

YER

Sayı: 14 Yıl: 8

Haziran 2020

MÜHENDİSLİĞİ



**Mars'ta kayalar ve kaya
mühendisliği üzerine bazı düşünceler**



GÜR MÜHENDİSLİK

JEOTEKNİK-SONDAJ-HARİTA-İNŞ.MAK.
TAAHHÜT SANAYİ- ve TİCARET LTD. ŞTİ.



- Zemin etüt sondajları
- İmar planlamasına yönelik jeolojik ve jeoteknik etütler
- Karayolu, demiryolu, tünel, köprü vb. projelerin jeolojik ve jeoteknik etütleri
- Kanalizasyon, içme suyu iletim hatları ile su deposu, arıtma tesisi ve terfi merkezi yerlerinin jeoteknik araştırmaları
- Baraj ve sulama yapıları jeoteknik etütleri
- Güçlendirme projelerine yönelik jeoteknik projeler
- Jeolojik ve mühendislik jeolojisi harita yapımı
- Yamaç ve şev stabilite etütleri
- Jeofizik, sismik ve rezistivite etütleri
- Yeraltı suyu aramaları
- Hidrojeolojik etüt hizmetleri
- Mühendislik ve müşavirlik hizmetleri

Gürhan Rahmi KOÇBAY
Jeoloji Yük. Müh.

Mebusevleri Mahallesi Ayten Sokak. No:29/5 Beşevler ANKARA
Tel: 0.312 215 97 28 • Faks: 0.312 215 97 29 • www.gurmuhendislik.com • gur@gurmuhendislik.com



Metal madenciliği, metalurji kimya alanlarında faaliyet gösteren şirketimiz;

Ülkemizde Mineralden Metal Bakır Üreten

Tek Kuruluştur.

- %18-23 Bakır içerikli Bakır Konsantresi
- % 42-48 Kükürt içerikli Pirit Konsantresi
- Katot Bakır
- % 96-97 H₂SO₄ içerikli Sülfirik Asit
- % 65-69 Antimuan içerikli Antimuan Konsantresi

Aşıköy Mevkii
Küre - Kastamonu
Tel: 0366. 751 20 60
0366. 751 20 04
Fax: 0366. 751 20 38
www.etibakir.com.tr

Etibakir A.Ş. Bir Cengiz Holding Kuruluşudur.

İmtiyaz Sahibi

Prof. Dr. Remzi KARAGÜZEL

Genel Yayın Yönetmeni

Doç. Dr. Yılmaz MAHMUTOĞLU

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü

Gülseren KOÇER

Yazı İşleri

Ümit DERTLİ

Abonelik ve Reklam Sorumlusu

Gülseren KOÇER

Grafik Tasarım

Büşra YURTSEVEN

posta@busrayurtseven.com

Yayın Kurulu

Prof. Dr. Remzi KARAGÜZEL

Prof. Dr. Halil KUMSAR

Dr. Ayhan KOÇBAY

Prof. Dr. Atiye TUĞRUL

Prof. Dr. Mahmut MUTLUTÜRK

Doç. Dr. Hakan ERSOY

Doç. Dr. Yılmaz MAHMUTOĞLU

Baskı

Everest Basım Reklam-Matbaa Hizmetleri
San. ve Tic. Ltd. Şti.

Maltepe Mah. Litros Yolu Sok. No:2/4 2.
Matbaacılar Sitesi Kapı No: 3NF7

Kat: 5 Zeytiburnu/İstanbul Tel: 0212 434 51
34 www.everestbasim.com

Yayına Hazırlayan

ARC Yayıncılık

Üsküdar Selami Ali Mah. Kâtip Çelebi Sok.
No.4/1 İSTANBUL

yermuhendisidergisi@gmail.com,
k.gulseren@gmail.com

0 530 227 66 35

Yayın Türü

Yer Mühendisliği Dergisi Türkiye genelinde
dağıtılmaktadır.

Basın Kanununa göre “yerel süreli” yayındır.

ARC Yayıncılık tarafından T.C. yasalarına
uygun olarak yılda 2 sayı yayınlanmaktadır.

Yer Mühendisliği Dergisi'nde yayınlanan yazı,
harita, fotokopi, illüstrasyon ve konuların
tüm hakları ARC Yayıncılık'a aittir.

**Yer Mühendisliği Dergisinde yer alan makalelerin
içeriğinden yazarları sorumludur.**

İzinsiz, kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz.

İÇİNDEKİLER



6

6 Mühendislik Jeolojisi Derneğinden Haberler

Yönetim Kurulu çalışmaları

Doç. Dr. V. Marinos'un Prof. Dr. Erdoğan Yüzer'i
ziyareti

Üyelerimizin JMO Webinar Seminerlerine
Katkıları

İTÜ Jeoloji Mühendisliği Bölüm Seminerleri

2019 Yılı Erguvanlı Ödüllerini kazananlar
belirlendi

14 Türkiye'den Haberler

Uluslararası yayın organımız: BOEG

Prof. Dr. Mahir Vardar'ı kaybettik

16 DSİ'den Haberler

Yusufeli Barajı 205 metreye ulaştı

Çetin Barajı'nda enerji üretimi başladı

İlisu Barajı'nda elektrik üretimine başlandı

Yatağan Girme Barajı'nda çalışmalar hızla
devam ediyor



17

18 Makale

Kaya mühendisliğinde
standartlaşmanın ve standart
yöntemlerin kullanılmasının önemi ve
uygulamaya yönelik bazı hususlar

28 Makale

Kohezyonsuz zeminde tünelcilik

(T12 Tüneli, Bursa - Yenişehir Yüksek
Hızlı Tren Demiryolu Projesi): Sorunlar
ve Çözümler

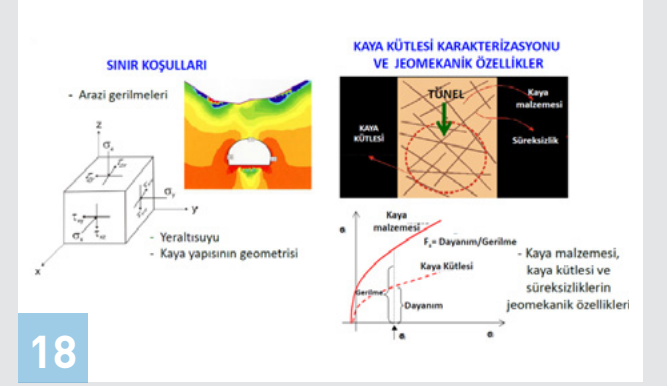
38 Makale

Mars'ta kayaçlar ve kaya mühendisliği
üzerine bazı düşünceler

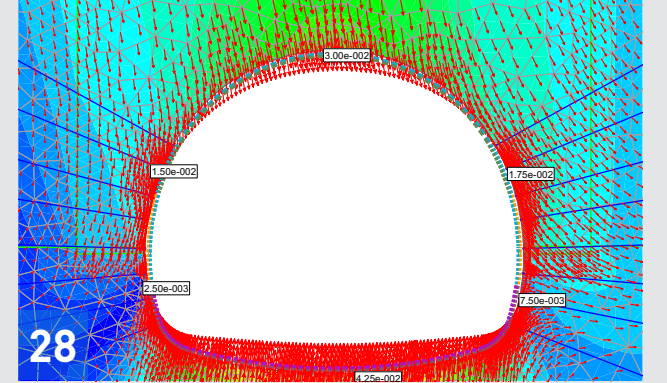
47 Ajanda

48 Yerbilimleri Mühendisliği öğrencilerine karşılıksız burs

50 Mühendislik Jeolojisi Derneği Üyeleri



18



28



38

REKLAM INDEX

GÜR MÜHENDİSLİK
TÜPRAG

ÖN KAPAK İÇİ
ARKA KAPAK

ETİBAKIR
MUHJEO 2021

1

9

Kapak: <https://mars.nasa.gov/resources/25098/curiositys-view-from-the-top-of-the-greenhouse-pediment>



Uluslararası Katılımlı

Türkiye Jeoloji Kurultayı

with international participation

Geological Congress of Turkey

Jeoloji ve Jeopolitika / Geology and Geopolitics

5-9 Ekim 2020 / October 5-9, 2020

MTA Genel Müdürlüğü Kültür Sitesi/ANKARA

MTA General Directorate Cultural Center / ANKARA



Değerli okurlarımız,

Aralık 2019'da Çin'de ortaya çıkan ve kısa zamanda tüm dünyaya yayılan pandemi süreci, Ülkemiz de Mart 2020'den itibaren derinden hissedilmeye başlanmıştır. Tüm dünyada, eğitim, üretim, ulaşım, sağlık, hizmet vb. yaşamsal faaliyetler durma noktasına gelmiş, buna rağmen Derneğimiz çalışmalarını sürdürmüştür. Yer Mühendisliği dergisinin bu süreçte de yayınlanmış olmasında, Yönetim Kurulumuzun ısrarcı tutumu, emek veren yazarlarımızın destekleri ve kuşkusuz Siz değerli okurlarımızın beklentileri heyecan ve çabamızın esas kaynağı olmuştur.

Yer Mühendisliği dergisinin bu sayısında da, yine akademisyenlerimiz ile kurum ve kuruluşlarımızın başarı ile tamamladıkları araştırma bulguları ve proje sonuçlarından hazırladıkları; makale ve popüler yazılara yer verdik. Ayrıca, Uluslararası Birlik ile Yönetim Kurulumuz ve üyelerimizden haberler/ duyurular bulunmaktadır.

Derneğimiz tarafından Erguvanlı Mühendislik Jeolojisi Ödülleri 2019 yılında tamamlanan; uluslararası makale, doktora tezi, yüksek lisans tezi ve bitirme ödevi/tasarım projesi kategorilerindeki başvurular, jüri üyelerinin görüşleri doğrultusunda Yönetim Kurulu'muzda değerlendirilmiş ve sahipleri belirlenmiştir. Ödüller, Ağustos 2020'de yapılması planlanan Genel Kurul'da verilecektir. Ancak, Genel Kurullarla ilgili izinler pandemi sürecindeki gelişmelere bağlı olarak ilgili bakanlıklar tarafından yayınlanmaktadır. Genel Kurul ve Ödül Törenine ilişkin gerekli bilgilendirme ilerleyen süreçte yapılacaktır.

Mühendislik Jeolojisi Derneği tarafından periyodik olarak iki yılda bir düzenlenen "Ulusal Mühendislik Jeolojisi ve Jeoteknik Sempozyumu - MÜHJEO'2021", İstanbul Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nün ev sahipliğinde Ekim 2021'de İstanbul'da yapılması planlanmıştır. Sempozyum hazırlıkları başlamış olup, ilk duyuru Kurum ve Kuruluşlar ile meslektaşlarımıza gönderilmiştir. Üyelerimizin ve konuya ilgi duyan kurum ve kuruluşların bildiri sunumuyla, delege olarak ve stant açarak bu Sempozyuma katılmalarını ve katkı sağlamalarını bekliyoruz.

Bu vesile ile Kurban Bayramınızı kutlar, sağlıklı günlerde buluşmayı dileriz.

Saygılarımla.

Prof. Dr. Remzi Karagüzel

Mühendislik Jeolojisi Derneği

Yönetim Kurulu Başkanı



**TMMOB
JEOLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI**
CHAMBER OF GEOLOGICAL ENGINEERS OF TURKEY

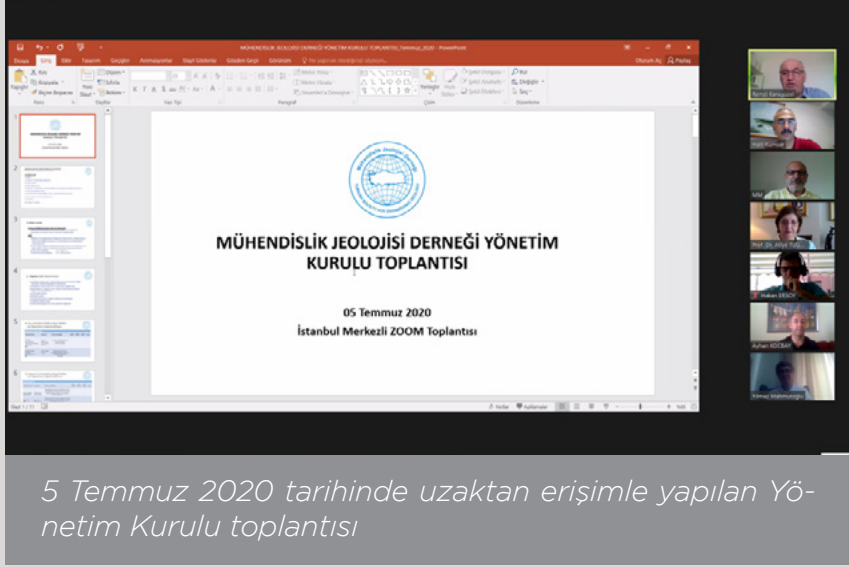
Yönetim Kurulu çalışmaları

MühJeoDer Yönetim Kurulu 2020 yılı içerisinde dört kez toplanmış ve gündemindeki konuları görüşmüş ve karara bağlandı.

Bu toplantılardan ilki 20 Şubat 2020 tarihinde İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünde yapılmıştır.

Yönetim Kurulumuz COVID-19 virüsünün etkisinde ilan edilen pandemi sürecinde de çalışmalarını aralıksız sürdürdü.

İstanbul Merkezli on-line toplantılar; 23 Nisan 2020, 5 Temmuz 2020 ve 13 Temmuz 2020 tarihlerinde olmak üzere 3 kez de internet ortamında gerçekleştirildi.



5 Temmuz 2020 tarihinde uzaktan erişimle yapılan Yönetim Kurulu toplantısı

Doç. Dr. V. Marinos'un Prof. Dr. Erdoğan Yüzer'i ziyareti

Selanik Aristoteles Üniversitesi öğretim üyesi ve Uluslararası Mühendislik Jeolojisi Birliği (IAEG)'nin Avrupa'dan Sorumlu Başkan Yardımcısı Doç. Dr. Vassilis P. Marinos, 19-21 Şubat 2020 tarihleri arasında İstanbul'da Mühendislik Jeolojisi Derneği Yönetim Kurulu'nu ziyaret etti.

Ziyaret sırasında, Dünyada ve ülkemizde mühendislik jeolojisi çalışmalarının genel bir değerlendirmesi, ileriye yönelik hedefler ve yakın gelecekte planlanan bilimsel etkinlikler konusunda görüşüldü.

Doç. Dr. V. Marinos, IAEG Mühendislik Jeolojisi Birliği Türk Milli Komitesi eski Başkanı ve Derneğimiz onursal üyesi Prof. Dr. Erdoğan Yüzer'i ziyaret etti.



Doç. Dr. V. Marinos ve ISRM Başkanı Prof. Dr. Reşat Ulusay'ın Derneğimiz YK Başkanı Prof. Dr. Remzi Karagüzel ve Genel Sekreter Prof. Dr. Halil Kumsar ile birlikte Onursal üyemiz Prof. Dr. Erdoğan Yüzer'i ziyaretinden bir görüntü.

Üyelerimizin JMO İnternet Seminerlerine Katkıları

Aralık 2019'da Çin'de ortaya çıkan ve tüm dünyaya yayılan pandemi sürecinde, bilimsel toplantılar dahil tüm planlanan organizasyonlar ertelenmiştir. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası (JMO) her yıl geleneksel olarak gerçekleştirdiği toplantılar kapsamında, Nisan 2020'de yapılması planlanan 73. Türkiye Jeoloji Kurultayı'nı da ertelemek zorunda kalmıştır.

JMO bu zorlu süreçte Jeolojinin hemen her alt bilim dallarında WEBİNAR'lar düzenlenerek, üyeleri ve meslektaşlarımız arasında bilimsel paylaşım ve etkileşimleri sürdürmek için fırsat sunmuştur. Bu zorlu sürecin en az kayıpla verimli hale getiren JMO yönetimine ve WEBİNAR'lara destek veren meslektaşlarımıza ve aşağıda sıralanan konularda konuşmacı olarak katkı sağlayan üyelerimize içten teşekkürlerimizi sunuyoruz.

Ayrıca, zoom ve youtube üzerinden katılım, katkı ve soruları ile bilimsel bir tartışma platformu oluşturan tüm meslektaşlarımıza da teşekkür ve saygılarımızı iletiyoruz.

Doç. Dr. Ayberk Kaya: Mühendislik Jeolojisinde Yer Seçiminin Önemi, 27.07.2020, Trabzon

Gürel Özdemir: Menard Presiyometresi Deneyi (Hazırlık, Uygulama Ve Değerlendirme), 20.07.2020, Ankara

Dr. Neşe Kılıç: Yeni Zigana Tünelinin Ulaşımına Katkıları, 16.07.2020, Trabzon

Prof. Dr. Mahmut Mutlutürk: Batı Toroslarda Doğaltaş İşletmeciliği, Jeoloji Ve Çevre, 11.07.2020, Antalya

Doç. Dr. Mustafa Kerem Koçkar: Sıvılaşma Ve Tbdy`E Göre Sıvılaşma Analizleri, 28 Haziran 2020, Merkez.

Prof. Dr. Remzi Karagüzel: Jeoloji Mühendisliğinde İşsizlik Ve Düşük Maaş Sorunları İle Çözüm Önerileri, 23.06.2020, İzmir

Prof. Dr. Can Ayday, Uzaktan Algılama Ve Cbs Jeoloji Mühendisliğindeki Uygulamaları, 18.06.2020, İstanbul

Prof. Dr. Aykut Akgün: Heyelanla Yaşamak Ve "Sivil Bilim" Kavramının Önemi, 25.06.2020, Trabzon

Doç. Dr. Hakan Ersoy: Doğu Karadeniz`İN Değişmeyen Kaderi Taşkınlar, 24.06.2020, Trabzon

Prof. Dr. Nihat Sinan Işık: Toprak Zeminler İçin Şev Stabilitesi Analizi İlkeleri, 21.06.2020, Merkez

Prof. Dr. Nihat Sinan Işık: Taşıma Gücü Ve Oturma Analizleri, 14.06.2020, Merkez

Doç. Dr. Bülent Özmen: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (Deprem Tehlike Haritası, Jeoteknik Hususlar), 12.06.2020, Merkez

Prof. Dr. Remzi Karagüzel, Su Yapılarının Planlama Ve Projelendirilmesinde Mühendislik Jeolojisi Ve Hidrojeoloji Araştırmaları: Örnek Çalışmalar" Adlı İnternet Söyleşisi, 11.06.2020, İstanbul

Doç. Dr. Mutluhan Akın: Kaya Düşmesi Koruma Yollarının Modellenmesi Eğitimi, 07.06.2020, Merkez

Prof. Dr. Mehmet Ekmekçi: Su Kaynakları Yönetimi: Yaklaşımlar Ve Türkiye'deki Uygulamalar, 28.05.2020, Merkez

Doç. Dr. Mutluhan Akın, Gürel Özdemir, Mehmet İlker Gürhanı: İki Ve Üç Boyutlu Kaya Düşme Analizlerinde Güncel Uygulamalar Ve İyileştirme Yöntemleri- İha İle Sayısal Yükseklik Modelinin Oluşturulması Konulu Online Eğitimi

Doç. Dr. Bülent Özmen, Prof. Dr. Nihat Sina Işık: Türkiye'deki Diri Faylar Ve Yerleşime Uygunluk Değerlendirilmesi, 23.05.2020, Merkez

Dr. Serkan Angı: "Taş'ların İstanbul'u: Antik Mimaride Doğal Taş Kullanımı Ve Kültürel Jeolojideki Yeri" İnternet Semineri, 22.05.2020, İstanbul

Prof. Dr. Reşat Ulusay: Geçmişten Günümüze Mühendislik Jeolojisinin Dünyada Ve Ülkemizde Gelişimi, 21.05.2020, Merkez

Prof. Dr. Fatma Gültekin: Doğu Karadeniz Bölgesi Jeotermal Sahaları, 15.05.2020, Trabzon

Prof. Dr. Tolga Çan: Heyelan Risk Değerlendirme Süreçleri, 10.05.2020, Merkez

Prof. Dr. Atiye Tuğrul: "Yerbilimlerinde Bir Başarı Hikayesi İnternet Söyleşisi, 09.05.2020, İstanbul

Prof. Dr. Şakir Şimşek: Türkiye'nin Jeotermal Potansiyeli, 01.05.2020, İstanbul

İTÜ Jeoloji Mühendisliği Bölüm Seminerleri

Doç. Dr. Marinos, İTÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü ve MühJeoDer ortak organizasyonunda, 20 Şubat 2020 tarihinde İTÜ İhsan Keten Konferans Salonunda “Engineering geological evaluation for the geotechnical analysis and design of tunnels, with special emphasis to tunnel behaviour appraisal” başlıklı bir seminer verdi. Seminere; öğretim üyeleri, ISRM Başkanı ve BOEG baş editörü Prof. Dr. R. Ulusay, Derneğimiz üyeleri, kamu kurumları ve sektörde görev yapan meslektaşlarımız ve öğrenciler katılmıştır. Tünellerde jeoteknik analizler ve tasarıma yönelik mühendislik jeolojisi değer-



Seminer sırasında İhsan Keten konferans Salonundan görünüm

lendirmeleri ve uygulamadan örneklerle sunulan Seminer, katılımcılar tarafından büyük ilgi gördü. Soru ve katkılar ile sunulan konu derinlemesine tartışıldı. Ülkemizde bulunmaktan ve gösterilen ilgiden duyduğu memnuniyetine ifade eden Doç. Dr. Marinos'a İTÜ öğretim üyesi ve MühJeoDer Yönetim Kurulu Başkanı Prof. Dr. Remzi Karagüzel tarafından teşekkür plaketi verildi.

Üyelik aidatları

Derneğin Birinci Olağanüstü Genel Kurulu tarafından alınan kararla önümüzdeki üç yıllık dönemde (2017-2019) yıllık aidat, IAEG (Uluslararası Mühendislik Jeolojisi Birliği) üyeliği de dahil (“Bulletin of Engineering Geology and the Environment” dergisi hariç) olmak üzere, 90 TL olarak belirlenmiştir. Söz konusu üyelik aidatı, Derneğin Vakıflar Bankası Ankara Yenışehir Şubesi nezdinde açılmış olan TR740001500158007301559247 IBAN No.lu Türk Lirası hesabına yatırılmaktadır.

MühJeoDer web sayfası

MühJeoDer'in web sayfası da oluşturuldu ve sürekli geliştiriliyor. Dernek üyelerinin ve konuyla ilgilenenlerin www.muheoder.org.tr adresinden bu sayfaya girerek; Dernek tüzüğü, üye listesi, üyelik başvuru koşulları ve başvuru formu, duyurular, Dernek Başkanı'nın üyelere yazısı, ilgili bağlantılar vb. bilgilere ulaşmaları mümkündür.

İletişim

Üyelik başvuruları ve diğer hususlar için adresi aşağıda verilen MühJeoDer Genel Sekreteri'ne Prof. Dr. Halil Kumsar (Genel Sekreter)

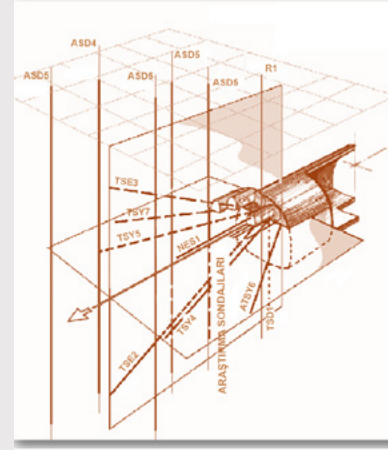
Pamukkale Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kınıklı Yerleşkesi, 20017 - Kınıklı/ DENİZLİ

e-posta: hkumsar@pau.edu.tr

Üyelik aidatları ve IAEG Dergisi için ise, adresi aşağıda verilen MühJeoDer Saymanı'na başvurulması gerekir.

Dr. Ayhan Koçbay (Sayman) Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları Dairesi Başkanlığı, Devlet Mahallesi, İnönü Bulvarı, No.16 Çankaya, Ankara

E-posta: ayhankocbay@gmail.com



SEMPOZYUMUN AMACI

İTÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü ve Mühendislik Jeolojisi Derneği tarafından, ortaklaşa düzenlenecek sempozyumda, yer özellikleri ve koşullarının belirlenmesi, dayanım ve davranışlarının araştırılması ve açıklanması, yer kabuğu ile her türden etkileşimin planlanması, projelendirilmesi ve yürütülmesi için temel oluşturan mühendislik jeolojisi çalışmalarının bilimsel bir ortamda paylaşılması ve tartışılması amaçlanmaktadır. Sempozyumda, ulusal ve uluslararası düzeyde uygulamaya yönelik sürdürülen araştırmalardan elde edilen teknik ve bilimsel veri ve bulguların sunulması, tartışılması, paylaşılması, bu alanda çalışan akademisyenlerin, araştırmacıların, mühendislerin, uygulayıcı kurum ve kuruluş mensuplarının ve öğrencilerin aynı platformda buluşturulması hedeflenmektedir.

İLETİŞİM ADRESİ

Doç. Dr. Yılmaz Mahmutoglu
İTÜ Maden Fakültesi
Jeoloji Mühendisliği Bölümü
34469 Maslak/İstanbul
Tel: 0212 285 62 56

WEB ADRESİ

<http://www.muheoder.org.tr>

E-MAIL

muheosemp2021@itu.edu.tr



MÜHJEO'2021

4. ULUSAL MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ VE JEOTEKNİK SEMPOZYUMU

TARİH

21-23 Ekim 2021

İTÜ Ayazağa Kampüsü, Süleyman Demirel Kültür Merkezi

SEMPOZYUMUN KONULARI

- ! Planlama ve Projelendirmede Mühendislik Jeolojisi
- ! Jeomekanik (Kaya Mekaniği ve Zemin Mekaniği)
- ! Jeoteknik
- ! Jedinamik Süreçler (Deprem ve Kütle Hareketleri)
- ! Kent ve Çevre Jeolojisi
- ! Mühendislik Jeolojisi Haritaları
- ! Mühendislik Jeolojisinde Jeofizik Yöntemler
- ! Temel Araştırmaları ve Temel Tasarımında Mühendislik Jeolojisi
- ! Yüzey ve Yeraltısuları
- ! Su Tutma Yapıları
- ! Yeraltı Açıklıkları (Tünel, Galer, Kavern, Kuyu vb.)
- ! Yamaç ve Şev Stabilitesi
- ! Arazi Araştırmaları, Ölçme ve İzleme Teknikleri
- ! Maden Kaynaklarının Aranması ve İşletilmesi
- ! Malzeme Jeolojisi
- ! Doğal Yapı Taşları ve Endüstriyel Hammaddeler
- ! Mühendislik Jeolojisi Modellerinin Kurulması ve Test Edilmesi
- ! Tarihi ve Kültürel Yapı ve Anıtların Korunması ve Restorasyonu
- ! Mühendislik Jeolojisinde Güncel Konular
- ! Mühendislik Jeolojisi Eğitimi

NOT

Sempozyumun önemli tarihleri, ulaşım, konaklama ve diğer teknik ve sosyal aktiviteler 2. Duyuruda ilan edilecektir.

2019 Yılı Erguvanlı Ödüllerini kazananlar belirlendi

Erguvanlı MJÖ 2019 yılında tamamlanan; uluslararası makale, doktora tezi, yüksek lisans tezi ve bitirme ödevi/tasarım projesi kategorilerindeki başvurular, jüri üyelerinin görüşleri doğrultusunda Yönetim Kurulu'muzda değerlendirilmiş ve sahipleri belirlenmiştir.

