

ISSN 1019 - 1003



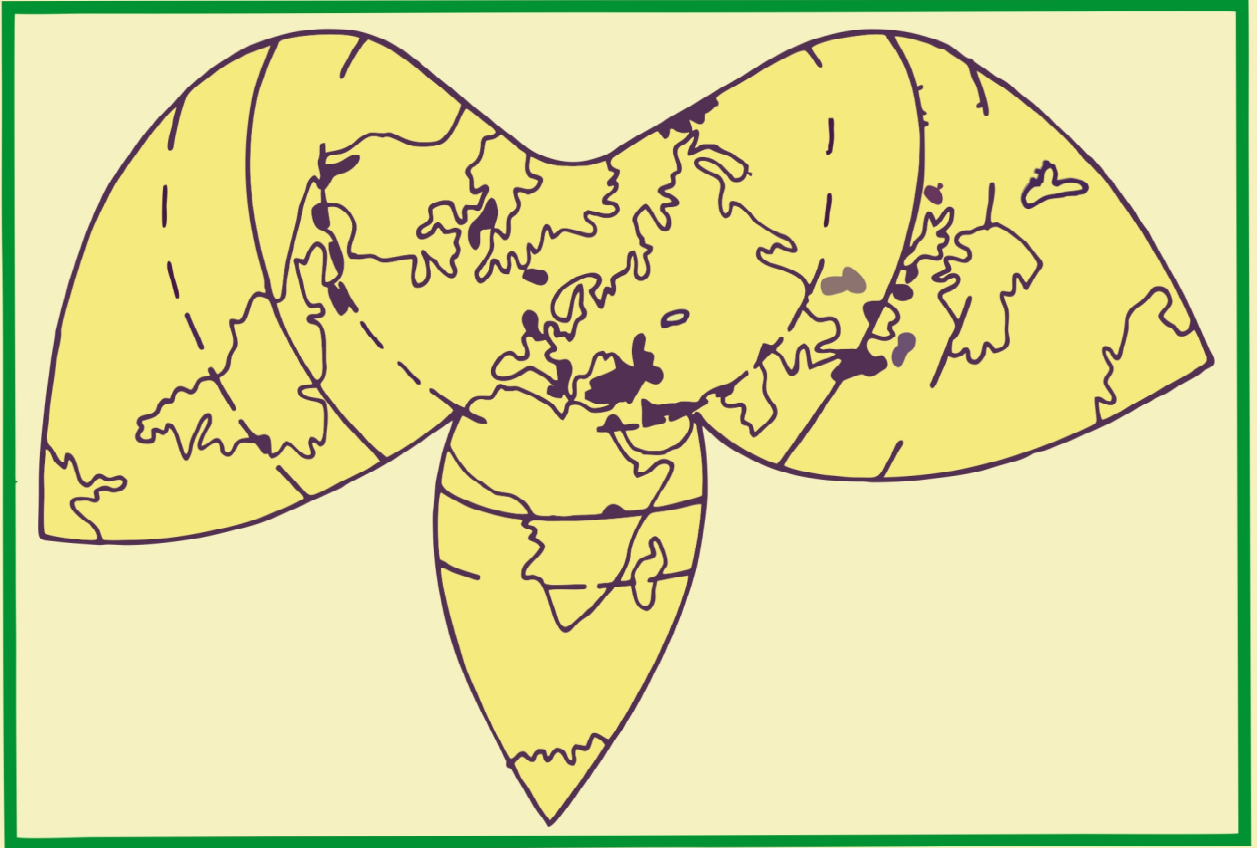
GEOSOUND



YERBİLİMLERİ

Science and Technology

Online Bulletin on Earth Science



SAYI
NUMBER **55**

HAZİRAN
JUN
2022

Baş Editör

Prof. Dr. Ulvi Can ÜNLÜGENÇ

Editörler

Dr. Ahmet Can AKINCI

Doç. Dr. Nusret NURLU

Bölüm Editörleri

Prof. Dr. Ulvi Can ÜNLÜGENÇ

Prof. Dr. Kemal GÜRBÜZ

Prof. Dr. Ümit ŞAFAK

Prof. Dr. Ayşegül GÜNEY

Prof. Dr. Sedat TÜRKMEN

Prof. Dr. Semir ÖVER

Doç. Dr. Mustafa AKYILDIZ

Dr. Öğr. Üyesi Nil YAPICI

Doç. Dr. Mahmut ALTINER

Dr. Ahmet Can AKINCI

Dr. Nusret NURLU

Yayın Kurulu

Prof. Dr. Ulvi Can ÜNLÜGENÇ

Prof. Dr. Orhan TATAR

Prof. Dr. Kemal GÜRBÜZ

Prof. Dr. Ümit ŞAFAK

Prof. Dr. Atike NAZİK

Prof. Dr. Erol ÖZER

Prof. Dr. Kemal TASLI

Prof. Dr. Sedat TÜRKMEN

Prof. Dr. Ayşegül GÜNEY

Prof. Dr. Ömer Faruk ÇELİK

Prof. Semir ÖVER

Prof. Dr. İsmail DİNÇER

Doç. Dr. Mustafa AKYILDIZ

Doç. Dr. Hakan GÜNEYLİ

Doç. Dr. Tamer RIZAOĞLU

Doç. Dr. Feyza DİNÇER

Doç. Dr. Hayati KOÇ

Doç. Dr. Ali ÖZVAN

Dr. Öğr. Üyesi. Erkan YILMAZER

Dr. Öğr. Üyesi Yasemin LEVENTELİ

Dr. Öğr. Üyesi Hatice KARAKILÇIK

Dr. Öğr. Üyesi Nil YAPICI

Dr. Ahmet Can AKINCI

Doç. Dr. Nusret NURLU

Öğr. Gör. Mustafa AFŞİN

Dr. Öğr. Üyesi Deniz İBİLİOĞLU

ÖNSÖZ

Prof. Dr. ALTAY ACAR ANISINA!

Dergimizin 55. sayısını hazırlamaya başladığımız bir dönemde çok kıymetli meslektaşımız, bilim insanı, değerli arkadaşımız olan merhum Prof. Dr. Altay Acar'ı kaybetmenin derin üzüntüsü içerisinde bu sayımızı hocamızın değerli hatırasına atfediyoruz...

Bir Yerbilimci olarak ölümün yaşam gibi döngünün bir parçası olduğunu bilsek de; bilinmezliğe açılan her kapı insana hüznü ve korkutucu gelir. Hâlbuki Altay Acar, sigarasından derin bir nefes alıp, gülümseyerek meydan okuyacaklar arasında idi ölüme. Bunu, onu tanıyan herkes kolaylıkla söyler... Çünkü Altay Acar'ın kısa ve derin hayatında bol kahkaha, bol eğlence ve yüksek enerji hiç eksik olmamıştır... Yalnız kaldığını hiç anımsamayız. Çevresinde özellikle öğrenci ve dostlarından kurulu koca bir ordu vardır. Yaşamaktan zevk alan, sonuna kadar yaşayan ve sevdikleriyle paylaşan bir adam... Pek çok öğrencisinin hayatında bir ağabey, bir dost, bir sırdaş.. Hatta, öğrencilerinin çocuklarına müşfik bir dede, hayvan dostu bir insan, bir kedi sever.. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü'ne geldiği 1990'lı yıllardan, 2021 yılının sonuna kadar renkli yaşamı hiç değişmedi. Sayısız lisans ve lisansüstü derslerine girdi, onlarca yüksek lisans öğrencisi mezun etti, bugün ülkemizin saygın akademisyenleri arasında yerlerini alan doktora öğrencileri yetiştirdi. Ülke içinde ve dışında pek çok projede yer aldı. Aramızdan apansız ayrılmasaydı, daha pek çoğuna da imzasını atacaktı.

Derler ki; bir insan "O'nu hatırlayan kimse kalmadığında ölür... O halde, aramızdan erken ayrılan pek çok dostumuz gibi, Altay Acar da hala hayatta... Bölüm koridorunda yürürken odasının önünde kapısına kulak kesildiğinizde, kahkahasını rahatlıkla duyabileceğiniz kadar anısı dipdiri hala... Bir yerlerde Erkin Koray şarkısı duyduğunuzda da öyle.. Yani öyle kolay çıkmıyor insanlar hayatlarımızdan; sizden bir şeyler alarak, size kendilerinden bir şeyler bırakarak gidiyorlar... Şair Baki'nin dediği gibi "Baki kalan kubbede hoş bir sada imiş" ... Ne mutlu hatırlandığında yüzü güldürecek bir iz bırakana...

Şili'li yazar ve şair Pablo Neruda'ya atfedilen bir cümle vardır: "Yaşam" sadece yaşandığı kadar vardır, gerisi ya hafızalardaki hatıralar ya da hayallerdeki umutlardır. Hüsranı ise bir tek yerde tanıyorum; o da yaşanması mümkün olduğu halde gerektiği gibi yaşayamamakta" ... Altay Acar, hayatını dolu dolu yaşadı. Sorsanız herkesin "keşkeleri" vardır... Büyük olasılıkla O'nun da vardı. Ne yazık ki zamanı geri almak mümkün değil... Ama şu mümkün, sevdiklerimize ve hayata her fırsatta sıkıca sarılmak...

Sana tüm meslektaş ve mesai arkadaşların adına onlarca kırmızı karanfil demetleri yolluyoruz bulutlarla.. İyi ki hayatımızdan geçmişsin... Yıldızlar yoldaşın olsun...

İÇİNDEKİLER

Mars'ta Hiperspektral CRISM Verileri Yardımıyla Mineralojik Haritalama	1
Mehmet Ali Akgül, Suphi Ural	
Agrega Aşınma ve Dayanım Özelliklerinin Kaya Malzeme Deneyleriyle Tanımlanması ve Değerlendirilmesi	20
İbrahim Çobanoğlu, Sefer Beran Çelik	
Kaleköy-Hombur (Çağlayancerit-Kahramanmaraş) Civarının Tektono-Stratigrafik Özellikleri	37
Cihan Yalçın, Alican Kop	
Regression Analysis and Correlation of REE Contents of Malatya Fluorites	61
Yusuf Uras, Cihan Yalçın	
Prediction of the Rapid Hardening Property of Calcium Aluminate Cement Based on Mineralogical Composition by Neural Network	71
Suphi Ural, Murat Aydın	
İgnimbiritlerde Pomza Şekli ile Fiziksel-Mekanik Özellikler Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi	80
Mutluhan Akın, Tamer Topal, İsmail Dinçer, Müge K. Akın, Ali Özvan, Ayşe Orhan, Ahmet Orhan	
Çağlayan (Suçatı-Kahramanmaraş) Trafo Merkezi Kazı Şevlerinin Duraylılık Analizi	105
Ahmet Özbek, Ozan Natur, M. Salih Keskin	
Kuvaterner Yaşlı Kaliçi Çökellerin Fiziko-Mekanik Özellikleri	132
İsmail Dinçer, Altay Acar	
Statistical Analysis of REE Contents in Felahiye (Kayseri) Fluorite Deposit	152
Cihan Yalçın, Yusuf Uras	
Depremler Kayada Yıkılmaz ve Ovalar Stratejik Ürün Kaynağıdır	165
İlyas Yılmazer, Özgür Yılmazer, Yasemin Leventeli	



Mars'ta Hiperspektral CRISM Verileri Yardımıyla Mineralojik Haritalama *Mineralogical Mapping on Mars Using Hyperspectral CRISM Data*

MEHMET ALİ AKGÜL^{1*} ORCID 0000-0002-5517-9576

SUPHİ URAL¹ ORCID 0000-0003-4865-011X

¹*Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye*

Geliş (received): 02/03/2022

Kabul (Accepted): 13/04/2022

ÖZ

Dünyaya en yakın gezegen olması ve benzer büyüklüğü ile insanoğlunun yüzyıllardır dikkatini çeken Mars, astronomik gözlemlerde en önemli gök cisimlerinden biri olmuştur. 17.yy da teleskobun icadı ile gözlemler bir başka boyuta geçmiş, gezegen yüzeyinde kanal olduğu tahmin edilen oluşumların, yüksek bir medeniyete ait olduğu düşünülmüştür. 20.yy'ın ikinci yarısından sonra ise Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ve Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği (SSCB) arasında başlayan uzay yarışından nasibini alan Mars, 1971 yılında ABD'nin Mariner misyonu ve aynı yıl SSCB'nin Mars misyonu ile yörüngesinden izlenmeye başlanmıştır. Bu çalışmada, ABD tarafından 2006 yılında Mars yörüngesine yerleşen Mars Keşif uydusu (Mars Reconnaissance Orbiter, MRO) üzerinde bulunan, 0.36 ile 3.92 µm arasındaki 545 bant da hiperspektral algılama da yapabilen Mars Kompakt Keşif Görüntüleme Spektrometresi (Compact Reconnaissance Imaging Spectrometer for Mars, CRISM) verisi kullanılarak, Gale kraterinin Kuzey-Batısında yer alan Gediz vadisi olarak isimlendirilen bölgede mineral araştırması yapılmıştır. Bu bölge aynı zamanda Ulusal Havacılık ve Uzay İdaresi (National Aeronautics and Space Administration, NASA) Mars Uzay Laboratuvarı (Mars Science Laboratory, MSL) görevinin bir parçası olan Curiosity aracının 2012 yılında iniş yaptığı bölgedir. Uydu verisinin ön işleme için gerekli olan fotometrik, atmosferik ve geometrik düzeltmeler ile veri filtreleme/çizgi düzeltmeleri IDL/ENVI programı üzerinde çalışan CAT (CRISM Analysis Toolkit) modülü kullanılarak yapılmıştır. Düzeltmeleri yapılmış uydu verisine, spektral verilerin parametrelendirilmesinde en yaygın olarak kullanılan Bant Derinliği (Band Depth, BD) yöntemi uygulanmış, çıkan sonuçlar CRISM Analizi ile Tanımlanan Mineraller (Minerals Identified through CRISM Analysis, MICA) kütüphanesindeki mineraller ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, işlenmesi ile demir

üretilebilen, gelecekte kurulması düşünülen bir Mars yerleşiminin yer seçiminde ve imarında ki en önemli minerallerin başında gelecek olan hematit minerali tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Astrojeoloji, Gezegen Madenciliği, Hiperspektral Uzaktan Algılama

Yazar adı-soyadı 2019913046@ogr.cu.edu.tr

^{1*}Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye

ABSTRACT

Mars, which has attracted the attention of mankind for centuries with its being the closest planet to Earth and its similar size, has been one of the most important celestial bodies in astronomical observations. With the invention of the telescope in the 17th century, observations moved to another dimension, and the formations that were thought to be channels on the planet's surface were thought to belong to a high civilization. After the second half of the 20th century, Mars, which had its share of the space race that started between the USA and the USSR, began to be monitored from its orbit with the Mariner mission of the USA in 1971 and the Mars mission of the USSR in the same year. In this study, using Compact Reconnaissance Imaging Spectrometer for Mars (CRISM) data, which is capable of hyperspectral sensing in 545 bands between 0.36 and 3.92 μm , on the Mars Reconnaissance Orbiter (MRO) satellite placed in Mars orbit by the USA in 2006, mineral exploration was carried out in the area called the Gediz Valley, located to the north-west of the Gale crater. This region is also the region where the Curiosity vehicle, which is part of National Aeronautics and Space Administration's (NASA) Mars Science Laboratory (MSL) mission, landed in 2012. Photometric, atmospheric and geometric corrections, and data filtering/line corrections required for the preprocessing of the satellite data were made using the CAT (CRISM Analysis Toolkit) module running on the IDL/ENVI program. The most widely used Band Depth (BD) method for parameterizing spectral data was applied to the corrected satellite data, and the results were compared with the minerals in the Minerals Identified through CRISM Analysis (MICA) library. As a result of the study, hematite mineral, which will be one of the most important minerals in the selection and construction of a Mars settlement, which can be produced by processing and which is planned to be established in the future, has been determined.

Keywords: Astrogeology, Planetary Mining, Hyperspectral Remote Sensing

GİRİŞ

İnsanoğlu için ikinci bir yerleşim olması amacıyla yola çıkılmış olan Mars için yapılan gözlemler insanlık tarihi kadar eskidir. Bu gözlemler teleskopun icadı ile bir eşik atlamış,

çıplak gözle yapılan gözlemler yerine daha ayrıntılı gözlemler yapılabilmektedir. Uzay çağına başlaması ile Mars yörüngesine gözlem uyduları gönderilmiş, Mars'ın ayrıntılı topoğrafik ve jeolojik haritaları üretilmiştir. Mars yüzeyindeki minerallerin tespiti için 25.12.2003 tarihinde Mineraloji, Su, Buz ve Aktivite Gözlem uydusu (Observatoire pour la Minéralogie, L'Eau, les Glaces et l'Activité, OMEGA) ve 10.03.2006 tarihinde Mars Keşif uydusu (Mars Reconnaissance Orbiter, MRO) Mars yörüngesine girmiş olup günümüzde Mars'ı gözlemlemeye devam etmektedirler.

Pelkey vd. (2007) tarafından Mars'ta, uzaktan algılama ile mineral tespit edilmesine ilişkin en geniş çaplı çalışmalardan biri yapılmış, bu çalışmaları sonucunda CRISM verilerini kullanarak hem yüzey mineralojisi hem de atmosferik gazlar ve aerosollerle ilgili spektral özellikleri yakalamak için 44 adet indis hesaplamışlardır. Bu indislerin doğruluğunu, CRISM ile benzer uzamsal ve spektral kapsama alanına sahip görünür ve kızılötesine yakın bir görüntüleme spektrometresi olan OMEGA uydusundan alınan verileri kullanarak kontrol etmişlerdir. Çalışma sonucunda, buldukları indislerin Mars yüzeyinin bilinen çeşitliliğini ve Mars atmosferinin değişkenliğini yakalamayı başardığını ve güçlü spektral imzalara sahip noktaları başarılı bir şekilde vurguladığını tespit etmişlerdir.

Viviano-Beck vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada CRISM verisi kullanarak Mars yüzey mineralojisini tespit edebilmek için 60 adet indis üretmişlerdir. Çalışmalarının neticesinde, daha önce Pelkey vd. (2007) tarafından hesaplanan orijinal CRISM indislerinin, OMEGA uydusu verilerinden yüzey bileşimlerinin beklentilerine dayanarak üretilen haritaları baz alındığından, yüzeydeki karmaşık mineral çeşitliliğini yansıtmak için yeni indislere ihtiyaç olduğunu belirtmişlerdir. Genişletilmiş indisler hazırlanırken, CRISM verisinin hiperspektral özelliklerinden yararlanıldığından daha sağlam ve kapsamlı bir indis seti üretmişlerdir. Güncellenen bu indisler hâlihazırda bilinen mineral grubuna göre uyarlandığından, yüzey çeşitliliğini orijinal setten daha fazla temsil ettiğini hesaplamışlardır. Bu ürünlerin, yerinde incelemeler için gelecekteki aday iniş alanlarının bilimsel yorumu ve değerlendirmesinin geliştirilmesi için yararlı bir araç olacağını belirtmişlerdir.

Dünyada 2020 yılında yaklaşık 2.4 milyar ton üretilen demir cevherinin (USGS, 2021), ilk kullanımı MÖ 4000 yıllara dayanmaktadır. Yer kabuğunda en çok bulunan, tüm metaller içinde en çok kullanılan metal olan demirin işlenmesi ile elde edilen ürünler ise günlük hayatımızın vazgeçilmez unsurları olmuşlardır. Doğada serbest olarak nadir bulunan demir en

çok limonit, manyetik demir oksit, siderit, pirit ve hematit bileşikleri olarak bulunmaktadır (MTA, 2017). Dünya'dan teleskop gözlemleri ile başlayan insanoğlunun Mars yolculuğu yakın geçiş uydular, yörüngesindeki uydular ve yüzeye inen araçlar ile devam etmektedir. Sıradaki görev ise insanlı Mars programlarıdır. Bu programların en önemli parçalarından biriside yerleşim yerinin seçimidir. Yapılan bu çalışma ile CRISM verisi kullanılarak, işlenmesiyle demir üretilen hematit minerali tespit edilmiştir. Bu mineral gelecekte kurulması düşünülen bir Mars yerleşiminin yer seçiminde ve imarında ki en önemli minerallerin başında gelecektir.

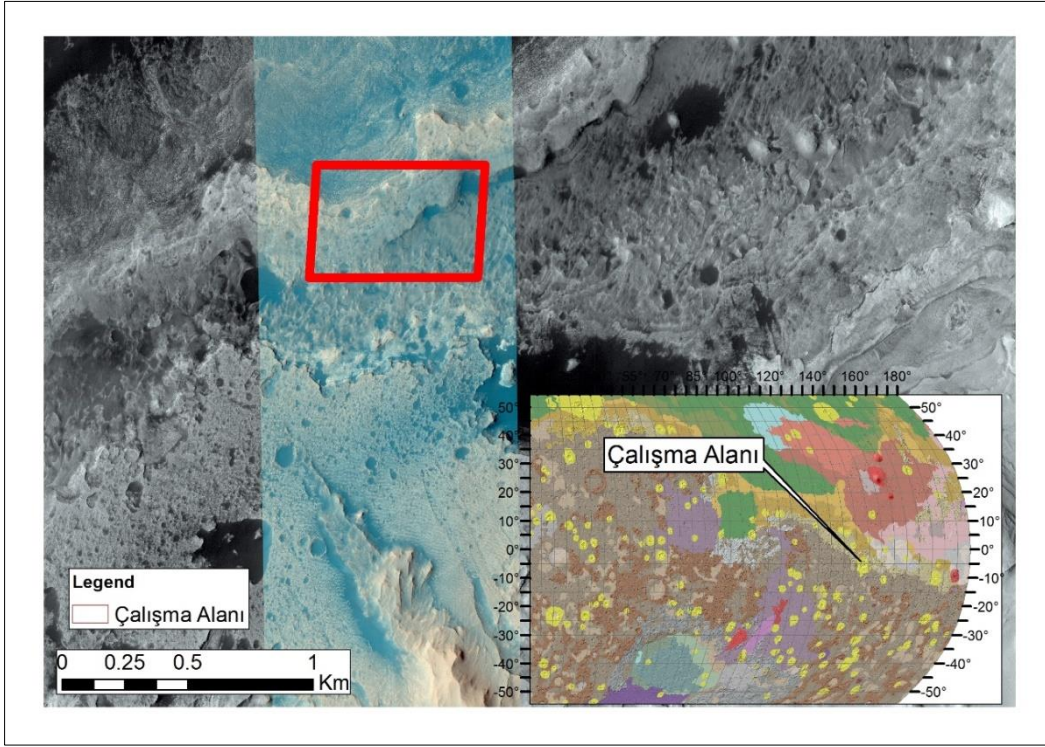
MATERYAL VE METOD

Çalışma Alanı

Çalışma alanı, Mars koordinat sistemine göre (Equirectangular_MARS) 4.5895°S, 137.4417°E koordinatlarında yer alan MSL Curiosity aracının iniş yaptığı yaklaşık 152 km çapında olan Gale kraterinin yukarı Gediz vadisi olarak isimlendirilen bölgesidir (Şekil 1). Kraterin merkezinde, tabanından yaklaşık 5.5 km yükseklikte olan Aeolis Mons dağı mevcuttur.

Mars jeolojik tarihi, Mars yüzeyindeki çarpma krater yoğunlukları çalışmaları yoluyla antik çağlardan günümüze Noakyan, Hisperyan ve Amazonyan olarak üç döneme ayrılmıştır (Tanaka vd., 2014). Gale kraterinin jeolojik yapısı ise **AHi** birimi olarak adlandırılan Noakyan-Hisperyan döneminin sınırından Amazonyan dönemine kadar olan dönemi kapsar (Şekil 2).

Geç Hisperyan ve Amazonyan'da demir oksitler baskın minerallerdir. Erken Hisperyan döneminin sonunda, Mars atmosferi inceldikçe ve günümüze kadar devam eden yüzey suyu azaldıkça iklim durumu kurak ve serin hale gelmiştir. Baskın jeolojik süreç, demir açısından zengin kayaların atmosferik peroksitler tarafından oksidasyonuna sebep olmuştur. Demir oksitler bu çağda oluşmuştur. Bu nedenle, sıvı su ile ilişkili mineraller, Noakyan ve Hisperyan arazilerinde yoğunlaşmıştır (Xue ve Jin, 2014).

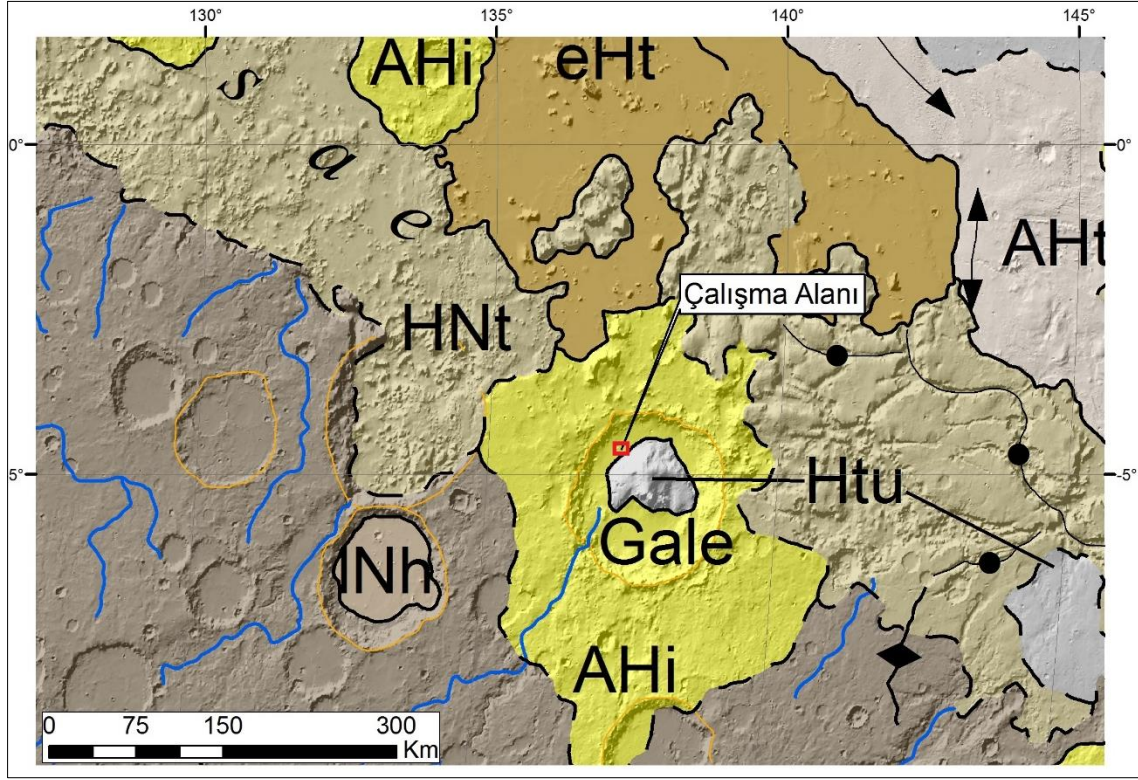


Şekil 1. İnceleme alanı

Figure 1. Study area

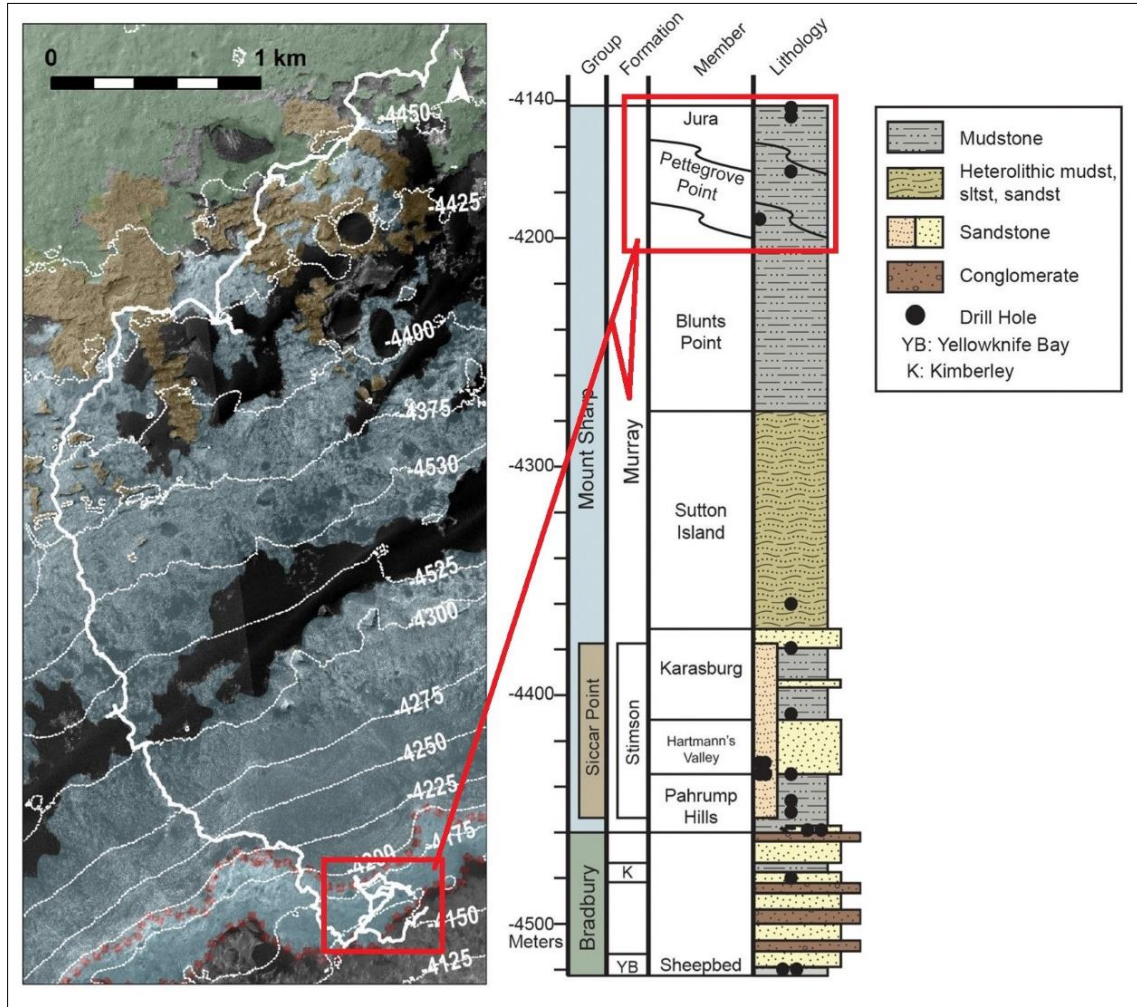
Edgar vd., (2020), yapmış oldukları çalışmada, inceleme alanında ince taneli, paralel tabakalı çamurtaşının bol olduğunu ve stratigrafik sütununda görüldüğü üzere çamurtaşının kalınlığının en az 300 metre olduğunu belirtmişlerdir (Şekil 3).

Aeolis Mons Dağı'nın tabanında Vera Rubin sırtını (VRR) belirleyen Gale kraterinin idealleştirilmiş kesiti ve tortuların diyajenezine katkıda bulunmuş olabilecek olası ana su yolları Şekil 4'de gösterilmektedir. Birinci güzergah, Gediz Vadisi'nden aşağı doğru VRR'nin mevcut konumuna doğru yönlendirilmiş olabilecek Aeolis Mons Dağı'ndan nispeten sığ yeraltı akışlarını takip eder. İkinci güzergah, güneydeki dağlık bölgelerden Gale kraterine akan ve Aeolis Mons Dağı'nı geçen bir yeraltı suyu yolunu göstermektedir. Üçüncü güzergah ise, Gale krateri tabanında, güneyden drenajın daha derin yollarını veya yerel sızan suların yüzeye çıkabileceğini göstermektedir (Fraeman vd., 2020).

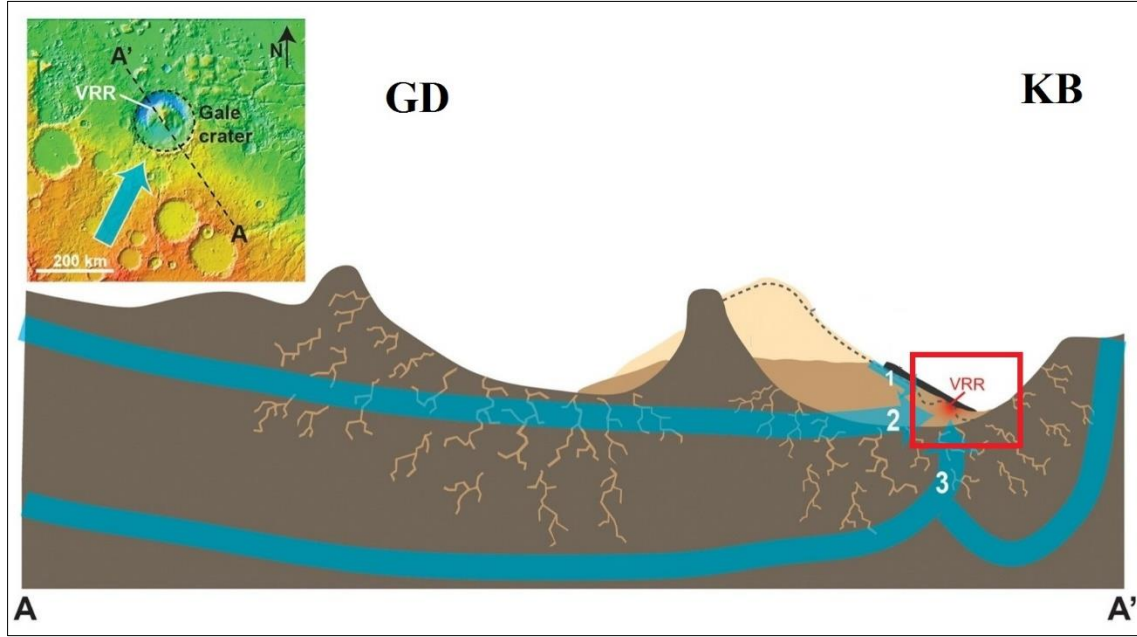


Şekil 2. İnceleme alanı jeolojik haritası (Tanaka vd., 2014)

Figure 2. Geological map of the study area (Tanaka et al., 2014)



Şekil 3. İnceleme alanının stratigrafik sütunu (Fraeman vd., 2020; Edgar vd., 2020)
Figure 3. Stratigraphic column of the study area (Fraeman et al., 2020; Edgar et al., 2020)



Şekil 4. Diyajenezine katkıda bulunmuş olası ana su yolları (Fraeman vd., 2020)

Figure 4. Possible major waterways that contributed to its diagenesis (Fraeman et al., 2020)

Materyal

Uzaktan algılama verisi olarak kullanılan CRISM algılayıcısı MRO uydusu üzerinde yer almaktadır (Murchie vd., 2007). Bu uydü 12.08.2005 tarihinde Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan Cape Canaveral üssünden fırlatılmış olup 10.03.2006 tarihinde Mars yörüngesine girmiştir. Bu uydü üzerinde ayrıca Bağlam Görüntüleyici (Context Imager, CTX), Yüksek Çözünürlüklü Görüntüleme Bilimi Deneyi (High-Resolution Imaging Science Experiment, HiRISE), Sığ Yeraltı RADARI (Shallow Subsurface RADAR, SHARAD), Mars Renkli Görüntüleyici (Mars Color Imager, MARCI) ve Mars İklim Ölçücü (Mars Climate Sounder, MCS) algılayıcıları bulunmakta olup bu algılayıcıların özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. MRO uydusunun algılayıcıları (NASA, 2022)

Table 1. The sensors of the MRO satellite (NASA, 2022)

Algılayıcılar	Özellikleri
CRISM	Bu algılayıcı, görüntülerin görünür ve yakın kızıl ötesi ışığını, Mars'ta bir futbol sahasından çok daha büyük olmayan yüzey alanlarında, özellikle su varlığında oluşanlar olmak üzere mineralleri tanımlayan yüzlerce "renk"e böler.
CTX	Bu kamera, HiRISE ve CRISM tarafından sağlanan Mars'taki önemli noktaların yüksek çözünürlüklü analizi için bir bağlam sağlamaya yardımcı olacak geniş alan görüntüleri sağlar.
HiRISE	Görünür dalga boyundaki bu kamera, gizemli olukların enkaz örtülerindeki küçük ölçekli nesnelere ve kanyonların, kraterlerin ve katmanlı tortuların jeolojik yapısının ayrıntılarını ortaya çıkartır.
SHARAD	Bu sondaj radarı, bir metreden daha derinlerde su buzu olup olmadığını görmek için Mars yüzeyinin altını araştırır.
MARCI	Bu hava durumu kamerası bulutları ve toz fırtınalarını izleyerek, Mars'ın mevsimsel ve yıllık değişimlerini karakterize etmeye yardımcı olur.
MCS	Bu atmosferik profil oluşturucu, Mars atmosferindeki dikey sıcaklık, toz ve su buharı konsantrasyon değişikliklerini tespit eder.

Hem multispektral hem de hiperspektral olarak algılama yapan CRISM verisinin farklı yersel çözünürlüğe ve banda sahip farklı görüntüleme özellikleri mevcuttur (Çizelge 2).

Çalışmada seçilen FRT görüntüleme tipindeki CRISM verisi 0.36 ile 3.92 μm arasında 545 banda sahip olup hiperspektral görüntüleme yapmaktadır. Görünür yakın kızılötesinde (VNIR) 0.36 ile 1.02 μm arasında 107 bantta algılama yaparken kızılötesinde (IR) 1.02 ile 3.92 μm arasında 438 bantta algılama yapmaktadır (Murchie vd., 2016). Çalışma alanındaki CRISM verisine ait “`frt0000b6f1_07_if165s_trr3`” görüntüsü Planetary Data System’e (PDS) ait siteden temin edilmiştir.

