunda (Örneğin KÇT-154, 157, 178, 190, 191, 195 ve 196) yeraltı suyu seviyesinin ölçülememesi, arazinin bu kesimlerinde beslenme, depolanma ve boşalmanın yerel depolanmalı doymun aktif ana kanallar boyunca gerçekleştiğini göstermiştir.

Karaçat yeraltı demir üretim sahasında doğal koşullarda mevcut olan yeraltı suyu dolaşımı ve beslenme-boşalım ilişkisi, kapalı ocak işletmesinden Mentеш deresine doğru boşalan drenaj galerisiyle değişmiştir. Havzada karstik akiferde yeraltı suyunun doğal koşullardaki seviye kotu 1500 m civarında iken, 1407m-1418m kotlarını birleştiren drenaj galerisinin faaliyete geçmesi ile akiferin doğal koşullardaki boşalım lokasyonunun altında, yeni bir boşalım noktası meydana gelmiştir. Yeni boşalım noktasına göre akiferdeki yeraltı suyu kotu, kurak devrede 1418m-1423m civarında oluşmuştur.

Hidrojeokimyasal veriler yeraltı suyu-yüzey suyu ilişkisi ve yeraltı suyunun dolaşımı

süresinin anlaşılması için faydalı sonuçlar ortaya koymuştur. Seçilen örnek su noktalarında yerinde yapılan T, pH, Eh, EC, Tuzluluk ve toplam alkalinite ölçüm sonuçları ve ana ve iz element analiz sonuçları, Demiroğlu ve Örgün (2016)'nün de belirttiği üzere, Mentеш deresi suyunun yeraltı sularına çok benzer özelliklere sahip olduğunu ortaya koymuştur (Çizelge 4 ve 5). Attepe gölünü boşaltan kaynaktan ölçülen EC değeri (613 μ S/cm) hariç olmak üzere, diğer EC değerlerinin büyük bir kısmının 150 μ S/cm değerinin altında kalmış olması, Mentеш havzasında yeraltı sularının uzun süredir dolaşımında olmadığını ve akiferleriyle temas süreleri kısa, sık dolaşımly genç sular olduğunu ortaya koymuştur. Bu sonuç, suların düşük Trityum değerleri (2.44±0.44-5.68±0.49), düşük toplam ana iyon değerleri ve su fasiyeslerini tanımlayan Yarı-logaritmik Scholler diyagramında 5, 12, 14, 15 no'lu yeraltı sularının eğilimlerinin dere suyunun eğilimi ile bire bir örtüşmesiyle de desteklenmiştir. Bazı örneklerde ortaya çıkan kısmen yüksek Na+K değerleri, suların kireçtaşı ve dolomitlerin yanı sıra sahada yaygın olarak bulunan volkanik ara katkılı şistlerle de temas halinde olduğunu göstermiştir.

Oksijen ve hidrojenin izotopları su molekülleri ile birlikte hareket ettikleri için suların kökeni ve yaşlandırılmasının yanı sıra yüzey ve yeraltı suları arasında ilişki olup olmadığı sorularının cevaplandırılmasında güvenilir veriler sağlar. Çalışma kapsamında Attepe göl ile Karaçat galerisinden üretim sırasında boşalan aşırı miktardaki su arasında bağlantı olup olmadığı, Karaçat galerisinden, Deşarj galerisi çıkışından ve içme suyu olarak kullanılan üç kaynaktan örneklerin O-18, Döteryum ve Trityum analiz sonuçları değerlendirilerek araştırılmıştır. Farklı tarih ve dönemlerde alınan örneklerin izotop sonuçları incelendiğinde Attepe göl suyuna ait değerlerin diğerlerinden farklı olduğu ortaya

çıkıştır. Ancak 2014 yılında yapılan izotop analizleri sonucundaki döteryum fazlası verileri ve trityum verileri, drenaj galerisinin açılması ve Karaçat karst akiferinin drene edilmesinden sonra değişmiştir. Karaçat akiferinde, K-KB yönünde şistlerle sınırlanarak yükselen nispeten diğer suların daha yaşlı (Statik rezervuar) suların boşalmasından sonra ölçülen Trityum değerleri benzer okunmuştur (Karaçat; 4.2 ± 0.76 , Attepe; 4.34 ± 0.35). Bu durumda, dönem bazında tüm sonuçlardaki kısmi benzerlik ve/veya yakın değerler, yeraltı sularının yüzey suları ile doğrudan ilişkili olmasıyla açıklanabilir. Ancak Demiroğlu ve Örgün (2016) havzanın güneyinde yer alan Attepe gölü ile Karaçat galerisinden boşalan suyun ilişkili olup/olmadığını inceleyerek, drenaj galerisinin açılmasından önce Karaçat galerisinde biriken sularla, buharlaşmanın etkisiyle Oksijen-18, Döteryumu yüksek, Döteryum fazlası düşük olan Attepe Gölü suyunun bağlantısının olmadığı sonucuna varmıştır. Bölgenin sergilediği jeolojik ve topoğrafik görünüm de bu sonucu desteklemektedir. Ayrıca yukarıdaki bölümlerde ifade edildiği gibi Attepe gölünün doğusunda yer alan kireçtaşlarının, inceleme alanı kuzeydeki kireçtaşları ile bağlantısı, faylanmaların etkisiyle şistler tarafında kesilmiştir. Sonuç olarak izotop sonuçları Attepe gölü ile Karaçat akiferi arasında üretim sırasında sorun yaratacak bir hidrolik ilişkinin olmadığını işaret etmektedir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma “ÖZKOYUNCU MADENCİLİK Metalürji İnşaat San. ve Tic. A.Ş.’ye ait Attepe-Elmadağ-Menteş-Karaçat demir sahalarında Yeraltı ve Yüzey suları arasındaki ilişkinin araştırılması” başlıklı projenin verilerinden üretilmiştir. Proje, Özkoyuncu Madencilik Metalürji İnşaat San. ve Tic. A.Ş ile İTÜ Maden

Fakültesi Vakfı İktisadi İşletmesi arasında imzalanan ve “İTÜ-ARI TEKNOKENT” de onaylanmış olan “Yerbilimlerinde Doğal Kaynaklar ve Risklerin Değerlendirilmesi ve Yeni Teknolojilerin Geliştirilmesi Projesi” kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Bu makale de idari ve mali desteklerinden dolayı İ.T.Ü. Maden Fakültesi Vakfı İktisadi İşletmeleri Maden Fakültesi yönetimine, arazi çalışmaları sırasında vermiş olduğu destekten dolayı Özkoyuncu Madencilik Şirketi yönetimine, genel müdür yardımcısı Şefik Akkoyunlu, Jeolojik araştırmalar müdürü, Jeoloji Yüksek Mühendis Hakan Tayyar’a ve diğer çalışanlara teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

- Alan, İ., Şahin, Ş., Altun, İ., Bakırhan, B., Balcı, V., Böke, N., Saçlı, L., Pehlivan, Ş., Kop, A., Hanılçı, N., Çelik, Ö.F., 2007. Orta Torosların jeodinamik evrimi, Ereğli (Konya)-Ulukışla (Niğde)-Karsantı (Adana)-37 Namrun (İçel) yöresi. MTA Rap. No: 11006, 245 s., Ankara (yayınlanmamış).
- Arda, N., Tiringa, D., Ateşçi, B., Akça, A. ve Tufan, E., 2008. Yahyalı (Kayseri)- Mansurlu (Feke-Adana) yöresi demir sahaları maden jeolojisi ara raporu. MTA Rap. No: 11093, 75 s., Ankara (yayınlanmamış).
- Arkan, Y., 1968. Mansurlu (Feke-Yahyalı) demir zuhurları. MTA Derleme No:3992.
- Ayhan, A., İplikçi, E., 1978. Adana iline bağlı Kozan Feke Saimbeyli civarının jeolojik etüdü. MTA Derleme No: 6737, Ankara (yayınlanmamış).
- Ayhan, A., 1988. 1:100.000 ölçekli açınsama nitelikli Türkiye jeoloji haritaları serisi.
- Burgan, H. I., Aksoy, H., 2018. Annual flow duration curve model for ungauged basins. Hydrology Research 49 (5), 1684-1695.
- Blumenthall, M. M., 1941. Niğde ve Adana vilayetleri dahilindeki Torosların jeolojisine umumi bir bakış. MTA Derleme No: 6.