2019 yılı erguvanlı ödülleri kazanan tez yayın özetleri

Bitirme tasarım projesi

Türkkonut mesire alanını (Dodurga Mahallesi- Çankaya) çevreleyen yamaçların duraylılığı



Jeol. Müh. Nuryıldız Şahiner,
Jeol. Müh. Elif Aksoy,
Jeol. Müh. Niyazi Mert Şener

*Danışman: Prof. Dr. Ergün Tuncay
Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği
Bölümü*

Dodurga Mahallesi'nde (Çankaya / Ankara) 1990'lı yılların sonu ve 2000'li yılların başlarında bir toplu konutun inşası sırasında temel kazılarında çıkartılan malzeme Çiğilinkırma Tepe ve yamaçlarına dökülerek, sonraki yıllarda bu alan "Türkkonut Mesire Alanı" adı altında yöre halkının kullanımına açılmıştır. Ancak, 2016 yılında tepenin güneydoğu yamacında büyük bir duraysızlık gerçekleşmiş ve bu harekettten mesire alanının bir kısmı ile aşağı düzlüklerdeki tarlalık alan bir miktar etkilenmiştir. Bu duraysızlığa ek olarak, geçmiş yıllarda dolgu malzemesi içinde birkaç küçük duraysızlığın geliştiği tespit edilmiştir. Çiğilinkırma Tepe'nin

kuzey, kuzeybatı ve batı yamaçlarına bitişik konumlarda sırasıyla piknik alanı, bir işyerine ait bina ve az katlı yapılardan oluşan ve oturumun yüksek düzeyde olduğu bir site bulunmaktadır. Bu nedenlerle, proje çalışmasında söz konusu tepenin yamaçlarındaki dolgu ve jeolojik birimlerin oluşturduğu doğal ve yapay şevlerin duraylılığının araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, öncelikle dolgu malzemesinin yayılımı ile çalışma alanının ve mevcut duraysızlıkların geometrisini belirlemek için drone uçurularak fotoğraflar çekilmiş ve uygun programlardan yararlanılarak çalışma alanının topoğrafik haritası oluşturulmuştur. Önceki çalışmalar referans alınarak çalışma alanında yüzeylendiği belirlenen Jura yaşlı kireçtaşları ve Pliyosen yaşlı Gölbaşı Formasyonu ile dolgu malzemesi arasındaki sınırlar arazi çalışması sırasında çizilmiştir. Ayrıca, kireçtaşlarının içerdiği birimlerde süreksizliklerin yönelimleri ölçülmüş, gölbaşı formasyonuna ait killi birimden ise örselenmiş ve örselenmemiş örnekler alınmıştır. Süreksizliklere ait yönelimler, kil örneklerde yapılan laboratuvar deney sonuçları, duraysızlıkların geriye dönük analizleri ve aynı sahada kireçtaşı kaya kütlesi ve süreksizliklerin makaslama dayanımının belirlendiği bir çalışmadan yararlanılarak, kireçtaşları, Gölbaşı Formasyonuna ait killer ve dolgu malzemesi için şev duraylılığında kullanılacak girdi parametreleri belirlenmiştir. Son aşamada, hem kireçtaşı hem de killer ve dolgu malzemesini içeren ve tepenin farklı yamaçları için hazırlanmış kesitlerde şev duraylılığı analizleri gerçekleştirilerek, güvenlik katsayıları belirlenmiştir. Yapılan bu değerlendirmelerden, güneydoğu yamaçta meydana gelen duraysızlığın taç kısmının arkasındaki alanda hem dol-

gu hem de kil birimler içinde nispeten büyük ikinci bir duraysızlığın gelişebileceği anlaşılmıştır. Ayrıca, dolgu malzemesi içinde basamak düzeyinde küçük duraysızlıkların beklenebileceği, gerek kireçtaşları gerekse gölbaşı formasyonunun yüzeylendiği diğer alanlarda ise, duraysızlık probleminin bulunmadığı tespit edilmiştir.

Yüksek Lisans Tezi

Coğrafi bilgi sistemleri ve çoklu karar verme tekniği kullanılarak erdemli (Mersin) kentsel yerleşim alanının sivilaşma potansiyelinin değerlendirilmesi



Jeol. Yük. Müh. Serdar Erdoğan

*Danışman:
Doç. Dr. Hidayet Tağa*

*Mersin Üniversitesi FBE Jeoloji
Mühendisliği Anabilim Dalı*

Bu çalışmada, Erdemli (Mersin) ilçesi kent yerleşiminin bulunduğu alan, olası bir deprem etkisi altında ilçe sınırları içerisinde kalan alüvyal zeminlerin sivilaşma potansiyeli araştırılmıştır. Bu amaçla, 325 noktada yapılan sondaj, 7 araştırma çukuru ve 4 el burgusu ile alınan ve alınmış örnekler incelenmiştir. Zeminlerin fiziksel özellikleri laboratuvarda araştırılmış veri haline dönüştürülmüştür. Daha sonra çalışma alanımızda homojen dağılımı esas alan 50 sondaj noktası belirlenmiş ve bu noktalarda yapılan Standart Penetrasyon Deneyi (SPTT) sonuçlarından yararlanılarak, zeminlerin sivilaşma potansiyelleri araştırılmıştır. Ayrıca sivilaşma potansiyeli için gerekli deprem etkisinin tasarımı iki senaryo tasarımı ile yapılmıştır. İlk senaryoya

göre 27 Haziran 1998'de Ceyhan (Adana)'da meydana gelen 6,3 büyüklüğündeki depremi oluşturan 120 km uzunluğunda Osmaniye-Karataş fayı incelemiştir. Buna göre bu bölgede araştırmacıların çalışmalarına göre büyüklüğü 7 olan deprem beklenmektedir. Büyüklüğü 7 deprem esas alınarak, Osmaniye-Karataş fayına Erdemli ilçe sınırına en yakın dik çizgi ile mesafe ölçülmüş ve 89 km uzaklıktaki bu fayın yaratacağı yer çekimi ivmesi Ulusay vd.'nin yaklaşım yöntemi olan azalım ilişkisi kullanılarak $a_{max}=0.07g$ olarak hesaplanmıştır. İkinci deprem tasarım senaryosunda ise Erdemli kent merkezine 25 km mesafede ve kuzey doğusundan uzanan Güzeloluk fayı üzerine hesaplama yapılmıştır. Ayrıca Erdemli ilçesine 25 km uzaklıkta Mezitli (Mersin) ilçesinde bulunan antik Soli kentinin yıkılması, gene 23 km uzaklıkta bulunan Krykos (Kızkalesi) antik kentinin depremlerle yıkılmış olması ve can kayıplarının yaşanmış olması, Mercali Şiddetinde VIII olan ve 6,2 magnitud büyüklüğüne sahip deprem etkisinde oluşacak yer çekimi ivmesi hesaplanmıştır. Buna göre Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığının (AFAD) Türkiye Deprem Haritaları İnteraktif web uygulamasından 475 yıl tekrarlanmalı, 50 yılda aşılma olasılığı seçilerek ilçede oluşturacağı yerçekimi ivmesi hesaplanarak $a_{max}=0.125g$ olarak bulunmuştur. İki deprem senaryosuna göre; 1,5 m, 3 m, 5 m, 7 m ve 9 metre'de SPT verilerine göre sivilaşma analizleri Prosivı sivilaşma yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır. Sivilaşma değerleri emniyet faktörü hesaplamasına göre EF'nin 1'den küçük olduğu yerlerde sivilaşma oluşur, 1-1,2 arasında ise sivilaşma riski vardır ve EF'nin 1,2'den büyük olduğu değerler için ise sivilaşma oluşmaz tanımı kullanılarak Coğrafi Bilgi Sistemlerinde (CBS) değerlendirilmiştir. Ayrıca sivilaşmaya etki eden faya uzaklık, zemin özellikleri ve yeraltı suyu durumu kriterleri ile AHP yönteminden yararlanarak sivilaşmaya karşı duyarlılığı analizleri yapılmıştır. Her bir kriterin önem ağırlıkları karşılıklı matris yöntemiyle hesaplanmıştır. Ağırlık değerleri sistemde CBS ile değerlendirilerek, sivilaşma duyarlılığı üç alternatif alan hesaplanmıştır.

Doktora tezi

Kapadokya Bölgesi'ndeki kayadan oyma yeraltı depolarının duraylılığının değerlendirilmesi



Dr. Selma Sülükçü

Danışman: Prof. Dr.
Reşat Ulusay Hacettepe
Üniversitesi FBE Jeoloji

Mühendisliği Anabilim Dalı

Kapadokya Bölgesi'nde ignimbritler içinde açılmış tarihi kayadan oyma yapılara benzer şekilde, özellikle patates ve limon depolanması amacıyla daha büyük hacimli ve düzenli şekilde yeraltı açıklıkları da oluşturulmaktadır. Ancak, bu depolara ilişkin yapılmış tek çalışma depoların çevre kayasındaki ısı transferi ve enerji kaybının değerlendirilmesine yöneliktir.

Günümüzde depolama hacminin artışıyla depolarda gelişen jeo-mühendislik sorunlarının belirlenmesi ve bu depoların duraylılığına etki eden faktörlerin araştırılması amacıyla yapılan bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlar esas alınarak duraylılıkları değerlendirilmiş ve bunların planlanması ve kazısıyla ilgili olarak dikkat edilmesi gereken hususlara ilişkin bir kılavuz önerilmiştir.

Bu amaçla; farklı türde ignimbiritlerde açılmış ve incelenmesine izin verilen depoların ayrıntılı envanteri hazırlanmış, bu depolardan amaca yönelik jeo- mühendislik verisi toplanmış ve bazı depolardaki duraysızlıklara ilişkin gözlemler yapılmış, seçilen depolarda sıcaklık ve nem değerleri uzun süreli olarak ölçülmüş, laboratuvar deneyleriyle ignimbiritlerin jeomekanik özellikleri laboratuvar deneyleriyle tayin edilmiş, yapılan kinematik ve

2- ve 3-boyutlu sayısal analizlerle depoların farklı koşullar altındaki duraylılık durumları araştırılmış ve son aşamada da depoların planlama ve kazı aşamalarında dikkat edilecek hususları içeren bir kılavuz önerilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar; Kızılka-ya ignimbiriti dışındaki diğer ignimbiritlerde açılmış depoların özellikle girişlerine yakın kesimlerinde atmosferik koşullara bağlı olarak parçalanma, dökülme ve kavraklanmanın gelişeceğine ve tabakalanma ve piroklastik döküntü çökellerinin tavanda yer alması halinde depo tavanlarında yenilme olacağına işaret etmiş olup, bu belirleme sınırlı sayıdaki depoda yapılan gözlemlerle uyum içindedir. K inematik analizlere göre; Cemilköy ignimbiritinde süresizlik denetimli bir duraysızlık sorunu beklenmezken, diğer ignimbiritlerde belirli doğrultularda yeni açılacak depolarda fayın da etkisiyle büyük kama bloklarının oluşabileceği belirlenmiş ve bu blokların depoları tehdit etmemesi amacıyla uygun olabilecek depo kazı yönleri önerilmiştir.

Sayısal analizler, giriş mesafesinin ve topuk genişliklerinin artmasıyla depoların duraylı kalması için gereken örtü kalınlığının da artacağını, depo genişliğinin artmasıyla ise azalacağını göstermiştir. Ayrıca bu analizlere göre; depo geometrisine bağlı olarak örtü kalınlığı arttıkça yeryüzünden depo tavanına doğru çekme gerilmeleri nedeniyle yüzeyde çatlakların oluşabileceği belirlenmiştir.

İncelenen her bir ignimbirit türü için farklı açıklık geometrilerine sahip şevsiz ve şevli modeller için yapılan 2-boyutlu analizler sonucunda depo kazısı kılavuzunda depolara ait geometrik özellikleri esas alan grafikler oluşturulmuştur.

Şevli, komşu konumlu ve simetrik depo modelleri için yapılan 3-boyutlu sayısal analizlere göre, depoya giriş duvarının ince olması durumunda örtü kalınlığı değişimlerine bağlı olarak bu duvarın ve özellikle kare topuklu depolarda deponun duraysız konuma geçeceği, örtü kalınlığının 4 m olması durumunda

depolar arasındaki duvarın üzerine gelen hatta yeryüzünde çatlakların gelişebileceği belirlenmiştir. 2- ve 3-boyutlu analizlere göre, depoların duraylılığı açısından daha fazla sayıda elemanda yenilmenin gözlemlendiği kare topuklar yerine şerit topuklu ya da localı sistemin tercih edilmesi ve özellikle topuklu sistemle açılması planlanan depolarda kazı öncesi 3-boyutlu analizlerin yapılmasının gerekliliği anlaşılmıştır.

Uluslararası makale

Modelling of the landslide-induced impulse waves in the Artvin Dam reservoir by empirical approach and 3D numerical simulation

Hakan Ersoy, Murat Karahan, Kenan Gelişli, Aykut Akgün, Tuğçe Anılan, M.Oğuz Sünnetci, Bilgehan Kul Yahşi

2019. Modelling of the landslide-induced impulse waves in the Artvin Dam reservoir by empirical approach and 3D numerical simulation, Engineering Geology 249 (2019) 112-128. (Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi)

Due to the burgeoning energy demand in Turkey, there has been a significant increase in the number of dams and hydroelectric power plants constructed; >250 dams have been built in the past 10 years.

Consequently, various engineering problems were encountered due to landslides near reservoirs, both during and after the construction. Generally, two-dimensional (2D) and three-dimensional (3D) empirical equations have been used to calculate the physical properties and propagation of the lan-

dslide-induced impulse waves; however, 3D numerical simulation-based methodologies are rarely used, although they can model the complex geometry of dam reservoirs better, using detailed topographic data.

In this study, therefore, 3D numerical analysis is carried out for a potential generation of impulse waves, using the data of paleo-landslide at the Artvin Dam reservoir (NE Turkey), and the results are compared with the calculated results by empirical equations.

A finite element method-based shear strength reduction analysis (FEM-SSR) was performed to analyse the slope stability. After the establishment of the correct propagation model, the equations were utilised with different input parameters and 3D numerical analysis-based simulations to evaluate the characteristics of the impulse waves. In the numerical model created using the FLOW-3D software, the 'drift-flux model' was used to simulate the probable landslides.

The Reynolds-averaged Navier-Stokes equations were used in a free-surface modelling technique together with the volume of fluid (VOF) model for simulating the wave generation. The renormalised group model (RNG) for viscous flow and k-ε turbulence model for fluid-fluid coupled condition, were used as the

boundary conditions. The results indicated that the values obtained from the proposed empirical equations and 3D numerical analysis were not similar. Thus, if the reservoir geometry is very complex and the wave propagation distance is more than a few kilometers (as in this study), highly detailed engineering geological studies should be performed to accurately define the boundary conditions, and three-dimensional numerical analyses should be performed to construct the impulse wave model.

Uluslararası yayın organımız: BOEG

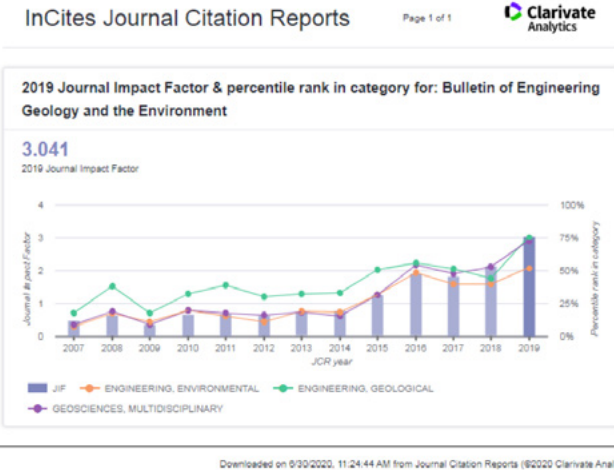
IAEG'nin bilimsel yayın organı olan ve Springer yayınevi tarafından basılan "Bulletin of Engineering Geology & the Environment - BOEG" dergisinin etki faktörü (Impact Factor) 2018 yılında 2.138' den 2019 yılında 0.903 (%42) artarak 3.041'e yükselmiştir. Aşağıdaki grafikte BOEG dergisinin 2007 yılından 2019 yılına kadar etki katsayısındaki değişimleri verilmiştir. Buradan 2018 yılından 2019 yılına olan sıçrama açık olarak görülmektedir. Bu yükseliş ile BOEG, pek çok yüksek performanslı dergi arasından 10. sırada yer almıştır (Çizelge x).

IAEG'nin bilimsel yayın organı "Bulletin of Engineering Geology & the Environment" in bu başarı sıralamasında, emeği geçen IAEG yönetim ve Editörler Kurulu başkan ve üyelerine, tabii ki bilimsel araştırmaları, bulguları ve özgün yayınları ile katkı sağlayan yazarları gönülden kutluyoruz.

Full Journal Title	Total Cite	Journal Impact Factor
1 ENGINEERING GEOLOGY	17,188	4.779
2 Landslides	5,665	4.708
3 Acta Geotechnica	2,490	4.35
4 INTERNATIONAL JOURNAL OF ROCK MECHANICS AND MINING	22,437	4.151
5 ROCK MECHANICS AND ROCK ENGINEERING	10,454	4.14
6 GEOTECHNIQUE	13,984	3.83
7 COMPUTERS AND GEOTECHNICS	9,308	3.818
8 EARTHQUAKE ENGINEERING & STRUCTURAL DYNAMICS	11,480	3.414
9 GEOTEXTILES AND GEOMEMBRANES	3,885	3.4
10 Bulletin of Engineering Geology and the Environment	4,115	3.041
11 Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering	2,323	2.829
12 INTERNATIONAL JOURNAL FOR NUMERICAL AND ANALYTICAL	6,091	2.814
13 CANADIAN GEOTECHNICAL JOURNAL	12,401	2.802
14 GEOSYNTHETICS INTERNATIONAL	1,441	2.802
15 JOURNAL OF EARTHQUAKE ENGINEERING	2,767	2.779
16 JOURNAL OF GEOTECHNICAL AND GEOENVIRONMENTAL ENG	13,278	2.714
17 SOIL DYNAMICS AND EARTHQUAKE ENGINEERING	9,338	2.637
18 Bulletin of Earthquake Engineering	4,250	2.602
19 International Journal of Geomechanics	4,441	2.589
20 Geomechanics and Engineering	1,623	2.485
21 Transportation Geotechnics	570	2.438
22 Ingegneria Sismica	259	2.414
23 Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resource	295	2.224
24 Geomechanics for Energy and the Environment	197	2.077
25 EARTHQUAKE SPECTRA	5,695	1.93
26 Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology	1,619	1.897
27 European Journal of Environmental and Civil Engineering	1,287	1.832
28 SOILS AND FOUNDATIONS	5,845	1.756
29 MARINE GEORESOURCES & GEOTECHNOLOGY	1,018	1.716
30 Earthquakes and Structures	1,196	1.714
31 Earthquake Engineering and Engineering Vibration	1,510	1.642
32 Environmental Geotechnics	376	1.621
33 Geotechnique Letters	692	1.524
34 International Journal of Physical Modelling in Geotechnics	330	1.333
35 GEOTECHNICAL TESTING JOURNAL	2,650	1.289
36 PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS-GE	899	1
37 ENVIRONMENTAL & ENGINEERING GEOSCIENCE	559	0.755
38 Soil Mechanics and Foundation Engineering	344	0.5
39 Acta Geotechnica Slovenica	81	0.464

Bu başarı sürecinde özellikle Türk araştırmacıların ve meslektaşlarımızın katkılarının büyük olduğunu yakından biliyor, kendilerini takdirlerimizle gönülden kutluyoruz.

Önümüzdeki yıllarda da "Bulletin of Engineering Geology & the Environment" dergisine daha fazla özgün makale göndererek vereceğiniz destekler için teşekkür eder, sağlıklı günler dileriz.



Prof. Dr. Mahir Vardar'ı kaybettik

İTÜ'de kökleşen Mühendislik Jeolojisi ve Kaya Mekaniği (İTÜ-MJKM) öğretisi için büyük emek veren, dünyada ve ülkemizde başta yeraltı kaya yapıları olmak üzere sayısız mühendislik uygulamasının her aşamasında yer koşulları ve davranışlarını temel alan özel tasarım, yöntem ve işlemler geliştiren, Değerli Hocamız Prof. Dr. Mahir VARDAR'ı 03.05.2020 tarihinde kaybettik. Merhum Hocamıza Allah'tan rahmet, Kederli Ailesine sabırlar ve tüm sevenlerine başsağlığı dileriz.

Prof. Dr. Mahir Vardar 1947 Bursa doğumludur. 1966 yılında İstanbul Erkek Lisesinden, aynı yıl girdiği İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi'nden 1971 yılında Maden Yüksek Mühendisi olarak mezun oldu. Adı gibi mahir hocamız, 1971-73 yılları arasında Almanya-Karlsruhe Teknik Üniversitesi (TU Karlsruhe) İnşaat Fakültesi-(Zemin Mekaniği, Kaya Mekaniği ve Temel İnşaatı Enstitüsü'de Prof. Dr. G. Gudehus ile Zemin Mekaniği alanında araştırmalarda bulundu.

Aynı üniversitede, modern kaya mekaniğinin kurucusu Prof. Leopold Müller danışmanlığında "Tünel ve Metro Mühendisliği" alanındaki doktora tezini tamamladı ve Doktor Mühendis (Dr. Ing.) unvanını aldı. Almanya'da bulunduğu 1971-1977 yılları arasında "Araştırma Görevlisi/DFG-SFB 77 Proje Yürütücüsü" olarak çalıştı.

1977 yılında Türkiye'ye dönen Vardar, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Jeolojisi ve Kaya Mekaniği Kürsüsü'nde (MJKM, Mühendislik Jeolojisinin ülkemizdeki öncüsü Prof. Dr. K. Erguvanlı ve Prof. Dr. E. Yüzer) Dr. Asistan olarak göreve başladı. 1982 yılında "Baraj Mühendisliği" alanında "Mühendislik Jeolojisi ve Jeomekanik" çalışmaları ile doçentlik, 1988

yılında "Kentiçi Yeraltı Kaya Yapıları, Metro ve Tüneli" alanındaki araştırmaları ile profesörlük unvanlarını aldı.



Türkçe ve yabancı dilde yayınlanmış çok sayıda makale, bildiri ve sunumu bulunan Prof. Dr. Mahir Vardar, mühendislik jeolojisi, kaya mekaniği ve tünelcilik vb. kaya yapılarında ülkemizdeki önemli mühendislik projelerinin yanı sıra, uluslararası pek çok araştırma ve uygulama projelerine, araştırmacı, yönetici ve koordinatör olarak katkı sağlamıştır. Eğitim-Öğretime ve topluma verdiği sayısız katkılarla örnek bir bilim insanı olarak tanınan Prof. Vardar, akademik hayatı boyunca; TÜBİTAK MAG Yönetim Kurulu Üyesi, İTÜ Kültür ve Sanat Birliği Başkanlığı, İTÜ Maden Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölüm Başkanlığı, Maden Fakültesi Dekan Yardımcılığı, Maden Fakültesi Dekanlığı (iki dönem) ve İTÜ Maden Fakültesi Depremsellik, Yerleşime Uygunluk ve Temel Jeolojisi Araştırma Projeleri Genel Yürütücülüğü gibi önemli akademik ve yönetsel görevlerde bulundu.

Sanatın her alanına ilgi duyan, derin felsefi görüşü ve bilimsel birikimi ile öğrencileri arasında duayen hoca lakabıyla bilinen ve saygı gören, Prof. Dr. Mahir Vardar, Kaya Mekaniği, Jeomekanik, Mühendislik Jeolojisi, Kaya Yapıları Mekaniği gibi konularda, İTÜ'nün dışındaki diğer üniversitelerde de, farklı lisans ve yüksek lisans programlarında dersler vermiş, onbinlerce öğrenci yetiştirmiştir.

Sevgili hocamız,engin bilgi birikimi ve deneyimleri, ortaya koyduğu eserleri, öğretileri, yaratıcılığı, çalışkanlığı ve örnek kişiliği ile anılacaktır.

İTÜ MJKM Grubu

Yusufeli Barajı 205 metreye ulaştı

Artvin'in Yusufeli ilçesinde Çoruh Nehri üzerinde Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü tarafından inşa edilen Yusufeli Barajı ve Hidroelektrik Santrali Projesi'nde baraj gövde betonu dökülmesi çalışmalarının hız kesmeden devam ediyor. Tamamlandığında ülkemizin en yüksek barajı unvanını alacak Yusufeli Barajı'nda gövde inşaatında 205 metre yüksekliğe ulaşıldı. Dökülen gövde beton miktarı ise 2 Milyon 985 bin metreküpü geçti. Tamamlandığında Yusufeli Barajı ve Hidroelektrik Santral Projesi'nin kurulu gücü 558 megavat ve yıllık enerji üretimi 1 milyar 888 milyon kilovatsaat olacak. Projenin santral binası ve enerji yapılarında betonlama çalışmaları planladığı şekilde devam ederken, enerji santralinin elektro mekanik parçalarının montajları da inşaat faaliyetlerine bağlı olarak yürütülüyor.

Yusufeli Barajı, 275 metre gövde yüksekliğiyle 100 katlı bir gökdelen yüksekliğine ulaşacak. Baraj gövdesinde kullanılacak 4 milyon metreküp beton, Artvin'den Edirne'ye 13 metre platform genişliğinde beton yol yapılmasına yetecek miktardadır. Projeyle üretilen enerji sayesinde yaklaşık 600 bin kişinin enerji ihtiyacı karşılanabilecek.



Çetin Barajı'nda enerji üretimi başladı

Çetin Barajı, Siirt'in Şirvan ve Pervari ilçeleri sınırları içerisinde bulunan Çetin Barajı ve Hidroelektrik Santrali'nin temelden 165 metre yükseklikte inşa edilmiştir. Baraj, silindirik sıkıştırılmış beton tipine göre Türkiye ve Avrupa'nın en büyük barajı olup barajın maksimum işletme kotunda 615 milyon metreküp su depolanacak, 37 kilometre uzunluğunda ve 12 kilometre genişliğinde bir gölalanı oluşacaktır. Baraj üç büyük ve bir küçük olmak üzere 4 türbin ile toplamda 420 megavat kurulu güce sahiptir. Baraj ile yılda 1 milyar 175 milyon kilovatsaat enerji üretilecek ve milli ekonomiye yılda yaklaşık 500 milyon lira katkı sağlanacaktır.



Ilısu Barajı'nda elektrik üretimine başlandı

Güneydoğu Anadolu Projesi'nin (GAP) en önemli tesislerinden biri olan Ilısu Barajı ve HES'in planlama çalışmaları 1950'li yıllara kadar uzanmaktadır. DSİ Genel Müdürlüğü'nün kurulduğu 1954 yılından bu yana Dicle Nehri sularından yararlanmak adına çalışmalar yapılmış, "Ilısu Barajı" ismi ilk olarak 1980 yılında gündeme gelmiştir. Ilısu Barajı ve HES Projesi Kesin Proje Raporu Temmuz 1982 yılında hazırlanmıştır. Ülkemizin 70 yıllık hayali olan Ilısu Barajı'nın temeli 2008 yılında atılmış ve inşaat çalışmaları başlamıştır. Ilısu Barajı ve HES, temelden 135 metre yüksekliğe, 24 milyon metreküp dolgu hacmine ve 1820 metre kret uzunluğuna sahip önyüzü beton kaplı kaya dolgu tipindedir. 10,6 Milyar m³ depolama hacmi ile Atatürk ve Keban barajlarından sonra Türkiye'nin 3. büyük depolama hacmine sahip barajı olacaktır. Ilısu Barajı, 2018 yılında su tutma aşamasına getirilmiş, ancak baraj göl sahasında kalan tarihi ve kültürel varlıkların korunup kurtarılmasına yönelik çalışmalar devam ettiğinden su tutulmamış, bu işlem 19.07.2019 tarihinde başlatılmıştır. Ilısu Barajı ve Hidroelektrik Santrali'nde 19 Mayıs 2020 Salı günü ilk türbinde enerji üretimine başlanmıştır. Atatürk, Karakaya ve Keban Barajlarından sonra ülkenin en büyük 4. barajı, dolgu hacmi bakımından ise 2. büyük barajı niteliğini taşıyan Ilısu Barajı, Önyüzü Beton Kaplı Kaya Dolgu Baraj tipinde dolgu hacmi ve gövde uzunluğu bakımından Dünyada 1. sırada yer almaktadır.

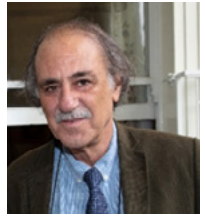


Yatağan Gırme Barajı'nda çalışmalar hızla devam ediyor

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Muğla ili ne yaptığı yatırımlarla ilimizin verimli topraklarını su ile buluşturmaya, vatandaşlarımıza içme ve kullanma suyu temin etmeye ve derelerdeki taşkın riskini azaltmaya devam ediyor. Muğla ili ve ilçelerinde son dönemde yapılan su yapılarının artması bölgedeki tarımsal faaliyetlerin gelişmesinde de önemli rol oynamaktadır. Bu kapsamda ülkemizin bereketli topraklarından Muğla ilimizde Yatağan Gırme Barajı inşaatında çalışmalarımız aralıksız sürdürülüyor. Yatağan Gırme Barajının tamamlanmasıyla 21 bin 510 dekar tarım arazisinin sulanması sağlanacaktır. Temelden 71.50 metre yüksekliğe sahip Yatağan Gırme Barajı 12.75 milyon m³ su biriktirme hacmine sahip. Barajın tamamlanması ile bölgede yapılacak sulu tarım ile birlikte hem tarlalardaki verim artacak, hem de yörede ürün çeşitliliği sağlanacaktır. Bununla birlikte projenin tamamlanması ile bölgede istihdama katkı sağlanması ve yaklaşık 700 kişiye istihdam alanı sağlanması hedeflenmektedir. İş kapsamında ulaşım yolları, dolusavak, derivasyon tüneli, ve batardolu imalatları tamamlanmış olup membran kaplama ve gövde dolgu imalat çalışmaları devam etmektedir.



