

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ

Journal of Geological Engineering

Cilt - Volume 39

Sayı - Number 2

ISSN 1016 - 9172

Aralık / December 2015



TMMOB JEOLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI
Chamber of Geological Engineers of Turkey

EDİTÖR / EDITOR

Tamer TOPAL
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Jeoloji Mühendisliği Bölümü
06800, Ankara
Tel : 0 312 210 26 90
Faks : 0 312 210 57 50
E-Posta : topal@metu.edu.tr

TEKNİK EDİTÖR / TECHNICAL EDITOR

Yavuz KAYA
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Jeoloji Mühendisliği Bölümü

Makale Gönderim Adresi:

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

Yayın Türü: Yaygın Süreli Yayın

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

Yayın Sahibi: TMMOB JMO Adına
Hüseyin ALAN

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

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

Yayın Kurulu / Editorial Board

Erhan ALTUNEL (Osman Gazi Üniversitesi)
Can AYDAY (Anadolu Üniversitesi)
Serdar BAYARI (Hacettepe Üniversitesi)
Zeki ÇAMUR (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)
Hasan ÇETİN (Çukurova Üniversitesi)
Mehmet EKMEKÇİ (Hacettepe Üniversitesi)
Nusret EMEKLİ (İller Bankası)
Yavuz ERGİNTAV (Karayolları Genel Müdürlüğü)
Candan GÖKÇEOĞLU (Hacettepe Üniversitesi)
Reyhan Kara GÜLBAY (Karadeniz Teknik Üniversitesi)
Nilgün GÜLEÇ (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)
Fikret KAÇAROĞLU (Muğla Üniversitesi)
Remzi KARAGÜZEL (İstanbul Teknik Üniversitesi)
Nurkan KARAHANOĞLU (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)
Muazzez Çelik KARAKAYA (Selçuk Üniversitesi)
K. Erçin KASAPOĞLU (Hacettepe Üniversitesi)
Recep KILIÇ (Ankara Üniversitesi)
Mehmet Yalçın KOCA (Dokuz Eylül Üniversitesi)
Ayhan KOÇBAY (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü)
Halil KUMSAR (Pamukkale Üniversitesi)
İlkay KUŞÇU (Muğla Üniversitesi)
Mahmut MUTLUTÜRK (Süleyman Demirel Üniversitesi)
Cengiz SOYLU (Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı)
Mehmet Lütfi SÜZEN (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)
Şakir ŞİMŞEK (Hacettepe Üniversitesi)
Atiye TUĞRUL (İstanbul Üniversitesi)
Necdet TÜRK (Dokuz Eylül Üniversitesi)
Asuman TÜRKMEÑOĞLU (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)
Taner ÜNLÜ (Ankara Üniversitesi)
Namık YALÇIN (İstanbul Üniversitesi)
Ali Bahadır YAVUZ (Dokuz Eylül Üniversitesi)
Hasan YAZICIGİL (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)
Işık YILMAZ (Cumhuriyet Üniversitesi)
Erdoğan YÜZER (İstanbul Teknik Üniversitesi)

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

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

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

Hüseyin ALAN
Faruk İLGÜN
Murat ATEŞOĞULLARI
Halil İbrahim YİĞİT
Ümit UZUNHASANOĞLU
Rengin KONUK
Nedret Beril AÇIKGÖZ

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

Jeoloji Mühendisliği Dergisi JMO yayını olup para ile satılmaz.

İçindekiler / Contents

Makaleler / Articles

59- Seda ÇELLEK, Fikri BULUT, Hakan ERSOY

**AHP Yöntemi'nin Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Kullanımı ve Uygulaması
(Sinop ve Yakın Çevresi)**

Utilization and Application of AHP Method in Landslide Susceptibility Mapping Production (Sinop and its Surroundings)

91- Ömer ÜNDÜL, Florian AMANN, Peter K. KAISER

**Sülfatça Zengin Killi Kayaların Dayanım ve Deformasyon Özellikleri ile Gevrek Kırılma Süreçleri
Strength and Deformation Properties of Sulphate-rich Clay Rocks and Their Brittle Failure Processes**

117- Ali BOZDOĞAN, Derya ÖZ, Zeynep ÖZDEMİR, Erkan DEMİR, Zübeyde HATİPOĞLU BAĞCI

**Mezitli Deresi Boyunca Biyojeokimyasal Anomalilerin İncelenmesi, Mersin
An Investigation of Biogeochemical Anomalies Along the Mezitli Stream, Mersin**

AHP Yöntemi'nin Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Kullanımı ve Uygulaması (Sinop ve Yakın Çevresi)

Utilization and Application of AHP Method in Landslide Susceptibility Mapping Production (Sinop and its Surroundings)

Seda ÇELLEK¹, Fikri BULUT², Hakan ERSOY²

¹ *Ahi Evran Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, KIRŞEHİR*

² *Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, TRABZON*

Geliş (received) : 05 Haziran (June) 2015
Düzeltilme (revised) : 13 Ağustos (August) 2015
Kabul (accepted) : 20 Ağustos (August) 2015

ÖZ

Bilgisayar destekli haritalama teknolojileri ve bunların geliştirilmesinde kullanılan yöntemlerde meydana gelen gelişmeler, daha yüksek performansla sahip heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesini sağlamıştır. Bu çalışmada, bu yöntemlerden biri olan AHP'nin (Analitik Hiyerarşi Süreci) heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde kullanımına ilişkin ayrıntılı bir literatür derlemesi yapılmış, ayrıca AHP ile Sinop ve çevresinin heyelan duyarlılık değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde bakı, litoloji, arazi kullanım sınıfı, yamaç eğriselliği, eğim, yükseklik, anayola, akarsuya ve yapısal unsurlara yakınlık, çalışma sahasında heyelanları kontrol eden faktörler olarak dikkate alınmıştır. Kullanılan faktörler ağırlık değerlerine göre grid haritalarına dönüştürülmüş ve karşılaştırma matrisindeki değerlerin değişik şekillerde ele alınması ile çeşitli heyelan duyarlılık haritaları üretilmiştir. Analiz sonuçları, heyelanları temelde kontrol eden faktörlerin anayola uzaklık, bakı ve litoloji olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak, heyelan duyarlılığı açısından Sinop ve yakın çevresindeki çalışma sahasının, % 10.77'sinin çok düşük derecede heyelana duyarlı, % 10.59'unun düşük derecede heyelana duyarlı, % 52.64'ünün orta derecede heyelana duyarlı, %25.66'sının yüksek derecede, % 0.34'ünün çok yüksek derecede heyelana duyarlı olduğu belirlenmiştir. Bu çalışma sonucunda, özellikle son yıllarda artan biçimde kullanılan AHP'nin çalışma alanı için yüksek performans sağladığı saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Analitik hiyerarşi süreci (AHP), Gerze, Heyelan, Heyelan Duyarlılığı, Sinop.

S. Çellek

E-posta:sedacellek@ahievran.edu.tr

ABSTRACT

Computer-aided mapping technologies and developments used in improvement of these methods have led to the production of higher performing landslide susceptibility maps. In this study, a thorough review of the literature about the production of landslide susceptibility maps by using AHP (Analytic Hierarchy Process) was made and, also, landslide susceptibility evaluation of Sinop and its surroundings was analyzed by AHP. In the evaluation of landslide susceptibility factors such as aspect, lithology, land use, curvature, slope, elevation and proximity to the main road, river and structural elements are considered to be controlling factors in the landslide process. These factors are turned into grid maps according to their weighted values and by handling the values in comparison matrices in different manners, and variety of landslide susceptibility maps produced. Analysis of results showed that main controlling factors of landslides are the proximity to main road, aspect and lithology. As a result, in terms of landslide susceptibility, very low landslide susceptibility is determined in the 10.77%, low landslide susceptibility determined in the 10.59%, moderate landslide susceptibility is determined in the 52.64%, high landslide susceptibility determined in the 25.66%, very high landslide susceptibility determined in the 0.34%, of Sinop and its proximity area. This study reveal that AHP, which has been used increasingly in the last years, provides high performance in the study area.

Key Words: *Analytical Hierarchy Process (AHP), Gerze, Landslide, Landslide Susceptibility, Sinop.*

GİRİŞ

Sanayileşme ve nüfus artışına bağlı olarak yeni yerleşim alanlarına olan gereksinim her geçen gün daha da artmaktadır. Buna bağlı olarak, yeni karayolu, demiryolu, liman, havaalanı gibi ana ulaşım bileşenleri inşa edilmekte ve bunlar için de yer ihtiyacı artmaktadır. Çoğu zaman yer seçimi için, her ölçütü karşılayan uygun alanlar ve/veya güzergahlar bulmak, neredeyse olanaksız hale gelmektedir. Ancak, bir sahada var olan doğal tehlikenin önceden bilinmesi, daha ekonomik ve emniyetli çözümlerin geliştirilmesini sağlayabilmektedir. En yaygın doğal tehlikelerden biri heyelanlar olup, dünyanın hemen her coğrafyasında, bu afetlere ve sonuçlarına sıklıkla rastlanmaktadır.

Heyelanlardan kaynaklanan zararların azaltılmasında ilk aşamada kullanılan en etkin yöntemlerin başında, uygun yer seçimi gelmektedir. Uygun yer seçimi için heyelanların ve gelecekte olması muhtemel heyelanların alansal yayılımının doğru biçimde bilinmesi hayati öneme sahiptir. Mevcut heyelanlar çeşitli yöntemlerle üretilen heyelan envanter çalışmaları ile ortaya konulabilirken, gelecekte olması muhtemel heyelanların alansal yayılımları heyelan duyarlılık değerlendirmeleri ile tespit edilebilmektedir.

Teknolojik gelişmeler heyelan duyarlılığını daha kolay uygulanabilir ve daha yüksek hassasiyette haritalar üretilebilir hale gelmiştir. Heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde

ağırlıklı olarak istatistiksel ve esnek hesaplama yöntemleri ile uzman görüşüne dayalı yöntemlerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Bu yöntemlerden biri olan AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci), özellikle son on yılda heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. Bu nedenle bu çalışmada AHP'nin heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde kullanımına ilişkin literatür incelenmiş ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. Bunun yanı

sıra, yöntem, heyelanların gözlemlendiği Sinop ve yakın çevresinde uygulanmış ve heyelan duyarlılık haritaları üretilmiştir. Diğer bir ifade ile AHP'nin heyelan duyarlılığında kullanımının irdelenmesi ve uygulanması çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

Bu amaçla son onbeş yıla ait (2000-2015) literatür ayrıntılı incelenmiş, konusu heyelan duyarlılığı ve AHP olan çalışmalar derlenerek (Çizelge 1) genel bir yorumlama yapılmıştır.

Çizelge 1. Son on beş yıla ait AHP ile hazırlanan heyelan duyarlılığına ait çalışmalar.

Table 1. Landslide susceptibility studies in the Last Fifteen Years Prepared with AHP.

KAYNAK	ÜLKE	KAYNAK	ÜLKE
Yang vd. (2015)	Çin	Quan and Lee (2012)	Kore
Shafri vd. (2010)	Malezya	Akgun (2012)	Türkiye
Zare vd. (2014)	İran	Pourghasemi vd. (2012a)	İran
Kornejady vd. (2014)	İran	Pourghasemi (2012b)	İran
Saadatkah vd. (2014a)	Malezya	Hasekioğulları ve Ercanoğlu (2012)	Türkiye
Althuwaynee vd. (2014)	Kore	Mondal ve Maiti (2012)	Hindistan
Habibi (2014)	İran	Thanh ve Smedt (2012)	Viyetnam
Othman vd. (2014)	Malezya	Reis vd. (2012)	Türkiye
Ivanova (2014)	Bulgaristan	Yanrong vd. (2012)	Çin
Kavzoglu vd. (2014)	Türkiye	Diop (2012)	G. Afrika
Daneshvar (2014)	İran	Yalcin vd. (2011)	Türkiye
Ahmed (2014)	Bangadeş	Khezri (2011)	İran
Saadatkah vd. (2014b)	Malezya	Guoqing vd. (2011)	Çin
Niu vd. (2014)	Çin	Rozos vd. (2011)	Yunanistan
Chalkias vd. (2014)	Yunanistan	Daneshvar ve Bagherzadeh (2011)	İran
Feizizadeh ve Blaschke (2013a)	İran	Suh vd. (2011)	Kore
Feizizadeh vd. (2014a)	İran	Gaprindashvili (2011)	Gürcistan
Qiu vd. (2014)	Çin	Youssef vd. (2011)	Mısır
Pourghasemi vd. (2014)	İran	Ghosh vd. (2011)	Hindistan
Chen vd. (2014)	Çin	Akgün ve Türk (2010)	Türkiye
Youssef (2015)	S. Arabistan	Feizizadeh vd. (2010)	İran
Margarint ve Niculita (2014)	Romanya	Intarawichian ve Dasananda (2010)	Tayland
Ilanloo vd. (2014)	İran	Gorsevski ve Jankowski (2010)	Moskova
Tazik vd. (2014)	İran	Barredo vd. (2000)	İspanya

Çellek, Bulut, Ersoy

Çizelge 1. (devamı)

Table 1. (cont'd.)

Moradi ve Rezaei (2014)	İran	Marjanoviç (2009a)	Sırbistan
Althuwaynee ve Pradhan (2014)	Malezya	Vahidnia vd. (2009)	İran
Feizizadeh (2014b)	İran	Prabu ve Ramakrishnan (2009)	Hindistan
Kayastha vd. (2013)	Nepal	Marjanoviç (2009b)	Sırbistan
Marjanović vd. (2013)	Sırbistan	Jin vd. (2009)	Kore
Calligaris vd. (2013)	Pakistan	Chuan vd. (2009)	Çin
Feizizadeh vd. (2013a)	İran	Wu ve Chen (2009)	Tayvan
Ma vd. (2013)	Çin	Marjanoviç vd. (2009)	Sırbistan
Bathrellos vd. (2013)	Yunanistan	Yalçın (2008)	Türkiye
Feizizadeh ve Blaschke (2013b)	İran	Akgün vd. (2008)	Türkiye
Mustafa vd. (2013)	Malezya	Domakinis vd. (2008)	Yunanistan
Bhatt vd. (2013)	Nepal	Ercanoğlu vd. (2008)	Türkiye
Demir vd. (2013)	Türkiye	Kamp vd. (2008)	Pakistan
Pourghasemi vd. (2013)	İran	Abella ve Van Westen (2007)	Küba
Bagherzadeh ve Daneshvar (2013)	İran	Akgün ve Bulut (2007)	Türkiye
Park vd. (2013)	Kore	Yalçın ve Bulut (2007)	Türkiye
Mondal ve Maiti (2013)	Hindistan	Ladas vd. (2007)	Yunanistan
Feizizadeh vd. (2013)	İran	Gorsevski vd. (2006)	Moskova
Solle vd (2013)	Endonezya	Yoshimatsu ve Abe (2006)	Japonya
Feizizadeh vd. (2013b)	İran	Ayalew vd. (2005)	Japonya
Chingkei vd. (2013)	Hindistan	Marko Komac (2005)	Slovenya
Solle (2013)	Endonezya	Esmali ve Ahmadi (2003)	İran
Yamani vd. (2013)	İran	Ownegh (2004)	İran
Mezughı vd. (2012)	Malezya	Komac (2003)	Slovenya
Teimouri ve Graee (2012)	İran	Ouri ve Amirian (2009)	İran
Moradi vd. (2012)	İran	Barredo vd. (2000)	İspanya

Daha önce de söz edildiği gibi, heyelan duyarlılık haritası üretmede, olasılık yöntemi (frekans oranı), analitik hiyerarşi süreci (AHP), iki değişkenli, çok değişkenli, lojistik regresyon, bulanık mantık ve yapay sinir ağları gibi değişik yöntemler kullanılmaktadır. Ancak, bu çalışmaların birbirlerinden ayrıldıkları noktalar olsa da en önemli ortak noktaları, son yıllarda birçok alanda kullanılan coğrafi bilgi sistemlerini (CBS) kullanmalarındır. CBS,

verilerin bir arada, hızlı, ekonomik ve etkin bir şekilde değerlendirilmesini sağlamaktadır. Nicel yöntemlere uygulanabilirliği birçok çalışmayla da ortaya konmuş CBS ve mevcut istatistiksel programların entegrasyonunun sağlanması ile duyarlılık için kullanılacak parametrelerin üretimi de, daha kolay bir hal almıştır. Ancak, kullanılan yöntemin uygunluğunun yanı sıra, heyelan duyarlılık çalışmalarında kullanılan verinin kalitesi de oldukça önemlidir.

Parametre Seçimi

Hazırlanan heyelan duyarlılık haritası için parametre seçiminde belirsizliklerin giderilmesi için literatür değerlendirmesi yapılarak çözüm bulunmaya çalışılmıştır. Çalışma alanı seçminden sonra en önemli kriter parametre ve yöntem seçimidir. Son 30 yılda yapılan yaklaşık 300 çalışma değerlendirilerek, çalışma sahası için uygun olan parametreler belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma sahası için en uygun parametrelerden olan yağış, çalışma alanında sadece bir adet yağış istasyonu olmasından dolayı değerlendirmeye alınamamıştır. Jeoteknik ve yeraltısuyu durumunu temsil edecek parametre haritaları ise alanın büyük olması, zamanın kısıtlı olması ve maddi olanakların yetersizliğinden dolayı kullanılamamıştır. Envanter haritasının hazırlanmasında alanda çok fazla sayıda heyelan olması nedeni ile heyelanların türleri ve derinlikleri belirlenememiştir.

Hazırlayıcı faktörlerden jeoloji için yapılan değerlendirmeye göre % 43 ile litoloji en çok tercih edilen parametre olurken bunu % 24 ile zemin özelliği/ayırışma ve % 22 ile yapısal özellikler takip etmektedir. % 11'lik kısımdaki jeoteknik parametreler ve yeraltısuyu durumu ise kesin sonuçlar vermesine rağmen zaman ve maliyet açısından tercih edilmemektedir.

Hazırlayıcılardan, topoğrafik faktörler için yapılan değerlendirmede en çok kullanılan parametrenin yamaç eğimi olduğu, bunu yamaç yönelimi, yükseklik ve akarsu faktörlerinin izlediği belirlenmiştir. En çok kullanılan parametrelerin yüzde dağılımı ise yamaç eğimi % 27, yamaç yönelimi % 17, yükseklik % 16, yamaç eğriselliği ve akarsuya yakınlık % 28 şeklindedir. Geriye kalan % 12'lik kısmı ise Jeomorfolojik Birimler/Özellikler, Topoğrafik

Nemlilik Endeksi (TWI), Akarsu Aşındırma Gücü Endeksi (SPI), Sediman Taşıma Kapasite Endeksi (LSI) parametreleri oluşturmaktadır.

Hazırlayıcı faktörlerden sonuncusu çevresel etkiler ise arazi kullanımı/bitki örtüsü % 79, yollar % 16 ve diğer faktörler % 5 olmak üzere değerlendirilmiştir.

Tetikleyiciler ise kendi arasında üç sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar, literatürde tercih edilmeyen ya da veri sıkıntısı yaşanan faktörlerdir. Bu faktörler içerisinde yağış, % 75 ile en çok tercih edilen parametredir. Yağışı, % 21 ile sismik aktivite ve % 4 ile antropojenik etki izelemektedir.

Çalışmalardan elde edilen veriler değerlendirildiğinde, yamaç eğimi, arazi kullanımı/bitki örtüsü ve litoloji parametrelerinin en çok kullanılan parametreler olduğu belirlenmiştir. Belirlenen 21 parametreden ilk 9 tanesi, diğerlerine oranla daha çok tercih edilmiştir (Çizelge 2). Literatürde en çok kullanılan 10 parametre belirlenmiştir. "Zemin özelliği/ayırışma" parametresi dışında kalan diğer 9 parametre çalışmada kullanılmıştır. 8. sıradaki "Zemin özelliği/Ayırışma" parametresi, alanda sadece tortul birimler değerlendirildiği için tercih edilmemiştir. Arazi sınıflaması, uydu görüntülerinden kontrollü sınıflama yapılarak üretilmiştir. Çalışma alanı, sahil yolu projesinin son kısmını oluşturması ve son üç yıldır yapımının devam etmesi nedeni ile tercih edilmiştir. Sayısal yükseklik modeli kullanılarak, alanın, eğim, baki ve yükseklik parametre haritaları elde edilmiştir. Son olarak jeoloji haritası kullanılarak, litoloji, akarsu ve tektonizma parametre haritaları üretilmiştir.

Çellek, Bulut, Ersoy

Çizelge 2. Literatürde en çok kullanılan parametreler.

Table 2. The Parameters commonly used in the literature.

En Çok Kullanılan Parametreler	Faktör	Parametre	Atıf Sayısı
1	T	Yamaç Eğimi	281
2	Ç	Arazi Kullanımı/Bitki Örtüsü	239
3	J	Litoloji	236
4	T	Bakı/Yamaç Yönü	175
5	T	Yükseklik	169
6	T	Akarsu Ağı/Drenaj Ağı	153
7	T	Yamaç Eğriselliği	147
8	J	Zemin Özelliği/Ayrışma	136
9	J	Yapısal Unsurlara Uzaklık	120
10	Ç	Yollar	48
11	T	Topoğrafik Nemlilik Endeksi (TWI)	46
12	J	Yeraltısu (Su Durumu)	38
13	Tr	Yağış	36
14	T	Akarsu Aşındırma Gücü Endeksi (SPI)	34
15	T	Jeomorfolojik Birimler/Özellikler	30
16	J	Jeoteknik Özellikler	21
17	Ç	Diğer	17
18	T	Sediman Taşıma Kapasitesi Endeksi (LSI)	15
19	T	Diğer	12
20	Tr	Sismik Aktivite	10
21	Tr	Antropojenik Aktivite	2

T: Topoğrafik Faktörler, Ç: Çevresel Etkiler, J: Jeolojik Faktörler, Tr: Tetikleyici Faktörler

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)

Özellikle 1990'lı yılların başından itibaren coğrafi bilgi sistemlerindeki ve bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak, geniş bir kullanım alanına sahip olan heyelan değerlendirmelerinde, farklı yöntemler kullanılmaktadır. Analitik Hiyerarşi Süreci

(AHP) ile karmaşık ve düzensiz problemler alt gruplara ayrılarak hiyerarşik bir yapı oluşturulur.

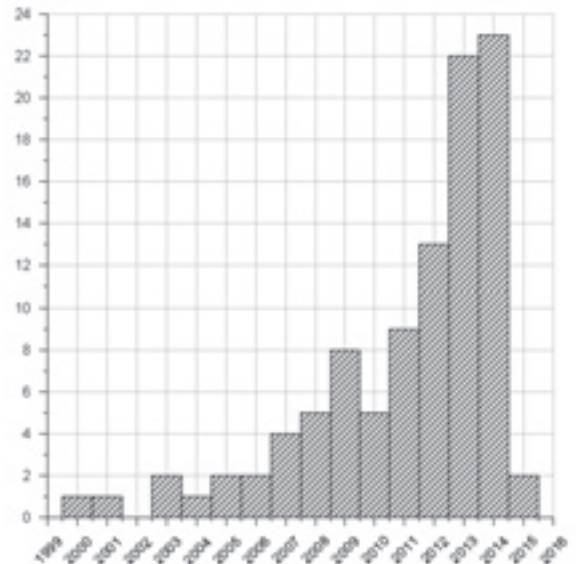
AHP, kişisel kararlardan karmaşık işletme kararlarına kadar geniş bir alanda kullanılabilen bir araçtır. Teorinin başarısı, basitliğinden ve değişik koşulların her birinde aynı şekilde kullanılabilme özelliğinden kaynaklanmaktadır.

Hiyerarşinin ilk düzeyi, genel amacın, heyelan duyarlılık haritası üretmek olduğunu göstermektedir. İkinci düzeydeki kriterler (eğim, bakı, yükseklik, arazi sınıfı, jeoloji, faya, akarsuya ve yola yakınlık) genel amaca ulaşmaya katkıda bulunacaktır. Üçüncü düzeydeki her bir karar alternatifi (sınıflandırılmış alt kriterler) ise her bir kritere göre değerlendirilir (Yalçın, 2005).

Heyelan duyarlılık çalışmalarında dikkate alınan AHP yöntemi, heyelan oluşumunda etkin olduğu düşünülen parametrelerin birbirlerine göre etkinlik derecelerinin belirlenmesi ve duyarlılık haritası oluşturulurken dikkate alınması gereken parametrelerin seçilmesi amacıyla uygulanır. Heyelan duyarlılık analizlerinde herhangi bir parametrenin etkisi, sabit kabul edilebilmektedir. Bu amaçla, eğer bir piksel heyelanlı ise (piksel değeri = 1), söz konusu piksele karşılık gelen parametre değerleri, veri tabanını oluşturacak şekilde, farklı dosyalar halinde saklanır. Eğer, söz konusu pikselde heyelan yoksa (piksel değeri = 0), parametrik veri dosyalarında herhangi bir işlem yapılmadan, bir sonraki veri grubuna geçilmektedir. Bu şekilde, dikkate alınan her bir parametre ve alt grupları için, heyelanlı piksel sayıları ve çalışma alanındaki sayıları, otomatik olarak belirlenir. Gerek yerleşilebilirlik analizinde kullanılan puanları, gerekse Analitik Hiyerarşi Süreci'nde faktör ağırlıklarını belirlemede literatür çalışması ve uzmanlarla gerçekleştirilen görüşmelerden faydalanılır. Belirlenen puanlar, CBS ortamında hazırlanan haritalara öznitelik bilgisi olarak girilir. Daha sonra tüm haritalar raster formatına çevrilir ve faktörlerin belirlenen ağırlık katsayıları ile çarpılarak her hücre birimi başına hesaplanan değerler harita olarak elde edilir (Çellek, 2013).

Yapılan bu çalışmada, altlık haritalar hazırlanmıştır. Analitik Hiyerarşi yöntemiyle ağırlıklandırılan bu haritalar çakıştırılarak heyelana duyarlı alanlar belirlenmiştir.

Literatürde 2000-2015 yılları arasında yapılan çalışmalardan analitik hiyerarşi süreci ile heyelan duyarlılık, risk ve tehlike haritası oluşturulan çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmalardan seçilen 100 tanesi ile istatistiksel bir değerlendirme yapılmıştır (Şekil 1).



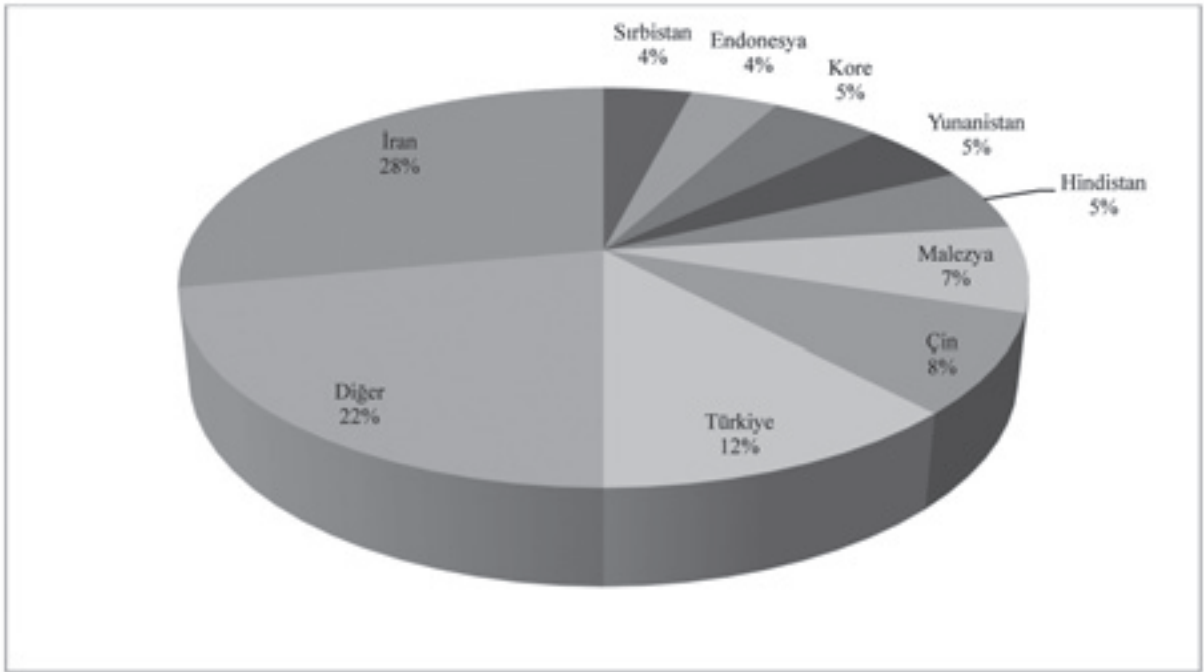
Şekil 1. AHP ile hazırlanan 100 çalışmanın yıllara göre dağılımı.

Figure 1. Yearly distribution of 100 studies prepared with AHP method.

AHP ile yapılan heyelan duyarlılık çalışmalarının ülkelere göre dağılımına bakıldığında (Şekil 2), ilk sırayı % 28 ile İran'ın, ardından % 12'i ile Türkiye'nin aldığı görülmektedir. Bunları, % 8 ile Çin, %7 ile Malezya, % 5 ile Hindistan, Yunanistan, Kore ve

% 4 ile Endonezya ve Sırbistan takip etmektedir. % 22'lik kısmı oluşturan diğer ülkeler ise; Bulgaristan, Bangladeş, Suudi Arabistan, Romanya, Vietnam, Gürcistan, Tayland, Tayvan, Küba, Mısır, Afrika, Kanada, Moskova, Japonya, Slovenya, İspanya ve Pakistan'dır (Şekil 2).

Çalışmalarda 65 farklı parametre kullanılmıştır. 100 çalışmanın, 93'ünde yamaç eğimi, 81'inde litoloji (jeoloji-ayırışma-petrografi), 72'sinde bakı, 70'inde arazi kullanımı (arazi örtüsü), 68'inde drenaja uzaklık, 57'sinde yükseklik, 52'sinde yola uzaklık, 42'sinde faya

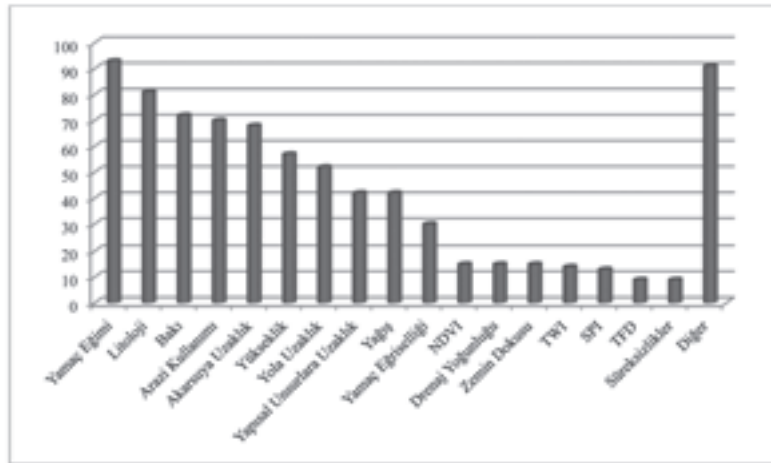


Şekil 2. AHP ile yapılan çalışmaların ülkelere göre dağılımı.

Figure 2. Distribution of AHP-related studies for different countries.

Çalışmaların %43'ünde AHP tek yöntem olarak kullanılırken, %15'inde AHP ve frekans oranı, %12'sinde AHP ve lojistik regresyon yöntemi birlikte kullanılmıştır. AHP ile birlikte ikiden fazla yöntem ile heyelan duyarlılık haritası üretilen çalışmalarda, her yöntemin sonucu diğerleri ile kıyaslanmıştır.

uzaklık, 42'sinde yağış, 30'unda eğrisellik, 15'inde NDVI (bitki örtüsü indeksi), 15'inde drenaj yoğunluğu, 15'inde zemin dokusu, 14'ünde TWI, 13'ünde SPI, 9'unda TFD (sismik yoğunluk) ve 9'unda süreksizlik parametresi kullanılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Parametre sayılarının makalelere göre dağılımı.