- Dayan, S., 2007. Adana-Mansurlu Attepe civarındaki demir yataklarının jeolojik, petrografik ve yapısal özelliklerinin incelenmesi. A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi 125 s. (yayınlanmamış).
- Demiroğlu M., Örgün Y., 2016. Mentüş Havzası Yeraltısularının Hidrojeokimyasal Özellikleri (Yahyalı- Kayseri). Türkiye Jeoloji Bülteni, 59(3), 275-297.
- Eken, E., 2012. Mağarabeli (Mansurlu – Feke havzası, adana) demir yatağının maden jeolojisi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 139 s. Ankara(yayınlanmamış).
- Gürkan, A., 1966. Mansurlu-Feke demir zuhurları ön raporu. MTA Maden Etüt Arşiv No:861.
- <https://gdex.cr.usgs.gov/gdex> USGS LP DAAC The Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC), Earth Observing System Data and Information System.
- Küpeli, Ş., 1991. Attepe (Mansurlu-Feke) Yöresi Demir Yataklarının Jeolojik, Petrografik ve Genetik İncelemesi. Selçuk Üniv. Fen Bil. Enst., Doktora Tezi, 227 s., Konya (yayınlanmamış).
- Küpeli, Ş., 1998. Attepe (Mansurlu-Feke-Adana) yöresi demir yataklarının jeolojisi ve kökeni. C. Ü. Müh. Fak. Derg., Seri A-Yerbilimleri, 15 (1), 101-118.
- Lucias, M., 1927. Antitoros silsilesinde, Zamantı Suyu ile Göksu arasında Faraşa demir madeni zuhurunda yapılan jeolojik taharriyat hakkında rapor. MTA Derleme No: 421, 84s.
- Özgül, N., 1971. Orta Torosların kuzey kesiminin yapısal gelişiminde blok hareketlerin önemi. TJK Bülteni, Cilt: 14, 75-87.
- Özgül, N., 1976. Torosların bazı temel jeolojik özellikleri. TJK Bülteni, 16, 39-52.
- Özgül, N., Kozlu, H., 2002. Kozan-Feke (Doğu Toroslar) yöresinin stratigrafisi ve yapısal konumu ile ilgili bulgular. TPJD Bülteni, 14(1), 1-36.
- Rondot, J., 1956. 1/100000'lik jeoloji 94/1.2.3. paftaları. MTA Derleme No:2519.
- Schwertmann, U., 1991. Solubility and dissolution of iron oxides. Plant and Soil 130, 1-25.
- Şahin, M., Bakırdağ, L., Adıgüzel, O., 1984. Adana-Feke-Mansurlu-Mağarabeli demir madeni jeoloji ve rezerv raporu. MTA Derleme No:7506.
- Şahin, M., Bakırdağ, L., 1985. Kayseri-Adana-Yahyalı, Delialıuşağı, Karakızoluğgediği, Mağarabeli (güney bölüm) Hanyeri demir madeni jeoloji ve rezerv raporu. MTA Derleme No: 7635.
- Temelsu Mühendislik Limited Şirketi, 1988. Istanca Dereleri, Kırıkköy Bölgesi Yapılabilirlik Raporu.
- Tiringa, D., 2009. Kayseri-Yahyalı-Karaköy, Karaçat demir yatağının maden jeolojisi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 139 s., Ankara(yayınlanmamış).
- Tiringa, D., Ünlü, T., Sayılı, İ. S., 2009. Kayseri-Yahyalı-Karaköy, Karaçat demir yatağının maden jeolojisi. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 33 (1), 1-43.



Araştırma Makalesi / Research Article

Tavas (Denizli) Ovası ve Çevresinin Hidrojeokimyasal İncelemesi *Hydrogeochemical Investigation of Tavas (Denizli) Plain and Its Vicinity*

Şehnaz ŞENER*¹ , Gözde CANPOLAT 

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta

Geliş (Received): 05 Mart (March) 2019 / Düzeltme (Revised): 16 Nisan (April) 2019 / Kabul (Accepted): 22 Mayıs (May) 2019

ÖZ

Bu çalışmada, Tavas (Denizli) Ovasının jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri incelenerek bölgedeki su kaynaklarının hidrojeokimyasal özellikleri, kullanım durumları ve kirlilik değerlendirmeleri yapılmıştır. Çalışma alanındaki jeolojik birimler otokton ve allokton olmak üzere iki grup halinde incelenmiş ve bölgenin genel jeoloji haritası hazırlanmıştır. Her bir litolojik birim hidrojeolojik özellikleri ve akifer olabilme potansiyelleri bakımından geçirimli, yarı geçirimli ve geçirimsiz birimler olarak ayırtlanmış ve çalışma alanının hidrojeoloji haritası hazırlanmıştır. Acıgöl Grubu, Pliyo-Kuvaterner Killi Kireçtaşı, Pliyo-Kuvaterner Ayırtlanmamış Kırıntılı Birimler, Yamaç Molozu, Alüvyon Yelpazesi ve Alüvyon gözenekli geçirimli birim, Çameli formasyonu Kireçtaşı üyesi, Ağaçlı formasyonu, Ortadağ formasyonu (Bodrum Napı, Likya Napları) karstik geçirimli birimleri oluşturmaktadır. Eşme Metamorfittleri geçirimsiz birim-1 olarak tanımlanırken, Marmaris Peridotiti (Marmaris Ofiyolit Napı), Kızılcaadağ Melanj ve Olistostromu (Marmaris Ofiyolit Napı), geçirimsiz birim-2 olarak tanımlanmıştır. Babadağ formasyonu, Aksu formasyonu Çamova üyesi ve Gebeciler formasyonu ise yarı geçirimli birim olarak sınıflandırılmıştır. Yeraltı suyu akımının ovada kuzey doğu yönünde olduğu belirlenmiştir. Çalışma alanındaki yeraltı sularının hidrojeokimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla su örnekleri alınarak kimyasal analizleri yapılmıştır. Yeraltı suları Ca-Mg-HCO₃ sular fasiyesindedir ve As/Mn/Fe/NO₃ parametrelerine göre insani tüketime uygun değildir. Bu durum bölgedeki kayaç-su etkileşimi ve/veya tarımsal faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Çalışma alanındaki yeraltı suyunun sulama suyu olarak kullanılabilir özellikte olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tavas Ovası, Hidrojeoloji, Hidrojeokimya, Yeraltı suyu

ABSTRACT

In this study, geological, hydrological, hydrogeological and hydrogeochemical characteristics of Tavas (Denizli) Plain were investigated in detail. The geological units in the study area were investigated in two groups as autochthonous and allochthonous and general geological map of the region was prepared. Each lithological unit is distinguished as permeable, semi-permeable and impermeable units in terms of hydrogeological characteristics and aquifer potential and a hydrogeological map of the study area has been prepared. In the area, Acıgöl group, Plio-Quaternary clayey limestone, Plio-Quaternary non-discriminated clastic units, slope debris, Alluvium fan and Alluvium are porous permeable units; Çameli formation limestone member, Ağaçlı formation, Ortadağ formation, (Bodrum Nappes, Likya Nappes) are karstic permeable units; Eşme Metamorphics are impermeable units-1; Marmaris Peridotite (Marmaris Ophiolitic Nappes), Kızılcaadağ Melange and olistostrome allochthonous (Marmaris peridotite Nappes) units are impermeable units-2; and Babadağ formation, Aksu formation, Çamova member and Gebeciler formation are semi-permeable units. It is determined that the groundwater flow is towards the north-east

direction in the plain. In order to determine the hydrogeochemical properties of the groundwater in the study area, water samples were taken and chemical analyzes were performed. Groundwater in the region are Ca-Mg-HCO₃ types. Groundwater is not suitable for human consumption due to limit exceeding As/Mn/Fe/NO₃ concentrations. This is due to the water-rock interactions and/or agricultural activities in the region. It has been determined that groundwater in the study area can be used as irrigation water.

Keywords: Tavas plain, Hydrogeology, Hydrogeochemistry, Groundwater

GİRİŞ

Dünya çapında, insan faaliyetleri ve doğal süreçler kullanılabilir su kaynaklarını azaltmaktadır. Özellikle, kentleşme, nüfus artışı, artan yaşam standartları, endüstriyel ve insan faaliyetleri sonucunda oluşan kirlilikler su kaynakları üzerindeki baskıları giderek arttırmaktadır. Bunlara iklim değişimi ve doğal koşullardaki değişiklikler de eklendiğinde mevcut su kaynaklarının korunması gittikçe zorlaşmaktadır. Kullanıma en kolay kazandırılabilir tatlı su kaynakları yüzey suları (göller, akarsular vb.) olmasına rağmen dünya üzerindeki kullanılabilir yüzey suyu miktarı da oldukça düşüktür. Bu nedenle, son yıllarda su ihtiyacını karşılamaya yönelik olarak yeraltı sularının kullanımı gittikçe artmaktadır.

Dünya nüfusunun çok hızlı artışı, sanayi ve teknolojinin aşırı gelişmesi, ayrıca çevre bilincinin yeterince yerleşmemesi veya yaygınlaşmaması gibi nedenler dünyada içilebilir su miktarının giderek azalmasına sebep olmaktadır. Bunların yanısıra, su kaynaklarının sorumsuzca kirlenmesi, geri dönüşümü olanaksız sorunların yaşanmasına zemin hazırlamaktadır (Haviland, 2002; Dağlı, 2005; Atalık, 2006; Akın ve Akın, 2007). Dolayısıyla mevcut su kaynaklarımızın su kalitelerinin sürdürülebilir bir şekilde korunarak en iyi şekilde yönetilmeleri gerekmektedir. Günümüzde su taleplerini karşılarken aynı zamanda geleceğe yönelik su ihtiyacını belirleyerek, yeterli miktar ve kalitede suyun tahsisini planlamak için hidrojeolojik havza

etütlerinin ve hidrojeokimyasal araştırmaların yapılarak mevcut durumda suların kalitesi ve kullanım alanlarının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, Tavas (Denizli) ovasının jeolojik ve hidrojeolojik incelemesi yapılarak bölgedeki yeraltı suyunun hidrojeokimyasal özellikleri ve kullanılabilirlik durumu araştırılmıştır. Tavas ilçesi Denizli ilinin önemli tarım faaliyetlerinin yapıldığı bir bölge olup, bölgede yapılan tarımsal faaliyetlerin su kaynaklarına etkisi daha önce detaylı bir şekilde araştırılmamıştır. Bu nedenle bu çalışma, bölgedeki yeraltı suyu kaynaklarının mevcut durumu ve sürdürülebilir kullanımı açısından önem taşımaktadır.

MATERYAL VE YÖNTEM

İnceleme Alanının Tanıtılması

Çalışma alanı olarak seçilen Tavas Ovası ve çevresi Ege Bölgesi'nin Kıyı Ege Bölümünde bulunmaktadır (Şekil 1). Bölgede Kale ve Tavas ilçe merkezleri ile birlikte çok sayıda köy bulunmaktadır. Denizli'nin güney batısına düşen Tavas ilçesinin, denizden yüksekliği 950 m'dir. İlçe yüzey şekilleri bakımından etrafı dağlarla çevrili düz bir ova görünümündedir. Yaklaşık 620 km² alana sahip olan çalışma alanı Kale-Tavas havzası içerisinde olup havzanın batısında Çine – Yatağan Havzası, kuzey batısında Aydın – Söke, kuzeyinde Orta Menderes, kuzey doğusunda ise Çürüksu Havzası bulunmaktadır.