Kaya mühendisliğinde standartlaşmanın ve standart yöntemlerin kullanılmasının önemi ve uygulamaya yönelik bazı hususlar



Prof. Dr. Reşat Ulusay

*Uluslararası Kaya Mekaniği ve Kaya Mühendisliği Birliği-ISRM Başkanı
Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Müh. Böl., 06800 Beytepe, Ankara*

1. Giriş

Medeniyetin doğuşundan bu yana kayalar yapı malzemesi olarak kullanıla gelmiş, ayrıca bunların üzerinde ve içinde farklı yapılar inşa edilmiştir. Dünya'nın farklı yerlerinde değişik medeniyetlerden kalma ve kaya içinde inşa edilmiş tarihi yapılar ve/veya bunların kalıntıları mevcuttur. İnsanoğlu geçmişte yeraltı kaya yapıları da inşa etmiş olup, ülkemizde Kapadokya'daki (MÖ2000-MS500) yeraltı ve yarı yeraltı şehirleri, Mısır Thebes'teki firavun mezarları (MÖ3000-2300), Hindistan'daki Ajanta ve Ellora mağaraları, Batı Türkistan'da kırmızı kumtaşları içinde inşa edilmiş Kızıl Mağara ve Bezelik Mağarası (MÖ420-589) ve İran'daki Kandovan yeraltı evleri bu tür yapıların tipik örnekleridir.

Günümüzden binlerce yıl önce Dünya'nın farklı bölgelerinde kaya içinde inşa edilmiş olan devasa yapıların varlığı bilinmektedir. Bu yapılardan bir kısmının büyük ölçüde duraylılıklarını korumuş olmaları dikkate alındığında, katılar ile akışkanları ve bunlarla ilgili deney ve izleme tekniklerini yönlendiren mekanik kuramlara kimlerin öncülük yaptığı tartışmaya açıktır. Bununla birlikte, Neolitik dönemde sert ve yumuşak ahşap malzemeler ile kayanın (taşın) nicel sınıflamasının bilinmediği

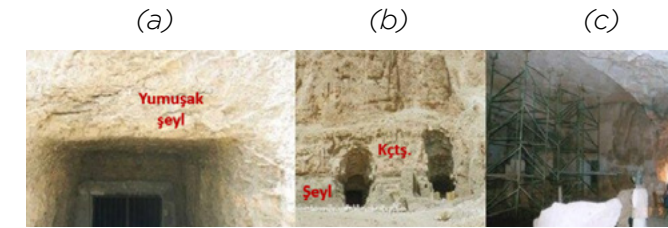
düşünülmemelidir. Çok eski medeniyetlerin, muhtemelen sadece deneyime ve/veya gözleme dayalı da olsa, malzeme dayanımı hakkında bir fikre sahip oldukları düşünülebilir. Mısır'ın Luxor bölgesinde inşa edilmiş firavun mezarları kayaların kısa ve uzun dönemdeki karakteristiklerinin anlaşılmasıyla ilgili gelişmeler konusunda (Hamada vd., 2004; Aydan ve Geniş 2004) çarpıcı bir örnek olabilir. Bu bölgede mezarların inşasına ilk kez başlanıldığında; mevcut kazı gereçleri de dikkate alınarak, mezarların öncelikle yumuşak şeyl birimi içinde kazılması öngörülmüş, ancak şeylin kolayca bozunmaya maruz kalması nedeniyle (Şekil 1a) mezar açıklıklarının tavan kesimlerinde bazı duraysızlıklarla karşılaşmıştır. Bu nedenle daha sonra açıklıkların tavanı kireçtaşında, yan duvarları ise şeyl içinde kalacak şekilde kazıda değişikliğe gidilmiştir (Şekil 1b). Bununla birlikte, şeylin hemen üstündeki kireçtaşı seviyesinin sık eklemeli bir karakter sergilemesi nedeniyle geniş açıklıkların tavanında duraysızlık sorunlarıyla karşılaşmış olması söz konusudur (Şekil 1c). Bu mezarlarda yapılan incelemelerde (Hamada vd. 2004; Aydan ve Geniş 2004); o dönemlerde kazı tekniklerindeki gelişmeler ve kaya karakteristiklerinin daha iyi anlaşılmasıyla birlikte yeraltı mezarlarının inşası için zamanla yumuşak kireçtaşının tercih edildiğine, boşlukların yönelimlerinin ve bırakılan topukların sayı ve boyutlarının bazı hesaplamalara göre belirlenmiş olabileceğine işaret edilmektedir.

En yalın tanımıyla "Kaya mekaniği", temel mekanik biliminin kayalara uygulanmasıdır. Mekaniğin önceden gerilmeye maruz kalmış ve doğal şekilde oluşmuş malzemelere büyük ölçekte uygulanması, kaya mekaniğini ve kaya mühendisliğini diğer mühendislik disiplinlerinden ayıran başlıca faktördür. İlk deneysel kaya mekaniği çalışmaları, Paris'teki Saint Genevieve Kilisesi'nin kolonlarının tasarımı için bir kaldırma sistemini içeren deney düzeneğini kullanarak küp şeklinde hazırlanmış örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımlarını belirlemeye yönelik deneylerin (Şekil 2a) Gaulthey tarafından 1770'te yapıldığı bilinmektedir. Gaulthey bu çalışmada, boyu daha uzun örneklerin daha düşük dayanıma sahip olduklarını rapor etmiştir (Hudson vd., 1972). Bunu izleyen dönemlerde malzemelerin ve kayaçların dayanım ve deformabilite özelliklerinin tayin edilmesi amacıyla bir örneği Şekil 2b'de verilen bazı deney aletleri geliştirilmiş olup, bu süreç günümüzde de devam etmektedir. Tarihsel olarak bakıldığında, çağdaş kaya mekaniği konusu kaya fiziği esaslı olarak 1950'lerde başlamış olup, 1960'larda giderek gelişme kaydetmiştir. Kaya mekaniği yeni bir disiplin olarak, başta Profesör Leopold Müller'in çabaları olmak üzere, 1962'de Avusturya'nın Salzburg kentinde doğmuş ve bu amaçla kurulan ve

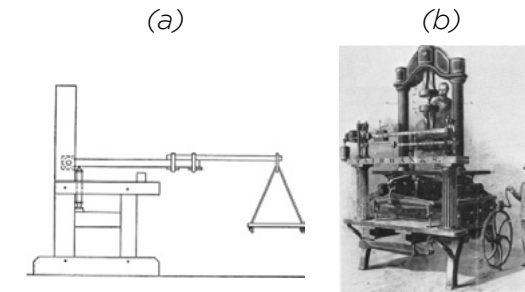
2017'ye değin adı Uluslararası Kaya Mekaniği Birliği (ISRM) olan birliğin ilk resmi kongresi 1966'da düzenlenmiştir.

"Kaya mekaniği", kaya kütlelerini oluşturan kaya malzemesinin ve doğal süreksizliklerin karakterizasyonu ile mekanik özelliklerinin ve davranışlarının belirlenmesi konularını kapsar. Ayrıca kayanın dayanım ve davranışı üzerindeki çevresel ve malzeme faktörlerini de gözeterek, zamanın etkilerini de inceler. "Kaya mühendisliği" ise, örneğin kayanın ne kadarlık bir yükü taşıyabileceği veya kayada güçlendirmenin gerekli olup olmadığı gibi mühendislik durumlarıyla ilgilenir. Diğer bir ifadeyle kaya mühendisliği; kayaları konu alan mühendislik çalışmalarını içermekte olup, kaya mekaniğinin, örneğin baraj inşası, şev kazıları, tüneller, çok büyük yeraltı açıklıkları, hidroelektrik santralleri, maden işletmeleri, yapı temelleri, yer altında depolama gibi başlıca inşaat, maden ve petrol mühendisliği uygulamalarında kullanımıdır. Kaya mühendisliğinin günümüzdeki başlıca uygulama alanları Çizelge 1'de verilmiştir.

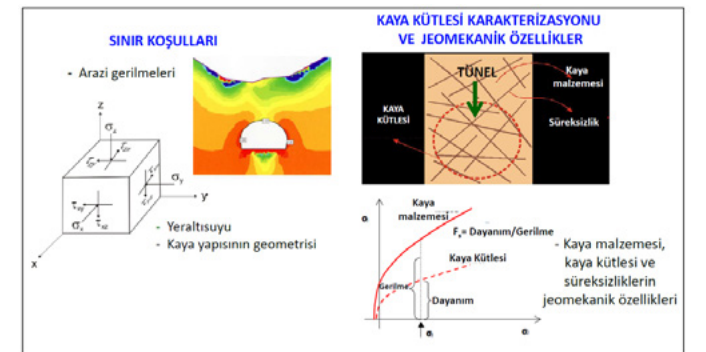
Kaya mühendisliğinde geliştirilen modeller; her projeye özgü; arazi gerilmeleri, yeraltısuyu durumu ve kaya mühendisliği yapısının boyutları vb. sınır koşulları ile kaya malzemesinin, süreksizliklerin ve kaya kütlelerinin jeomekanik özelliklerine (parametrelerine) önemli düzeyde bağlıdır (Şekil 3). Kaya yapılarıyla ilgili riskler ve maliyetler ile yapı performansı ve güvenliği, kaya malzemelerinin ve kütlelerinin ve süreksizliklerin jeomekanik özelliklerinin ve davranışlarının gerçekçi bir şekilde belirlenmesiyle yakından ilişkilidir. Bu amaçla yapılacak deneylerden elde edilecek sonuçların doğru şekilde değerlendirilmesi laboratuvar deneylerinin sayısına ve özellikle kalitesine



Şekil 1. Eski Mısır'da (a) Yumuşak şeyl seviyesi içerisinde yapılan kazı, (b) Tavan kireçtaşı, yan duvarları şeylden oluşan kazı boşluğu, (c) kireçtaşı içerisinde yapılan kazı (Hamada vd., 2004; Aydan ve Geniş, 2004).



Şekil 2. Bazı eski kaya mekaniği deney aleti örnekleri: (a) Gaulthey'in makinesi (Tim n), (b) 1880'lerde kullanılan deney aleti (yükleme presi) (Abbott 1884'ten).



Şekil 3. Kaya mühendisliği modellerinde başlıca girdi parametreleri

Çizelge 1. Kaya mühendisliğinin başlıca uygulama alanları (Ulusay ve Gerçek, 2016).

Müh.	Yeraltı	Yerüstü
Madencilik	- Uzun süreli (galeriler, kuyular vd.) ve kısa süreli (taban yolu vd.) servis açıklıklarının tasarımı ve desteklenmesi - Üretim kazılarının (örneğin; uzun ayaklar, ara katlar, oda-topuk panelleri vd.) tasarımı ve desteklenmesi - Oda-topuk işlemleri için topukların, uzun ayak panellerinin, kuyuların vd.'nin tasarımı - Yeraltı madenciliğinden kaynaklanan yüzey etkileri (örneğin; sübsidans/çökme) - Kaya veya kömür patlamaları, akustik emisyon	- Açık işletme planlaması ve tasarımı - Kaya şevlerinin duraylılığı - Basamak tasarımı - Yol tasarımı
	Cevher zenginleştirmesi için kayaçların kırılması (örneğin, kırma ve öğütme) Delme, patlatma, çatlatma, kesme, kazma, ripperleme vd.	
İnşaat	Aşağıdaki amaçlarla tünel tasarımı ve desteklenmesi - Ulaşım (karayolu, demiryolu, alt geçit, su altı geçişi) - Nakil (su, drenaj, atık su sistemi) - Altyapı (su, elektrik, kablo, gaz) - Enerji tesisleri (giriş, su alma, basınç, türbin çıkış kanalı vd.)	Aşağıdakiler için kaya şevlerinin duraylılığı (doğal veya insan yapısı): - Otoyollar veya demiryolları - Kanallar - vd.
	Büyük yeraltı boşluklarının tasarımı ve desteklenmesi - Enerji ve araştırma - Hidroelektrik santralleri - Nükleer enerji santralleri - Araştırma açıklıkları (örneğin, CERN) - Depolama - Petrol, su, doğal gaz, basınçlı hava - Atıklar (kimyasal, nükleer) - Diğerleri (tahıl, gıda, vd.) - Toplum - Konutlar, tren veya yeraltı istasyonları, araç parkları - Alışveriş merkezleri, kültürel ve spor tesisleri - Ofisler, fabrikalar - Savunma - Halk (sığınak, depolama) - Askeri (silahlar, cephane, araçlar, uçaklar) - Nükleer (ICBM siloları, savunma yönetim merkezleri)	Aşağıdakiler için kaya temelleri: - Binalar, - Barajlar, - Köprüler, - vd.
Petrol ve Doğal Gaz	- Rezervuar ve örtü kayaçlarının mekanik özellikleri ve davranışları - Sondaj kuyularının tasarımı - Desteksiz petrol kuyularının tasarımı ve duraylılığı, - Hidrolik çatlatma	

bağlıdır. Bu nedenle söz konusu mühendislik özelliklerinin doğru şekilde belirlenmesi ve değerlendirilmesi, uygulayıcının deneyimi ve karar verme desteğiyle birlikte

laboratuvarda ve arazide belirli esaslara göre geliştirilmiş deneylerin yapılmasını gerektirir. Ayrıca, kaya malzemesinden ve süreksizliklerden oluşan kaya kütlelerinin

doğru bir şekilde karakterize edilmeleri de gerek ortamın davranışının belirlenmesinde, gerekse mühendislik yapısının tasarımında ayrı bir öneme sahiptir. Bunun gerçekleştirilmesi için kaya karakterizasyonu tekniklerinin kullanılarak veri toplanması, günümüzde çağdaş kaya mekaniğinin ve mühendisliğinin vaz geçilmez bileşenidir. Ayrıca, kaya mühendisliğinde yapıların ve ilgili destek sistemlerinin uygulama aşamasındaki performansları ile, yeraltısuu vb. sınır koşullarına ilişkin değişimlerin izlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu bakımdan, önerilen tasarımların gerçekliği, karşılaşılabilecek olası duraysızlıkların önceden tahmini, kontrolü ve uygulamada zamanında değişikliğe gidilmesi açısından “izleme teknikleri” de kaya mühendisliğinin ayrılmaz önemli bir parçası olmuştur. Bu alanda artan çalışmalara ve hızla gelişen teknolojiye koşut olarak, çok sayıda laboratuvar deneyi ve arazi karakterizasyonu yöntemleri geliştirilmiştir. Ayrıca, küçük boyutlu örneklerden elde edilen laboratuvar deney sonuçlarının kaya mühendisliğinde problemlerin çözümüne yönelik tasarımda yetersiz kalacağına fark edilmesiyle birlikte, dik katlar arazi deneylerinin ve izleme tekniklerinin geliştirilmesi yönünde giderek yoğunlaşmıştır.

Bu yazıda, sırasıyla “deney

yöntemi”, “standart” ve “önerilmiş yöntem” gibi ana kavramlar üzerinde durulmuştur. Ayrıca, kaya mekaniği deney yöntemleri, kaya karakterizasyonu ve izleme teknikleri açısından standardizasyonunun önemi, avantajları ve gereği vurgulanmıştır. İzleyen bölümde ilgili bazı uluslararası standartlara ve ISRM (Uluslararası Kaya Mekaniği ve Kaya Mühendisliği Birliği) tarafından önerilmiş yöntemlere değinilmiş ve bunların geliştirilmesinde esas alınan yaklaşımlar kısaca verilmiştir. Son bölümde ise, “ISRM Tarafından Önerilmiş Yöntemler ve pratiğe yönelik bazı hususlar üzerinde durulmuştur.

2. Deney yöntemi, standard ve önerilmiş yöntem

“Deney yöntemi”; en genel tanımıyla, bir malzemenin tek veya daha fazla sayıda niteliğinin, karakteristiğinin veya özelliğinin belirlenmesi veya ölçülmesi amacıyla geliştirilmiş yazılı dokümandır. Kaya malzemelerinin belirli fiziksel ve mekanik özelliklerinin tayini amacıyla çok sayıda deney yöntemi geliştirilmiştir. Bununla birlikte, bu yöntemlerden sadece bazıları yaygın kullanım alanı bulmuşlardır. Örneğin, kaya malzemesinin çekme dayanımı için birden fazla yöntem önerilmişse de, bunlar arasında sadece biri (Brazilian çekme dayanımı deneyi; ISRM 1981, 2007; ASTM 2008) kaya mühendisliğinde en yaygın şekilde kullanılan çekme deney yöntemi olmuşken, “doğrudan çekme deneyi” bazı güçlükler nedeniyle yeterince popüler olamamış ve pratikte yaygın kullanılmamıştır.

Ayrıca aynı kaya malzemesi üzerinde aynı kişi tarafından aynı laboratuvarda ve aynı cihaz veya farklı kişiler tarafından farklı laboratuvarlarda benzer tasarıma sahip cihazlar kullanılarak aynı deney yönteminin tekrarlanması her zaman karşılaştırılabilir sonuçların elde edilmesini sağlayamayabilir. Bu açıdan, herhangi bir deney yöntemi için “yinelenebilirlik-repeatability” ve “yeniden yapılabilirlik-reproducibility” kavramları deney sonuçlarının hassasiyeti açısından önem

taşımaktadır. Her iki kavram da, özellikle kimya ve mühendislik alanlarında ölçüm hassasiyetini ifade ederler. Deneysel anlamda yinelenebilirlik; aynı kişi tarafından, eşdeğer koşullar altında, aynı yöntem ve aynı deney aleti kullanılarak özdeş örnekler üzerinde çok sayıda deney yapıldığında tayin edilen hassasiyet, ya da kısa zaman aralıklarında ardarda yapılan deneylerden elde edilen sonuçların gösterdiği uyumluluğun derecesidir. Örneğin; herhangi bir özellik A yöntemi 20 kez kullanılarak ölçülmüş ve daha sonra bu ölçümler B-yöntemi kullanarak da tekrarlanmış olsun. Söz konusu özelliğe (örneğin, tek eksenli sıkışma dayanımı) her iki yöntem ile alınmış ölçümlerin yoğunluk fonksiyonlarının gösterildiği **Şekil 4a**'dan A-yöntemi ile alınan ölçümlerin daha az değişim gösterdiği, dolayısıyla A-yönteminin kullanılmasıyla B-yöntemine göre daha fazla yinelenebilir ölçümlerin alındığı anlaşılmaktadır.

Diğer yandan yeniden yapılabilirlik; farklı kişilerin farklı gereçler kullanarak özdeş örnekler üzerinde aynı yöntemlerle, ancak farklı laboratuvarlarda deney yapılması halinde elde edilen sonuçlar arasındaki uygunluk olup, deney sırasında deneyin yapılış şekliyle ilgili farklılıkların neden olduğu ölçüm sistemindeki değişkenlik olarak da düşünülebilir. Bu kavramla ilgili bir örnek olarak, 3 ayrı laboratuvarda (1, 2 ve 3) bir özellik aynı ölçüm gereci kullanılarak, ancak 2 farklı yöntem izlenerek 20'şer kez ölçülmüş olsun. Bu ölçümlerin yeniden yapılabilirliğinin gösterildiği **Şekil 4b**'den görüleceği üzere, 1 ve 2 no.lu laboratuvarlarda alınan ortalama ölçümlerin değişimi arasındaki fark 1 ve 3 no.lu ölçümlerdekine göre çok düşük, diğer bir ifadeyle 3 no.lu laboratuvarda yapılan deneyler için yeniden yapılabilirlik oldukça düşüktür. Bu nedenle standard ve önerilmiş yöntem kategorisinde yer alan yöntemler geliştirilirken bunların yinelenebilirlik ve yeniden yapılabilirlik gibi iki kavrama uygun şekilde olmalarına dikkat edilir. Dolayısıyla değinilen bu hususlar kaya mekaniği deneylerinde, kaya karakterizasyonunda ve izleme çalışmalarında standartların veya önerilmiş yöntemlerin kullanılmasını gerekli kılmaktadır.

“Standart”, bir topluluk veya birlik tarafından belirli ilkeler konusunda oybirliğiyle mutabık kalınarak geliştirilmiş ve o topluluğun veya birliğin yönetmeliklerine göre uygun şekilde onaylanmış doküman olup, farklı türde ve çok sayıda standart söz konusudur.

Esas olarak standartlar; ürünler, sistemler, süreçler veya hizmetlerle ilgili gereksinimleri ve/veya önerileri içerirler ve bir alandaki uzmanlar tarafından yapılan ortak çalışmalarla hazırlanarak görüş birliğiyle geliştirilirler. Standartlar bilgidir ve yenilikçiliği ve üretkenliği arttırmaya yardımcı olabilecek güçlü araçlar olup, kurum ve kuruluşları daha başarılı ve insanların günlük yaşamlarını daha kolay, daha güvenli ve daha sağlıklı hale getirebilirler. Standartlar gönüllü olarak kullanılırlar, dolayısıyla bunların uygulanmaları konusunda yasal bir zorunluluk yokmuş gibi algılsa da, kanunlar ve yönetmeliklerde standartların kullanılması koşulu yer alabilir. Standartlar sadece, hükümetlerin bunlara yönetmeliklerde atıfta bulunmaları veya proje sözleşmelerinde bunların çalışmalarında kullanılmalarının belirtilmesi durumunda yasal olarak bağlayıcı olurlar.

Günümüzde kendi ülkeleri için standartlar geliştiren ulusal kurum ve kuruluşlar bulunmaktadır. Amerikan Deney ve Malzemeler Birliği (ASTM) D18.12 no.lu komisyonu bir dizi kaya mekaniği laboratuvar deney yöntemini geliştirmiştir. Diğer bazı ülkeler de ülke adlarına anılan standartlarını (İngiliz Stan-

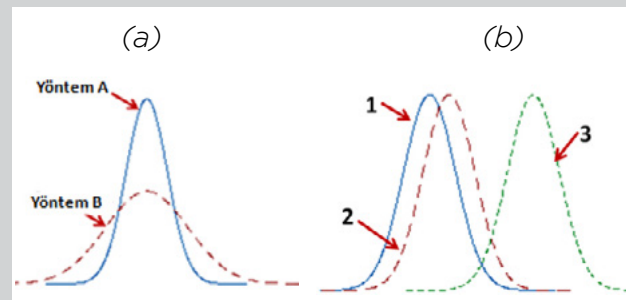
dartları (BS), Alman Standartları (DIN), Türk Standartları (TS) vb.) geliştirmiş olup, mevcut standartların çevirisini yaparak bunları kendi standartları olarak kullanmak gibi standart kavramıyla ve ilkeleriyle uyumlayan uygulamalar da söz konusu olmaktadır.

Kaya mekaniği deneylerinde, kaya kütlesi karakterizasyonu ve arazide izleme ve ölçme çalışmalarında standart yöntemlerin kullanılmasının aşağıdaki yararları sağlayacağı göz ardı edilmemelidir (Hudson ve Harrison, 2000):

- (a) Standartlarda aşama aşama verilen yöntemlerin izlenmesi son derece yararlıdır ve kullanıcıya kolaylık sağlayarak laboratuvar ve arazi deneyleri, kaya karakterizasyonu ve izleme işlerinin doğru ve eksiksiz yapılmasına olanak sağlar.
- (b) Farklı sahalarda kayalar üzerinde farklı kuruluşlarca standartlara uygun şekilde yapılmış deneylerden elde edilen sonuçların karşılaştırılabilmesi olanaklıdır.
- (c) Gerekirse sözleşmelerde kullanılmak üzere ilgili yöntemler için ilgili kaynaklar mevcuttur.

Bazı Avrupa ülkelerinin kendi standartları (BS, DIN vd.) olmasına rağmen, bu ülkeler Avrupa Standardizasyon Komitesi (CEN)’ne üyedir ve CEN’e üye ülkelerin sorumluluğu Avrupa Standartlarını ulusal standartlar olarak uygulamakta olup, ulusal standardizasyon kuruluşları Avrupa Standartlarını yaymakla ve bu standartlarla çelişen ulusal standartlarını geri çekmekle yükümlüdürler.

Bu nedenle, Eurocode 7 (Jeoteknik Mühendisliği Tasarımı İçin Avrupa Standardı-EC7) referans bir tasarım kodu haline gelmiş ve hatta Avrupa Birliği üyesi olmayan diğer bazı ülkelerce de kendi ülkelerine uyarlanmıştır. Ancak EC7, zemin türü birimler üzerinde veya içinde inşa edilen binalar ve dayanım yapıları için geliştirilmiş olup (Harrison 2014), kaya mühendisliği uygulamaları için pek çok açıdan uygun olmayıp bazı durumlarda da uygulanmamaktadır.



Şekil 4. (a) Yinelenebilirlikle ilgili olarak A ve B yöntemleriyle alınan kalınlık ölçümlerinin olasılık yoğunluğu fonksiyonları, (b) yeniden yapılabirlikle ilgili olarak üç farklı laboratuvar (1, 2, 3) alınan ortalama ölçümlerin değişimi arasındaki fark.

3. ISRM tarafından önerilmiş yöntemler

3.1. ISRM’ce Önerilmiş Yöntemlerin Amacı ve Kapsamı

Uluslararası Kaya Mekaniği ve Kaya Mühendisliği Birliği (ISRM) tarafından çok sayıda çalışma gruplarının katılımıyla yapılan işbirliği sonucu kaya mekaniğinin farklı konularında bir dizi önerilmiş deney, kaya karakterizasyonu, izleme ve ölçüm yöntemleri geliştirilmiştir. ISRM’in kaya mekaniğinin ve kaya mühendisliğinin değişik alanlarında görev yapan komisyonlarından biri olan “Deney Yöntemleri Komisyonu” 1966’da kurulmuş olup, aşağıdaki amaçlara yönelik olarak çalışmakta ve ISRM’nin Önerilmiş Yöntemleri’nin geliştirilmesini ilgili çalışmaları yönlendirmektedir.

- (a) Kaya malzemelerinin ve kaya kütlelerinin özelliklerinin tayin edilmesinin yanı sıra, kaya mühendisliği yapılarının performanslarının izlenmesi için önerilmiş yöntemleri geliştirmek ve yayımlatmak,
- (b) Güncel gelişmeleri esas alarak mevcut önerilmiş ISRM yöntemlerinde gerekli değişiklikleri yapmak ve bunları kitap halinde yayımlatmak,
- (c) Kaya mekaniğinde laboratuvar ve arazi deneyleri, kaya karakterizasyonu, izleme ve ölçüm amaçlı yeni yöntemlerin, cihaz veya aletlerin geliştirilmesi amacıyla araştırmacıları teşvik ve davet etmek,
- (d) DeneySEL kaya mekaniği alanında çalışanları işbirliği yapmaları konusunda cesaretlendirmek,
- (e) Yeni önerilmiş yöntemlerin geliştirilmesi amacıyla ISRM’in diğer komisyonlarıyla işbirliği yapmak.

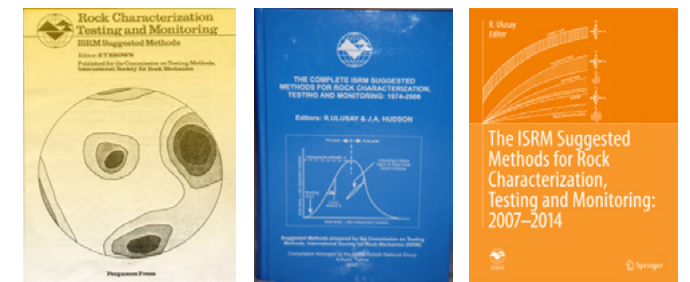
ISRM yöntemleri bir standart olmayıp, kaya karakterizasyonu, kaya mekaniği deneyleri ve izleme konularında “Önerilmiş Yöntemler”i ve bunların kullanımında izlenecek aşamaları içeren dokümanlardır. Diğer bir ifadeyle önerilmiş yöntem, ISRM’nin ilkelerine uygun şekilde, üzerinde görüş birliğine varılarak geliştirilmiş ve ISRM yönetmeliklerine göre onaylanmış dokümandır.