Figure 3. The distribution of the number of parameters for articles.

İnceleme Alanının Konumu ve Genel Özellikleri

Karadeniz Bölgesi'nin Orta Karadeniz Bölümü'nde, Batı ve Doğu Karadeniz Bölümleri arasında bir geçiş bölgesinde yer alan Sinop, 41°

12' ve 42° 06' kuzey enlemleri ile 34° 14' ve 35° 26' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Heyelan duyarlılık çalışması, Sinop-Gerze sahil kesimini kapsamaktadır (Şekil 4). Çalışma alanının yüzölçümü 300 km²'dir.



Şekil 4. Sinop ilinin yer bulduru haritası.

Figure 4. Location map of Sinop.

Sinop, Anadolu'nun kuzeye doğru en çok ilerleyen ve İnceburun ile sonlanan kara çıkıntısına doğudan birleşen küçük bir yarımadanın yamacına kurulmuştur. Topraklarının % 74'ü dağlardan, % 23'ü platolardan, % 2'si ovalardan oluşan il, kuzeyden güneye doğru gittikçe yükselen bir morfolojiye sahiptir. Yarımada sahilleri çoğunlukla dik falezeler şeklindedir (Aktimur vd., 1993).

Sinop, Doğu ve Batı Karadeniz iklim özelliklerinin iç içe geçtiği bir yerdir. İl merkezinde mevsimler arası sıcaklık farkları çok büyük olmamasına rağmen, kuzeyde yer alan kıyı kesimlerde Karadeniz iklimi, güneyde ise kıyı boyunca uzanan dağlar nedeniyle karasal iklim hakimdir. Yıl boyunca esen, sürekli rüzgârlar etkilidir. İlin konumu, kuzey (yıldız) rüzgârlarının zaman zaman çok şiddetli esmesine neden olur (Sinop ÇED, 2007). Kış aylarında ise, özellikle akşam saatlerinde kuzeybatı (karayel) ve güneybatı (lodos) rüzgârları etkili olmaktadır. Kıyılarından içeri doğru yağış karakteri değişmekte ve miktarı azalmaktadır. Karadeniz dağlarının iç kesimlerinde, dağların güney yamaçlarında, yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve kar yağışlı olan karasal iklim görülür. Yazın belli bir dönem dışında, bütün yıl nemli ve yağışlı geçer. Yıllık yağışların, % 30'u kış mevsiminde (Aralık, Ocak, Şubat), %18'i ilkbahar mevsiminde (Mart, Nisan, Mayıs), %16'sı yaz mevsiminde (Haziran, Temmuz, Ağustos) ve %36'sı sonbahar mevsiminde (Eylül, Ekim, Kasım) meydana gelmektedir. Yörenin doğal bitki örtüsünü ormanlar oluşturmaktadır. Bitki örtüsü çok zengin ve yoğun olup yükselti kuşaklarına göre farklılaşmaktadır. İlin kıyı şeridinde Akdeniz bitkileri de görülür. Meşe, defne, karaağaç, çınar, fındık, kızılıçık, kayın, gürgen, karaçam ve sarıçamdan oluşan bu bitki örtüsü, yükseltinin

1.800 metreye ulaştığı kesime kadar yayılır (Aktimur vd., 1993; Sinop ÇED, 2007).

Üst Kretase'den günümüze çeşitli yaş ve türde litolojik birimler bulunur. Tektonik olarak, Ballıfakı fayı, Akveren, Atbaşı ve Kusuri formasyonları içinde gelişmiş ve bu formasyonları deforme etmiş ters bir faydır (Barka vd., 1983; Aktimur vd., 1993). Erikli fayı; Ayancık güneyinde, doğu-batı Gerze güneyinde, güneydoğu-kuzeybatı yönünde uzanan 200 km uzunluğunda ters bir faydır. Bu fay zonu genelde Akveren ve Atbaşı formasyonlarının dokanakları arasında izlenir ve Akveren formasyonunun çökeliminden hemen sonra oluşmuştur (Barka vd., 1983; Aktimur vd., 1993).

İnceleme alanında Üst Kretase-Kuvaterner zaman aralığında oluşmuş formasyonların yer aldığı görülür. Tabanda Hamsaros Formasyonu (aglomera, lav, tüf) bulunmaktadır. Daha üstte Paleosen yaşlı kireçtaşı, şeyl, marn ve çamurtaşından oluşan Akveren Formasyonu bulunur. Eosen yaşlı Atbaşı Formasyonu (kireçtaşı, kumtaşı, marn), Kusuri Formasyonu (kumtaşı, marn), sırasıyla gelmektedir. Daha sonra kumtaşı, kireçtaşı ve marn'dan oluşan Miyosen yaşlı Sinop Formasyonu gelir. Birimin üst kısımların yer alan Pliyo Kuvaterner yaşlı Sarıkum Formasyonu ise gevşek kumtaşı, çakıl ve kumdan oluşur. Sarıkum Formasyonu üzerine sırasıyla gevşek kumtaşından oluşan Bedire-Kayası Formasyonu ve alüvyonlar gelmektedir (Çellek, 2013).

Materyal ve Metot

Çalışma kapsamında inceleme alanı ile ilgili önceden hazırlanmış çalışmalar değerlendirilerek, ilgili kurumlardan gerekli veriler temin edilmiştir (Çizelge 3).

Çizelge 3. Çalışmada kullanılan veri türleri ve kaynakları.
Table 3. The data types used in the study and their sources.

Veri Türü	Ölçek	Veri Kaynağı	Üretilen Veri
Topoğrafya Haritaları	1/25.000	Harita Genel Komutanlığı	Akarsuya Yakınlık
Sayısal Yükseklik Modeli	1/25.000	MTA	Eğim Bakı Eğrisellik
Jeoloji Haritası	1/25.000	MTA	Litoloji Yapısal Unsurlara Uzaklık
Heyelan Envanter	1/500.000	MTA	Sinop ili envanteri
Sinop-Gerze meteoroloji istasyonları 53 yıllık yağış verisi		Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü	Yağış
Quickbird Uydu Görüntüsü	1/25.000	NİC firması	Arazi Sınıfı
Heyelan Verisi		AFAD	Envanter

Çalışma alanında yapılan haritalar ve raporlar 2009 yılında Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü'nden (MTA) satın alınmıştır. 2009-2010 yılları arasında Sinop ili ve çevresinde meydana gelen heyelanlarla ilgili veriler Sinop Afet İşleri İl Müdürlüğü'nden (AFAD) temin edilmiş, 1980-2010 yılları arasında meydana gelen, sadece Sinop ili ve çevresi ile Gerze ilçesi ve çevresini içeren heyelan verileri incelenmiştir. Alınan heyelan verilerinin koordinatları belirlenmiş, 2010 yılında MTA'dan temin edilen ve 2007 yılına ait olan 1/25.000 ölçekli Sinop ili heyelan envanter haritasına işlenmiştir.

Çalışmada dikkate alınan AHP yöntemi, heyelan oluşumunda etkin olduğu düşünülen parametrelerin birbirlerine göre etkinlik derecelerinin belirlenmesi ve duyarlılık haritası oluşturulurken dikkate alınması gereken parametrelerin seçilmesi amacıyla uygulanmıştır. İlk olarak kriter ve karar alternatiflerine göre problemin grafiksel akış şeması oluşturulmuştur (Şekil 5). Hiyerarşinin ilk aşaması, heyelan duyarlılık haritası üretmektir. İkinci aşamadaki 9 adet kriter genel amaca ulaşmaya katkı sağlayacaktır. Son olarak, sınıflandırılmış alt kriterler her bir kritere göre değerlendirilecektir.



Şekil 5. Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHP) ile heyelan duyarlılık haritasının oluşturulması akış şeması.

Figure 5. Landslide susceptibility flow chart with AHP.

Kurumlardan temin edilen veriler ve arazi çalışmalarından elde edilen sonuçlar birleştirilerek Şekil 6'daki envanter haritası üretilmiştir. Çalışmanın temelini, 2007 yılında MTA tarafından hazırlanan ve 351 adet, kayma ve akma türü hareketlerin yer aldığı heyelan envanter haritası oluşturmaktadır. 2003-2013 yıllarını kapsayan arazi çalışmaları, 2004-2011 yılları

arasındaki uydu görüntüleri ve 1954-2010 yılları arasında alınan hava fotoğrafları kullanılarak heyelan envanter haritası güncellenmiştir. Çalışma, karadan ve denizden olmak üzere iki farklı şekilde gerçekleştirilmiştir. Özellikle Sinop-Gerze arasındaki kıyı kesime kayak ile ulaşılarak 829 adet heyelan belirlenmiştir. Deniz ile kıyı bağlantısı olmayan yerlerde meydana

gelen heyelan poligonlarını üretmek için, gerek kayıkla gerekse denizin içinden yaklaşık ölçümler alınmıştır. Çalışma sahasında yol yapım

çalışmaları sırasında birçok heyelan meydana gelmiş ve maddi hasara yol açmıştır (Şekil 7).



Şekil 6. Çalışma alanının heyelan envanter haritası.
Figure 6. The landslide inventory maps of the study area.

Heyelanlar genel olarak aşağıdaki gibi alt gruplarda değerlendirilmiştir:

- Hareket tipine göre: Çalışma alanında dairesel kayma ve akma türü hareketler görülürken, sahil kesiminde düşme ve devrilme tarzı hareketlere rastlanmıştır.
- Aktivite durumuna göre: Aktif, duraklamış, reaktivite olmuş, bitmiş ve kalıntı heyelanlara rastlanmıştır.
- Derinliğine göre: Arazide çok sayıda heyelan gözlemlenmiş, gerek zamanın kısıtlı olması gerekse maddi olanakların yetersizliğinden dolayı ölçüm yapılamamıştır. Genel olarak kaymalar çok küçük ölçekte meydana geldiği

için bunlar sığ olarak değerlendirilmiştir. Arazide, derin olarak tanımlanan, büyüklükleri km ölçeğine kadar varan 5 adet büyük ölçekte heyelan tespit edilmiştir.

- Hareketin davranışına göre: İlerleyen, büyüyen ve genişleyen tarzda heyelanlara rastlanmıştır.
- Malzeme türüne göre: Sahil kesiminde çoğunluğu kireçtaşı ve flişten oluşan kaya, zemin ve moloz türü malzemeye rastlanırken, saha büyük oranda zemin türü malzemeden oluşmaktadır.
- Hareket hızına göre: Hızlı ve yavaş akma gözlemlenmiştir.



Şekil 7. Karadeniz sahil yolu yapımı aşamasında meydana gelen heyelanlara ait görüntüler.
Figure 7. Landslides occurred during the construction of the Blacksea coastal road.

Şekil 8’de alana ait farklı türde kütle hareketleri görülmektedir. Her bir parametreye ait haritalar, envanter haritası ile karşılaştırılarak elde edilen haritalar ve yüzde olarak grafik

dağılımları Şekil 9’da verilmiştir. Çizelge 4’te parametrelerin alt kriterlerinin heyelan duyarlılığına olan etkileri verilmiştir.



Şekil 8. Çalışma sahasına ait çeşitli heyelan görüntüleri.
Figure 8. Landslide photographs from the study area.



Şekil 8. (devamı)
Figure 8. (cont'd.)

Çizelge 4. Parametre sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler.
Table 4. Parameter classes and their relations with landslides.

Parametre	Sınıf	% A	% B	B/A	Heyelan Yoğunluğu
Litoloji	Sinop F.	21,960	30,829	1,404	24,571
	Sarıkum F.	6,195	3,908	0,631	11,041
	Plaj Çökeli	0,174	0,067	0383	6,701
	Alüvyon	11,299	0,340	0,030	0,526
	Kusuri F.	15,526	13,299	0857	14,993
	Atbaşı F.	21,185	26,517	1,252	21,907
	Akveren F.	21,647	25,037	1,157	20,243
	Hamsaros F.	3,618	0,000	0,000	0,000
	Kale F.	3,849	0,004	0,001	0,018
Eğim	0-5 m	28,400	8,500	0,299	2,747
	5-10 m	29,640	38,920	1,313	12,064
	10-15 m	17,580	26,570	1,511	13,882
	15-20 m	10,130	13,470	1,339	12,309
	20-25 m	6,350	7,020	1,105	10,152
	25-30 m	3,960	3,210	0,810	7,443
	30-35 m	2,350	1,490	0,632	5,809
	35-40 m	1,120	0,510	0,457	4,207
	40-45 m	0,380	0,160	0,418	3,847
	45-50 m	0,080	0,050	0,644	5,922
	50-55 m	0,010	0,010	0,929	8,536
	55-60 m	0,000	0,000	1,424	13,083
Eğim Yönü (Bakı)	Düz	9,598	1,385	0.144	1.608
	Kuzey	16,655	15,969	0.942	10.501
	Kuzeydoğu	15,61	15,781	1.011	11.264
	Doğu	12,91	16,644	1.289	14.364
	Güneydoğu	11,856	13,694	1.150	12.819
	Güney	7,454	9,030	1.197	13.336
	Güneybatı	5,613	5,663	1.009	11.241
	Batı	7,734	9,262	1.198	13.344
Kuzeybatı	12,476	12,901	1.034	11.523	

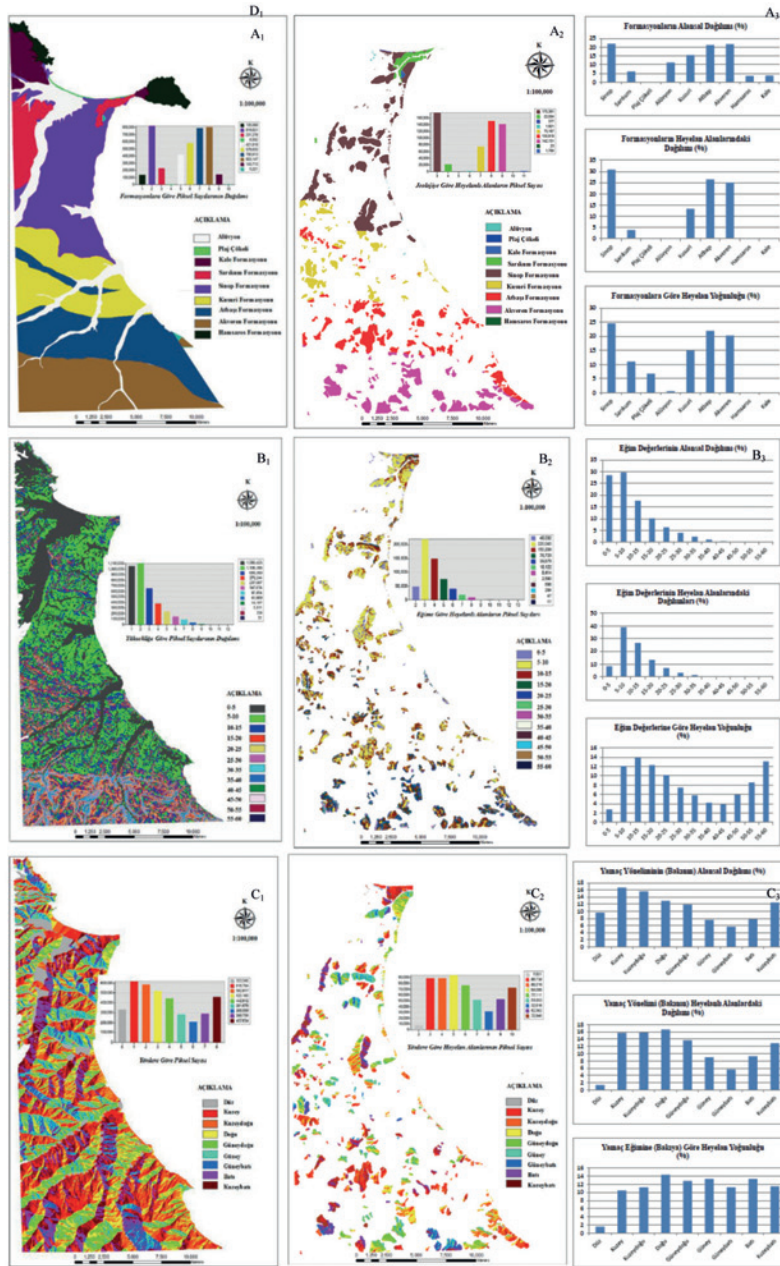
Çellek, Bulut, Ersoy

Çizelge 4. (devamı)

Table 4. (cont'd.)

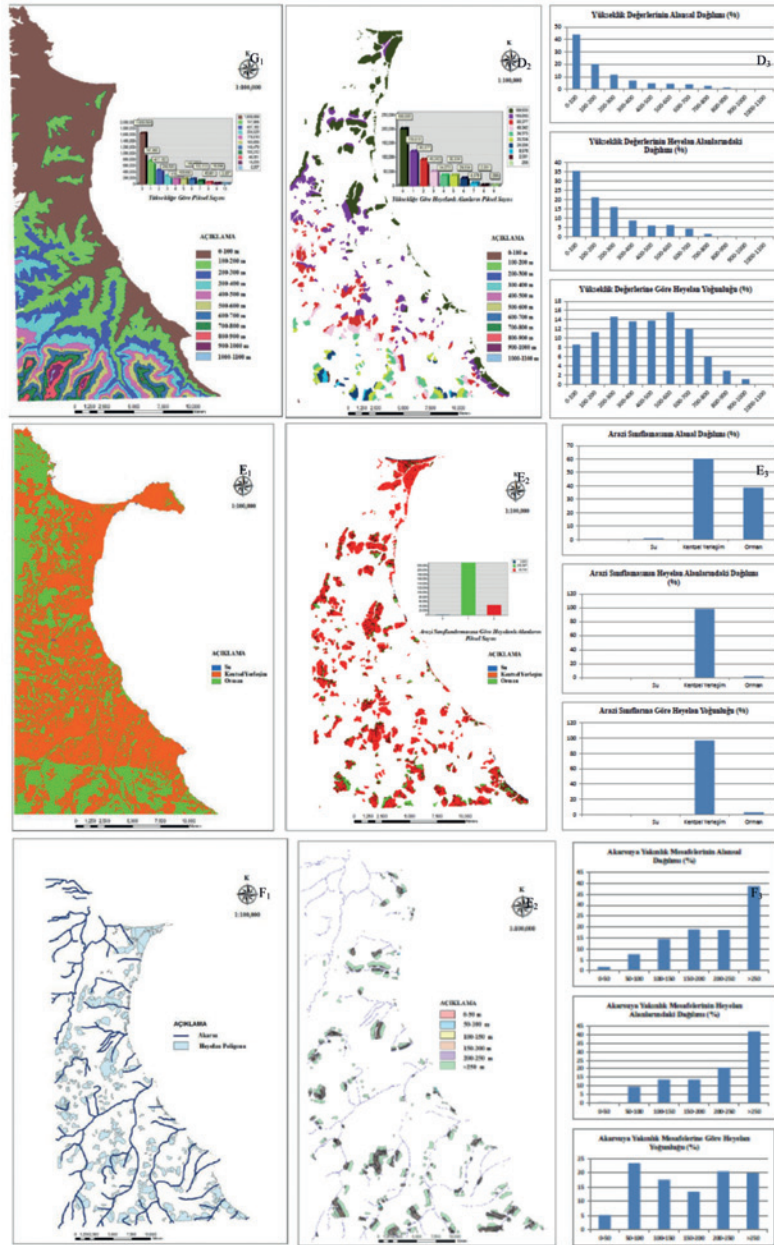
Yükseklik	0-100 m	43.904	35.360	0.805	8.641
	100-200 m	20.032	21.190	1.058	11.351
	200-300 m	11.710	15.990	1.365	14.647
	300-400 m	6.871	8.730	1.270	13.629
	400-500 m	4.768	6.120	1.283	13.761
	500-600 m	4.304	6.280	1.459	15.657
	600-700 m	3.924	4.410	1.124	12.061
	700-800 m	2.687	1.520	0.565	6.059
	800-900 m	1.311	0.370	0.281	3.011
	900-1000 m	0.430	0.050	0.110	1.183
	1000-1100 m	0.059	0.000	0.000	0.000
Arazi Sınıflaması	Su	0.994	0.000	0.000	0.000
	Yerleşim	60.243	98.000	1.628	97.000
	Orman	38.762	2.000	0.049	3.000
Akarsuya Yakınlık	0-50 m	1.654	0.456	0.276	5.097
	50-100 m	7.551	9.565	1.267	23.422
	100-150 m	14.526	13.824	0.952	17.595
	150-200 m	18.925	13.708	0.724	13.393
	200-250 m	18.608	20.690	1.112	20.558
	>250 m	38.732	41.758	1.078	19.935
Ana Yola Yakınlık	0-50 m	4.166	13.024	3.126	35.705
	50-100 m	8.331	9.759	1.171	13.379
	100-150 m	15.170	6.790	0.448	5.113
	150-200 m	10.826	25.860	2.389	27.281
	200-250 m	20.725	22.286	1.075	12.282
	>250 m	40.781	22.280	0.546	6.240
Yamaç Eğriselliği	İç Bükey	35.941	44.714	1.244	43.845
	Düz	24.107	12.740	0.528	18.625
	Dış Bükey	39.952	42.545	1.065	37.530
Yapısal Unsurlara Uzaklık	0-50 m	2.751	9.842	3.478	43.611
	50-100 m	13.639	10.596	0.777	9.469
	100-150 m	11.412	15.645	1.371	16.710
	150-200 m	25.851	5.683	0.220	2.680
	200-250 m	18.128	9.881	0.545	6.644
	>250 m	28.219	48.353	1.713	20.886

A:Piksel Sayısı, B:Heyelanlı Piksel



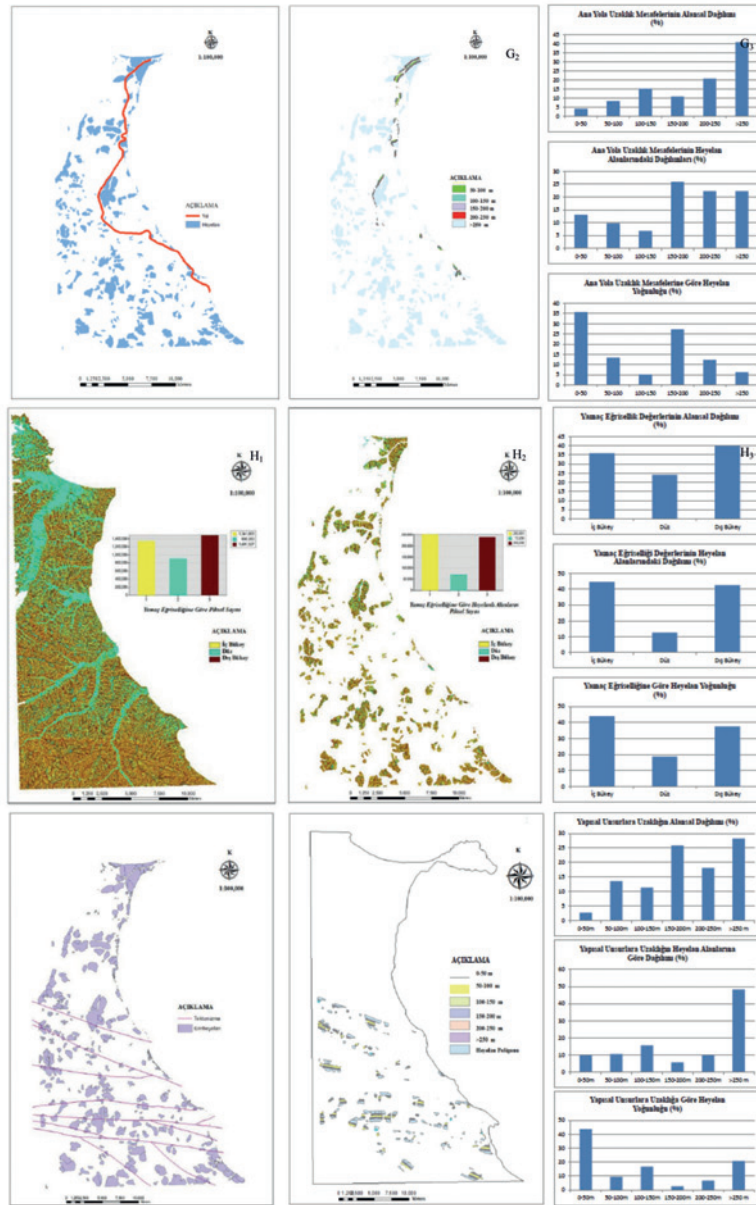
Şekil 9. A₁. Litoloji parametresi, A₂. Heyelan poligonları ile çakıştırılmış litoloji parametresi, A₃. Litoloji parametresinin grafiksel görünümü, B₁. Eğim parametresi, B₂. Heyelan poligonları ile çakıştırılmış eğim parametresi, B₃. Eğim parametresinin grafiksel görünümü, C₁. Bakı parametresi, C₂. Heyelan poligonları ile çakıştırılmış bakı parametresi, C₃. Bakı parametresinin grafiksel görünümü.

Figure 9. A₁. Lithology parameter A₂. Lithology map overlapped with landslide polygons, A₃. Graphical view of lithology parameter B₁. Slope parameter B₂. Slope map overlapped with landslide polygons, B₃. Graphical view of the slope parameter C₁. Aspect parameter C₂. Aspect map overlapped with landslide polygons, C₃. Graphical view of the aspect parameters.



Şekil 9. (devamı) D₁. Yükseklik parametresi, D₂. Heyelan poligonları ile çakıştırılmış yükseklik parametresi, D₃. Yükseklik parametresinin grafiksel görünümü, E₁. Arazi sınıfı parametresi, E₂. Heyelan poligonları ile çakıştırılmış arazi sınıfı parametresi, E₃. Arazi sınıfı parametresinin grafiksel görünümü, F₁. Akarsuya yakınlık parametresi, F₂. Heyelan poligonları ile çakıştırılmış akarsuya yakınlık parametresi, F₃. Akarsuya yakınlık parametresinin grafiksel görünümü

Figure 9. (cont'd) D₁. Elevation parameter D₂. Elevation map overlapped with landslide polygons, D₃. Graphical view of the parameter E₁. Land use parameter E₂. Map overlapped with terrain class parameter ranges, E₃. Graphical view of the land use parameter F₁. Distance to river parameter, F₂. Distance to river map overlapped with landslide polygons, F₃. Graphical view of distance to river parameter.



Şekil 9. (devamı) G₁. Anayola Uzaklık parametresi, G₂. Heyelan poligonları ile çakıştırılmış anayola Uzaklık parametresi, G₃. Anayola Uzaklık parametresinin grafiksel görünümü, H₁. Yamaç eğriselliği parametresi, H₂. Heyelan poligonları ile çakıştırılmış yamaç eğriselliği parametresi, H₃. Yamaç eğriselliği parametresinin grafiksel görünümü, I₁. Yapısal unsurlara uzaklık parametresi, I₂. Heyelan poligonları ile çakıştırılmış yapısal unsurlara uzaklık parametresi, I₃. Yapısal unsurlara uzaklık parametresinin grafiksel görünümü

Figure 9. (cont'd). G₁. Distance to highway parameter, G₂. Distance to highway parameter overlapped with landslide polygons, G₃. Graphical view of the distance to highway parameter, H₁. Slope curvature parameter overlapped with landslide polygons, H₂. Slope curvature map overlapped with landslide polygons, H₃. Graphical view of the curvature of the slope parameter, I₁. Distance to structural elements parameter overlapped with landslide polygons, I₂. From the structural element superimposed with a landslide polygons parameter, I₃. Graphical view of the element parameter.

Tartışma ve Sonuçlar

Çalışma alanı olarak, Karadeniz sahil yolu çalışmaları kapsamında 2014 yılında tamamlanan Sinop-Gerze karayolu güzergahı, sahil şeridi ve çevresi seçilmiştir. Duyarlılık haritasının hazırlanmasında, envanter ve parametre seçiminde ve yöntem belirlemede literatür değerlendirmesi dikkate alınmıştır. Envanter hazırlanmasında MTA'nın 2007 yılında ürettiği 351 heyelanlı harita baz alınmış, 2013 yılına kadar olan süreçte, uydu ve hava görüntülerinin yanı sıra arazi çalışmaları ile desteklenerek 829 adet heyelan tespit edilmiştir. Özellikle sahil kesiminde kaya düşmesi, devrilme gibi kütle hareketlerine rastlanırken sahanın genelinde zemin malzemesi içinde dairesel kayma ve akma hareketleri gözlemlenmiştir. Ayrıca sahada, aktif heyelanların yanı sıra çok sayıda pasif ve reaktif hareketli kütlelere de rastlanmıştır. Parametreler seçilirken, literatürde en çok tercih edilen 9 parametre seçilmiş, AHP yöntemi, alan için uygun yöntem olarak seçilmiştir. Çalışma bölgesinde, son yıllarda meydana gelen heyelanların en büyük tetikleyicisinin yol yapımı çalışmaları olduğu düşünülmektedir. Aşırı yağışlı sezonun uzun sürmesi, litolojik özellikler ve suyun drenajındaki sorunlar da alanın heyelan duyarlılığını arttırmaktadır.

Son 15 yıllık dönemde yapılan çalışmalar incelendiğinde, özellikle son üç yılda AHP kullanımında artış olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni yöntemin kullanımının diğer yöntemlere göre daha basit olmasıdır. Çalışmaların % 43'ünde tek yöntem olarak AHP kullanılırken, % 57'sinde ise karşılaştırmalı yöntemler kullanılmıştır. Katmanların kendi içerisinde etki değerleri yukarıda ifade edilen hesaplamalarla bulunmuştur. Heyelan duyarlılık haritasının

üretimi için katmanların birbiriyle olan ilişkilerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesine yönelik olarak arazi, laboratuvar ve masa başı çalışmaları sonucu elde edilen verilerle konumsal veri tabanı oluşturulmuştur. Raster veri modeline dönüştürülen veri katmanlarının, AHP ile yapılan hesaplamalar sonucunda hem veri katmanı bazında hem de alt kriterler bazında ağırlıkları belirlenerek analizleri yapılmıştır. Bu ağırlık değerlerinden büyük olanı, heyelan duyarlılığına olan etkinin daha fazla olduğunu işaret etmektedir (Çizelge 5). Bu analizlerin temeli, her katmandan aynı bir pikselin alacağı özellik ile bunun matematiksel değeri ve heyelan duyarlılık haritasının üretimindeki etkisini belirlemeye dayanmaktadır.

Her bir katmanın alt kriterlerine karşılık gelen ağırlık değerleri (piksel faktör puanı) ait oldukları piksellere atanmış ve katmanların belirlenen ağırlık değerleri (piksel ağırlığı) piksel faktör puanıyla çarpılarak sonuç haritası üretilmiştir. Analiz sonucunda Sinop ve çevresi için heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, duyarlılık zonlarının çalışma alanındaki alan ve yüzde dağılımları belirlenmiştir (Çizelge 6). Çizelge 6 incelendiğinde, yörenin % 10.77'sinin çok düşük, % 10.59'unun düşük, % 52.64'ünün orta, % 25.64'ünün yüksek, % 0.34'ünün ise çok yüksek derece duyarlı alanlardan oluştuğu belirlenmiştir. Üretilen heyelan duyarlılık haritasının güvenilirliğini test etmek için heyelan envanter haritası ve heyelan duyarlılık haritaları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada, meydana gelmiş olan heyelanların gösterildiği heyelan envanter haritasındaki alanlar, heyelan duyarlılık haritası ile karşılaştırılmıştır (Şekil 10). Daha

sonra, mevcut heyelan alanlarının duyarlılık zonlarına göre dağılımları belirlenmiştir. Yapılan analizlerle mevcut heyelan alanlarının, üretilen heyelan duyarlılık haritasındaki yüksek

ve çok yüksek duyarlı alanlarla olan ilişkisi araştırılmıştır. Pilot bölge olarak seçilen Gerze ve Sinop heyelan duyarlılık haritasında orta-yüksek derecede duyarlı çıkmıştır.