Bölgede Ege Bölgesinin hakim iklimi olan Akdeniz iklimi görülür. Yağışların çoğunluğu Aralık ve Ocak aylarında düşmektedir. Bitki örtüsü genel olarak fundalık ve maki olup Bozdağ'da sedir ormanı bulunmaktadır. Tavas, Denizli'nin nüfus büyüklüğü açısından öne çıkan ilçeleri arasında olmakla birlikte nüfusun büyük kısmı belde ve köylerde yaşamaktadır. Küçükbaş hayvan varlığı ve süt üretiminde bölge

ilçeleri arasında 2. sırada yer alan ilçede, tarım ve hayvancılık temel ekonomik geçim kaynağını oluşturmaktadır. Başlıca tarım ürünleri; incir, zeytin, kestane, elma, ceviz, şeftali, turunçgiller, ayva ve nar gibi meyveler yetiştirilmekle birlikte son yıllarda yüksek sistem bağcılık hızla gelişme göstermektedir. Bunların dışında, patates, tütün, arpa, buğday, fiğ, mısır, pamuk gibi tarım ürünleri de yetiştirilmektedir.



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası (ölçeksiz).

Figure 1. Location map of the study area (no scale).

Yöntem

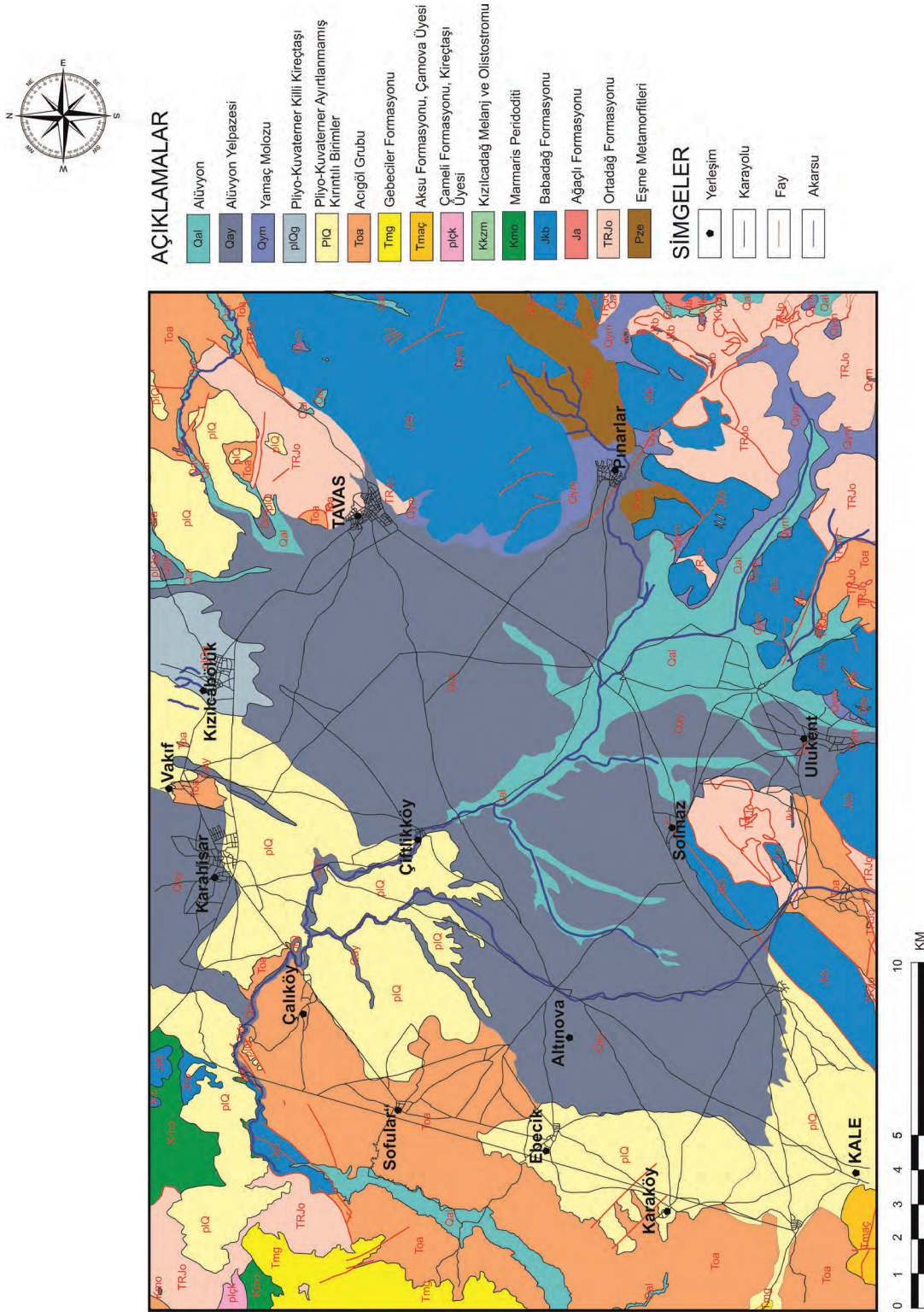
Çalışma alanının, önceki çalışmalardan ve arazi çalışmalarından yararlanılarak 1/50.000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmıştır (Şekil 2). Litolojik birimlerin hidrojeolojik özellikleri dikkate alınarak bölgedeki geçirimli, yarı geçirimli ve geçirimsiz birimler ayırtlanmıştır. Çalışma alanındaki yeraltı sularının hidrojeokimyasal özelliklerini, kalitesini ve kullanım koşullarını belirlemek amacıyla Ekim (2018) döneminde 14 (2 kaynak+ 12 kuyu) adet yeraltı suyu örneği alınmıştır. Sondaj kuyularından örnekleme yapılmadan önce kuyunun en az yarım saat çalışmış olması sağlanmış ve su örneklerinin alımında sızdırmaz kapaklı polietilen şişeler kullanılmıştır. Örnek alınacak şişeler en az üçer kez örnek suyu ile çalkalandıktan sonra içerisinde hava kabarcığı kalmamasına özen gösterilerek doldurulmuş ve kapakları kapatılmıştır. Her bir lokasyondan anyon ve katyon analizleri için ayrı ayrı 100 ml'lik şişelere örnek alınmış ve şişeler etiketlenerek örnek numaraları verilmiştir. Katyon örneklerinin analiz yapılacak süreye kadar korunması amacıyla derişik HCl ilave edilerek pH<2 olması sağlanmıştır. Örneklerin sıcaklık (T), elektriksel iletkenlik (EC) ve hidrojen iyonu aktivitesi (pH) değerleri çok parametrelili portatif su kalitesi ölçüm cihazları kullanılarak yerinde ölçülmüştür. Su örneklerinin katyon analizleri, Bureau Veritas Mineral (Kanada) Laboratuvarı'nda ICP-MS cihazı ile anyon analizleri ise Süleyman Demirel Üniversitesi Jeotermal Enerji, Yeraltı suyu ve Mineral Kaynakları Araştırma ve Uygulama laboratuvarında spektrofotometrik yöntem ve titrimetrik yöntemler kullanılarak yaptırılmıştır.

Suların kimyasal analizleri sırasında meydana gelebilecek hata payı aşağıdaki bağıntı kullanılarak anyon – katyon dengesinden hesaplanmıştır. Çalışma alanındaki yeraltı sularında yapılan kimyasal analizlerde anyon-katyon dengesi ile belirlenen hata oranı % 5'den düşük olup kabul edilebilir değerlerdedir.

Elde edilen analiz sonuçları kullanılarak, çalışma alanındaki yeraltı sularının iyon özellikleri, kullanım amaçları (içme ve sulama) ve kalite özellikleri incelenmiştir.

HİDROJEOLOJİ

Çalışma alanı yakın çevresinde temel birimleri oluşturan otokton kayalık birimler en altta Prekambriyen yaşlı metamorfik bir seri olan Eşme Metamorfikleri, Triyas yaşlı Ortadağ formasyonu ile Jura yaşlı Ağaçalı formasyonu kireçtaşı birimi ve Babadağ formasyonu killi kireçtaşı, kumlu kireçtaşı ve mikritik kireçtaşlar birimidir (Şekil 2). Bölgede yüzeyleyen allokton birimler ise Likya Napıları'nın Bodrum Napı'na ve Marmaris Ofiyolit Napı'na ait serilerdir. Örtü kayalar olarak Miyosen'de Aksu ve Gebeciler formasyonları kumtaşı, çamurtaşı, marn araldanması ve Çameli formasyonuna ait çamurtaşı, marn ve kireçtaşı üyeleri izlenir. Gebeciler formasyonunu konglomera araldanma sekansı ve kumtaşı, çamurtaşı aratabakaları da gözlenen Oligosen yaşlı Acıgöl Grubu üstlemektedir. Ayrıca, Pliyosen ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı tuf, tüfit ve killi kireçtaşı ara tabakalı, kum ve çakıllı çökel kayalar yüzeylemektedir. Bu birimler üzerinde Kuvaterner yaşlı alüvyon, yamaç molozu ve alüvyon yelpazesi birimleri gözlenmektedir.



Çalışma alanında bulunan jeolojik birimler, hidrojeolojik ve litolojik özelliklerine göre geçirimli, yarı geçirimli ve geçirimsiz birimler olarak ayırtlanmıştır. Çalışma alanının hidrojeoloji haritası Şekil 2’de, hidrojeolojik kesitleri ise Şekil 3’de verilmiştir.