Çizelge 2. CRISM verisinin algılama modları (Morgan vd., 2017)

Table 2. Detection modes of CRISM data (Morgan et al., 2017)

Görüntüleme Tipi	Yersel Çözünürlük (m/piksel)	VNIR Band Sayısı	IR Band Sayısı
MSP	~200	19	55
MSW	~100	19	55
HSP	~200	107	154
HSV	~200	107	N/A
MSV	~100	90	N/A
FRT	~20	107	438
HRL	~40	107	438
HRS	~40	107	438
ATO	~20x10	107	438
FRS	~20	107	438
ATU	~20x40	107	438

Yöntem

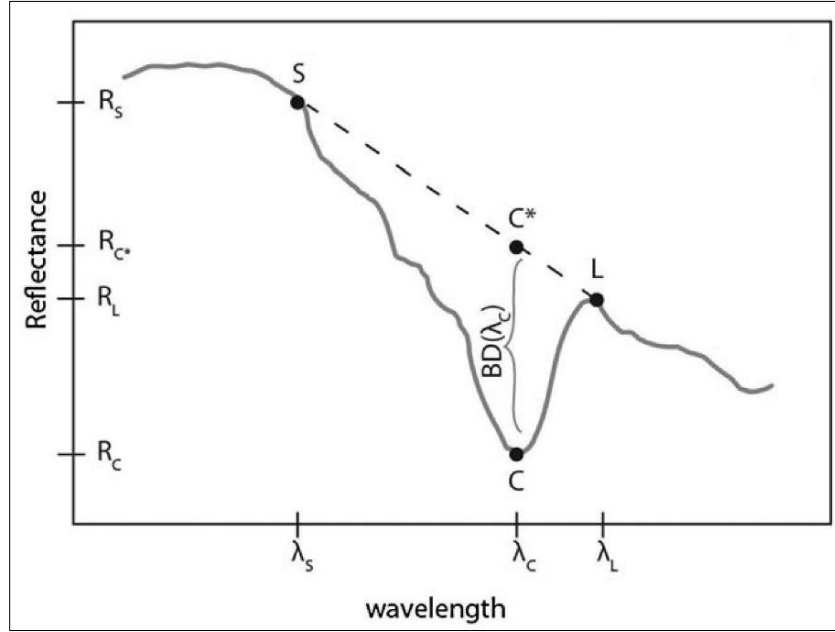
CRISM Analiz Yazılımı (CRISM Analysis Toolkit,CAT), CRISM algılayıcısından gelen verileri analiz etmek ve görüntülemek için IDL/ENVI programı üzerinde çalışan bir yazılım sistemidir. CAT, bir ENVI programı eklentisi olarak çalışır, bu nedenle ENVI' nin yerleşik görüntüleme ve spektral analiz araçları, CRISM verileri yüklenip işlendikten sonra

kullanılabilir. (Morgan vd., 2017). CRISM verisi, CAT yazılımı kullanılarak aşağıdaki sıra ile analiz edilmiştir (Seelos vd., 2009).

- a) Fotometrik düzeltme
- b) Atmosferik düzeltme
- c) CRISM veri filtreleme / Çizgi düzeltme
- d) Geometrik düzeltme
- e) İndislerin hesaplanması

Fotometrik düzeltme, CRISM görüntüsünün, güneş geliş açısının kosinüsüne bölünmesi ile yapılır iken Atmosferik düzeltme, Olympus Mons dağı üzerinden geçen bir gözlem sırasında elde edilen ölçekli bir atmosferik iletim spektrumu ile tüm CO₂ absorpsiyon bantlarını ortadan kaldırarak yapılır. Bu işlem, Güneş sistemimizin ve dolayısıyla Mars'ın en yüksek dağının zirvesinden ve tabanından ölçülen spektrum farkı kullanılarak yapılır. Veri filtreleme ile görüntü üzerinde oluşan gürültü düzeltilirken, eksik piksellerin çevresindeki piksellerin ortalaması ile yeniden oluşturulması ise Çizgi düzeltme ile yapılmaktadır. Fotometrik, Atmosferik ve veri filtreleme/çizgi düzeltmesi yapılmış görüntülerin koordinatlı bir şekilde kullanılabilmesi için bir projeksiyon sistemine tanımlanması gerekmektedir. Bu düzeltme ise Geometrik düzeltme ile yapılmaktadır (Gurunadham vd., 2014; Arvidson, 2017).

Gerekli düzeltmeleri yapılmış CRISM verisi kullanılarak, düzeltmelerinde yapıldığı CAT yazılımı ile indisler hesaplanmıştır. Bu indislerin çoğunluğu Band Derinliğini (BD) hesaplayan indislerdir (Şekil 5, Çizelge 3). BD spektral verilerin parametrelendirilmesinde en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir (Clark ve Roush, 1984).



Şekil 5. Band derinliği (Viviano-Beck vd., 2014)

Figure 5. Band depth (Viviano-Beck et al., 2014)

Bant derinliği, Viviano-Beck vd.,'de (2014) anlatıldığı şekilde Formül 1'de verildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$BD(\lambda_C) = 1 - \frac{R_C}{aR_S + bR_L} \quad (1)$$

Bu formülde b, Formül 2'de verildiği şekilde hesaplanırken a değeri ise 1-b olarak hesaplanmaktadır.

$$b = \frac{\lambda_C - \lambda_S}{\lambda_L - \lambda_S} \quad (2)$$

R_C : λ_C dalgoboyunun yansımaya değerini, R_S : λ_S dalgoboyunun yansımaya değerini ve R_L : λ_L dalgoboyunun yansımaya değerinin göstermektedir.

Çizelge 3. İndislere ait formüller ve açıklamaları (Viviano-Beck vd., 2014)
 Table 3. Formulas and explanations of indices (Viviano-Beck et al., 2014)

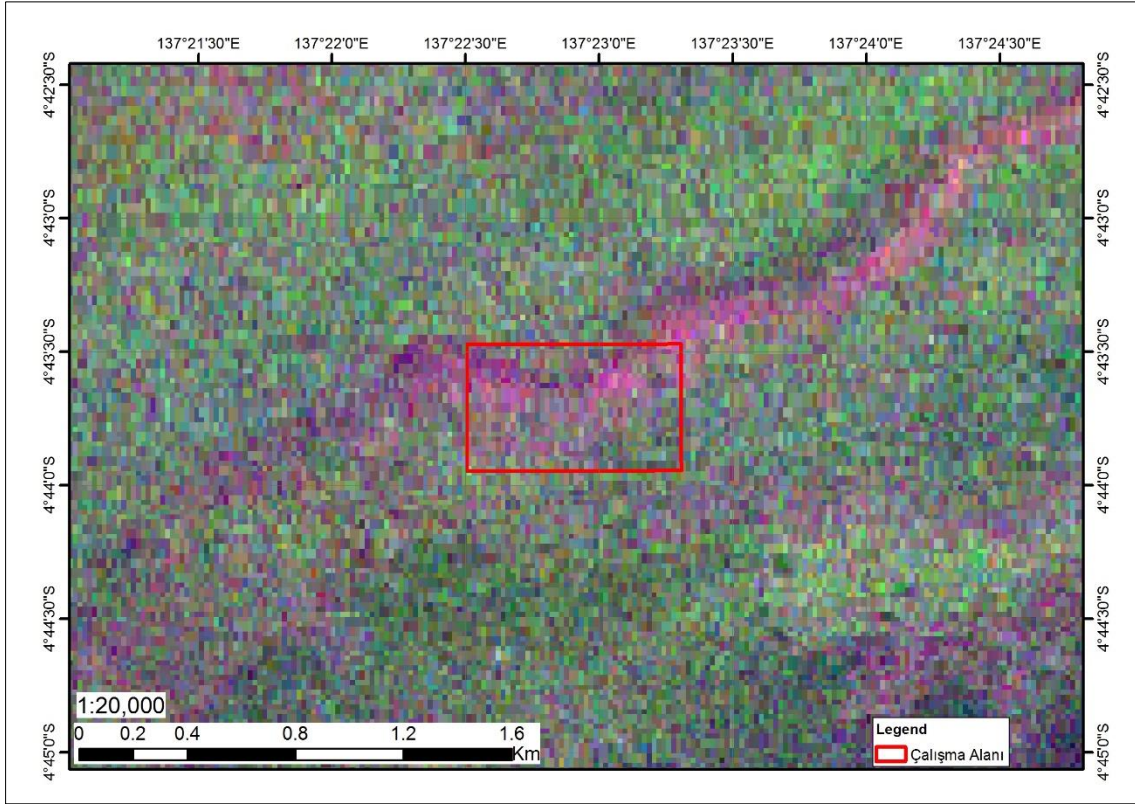
İndis	Formül	Açıklaması
BD530_2	$1-(R_{530}/(a * R_{614} + b * R_{440}))$	Daha yüksek değer daha ince taneli kristal hematit
BD640_2	$1-(R_{624}/(a * R_{600} + b * R_{760}))$	Demir mineralleri (özellikle maghemit)
BD860_2	$1-(R_{860}/(a * R_{755} + b * R_{977}))$	Kristalli demir mineralleri (özellikle hematit)
BD920_2	$1-(R_{920}/(a * R_{807} + b * R_{984}))$	Kristalin ferrik mineraller ve Düşük Kalsiyum Piroksen

BULGULAR

Çizelge 3’de verilen indislerden üretilmiş görüntü Şekil 6’da verilmektedir. Bu görüntü, demir mineralleri ile ilgili bilgileri gösterir ve demir ile ilgili görünür ve yakın kızılötesi dalga boylarındaki eğriliği temsil eder. Bu haritadaki eflatun/mor alanlar kristal formunda ferrik mineraller olarak tanımlanmaktadır.

Ferrik mineral olarak tanımlanmış piksellerin hangi mineral olduğunu saptamak için ilgili pikselin dalga boyu grafiği çıkarılarak hangi dalga boylarında absorbe olduğu tespit edilmiştir. Bunun için Şekil 6’da ferrik minerallerin en yoğun olduğu pikselin dalga boyu çıkarılarak “Continuum Removed” olarak gösterilmiştir (Şekil 7).

Bu yöntem dalgaboyunu, onu bir süreklilik eğrisi ile karşılaştırarak normalleştirir, böylece absorpsiyon özelliği derinliğini ve konumunu ölçmek için ortak bir taban çizgisi tanımlar. Bir süreklilik eğrisi, spektruma dışbükey bir gövde uydurularak oluşturulan matematiksel bir fonksiyondur. Ortaya çıkan yansıma eğrisi, bant merkezlerinin ve derinliklerinin daha iyi bir resmini verir (Wolfe ve Black, 2018).

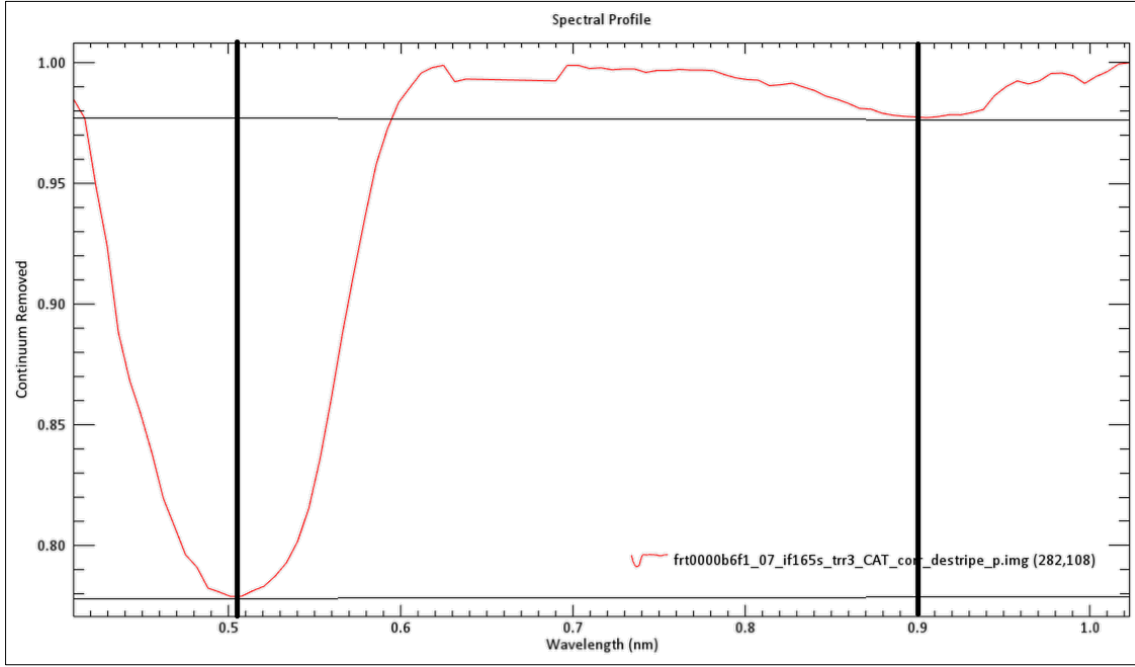


Şekil 6. Mineral indisleri uygulanmış harita (RGB: BD860_2, BD640_2, BD920_2)

Figure 6. Map with mineral indices applied (RGB: BD860_2, BD640_2, BD920_2)

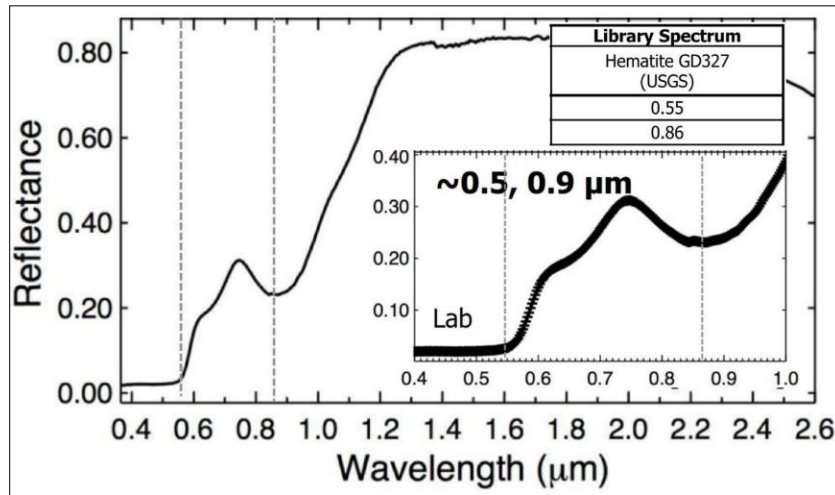
Şekil 7’de verilen dalgaboyu grafiğinde absorbe olduğu değere göre MICA arşivindeki mineraller ile karşılaştırmış ve bu mineralin hematit olduğu tespit edilmiştir. MICA arşivinde bulunan hematit mineraline ait dalgaboyu grafiği ve absorbe değerleri Şekil 8’de verilmektedir.

Mars'taki hematit, kristallerin yalnızca nanometre boyutunda olduğu, nanofaz biçimindeki tozlarda yaygın olarak bulunmaktadır. İnce taneli (kırmızı) ve iri taneli (gri) hematitte daha güçlü absorpsiyonlar meydana gelir ve demir nedeniyle yük transferinden ve kristal alan geçişlerinden 0,5 ve 0,9 μm civarında absorpsiyon özellikleri sergiler (The MICA Files, 2019).



Şekil 7. Piksel spektral grafiği (Continuum Removed)

Figure 7. Pixel spectral graph (Continuum Removed)

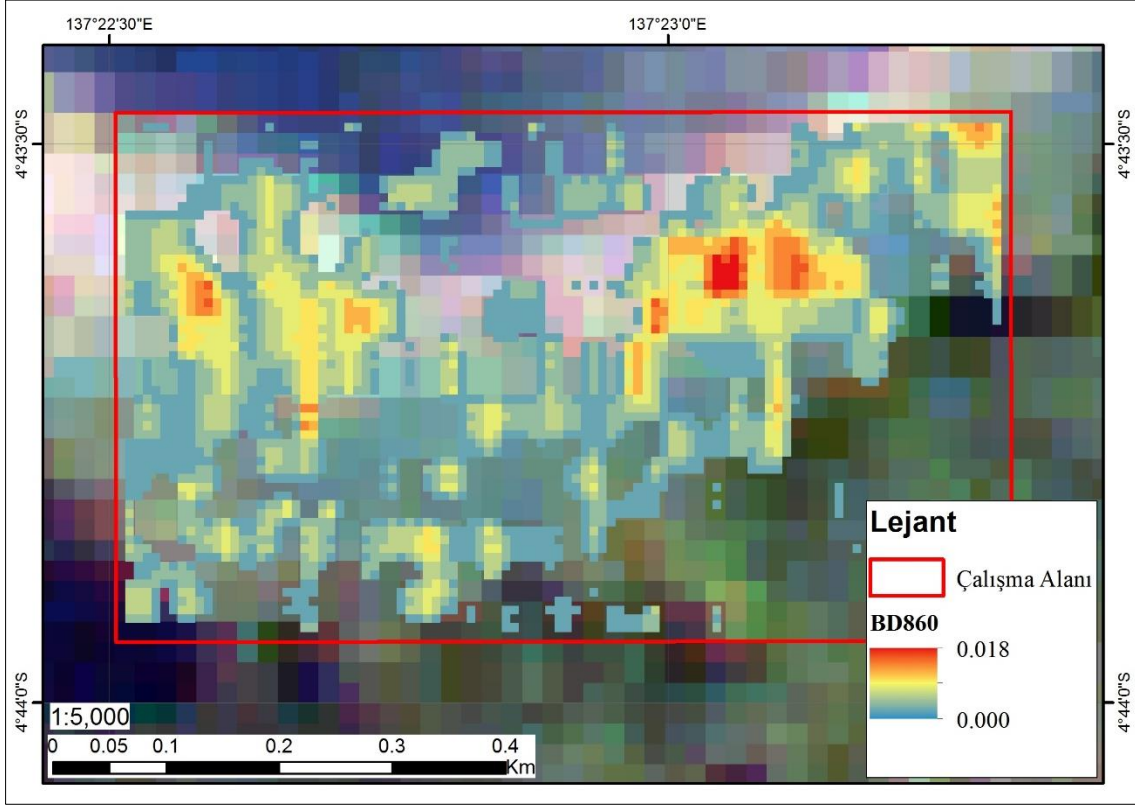


Şekil 8. Hematit minerali dalgaboyu (The MICA Files, 2019)

Figure 8. Hematite mineral wavelength (The MICA Files, 2019)

Özellikle hematit mineralinin yüksek absorbe olduğu 0.860 μm dalgaboyundaki bant derinliğini hesaplayan BD860 indisi Çizelge 3'de verilen formül yardımıyla, yaklaşık 20 m

yersel çözünürlüğe sahip olan CRISM verisinin her pikseli için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda çalışma alanında BD860 indisinin -0.016 ile 0.018 arasında yer aldığı görülmüştür. Bu indisin 0'dan büyük değer aldığı piksellerde hematit mineralinin varlığına işaret etmekte olup üretilen BD860 bant derinliği haritası Şekil 9'da verilmektedir.



Şekil 9. BD860 Bant Derinliği haritası

Figure 9. BD860 Band Depth map

Partikül boyutu ve albedo gibi bileşik faktörlerin etkisi olsa da, genel olarak bant derinliği absorbe olan mineralin bolluğu ile ölçeklenmektedir (Clark ve Roush, 1984; Pelkey vd., 2007). Şekil 9'da verilen BD860 hematit minerali dağılım haritası incelendiğinde özellikle çalışma alanının kuzey-batı ve kuzey-doğu bölgelerindeki hematitin diğer bölgelere göre daha bol olduğu görülmüştür.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Mars'ta kolonileşme çalışmalarına yön verebilecek en önemli ölçütlerden birisi de hammadde kaynaklarına olan mesafeleridir. 2012 yılında Mars yüzeyine indirilen, 899 kg ağırlığa sahip Curiosity aracını Mars'a taşıyan Atlas V 541 roketinin taban maliyeti 145 milyon \$'dır (Wikipedia, 2022). Bu da Mars'a 1 kg'lık bir maddenin taşıma maliyetinin yaklaşık 161000 \$ olduğunu göstermektedir. Bu maliyetin yüksekliği, barınma amaçlı yerleşim yerlerinin üretileceği hammaddeden günlük hayatta kullanılacak alet ve donanımların üretileceği hammaddeye kadar tüm bunların Mars'tan karşılanmasını zorunlu kılmaktadır.

Yapılan bu çalışmada Gale krateri ve civarında 0.860 µm dalgaboyunda yüksek derecede absorbe olmasından kaynaklı olarak BD860 indisi yardımı ile hematit mineralizasyonu tespit edilmiş ve haritalanmıştır.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma, Mehmet Ali AKGÜL tarafından Maden Mühendisliği Anabilim Dalında yürütülmekte olan "Astrojeoloji ve Gezegen Madenciliğinde Yersel Veriler Kullanılarak Uydu Verilerinin Hassasiyetinin Arttırılması" başlıklı Doktora Tezinden hazırlanmıştır.

KAYNAKLAR

- Arvidson, R., Morgan, F., Seelos, F., Seelos, K. 2017. Crism demonstration: Data access, processing, and analysis. Flagstaff, Arizona, ABD. 3rd Planetary Data Workshop.
- Clark, R. N., Roush, T. L., 1984. Reflectance spectroscopy: Quantitative analysis techniques for remote sensing applications, J. Geophys. Res., 89(B7), 6329, <https://doi:10.1029/JB089iB07p06329>.
- Edgar, L. A., Fedo, C. M., Gupta, S., Banham, S. G., Fraeman, A. A., Grotzinger, J. P., et al., 2020. A lacustrine paleoenvironment recorded at Vera Rubin ridge, Gale crater: Overview of the sedimentology and stratigraphy observed by the Mars Science Laboratory Curiosity rover. Journal of Geophysical Research: Planets, 125, e2019JE006307. <https://doi.org/10.1029/2019JE006307>.

- Fraeman, A. A., Edgar, L. A., Rampe, E. B., Thompson, L. M., Frydenvang, J., Fedo, C. M., et al., 2020. Evidence for a diagenetic origin of Vera Rubin ridge, Gale crater, Mars: Summary and synthesis of Curiosity's exploration campaign. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 125, e2020JE006527. <https://doi.org/10.1029/2020JE006527>.
- Gurunadham, R., Kumar, S., 2014. Extraction of aqueous minerals on Mars using CRISM based Targeted Reduced Data Records, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XL-8, 431–436, <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-8-431-2014>.
- MTA, 2017. Dünyada ve Türkiye’de Demir. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı, Eylül 2017.
- Murchie, S., ve ark., 2007. Compact Reconnaissance Imaging Spectrometer for Mars (CRISM) on Mars Reconnaissance Orbiter (MRO), *J. Geophys. Res.*, 112, E05S03, <https://doi:10.1029/2006JE002682>.
- Murchie, S., Edward, G., ve Slavney, S., 2016. Mars Reconnaissance Orbiter CRISM Data Product Software Interface Specification, version 1.3.7.4.
- Morgan, M. F., Seelos, F. P., Murchie, S. L., 2017. The CRISM Analysis Toolkit (CAT): Overview and Recent Updates. 3rd Planetary Data Workshop 2017 (LPI Contrib. No. 1986).
- NASA, 2022. <https://mars.nasa.gov/mro/mission/instruments/>, Erişim Tarihi:10.02.2022.
- Pelkey, S. M., ve ark., 2007. CRISM multispectral summary products: Parameterizing mineral diversity on Mars from reflectance, *J. Geophys. Res.*, 112, E08S14, <https://doi:10.1029/2006JE002831>.
- Seelos F., and CRISM Team. 2009. CRISM Data Users' Workshop Nili Fossae Data Processing Walkthrough. 40th Lunar and Planetary Science Conference (LPSC) in Houston, Texas, USA.
- Tanaka, K.L., Skinner, J.A., Jr., Dohm, J.M., Irwin, R.P., III, Kolb, E.J., Fortezzo, C.M., Platz, T., Michael, G.G., and Hare, T.M., 2014. Geologic Map of Mars: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Map 3292, scale 1:20,000,000, pamphlet 43 p., <https://dx.doi.org/10.3133/sim3292>.
- The MICA Files, 2019. Minerals Identified through CRISM Analysis, Assembled by the CRISM Science Operations Center, Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory, Version 1 – Released 3/2019.

- USGS, 2021, Mineral commodity summaries 2021: U.S. Geological Survey, 200 p., <https://doi.org/10.3133/mcs2021>.
- Viviano-Beck, C. E., Seelos, F. P., ve ark., 2014. Revised CRISM spectral parameters and summary products based on the currently detected mineral diversity on Mars, J. Geophys. Res. Planets, 119, 1403–1431, <https://doi:10.1002/2014JE004627>.
- Wikipedia, 2022. https://en.wikipedia.org/wiki/Atlas_V#Cost, Erişim Tarihi:11.02.2022.
- Wolfe, J. D., Black, S. R., 2018. Hyperspectral Analytics in ENVI: Target Detection and Spectral Mapping Methods. Harris Corporation, September 19, 2018 Edition.
- Xue, Y., Jin S., 2014. Martian Minerals and Rock Components from MRO CRISM Hyperspectral Images. Planetary Geodesy and Remote Sensing. CRC Press Taylor & Francis Group 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300 Boca Raton, FL, USA.



Agrega Aşınma ve Dayanım Özelliklerinin Kaya Malzeme Deneyleriyle Tanımlanması ve Değerlendirilmesi

Identification and Evaluation of Aggregate Abrasion and Strength Properties by Using Rock Material Tests

İBRAHİM ÇOBANOĞLU¹ ORCID 0000-0002-2747-6397

SEFER BERAN ÇELİK¹ ORCID 0000-0003-1850-5229

¹*Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Denizli*

Geliş (received): 17/02/2022

Kabul (Accepted): 30/03/2022

ÖZ

Agregaların kullanım alanlarının çoğalması, farklı litolojik özelliklere sahip kaya türlerinin de agregata olarak kullanılabilirliklerinin araştırılmasını gerektirmiştir. Agregalar için kullanım koşullarını belirlemeye yarayan teknik parametreler ancak deneysel çalışmalarla ortaya konulabilmektedir. Bu çalışmalar ise hem zaman ve hem de belirli bir maliyetin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Deney standartlarına uygun bir şekilde yapılmayan test çalışmaları tutarsız ve hatalı sonuçlar vermektedir. Bu durum, deney parametrelerinin korelatif olarak değerlendirilebilmesini ön plana çıkarmaktadır. Bu çalışmada, 10 farklı lokasyona ait karbonat kökenli kayalar ve bunlardan elde edilmiş agregata malzemeleri kullanılmıştır. Bu kapsamda, Los Angeles aşınma (LAD) ve darbe dayanım (DD) değerlerinin kayaca ait diğer fiziksel ve mekanik parametrelerle olan ilişkileri araştırılmıştır. Bu iki parametre, kayacın birim hacim ağırlığı (KBHA) ve dikey aşınma değeri (DA) ile doğrudan ilişkili tanımlamalar yapılabilmesini sağlamaktadır. Bunun haricinde Los Angeles aşınma değeri (LAD) ile darbe dayanım (DD) değeri arasında oldukça tutarlı ilişkilerin olduğu da belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında belirlenmiş tek eksenli sıkışma dayanımı, Schmidt sertliği ve sonik hız değerleri ile Los Angeles aşınma ve darbe dayanım değerleri arasında korelatif ilişkilerin kurulabilmesi mümkün olmamıştır. Kaya malzeme ölçeğinde örnek boyutu büyüdüğünde elde edilen parametreler ile agregata ölçeğinde örnek boyutu küçüldüğünde elde edilen parametrelerin korelasyonunun zorlaştığı değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Agregata, Los Angeles aşınma deneyi, darbe dayanım deneyi, kireçtaşı, dolomit.

İbrahim ÇOBANOĞLU icobanoglu@pau.edu.tr

¹Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Denizli

ABSTRACT

The increase in the usage areas of aggregates required the investigation of the usability of rock type aggregates with different lithological properties. Technical parameters for determining the conditions of use for aggregates can only be revealed through tests. However, these experimental studies cause to reveal of both time and a certain cost. Test studies that are not carried out in accordance with the related test standards give inconsistent and erroneous results. This situation brings to the fore the fact that the experimental parameters can be evaluated correlatively. In this study, aggregate materials prepared from carbonate rocks collected from 10 different locations were used. In this context, the correlations between Los Angeles abrasion (LAD) and impact strength (DD) values with other physical and mechanical parameters of the rock groups were investigated. These two parameters made it possible to directly correlate the unit volume weight (KBHA) and Wide Wheel abrasion value (DD) of the rock. Furthermore, it has been determined that there are quite consistent relationships between the Los Angeles wear value and the impact strength value. It was not possible to establish correlations between uniaxial compressive strength, Schmidt hardness, sonic wave velocity values and Los Angeles wear and impact strength values determined within the scope of this study. It has been evaluated that the correlations become difficult due to the increasing sample size in the rock material conversely decreasing in the aggregate scale.

Keywords: Aggregate, Los Angeles abrasion test, aggregate impact value test, limestone, dolomite.

GİRİŞ

Farklı mühendislik uygulamalarında kullanılan ve genellikle kırmataş olarak üretildikten sonra tane boylarına göre sınıflandırılan kaya malzemelerine “agrega” adı verilir. Agregalar, beton, sıva, parke taşı, üretiminde olduğu gibi karayolu, demiryolu ve havayolu inşaatlarında dolgu malzemesi olarak sıklıkla kullanılırlar. Yüzeysel zemin iyileştirme metotları içerisinde yapı temelleri altında da iyileştirme malzemesi olarak doğal agrega dolguların kullanıldığı görülmektedir.

Bu çalışmanın amacı, karbonat kökenli kayalardan elde edilen kırmataş agregaların aşınma ve dayanım özelliklerinin belirmesi amacıyla doğrudan kaya malzeme parametrelerinin

kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. Bu amaçla, örneklemeleri yapılan 10 farklı litolojideki kayaç numunelerinden elde edilen malzemeler üzerinde temel fiziksel ve mekanik parametreler belirlenmiş ve ardından 10 – 14 mm tane boyutlarına getirilmiş örnekler üzerinde Los Angeles aşınma (LAD) ve darbe dayanım deneyleri (DD) gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçların korelatif incelemeleri ile parametreler arasındaki ilişkilerin tanımlanması sağlanmıştır.

Beton hammaddesi olma özelliğinden ötürü literatürde agregalar üzerinde yapılmış çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların bir kısmı doğrudan agrega malzeme özelliklerini ele alırken bir kısmı da beton olarak kullanılabilme özelliklerini dikkate almıştır. Kılıç ve Kahraman (2017) tarafından yapılan çalışmada Çukurova bölgesi kireçtaşlarının Los Angeles aşınma direnci (LAV) değerleri, kayacın tek eksenli sıkışma dayanımı, su emme oranı, Shore sertliği ve özgül ağırlıkları ile ilişkilendirilmiştir. Bu çalışma Los Angeles aşınma direnci ile tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS) arasında $LAV = 52,67 - 0,4063 * UCS$ şeklinde bir ilişki tanımlamışlardır. Ajalloeian ve Kamani (2019), karbonat kökenli agregalar üzerinde yaptıkları çalışmada kaya tekstür özelliklerinin Los Angeles aşınma dayanımı ile olan ilişkilerini araştırmışlardır. Doku katsayısı olarak tanımladıkları parametre ile Los Angeles aşınma dayanımı değerleri arasında oldukça kuvvetli ve negatif bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir. Tuncay vd. (2015) çalışmalarında Karaöz (Antalya) bölgesi dolomitik kireçtaşlarının agrega olabilme özelliklerini incelemişler ve Los Angeles aşınma değerini % 23.40 olarak belirlemişlerdir. Tunç ve Alyamaç (2020), Elazığ bölgesinden elde ettikleri 3 farklı agrega tipi üzerinde Los Angeles aşınma deneyleri yaparak agrega yoğunluğu, su emme değeri ve ayrıca aşınma deneyindeki bilya sayısı ile devir sayısının elde edilen aşınma değerleriyle ilişkilerini tanımlamışlardır. Akhaly ve Sakkaf (2020) Yemen’de Sana’a bölgesindeki volkanik kökenli hafif agrega malzemelerini incelemiş ve ASTM ile BS standartları ışığında yapı sektöründe kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Teymen (2017), 39 grup volkanik kayadan elde edilmiş agregalar üzerinde yaptığı çalışmalarla Los Angeles aşınma değeri ile agregalara ait diğer mekanik test verilerinin korelasyonunu araştırmıştır. Kahraman ve Fener (2007), 35 farklı kaya grubuna ait agregalar üzerinde Los Angeles aşınma, tek eksenli sıkışma ve porozite değerlerinin ilişkilerini incelemişlerdir. Yazarlar Los Angeles aşınma değerleri ile tek eksenli sıkışma değerleri arasında anlamlı ilişkilerin var olduğunu belirlemişlerdir. Cuelho vd (2007),

yol dolgusu agrega malzemeleri için Mikro Deval, Los Angeles aşınma ve sülfata dayanıklılık parametrelerini inceleyerek elde ettikleri verileri istatistiksel olarak değerlendirmişlerdir.

Bu çalışma, agrega aşınma ve dayanım özelliklerinin kaya malzeme deneyleri ile belirlenebilirliğinin araştırılması amacıyla ortaya konulmuştur. Agregaların aşınma direncinin belirlenmesinde kullanılan Los Angeles aşınma deneyi ile dayanımını belirleyen darbe dayanım testlerinin kayaların farklı fiziksel özellikleri ile korelasyonlarının ortaya konulması hedeflenmiştir.

MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada ülkemizin farklı yerlerinden elde edilmiş karbonat kökenli 10 ayrı grup kaya örnekleri kullanılmıştır (Şekil 1). Örnekler, 7*7*7 cm boyutlarında küp şeklinde oluşturulmuş ve fiziksel ve mekanik özellikler bu prizmatik numuneler kullanılarak belirlenmiştir. Agrega grupları için elde edilen 10 – 14 mm boyutlu kırmataş malzemeler ise küp numunelerin çeneli kırıcıda öğütülmeleri ile elde edilmiştir (Şekil 2). Örneklere ait lokasyon bilgileri ve litoloji tanımlamaları Çizelge 1’de sunulmuştur.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan örnek yerleri (grup numaraları ile verilmiştir).

Figure 1. Locations of samples in the study (Locations were given with sample group numbers).



Şekil 2. Çalışmada kullanılan küp şekilli ve kırıcıda öğütülerek agrega boyutlarına indirgenmiş örneklerden görüntümler.

Figure 2. Cube-shaped samples and crushed aggregates used in the study.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan örneklerin temin edildiği lokasyonlar ve litolojik tanımları.

Table 1. Locations and lithological descriptions of the samples used in this study.

Grup No	Numune Adı	Lokasyon	Litolojik Tanımlama
1	Sirmersan Mavi Mermer	Yatağan - Muğla	Dolomitik kireçtaşı
2	Sirmersan Beyaz Mermer	Milas - Muğla	Kristalize kçt
3	Sirmersan Afyon Mermer	Emirdağ - Afyon	Kireçtaşı
4	Konya Çumra Mermer	Çumra - Konya	Gri kireçtaşı
5	Işık Mermer Dolomit	Kaklık - Denizli	Dolomitik kireçtaşı
6	Armes Fethiye Gri	Seydikemer - Muğla	Gri kireçtaşı
7	Kastamonu Gri	Kastamonu - Azdavay	Gri kireçtaşı
8	Muğla Beyaz Mermer	Muğla - Menteşe	Kristalize kireçtaşı
9	Sirmersan Pembe Mermer	Yatağan - Muğla	Dolomitik kireçtaşı
10	Konya Gri Mermer	Ilgın - Konya	Gri kireçtaşı

Kayaçlara Ait Fiziksel ve Mekanik Parametrelerin Belirlenmesi

Boyutlandırılmış küp şekilli örnekler üzerinde kuru birim hacim ağırlık (KBHA), ağırlıkça su emme (ASE) ve görünür porozite (n) değerleri TS EN 1936 (2007) deney standardına göre gerçekleştirilmiştir. Deneylerde her örnek grubunda 20 adet küp şekilli örnek kullanılmıştır. Dikey aşınma (DA) deneyi ise TS EN 14157 (2004) standardına göre yapılmıştır. Aşınma deneyi sonunda aşınma yüzeyi genişliği mm olarak ölçülmüştür (Şekil 3). Doğaltaş ürünler için boyutlandırılmış prizmatik örnekler üzerinde yapılan bu deneyin agrega malzemeler

üzerinde kullanımı bulunmamakla birlikte bu çalışma, korelatif değerlendirmeler anlamında birbirleriyle yakın ilişkili parametreler olduklarını ortaya koymuştur.



Şekil 3. Dikey aşınma deney cihazı ve deney işlemlerinden görünümüler.

Figure 3. Wide wheel abrasion test device and view from test procedures.

TS 706 EN 12620+A1 (2009) standardı, tek eksenli sıkışma dayanımı 100 MPa'dan az olan tüm doğal ve yapay agregaların aşınma dayanımlarının araştırılmasını gerekli kılmaktadır. Los Angeles aşınma kaybı (LAD) olarak tanımlanan bu kayıp yüzdesinin, beton agregasında 100 devir için % 10'u, 500 devir için % 50'yi geçmemesi istenmektedir (TS 706 EN 12620, 2009). Los Angeles aşınma deneyi AASHTO T 96 (2002), AS 1141.23 (2009), ASTM C131 (2014), JSA JIS A 1121 (2007) ve SASO 279 (1982) kaynakları tarafından da standardize edilmiş bir deneydir. Bu çalışmada tüm agrega grupları için 500 devir olacak şekilde aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir ve Los Angeles Aşınma Direnci Deneyi (LAD) TS EN 1097 – 2 (2015) standardına göre yapılmıştır. Deneyde, 14 mm açıklıklı elekten geçen ve 10 mm deney eleğinde kalan agregalar kullanılmıştır. 500 devir sonunda tamburdaki malzemenin tamamı alınmış ve ardından 1.6 mm göz açıklıklı elekten elenerek kalan malzeme miktarı belirlenmiştir.