Bununla birlikte, sözleşmeyle ilgili hususlar açısından, eğer gerekiyorsa, ISRM tarafından önerilmiş yöntemler bir standart olarak da kullanılabilir. Bu yöntemlerin amacı kaya karakterizasyon teknikleri, laboratuvar ve arazi deneyleri ve kaya mühendisliğinde izleme çalışmaları için birer kılavuz sunmaktır.

Önerilmiş Yöntemler, ilgili ISRM Deney Yöntemleri Komisyonu tarafından oluşturulan Çalışma Gruplarının katkılarıyla gönüllülük esasına göre hazırlanmakta ve öncelikle 5 kişilik uzman hakem heyetince incelenmekte ve bu heyetin dokümanı kabul etmesiyle önce Komisyon’un ve son aşamada da ISRM Yönetim Kurulu’nun onaylamasıyla yürürlüğe girmektedir.

Nokta yükleme dayanım indeksi, Schmidt çekici, iğne batma deneyi vd. gibi bazı indeks deneyler hem laboratuvar da hem de taşınabilir aletlerle arazide de yapılabilmeyle birlikte, tüm indeks ve mekanik deneyler, ISRM’in “Önerilmiş Yöntemler” kitaplarında kayalar için mikroskobik tanımlama yöntemiyle birlikte “Laboratuvar Deneyleri” grubunda yer almaktadır. “Arazi Deneyleri” grubu “deformabilite deneyleri”, “arazi gerilmelerinin ölçümü”, “jeofizik ölçümler”, “diğer deneyler” ve “kaya saptaması ve ankraj deneyleri” olarak beş alt gruba ayrılmıştır. ISRM tarafından önerilmiş ve farklı zamanlarda uluslararası dergilerde yayımlanmış ISRM’ce önerilmiş tüm yöntemler derlenerek Sarı Kitap (ISRM, 1981), Mavi Kitap (ISRM, 2007) ve Turuncu Kitap (ISRM, 2014) adlarıyla anılan ISRM’ye ait üç kitapta topluca yer almıştır (Şekil 5).

ISRM’ce önerilmiş 70 yöntem bulunmakta olup, yöntemlerin genel içeriği; 1. Giriş, 2.Kapsam, 3.



Şekil 5. ISRM tarafından Önerilmiş Yöntemler ile ilgili “Sarı”, “Mavi” ve “Turuncu” kitaplar.

Alet, cihaz veya gereç, 4. Yöntem: (a) örnek hazırlama (laboratuvar deneyleri için), (b) deneyin yapılışı, 5. Hesaplamalar, 6. Sonuçların sunumu 7. Notlar ve öneriler (gerekliyse), 8. Teşekkür (gerekliyse), 9. Kaynaklar gibi alt bölümlerden oluşmaktadır.

Kaya mekaniği ile ilgili deney, karakterizasyon ve izleme yöntemleri konusunda ISRM tarafından önerilmiş yöntemler ile ASTM'nin yöntemlerinin karşılaştırıldığı **Çizelge 2**'den görüleceği gibi, ISRM tarafından önerilmiş deney yöntemlerinin sayısı çok daha fazladır.

Çizelge 2. Kaya mekaniği ve kaya mühendisliği ile ilgili ISRM tarafından önerilmiş yöntemler ve ASTM tarafından geliştirilmiş standartların karşılaştırılması.

Deney/İzleme/Karakterizasyon yöntemleri	ISRM	ASTM
Kayaçları petrografik tanımlaması ^{a,b}	✓	
Kaya kütlelerinde süreksizliklerin nicel tanımlaması ^{a,b}	✓	
Saha araştırmaları için karotlu kaya sondajları ve sondajlardan karot alımı için standart uygulama		✓
Su içeriği ve yoğunluk tayinleri ^{a,b}	✓	✓
Kumla yer değiştirme ve suyla yer değiştirme yöntemleri ve nükleer yöntemle arazide yoğunluk tayini		✓
Gözeneklilik ve su emme tayinleri ^{a,b}	✓	
Schmidt çekici deneyi ^{a,b,c}	✓	✓
Shore sertliği deneyi ^{a,b}	✓	
Çentik sertliği indeks deneyi ^b	✓	
Cerchar deneyiyle aşınabilirlik tayini ^c	✓	✓
Ses dalgasıyla hız tayini ^{a,b,c}	✓	✓
Suda dağılmaya karşı duyarlılık deneyi ^{a,b}	✓	✓
Nokta yükleme dayanım indeksi deneyi ^b	✓	✓
Çekme dayanımı deneyi (Doğrudan ve Brazilian çekme deneyleri) ^{a,b}	✓	✓
Tek eksenli sıkışma dayanımı ve deformabilite deneyleri (E,n) ^{a,b}	✓	✓
Üç eksenli sıkışma deneyi (Laboratuvar) ^b	✓	✓
Şişen kayaçlar için laboratuvar deneyi ^b	✓	
Kayalardaki süreksizliklerin makaslama dayanımının tayini (Laboratuvar) ^{a,b,c}	✓	✓
Disk makaslama dayanım indeksi deneyi ^b	✓	
İğne batma deneyi ^c	✓	
Kaya malzemelerinin krip karakteristikleri (Laboratuvar) ^c	✓	✓
Donma ve çözünme deneyi		✓
Islanma ve kuruma deneyi		✓
Kayalarda laboratuvar deneylerinin elektronik formatta rapor edilmesi ^c	✓	
Çentikli Brazilian disk örneği ^b ve yarı-dairesel bükülme örneği ^c yöntemleri kullanılarak Mod I çatlak tokluğunun tayini	✓	
Mod II çatlak tokluğunun tayini ^c	✓	
Kaya malzemesinin dinamik dayanım parametreleri ve Mod I çatlak tokluğu ^c	✓	
Tek eksenli sıkışma altında kaya malzemesi için tam gerilme-birim deformasyon eğrisi ^b	✓	
Kaya malzemesinin geçirgenliğinin tayini (Laboratuvar)		✓
Kaya bulonu deneyi ^{a,b}	✓	✓
Kaya ankrajı deneyi ^{a,b}	✓	✓
Kayaçların şişmesi ve ufalanmasının arazide pratik şekilde tayini ^b	✓	
Büyük ölçekli örnekleme ve eklemli kaya için 3-eksenli deney (Arazi) ^b	✓	
Kaya süreksizliklerinin makaslama dayanımının arazide tayini ^{a,b}	✓	✓
Sondajlarda jeofizik log alımı ^{a,b}	✓	
Kuyu içi ve kuyular arası sismik deney ^b	✓	
Kaya mühendisliğinde kara jeofiziği ^b	✓	
Kaya mühendisliğinde sondaj jeofiziği ^b	✓	
Plaka yükleme yöntemiyle kaya kütlelerinin deformabilitesinin arazide tayini ^b	✓	✓
Geniş yassı veren kullanılarak kaya kütlelerinin deformabilitesinin arazide tayini ^b	✓	
Dilatometre kullanılarak kaya kütlelerinin deformabilitesinin arazide tayini ^b	✓	
Ekstansometre kullanılarak kayadaki hareketin izlenmesi ^b	✓	✓
İnklinometre kullanılarak kayadaki hareketin izlenmesi ^b	✓	✓
Tiltmetre kullanılarak kayadaki hareketin izlenmesi ^b	✓	

Deney/İzleme/Karakterizasyon yöntemleri	ISRM	ASTM
Mikrometre kullanılarak kayadaki hareketin izlenmesi ^b	✓	
Küresel konumlama sistemiyle (GPS) kayadaki yer değiştirmelerin izlenmesi ^b	✓	✓
Gerilme-boşaltma yöntemiyle arazi gerilmesinin belirlenmesi ^b	✓	✓
USBM türü sondaj deformasyon ölçeriyle arazi gerilmesinin belirlenmesi ^b	✓	
9 veya 12 birim deformasyon ölçerli CSIR veya CSIRO tipi hücre kullanılarak arazi gerilmesinin belirlenmesi ^b	✓	
Kompakt konik uçlu karot alma tekniğiyle arazi gerilmesinin belirlenmesi ^b	✓	
Kayada arazi gerilmesinin belirlenmesinde izlenecek strateji ^b	✓	
Kayadaki mevcut çatlaklarla ilgili hidrolik çatlatma ve/veya hidrolik deney ^b	✓	
Kayada gerilme tahmininde kalite kontrolü ^b	✓	
Herhangi bir sahada arazi gerilmesi için model oluşturulması ^c	✓	
Arazide krip deneyi		✓
Arazide tek eksenli sıkışma dayanımının tayini		✓
Hidrolik hücre kullanılarak basıncın izlenmesi ^{a,b}	✓	
Patlatmayla ilgili sarsıntının izlenmesi ^{a,b}	✓	
Sondajda dijital optik tele izleyici kullanılarak kayada kırık gözlemleri ^c	✓	
Kırıkların özelliklerinin arazide tayini için aşamalı enjeksiyon yöntemi ^c	✓	
Kaya kütlelerinde kırılma sürecinin arazide mikrosismikle izlenmesi (2015)	✓	
Rezervuar mühendisliği için tek eksenli birim deformasyon deneyi (2016)	✓	
Kayaların ısı özelliklerinin atmosferik basınç altında tayin edilmesi için laboratuvar deneyleri (2016)	✓	
Laboratuvarda Akustik Emisyonun izlenmesi (2017)	✓	
Düzlemsel kaya yüzeylerinin temel sürtünme açısının tilt (eğimlendirme) deneyi ile tayin edilmesi (2018)	✓	
Kaya kütlelerinde kırılma sürecinin arazide akustik emisyon tekniğiyle izlenmesi (2019)	✓	
Gerçek 3-eksenli deneye maruz kalan kayaçların deformasyon ve yenilme karaktersitiklerinin tayin edilmesi (2019)	✓	
Lugeon deneyi (2019)	✓	
^a ISRM (1981; Sarı Kitap); ^b ISRM (2007; Mavi Kitap); ^c ISRM (2015; Turuncu Kitap)		

3.2. ISRM yöntemleri için uygulamayla ve sözleşmelerle ilgili bazı hususlar

ISRM tarafından önerilmiş yöntemlerin kullanılmasıyla ilgili herhangi bir zorunluluk veya yaptırım olmamakla birlikte, kendi ulusal standartları bulunmadığı için pek çok ülkede bu yöntemler ve ASTM standartları kullanılmakta veya bu yöntemler o ülkelerin ulusal koşullarına adapte edilmektedir. Ancak uygulamada bu yöntemlerden hangilerinin izleneceği konusunda henüz bir görüş oluşturulamamıştır.

Deney yöntemlerindeki ve ilgili yorumlardaki ve hatta rapor hazırlamadaki çoktürelilik (heterojenlik), deney, karakterizasyon ve izleme çalışmalarında standart ve/veya önerilmiş yöntemlerin kullanılmaması sonucu ortaya çıkan uyumsuzluklar veya veriyi karşılaştırma güçlükleri bazı projelerde veri analizinden ve yorumlamalardan sorumlu tasarımcıya veya mühendise güçlükler çıkarabilmektedir. Aslında farklı inceleme aşamalarından, farklı üstlenicilerden, çeşitli deney yöntemlerinin uygulandığı farklı laboratuvarlardan

elde edilmiş verinin karşılaştırılması oldukça güç veya uyumsuz olabilmektedir. Bu nedenle, deney, karakterizasyon ve izleme çalışmalarında ASTM gibi standart ve ISRM gibi önerilmiş yöntemlerin kullanılmasının önemi giderek artmaktadır.

Bazıları Vaskou ve Gatellier (2015) tarafından da tartışılmış olan aşağıdaki yaklaşımlar deneylerin kalitesinin artırılması ve sözleşmelerle ilgili kısıtlamaların giderilmesi açısından potansiyel çözümler olarak düşünülebilir.

(i) ISRM Yöntemleri'nin bir bölüm olarak sözleşmelerde yer alması: İhale aşamasında tekliflerin iyi bir şekilde ve mümkün olduğu kadar erken bir zamanda değerlendirilmesini mümkün kılmak için, teklifi veren laboratuvarlar veya firmalar önerilmiş yöntemleri çoğaltarak sözleşmeye ekleyebilirler. Bu yaklaşımın avantaj ve dezavantajları ise aşağıdaki gibidir:

a. Sonuçta kötü sürprizlerle karşılaşılması için taraflar arasında projenin erken aşamasında her şey açıklığa kavuşturulmalıdır.

b. Laboratuvarın maddi kısıtlamalar nedeniyle kabul edilen sözleşmedeki hususları tam olarak karşılayamaması olasılığının bulunması (örneğin, talep edildiği halde ilgili laboratuvarda otomatik kontrollü deney aletlerinin mevcut olmaması gibi).

(ii) Standart bir formatın sağlanması ve tüm veri ve gerekli parametrelerin işlenmesi için ISRM formlarının laboratuvarlara veya yüklenicilere verilerek deneylerde bunların doldurulmasının istenmesi:

Bu yaklaşımın avantaj ve dezavantajları ise aşağıdaki gibidir:

a. Formların hazırlanması gerekir.

b. Gerçekleştirilmesi nispeten kolay ve çabuktur.

c. Yardımcı olabilir, ancak verinin kalitesi konusunda tam olarak garanti sağlamaz.

(iii) Laboratuvarlara veya yüklenicilere ISRM Kalite Belgesi veya ISRM Sertifikası'nın verilmesi:

Personel sertifikasyonu, önemli bir kalite sistemi kavramı olarak düşünülmelidir. Bu belge, eğitim veya deneyimin yerini almamalı ve mesleki değerlendirmeye birlikte kullanılmalıdır. Böyle bir uygulama, kaya mekaniği deneylerini ISRM'ce önerilmiş yöntemlere uygun şekilde yapan personel için değerlendirme ve sertifikasyon işlemleri için bir kılavuz sağlayacaktır. Laboratuvarların akreditasyonu; teknik yeterliliğin bir göstergesi olarak hem ulusal hem de uluslararası düzeyde yüksek saygınlık anlamına gelmekte ve bunun resmi olarak tanınmasını sağlayarak müşterilere güvenilir deney, analiz ve kalibrasyon hizmetlerini belirleme ve seçme konusunda kolay bir yöntem sunmaktadır.

Bu yaklaşımın avantaj ve dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

a. Bazı ülkelerde akredite edilmiş laboratuvarlar bulunmakta, ancak ISRM tarafından akreditasyon verilmemektedir. Bununla birlikte, farklı ülkelerde akreditasyon kuruluşları bulunmaktadır. Örneğin, Türkiye'de Akreditasyon Kurumu (TÜRKAK) ak-

reditasyon hizmeti veren ve 2008 yılında mevcut tüm akreditasyon programları için EAU (Avrupa Akreditasyon Birliği)'nin imzacısı olan resmi kurumdur.

b. Etiket ve belgelendirme/akreditasyon sağlanması için ISRM'in organize olmasını gerektirir.

c. Zaman içinde takip edilecek bir sertifikasyon/akreditasyon işlemini gerektirir.

d. Laboratuvarların maliyetlerini ve yüklerini artırır.

(iv) ISRM tarafından "Önerilmiş Yöntem" yerine "Standart" teriminin kullanılması: Bu amaçla bir çözüm olarak, ISRM'in Uluslararası Standardizasyon Kurumu (ISO)'na üyeliği düşünülse bile, bağımsız bir sivil toplum kuruluşu olan ISO üyeleri kendi ülkelerindeki en önemli standart organizasyonlarıdır ve bireyler veya şirketler ISO üyesi olamazlar. Ayrıca ISO üyeleri kendi standartlarını geliştiremezler ve sadece ISO standartlarının geliştirilmesine hizmet ederler. Bu önemli sınırlama nedeniyle, ISO üyeliği ISRM açısından uygun görünmemektedir. Bununla birlikte, günümüzde pek çok araştırmacı ve uygulamacı tarafından yapıldığı gibi, ISRM tarafından "Önerilmiş Yöntem" yerine "Standart" terimi de kullanılabilir.

4. Sonuçlar

Kaya mekaniği ve kaya mühendisliğinde kaydedilen önemli bilimsel gelişmeler ve teknolojiye ileriye giden adımlar çerçevesinde kayaların, kaya kütlelerinin ve süreksizliklerin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi ve tasarım açısından deneysel çalışmaların, kaya karakterizasyonunun ve izleme çalışmalarının önemi, bu iki dalın ayrılmaz birer parçası olmaya devam edecektir. Standart ve önerilmiş yöntemlerin nisbeten az olduğu dönemlerde jeomekanik parametrelerin kaya türüne veya kaya kütlelerinin bazı karakteristiklerine bağlı olarak bir takım çizelgelerden veya abaklardan tahmin edilmesi veya kabaca bazı değerlerin seçilmesi şeklindeki hatalı kaya mühendisliği tasarımlarına neden olabilecek yaklaşımlar, yerlerini artık günümüzde la-

boratuvarda veya arazide yapılan çağdaş deney yöntemlerine bırakmıştır. Deney sonuçlarının doğru ve gerçekçi bir şekilde değerlendirilmesi laboratuvar deneylerinin sayısına ve özellikle kalitesine bağlıdır. Dolayısıyla bu koşullar, standart ve/veya önerilmiş yöntemlerin kullanımıyla sağlanabilmektedir.

Deneylerin kalitesini arttırmak ve sözleşmelerle ilgili sorunları azaltmak veya en aza indirmek için potansiyel çözümler olarak: **(i)** ISRM tarafından Önerilmiş Yöntemler'in sözleşmelere eklenebilmesi, **(ii)** deney sonuçlarının standart formatta ve gerekli parametrelerin tamamının alınabilmesi amacıyla ISRM şablonlarının hazırlanarak laboratuvarlara veya yüklenicilere veriliş ve **(iii)** laboratuvarlara veya yüklenicilere verilmek üzere ISRM Kalite Etiketleri veya ISRM Sertifikası'nın hazırlanabilmesi gibi yeni yaklaşımlar üzerinde durulmalıdır.

Kaynaklar

- Abbot, A.V., 1884. Testing Machines: Their History, Construction and Use. Van Nostrand, New York.
- ASTM, 2008. Annual Book of ASTM Standards-Soil and Rock, Building Stones, Section 4, Construction, V.04.08: West Conshohocken, Pa., ASTM International.
- Aydan, Ö. and Geniş, M., 2004. Properties of surrounding rock and the stability of openings of the rock tomb of Amenhotep III (Egypt). Proceedings of 7th Regional Conference of Rock Mechanics, A. Ceylanoglu and B Erdem (eds.), Cumhuriyet University, Sivas, 191-202.
- Hamada, M., Aydan, Ö. and Tano, H., 2004. Rock Mechanical Investigation: Environmental and Rock Mechanical Investigations for the Conservation Project in the Royal Tomb of Amenophis III. Conservation of the wall paintings in the Royal Tomb of Amenophis III, First and Second Phases Report, UNESCO

and Institute of Egyptology, Waseda University, 83-138.

- Harrison, J.P., 2014. Eurocode 7 and rock engineering: Current problems and future opportunities, EUROCK2014: Rock Mechanics and Rock Engineering-Structures on and in Rock Masses, Vigo, Spain, Rotterdam, Balkema, 1531-1536.
- Hudson, J.A. and Harrison, J.P., 2000. Engineering Rock Mechanics-An Introduction to the Principles. 2nd ed., Pergamon, Amsterdam.
- Hudson, J.A., Crouch, S.L., and Fairhurst, C., 1972. Soft, stiff and servo-controlled testing machines: A review with reference to rock failure. Engineering Geology, 6, 155-189.
- ISRM, 1981. Rock Characterization, Testing and Monitoring, ISRM Suggested Methods. E.T. Brown (ed.), Oxford, Pergamon Press, 211p.
- ISRM, 2007. The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974-2006. R. Ulusay, R. and J.A. Hudson (eds.), Suggested Methods Prepared by the Commission on Testing Methods, International Society for Rock Mechanics, Compilation Arranged by the ISRM Turkish National Group, Ankara, Turkey, 628p.
- ISRM, 2014. The ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 2007-2014. R. Ulusay (ed.), Suggested Methods Prepared by the Commission on Testing Methods, International Society for Rock Mechanics, Heidelberg, Springer, 293p.
- Timoshenko, S.P., 1953. History of Strength of Materials. McGraw-Hill, New York.
- Ulusay, R. and Gercek, H., 2016. Introductory longer review for rock mechanics testing methods, In: Rock Mechanics and Rock Engineering, Vol. 2: Laboratory and Field Testing, Xia-Ting Feng (ed.), Taylor & Francis, London, 1-66.
- Vaskou, P. and Gatelier, N., 2015. Practical Implementation and Contractual Issues of ISRM Suggested Methods: Example of the SM for triaxial compression testing. Unpublished Presentation in the Workshop Organized by the ISRM Commission on Testing Methods in the 13th ISRM Congress, Montreal Canada (yayımlanmamış sözlü sunum).

Kohezyonsuz zeminde tünelcilik

(T12 Tüneli, Bursa – Yenişehir Yüksek Hızlı Tren Demiryolu Projesi): Sorunlar ve Çözümler



Dr. Ebu Bekir Aygar

Fugro Sial Yerbilimleri Danışmanlık Mühendislik Ltd., Çankaya, Ankara

Prof. Dr. Candan Gökçeoğlu

Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Beytepe, Ankara
cgokce@hacettepe.edu.tr Tel: +90 312 297 77 35

Artan nüfus ve ihtiyaçlara bağlı olarak, metro ve demiryolu projeleri gittikçe önem kazanmaktadır. Özellikle yüksek hızlı demiryolları önemli geometrik sınırlamalar içermektedir. Bu durum jeolojik ve jeoteknik açıdan olumsuz şartlarda çalışmayı beraberinde getirmektedir. Kohezyonsuz zeminlerde tünel kazısı güç bir işlem olmakla beraber, tünelin sığ olması da ayrı bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada, Bursa – Yenişehir Yüksek Hızlı Tren Demiryolu projesi kapsamında bir kısmı zayıf zemin içinde kazıları yapılan ve sığ bir tünel olan T12 Tüneli'nin kazı ve geliştirilen özel tahkimat sistemi sunulmaktadır. Buna göre, zeminin iyileştirilmesi yapılmadan kazıların yapılamayacağı ve en optimum çözümün ise yüzeyden zemin karıştırma yöntemi olduğu sonucuna varılmıştır. Önerilen tüm tasarım sistemleri 2 ve 3 boyutlu sayısal analizlerle değerlendirilmiştir. Ayrıca, kazı çalışmaları takip edilmiş ve analiz sonuçlarının oldukça yüksek bir performans sağladığı görülmüştür. Analiz sonuçlarının başarısındaki en büyük etken, modelleme aşamasında ortamın jeoteknik tanımlamasının temsil edici biçimde gerçekleştirilmesidir.

Anahtar kelimeler: Kohezyonsuz zemin, demiryolu, sığ tünel, tünel destek sistemi, zemin iyileştirme

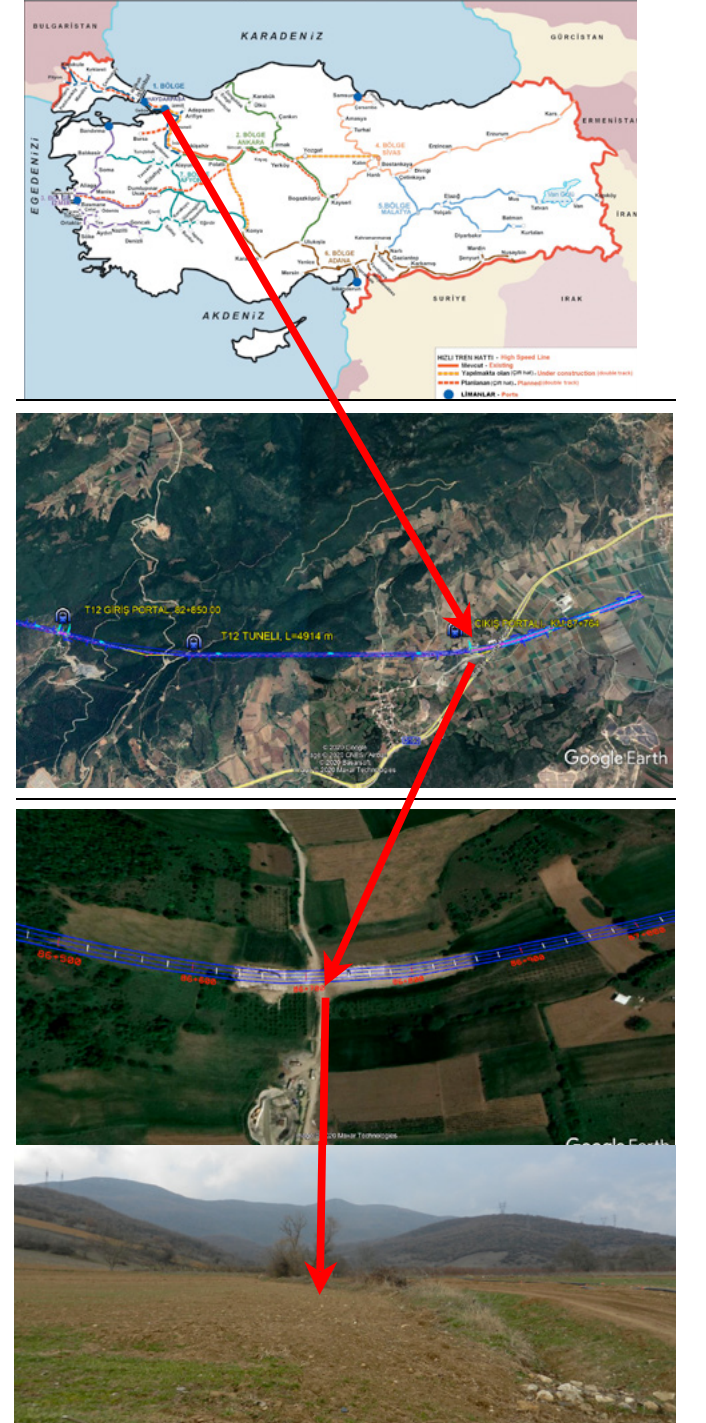
1. Giriş

Kohezyonsuz ya da kohezyonu düşük zeminlerde tünel kazıları her zaman sorunlu tünelcilik çalışmalarından biri olmuştur. Duraysızlık sorunlarının yanı sıra, tünel güzergahında yerleşim varsa, yüzeydeki bina ve diğer yapılarla olan etkileşimi de ayrı bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır. Zira kohezyonsuz zeminlerde tünel kazısı sırasında, tünel aynasında ve tünel tavanında duraysızlıklar çok hızlı gelişmekte ve yüzeye yansiyabilmektedir. Dolayısıyla, bu tür zeminlerde en önemli husus tünelde ayna ile tavan duraylılığının sağlanmasıdır. Bu tür durumlarda eğer tünel klasik NATM (Yeni Avusturya Tünelcilik Yöntemi) ile açılıyor ise, tünel aynasında ve tünel tavanında stabilitenin sağlanması için zemin çivileri ve sürenler tercih edilmektedir. Bununla birlikte, TBM (Tünel Delme Makinesi) metodu ile açılan tünellerde ise tünel ayna stabilitesini sağlamak için aynadaki toprak basıncını dengeleyen TBM'ler (EPB, earth pressure balanced) tercih edilmektedir. Kohezyonsuz zeminlerde tünel açımı ve ayna du-

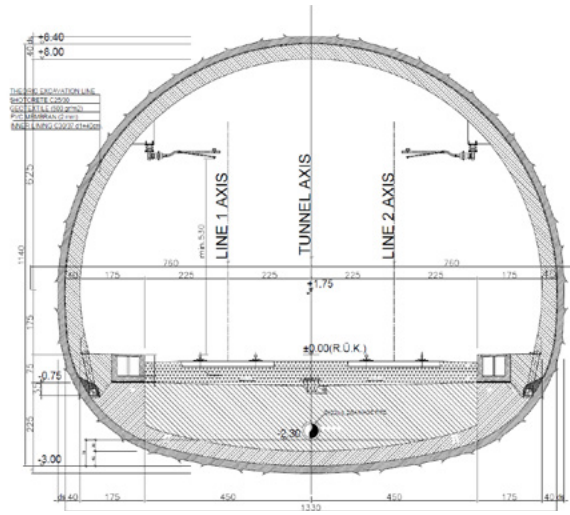
raylılığı için çok sayıda araştırma yapılmıştır (Cormejo, 1988; Tamez, 1985; Ellsetien, 1986). Ayrıca, Oke vd (2012, 2013a, 2013b, 2014a, 2014b) tünel tavan stabilitesi için şemsiye (umbrella) yönteminin uygulanması konusunda sayısal analizler ile analitik çözümleri başarılı biçimde kullanmışlardır. Tünel ayna stabilitesinin önemini vurgulayan çeşitli araştırmacılar (Lunardi 2008 ve 2010; Oreste, 2009 ve 2011), son dönemlerde tünel aynasının fiber bulonlar ile tamamen sağlamlaştırarak tam kesit tünel kazısı yapabilmek amacıyla zemin deformasyonunu en aza indiren ADECO-RS metodunu geliştirmişlerdir. Bursa Yenişehir Hızlı Tren Projesi kapsamında açılan T3 tüneline tünel tavan stabilitesine bağlı olarak yaşanan sorunlar ve meydana gelen göçükler Aygar ve Gökçeoğlu (2020) değerlendirmiş ve tünel ayna stabilitesi ile tavan stabilitesinin önemini vurgulamışlardır. Yine Yüksek hızlı tren projeleri kapsamında zayıf zeminler içinde inşaa edilen tünellerde yaşanan ayna stabilite sorunları ve göçükler için Aygar (2019'a) ile Aygar ve Gökçeoğlu (2019a ve 2019b) şemsiye yönteminin önemini ve gerekliliğini vurgulamışlardır. Aygar (2019b), zayıf zemin içinde açılan tünellerde sığ örtü kalınlığı altında jet enjeksiyon yöntemi ile zeminin iyileştirilmesi ve sonrasında tünel kazısını incelemiştir. Yukarıda verilen kısa literatür özetinden de görüleceği gibi, kohezyonsuz zeminler içinde projelendirilen sığ tünellerde, tünelcilik prensiplerinin yanı sıra, yüzeyden uygulanacak zemin iyileştirme yöntemlerinin de önemi ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada Bursa – Yenişehir Yüksek Hızlı Tren Demiryolu Projesi kapsamında projelendirilen ve kohezyonsuz zeminde açılan T12 Tünelinde, yüzeyden uygulanan zemin karıştırma yöntemi ile zemin iyileştirme yönteminin tünelcilik açısından incelenmiş ve elde edilen sonuçları tartışılmıştır. Zemin karıştırma yöntemi son yıllarda gittikçe kullanım alanı artan bir zemin iyileştirme yöntemidir (Uchida vd, 1996; Hu vd, 2003; Liu vd, 2017; Baskose ve Gokceoglu, 2019; Yamasita vd, 2019; Bellato vd, 2020).