Gözenekli geçirimli birim (Gç1); Çalışma alanında, ovanın büyük bir kısmını oluşturan alüvyon ile konglomera ve kaba kırıntılardan oluşan Pliyo-Kuvaterner Ayırtlanmamış Kırıntılı Birimler, Yamaç Molozu, Alüvyon Yelpazesi yayılımı ve verimi fazla olan gözenekli geçirimli birim olarak ayırtlanmıştır. Havzanın orta kısımlarında yüzeyleyen Acıgöl Grubu, karbonat çimentolu polijenik çakıllı birim taneleri olarak tanımlanmıştır. Pliyo-kuvaterner ayırtlanmamış kırıntılı birimler ise gevşek tutturulmuş, eski göl kenarı, akarsu ve yamaç molozu ürünleridir. Alt havzanın kuzeybatısı hariç geniş alanlarda yüzeylenen birim oldukça geçirimli olup akifer özelliği göstermektedir. Yamaç molozu, genellikle gevşek tutturulmuş çakıl ve blok boyu malzemenin meydana gelir. Alüvyon yelpazesi birimi verimli yeraltı suyu taşıyan litolojik katmanları içermektedir Alüvyon biriminin ince taneli killi seviyeler içeren kısımlarında hidrojeolojik verim düşüktür.

Karstik geçirimli birim (Gç2); Çalışma alanında Çameli formasyonu Kireçtaşı üyesi, Ağaçlı formasyonu, Ortadağ formasyonu karstik yapılarından dolayı karstik geçirimli birim özelliğindedir. Çameli formasyonu kireçtaşı üyesi gözenekli karbonat düzeyleri ile üstünde kireçtaşı ve travertenlerden oluşur. Kontak sınırlarından kaynak çıkışları mevcuttur. Ağaçlı formasyonu, dolomitik kireçtaşları temsil etmekte olup Ortadağ formasyonu, dolomit ve / veya neritik kireçtaşı karakterinde başlayan ve üste doğru çört, yumru mikrit ve kalkarenitleri kapsar. Kireçtaşları çatlak ve erime boşluklarında

önemli miktarda yeraltı suyu bulundurabilen ve suyun hareketine izin veren karstik akiferlerdir.

Yarı geçirimli birim (Gy); Çalışma alanında killi kireçtaşı, kumlu kireçtaşı ve çört bantlı mikritik kireçtaşlarından oluşmakta olan Babadağ formasyonu, molas karakterinde olan Aksu formasyonu Çamova üyesi, altta “alüvyon yelpazesi çökelleri” ve üstte “gölsel çökeller” olarak iki ayrı çökel topluluğunu içerisinde barındıran Gebeciler formasyonu yarı geçirimli birim (Gy) olarak ayırtlanmıştır. Birimler içerisinde yer alan volkanik zayıf tutturulmuş çakıllar ve süreksizlik düzlemleri yeraltı suyunun hareketine izin verebileceğinden dolayı sözkonusu birimler yarı geçirimli akifer özelliğindedir.

Geçirimsiz birim-1 (Gz1); Çalışma alanında Eşme metamorfite, gnays, migmatit, metagranitoyit, metagabro, amfibolit ve mermer serisi litolojik özellikleri bakımından akifer olma potansiyeli olmaması sebebiyle geçirimsiz birim olarak değerlendirilmiştir.

Geçirimsiz birim-2 (Gz2); Çalışma alanında dar alanlarda gözlenen Marmaris Peridoditi ve Kızılcadağ Ofiyolitik Melanjı yer yer serpantinleşmiş ultramafik kayalardan oluşmaktadır. Bu birimler bünyelerinde yeraltı suyu bulundurmamaları sebebiyle geçirimsiz birim olarak değerlendirilmiştir.

Çalışma alanında bulunan yeraltı suyu kuyuları genel olarak ovada alüvyon birim içinde açılmıştır. Bu birimde yeraltı suyu seviyesini ve yeraltı suyu akım yönünü belirleyebilmek amacıyla mevcut sondaj kuyularında Ekim (2018) döneminde yeraltı suyu seviye ölçümleri gerçekleştirilmiş ve bölgenin yeraltı suyu seviye haritası hazırlanmıştır (Şekil 3). Ovadaki kuyuların bir kısmı tahrip edildiğinden bir kısmına ise dalgıç pompa yerleştirildiğinden yeraltı suyu seviye ölçümleri yapılamamıştır.

Bu nedenle, sadece altı noktada ölçülen yeraltı suyu seviye değerleri kullanılarak hazırlanmış olan hidrojeoloji haritası bir ön etüd çalışması niteliğindedir. Çizelge 1’de bölgede yeraltı suyu seviye ölçümü yapılan kuyulara ait koordinat, kuyu ve yeraltı suyu derinliği ve yeraltı suyu seviye verileri verilmiştir. Bölgede yeraltı suyu derinlikleri 2.5- 43.2 m arasında değişmekte olup yeraltı suyu seviyeleri ise 880,8 m ile 960,1 m arasındadır. Şekil 3’de verilen hidrojeoloji haritası üzerinde yer alan yeraltı suyu seviye eğrileri incelendiğinde Tavas ovasında yeraltı suyu akım yönünün Karaköy ve Ulukent civarında kuzeydoğu’ya doğru, Kale civarında ise kuzeye doğru olduğu belirlenmiştir.

HİDROJEOKİMYA

Yeraltı sularının iyon özelliklerinin belirlenmesi amacıyla; sertlik, hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH), özgül elektriksel iletkenlik (EC), sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) ve sodyum iyon yüzdesi (%Na) gibi genel kimyasal özellikler değerlendirilmiştir. Aynı zamanda, suların Piper ve Gibbs diyagramları kullanılarak sınıflandırılmasında major anyon ve katyon (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , SO_4^{-2} , Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{-2}) analiz sonuçlarından yararlanılmıştır (Çizelge 2).

Çalışma alanındaki suların sertlik değerleri 27.7 – 39.75 Fr arasında değişim göstermektedir (Çizelge 2). Buna göre çalışma alanındaki N1, N5, N6 no’lu örnekler “sert su” ve diğer tüm sular “çok sert su” sınıfında yer almaktadırlar. Çalışma alanındaki su noktalarından alınan örneklerin pH değerleri 7.02 ile 7.78 arasında değişmektedir (Çizelge 2). Buna göre çalışma alanındaki tüm sular “bazik karakterli sular” sınıfında yer almaktadır.

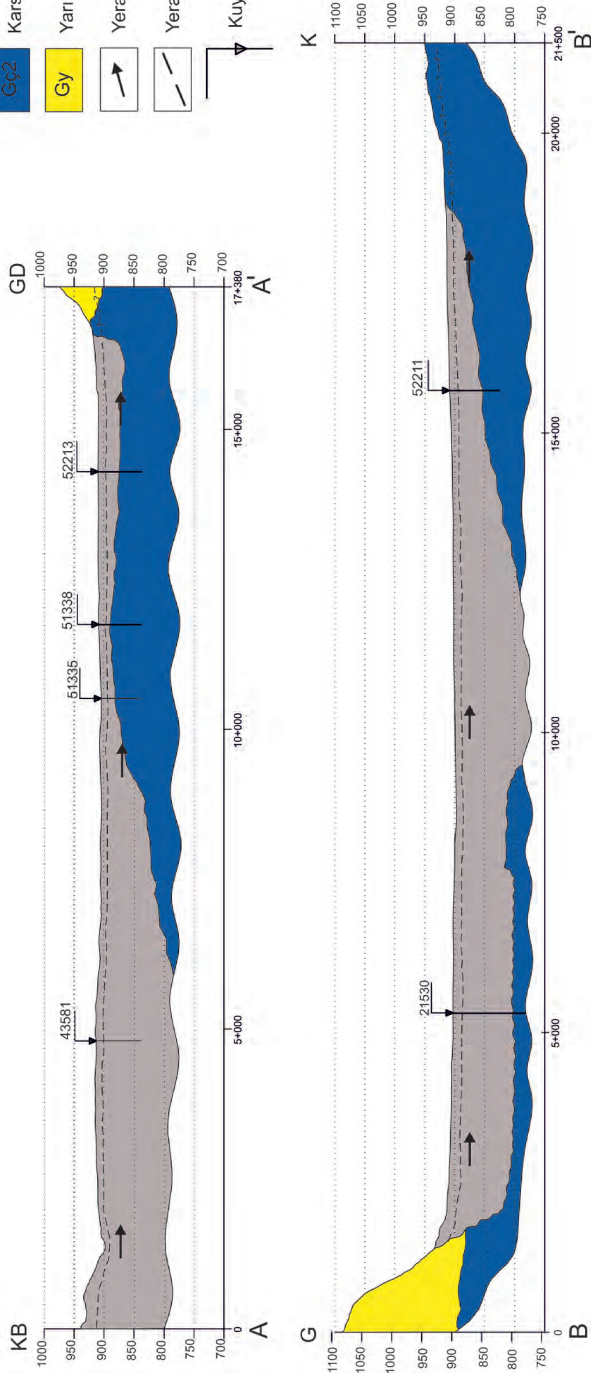
Çizelge 1. Yeraltı suyu statik seviye ölçüm sonuçları.

Table 1. Groundwater static level measurements.

Numune No	Akifer Birim	Rakım	Kuyu derinliği(m)	Yeraltı suyu derinliği (m)	Yeraltı suyu statik seviyesi (m)
N1	Altüvyon	964	6	3.9	960.1
N3	Altüvyon	904	60	7	897
N5	Altüvyon	904	150	9.5	894.5
N8	Altüvyon	916	98	21.6	894.4
N10	Altüvyon + Kireçtaşı	901	9	2.5	898.5
N11	Altüvyon + Kireçtaşı	924	96	43.2	880.8

AÇIKLAMALAR

Gç1	Gözenekli Geçirimli Birim
Gç2	Karstik Geçirimli Birim
Gy	Yarı Geçirimli Birim
	Yeraltısu Akım Yönü
	Yeraltısu Seviyesi
	Kuyu



Şekil 4. Çalışma alanının hidrojeolojik kesitleri.