Agrega darbe dayanım deneyi (DD) ise, iri agrega boyutundaki malzemenin bir tokmak darbesi etkisiyle parçalanmaya karşı dayanıklılığı ifade etmek için ortaya konulmuş bir dayanım belirleme deneyidir. Bu amaçla oluşturulmuş test cihazı, metal bir plaka üzerine yerleştirilmiş 75 mm çaplı ve 50 mm yüksekliğindeki bir hazneden oluşmaktadır. Darbeyi verecek tokmak bir eksen boyunca 38 cm'lik bir yükseklikten serbest düşüş yapabilecek şekilde tasarlanmıştır (Şekil 4). Deney sırasında agrega tane boylarının değişimlerini

belirleyebilmek için oluşturulmuş 14 mm, 10 mm ve 2.36 mm göz açıklıklı elekler bulunmaktadır. Darbe dayanım deneyi, BS 812-112 (1990) tarafından standardize edilmiştir.



Şekil 4. Agregalar üzerinde gerçekleştirilen darbe dayanım deneyinden görüntüler.

Figure 4. Views from aggregate impact value test.

BULGULAR

Bu çalışma kapsamında yürütülmüş olan deneysel çalışmalar, kaya malzemesine ait kuru birim hacim ağırlığı (KBHA), ağırlıkça su emme (ASE), görünür porozite (n), dikey aşınma (DA), Schmidt sertliği, sonik hız (V_p) ve tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS) parametrelerinin elde edilmesini sağlamıştır. Kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşı litolojilerinde tanımlanmış olan malzemelerden elde edilen agregaların Los Angeles aşınma (LAD) ve darbe dayanım (DD) değerleri belirlenmiştir. Los Angeles aşınma değerleri % 22.40 – 74.04, darbe dayanım değerleri ise % 12.52 – 29.79 arasında değişim göstermektedir. Bu çalışmada malzeme özelliklerine ait sonik hız, tek eksenli sıkışma dayanımı ve Schmidt çekici sertlik değerleri ile agregalara ait Los Angeles aşınma ve darbe dayanım değerleri arasında doğrudan bir ilişki belirlenememiştir. Bu nedenle bu deney parametreleri bu çalışma kapsamı dışında tutulmuştur. Deneysel çalışmalarla elde edilmiş değerler Çizelge 2’de sunulmuştur.

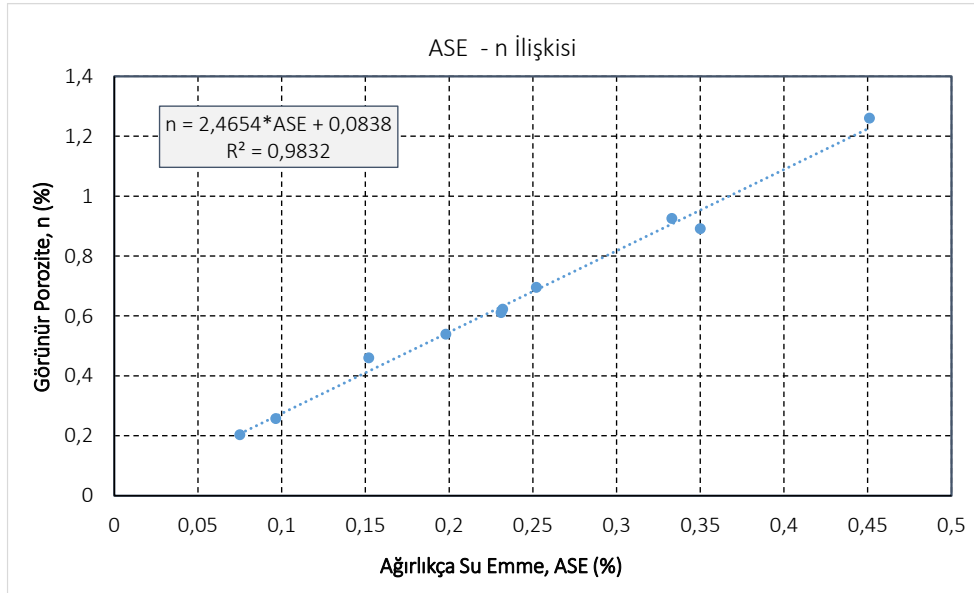
Kayaca ait fiziksel parametreler küp şekilli örnekler üzerinde yapılan deneyler ile belirlenmiş olup kuru birim hacim ağırlığı ile ağırlıkça su emme ve görünür porozite değerleri arasında anlamlılık düzeyi yüksek ilişkiler belirlenememiştir. Bununla birlikte özellikle ağırlıkça su emme ve görünür porozite değerleri arasında doğrusal ve oldukça yüksek determinasyon katsayısı (R^2) veren bir ilişki tanımlanmıştır (Şekil 5).

Çizelge 2. Deney parametrelerinin örnek grupları içerisindeki değişimleri.

Figure 2. Laboratory test results changes of sample groups.

Grup No	Litoloji Tanımlaması	LAD (%)	DD (%)	DA (mm)	KBHA (gr/cm ³)	ASE (%)	n (%)
1	Dolomitik kçt.	39,90	22,56	23,90	2,663	0,333	0,925
2	Kristalize kçt.	56,90	24,76	23,14	2,616	0,198	0,539
3	Kireçtaşı	28,87	18,15	20,85	2,768	0,35	0,891
4	Gri kireçtaşı	34,57	17,13	22,66	2,686	0,231	0,611
5	Dolomitik kçt.	22,64	12,52	19,50	2,836	0,0965	0,257
6	Gri kireçtaşı	29,66	15,93	21,07	2,716	0,232	0,622
7	Gri kireçtaşı	36,34	18,72	22,00	2,689	0,152	0,46
8	Kristalize kçt.	74,04	29,79	26,24	2,451	0,075	0,203
9	Dolomitik kçt.	35,71	16,99	20,61	2,665	0,252	0,695
10	Gri kireçtaşı	29,24	15,12	19,02	2,738	0,451	1,26

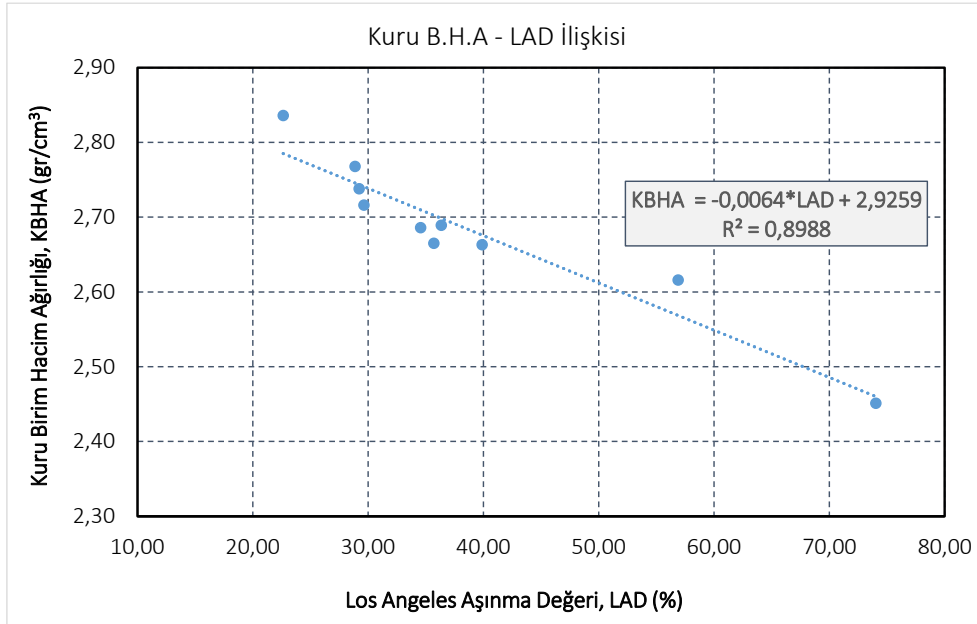
Çobanoğlu vd. (2009) tarafından yapılan çalışmada da benzer doğrusal ilişkilerin tanımlandığı belirtilmiştir. Ioannou vd. (2019) 6 farklı kireçtaşı örnek grubu üzerinde yaptıkları çalışmada, ağırlıkça su emme ile Los Angeles aşınma değeri arasında var olan doğrusal ilişkiyi $LAD = 1.8744*ASE + 20.489$ bağıntısı ile tanımlamışlardır. Ancak bu çalışmada bu iki parametre arasında anlamlı doğrusal bir ilişki belirlenememiştir.



Şekil 5. İncelenen kaya grupları için görünür porozite ile ağırlıkça su emme parametreleri arasındaki ilişki.

Figure 5. Apparent porosity and water absorption by weight relationship of rock groups.

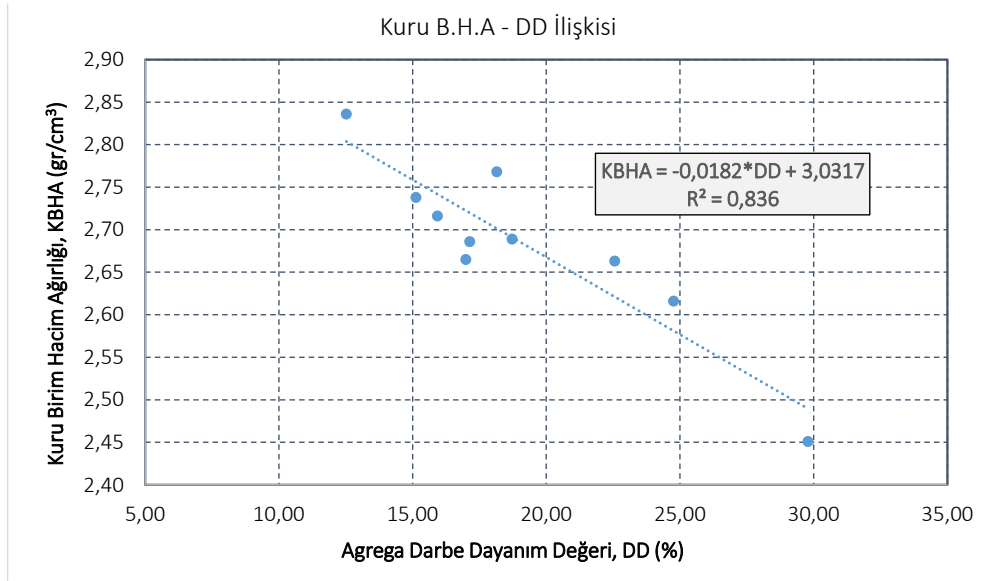
Los Angeles aşınma deneyi ile diğer agrega deney parametrelerinin korelasyonlarına ait literatürde çeşitli çalışmalar bulunmaktadır (Ahmad vd., 2017; Wu vd., 1998; Adomako vd., 2021; Mohajerani vd., 2017). Esfahani vd. (2019), 273 kaya veri seti üzerinde yaptığı çalışmada Los Angeles aşınma değeri ile porozite arasında zayıf korelatif bir ilişkinin var olduğunu belirtmiştir. Bu çalışma kapsamında ise Los Angeles aşınma değeri ile görünür porozite arasında doğrudan tanımlanabilecek bir ilişki belirlenememiştir. Los Angeles değeri (LAD) ve darbe dayanım değerlerinin (DD) bir başka aşınma parametresi olan dikey aşınma ile var olan ilişkileri de bu çalışma kapsamında araştırılmıştır. Literatürde bu konuda var olan herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Agregaların aşınma (LAD) ve dayanım (DD) parametrelerine doğrudan etkili olabilecek bir diğer parametrenin ise kayaca ait kuru birim hacim ağırlığı (KBHA) olduğu belirlenmiştir. KBHA değeri, hem LAD ve hem de DD değerleri ile korelatif ilişkili bir parametre olarak tespit edilmiştir. Bu parametreler arasındaki ilişkiler Şekil 6 ve Şekil 7’de ortaya konulmuştur.



Şekil 6. İncelenen kaya grupları için kuru birim hacim ağırlığı ile Los Angeles aşınma değeri arasındaki ilişki.

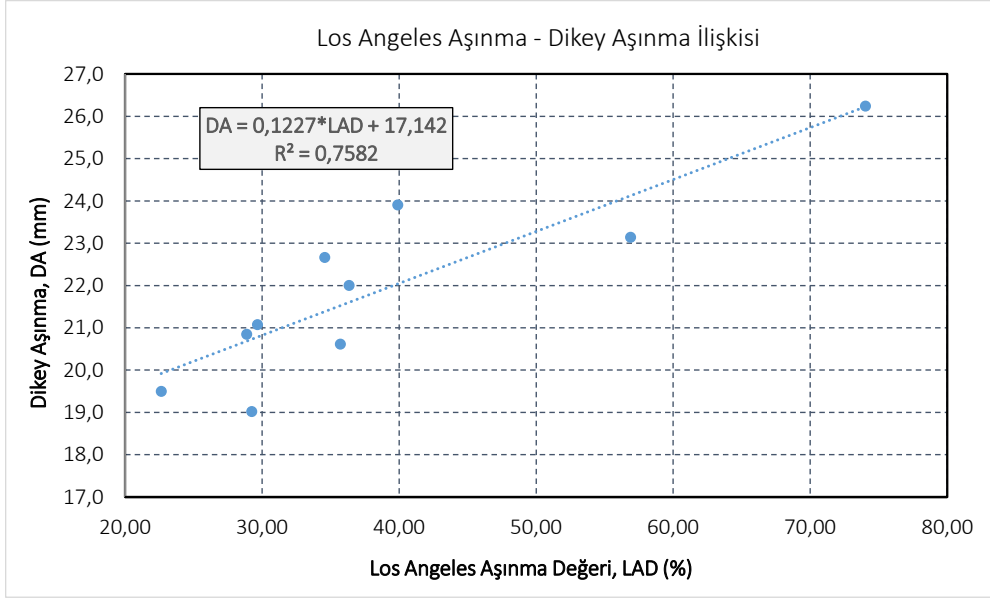
Figure 6. Dry unit weight and Los Angeles abrasion relationship of rock groups.

Aşınma deneyleri kayaca ait hem yüzey sertliğinin ve hem de dayanımın bir ölçütü olarak kabul edilmektedir. Doğaltaş mamuller için geliştirilmiş aşınma deney yöntemleri genel olarak yüzey sertliğinin ölçülmesini sağlamaktadır. Ancak örneklemeler için kesilmiş prizmatik örneklerin kullanılması gerektiğinden, kayaca ait farklı dokusal ve yapısal özelliklerin aşınma değerine etkisi de görülebilmektedir. Bu çalışmada elde edilen dikey aşınma (wide wheel abrasion) değerleri, diğer aşınma parametreleri olan Los Angeles aşınma (LAD) ve darbe dayanım değerleri (DD) ile ilişkilendirilmiştir. Dikey aşınma değerleri ile hem Los Angeles aşınma ve hem de darbe dayanım değerleri arasında doğrusal ve oldukça anlamlı ilişkilerin var olduğu belirlenmiştir (Şekil 8 ve Şekil 9).



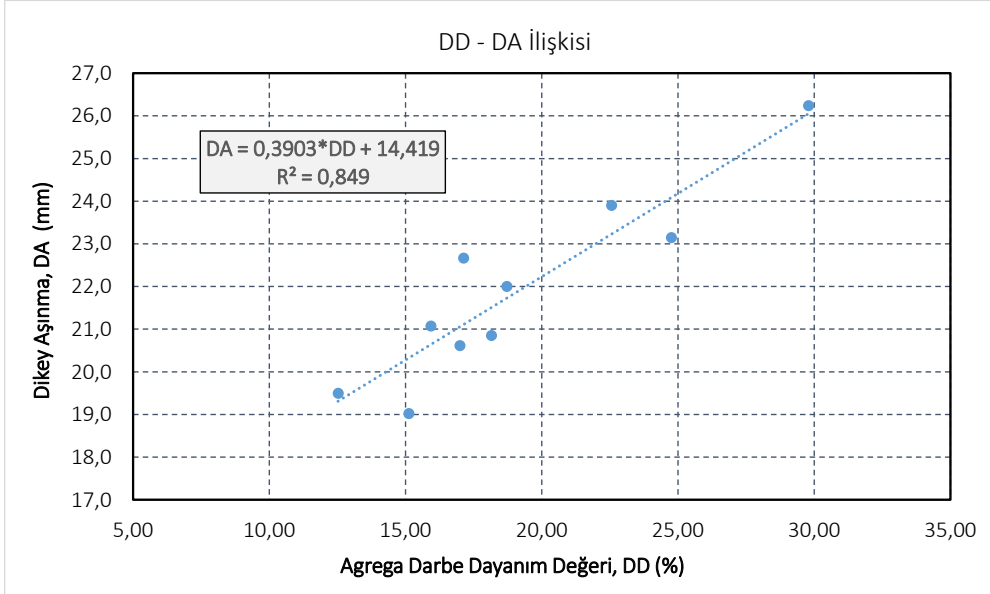
Şekil 7. Kaya grupları için kuru birim hacim ağırlığı ile darbe dayanım değeri arasındaki ilişki.

Figure 7. Dry unit weight and aggregate impact value relationship of rock groups.



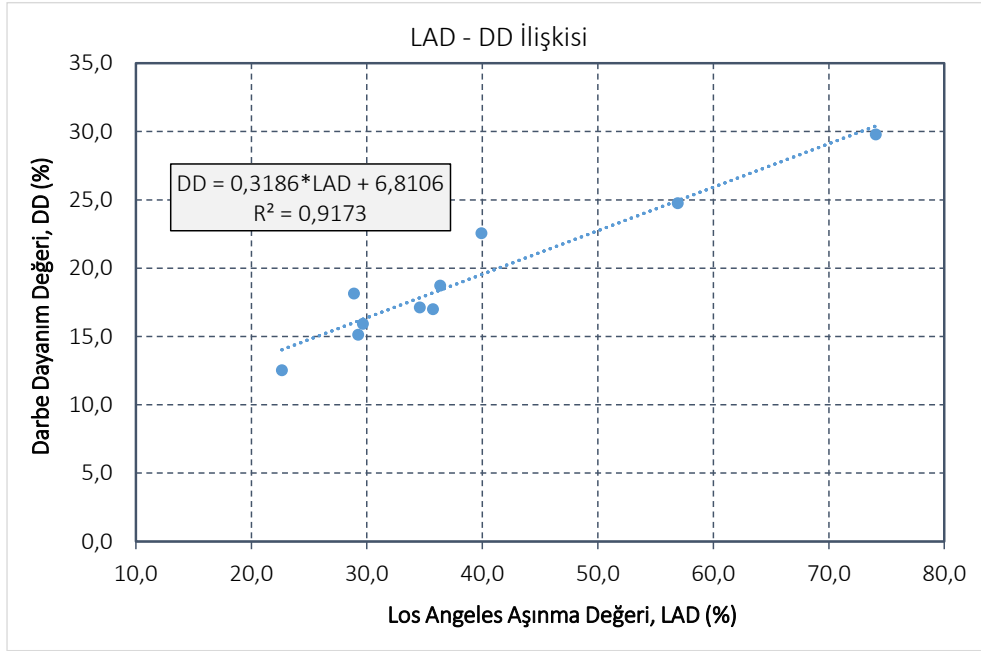
Şekil 8. Dikey aşınma ile Los Angeles aşınma değeri arasında tanımlanmış ilişki.

Figure 8. Wide Wheel abrasion and Los Angeles abrasion value relationship of rock groups.



Şekil 9. Dikey aşınma ile darbe dayanım değeri arasında tanımlanmış ilişki.

Figure 9. Wide Wheel abrasion and aggregate impact value relationship of rock groups.



Şekil 10. Darbe dayanım değeri ile Los Angeles aşınma değeri arasında tanımlanmış ilişki.

Figure 10. Aggregate impact value and Los Angeles abrasion value relationship of rock groups.

Bu durum, karbonat kökenli kayalar için dikey aşınma değerlerinin kullanılarak kolay bir şekilde agrega aşınma parametreleri olan Los Angeles ve darbe dayanım değerlerinin belirlenmesini sağlayabilecektir.

Agregalar için değerlendirme kriterleri de tanımlanmış olan Los Angeles aşınma ve darbe dayanım değerleri önem taşımaktadır. Ancak her iki deney yöntemi de hem emek ve hem de zaman isteyen çalışmalarla belirlenebilmektedir. Bu çalışma kapsamında bu iki deney verileri arasındaki ilişkilerin de incelenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen veriler Şekil 10'da tanımlanmış doğrusal bir ilişkinin var olduğunu ortaya koymuştur. Bu iki deney parametresinin doğrudan ele alınarak irdelendiği kısıtlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Literatür incelemeleri, var olan çalışmaların özeti şeklinde Çizelge 3'te sunulmuştur. Çizelge 3, farklı kaya türleri için de olsa bu iki parametre arasındaki ilişkinin oldukça kuvvetli olduğunu ortaya koymaktadır.

Çizelge 3. Los Angeles aşınma ile agrega darbe dayanım değerleri arasındaki ilişkilerin tanımlandığı çalışmalar.

Table 3. Identification of Los Angeles abrasion and aggregate impact value relationship.

Korelasyon	Eşitlik	R ²	Kaynak	Litoloji
DD – LAD	$DD = 1.086 * LAD - 3.470$	0.811	Ahmad vd. (2017)	45 farklı kaya
DD – LAD	$DD = 0.896 * LAD - 2.964$	0.863	Al-Akhaly (2018)	Bazalt
LAD – DD	$LAD = 1.175 * DD + 1.564$	---	Jayawardena (2008)	Gnays
LAD – DD	Tanımlanmamış	---	Stalheim (2014)	Granit
LAD – DD	$LAD = 0.76 * DD + 17.82$	0.94	Ugbe (2020)	Iyuku Graniti
LAD – DD	$LAD = 0.91 * DD + 0.29$	0.90	Brennan vd. (2011)	15 farklı kaya
LAD – DD	$LAD = 1.434 * DD - 5.851$	0.97	Kissakwa ve Verhoef (1991)	11 farklı kaya
LAD - DD	$LAD = 1.115 * DD + 5.627$	0.78	Esfahani vd. (2019)	273 farklı kaya
LAD - DD	$LAD = 1.22 * DD + 2.56$	0.82	Al-Harhi (2001)	110 farklı kaya
LAD - DD	$LAD = 1.49 * DD + 9.53$	0.79	Teymen (2017)	39 farklı kaya
DD - LAD	$DD = 0.318 * LAD + 6.811$	0.92	Bu çalışma	Kireçtaşı

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Beton ve türevi malzemelerin üretimlerinde karbonat kökenli kayalar ağırlıklı olarak tercih edilerek kullanılmaktadır. Bunun haricinde temel ve diğer kazı içi dolguların oluşturulmasında da kireçtaşları ocaklarından elde edilen kırmataş malzemelerin kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışma, 10 farklı lokasyondan elde edilmiş olan kireçtaşı için malzeme özellikleri ile agrega aşınma ve dayanım özelliklerine ait ilişkilerin araştırılması amacıyla gerçekleştirilmiştir. Kaya malzeme özelliklerinin belirlenmesinde prizmatik küp şekilli örnekler kullanılmış ve aynı örnekler çeneli kırıcıda öğütülerek Los Angeles ve darbe dayanım deneyleri için gerekli agregalar elde edilmiştir. Kayaca ait kuru birim hacim ağırlık değerinin (KBHA) hem Los Angeles (LAD) ve hem de darbe dayanım (DD) deney verileri ile ilişkilendirilebilecek bir fiziksel parametre olduğu belirlenmiştir. İlk kez bu çalışma kapsamında incelenmiş olan kayaca ait dikey aşınma (DA) değerinin kullanılması ile de agregalara ait Los Angeles ve darbe dayanım değerlerinin önceden tahmin edilebileceği ortaya konmuştur. Ayrıca Los Angeles aşınma değerleri ile darbe dayanım değerleri arasındaki pozitif korelatif ilişkinin olduğu da belirlenmiştir.

Bu çalışmada elde edilmiş ve kireçtaşı kökenli kayalar için kullanılabilirliği önerilen ilişkiler Çizelge 4’de sunulmuştur.

Çizelge 4. Bu çalışma kapsamında incelenen deney parametreleri ve tanımlanmış ilişkiler.

Table 4. Test parameters and defined relationships this study.

Korelasyon	Eşitlik	R ²
n - ASE	$n = 2.465*ASE + 0.084$	0.983
KBHA - LAD	$KBHA = 0.0064*LAD + 2.926$	0.898
KBHA - DD	$KBHA = 0.0182*DD + 3.032$	0.836
LAD - DA	$DA = 0.123*LAD + 17.142$	0.758
DD - DA	$DA = 0.390*DD + 14.419$	0.849
LAD - DD	$DD = 0.318*LAD + 6.152$	0.848

Agrega özelliklerinin belirlenmesinde birçok jeolojik faktörün etkili olduğu bilinmektedir. Farklı litolojik özelliklerdeki kayalar üzerinde yapılacak benzer çalışma ve değerlendirmelerle ancak genel olarak kullanılabilir eşitliklerin oluşturulması mümkün olabilecektir. Ayrıca çoklu regresyon analizleri ile ortaya konulacak ilişkilerden ziyade doğrudan ilişki tekil parametrelerin sorgulanması da zaman ve emek açısından fayda sağlayacaktır.

KATKI BELİRTME

Bu çalışmanın oluşmasında gerekli örnekleri temin eden mermer işletmelerine ve ayrıca makalenin gelişmesine katkı sağlayan hakemlere teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Adomako, S., Engelsen, C.J., Thorstensen, R.T., Barbieri, D. M., 2021. Review of the relationship between aggregates geology and Los Angeles and micro-Deval tests, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 80, 1963–1980.
- Ahmad, M., Ansari, M.K., Sharma, L.K., Singh, R., Singh, T.N., 2017. Correlation between Strength and Durability Indices of Rocks- Soft Computing Approach, Procedia Engineering, 191, pp. 458 – 466.
- Ajalloeian, R., Kamani, M., 2019. An investigation of the relationship between Los Angeles abrasion loss and rock texture for carbonate aggregates, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 78:1555–1563.

- Al-Akhaly, A.İ., 2018. Engineering Properties of Basalt Coarse Aggregates in Hamdan Area, NW Sana'a, Yemen, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 42, 159 – 174.
- Al-Akhaly, A.İ., Al-Sakkaf, A.A., 2020. Assessment of Engineering Properties of Al-Haweri Scoria, NW Sana'a, Yemen, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 44, 117 – 131.
- Al-Harhi, A.A., 2001. A field index to determine the strength characteristics of crushed aggregate. *Bull Eng Geol Environ* 60:193–200.
- American Association of State Highway and Transportation Officials AASHTO T 96, 2002. Standard Method of Test for Resistance to Degradation of Small-size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine.
- AS 1141.23, 2009. AS Standards Australia, Methods for sampling and testing aggregates – Method 23: Los Angeles Value.
- ASTM C131, 2014. Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine.
- Brennan, M.J., Crawley, K.I., Sheahan, J.N., Jordan, J., 2011. Ranking the Performance of Aggregates using CEN Test Results, *Road Materials and Pavement Design*, 4:4, 439-454.
- BSI, British Standards Institution BS 812-112, 1990. Testing aggregates Part 112: Methods for determination of aggregate impact value (AIV).
- Cuelho, E., Mokwa, R., Obert, K., Miller, A., 2007. Comparative Analysis of Coarse Surfacing Aggregate Using Micro-Deval, L.A. Abrasion and Sodium Sulfate Soundness Tests. Final report for the Montana Department of Transportation, FHWA/MT-06-016/8117-27.
- Çobanoğlu, İ., Çelik, S.B., Dinçer, İ., Alkaya, D., 2009. Core size and time effects on water absorption values of rock and cement mortar samples, *Bull Eng Geol Environ.*, 68:483–489.

- Esfahani MK, Kamani M, Ajalloeian R., 2019. An investigation of the general relationships between abrasion resistance of aggregates and rock aggregate properties. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 78 (6) :3959–3968.
- Ioannou, I., Petrou, M.F., Fournai, R., Andreou, A., Hadjigeorgiou, C., Tsikouros, B., Hatzipanagiotou, K., 2019. Crusher limestone as an aggregate in concrete production: the Cyprus case, *Geological Society, Special Publications*, Vol. 331, pp. 127 – 135, London.
- Jayawardena, A.S., 2008. A Study on The Relationship between Aggregate Impact Values (AIV) and Los Angeles Abrasion Values (LAAV) of Charnockites/Charnockitic Gneisses in Sri Lanka, *Engineer*, Vol. 03, pp. 37 – 41, Sri Lanka.
- JSA JIS A 1121, Japanese Standard Association, 2007. Method of test for resistance to abrasion of coarse aggregate by use of the Los Angeles Machine.
- Kahraman, S., Fener, M., 2007. Predicting the Los Angeles abrasion loss of rock aggregates from the uniaxial compressive strength, *Materials Letters* 61, 4861–4865.
- Kılıç, A.M., Kahraman, E., 2017. Çukurova Bölgesi Kireçtaşlarının Los Angeles Aşınma Direnci ile Fiziko-Mekanik Özellikleri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(4), ss. 31-38.
- Kissakwa, L.R.S., Verhoef, P.N.W., 1991. Correlation study of aggregate strength tests, *Proceedings of the 2nd International Conference on Aggregates*, Erlangen, Germany.
- Mohajerani, A., Nguyen, R.T., Tanrıverdi, Y., Chandrawanka, K., 2017. A new practical method for determining the LA abrasion value for aggregates, *Soils and Foundations*, 57, pp. 840 – 848.
- SASO 279., 1982. Saudi Arabian Standards Organization, Methods of test for concrete aggregate – Part 5: Determination of coarse aggregate resistance to abrasion Los Angeles Machine.

- Stalheim, J., 2004. Comparative study of established test methods for aggregate strength and durability of Archean rocks from Botswana, Msc thesis, Uppsala University Department of Earth Science, 36 p. Botswana.
- Teymen, A., 2017. Estimation of Los Angeles abrasion resistance of igneous rocks from mechanical aggregate properties, Bull Eng Geol Environ., 78:837–846.
- TS 706 EN 12620+A1, 2009. Beton Agregaları, 50 s, TSE Yayını, Ankara.
- TS EN 14157 (2004). Natural stones - Determination of abrasion resistance. European Standard, 19 p.
- TS EN 1926 (2006). Natural stone test methods - Determination of uniaxial compressive strength. European Committee for Standardization, 20 p.
- TS EN 1936 (2006). Natural stone test methods - Determination of real density and apparent density, and of total and open porosity. European Committee for Standardization, 11 p.
- Tuncay, E.B., Yağmurlu, F., Ceylan, H., 2015. Karaöz (Antalya-Türkiye) Civarındaki Dolomitik Kireçtaşlarının Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği, SDÜ Teknik Bilimler Dergisi, Cilt 5, Sayı 1, s. 48 – 57.
- Tunç, E.T., Alyamaç, K.E., 2020. Farklı Test Parametreleri için Agregat Tipinin Los Angeles Aşınma Kaybı Üzerine Etkisi, Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi, 32(1), 1 – 10.
- Ugbe, F.C., 2020. Petrography and Physicomechanical Characteristics of Iyuku Granite, Southwestern Nigeria, Iraqi Journal of Science, Vol. 61, No. 11, pp. 2926 – 2935.
- Wu, Y., Parker, F., Kandhal, K., 1998. Aggregate Toughness/Abrasion Resistance Anddurability/Soundness Tests Related To Asphalt Concrete Performance In Pavements, NCAT Report No. 98-4, 26 p.



Araştırma Makalesi / Research Article

Kaleköy-Hombur (Çağlayancerit-Kahramanmaraş) Civarının Tektono-Stratigrafik Özellikleri

Tectono-Stratigraphic Characteristics of Kaleköy-Hombur (Çağlayancerit-Kahramanmaraş) Districts

CİHAN YALÇIN¹ ORCID 0000-0002-0510-2992

ALİCAN KOP² ORCID 0000-0002-1420-4042

¹Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Sanayi Bölgeleri Genel Müdürlüğü, Dünya Bankası Proje Uygulama Birimi, Ankara

²Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş

Geliş (received): 24/02/2022

Kabul (Accepted): 30/03/2022

ÖZ

Doğu Toros Orojenik Kuşağı üzerinde bulunan Kahramanmaraş ili jeolojik yapısı sebebiyle farklı tektonik birliklerin bir arada bulunduğu önemli bir bölgedir. Bu bölgede Neotetis okyanusunun kapanmasına bağlı olarak gelişen kıta-kıta çarpışması sebebiyle Toros Orojenik Kuşağına ait birimler Arap Otoktonu üzerine itilmiş ve nap dilimleri ortaya çıkmıştır. Engizek Askuşağında yer alan Kaleköy ve Hombur (Çağlayancerit-Kahramanmaraş) bölgesinde de bu nap dilimleri gözlenir. Bölgede Paleozoyik-Kuvaterner yaş aralığında gelişmiş farklı türden kayaç grupları bulunur. Çarpışma kuşağında yer alan bu bölgede kuzeyden güneye doğru Malatya Metamorfileri, Kenet Kuşağı ve Arap Otoktonu birimleri yer alır. Bölge, sıkışmanın etkisi ile birbirleri üzerine dilimlenmiş farklı tektonostratigrafik dizilimlerden oluşmuştur. Allokton Malatya Metamorfileri naplar nedeniyle tabandan tavana doğru sırası ile Berit Metaofiyoliti, Ziyaret Tepe ve Kaleköy Tektonik Dilimlerini oluşturur. Bu dilimlerin hemen güneyindeki şaryaj cephesinde ise Kenet Kuşağına ait sedimanter ve volkanik birimler ekaylı bir yapı oluşturacak şekilde dilimlenmiştir. Kenet Kuşağı'nın daha güneyindeki alanlarda ise Arap Platformu'nu temsil eden otokton konumlu kayaç toplulukları gözlenmektedir. Kuzey-Güney yönlü sıkışmanın etkisi ile bindirme zonları ve kıvrım eksenleri de doğu-batı uzanımlıdır. Otokton birimlerin gözlendiği Odunsala Mahallesi civarında da Eosen yaşlı kireçtaşları Orta-Geç Miyosen yaşlı çakıltaşı ve kumtaşları üzerine bindirme dokanağı ile

gelmektedir. Bu bölgedeki tüm yapısal elemanlar bölgedeki sıkışma rejiminin uzun süredir yaklaşık K-G yönlü olduğunu gösterir.

Anahtar Kelimeler: Engizek, nappe, tektonik dilim, Kaleköy-Hombur (Kahramanmaraş)

CİHAN YALÇIN, cihanyalcinjeo@gmail.com

¹Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Sanayi Bölgeleri Genel Müdürlüğü, Dünya Bankası Proje Uygulama Birimi, Ankara

ABSTRACT

Kahramanmaraş province, on the Eastern Taurus Orogenic Belt, is a significant region where various tectonic units coexist because of its geological structure. Because of the continent-continent collision that formed owing to the closure of the Neotethys ocean in this district, the units of the Taurus Orogenic Belt thrust on the Arabian Autochthonous and nappe slices emerged. These nappe slices are still observed in Kaleköy and Hombur (Çağlayancerit-Kahramanmaraş) zones, which are in the Engizek belt. The Paleozoic-Quaternary various rock groups were found in this region. The Malatya Metamorphites, Suture Belt and Arabian Autochthonous units are located in this collision zone from north to south respectively. The region is composed of different tectonostratigraphic sequences sliced on top of each other by the effect of compression. Allochthonous Malatya Metamorphites constitute the Berit Metaophiolite, Ziyaret Tepe and Kaleköy Tectonic Slices from bottom to top because of the nappes evolution. In thrust zones on the south of these slices, the sedimentary and volcanic units of the Suture Belt imbricated. In zones south of the Suture Belt, autochthonous rock assemblages representing the Arabian Platform were observed. With the effect of North-South compression, thrust zones and fold axes oriented east-west. Nearby Odunsala district, where autochthonous units are observed, the Eocene limestones overlay the Middle-Upper Miocene conglomerate and sandstones with a thrust contact. All structural elements in this region show that the compressional regime in the region has been relatively N-S direction for a long time.

Keywords: Engizek, nappe, tectonic slice, Kaleköy-Hombur (Kahramanmaraş)

GİRİŞ

Kahramanmaraş jeolojik yapısı bakımından farklı tektonik birliklerin bir arada gözlendiği karmaşık bir bölgedir. Neotetis Okyanusu'nun güney kolunun kapanması ile ilişkili birçok bindirme ve fay zonları bu bölgede gözlenir (Şengör ve Yılmaz 1981). Bu okyanusun kapanması ve bunun sonucunda da Torid ile Arap levhalarının birbirlerine yaklaşmaları ile kenet kuşakları meydana gelmiştir (Robertson ve Dixon 1984; Yılmaz 1993; Yılmaz vd.,

1988, 1993a, b; Elmas ve Yılmaz 2003; Robertson 2000, 2002; Robertson vd., 2004, 2006, 2012). Okyanus tabanının tüketilmesi ile allokton birimler, güneydeki Arap platformu üzerine itilmiş ve bu iki kıta arasında kenet kuşağı ve şaryaj cepheleri oluşmuştur (Yılmaz, 1984; Yılmaz, vd., 1987). Rigo De Righi ve Cortesini (1964), Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki tektonostratigrafik birimleri, Toros Orojenik Kuşağı, Kenar Kıvrımları Kuşağı, Kıvrımlanmış Kuşak ve Ön Ülke olmak üzere dört ana tektonik kuşağa; Gül (2000) ise Kahramanmaraş ve yakın civarını Orojenik Kuşak ve as kuşaklara ayırmıştır. Yalçın (2012), Çağlayancerit ve batısındaki farklı kökenli kayaçları haritalamış ve bölgenin deformasyon yapılarını ortaya koymuştur. Akıncı vd., (2016), Çağlayancerit ve civarındaki sedimanter birimleri ayrıntılı incelemiş ve dalma batma ve çarpışma sonucunda ortaya çıkan istifleri modellemiştir.