2. T12 Tünelinin genel özellikleri

T12 Tüneli, Bursa- Yenişehir Hızlı Tren Projesi kapsamında projelendirilmiş olup, Km 82+850 - 87+764 arasında yer almaktadır (Şekil 1). Tü-



Şekil 1. T12 Tüneli yerbulduru haritası



Şekil 2. Tünel tip kesiti

nelin girişi yaklaşık 195 m, çıkışı ise 250 m kotunda olup çıkış portalına yaklaşık 1 km uzakta tünel bir vadi ile ayrılan iki tepenin altından geçmektedir.

Dolayısıyla, tepe geçişlerinde tünelin örtü kalınlığı yaklaşık 320 m'ye kadar yükselmekte ancak, vadi geçişinde ise 10 m'ye kadar düşmektedir. Tek tüp olarak projelendirilen T12 tünelinin uzunluğu 4.914 m olup kazı çapı 13.5 m'dir (Şekil 2).

Tünelin Km : 86+640 - 86+860 arasının tamamen alüvyon birimi içerisinde kalması ve örtü kalınlığının oldukça düşük olması sebebiyle, diğer kesimlerinden farklı olarak, özel bir kazı ve destek sisteminin geliştirilmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

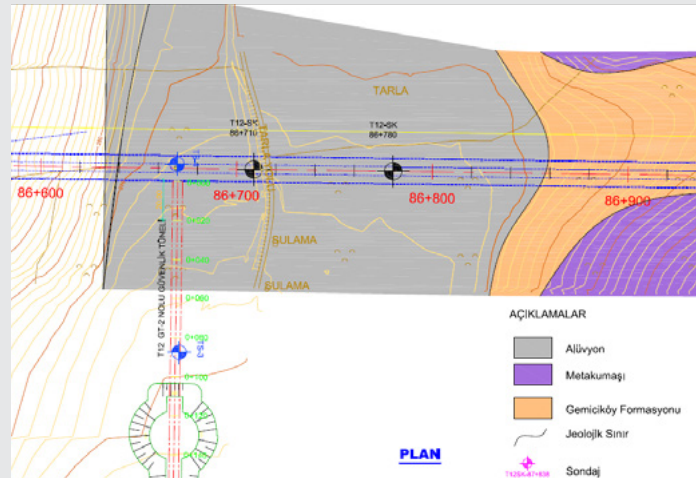
3. Jeolojik-jeoteknik koşullar

Tünel Karakaya karmaşığına (Sayıt ve Göncüoğlu, 2009) ait birimler içerisinden geçmektedir (Şekil 2). Bu birimler genelde Metakumtaşı, kireçtaşları, grafitik şist, klorit şist birimleri olarak tanımlanır. Bu birimler çok zayıf-orta dayanım aralığında, geçirimsiz orta geçirimli olup, iki ana fay sistemi içeri-

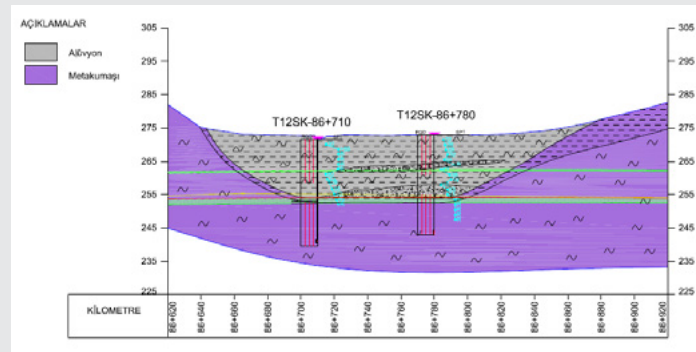
sinde yer almaktadır (Fugro Sial, 2017). T12 tüneli Km : 86+640 - 86+860 arasında ise tünel seviyesi çoğunlukla zemin niteliğinde olan yer yer çakıllı siltli kil/çakıllı kumlu kil birimi içerisinde kalmaktadır (Şekil 3a ve 3b).

Bununla birlikte, tünel seviyesinin altında metakumtaşı birimiyle karşılaşmıştır. Tünelin bu bölümünde karşılaşılan birimler sondaj verilerine göre değerlendirilmiştir (Çizelge 1).

Fugro Sial (2017) tarafından yapılan laboratuvar deneylerine göre bu kesimi oluşturan zeminler ağır-lıklı olarak CL ve GC sınıfındadır. Kaya mekaniği deney sonuçlarına göre ise alt seviyede yer alan metakumtaşı birimi için elastite modülü değerinin 10 GPa civarında olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3a. Km: 86+600 - 86+900 arasının jeolojisi haritası (Fugro Sial, 2017)



Şekil 3b. Km:86+600 - 86+900 arasının jeolojik kesiti (Fugro Sial, 2017)

Çizelge 1. Siltli kil/çakıllı kumlu kil için analizlerde kullanılan jeoteknik parametreler

	Birim hacim ağırlık	PI	Kohezyon	İçsel sürtünme açısı	Elastisite modülü
Birim	γ (kN/m^3)	(%)	c (kPa)	ϕ (°)	Em MPa
Kil seviyesi (uzun dönem)	18	22	0	30	55 MPa
Kil seviyesi (kısa dönem)	18	-	110	0	

TS-3 ve TSK-4 sondajında kil birimler içerisinde gerçekleştirilen standart penetrasyon (SPT) deneylerinde darbe sayıları $N=13-50$ aralığında değişiklik göstermiştir. Ortalama N değeri 30 elde edilmiş ve düzeltilmiş SPT değeri $N60=0,75 \cdot 30 \approx 22$ olarak hesaplanmıştır. Kil birimler üzerinde yapılan Atterberg deneylerinde elde edilen plastisite indisi değerleri ortalaması ise $PI \approx 22\%$ olarak elde edilmiştir. Bu değerlerden hareketle kil birimlerin kısa ve uzun dönem parametreleri Stroud ve Buttlar (1975) tarafından geliştirilen abak kullanılarak, $N60=22$ ve $PI=22$ değerleri için drenajsız kayma değeri değeri kısa dönem için, $c_u = 5 \times 22 = 110$ kPa olarak hesaplanmıştır. Ayrıca kil seviyeleri için uzun dönem parametreleri Terzaghi vd (1996)'da verilen bağıntılarla belirlenmiştir (Çizelge 1).

Tünel seviyesinde görülen birimin altında yeşilimsi gri, orta zayıf-orta dayanımlı, çok bozunmuş parçalı, çok zayıf-zayıf kaya kalitesine sahip metakumtaşı birimi için tek eksenli sıkışma dayanımı 3 MPa olarak belirlenmiştir. Ei (Elastisite Modülü) değeri Mr (Modül Oranı) değeri kullanılarak hesaplanmış olup, Mr değerinin yaklaşık 675 olduğu varsayıldığında, Ei değeri 2025 MPa olarak bulunmuştur. Yüzeyde bu birim mostra vermediğinden ve karot fotoğraflarından çok zayıf kaya-zayıf kaya niteliğinde olduğu belirlenmiş ve Hoek ve Marinos (2000) tarafından önerilen abak kullanılarak GSI değeri 25 olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte, kaya kütlesi parametreleri de sayısal analizlerde kullanılmak üzere RocLab programı yardımıyla belirlenmiştir.

4. Zemin karıştırma-zemin kolon yöntemi ile iyileştirme (soil mixing)

Tünel güzergahında karşılaşılan alüvyon birimi geçişi için en uygun yöntem yüzeyden zeminin iyileştirilerek, tünel kazılarının yapılmasıdır. Zemin iyileştirilmesi için enjeksiyon, jet enjeksiyon ve derin karıştırma yöntemleri arasında en yüksek performansın zemin karıştırma yöntemi (soil mixing) olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla zemin karıştırma yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntem, kuyu tabanından başlayarak zemini çimento ve su ile karıştırarak kompozit bir malzeme haline getirmekte ve zeminin dayanım parametrelerini yükseltmektedir. Karışım malzemesi olarak, istenen iyileştirmenin amacına uygun olarak çeşitli kimyasallar ve çimento kullanılabilir. Bu yöntem, kazıların desteklenmesi, zemin stabilizasyonu, oturmaların sınırlandırılması/azaltılması, temel destekleme ve sıvılaşmaya karşı direncin artırılması gibi farklı amaçlarla uygulanmaktadır. Yaş karıştırma yönteminin, 30 m derinliğe kadar yüksek performans sağlaması ve kil-silt boyutlu malzemeden küçük blok boyutu malzemeye kadar değişen bir dane çapı aralığında uygulanabilmesi nedeniyle diğer derin iyileştirme yöntemlerine göre daha geniş bir uygulama alanına sahiptir. Bu çalışma kapsamında zemin kolonlarının çapı 80 cm olarak öngörülmüş ve teget olarak projelendirilmiştir.

Yapılan iyileştirme ile ortamın dayanım ve deformabilite parametreleri kompozit malzemenin parametreleri olarak yeniden belirlenmiştir. Buna göre, zemin ile kolonlar bir malzeme olarak düşünülmektedir (Erol ve Bayram, 2018). Burada

alana yer değiştirme oranına bağlı olarak enjeksiyon kolon ile zeminin dayanım parametrelerinin alan oranlarına göre kompozit zemin parametreleri hesaplanmaktadır (Çizelge 2).

Çizelge 2. Kompozit zemin parametreleri

Kolon Çapı	0,80	m
x	0,80	m
y	0,80	m
Kolon alanı	0,50	m ²
Toplam Alan	0,64	m ²
Zemin Alanı	0,14	m ²
Zemin		
c	0	kPa
E	55	MPa
Kolon		
C	1000	kPa
E	1000	MPa
Kompozit Zemin		
c	786	kPa
E	796	MPa

4. Sayısal Analizler

Tünel destek sistemlerinin belirlenmesinde ampirik yaklaşımlar (Bieniawski, 1973, 1976 ve 1989; Barton vd, 1974 and 1980; Grims-tad and Barton, 1993), analitik yaklaşımlar ve sayısal analiz yaklaşımları olmak üzere üç yaklaşım bulunmaktadır.

Bunlardan sayısal analizler tünel destek sistemlerinin belirlenmesinde son dönemlerde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır (Koçkar ve Akgün, 2003; Akgün vd, 2014; Zou vd, 2019; Moussaai vd, 2019; Panthi ve Basnet, 2019). Sayısal analiz yöntemlerinde ise en yaygın uygulanan yöntem olarak sonlu elemanlar yöntemi gösterilebilir (Das vd., 2017).

Bu çalışmada, sayısal analizlerde sonlu elemanlar yöntemi ile çalışan 2 boyutlu Phase2d v8.0 (RocScience, 2020) program ile sonlu farklar yöntemi ile çalışan Flac3d (Itasca, 2002) programları kullanılmıştır.

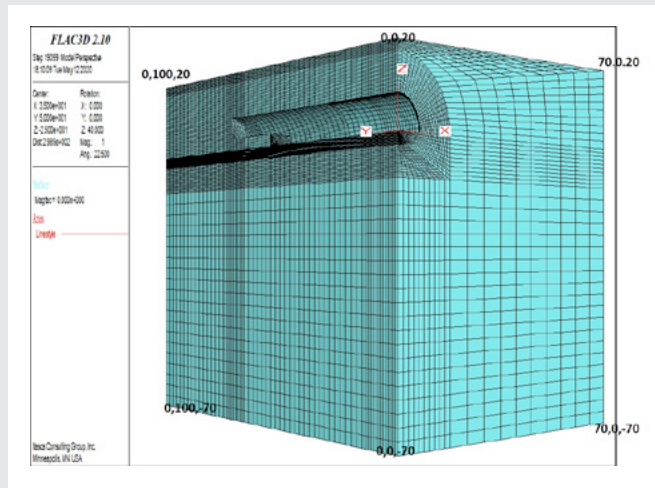
4.1. Flac3d Programı ile yapılan analizler

Sayısal analizlerin ilk aşamasında Flac3d program ile 3 boyutlu analizler yapılmıştır (Itasca, 2002). Analizlerde birinci aşamada mevcut durum değerlendirilmiş, yüzeyde ve tünel aynasında oluşan yer değiştirmeler gösterilmiştir. İkinci aşamada ise, zemin iyileştirilmesi sonrası yapılan analizlerde yer değiştirmeler belirlenmiş ve mevcut durumla karşılaştırılmıştır. Oluşturulan model ve sınır koşulları Şekil 4 ve 5’de sunulmuştur. Modelde yerçekimi ivmesi kullanılarak yerinde gerilmeler oluşturulmuş, zemin üst kotu z yönünde serbest bırakılmıştır. Model, 0,0,0 noktasında simetrik kabul edilmiş ve Mohr-Coulomb yenilme kriteri seçilmiştir. Üst yarı, alt yarı ve invert kademeler halinde modellenmiştir. Modelde püskürtme beton “kabuk” elemanı olarak tanımlanmıştır. Flac3d programı modelde zemin parametrelerinde bulk modülü ve makaslama modülü kullanılmaktadır (Çizelge 3).

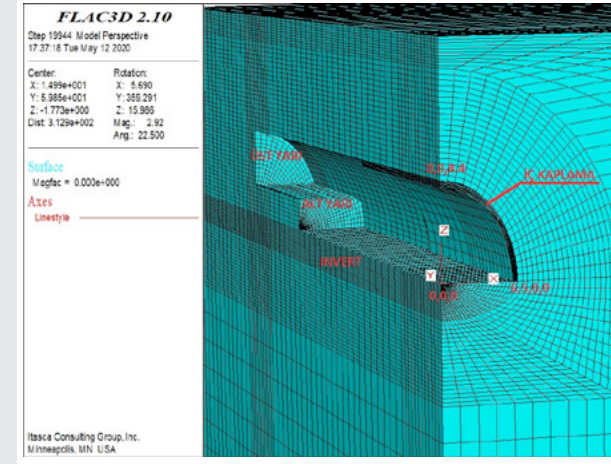
Çizelge 3. Bulk modülü ve makaslama modülü değerleri

	E (Deformasyon Modülü, MPa)	v (Poisson Ratio)	K (Bulk Modülü, MPa)	G (Makaslama Modülü, MPa)
Alüvyon				
Zemin	55	0.3	45	21

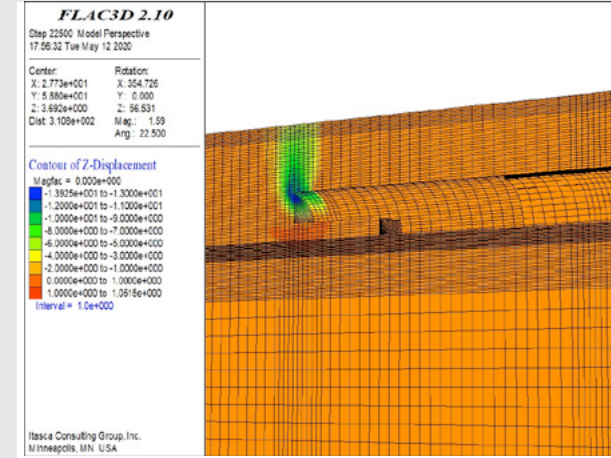
Yapılan analizlerde iyileştirme öncesi tünel aynasında ve tavanında göçüğün meydana geldiği ve yüzeye kadar yansıdığı görülmüştür (Şekil 6 ve 7). Yapılan iyileştirme sonrası analizlerde ise,



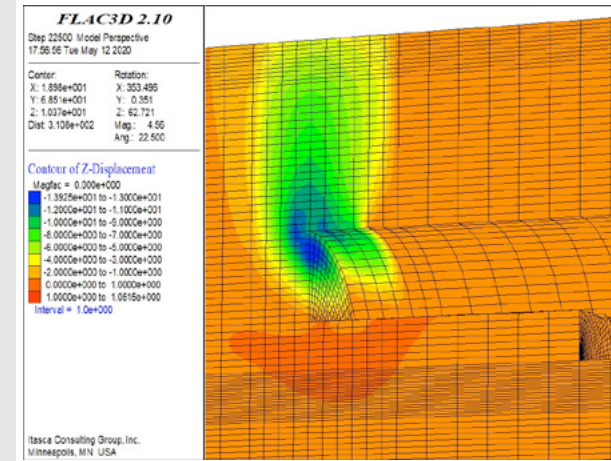
Şekil 4. Flac3d programı ile oluşturulan model



Şekil 5. Tünelde kazı aşamaları, üst yarı, alt yarı ve taban

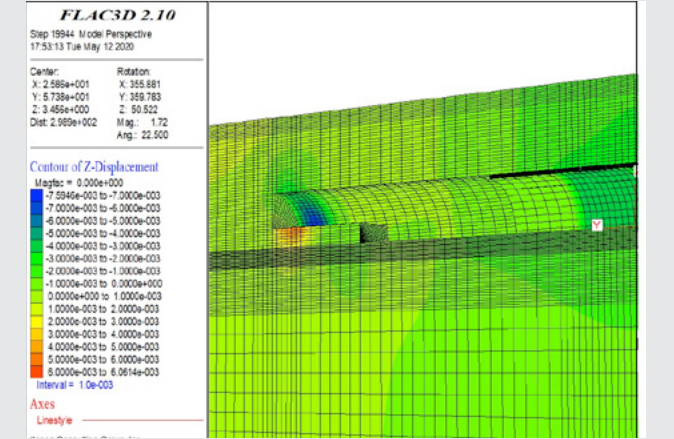


Şekil 6. Tünel aynasında meydana düşey yerdeğistirmeler-1 (iyileştirme öncesi)

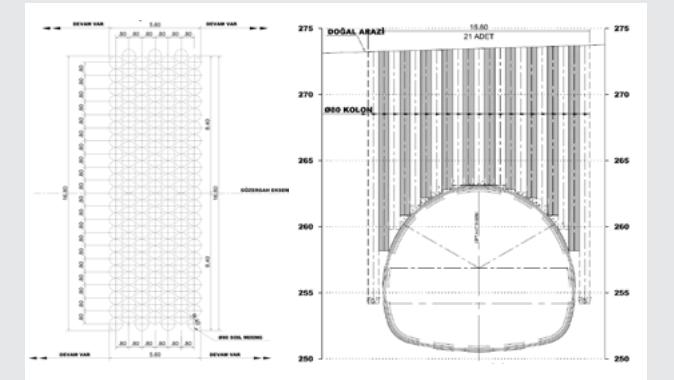


Şekil 7. Tünel aynasında meydana gelen düşey yerdeğistirmeler-2 (iyileştirme öncesi)

düşey yerdeğistirme ise cm düzeyinde olduğu (Şekil 8) belirlenmiş olup, Şekil 9’da plan ve kesiti verilen iyileştirmenin yeterli olduğu görülmüştür.



Şekil 8. Tünel aynasında meydana gelen düşey yerdeğistirmeler-2 (iyileştirme sonrası)



Şekil 9. İyileştirme yapılan kesimin plan görünümü ve tünel kesiti (Fugro Sial, 2017)

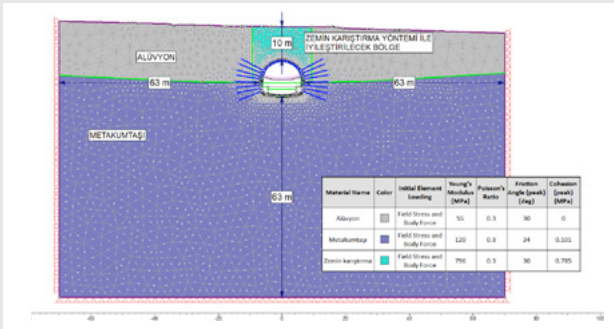
4.2. Phase2d programı ile yapılan analizler

2 boyutlu analizler Phase2d v8.0 (RocScience, 2020) programı ile zemin iyileştirme sonrası için gerçekleştirilmiştir. Analizlerde malzeme gevşemesi olarak %60 seçilmiş olup, kazıdan sonra desteklere gelecek yük ise %40 olarak alınmıştır. (FHWA, 2009). Analizlerde kullanılan k (σ_h/σ_v) değeri 0.5 olarak seçilmiş olup, çözümleme yapılırken sınır koşullarının tüneli etkilememesi için tünel çapının 4 katından

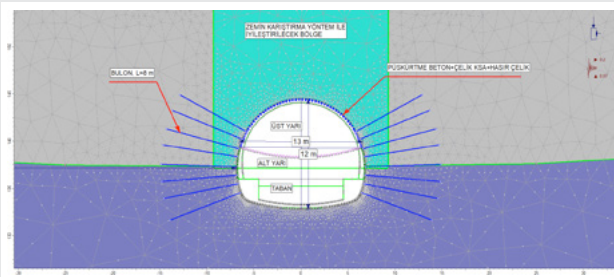
büyük bir model oluşturulmuştur (Şekil 10). İki boyutlu modelleme aşamaları Çizelge 4'te verilmektedir. İlk kademede yerinde gerilmeler oluşturulmuş, ikinci kademde zemin iyileştirilmiş, sonraki aşamalarda ise üst yarı, alt yarı ve invert kazıları yapılarak destek sistemleri tamamlanmıştır. Çalışma alanı 1. Derece deprem bölgesi olması sebebiyle (KGM, 2014) yatay yer ivme değer 0.20g, düşey ivme değeri ise 0.07g olarak seçilmiştir (Şekil 11).

Çizelge 4. Modelleme Aşamaları

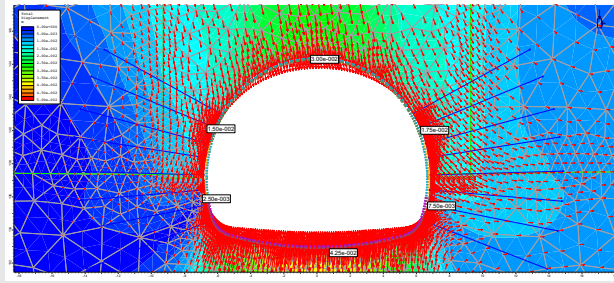
Aşama	Açıklama
1	Yerinde gerilmelerin oluşturulması
2	Zemin karıştırma uygulamasının yapılması
3	Üst yarı gevşemesi (60%)
4	Üst yarıda desteklerin yerleştirilmesi
5	Alt yarı gevşemesi (60%)
6	Alt yarıda desteklerin yerleştirilmesi
7	Taban bölümü gevşemesi (60%)
8	Taban desteklerin yerleştirilmesi
9	Taban desteklerinin tamamlanması
10	Modele deprem yükünün verilmesi
11	Modele iç kaplama eklenmesi, modelden dış kaplamanın kaldırılması ve jet groit bölgesinin ilk parametrelere döndürülmesi



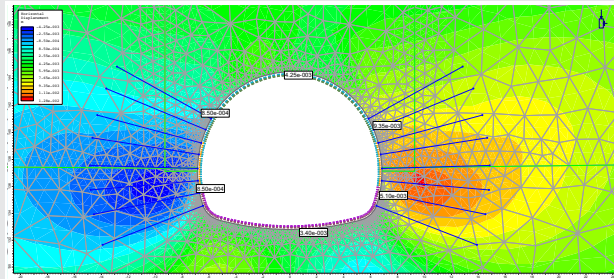
Şekil 10. Phase2d v8.0 programı ile oluşturulan model



Şekil 11. Sayısal analizlerde kullanılan destek elemanları



Şekil 12. Toplam yerdeğiştirme



Şekil 13. Yatay yerdeğiştirme

Yapılan analizlerde tünel çevresinde 3.0 cm civarında bir yerdeğiştirme meydana geldiği görülmüştür. Bu değer izin verilebilir sınırlar içinde olup, zemin iyileştirme yönteminin uygun olduğunu göstermektedir (Şekil 12). Bununla birlikte, meydana gelen yatay yerdeğiştirmeler ise mm düzeyinde kalmıştır (Şekil 13).

5. Sonuçlar ve yorumlar

Kohezyonsuz zeminlerde tünel kazısı her zaman kritik bir işlem olup, en önemli problemler tünel ayna stabilitesi ve tavan stabilitesi-dur. Bu çalışmada Bursa - Yenişehir Hızlı Tren Demiryolu Projesi kapsamında inşa edilen ve topografik şartlar gereği bir bölümü aşırı sığlaşan ve zayıf zeminde kazılması sebepleriyle özel tasarım gerektiren T12 Tünelinin bu kesimi ayrıntılı sayısal analizlerle araştırılmıştır. Bu araştırmadan elde edilen sonuçlar ve yorumlar aşağıda sunulmaktadır:

1) Örtü kalınlığının fazla olduğu tünellerde, ayna ve tavan stabilitesi tünel içinde yapılacak olan sağlamlaştırma işlemleri ile yapılırken örtü düşük olan sığ tünellerde yüzeyden

yapılacak olan iyileştirme işlemleri oldukça yüksek performans sağlamaktadır.

2) Zemin karıştırma (soil mixing) yöntemi ile kuyu tabanından itibaren zemin iyileştirilerek yüzeye kadar kontrollü bir şekilde uygulanabilmektedir. Dolayısıyla yapılan imalatlar sonrasında iyileştirilmiş zemin şartları bilinmektedir. Bu durum analiz sonuçlarındaki belirsizliği azaltmakta ve optimum tasarım yapılmasına olanak sağlamaktadır.

3) Oldukça zayıf zemin şartlarında ve yüksek sismik aktiviteye sahip bölgelerde inşa edilen tünellerde, uzun dönemdeki deprem etkilerinin de mutlaka dikkate alınarak iç kaplama betonunun donatılı olarak yapılması önerilmektedir.

4) Yapım sırasında deformasyonlar gözlenmiş ve bunların analiz sonuçları ile büyük bir uyum içinde olduğu anlaşılmıştır. Bunun temel nedeni kuşkusuz ortamın temsil edici biçimde modellenbilmesidir. Zemin karıştırma yönteminin uygulanması, zemin parametrelerinin doğru seçilmesine ve dolayısıyla analizlerin yüksek performans göstermesini sağlamıştır.

Teşekkür

Yazarlar bu çalışmadaki dektek ve katkılarlarından dolayı TCDD Genel Müdürlüğü ve Fugro Sial Yerbilimleri Mühendislik ve Danışmanlık Ltd.'ye teşekkür ederler.