Figure 4. Hydrogeological cross sections of the study area.

Şener, Canpolat

Çizelge 2. Yeraltı su örneklerinin ana iyon kimyasal özellikleri.
Table 2. Main ion chemical properties of groundwater samples.

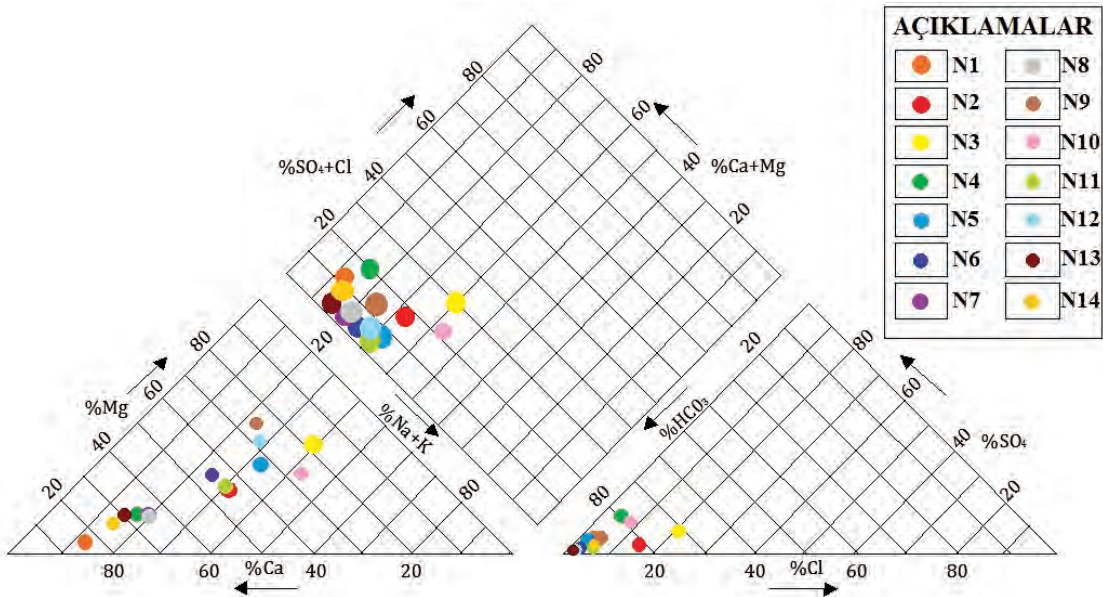
Numune no	Akifer Birim		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁻	Sıcaklık °C	Sertlik	EC	pH	TDS	Na	SAR	Su Simfisi
	mek/lt	mek/lt																
N1	Alüvyon		9.5	0.56	0.19	0.01	0.25	0.33	0.00	3.5	16	27.7	468	7.49	439.9	3.31	0.16	Ca-Mg-HCO ₃
N2	Alüvyon		3.84	2.25	0.53	0.02	1.21	0.18	0.00	5.5	15.5	30.45	614	7.53	356.1	7.98	0.42	Ca-Mg-HCO ₃
N3	Alüvyon		5.05	5.75	1.63	0.06	2.67	1.11	0.00	7.3	15.4	54	1076	7.21	708.9	13.05	0.99	Mg-Ca-HCO ₃
N4	Alüvyon		6.26	1.5	0.52	0.01	0.72	0.95	0.00	4.7	15.2	38.8	722	7.33	616.8	6.27	0.37	Ca-Mg-HCO ₃
N5	Alüvyon		3.12	2.31	0.81	0.02	0.17	0.52	0.00	5	15.7	27.15	518	7.78	275.7	12.9	0.69	Ca-Mg-HCO ₃
N6	Alüvyon		3.72	2.1	0.34	0.01	0.17	0.1	0.00	5.5	15.6	29.1	504	7.39	477.7	5.51	0.28	Ca-Mg-HCO ₃
N7	Alüvyon		6.33	1.62	0.42	0.34	0.33	0.31	0.00	7	15.8	39.75	687	7.31	612.9	4.82	0.29	Ca-Mg-HCO ₃
N8	Alüvyon		6.19	1.61	0.43	0.28	0.32	0.29	0.00	6.6	15.8	39	674	7.09	535.3	5.05	0.30	Ca-Mg-HCO ₃
N9	Alüvyon		2.47	3.68	0.78	0.05	0.5	0.67	0.00	6.5	15.6	30.75	658	7.49	344.8	11.17	0.62	Mg-Ca-HCO ₃
N10	Alüvyon + Kireçtaşı		4.13	3.59	2.46	0.33	1.31	1.16	0.00	6.6	17.1	38.65	842	7.36	531.5	23.4	1.77	Ca-Mg-HCO ₃
N11	Alüvyon + Kireçtaşı		4.23	2.2	0.77	0.15	0.37	0.25	0.00	5.7	16.1	32.15	589	7.43	352.9	10.47	0.60	Ca-Mg-HCO ₃
N12	Alüvyon + Kireçtaşı		3.03	3.68	0.22	0.01	0.16	0.23	0.00	7.8	16.3	31.7	643	7.49	541.6	3.34	0.17	Ca-Mg-HCO ₃
N13	Alüvyon		5.7	1.27	0.18	0.01	0.16	0.05	0.00	6.8	16.2	34.85	586	7.29	279.3	2.51	0.13	Ca-Mg-HCO ₃
N14	Alüvyon + Kireçtaşı		5.97	0.93	0.45	0.03	0.39	0.41	0.00	7	16.3	34.5	712	7.02	456.6	6.09	0.34	Ca-Mg-HCO ₃

Çalışma alanındaki su örneklerinin analiz sonuçları kullanılarak hesaplanan Sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) değerleri genel olarak 0.13 ile 1.77 arasında, % Na değerleri ise 2.51–23.4 arasında değişmektedir.

Çalışma alanındaki su örneklerinden N3 ve N9 nolu örnekler Mg-Ca-HCO₃; diğer tüm örnekler Ca-Mg-HCO₃ su tipinde olup, alkali toprak elementlerinin (Ca+Mg), alkali elementlere (Na+K) göre daha fazla olduğu, zayıf asit köklerinin (CO₃+HCO₃) güçlü asit köklerinden (SO₄+Cl) fazla olduğu, karbonat sertliği % 50'den fazla olan suları temsil etmektedir (Şekil 5).

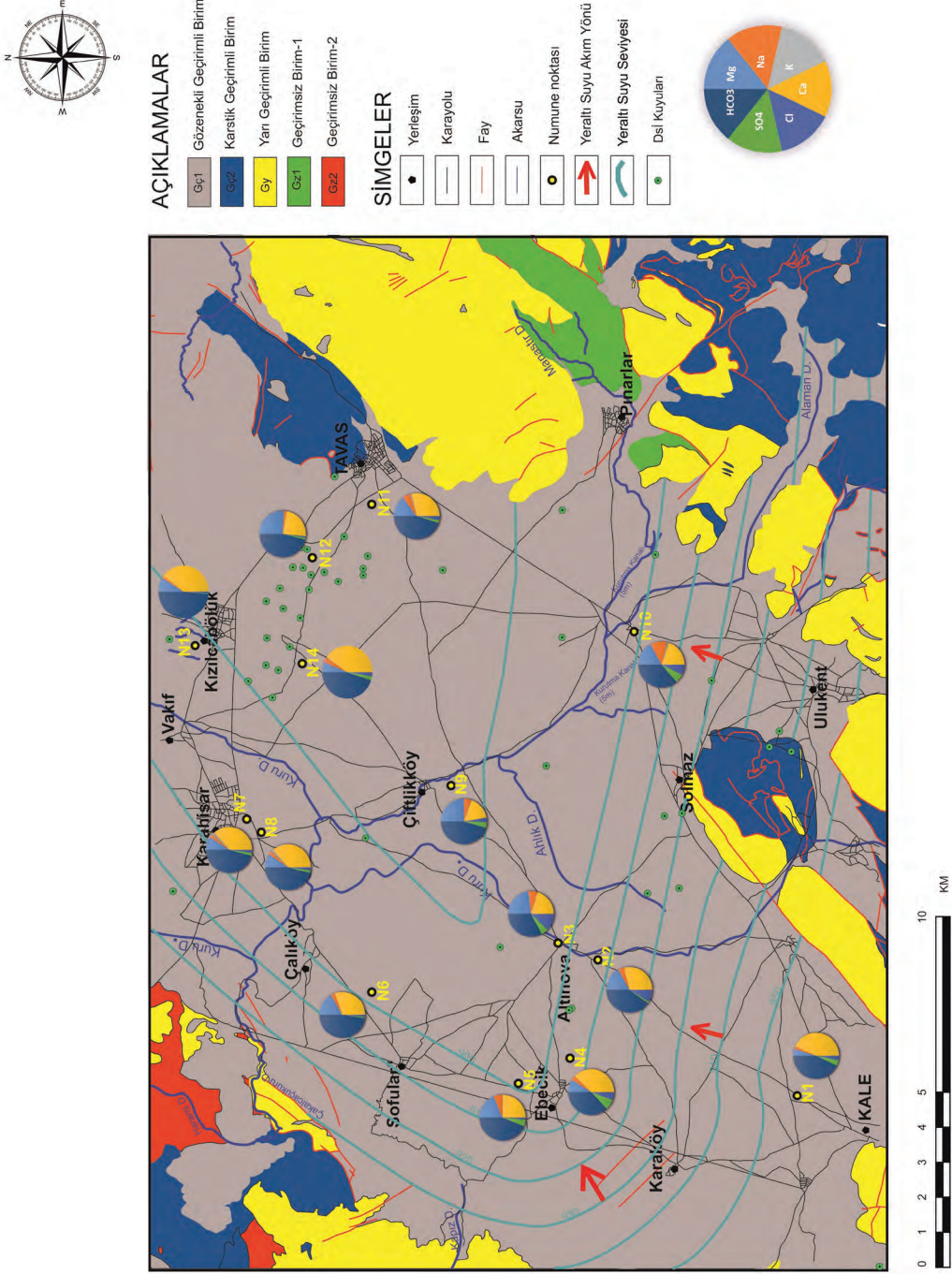
Su örneklerinin major iyonlara ait analiz sonuçları kullanılarak hazırlanan hidrojeokimya haritası Şekil 6'da verilmiştir. Gibss Diyagramında su örneklerinin tamamı "Kayaç