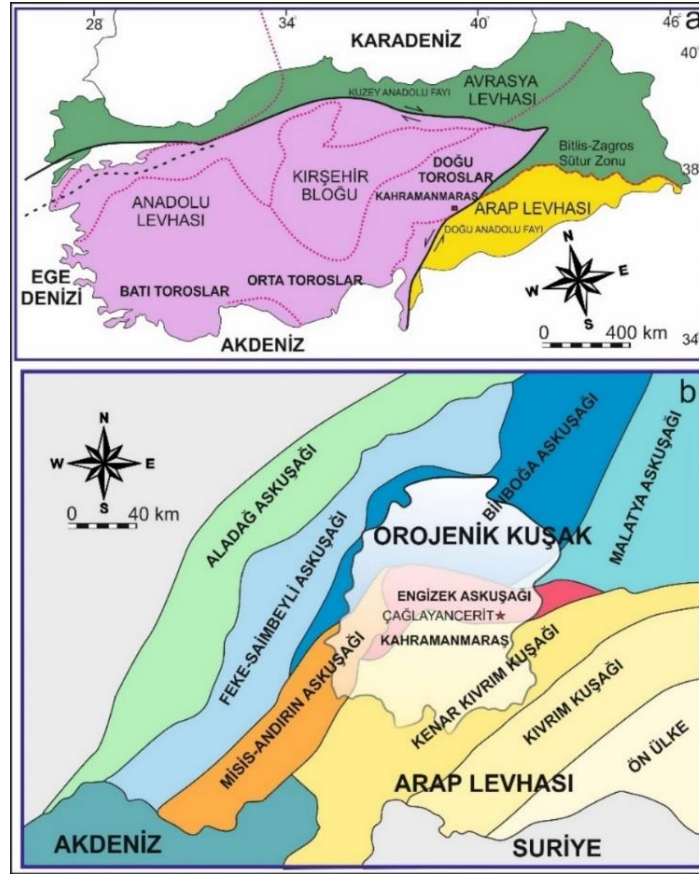
Çağlayancerit ve civarında iki farklı plakaya ait kayaçların bir arada gözlenmesi ve şaryaj cephelerinde farklı tektonik dizilimlerin olması sebebiyle bölgenin ayrıntılı jeoloji haritasının hazırlanması ve tektonostratigrafik özelliklerin ortaya konulması bölgenin jeodinamiği için oldukça önemlidir. Bu çalışmada, Çağlayancerit (Kahramanmaraş) batısındaki Kaleköy-Hombur mahalleleri ve civarını kapsayan yaklaşık 175 km²'lik bir alanda yüzeyleyen litostratigrafik birimler ayrıntılandırılmış, bölgenin 1/25.000 ölçekli jeoloji ve yapısal elemanları haritaları hazırlanmıştır. Bu çalışmada bölgenin detaylı haritalanması ve farklı tektonostratigrafik istiflerin ortaya konulması amaçlanmıştır.

MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada Çağlayancerit (Kahramanmaraş) batısında, 1/25.000 ölçekli Gaziantep M38 d2 paftasının büyük bir bölümü ve Gaziantep M38 a3 paftasının güney kısımları haritalanmıştır. İnceleme alanı Doğu Toros Orojenik Kuşağında yer alan Kahramanmaraş ilinin (Şekil 1a) yaklaşık 60 km kuzeydoğusundaki Çağlayancerit bölgesinde yer almaktadır. Bu bölge ve civarı ise Gül (2000) tarafından Engizek Askuşağı olarak adlandırılmıştır (Şekil 1b). Bu kuşağın hemen güneyinde ise Arap levhasına ait kenar kıvrım kuşağı bulunmaktadır.

Orta Miyosen'de, bu bölgede Arabistan Levhası'nın Anadolu Levhası'na çarpması ile allokton birimlerin sığ olan Miyosen havzasına yerleştiği ve havzanın kısmen kara haline dönüşmesine

neden olduğu belirtilmiştir (Gözübol ve Gürpınar, 1980). Gül (1987), Anadolu ve Arabistan levhalarının çarpışmasının Geç Kretase'de gerçekleştiğini ve Paleosen-Erken Eosen döneminde de bölgede sıkışma rejiminin etkin olduğunu ifade etmiştir. Yılmaz ve Yiğitbaş (1990), Geç Kretase-Miyosen arasında Arap kıtasının Anadolu levhasına doğru olan hareketi sonucunda, bölgenin naplı özelliği kazandığını belirtmektedirler.



Şekil 1. a) İnceleme alanının tektonik konumu (Işık, 2016'dan değiştirilmiştir), b) İnceleme alanının tektonik kuşaklara göre konumu (Gül, 2000'den değiştirilerek alınmıştır).

Figure 1. a) Tectonic location of the study area (Modified from Işık, 2016) b) Location of the study area according to tectonic belts. (modified from Gül, 2000).

GENEL JEOLJİ

İnceleme alanının kuzey bölümlerinde (Kaleköy, Zorkun) genel olarak; Toros Orojenik Kuşağı içerisinde yer alan ve Gül (2000) tarafından Engizek Askuşağı olarak adlandırılan metamorfik kayalar gözlenmektedir. Nap dilimleri ile güneye doğru itilmiş bu birimler farklı

stratigrafik dizilimlere sebep olmuştur. Bu alanın hemen güneyinde, Kenet Kuşağı olarak adlandırılan cephe şaryajları izlenmektedir. İnceleme alanının orta ve güney bölümlerinde ise Arap platformuna ait otokton birimler gözlenmektedir.

Çağlayancerit (Kahramanmaraş) KB'sında Kaleköy ve Hombur mahalleleri civarında Paleozoyik'ten Kuvaterner'e kadar farklı ortam ve fasiyesleri temsil eden litostratigrafi birimler yüzeylemektedir (Şekil 2). Bölgenin kıta-kıta çarpışma kuşağında yer alması sebebiyle gelişen nap ve cephe şaryajlarında allokton nitelikli kayaç grupları otokton birimler üzerine sürüklenmiştir. Bu nedenle çalışma alanında yüzeyleyen kayaç toplulukları öncelikle konumlarına göre otokton ve allokton şeklinde iki ana grupta sınıflandırılmıştır. Allokton kayaçlar ise kökensel konumları dikkate alınarak Kenet Kuşağı ve Toros Orojenik Kuşağı içinde yer alan Malatya Metamorfileri olarak iki ana grupta ele alınmıştır (Şekil 2).

Allokton Birimler

İnceleme alanında Kaleköy, Hombur ve Zorkun bölgelerinde geniş yayılım sunan allokton birimler Malatya Metamorfileri ve Kenet Kuşağı birimlerinden oluşur. Kuzeyden güneye doğru Malatya Metamorfileri yaklaşık D-B uzanımlı hatlar boyunca hem birbirleri üzerine hem de Kenet Kuşağı birimleri üzerine naplar şeklinde yerleşmiştir (Şekil 2). Bu naplar neticesinde de farklı litolojik ve stratigrafik dizilimler ortaya çıkarak tektonik dilimler meydana gelmiştir.

Malatya Metamorfileri

İnceleme alanının en yaşlı birimini Çayderesi Formasyonu (Pç) oluşturmaktadır. Kaleköy civarında, kuzeyinde geniş yayılım gösteren ve kuzey bölgelerde sarp tepelerde klip şeklinde görülen birim ilk kez Özgül vd., (1981) tarafından adlandırılmış olup, birimin yaşı Özgül ve Turşucu (1983) tarafından Geç Permiyen olarak belirlenmiştir. Genellikle sunduğu sarp topoğrafik yapısı ve koyu gri-mavimsi gri rengi ile arazide belirgindir. Çayderesi Formasyonu başlıca mermer, rekristalize kireçtaşı ve meta dolomitik kireçtaşlarından oluşmaktadır (Şekil 2). Birimin taban dokanağı inceleme alanında hemen hemen her yerde tektoniktir. Çayderesi Formasyonu bu bölgede hem Karabayır Formasyonu (Trmk) hem de Kenet Kuşağına ait birimler üzerine tektonik dokanak ile gelmektedir (Şekil 2, 3). Birim Orta-Üst Triyas yaşlı Karabayır Formasyonu tarafından da açılmal uyumsuzlukla örtülmektedir (Şekil 2).

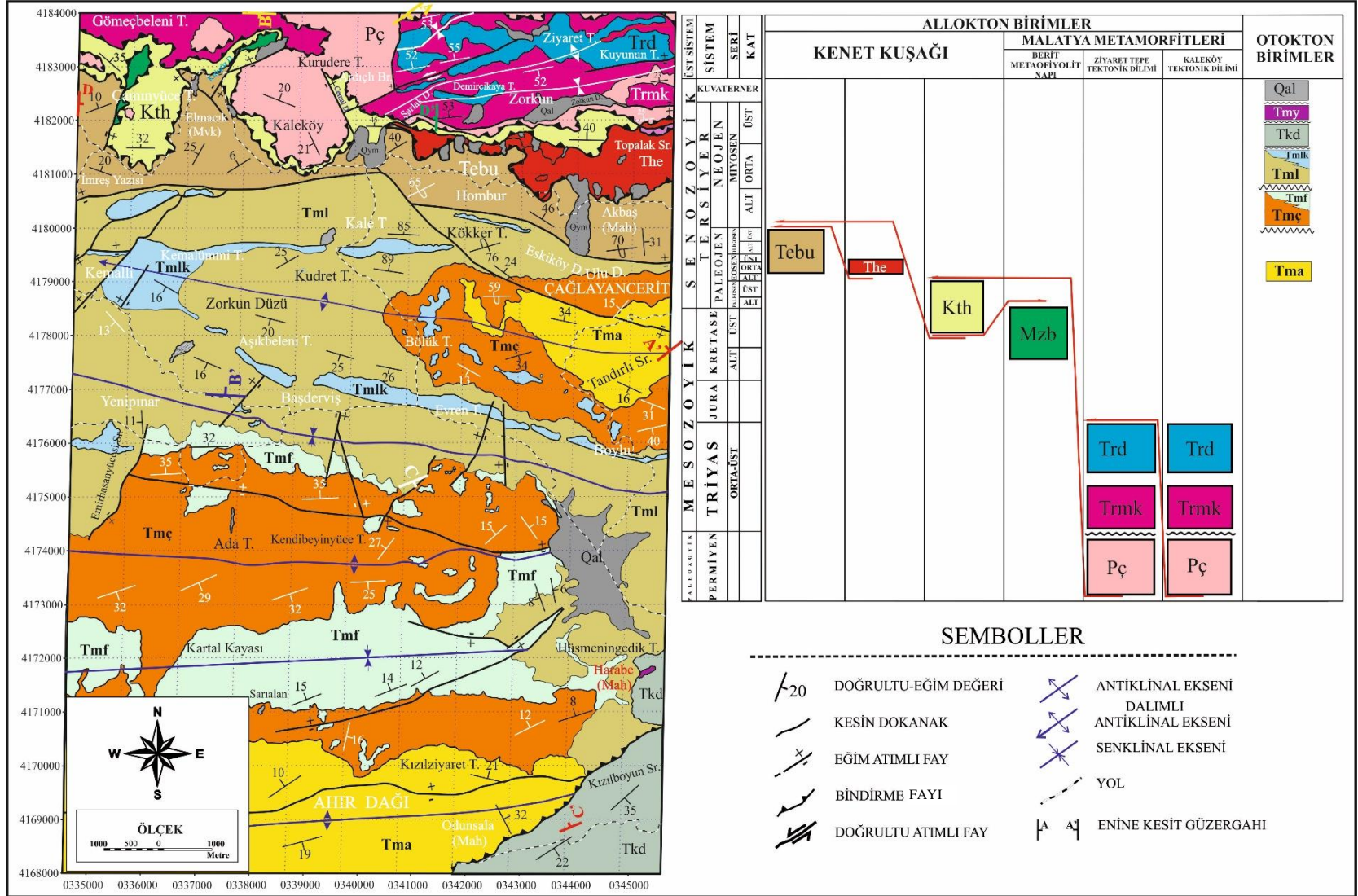
Karabayır Formasyonu (Trmk); inceleme alanının kuzey bölümünde Zorkun, Ziyaret Tepe ve Gömeçbeleni tepesinde yaygın olarak gözlenir. Birim, genel olarak kırmızı renkli şeyl ve silttaşı ardalanması, yeşilimsi diyabaz, alacalı renkli masif çakıltası, kumtaşı ve çakıllı kumtaşlarından oluşur. Formasyonun yaşı Orta-Geç Triyas olarak belirlenmiştir (Yiğitbaş, 1989). Bu litolojiler Kaleköy kuzeybatısında Kenet Kuşağına ait birimler üzerine tektonik dokanak ile gelmekte olup, Dedearıçgediği Formasyonu (Trd) tarafından uyumlu bir şekilde örtülmektedir (Şekil 2, 3).

Dedearıçgediği Formasyonu (Trd); inceleme alanının kuzeyinde Ziyaret Tepe civarında geniş alanlarda yüzlek verir. Başlıca meta dolomit, mermer ve kalkıştlerden oluşan birim ilk kez Baydar ve Yergök (1996) tarafından adlandırılmıştır. Formasyonun taban seviyelerinde metamorfizma etkisiyle mermerleşme görülmekte ve kalkıştler ile de yanal ve düşey yönde bir geçiş sunmaktadır.

Berit Metaofiyoliti (Mzb); Birim, inceleme alanında Kırkgöz dere ve Çamınyüce Tepesinin batısındaki derede tektonik pencere şeklinde yüzeylenmektedir (Şekil 2, 3). Tektonizmanın etkisiyle ezik bir yapı kazanmıştır. İnceleme alanında bu kayaç topluluğuna ait yüzlekler sınırlı alanlarda bulunur. Birime ait dokanakların tektonik olması sebebiyle kayaçlar yoğun deformasyona uğramış ve bu nedenle de farklı boyutta bloklardan oluşan litolojiler bir arada gözlenmektedir. Birim, başlıca peridotit, serpantinleşmiş peridotit, gabro ve diyabaz daykları ile temsil edilir. Yeşil, koyu yeşil, siyahımsı yeşil rengi ve bloklu yapısıyla arazide kolayca ayırtlanabilen ofiyolitik kayaç topluluğunun yer yer beyaz, bej renkli oldukça sert-sağlam yapılı plajiyogranitler tarafından kesilmektedir.

Berit Metaofiyoliti Kenet Kuşağına ait Üst Kretase-Paleosen yaşlı Harami Formasyonu (KTh) tarafından tektonik olarak üzerlenmektedir. Ayrıca aynı alanda Berit Metaofiyoliti ve Harami Formasyonu'nun Orta Eosen yaşlı Bulgurkaya formasyonu ile faylı bir dokanakla yan yana geldiği gözlenmiştir.

Önceki çalışmalarda Berit Metaofiyoliti, Yüksekova Karmaşığı (Perinçek, 1979; Perinçek ve Kozlu, 1984) gibi adlarla da tanımlanmış ve Kretase'de kapanmaya başlayan Neotetis'in güney kolunun kalıntıları olarak ifade etmişlerdir (Gül, 2000).



Şekil 2. İnceleme alanının jeoloji haritası.

Figure 2. Geological map of the study area.

Kenet Kuşağı

İnceleme alanının kuzeyinde yüzeyleyen Malatya Metamorfileri'nin güney kesimlerinde doğu-batı uzanımlı bir hat boyunca yüzlek veren, ekaylı yapılar oluşturarak dilimlenen ve Geç Kretase-Geç Oligosen zaman aralığında çökelmiş farklı kaya grupları Kenet Kuşağı'nı oluşturmaktadır (Şekil 2,5). Bu çalışmada Kenet Kuşağı içerisinde 3 birim tanımlanmıştır. Bu birimler aşağıda açıklanmıştır.

Harami Formasyonu (KTh); inceleme alanının kuzey bölgelerinde doğudan batıya doğru kesiksiz olarak yayılım göstermektedir (Şekil 2). Yiğitbaş (1989) birimin Geç Maastrichtiyen-Paleosen yaşında olduğunu ve Erdoğan (1975) birimin Erken Miyosen şaryajları ile bölgeye taşındığını belirtmiştir.

İnceleme alanında batıdan doğuya doğru Çaminyüce Tepesi, Kırkgöz dere, Kaleköy, Cemal dere, Şarлак dere ve İncirinbaşı civarı boyunca gözlenen birim, genel olarak türbiditik bir çökel karakteri sergiler. Birim, başlıca çakıltaşı, kumtaşı, şeyl, marn ve kırıntılı kireçtaşı litolojilerinden oluşur. Harami Formasyonu'na ait litolojiler hem yanal hem de düşey yönde sık sık istifsel değişiklikler sunarlar.

Harami Formasyonu kuzeydeki Malatya Metamorfileri ile güneydeki Otokton Birimler arasında kalan Kenet Kuşağı içerisinde yer aldığından dolayı tektonizmadan aşırı derecede etkilenmiştir. Bu nedenle çalışma alanında birimin taban ve tavan dokanakları tektoniktir (Şekil 2, 3). Harami Formasyonu; Berit Metaofiyoliti ile Helete-Bulgurkaya formasyonları üzerinde bindirmeli olarak yer alır (Şekil 2, 3). Bu bindirme zonu batıdan doğuya doğru kesintisiz olarak devam eder.

Helete Formasyonu (The); İnceleme alanında, Şarлак derenin güneyinden başlayarak doğuda Topalak sırtı civarına kadar kesintisiz olarak yüzeylemektedir (Şekil 2). Birim, koyu yeşil-alacalı rengi ve düzensiz röliyefler oluşturan morfolojik görünümü ile kolayca ayırt edilebilmektedir. Taban ve tavan dokanağı tektonik olan bu birim Kenet zounda şaryaj cephesinde doğu-batı yönlü uzanan tektonik kuşak boyunca gözlenmektedir. Birimin yaşı Orta Eosen olarak belirlenmiştir (Yiğitbaş, 1989).

Helete Formasyonu başlıca volkanik kayalar ile bu kayalardan türemiş çökel kayalardan oluşmaktadır. Birim, bazaltik andezit, andezit, dasit, riyodasit, riyolit, aglomera ve olisostromal kırıntılardan oluşmaktadır.

Hombur kasabasının kuzey batısından başlayarak doğuya doğru devam eden bir hat boyunca tavanda Harami Formasyonu tarafından tektonik dokanak ile örtülen birim tabanda ise Bulgurkaya Formasyonu üzerine bindirme olarak gelir (Şekil 2, 3). Bu bindirme düzlemleri arazide morfolojik olarak dik şevlerin oluşmasına ve yoğun yamaç molozu ve birikinti konilerinin gelişmesine sebep olmuştur.

Bulgurkaya Formasyonu (Tebu); Orta Eosen-Geç Oligosen yaşlı türbidit karakterli olistolitli kırıntılardan oluşur birim, Kozlu (1987) tarafından adlandırılmıştır. İnceleme alanında Kenet Kuşağının en güneyinde yaklaşık doğu-batı uzanımlı olarak geniş bir alanda yüzlek verir (Şekil 2, 3). Bulgurkaya Formasyonu başlıca olistolitli, killi-kumlu çakıltası seviyeleriyle ardalanan türbiditik kumtaşı-kalkarenit, çamurtaşı ve marnlardan oluşmaktadır. Deformasyonların etkisi ile birim içerisindeki tabaka düzlemlerinde çok sık kıvrımlar ve yer yer devrik tabakalar bulunur.

Litolojisi ve renkleri ile Otokton birimlerdeki Lice Formasyonu'na (Tml) çok benzediği için arazide ayırt edilmesi oldukça zordur. Kenet Kuşağının tabanı olan Bulgurkaya Formasyonu ile Lice Formasyonu arasındaki dokanağın faylı olduğu belirlenmiştir (Şekil 2, 3). Genel olarak doğu-batı uzanımlı olan ve Kökker tepesinin batısında KB-GD uzanımlı başka bir fay tarafından kesilen bu ana fay (Şekil 2) çalışma alanı boyunca Bulgurkaya ve Lice Formasyonlarını yan yana getirmektedir. Bu fay düzlemi aynı zamanda Kenet Kuşağı ve Arap Otoktonu sınırını da oluşturmaktadır.

Arap Otoktonu'na ait birimler inceleme alanının orta ve güney bölümlerinde Eosen-Geç Miyosen yaş aralığında farklı ortam ve fasiyesleri temsil eden litolojilerden oluşmaktadır (Şekil 2). Arap platformuna ait bu kayalar içerisinde en yaşlı birim Eosen yaşlı Ahırdağı Formasyonu'dur (Tma) (Önalın, 1984). Birim, genel olarak killi kireçtaşı ve kireçtaşlarından oluşur. Kireçtaşları; pelajik, çört bantlı ve yumrulu şekilde gözlenirken formasyon içerisinde yer yer çakıllı, orta kalın tabakalı, derecelenmeli çakıltası-kumtaşı seviyeleri de içermektedir. Birim, tavanda Çağlayancerit Formasyonu (Tmç) tarafından açılı

uyumsuzlukla örtülmektedir. İnceleme alanının güneyinde yer alan Odunsala Mahallesi civarında Ahırdağı Formasyonu Döngöle Formasyonu üzerine tektonik dokanakla gelmektedir (Şekil 2). Bu dokanak Türkiye Diri Fay Haritası'nda olası aktif fay olarak nitelendirilmiştir (Şaroğlu vd., 1987).

Çağlayancerit Formasyonu (Tmç); başlıca ince-orta kalın tabakalı karbonatlı kumtaşları ve marn-kiltaş-şeyl birimleriye ardalanan litolojilerden oluşur (Gül, 2000). İnceleme alanında Boylu ve Ada tepe civarında geniş alanlarda mostra vermektedir (Şekil 2). Birim üzerinde uyumlu olarak yer alan resifal kireçtaşlarından oluşan Fırat Formasyonu'yla da yanal-düşey geçişlidir. Fırat Formasyonunun bulunmadığı alanlarda ise Çağlayancerit Formasyonu açısız uyumsuzlukla Lice Formasyonu (Tml) tarafından örtülmektedir (Şekil 2). Gül (1987) birimin yaşını Akitanıyen-Erken Burdigaliyen olarak belirlemiştir.

Fırat Formasyonu (Tmf); Birim, bol fosil içerikli kireçtaşı litolojisi, orta-kalın tabakalı, sıkı dokulu, bol çört yumrulu, fosil kavkılı ve oldukça sert olmasından dolayı arazide kolaylıkla ayırtlanabilmektedir. İnceleme alanında Kartalkayası ve Başderviş bölgelerinde yayılım sunmaktadır (Şekil 2). Çağlayancerit Formasyonu üzerine uyumlu bir şekilde gelen birim, Lice Formasyonu tarafından açısız uyumsuzlukla örtülmektedir.

Lice Formasyonu (Tml); Birim, yeşilimsi boz renkli, orta-kalın tabakalı, iyi boyplanmalı kumtaşları, bu düzeyin üzerinde ise yeşilimsi boz renkli ince-orta tabakalı türbiditik kumtaşı aratabakalı şeyller bulundurmaktadır (Schmidt, 1958). Birimin en üst düzeylerinde ise kumtaşı-şeyl ardalanması gözlenmektedir. İnceleme alanının orta bölümlerde geniş alanlarda yüzlek vermektedir (Şekil 2). Gül (2000)'e göre Üst Burdigaliyen-Alt Langiyen yaşında olan birim resifal kireçtaşlarından oluşan Karaisalı Formasyonu (Tmlk) ile yanal düşey geçişlidir. İnceleme alanının güneydoğusundaki Harabe mahallesi civarında ise Lice Formasyonu açısız uyumsuzlukla Döngöle Formasyonu tarafından üzerlenmektedir (Şekil 2).

Karaisalı Formasyonu (Tmlk); Birim, genel olarak boz-beyaz-sütlü kahve renkli, orta-kalın tabakalı, mercan, alg ve foraminiferli resifal özellikli kireçtaşlarından oluşmaktadır (Schmidt, 1961). İnceleme alanında Kemalli bölgesinde geniş yayılım sunmaktadır (Şekil 2). Birim üzerinde açısız uyumsuzlukla Döngöle Formasyonu gelmektedir (Şekil 2).

Döngel Formasyonu (Tkd); ilk kez Gül (1987) tarafından adlandırılmış, Baydar ve Yergök (1996) tarafından Orta Miyosen, Gül (2000) tarafından ise Orta-Üst Miyosen yaşları verilmiştir. Bu birim inceleme alanında Harabe mahallesi civarı ile Odunsala mahallesi civarında yüzlekler sunmaktadır (Şekil 2). Başlıca çakıltası-kumtaşı ve seyrek olarak çamurtaşından oluşmaktadır. Harabe mahallesi civarında Döngel Formasyonu içerisinde merceksel bir geometriyle Yavuzeli bazaltları (Tmy) bulunur (Şekil 2). Üst Miyosen yaşlı bazaltlar (Yoldemir, 1987; Ulu vd., 1991) kırmızımsı, koyu kahve, koyu gri renkli, oldukça sert-sağlam, ince taneli ve gözenekli olup, gözenekleri 15-20 cm'ye varan kalsit yumrulu ve kalsit dolguludur.

İnceleme alanındaki Kuvaterner yaşlı yamaç molozları ve alüvyonlar tüm birimleri aşıl uyumsuzlukla örtmektedir (Şekil 2, 3).

Yapısal Jeoloji

İnceleme alanındaki yapısal elemanlara göre bölge kuzeyden güneye farklı nitelikler sunmaktadır (Şekil 2, 3, 5). Bu farklılıklar; birimlerin istifsel diziliminde, fasiyes özelliklerinde ve dokanak ilişkilerinde görülmektedir. Bölge tektoniğinin daha iyi anlaşılabilmesi için karmaşık yapı unsurlarının geliştiği inceleme alanı Allohton Birimler ve Otokton Birimler olmak üzere iki ana gruba ayrılmıştır.

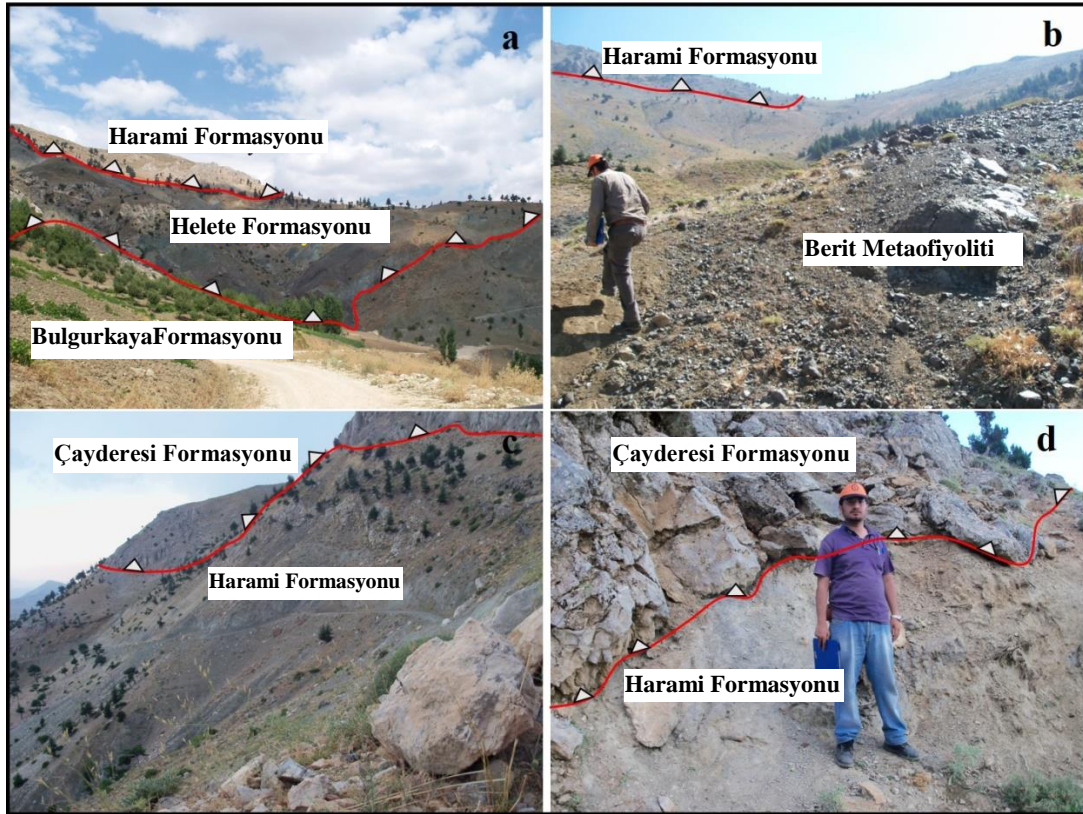
Yapılan haritalama çalışmalarında en belirgin yapılar bindirme zonlarıdır (Şekil 2, 3). Şaryaj cephesinde Harami Formasyonu yaklaşık doğu batı uzanımlı hatlar boyunca hem Kenet Kuşağı birimlerine hem de Malatya Metamorfiteine ait Berit Metaofiyolitine bindirmektedir (Şekil 4a, b). Malatya Metamorfiteine ait Çayderesi Formasyonu ise Harami Formasyonu üzerine benzer bir şekilde itilmiştir (Şekil 4c, d). Ayrıca güneyde otokton birimler içerisinde de Eosen yaşlı karbonatların Orta-Üst Miyosen yaşlı Döngel Formasyonu'na bindirmektedir (Şekil 2). Yılmaz vd., (1992) bölgede Miyosen yaşlı birimlerde bindirmelerin gelişmesi ile kabukta kalınlaşmanın Geç Miyosen'e kadar devam ettiğini belirtmişlerdir.

İnceleme alanında, farklı dönemlerde gelişen çeşitli deformasyon evreleri nedeniyle, bölgedeki birimlerin yoğun şekilde kıvrımlı bir yapı kazandıkları gözlenmiştir (Şekil 2, 3). Allohton nitelikli Çayderesi, Karabayır ve Dedeardıçgediği Formasyonları kıvrım eksenine gidişi

yaklaşık KD-GB yönlü olan kıvrımlara sahiptir (Şekil 2). Bu kıvrımlara ait kanatların yüksek eğim açısına sahip olduğu ve tabakaların eğiminin yaklaşık 52° olduğu belirlenmiştir (Şekil 2).

Arap Otoktonuna ait kayaçlar içerisinde yaklaşık KB-GD gidişli kıvrım grupları bulunmaktadır (Şekil 2). Bu kıvrımların en belirginini Ziyaret Tepenin kuzeyinden başlayarak batıda Kemalli kasabasının kuzeyine kadar uzanan, yaklaşık olarak 11 km devam eden dalımlı antiklinaldir (Şekil 2). Bu kıvrıma ait kanatlarda; kuzeydeki tabakaların eğiminden oldukça fazladır.

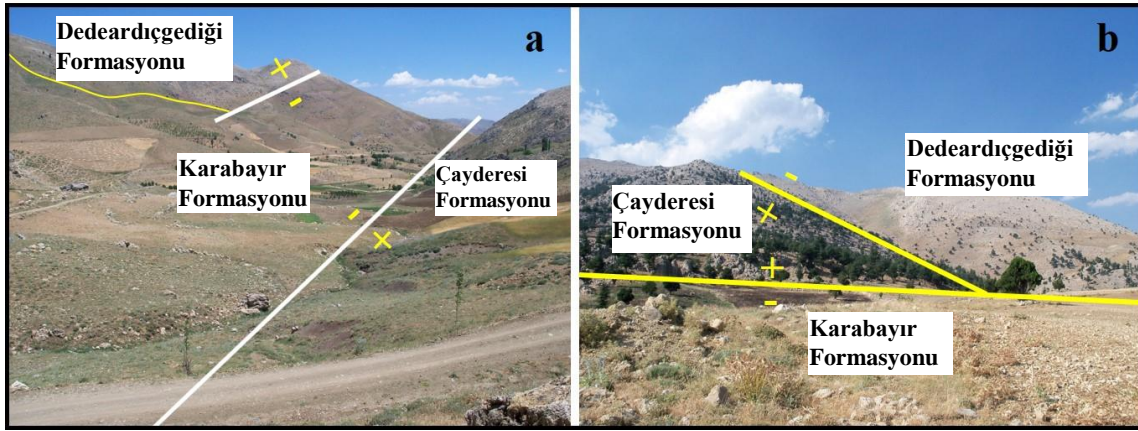
Çalışma alanında farklı kayaç gruplarını yan yana getiren önemli faylar bulunur. Bölgede bindirme zonlarından sonra en sık görülen faylar eğim atımlı faylardır (Şekil 2, 3). İnceleme alanının kuzeyinde, Zorkun bölgesinde Malatya metamorfiteğine ait birimler eğim atımlı faylar ile yan yana gelmişlerdir (Şekil 5a, b).



Şekil 4. Çalışma alanının farklı bölgelerinde gözlenen bindirme zonlarının arazi görünümü. a) Hombur bölgesi, b) Kırkgöz deresi civarı, c) Şarлак deresi güneyi, d) Ardıçlı Burnu civarı.

Figure 4. Field view of thrust zones observed in different parts of the study area a) Hombur district b) Kırkgöz stream around, c) Northern of Şarлак stream d) Ardıçlı Burnu.

Bu bölgelerde Geç Miyosen dönemine kadar devam eden süreçteki sıkışma rejimi kabuk kalınlaşmasına sebep olmuş, bu dönemden sonra da bölge doğrultu atımlı fayların kontrolünde bir deformasyona uğramaya başlamıştır (Yılmaz vd., 1992). Böylece, bölgede yüzeyleyen Miyosen- Kuvaterner zaman aralığında çökelmiş birimler, aktif olduğu bilinen (Sürgü fayı gibi) sol yönlü doğrultu atımlı faylarla sınırlanmıştır (Yılmaz vd., 1992). Ayrıca, inceleme alanında Malatya metamorfileri içerisinde de yaklaşık KD-GB uzanımlı sol yönlü doğrultu atımlı bir fay gözlenmiştir (Şekil 2, 3).



Şekil 5. Çalışma alanının farklı bölgelerinde gözlenen eğim atımlı fayların arazi görünümü. a) Zorkun bölgesi, b) Ardıçlı Burnu kuzeyi.

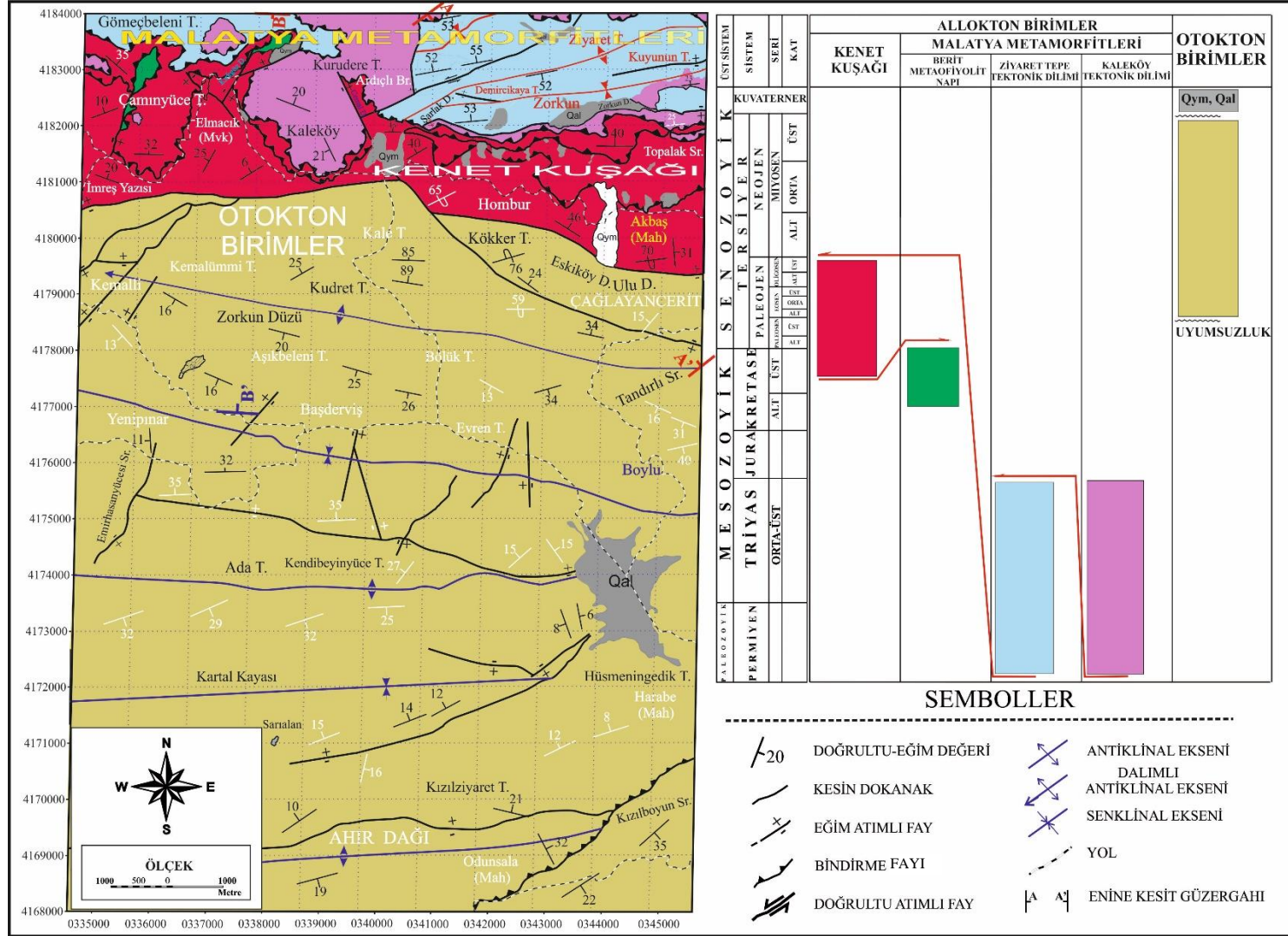
Figure 5. Field view of dip-slip faults observed in different parts of the study area, a) Zorkun district b) northern of Ardıçlı Burnu.