Kaynaklar

- Akgün, H., Muratlı, SW., Koçkar, M.K., 2014. Geotechnical investigations and preliminary support design for the Geçilmez tunnel: A case study along the Black Sea coastal highway, Giresun, northern Turkey. Tunnelling and Underground Space Technology, 40, 277-299.
- Aygar, E.B., 2019a. The Evaluation of Stability Problems and Tunnel Support Systems During The Material Inflow in T15 Tunnel in The Kaya-Yerkoy High Speed Train, Railway. Proceedings of the 26th International Mining Congress and Exhibition of Turkey, 2019-a, 445-456

- Aygar, E.B., 2019b. Karahan Tüneli Çıkış Portal Kesimi Heyelan Durumun İncelenmesi. 2. Ulusal Tünelcilik ve Yer Altı Yapıları Kongresi ve Sergisi, Ankara
- Aygar, E.B., and Gokceoglu, C., 2019a. Ankara-İzmir Yüksek Hızlı Tren Projesi (Polatlı-Afyonkarahisar Kesimi) T6-T7-T8 Tünelleri Km:127+866'da Meydana Gelen Göçüğün Değerlendirilmesi ve Destek Sisteminin Analizi. 2. Ulusal Tünelcilik ve Yer Altı Yapıları Kongresi ve Sergisi, Ankara
- Aygar, E.B., and Gokceoglu, C., 2019b. Ankara-Sivas Yüksek Hızlı Tren Projesi Yerköy-Sivas Kesimi T3 Tüneli (Km:219+582.00-Km:224+380) Km:221+140 ile Km:221+160 Arası Tarama ve Göçük Kazı Projesinin Değerlendirilmesi 2. Ulusal Tünelcilik ve Yer Altı Yapıları Kongresi ve Sergisi, Ankara
- Aygar, E.B. and Gokceoglu, C., 2020. Problems Encountered during a Railway Tunnel Excavation in Squeezing and Swelling Materials and Possible Engineering Measures: A Case Study from Turkey, Sustainability 2020, 12, 1166; doi:10.3390/su12031166
- Barton, N., Løset, F., Lien, R., Lunde, J., 1980. Application of the Q-system in design decisions. In Subsurface space, (ed. M. Bergman) 2, 553-561. New York: Pergamon.
- Barton, N.R., Lien, R. Lunde, J., 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mech. 6(4), 189-239.
- Baskose Y., Gokceoglu C., 2019. An Experimental Study to Compare Two Soil Improvement Techniques Performance. In: Kallel A. et al. (eds) Recent Advances in Geo-Environmental Engineering, Geomechanics and Geotechnics, and Geohazards. CAJG 2018. Advances in Science, Technology & Innovation (IEREK Interdisciplinary Series for Sustainable Development). Springer, Cham.
- Bellato, D., Marzano, I.P., Simonini, P., 2020. Microstructural Analyses of a Stabilized Sand by a Deep-Mixing Method. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 146 (6), 04020032.
- Bieniawski, Z.T., 1973. Engineering classification of jointed rock masses. Trans S. Afr. Inst. Civ. Engrs 15, 335-344.
- Bieniawski, Z.T., 1976. Rock mass classification in rock engineering. In Exploration for rock engineering, proc. of the symp., (ed. Z.T. Bieniawski) 1, 97-106. Cape Town: Balkema.
- Bieniawski, Z.T., 1989. Engineering rock mass classifications. New York: Wiley.
- Cornejo L., 1998. Insability at the face:its respercisions for tunnelling technology, Tunnels and Water, Serrana (ed.), 1988 Balkema, Rotterdam, ISBN 90 6191 821 9.
- Das, R., Singh, P.K., Kainthola, A., Panthee, S., 2017. Numerical analysis of surface subsidence in asymmetric parallel highway tunnels. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 9, 170-179.

- Ellsteim A., 1986. Heading Failure of lined tunnels in soft soils. Tunnel and tunnelling Jun.1986
- Erol, O., Bayram, Z., 2018. Jet Enjeksiyon Yöntemi, Yüksek Proje, Ankara.
- Federal Highway Administration, 2009. Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels -Civil Elements, 702.
- Fugro Sial Ltd., 2017. Bursa-Gölbaşı Kuzey-Yenişehir Hızlı Tren Projesi Tünel İnşaat Yapım İşi, T12 Tüneli Km:86+640 ile Km:86+860 Arası Zemin İyileştirme ve Tünel Destek Raporu
- General Directorate of Highways (KGM), 2014. Araştırma Mühendislik Hizmetleri Teknik Şartnamesi. T.A.D.B, Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Turkey.
- Grimstad, E., Barton, N., 1993. Updating the Q-System for NMT. Proc. int. symp. on sprayed concrete - modern use of wet mix sprayed concrete for underground support, Fagernes. 46-66. Oslo: Norwegian Concrete Assn.
- Hoek, E., Marinos, P., 2020. Predicting Tunnel Squeezing. Tunn. Tunn. Inter. 2000. Available Online: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.474.7992&rep=rep1&type=pdf> (Accessed On 06 February 2020).
- Hu, Z.F., Yue, Z.Q., Zhou, J., Tham, L.G., 2003. Design and construction of a deep excavation in soft soils adjacent to the Shanghai Metro tunnels. Can. Geotech. J. 4, 933-948.
- Itasca, 2002. Flac3d User Manual Getting Started.
- Koçkar, M.K., Akgün, H., 2003. Methodology for tunnel and portal support design in mixed limestone, schist and phyllite conditions: a case study in Turkey. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 40, 173 -196.
- Liu, Y., Jiang, Y.J., Xiao, H., Lee, F.H., 2017. Determination of representative strength of deep cement-mixed clay from core strength data. Geotechnique, 67 (4), 350-364.
- Lunardi, P., 2000. The design and construction of tunnels using the approach based on the analysis of controlled deformations in rocks and soils. http://www.rocksoil.com/p_d_f/t_and_t_rocksoil_supp.pdf.
- Lunardi P., 2008. Design and Constuction fo Tunnels Analysis of controlled deformation in rocks and soils (ADECO-RS), Springer-Verlang Berlin Heidelberg.
- Moussaei, N., Sharifzadeh, M., Sahriar, K., Khosravi, M.H., 2019. A new classification of failure mechanisms at tunnels in stratified rock masses through physical and numerical modelling. Tunnelling and Underground Space Technology, 91, 103017.
- Oke, J., Vlachopoulos, N., Diederichs, M.S., 2012. Improved input parameters and numerical analysis techniques for temporary support of underground excavations in weak rock. In: RockEng. Edmonton.
- Oke, J., Vlachopoulos, N., Diederichs, M.S., 2013a. The reduction of surface settlement by employing umbrella arch systems. In: GeoMontreal 2013. Montreal: Canadian Geotechnical Society.
- Oke, J., Vlachopoulos, N., Diederichs, M.S., 2013b. Modification of the supported longitudinal displacement profile for tunnel face convergence in weak rock. In: 47th US rock mechanics/geomechanics symposium. San Francisco: American Rock Mechanics Association.
- Oke, J., Vlachopoulos, N., Marinos, V., 2014a. The pre-support nomenclature and support selection methodology for temporary support systems within weak rock masses. Journal of Geotechnical and Geological Engineering, 32(1), 97-130.
- Oke, J., Vlachopoulos, N., Diederichs, M.S., 2014b. Semi-analytical model of an umbrella arch employed in hydrostatic tunnelling conditions. In: 48th US rock mechanics/ geomechanics symposium. Minneapolis: American Rock Mechanics Association.
- Oreste, P., 2009. Face stabilisation of shallow tunnels using fibreglass dowels. Proceedings of ICE, Geotechnical Engineering, 162, 2, 95-109.
- Oreste, P., 2011. The stability of the excavation face of shallow civil and mining tunnels. Acta Geotechnica Slovenica, 2011/2
- Panthi, K.K., Basnet, C.B., 2019. Evaluation of earthquake impact on magnitude of the minimum principal stress along a shotcrete lined pressure tunnel in Nepal. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 11, 920-934.
- RocScience, 2020. Phase2 8.0 User Guide, https://www.rocsience.com/downloads/phase2/Phase2_TutorialManual
- Sayit, K., Göncüoğlu, M.C. 2009. Karakaya Karmaşığı içerisindeki bazı volkanitlerin jeokimyasal özelliklerinin yeniden değerlendirilmesi. Yerbilimleri, 30 (3), 181-191.
- Stroud, M A and Butler, F G (1975) The standard penetration test and the engineering properties of glacial materials. In: Proceedings of the Symposium of glacial materials, University of Birmingham, April 1975.
- Tamez E., 1985. Estabilidad de tuneles excavados en suelos. Curso Victor Hardy 85 Mexico.
- Terzaghi, K.; Peck, R. B.; Mesri, G. Soil Mechanics in Engineering Practice, Third Edition, John Wiley & Sons: New York, NY, United States, 1996.
- Uchida, K., Iida, Y., Yoshida, Y., Imai, K., 1996. Special ground improvement methods: Ground improvements associated with the Trans-Tokyo Bay highway. Marine Georesources and Geotechnology, 14 (1), 47-63.
- Yamashita, K., Tanikawa, T., Uchida, A., 2019. Long-term Behaviour of Piled Raft with DMW Grid on Reclaimed Land. Geotechnical Engineering, 50 (3), 41-47.
- Zou, J., Chen, G., Qian, Z., 2019. Tunnel face stability in cohesion-frictional soils considering the soil arching effect by improved failure models. Computers and Geotechnics, 106, 1-17.

2020 MADENCİLİK ÖDÜLLERİ

Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı, eğitim ve uygulamada örnek olacak başarılı çalışmalar yapan kişi ve kuruluşlara “Bilim”, “Tez”, “Teşvik”, “Hizmet”, “Üretim”, “Çevre Koruma”, “İş Sağlığı & Güvenliği”, “Halkla İlişkiler & Sosyal Sorumluluk” ve “Basın” ödülleri verilecektir.

SON BAŞVURU TARİHİ: 31 ARALIK 2020

ÖDÜLLER

Bilim Ödülü

7.000 TL

Tez Ödülü

Doktora Tezi

4.000 TL

Yüksek Lisans Tezi

2.000 TL

Lisans Tezi

1.500 TL

**“Teşvik”, “Hizmet”, “Üretim”,
“Çevre Koruma”,
“İş Sağlığı & Güvenliği”,
“Halkla İlişkiler & Sosyal Sorumluluk”
ve “Basın” Ödülü**
Madalya veya Plaket verilecektir.



**yurt madenciliğini
geliştirme vakfı**

Ayrıntılı Bilgi ve İletişim için:

Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı
Cumhuriyet Cad. No:179 İtır Apt. Kat: 5 Daire 9
Harbiye- Şişli / İSTANBUL
Telefon: 0 212 246 20 81 Faks: 0 212 247 51 11
E-Posta: ymgv@ymgv.org.tr

Mars'ta kayalar ve kaya mühendisliği üzerine bazı düşünceler



Ömer Aydan

Emeritus Professor
Ryukyus Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
Nishihara, Okinawa, Japonya

Öz:

Son yıllarda dünya dışı gezegen ve uyduların özellikleri ve maden işletmesi konularında yoğun çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. ABD, eski Sovyetler Birliği'nin yanı sıra, son zamanlarda Japonya, Çin, Hindistan ve Avrupa Birliği bu amaçla uzaya; Ay'a, Mars'a, Venüs ve Jupiter'e insanlı ve insansız uzay araçları göndermiştir. NASA'nın Ay'a ve Mars'a gönderdikleri uzay araştırmacıları ile eski Sovyetler Birliği'nin Venüs'e gönderdiği uzay araştırmacılarının dünyaya ulaştırdığı resimlerde görülen kayaların benzerliği ve gözlenen doğal yapılar yerküredeki kayalara ve doğal yapılara oldukça büyük benzerlikler göstermektedir. Bu yazıda, yazar uzun bir zamandan beri derlediği bilgilerin ışığında ABD'nin Mars'a indirdiği uzay araştırmacılarından elde edilen görüntü ve bilgilerinden yararlanarak Mars'taki kayalar ve kaya mühendisliği üzerine bazı görüşlerini sunmuş ve yorumlamıştır.

1. Giriş

İnsanoğlu, yerküredeki doğal maden zenginliklerinin giderek azalması ve yerküre dışındaki gezegen ve uydularının yapısının araştırılması

konusuna karşı büyük bir ilgi göstermeye başlamıştır. Şekil 1'de görüldüğü üzere NASA'nın Apollo Programı çerçevesinde bir astronotun kırılmış bir kaya kütesinin yanında alınmış görüntüsü yazarın bu konuya ilgi duymasına neden olmuştur. Bu çerçevede, Tokai Üniversitesi'nde 2010 yılında başlattığı ve Ryukyus Üniversitesi'nden 2020 Mart ayında emekli oluncaya kadar verdiği Kaya Mekaniği dersinin son bölümünü 'Uzayda Kaya Mekaniği' konusuna ayırmıştır. Yazar, 2015 yılında Kanada'da düzenlenen Madencilik Kongresinde "Dünyadışı Gezegen ve Uydularında Madencilik" adlı oturuma Prof. Serkan Saydam'ın (Avustralya New South Wales Üniversitesi) davetlisi olarak katılmış ve konunun çok ciddi boyutta gündemde olduğunu görmüştür. 2017 yılında da yine Prof. Saydam'ın organize ettiği 3. Dünyadışı Madencilik Forum'u'na (3rd Off-Earth Mining Forum - OEMF) davet edilmiş ve 'Mars'ta Kaya Mekaniği konuları üzerine bazı düşünceler' konusunda bir konuşma yapmıştır.

2019 Eylül ayında Uluslararası Kaya Mekaniği ve Mühendisliği Birliği (ISRM)'nin Başkanlığına Prof. Dr. Reşat Ulusay (Hacettepe Üniversitesi) seçilmiş ve yazar da başkan yardımcılarında biri olarak ISRM Yönetim Kurulu'nda görev almıştır. Nisan 2020'de ISRM bünyesinde Prof. Serkan Saydam başkanlığında "Gezegenerde Kaya Mekaniği-Planetary Rock Mechanics" yeni bir ISRM komisyonu kurularak ISRM Yönetim Kurulu tarafından onaylanmış olup, yazar bu komisyonun bir üyesidir.



Şekil 1. Aralık 1972'de Ay'a inen Apollo 17'deki Astronot Harrison Schmitt'in Ay'da kırılmış büyük bir kaya kütesi ile görüntüsü (NASA, 1997).

Bu yazıda; yazarın yerküre kayaları üzerinde yapmış olduğu araştırma ve çalışmaların ışığında Mars'a ilişkin olarak derlediği bilgileri ve gözlemleri kısaca anlatılmış, özellikle yazarın Mars'taki kayalar ve kaya mühendisliği üzerine bazı görüşler sunularak yorumlanmıştır.

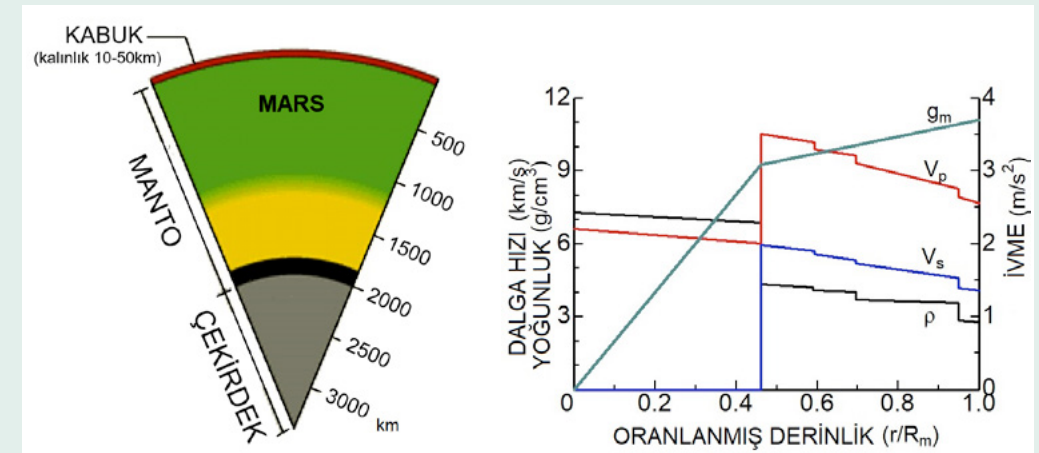
2. Mars'ın ana özellikleri ve iç yapısı

Bilindiği üzere, Güneş sistemi 8 adet gezegenden oluşmaktadır. Bu gezegenlerin ortalama yoğunluğu Güneş'ten uzaklaştıkça azalmaktadır. Gezegenler arasında Mars ve Venüs yerküreye en çok benzeyen gezegenlerdir. Mars'ın Deimos ve Phobos adlı iki uydusu vardır. Mars'ın yarıçapı 3389 km olup, yerçekim ivmesi yüzeyde dünya yerçekim ivmesinin 0.377 katıdır. Ortalama yoğunluğu ise 3.9335 g/cm³ olup, karbondioksit (95.3%),

nitrojen (2.6%) ve argon (1.9%) gazlarından oluşan ince bir atmosferi vardır (Şekil 1). Yerküreye benzer olarak kendi dönüş eksenine 25° eğimli bir şekilde Güneş etrafındaki yörüngesini 687 yerküre günü, 669.6 güneş gününde tamamlamaktadır. Bir Mars gününün uzunluğu ise, yerküreye benzer olarak 24.6 saattir. Şekil 2'de Mars'ın iç yapısı, yerçekim ivmesi, elastik dalga hızları ve yoğunluğu gösterilmiştir.

Süresi biraz farklı olmakla birlikte, yerküreye benzer olarak Mars'ın dört mevsimi bulunmaktadır. Sıcaklık, enleme ve mevsime göre değişmekle birlikte, Mars yüzeyinde en yüksek sıcaklık 20°C ve en düşük sıcaklık ise -153°C olarak ölçülmüştür. Bunun yanı sıra, kutupları buzullarla kaplıdır. Ayrıca, Güneş sistemi içerisinde en büyük yüksekliği 21229 m ve çapı 600 km olan Olympus Yanardağı bulunmaktadır (örneğin Fuller ve Head, 2003; USGS, 2020).

Mars'ın iç yapısı ve sıcaklığı konusunda birçok model önerilmiştir (örneğin Sohl ve Spohn, 1997; Johnston ve Toksöz, 1977; Toksöz ve Hsui, 1978). Bunların içinde Mars'tan olduğu düşünülen 2 göktaşından yararlanarak Sohl ve Spohn (1997) Mars'ın iç yapısı üzerine önerdiği modelin uygun olduğu düşünülmektedir. Bu modelin doğruluğunun ancak Mars'ta kurulacak bir deprem ağı ile sınanması gerekmektedir. 1976 yılında böyle bir ilk deneme Viking Mars araştırmacısı tarafından denenmiş fakat başarılı olamamıştır (Anderson et al. 1977). 2018 yılında Mars'a INSIGHT adlı bir başka gözlem aracı indirilmiş ve şimdiye kadar 600'e yakın kayıt alınmıştır (NASA



Şekil 2. Mars'ın iç yapısı ve yerçekim ivmesi, elastik dalga hızları ve yoğunluğunun derinlikle dağılımı. (Aydan 2017, 2019)

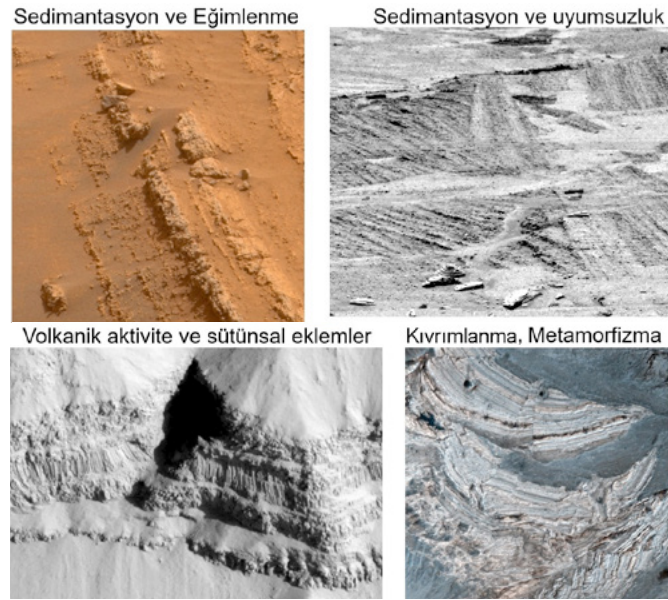
2019). Ancak, bu istasyon 3 bileşenli ölçüm yapmasına rağmen elde edilecek sonuçlar Mars'ın iç yapısının anlaşılmasında yeterli değildir.

Mars'ın kabuğu silikatlardan oluştuğu ve kalınlığının 10-50 km olduğu ve yerküreye benzer olarak Fe-Mg silikatlardan oluşan kalınlığı 1939-1979 km olan mantodan oluştuğu varsayılmaktadır. Metalik Fe'den oluşan Çekirdek ise 1250 km yarıçapında ve çekirdek ile manto arasında kalınlığı 150 km olan bir geçiş zonu olduğu düşünülmektedir.

3. Jeoloji ve tektonik

Mars'ın yüzey jeolojisi USGS, Scott ve Carr (1978) ile NASA'nın MOLA verisi kullanılarak belirlenmiştir (NASA 2008, 2019). Yüzey jeolojisi volkanik kayalar, (örneğin bazalt, andezit, tüff, breş) ve sedimanter kayalardan oluşmaktadır. Metamorfik kayaların varlığı tartışmalı olmakla birlikte var olan faylanma, kıvrımlanma, yanardağlar ile büyük kraterlerin varlığı düşünüldüğünde metamorfik kayaların da bulunması gerekir (Şekil 3 ve 4).

Yerküre ile karşılaştırıldığında, Mars'ta tektonik yapılar daha az belirgindir. Ancak Mars'ın güney yarımküresi oldukça dağlık ve engebeli olup, kuzey yarımküresi ise daha az engebeli ve düze ya-

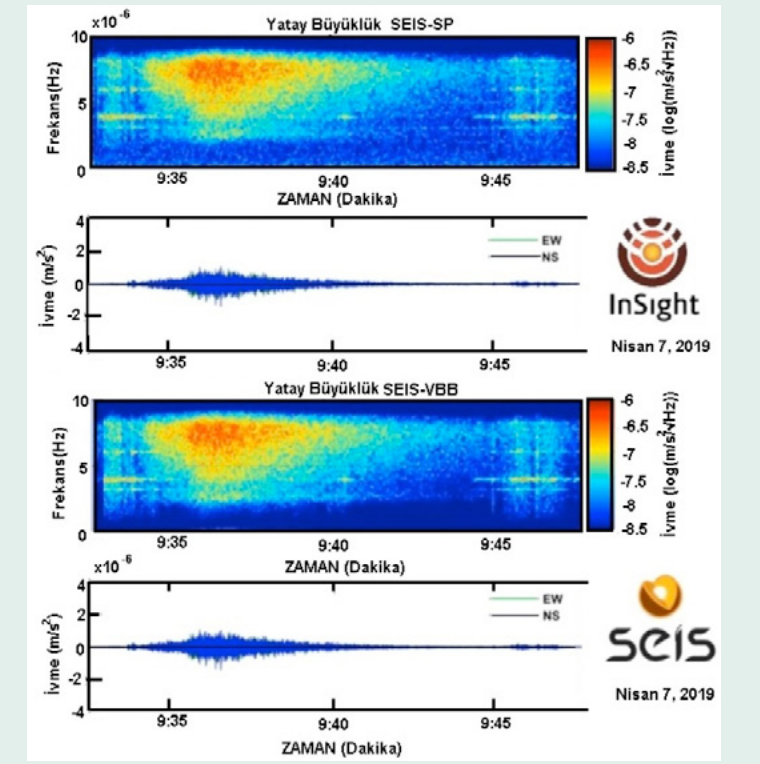


Şekil 4. Sedimentasyon, kıvrımlanma, metamorfizma, volkanik ve sütümsal yapılar. (NASA (2008-2019) MARS uydü görüntülerinden yararlanarak yazarın yorumlaması).

kın bir topoğrafyaya sahiptir. Dolayısıyla kuzey ve güney yarımkürelerin dokanak bölgesinde yerküreye benzer büyük bir tektonik yapının varlığı söz konusudur. Bu bölgede volkanik yapıların ve açılma zonlarının bulunması bu öngörüğü desteklemektedir.

4. Depremsellik ve Mars depremleri

Ay'da geçmişte yapılan depremsellik çalışmalarında Ay'da da depremlerin olduğu belirlenmiştir (örneğin Aydan, 2017, 2019; Toksöz ve Hsui, 1977). Aydan (2017) tarafından Mars'ta da benzer şekilde depremlerin oluşabileceğini ve Mars depremlerinin oluşum mekanizmasının göktaşı düşmesi, ısısal genleşme ve büzülme, yanardağ patlamaları, büyük ölçekte kütle hareketleri, tektonizma ve Güneş etrafında günlük ve yıllık dönmeden kaynaklanabileceğini öngörülmüştür. Mars'a 2018'in Kasım ayında inen INSIGHT Mars araştırıcı ve gözlem cihazı tarafından Mars depremi olarak adlandırılacak depremlerin meydana geldiği gözlenmiştir. Mars'ta 7 Nisan 2019 tarihinde alınan deprem kaynaklı sarsıntı kaydı Şekil 5'te gösterilmiştir. Bunun yanı sıra,



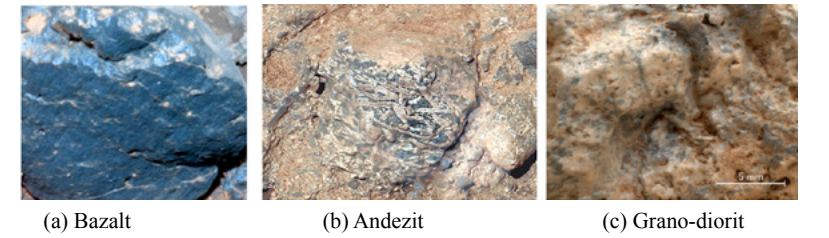
Şekil 5. INSIGHT'in deprem kayıt cihazı ve 2019 Nisan 7'de alınan kayıt örneği (NASA-News 2019'dan uyarlanarak).

sarsıntılara bağlı olarak kaya düşmeleri vb. duraysızlıklarının meydana geldiği ve bunların varlığı Mars çevresine yerleştirilen uydulardan alınan görüntülerde de belirlenmiştir (örneğin Aydan 2017, 2019; Brunetti 2014, Crosta vd.

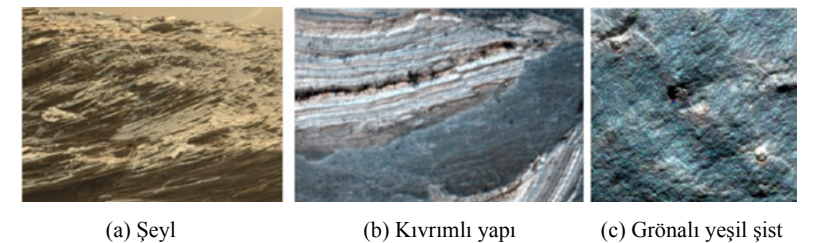
2014). Mars'taki depremlerin büyüklüğü de oldukça önemli olup, gelecekte Mars'ta yapılacak yapılar ve madencilik faaliyetleri açısından da ek çalışmalar gereklidir.