Çizelge 5. Veri katmanları ve alt kriterlerin ağırlık değerleri.

Table 5. Data Layers and weight values of the sub-criteria.

Katman	Alt Katman	Alt Katman Puanı	Katman Yüzde Önem Derecesi
BAKI			0,06
	Düz	1	
	Kuzey	3	
	Kuzeydoğu	3	
	Doğu	4	
	Güneydoğu	2	
	Güney	2	
	Güneybatı	2	
	Batı	3	
	Kuzeybatı	5	
LİTOLOJİ			0,21
	Sinop Formasyonu	5	
	Sarıkuş Formasyonu	2	
	Plaj Çökeli	1	
	Alüvyon	1	
	Kusuri Formasyonu	4	
	Atbaşı Formasyonu	5	
	Akveren Formasyonu	5	
	Kale Formasyonu	3	
	Hamsaros Formasyonu	1	
ARAZİ SINIFI			0,12
	Kentsel Yerleşim	3	
	Orman	2	
EĞRİSELLİK			0,10
	İçbükey	2	
	Düz	1	
	Dışbükey	3	

Çellek, Bulut, Ersoy

Çizelge 5. (devamı)

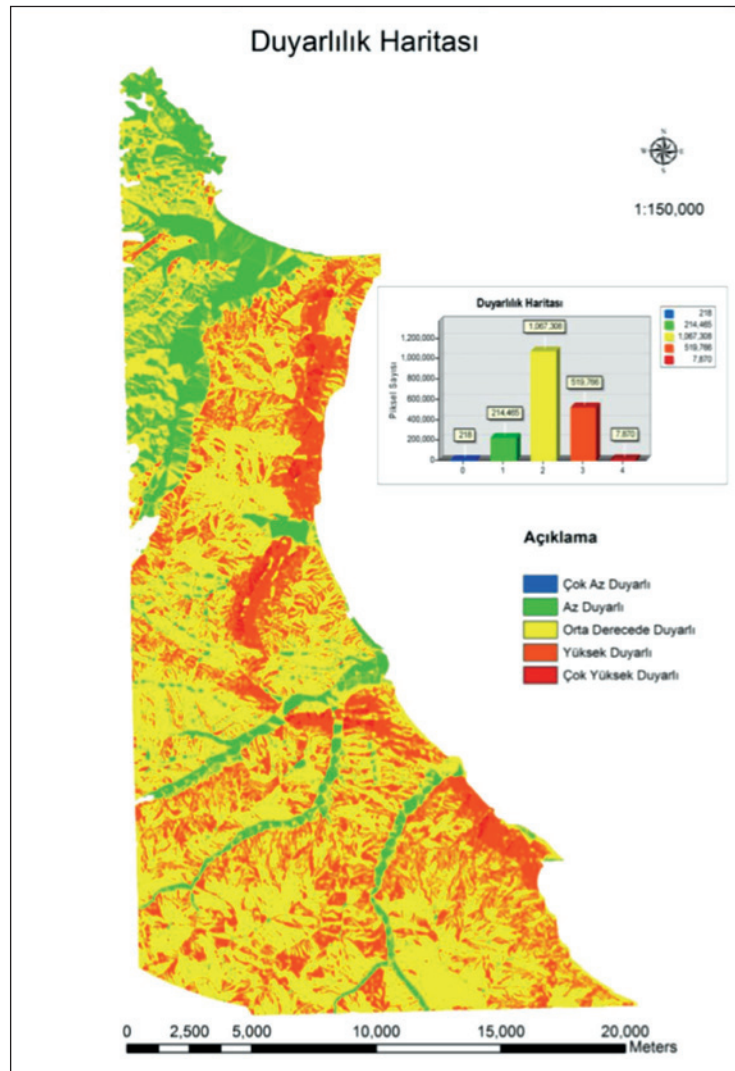
Table 5. (cont'd.)

EĞİM		0,16
0-5	2	
05-010	2	
010-015	5	
15-20	3	
20-25	4	
25-30	1	
30-35	1	
35-40	1	
40-45	1	
45-50	1	
50-55	1	
55-60	1	
YÜKSEKLİK		0,10
0-100	5	
100-200	4	
200-300	3	
300-400	2	
400-500	1	
500-600	1	
600-700	1	
700-800	1	
800-900	1	
900-1000	1	
YOL		0,20
0-250	5	
250-500	4	
500-1000	2	
1000>	1	
AKARSU		0,10
Çakışan	5	
TEKTONİZMA		0,10
Çakışan	5	

Çizelge 6. Çalışma alanında belirlenen heyelan duyarlılık sınıflarının yüzde dağılımları.

Table 6. Percentage distribution of landslide susceptibility classes.

Duyarlılık Zonları	Piksel Sayısı	Yüzde Dağılım (%)
Çok düşük derece duyarlı alanlar	218	10.77
Düşük derece duyarlı alanlar	214.465	10.59
Orta derece duyarlı alanlar	1.067,308	52.64
Yüksek derece duyarlı alanlar	519.766	25.66
Çok yüksek derece duyarlı alanlar	7.870	0.34



Şekil 10. Sinop ve çevresinin heyelan duyarlılık haritası.

Figure 10. Landslide susceptibility map of Sinop and its surroundings.

KAYNAKLAR

- Ahmed, B., 2014. Landslide susceptibility mapping using multi-criteria evaluation techniques in Chittagong Metropolitan Area, Bangladesh. *Landslides*, 12 (6), 1077-1095.
- Akgun, A., 2012. A comparison of landslide susceptibility maps produced by logistic regression, multi-criteria decision, and likelihood ratio methods: a case study at İzmir, Turkey. *Landslides*, 9, 93-106.
- Akgun, A., Bulut, F., 2007. GIS-based landslide susceptibility for Arsin-Yomra (Trabzon, North Turkey) region. *Environmental Geology*, 51, 1377-1387.
- Akgun, A., Turk, N., 2010. Landslide susceptibility mapping for Ayvalik (Western Turkey) and its vicinity by multicriteria decision analysis. *Environmental Earth Sciences*, 61, 595-611.
- Akgun, A., Dag, S., Bulut F., 2008. Landslide susceptibility mapping for a landslide-prone area (Fındıklı, NE of Turkey) by likelihood-frequency ratio and weighted linear combination models. *Environmental Geology*, 54, 1127-1143.
- Aktimur, H. T., Yurdakul, M. E., Sönmez, M., Karabıyıklıoğlu, N., Kozan, T., Tekin, Z., Canpolat, M., 1993. Sinop İlinin Arazi Kullanım Potansiyeli, MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Althuwaynee, O. F., Pradhan, B., 2014. Ensemble of Data-Driven EBF model with Knowledge Based AHP Model for Slope Failure Assessment in GIS Using Cluster Pattern Inventory. FIG Congress Engaging the Challenges – Enhancing the Relevance Kuala Lumpur, Malaysia 16-21 June.
- Althuwaynee, O. F., Pradhan, B., Park, H. J., Lee, J. H., 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.
- Ayalew, L., Yamagishi, H., Marui, H., Kanno, T., 2005. Landslides in Sado Island of Japan: Part II. GIS-based susceptibility mapping with comparisons of results from two methods and verifications. *Engineering Geology*, 81, 432-445.
- Bagherzadeh, A., Daneshvar, M. R. M., 2013. Mapping of landslide hazard zonation using GIS at Golestan watershed, northeast of Iran. *Arabian Journal of Geoscience*, 6, 3377-3388.
- Barka, A., Sütçü, Y. F., Tekin, F., Gedik, İ., Karabıyıklıoğlu, M., Saraç, G., Önal, Ö., Arel, E., Özdemir M., 1983. Sinop Yarımadası'nın jeolojisi ve tektonik evrimi, Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni.
- Barredo, J. I., Benavides, A., Hervh, J., Van Westen, C. J., 2000. Comparing heuristic landslide hazard assessment techniques using GIS in the Tirajana basin, Gran Canaria Island, Spain. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2 (1), 9-23.
- Barredo, J. I., Hervh, J., Lomoschitz, A., Benavides, A., Van Westen, C. J., 2010. Landslide Hazard Assessment using Gis and multicriteria evaluation techniques in the Tirajana basin, Gran Canaria Island, Spain. RUNOUT Project, funded by the European Commission under contract no.ENV4-CT97-0527 with DG XII, within FP4 Environment and Climate Programme.
- Bathrellos, G. D., Gaki-Papanastassiou, K., Skilodimou, H. D., Skianis, G. A., Chousianitis, K. G., 2013. Assessment of rural community and agricultural development using geomorphological-geological factors and GIS in the Trikala prefecture (Central Greece). *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 27, 573-588.
- Bhatt, B. P., Awasthi, K. D., Heyojoo, B. P., Silwal, T., Kafle, G., 2013. Using geographic information system and analytical hierarchy process in landslide hazard zonation. *Applied Ecology and Environmental Sciences*, 1 (2), 14-22.

- Calligaris, C., Poretti, G., Tariq, S., Melis, M. T., 2013. First steps towards a landslide inventory map of the Central Karakoram National Park. *European Journal of Remote Sensing*, 46, 272-287.
- Castellanos Abella, E. A., Van Westen, C. J., 2007. Generation of a landslide risk index map for Cuba using spatial multi-criteria evaluation. *Landslides*, 4 (4), 311-325.
- Chalkias C., Ferentinou M., Polykretis C., 2014. GIS-Based Landslide Susceptibility Mapping on the Peloponnese Peninsula, Greece. *Geosciences*, 4, 176-190.
- Chen, W., Li, W., Hou, E., Li, X., 2014. 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*, DOI 10.1007/s12665-014-3749-9.
- Chingkhei, R. K., Shiroyleima, A., Robert Singh, L., Kumar, A., 2013. Landslide Hazard Zonation in NH-1A in Kashmir Himalaya, India. *International Journal of Geosciences*, 4, 1501-1508.
- Chuan, T., Jing, Z., Jingtao, L., 2009. Emergency assessment of seismic landslide susceptibility: a case study of the 2008 Wenchuan earthquake affected area. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 8 (28), 207-217.
- Çellek, S., 2013. Sinop-Gerze yöresinin heyelan duyarlılık analizi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Doktora Tezi, 271 s (yayımlanmış).
- Daneshvar, M. R. M., 2014. Landslide susceptibility zonation using analytical hierarchy process and GIS for the Bojnurd region, northeast of Iran. *Landslides*, 11, 1079-1091.
- Daneshvar, M. R. M., Bagherzadeh, A., 2011. Landslide hazard zonation assessment using GIS analysis at Golmakan Watershed, northeast of Iran. *Frontiers of Earth Science*, 5 (1), 70-81.
- Demir, G., Aytakin, M., Akgun, A., Ikizler, S. B., Tatar, O., 2013. A comparison of landslide susceptibility mapping of the eastern part of the North Anatolian Fault Zone (Turkey) by likelihood-frequency ratio and analytic hierarchy process methods. *Natural Hazards*, 65, 1481-1506.
- Diop, S., 2012. An Overview of Landslide Occurrence, Inventorization and Susceptibility Mapping in South Africa. *Landslide Risk Assessments for Decision Making*, Council for Geoscience, UR Forum Mapping Global Risk, July 2-6/ Cape Town, South Africa.
- Domakinis, C., Oikonomidis, D., Astaras, T., 2008. Landslide mapping in the coastal area between the Strymonic Gulf and Kavala (Macedonia, Greece) with the aid of remote sensing and geographical information systems. *International Journal of Remote Sensing*, 29 (23), 6893-6915.
- Esmali, Y., Ahmadi, H., 2003. Using GIS & RS in Mass Movements Hazard Zonation –A Case Study in Germichay Watershed, Ardebil, Iran. *Map India Disaster Management Conference*.
- Ercanoglu, 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.
- Feizizadeh, B., Blaschke, T., 2014. An uncertainty and sensitivity analysis approach for GIS-based multicriteria landslide susceptibility mapping. *International Journal of Geographical Information Science*, 28 (3), 610-638.
- Feizizadeh, B., Blaschke, T., Nazmfar, H., 2014a. GIS-based ordered weighted averaging and Dempster-Shafer methods for landslide susceptibility mapping in the Urmia Lake Basin, Iran. *International Journal of Digital Earth*, 7 (8), 688-708.

- Feizizadeh, B., Jankowski, P., Blaschke, T., 2014b. A GIS based spatially-explicit sensitivity and uncertainty analysis approach for multi-criteria decision analysis. *Computers & Geosciences*, 64, 81–95.
- Feizizadeh, B., Jankowski, P., Blaschke, T., 2013a. A Spatially Explicit Approach for Sensitivity and Uncertainty Analysis of GIS-Multicriteria Landslide Susceptibility Mapping. ÖAW Verlag, Wien. eISBN 978-3-7001-7438-7, doi:10.1553/giscience2013s157.
- Feizizadeh, B., Blaschke, T., 2013. GIS-multicriteria decision analysis for landslide susceptibility mapping: comparing three methods for the Urmia lake basin, Iran. *Natural Hazards*, 65, 2105–2128.
- Feizizadeh, B., Blaschke, T., Roodposhti, M. S., 2013b. Integrating GIS Based Fuzzy Set Theory in Multicriteria Evaluation Methods for Landslide Susceptibility Mapping. *International Journal of Geoinformatics*, 9 (3), 49-57.
- Feizizadeh, B., Blaschke, T., Nazmfar, H., Rezaei Moghaddam, M. H., 2013c. Landslide susceptibility mapping for the Urmia Lake basin, Iran: A multi-criteria evaluation approach using GIS. *International Journal of Environmental Research*, 7 (2), 319-336.
- Feizizadeh, B., Blaschke, T., Rafiq, L., 2010. GIS-Based Landslide Susceptibility Mapping: A Case Study In Bostan Abad County, Iran. http://ispace.researchstudio.at/sites/ispace.researchstudio.at/files/239_full.pdf
- Gaprindashvili, G., 2011. Landslide hazard assessment in Georgia. Report on the 1st project of AES Geohazards Stream, Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation (ITC) of the University of Twente, Enschede, The Netherlands.
- Ghosh, S., Carranza, E. J. M., Van Westen, C. J., Jetten, V. G., Bhattacharya, D. N., 2011. Selecting and weighting spatial predictors for empirical modeling of landslide susceptibility in the Darjeeling Himalayas (India), *Geomorphology*, 131, 35–56.
- Gorsevski, P. V., Jankowski, P., Gessler, P. E., 2006. An heuristic approach for mapping landslide hazard by integrating fuzzy logic with analytic hierarchy process. *Control and Cybernetics*, 35 (1), 121-146.
- Gorsevski, P. V., Jankowski, P., 2010. An optimized solution of multi-criteria evaluation analysis of landslide susceptibility using fuzzy sets and Kalman filter. *Computers & Geosciences*, 36, 1005–1020.
- Guoqing, Y., Haibo, Y., Zhizong, T., Baosen, Z., 2011. Landslide Risk Analysis of Miyun Reservoir Area Based on RS and GIS. *Procedia Environmental Sciences*, 10, 2567 – 2573.
- Habibi, A., 2014. Landslide hazard zonation for determination appropriate regions with AHP model in dry areas of Iran Khuzestan (Iran). Alireza Habibi *International Journal of Forest, Soil and Erosion (IJFSE)*, 4 (1), 228-826.
- Hasekiogulları, G. D., Ercanoglu, M., 2012. A new approach to use AHP in landslide susceptibility mapping: a case study at Yenice (Karabuk, NW Turkey). *Natural Hazards*, 63, 1157–1179.
- Ilanloo, M., Soltani, Y. M., Jamnani, L. E., Ebrahimi, L., Myrfkhray, S., B. 2014. Earthquake Hazard Zonation using Analytical Hierarchy Method (AHP): A Case Study of Kelardasht. *Geodynamics Research International Bulletin*, 2 (4), 148-155.
- Intarawichian, N., Dasananda, S., 2010. Analytical Hierarchy process for landslide susceptibility mapping in Lower Mae Chaem Watershed, Northern Thailand. *Suranaree Journal of Science and Technology*, 17 (3), 277-292.
- Ivanova, E., 2014. Landslide susceptibility mapping using Frequency Ratio and Analytic Hierarchy Process (AHP): Comparative study of two areas

- in Bulgaria. International Conference Analysis and Management of Changing Risks for Natural Hazards, 18-19 November, Padua, Italy.
- Jin, K. C., Oh, C. Y., Chul, C. U., 2010 The comparative research of landslide susceptibility mapping using FR, AHP, LR, ANN. Journal of Korean Society for Geospatial Information System, 9, 13-20.
- Kamp, U., Growley, B. J., Khattak, G. A., Owen, L. A., 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping for the 2005 Kashmir earthquake region. *Geomorphology*, 101, 631–642.
- Kavzoglu, T., Sahin, E. K., Colkesen, I., 2014. Landslide susceptibility mapping using GIS-based multi-criteria decision analysis, support vector machines, and logistic regression. *Landslides*, 11, 425–439.
- Kayastha, P., Dhital, M. R., DeSmedt, F., 2013. Application of the Analytical Hierarchy Process (AHP) for landslide susceptibility mapping: A case study from the Tinau watershed, west Nepal. *Computers & Geosciences*, 52, 398–408.
- Khezri, S., 2011. Landslide susceptibility in the Zab Basin, northwest of Iran. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 19, 726–731.
- Komac, M., 2003. Geohazard map of the central Slovenia – the mathematical approach to landslide prediction. *Geologija*, 46 (2), 367–372.
- Komac, M., 2005. A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia. *Geomorphology*, 74, 17-28.
- Kornejady, A., Kohzad, H., Sarparast, M., Khosravi, G., Mombeini, M., 2014. Performance assessment of two “LNRF” and “AHP-Area Density” models in landslide susceptibility zonation. *Journal of Life Science and Biomedicine*, 4 (3), 169-176.
- Ladas, I., Fountoulis, I., Mariolakos, I., 2007. Using GIS & Multicriteria Decision Analysis in landslide susceptibility mapping -A case study in Messinia Prefecture area (Sw Peloponnesus, Greece). *Bulletin of the Geological Society of Greece*, , Proceedings of the 11th International Congress, Athens.
- Ma, F., Wang, J., Yuan, R., Zhao, H., Guo, J., 2013. Application of analytical hierarchy process and least-squares method for landslide susceptibility assessment along the Zhong-Wu natural gas pipeline, China. *Landslides*, 10, 481–492.
- Margarint, M. C., Niculita, M., 2014. Comparison and validation of Logistic Regression and Analytic Hierarchy Process models of landslide susceptibility in monoclinic regions. A case study in Moldavian Plateau, N-E Romania. *EGU General Assembly, Geophysical Research Abstracts*, 16, 6371.
- Marjanović, M., 2009a. Landslide susceptibility mapping with Support vector machine algorithm The GI-Forum Program Committee framework of Methods of artificial intelligence in GIS, a project of Czech Republic Grant Agency (CR GA 205/09/079).
- Marjanović, M., 2009b. Landslide Susceptibility Modelling: A Case Study On Fruška Gora Mountain, Serbia. *Geomorphologia Slovaca Et Bohemica*, 9 (1), 29-42.
- Marjanović, M., Bajat, B., Kovačević, M., 2009. Landslide susceptibility assessment with machine learning algorithms, International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems, IEEE Computer Society, 273-278.
- Marjanović, M., Abolmasov, B., Đurić, U., Bogdanović, S., 2013. Impact of geo-environmental factors on landslide susceptibility using an AHP method: A case study of Fruška Gora Mt., Serbia. *Annales Geologiques De La Peninsule Balkanique*, 74, 91-100.

- Mezughî, T. H., Akhir, J. M., Rafek, A. G., Abdullah, I., 2012. Analytical Hierarchy Process Method for mapping landslide susceptibility to an area along the E-W Highway (Gerik-Jeli), Malaysia. *Asian Journal of Earth Sciences*, 5 (1), 13-24.
- Mondal, S., Maiti, R., 2013. Integrating the Analytical Hierarchy Process (AHP) and the Frequency Ratio (FR) model in landslide susceptibility mapping of Shiv-khola Watershed, Darjeeling Himalaya. *International Journal of Disaster Risk Science*, 4 (4), 200–212.
- Mondal, S., Maiti, R., 2012. Landslide susceptibility analysis of Shiv-Khola Watershed, Darjiling: A remote sensing & GIS based analytical hierarchy process (AHP). *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 40 (3), 483–496.
- Moradi, S., Rezaei, M., 2014. A GIS-based comparative study of the analytic hierarchy process, bivariate statistics and frequency ratio methods for landslide susceptibility mapping in part of the Tehran metropolis, Iran. *Geopersia*, 4 (1), 45-61.
- Moradi, M., Bazayr, M. H., Mohammadi, Z., 2012. GIS-Based Landslide Susceptibility Mapping by AHP Method, A Case Study, Dena City, Iran. *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, 2 (7), 6715-6723.
- Mustafa, I. S., Din, N. M., Ismail, A., Omar, R. C., Khalid, N. H. N., 2013. Antenna placement for landslide monitoring using analytical hierarchy process (AHP) and Geographical Information System (GIS). *IEEE Symposium on Wireless Technology and Applications (ISWTA)*, September 22-25, Kuching, Malaysia.
- Niu, F., Luo, J., Lin, Z., Liu, M., Yin, G., 2014. Thaw-induced slope failures and susceptibility mapping in permafrost regions of the Qinghai–Tibet Engineering Corridor, China. *Natural Hazards*, 74, 1667–1682.
- Othman, A. N., Mohd, W. M. N. W., Noraini, S., 2014. Accuracy assessment of landslide prediction models. 8th International Symposium of the Digital Earth (ISDE8) IOP Publishing, IOP Conference Series, Earth and Environmental Science, 18, 1-6.
- Ouri, A. E., Amirian, S., 2009. Landslide hazard zonation using MR and AHP methods and GIS techniques in Langan watershed, Ardabil, Iran. *International Conference on ACRS 2009, Beijing, China*. https://www.researchgate.net/publication/266501883_Landslide_hazard_zonation_using_MR_and_AHP_methods_and_GIS_techniques_in_Langan_watershed_Ardabil_Iran
- Ownegh, M., 2004. Assessing the applicability of Australian landslide databases for hazard management. *ISCO - 13th International Soil Conservation Organisation Conference – Brisbane, July*.
- Park, S., Choi, C., Kim, B., Kim, J., 2013. Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, analytic hierarchy process, logistic regression, and artificial neural network methods at the Inje area, Korea. *Environmental Earth Sciences*, 68, 1443–1464.
- Pourghasemi, H. R., Pradhan, B., Gokceoglu, C., 2012b. Application of fuzzy logic and analytical hierarchy process (AHP) to landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, Iran. *Natural Hazards*, 63, 965–996.
- Pourghasemi, H. R., Pradhan, B., Gokceoglu, C., Moezzi, K. D., 2012a. Landslide susceptibility mapping using a Spatial Multi Criteria Evaluation Model at Haraz Watershed, Iran (Chapter 2). *Terrigenous Mass Movements*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, DOI: 10.1007/978-3-642 25495-6-2.
- Pourghasemi, H. R., Moradi, H. R., Fatemi Aghda, S. M., 2013. Landslide susceptibility mapping by binary logistic regression, analytical hierarchy process, and statistical index models and assessment of their performances. *Natural Hazards*, 69, 749–779.

- Pourghasemi, H. R., Moradi, H. R., Fatemi-Aghda, S. M., Gokceoglu, C., Pradhan, B., 2014. GIS-based landslide susceptibility mapping with probabilistic likelihood ratio and spatial multi-criteria evaluation models (North of Tehran, Iran). *Arabian Journal of Geosciences*, 7, 1857–1878.
- Prabu, S., Ramakrishnan, S. S., 2009. Combined use of Socio Economic Analysis, Remote Sensing and GIS Data for landslide hazard mapping using ANN. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 37, 409–421.
- Quan, H. C., Lee, B. G., 2012. GIS-Based landslide susceptibility mapping using Analytic Hierarchy Process and Artificial Neural Network in Jeju (Korea). *KSCE Journal of Civil Engineering*, 16 (7), 1258-1266.
- Qiu, D., Niu, R., Zhao, Y., 2014. Landslide susceptibility zonation based on the Analytic Hierarchy Process and information method. *Applied Mechanics and Materials*, 580-583, 2658-2662.
- Reis, S., Yalcin, A., Atasoy, M., Nisanci, R., Bayrak, T., Erduran, M., Sancar, C., Ekercin, S., 2012. Remote sensing and GIS-based landslide susceptibility mapping using frequency ratio and analytical hierarchy methods in Rize province (NE Turkey). *Environmental Earth Sciences*, 66, 2063–2073.
- Rozos, D., Bathrellos, G. D., Skillodimou, H. D., 2011. Comparison of the implementation of rock engineering system and analytic hierarchy process methods, upon landslide susceptibility mapping, using GIS: a case study from the Eastern Achaia County of Peloponnesus, Greece. *Environmental Earth Sciences*, 63, 49–63.
- Saadatkah, N., Kassim, A., Lee, M. L., 2014a. Qualitative and quantitative landslide susceptibility assessments in Hulu Kelang area, Malaysia. *The Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, Bundle C, 19, 545-563.
- Saadatkah, N., Kassim, A., Lee, M. L., 2014b. Susceptibility assessment of shallow landslides in Hulu Kelang Area, Kuala Lumpur, Malaysia using Analytical Hierarchy Process and Frequency Ratio. *Geotechnical and Geological Engineering*, 33 (1), 43-57.
- Shafri, H. Z. M., Zahidi, I. M. S., Bakar, A. S., 2010. Development of landslide susceptibility map utilizing remote sensing and Geographic Information Systems (GIS). *Disaster Prevention and Management*, 19 (1), 59 – 69.
- Sinop ÇED, 2007. İl Çevre ve Orman Müdürlüğü, Sinop İli Çevre Durum Raporu, 86 s., Sinop.
- Solle, M. S., Mustafa, M., Baja, S., Imran, A. M., 2013. Landslide susceptibility zonation model On Jeneberang Watershed using Geographical Information System and Analytical Hierarchy Process. *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, 2 (7), 174-179.
- Solle, M. S., 2013. Landslide Susceptibility zonation model on Jeneberang Watershed Based On Geographical Information System and Analytical Hierarchy Process. *The 2nd Southeast Asian Gateway Evolution Meeting (SAGE)*, Berlin, Germany.
- Suh, J., Choi, Y., Roh, T. D., Lee, H. J., Park, H. D., 2011. National-scale assessment of landslide susceptibility to rank the vulnerability to failure of rock-cut slopes along expressways in Korea. *Environmental Earth Sciences*, 63, 619–632.
- Tazik, E., Jahantab, Z., Bakhtiari, M., Rezaei, A., Alavipanah, S. K., 2014. Landslide susceptibility mapping by combining the three methods Fuzzy Logic, Frequency Ratio and Analytical Hierarchy Process in Dozain basin. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XL-2/W3, The 1st ISPRS International Conference on Geospatial Information Research, Tehran, Iran.

- Teimouri, M., Graee, P., 2012. Evaluation of AHP and Frequency Ratio Methods in landslide hazard zoning (Case Study: Bojnord Urban Watershed, Iran). *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, 3 (9), 1978-1984.
- Thanh, L. N., DeSmedt, F., 2012. Application of an analytical hierarchical process approach for landslide susceptibility mapping in A Luoi district, Thua Thien Hue Province, Vietnam. *Environmental Earth Sciences*, 66, 1739–1752.
- Vahidnia, M. H., Alesheikh, A., Alimohammadi, A., Hosseinali, F., 2009. Landslide hazard zoning using quantitative methods in GIS. *International Journal of Civil Engineering*, 7 (3), 176-189.
- Wu, C. H., Chen, S. C., 2009. Determining landslide susceptibility in Central Taiwan from rainfall and six site factors using the analytical hierarchy process method. *Geomorphology*, 112, 190–204.
- Yalçın A., 2005. Ardeşen (Rize) Yöresinin Heyelan Duyarlılığı Açısından İncelenmesi, Doktora, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Yalcin, A., Bulut, F., 2007. Landslide susceptibility mapping using GIS and digital photogrammetric techniques: a case study from Ardesen (NE-Turkey). *Natural Hazards*, 41, 201–226.
- Yalcin, A., 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations. *Catena*, 72, 1–12.
- Yalcin, A., Reis, S., Aydinoglu, A. C., Yomralioglu, 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.
- Yamani, M., Hasanpoor, S., Mostafaei, A., Shadman Roodposhti, M., 2013. Mapping landslide hazard zonation in Great Karoon Aquifer Basin by Analytical Hierarchy Process (AHP) model in Geographic Information System (GIS) environment. *Geography and Environmental Planning Journal*, 48 (4), 13-16.
- Yang, Z. H., Lan, H. X., Gao, X., Li, L. P., Meng, Y. S., Wu, Y. M., 2015. Urgent landslide susceptibility assessment in the 2013 Lushan earthquake-impacted area, Sichuan Province, China. *Natural Hazards*, 75, 2467–2487.
- Yanrong, L., Aydın, A., Xiqiong, X., Nengpan, J., Jianjun, Z., Özbek, A., 2012. Landslide susceptibility mapping and evaluation along a river valley in China. *ACTA Geologica Sinica*, 86 (4), 1022-1030.
- Youssef, A. M., 2015. Landslide susceptibility delineation in the Ar-Rayth area, Jizan, Kingdom of Saudi Arabia, using analytical hierarchy process, frequency ratio, and logistic regression models. *Environmental Earth Sciences*, 73 (12), 8499-8518.
- Youssef, A. M., Pradhan, B., Tarabees, E., 2011. Integrated evaluation of urban development suitability based on remote sensing and GIS techniques: contribution from the analytic hierarchy process. *Arabian Journal of Geosciences*, 4, 463–473.
- Yoshimatsu, H., Abe, S., 2006. A review of landslide hazards in Japan and assessment of their susceptibility using an analytical hierarchic process (AHP) method. *Landslides*, 3, 149–158.
- Zare, M., Jouri, M. H., Salarian, T., Askarizadeh, D., Miarrostami, S., 2014. Comparing of bivariate statistic, AHP and combination methods to predict the landslide hazard in northern aspect of Alborz Mt. (Iran). *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 7 (9), 543-554.

Sülfatça Zengin Killi Kayaların Dayanım ve Deformasyon Özellikleri ile Gevrek Kırılma Süreçleri

Strength and Deformation Properties of Sulphate-rich Clay Rocks and Their Brittle Failure Processes

Ömer ÜNDÜL^{1,2}, Florian AMANN², Peter K. KAISER³

¹ *İstanbul Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Avcılar, İSTANBUL.*

² *Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, Institute of Geology, Engineering Geology, Sonneggstrasse 5, 8092 Zurich, SWITZERLAND.*

³ *Center for Excellence in Mining Innovation, 936 Ramsey Lake Road, Sudbury P3E 6H5, CANADA.*

Geliş (received) : 11 Kasım (November) 2015
Düzeltilme (revised) : 20 Aralık (December) 2015
Kabul (accepted) : 22 Aralık (December) 2015

ÖZ

Sülfatça zengin killi kayalar üzerinde yapılan mühendislik çalışmalarında jips oluşumuna bağlı kabarmalar önemli sorunlara yol açmaktadır. Jips oluşumu genellikle, önceden varolan ve gerilim rahatlamaları sonucu genişleyen tektonik yapılara bağlı olarak veya çevresel gerilmeler etkisi ile oluşan mikroçatlaklar boyunca gelişmektedir. Sülfatça zengin killi kayalar içerisinde yapılan yeraltı kazılarında, gerilmelerin, kırılma başlangıcı eşik değerini aşması durumunda, gevrek kırılma prensiplerine bağlı olarak deformasyon bölgeleri oluşmaktadır. Bu deformasyon bölgelerindeki mikroçatlakların, sülfatça zengin yeraltısularından jipsin çökmesi için uygun koşulları sağlayacağı öne sürülmektedir. Bu çalışmada, sülfat içeriği yüksek killi kayaların yenilme mekanizmalarını açıklayabilmek için tek eksenli ve üç eksenli sıkışma testleri, akustik emisyon ve yüksek çözünürlüklü deformasyon ölçümleri, mikroyapısal ve mineralojik analizler ile birlikte gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan örnekler İsviçre'nin kuzey kesimlerinde bulunan Belchen tünellerindeki Triyas yaşlı Gipskeuper formasyonundan alınmıştır. Çalışılan kaya birimi, tipik olarak belirgin killi seviyelerden, sert anhidrit damarlarından ve nodüllerinden oluşmaktadır. Çalışma sırasında, düşük deviatorik gerilme koşullarındaki yenilme davranışının, mikrokırıkların ilk oluşmaya başladığı killi matriksin dayanımı ile kontrol edildiği ortaya konmuştur. Bunun yanında, artan deviatorik gerilme veya şekil değiştirmeler ile, ilerleyen mikroçatlakların sağlam heterojen unsurlar tarafından sınırlandırıldığı belirlenmiştir. Ayrıca mikrokırıklar, killi seviyeler ile sağlam heterojen yapıların arasındaki sınırı takip ederek gelişmekte veya artan gerilmeler ile daha sağlam heterojen yapıya (Anhidrit damarları) girmektedirler. Elde edilen bulgular daha büyük ölçekte değerlendirildiğinde, anhidrit tabakaları gibi sağlam heterojen yapıların ilerleyen kırıkları

Ö.Ündül

E-posta: oundul@istanbul.edu.tr

sınırlandırabileceği ve kaya kütlelerinin hızlı bir şekilde parçalanmasını önleyeceği düşünülmektedir. Bu bağlamda, kaya kütlelerinin, mikrokırıklanma başlangıcı eşik değerinin aşılmasından sonra zarar görmesine rağmen heterojen yapısından dolayı kendini tutabilecek olması, hızlı gelişen stabilite problemlerini önleyecektir.