Tektonik Dilimler

İnceleme alanında farklı kökenli kayaç gruplarının bir arada gözlenmesi ve allokton nitelikli kayaçların geniş alanlarda naplar ile kendisinden daha genç yaşlı kayaçlar üzerine gelmesi sonucunda farklı stratigrafik dizilimler ortaya çıkmıştır. Allokton nitelikli kayaçların konumları ve dokanak ilişkileri göz önüne alındığında kuzeyden güneye doğru Malatya Metamorfileri ve Kenet Kuşağı grupları tanımlanmıştır. Yapılan haritalama çalışması sonucunda bu grupların dilimlenerek ekaylı bir yapı oluşturduğu belirlenmiştir. Bu dilimler de

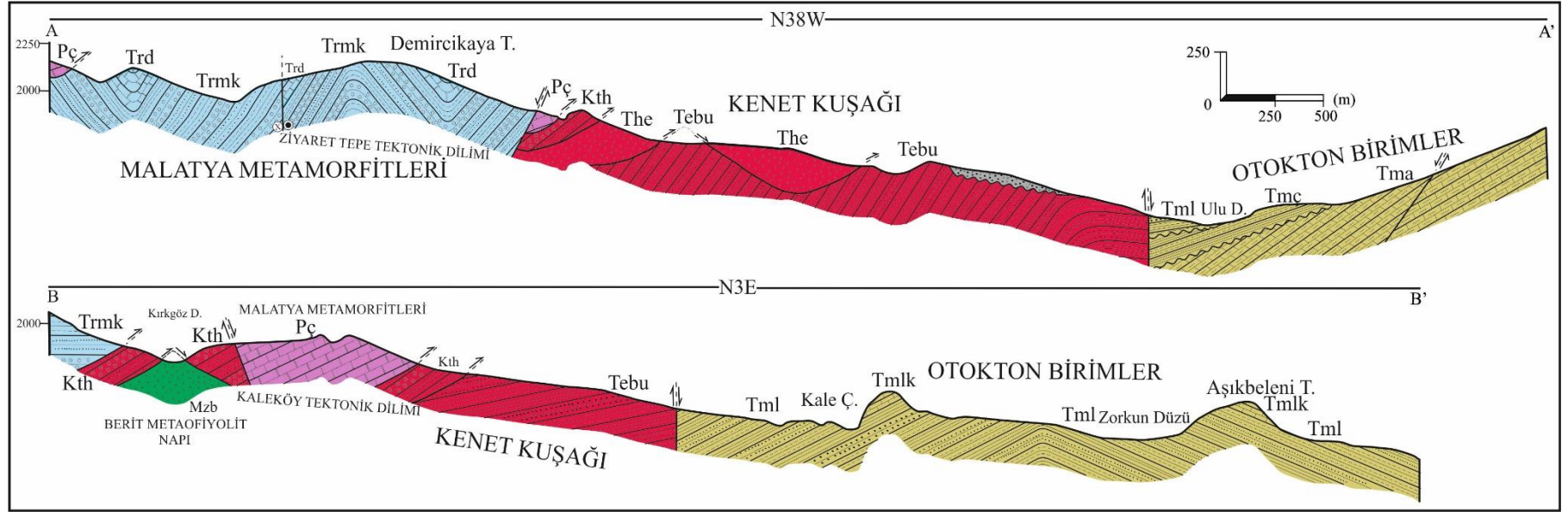
Berit Metaofiyoliti, Kaleköy ve Ziyaret Tepe Tektonik Dilimleri adı altında tanımlanmıştır (Şekil 6, 7).

İnceleme alanında tektonik dilimlerin ekaylı bir yapı sunması ve farklı levhalara ait birimlerin yan yana gelmesi bölgede oldukça kompleks bir yapısal konumun söz konusu olduğunu gösterir. Ayrıca, farklı deformasyon evrelerine ait yapısal unsurların da bulunması sebebiyle “Yapısal jeoloji” haritası hazırlanmıştır (Şekil 6). Bindirme zonları kuzeyde sınırlı kalmamış Otokton birimlerde de gözlenmektedir (Şekil 6). İncelenen yapısal unsurlara göre bölgenin uzun bir süre K-G yönlü bir sıkışmanın etkisinde kaldığını göstermektedir.



Şekil 6. İnceleme alanının yapısal haritası.

Figure 6. Structural map of the study area.



Şekil 7. Yapısal elemanların jeolojik enine kesitleri.

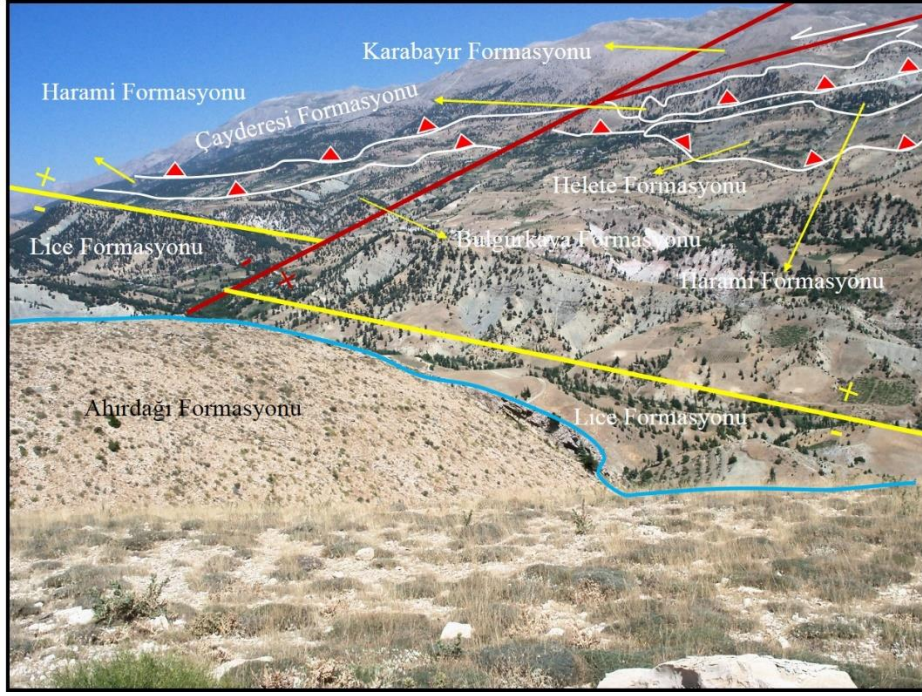
Figure 7. Structural element's cross sections of the study area.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

İnceleme alanı, Arabistan levhasının kuzey ucundaki Senozoyik yaşlı otokton birimlerle; daha kuzeydeki allokton birimlerin yan yana geldiği önemli bir bölgedir. İnceleme alanında Üst Permiyen- Kuvaterner yaş aralığında çökelmiş litostratigrafik birimler bulunur. Kuzeyden güneye doğru Malatya Metamorfitleri, Kenet Kuşağı ve Arap Otoktonu Birimleri yer alır. Neotetis Okyanusu'nun güney kolunun kapanması ile (Şengör ve Yılmaz 1981) ve sonrasında da Torid levhası ile Arap levhasının birbirlerine yaklaşmaları ile bindirme zonları gelişmiştir (Robertson ve Dixon 1984; Yılmaz 1993; Yılmaz vd., 1988, 1993a, b; Elmas ve Yılmaz 2003; Robertson 2000, 2002; Robertson vd., 2004, 2006, 2012). Bu bindirme kuşaklarında allokton birimler güneydeki Arap platformunun kuzey kenarı üzerine itilmiştir. Bu itilme hareketi sonucunda ise hem allokton nitelikli kayaçlar dilimlenmiş hem de Toros Orojenik kuşağı ve Arabistan Otoktonu arasında cephe şaryajları oluşmuştur (Yılmaz, 1984; Yılmaz vd., 1987). Arap Platformu, kalın bir denizel sedimanter istiften oluşmakta ve bindirme bölgesinde de naplar arasında sıkıştırılmış bir kuşaktır (Yılmaz 2018). Nap bölgelerinde ise ofiyolitik kayaçlar ile Malatya Metamorfitleri bölgesel orojenezin şekillenmesine sebep olmuştur. Sonrasında da Geç Miyosen'de napların Arap levhası ile çarpışması sonucunda günümüzdeki istifler oluşmuştur (Yılmaz, 2018). Bu çalışmada tanımlanan tektono-stratigrafik dilimler de bu orojenik kuşağın gelişimi teorisini desteklemektedir.

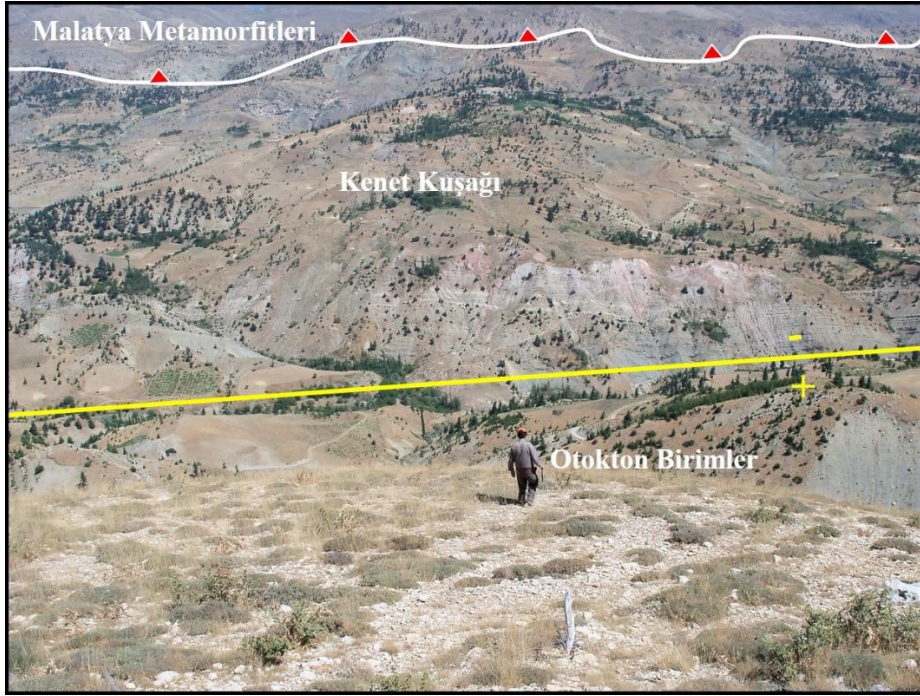
İnceleme alanında allokton kayaçların oluşturduğu tektono-stratigrafik istif, cephe şaryajlarının konumu ve otokton birimler ile olan sınırı Şekil 8'de görülmektedir. Bu alan aynı zamanda bölgedeki üç önemli kuşak olan Malatya metamorfitleri, Kenet Kuşağı ve Arap Otoktonu birimlerini de bir arada bulundurur (Şekil 9).

İnceleme alanında yaşlıdan gence doğru sırasıyla, Malatya Metamorfitleri için; Çayderesi, Karabayır, Dedeardıçgediği formasyonları, Kenet Kuşağı için; Harami, Helete ve Bulgurkaya formasyonları, Otokton Birimler için; Ahırdağı, Çağlayancerit, Fırat, Lice, Karaisalı, Döngel formasyonları ve Yavuzeli Bazaltları bulunmaktadır. Tanımlanan bu birimleri açısız uyumsuz olarak Kuvaterner yaşlı yamaç molozu ve alüvyonlar örtmektedir.



Şekil 8. Bölgedeki kayaç gruplarının dokanak ilişkileri.

Figure 8. Contact relationships of rock groups in the region.



Şekil 9. Üç ana kuşağın görünümü ve yapısal ilişkisi.

Figure 9. The appearance and structural relationship of the three main belt.

İnceleme alanında allokton konumlu Malatya Metamorfitleri kendi içlerinde üç tektonik dilime ayrılmıştır. Bu dilimler tabandan tavana doğru sırası ile Berit Metaofiyoliti, Ziyaret Tepe ve Kaleköy Tektonik Dilimleri şeklindedir.

Kenet Kuşağı olarak isimlendirilen şaryaj cephesinde farklı kayaç gruplarının ekaylı bir yapı oluşturacak şekilde dilimlendikleri belirlenmiştir.

Kenet Kuşağının hemen güneyinde doğu-batı uzanımlı bir ana fay boyunca Lice ve Bulgur kaya formasyonları yan yana gelmekte bu fay aynı zamanda bu çalışmada da Kenet Kuşağı ve Otokton Birimlerin arasındaki sınırı da oluşturmaktadır.

Detaylı haritası hazırlanan bu bölgedeki yapısal elemanlar bölge jeodinamiği için oldukça önemlidir. İleride yapılacak çalışmalara altlık sağlayacak bu çalışmanın jeokimyasal analizler ve uydu görüntüleri ile de desteklenmesi bölgenin deformasyon tarihçesini de aydınlatacaktır.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetimi tarafından desteklenmiştir. Proje No: 2011/3-8 YLS.

Bu çalışma Prof. Dr. İSMAİL ALTAY ACAR'ın anısına hazırlanmıştır.

KAYNAKLAR

- Akıncı, A. C., Robertson, A. H. F. ve Ünlügenç, U. C., 2016. Late Cretaceous–Cenozoic subduction–collision history of the Southern Neotethys: new evidence from the Çağlayanerit area, SE Turkey. *International Journal of Earth Sciences*, 105(1), 315-337. <https://doi.org/10.1007/s00531-015-1199-6>.
- Baydar, O. ve Yergök, A.F., 1996. Güneydoğu Anadolu-Kenar Kıvrım Kuşağı, Amanos Dağları Kuzeyi ve Doğu Torosların Jeolojisi. M.T.A. Enst. Derleme Rap. No: 9944 (Yayınlanmamış), Ankara.
- Elmas, A. ve Yılmaz, Y., 2003. Development of an oblique subduction zone-tectonic evolution of the tethys suture zone in southeast Turkey. *Int Geol Rev*, 45:827–840.

- Erdoğan, T., 1975. Gölbaşı Dolayının Jeolojisi. T.P.A.O. Rap. No: 929, (Yayınlanmamış), Ankara.
- Gözübol, A.M. ve Gürpınar, O., 1980. Kahramanmaraş Kuzeyinin Jeolojisi ve Tektonik Evrimi. Türkiye 5. Petrol Kong., Jeoloji-Jeofizik Bild., s. 21-29, Ankara.
- Gül, M.A., 1987. Kahramanmaraş Yöresinin Jeolojisi ve Petrol Olanakları. T.P.A.O. Rap. No: 2359, (Yayınlanmamış), Ankara.
- Gül, M.A., 2000. Kahramanmaraş Yöresinin Jeolojisi. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 304 s.
- Işık, V., 2016. Torosların Jeolojisi; Türkiye Jeolojisi Ders Notu. Ankara Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara.
- Kozlu, H., 1987. Misis Andırın dolaylarının stratigrafisi ve yapısal evrimi: Türkiye 7. Petrol Kong. Teb., 104-116, Ankara.
- Önalan, M., 1984. Ahır Dağı (K.Maraş) Kuzeyinin Jeolojisi ve Paleontolojisi. İst. Üni., Müh. Fak., Jeol. Müh. Böl., Yüksek Lisans Tezi, İstanbul (yayınlanmamış).
- Özgül, N., Turkuca, A., Özyardımcı, N., Bingöl, I., Şenol, M. ve Uysal, S., 1981. Munzurların Temel Jeoloji Özellikleri. MTA, Ankara, Unpublished Report No:6995.
- Özgül, N. ve Turşucu, A., 1983. Stratigraphy of the Mesozoic carbonate sequence of the Munzur Mountains (Eastern Taurides): ed. Tekeli, O. and Göncüoğlu, M.C., Geology of Taurus Belt, International Symposium, 26-29 September, Ankara- Turkey.
- Perinçek, D., 1979. Interrelations of the Arab and Anatolian plates. Guide Book Excursion B, First Geological Congress of the Middle East, Ankara, pp.34.
- Perinçek, D. ve Kozlu, H., 1984. Stratigraphy and structural relation of the units in the Afşin-Elbistan-Doğanşehir region, Tekeli, O. and Göncüoğlu, C. (Eds.), International Symposium on the Taurus Belt. 1983, Miner. Res. Explor. Enst., Ankara.
- Rıgo De Rıghı, M. ve Cortesını, A., 1964. Gravity tectonics in Foothills structure belt of southeast Turkey, A.A.P.G. Bull., 48-12, 1911-1938.

- Robertson, A.H.F. ve Dixon, J.E., 1984. Introduction: aspects of the geological evolution of the Eastern Mediterranean. In: Dixon JE, Robertson AHF (eds) *The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean*, Geol Soc London, Spec Publ 17:1–74.
- Robertson, A.H.F., 2000. Mesozoic–Tertiary tectono-sedimentary evolution of a South Tethyan oceanic basin and its margins in southern Turkey. In: Bozkurt E, Winchester JA, Piper JDA (eds) *Tectonics and Magmatism in Turkey and Surrounding Area*. Geol Soc, London, Spec Publ, 173: 97–138.
- Robertson, A.H.F., 2002. Overview of the genesis and emplacement of Mesozoic ophiolites in the Eastern Mediterranean Tethyan region. *Lithos*, 65:1–67.
- Robertson, A.H.F., Ünlügenç, U.C., İnan, N. ve Taslı, K., 2004. The Misis–Andırın Complex: a Mid Tertiary mélangé related to late-stage subduction of the Southern Neotethys in S Turkey. *J Asian Earth Sci*, 22:413–453.
- Robertson, A.H.F., Ustaömer, T., Parlak, O., Ünlügenç, U.C., Taslı, K. ve İnan, N., 2006. The Berit transect of the Tauride thrust belt, S Turkey: Late Cretaceous–Early Cenozoic accretionary/collisional processes related to closure of the Southern Neotethys. *J Asian Earth Sci*, 27:108–145.
- Robertson, A.H.F., Parlak, O. ve Ustaömer, T., 2012. Overview of the Paleozoic–Neogene evolution of Neotethys in the Eastern Mediterranean region (southern Turkey, Cyprus, Syria). *Petrol Geosci*, 18(381):404.
- Schmidt, D. L., 1958. Petrography of the Idaho batholith in Valley Country, Idaho:US. Geol. Survey open-file report, 110p: Univ. Washington, (Seattle) unpub. thesis
- Schmidt, D. L., 1961. Stratigraphic nomenclature for the Adana region Petroleum district VII. *Petroleum Administration Bulletin*, 6, 47-63.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö. ve Boray, A., 1987. Türkiyenin diri fayları ve depremsellikleri, MTA Rapor no. 8174, Ankara, 394 s.
- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey, A plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181-241.

- Ulu, U., Genç, Ş., Giray, S., Metin, Y., Çörekçioğlu, E., Örcen, S., Ercan, T., Yaşar, T. ve Karabıyıköğlü, M., 1991. Belveren-Araban-Yavuzeli-Nizip-Birecik Alanının Jeolojisi, Senozoyik Yaşlı Volkanik Kayaçların Petrolojisi ve Bölgesel Yayılımı. M.T.A. Enst. Derleme Rap. No: 9226 (Yayınlanmamış), Ankara.
- Yalçın, C., 2012. Çağlayancerit (Kahramanmaraş) Batısının Tektono-Stratigrafisi ve Yapısal Evrimi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 129s.
- Yılmaz, Y., 1984. Amanos dağlarının jeolojisi: İ. Ü. Müh. Fak. (TPAO Arş. No. 1920, İstanbul).
- Yılmaz, Y., 1993. New evidence and model on the evolution of the southeast Anatolian orogen. Geol Soc Am Bull, 105:251–271.
- Yılmaz, Y., Gürpınar, O., Kozlu, H., Gül, MA., Yiğitbaş, E., Yıldırım, M., Genç, C. ve Keskin, M., 1987. Maraş kuzeyinin jeolojisi (Andırın- Berit-Engizek-Nurhak-Binboğa Dağları) yapı ve jeolojik evrimi. İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi.
- Yılmaz, Y., Yiğitbaş, E., Gürpınar, O. ve Yiğitbaş, E., 1988. Amanos Dağları ve Maraş Dolaylarında Miyosen Havzalarının Tektonik Evrimi. T.P.A.O. Bülteni C.1/1, 52-72.
- Yılmaz, Y. ve Yiğitbaş, E., 1990. SE Anadolu'nun Farklı Ofiyolitik Metamorfik Birlikleri ve Bunların Jeolojik Evrimdeki Rolü Türkiye 8. Petrol Kong. Bild. s. 128-140, Ankara.
- Yılmaz, A., Bedi, Y., Uysal, S., Yusufoglu, H., Atabey, E. ve Aydın, N., 1992. Doğu Toroslarda Uzunyayla ile Beritdağı arasının jeolojisi. MTA Rapor No: 9543
- Yılmaz, A., Bedi, Y., Uysal, S., Aydın, N., 1993a. Doğu Toroslarda Uzunyayla ile Beritdağı arasının jeolojik yapısı. Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni, 5:69–87.
- Yılmaz, Y., Yiğitbas, E. ve Genç, S.C., 1993b. Ophiolitic and metamorphic assemblages of southeast Anatolia and their significance in the geological evolution of the orogenic belt. Tectonics, 12:1280–1297.
- Yılmaz, Yücel., 2018. Southeast Anatolian Orogenic Belt revisited (geology and evolution). Canadian Journal of Earth Sciences. 56 (11): 1163–1180.

Yiğitbaş, E., 1989. Engizek dağı (K.Maraş) dolayındaki tektonik birliklerin petrolojik incelenmesi; Doktora tezi, İst. Üniv. Fen. Bil. Enst., 347 s.

Yoldemir, O. 1987. Suvarlı-Haydarlı-Narlı-Gaziantep Arasında Kalan Alanın Jeolojisi ve Petrol Olanakları. T.P.A.O. Rap. No: 2275, Ankara (yayınlanmamış).



Regression Analysis and Correlation of REE Contents of Malatya Fluorites

Malatya Floritlerinin NTE İçeriklerinin Regresyon Analizi ve Korelasyonu

YUSUF URAS¹ ORCID 0000-0001-5561-3275

CİHAN YALÇIN² ORCID 0000-0002-0510-2992

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş

²Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Sanayi Bölgeleri Genel Müdürlüğü, Dünya Bankası Proje Uygulama Birimi, Ankara

Geliş (received): 26/02/2022

Kabul (Accepted): 07/04/2022

ABSTRACT

Geostatistics examinations have developed into a significant technique to point out the genesis, formation type and interpretation of many ore deposits. Many researchers have noted the relationship between the statistical approach and fluorite-Rare Earth Element (REE). Malatya, in the Eastern Taurus Orogenic belt, leads fluorite mineralization on two specific localities. It is recognized that these two extraordinary mineralizations have special characters related to each other. These changes are because of formation type, mineral color, host rock and geochemistry. The exceedingly significant difference is the amount of REE they have. REE compositions of Kuluncak fluorites are richer than Yeşilyurt fluorites. The aim of this study is to figure out the correlation between the fluorite deposits which call REE contents in Malatya region statistically. When the geochemical characteristics of the fluorites are taken into comparison, the Kuluncak has 15.03-25.42% and Yeşilyurt region includes 12.2-35.8%. When the arithmetic means of REE values are considered, Ce permits a maximum value of 244.91 and Lu has a minimal value of 0.245 in Kuluncak and Ce includes a maximum value of 6.33 and Lu has a minimal value of 0.064 in Yeşilyurt, subsequently. Regression analysis shows that the % F values are precisely linked to REE amounts in both Yesilyurt and Kuluncak regions.

Key Words: REE, Correlation, Statistically, Fluorite

YUSUF URAS, uras74@gmail.com

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş

ÖZ

Jeostatistik çalışmaları birçok maden yatağının köken, oluşum tipi ve karakterizasyonunu açıklamada önemli bir metod haline gelmiştir. Birçok araştırmacı istatistiksel yaklaşım ile florit-Nadir Toprak Element (NTE) arasındaki ilişkiyi ortaya koymuştur. Doğu Toros Orojenik kuşağında yer alan Malatya'da iki farklı bölgede florit cevherleşmesi bulunmaktadır. Bu iki farklı cevherleşmenin de birbirlerine göre farklı karakter içerdikleri bilinmektedir. Bu farklılıklar oluşum tipi, mineral rengi, yan kayaç ve jeokimyasından kaynaklanır. En önemli farklılık ise içerdikleri NTE miktarlarıdır. Kuluncak floritlerinin NTE içerikleri Yeşilyurt floritlerinden daha zengindir. Bu çalışmanın amacı, Malatya yöresinde NTE içeriğine sahip florit yatakları arasındaki ilişkiyi istatistiksel olarak anlamaktır. Floritlerin jeokimyasal özellikleri karşılaştırıldığında, Kuluncak %15.03-25.42 ve Yeşilyurt bölgesi %12.2-35.8'dir. NTE değerlerinin aritmetik ortalamaları incelendiğinde Kuluncak'ta sırasıyla Ce 244.91 ile maksimum, Lu minimum 0.245, Yeşilyurt'ta Ce maksimum 6.33 ve Lu minimum 0.064 değere sahiptir. Regresyon analizi, % F değerlerinin hem Yeşilyurt hem de Kuluncak bölgelerinde NTE miktarları ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: NTE, korelasyon, İstatistik, Florit

INTRODUCTION

Fluorite, which is formed as a gangue or ore mineral in many mineral deposits, is one of the minerals with the most diverse color range. REE, are an important indicator in geological studies, reflect ore origin and crystallization conditions just like fluorite deposits.

The rare earth elements (REE)-fluorite relation benefits the formation of mineral deposits (Samson et al., 2004). The REE concentrations correlated with fluorite and the origin and formation type of fluorite are extremely significant for geochemical studies (Bau and Dulski, 1995; Grammaccioli et al., 1999; Irber et al., 1996, Möller et al., 1976; Möller et al., 1994; Schwinn and Markl, 2005; Kolonin and Shironosova, 2007). REE having fluorite was early outlined in the granite complex by Gahn and Berzelius in Sweden in 1814 (Pekov et al., 2009). In following studies, the fluorite-REE relation was checked out as an approach to solve many geochemical questions.

Models are established for prognosis and uncertainty situations with geostatistical techniques. Statistical models based on random function or variable the ory are involved in these models (Shaltami et al., 2021). Although geostatistics methods have been practiced frequently in reserve calculations from recent to present, they are still put for ore formation type and origin newly. Successful analyzes have been carried out with these applications, which are based on representing the relations of the geological structures (ore, fault, anomaly, etc.) examined with geostatistical methods. For example, Saein and Afzal (2017), as a result of the geostatistical analysis of the data gathered in the Kerman Magmatic Belt in Iran, declared that the Mo concentration is associated with faults. Lindagato et al., (2018) set up a correlation of NE-SW trending Au–As–Hg anomalies with faults related to Au mineralization by kriging and interpolation. For this reason, correlation and geostatistical analysis according to the results of geochemical analysis obtained from the field are one of the essential approach methods in problem solving.

Many researchers have been studied REE related to fluorite in Malatya region (Özgenç and Kibici, 1994; Revan and Genç, 2003; Altuncu, 2009; Öztürk et al., 2019; Uras et al., 2019). Altuncu (2009) stated that the Yeşilyurt fluorites are poor but Kuluncak fluorites are rich in terms of REE. Uras et al (2019) stated that Yeşilyurt and Kuluncak fluorites differ from each other in terms of formation and geochemical features.

Looking at the Tb/La and Tb/Ca ratios diagram (Schneider et al. 1975, Möller et al. 1976; Möller and Morteani, 1983) the Yeşilyurt fluorites fall in the hydrothermal origin field and Kuluncak in the pegmatitic origin field (Uras et al., 2019).

The aim of this study is to explain and reveal the basic relationships between the% F and REE values of 10 samples both in two regions belonging to Malatya fluorites in regression and statistic.

METHOD

The study area is located in the Eastern Taurus Orogenic Belt (Figure 1). There are fluorite mineralizations in Yeşilyurt and Kuluncak regions of Malatya. The Yeşilyurt fluorites were formed along the discordance plane between the Devonian-Carboniferous aged Kalecik

marbles and the Permian aged Düzağaç schists and the Kuluncak fluorites are related to the syenite-limestone contact (Uras et al., 2019). REE analysis results of fluorite formations in these two regions, which have specific mineral color and REE characters, are given in Tables 1 and 2 and their statistical analyses are carried out.

Fluorite samples were classified separately as pure fluorite and separated fluorite respectively both Yeşilyurt and Kızılcık region (Öncel, 2018; Paksoy, 2108; Uras et al., 2019). The selected crystals were ground in agate mortar, packed in 5 grams. 20 samples (Both Yeşilyurt and Kuluncak fluorites) were sent to Acme Laboratories (Vancouver-Canada) for rare earth element analyzes were made by LIBO2 fusion with ICP-MS method.

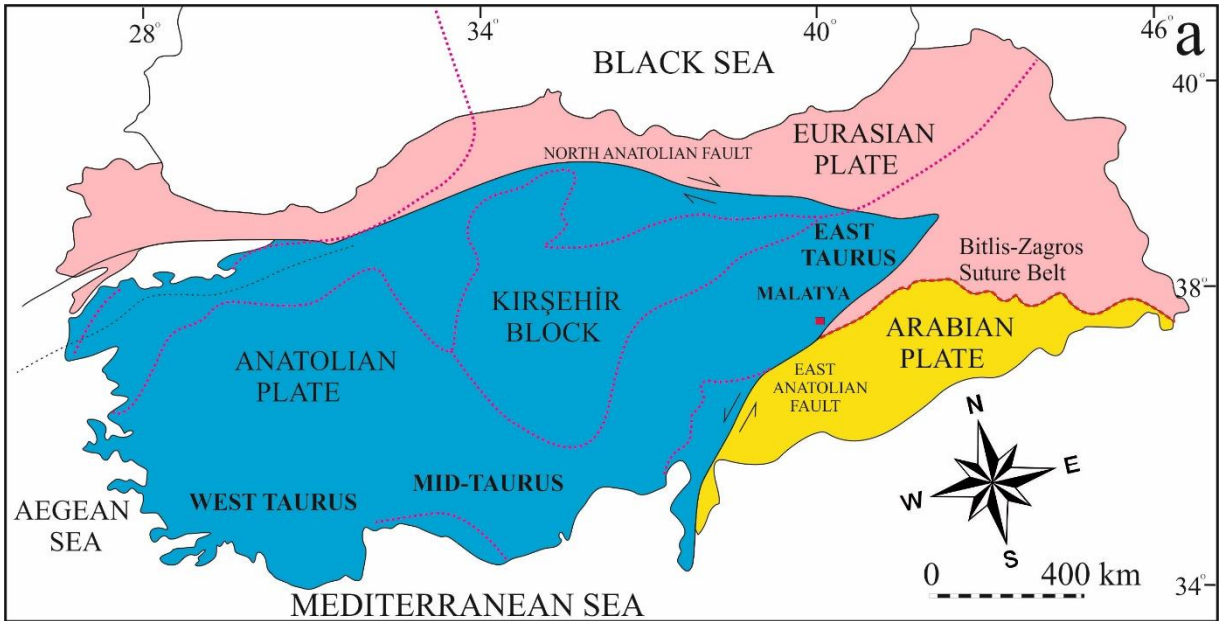


Figure 1. Tectonic location of the study area (Modified from Işık, 2016).

Şekil 1. İnceleme alanının tektonik konumu (Işık, 2016'dan değiştirilmiştir).

Statistical Analysis

The average F% of Yeşilyurt fluorites with F% values between 12.2-35.8 is 19.57. REE contents of fluorites vary between 6.33 and 0.64 ppm in average and there is 369.64 ppm Σ REE in total. When the arithmetic mean of REE are examined, Ce has a maximum value with 20,65 and Lu has a minimum value with 0.064 (Paksoy, 2018; Uras et al., 2019).

Table 1. % F and REE analyzes of Yeşilyurt fluorites (from Paksoy, 2018).
 Çizelge 1. Yeşilyurt floritlerinin % F ve NTE analizleri (Paksoy, 2018'den alınmıştır).

SAMPLE	YF-1	YF-2	YF-3	YF-4	YF-5	YF-6	YF-7	YF-8	YF-9	YF-10
F%	21.69	12.2	13.05	14.09	18.8	35.8	20.00	19.88	20.5	19.78
La (ppm)	3.4	5.1	4.6	4.2	4.9	5.3	2.8	2.6	3.7	2.3
Ce (ppm)	6.0	8.2	6.0	7.0	7.5	5.1	5.3	6.4	5.6	6.2
Pr (ppm)	0.97	1.12	0.91	0.82	1.09	0.84	0.85	0.90	0.90	0.84
Nd (ppm)	4.6	4.5	3.8	3.4	3.2	3.9	4.3	4.3	4.3	3.2
Sm (ppm)	1.26	0.84	0.72	0.82	0.71	1.11	1.11	1.29	1.06	1.27
Eu (ppm)	0.32	0.18	0.14	0.12	0.14	0.24	0.27	0.34	0.31	0.31
Gd (ppm)	1.85	0.90	0.75	0.82	0.78	1.44	1.64	1.74	1.53	1.58
Tb (ppm)	0.32	0.15	0.12	0.11	0.12	0.24	0.28	0.33	0.27	0.31
Dy (ppm)	2.02	0.91	0.79	0.64	0.74	1.47	1.60	2.16	1.69	2.12
Ho (ppm)	0.40	0.20	0.18	0.14	0.18	0.21	0.39	0.44	0.38	0.41
Er (ppm)	1.07	0.59	0.38	0.28	0.45	0.71	0.99	1.16	0.95	1.15
Tm (ppm)	0.12	0.05	0.05	0.05	0.06	0.10	0.10	0.12	0.10	0.11
Yb (ppm)	0.66	0.32	0.24	0.34	0.31	0.49	0.58	0.62	0.61	0.59
Lu (ppm)	0.08	0.04	0.03	0.02	0.09	0.07	0.07	0.08	0.07	0.09
Y (ppm)	25.0	14.3	13.0	12.0	13.2	24.3	24.5	25.8	22.2	24.4
Ce\Yb	9.09	25.63	25.00	20.59	24.19	10.41	9.14	10.32	9.18	10.51
Tb \La	0.094	0.029	0.026	0.026	0.024	0.045	0.100	0.127	0.073	0.135
Tb\Ca*10⁶	0.0000 00757	0.0000 00497	0.000000 395	0.0000 00371	0.000000 389	0.0000 00654	0.0000 00617	0.0000 00730	0.0000 00647	0.0000 00697
Ce\Ce*	0.8	0.8	0.7	0.9	0.8	0.6	0.8	1.0	0.8	1.1
Eu\Eu*	0.6	0.6	0.5	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.6
ΣREE	44.67	32.30	27.11	26.56	28.57	40.22	41.98	45.68	39.97	42.58

Table 2. % F and REE analyzes of Kuluncak fluorites (from Öncel, 2018).
 Çizelge 2. Kuluncak floritlerinin % F ve NTE analizleri (Öncel, 2018'den alınmıştır).

SAMPLE	BF-1	BF-2	BF-3	BF-4	BF-5	BF-6	BF-7	BF-8	BF-9	BF-10
F%	19.33	25.2	25.39	17.1	15.03	17.34	19.37	25.42	18.25	19.86
La (ppm)	105.7	45.4	46.7	380.6	758.7	125.0	43.3	216.8	144.6	138.2
Ce (ppm)	157.6	53.1	56.0	463.7	789.5	178.4	80.9	255.6	203.2	211.1
Pr (ppm)	15.31	6.15	6.19	34.90	56.09	14.46	5.96	18.88	17.29	16.21
Nd (ppm)	46.5	19.8	20.5	91.1	142.6	39.4	17.6	54.1	53.0	50.1
Sm (ppm)	7.64	4.08	3.82	12.18	14.67	5.41	3.41	6.22	7.97	7.65
Eu (ppm)	1.62	0.94	0.89	2.30	2.67	1.28	0.71	1.13	1.54	1.25
Gd (ppm)	8.48	5.19	5.39	10.29	12.93	6.40	3.38	6.54	7.78	6.98
Tb (ppm)	1.41	0.87	0.87	1.68	2.06	1.12	0.64	0.92	1.12	1.09
Dy (ppm)	9.13	5.30	5.57	8.68	11.87	6.86	4.04	5.04	6.59	5.63
Ho (ppm)	1.94	1.24	1.34	1.90	2.65	1.95	0.90	1.31	1.55	1.35
Er (ppm)	5.10	3.42	3.64	5.43	7.30	5.38	3.36	3.84	3.79	3.52
Tm(ppm)	0.59	0.34	0.39	0.70	0.97	0.87	0.38	0.41	0.47	0.41
Yb (ppm)	2.80	1.39	1.63	3.15	5.29	3.98	2.42	2.85	2.81	2.62
Lu (ppm)	0.23	0.12	0.14	0.37	0.62	0.41	0.11	0.18	0.14	0.13
Y (ppm)	96.0	92.4	94.9	103.6	139.9	93.8	43.2	92.8	76.7	74.4
Ce\Yb	56.29	38.20	34.36	147.21	149.24	44.82	33.43	89.68	72.31	80.57
Tb \La	0.013	0.019	0.019	0.004	0.003	0.009	0.015	0.004	0.008	0.008
Tb\Ca*10⁶	0.0000 00312	0.0000 01773	0.0000 01827	0.000003 886	0.0000 05058	0.0000 02453	0.000001 298	0.0000 01812	0.0000 02380	0.000002 448
Ce\Ce*	1.0	0.8	0.8	1.0	0.9	1.0	1.2	1.0	1.0	1.1
Eu\Eu*	0.61	0.62	0.60	0.62	0.59	0.66	0.64	0.54	0.59	0.52
ΣREE	354.35	194.34	201.27	739.98	1188.8 2	359.72	167.01	446.82	383.95	382.46

The average F% of Kuluncak fluorites with F% values between 15.03-25.42 is 20.22. REE contents of fluorites vary between 244.91 and 0.245 ppm in average and there is 1188.82ppm ΣREE in total. When the arithmetic mean of REE are examined, Ce has a maximum value with 244.91 and Lu has a minimum value with 0.245 (Öncel, 2018; Uras et al., 2019). % Fluorite and Rare Earth Element (REE) analysis values of 10 fluorite samples observed in the Yeşilyurt (Paksoy, 2018) and Kuluncak (Öncel, 2008) district were evaluated in regression analysis with using Microsoft Excel.