5. Kayalar ve süreksizlikler

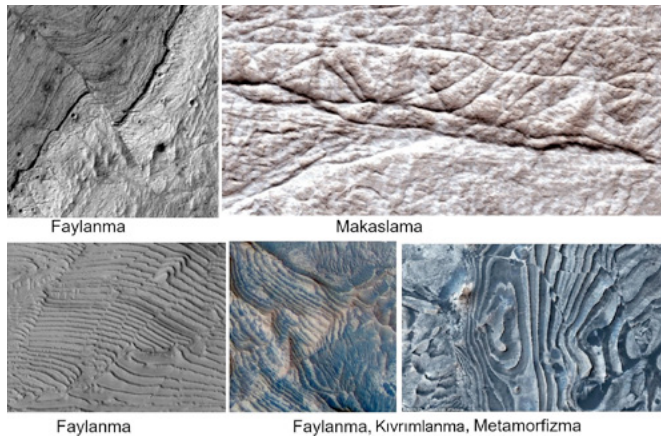
Mars'ın yerküreye çok benzer olması ve günümüze kadar alınan birçok görüntü ve incelemelerden Mars'taki kayaları da magmatik, sedimanter ve metamorfik olarak sınıflandırmak mümkündür. Şekil 6, 7 ve 8'de yazar tarafından sınıflandırılmış kaya örnekleri gösterilmiştir. Bunun yanı sıra, NASA'nın Mars araştırıcı robotları (Opportunity, Spirit, Curiosity) kayalar üzerinde delme dahil birçok şekilde jeokimyasal incelemeler ve analizler yapmıştır. Şu ana kadar yapılan birçok incelemede, sedimentar kayaların çakıltası, kumtaşı ve çamurtaşından, magmatik kökenli kayaların ise basalt ve ande-



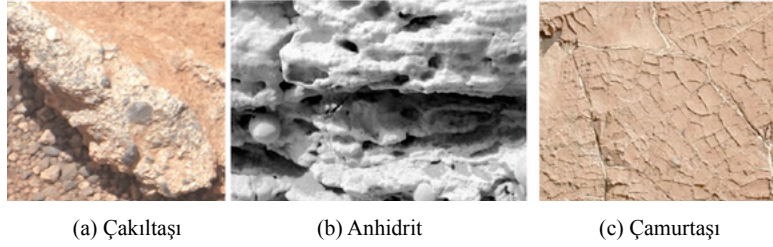
Şekil 6. Volkanik kayalar. (NASA (2008-2019) MARS uydü görüntülerinden yararlanarak yazarının yorumlaması)



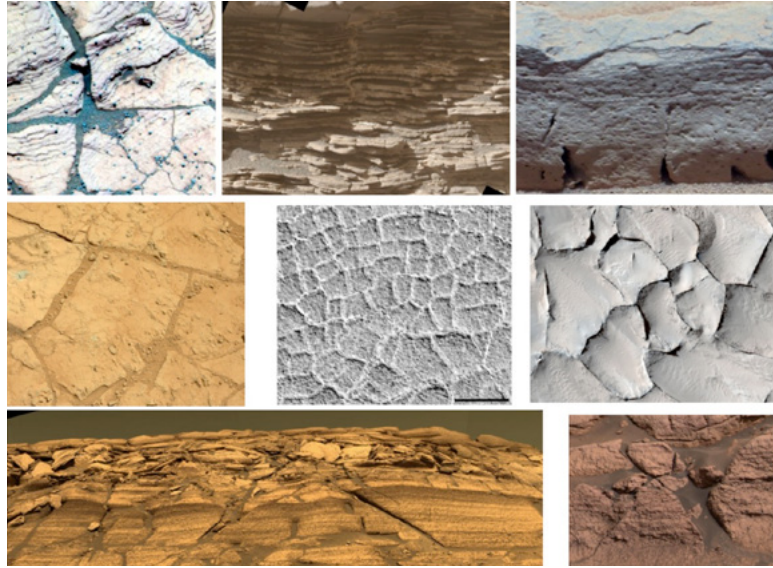
Şekil 7. Metamorfik kayalar. (NASA (2008-2019) MARS uydü görüntülerinden yararlanarak yazarının yorumlaması)



Şekil 3. Büyük ölçekte faylanma, makaslama, kıvrımlanma ve metamorfizma yapıları (NASA (2008-2018) MARS uydü görüntülerinden yararlanarak yazarın yorumlaması).



Şekil 8. Sedimanter kayaçlar (NASA (2008-2019) MARS uydu görüntülerinden yararlanarak yazarının yorumlaması)



Şekil 9. Süreksizlik örnekleri. (NASA (2008-2019) MARS uydu görüntülerinden yararlanarak yazarının yorumlaması).



Şekil 10. Mars kayaçlarının süreksizliklerinde görülen dolgular (NASA (2008-2019) MARS uydu görüntülerinden yararlanarak yazarının yorumlaması)

zit olarak tanımlanabilecek silikatlı bazaltlardan oluştuğu görülmüştür. Gale krateri yakın civarında Curiosity Mars araştırmacı robotu tarafından yapılan değerlendirmelerde grano-diyorit in varlığıda belirlenmiştir. (Şekil 6(c)) (NASA 2008, 2019). Metamorfik olarak düşük metamorfizma ürünü şeyl ile göktaşı çarpmasından kaynaklanan yüksek sıcaklık ve basınç metaformizması ürünü olduğu düşünülen şistlerin varlığı da görülmüştür (Şekil 6a-b).

Bunun yanı sıra, söz konusu kayaçların doğal oluşumundan kaynaklanan tabakalanma yüzeyleri, kuruma, kıvrım-

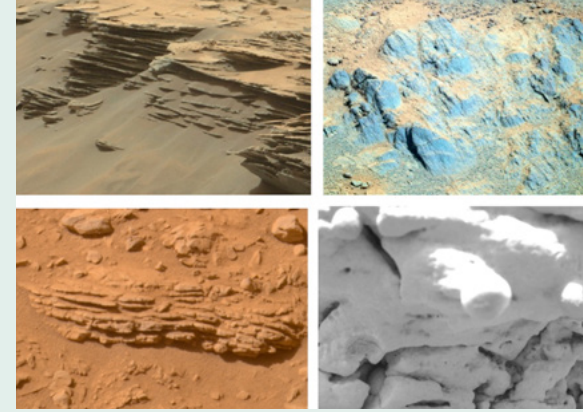
lanma, soğuma çatlakları ile akma düzlemleride (flow plane) gözlenmiştir. Şekil 9'da Mars'taki kayaçlarda gözlenen süreksizlikler gösterilmiştir.

Şekil 10'da görüldüğü gibi, Mars'taki geçmişteki çevresel koşulların günümüzdeki koşullardan oldukça farklı olduğu, süreksizliklerin dolgu malzemesinin varlığından anlaşılmaktadır. Dolgular dünyadaki süreksizliklerde görülenlere oldukça benzer olup, yapılan jeo-kimyasal incelemelerden kalsiyum sülfat (anhidrit), kalsiyum karbonat (kalsit) ve boronlardan oluştuğu belirlenmiştir.

6. Mars kayaçlarında bozunma

Mars kayaçlarında görülen bozunma olgusu geçmişteki ortam ile şu andaki çevresel koşullarda dünyadakinden farklı olacaktır. Mars'taki yüzey şekilleri ve kayaçlardan, göllerin, okyanusların, denizlerin ve büyük nehirlerin varlığı anlaşılmıştır. Şu andaki sıcaklık koşulları nedeniyle varolan suyun buz şeklinde özellikle kutupta ve derin vadilerde buzullar olarak varolabileceğini düşünmek oldukça doğaldır. Yapılan sıcaklık ölçümlerinden günlük sıcaklık değişimi 80°C'ye ulaşmaktadır (Aydan 2017, 2019; NASA 2008, 2019). Mars'ın atmosferinde bulunan karbondioksit kış aylarında kar veya dona benzer bir şekil almakta, belirli sıcaklıkta sıvı şeklinde bulunmakta veya gaz haline dönüşmektedir. Dolayısıyla yerküreden farklı olarak gözeneklerde varolabilecek su gibi bir sıvının pek olmaması nedeniyle donma-çözünme gibi bir olgu güncel koşullarda pek beklenemez. Dolayısıyla Mars'taki kayalardaki bozunma olgusu sıcaklık değişimi ile rüzgara bağlı olarak gelişen ısı ve fiziksel bozunmanın sonucudur. Bunun yanı sıra, Şekil 11'in sağ alt

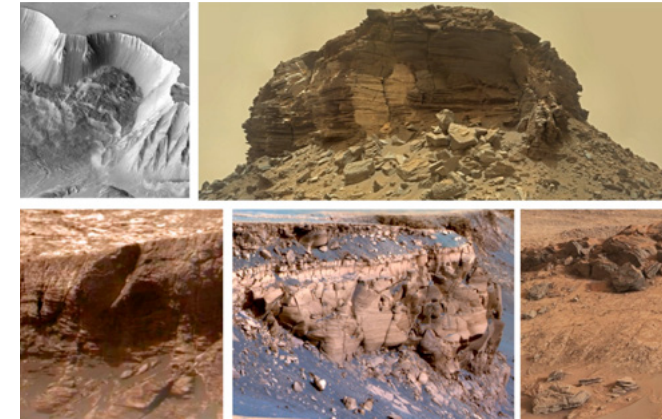
köşedeki resimde görüldüğü gibi kısmen kimyasal erime de söz konusudur. Şekil 11 Mars'taki kayaçlarda görülen bozunma durumunu göstermektedir.



Şekil 11. Mars'taki kayaçlarda görülen bozunma türlerinden görüntüler (NASA (2008-2019) MARS uydu görüntülerinden yararlanarak yazarının yorumlaması)

7. Yamaç Duraysızlıkları

Yerküredeki duruma benzer olarak Mars'ta da yamaç duraysızlıkları gözlenmiştir. Özellikle Valles Marineris bölgesindeki açılma zonlarında yüksekliği birkaç km'ye ulaşan yamaç duraysızlıklarının varlığı bilinmektedir (Schultz, 2002; Neuffer ve Schultz, 2006). Şekil 12'de Mars'ta rastlanılan ya-

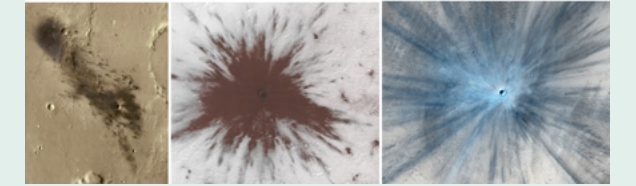


Şekil 12. Mars'ta görülen kütle hareketlerine örnekler (NASA (2008-2019) MARS uydu görüntülerinden yararlanarak yazarının yorumlaması)

maç duraysızlığı örneklerinden görüleceği üzere yer yüzündeki yamaç duraysızlığı türlerine benzer olarak; devrilme, düzlemsel ve kama türü kütle hareketleri görülmektedir (Aydan 1989). Ayrıca kumtaşı ve çamurtaşı ardalanmasından oluşan yamaçlarda topuk aşınması sonucu devrilme türü duraysızlıklar da oldukça yaygındır.

8. Göktaşı düşmesi ve sarsıntıya bağlı kütle hareketleri

Yerküreye benzer olarak, diğer gezegenler ve uydularında da zaman zaman göktaşı düşmeleri gözlenmektedir. Yerküre'nin atmosferinin kalın olması nedeniyle söz konusu bu tür olgular dünyada ender görülmekle birlikte, Mars'ta bu olgu oldukça yaygın olarak gözlenmektedir. Şekil 13'te son yıllarda meydana gelen göktaşı düş-



Şekil 13. Son yıllarda Mars'ta gözlenen güncel göktaşı düşmeleri (NASA (2008-2019) MARS uydu görüntülerinden yararlanarak yazarının yorumlaması).

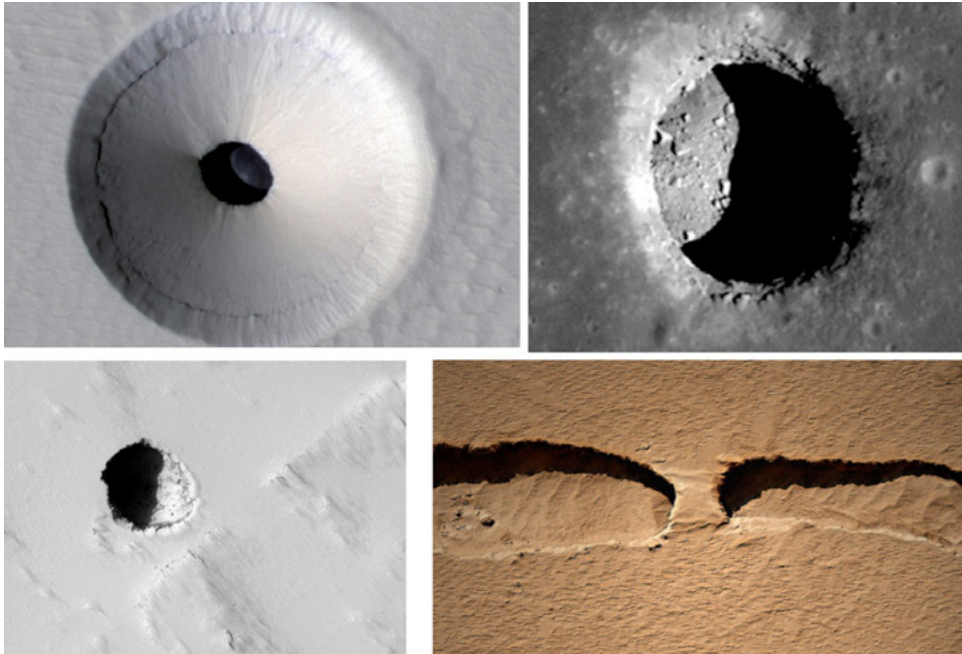
melerinden bazı güncel örnekler verilmiştir. Şekil 14(a)'da göktaşının düşmesi sonucu veya bir Mars depremi sonucu kaymış kaya bloğu da gösterilmiştir. Şekil 14(a)'daki kaya bloğunun kayma miktarı 675 cm ve yüzeyin eğimi 23.5 derecedir. Japonyadaki Fuji Dağından alınmış bazaltın süreksizlik yüzeyinde yapılan sürtünme deneyinden elde edilen sürtünme açısı değeri 30 dereceli kullanılarak yapılan analizde kaymanın gerçekleşmesi için gerekli en yüksek ivme değeri 44.12 cm/s² olarak hesaplanmıştır (Aydan 2012, 2017, 2019). Bu analizlerde sarsıntı çok kısa süreli bir darbe şeklinde olduğu varsayılmıştır. Böyle bir ani darbe yükü için yakın kaynaklı 3.8-3.9 büyüklüğünde bir deprem yeterli olacaktır.



Şekil 14. Mars'ta gözlenen kaya bloğu kayması ve mekanik modeli (Aydan 2017, 2019).

9. Obruklar (Göçükler)

Obruk ve/veya göçükler yerkürede birçok yerde görülmekte ve karbonatlı ve sülfatlı (evaporatik) kayalar ile volkanik kayalarda gözlenmektedir.



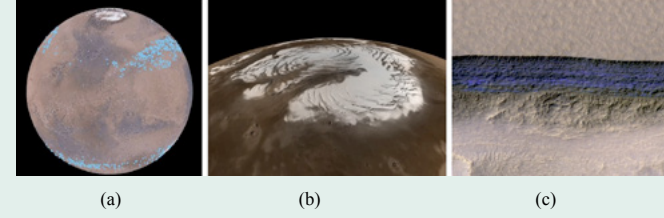
Şekil 15. Marsta oluşmuş obruklar ve göçükler (NASA (2008-2019) MARS uydu görüntülerinden yararlanarak yazarın yorumlaması)

Mars'ta eriyebilen (karstik) kayalarda obruk oluşumu konusunda henüz herhangi bir örnek bilinmemekle birlikte, volkanik kaya ortamlarında obruk ve volkanik tünellerin oluştuğu uydudan alınan görüntülerden anlaşılmıştır (Şekil 15). Yerkürede özellikle bazaltik lav akıntılarında eğimli arazide lavanın üst kısmının çabuk soğuması ve alttaki sıvı lavanın akması sonucu volkanik tüneller oluşmaktadır. Aynı durum Mars'ta da açık bir şekilde görülmektedir. Bunun yanı sıra, benzer olguların açılma bölgelerinde de oluşma olasılığının oldukça yüksek olduğu söylenebilir.

10. Mars'ta Suyun Varlığı

Mars'ta suyun varlığı Mars'ta insanoğlunun yaşaması için oldukça gerekli yaşam unsurlarından biridir. Mars'ın atmosferinde günümüzde su olmadığı için geçmişte var olduğu kesin olan suyun ne olduğu bilim insanları için en büyük sorun olmakta ve Mars'ta yapılan araştırmaların bir kısmı suyun varlığı üzerine yoğunlaşmıştır. Mars giderek soğuduğu ve atmosferi incelendiği için eskiden var olan suyun bir kısmı uzaya dağılmıştır. Bir kısmı ise günümüz koşullarındaki

sıcaklık gözönüne alınarak buzlaştığı varsayılmaktadır. 6. nolu bölümde belirtildiği gibi Mars'ta suyun kutup bölgelerinde ve derin vadilerde bulunduğu düşünülmektedir. Şekil 15'te suyun bulunma durumu gösterilmiştir. Mars'taki su kütlesi donmuş buzullar şeklindedir. Şekil 15(a)'da Kuzey kutbunun yanı sıra Mars'ın ekvatoruna yakın bölgelerde muhtemel su kütleleri mavi renkli olarak işaretlenmiştir. Şekil 15(b) ise Güney kutbunda buzların



Şekil 16. Mars'ta suyun bulunma durumları. (a) Kutup ve derin vadilerin dağılımı; (b) Güney kutbunda buzullar; (c) Kuzey kutbunda donmuş su kütlesi. (NASA (2008-2019), ESA(2019), MARS uydu görüntülerinden yararlanarak yazarın yorumlaması).

durumunu göstermektedir. Son yıllarda değişik uzaktan algılama yöntemleri kullanılarak kutuplardaki suyun kalınlığı konusu araştırılmış ve söz konusu bölgede üstteki toprak örtüsünün altında yaklaşık 1500 m kalınlığında olduğu tahmin edilmiştir (ESA, 2019). Şekil 13'ün orta resminde güney kutbunda buzul bir bölgeye düşen bir göktaşının oluşturduğu çarpma sonucu meydana gelen saçınmayı göstermektedir. Bu saçınmadan sıvı şeklinde kütlenin çarpma bölgesine yayıldığı görülmektedir.

11. Mars'ta Maden Yataklarının Varlığı

Girişte belirtildiği üzere insanoğlu, yerküredeki doğal maden zenginliklerinin giderek azalması ve yerküre dışındaki gezegen ve uydularının yapısının araştırılması konusuna karşı olan ilgisi bu çok masraflı araştırma projelerinin itici gücünü oluşturmaktadır (e.g. Fuller ve Head, 2003; Landis, 2009; West ve Clarke, 2010; Pirajno, van Kranendonk, 2005; Susko vd. 2017). Bu kapsamda Mars'taki maden yataklarının varlığı için yerkürede olduğu gibi uydular aracılığı ile elektro-manyetik, gravite, kızılötesi ışınlar gibi değişik uzaktan algılama yöntemleri kullanılarak muhtemel maden yatakları kısmen araştırılmış ve daha da araştırılmaya devam edilmektedir. Mars'ta sokulumlar, volkanik aktiviteler, Şekil 10'da görüldüğü gibi hidro-thermal dolgular, göktaşı düşmesi sonucu meydana gelen krater'ler (çukurluklar), tektonik hareketler, kıvrımlanma, metamorfizma, sedimentar gibi birçok yapısal jeolojik olguların varlığı yerküreye benzer şekilde maden yataklarının oluşturduğuna şüphe yoktur. Mars araştırmacı robotları Opportunity, Spirit, Curiosity birçok kayada kısa sondajlar ve jeo-kimyasal

analizler yapmışlardır (e.g. Arvidson et al. 2015, Crumpler et al. 2017). Fakat bu araştırmalar çok sınırlı olduğu için ek inceleme ve araştırmalar gerekmektedir.

12. Sonuçlar ve gelecekteki yapılması gereken çalışmalar

Mars'ın kayaları yerküredeki kayalara oldukça benzerdir. Dolayısıyla yerküre kayaları ve ortamları için geliştirilmiş birçok yöntem ve teknoloji Mars'ın yerçekimi ve çevresel koşulları gözönüne alınarak Mars'ta da kullanılabilir. Büyük bir olasılıkla yerküre için geliştirilen birçok yöntem ve teknolojiyi diğer gezegenlerde ve uydularda gelecek nesillerin uygulaması ve geliştirmesi çok doğal bir sonuç olacaktır. Bundan sonra Mars'la ilgili olarak yapılması gereken çalışmaların bir kısmı aşağıdaki gibi özetlenebilir.

a) Görgül, kuramsal ve sayısal yöntemler kullanılarak Mars'ın gerilme durumu incelenmeli ve gelecekte yapılacak gerilme ölçümleri ile sinanmalıdır.

b) Yerküredeki dağlarla karşılaştırıldığında, Mars'ta dağların neden yüksek olduğunun gerekçesi ortaya konmalıdır.

c) Yerküreye göre tektonizmanın derecesinin düşük olma nedeni açıklığa kavuşturulmalıdır.

d) Mars'tan getirecek örnekler üzerinde veya Mars'ta yapılacak deneylerle kayaların, süreksizliklerin ve kaya kütlelerinin mekanik, ısı ve hidrolik/hidrojeolojik özellikleri incelenmelidir.

e) Mars'taki kayalarda bozunmanın etkisi incelenmelidir.

f) Mars'taki depremlerin büyüklüğü ve inşa edilecek yapılar ile madencilğe olan etkileri araştırılmalıdır.

Teşekkür

Yazar Mars'ta kullanılan araştırıcı robotları geliştiren ve elde eden verileri ulaşılabilir duruma getiren NASA'ya ve bu çalışmalarda emeği geçen ilgili kişilere en içten teşekkürlerini sunar. Burada kullanılan birçok görüntüler Mars araştırıcı robotları Opportunity, Spirit, Curiosity ve diğer uydular tarafından alınmış ve ilgilenen herkesin kullanımına sunulmuştur. Belirtilen görüşler tamamen yazarın kendisine aittir. Verilere <https://mars.nasa.gov/mer/gallery/images.html>'den ulaşılabilir. NASA ham verilerinin değerlendirilmesinde ve yorumlanmasında Arizona Üniversitesi'nin 'Lunar and Space' Laboratuvar ile California Teknoloji Enstitüsü'nün 'Jet Propulsion' Laboratuvarları, ABD'nin burada ismi belirtilmeyen birkaç Üniversitesi ile iş birliği yapmaktadır. İsimleri belirtilen kuruluşlarında değerlendirdiği ve bu yazıda yararlanan bazı görüntülere ulaşmak mümkün olup, ilgili kuruluşların internet sayfaları şu şekildedir:

JPL: [Jet Propulsion Laboratory- https://www.jpl.nasa.gov/](https://www.jpl.nasa.gov/)

University of Arizona University Space Observatory: Lunar and Space Laboratory: <https://www.uahirise.org/>

Kaynaklar

- Anderson, D. L., Miller, W. F., Latham, G. V., Nakamura, Y., Toksöz, M. N., Dainty, A. M., Duennebier, F.K., Lazarewicz, A.R., Kovach, R.L., Knight, T. C. D.(1977). Seismology on Mars. Journal of Geophysical Research, 82(28), 4524-4546.
- Arvidson, R., et al. 2015. Recent Results from the Opportunity Rover's Exploration of Endeavour Crater, Mars. 46th Lunar and Planetary Science Conference. 1118.pdf
- Aydan, Ö., 1989. The Stabilisation of Rock Engineering Structures by Rockbolts. Doctorate Thesis, Nagoya University, Faculty of Engineering.
- Aydan, Ö. (2012): Ground motions and deformations associated with earthquake faulting and their effects on the safety of engineering structures. Encyclopedia of Sustainability Science and Technology, Springer, R. Meyers (Ed.), 3233-3253.
- Aydan, Ö. 2017. Some Thoughts About Rock Mechanics Aspects of Mars. UNSW, 3rd Off Earth Mining Forum -2017OEMF, <https://www.youtube.com/watch?v=p2xOrV3rNro>.
- Aydan, Ö. (2019). Rock Mechanics and Rock Engineering: Fundamentals. CRC Press, Taylor and Francis Group, 406p.
- Aydan, Ö. (2019). Rock Mechanics and Roc Engineering: Appli-

cations. CRC Press, Taylor and Francis Group, 410p.

- Brunetti, Maria. (2014). Statistics of terrestrial and extraterrestrial landslides. Doctoral Thesis, Università Degli Studi di Perugia, 10.13140/2.1.4107.3444, 109p.
- Crosta, G.B., Utili, S., Blasio, F.V., Riccardo Castellanza, R. (2014). Reassessing rock mass properties and slope instability triggering conditions in Valles Marineris, Mars. Earth and Planetary Science Letters, 388, 329-342.
- Crumpler, L., R. Arvidson, W. Farrand, M. Golombek, J. Grant, D. Ming, D. Mittlefehldt, T. Parker. 2015. Opportunity In Situ Geologic Context of Aqueous Alteration Along Offsets in the Rim of Endeavour Crater. 46th Lunar and Planetary Science Conference. 2209.pdf
- Europe Space Agency (ESA) (2019). Mars Express. <https://sci.esa.int/>
- Fuller, E.R., Head, J.W., 2003. Olympus Mons, Mars: detection of extensive preareole volcanism and implications for initial mantle plume behavior. Geology 31, 175-178.
- Johnston, D.H., Toksöz, M.N., 1977. Internal structure and properties of Mars. Icarus 32, 73-84.
- Landis, G.A., 2009. Meteoritic steel as a construction resource on Mars. Acta Astronautica 64, 183-187.
- NASA (1997).Apollo Mission. Astronomy Picture of the Day: Apollo 17 - Boulder on the Moon. <https://apod.nasa.gov/apod/ap970905.html>
- NASA 2008. Exploration: NASA's plans to explore the moon, mars and beyond. <http://www.nasa.gov/>
- NASA 2019: Images. <https://mars.nasa.gov/mer/gallery/images.html>
- NASA-News, 2019: NASA's InSight Detects First Likely 'Quake' on Mars. InSight Mission. <https://mars.nasa.gov/news/8430/>
- Neuffer, P.D., Schultz, R.A., 2006. Mechanisms of slope failure in Valles Marineris, Mars. Q. J. Eng. Geol. Hydrogeol. 39 (3), 227-240.
- Pirajno, F., van Kranendonk, M.J., 2005. Review of hydrothermal processes and systems on Earth and implications for Martian analogues. Australian Journal of Earth Sciences 52, 329-351.
- Schultz, R.A., 2002. Stability of rock slopes in Valles Marineris, Mars. Geophys. Res. Lett. 29, 1932.
- Scott, David H., and Carr, Michael H. (1978). Geologic Map of Mars: U.S. Geological Survey Investigations Series I-1083, scale 1:25000000, <http://pubs.er.usgs.gov/publication/i1083>
- Sohl, F., Spohn, T., 1997. The interior structure of Mars: Implications from SNC meteorites. J. Geophys. Res. Planets 102 (E1), 1613-1635.
- Susko, D. S Karunatillake, G. Kodikara, J. R. Skok, J. Wray, J. Heldmann, A. Cousin, T. Judice. A record of igneous evolution in Elysium, a major martian volcanic province. Sci. Rep. 7, 43177; doi: 10.1038/srep43177 (2017).
- Toksöz, M.N., Hsui, A.T., 1978. Thermal history and evolution of Mars. Icarus 34 (3), 537-547.
- USGS (2020). Geologic Map of Mars. <https://pubs.usgs.gov/sim/3292/>
- West, M. D., Clarke, J. D.A. (2010). Potential martian mineral resources: Mechanisms and terrestrial analogues. Planetary and Space Science, 58, 574-582.

BİLİMSEL TOPLANTILAR

Uluslararası Bilimsel Toplantılar (2020-2021):

Adı: 6th World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium – WMESS 2020
Tarih: 7-11 Eylül 2020
Yer: Prague, Czech Republic

Adı: 12th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions – SAHC 2020
Tarih: 16-18 Eylül 2020
Yer: Barcelona World Trade Center, Spain

Adı: 3rd European Regional Conference of IAEG
Tarih: 8-12 Nisan 2021
Yer: Athens, Greece

Adı: 1st Mediterranean Symposium on Landslides
Tarih: 7-9 Haziran 2021
Yer: Napoli, Italy

Adı: 36th International Geological Congress
Tarih: 16-21 Ağustos 2021
Yer: Delhi, India

Ulusal Bilimsel Toplantılar (2020-2021):

Adı: Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği 18. Ulusal Konferansı
Tarih: 1-2 Ekim 2020
Yer: Kayseri

Adı: 73. Türkiye Jeoloji Kurultayı
Tarih: 5-9 Ekim 2020
Yer: MTA Genel Müdürlüğü Kültür Sitesi, Ankara

Adı: 5. Kent Araştırmaları Kongresi
Tarih: 7-9 Ekim 2020 Online
Web: kentarastirmalari.org/icus2020

Adı: 5.International Engineering and Natural Sciences Conference-IENSC 2020
Tarih: 4-6 Kasım 2020
Yer: Diyarbakır, Türkiye
Web: www.inesegconferences.org/iensc

Adı: 10. International Drilling and Blasting Symposium
Tarih: 24-25 Kasım 2020
Yer: Granada Luxury Hotel, Antalya Türkiye

Adı: Uluslararası Katılımlı 6.GAP Zirvesi Kongresi
Tarih: 4-6 Aralık 2020
Yer: Şanlıurfa, Türkiye
Web: www.gapzirvesi.org

Adı: 9. Türkiye Deprem Mühendisliği Konferansı
Tarih: 2-4 Haziran 2021
Yer: İTÜ Süleyman Demirel Konferans Merkezi, İstanbul

Adı: 4. Ulusal Mühendislik Jeolojisi ve Jeoteknik Sempozyumu
Tarih: 21-23 Ekim 2021
Yer: İTÜ Süleyman Demirel Konferans Merkezi, Maslak-İstanbul
Web: <http://muhjeo2019.itu.edu.tr>

Adı: Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu
Tarih: Eylül 2021
Yer: Süleyman Demirel Üniversitesi MF Maden Mühendisliği Bölümü Isparta/Türkiye
Web: <http://kayamek2019.sdu.edu.tr>



MÜHENDİSLİK JEOLJİSİNİN UYGULAMA ALANLARI

“Mühendislik Jeolojisi”; jeolojik verinin, tekniklerin ve prensiplerin kaya ve zemin malzemeleri ile yüzey ve yeraltı sularına uygulanması ve yerle ilgili teknik girişimlerin bu malzemelerle ve doğal çevreyle olan etkileşimi konusunda rol oynayan jeolojik faktörlerin belirlenmesi, yorumlanması ve bunların mühendislikte uygulanması amacıyla mühendislik bakış açısıyla sunulması işlevini yerine getiren jeoloji mühendisliğinin bir dalıdır.