Baskın" bölgesine düşmektedir (Şekil 7). Bu da, su kimyasını kontrol eden ana mekanizmanın, su-kayaç etkileşimi olduğuna işaret etmektedir. Yeraltı suları genel olarak kireçtaşı ve dolomit gibi kalkerli kayalar ile etkileşim halindedir ve baskın su tiplerinin söz konusu kayaç-su etkileşimi sonucunda geliştiği görülmektedir. Ortaç ve mafik magmatik kayalarda yoğun olarak Na-Ca feldspat ve koyu renkli silikat mineralleri (biyotit, amfibol, piroksen) hakimdir. Çalışma alanındaki yeraltı suyu örnekleri genel olarak alüvyon birimden filtrenmekte olup N10, N11, N12 ve N14 nolu örnekler alüvyon ve kireçtaşı birimlerinden filtrenmektedir. Alüvyon birim ise farklı türde sedimanter ve magmatik kökenli çevre kayalardan ayrılmış kum, çakıl, çakıllı kil, killi kum ve killi kumlu çakıl seviyeleri içermektedir.



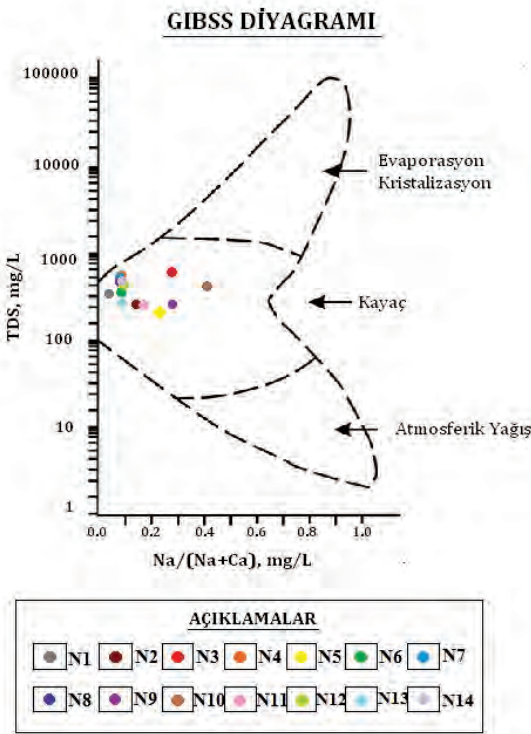
Şekil 5. Piper diyagramı.

Figure 5. Piper diagram.



Şekil 6. Çalışma alanının hidrojeokimya haritası.
 Figure 6. Hydrogeochemical map of the study area.

Bu tür kayaçlar ile ilişkili sularda genel olarak Ca iyonları artışının Ca feldspatlar ile Mg iyonları artışının ise daha çok biyotit, amfibol, piroksen gibi silikat minerallerinin ayrışması sonucunda gerçekleştiği düşünülmektedir. Su örneklerindeki baskın HCO_3 iyonu ise bölgede yer yer çökelmiş olan kireçtaşı, killi kireçtaşı birimleri ile birlikte feldspat minerallerinin ayrışması sonucunda açığa çıkan kalsit mineralleri ile ilişkili kayaç-su etkileşimi sonucudur.



Şekil 7. Gibbs Diyagramı.

Figure 7. Gibbs Diagram.

Suların İçme Suyu Olarak Kullanılabilirliği

Çalışma alanında bulunan yeraltı sularından alınan numunelerinin ağır metal ve nitrat analiz sonuçları Çizelge 3’de verilmiştir. Sağlık Bakanlığınca yayınlanmış olan İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik

(2005) ile uluslararası içme suyu standardı olan Dünya Sağlık Örgütü (WHO-2011) tarafından belirlenmiş limit değerler kullanılarak değerlendirme yapılmıştır. Değerlendirmelerin geçerliliği analizi yapılan parametreler ile sınırlıdır. Elde edilen sonuçlara göre, çalışma alanında N4 numunesi Mn değeri limit değerinin üstündedir. N1 ve N4 numuneleri Fe bakımından, diğer bütün numuneler ise As bakımından limit değerinin üstünde olup içme suyu olarak kullanıma uygun değildir. NO_3 konsantrasyonlarına göre de N1, N3, N4 no’lu örneklerde sınır değerleri aşımı belirlenmiştir. Çalışma alanındaki diğer su örneklerinin her ne kadar nitrat içeriği bakımından da içilebilir özellikte olduğu görülse de örneklerin nitrat değerleri 5-10 mg/l’nin üzerinde olduğu için suların antropojenik kökenli yani yapay gübre kullanımı ve hayvan atıklarının gübre olarak kullanımı nedeni ile kirlendiğini göstermektedir.

Yeraltı Sularında As Kirliliğinin Değerlendirilmesi

ITAS (2005) ve WHO (2011) tarafından içme suyu limit değeri 10 ppb olarak belirlenen As parametresi yeraltı suyu örneklerinde 30,6 ppb ile 63,6 ppb arasında ölçülmüş olup yeraltı suyu örneklerinin As dağılım haritası Şekil 8’de verilmiştir. Hidrojeokimyasal değerlendirmelere göre bölgedeki yeraltı suyu kimyası kayaç-su etkileşimi sonucunda şekillenmektedir. Bu nedenle, As parametresinin yeraltı suyu örneklerinde yüksek oranlarda ölçülmüş olması kayaç-su etkileşiminin bir sonucudur. Bölgede yapılan tarımsal faaliyetler sırasında kullanılan ve inorganik bileşikler içeren tarımsal ilaçların da yeraltı sularında As kirliliğini artırdığı düşünülmektedir.

Doğan ve Doğan (2007) tarafından yapılan çalışmada Türkiye’nin batısındaki

bazı bölgelerde jeojenik kaynaklı arsenik (As) zenginleşmelerinin evaporitik mineraller, karbonatlar, volkanik kayalar ve kömür oluşumları ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. Arsenik kaynaklarının başlıca kolemanit (269-3900 ppm), jips (11-99,999 ppm), alunite (7-10 ppm) ve çört (54-219 ppm) içeren evaporatik mineraller olduğuna işaret etmektedir. Ayrıca, Mesozoik ve Senozoik karbonat akiferlerinin kırık hatları boyunca realgar ve orpiment formunda yüksek As konsantrasyonuna sahip sekonder epitermal jipsler doğal As kaynağıdır (Doğan ve Doğan, 2007; Baba ve Sözbilir, 2012). Yeraltı sularında doğal As zenginleşmesinde kum ve karbonatların yanısıra sülfid mineralleri, oksitler, organik maddeler ve killer çok daha etkin rol oynamaktadır (Smedley ve Kinniburgh, 2002). Çalışma sahasında geniş alanlarda kumtaşı, kiltası ve marn aralanmasından oluşan Neojen çökeller yüzeylenmektedir. Bununla birlikte,

akifer özelliği taşıyan kireçtaşı ve dolomitik kayalar bölgede yaygın olarak bulunmaktadır.

Suların Sulama Suyu Olarak Kullanılabilirliği

Çalışma alanındaki yeraltı sularının sulamada kullanılabilirliğini belirlemek için Artıksal sodyum karbonat (RSC), Geçirgenlik indeksi (PI), Sodyum Adsorbsiyon Oranlarına (SAR) ve Özgül Elektriksel İletkenlik (EC) parametreleri kullanılmıştır. Bu parametrelerin değerleri Çizelge 2 ve 4'de listelenmiştir.

ABD Tuzluluk Diyagramına göre çalışma alanında bulunan sular C2S1 (Orta Tuzlulukta ve Az Sodyumlu) sular sınıfında yer almaktadır. Bu sular içerisinde N3 ve N10 numuneleri C3S1 (fazla tuzlu ve az sodyumlu) sular sınıfındadır. Dolayısıyla, bu iki örneğin sulama suyu olarak kullanılabilirliği sınırlıdır (Şekil 9).

Çizelge 3. Yeraltı sularının ağır metal ve nitrat analiz sonuçları.

Table 3. Heavy metal and nitrate analysis results of the groundwater samples.