Anahtar Kelimeler: Anhidrit, Gevrek Kırılma, Jips, Kil, Şişme.

ABSTRACT

Gypsum precipitation related heaving generates important problems in engineering studies conducted in sulphate rich clay rocks. Formation of gypsum is generally related to the relaxation of previously existing tectonic structures due to stress relief or are related to the microcracks formed by the effect of circumferential stresses. Depending on the brittle failure principals, deformation zones are generated in underground rock structures which are excavated in sulphate rich clay rocks due to the stresses exceeding the crack initiation stress level. It is suggested that these microcracks in deformation zones are preferential pathways for gypsum precipitation. In this study, to introduce the failure mechanisms of sulphate rich clay rocks, unconfined and confined compressive strength tests, acoustic emission tests and high resolution strain measurements were conducted including microstructural and mineralogical analysis. The samples used in the study were obtained from Gipskeuper formation of Triassic age from Belchen tunnels located in the northern parts of Switzerland. The unit is typically composed of distinct clay layers and stiff anhydrite veins and/or nodules. During the studies, it is concluded that the failure processes in low deviatoric stresses are controlled by the clay matrix where the microcracks are initiated. Besides, with increasing deviatoric stresses or strain the propagating microcracks are hindered by stiff heterogeneous structures. Furthermore microcracks propagates along the boundary between the clay matrix and the stiff heterogeneous structure or penetrates the stiff heterogeneous structures (anhydrite veins). By evaluating the data obtained for larger scale, it is suggested that the stiff heterogeneous structures like anhydrite veins can limit crack propagation and prevent disintegration of rock mass structure. In this respect, even the rock mass is terminated after exceeding the crack initiation stress level, the heterogeneous structure hinders sudden failure of the rock mass.

Key Words: Anhydrite, Brittle failure, Gypsum, Clay, Heaving.

GİRİŞ

İsviçre'nin kuzey kesimleri ile Almanya'nın güney-güney batı kesimlerinde bulunan Triyas yaşlı sülfatça zengin killi kayalarda yapılan

mühendislik çalışmaları (tüneller, otoyol vb.) sırasında ve yapıların mühendislik ömürleri boyunca pek çok sorun ile karşılaşmaktadır. Sülfatça zengin killi kayalardaki bu sorunlar,

şişme ve kabarmaya bağlı olabildiği gibi nadiren küçük ölçekli düşme ve kavlaklanmaya da bağlı olabilmektedir. Sülfatça zengin killi kayalarda yaşanan problemler dünyada pek çok yeraltı kazısında gözlenmiş ve farklı araştırmacılar tarafından değerlendirilmiştir. Çizelge 1’de bu konudaki benzer örneklerden bazıları sunulmuştur.

Çizelge 1. Sülfatça zengin killi kayalarda karşılaşılan şişme ve kabarma probleminin görüldüğü mühendislik projelerinden örnekler.

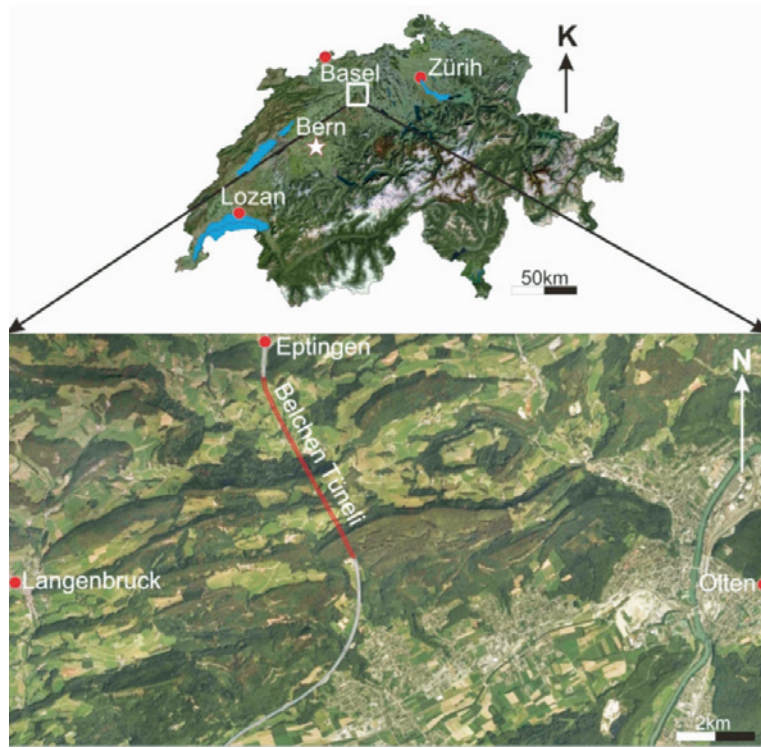
Table 1. Some engineering projects with swelling and heave problems due to sulphate rich clay rocks.

Tünel ismi	Ülke	Kaynak
Hauenstein Tüneli	İsviçre	IGT, 1995
Bözberg Tüneli	İsviçre	Grob, 1976; Berdugo vd. 2009
Belchen Tüneli	İsviçre	Grob, 1976; Nüesch vd. 1995; Amstad ve Kovari, 2001; Amann vd. 2013a
Weinsberg Tüneli	Almanya	Steiner vd. 2011
Engelberg Tüneli	Almanya	Steiner vd. 2010
Wagenburg kuzey ve güney Tünelleri	Almanya	Berdugo vd. 2009
Lilla Tüneli	İspanya	Berdugo vd. 2006; Alonso vd. 2013
Gezende Barajı	Türkiye	Oğuzberk, 2010

Bu araştırma, 3.2 km uzunluğundaki çift tüplü Belchen Otoyol Tünellerine ait drenaj galerilerinde açılan sondajlardan elde edilen örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 1 ve 2). Söz konusu tünel, 1961-1969 yılları arasında Jura Dağları’nın, Basel (İsviçre) bölgesindeki kıvrımlı kesimlerinde inşaa edilmiştir. Tünel uzunluğunun yaklaşık yarısı, Triyas yaşlı sülfatça zengin, nadiren dolomit seviyeleri bulunan, anhidrit damarlı killi bir birim olan Gipskeuper formasyonu içinde kalmaktadır (Grob, 1972, Şekil 1 ve 2). Belchen Otoyol Tünelleri’nin

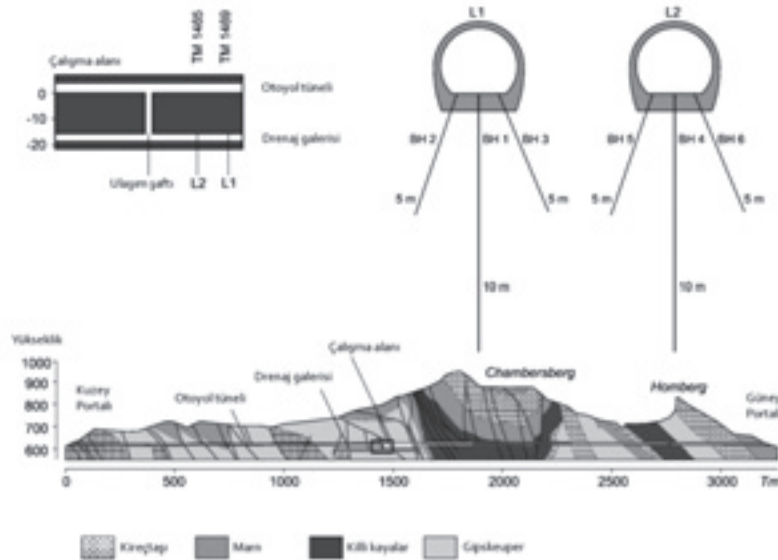
yapım aşamasında şişme-kabarmaya bağlı deformasyonlar birkaç hafta içerisinde onlarca santim boyutlara varmıştır (Grob, 1976). Belchen Tünelleri ve Tablo 1’de verilen tüneller pek çok defa yenileme ve tamir amaçlı olarak kapatılmak veya kontrollü olarak kullanılmak zorunda kalmıştır.

Bu çalışmada değerlendirilen sülfatça zengin killi kayalarda karşılaşılan problemlerin önemli bir kısmı, aşırı doygun sülfat çözeltilerinden jipsin çökmesi ile oluşan, (Anagnostou vd., 2010; Alonso ve Berdugo, 2005; Vögtli ve Jordan, 1996) hacimsel artışa bağlı tünel tabanının kabarması şeklindedir. Bu kabarmalar, kazı aşamasından sonra tünel kaplamalarını patlatacak şekilde birkaç hafta veya birkaç ay içinde onlarca santimetreyi bulabilmektedir (Grob, 1976; Steiner ve Metzger, 1988; Steiner, 1993; Amstad ve Kovari, 2001).



Şekil 1. Belchen Tüneli'ne ait yer bulduru haritası.

Figure 1. Location map of the Belchen Highway Tunnel.



Şekil 2. Belchen Otoyol Tüneli boyunca basitleştirilmiş jeolojik boyuna kesiti üzerinde sondaj yerlerinin gösterimi (Grob, 1976'dan sadeleştirilerek).

Figure 2. Borehole locations on the geological cross section along the Belchen Highway Tunnel (Simplified from Grob, 1976).

Alonso ve Berdugo (2006), benzer kaya özelliklerinde açılmış tünellerde, tünel çevresindeki aşırı doygun yeraltı suyu koşullarının ve sülfatik killi kaya ortamlarının yenilme süreçleri hakkında detaylı bilgileri, jeomekanik ve mineralojik verilerin birlikte analiz edilmesi ile değerlendirmişlerdir. Yazarlar, bu ortamlardaki kaya yenilmelerini, mikroçatlakların açılması, hacim değişimine bağlı olarak dayanımın ve sertliğin azalması şeklindeki bir sıralama ile açıklamışlardır. Bunun yanında, jips çökelinin mikroçatlaklar boyunca dolaşan sülfatça zengin yeraltı sularından kaynaklandığını gözlemlemişlerdir. Alonso ve Berdugo (2006), yeni gelişen süreksizliklerin gerilim değişimine bağlı olduğunu ve sülfatik killi kayalarda açılan tünellerde, bu bölgelerin jips oluşumu için potansiyel çökeltme alanları olacağı şeklinde yorumlamışlardır. Bu bulgular, Grob (1972), Madsen ve Nüesch (1991) ve Madsen vd. (1995)'in Belchen Otoyol Tünelleri'nde yaptıkları gözlemler ile uyumludur. Bu gözlemlerin yanısıra, Madsen ve Nüesch (1991), jips çökelinin sülfat içermeyen kil tabakalarında da sıklıkla gelişebileceğini ortaya koymuşlardır. Grob (1972) de Belchen Tünelleri'nin jeolojik değerlendirmeleri sırasında, yeraltı suyu dolaşımının ve kristal gelişiminin deforme olmuş killer içindeki çok ince kırıklarda (hair line cracks) geliştiğini belirtmiştir.

Önceki çalışmalar, kil matris içindeki kırık, çatlak ve fissürlerin, veya daha önceden var olan tektonik yapıların, mühendislik çalışmalarına bağlı gerilim rahatlaması ile açılması (Alonso ve

Berdugo, 2008) sayesinde sülfatça zengin yeraltı suları için yeni akış güzergahlarının geliştiği ve jips çökeli için uygun ortamlar oluştuğu yönünde birleşmektedirler. Ayrıca, tünel kazısı ile yeni kırıkların oluşabileceği ve böylece sülfatça zengin killi kayaların şişme potansiyellerinin artacağı da Kaiser ve Kim (2008) tarafından öne sürülmüştür. Bunun yanında Steiner vd. (2010, 2011), gevrek kırılmaya bağlı açılma kırıklarının tünel altında hidrolik geçirgenliği arttıran bölgeler oluşturabileceğini, bunun da yeraltı suyu dolaşımını ve dolayısıyla jips çökeli için uygun ön koşulları sağlayacağını öne sürmüşlerdir. Çalışma konusu olan kayalarda gevrek kırılma prensibinin uygulanması, tek eksenli gerilme koşulları altında kristalli kayalarda ve sedimanter kayalarda kırık gelişim süreçlerinin tariflenmesi çalışmalarına dayanmaktadır. Silindirik karot örneklerinde sıkışma deneyleri sonucunda gevrek kırılma, çatlaklanma başlangıcı, gelişimi ve bu kırıkların kritik seviyeye gelerek örneğin yenilmesi şeklinde açıklanmaktadır (Lockner vd., 1992). Tek eksenli yüklemelerde çatlaklanma başlangıcı tek eksenli sıkışma dayanımının yaklaşık 0.3 – 0.6 oranındaki eksenel gerilme seviyelerinde gerçekleşmektedir (Brace vd., 1966; Hallbauer vd., 1973; Scholz, 1968; Martin ve Chandler, 1994; Nicksiar ve Martin, 2013). Bu çatlaklanmalar, başlangıçta çoğunlukla en yüksek gerilme yönüne paralel gelişmektedirler. Mikroçatlak gelişiminin ardından hacimsel genişleme gerçekleşse de mikroçatlaklar duraylı olarak genişlemektedirler (Bieniawski, 1967 ve Şekil 4). Artan gerilme ve şekil değiştirmeler ile mikroçatlaklar en yüksek dayanımın yaklaşık 0.7

Ündül, Amann, Kaiser

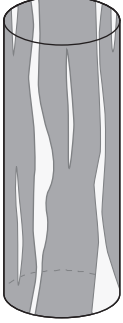
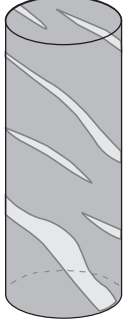
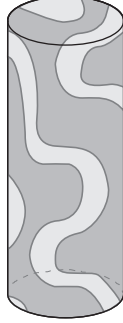
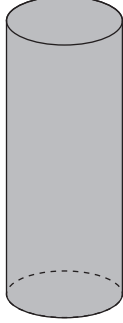
- 0.9 oranı seviyelerinde bir araya gelmektedir (Martin, 1997). Eksenel yükün daha da artmasıyla kritik kırık yoğunluğuna ulaşılır ve kaya örneği düşey çatlaklar oluşturarak yenilir (Şekil 4). Bu durum, yüksek çevre gerilmesi altında ise makaslama yenilmeleri şeklinde gelişmektedir. Tüneller etrafında gelişen açılmalı kırıklar (tensile cracks) farklı kökenli kaya gruplarında gözlenmiştir (Kaiser ve Kim, 2008; Kaiser vd., 2010).

gerilme seviyelerinin belirlenmesi amaçlanmış, ek olarak, mineralojik bileşim ve heterojenliğin kırılanma süreçlerine ve dayanıma etkileri araştırılmıştır.

YÖNTEMLER

Örneklerin alınması ve genel tanımları

İsviçre Belchen Tünelleri drenaj galerilerinde açılan 6 adet sondaj kuyusundan

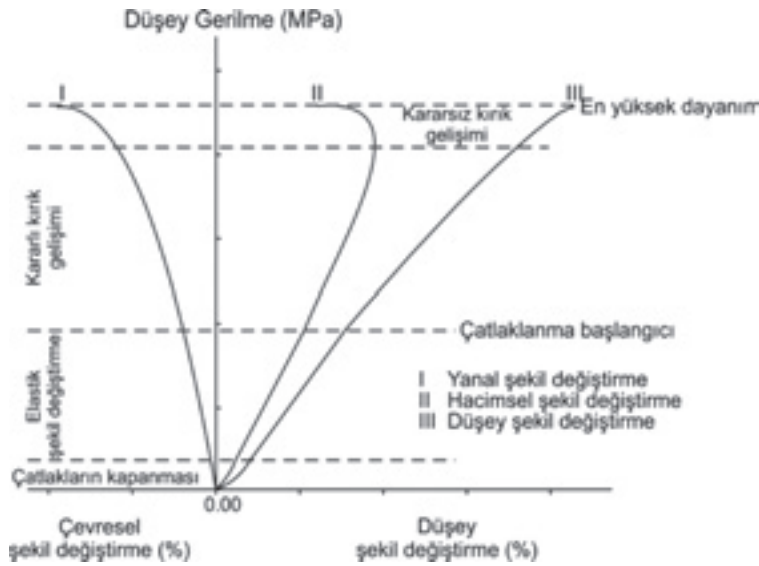
P örnekleri	Z örnekleri	F örnekleri	H örnekleri
			
Yük doğrultusunun tabakalanma ve anhidrit damarlara paralel olduğu örnekler (+- 5° - 10°)	Yük doğrultusunun tabakalanma ve anhidrit damarlara 35° ile 55° arasında açılı olduğu örnekler	Tabakalanma düzlemleri ve anhidrit damarların kıvrımlı olduğu örnekler. Bu örnek tipinde yük doğrultusu kaya yapısını oluşturan elemanlara farklı yönelimlerde	Homojen kaya yapısı. Belirgin kil tabakaları içermemektedir.

Şekil 3. Çalışma sırasında kullanılan örneklerin yük doğrultusuna göre şematik görünüşleri ve örnek grupları.

Figure 3. The schematic view of specimens and sample groups with respect to loading direction.

Literatürdeki mevcut çalışmalara rağmen, sülfatça zengin killi kayaların gevrek yenilme süreçleri ve gevrek kırılanmayı başlatacak gerilme seviyeleri hakkında iç yapının ele alındığı detaylı çalışmalar sınırlıdır. Bu çalışmada, sülfatça zengin killi kayaların çevre gerilmeli ve çevre gerilmemiş koşullarda yenilme davranışları ile mikroçatlaklanma başlangıcı

elde edilen 84 mm çapındaki karot örnekleri, basınçlı hava soğutmalı çift tüplü karotiyerler ile alınmıştır. Yapılan sondajlardan dört tanesi 5'er metre ve 20 derece eğimli, diğerleri ise 10'ar metre ve düşey olarak açılmışlardır (Şekil 2). Karotların tamamı tanımlanmalarının ardından hava geçirmeyecek şekilde folyolara sarılmış ve vakumlanarak korumaya alınmıştır.



Şekil 4. Çevre gerilmesiz koşullarda, kayanın kırılma ve yenilme süreçlerinin gerilme - şekil değiştirme grafiğinde görünümü (Brace vd., 1966; Fairhurst ve Cook, 1966; Bieniawski, 1967; Scholz, 1968; Hallbauer vd., 1973; Lajtai, 1974; ve Tapponier ve Brace, 1976'dan değiştirilerek).

Figure 4. Stress-strain diagram of the fracturing and failure processes of rocks under unconfined compression conditions. (Modified from Brace et al., 1966, Fairhurst and Cook, 1966; Bieniawski, 1967; Scholz, 1968, Hallbauer et al., 1973; Lajtai, 1974; Tapponier and Brace, 1976).

Örnekleme yapıldığı birim çok sık ve çeşitli boyutlarda kırılmalar ile çeşitli ölçeklerde fiziksel anizotropi özellikleri içermektedir. Farklı yönlerde tabakalanmalar gösteren karot örnekleri yüksek miktarda kil içeren (kil içeriği > % 50) seviyelerden tamamen anhidrit/dolomit içeren (kil içeriği < % 5) seviyelere kadar geniş bir mineralojik dağılım aralığı sunmaktadır. Farklı mineralojik bileşim ve çok değişken yönlerdeki tabakalanmalardan dolayı mekanik özellikler farklılık sunacağından karotlar Şekil 3'te verilen yönelimlere göre hazırlanmıştır.

Tek eksenli sıkışma dayanımı için farklı geometrik özelliklerde ve mineralojik bileşimlere göre temsilci örnekler hazırlanmıştır. Üç eksenli sıkışma dayanımı için ise sadece heterojen kaya yapısı (belirgin kil tabakaları ve

sert heterojenlikler) olan örnekler seçilmiştir. Mekanik deneyler için örneklerin davranışının gerilim azalması, suda dağılma ve şişme/kabarma süreçlerinden etkilenmemeleri için tünel taban kemerinin 2.5 m altından itibaren alınmıştır. Tek eksenli sıkışma dayanımı için 84 mm ve 34 mm çaplı örnekler, üç eksenli sıkışma dayanımı için ise sadece 34 mm çaplı örnekler kullanılmıştır. Tüm örnekler kuru koşullarda İsviçre Federal Teknoloji Enstitüsü Geoteknik Mühendisliği'nde elektronik kontrollü elmas testere (Type DRAMET BS 270) ile titreşimsiz olarak kesilmiştir. 0.7 mm inceliğindeki elmas testerenin dönme hızı 1200 metre/dk, ilerleme hızı ise 4 mm/dk olarak ayarlanmıştır. Karot örneklerinin alt ve üst yüzeylerinin paralelliği ISRM (1979) tarafından önerilen değerleri

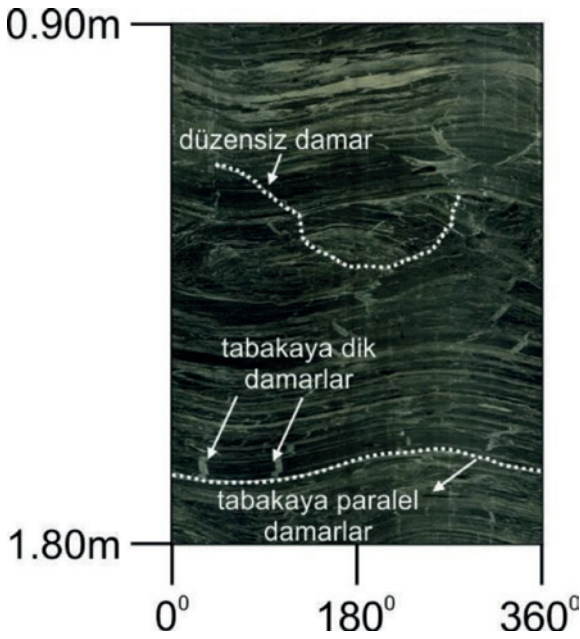
karşılmaktadır. Karot örnekleri hazırlanırken mümkün olduğunca hızlı çalışılmış ve her bir örnek hazırlama evresinde örnekler hava almayacak şekilde kaplanmıştır.

Yerinde Görüntüleme Çalışmaları

Sondaj deliklerinin açılmasından hemen sonra basınçlı hava ile temizlenmiş ve altı kuyuda Optik Görüntüleme (OPTV) işlemi başlatılmıştır. Sürekli olarak ve 360 derece gerçek renk kalitesinde sondaj deliği duvarları görüntülenmiştir. OPTV en yüksek çözünürlük

seviyesinde (düşey çözünürlük: 0.5 mm/piksel; yatay çözünürlük: 0.25 mm/piksel) çalıştırılmış ve sürekli olarak manyetik kuzey ile yönelimi kontrol edilmiştir.

Süreksizliklerin eğim – eğim yönleri vb. özelliklerinin analizleri, elde edilen görüntü boyunca sinisoidal bir görüntü veren süreksizliklerde WellCad (2.20) yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Santimetre mertebesinde ve düzensiz süreksizliklerin (Şekil 5) eğim ve eğim yönleri tespit edilemediğinden, bu gibi süreksizlikler gerekli görüldüğü yerlerde, detaylı karot analizleri yapılarak değerlendirilmiştir.



Şekil 5. B3 sondajı 0.90 m - 1.80 m arasından elde edilmiş optik görüntülemeye ait görüntü üzerinde tabakalanmaya paralel, tabakaya dik ve rastgele yönelmiş damarların görüntüsü.

Figure 5. The view of bedding parallel, bedding normal and random veins on optical televue obtained from B3 0.90-1.80m.

Mineralojik Analizler

Örneklere ait mineralojik bileşimler XRD analizleri yapılarak tespit edilmiştir. İlk olarak, örnekler, çeneli kırıcıda 0.4 mm'nin altındaki boyutlara getirilmiş ve homojenize edilmiştir. Ardından temsilci bir kısım ayrılarak McCrone mikronize değirmen ile tane boyu 20µm'nin altına indirilmiştir. XRD ölçümleri Bragg-Brentano kırınım ölçeri (Philips PW1820) kullanılarak yapılmıştır. Toz örnekler oda sıcaklığında 2 ile 75°2Theta açıları arasında ölçülmüştür (basamak aralıkları 0.02°2Theta ve her bir basamak için zaman aralığı 4s'dir). Sayısal faz bileşimleri DIFFRACplus yazılımı kullanılarak belirlenmiştir. XRD ile elde edilen piklerin konumlarına ve birbirleri ile göreceli yoğunluklarına göre mineral fazları, Uluslararası Kırınım Verileri Merkezi'nin (ICSD) önerdiği formlar ile karşılaştırılarak belirlenmiştir. Ardından mineral bileşimleri Rietveld analiz

yöntemine göre AutoQuan yazılımı kullanılarak tanımlanmıştır.

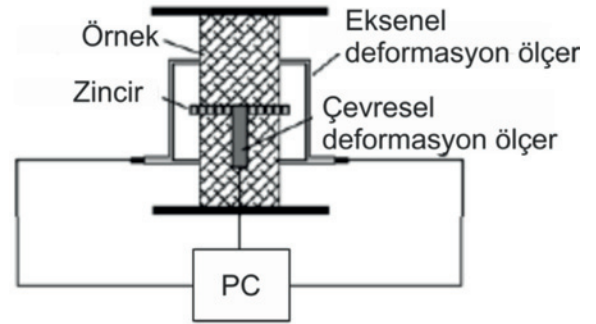
İnce kesit analizleri

Bu çalışmada değerlendirilen ince kesitler hem mekanik deneylerden önce hem de mekanik deneylerden sonra hazırlanmıştır. İnce kesitler, mekanik deneylerde uygulanan yük doğrultusu gözetilerek test edilen her bir kaya örneği için hazırlanmıştır. İnce kesitlerin hazırlanmasından önce mavi renkli akışkan bir reçine örneğe emdirilmiştir. Böylece deney sonrası oluşan kırıkların daha kolay tespit edilmesi amaçlanmıştır. İnce kesitlerin tamamı kuru şartlarda hazırlanmıştır. İnce kesit görüntüleri Nikon Digital sight DS_U3 görüntüleme sistemi ve NIS Elements Imaging software 4.00 yazılımının desteklediği en yüksek çözünürlükte elde edilmiştir.

Tek eksenli sıkışma dayanımı testleri

Tek eksenli sıkışma dayanımı testleri İsviçre Federal Teknoloji Enstitüsü – Zürih (ETH) Mühendislik Jeolojisi Kürsüsü'nde 2000 kN kapasiteli servo-hidrolik kontrollü test cihazında gerçekleştirilmiştir. Eksenel ve çevresel deformasyon ölçerler şekil değiştirme ölçümlerinin örnek kenarlarındaki değişimlerden etkilenmemesi için örnek boylarının yarısı seviyelerine sıkıca yerleştirilmiştir. Eksenel deformasyon ölçerlerin örnek üzerindeki ölçüm aralığı 84 mm çaplı örnekler için 50 mm, 34 mm çaplı örnekler için ise 35 mm olarak belirlenmiştir. Çevresel şekil değiştirmeler (ϵ_{rad}) ise örneğin

etrafına sarılan zincire bağlı deformasyon ölçerler yardımıyla hesaplanmıştır (Şekil 6). Test sırasında dijital geri bildirim çevresel şekil değiştirme ile sağlanmış ve kullanılan kontrol değeri 0.05 mm/dk olarak belirlenmiştir.



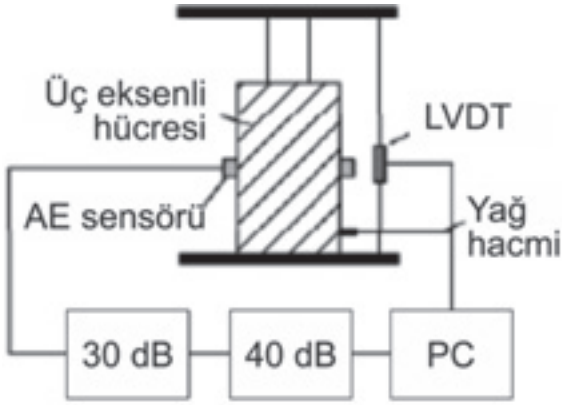
Şekil 6. Tek eksenli sıkışma dayanımı test düzeneğinin şematik görüntüsü (Amann vd., 2013a'dan değiştirilerek).

Figure 6. Schematic view of uniaxial compressive strength test (modified from Amann et al., 2013a).

Üç eksenli sıkışma dayanımı testleri

Üç eksenli sıkışma testleri İsviçre Federal Teknoloji Enstitüsü Lozan (EPFL) Üniversitesi Kaya Mekaniği Laboratuvarları'nda 2000 kN kapasiteli servo-hidrolik kontrollü ve dijital geri bildirim düzenekli test cihazında gerçekleştirilmiştir. Eksenel şekil değiştirmeler 20 mm LVDT (Linear Variable Differential Transformer - Doğrusal Değişkenli Fark Dönüştürücü) yardımıyla ölçülmüştür. Bu testler sırasında eksenel yer değiştirmeler geri bildirim sinyali olarak kullanılmış ve buradaki oran 0.01 mm/s olarak belirlenmiştir. Test sırasında Hoek hücresindeki hacim değişimi 0.1 cm³ hassasiyetinde sürekli olarak ölçülmüştür. Hacimsel şekil değiştirmeler silindirik bir şekil

değiştirmenin olduğu varsayılarak, yağın hacim değişimlerinden yararlanılarak hesaplanmıştır. Üç eksenli sıkışma testlerinde 1, 2, 4 ve 8 MPa'lık çevre gerilmeleri uygulanmıştır. Deviatorik yükleme öncesinde aksenal yük ve çevresel gerilmeler sürekli olarak artırılarak, belirlenmiş hidrostatik gerilme koşullarına gelmesi sağlanmıştır. Üç eksenli deneylerin gerçekleştirilmesine ait şematik görünüm Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Üç eksenli sıkışma dayanımı test düzeneğinin şematik görüntüsü (Amann vd., 2013a ve b'den değiştirilerek).

Figure 7. Schematic view of triaxial compressive strength test (modified from Amann et al., 2013a and 2013b).

Yenilme başlangıcının belirlenmesi

Gevrek kayalarda yenilme, mikro-çatlaklanma ve yanal yenilmenin düşey yenilmeye oranla daha çok gelişmesi şeklinde tanımlanmaktadır. Kaya yenilmesinin başlangıcının belirlenmesi için gerilme – şekil değiştirme ve mikro ses aktivitesi özelliklerine göre farklı yöntemler önerilmiştir (Brace vd., 1966;

Bieniawski, 1967; Lajtai, 1974; Martin ve Chandler, 1994; Eberhardt vd., 1998; Nicksiar ve Martin, 2012).