REE analysis results of fluorites were evaluated with the help of the Microsoft Excel. % F and REE were used for regression analysis. In the regression analysis, the standard error was 0, and it was determined that F% and REE results were directly related (Table 3 and 4).

Table 3. Regression analysis in Yeşilyurt fluorites.

Çizelge 3. Yeşilyurt floritlerinin regresyon analizi.

Regression Statistics					
Sample Number	R	R square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	
10	1	1	65535	0	
ANOVA					
	df	SS	MS	F	Sig.
Regression	14	396,54709	28,32479214	-	-
Residual	0	0	65535		
Total	14	396,54709			

Table 4. Regression analysis in Yeşilyurt fluorites.

Çizelge 4. Yeşilyurt floritlerinin regresyon analizi.

Regression Statistics					
Sample Number	R	R square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	
10	1	1	65535	0	
ANOVA					
	df	SS	MS	F	Sig.
Regression	14	129,05849	9,218463571	-	-
Residual	0	0	65535		
Total	14	129,05849			

RESULTS AND DISCUSSION

Yazıcı et al., (2021) established interpretations of the major and trace element contents prepared from marbles by applying the Pearson correlation coefficient. They still proved by regression analysis that CaO, which plays a significant role in the formation of marbles, has a strong negative correlation with SiO₂ and MgO. Atakoğlu and Yalçın (2021) explained the statistical properties of Sutlegen (Antalya) bauxite according to their REE content and set up thematic maps with the Krigging interpolation method.

This study reveals the REE chemical characteristics of Malatya fluorites located in the Eastern Taurus Orogenic belt. The REE contents of the Yeşilyurt fluorites present a poor content. Similar contents were observed in Feke fluorites (Uras, 2002), Büyükkızılcık fluorites (Uras and Çalışkan, 2014) and in Sarıveliler fluorites (Uras et al., 2019). But the REE contents of the Kuluncak fluorites present a rich content.

When the statistical results of F% and REE values of Malatya fluorites Yeşilyurt Fluorites are poor in terms of REE, when the arithmetic means of REE values are examined, Ce has a maximum value with 244.91 and Lu has a minimum value with 0.245 in Kuluncak and Ce has a maximum value with 6.33 and Lu has a minimum value with 0.064 in Yeşilyurt respectively. Regression analysis shows that the % F values are directly related to REE amounts in both Yeşilyurt and Kuluncak regions

Statistical approaches in terms of fluorite-REE relation will lead to subsequent studies. After the statistical evaluation of all geochemical analyzes, the fluorite-REE relations will be further acceptable with the creation of thematic maps.

ACKNOWLEDGEMENT

This paper is restricted to the memory of the late Prof. Dr. İSMAİL ALTAY ACAR.

REFERENCES

- Altuncu, S., 2009. Türkiye Florit Yataklarının Oluşumlarının Karşılaştırmalı İncelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (in Turkish).
- Atakoğlu, O.O., Yalçın, M.G., 2021. Geochemical characterization of the Sutlegen bauxite deposit, SW Antalya. *Mining of Mineral Deposits*, 15(3), 108-121. doi:10.33271/mining15.03.108.
- Bau, M., Dulski, P., 1995. Distribution of yttrium and rare-earth elements in the Penge and Kuruman iron-formations, Transvaal Supergroup, South Africa, *Precambrian Research*, Volume 79, Issues 1–2, 37-55, ISSN 0301-9268, [https://doi.org/10.1016/0301-9268\(95\)00087-9](https://doi.org/10.1016/0301-9268(95)00087-9).
- Grammaccioli, CM., Diella, V., Demartin, F., 1999. The role of fluoride complexes in REE geochemistry and the importance of 4f electrons: Some examples in minerals. *Eur J Mineral*, 11: 983–992
- Irber, W., Bau, M., Moller, P., 1996. Experimental leaching with cation exchange resin: a method to estimate element availabilites in geological samples. *J. Conf. Abstr.* 1, 280.
- Işık, V., 2016. Torosların Jeolojisi; Türkiye Jeolojisi Ders Notu. Ankara Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara.
- Kolonin, G.R., Shironosova, G.P., 2007. REE distribution between fluorite and ore-forming fluid based on results of thermodynamic modeling. *Doklady Earth Sciences* 414, 661–665.
- Lindagato, P., Li, Y., Yang, G., Duan, F., Wang, Z., 2018. Application of geostatistical analyst methods in discovering concealed gold and pathfinder elements as geochemical anomalies related to ore mineralization. *Geologos* 24, 95–109. <https://doi.org/10.2478/logos-2018-0010>.
- Möller, P., Parekh, P.P. and Schneider, H.J., 1976. The Application of Tb/Ca, Tb/La Abundance Ratios to Problems of Fluorspar Genesis. *Min. Deposits*, (11), 111-116.

- Möller, P., Morteani, G., 1983. On the Geochemical Fractination of Rare Earth Elements During the Formation of Ca Minerals and its Application to Problems of the Genesis of Ore Deposits in Augustiths”, In: S.S. (Ed.), The Significance of Trace Elements in Solving Petrogenetic Problems and Controversies. Theophrastus Pub, p. 747- 791, Athens.
- Möller, P., Giese, U., Dulski, P., 1994. Behaviors of REE in alteration processes of granites. In: Seltmann, R., Kämpf, H., Möller, P. (Eds.), Metallogeny of Collision Orogens. Czech Geological Survey, Prague, pp. 368–375.
- Öncel, F., 2018. Kuluncak (Malatya) Floritlerinin Jeokimyasal Özellikleri, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bil. Enst. Yüksek Lisans Tezi, 47s.
- Özgenç, İ., Kibici, Y., 1994. Başören Köyü (Kuluncak-Malatya) Britolit Damarlarının Jeolojisi ve Mineralojik-Kimyasal Özellikleri. Türkiye Jeoloji Bülteni, Cilt: 37, Sayı 1, S: 77, Ankara (in Turkish).
- Öztürk, H., Altuncu, S., Hanilçı, N., Kasapçı, C., Goodenough, K.M., 2019. Rare Earth Element-Bearing Fluorite Deposits of Turkey; An Overview, Ore Geology Reviews, 105, 426-444.
- Paksoy, M., 2018. Yeşilyurt (Malatya) Floritlerinin Jeokimyasal Köken İncelemesi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bil. Enst. Yüksek Lisans Tezi, 56s.
- Pekov, I.V., Chukanov, N.V., Kononkova, N.N. et al. 2009. Tveitite-(Y) and REE-enriched fluorite from amazonite pegmatites of the Western Keivy, Kola Peninsula, Russia: Genetic crystal chemistry of natural Ca,REE-fluorides. Geol. Ore Deposits 51, 595–607. <https://doi.org/10.1134/S107570150907008>.
- Revan, M., Genç, Y., 2003. Malatya-Yeşilyurt Altınlı Florit Cevherleşmesi: Toroslarda Paleokarst Tipi Bir Yatak. MTA Gemi Müdürlüğü, Maden EtM Dairesi, 06520, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 2-7 (2), Ankara (in Turkish).
- Saein, L.D., Afzal, P., 2017. Correlation between Mo mineralization and faults using geostatistical and fractal modeling in porphyry deposits of Kerman Magmatic Belt, SE Iran. J. Geochem. Explor. 181, 333–343. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2017.06.014>.

- Samson, I.M., Wood, S.A., Finucane, K., 2004. Fluid inclusion characteristics and genesis of the fluorite–parisite mineralization in the snowbird deposit, Montana. *Economic Geology* 99, 1727–1744.
- Schneider, H.J., Möller, P. and Parekh, P.P., 1975. Rare Earth Elements Distribution in Fluorites and Carbonate Sediments of the East-Alpine Mid Triassic Sequences in the Nordliche Kalkalpen. *Mineralium Deposita*, vol. 10pp.330-344.
- Schwinn, G., Markl, G., 2005. REE systematics in hydrothermal fluorite. *Chemical Geology* 216, 235–248.
- Shaltami, O.R., Fares, F.F., Errishi, H., El Oshebi, F.M., Souza, R., 2021. Geostatistics – A Review. Virtual Conference on Natural Gas. Yekaterinburg, Russia. Shaw, D.M., 1961.
- Uras, Y., 2002. Feye (Adana) ve Bayındır (Kaman) fluoritlerinin Nadir Toprak Elementlerinin Karşılaştırılması. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora tezi,86s.
- Uras, Y., Çalışkan, V., 2014. Geochemical Patterns of the Buyukkizilcik (Kahramanmaraş) Fluorite Deposits, *Geochemistry International*, 52(12), 1087-1100
- Uras, Y., Yalçın, C., Paksoy, M., 2019. Formation And Comparison Of REE Geochemistry Of Malatya Fluorite Deposits, Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences, International Symposium on Advanced Engineering Technologies (ISADET) Symposium Special Issue, 22, 1-11, e-ISSN: 1309-1751.
- Yazıcı, I., Yalçın, M. G., Atakoglu, O. O., Yalçın, F., 2021. Multivariate Statistical Evaluation of Geochemical Properties of “Alanya Emperador Dark” Marbles. *Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation*, 8(3), 361-372.



Prediction of the Rapid Hardening Property of Calcium Aluminate Cement Based on Mineralogical Composition by Neural Network

Kalsiyum Alüminatlı Çimentonun Hızlı Sertleşme Özelliğinin Sinir Ağı ile Mineralojik Kompozisyona Dayalı Tahmini

SUPHİ URAL^{1*} ORCID 0000-0003-4865-011X
MURAT AYDIN¹ ORCID 0000-0002-2719-4998

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye

Geliş (Received): 07/03/2022

Kabul (Accepted): 21/04/2022

ABSTRACT

Quantitative X-ray diffractometry using a Rietveld-based computational method was carried out for a series of Calcium Aluminate Cement (CAC) samples. This indicated that the CA content ranged between 37.7% to 47.7% while Brownmillerite (C₄AF) amount varies between 11.0% to 23.6%. Magnetite was found in all the samples, ranging from 0.7% to 3.9% while Gehlenite amount varies between 0.5% and 6.5%. The amount of spinel varies between 0.5% and 0.1% and its average value is 1.3%.. The amorphous content of CAC is ranged between 12.0% and 32%. The Mayenite and amorphous content could be a good indicator of the Rapid Hardening (RH) property of CAC. Samples with the high Mayenite content showed less RH properties, whereas RH increased as the content of amorphous material increased. The RH properties of CAC based on its mineralogical composition was predicted through various neural network techniques. The R² value of the models was 0.39 for Linear Regression analysis model (LR), 0.56 for feed forward neural network (ANN) and 0.78 for Generalized Regression Neural Network (GRNN) approaches. The best prediction approach for RH value of the CAC with an Al₂O₃ content of 40% was GRNN that can be applied to predict RH.

Keywords: CAC, GRNN, neural network, rapid hardening, Rietveld

Yazar adı-soyadı suralpl@cu.edu.tr

^{1*}Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye

ÖZ

Bir dizi Kalsiyum Alüminat Çimentosu (CAC) numunesi Rietveld tabanlı hesaplama yöntemi kullanılarak nicel X-ışını difraktometresi yöntemi ile incelenmiştir. Analiz sonuçları, CAC içeriğinin %37.7 ile %47.7 arasında, Brownmillerit (C₄AF) miktarının ise %11.0 ile %23,6 arasında değiştiğini göstermiştir. Tüm örneklerde %0,7 ile %3,9 arasında değişen manyetit bulunurken, Gehlenit miktarı %0,5 ile %6,5 arasında değişmektedir. Spinel miktarı %0.5 ile %0.1 arasında değişmektedir ve ortalama değeri %1.3 tür.. CAC'nin amorf içeriği %12.0 ile %32 arasında değişmektedir. Mayenit ve amorf içerikleri, CAC'nin Hızlı Sertleştirme (RH) özelliğinin iyi bir göstergesi olabilir. Mayenit içeriği yüksek olan numuneler daha az RH özelliği gösterirken, amorf malzeme içeriği arttıkça RH artmıştır. CAC'nin mineralojik bileşimine dayanan RH özellikleri, çeşitli sinir ağı teknikleri ile tahmin edildi. Modellerin R² değeri, Lineer Regresyon analiz modeli (LR) için 0.39, İleri Beslemeli Sinir Ağı (ANN) için 0.56 ve Genelleştirilmiş Regresyon Sinir Ağı (GRNN) yaklaşımları için 0.78'dir. %40 Al₂O₃ içeriğine sahip CAC'nin RH değeri için en iyi tahmin yaklaşımı, RH'yi tahmin etmek için uygulanabilen GRNN yöntemi olmuştur.

Anahtar Kelimeler: CAC, GRNN, sinir ağı, hızlı sertleştirme, Rietveld

INTRODUCTION

CAC is well known and used in various applications (Pöllmann, 2001; Pöllmann, 2012). One of the known special characteristics of (CAC) is its rapid hardening (RH) property. Hydraulic hardening of CAC is primarily due to the hydration of CA, but other compounds may also participate in the hardening process especially in long term strength development (Bensted, 2002). A model is proposed to predict the mechanical performance of CAC based on the composition of cement, curing temperature, fineness and water to cement ratio. It is explained that the main reaction scheme of the CA hydration at temperatures less than 20°C is applied to predict the composition of iron-rich calcium aluminate cement paste (Ukrainczyk et al., 2008). In this study, a model is proposed to explain the relationship between mineralogical content and rapid hardening property of CAC.

EXPERIMENTAL

Mechanical properties and mineralogical content of the CAC samples produced according to TS EN 14647 standard were examined. Elemental analyses of CAC samples were carried out

by X-ray fluorescence (XRF) spectrometry technique. X-ray diffraction (XRD) data of the CAC samples were obtained using a Rigaku diffractometer system with $\text{CuK}\alpha$ radiation at the laboratories of the Cimisa Cement Plant, Adana, Turkey. Samples were run from 2° to $70^\circ 2\theta$, with a step of increment of 0.02° and counting time of 2 s/step, and the relevant data were stored in a digital form. Diffractograms obtained from the CAC samples were evaluated using an interactive data processing system based on Rietveld interpretation methods (Rietveld, 1969). This approach provides a definitive appraisal of the minerals actually present in crystalline form, which is more germane to the applications in the present study. The amorphous content was estimated by “spiking” the sample with a known weight of an internal standard, e.g. corundum, which were not already present in the sample. RH tests are carried out at the laboratories of the Cimisa Cement Plant, Adana, Turkey according to TS EN 196-3. The statistical characteristics of the CAC samples are summarized in Table 1.

Table 1. Range of the analyses of CAC samples studied.

Çizelge 1. İncelenen CAC numunelerine ilişkin analiz sonuçları

Variable	Min. (%)	Max. (%)	Mean (%)	Std. Dev. (%)
Calcium Dialuminum Oxide (CA_2)	37.7	47.6	43.8	2.0
Mayenite (C_{12}A_7)	0.5	2.4	1.4	0.4
Brownmillerite (C_4AF)	11.0	23.6	15.6	2.6
Gehlenite (C_2AS)	0.5	6.5	2.5	1.2
Spinel (MgAl_2O_4)	0.0	1.3	0.5	0.3
Perovskite (CaTiO_3)	1.8	3.9	2.7	0.5
Hematite (Fe_2O_3)	0.1	1.0	0.6	0.1
Calcium Aluminium Magnesium Silicate (Na, Ca) _{0.33} (Al, Mg) ₂ (Si_4O_{10})	0.0	6.2	1.4	1.0
Magnetite (Fe_3O_4)	0.7	3.9	2.6	0.6
Tricalcium Titanium Oxide (C_3FT)	0.6	1.3	1.0	0.1
Dicalcium Silicate-Alfa (C_2S)	1.0	4.5	2.6	0.5
Dicalcium Silicate-Beta (C_2S)	0.0	3.9	2.0	0.6
Wuestite (FeO)	0.0	0.4	0.0	0.1
Amorphous Content	12.0	32.9	23.3	3.6

Ninety-seven CAC samples were studied. 67 samples from them were selected randomly for training prediction approach, and remaining 30 samples were utilized as test data set. In this random selection procedure, k-fold cross validation method was applied. Linear Regression (LR), Feedforward Neural Networks (ANN) and Generalized Regression Neural Networks (GRNN) artificial intelligence approaches were built to predict the RH values of CAC using the experimental data obtained at the laboratory. All of these methods were trained and tested by the same random divided train and test datasets in order to make a fair comparison.

The artificial neural network structure that was used in the study is given in Figure 1. The feed forward neural network approach is selected for modelling the system. In this approach the neural network consists of neurons which are arranged into three or more layers which are input, hidden and output layers. In this study, there are fourteen inputs which are given in Table 1. The number of hidden neurons in the hidden layer is set to three after some experiments with different numbers of neurons. The number of outputs is one which is the initial set value of the CAC sample. In this ANN approach each neuron is connected between a weight coefficient and it is aimed at determining the best weight values which reflects the degree of importance of the given connection (Svozil et al., 1997). An iterative training procedure, which is aimed to minimize errors between predictions and actual data samples, is applied for determining best weight coefficient values. In this study, Levenberg-Marquadt learning algorithm (Hagan et al., 1999) is used for this aim.

GRNN is one of the variations of radial basis neural networks which provide one pass training algorithm (Specht, 1991). In this algorithm, the spread value affects the performance of the algorithm. In this study, it is set 0.96 after some experimental calculations.

RESULTS

The main crystalline phases of CAC with an Al_2O_3 content in the region of 40% are Monocalciumaluminate (CA) and Brownmillerite (C_4AF), whereas the minor phases are Mayenite (C_{12}A_7), Gehlenite (C_2AS), Spinel, Magnetite and Calcium Aluminum Magnesium Silicate. The CAC also significantly contains an amorphous phase.

The results of Rietveld analyses indicated that The CA content ranges between 37.7% to 47.7% with an average of 43.8% while C_4AF amount varies between 11.0% to 23.6% with an average of 15.6%. The Magnetite is found in all the samples, ranging from 0.7% to 3.9% while Gehlenite amounts vary between 0.5% and 6.5%. The Spinel amount stands between 0.1% to 1.3% with an average of 0.5%. The amorphous content of CAC is ranged between 12.0% and 32%.

The obtained formula of the linear regression analysis (LR) shows that Constant term, Wuestite, CA_2 , C_4AF and Amorphous Content terms are most influenced parameters on the RH value. Other parameters have lower coefficient values or not significantly affect the model (p values greater than 0.05). The regression model seems significant ($p=0.001$) it means that the results obtained from the model can be used.

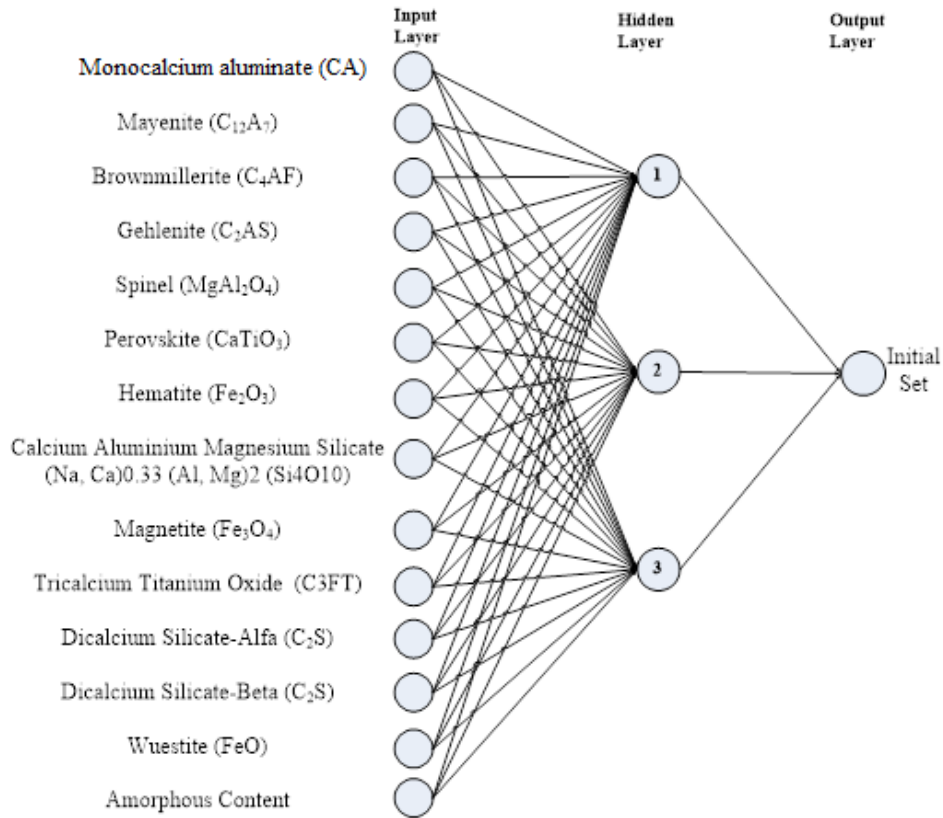


Figure 1. ANN Structure

Şekil 1. ANN yapısı

$$\begin{aligned}
RH = & -2943.666 + 37.258 x [\text{Calcium Dialuminum Oxide (CA2)}] - 3.979 x [\text{Mayenite (C12A7)}] \\
& + 33.121 x [\text{Brownmillerite (C4AF)}] + 17.304 x [\text{Gehlenite (C2AS)}] \\
& + 31.160 x [\text{Spinel (MgAl2O4)}] + 34.098 x [\text{Perovskite (CaTiO3)}] \\
& + 27.538 x [\text{Hematite (Fe2O3)}] \\
& + 32.942 x [\text{Calcium Aluminium Magnesium Silicate (Na,Ca)0.33 (Al,Mg)2 (Si4O10)}] \\
& + 27.332 x [\text{Magnetite (Fe3O4)}] + 9.93 x [\text{Tricalcium Titanium Oxide (C3FT)}] \\
& + 5.237 x [\text{Dicalcium Silicate - Alfa (C2S)}] - 11.28 x [\text{Dicalcium Silicate - Beta (C2S)}] \\
& - 67.593 x [\text{Wuestite (FeO)}] + 34.663 x [\text{Amorphous Content}]
\end{aligned} \tag{1}$$

Figure 2 shows the actual and prediction values of all prediction methods. It seems that GRNN has more convergence on the changings in actual RH values. Especially all the methods have worse predictions in the samples between 88 and 97.

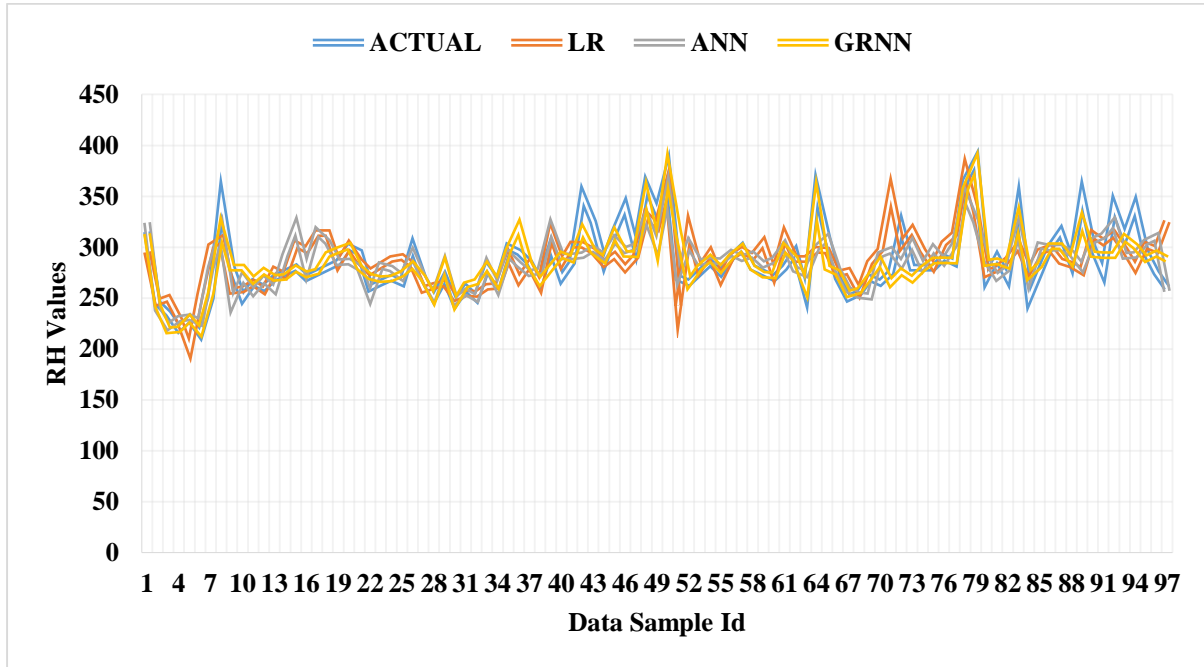


Figure 2. Comparison of the methods

Şekil 2. Farklı kestirim yöntemlerinin karşılaştırılması

Figure 3 shows the performance of methods on the test samples. It is important to predict test samples accurately because, the test samples are not used in the training phase. The figure shows us that the GRNN has a good prediction of RH values in almost all cases.

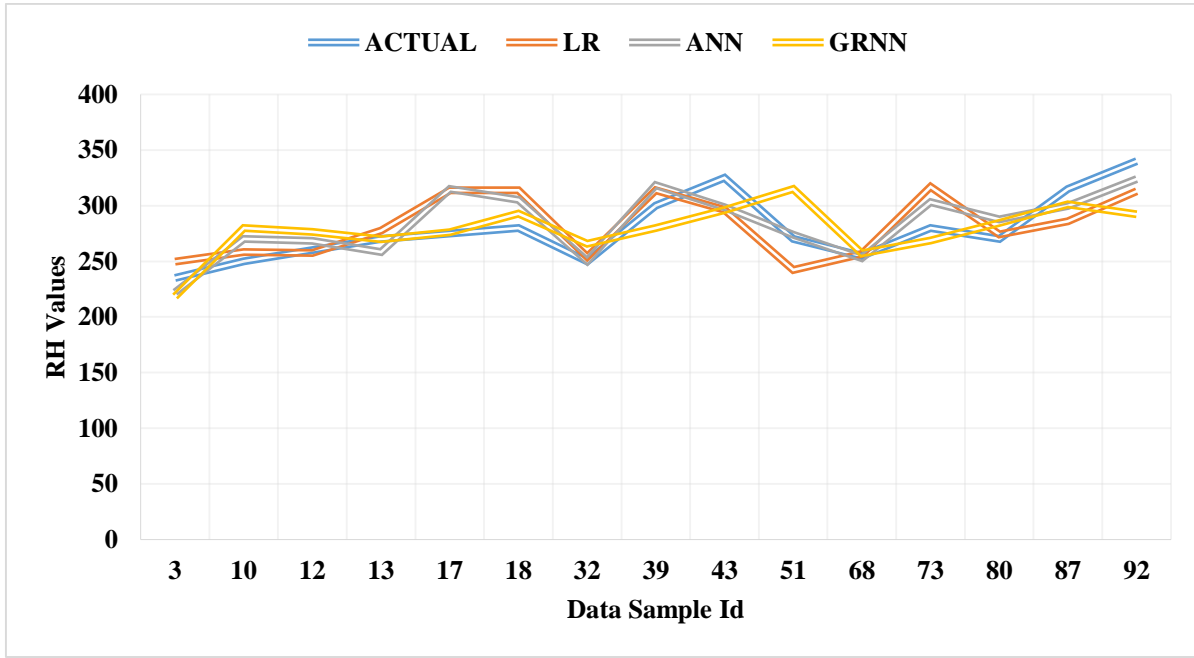


Figure 3. The performance of methods

Şekil 2. Yöntemlerin performansı

The performance of the methods is summarized in Table 2. The results show us that the GRNN method has better performance on the training data, however ANN has better performance on the test dataset for all performance criteria. Mean absolute percentage error values (MAPE) is less than 7% for all methods it means that the predictions are deviated at most 7 percent average from the actual value. According to mean absolute errors (MAE), the method deviates actual RH values at most 19 on average. According to the overall dataset, GRNN seems to have better results for all performance criteria.

Table 2. Performance of the prediction methods

Çizelge 2. Kestirim yöntemlerinin performansı

Performance Criteria	Train Dataset			Test Dataset			Overall Dataset		
	LR	ANN	GRNN	LR	ANN	GRNN	LR	ANN	GRNN
R^2	0.474	0.584	0.913	0.451	0.630	0.377	0.389	0.561	0.775
MAE	18.359	16.000	6.504	18.620	16.090	18.468	19.960	16.673	10.419
MAPE	0.0633	0.053	0.021	0.065	0.057	0.065	0.069	0.056	0.035

RESULTS AND DISCUSSIONS

One of the known special characteristics of CAC is its RH property. There is a strong relationship between mineralogical composition and the hardening property of CAC.

All the estimation methods used have worse prediction in the samples between 88 and 97 may be due to the presence of minor elements, such as Rare Earth Elements (REE) in the bauxite ores used as raw material and not included in the estimation models. It is proposed to investigate the REE contents of CAC.

ACKNOWLEDGEMENT

Financial support from the Cukurova University Scientific Research Project Unit (Under Project No: (FYL-2018-9911) is gratefully acknowledged. The support of the Cimsa Cement Plant, Mersin, Turkey is also acknowledged.

REFERENCES

- Bensted, J., 2002. Calcium aluminate cements, Structure and Performance of Cements, 2nd ed., (Eds. Bensted J, Barnes P), London.
- Hagan, M.T., and Menhaj, M., 1999. Training feed-forward networks with the Marquardt algorithm. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 5 (6), 989–993.
- Pöllmann, H., 2001. Mineralogy and crystal chemistry of calcium aluminate cement. *Calcium Aluminate Cements. Proceedings of International Conference, Edinburgh, Mangabhai R J and Glasser F P (Eds). London, IOM Communications, 79-119.*
- Pöllmann, H., 2012. Calcium aluminate cements - raw materials, differences, properties and hydration. *Reviews in Mineralogy & Geochemistry*, 74 (1), 1-82.
- Rietveld, H.M., 1969. A profile refinement method for nuclear and magnetic structures. *J. Appl. Cryst.* 2, 65-71.
- Specht, D.F., 1991. A general regression neural network. *IEEE transactions on neural networks*, 2 (6), 568-576.
- Svozil, D., Kvasnicka, V., and Pospichal, J., 1997. Introduction to multi-layer feed-forward neural networks. *Chemometrics and intelligent laboratory systems*, 39 (1), 43-62.

Ukrainczyk, N., Šipušić, J., Dabić, P., and Matusinović, T., 2008 Microcalorimetric Study on Calcium Aluminate Cement Hydration. 13. International conference on Materials, Processes, Friction and Wear - MATRIB'08, Vela Luka, Croatia, pp 382-388.



İgnimbiritlerde Pomza Şekli ile Fiziksel-Mekanik Özellikler Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi

Investigation of the Relationships Between Pumice Shape and the Physical-Mechanical Properties of Ignimbrites

MUTLUHAN AKIN¹ ORCID 0000-0002-5752-6949

TAMER TOPAL² ORCID 0000-0003-1646-7249

İSMAİL DİNÇER¹ ORCID 0000-0001-9734-7040

MÜGE K. AKIN³ ORCID 0000-0001-8873-5287

ALİ ÖZVAN⁴ ORCID 0000-0001-5459-3989

AYŞE ORHAN¹ ORCID 0000-0001-8103-5376

AHMET ORHAN¹ ORCID 0000-0001-8119-2216

¹Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Kapadokya Jeolojik Miras ve Kaya Oyma Yapıları Uygulama ve Araştırma Merkezi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Nevşehir

²Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara

³Abdullah Gül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kayseri

⁴Van Yüzyüncü Yıl Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Van

Geliş (Received): 11/03/2022

Kabul (Accepted): 20/04/2022

ÖZ

Bu çalışma kapsamında Kayseri, Nevşehir ve Ahlat yerleşimlerinden elde edilen farklı renk ve doku özellikleri sunan 16 ignimbirit türüne ait örneklerde fiziksel ve mekanik özellikler ortaya konulmuştur. Aynı ignimbirit örneklerindeki pomza tanelerinin uzun ve kısa eksen uzunlukları mikroskop altında ölçülmüş ve farklı şekil parametresi değerlendirme yöntemleri kullanılarak şekil oranları ortaya konmuştur. Tek eksenli basınç deneyleri sonucunda en yüksek dayanıma (36.84 MPa) Kayseri bölgesine ait ignimbiritlerin, en düşük dayanıma (6.3 MPa) ise Nevşehir ignimbiritlerinin sahip olduğu belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, Kayseri ve Ahlat ignimbiritlerinde pomza taneleri daha merceksi bir yapı kazanmışken, Nevşehir ignimbiritlerinde pomza taneleri yuvarlağa daha yakındır. Basit regresyon analizleri sonucunda ignimbiritlerin fiziksel ve mekanik özellikleri ile pomza tane şekli arasında en

¹Mutluhan Akın, mutluhanakin@nevsehir.edu.tr

anlamli iliskinin en-boy ve basiklik oranı Şekil parametreleri ile tek eksenli basınc dayanimi arasında olduğu belirlenmiştir. Bu iliskiilerdeki belirleme katsayilari sirasiyla 0.61 ve 0.59 olarak bulunmuştur. Bu iliskiye göre, ignimbiritlerdeki pomza tanelerinin basiklik oranı arttikça, en-boy oranı azaldıkça malzeme dayanimi ykselmektedir.

Anahtar Kelimeler: İgnimbirit, pomza, fiyam yapısı, kaynaşma, dayanim

ABSTRACT

Within the scope of this study, the physical and mechanical properties of 16 ignimbrites obtained from Kayseri, Nevşehir and Ahlat settlements, offering different color and texture properties were revealed. On the other hand, the long and short axis lengths of the pumice grains found in the same ignimbrite samples were measured under the microscope, and shape ratios were revealed with different shape parameter evaluation methods. As a result of the uniaxial compressive strength tests, it was determined that the ignimbrites belonging to the Kayseri region have the highest (36.84 MPa) and the Nevşehir ignimbrites have the lowest (6.3 MPa) strength. In addition, while the pumice grains present a more lenticular structure in the Kayseri and Ahlat ignimbrites, the pumice grains in the Nevşehir ignimbrites are closer to round. As a result of simple regression analysis, it was determined that the most significant relationship between the physical and mechanical properties of the ignimbrites and the pumice grain shape is between the shape parameters of the aspect-length and oblateness ratio, and the uniaxial compressive strength. The coefficients of determination in these relationships were determined to be 0.61 and 0.59, respectively. According to this relationship, the material strength increases as the oblateness ratio of the pumice grains in the ignimbrites increases as well as the aspect ratio decreases.