Numune no	Akifer Birim	Al	Mn	Cu	Zn	Pb	Hg	Cd	Se	S	As	Fe	Cr	Ni	NO ₃
		ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppm	ppb	ppb	ppb	ppb
N1	Alüvyon	90	9.85	3.6	4.7	0.5	<0.1	<0.05	<0.5	6	30.6	479	7.8	3.4	50940
N3	Alüvyon	2	0.28	3.1	4.1	<0.2	<0.1	<0.05	1.0	18	48.1	<10	32.0	0.4	64770
N4	Alüvyon	84	75.94	2.2	610.0	<0.2	<0.1	<0.05	1.0	15	41.6	4329	7.7	7.4	104410
N5	Alüvyon	8	0.78	4.8	709.0	6.2	<0.1	<0.05	0.9	8	64.5	<10	8.1	2.3	41810
N6	Alüvyon	8	0.88	3.0	17.4	<0.2	<0.1	<0.05	<0.5	3	43.0	<10	19.2	2.6	23440
N7	Alüvyon	5	0.71	1.6	213.3	<0.2	<0.1	<0.05	<0.5	7	44.5	<10	8.0	2.6	36920
N8	Alüvyon	4	1.65	6.7	597.7	0.6	<0.1	<0.05	<0.5	7	47.7	<10	8.7	1.7	36090
N10	Alüvyon + kireçtaşı	15	1.03	2.5	4.8	<0.2	<0.1	<0.05	2.4	19	50.0	<10	8.1	0.3	46130
N11	Alüvyon + kireçtaşı	12	2.56	9.6	405.3	0.7	<0.1	<0.05	0.6	6	51.9	<10	42.3	<0.2	37170



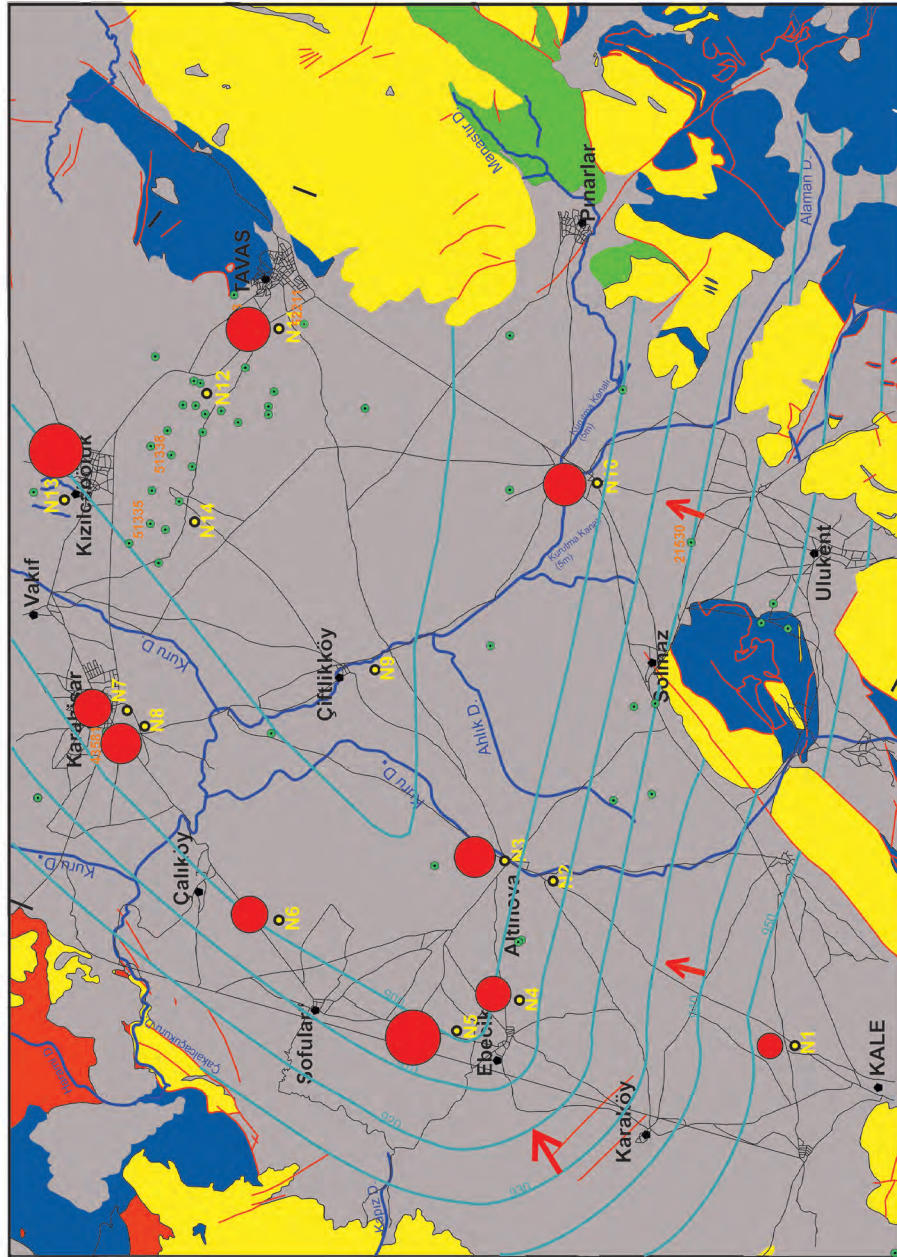
AÇIKLAMALAR

Gs1	Gözenekli Geçirimli Birim
Gs2	Karstik Geçirimli Birim
Gy	Yarı Geçirimli Birim
Gz1	Geçirimsiz Birim-1
Gz2	Geçirimsiz Birim-2

SİMGELER

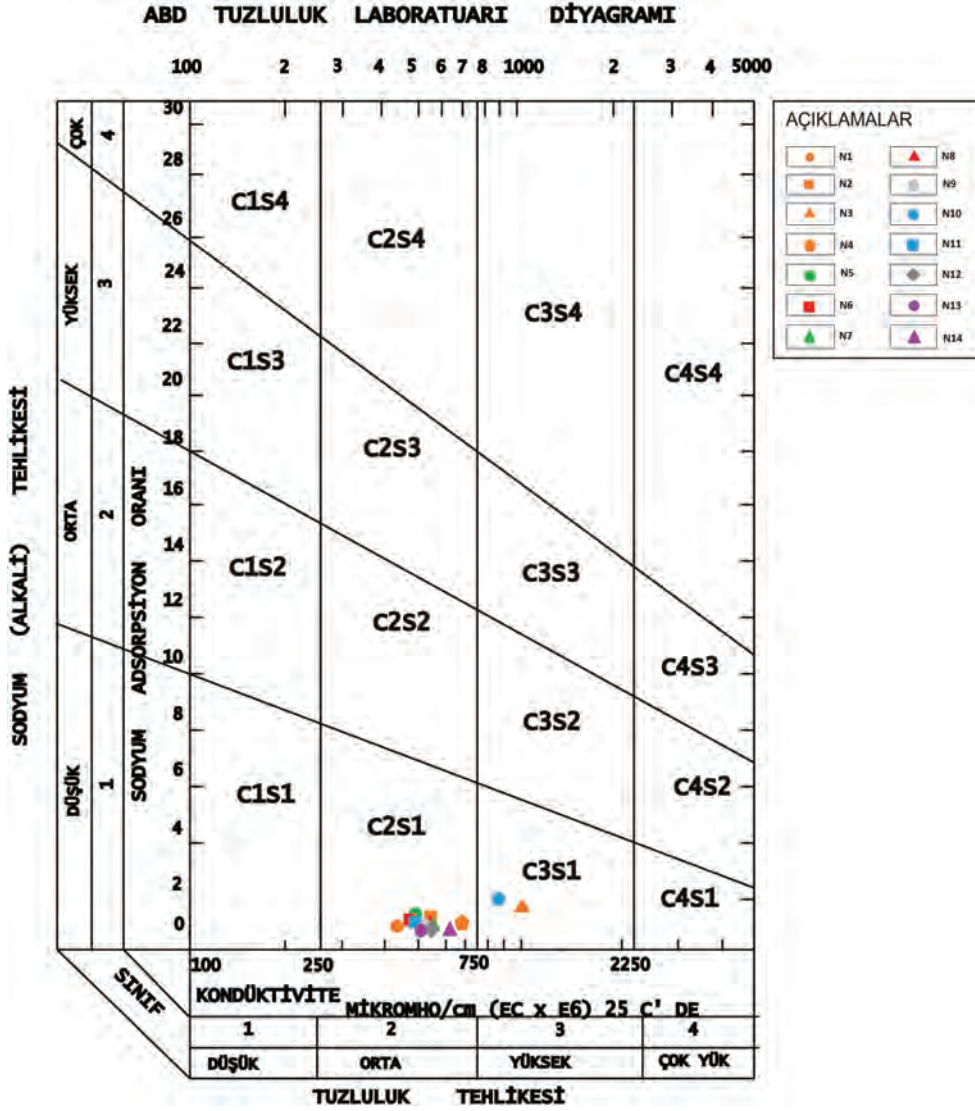
•	Yerleşim
—	Karayolu
—	Fay
—	Akarsu
•	Numune noktası
↑	Yeraltı Suyu Akım Yönü
↪	Yeraltı Suyu Seviyesi
•	Dsi Kuyuları
•	Arsenik Dağılımı

0,20 ppb



Şekil 8. Yeraltı suyu örneklerine ait As dağılım haritası.

Figure 8. As distribution map of the groundwater samples.



Şekil 9. ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramı.

Figure 9. US salinity diagram.

Artıksal sodyum karbonat ($RSC = (rCO_3 + rHCO_3) - (rCa + rMg)$), toprakta sodyum oranının artma olasılığını önceden tahmin edilmesini sağlar. Yüksek RSC toprakta sodikleşmeye yol açacağından sulama suyunda bulunması istenmemektedir. RSC değerlerine göre N12

numunesi *“iyi kaliteli II. Sınıf su”*, diğer numuneler *“çok iyi kalitedeki I. Sınıf su”* sınıfında yer almaktadırlar (Çizelge 7). Hiç bir su kullanılabilir ($>2,5$) RSC değerine sahip değildir.

Çizelge 4. İnceleme alanındaki yeraltı sularının RSC ve PI değerleri.

Table 4. RSC and PI values of the groundwater in the study area.