Çevre gerilmemiş tek eksenli testlerde çatlaklanma başlangıcının (σ_{c1}) belirlenmesi için ölçülen deformasyon değerlerine göre değerlendirme esasına dayalı ve güvenilirlikleri Nicksiar ve Martin (2012) ve Amann vd. (2011) tarafından değerlendirilmiş iki yöntemden yararlanılmıştır. Bu yöntemlerden ilki Brace vd. (1966) tarafından önerilen ve temel olarak gerilme ve hacimsel deformasyon eğrisinin çizgisellikten saptığı andaki en düşük aksenal gerilme değeridir (Şekil 8a). Burada, hacimsel şekil değiştirme (ϵ_{vol}); iki eksenel şekil değişiminin (ϵ_{axial}) ortalaması ile çevresel şekil değiştirmenin (ϵ_{rad}) iki katının toplanması şeklindedir (Formül 1).

$$\epsilon_{vol} = \epsilon_{axial} + 2\epsilon_{rad} \quad (1)$$

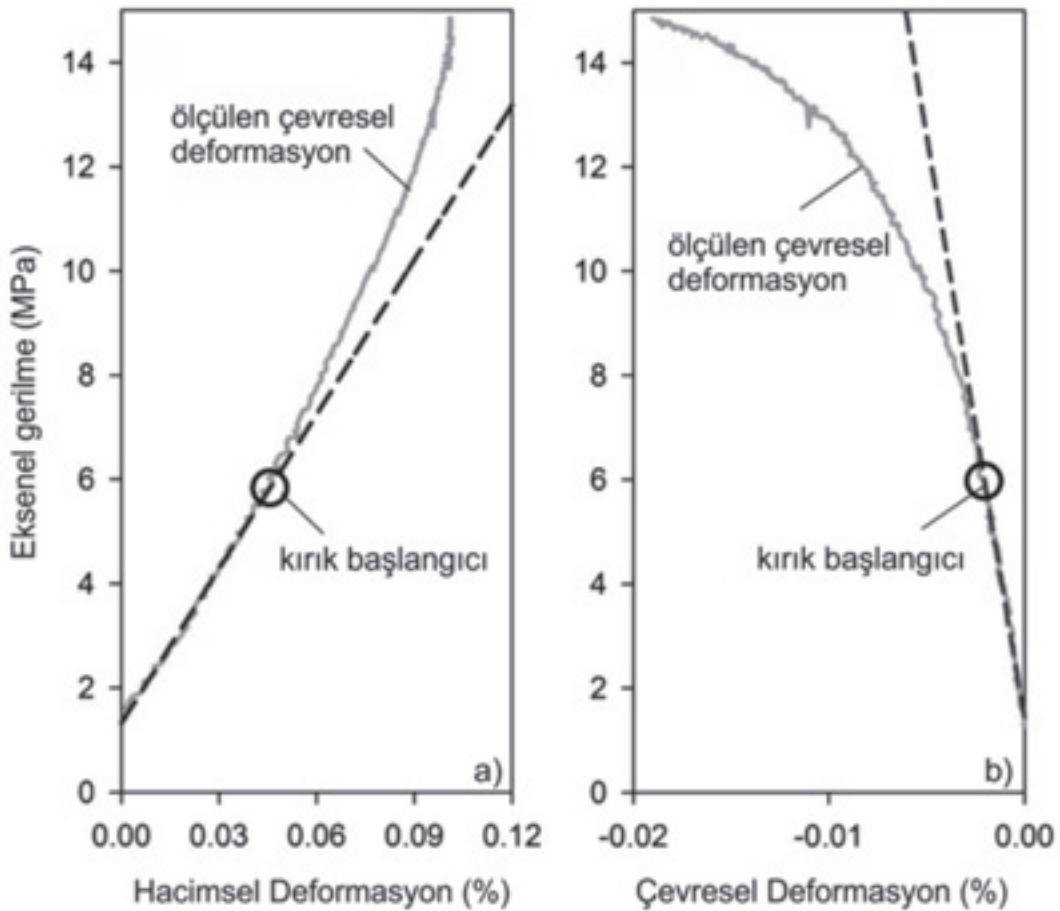
Kullanılan ikinci yöntem ise, Lajtai (1974) tarafından önerilen ve benzer prensiplerin çevresel şekil değiştirme eğrisine uygulanmasına dayanmaktadır (Şekil 8b). Bu yöntemde mikro-kırıklanmanın başlangıcı, gerilme - çevresel şekil değiştirme eğrisinin çizgisellikten saptığı nokta olarak ifade edilmektedir.

Çevre gerilmeli testlerde ise kırıklanma başlangıcı (σ_{c1}), mikro ses aktivitesi yardımı ile Eberhardt vd. (1998)'in önerdiği yöntemle Şekil 9'da gösterildiği şekilde değerlendirilmiştir. Mikro ses aktiviteleri Euro Physical Acoustic (AE - akustik emisyon) sistemi yardımıyla ölçülmüştür. 10-10000 kHz arasındaki hassiyette çalışan, iki adet 17 mm

çaplı geniş bant aralıklı piezoelektrik algılayıcılar üç eksenli hücresine sıkıca takılmıştır (Şekil 7). Ses yükseltme işlemi iki aşamada yapılmıştır. Bunlardan ilki ön yükseltici ile 30 dB'lik bir arttırmadır. Sinyal alıcıya ulaşmadan ikinci aşama yükseltici devreye girerek 40 dB'lik bir artış sağlanmaktadır. Verilerin kaydedilmesi önceden belirlenmiş sinyal büyüklüğünün aşılması durumunda gerçekleşmektedir. Böylece

ses gürültüsü oluşturan düşük ses seviyelerine ait sinyallerin kaydedilmesi tamamen önlenemese de belirli ölçüde azaltılmaktadır.

Mikro-ses aktivitesinin yanı sıra, deviatorik yüklemeler sırasında yağ hacmindeki artış ve Hoek hücresindeki düşüşlerden yararlanılarak mikro-kırıklanmanın başladığı gerilme değeri Brace vd. (1966) tarafından önerilen yöntemden yararlanılarak tespit edilmiştir (Şekil 8a).



Şekil 8. σ_{c1} 'in tespitinde kullanılan gerilme-şekil değiştirme diyagramları a) Brace vd. (1966) tarafından önerilen yöntem b) Lajtai (1974) tarafından önerilen yöntem.

Figure 8. The stress – strain diagrams utilized in determining the σ_{c1} a) Method proposed by Brace et al (1966) b) Method proposed by (Lajtai, 1974).

Ündül, Amann, Kaiser

BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmalar sırasında elde edilen XRD sonuçları Çizelge 2’de, mekanik deneylere ait

sonuçlar ise Çizelge 3’te (tek eksenli sıkışma dayanımı deneyi) ve Çizelge 4’te (üç eksenli sıkışma dayanımı deneyi) verilmektedir.

Çizelge 2. Tek eksenli sıkışma dayanımı testlerinde kullanılan örneklere ait XRD verileri.

Table 2. XRD data of the specimens used in the uniaxial compressive strength test.

Kuyu Numarası	Derinlik	Ah	Gy	Ba	Do	Q	Mg	CM
(-)	(cm)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
B3	330	49.17	0.15	0	0	4.23	9.68	28.72
B4	287	20.28	0.63	0.22	0.68	3.49	15.91	46.23
B4	630	35.07	7.77	0	1.29	5.78	9.38	30.75
B3	335	37.76	0.86	1.15	0	5.15	14.65	25.07
B3	318	51.29	0.83	1.37	0	10.23	8.59	17.85
B3	270	57.4	0.52	1.71	0	5.2	7.73	16.54
B3	445	36.86	0.64	1.75	0.69	2.85	8.82	39.74
B1	687	30.62	4.11	0.17	0.2	9.08	25.58	20.69
B1	385	53.89	1.05	1.36	0	6.96	10.21	16.98
B1	505	65.3	0	0.16	0	1.8	19.6	8.58
B5	485	45.91	1.59	0.94	0.39	5.31	18.98	16.07
B4	257	58.94	0.44	1.32	0	6.13	14.55	10.76
B3	412	47.94	0.91	0.91	0	7.15	25.81	8.57
B3	420	-	-	-	-	-	-	-
B1	495	69.3	0	1.78	0	2.03	11.56	9.31
B4	250	70.49	0.22	1.57	0	3.57	10.89	7.24
B3	450	67.61	0.36	1.36	0	2.3	14.28	9.52
B1	795	46.35	0.52	2.13	43.87	1.31	0.05	4.4
B1	810	57.38	0.52	1.66	30.19	1.41	0.07	3.69
B1	710	80.41	0.16	1.8	12.29	0.48	0.13	2.87
B1	720	84.23	0.36	1.91	7.84	0.26	0.12	2.97

Ah: Anhidrit; Gy: Jips; Ba: Basanit; Do: Dolomit; Q: Kuvars; Mg: Manyezit; CM: Kil mineralleri. (Smektit, illit ve klorit minerallerinin toplamı verilmiştir).

Çizelge 3. Tek eksenli sıkışma dayanımı deneyi sonuçları.

Table 3. The results of uniaxial compressive strength tests.

Kuyu numarası	Derinlik (cm)	Örnek tipi (-)	D (mm)	E (GPa)	ν (-)	UCS (MPa)	σ_{ci} (I) (MPa)	σ_{ci} (II) (MPa)
B3	330	Z	34	2.8	0.13	5.6	4.0	3.8
B4	287	P	34	5.2	0.08	6.6	4.0	4.4
B4	630	Z	84	4.9	0.09	7.7	4.0	3.8
B3	335	Z	34	6.4	0.17	7.8	4.6	4.2
B3	318	F	34	6.1	0.09	11.9	6.6	6.4
B3	270	F	84	9.4	0.04	16.1	6.5	6.5
B3	445	P	34	42.2	0.16	20.1	15.2	12.9
B1	687	P	34	12.4	0.06	23.5	7.9	8.1
B1	385	F	34	29.7	0.19	25.5	12.4	12.1
B1	505	F	34	33.1	0.21	28	9.9	9.2
B5	485	P	84	35.3	0.07	32.6	10.5	7.7
B4	257	F	34	26.1	0.09	41.2	13.7	13.7
B3	412	P	34	65	0.18	44.6	22.1	22.4
B3	420	P	34	80.7	0	46.8	-	-
B1	495	F	34	36.1	0.11	52.6	17.4	13.4
B4	250	F	34	32.4	0.06	64.2	19.5	19.7
B3	450	P	34	68.8	0.16	71.7	45.5	40.0
B1	795	H ^{a)}	34	84.3	0.21	75.4	63.5	61.0
B1	810	H ^{a)}	34	77	0.21	83	72.5	63.5
B1	710	H ^{a)}	34	85.7	0.2	93.6	67.5	55.0
B1	720	H ^{a)}	34	80.2	0.21	150.9	89.5	85.5

Z: Z tipi örnekler; P: P tipi örnekler; F: F tipi örnekler; H: homojen örnekler; D: örnek çapı; E: Young Modülü; ν : Poisson oranı; UCS: tek eksenli sıkışma dayanımı; σ_{ci} (I): Brace vd. (1966)'nın önerdiği yöntemle göre hesaplanan çatlaklanma başlangıcı gerilme değeri; σ_{ci} (II): Lajtai (1974)'ün önerdiği yöntemle göre hesaplanan çatlaklanma başlangıcı gerilme değeri.

H^{a)} belirgin kil bantı içermeyen homojen örnek tipi.

Ündül, Amann, Kaiser

Çizelge 4. Üç eksenli sıkışma dayanımı deneyi sonuçları.

Table 4. The results of triaxial compressive strength tests.

Kuyu numarası	Derinlik (cm)	Örnek tipi (-)	D (mm)	E (GPa)	ν (-)	s_3 (MPa)	$s_{I, peak}$ (MPa)	$\sigma_{CI, AE}$ (MPa)	$\sigma_{CI, vol}$ (MPa)
B4	330	Z	34	14.5	0.14	8	71.5	15.0	13.9
B1	270	Z	34	12.1	0.30	2	39.9	8.2	8.3
B3	249	Z	34	24.2	0.10	2	46.9	8.4	9.5
B4	267	Z	34	5.4	0.31	1	44.7	8.6	-
B4	335	Z	34	22.3	0.37	1	31	6.2	-
B4	335	Z	34	10.1	0.30	2	42	6.1	6.5
B4	405	P	34	11.2	0.20	8	53.7	15.6	16.2
B3	440	P	34	12.3	0.07	2	43.2	-	7.7
B4	275	P*)	34	25.8	0.08	8	101	15.7	15.8
B3	455	F	34	29.9	0.31	8	93.8	14.5	16.6
B3	245	P*)	34	25.8	0.27	1	67.3	7.1	7.3
B3	231	F	34	32.1	0.10	4	89.8	10.5	11.6
B3	227	P	34	37.4	0.16	4	112	11.9	12.0
B5	505	P	34	64.9	0.19	2	116.3	9.6	10.0
B4	495	P	34	62	0.10	1	99	-	-

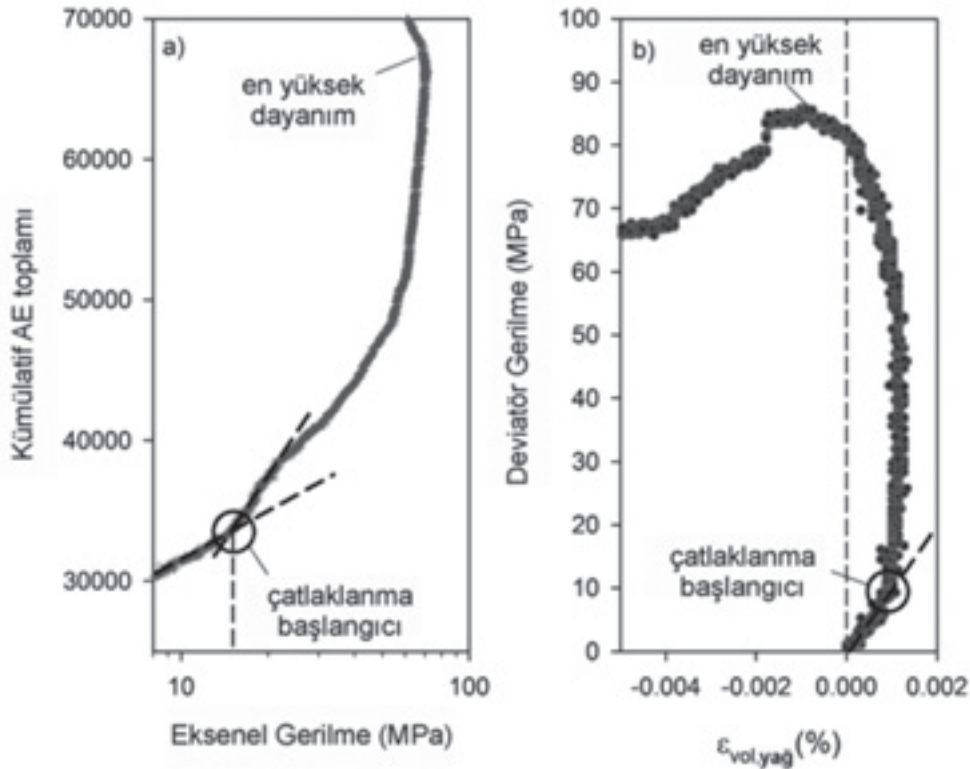
Z: Z tipi örnekler; P: P tipi örnekler; F: F tipi örnekler; D: örnek çapı; E: Young Modülü; ν : Poisson oranı; s_3 : çevre gerilmesi; $s_{I, peak}$: en yüksek dayanım; $\sigma_{CI, AE}$: mikro ses aktivitesi ile belirlenen çatlaklanma başlangıcındaki eksenel yük; $\sigma_{CI, vol}$: Brace vd. (1966)'nın önerdiği yöntemle belirlenen çatlaklanma başlangıcındaki eksenel yük.

P*) süresiz sert damarlar içeren P tipi örnekler.

Tek eksenli deney sonuçlarının mineralojik ve petrografik özellikler ile ilişkileri

Deneyler sırasında elde edilen sonuçlara göre, incelenen kayaların tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri 5.6 MPa ile 151 MPa arasında değişmektedir. Düşük dayanım değerleri, kil

matriks boyunca yenilen örneklerden, yüksek değerler ise, % 84'e varan anhidrit içeriğine sahip H tipi örneklerden elde edilmiştir. Düşük eksenel gerilmelerde eksenel şekil değiştirme eğrisinden elde edilen Young modülü 2.8 - 85.7 GPa arasında değişmektedir. Poisson oranı ise 0.06 - 0.21 aralığındadır.

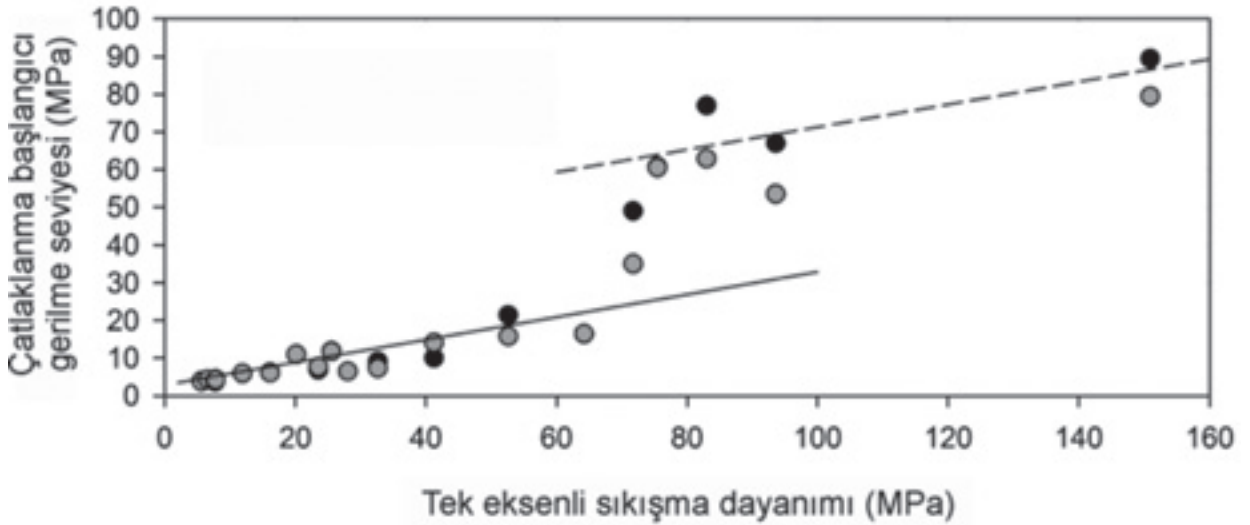


Şekil 9. Çevre gerilmeli koşullarda, σ_{cr} 'in tespitinde kullanılan yöntemler a) mikro ses aktivitesine ait grafik (Eberhardt vd. 1998'in önerdiği yöntemeye göre). b) Hoek hücresinin deviatorik yüklemeye yağ alıp vermesi ile gelişen hacim değişimine ait grafik. Şekildeki kesikli çizgiler düşük deviatorik gerilmelerdeki çizgisel gidişi göstermektedir.

Figure 9. Methods used in defining σ_{cr} under confined conditions a) the graph of acoustic emission (based on Eberhardt et al. 1998) b) the volumetric strain response obtained from oil-volume gain or loss in the Hoek cell during deviatoric loading. The dashed line in b represents the linear trend at low deviatoric stress.

UCS (Uniaxial Compressive Strength – Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı) ile σ_{cr} arasındaki ilişki Şekil 10'da gösterilmektedir. Tek eksenli sıkışma dayanımının 5.6 ila 65 MPa arasındaki seviyede σ_{cr} UCS'e göre 3:10 oranında artmaktadır (Şekil 10). UCS bu aralıkta olduğu durumda, kırılma başlangıcı değerleri 4-13 MPa arasında değişmektedir. UCS'in 65-75 MPa arasında olduğu durumda, σ_{cr} önemli bir şekilde artış göstermiştir. Bu UCS değerinin üzerinde (H örnekleri), σ_{cr} , benzer şekilde yine UCS'e göre 3:10 oranında artmaktadır (Şekil 10).

Mineralojik analizlere göre deneyde kullanılan örnekler genel olarak anhidrit, dolomit ve kil minerallerinden (simektit, illit ve klorit) oluşmaktadır. Kil içeriğinin artması ile anhidrit ve/veya dolomit oranının azaldığı gözlenmektedir. Anhidrit ve dolomit kil matriks içerisinde birkaç mm'den birkaç cm'ye kadar boyutlarda damarlar ve nodüller şeklinde bulunabilmektedir. Kil minerallerinin % 7-10 aralığından düşük (Tip I) ve yüksek (Tip II) olmasına göre iki şekilde sınıflanabileceği, mekanik deneylerden çıkan sonuçlarda oldukça belirgindir.



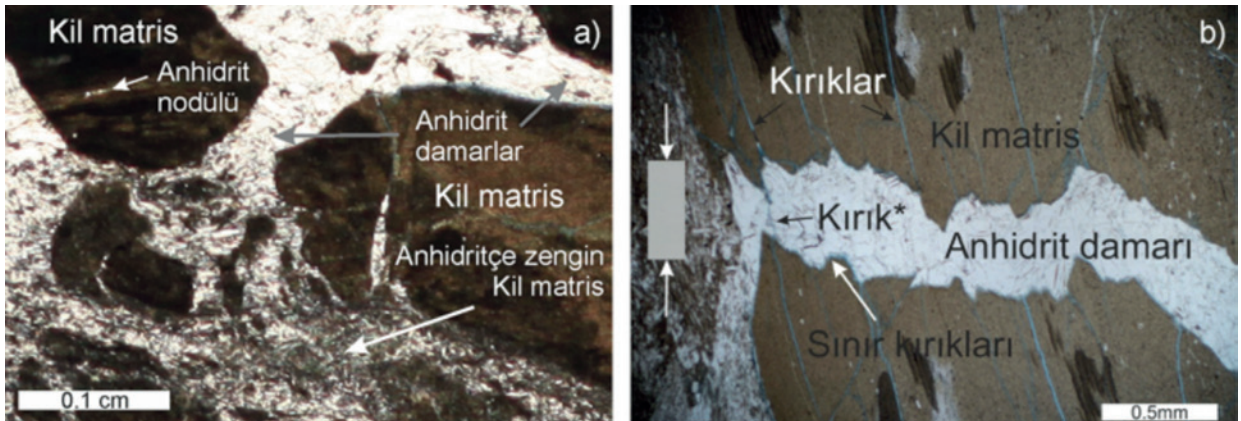
Şekil 10. Eksenel yük ile tek eksenli dayanımın çatlaklanma başlangıcı seviyesindeki ilişkisi. Koyu renkli noktalar, Brace vd. (1966) tarafından önerilen hacimsel şekil değiştirme yöntemine göre bulunmuştur. Açık renkli noktalar ise Lajtai (1974)'ün önerdiği yanıl şekil değiştirme yöntemi ile bulunmuştur.

Figure 10. Uniaxial compressive strength in relation to the axial stress at the crack initiation stress point with darker colors are determined from the volumetric strain response according to Brace et al. (1966); points with lighter colors are determined from the radial strain response according to Lajtai (1974)

Şekil 11a'da kil içeriğine göre Tip I, Tip II ve geçiş zonlarına ait ince kesit görüntüleri bulunmaktadır. Kil matris kahverengi ve yer yer gri renklerden siyaha doğru renkler vermektedir. Açık gri kesimlerde anhidrit kristalleri bulunmaktadır. Siyah ve koyu renklerin hakim olduğu kesimler tamamen kil minerallerinden oluşmuş kesimlerdir. Farklı oranlarda kil ve anhidrit bileşimleri tek bir örnek içerisinde pek çok yerde gözlenmektedir. σ_{CI} değerlerindeki değişimler kil matriksin mikro yapısal ve mineralojik değişimleri ile yakından ilişkilidir. Bu durum Şekil 11a ile uyumludur. Şekil 11b'de ise tek eksenli sıkışma deneyi sonrasında (yük doğrultusu oklar ile gösterilmiştir) yüke paralel-yarı paralel gelişen kırıklar gözlenmektedir. Burada nispeten daha yumuşak kil matris içerisinde kırıklar gelişmekte, sağlam sert

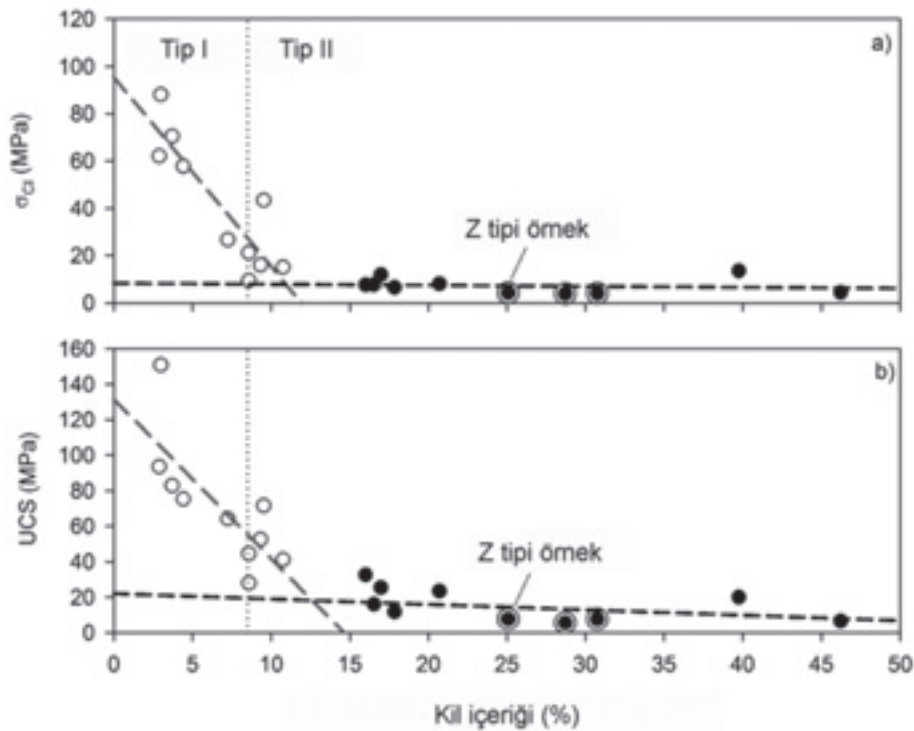
anhidrit damarlara kadar gelişen kırıklar sınır kırıkları olarak devam etmektedir. Artan yük ile kırıkların sert anhidrit damarları kestiği de düşünülmektedir.

Kil içeriğinin %20'den fazla olduğu durumlarda, tek eksenli sıkışma dayanımının 20 MPa'dan 5 MPa'ya kadar düştüğü gözlenmektedir. Kil içeriğindeki artış % 7-10 seviyelerini aştığında ise σ_{CI} değerinin çok az bir değişim gösterdiği gözlenmektedir. Ayrıca Tip I kil içeriğinde, UCS ve σ_{CI} değerlerinin önemli bir şekilde arttığı belirgindir. Bu bölgede anhidrit ve dolomitin arttığı göz önünde bulundurulmalıdır. Kil minerallerinin diğer bileşenlere göre oransal değişiminin UCS ve σ_{CI} üzerindeki etkileri Şekil 12'de gösterilmektedir.



Şekil 11. Mekanik deneylerde kullanılan örneklerin iç yapılarını gösteren ince kesit görüntüleri a) Mekanik deney öncesi bir örneğe ait görüntü, b) Tek eksenli deney sonrası örneğe ait görüntü.

Figure 11. Thin sections showing the micro-texture of specimen used in mechanical tests a) a view of a specimen before the mechanical test, b) a view of a specimen after in the mechanical tests.



Şekil 12. Kil minerallerinin toplam içeriği ile a) çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyeleri (σ_{cl}), ve b) çevre gerilmesiz sıkışma dayanımı (UCS) değerleri arasındaki ilişki. Z tipi örnekler çift halka ile gösterilmiştir. Şeklin a kısmında verilen çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyeleri Brace vd. (1966)'ya göre tespit edilmiştir.

Figure 12. The relation between total content of clay and a) crack initiation stress level (σ_{cl}) and b) uniaxial compressive strength. Type Z specimens are highlighted by doublecircle. The crack initiation stress levels in (a) are determined by the method proposed by Brace et al (1966).

Tip II'nin olduğu bölgelerde, σ_{ci} değerlerindeki küçük sapmalar, mikrokırıkların gelişimini oluşturacak fark gerilmeler, yaklaşık olarak sabittir. Tip I'de σ_{ci} 'in artışı kil matriks içerisinde anhidritin artması ile açıklanmaktadır. Farklı kil matris türlerinin olması ve Tip I'deki anhidrit içeriğinin artması, Tip I ve II arasındaki geçiş zonlarında, σ_{ci} 'in neden farklı olduğunu açıklamaktadır.

Tip I örneklerde, UCS artışı, kil matriksin dayanımının, içerisinde saçılmış halde bulunan anhidrit miktarının artışına bağlı olarak (nispi olarak kil içeriğinin azalması) yükselmesi ile açıklanabilir.

75 MPa'dan büyük tek eksenli sıkışma dayanımı (H örnekleri) gösteren örneklere ait σ_{ci} değerleri 3:10 oranında artmaktadır (Şekil 10). Bu örnekler Tip II ve geçiş zonundaki örneklerden çok farklı bir doku sunmaktadır. Bu örneklerde kil içeriği % 5'ten düşüktür ve neredeyse homojen bir görünüm sunmaktadır. Bu sebeple çatlak gelişimi, farklı iç yapıdaki örneklerin bir arada bulunduğu örneklerden çok homojen bir anhidritin çatlaklanma seviyelerine daha yakındır.

Tek eksenli sıkışma deneylerinde yenilme süreçleri

Tek eksenli sıkışma deneylerinde yenilme süreçlerinin tanımlanması, mekanik deneyler sonrasında karot örneklerinden alınan ince kesitler üzerinde yapılan çalışmalar ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda, UCS dayanımı 80 MPa'nın üzerinde ve kil içeriği %

5'ten fazla olan örnekler değerlendirilmiştir. Bu örneklerde, daha önce de bahsedildiği gibi, kil matriks içerisinde farklı oranlarda saçılmış anhidrit damarları heterojen yapıyı oluşturmaktadır.

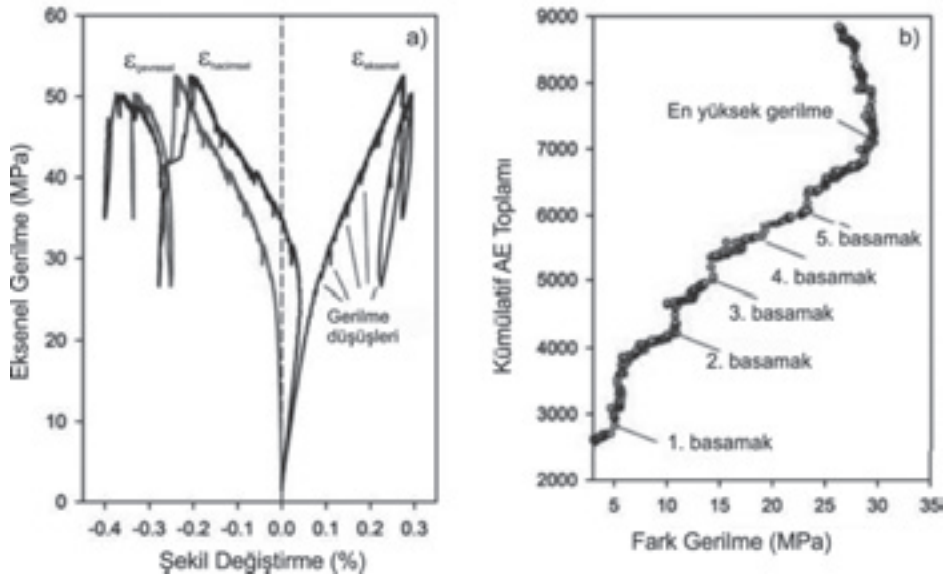
İnce kesitlerde pek çok mikroçatlak gözlenmektedir (Şekil 8c ve d). Mikroçatlaklar genellikle yük eksenine paralel ve yarı paralel olarak bulunmaktadır. Farklı açılardaki çatlak gelişimi ise, mikroyapıdaki değişiklikler ve heterojenlikle ilgilidir. Gözlenen kırık türlerinden bir tanesi de sınır kırıklarıdır (Örn: kil matriks ve heterojenliği oluşturan unsurlar arasında). Sınır kırıkları genel olarak anhidrit damarları, nodülleri ve anhidritçe zengin matriks ile kil matriks arasında gelişmektedir. Bazı durumlarda mikroçatlakların sert anhidrit damarlarını kestiği de gözlenmiştir. Anhidritin ve anhidritçe zengin kil matriksin nispeten daha dayanımlı olmasından dolayı bu çatlakların, sınır kırıklarına göre daha yüksek gerilme seviyelerinde oluştuğu öngörülmektedir.