“Mühendislik Jeologu” ise, jeolojik çevrede gözlenmiş ve/veya ölçülmüş bilimsel veriyi mühendislik bakış açısıyla değerlendirerek, amaçlanan mühendislik projesinin tasarım, inşaat ve bakım aşamalarını olumsuz yönde etkileyebilecek fiziksel faktörleri ve ortam davranışını belirleyen ve teknik girişim ile doğa arasındaki etkileşimi araştırıp bunları ilgili yer mühendisliği alanına aktaran bir uzmanlık dalıdır.

SU YAPILARI



Hoover Barajı (ABD)
(salgit.com)

Keban Barajı
(Foto: R. Ulusay)



Jeolojik yapı nedeniyle yıkılmış bir baraj
(St. Francis Barajı, ABD) (web.mst.edu)



Deprem nedeniyle yıkılmış bir baraj
(Towhata, 2008)

Baraj, gölet ve HES'ler için temel etütleri, mühendislik jeolojisi haritaları, şev duraylılığı çalışmaları, derivasyon tüneli ve dolusavaklarda mühendislik jeolojisi etütleri ve enjeksiyon çalışmaları

YER ALTI KAZILARI



Ankara-Istanbul otoyolu
Bolu Tüneli girişi

Bir yeraltı santrali kazısı

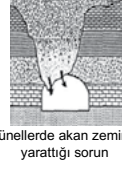
Tünel açma makinesi (TBM)
ile kazı



Tünel açma makinesi (TBM)
Kazı öncesi yerleştirme işlemi



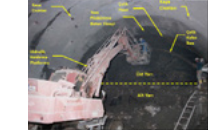
İstanbul Karayolu Tünel Projesi
(Yapı Merkezi İnşaat A.Ş.)



Tünelde akan zeminin
yarattığı sorun



Tünelde şemsiye blonlama ile
destekleme (Arioğlu, 2007'den)



Tünelde destek sistemlerinin
uygulanması (Arioğlu, 2002)



Tünel girişinde şev
duraysızlık sorunu



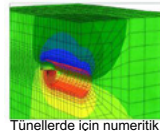
Tünelde kaya patlaması sorunu



Şişen kilin tünelde neden
olduğu taban kabarması



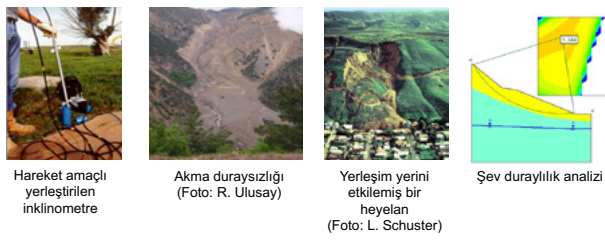
Sıkışan tünel koşulu



Tünelde için numerik
analizler

Tünel, metro, galeri vb. gibi yeraltı yapıları yapıları için güzergahı etütleri, jeo-mühendislik parametrelerinin belirlenmesi, kaya kütle sınıflaması, analizler, destek sistemlerinin seçimi, modelleme vb. çalışmalar

ŞEV DURAYLILIĞI VE HEYELANLAR



Hareket amaçlı
yerleştirilen
inklinometre

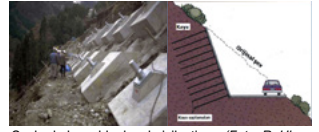
Akma duraysızlığı
(Foto: R. Ulusay)

Yerleşim yerini
etkilemiş bir
heyelan
(Foto: L. Schuster)

Şev duraylılık analizi



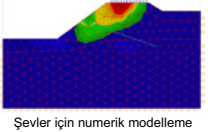
Kaya düşmelerine karşı tel
kafesle koruma önlemi



Şevlerde kaya blonlarıyla iyileştirme (Foto: R. Ulusay)



Bir açık işletmede şev duraysızlığı
(Foto: R. Ulusay)



Şevler için numerik modelleme
örneği



Şevlerin kinemataik analiz



Akma için heyelan duyarlılık
haritası (Çan vd., 2005)



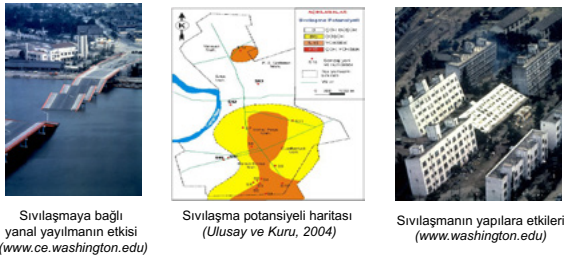
Heyelan gelişiminde jeolojik
faktörlerin etkisi



Şevlerde hareket izleme
çalışmaları

Arazi çalışmaları, duraysızlık modelinin belirlenmesi, hareket izleme çalışmaları, kinematik, analitik ve nümerik şev duraylılık analizleri, şev iyileştirme-koruması, heyelan duyarlılık-tehlike-risk haritalarının hazırlanması, heyelan erken uyarı sistemlerinin oluşturulmasına yönelik çalışmalar

DEPREMLER



Sıvılaşmaya bağlı
yanal yayılmanın etkisi
(www.ce.washington.edu)

Sıvılaşma potansiyeli haritası
(Ulusay ve Kuru, 2004)

Sıvılaşmanın yapılarla etkileri
(www.washington.edu)



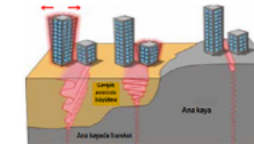
Sıvılaşma potansiyeli haritası
(Erdik vd., 2002)



Depremlerin tetiklediği heyelanlar
(Foto: Ö. Aydan)



Sıvılaşmanın yapılarla etkileri
(Foto: R. Ulusay)



Depremlerde yerel zemin
(yumuşak zemin etkileri)

Sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi, mikrobölgeleme çalışmaları, deprem-heyelan ilişkisi araştırmaları

JEOLJİK VE JEOTEKNİK İNCELEMELER



Jeoteknik amaçlı
sondajlar

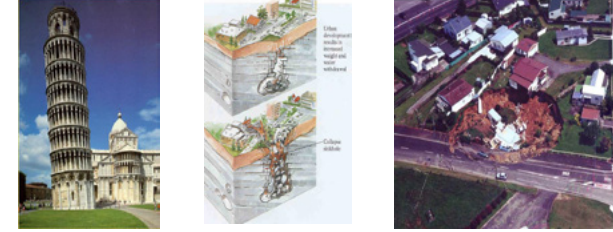
Örnek alımı
(Foto: R. Ulusay)

Arazi deneyleri
(Menard presiyometresi
uygulanması)

Jeomekanik
laboratuvar deneyi

Tüm mühendislik yapıları için jeoteknik sondajların planlanması ve izlenmesi jeoteknik logların hazırlanması, arazide jeolojik ve jeoteknik veri toplama, mühendislik jeolojisi haritalarının hazırlanması, jeomekanik özelliklerin tayini amacıyla arazi ve laboratuvar (kaya ve zemin mekaniği) deneylerinin yapılması

DİĞER JEOLJİK TEHLİKELER İÇİN MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ



Zeminde oturma sonrası
eğilmiş pizza kulesi
(Foto: R. Ulusay)

Karstik boşlukların yerleşim yerlerinde neden olduğu sorunlar
(Foto: L. Skoogfors)

Şişen zeminin yolda neden
olduğu hasar
(Foto: R. Ulusay)

Çökme ve oturma gibi sorunlar ile şişen ve organik zeminler gibi sorunlu jeolojik malzemelerin yanı sıra, karstik ortamların ve kıyılardaki süreçlerin yapılar üzerindeki olumsuz etkilerin azaltılması ile ilgili jeo-mühendislik çalışmaları

YERLEŞİM ALANI VE ULAŞIM YAPILARI İÇİN YER SEÇİMİ

Yerleşim alanları, karayolu ve demiryolu güzergahları, boru hatları, nükleer santral yerleri, her türlü atık depoları ve atık barajlar vd. için yer seçiminde karşılaşılabilecek jeo-mühendislik sorunlarının belirlenmesi ve çözüm önerilerinin üretilmesi ile ilgili çalışmalar.

TARİHİ YAPILARIN KORUNMASI



Korunması gereken kayadan oyma tarihi yapılar
(Kapadokya, Foto: R. Ulusay)

Onarılmış kayadan oyma tarihi
kale (Kapadokya, Foto: R. Ulusay)

Tarihi kaya yapılarında ve doğal taşların kullanıldığı tarihi yapılarda jeo-mühendislik sorunlarının belirlenmesi ve çözüm önerilerinin getirilmesi.

MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ HARİTALARI



Mühendislik jeolojisi
haritası örneği
(Doyuran vd., 1985)

Kazılabilirlik amaçlı bir mühendislik
jeolojisi haritası (Anon, 1976)

Özellikle inşaat ve madencilik uygulamalarında yer seçimi, kazı, tasarım, inşaat ve iyileştirme çalışmalarında esas alınan ve jeolojik çevreyle ilgili gerekli bilgileri özel bir sunum tarzı ile veren ayrıntılı haritalardır.

ZEMİN İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARI



Sıkıştırma enjeksiyonu (solda) ve
taş kolon uygulaması (sağda)

Fore kazık uygulaması
(geo-data.com.tr)

Kireçle zemin iyileştirme
(totaltime.com)

Zeminlerdeki jeoteknik sorunların giderilmesi amacıyla uygulanan enjeksiyon, jet grouting, derin karıştırma, taş kolon, forekazık, ankraj, jeotekstil, jeomembran vb. gibi farklı teknikleri kapsamaktadır.

Jeoloji, Maden ve Cevher Hazırlama Mühendisliği öğrencilerine karşılıksız burs

TİM Maden Sektör Kurulu ve YÖK protokol imzaladı, 3 mühendislik bölümüne asgari ücret tutarında karşılıksız burs verilecek

Burs ve istihdama ilişkin çözümler içeren sanayi-üniversite işbirliği protokolü; TİM Maden Sektör Kurulu ile YÖK arasında on-line düzenlenen tören ile imzalandı. 2020-2021 eğitim ve öğretim yılından itibaren uygulanmaya başlanacak olan protokole göre; üniversite sınavında ilk 50 bine giren ve ilk 5 tercihinde maden, jeoloji veya cevher hazırlama mühendisliklerinden birini tercih eden ve yerleşen öğrencilere aylık Asgari Geçim İndirimi (AGİ) hariç net asgari ücret tutarı kadar burs verilecek. Sınav derecesi 50 bin ile 65 bin arasında olanlara AGİ hariç net asgari ücret tutarının yarısı kadar, 65 bin ile 80 bin arasında olanlara ise AGİ hariç net asgari ücret tutarının üçte biri kadar karşılıksız burs verilecek. Burs miktarı her eğitim ve öğretim yılı başında güncellenecek.

Mühendislik Jeolojisi Derneği Üyeleri

Derneğimizin üye sayısı Haziran 2020 itibariyle, 162'si asil ve 2'si onursal üye olmak üzere, toplam 164'e ulaştı. Bu üye sayısıyla Uluslararası Mühendislik Jeolojisi Birliği (IAEG)'ne üye Avrupa ülkeleri arasında Türkiye üye sayısı itibariyle 4. sıradaki yer almaya devam ediyor. Derneğimize üye başvuruları devam etmekte olup, üye olarak katkı veren meslektaşlarımıza teşekkür ediyoruz.

AD	SOYAD	ÜNVAN	E-POSTA
Erdoğan YÜZER	(Onursal Üye)	Prof. Dr.	erdoganyuzer@gmail.com
S. Okay EROSKAY	(Onursal Üye)	Prof. Dr.	seroskay@gmail.com
Reşat	ULUSAY	Prof. Dr.	resat@hacettepe.edu.tr
Mehmet	EKMEKÇİ	Prof. Dr.	ekmekci@hacettepe.edu.tr mekmekci1303@gmail.com
Emre	BALCIOĞLU	Jeo. Yük. Müh.	emrebalcioglu86@gmail.com
Mehmet İrfan	YEŞİLNACAR	Prof. Dr.	iyesilnacar@gmail.com
Yavuz	KAYA	Arş. Gör.	ykaya@metu.edu.tr
Mustafa Kemal	AKMAN	Jeo. Yük. Müh.	mkakman@yukseproje.com.tr
Ergün	TUNCAY	Prof. Dr.	etuncay@hacettepe.edu.tr
Remzi	KARAGÜZEL	Prof. Dr.	karaguzel@itu.edu.tr
Cüneyt Hüseyin	ŞENTÜRK	Jeo. Yük. Müh.	senturkcuneyt@gmail.com
Emre Aytuğ	ÖZSOY	Jeo. Yük. Müh.	eaozsoy@eskisehir.edu.tr
Yılmaz	MAHMUTOĞLU	Doç. Dr.	yilmazm@itu.edu.tr
Ahmet	KARAKAŞ	Doç. Dr.	akarakas@kocaeli.edu.tr
Aziz	ERTUNÇ	Prof. Dr.	aziz.ertunc@toros.edu.tr
Ali	ÖZVAN	Doç. Dr.	aliozvan@gmail.com
Akın	ÖNALP	Prof. Dr.	a.onalp@iku.edu.tr
Cem	KINCAL	Doç.Dr.	cemkincal2@gmail.com
Mehmet Yalçın	KOCA	Prof. Dr.	yalcin.koca@deu.edu.tr
Mustafa	ÖZER	Doç. Dr.	ozerm@gazi.edu.tr
Ayhan	KOÇBAY	Dr.	ayhankocbay@gmail.com
Gülseren	DAĞDELENLER	Arş. Gör. Dr.	gulsrn@hacettepe.edu.tr
Nurkan	KARAHANOĞLU	Prof. Dr.	nurkan@metu.edu.tr
Mahmut	MUTLUTURK	Prof. Dr.	mahmutmutluturk@sdu.edu.tr
Şakir	ŞİMŞEK	Prof. Dr.	ssimsek@hacettepe.edu.tr
Halil	KUMSAR	Prof. Dr.	hkumsar@pau.edu.tr
Alper	BABA	Prof. Dr.	alperbaba@iyte.edu.tr
Adil	BİNAL	Prof. Dr.	adil@hacettepe.edu.tr
Fikret	KAÇAROĞLU	Prof. Dr.	fkacaroglu@mu.edu.tr
Ali	KAYABAŞI	Doç. Dr.	akayabasi@ogu.edu.tr
Ayberk	KAYA	Doç. Dr.	ayberkkaya@hotmail.com
Fikri	BULUT	Prof. Dr.	fbulut@ktu.edu.tr
Hakan	ERSOY	Doç. Dr.	ersoy@ktu.edu.tr
Mutluhan	AKIN	Doç. Dr.	mutluhanakin@gmail.com, mutluhanakin@nevsehir.edu.tr
Müge	AKIN	Doç. Dr.	mugeakink@gmail.com mugeakink@agu.edu.tr
Eray	ÖZGÜLER	Dr.	yeryapi@gmail.com
Nihat Sinan	IŞIK	Prof. Dr.	nihatsinan@gmail.com
Nihat	DİPOVA	Prof. Dr.	ndipova@akdeniz.edu.tr
Özkan	CORUK	Dr. Öğr. Üyesi	corukozkan@yahoo.com.tr
Yasemin	LEVENTELİ	Dr. Öğr. Üyesi	leventeli@akdeniz.edu.tr

AD	SOYAD	ÜNVAN	E-POSTA
Özgür	AKTÜRK	Doç. Dr	akturko@akdeniz.edu.tr
Atiye	TUĞRUL	Prof. Dr.	tugrulatiye@gmail.com
İbrahim	KUŞKU	Jeo. Yük. Müh.	ibrahim@istanbul.edu.tr
Murat	YILMAZ	Dr. Öğr. Üyesi	yilmazm@istanbul.edu.tr
Ömer	ÜNDÜL	Doç. Dr	oundul@istanbul.edu.tr
Nilsun	HASANÇEBİ	Dr.	nhasancebi@irisgeoteknik.com.tr
Barış	HASANÇEBİ	Jeo. Müh.	barishasancebi@gmail.com; bhasancebi@promotagrup.com
TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası			jmo@jmo.org.tr
Levent	SELÇUK	Doç. Dr	lselcuk@yyu.edu.tr
Necdet	TÜRK	Prof. Dr.	necdet.turk@deu.edu.tr
Hakan	ELÇİ	Doç. Dr.	hakan.elci@deu.edu.tr
Ömer	AYDAN	Prof. Dr.	aydan@tec.u-ryukyu.ac.jp
Işık	YILMAZ	Prof. Dr.	isik.yilmaz@gmail.com
Recep	KILIÇ	Prof. Dr.	rkilic@ankara.edu.tr
Tülay	EKEMEN KESKİN	Doç. Dr	tulayekemen@karabuk.edu.tr
İnan	KESKİN	Doç. Dr	inankeskin@karabuk.edu.tr
Dursun	ERİK	Dr.	dursunerik@gmail.com
Hasan	ÖZASLAN	Jeo. Müh.	hozaslan@yukseproje.com.tr
Koray	ULAMIŞ	Ar. Gör. Dr.	ulamis@ankara.edu.tr
Kemal	KARAKUŞ	Jeo. Müh.	kkarakus@dsi.gov.tr
Orhan	TANER	Jeo. Müh.	taner@jeodizayn.com.tr
Hasan	ARMAN	Prof. Dr.	Hasan.arman@gmail.com
Sedat	TÜRKMEN	Prof. Dr.	sturkmen@cu.edu.tr
Tolga	ÇAN	Prof. Dr.	tolgacan@cu.edu.tr
Orhan	ŞİMŞEK	Dr.	o.simsek@fugrosial.com.tr
Niyazi	ŞENNAZLI	Jeo. Müh.	n.sennazli@fugrosial.com.tr
Mustafa	YILDIRIM	Prof. Dr.	yildir@yildiz.edu.tr
Tamer	TOPAL	Prof. Dr.	topal@metu.edu.tr
Şule	TÜDEŞ	Prof. Dr.	studes@gazi.edu.tr
Celalettin	ŞİMŞEK	Prof. Dr.	celalettin@deu.edu.tr
Okay	GÜRPINAR	Prof. Dr.	okaygurpinar@gmail.com
Cavit	ATALAR	Prof. Dr.	cavitatalar@hotmail.com; cavit.atalar@neu.edu.tr
Serdar	AKER	Dr.	srdkr@gmail.com
Özgür	ACIR	Dr.	ozgur@acitr.net
Onur	KÖROĞLU	Jeo. Yük. Müh.	korogluonur@hotmail.com
Mustafa	KORKANÇ	Doç. Dr	mkorkanc@nigde.edu.tr
Hidayet	TAGA	Doç. Dr.	htaga@mersin.edu.tr; hitaga@gmail.com
Cüneyt	GÜLER	Prof. Dr.	cuneytguler@gmail.com
Kıvanç	ZORLU KENDİR	Doç. Dr.	zorlukivanc@gmail.com
Nazlı	TUNAR ÖZCAN	Araş. Gör. Dr.	ntunar@hacettepe.edu.tr
Doğacan	ÖZCAN	Jeo. Yük. Müh.	dogacan.ozcan@istanbul.edu.tr
Aycan	KALENDER	Jeo. Yük. Müh.	aycancoskun@hacettepe.edu.tr
Tümay	KADAKÇI KOCA	Jeo. Yük. Müh.	tumaykoca@gmail.com
Arzu	FIRAT ERSOY	Doç. Dr	firat@ktu.edu.tr
Evren	POŞLUK	Jeo. Müh.	evrenposluk@gmail.com
Hasan	KARAKUL	Doç. Dr.	hkarakul@gmail.com
Elif	OKUR	Araş. Gör. Dr.	elifceada@gmail.com

AD	SOYAD	ÜNVAN	E-POSTA
Gürhan Rahmi Mehmet	KOÇBAY MESUTOĞLU	Jeo. Yük. Müh. Mad. Yük. Müh.	gur@gurmuhendislik.com mehmetsutoglu@selcuk.edu.tr
İhsan	ÖZKAN	Prof. Dr.	ozkani@selcuk.edu.tr
Hüseyin Hüsnü	AKSOY	Prof. Dr.	haksoy@hacettepe.edu.tr
Emine Mercan	ÖNÜR	Jeo. Müh.	mercanonur@yahoo.com
Candan	GÖKÇEOĞLU	Prof. Dr.	candan.gokceoglu@gmail.com
Hakan Ahmet	NEFESLİOĞLU	Doç. Dr.	hanefeslioglu@gmail.com
Hakan	TANYAŞ	Jeo. Yük. Müh.	htanyas@hotmail.com
Murat	BEREN	Jeo. Müh.	murat.beren@istanbul.edu.tr
Candan	ALPTEKİN BİLEN	Jeo. Yük. Müh.	candanalptekin@gmail.com
Ömer Faruk	APAYDIN	Jeo.Müh.	omerfaruk.apaydin@hotmail.com
Selman	ER	Dr.	selmaner@gmail.com
Sinem	ERİŞİS	Jeo.Müh.	sinemerisis@gmail.com
Seyfettin	ATMACA	Jeo. Müh.	seyfettin.server@gmail.com
Ertan	ER	Jeo.Yük.Müh.	ertaner@gmail.com
Seyfi	KULAKSIZ	Prof. Dr.	seyfi@hacettepe.edu.tr
Mete	ALBAYRAK	Jeo. Yük. Müh.	info@istanbulmuhendislikltd.com.tr
Dilek	KARAPINAR	Jeo. Yük. Müh.	dilekkarapinar@yandex.com
Muharrem	İNANLI	Jeo. Müh.	m_inanli@hotmail.com
Serhat	DEMİR	Jeo. Yük. Müh.	serhatdemir@gmail.com
İsmail	DİNÇER	Doç. Dr.	idincer@gmail.com
Atakan	SÜLER	Jeo.Müh.	atakansuler@gmail.com
Evrin	SOPACI	Dr.	evrimsopaci@gmail.com
Özkan	COŞKUN	Jeo. Müh.	coskunozkan@yahoo.com
Fazıl	KIRAN	Jeo. Müh.	fazilk@stfa.com
Kaler	SÜMERMAN	Jeo. Yuk. Müh.	
Aykut	AKGÜN	Prof. Dr.	aykut.akgun@ktu.edu.tr
Ahmet	ORHAN	Dr. Öğr. Üyesi	ahmet.orhan@nevsehir.edu.tr
Ersin	KOLAY	Doç. Dr.	ersin.kolay@bozok.edu.tr
Mesut Gökhan	GÜMRÜK	Jeo. Müh.	mg-gumruk@hotmail.com
Merve	ŞAHİN	Jeo. Müh.	mrvesahn_@hotmail.com
Sina	KIZIROĞLU	İnş. Yük. Müh.	sina.kiziroglu@gmail.com
Serhat	DAĞ	Dr. Öğr. Üyesi	serhatdag@gumushane.edu.tr
Selçuk	ALEMDAĞ	Dr. Öğr. Üyesi	selcukalemdag@gmail.com
Melis	ALDEMİR	Jeo. Müh.	melisaldemir@jemas.com.tr
Fatma	GÜLTEKİN	Prof. Dr.	fatma@ktu.edu.tr
Meral	ERDOĞAN	Jeo.Yük.Müh.	erdoganmer@itu.edu.tr
Eylem	GÖKYAY	Hidrojeo. Müh.	eylem.gokyay@suyapi.com.tr
Mete	GÜRLER	Hidrojeo. Müh.	metegurler@gmail.com
Erkil Onur	TARI	Jeo. Müh.	erkilonur@gmail.com
Onur	ÖZDEMİR	Jeo. Müh.	oozdemir.muh@gmail.com
Mehmet	BAŞALMA	Jeo. Müh.	mehmetbasalma@gmail.com
Aydın	ALPTEKİN	Jeo. Müh.	aydinalptekin@mersin.edu.tr
Muhammet Oğuz	SÜNNETCİ	Jeo. Yük. Müh.	moguzsunnetcici@ktu.edu.tr
Murat	KARAHAN	Dr.	muratkarahan21@gmail.com
Sabri Cansu	AKBAY	Jeo. Müh.	s.cansu_akbay@hotmail.com
Zülfü	GÜROCAK	Prof. Dr.	zgurocak@gmail.com
Mustafa Özgehan	ÜNAL	Jeo. Müh.	muozgehan@gmail.com muozgehan@dsi.gov.tr
Serdar	ERDOĞAN	Jeo. Müh.	serdarerdogan25@hotmail.com

AD	SOYAD	ÜNVAN	E-POSTA
Meryem	BAŞARAN AKTÜRK	Jeo. Yük. Müh.	meryem@sumermuhendislik.com.tr
Semih	ÇAKICI	Jeo. Yük. Müh.	semihcakici@egetemel.com
Murat	SARIDEDE	Jeo. Yük. Müh.	saridedemurat@hotmail.com
Pınar Damla	ANLAR	Hidrojeoloji Müh	danlar@gulermakyse.com
Serdar	AYDOĞAN	Jeoloji Müh.	saydogan@emay.com
Gizem	ŞENOL UYSAL	Jeo. Yük. Müh.	gizemmsenoll@gmail.com
Burcu	SELEN	Jeo. Müh.	burcu.selen@emay.com
Emin Alper	TEKYILDIZ	Jeo. Müh.	eatekyildiz@emay.com
Gaye	ALAN JATTA	Jeo. Müh.	galan@emay.com
Sitem	ALDOĞAN	Jeo. Müh.	saldogan@emay.com
Ezgi	GÜLBAR	Jeo. Yük. Müh.	ezgigulbar@gmail.com
Sefer Beran	ÇELİK	Doç. Dr.	scelik@pau.edu.tr
Erdi	Avcı	Jeoloji Y. Müh	erdiavci@istanbul.edu.tr
Ramazan Haslet	DİLLİ	Jeo. Müh.	haslet@geoteknikmuhendislik.com.tr
Ali Bahadır	YAVUZ	Prof. Dr.	bahadir.yavuz@deu.edu.tr
Aydın	DURUKAN	Jeo. Müh.	adurukan@gmail.com
Engin Merter	BİNLGİN	Jeo. Müh.	embilgin@dsi.gov.tr
Mehmet Önder	ATAY	Jeo. Müh.	monderatay@dsi.gov.tr
Uğraş	YILMAZ	Jeo. Müh.	ugrasyilmaz@jemas.com.tr
Erkin	TOPUZ	Jeo. Müh.	erkintopuz@jemas.com.tr
Hüseyin Baykal	YAŞAR	Jeo. Müh.	huseyinyasar@jemas.com.tr
Ahmet	BARDAKÇI	Jeo. Müh.	ahmetbardakci@jemas.com.tr
Taylan	USTA	Jeo. Müh.	taylan_usta@yahoo.com
Buse	ÖZMEN	Jeo. Müh.	buseozmen@jemas.com.tr
Doğukan	HALICIOĞLU	Jeo. Müh.	dogukan.halicioglu@gmail.com
Tamer Yiğit	DUMAN	Dr.	duman.tamer@gmail.com
Erkan	BOZKURTOĞLU	Dr. Jeo. Müh.	erkan@itu.edu.tr
Mehmet	ÖZDEMİR	Jeo. Müh.	info@yeralti.com.tr



ÜRETİME EKONOMİYE ve İSTİHDAMA KATKI SAĞLIYORUZ

TÜPRAG, 1986 yılından bu yana
Türkiye'nin değerli madenlerini
gelişmiş teknoloji ve uzman
ekibiyle, ülke ekonomisine
kazandırıyor.



TÜPRAG

Türkiye'nin altından gelen gücü

www.tuprag.com.tr