Örnek No	Türü	RSC	PI
N1	Sondaj	-2.04	35.96
N2	Kaynak	-0.59	43.43
N3	Sondaj	-3.5	34.84
N4	Sondaj	-3.06	32.46
N5	Sondaj	-0.43	48.81
N6	Sondaj	-0.32	43.59
N7	Sondaj	-0.95	36.62
N8	Sondaj	-1.2	36.44
N9	Sondaj	0.35	48.04
N10	Sondaj	-1.12	49.40
N11	Sondaj	-0.73	43.85
N12	Sondaj	1.46	45.92
N13	Kaynak	-0.17	38.98
N14	Sondaj	0.1	42.11

Geçirgenlik indeksi ($PI = 100 \times [(rNa + r\sqrt{HCO_3}) / (rNa + rCa + rMg)]$) değeri Dünya Sağlık Örgütü tarafından yapılan çalışmalarda sulama suyu için uygunluğun değerlendirilmesinde kullanılmaktadır (Doneen, 1964; WHO, 1989). PI değerine göre üç sınıf ayırt edilmektedir (<%25 Sınıf I, (%25-75 Sınıf II ve >%75 Sınıf III). Çalışma alanındaki sular PI değerleri hesaplandığında tüm sular “II. Sınıf Sular” yani iyi sulama suyu özelliği taşımaktadır.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışma alanında bulunan jeolojik birimler litolojik özelliklerine göre geçirimli, yarı geçirimli ve geçirimsiz birimler olarak ayırtlanmıştır. Acıgöl Grubu, Pliyo-Kuvaterner Ayırtlanmamış Kırıntılı Birimler, Yamaç Molozu, Alüvyon Yelpazesi ve Alüvyon gözenekli

geçirimli birim (Gç1), Çameli formasyonu Kireçtaşı üyesi, Ağaçlı formasyonu, Ortadağ formasyonu (Bodrum Napı, Likya Napları) karstik geçirimli birim (Gç2) oluşturmaktadır. Eşme Metamorfikleri geçirimsiz birim-1 (Gz1) olarak tanımlanırken, Marmaris Peridoditi (Marmaris Ofiyolit Napı), Kızılcadağ Melanj ve Olistostromu (Marmaris Ofiyolit Napı), geçirimsiz birim-2 (Gz2) olarak tanımlanmıştır. Babadağ formasyonu, Aksu formasyonu Çamova üyesi ve Gebeciler formasyonu ise yarı geçirimli birim (Gy) olarak sınıflandırılmıştır. Bölgede yeraltı suyu derinlikleri 2.5- 43.2 m arasında değişmekte olup yeraltı suyu seviyeleri ise 880,8 m ile 960,1 m arasındadır. Tavas ovasında yeraltı suyu akım yönünün Karaköy ve Ulukent civarında kuzeydoğu'ya doğru, Kale civarında ise kuzeye doğru olduğu belirlenmiştir.

Su örneklerinin tamamı genel olarak Ca-Mg-HCO₃ veya Mg-Ca-HCO₃ tipi sular fasiyesindedir. Su tiplerinin gelişmesindeki ana etken kayaç-su etkileşimidir. Yeraltı suları genel olarak kireçtaşı ve dolomit gibi kalkerli kayaçlar ile etkileşim halindedir. Ortaç ve mafik magmatik kayaçlar ile etkileşimli sulara Ca iyonlarının artışı Ca feldspatlar ile, Mg iyonlarının artışı ise daha çok biyotit, amfibol, piroksen gibi silikat mineralleri ayrışmasına bağlı gerçekleşmektedir. HCO₃ iyonu ise bölgede yer yer çökelmiş olan kireçtaşı, killi kireçtaşı birimleri ile birlikte feldispat minerallerinin ayrışması sonucunda açığa çıkan kalsit mineralleri ile ilişkili kayaç-su etkileşimi sonucunda artış göstermektedir.

Çalışma alanındaki sular As/Mn/Fe/NO₃ parametrelerine göre insani tüketime uygun olmayıp, genelde Orta Tuzlu ve Az Sodyumlu sulama suları sınıfında yer almaktadır. Sadece N3 ve N10 örnekleri C3S1 (Fazla Tuzlu ve Az Sodyumlu) sulama suları sınıfındadır. RSC değerlerine göre N2 örneği “İyi kaliteli II.sınıf

sulama suyu” diğer tüm sular, “Çok iyi kalitedeki I. Sınıf sulama suyu” sınıfında yer alırken, PI değerlerine göre tüm sular “II.Sınıf Sulama Suyu” yani iyi sulama suyu özelliği taşımaktadır.

Elde edilen sonuçlara göre Tavas ovası yeraltı suları As/Mn/Fe/NO₃ bakımından içme suyu olarak kullanılamaz özellikte olmasına rağmen özellikle küçük yerleşimlerde bölge halkı tarafından yeraltı suyunun içmesuyu olarak kullanıyor olması insan sağlığı açısından ciddi risk oluşturmaktadır. Bu durumda ilgili kurum ve kuruluşlar tarafından alternatif içme suyu kaynaklarının araştırılarak bölge halkının uyarılması ve bilinçlendirilmesi gerekmektedir. Ayrıca, yapılan tarımsal faaliyetler sırasında kullanılan gübre ve zirai ilaçların kontrol altında tutulması ve denetlenmesi yeraltı suyunun kalite bakımından sürdürülebilirliği için zorunlu görülmektedir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında yapılan yüksek lisans tez çalışmasının bir ürünüdür. Yazarlar, çalışmayı finansal olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na (Proje No: FYL-2018-6757) teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Akın, M. ve Akın, G., 2007. Suyun önemi, Türkiye’de su potansiyeli, su havzaları ve su kirliliği, Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi 47, 2, 105-118.
- Atalık, A., 2006. Küresel ısınmanın su kaynakları ve tarım üzerine etkileri”, Bilim ve Ütopya, 139, 18-21.
- Baba A., Sözbilir H., 2012. Source of arsenic based on geological and hydrogeochemical properties

of Geothermal Systems in Western Turkey, Chemical Geology 334, 364-377.

- Dağlı, H., 2005. İçmesuyu kalitesi ve insan sağlığına etkileri, Bizim İller, İller Bankası Aylık Yayın Organı, Sayı 3, 16-21.
- Dogan, M., Dogan, A.U., 2007. Arsenic mineralization, source, distribution, and abundance in the Kutahya region of the western Anatolia, Turkey. Environmental Geochemistry and Health, 29, 119-129.
- Doneen, L.D., 1964. Notes on water quality in agriculture. Published as a water science and engineering paper 4001, Department of Water Science and Engineering, University of California.
- Gibbs, R.J., 1970. Mechanisms controlling world water chemistry. Science 17, 1088-1090.
- Haviland, W.A., 2002. Kültürel Antropoloji (Çev: Hüsamettin İnaç, Seda Çiftçi). No: 143. Sosyoloji Serisi: 3. İstanbul: Kaktüs Yayınları.
- İTAS, 2005. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik. Resmi Gazete No: 25730.
- Piper, A. M., 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. Transactions of the American Geophysical Union, 25, 914-923.
- Smedley P. L., Kinniburgh D. G., 2002. A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. Applied Geochemistry 17(5), 517-568.
- Şenel, M., Öztürk, E. M., Özdemir, T., Kadıncık, G., Metin, Y., Serdaroğlu, M., Örcen, S., 1994. Fethiye (Muğla), Kalkan (Antalya) ve Kuzeyinin Jeolojisi, MTA Raporu, Ankara.
- WHO, 1989. Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture. In: Report of a WHO scientific group: technical report series 778, WHO, Geneva, p 74.
- WHO, 2011. World Health Organisation Guidelines for Drinking-water Quality, Third Edition Incorporating The First and Second Addenda, WHO Publication, Geneva, 668 p. 2008.

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:

Sürelili yayımlar 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. Sürelili 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 ($\sigma_{\text{muss}} = \sigma_c^{0.5}$ 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 deyim yapılsa bibliyografik bilgiler dipnotta değil, "Kaynaklar Dizini"nde verilmelidir.

YAZILARIN GÖNDERİLMESİ

JEOLJİ 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

JEOLJİ 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- Araştırma Makalesi / *Research Article*
Baki Ömer FURAT, Fikri BULUT
Güneyce Karayolu Tüneli Sağ Tüp Giriş ve Çıkış Bölümlerinin Jeoteknik ve Destek Sistemi Açısından İncelenmesi
Investigation of Right Tube Inlet and Outlet Sections of Güneyce Highway Tunnel in terms of Geotechnical and Support System
- 19- Araştırma Makalesi / *Research Article*
Gülseren DAĞDELENLER
İki Farklı Örneklem Tekniği Kullanılarak Oluşturulan Heyelan Duyarlılık Haritalarının Frekans Oranı (FO) Yöntemi ile Karşılaştırılması
Comparison of the Landslide Susceptibility Maps Using Two Different Sampling Techniques with the Frequency Ratio (FR) Method
- 41- Araştırma Makalesi / *Research Article*
Saffet Deniz KARAGÖZ, Cem KINCAL, M. Yalçın KOCA
Menderes Masifi'nde Açılmış Açık Ocak Albit Madenindeki Bir Duraysızlığın Nedenlerinin Araştırılması ve Robotic Total Station Cihazı Kullanılarak Yenilme Öncesinde Şev Hareketlerinin İzlenmesi
Investigation of the Causes of an Instability in an Albite Mine Opened in Menderes Massif and Monitoring Slope Movements Before the Failure Employing Robotic Total Station Equipment
- 67- Araştırma Makalesi / *Research Article*
Koray ULAMIŞ, Recep KILIÇ
Karabağlar (İzmir) Bölgesindeki Heyelanların Olası Yenilme Koşulları
Possible Failure Conditions of the Landslides in Karabağlar (İzmir)
- 79- Araştırma Makalesi / *Research Article*
Muhterem DEMİROĞLU, Yüksel ÖRGÜN
Attepe - Elmadag-Menteş-Karacat Demir Sahalarında Yüzeysel Su-Yeraltı Suyu İlişkisinin Araştırılması
Investigation of Surface Water-Groundwater Interaction in Attepe - Elmadag-Mentes - Karacat Iron Fields
- 99- Araştırma Makalesi / *Research Article*
Şehnaz ŞENER, Güzde CANPOLAT
Tavas (Denizli) Ovası ve Çevresinin Hidrojeokimyasal İncelemesi
Hydrogeochemical Investigation of Tavas (Denizli) Plain and Its Vicinity