Mikroçatlaklar, kil matriks içerisinde asal yüklere paralel olarak açılma eğilimindedir. Bu durum, yanal deformasyon artışını da beraberinde getirmektedir. Çevre gerilmesiz yük koşullarında, gözle görülebilir boyutta eksenel kırıklar genellikle gevrek kayalarda, düşey yüklerin kararsız kırık gelişimi gerilme seviyesini geçtiği seviyelerde gözlenmektedir. (Bieniawski, 1967; Martin, 1997). Ancak bu heterojen iç yapı özelliğindeki sülfatça zengin killi kayalarda yapılan deneylerde, herhangi bir yüksek dayanım ya da gözle görülebilen kırıklar tespit edilememiştir. Sadece, kil içeriği % 5'ten az olan homojen nitelikli örneklerde

bu kırıklar gözlenmiştir. Mikro ve makro ölçekte yapılan bu gözlemler, mikroçatlakların, heterojen örneklerde tek bir yerde birikmediği ve devamında da yenilme öncesinde gözle görülebilen boyutlarda kırıkların gelişmediği sonucunu ortaya koymaktadır. Bu süreç büyük olasılıkla, kırıkların gelişmesini engelleyen ve bunları tutan anhidrit damarlarının yönelimine, miktarına ve dağılımına bağlıdır. Bu sebeple, diğer gevrek kayalarda yenilme sırasında veya hemen öncesinde gözlenen makro kırıklar, bu tip heterojen iç yapı özelliği olan kayalarda gözlenmemektedir. Bu heterojen iç yapı aynı zamanda farklı gerilme seviyelerindeki ani gerilme düşüşlerini de açıklamaktadır (Şekil 13a ve b).

Yukarıdaki yorumlara göre, heterojen yapıya sahip örneklerde gelişen kırıkların anhidrit

damarları tarafından tutulduğu ve bu durumun da anhidrit damarlarının sıklığı, yönelimi ve dağılımı ile yakından ilgili olduğu belirgindir. Yüksek kil içeriğinin olduğu durumlarda, makroskopik kırık gelişmesi olasılığı, anhidrit damarları olan örneklerden daha yüksektir. Bu nedenle, artan anhidrit damar yoğunluğundan dolayı, tekil kırıklar veya mikroçatlaklanma bölgeleri, düşük gerilme koşullarında birleşemezler ve son süreçte, kırıklar, artan gerilmelere bağlı olarak heterojen yapıları keserler. Bu durum, kil içeriğinin artmasıyla veya anhidrit içeriğinin azalmasıyla dayanımın azalması durumunu açıklamaktadır. Böylece, zayıf kil içerikli ama yüksek anhidrit bileşimli örnekler, düşük çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyeleri gösterse de yüksek dayanım gösterebilirler.



Şekil 13. Heterojen örneklere ait (Tip II ile Tip I ve Tip II arası geçiş örnekleri) a) Tek eksenli deney sonuçlarına göre çizilen gerilme şekil değişirme grafiği b) Üç eksenli deneylerde mikro ses aktivitesine göre elde edilen grafik.

Figure 13. The graphs for heterogeneous specimen (Type II and transition specimen between Type I and Type II) a) stress-strain diagram obtained from uniaxial compressive strength test b) the graph obtained from acoustic emission during the triaxial strength test.

Çevre gerilmeli deneyler ve yenilme süreçleri

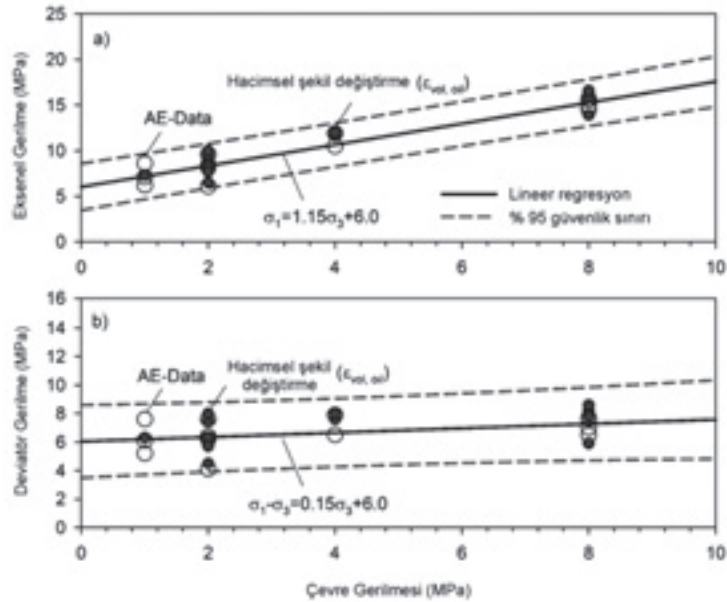
Üç eksenli deneyler, heterojen yapılı örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir. 15 adet üç eksenli deney sonucuna ait veriler Çizelge 4’te sunulmuştur. Deneyde kullanılan örneklerin mineralojik içerikleri ise Çizelge 5’te verilmektedir. Üç eksenli deneylerdeki örneklerin kil içerikleri % 6.7 - 33.8 arasında değişmektedir. Böylece örneklerin, Tip II’ye veya Tip I ile Tip II arasındaki geçiş seviyelerine ait olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 12).

Üç eksenli sıkışma etkisinde, Şekil 13a’da asal gerilme ve Şekil 14b’de deviatör gerilmelere göre, σ_{c1} seviyelerinin ilişkileri gösterilmektedir. Her iki grafikte çatlaklanma başlangıcı mikro ses aktivitesi ve hacimsel şekil değiştirme tepkisine göre belirlenmiştir. Artan çevre gerilmeleri ile çatlaklanma başlangıcındaki eksenel gerilme çok hafif bir eğimle artma eğilimindedir. Ancak fark gerilme çevre gerilmesinden bağımsız olup yaklaşık 4 - 8 MPa arasında değişmektedir. Bunun yanında, Z örneklerinde, çatlaklanma başlangıcı

Çizelge 5. Üç eksenli sıkışma dayanımı testlerinde kullanılan örneklerle ait XRD verileri.
Table 5. XRD data of the specimen used in triaxial compressive tests.

Kuyu Numarası (-)	Derinlik (m)	Ah (%)	Gy (%)	Ba (%)	Do (%)	Q (%)	Mg (%)	CM (%)
B4	330	76.0	0	0	0	2.7	5.8	10.94
B1	270	78.72	0.26	1.09	0.2	2.17	18.85	9.33
B3	249	54.4	0	1.23	0	6.35	13.57	13.72
B4	267	67.0	0.34	1.3	0	5.31	10.85	9.21
B4	335	63.1	1.34	0.52	0	5.67	7.01	13.31
B4	335	63.1	1.34	0.52	0	5.67	7.01	13.31
B4	405	27.1	0	3.9	0	7.01	20.09	33.81
B3	440	54.4	0	0	0	4.06	13.71	20.4
B4	275	67.0	0.34	1.3	0	5.31	10.85	9.21
B3	455	70.3	0	1.48	0	2.45	8.81	11.49
B3	245	70.15	0.31	1.51	0.04	2.61	10.12	9.36
B3	231	55.5	0.43	1.1	0	6	18.71	9.87
B3	227	56.5	0.22	1.24	0	4.83	23.54	7.23
B5	505	71.4	0	0.17	0	5.07	13.32	6.7
B4	495	68.8	0.78	1.52	0	4.51	11.39	6.84

Ah: Anhidrit; Gy: Jips; Ba: Basanit; Do: Dolomit; Q: Kuvars; Mg: Manyezit; CM: Kil mineralleri. (Smektit, illit ve klorit minerallerinin toplamı verilmiştir.)



Şekil 14. Üç eksenli sıkışma koşulları altında çatlaklanma başlangıcı değerleri a) asal gerilmelere ait diyagram b) deviator gerilmelere göre elde edilen diyagram.

Figure 14. The crack initiation stress levels under triaxial compressive conditions a) the graph for major stresses b) the graph for deviatoric stresses.

gerilme seviyelerindeki fark gerilmeleri P ve F örneklerinde elde edilen gerilme seviyelerine çok yakındır. Bu durum, kil içeriğinin, % 7'yi geçtiği durumlarda yük doğrultusunun tabakalanma düzlemine göre konumu arasında çok az bir ilişkinin olduğunu göstermektedir. Kil içeriğinin % 7 - 10 aralığından fazla olduğu örneklerde, üç eksenli ve tek eksenli deneylerde elde edilen çatlaklanma başlangıcı değerleri birbirleri ile uyumludur. Benzer sonuçlar Amann vd. (2011) tarafından Opalinus Killeri üzerinde yapılan bir çalışmada da sunulmuştur.

Bu çalışmadan elde edilen mikro ses aktiviteleri, artan fark gerilmeleri ile basamaklı bir yapı göstermektedir (Şekil 13b). Gevrek kayalar üzerinde yapılan önceki çalışmalarda, devamlılık gösteren ses aktiviteleri gözlenmektedir

(Eberhardt vd., 1998; Mogi, 1962). Burada gözlenen basamaklı yapı daha önce tek eksenli deneylerde gözlenen ve nedenleri açıklanan gerilme düşüşleri ile aynı sebepten dolayı oluşmaktadır. Ancak çevre gerilmeli deneylerde eksenel kırıklar ile beraber makaslama kırıklarının geliştiği de unutulmamalıdır.

Her iki grafikte de çatlaklanma başlangıcı değerleri, mikro ses aktivitesine (içi boş yuvarlaklar) ve hacimsel şekil değiştirmeye göre (siyah yuvarlaklar) elde edilmiştir.

Tek eksenli sıkışma deneyleri, kaya dayanımının, öncelikle kil minerallerinin kütlece oranına, ardından anhidrit damarlarının dağılımına ve yönelimine bağlı olduğunu ortaya koymaktadır. Kil içeriğinin % 20'den

yüksek olduğu örneklerde, deney örneğinin iç geometrisinin dayanıma etkisi azdır. Üç eksenli deneylerde kullanılan örneklerde kil içeriği % 6.7 ile % 33.8 arasında değişmektedir.

ELDE EDİLEN VERİLERİN YERALTI KAZILARINDAKİ ÖNEMİ

Masiften orta dereceli kırıklıya kadar farklı kaya özelliği gösteren kaya kütlelerinde açılan tünellerin çevresindeki düşük çevre gerilmesi olan bölgelerdeki kaya kütesinin dayanımı, laboratuvarında elde edilen ve öngörülen değerlerden oldukça düşüktür (Martin, 1997; Kaiser vd., 2010; Diederichs, 2003). Bu düşük çevre gerilmeli ortamlarda gözle görülebilen boyutta çatlakların gelişmesi için gereken gerilme seviyelerinin, çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyeleri ile eşdeğer olduğu ortaya konmuştur (Martin, 1997; Kaiser vd., 2010; Diederichs, 2003). Diğer bir ifade ile çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyelerinin hemen üzerindeki gerilme seviyeleri, kavlaklanmalara ve kopmalara sebep olabilmektedir. Sülfatça zengin killi kayalarda farklı boyutlarda sert ve dayanımlı heterojen yapılar bulunmaktadır. Örneğin Gipskeuper formasyonunda anhidritten oluşan pekçok heterojenlik yaratan unsur bulunmaktadır. Anhidrit damarları ve tabakalarının kalınlıkları mm ölçeğinden cm ölçeğine kadar olan boyutlardadır. Bu çalışmada elde edilen bulgular, çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyelerinin, kavlaklanma, kopma gibi kaya kütesini parçalayıcı etkilere sebebiyet verecek, çatlak gelişimini başlatıcı gerilme seviyeleri olarak

düşünülmemesi gerektiğini ortaya konmuştur. Çünkü sert ve dayanımlı heterojen yapılar (damarlar ve tabakalar), gelişen çatlakların açılmasını ve ilerlemesini engelleyici yönde rol oynamaktadırlar. Böylece kaya kütesinin ani bir şekilde dağılmasını engellerler. Bunu yanında, Alonso ve Berdugo (2008) tarafından önerildiği gibi, tüneller çevresindeki kazı etki zonundaki fissürler ve çatlaklar, sülfatça zengin yeraltı sularının buralarda aşırı doymun hale gelmesi ile yeni kristallerin gelişmesine bağlı olarak şişme ve kabarmalara yol açabilir. Bu çalışma kapsamında sülfatça zengin killi kayalarda yapılan değerlendirmeler, tünel çevresindeki düşük çevre gerilmeli alanlarda gelişen mikro kırıklanmaların gelişebileceğini ve jips çökelişini arttırıcı etki yapabileceğini göstermektedir.

SONUÇLAR

Sülfatça zengin killi kayaların yenilme davranışlarını belirlenmesi için tek eksenli ve üç eksenli gerilme koşulları altında bir seri deney yapılmıştır. Deneyler sırasında kullanılan örnekler Belchen (İsviçre) Otoyol Tünelleri drenaj galerilerinden elde edilmiştir. Bu deney sonuçlarına göre, mikroçatlaklar ilk olarak kil matriks içerisinde 4 - 13 MPa arasında değişen deviyör gerilmelerde oluşmaktadır. Kil içeriği % 7'den büyük olan örneklerde çatlaklanma başlangıcı seviyesindeki gerilmeler örnek geometrisinden ve çevre gerilmelerinden bağımsızdır. Mikroyapısal ve mineralojik değişkenlikler, kil matriksin dayanım ve sertlik farklılıklarını oluşturmaktadır. Bu heterojenlikler,

eksenel yüklemelerde gerilme ve şekil değiştirme farklılıklarını geliştirmektedir. Bunun sonucunda da yersel yenilmeler gözlenmektedir. Gerilme – şekil değiştirme diyagramlarındaki ani gerilme düşmeleri ve mikro ses aktivitesindeki basamaklı yapılar bu durumu destekler niteliktedir.

Karot örneği ölçeğinde, mikroçatlaklar düşük deviatorik gerilmelerde gelişmekte ancak çatlak gelişimi çoğunlukla Anhidrit damarlar tarafından sınırlandırılmaktadır. Bu damarların duraysız çatlak oluşumunu da engellediği düşünülmektedir. Anhidrit damarların yoğunluğu, yönelimi ve sıklığına bağlı olarak, çatlakların birbirleri ile birleşerek yenilmeyi gerçekleştirebilmesi için sınır kırıklarının ve anhidriti kesen çatlakların oluşmasından daha yüksek seviyelerde gerilmelere ve şekil değiştirmelere ihtiyaç duyulmaktadır.

Düşük deviatorik gerilemelerde çatlak başlangıcı, bu sebeplerden dolayı kil matrikse bağlıdır. Sülfatça zengin killi kayalar farklı ölçeklerde anhidrit damarları içerebilmektedir. Tünel ölçeğinde Anhidrit tabakaları ve damarları, gelişen çatlak ve kırıkları tutarak kaya kütlelerinin dağılmasını engileyebilmektedir. Kaya kütleli çatlaklanma başlangıcı gerilme seviyesinden sonra yenilebilecekken, gelişen çatlakların tutulmasından dolayı hızlı gelişen duraysızlık sorunlarının oluşmayabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Alonso, E., Berdugo, I.R., 2005. Expansive behaviour of sulphate-bearing clays. International Conference on Problematic soils, Famagusta, edited by Bilsel and Nalbantoglu, Eastern Mediterranean University Press, 477-498.
- Alonso, E., Berdugo, I.R., 2008. Degradation and swelling of sulphate-bearing claystones. VI CSAMR 2006, Cartanga de Indias, edited by Montero and Colmenares, 211-248.
- Amann, F., Ündül, Ö., Kaiser, P. K., 2013a. Crack initiation and crack propagation in heterogeneous sulfate-rich clay rocks. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 47 (5), 1849-1865.
- Amann, F., Ündül, Ö., Löw, S., Kaiser, P. K., 2013b. Fracture processes and in-situ fracture observations in Gipskeuper. Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) und Bundesamt für Strassen (ASTRA), 1422.
- Amann, F., Button, E. A., Evans, K. F., Gischig, V. S., Blümel, M., 2011. Experimental study of the brittle behavior of clay shale in short-term unconfined compression. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 44 (4), 415-430.
- Amstad, C., Kovari, K., 2001. Untertagbau in quellfähigem Fels, Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) & Bundesamt für Strassen (ASTRA), Zürich
- Anagnostou, G., Pimentel, E., Serafeimidis, K., 2010. Swelling of sulphatic claystones - some fundamental questions and their practical relevance. *Geomechanics and Tunneling*, 3 (5), 567-572.

Ündül, Amann, Kaiser

- Bieniawski, Z. T., 1967. Mechanism of brittle failure of rock Part I - Theory of fracture process. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 4 (4), 395-406.
- Berdugo, I. R., Alonso, E. E., Morales, E., Solé, A., 2009. Tunnelling and Swelling in Triassic Sulphate-Bearing Rocks. Part I. Case studies from Baden-Württemberg. *Revista Épsilon* N.º 12: 13-37.
- Brace, W. F., Paulding, B. R., Scholz, C., 1966. Dilatancy in fracture of crystalline rocks. *Journal of Geophysical Research*, 71 (16), 3939-3953.
- Diederichs, M. S., 2003. Rock fracture and collapse under low confinement conditions. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 36 (5), 339-381.
- Eberhardt, E., Stead, D., Stimpson, B., Read, R. S., 1998. Identifying crack initiation and propagation thresholds in brittle rock. *Canadian Geotechnical Journal*, 35, 222-233.
- Fairhurst, C., Cook, N. G. W., 1966. The phenomenon of rock splitting parallel to the direction of maximum compression in the neighborhood of a surface. *Proceedings 1st Congress of the International Society of Rock Mechanics*, Lisbon, 687-692.
- Grob, H., 1972. Schwelldruck im Belchentunnel. *Proceedings of International Symposium on Underground Opening*, Luzern, 99-119.
- Grob, H., 1976. Swelling and heave in swiss tunnels. *Bulletin of International Association of Engineering Geologists*, 13, 55-60.
- Hallbauer, D. K., Wagner, H., Cook, N. G. W., 1973. Some Observation Concerning The Microscopic And Mechanical Behaviour Of Quartzite Specimens In Stiff, Triaxial Compression Tests. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 10, 713-726.
- IGT (Institut für Geotechnik-ETH), 1995. Hauenstein BasisTunnel – Wisenberg Tunnel, Laboruntersuchungen, Bericht Nr. 4383/9.
- ISRM, 1979. Suggested Methods for Determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 16 (2), 135-140.
- Kaiser, P. K., Kim, B. H., 2008. Rock Mechanics Challenges in Underground Construction and Mining. 1th Southern Hemisphere International Rock Mechanics Symposium, Australia, edited by Potvin, Carter, Dyskin and Jeffery, 23-38.
- Kaiser, P. K., 2010. How highly stressed brittle rock failure impacts tunnel design. *Eurock*, 27-38.
- Lajtai, E. Z., 1974. Brittle fracture in compression. *International Journal of Fracture*, 10 (4), 525-536.
- Lockner, D. A., Moore, D. E., Reches, Z. 1992. Microcrack interaction leading to shear fracture. 33rd U.S. Rock Mechanics Symposium, edited by Tillerson and Wawersik, Balkema, Rotterdam, 807-816.
- Madsen, F. T., Nüesch, R., 1991. The swelling behaviour of clay-sulfate rock. 7th International Congress on Rock Mechanics, Aachen, Germany, 285-288.
- Madsen, F. T., Flückiger, A., Hauber, A., Jordan, L., Vögtli, B., 1995. New investigations on swelling rocks in the Belchentunnel Switzerland. 8th International Congress on Rock Mechanics, Tokyo, 1, 263-267.
- Martin, C. D., 1997. Seventeenth Canadian Geotechnical Colloquium: The effects of cohesion loss and stress path on brittle rock strength. *Canadian Geotechnical Journal*, 34, 698-725.

- Martin, C. D., Chandler, N. A., 1994. The progressive fracture of Lac du Bonnet granite. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 31, 643-659.
- Mogi, K., 1962. Study of elastic shocks caused by the fracture of heterogeneous materials and its relations to earthquake phenomena. *Bulletin of the Earthquake Research Institute*, 40, 125-173.
- Nicksiar, M., Martin, C. D., 2012. Evaluation of methods for determining crack initiation in compression tests on low-porosity rocks. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 45 (4), 607-617.
- Nicksiar, M., Martin, C. D., 2013. Factors affecting crack initiation in low porosity crystalline rocks. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 47 (4), 1165-1181.
- Oğuzberk, U. C., 2010. Gezende Barajı Enerji Tünelinde Su Kaçakları ve Onarım Çalışmalarının Değerlendirilmesi. *İstanbul Yerbilimleri Dergisi*, 23 (2), 109-120.
- Scholz, C. H., 1968. Experimental study of the fracturing process in brittle rock, *Journal of Geophysical Research*, 73 (4), 1447-1454.
- Steiner, W., 1993. Swelling rock in tunnels: Characterization, effect of horizontal stresses and construction procedure. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 30 (4), 361-380.
- Steiner, W., Metzger, R., 1988. Erfahrungen aus Tunneln im quellenden Gestein, Experience from tunnels in swelling rocks. Internal report to Swiss Railways for Project Wisenbergtunnel.
- Steiner, W., Kaiser, P. K., Spaun, G., 2010. Role of brittle fracture on swelling behavior of weak rock tunnels: hypothesis and qualitative evidence. *Geomechanics and Tunnelling*, 3 (5), 583-596.
- Steiner, W., Kaiser, P. K., Spaun, G., 2011. Role of brittle fracture on swelling behavior of weak rock tunnels: evidence from tunnelling case histories. *Geomechanics and Tunnelling*, 4 (2), 141-156.
- Tapponier, P., Brace, W. F., 1976. Development of stress-induced microcracks in Westerly Granit. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 13, 103-112.
- Vögtli, B., Jordan, P., 1996. Quelldruckentwicklung in Ton- und Sulfatgesteinen. *Schweizer Ingenieur und Architekt*, 18, 16-180.

Mezitli Deresi Boyunca Biyojeokimyasal Anomalilerin İncelenmesi, Mersin

An Investigation of Biogeochemical Anomalies Along the Mezitli Stream, Mersin

**Ali BOZDOĞAN¹, Derya ÖZ¹, Zeynep ÖZDEMİR¹, Erkan DEMİR²,
Zübeyde HATİPOĞLU BAĞCI¹**

¹Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, MERSİN

²TMMOB, Jeoloji Mühendisleri Odası İl Temsilciliği, Yenişehir, MERSİN

Geliş (received) : 14 Temmuz (July) 2015
Düzeltilme (revised) : 23 Aralık (December) 2015
Kabul (accepted) : 28 Aralık (December) 2015

ÖZ

Son yıllarda, biyojeokimyasal yöntemler maden aramalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Mezitli Deresi (Mersin) boyunca doğal olarak yetişen *Platanus orientalis* (doğu çınarı) ve *Phragmites australis* (kamuş) bitki türlerinde biyojeokimyasal anomalilerin saptanması amaçlanmıştır. Mezitli (Mersin) bölgesinde 8 istasyondan alınan *P. australis* ve *P. orientalis* bitkilerinin yaprak ve dal örnekleri ile bu istasyonlardan alınan toprak ve dere suyu örneklerindeki Li, B, Al, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Mo, Cd, Sn, Cs, Ba ve Pb için element düzeyleri, endüktif eşleşmiş plazma-kütle spektrometrisi (ICP-MS) ile saptanmıştır. Bu analiz sonuçlarının istatistiksel olarak incelenmesi sonucunda, *P. orientalis* bitki türünün dalının B (n = 10, r = 0,76, % 99 güvenilirlikle P < 0,01), Cr (n = 12, r = -0,67, % 95 güvenilirlikle, P < 0,05), Sr (n = 9, r = 0,72, % 95 güvenilirlikle, P < 0,05) ve Pb (n = 11, r = 0,63, % 95 güvenilirlikle, P < 0,05) elementleri için belirtgen bitki olarak biyojeokimyasal prospeksiyonda kullanılabilmesi saptanmıştır. Aynı zamanda *P. australis* bitki türünün yaprağının ise Cu (n = 11, r = -0,66, %95 güvenilirlikle, P < 0,05), Cr (n = 11, r = 0,64, %95 güvenilirlikle, P < 0,05) ve Li (n = 10, r = 0,77, % 99 güvenilirlikle, P < 0,01) elementleri için belirtgen bitki olarak biyojeokimyasal prospeksiyonda kullanılabilmesi saptanmıştır. Ayrıca Cr, B, Sr, Pb, Cu ve Li için belirtgen bitki olarak saptanan *P. orientalis* ve *P. australis* bitki türleri ile toprak arasındaki inter- element ilişkileri de incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyojeokimyasal anomali, Belirtgen bitki, B-Cr-Pb-Cu-Sr-Li, Mezitli-Mersin.

ABSTRACT

*Biogeochemical methods have been widely used for prospects in the recent years. This study aims to determine biogeochemical anomalies in *Platanus orientalis* and *Phragmites australis* plant species growing the Mezitli Stream. Li, B, Al, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Mo, Cd, Sn, Cs, Ba and Pb element content of leaves and twigs of *P. orientalis* and *P. australis*, soil and stream water samples taken from 8 stations in Mezitli (Mersin) area were determined with inductively coupled plasma - mass spectrometry (ICP-MS). The result of the statistical analyses show that *P. orientalis* plant species (on twigs) can also be used as an indicator plant for B ($n = 10$, $r = 0,76$, % 99 reliability, $P < 0,01$), Cr ($n = 12$, $r = -0,67$, % 95 reliability, $P < 0,05$), Sr ($n = 9$, $r = 0,72$, %95 99 reliability, $P < 0,05$) and Pb ($n = 11$, $r = 0,63$, % 95 reliability, $P < 0,05$) for biogeochemical prospecting. At the same time; *P. australis* plant species (on twigs) can be also used as an indicator plant for Cu ($n = 11$, $r = -0,66$, % 95 reliability, $P < 0,05$), Cr ($n = 11$, $r = 0,64$, % 95 reliability, $P < 0,05$) and Li ($n = 10$, $r = 0,77$, % 99 reliability, $P < 0,01$) for biogeochemical prospecting. Also the inter-element relationship between the *P.orientalis* and *P. australis* plant species which were determined as indicator plants and soil were investigated for Cr, B, Sr, Pb, Cu, Li elements.*

Key Words: *Biogeochemical anomaly, Indicator plant, B-Cr-Pb-Cu-Sr-Li, Mezitli-Mersin.*

GİRİŞ

Tarihsel olarak 1926’larda jeokimya telaffuz edilmesine rağmen ilk biyojeokimyasal çalışma, 1950’lerde Huchinson’un yaptığı doktora çalışmasıdır. 1965 yılından sonra ise bu alanda birçok çalışma yapılmıştır. Biyojeokimyasal yöntemle cevher aranmasında (biyojeokimyasal prospeksiyon); bitkiler, hayvanlar ve mikroorganizmalar kullanılmasına rağmen, yaygın uygulama alanları nedeni ile bitkilerden daha çok yararlanılmaktadır. Bu nedenle de çoğunlukla biyojeokimyasal prospeksiyon bitkilerle yapılan prospeksiyon şeklinde anlaşılmaktadır.

Cevherleşme bölgesinde sistematik olarak toplanan bitkilerin çeşitli organlarının (yaprak, dal, kök, çiçek vb.) kimyasal analizlerinin yapılması ile cevher aranmasına biyojeokimyasal prospeksiyon ve bu yöntem ile saptanan anomaliye “Biyojeokimyasal Anomali” denir (Erdman ve Kokkola, 1984; Köksoy, 1991 ve Dunn, 2007).

Jeokimyasal prospeksiyonda bir cevher yatağının yerinin saptanmasına yarayan elemente belirtgen (indikatör) element ve aranan elementi temsil eden bitkiye belirtgen (indikatör) bitki denilmektedir. Belirtgen (indikatör) bitkinin saptanmasında; cevherleşme bölgesinde toprak, su, kayaç, dere çökeli vb. gibi örneklerdeki element miktarı ile bitkideki element miktarı arasındaki doğrusal ilişkiden yararlanılmakta, örnek sayısına göre korelasyon katsayısının % 95 ve % 99 güvenilirliğine bağlı olarak Schroll (1975)’e göre belirtgen (indikatör) bitkiler saptanabilmektedir.

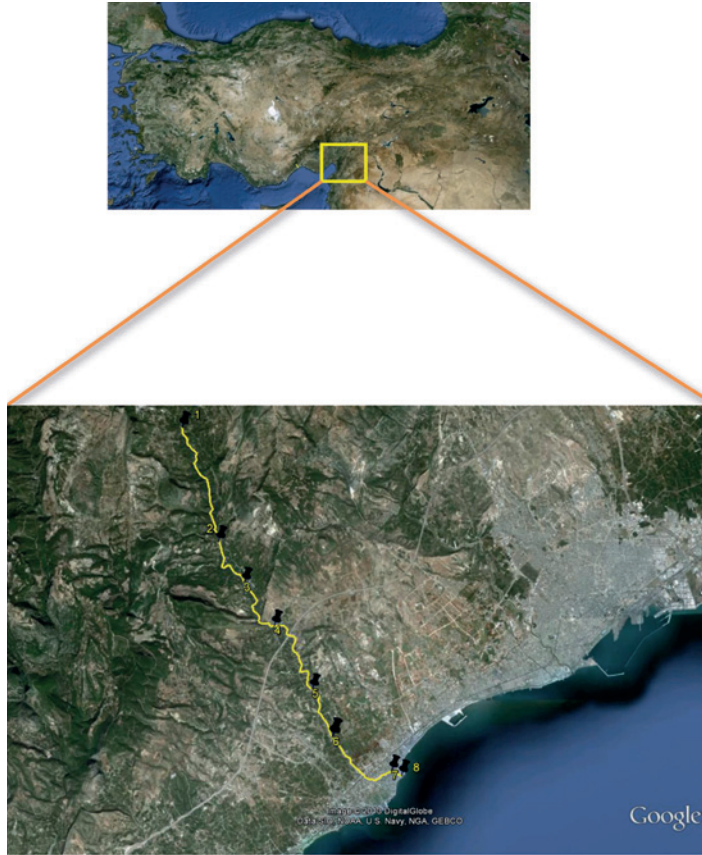
Literatürde, en fazla Au olmak üzere Fe, Zn, Mn, Cu, B, U, Se, Co ve Ni gibi elementlerin zenginleştiği belirtgen bitkiler saptanarak, bu elementlerin oluşturduğu maden yatakları saptanmıştır (Brooks vd., 1979; Özdemir vd., 2003; Zorlu vd., 2004; Demirezen ve Aksoy, 2005; Gedik, 2005; Özdemir, 2005; Page vd., 2006; Özdemir vd., 2014).

Son yıllarda maden aramalarında yaygın olarak kullanılmaya başlanan biyojeokimyasal yöntemler kullanılarak gerçekleştirilen bu çalışma, Mezitli Deresi (Mersin) boyunca Doğu çınarı (*Platanus orientalis*) ve Kamış (*Phragmites australis*) bitkilerinde biyojeokimyasal anomalilerin incelenmesi amacı ile yapılmış ve bu bitkilerin belirtken bitki olup olmadıkları araştırılmıştır.