Keywords: Ignimbrite, pumice, fiamme structure, welding, strength

GİRİŞ

Piroklastik bir kaya türü olan ignimbirit yüksek derecede gözenekli olmasından dolayı ısı ve ses yalıtımı özelliğine sahiptir. Ayrıca oluşumları esnasında kazandıkları estetik doku özellikleri ve hafif oluŐları sebebiyle yapıtaşı sektöründe yoğun Şekilde tercih edilmektedirler. İgnimbiritlerin oluşum ortamındaki sıcaklık (>500°C) ve basınç koşulları bu kayaların fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde doğrudan etkilidir. İgnimbiritlerde kaynaŐmayı kontrol eden en önemli faktörler olan yzeyeye çıkan piroklastik malzemenin sıcaklığı ve depolanma ortamındaki örtü yükü kalınlığı arttikça ignimbiritlerdeki kaynaşma derecesi de yükselmektedir. Yüksek sıcaklıklarda ignimbiritlerde meydana gelen plastik deformasyon

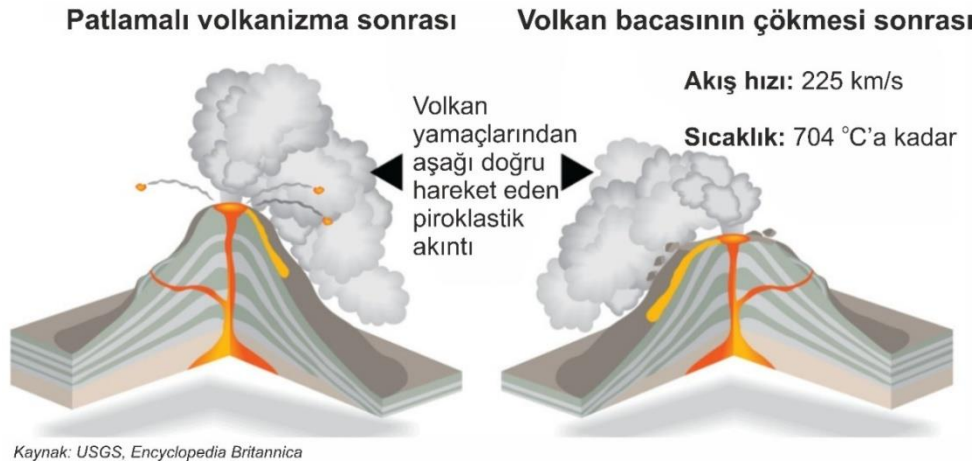
sonucu camsı minerallerde kaynaşma gözlenir. Bununla birlikte, piroklastik akıntının birikimiyle, alt seviyelerde yer alan ignimbiritlerdeki kül hamuru ve pomza taneleri deformasyona uğrar. Bu deformasyon sonucu pomza taneleri farklı oranlarda yassılaştırmış bir şekil alır, yüksek deformasyon etkisiyle merceksi bir yapı kazanır. Bu süreçler ile kayacın kaynaşma derecesi artarken aynı zamanda fiziksel ve mekanik özelliklerinde de iyileşmeler oluşabilmektedir.

Volkanik kökenli olan ve zayıf kaya özelliğindeki ignimbiritler, ülkemizde başta Doğu Anadolu, İç Anadolu ve Ege Bölgesi olmak üzere birçok alanda yüzlek vermektedir. Isı ve ses yalıtımı, hafiflik, kolay işlenebilirlik ve estetik görünümü nedeniyle geçmişte çok sayıda tarihi eserde kullanılmış ignimbirit malzemesi, bu özelliklerinden dolayı günümüzde doğal yapıtaşı sektöründe yaygın olarak tercih edilmektedir (Öner vd., 2006; Korkanç, 2007; Akın vd., 2016). Düşük dayanımı sebebiyle zayıf kaya grubunda yer alan ignimbirit, özellikle ıslanma-kuruma, donma-çözülme ve tuz kristallenmesi gibi çevrimsel atmosferik etkilere karşı oldukça hassas bir malzemedir. Bu nedenle ignimbiritlerin kullanım alanlarının doğru seçimi ve görece iyi fiziko-mekanik özelliklere sahip malzemenin tercih edilmesi, malzemenin bozunmaya karşı dayanımı ve uzun ömürlü olması açısından oldukça önemlidir (Akın vd., 2017).

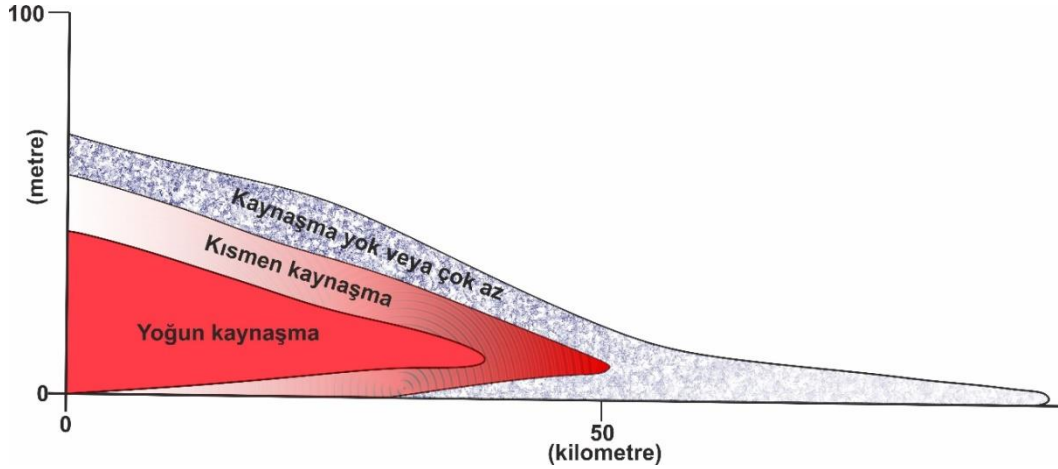
İgnimbiritler, volkanik patlama sırasında volkan bacasından çıkan ve yaklaşık 500-700 °C sıcaklığa sahip piroklastik malzemenin volkan bacası eteklerinde depolanmasıyla oluşur (Şekil 1). Birikimleri sırasındaki sıcaklık koşulları ve depolanma ortamındaki örtü yükü basınçları ignimbiritlerin kaynaşma derecesi üzerinde doğrudan rol oynamaktadır (Moon, 1993). Yüksek sıcaklık (>500°C) ve kalın örtü yükü basınçları altında oluşan ignimbiritler göreceli olarak daha iyi fiziko-mekanik özellik sergilemektedir. Bu nedenle ignimbiritlerin fiziksel ve mekanik özellikleri geniş bir aralıkta dağılım gösterebilmektedir.

İgnimbiritlerin oluşumu sırasında çıkış bacasından yüzeye ulaşarak yamaç boyunca akan sıcak piroklastik malzemenin içeriğinde daha önceden oluşmuş volkanik kökenli sert kayaç parçalarının yanı sıra, gözenekli pomza taneleri de bulunabilmektedir. Yüksek dayanıma sahip litolojilere ait litik malzemeler ignimbiritlerin oluşum sıcaklıklarından çok fazla etkilenmemekte, ancak piroklastik akıntı içerisindeki pomza taneleri yüksek sıcaklığın etkisi ile yassılaşmakta ve ignimbirit öteksitik bir doku kazanarak kaynaşma derecesi artmaktadır (Şekil 2). İgnimbiritler içerisinde yassılaşarak merceksi bir yapı kazanan pomza taneleri fiyam olarak adlandırılmaktadır (Bull ve McPhie, 2007).

Braney ve Kokelaar (1992), ignimbritlerin depolanma koşullarına bağlı olarak doku açısından düşey ve yatay yönlerde oldukça değişken özellikler gösterebildiğini ve dokunun kaynaşmamış, öteksitik, reomorfik (yönlenmiş) ve lav tipinde olabileceğini ifade etmişlerdir. İyi derecede kaynaşmış ignimbritlerde fiyam yapısının en-boy oranı depolanma karakteri ile ilgilidir. Bununla birlikte ignimbritlerdeki dokusal yapı piroklastik akıntı sırasındaki taşınım rejiminden ziyade depolanma koşulunu yansıtmaktadır (Braney ve Kokelaar, 1992). Kaynaşmamış ignimbritlerde pomza taneleri ve volkanik cam kıymıklarında herhangi bir deformasyon yoktur ve taneler arasında bağlayıcı bir kuvvet bulunmamaktadır. Kaynaşmaya başlayan ignimbritlerde ise litik malzemelerinde herhangi bir yönlenme veya deformasyon olmamasına rağmen, cam kıymıkları arasında bir miktar bağlayıcılık söz konusudur. İgnimbritlerde sıcaklığa bağlı olarak kaynaşmanın artmasıyla pomzalar camsı fiyam yapılarına dönüşebilmektedir.



Şekil 1. İgnimbritlerin oluşum mekanizması
Figure 1. Formation mechanism of the ignimbrites



Şekil 2. İgnimbiritlerin depolanma ortamında kaynaşma zonlarının düşey ve yanal yönde şematik gösterimi (Smith, 1960'dan değiştirilerek)

Figure 2. A schematic presentation of welding zones in vertical and lateral direction at the depositional environment of the ignimbrites

İyi kaynaşmış ignimbiritlerde, vitrofirik, obsidyen görümlü ve gözenek yapısı içermeyen bir görüntü hakimdir. Öteksitik doku yoğun kaynaşmayla birlikte kaybolmaktadır (Streck ve Grunder, 1995). Pomzaların şekil değiştirmesi ile oluşan fiyamlar, kaynaşmış ignimbiritlerdeki öteksitik yapıyı yansıtan deformasyon yapılarıdır. Fakat, fiyam yapıları ve öteksitik doku kaynaşmamış, pomza açısından zengin piroklastiklerde de görülebilmektedir. Bu tip piroklastiklerde fiyam yapılarında gelişigüzel yönlenme ve deforme olmamış yassılaştırma oranı çok düşük olan yuvarlak pomza taneleri mevcuttur (Gifkins vd., 2005). Fiyam yapıları çok çeşitli şekillerde (alevsi, dallı, papyon, kama vb.) olabilmekte, boyları 0.5 mm ile 1 m arasında, boy-yükseklik oranının 3:1 – 40:1 aralığında değişebilmektedir (Gifkins, 2001; Gifkins vd., 2005). İgnimbirit gibi piroklastik kayalarda kaynaşma sırasında sıkışma etkisi yaratan örtü yüküne ve cama geçiş sıcaklığının üstündeki sıcaklıklara bağlı olarak camlı taneler yassılaşmaktadır. Artan kaynaşma derecesi ile birlikte pomza tanelerinin yassılaşması ve mikro-dokudaki yönlenme gibi kayacın petrografik özelliklerinde değişimler olmaktadır. Quane ve Russell (2005) tarafından ignimbiritler üzerinde gerçekleştirilen araştırmada, düşük kaynaşma derecesine sahip olan örneklerde yassılaştırma oranı 0.4 civarında ölçülmüşken, sıkışmanın artması ve ignimbiritlerin vitrofirik bir doku kazanmasıyla bu değer 0.987'ye kadar yükselmiştir. Öte yandan aynı çalışmada, ignimbiritlerdeki yassılaştırma oranı ile birim hacim ağırlık arasında 0.90 gibi yüksek bir belirleme katsayısı elde edilmiştir.

İgnimbiritler üzerinde gerçekleştirilen petrografik incelemeler, opak mineral, ince taneli kayaç parçası içeriği ile matriks oranı-tane oranı yüksek olan örneklerin gözenekliliğinin daha düşük, yoğunluklarının ve basınç dayanımlarının da nispeten daha yüksek değerler gösterdiğini ortaya koymuştur (Korkanç, 2007; Korkanç ve Solak, 2016).

Mundula vd. (2009), fiyam yapısının şekil oranına (AR), volkanik cam kıymıklarının yönlenmesine (VC) ve hamur kristallenmesinin şekline bağlı olarak önerdikleri kaynaşma sınıflamasında pomza tanelerinin AR değerlerinin 1'e yaklaşması ile tanelerin dairesele yakın bir şekil aldığı, AR oranının artması ile ignimbiritlerin bünyesindeki pomzaların elips şeklinde bir yapı kazandığını vurgulamıştır (Şekil 3). Buna göre, artan kaynaşma ile birlikte pomzalar daha merceksi bir yapı kazanmaktadır.

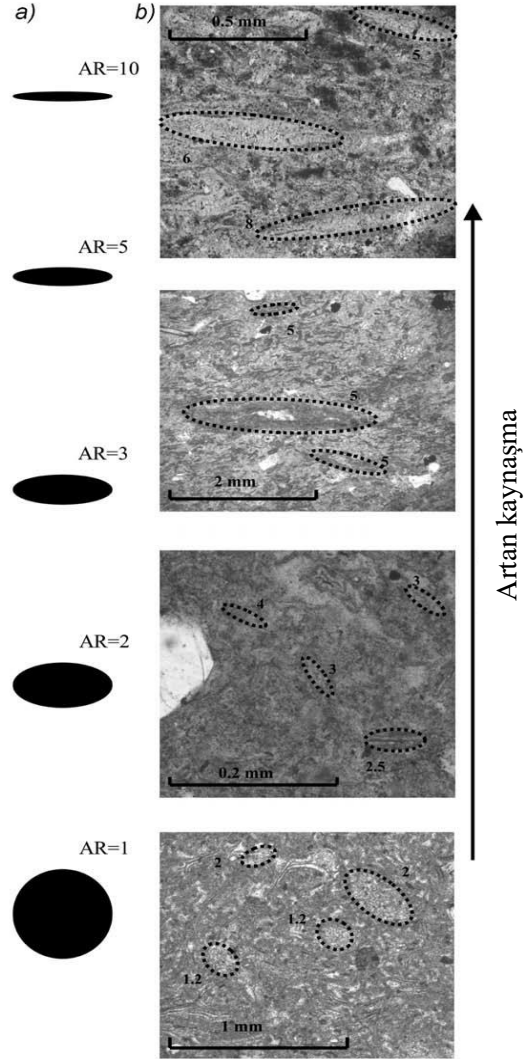
Bu araştırma kapsamında ülkemizdeki farklı özelliklere sahip 16 ayrı ignimbirit malzemesi kullanılarak ignimbiritlerdeki pomza tanelerinin şekilsel özellikleri ile ignimbiritlerin bazı fiziksel ve mekanik parametreleri arasındaki istatistiksel ilişkiler belirlenmiştir. Bu çalışma ile ignimbiritlerdeki pomza malzemesinin yassılık oranı ile ignimbiritlerin fiziko-mekanik özellikleri arasında herhangi bir ilişki olup olmadığının ortaya konması amaçlanmıştır. Bu kapsamda Türkiye'de ignimbiritlerin en yaygın olarak gözlendiği bölgelerden olan Nevşehir, Kayseri ve Bitlis (Ahlat) illerinden temin edilen örnekler araştırma kapsamında kullanılmıştır. Bu bölgelerin seçilmesindeki en önemli amaç, yüksek derecede değişkenlik gösteren ignimbiritlere ait farklı fiziko-mekanik özelliklere sahip örnekler elde edebilmektir. Bu çalışmadan elde edilen bulguların, yapıtaş sektöründe yaygın şekilde kullanım alanı olan ignimbiritlerin seçimine ve doğru kullanımına ışık tutacağı düşünülmektedir.

METOT VE BULGULAR

Çalışma Yöntemi

Bu çalışma kapsamında İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinde yaygın şekilde gözlenen ignimbiritlerden örneklemeler yapılmıştır. Nevşehir, Kayseri ve Ahlat (Bitlis) il sınırları içerisinde yer alan ignimbirit ocaklarından alınan ignimbiritlerden hazırlanan 7x7x7 cm boyutlarındaki küp örnekler ile araziden alınan blok örneklerden elde edilen silindirik örnekler üzerinde deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Buna göre, Kayseri yöresinden 6, Nevşehir

yöresinden 7 ve Ahlat yöresinden 3 olmak üzere toplam 16 farklı ignimbirit türü incelenmiştir (Çizelge 1).



Şekil 3. Artan kaynaşma derecesine bağlı olarak ignimbiritlerdeki pomza tanelerindeki şekil oranının (AR) değişimi (Mundula vd., 2009)

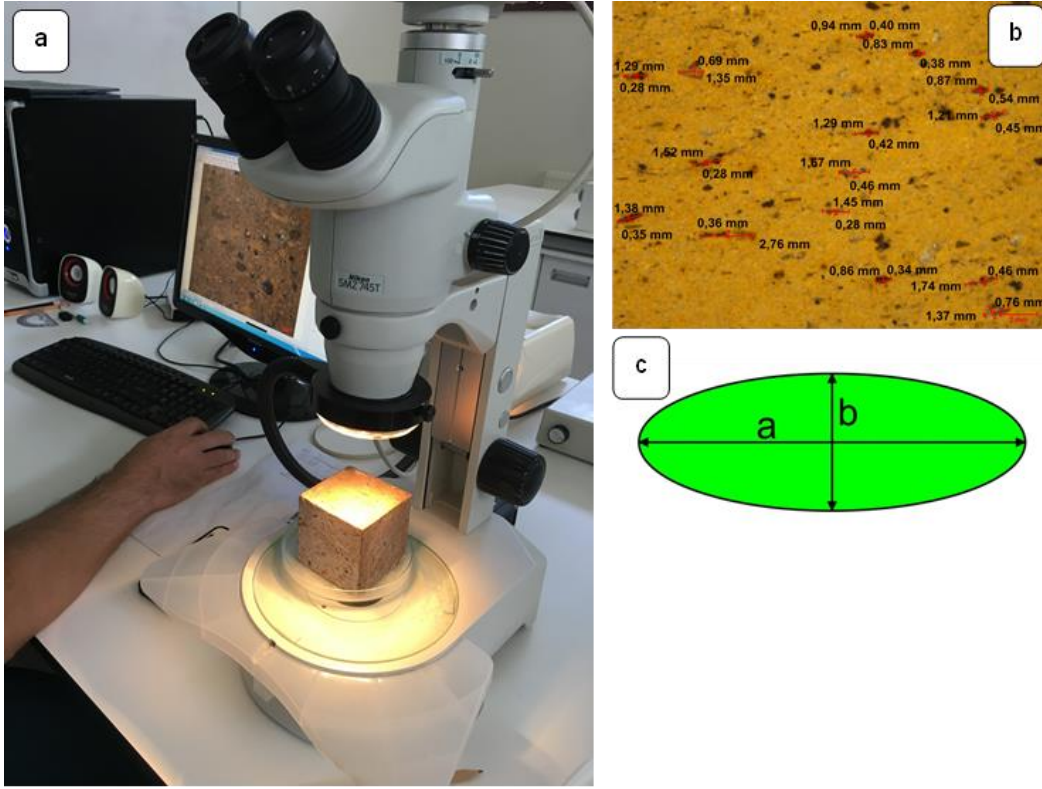
Figure 3. Variation of aspect ratio (AR) of pumice fragments in the ignimbrites with respect to increasing welding degree (Mundula et al., 2009)

Çizelge 1. Çalışma kapsamında kullanılan örnekleme lokasyonları ve örnek kodları
Table 1. Sampling locations and codes used in this study

Örnekleme Yeri		Projedeki Örnek Kodu
İl	Lokasyon	
Kayseri	Tomarza	Sh
Kayseri	Tomarza	Kh
Kayseri	Tomarza	Kr
Kayseri	Pınarbaşı	S
Kayseri	Turan	G
Kayseri	Pınarbaşı	B
Nevşehir	Avanos	SB
Nevşehir	Avanos	GK
Nevşehir	Ortahisar	OH
Nevşehir	Kavak	KV
Nevşehir	Demirtaş	DT
Nevşehir	Avanos	BJ
Nevşehir	Başdere	BD
Bitlis	Ahlat	N-1
Bitlis	Ahlat	N-2
Bitlis	Ahlat	N-3-4

Farklı bölgelerden elde edilen ignimbirit örnekleri üzerinde fiziksel ve mekanik özellikleri belirlemeye yönelik kaya mekaniği deneyleri ISRM (1981) ve ISRM (2007)'de belirtilen öneriler doğrultusunda yapılmıştır. Bu kapsamda ignimbiritlerin kuru ve doygun birim hacim ağırlık, kütlece su emme oranı, görünür gözeneklilik, kuru ve doygun koşullarda P-dalga hızı ve tek eksenli basınç dayanımı değerleri saptanmıştır. Laboratuvar deneyleri sonucunda 137 adet ignimbirit örneğine ait veri temin edilmiştir.

İgnimbiritlerdeki pomza tanelerinin şekli ile fiziko-mekanik parametreler arasındaki ilişkinin araştırılması amacıyla ignimbirit örneklerindeki pomza tanelerinin makro ölçekteki şekil faktörleri mikroskop ortamında üstten aydınlatma ile yapılan ölçümler sonucunda belirlenmiştir (Şekil 4-a). Bu amaçla mikroskop görüntüleri NIS ELEMENTS (NIKON) yazılımına aktarılmış ve bu yazılım yardımıyla ignimbirit örneklerinin yüzeylerinde gözlenen pomza tanelerinin uzun (a) ve kısa (b) eksen uzunlukları örneğin iki farklı yüzeyi üzerinde ölçülmüştür (Şekil 4-b ve 4-c).



Şekil 4. İgnimbiritlerdeki pomza tanelerinin mikroskop altında üstten aydınlatma ile incelenmesi (a), eksenel uzunlukların yazılım üzerinde ölçümü (b), uzun ve kısa eksen uzunlukları (c)

Figure 4. Examination of pumice grains in the ignimbrites under the microscope with overhead illumination (a), measurement of axial lengths on the software (b), long and short axis lengths (c)

İgnimbiritlerin düz yüzeyleri üzerinden pomzaların şekil faktörlerini belirlemek amacıyla uzun (a) ve kısa eksen (b) uzunlukları ölçülerek en-boy oranı (b/a), eksenel oran (a/b) ve basıklık oranı (OR) ($1-b/a$) değerleri belirlenmiştir. En-boy oranı 0 ile 1 arasında, eksenel oran 1 ile sonsuz arasında değişmektedir. Benzer şekilde basıklık oranı da 0 ile 1 arasında değişen bir değerdir. Eksenel oranda, (a/b) değeri yükseldikçe incelenen tanelerin şekli yassılaşırmaktayken, a/b değeri 1'e yaklaştıkça tane yuvarlağa yakın bir şekil almaktadır. En-boy (b/a) şekil faktöründe ise sıfıra yaklaşan değerlerde incelenen pomza tanelerinin şekilleri daha yassı bir yapıya sahipken, b/a değeri 1'e yaklaştıkça bileşenler daha yuvarlak bir yapı sergilemektedir. Basıklık oranı (OR) şekil parametresinde (Quane ve Russell, 2005) ise b/a faktörünün tersi olarak 1'e yaklaşan değerler basıklık oranı fazla olan taneleri temsil ederken, OR değeri sıfıra yaklaştıkça taneler daha yuvarlak bir yapı kazanmaktadır.

Bu çalışma kapsamında ignimbiritlerdeki pomza tanelerinin şekil parametreleri belirlenmiş ve aynı örnekteki fiziko-mekanik parametrelerle olan istatistiksel ilişkisi incelenmiştir. Buna göre, Kayseri bölgesinden alınan 6 farklı ignimbirit türünden toplam 998, Nevşehir yöresine ait 7 farklı ignimbirit örneğinden 762 ve Ahlat bölgesinden toplanan 3 farklı ignimbirit türünden ise toplam 235 adet şekil parametresi değeri elde edilmiştir.

İncelenen İgnimbiritlerin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Kayseri, Nevşehir ve Ahlat çevresine ait farklı doku ve renk özelliklerine sahip ignimbirit örneklerine ait fiziko-mekanik özelliklere ortalama değerler Çizelge 2’de sunulmuştur. Kayseri bölgesine ait ignimbiritlerde ortalama kuru birim hacim ağırlık (KBHA) değerleri 14.64 kN/m^3 ile 17.84 kN/m^3 arasında değişmektedir. Gri renkli ignimbiritlerin (G kodlu) KBHA değeri en yüksek iken, kahverengi ignimbiritler (Kh) en düşük KBHA değerine sahiptir. Nevşehir ignimbiritlerindeki en yüksek KBHA 15.00 kN/m^3 olup, diğer örnekleme bölgelerine göre KBHA belirgin şekilde daha düşüktür. Kavak ignimbiritlerinde (KV) KBHA 13.45 kN/m^3 ’e kadar düşebilmektedir. Ahlat ignimbiritlerinde ise ortalama KBHA 15.13 ile 16.82 kN/m^3 arasındadır (Çizelge 2). ANON (1979) sınıflamasına göre incelenen tüm ignimbiritler “çok düşük birim hacim ağırlıklı kaya” sınıfına girmektedir.

Yüksek derecede su emme kapasitesine sahip olan ignimbiritlerde kuru ve doymuş birim hacim ağırlıkları arasında önemli oranda değişim olabilmektedir. Kayseri yöresi ignimbiritlerinde ortalama doymuş birim hacim ağırlığının (DBHA) en yüksek 19.73 kN/m^3 olduğu saptanmıştır (Çizelge 2). Siyah (Sh) ve kahverengi (Kh) ignimbiritlerdeki ortalama DBHA değeri ise 16.73 kN/m^3 ’tür. Nevşehir ignimbiritlerinde en yüksek ortalama DBHA 17.29 kN/m^3 ’tür. Ahlat ignimbiritlerinde DBHA değerlerinin 17.89 ile 18.60 kN/m^3 gibi dar bir aralıkta değiştiği saptanmıştır. Kayseri ve Ahlat ignimbiritlerinin KBHA ve DBHA değerleri birbirine daha yakındır. Nevşehir ignimbiritlerinde ise birim hacim ağırlık değerleri daha düşüktür (Çizelge 2).

Çizelge 2. Kayseri, Nevşehir ve Ahlat yöresine ait ignimbritlerin ortalama fiziko-mekanik özellikleri

Table 2. Average physico-mechanical properties of the ignimbrites from Kayseri, Nevşehir and Ahlat regions

Lokasyon	Örnek Kodu	Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	Doygun Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	Görünür Gözeneklilik (%)	Ağırlıkça Su Emme (%)	P-dalga Hızı-Kuru (m/s)	P-dalga Hızı-Doygun (m/s)	Tek Eksenli Basınç Dayanımı-Kuru (MPa)	Tek Eksenli Basınç Dayanımı-Doygun (MPa)
KAYSERİ	Sh	15.71	16.73	26.32	18.29	2785	2487	21.05	14.01
	Kh	14.64	16.73	26.94	18.76	2710	2694	22.52	16.80
	Kr	17.42	19.24	22.18	12.75	2090	1897	20.65	18.86
	S	15.37	18.3	28.72	18.19	2045	1896	20.92	16.18
	G	17.84	19.73	15.99	8.63	1965	1695	36.84	32.8
	B	15.78	18.53	27.96	17.37	1936	1748	17.26	15.65
NEVŞEHİR	SB	14.08	17.04	28.22	29.68	1670	-	7.77	-
	GK	13.93	16.40	24.73	23.94	1642	-	11.78	-
	OH	13.71	-	24.80	18.90	2013	-	19.24	17.30
	KV	13.45	-	31.1	22.62	1759	-	11.3	6.30
	DT	15.00	-	32.41	21.33	1562	-	11.34	9.91
	BJ	13.86	17.29	36.67	33.8	692	-	6.64	-
	BD	14.44	-	35.12	24.11	1865	-	14.41	13.25
AHLAT	N-1	15.13	17.89	28.89	18.68	1709	1554	15.78	13.59
	N-2	15.77	18.60	27.40	16.92	2378	2257	12.10	12.17
	N-3-4	16.82	18.59	20.35	12.03	2623	2212	28.92	26.83

Kayseri iline ait ignimbritlerinin ortalama görünür gözeneklilik değerleri %15.99 ile %28.72 arasında değişmektedir. En düşük gözenekliliğe yüksek birim hacim ağırlığına sahip olan gri renkli ignimbritler (G) sahiptir. Beyaz renkli Kayseri ignimbritlerinin (B) gözenekliliğinin %28 civarında olduğu görülmektedir (Çizelge 2). Nevşehir çevresinden temin edilen daha düşük birim hacim ağırlığına sahip olan ignimbritlerin görünür gözeneklilik değerlerinin ise %30'un üzerinde olduğu belirlenmiştir. Nevşehir ignimbritlerinde ortalama görünür gözeneklilik %24.73 ile %36.67 arasında değişim göstermektedir. Diğer taraftan, Ahlat ignimbritlerinde görünür gözeneklilik %20.35 ile %28.89 arasındadır. İncelenen ignimbritlerde ağırlıkça su emme değerleri de gözenekliliğe benzer bir eğilime sahiptir

(Çizelge 2). Buna göre, Kayseri ve Ahlat ignimbiritlerinin ANON (1979) sınıflamasına göre “yüksek”, Nevşehir ignimbiritlerinin ise “çok yüksek” gözenekliliğe sahip olduğu belirlenmiştir.

P-dalga hızı ölçümlerine göre Kayseri ignimbiritlerinin kuru koşullardaki ortalama P-dalga hızı 2000 m/s civarında olup, Sh ve Kh kodlu ignimbiritlerde P-dalga hızı 2700 m/s'ye kadar yükselebilmektedir (Çizelge 2). Nevşehir ignimbiritlerinde kuru koşuldaki P-dalga hızı 2000 m/s'nin altına düşmektedir. Ahlat ignimbiritlerinde ise ortalama P-dalga hızı kuru örnekler için 1709 ile 2623 m/s arasında tespit edilmiştir. ANON (1979) sınıflamasına göre incelenen ignimbirit örnekleri; Sh, Kh (Kayseri) ve N-3-4 (Ahlat) kodlu örnekler hariç, P-dalga hızının 2500 m/s'nin altında olması sebebiyle “çok düşük” P-dalga hızına sahip kaya birimleri olarak sınıflandırılmıştır. Nevşehir ignimbiritlerinde doygun koşullarda P-dalga hızı değerleri tespit edilemediğinden, diğer ignimbirit örnekleri ile karşılaştırma yapılmamıştır. Ancak, Kayseri ve Ahlat ignimbiritlerinde doygun koşullarda P-dalga hızında bir azalma olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 2).

Tek eksenli basınç dayanımı deneyleri sonucunda Kayseri ignimbiritlerinin ortalama tek eksenli basınç dayanımları (σ_c) 17.26 MPa ile 36.84 MPa arasında belirlenmiştir. Buna göre, Kayseri ignimbiritleri ANON (1979) sınıflamasına göre “orta dayanımlı” kaya sınıfına girmektedir (Çizelge 2). İncelenen ignimbiritler arasında en düşük tek eksenli basınç dayanımına Nevşehir ignimbiritleri sahiptir. Buna göre, Nevşehir ignimbiritlerinde kuru koşuldaki ortalama tek eksenli basınç dayanımı 10 MPa dolayındadır. SB ve BJ kodlu ignimbiritlerde dayanım 10 MPa'nın altına düşmektedir. Ahlat ignimbiritlerinde ise kuru durumdaki ortalama σ_c 12.10 MPa ile 28.92 MPa aralığındadır (Çizelge 2). Buna göre, Nevşehir ve Ahlat ignimbiritlerinin OH, N-1 ve N-3-4 kodlu örnekler hariç, ANON (1979) sınıflamasına göre “zayıf dayanımlı” kaya olduğu görülmektedir.

Doygun koşullardaki tek eksenli basınç dayanımlarına bakıldığında Kayseri ignimbiritlerinin bazılarında suyun etkisi ile %30'un üzerinde dayanım kaybı olduğu görülmektedir (Çizelge 2). Benzer şekilde, Nevşehir ignimbiritlerinde de özellikle KV kodlu örnekte olmak üzere doygun koşullarda σ_c önemli oranda azalmıştır. Ahlat ignimbiritlerinde ise kuru ve doygun koşullar altında dayanımda önemli bir değişim olmadığı görülmektedir. Bu sonuç, Kayseri ve Nevşehir

ignimbiritlerinin su ile temas halinde dayanımlarını önemli ölçüde kaybettiklerini göstermektedir.

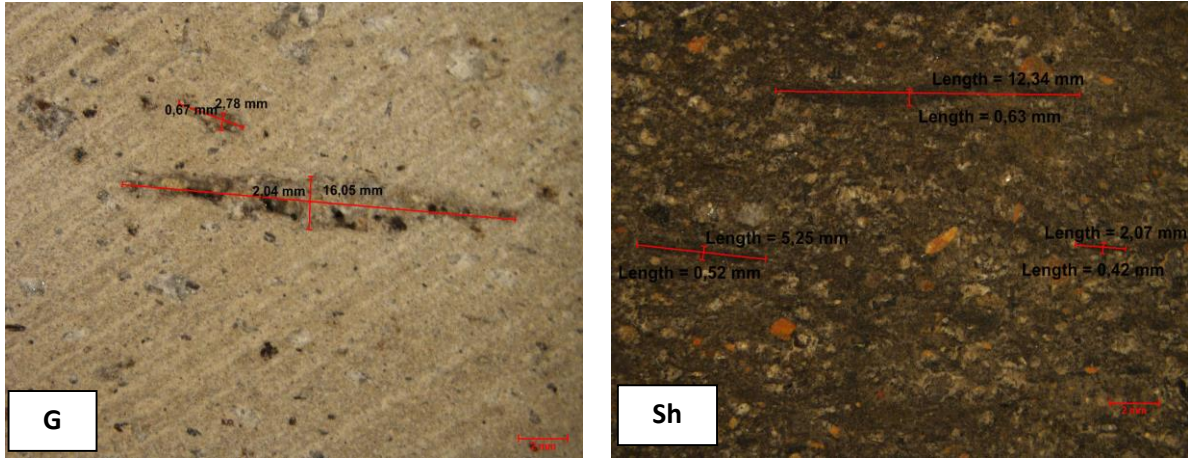
İncelenen İgnimbiritlerde Pomza Tanelerinin Şekil ve Boyutları

Kayseri, Nevşehir ve Ahlat yerleşimlerinden alınan farklı renk ve doku özelliklerine sahip ignimbirit örneklerindeki pomza tanelerinin uzun ve kısa eksen uzunluk ölçümleri mikroskop altında gerçekleştirilerek bazı şekil oranları ortaya konmuş ve ignimbiritlerin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri ile bu oranlar arasındaki istatistiksel ilişkiler basit regresyon analizleri ile irdelenmiştir. Buna göre, çalışma kapsamındaki 16 farklı ignimbirit türü için içerdikleri pomzalar için belirlenmiş olan en düşük, en yüksek ve ortalama uzun eksen (a), kısa eksen (b) uzunlukları ile bu uzunluklara göre hesaplanmış olan eksenel oran (a/b), en-boy oranı (b/a) ve basıklık oranı (OR) $[1-(b/a)]$ değerleri Çizelge 3'te sunulmaktadır.

Çizelge 3 incelendiğinde farklı ignimbiritlerdeki pomza tanelerinin şekil parametreleri değerleri arasında belirgin farklılıklar olduğu dikkati çekmektedir. Kayseri iline ait ignimbiritlerdeki eksenel oran (a/b) değerlerinin Sh (siyah) ve G (gri) kodlu örneklerde 5'in üzerine çıktığı görülmektedir. Bu değer, bu ignimbiritlerdeki pomza tanelerinin oldukça merceksi bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir (Şekil 5). Kayseri ignimbiritlerinde en düşük eksenel oran değeri 1.62'dir (Kr kodlu kırmızı ignimbirit). Kayseri ignimbiritlerinde en-boy (b/a) oranı dağılımı eksenel orana oldukça benzerdir. En düşük en-boy oranı yine Sh ve G kodlu ignimbiritler için belirlenmiş olup, bu örneklerin ortalama en-boy oranı 0.24'tür. Kr kodlu ignimbiritlerde ise en-boy oranı değeri 0.66 olarak saptanmıştır. Bu sonuçlar gri (G) ve siyah (Sh) renkli Kayseri ignimbiritlerinde merceksi pomza tanelerinin yoğun olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3. Pomza tanelerinin eksen uzunlukları ve farklı şekil parametresi değerleri
 Table 3. Axial dimension and various shape parameter values of the pumice grains

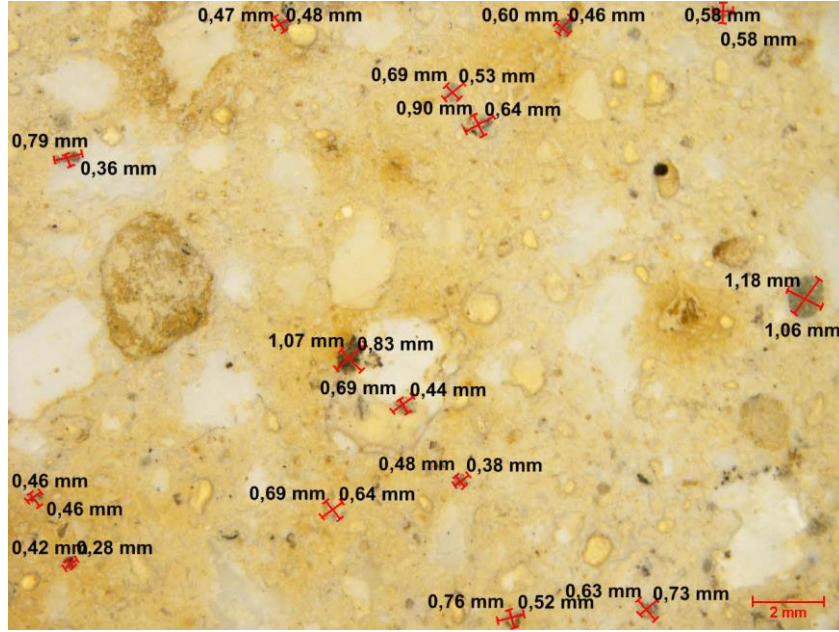
Lokasyon	Örnek Kodu		Pomza				
			Uzun eksen (mm) (a)	Kısa eksen (mm) (b)	a/b	b/a	OR
KAYSERİ	Sh	En düşük	1.27	0.31	1.05	0.05	0.05
		En yüksek	22.93	3.58	19.59	0.95	0.95
		Ortalama	4.39	0.90	5.35	0.24	0.76
		Std. Sapma	3.32	0.57	3.15	0.13	0.13
	Kh	En düşük	0.75	0.30	1.54	0.12	0.35
		En yüksek	50.00	7.00	8.63	0.65	0.88
		Ortalama	3.60	0.96	3.35	0.35	0.65
		Std. Sapma	6.18	0.97	1.45	0.13	0.13
	Kr	En düşük	0.58	0.49	1.00	0.33	0.00
		En yüksek	16.01	10.29	3.06	1.00	0.67
		Ortalama	3.35	2.15	1.62	0.66	0.34
		Std. Sapma	2.43	1.53	0.46	0.16	0.16
	S	En düşük	0.75	0.28	1.55	0.08	0.92
		En yüksek	13.89	6.94	12.32	0.65	0.35
		Ortalama	2.61	0.93	3.24	0.38	0.62
		Std. Sapma	2.45	1.06	2.00	0.14	0.14
	G	En düşük	1.43	0.36	1.77	0.05	0.95
		En yüksek	16.05	4.94	20.70	0.57	0.43
		Ortalama	5.75	1.21	5.29	0.24	0.76
		Std. Sapma	3.97	0.88	3.20	0.11	0.11
	B	En düşük	0.85	0.31	1.70	0.18	0.82
		En yüksek	8.67	2.58	5.69	0.59	0.41
		Ortalama	3.00	0.93	3.25	0.33	0.67
		Std. Sapma	1.71	0.44	0.89	0.09	0.09
NEŞEHİR	SB	En düşük	0.15	0.10	1.00	0.31	0.00
		En yüksek	7.36	3.63	3.23	1.00	0.69
		Ortalama	1.17	0.76	1.58	0.68	0.32
		Std. Sapma	1.10	0.65	0.45	0.17	0.17
	GK	En düşük	0.26	0.16	1.00	0.24	0.76
		En yüksek	7.52	3.59	4.20	1.00	0.00
		Ortalama	1.36	0.86	1.61	0.67	0.33
		Std. Sapma	1.13	0.66	0.54	0.17	0.17
	OH	En düşük	0.20	0.11	1.00	0.24	0.76
		En yüksek	1.19	0.96	4.13	1.00	0.00
		Ortalama	0.47	0.27	1.89	0.59	0.41
		Std. Sapma	0.24	0.16	0.70	0.19	0.19
	KV	En düşük	0.15	0.09	1.00	0.14	0.00
		En yüksek	1.75	0.66	7.09	1.00	0.86
		Ortalama	0.40	0.26	1.88	0.64	0.36
		Std. Sapma	0.24	0.13	1.06	0.23	0.23
	DT	En düşük	0.18	0.10	1.01	0.36	0.64
		En yüksek	2.39	1.24	2.77	0.99	0.01
		Ortalama	0.53	0.34	1.64	0.65	0.35
		Std. Sapma	0.45	0.29	0.42	0.15	0.15
	BJ	En düşük	0.15	0.12	1.00	0.24	0.76
		En yüksek	0.94	0.81	4.17	1.00	0.00
		Ortalama	0.41	0.30	1.47	0.73	0.27
		Std. Sapma	0.17	0.14	0.49	0.18	0.18
BD	En düşük	0.20	0.08	1.07	0.29	0.71	
	En yüksek	1.32	0.56	3.47	0.93	0.07	
	Ortalama	0.51	0.27	2.00	0.55	0.45	
	Std. Sapma	0.28	0.13	0.65	0.18	0.18	
AHLAT	N-1	En düşük	0.56	0.04	0.30	0.02	0.98
		En yüksek	34.17	5.00	45.00	1.00	0.00
		Ortalama	2.78	0.65	6.96	0.34	0.66
		Std. Sapma	4.66	0.74	8.57	0.46	0.46
	N-2	En düşük	0.63	0.33	1.00	0.06	0.94
		En yüksek	12.92	3.13	15.50	1.00	0.00
		Ortalama	3.42	1.05	4.55	0.50	0.50
		Std. Sapma	3.62	0.82	5.04	0.32	0.32
	N-3-4	En düşük	3.00	0.10	1.67	0.01	0.99
		En yüksek	120.00	25.00	80.00	0.60	0.40
		Ortalama	10.26	2.18	7.65	0.22	0.78
		Std. Sapma	13.32	2.84	10.74	0.12	0.12



Şekil 5. G ve Sh kodlu Kayseri ignimbiritlerinde merceksi şekilli pomza taneleri
Figure 5. Lense-shaped pumice grains in G and Sh coded Kayseri ignimbrites

Kayseri Kr kodlu ignimbirit örneklerinde basıklık oranı (OR) değeri 0.34 iken, diğer Kayseri ignimbiritlerinde basıklık oranının 0.62 ile 0.76 arasında değiştiği tespit edilmiştir. En yüksek OR değerleri Sh ve G kodlu ignimbiritlerde olmakla birlikte, diğer ignimbiritlerin de (Kr hariç) OR değerleri 0.62'nin üzerindedir (Çizelge 3).