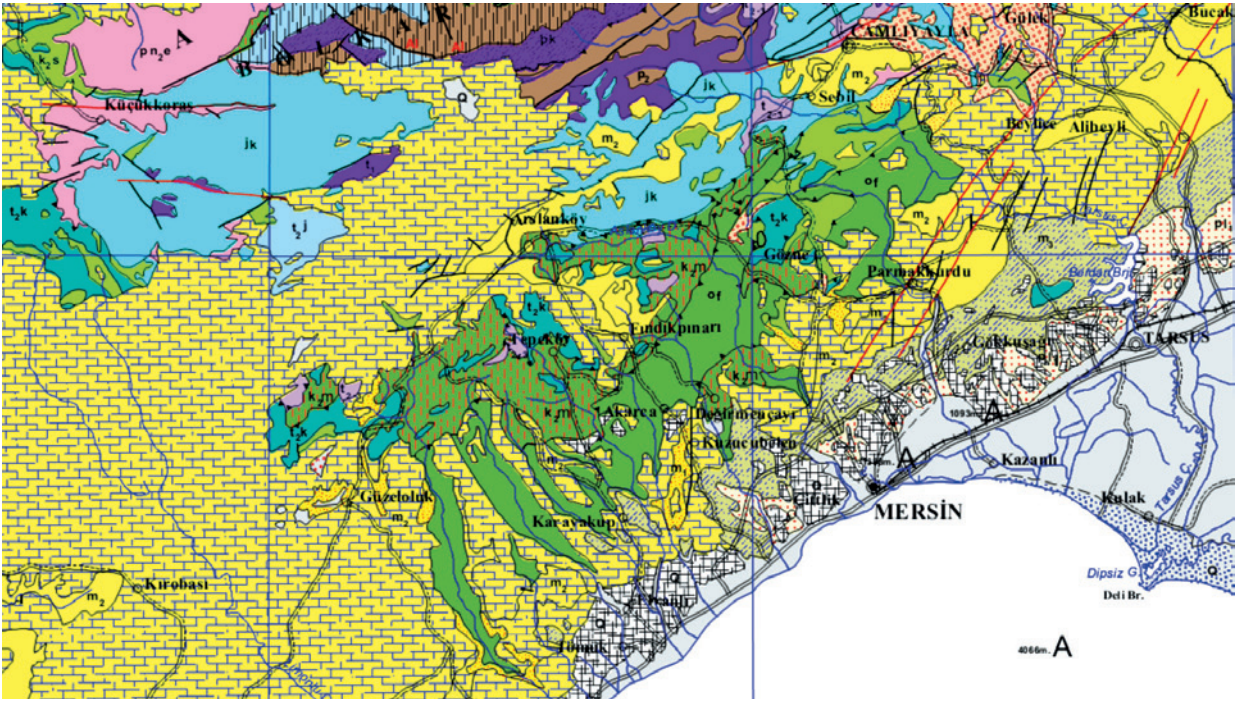
ÇALIŞMA ALANININ JEOLojİSİ

Mezitli-Mersin Kıyı akifer sistemi ile bu akifer sisteminin drenaj alanında yer alan jeolojik birimler, Toros Dağ Oluşum Kuşağı'nın

Ecemiş Fayı güney kesiminde yer alır ve bu kuşağın jeolojik özelliklerini taşır. Palaeozoyik yaşlı metamorfikler (mermer, şist, kuvarsit), Üst Kretase döneminde bölgeye yerleşen ofiyolitik melanj, Oligosen-Miyosen-Pliyosen döneminde karasal, geçiş ve denizel ortam çökelleri (kireçtaşı-kumtaşı-kiltaşı-konglomera-marn-jips), Kuvaterner yaşlı karasal ve geçiş ortamı çökelleri ile morfolojik birimler bölgenin doğu ve güney kesimlerinde yaygın olarak görülmektedir. Birimlerin yaşlıdan gence yüzey yayılımları genel olarak kuzeyden güneye doğrudur. Çalışma bölgesinin yer bulduru haritası Şekil 1'de, bölgenin jeoloji haritası ise Şekil 2'de verilmiştir (Şenol ve Duman, 1998).



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



Şekil 2. İnceleme alanının jeoloji haritası (Şenol ve Duman 1998'den değiştirilerek).
Figure 2. Geology map of the study area (modified from Şenol and Duman, 1998).

İnceleme alanında Şenol ve Duman (1998) tarafından yapılan ayrıntılı jeolojik çalışmalar özetlenmiştir.

Bölgeyi temsil eden formasyonlar ve genel özellikleri tabandan yüzeye doğru aşağıdaki gibidir:

Karahamzauşağı Formasyonu: Bölgenin temelini oluşturan Paleozoik yaşlı, sığ-derin denizde çökelmiş ve daha sonra metamorfizmaya uğramış metamorfik kireçtaşları, mermer, kuvarsit, şist ve dolomitlerden oluşmaktadır. Yaklaşık kalınlığı 500 metredir. Düzenli bir tabakalanma gösteren formasyon güneydoğuya eğimlidir.

Mersin Ofiyolitik Melanjı: Mersin'in kuzeyinde genellikle derin vadilerde görülür.

Gabro, harzburjit, dunit, diyabaz, radyolarit ve derin deniz sedimanlarının yanı sıra ofiyolitlerin yerleşimi sırasında havzaya taşınan Permien, Jura, Kretase yaşlı kayaç bloklarını içermektedir. Bölgedeki ofiyolitlerde genellikle serpantinleşme hâkim olmuştur. Üst Kretase yaşlı olan Ofiyolitik Melanj, altındaki ve üstündeki birimlerle diskordandır. Kalınlığı 200 metre civarındadır.

Gildirli Formasyonu: Birbirleri ile yanal ve düşey geçişli, alt kesimlerde konglomera-kumtaşı birimi, orta kesimlerde silttaşı-kiltaşı birimi ve üst kesimlerde killi kireçtaşı-marn birimi şeklinde belirgin üç kaya biriminden oluşmuştur. Alt-Orta Miyosen yaşlı olan formasyon akarsu, göl, sığ deniz ve lagün ortamlarında çökelmiştir. Paleotopografyanın özelliklerine bağlı olarak kalınlık 1 ile 175 metre arasında değişmektedir.

Karaisalı Formasyonu: Beyaz, açık gri renkli, killi, erime boşluklu, yer yer iyi katmanlı resifal kireçtaşlarından oluşmuştur. Alt-Orta Miyosen boyunca bölgede hüküm süren kıyı ortamında (karbonatlı kıyı/resif) çökelmiştir. Formasyon Miyosen öncesi birimler üzerine uyumsuz, Gildirli Formasyonu üzerine ise geçişli ve transgresif olarak gelmektedir. Formasyon üzerine Güvenç Formasyonu geçişli olarak gelmektedir. Kalınlığı, aşınma koşullarına bağlı olarak değişim göstermekte ve yayılımlarında düzensizlik görülmektedir.

Güvenç Formasyonu: Yeşilimsi-gri, gri, beyazımsı-sarı renklerde olan, alt bölümde killi kireçtaşı-marn, üst bölümlerde kiltası-silttaşı birimlerinin egemen olduğu çökellerden oluşmuştur. Resif önü sığ deniz-derin deniz ortamlarında çökeldiği söylenebilir. Alt dokanağında yanal ve dikey geçişli Karaisalı Formasyonu, üst dokanağında ise uyumlu ve girik olarak Kuzgun Formasyonu bulunmaktadır. Miyosenin Langiyen-Sarravaliyen-Tortoniyen katlarını temsil eden formasyonun kalınlığı 50 ile 600 metre arasında değişmektedir.

Kuzgun Formasyonu: Sarımsı beyaz, yeşilimsi, siyahımsı gri renklerdeki formasyon, kumtaşı-konglomera-resifal kireçtaşı, tüfit, kiltası-marn-silttaşı olmak üzere belirgin üç birimden oluşmuştur. Miyosen'in Tortoniyen, Messiniyen katlarını temsil eden formasyon kıyı-sığ deniz, derin deniz ortamlarında çökelmiş olup kalınlığı 50-1500 metre arasındadır. Alttaki formasyonlar üzerine uyumlu ve geçişli olarak gelir. Üst dokanağında ise Handere Formasyonu uyumlu ve geçişli olarak bulunmaktadır.

Handere Formasyonu: Beyazımsı, sarımsı, yeşilimsi gri ve siyahımsı gri renkli olan; kiltası-marn-silttaşı, fosilli oolitik kireçtaşı, alçıttaşı

(Jips) ve kumtaşı-konglomera olmak üzere belirgin dört birimden oluşmuştur. Kuzgun formasyonu üzerine uyumlu olarak gelmektedir. Kalınlığı 50-500 metre arasında olup, kurak-sıcak iklimler ile sık sık değişen küçük ölçekli transgresyon ve regresyonlar sonucu oluşan sığ deniz, geçiş (kıyı, lagün, delta, gelgit) ve akarsu ortamlarında çökelmiştir.

Kuvaterner Birimleri: Karasal ve geçiş ortamı koşullarının hüküm sürdüğü Kuvaterner döneminde oluşan birimler farklı fasiyes özellikleri göstermektedir. Kalabriyen-Siciliyen zamanında oluşan birimler (alüvyon yelpazesi çökelleri/yüksek seki konglomeraları, kıyı çökelleri ve kaliş) ve Tirreniyen-güncel oluşan birimler (yamaç molozları, akarsu seki konglomeraları, delta çökelleri, kıyı çökelleri, kumul ve pedolojik oluşumlar) olarak ayrılmıştır (Şenol ve Duman, 1998).

Mezitli'de bulunan akarsuların su rejimleri dağlar ve platoların bazı bölümlerinin orman örtüsünden yoksun olması nedeniyle genellikle düzensizdir. Yüksek oranda mil taşımalarına karşın akarsular iyi nitelikli sulama suyu özellikleri göstermektedir.

Mezitli Deresi (Liparis Çayı) kuzeydeki tepelerden yağışlarla beslenmekte ve Mezitli İlçesinden geçerek denize dökülmektedir. Fransız gezginlerinden Langlois'un "Kilikya'da Gezi" adlı kitabında Liparis Çayı'nın suyunun şifalı olduğu; kenarının defne, yabani asma ve yabani güllerle süslü bulunduğunu yazmaktadır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Temmuz (2012) ve Şubat (2013) ayları içerisinde Mezitli (Mersin) bölgesindeki Mezitli Deresi'nden bitki, toprak ve su örnekleri

sistematik olarak alınmış ve örnek yerleri GPS ile saptanıp 1/25000 ölçekli jeoloji haritaları üzerine işaretlenmiştir. Alınan bitki ve toprak örnekleri numaralandırılarak laboratuvara getirilmiştir. Bitki, toprak ve su örnekleri farklı örnek hazırlama yöntemleri ile analize hazırlanmıştır. Örneklerin kimyasal analizleri için AGILENT 7500ce marka ICP-MS cihazı kullanılmıştır.

Çalışma bölgesinden alınan su örneklerinde pH ve EC (elektriksel iletkenlik) ölçümleri ile, sulama suyu açısından standartlarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Araziden alınarak laboratuvara getirilen bitki örnekleri saf su ile yıkanarak kağıt zarflar içerisinde 80 C°'de 24 saat etüvde kurutulmuş ve neminden arındırılmıştır. Kurutma işleminden sonra bitkiler dal, yaprak gibi organlarına ayrılarak öğütülmüştür. Aynı örnekler element analizleri için hazırlanmış olup örneklerde organik madde yakılması olarak bilinen kül etme tekniği uygulanmıştır. Bu yöntem, örneğin uygun kaplarda belirli bir sıcaklıkta ve belirli bir sürede tutularak organik maddelerin uzaklaştırılması sonucu elde edilen kalıntının inorganik bir asit içerisinde çözülerek analiz edilmesi ilkesine dayanmaktadır. Organik maddelerin tamamen uzaklaştırılmasında; öyle bir kül etme sıcaklığı seçilmelidir ki; kül etme süresince analizi yapılan elementin mümkün olduğunca az kayba uğraması ve elde edilen kalıntının asitte çözünmesi istenmektedir (Özdemir, 1992; Hoenig ve Borger, 1983).

Benton ve Jones (1984) tarafından geliştirilen yöntem esas alınarak; etüvde kurutulmuş olan bitki örnekleri, organlarına (yaprak ve dal) ayrılarak yaklaşık 3000 g (kuru ağırlık üzerinden) tartıldıktan sonra porselen krozeeye konulmuş ve kül fırında 50 C°/saat hızla

550 C°/saat 'e kadar getirilmiş ve bu sıcaklıkta 10 saat bekletilmiştir. Daha sonra krozelere soğutulmuş ve krozelere içerisindeki kül üzerine 5 ml HCl çözeltisi eklendikten sonra çözülerek meydana gelen karışım balon jöjeye aktararak deiyonize su (saf su) ile 25ml 'ye tamamlanmıştır. Çözeltideki element miktarları ICP-MS ile saptanmıştır. Elde edilen sonuçlar bitki organının (dal-yaprak) kuru ağırlığında ppm (mg/L, mg/kg) ve ppb olarak hesaplanmıştır. Çalışma alanından alınan bitki örneklerinin üzerinde yetiştiği topraklardan yaklaşık 200 gr kadar alınarak laboratuvara getirilmiştir. Kağıt zarflar içerisinde 80 C°'ye ayarlanan etüvde yaklaşık 10 saat kurutulmuştur. Kurutulmuş toprak örnekleri -80 mesh'lik elekten elelenerek element içeriklerinin saptanması için ön hazırlık tamamlanmıştır. Toprak örneklerinin kimyasal analizleri Brooks vd. (1992)'den yararlanılarak yapılmıştır. Bu amaçla; kurutulmuş toprak örneklerinden yaklaşık 0,1 g tartıldıktan sonra polietilen kaba konulmuş ve üzerine 10 ml derişik HF+HNO₃ (1:1) karışımı eklendikten sonra ısıtıcı tabla üzerinde kuruyuncaya kadar buharlaştırılmış ve üzerine 7ml HCl (1:1) eklenmiş ve buharlaştırma işlemi tekrarlanmıştır. Elde edilen kalıntı 7ml HCl de çözüldükten sonra saf su ile 25 ml'ye tamamlanarak elde edilen çözeltilerde element içerikleri ICP-MS cihazı ile ölçülmüştür.

Su örnekleri için araziden alınan örnekler, 500 ml'lik örnek kaplarına konularak her örnek için alınan noktaya göre numaralandırılmış ve ICP-MS cihazı ile element içerikleri belirlenmiştir. Ayrıca su örneklerinde arazide pH ve sıcaklık değerleri Mettler Toledo (FG2-Basic – FiveGo™ pH Meter) cihaz ile yerinde ve EC değerleri de yine aynı gün Mettler Toledo marka cihaz ile laboratuvarda okutulmuştur (Çizelge 1).

Toprak, bitki ve su örneklerindeki element

Çizelge 1. Dere suyu için pH, sıcaklık ve elektriksel iletkenlik (EC) değerleri.

Table 1. Ph, temperature and electrical conductivity (EC) values for river water.

Temmuz 2013	pH	Sıcaklık C°	EC μ S/cm	Şubat 2013	pH	Sıcaklık C°	EC μ S/cm
A1-1 DERE	7.76	21.3	619	A2-1 DERE	8.66	8.4	560
A1-2 DERE	6.81	16.5	649	A2-2 DERE	8.68	9.5	545
A1-3 DERE	7.59	27.6	611	A2-3 DERE	8.60	10.5	555
A1-4 DERE	7.48	26.3	690	A2-4 DERE	8.61	10.4	578
A1-5 DERE	7.53	34.5	928	A2-5 DERE	8.55	11.8	610
A1-6 DERE	7.41	29.5	766	A2-6 DERE	8.10	25.0	834
A1-7 DERE	8.01	28.4	675	A2-7 DERE	8.62	12.1	585
A1-8 DERE	7.45	33.1	547	A2-8 DERE	8.68	13.4	664

(Li, B, Al, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Mo, Cd, Sn, Cs, Ba ve Pb) düzeyleri ICP-MS ile belirlendikten sonra elde edilen veriler istatistiksel olarak değerlendirilerek literatürdeki normal değerlerle karşılaştırılmıştır. Ayrıca Schroll (1975)'e göre % 95 ve % 99 verimlilikle sonuçlar tartışılmıştır.

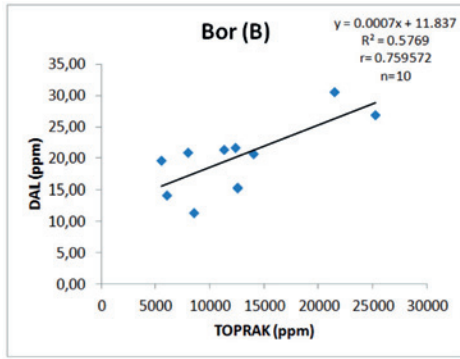
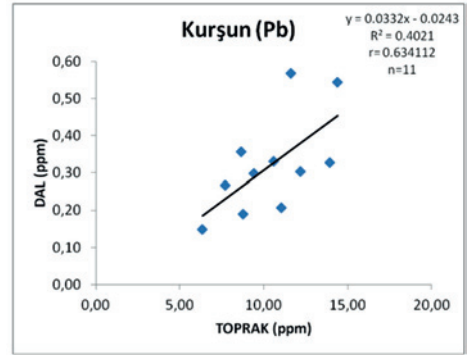
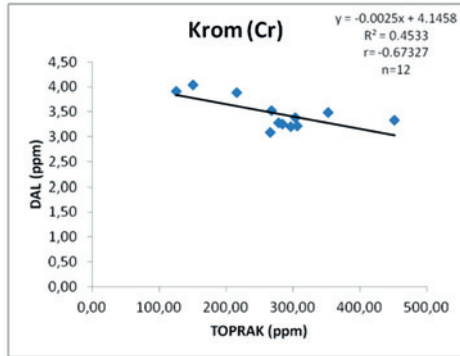
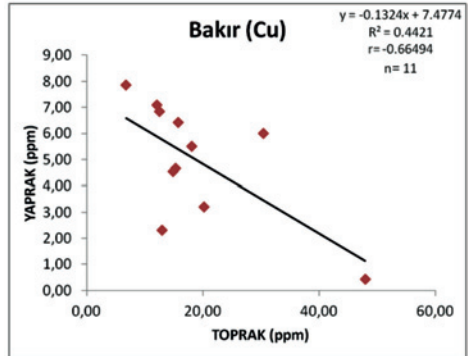
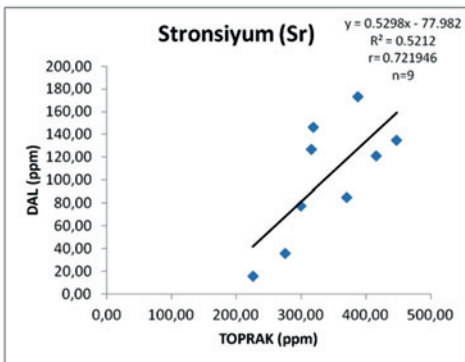
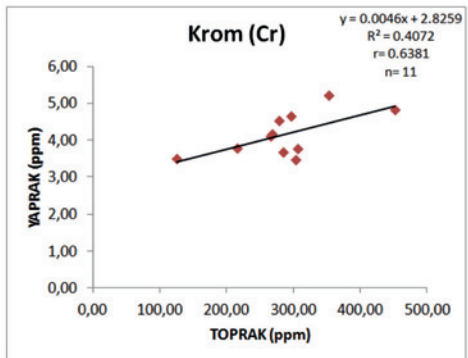
Bilgisayarda Microsoft Office Excel programı yardımıyla toprakta artan element derişimine karşılık bitkide saptanan element derişimi grafiksel olarak ifade edilmiş, elde edilen grafiğe ait korelasyon katsayıları (r) hesaplanmıştır.

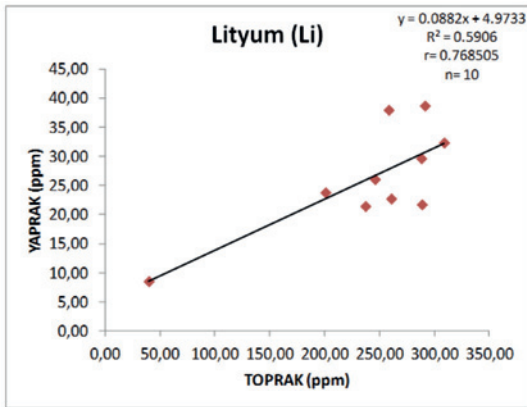
Deneysel olarak saptanan korelasyon katsayısı değeri (r_{deneysel}), Schroll (1975) tarafından % 95 güvenlilikle verilen teorik korelasyon katsayısı (r_{teorik}) değerleri ile karşılaştırılmıştır (Schroll, 1975). Bitki ve toprak arasında iyi bir korelasyon olabilmesi için $r_{\text{deneysel}} > r_{\text{teorik}}$ olması gerekmektedir.

BULGULAR ve TARTIŞMA

Bitki organlarındaki element derişimi prospeksiyon amacıyla kullanılacaksa, bitkilerdeki element derişimi ile üzerinde yetiştiği toprağın element derişimi arasında doğrusal bir ilişki olmalıdır. Bu ilişkiyi sağlayan bitkilere belirtgen bitki (indikatör bitki) denilmektedir (Köksoy, 1991; Brooks vd., 1995; Dunn, 2007). Belirtgen bitkilerin saptanması amacıyla Mezitli (Mersin) bölgesinden alınan *P. australis* ve *P. orientalis* bitkilerinin yaprak, dal ve toprak örneklerindeki element konsantrasyonları ppm (mg/L) olarak Çizelge 3, 4, 5, 6 ve 7'de verilmiştir. Şekil 10'da ise bu bitki türlerinin fotoğrafları sunulmuştur. Ayrıca Şekil 3, 4, 5, 6, 7, 8 ve 9'da toprak ve bitkilerin her bir element için ayrı ayrı kimyasal analizleri sonucu elde edilen veriler istatistiksel olarak değerlendirilerek aşağıda sunulmuştur.

Bozdoğan, Öz, Özdemir, Demir, Hatipoğlu Bağcı

Şekil 3. *P. orientalis* bitkisinin dalındaki B ile topraktaki B arasındaki ilişki.Figure 3. The relationship between B in the soil and B in the twigs of *P. orientalis* plant.Şekil 6. *P. orientalis* bitkisinin dalındaki Pb ile topraktaki Pb arasındaki ilişki.Figure 6. The relationship between Pb in the soil and Pb in the twigs of *P. orientalis* plant.Şekil 4. *P. orientalis* bitkisinin dalındaki Cr ile topraktaki Cr arasındaki ilişki.Figure 4. The relationship between Cr in the soil and Cr in the twigs of *P. orientalis* plant.Şekil 7. *P. australis* bitkisinin yaprağındaki Cu ile topraktaki Cu arasındaki ilişki.Figure 7. The relationship between Cu in the soil and Cu in the leaves of *P. australis* plant.Şekil 5. *P. orientalis* bitkisinin dalındaki Sr ile topraktaki Sr arasındaki ilişki.Figure 5. The relationship between Sr in the soil and Sr in the twigs of *P. orientalis* plant.Şekil 8. *P. australis* bitkisinin yaprağındaki Cr ile topraktaki Cr arasındaki ilişki.Figure 8. The relationship between Cr in the soil and Cr in the leaves of *P. australis* plant.



Şekil 9. *P. australis* bitkisinin yaprağındaki Li ile topraktaki Li arasındaki ilişki.

Figure 9. The relationship between Li in the soil and Li in the leaves of *P. australis* plant.

B'un alınımını mümkün kılan optimum pH sınırı 5,0 -7,5'tir (Yılmaz, 2004). Kacar (1984) tarafından toprakların yararlı B içeriğinin 0,1-6 ppm arasında olduğunu, bitkilerin B içeriklerinin 3-60 ppm arasında değişiklik gösterdiğini, normal bitkilerin çok olağan dışı hallerde 100 ppm'den fazla B içerdiklerini, bu değer 200 ppm'e çıktığı durumlarda B'un toksik etkisinin ortaya çıkabileceğini belirtilmiştir.

P. orientalis bitkisinin üzerinde yetiştiği topraklardan alınan örneklerde B konsantrasyonu için 984 ile 25225 pm arasında değişen değerler saptanmıştır. Bitkinin dalında ise B konsantrasyonu 11,38 ile 30,59 ppm arasında



Doğu çınarı (*Platanus orientalis*)



Kamış (*Phragmites australis*)

Şekil 10. *P. australis* ve *P. orientalis* bitki türlerinin fotoğrafları.

Figure 10. Photos of *P. australis* and *P. orientalis* plant species.

Bor (B), bitkiler için gerekli besin elementlerinden biridir ve bitkiler tarafından $(BO_3)^{-3}$, $(B_4O_7)^{-2}$ şeklinde topraktan alınır (Yürekli ve Aslanargun, 2002). Topraklarda B'un alınabilirliğini etkileyen bazı etmenler vardır. Bunlardan en önemlileri toprak pH'ı, tekstürü ve antagonizmdir. pH'ın artışıyla B'un bitkilerce alınımında azalma görülür. Bitkiler tarafından

değişmektedir. Bu çalışmada Bor için *P. orientalis* bitkisinin dalındaki B ile topraktaki B düzeyi arasında ($n = 10$, $r = 0,76$, % 99 güvenlilikle $P < 0,01$) pozitif korelasyon olduğu saptanmıştır (Şekil 3). Buna göre *P. orientalis* bitki türünün dalının B için belirtgen bitki olabileceği söylenebilir. Toprakta B değerinin literatüre göre çok yüksek olmasına rağmen bitkide

normal değerlerde olması ve çizilen grafiğin doğrusallık göstermesi, bu bitkinin belirtgen bitki olabileceğini ancak bitkinin, toprakta aşırı miktarda bulunan B'u bünyesine alamamasının nedenlerinin araştırılması gerekir.

Krom (Cr), bitkiler için gerekli olmayan ancak insan ve hayvanlar için mutlak gerekli olan bir elementtir. Kıtasal Yerkabuğu ortalama 80 ppm Cr içermektedir. Serpantin ve ultrabazik magmatitler 3400 ppm'e kadar Cr içermektedir. Ana materyale göre değişmekle birlikte toprakta 5-100 ppm oranlarında bulunur. Bitkide ise kuru maddede 100 ppm bulunması birçok yüksek bitki için toksik etki yaratmaktadır (Özbek vd., 1995). Rose vd. (1979)'a göre bitkide Cr kuru ağırlık üzerinden yaklaşık 150 ppb'dir (Bu değer kül ağırlık üzerinden 6 ppm'e eşittir. Yaklaşık olarak; kuru ağırlık değeri x 40 = kül değeri).

P. orientalis ve *P. australis* bitkilerinin üzerinde yetiştiği topraklardan alınan örneklerde Cr konsantrasyonu için 125 ile 452 pm arasında değişen değerler saptanmıştır. *P. orientalis* bitkisinin dalında 3 ile 4 ppm arasında, *P. australis* bitkisinin yaprağında ise 3 ile 5 ppm arasında Cr konsantrasyonu değişmektedir. Krom için *P. orientalis* bitkisinin dalındaki Cr ile topraktaki Cr düzeyi arasında ($n = 12, r = -0,67, \% 95$ güvenilirlikle, $P < 0,05$) negatif korelasyon olduğu (Şekil 4) ve *P. australis* bitkisinin yaprağındaki Cr ile topraktaki Cr düzeyi arasında ise ($n = 11, r = 0,64, \% 95$ güvenilirlikle, $P < 0,05$) pozitif korelasyon olduğu saptanmıştır (Şekil 8). Buna göre *P. orientalis* (dal) ve *P. australis* (yaprak) bitki türlerinin Cr için belirtgen olabileceği söylenebilir.

Doğada serbest olarak bulunmayan Stronsiyum'un (Sr), bitki gelişimi için gerekli olup olmadığına dair bir bilgi bulunmamaktadır.

Ancak Rose vd. (1979) tarafından Sr içeriğinin magmatik kayalarda 5,8-465 ppm, sedimenter kayalarda 20-610 ppm arasında olduğunu, bu değerlerin topraklarda 67 ppm, bitkilerde ise 4-45 ppm arasında değiştiği belirtilmiştir.

P. orientalis bitkisinin üzerinde yetiştiği topraklardan alınan örneklerde Sr konsantrasyonu için 225 ile 671 ppm arasında değişen değerler saptanmıştır. Bitkinin dalında ise Sr konsantrasyonu 16 ile 173 ppm arasında değişmektedir. Bu değerlerin normal değerlerin üzerinde olmasının yanında *P. orientalis* bitkisinin dalındaki Sr düzeyi ile topraktaki Sr düzeyi arasında ($n = 9, r = 0,72, \% 95$ güvenilirlikle, $P < 0,05$) pozitif korelasyon olduğu saptanmıştır (Şekil 5). Buna göre *P. orientalis* bitki türünün dalının Sr için belirtgen bitki olabileceği söylenebilir.

Kurşun (Pb) elementi bitkiler için mutlak gerekli olmayıp, toprakta 15-40 ppm dozunda bulunur. Topraktaki kurşun konsantrasyonu 150 ppm'i aşmadığı sürece insan ve bitki sağlığı açısından tehlike oluşturmamaktadır (Dürüst vd. 2004). Kurşun elementi, hücre turgoru ve hücre duvarı stabilitesini olumsuz etkilemesi, stoma hareketlerini ve yaprak alanını azaltması nedeniyle bitki su rejimini etkilemektedir. Aynı zamanda kökler tarafından tutulmasından ve kök gelişimini azaltmasından dolayı bitkilerin katyon ve anyon alımını azaltmakta ve bu nedenle de besin alımını etkilemektedir (Sharma ve Dubey, 2005). Rose vd. (1979)'a göre Pb'nin toprakta 17 ppm, bitkide ise 750 ppb olduğu belirtilmektedir.

P. orientalis bitkisinin üzerinde yetiştiği topraklardan alınan örneklerde Pb konsantrasyonu için 6 ile 14 ppm arasında değişen değerler saptanmıştır. Bitkinin dalında ise Pb konsantrasyonu 0,2 ile 1,2 ppm arasında

değişmektedir. Bu çalışmada kurşun için *P. orientalis* bitkisinin dalındaki Pb düzeyi ile topraktaki Pb düzeyi arasında ($n = 11$, $r = 0,63$, % 95 güvenilirlikle, $P < 0,05$) pozitif korelasyon olduğu saptanmıştır (Şekil 6). Buna göre *P. orientalis* bitki türünün dalının Pb için belirtgen bitki olabileceği söylenebilir.

Özbek vd. (1995) tarafından, bakur (Cu) içeriğinin, kayalarda genel olarak 4–90 ppm arasında değişen değerlerde olduğu, bu değerlerin Cu'ca temiz topraklarda 2–40 ppm, Cu'ca kirlenmiş topraklarda ise 1000 ppm olabileceği, bitkilerde ise Cu içeriği genellikle 2–20 ppm arasında değiştiği belirtilmiştir. Ayrıca, bakırın toprakta fazla bulunduğu durumlarda, bitkilere toksik etki yapmasının yanı sıra, bitkiler tarafından demirin alınımını da güçleştirdiği belirtilmektedir (Bozcuk, 1986).

P. australis bitkisinin üzerinde yetiştiği topraklardan alınan örneklerde Cu konsantrasyonu için 7 ile 48 ppm arasında değişen değerler saptanmıştır. Bitkinin yaprağında ise Cu konsantrasyonu 0,4 ile 23 ppm arasında değişmektedir. Bakır için *P. australis* bitkisinin yaprağındaki Cu düzeyi ile topraktaki Cu düzeyi arasında ($n = 11$, $r = -0,66$, % 95 güvenilirlikle, $P < 0,05$) negatif korelasyon olduğu saptanmıştır (Şekil 7). Buna göre *Phragmites australis* bitki türünün yaprağının Cu için belirtgen bitki olabileceği söylenebilir. Yapılan bu çalışmayla, toprak ve bitki değerlerinin toksik düzeyde kabul edilemeyeceği, ancak bitki ve toprak arasında, istatistiksel anlamda bir ilişki olduğu için, toksik

değerlerde de bitkinin bu istatistiksel ilişkiye uygun davranabileceği düşünülebilir.

Rose vd. (1979) tarafından, bitki beslenmesinde destekleyici eser elementler içerisinde bulunan lityumun (Li) magmatik kayalarda 40 ppm, sedimanter kayalarda 5-66 ppm, topraklarda 22 ppm, bitkilerde ise kuru ağırlık üzerinden 155 ppb olduğu belirtilmiştir (bitkilerde kül ağırlık üzerinden 6,2 ppm). Nagaraju ve Karimulla'nın (2002), Andra Pradesh'de (Hindistan) yapmış oldukları çalışmada, topraktaki 2-4 ppm Li içeriğine karşılık bitkilerde 75 ppb Li içeriği saptanmıştır (kül ağırlık üzerinden 3 ppm).

P. australis bitkisinin üzerinde yetiştiği topraklardan alınan örneklerde Li konsantrasyonu için 40 ile 309 ppm arasında değişen değerler saptanmıştır. Bitkinin yaprağında ise Li konsantrasyonu 8,5 ile 53 ppm arasında değişmektedir. Bu çalışmada lityum için *P. australis* bitkisinin yaprağındaki Li düzeyi ile topraktaki Li düzeyi arasında ($n = 10$, $r = 0,77$, % 99 güvenilirlikle, $P < 0,01$) pozitif korelasyon olduğu saptanmıştır (Şekil 9). Buna göre *P. australis* bitki türünün yaprağının Li için belirtgen bitki olabileceği söylenebilir.

Çalışma kapsamında alınan su örnekleri için arazide ölçülen pH, Sıcaklık ve laboratuvarında ölçülen EC değerleri çizelge 1'de sunulurken, çizelge 2, 3, 4 ve 5'de bitki ve toprak örneklerinin kimyasal analiz sonuçları, çizelge 6'da su örnekleri için element düzeyleri ve çizelge 7'de su örnekleri için anyon düzeyleri verilmiştir.

Bozdoğan, Öz, Özdemir, Demir, Hatipoğlu Bağcı

Çizelge 2. Mezitli (Mersin) bölgesinden alınan *Phragmites australis* bitkisinin yaprak örneklerindeki element konsantrasyonları (ppm).
Table 2. *Mezitli (Mersin) element concentrations in the region of the leaf samples taken from the plant Phragmites australis (ppm).*

SAZLIK	Li	B	Al	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Rb	Sr	Mo	Cd	Sn	Cs	Ba	Pb
IS1	21.75	7.11	18.52	3.86	1.56	4.83	58.03	46.08	0.00	3.71	3.21	23.65	0.44	0.021	4.95	13.34	0.50	0.00	0.09	0.01	9.71	0.09
2S1	53.12	6.14	44.06	4.12	1.28	3.77	71.45	57.35	0.01	2.14	22.83	20.47	0.40	0.035	3.31	32.88	0.54	0.03	0.08	0.18	14.49	0.17
IS3	26.08	6.69	19.53	2.07	1.72	5.22	26.99	32.15	0.00	1.57	6.00	5.81	0.54	0.047	8.69	60.70	0.94	0.01	0.13	0.00	12.13	0.14
2S3	37.99	4.13	50.55	2.73	1.27	3.78	63.01	59.61	0.00	1.35	5.51	11.40	0.37	0.066	5.55	33.80	0.49	0.00	0.08	0.06	10.86	0.22
IS4	38.72	4.24	21.73	1.99	1.48	4.53	41.82	31.18	0.01	2.39	6.43	15.69	0.40	0.041	7.33	25.33	0.83	0.01	0.10	0.23	5.09	0.09
2S4	21.45	5.05	48.15	2.88	1.39	4.11	50.99	53.88	0.00	1.69	6.84	21.22	0.43	0.028	3.05	41.70	1.16	0.02	0.10	0.00	11.95	0.57
IS5	29.67	5.88	24.86	2.10	1.35	4.17	24.60	35.39	0.00	5.22	4.66	7.26	0.50	0.048	3.95	31.46	0.51	0.01	0.09	0.32	6.12	0.15
2S6	23.80	3.26	19.70	3.90	1.16	3.67	76.91	44.56	0.13	1.62	7.09	14.85	0.33	0.005	5.95	29.70	0.38	0.02	0.08	0.00	13.23	0.16
IS7	22.74	6.32	23.58	3.33	1.12	3.50	154.44	46.55	0.00	1.70	7.85	18.87	0.45	0.056	3.84	18.57	0.38	0.02	0.06	0.09	23.37	0.40
2S7	8.55	278	637.25	49.96	2.01	4.72	14.37	508.96	0.35	4.71	0.42	5.00	0.86	0.091	0.74	13.14	0.32	0.03	0.11	0.12	6.86	0.44

Not: Tüm değerler ppm'dir.

Çizelge 3. Mezitli (Mersin) bölgesinden alınan toprak örneklerindeki element konsantrasyonları (ppm).
Table 3. *Mezitli (Mersin) element concentrations in soil samples taken from the region (ppm).*

TOPRAK	Li	B	Al	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Rb	Sr	Mo	Cd	Sn	Cs	Ba	Pb
IT1	288.75	8513	27650	6035	136.58	452.00	1020	51375	36.80	461	20.22	118.15	14.14	1.98	17.41	225.50	12.81	0.85	2.57	1.24	234.88	6.34
2T1	221.25	6018	29400	2745	81.70	306.50	596	38200	37.00	633	14.57	120.10	18.07	1.51	31.50	649.25	7.49	0.56	2.33	5.28	304.50	11.61
IT2	262.00	9215	33200	2875	93.33	265.00	661	35000	25.13	366	34.53	120.78	15.60	3.01	35.33	333.25	9.77	0.79	2.23	6.88	370.75	13.30
2T2	39.83	984	19365	1242	62.78	150.50	403	18193	10.70	168	48.30	201.03	16.15	1.57	26.45	421.00	1.98	0.27	2.99	1.24	100.60	7.80
IT3	245.98	21168	33750	4170	112.10	353.00	785	42050	25.20	327	30.38	104.98	20.08	0.59	30.75	415.75	9.61	0.72	4.25	6.97	481.25	14.41
2T3	258.50	12528	37750	2420	88.60	215.83	572	31150	18.99	250	18.07	98.20	18.31	1.90	51.58	671.00	9.31	0.76	3.29	7.96	424.25	12.39
IT4	291.50	21455	32250	2550	87.90	278.50	623	33300	25.10	403	15.75	101.73	15.59	2.42	36.03	447.25	11.23	0.74	3.66	4.14	168.73	9.41
2T4	237.23	11285	23888	1954	76.10	266.00	541	28950	22.82	464	12.54	107.43	15.12	2.11	23.08	387.50	8.71	0.63	2.79	2.39	147.63	8.64
IT5	288.25	12335	34500	2371	84.85	268.25	714	32650	26.75	427	15.36	205.08	14.76	2.43	35.25	370.00	10.60	0.70	3.74	4.40	186.33	13.94
2T5	309.00	25225	29175	2540	84.75	296.50	654	34000	25.73	462	12.92	116.70	14.59	1.76	27.75	318.25	11.52	0.87	2.94	2.77	197.85	12.20
IT6	224.55	14003	29600	2923	88.78	303.50	742	36625	30.20	541	14.84	222.30	17.07	1.70	26.53	299.50	8.21	0.60	2.96	4.60	339.50	8.79
2T6	200.88	7960	31125	2893	87.30	284.75	640	33300	23.49	394	12.12	216.43	30.70	1.69	35.90	316.00	7.11	0.99	2.90	10.19	221.75	10.57
IT7	260.75	5508	21208	2381	54.40	125.23	431	17188	7.06	87	6.76	109.10	22.50	2.06	22.23	275.50	9.40	0.75	3.86	6.17	592.50	11.06
2T7	39.73	1046	20008	1239	63.38	150.98	398	18193	10.71	169	47.90	200.03	16.65	2.06	26.45	420.50	2.06	0.34	3.06	1.29	100.88	7.70

Not: Tüm değerler ppm'dir.

Çizelge 4. Mezitli (Mersin) bölgesinden alınan *Platanus orientalis* bitkisinin dal örneklerindeki element konsantrasyonları (ppm).
Table 4. Mezitli (Mersin) region twigs of the element concentrations in samples taken from plants *Platanus orientalis* (ppm).

ÇINAR	Li	B	Al	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Rb	Sr	Mo	Cd	Sn	Cs	Ba	Pb
1C1D	40.75	11.38	30.51	1.35	1.09	3.33	17.66	21.03	0.04	0.92	13.11	7.85	0.37	0.046	1.25	15.93	0.12	0.01	0.10	0.01	5.42	0.15
2C1D	35.79	14.19	72.67	3.60	1.14	3.22	29.41	57.66	0.02	1.37	15.02	15.87	0.51	0.019	2.12	44.39	0.07	0.01	0.10	0.08	7.72	0.57
2C2D	34.13	15.59	153.69	5.90	1.36	3.41	29.79	141.36	0.10	2.02	10.71	8.27	0.52	0.027	1.66	122.70	0.18	0.02	0.09	0.00	8.14	0.92
1C3D	50.75	17.65	65.84	5.02	1.19	3.48	19.19	60.96	0.06	1.96	17.12	25.34	0.51	0.037	2.40	121.28	0.13	0.02	0.10	0.01	9.05	0.54
2C3D	42.77	15.33	240.49	5.39	1.52	3.89	16.55	211.17	0.33	3.09	14.22	14.53	0.54	0.069	1.56	87.96	0.09	0.03	0.11	0.04	13.24	1.20
1C4D	62.60	30.59	27.75	6.80	1.05	3.28	19.45	31.27	0.01	2.38	13.67	13.44	0.61	0.027	2.95	134.61	0.18	0.03	0.08	0.03	9.15	0.30
2C4D	44.52	21.37	52.35	9.14	1.02	3.08	42.88	60.33	0.04	2.81	8.39	17.36	0.67	0.011	3.05	173.35	0.17	0.03	0.09	0.11	9.65	0.36
1C5D	45.03	21.68	40.37	2.36	1.15	3.53	20.58	37.61	0.00	1.58	12.01	13.00	0.47	0.025	1.39	85.05	0.10	0.10	0.09	0.00	7.39	0.33
2C5D	41.84	26.91	37.43	4.79	1.08	3.20	56.27	67.73	0.01	5.43	15.44	36.28	0.58	0.027	1.49	146.02	0.17	0.02	0.12	0.00	10.10	0.30
1C6D	51.96	20.69	32.72	1.81	1.07	3.39	11.63	22.35	0.00	1.26	10.76	13.29	0.44	0.029	3.02	77.74	0.07	0.00	0.07	0.00	10.27	0.19
2C6D	36.73	20.91	26.96	3.58	1.03	3.26	34.09	38.82	0.00	2.13	10.45	19.67	0.53	0.022	0.90	126.95	0.11	0.01	0.08	0.00	12.69	0.33
1C7D	70.56	19.64	29.54	3.70	1.28	3.91	13.93	23.02	0.00	1.92	16.30	10.42	0.38	0.028	5.52	35.95	0.10	0.01	0.07	0.06	6.98	0.21
2C7D	41.51	27.27	38.49	4.12	1.24	4.04	29.40	37.77	0.00	4.80	14.15	13.15	0.42	0.010	2.87	46.55	0.09	0.01	0.10	0.19	7.55	0.27

Not: Tüm değerler ppm'dir.

Çizelge 5. Mezitli (Mersin) bölgesinden alınan *Platanus orientalis* bitkisinin yaprak örneklerindeki element konsantrasyonları (ppm).
Table 5. Mezitli (Mersin) element concentrations in the region of the *Platanus orientalis* leaf samples taken from plants (ppm).

ÇINAR	Li	B	Al	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Rb	Sr	Mo	Cd	Sn	Cs	Ba	Pb
1C1Y	44.69	13.69	54.64	3.35	1.42	4.29	23.19	55.05	0.01	2.87	6.95	13.98	0.52	0.025	2.73	18.09	0.08	0.01	0.10	0.03	4.36	0.79
1C2Y	53.36	31.88	39.73	2.78	1.19	3.67	24.07	43.07	0.00	2.55	8.24	16.65	0.52	0.025	2.09	112.79	0.15	0.00	0.10	0.04	5.98	0.19
1C3Y	49.61	41.45	152.27	5.12	1.36	3.87	27.10	147.36	0.06	3.64	13.24	11.96	0.61	0.029	2.41	115.29	0.12	0.02	0.14	0.05	7.94	0.30
1C4Y	45.52	28.64	60.55	3.53	1.19	3.60	11.72	68.32	0.00	1.81	11.05	11.38	0.63	0.047	2.08	94.80	0.18	0.01	0.14	0.36	6.86	0.24
1C5Y	13.58	14.95	37.52	1.87	1.32	4.00	16.90	44.34	0.00	0.74	2.16	9.93	0.57	0.040	0.59	81.89	0.10	0.00	0.14	0.04	6.12	0.19
1C6Y	25.01	15.64	39.08	2.23	1.21	3.70	23.32	52.42	0.00	1.13	6.14	8.38	0.53	0.042	1.24	84.30	0.06	0.00	0.14	0.05	8.85	0.24
1C7Y	83.18	57.09	112.04	5.97	1.48	4.18	40.43	103.46	0.04	4.63	16.19	24.93	0.52	0.026	6.59	62.07	0.17	0.02	0.23	0.04	8.35	0.57

Not: Tüm değerler ppm'dir.

Bozdoğan, Öz, Özdemir, Demir, Hatipoğlu Bağcı

Çizelge 6. Mezitli (Mersin) bölgesinden alınan su örneklerindeki element konsantrasyonları.
 Table 6. Mezitli (Mersin) element concentrations in water samples collected from the Zone.

SU	Li (ppb)	B (ppb)	Na (ppm)	Mg (ppm)	Al (ppb)	K (ppm)	Ca (ppm)	V (ppb)	Cr (ppb)	Mn (ppb)	Fe (ppb)	Ni (ppb)	Cu (ppb)	Zn (ppb)	As (ppb)	Se (ppb)	Br (ppb)	Mo (ppb)	Cd (ppb)	Sb (ppb)	Ba (ppb)	Pb (ppb)
A1-1 DERE	1.9	16.2	5.7	55.8	44.0	1.2	43.2	1.9	2.5	1.4	32.4	1.9	2.2	4.2	1.4	3.3	14.6	10.1	0.6	0.9	21.5	5.7
A2-1 DERE	5.8	33.9	9.4	58.3	8.3	0.8	61.6	1.6	1.8	0.1	27.3	3.0	0.4	1.6	0.3	1.7	24.9	8.9	<DL	0.3	25.5	15.9
A1-2 DERE	2.4	18.7	6.4	56.2	51.6	0.7	44.2	1.5	1.8	0.8	19.9	1.7	0.4	3.1	0.5	3.1	16.5	8.9	0.5	0.7	22.9	1.7
A2-2 DERE	6.3	48.5	11.4	60.5	13.9	1.1	60.4	2.3	1.6	1.1	29.3	3.8	0.7	0.5	0.7	1.6	41.0	0.7	<DL	0.3	25.0	16.6
A1-2 ÇŞM	3.2	19.5	7.1	13.5	17.8	0.8	75.1	2.3	0.9	0.1	6.3	1.0	<DL	3.0	0.6	3.5	27.6	8.6	<DL	0.7	13.4	1.1
A2-2 ÇŞM	4.6	14.0	4.6	9.5	2.6	0.7	83.7	2.4	0.8	<DL	25.2	2.5	1.7	4.6	0.3	1.8	26.4	0.3	<DL	0.3	8.1	16.0
A1-3 DERE	3.5	22.9	9.1	55.5	109.4	0.8	44.8	1.6	1.7	1.1	55.3	1.7	0.2	2.9	0.4	3.4	23.6	8.4	<DL	0.7	22.2	0.7
A2-3 DERE	7.6	60.2	12.2	43.3	25.4	1.2	55.1	2.2	0.6	0.3	31.7	3.2	0.4	<DL	0.9	1.8	57.4	0.9	<DL	0.4	26.5	14.3
A1-3 ÇŞM	3.2	19.6	7.9	13.9	23.2	0.8	75.7	2.3	0.9	0.1	6.8	1.2	<DL	3.3	0.5	3.6	44.5	8.5	<DL	0.7	13.4	0.8
A2-3 ÇŞM	4.6	13.7	4.6	9.4	4.7	1.2	82.4	2.3	0.7	0.1	24.8	2.2	1.6	8.7	0.2	2.2	<DL	0.3	<DL	0.3	8.1	14.6
A1-4 DERE	4.9	28.2	12.1	56.9	147.2	0.9	46.5	1.6	1.6	0.9	68.9	1.8	1.1	3.0	0.5	3.5	30.4	8.6	<DL	0.7	22.9	0.8
A2-4 DERE	10.8	77.8	21.7	42.8	14.3	2.3	77.5	1.7	0.6	<DL	31.9	2.7	0.1	<DL	0.5	2.3	92.4	1.1	<DL	0.4	25.6	14.9
A1-5 DERE	5.9	33.6	15.4	59.2	179.6	1.1	49.2	1.7	1.7	1.5	72.2	2.0	0.4	2.9	0.5	3.5	41.93	8.7	<DL	0.7	25.7	0.7
A2-5 DERE	17.7	132.0	43.3	71.9	66.4	2.8	73.4	1.9	0.6	0.7	62.6	6.4	1.8	0.5	1.2	2.5	179.8	1.8	<DL	0.4	38.1	15.4
A1-6 DERE	10.4	77.9	45.1	59.6	94.7	1.3	66.5	1.8	1.5	0.8	44.7	2.6	0.3	2.9	0.6	3.8	259.8	8.9	<DL	0.7	59.9	0.5
A2-6 DERE	1.3	103.2	33.4	44.9	28.9	1.4	81.6	3.1	0.8	0.2	36.0	4.5	3.9	0.2	1.6	2.6	174.4	0.9	<DL	0.4	49.7	15.6
A1-7 DERE	5.7	33.9	15.9	60.3	159.9	1.1	41.7	1.7	1.9	1.0	76.7	1.9	0.5	3.0	0.5	3.6	40.82	8.8	<DL	0.7	23.8	0.6
A2-7 DERE	8.0	80.6	19.7	49.1	4.9	1.2	47.6	2.8	2.2	0.2	24.5	3.4	1.7	0.6	1.2	2.2	118.3	0.7	<DL	0.4	34.1	15.9
A1-8 DERE	6.1	51.6	40.6	62.7	172.4	5.9	39.4	1.8	1.8	0.8	64.7	2.5	1.3	3.6	0.6	3.6	118.5	8.9	<DL	0.7	23.4	0.7
A2-8 DERE	467.4	5053	12984	1627.6	2357	469.8	480.7	53.7	109.8	46.0	9730	33.4	500	188.0	216.1	312.8	72777	18.8	<DL	98.6	57.7	1701

DL: Dedeksiyon Limiti

Çizelge 7. Mezitli (Mersin) bölgesinden alınan su örneklerindeki anyon düzeyleri.

Table 7. Mezitli (Mersin) anion levels in water samples collected from the Zone.

SU	Fosfat (ppm)	Amonyum (ppm)	Florür (ppm)	Klorür (ppm)	Nitrit (ppm)	Nitrat (ppm)	Sülfat (ppm)
A1-1 DERE	<DL	0.0603	0.095	13.934	<DL	14.989	32.882
A1-2 DERE	<DL	0.0756	0.117	20.376	0.021	14.239	36.289
A1-3 DERE	<DL	0.0754	0.139	21.304	0.014	8.859	49.141
A1-4 DERE	<DL	1.7886	0.133	35.874	0.003	17.723	93.620
A1-5 DERE	<DL	0.1925	0.135	79.033	0.057	14.051	240.446
A1-6 DERE	<DL	<DL	0.142	72.126	0.018	30.935	83.919
A1-7 DERE	<DL	0.1528	0.085	60.600	0.099	71.313	87.247
A1-8 DERE	<DL	<DL	1.812	35047.289	<DL	2.496	3824.135
A2-1 DERE	<DL	<DL	0.054	6.720	<DL	3.349	15.508
A2-2 DERE	<DL	<DL	0.053	6.708	<DL	5.080	18.556
A2-3 DERE	<DL	<DL	0.080	11.381	<DL	8.154	13.785
A2-4 DERE	<DL	<DL	0.086	12.078	<DL	6.325	49.934
A2-5 DERE	<DL	<DL	0.072	15.498	<DL	7.809	62.841
A2-6 DERE	<DL	<DL	0.153	87.164	<DL	22.988	80.744
A2-7 DERE	<DL	<DL	0.090	15.681	<DL	7.286	58.459
A2-8 DERE	<DL	<DL	0.102	54.020	<DL	8.142	66.275

SONUÇLAR

Çalışma kapsamında toplanan bitki (*P. orientalis* ve *P. australis*), toprak ve su örneklerinde Li, B, Al, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Mo, Cd, Sn, Cs, Ba ve Pb elementleri için kimyasal analizler yapılmıştır. Bu örneklerde B, Cr, Pb, Cu, Sr ve Li elementleri için bitki türleri ile yetiştikleri topraklar arasında istatistiksel olarak doğrusal ilişkiler olduğu, su örneklerinin ise TSE-266 (2005) standartlarına göre normal değerlerde olduğu saptanmıştır. Bu kapsamda;

1. *P. orientalis* bitkisinin dalındaki B, Sr ve Pb ile topraktaki B, Sr ve Pb düzeyleri arasında pozitif korelasyon olduğu, bu bitkinin dalındaki

Cr ile topraktaki Cr düzeyi arasında ise negatif korelasyon olduğu saptanmıştır.

2. *P. australis* bitkisinin yaprağındaki Cr ve Li ile topraktaki Cr ve Li düzeyi arasında pozitif korelasyon olduğu, bu bitkinin yaprağındaki Cu ile topraktaki Cu düzeyi arasında ise negatif korelasyon olduğu saptanmıştır. Bu nedenle *P. orientalis* ve *P. australis* bitki türlerinin B, Cr, Pb, Cu, Sr ve Li elementleri için belirtgen bitkiler olabileceği önerilebilir.

3. Topraktaki Cr artışına karşın *P. orientalis* bitkisinin dalındaki Cr içeriğinde negatif yönde doğrusal azalma saptanmıştır. Bu durum, bitkinin, ortamdaki Cr arttıkça Cr'yi bünyesine doğrusal olarak o oranda az aldığını göstermektedir.

Bozdoğan, Öz, Özdemir, Demir, Hatipoğlu Bağcı

Ayrıca bitkinin dalının, topraktaki B, Sr ve Pb'nin artışıyla birlikte bünyesine B, Sr ve Pb'yi doğrusal olarak artan miktarda alırken, Cr'yi azalan miktarda aldığı söylenebilir.

4. Topraktaki Cu artışına karşın *P. australis* bitkisinin yaprağındaki Cu içeriğinde negatif yönde doğrusal azalma saptanmıştır. Bitki, ortamdaki Cu fazlaştıkça bünyesine Cu'yu doğrusal olarak o oranda az almaktadır. Ayrıca bitkinin yaprağının, topraktaki Cr ve Li artışıyla birlikte bünyesine Cr ve Li'yi doğrusal olarak artan miktarda alırken, Cu'yu ise azalan miktarda aldığı söylenebilir.

5. *P. orientalis* (B, Sr, Pb ve Cr için) ve *P. australis* (Li, Cu ve Cr için) bitki türlerinin B, Sr, Pb, Li, Cu ve Cr içeren maden yataklarının biyojeokimyasal prospeksiyonunda kullanılabileceği önerilebilir.

KATKI BELİRTME

Çalışmada kullanılan örneklerin kimyasal analizlerinin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Mehmet Ali KURT'a (MEÜ MEİTAM) teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Bozcuk, S., 1986. Bitki Fizyolojisi (Metabolik Olaylar). Hatipoğlu Yayınları, 176 s., Ankara.

Brooks, R. R., Morrison, R. S., Reeves, R. D., Dudley, T. R., Akman, Y., 1979. Hyperaccumulation of nickel by *Alyssum Linnaeus* (Cruciferae). *Proceedings of The Royal Society's Physical Sciences*, 203, 387-403.

Brooks, R. R., Baker, A. J. M., Malaisse, F., 1992. Copper flowers. *National Geographic Research and exploration*, 8 (3), 338-351.

Brooks, R. R., Dunn, C. E., Hall, G. E. M., 1995. *Biological system in mineral exploration and processing*. Elles Horwood Limited, 538 s.

Benton, J., Jones, R., 1984. Developments in the measurement of trace metal in foods, in *Analyses of Food contaminants*. J. Gilbert, Ed., Elsevier, London and New York, 157 p.

Demirezen, D., Aksoy, A., 2005. Common hydrophyte a bioindicators of iron and manganese pollution. *Ecological Indicators*, 6, 388.

Dunn, C., 2007. *Biogeochemistry in mineral exploration*. Consulting Geochemist, 480 s.

Dürüst, N., Dürüst, Y., Tuğrul, D., Zengin, M., 2004. Heavy Metal Contents of *Pinus Radiata* Trees of İzmit (Turkey). *Asian Journal of Chemistry*, 16 (2), 1129.

Erdman, J. A., Kokkola, M., 1984. Workshop 2: *Biogeochemistry in Mineral Exploration*, *Journal of Geochemical Exploration*, 25, 21-40.

Gedik, T., 2005. Madenköy (Niğde/Ulukışla) ve Dolaylarının Biyojeokimyasal Anomalilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 113 s.

Hutchinson, G. E., 1950. Survey of existing knowledge of biogeochemistry 3: The biogeochemistry of vertebrate excreta. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 96, 71-94.

Hoening, H., Borger, M., 1983. Particular problems encountered in trace metal analysis of plant by AAS, *Spectrochimica Acta*, 38B (5/6), 673-880.

Kacar, B., 1984. Bitki Beslenmesi. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No:289, Ankara, 317 s.

Köksoy, M., 1991. Uygulamalı Jeokimya. Hacettepe Yayınları, Yayın No.64, Ankara, 368 s.

- Nagaraju, A., Karimulla, S., 2002. Accumulation of elements in plants and soil in and around Nellore Mica Belt, Andhra Pradesh, India – a biogeochemical study. *Environmental Geology*, 41, 852-860.
- Özbek, H., Kaya, Z., Gök, M., Kaptan, H., 1995. Toprak Bilimi. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Genel Yayın No: 73 Ders Kitapları Yayın No:16, Adana.
- Özdemir, Y., 1992. Türk çaylarında kimyasal bileşimin incelenmesinde spektrofotometrik ve kromatografik yöntemlerin yeri. İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 178 s.
- Özdemir, Z., Zorlu, S., Eryılmaz, F. Y., 2003. Toprakta metal kirliliğinin saptanmasında indikatör (belirleyici) bitkilerin kullanılması. 10. Yıl Sempozyumu, Mersin, 89.
- Özdemir, Z., Demir, E., 2010. Fındıkpınarı-Erdemli Mersin bölgesinde nikel akümülatörü bir bitki *Alyssum murale* Waldst & Kit. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 34 (1), 57-70.
- Özdemir, Z., 2005. *Pinus brutia* as a biogeochemical medium to detect iron and inc in soil analysis, chromite deposits of the area Mersin, Turkey. *Chemie Der Erde-Geochemistry*, 65, 79-88.
- Özdemir, Z., Zorlu, S., Akyıldız, M., Yücesoy Eryılmaz, F., 2014. Determination of indicator plants for boron in the Kırka (Eskişehir-Turkey) boron deposit area. *International Journal of Geosciences*, 5, 77-84.
- Page, V., Le Bayon, R. C., Feller, U., 2006. Partitioning of zinc, cadmium, manganese and cobalt in wheat (*Triticum aestivum*) and lupin (*Lupinus albus*) and further release into the soil. *Environmental and Experimental Botany*, 58, 269–278.
- Rose, A. W., Hawkes, H. E., Webb, J. S., 1979. *Geochemistry in mineral Exploration*, 2nd ed. Academic Press, New York, 657 p.
- Schroll, E., (Ed), 1975. *Analytische Geochemie* Enke Verl. Bd. I. Stuttgart, 292 s.
- Sharma, P., Dubey, R. S., 2005. Lead toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17 (1), 35- 52.
- Şenol, M., Duman, T. Y., 1998. Adana-Mersin dolayının jeoloji etüdü raporu.
- TSE 266. Sular – İnsani Tüketim Amaçlı Sular, 2005. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara
- Yılmaz, C., 2004. Bitkisel üretimde besin elementleri. Hasad Yayıncılık Ltd. Şti, 142 s.
- Yürekli, A. K., Aslanargun, B. A., 2002. Bitkilerde Mineral Beslenme Fizyolojisi. Anadolu Üniversitesi Yayınları Eskişehir, 1432, 119 s.
- Zorlu, S., Çetin, E., Özdemir, Z., 2004. Gömülü cevhere rehber bitkiler. *Mavi Gezegen Dergisi*, 9, 37-42.

YAYIN AMAÇLARI VE KURALLARI, YAYINA KABUL İLKELERİ

AMAÇ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ

• İnsan ile Yerküre arasındaki etkileşimlere ilişkin bilgi ve deneyimleri doğal çevreyi de gözetererek daha güvenli ve rahat bir yaşam ortamı sağlamak amacıyla 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 özendirme 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 miktarda 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 önsonuçlarının 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, yazının 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 yayımlara 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 Dizini'nde de yer 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 değinilmeli ve metin içinde değinilen tüm kaynaklar, "Kaynaklar Dizini"nde eksiksiz olarak belirtilmelidir. Kaynakların yazılmasında aşağıdaki örneklerde belirtilen düzen esas alınmalıdır:

Süreli 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. Süreli Yayın 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., Canitez, 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 yararlanılmalıdır. Eşitliklerde, yaygın olarak kullanılan uluslararası simgelere yer verilmesine özen gösterilmelidir.
- b) Her eşitliğe sırayla numara verilmeli, numaralar parantez içinde eşitliğin hizasında ve sayfanın sağ kenarında belirtilmelidir.
- c) Eşitliklerde kullanılacak alt ve üst indisler belirgin şekilde ve daha küçük karakterlerle yazılmalıdır (I_4 , 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 ($\sigma_{\text{maks}} = \sigma_c^{0.5}$ gibi).

- f) Bölme işareti olarak yatay çizgi yerine "/" simgesi kullanılmalıdır. Çarpma işareti olarak genellikle herhangi bir işaret kullanılmamalı, ancak zorunlu hallerde "*" işareti tercih edilmelidir ($y=5 * 10^{-3}$ 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 kullanılabilecek oranda 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 dipnotlara 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 güçlüklerle neden olduğundan, çok gerekli durumlarda kullanılmamalıdır. Eğer dipnot kullanılırsa, yıldız (*) işareti ile gösterilmeli ve mümkün olduğunca kısa tutulmalıdır. Dipnota eğer değinme yapılırsa bibliyografik bilgiler dipnota 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. Ondandan 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

59- Seda ÇELLEK, Fikri BULUT, Hakan ERSOY

**AHP Yöntemi'nin Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Kullanımı ve Uygulaması
(Sinop ve Yakın Çevresi)**

Utilization and Application of AHP Method in Landslide Susceptibility Mapping Production (Sinop and its Surroundings)

91- Ömer ÜNDÜL, Florian AMANN, Peter K. KAISER

**Sülfatça Zengin Killi Kayaların Dayanım ve Deformasyon Özellikleri ile Gevrek Kırılma Süreçleri
Strength and Deformation Properties of Sulphate-rich Clay Rocks and Their Brittle Failure Processes**

117- Ali BOZDOĞAN, Derya ÖZ, Zeynep ÖZDEMİR, Erkan DEMİR, Zübeyde HATİPOĞLU BAĞCI

Mezitli Deresi Boyunca Biyojeokimyasal Anomalilerin İncelenmesi, Mersin

An Investigation of Biogeochemical Anomalies Along the Mezitli Stream, Mersin