Nevşehir ignimbiritlerinin şekil parametresi değerleri, Kayseri ve Ahlat ignimbiritlerine göre farklıdır. Nevşehir ignimbiritlerindeki düşük şekil parametresi değerleri, pomza tanelerinin daha yuvarlak şekilli olduğunu göstermektedir (Şekil 6). Nevşehir ignimbiritlerinde ortalama aksenal oran değerlerinin 1.47 ile 2.0 arasında değişim gösterdiği saptanmıştır (Çizelge 3). Nevşehir ignimbiritlerinde pomza taneleri için en yüksek aksenal oran değeri BD kodlu örnekler için 2.0 olarak belirlenmiştir. Öte yandan, Nevşehir ignimbiritlerinde en-boy (b/a) oranı değerleri 0.55 ile 0.73 arasında dağılım göstermektedir. En yüksek en-boy oranına 0.73 ile BJ, en düşük orana ise 0.55 ile BD kodlu Nevşehir ignimbiritleri sahiptir. Bu değerlere göre Nevşehir ignimbiritlerindeki pomza tanelerinin yuvarlağa yakın şekilli olduğu sonucu çıkarılmaktadır. Nevşehir ignimbiritlerindeki basıklık oranı (OR) değerlerinin 0.27 ile 0.45 arasında olduğu görülmektedir (Çizelge 3). Kayseri ignimbiritleri ile karşılaştırıldığında Nevşehir ignimbiritlerinin OR değerleri oldukça düşüktür. OR değerlerinin düşük olması tane şeklinin yuvarlağa yakın olduğunu göstermektedir.



Şekil 6. SB kodlu Nevşehir ignimbritlerinde yuvarlak şekilli pomza taneleri
Figure 6. Round-shaped pumice grains in SB coded Nevşehir ignimbrites

Bu çalışma kapsamında değerlendirilen ignimbirit türleri arasında en merceksi pomza tanelerinin Ahlat ignimbritlerinde olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, pomza tanelerinin boyutları da diğer ignimbirit türlerine oranla oldukça iridir. Ahlat N-1 kodlu ignimbirit örneklerinde ortalama aksel oran (a/b), en-boy oranı ve basıklık oranı değerleri sırasıyla 6.96, 0.34 ve 0.66 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 3). N-2 ignimbritlerinde bu değerler 4.55, 0.50 ve 0.50 şeklindedir. En yüksek ortalama aksel oran değeri 7.65 ile N-3-4 örnek grubuna aittir. Bu örneklerde en-boy oranı 0.22, basıklık oranları ise 0.78'dir. Ahlat ignimbritleri için elde edilen şekil parametresi değerleri gözle de belirgin şekilde görülebilen merceksi fiyam yapılarının varlığını doğrulamaktadır. Aksel oran değerleri diğer iki bölgeden elde edilen ignimbritlere göre oldukça yüksektir.

Farklı şekil parametresi değerlerine göre yapılan değerlendirmeler sonucunda en basık (merceksi) pomza tanelerinin Ahlat ignimbritlerinde olduğu tespit edilmiştir. Nevşehir ignimbritlerindeki pomza taneleri ise çoğunlukla yuvarlağa yakın şekillidir ve merceksi yapıdaki pomza tanesi miktarı yok denecek kadar azdır. Kayseri ignimbritlerindeki pomzalar ise genel olarak Ahlat ignimbritlerine benzer şekilde merceksi ve uzamış yapıdadır.

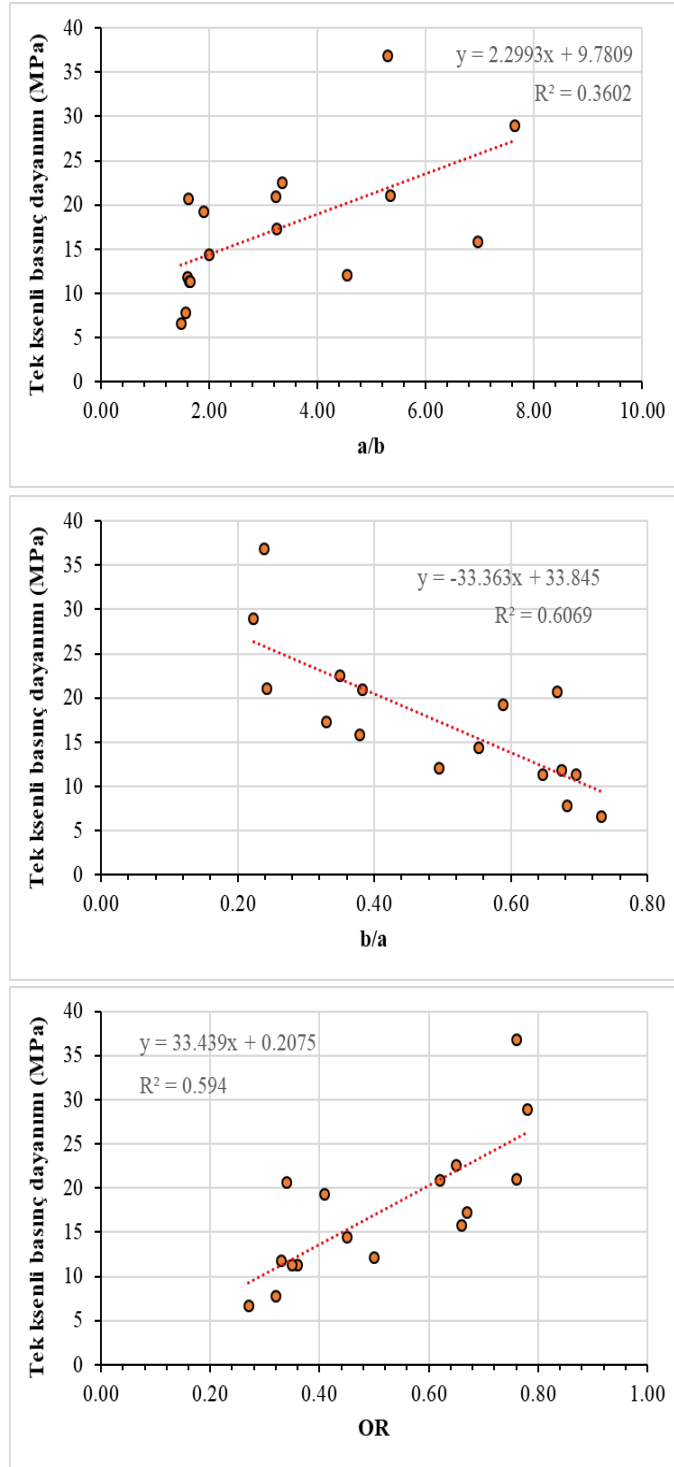
İgnimbiritlerin Fiziko-Mekanik Özellikleri ile Pomza Tanelerinin Şekil Parametreleri Arasındaki İstatistiksel İlişkiler

Bu çalışmanın ana amaçlarından bir tanesi farklı renk ve dokusal özelliklere sahip ignimbirit örneklerindeki pomza tanelerinin şekil özellikleri ile fiziko-mekanik parametreler arasındaki ilişkinin araştırılmasıdır. İgnimbiritlerin kaynaşma derecesi üzerinde etkili olan başlıca etkenler yüzeye çıkan piroklastik malzemenin sıcaklığı ve depolanma ortamında üzerinde etkili olan örtü yükü basınçlarıdır. Depolanma aşamasında sıcaklık ve örtü yüküne maruz kalan piroklastik akıntı içerisindeki pomzalar fiyam olarak adlandırılan basık ve merceksi bir şekil kazanabilmektedir.

Bu bölümde pomza tanelerinin farklı şekil parametreleri ile ignimbiritlerin bazı fiziko-mekanik özellikleri arasındaki istatistiksel ilişkiler sunulacaktır. Şekil 7’de ignimbiritlerdeki pomza tanelerinin kuru koşuldaki tek eksenli basınç dayanımı ile farklı şekil parametreleri arasındaki istatistiksel ilişkiler gösterilmiştir. Buna göre 16 adet ignimbirit türünün ortalama değerlerine göre yapılan basit regresyon analizleri sonucunda ignimbiritlerin tek eksenli basınç dayanımı (TEBD) ile eksenel oran (a/b) değerleri arasındaki belirleme katsayısı (R^2) 0.36 olarak tespit edilmiş olup, bu değer TEBD ile pomzaların eksenel oran değerleri arasında bir ilişki olmadığını işaret etmektedir. Bununla birlikte, ignimbiritlerin TEBD ile pomzalardaki en-boy oranı (b/a) parametresi arasındaki belirleme katsayısı 0.61’dir. Buna göre, ignimbiritlerin TEBD ile içerdikleri pomza tanelerinin b/a oranları arasında anlamlı negatif bir ilişkiden bahsedilebilir. Pomza tanelerinin b/a oranı azaldıkça, ignimbiritin TEBD artmaktadır. Belirleme katsayısı 0.59 olan anlamlı bir ilişki pomza tanelerindeki basıklık oranı (OR) ile TEBD arasında da bulunmuştur. Yapılan istatistiksel değerlendirmeler sonucunda ignimbiritlerdeki pomzaların en-boy oranı (EBO) ve basıklık oranı (OR) değerleri ile TEBD (σ_c) arasında aşağıdaki eşitlikler önerilmektedir. Eşitliklerde σ_c ignimbiritin tek eksenli basınç dayanımını (MPa), EBO pomza tanelerinin ortalama en-boy oranı (b/a) ve OR basıklık oranı parametrelerini ifade etmektedir.

$$\sigma_c = (-33.4 \cdot EBO) + 33.9$$

$$\sigma_c = (33.4 \cdot OR) + 0.21$$



Şekil 7. İgnimbiritlerin tek eksenli basınç dayanımı (kuru) ile pomza tanelerinin farklı şekil parametreleri arasındaki istatistiksel ilişkiler

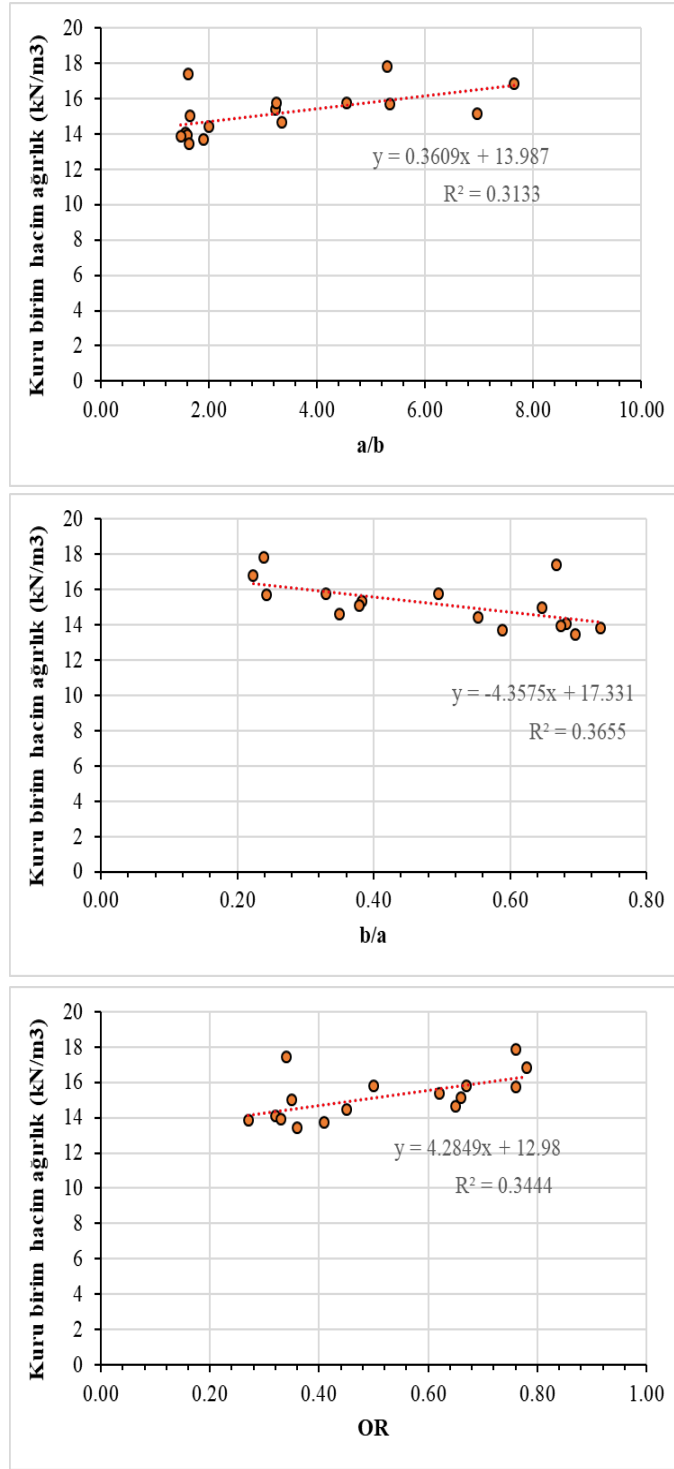
Figure 7. Statistical relationships between uniaxial compressive strength (dry) of the ignimbrites and different shape parameters of the pumice grains

Şekil 8’de ignimbiritlerin kuru birim hacim ağırlığı ile pomza tanelerinin şekil parametreleri arasındaki istatistiksel ilişkiler sunulmaktadır. Buna göre, ignimbiritlerin kuru birim hacim ağırlığı ile a/b , b/a ve OR değerleri arasındaki belirleme katsayılarının 0.31 ile 0.37 arasında değiştiği saptanmıştır. Bu sonuç, kuru birim hacim ağırlığı ile pomza şekil parametreleri arasında anlamlı bir istatistiksel ilişki olmadığını göstermektedir. İgnimbiritlerin düşük birim hacim ağırlığına sahip bir kaya türü olduğu göz önüne alındığında, pomza tanelerinin şekil parametreleri ile ignimbiritlerin birim hacim ağırlığı arasında istatistiksel bir ilişki olmaması doğal görünmektedir.

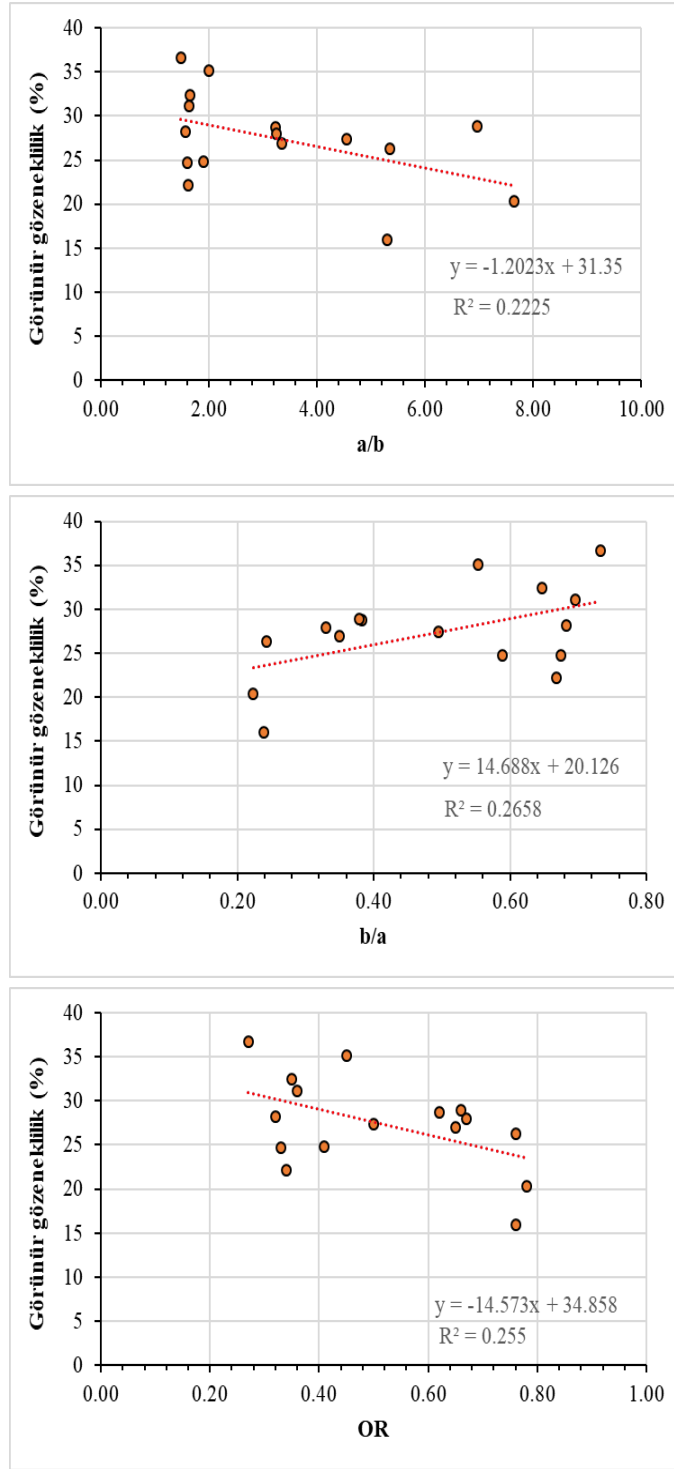
Benzer sonuçlar ignimbiritlerin görünür gözenekliliği ile pomza tanelerinin şekil parametre değerleri arasında da bulunmuştur. Şekil 9’dan görüleceği üzere, ignimbiritlerin görünür gözenekliliği ile pomza şekil parametreleri arasındaki belirleme katsayıları 0.27’nin altındadır. İgnimbiritlerde gözeneklilik değerleri genellikle %20’nin üzerindedir ve gözeneklilikteki azalma ile pomza tanelerinde bir yassılaşıma olduğundan söz etmek mümkün değildir.

İgnimbiritlerde kuru koşuldaki P-dalga hızı ile pomza şekil parametreleri arasındaki istatistiksel ilişkiler Şekil 3.10’da sunulmaktadır. İgnimbiritlerinin P-dalga hızı ile pomza tanelerinin eksenel oranları (a/b) arasındaki belirleme katsayısı 0.30 gibi düşük bir değerdedir. Bunun yanı sıra, b/a ve OR oranları ile P-dalga hızı arasındaki belirleme katsayıları 0.47 ve 0.45 olarak tespit edilmiştir. Bu değerler, tam olarak anlamlı bir istatistiksel ilişkiyi işaret etmemekle birlikte, P-dalga hızının kuru birim hacim ağırlık ve gözenekliliğe oranla daha yüksek bir ilişki sunduğu söylenebilir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, gerçekleştirilen basit regresyon analizleri sonucunda ignimbiritlerin fiziko-mekanik özellikleri ile pomza tanelerinin şekil parametreleri arasındaki en anlamlı ilişkilerin tek eksenli basınç dayanımı (σ_c) ile en-boy oranı (EBO) ve basıklık oranı (OR) değerleri arasında olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, P-dalga hızı ile şekil parametresi değerleri arasında ise düşük derecede bir ilişki söz edilebilir. Öte yandan, ignimbirit malzemesinin kuru birim hacim ağırlık ve görünür gözeneklilik değerleri ile ignimbiritlerin içindeki pomza tanelerinin şekil parametreleri arasında istatistiksel bir ilişki bulunamamıştır.

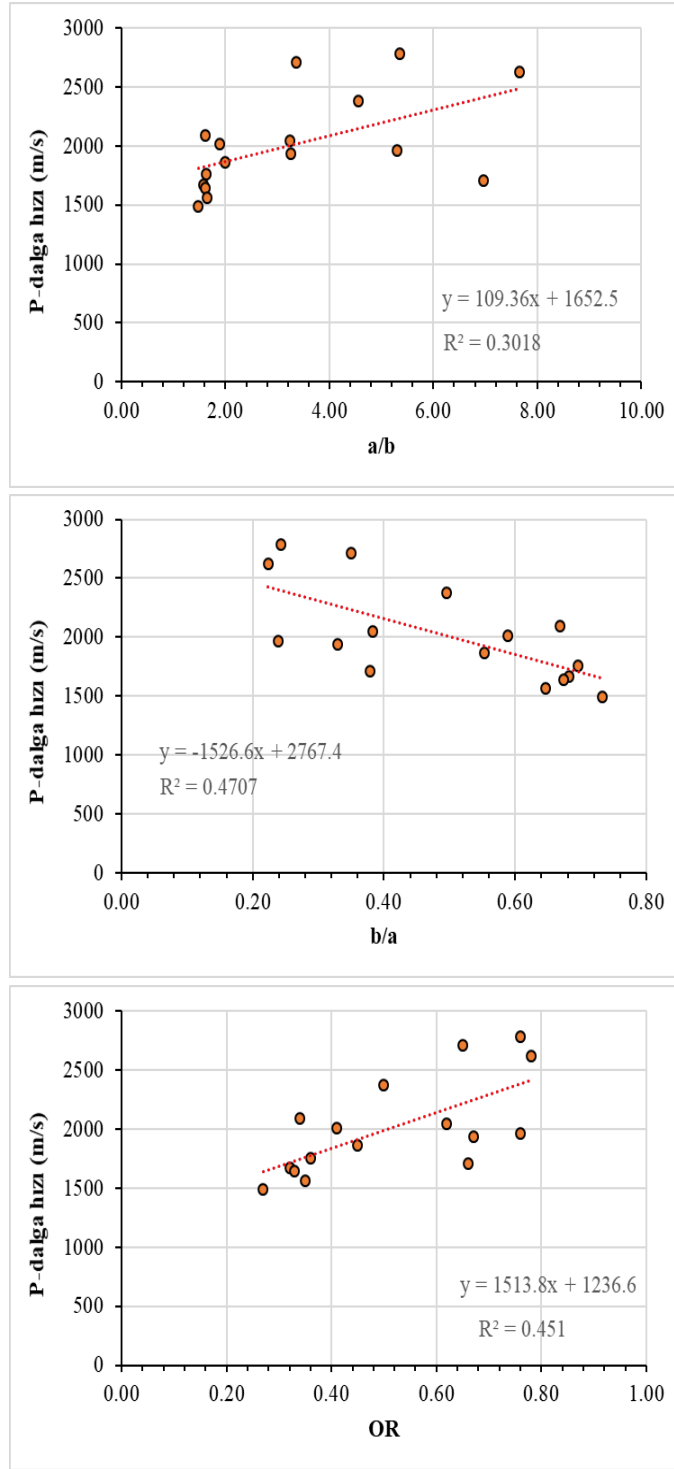


Şekil 8. İgnimbiritlerin kuru birim hacim ağırlığı ile pomza tanelerinin farklı şekil parametreleri arasındaki istatistiksel ilişkiler
 Figure 8. Statistical relationships between dry unit weight of the ignimbrites and different shape parameters of the pumice grains



Şekil 9. İgnimbiritlerin görünür gözenekliliği ile pomza tanelerinin farklı şekil parametreleri arasındaki istatistiksel ilişkiler

Figure 9. Statistical relationships between apparent porosity of the ignimbrites and different shape parameters of the pumice grains



Şekil 10. İgnimbiritlerin kuru koşuldaki P-dalga hızı ile pomza tanelerinin farklı şekil parametreleri arasındaki istatistiksel ilişkiler
 Figure 10. Statistical relationships between P-wave velocity (dry) of the ignimbrites and different shape parameters of the pumice grains

SONUÇLAR

İgnimbiritlerin bileşiminde yer alan makro ölçekteki pomza tanelerinin sahip olduğu şekilsel özellikler oluşum süreçleri ile ilgili bazı koşulları yansıtabilmektedir. İgnimbiritlerin oluşumları sırasında maruz kaldıkları yüksek örtü yükü basınçlarına ve sıcaklığa bağlı olarak özellikle pomza gibi düşük dayanıma sahip bileşenlerde yassılaşıma ve uzama yapıları (fiyam) gözlenmektedir. Bu yapılar piroklastik kayalarda dayanımı kontrol eden kaynaşma derecesinin en önemli göstergelerinden biridir. Bu yapıların gözlendiği piroklastik kayaların görece yüksek dayanıma sahip olduğu düşünülebilir.

Bu çalışma kapsamında incelenen ignimbiritler içindeki pomza tanelerinin şekil parametresi değerleri dikkate alındığında, en basık (merceksi) pomza tanelerinin Ahlat ignimbiritlerinde olduğu belirlenmiştir. Ahlat ignimbiritlerinde en yüksek ortalama a/b oranı değeri 7.65 ile N-3-4 örnek grubundan elde edilmiştir. Aynı örneklerin b/a oranı 0.22, OR oranı ise 0.78'dir. Ahlat ignimbiritlerine ait şekil parametresi değerleri görsel olarak da kolaylıkla fark edilebilen iri merceksi fiyam yapılarının varlığını doğrulamaktadır. Öte yandan, Nevşehir ignimbiritlerindeki pomza taneleri genellikle yuvarlağa yakın şekildedir. Nevşehir ignimbiritlerinde ortalama a/b oranı 1.47 ile 2.0; b/a oranı 0.55 ile 0.73; OR oranı ise 0.27 ile 0.45 arasında değişmektedir. Ahlat ve Kayseri ignimbiritleri ile karşılaştırıldığında Nevşehir ignimbiritlerinin şekil parametresi değerleri oldukça farklıdır ve yuvarlağımsı taneleri işaret etmektedir. Kayseri ignimbiritlerindeki pomzaların ise genel olarak Ahlat ignimbiritlerine benzer şekilde merceksi ve uzamış yapıda oldukları saptanmıştır. Kayseri ignimbiritlerinde ortalama a/b oranı 1.62 ile 5.35; b/a oranı 0.24 ile 0.66; OR oranı ise 0.34 ile 0.76 arasında değişmektedir.

Pomza tanelerinin farklı şekil parametreleri ile ignimbiritlerin bazı fiziko-mekanik özellikleri arasında gerçekleştirilen istatistiksel değerlendirmeler sonucunda en anlamlı ilişkiler ignimbiritlerin kuru koşullardaki tek eksenli basınç dayanımı ile pomzaların b/a ve OR şekil parametreleri arasında elde edilmiştir. Bu ilişkilerdeki belirleme katsayıları sırasıyla 0.61 ve 0.59 olarak bulunmuştur. Buna göre, pomza tanelerinin b/a oranı yaklaşık olarak %50 oranında azaldığında, malzemenin tek eksenli basınç dayanımı %30 oranında artmaktadır. Bununla birlikte, TEBD ile OR parametresi arasında da anlamlı pozitif bir ilişki mevcuttur.

Benzer şekilde pomzaların OR değerlerindeki %50 oranındaki bir yükselme, ignimbirit malzemesinin dayanımında yaklaşık %90'a yakın bir iyileşmeyi işaret etmektedir. Öte yandan, ignimbiritlerdeki kuru birim hacim ağırlığı ve görünür gözeneklilik değerleri ile pomza tanelerinin şekil parametreleri arasında anlamlı ilişkiler elde edilememiştir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı'nın BAP18F25 nolu projesi ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı'na teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Akın, M., Dinçer, İ., Özvan, A., Oyan, V., Tapan, M., 2016. İgnimbiritlerdeki kılcal su emme özelliğinin Ahlat Selçuklu mezar taşlarının bozunmasındaki rolü. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 40(2): 149-165.
- Akın, M., Özvan, A., Dinçer, İ., Topal, T., 2017. Evaluation of the physico-mechanical parameters affecting the deterioration rate of Ahlat ignimbrites (Bitlis, Turkey). *Environmental Earth Sciences*, 76: 827. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-7175-7>.
- ANON, 1979. Classification of rocks and soils for engineering geological mapping part 1: Rock and soil materials. *Bulletin of International Association of Engineering Geology* 19, pp. 355-371.
- Braney, M.J, Kokelaar, P., 1992. A reappraisal of ignimbrite emplacement: progressive aggradation and changes from particulate to non-particulate flow during emplacement of high-grade ignimbrite. *Bulletin of Volcanology*, 54: 504-520.
- Bull, K., McPhie, J., 2007. Fiamme textures in volcanic successions: Flaming issues of definition and interpretation. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 164: 205-216.
- Gifkins, C.C., 2001. Submarine volcanism and alteration in the Cambrian, northern Central Volcanic Complex, western Tasmania. University of Tasmania PhD thesis, 239 pp.

- Gifkins, C.C., Allen, R.L., McPhie, J., 2005. Apparent welding textures in altered pumice-rich rocks. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 142: 29–47.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1981. *Rock Characterization, Testing and Monitoring*. International Society of Rock Mechanics Suggested Methods, Pergamon Press, Oxford, 211 p.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 2007. The complete ISRM suggested methods for rock characterization. In: Ulusay, R., Hudson, J.A. (Eds.), *Testing and Monitoring: 1974-2006*, 628 p.
- Korkanç, M., 2007. İgnimbiritlerin Jeomekanik Özelliklerinin Yapı Taşı Olarak Kullanımına Etkisi: Nevşehir Taşı. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 31(1): 49-60.
- Korkanç, M., Solak, B., 2016. Estimation of engineering properties of selected tuffs by using grain/matrix ratio. *Journal of African Earth Sciences*, 120:160-172.
- Moon, V.G., 1993. Microstructural controls on the geomechanical behaviour of ignimbrite. *Engineering Geology*, 35: 19-31.
- Mundula, F., Cioni, R., Rizzo, R., 2009. A simplified scheme for the description of textural features in Welded İgnimbrites: the example of San Pietro Island (Sardinia, Italy). *Ital.J.Geosci. (Boll.Soc.Geol.It.)*, 128(3): 615-627.
- Öner, F., Türkmen, S., Özbek, A., Karakaya, T., 2006. Engineering properties of HInIs ignimbrites and their usability as a building stone (Erzurum, Turkey). *Environmental Geology*, 50: 275–284.
- Smith, R.L., 1960. Zones and Zonal variations in welded ash flows. U.S. Geol. Survey Prof. Paper, 354-f, 149-159.
- Streck, M.J., Grunder, A.L., 1995. Crystallization and welding variations in a widespread ignimbrite sheet: the Rattlesnake Tuff, eastern Oregon, USA. *Bulletin of Volcanology*, 57: 151-169.
- Quane, S.L., Russell, J.K., 2005. Ranking welding intensity in pyroclastic deposits. *Bull Volcanol*, 67: 129–143.



Çağlayan (Suçatı-Kahramanmaraş) Trafo Merkezi Kazı Şevlerinin Duraylılık Analizi

Stability Analysis of Çağlayan (Suçatı-Kahramanmaraş) Substation Excavation Slopes

AHMET ÖZBEK¹ ORCID 0000 0002 6326 4324

OZAN NATUR² ORCID 0000 0002 4282 8629

M. SALİH KESKİN² ORCID 0000 0003 1973 4437

¹*Jeoloji Müh. Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş*

²*İnşaat Müh. Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır*

Geliş (Received): 16/03/2022

Kabul (Accepted): 09/05/2022

ÖZ

Son yıllarda mühendislik yapıları inşa edilirken, özellikle eğimli topoğrafyaya sahip alanlarda yapılan kazılar nedeniyle, oluşturulan şevlerin duraylılığı, hem kazı sonunda hemde uzun dönemde önem taşımaktadır. Şevlerde duraysızlık sorununu, doğru bir şekilde değerlendirebilmek için duraysızlığa neden olan koşulların ve zemine ait parametrelerin doğru belirlenmesi ve bu doğrultuda şev duraylılık analizlerinin yapılması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında, inceleme alanı olarak, Çağlayan (Suçatı-Kahramanmaraş) Trafo Merkezi temel alanında oluşturulan kazı şevleri incelenmiştir. Seçilen kazı şevlerinde, duraysızlığa neden olan parametreler ve kayma mekanizmasının belirlenmesi için Limit denge yöntemlerinden Slide-5 bilgisayar programı ile sonlu elamanlar yöntemine dayanan, Plaxis 7.20 programı kullanılarak iki farklı kesit profili üzerinde, duraylılık analizleri yapılmıştır. Yapılan analizlerde, yeraltı suyu ve deprem durumunda şevlerin, duraysızlığa uğradığı ve modellerin destek ve tasarım değişikliğine ihtiyacı olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca analizler sonucunda, şevin duraylılığının sağlanması için istinat duvarlı iyileştirme yöntemi

önerilmiştir. İyileştirme sonrası hem sonlu elemanlar hem de limit denge yöntemi ile gerçekleştirilen analizlerde; statik, dinamik (deprem durumu) ve yeraltı suyu koşullarında şevin duraylılığının arttığı gözlenmiştir. Gerekli güvenlik sayısına ulaşılarak kazı şevlerinde duraylılık sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Duraylılık, Plaxis, Slide, Suçatı (Kahramanmaraş), İstinat Duvarı*

Sorumlu yazarın e-posta adresi: ozbeka@ksu.edu.tr, ozbekaderen@gmail.com

ABSTRACT

In recent years, while engineering structures are being built, the stability of the slopes created due to excavations especially in areas with slope environment is important both at the end of the excavation and in the long term. In order to correctly evaluate the instability problem of slopes, the conditions that cause instability and the parameters of the soil should be correctly determined and slope stability analyses should be carried out in this direction. Within the scope of this study, the excavation slopes created in the foundation area of Çağlayan (Suçatı-Kahramanmaraş) Substation were selected as a study area. In order to determine the parameters that cause instability and the sliding mechanism in the selected excavation slopes, stability analyses were performed on two different section profiles with using the Slide-5 software, which is one of the limit equilibrium methods, and the Plaxis 7.20 program, which is based on the finite element method. According to analyses, it has been determined that the slopes are unstable in case of groundwater and earthquakes, and the models need support and design changes. In addition, as a result of the analysis, a retaining wall improvement method has been proposed to ensure the stability of the slope. In the analyses performed with both finite elements and limit equilibrium methods after improvement; It was observed that the stability of the slope increased in static, dynamic (earthquake condition) and groundwater conditions. Stability in the excavation slopes has been achieved by reaching the required factor of safety.

Key Words: *Stability, Plaxis, Slide, Suçatı (Kahramanmaraş), Retaining Wall*

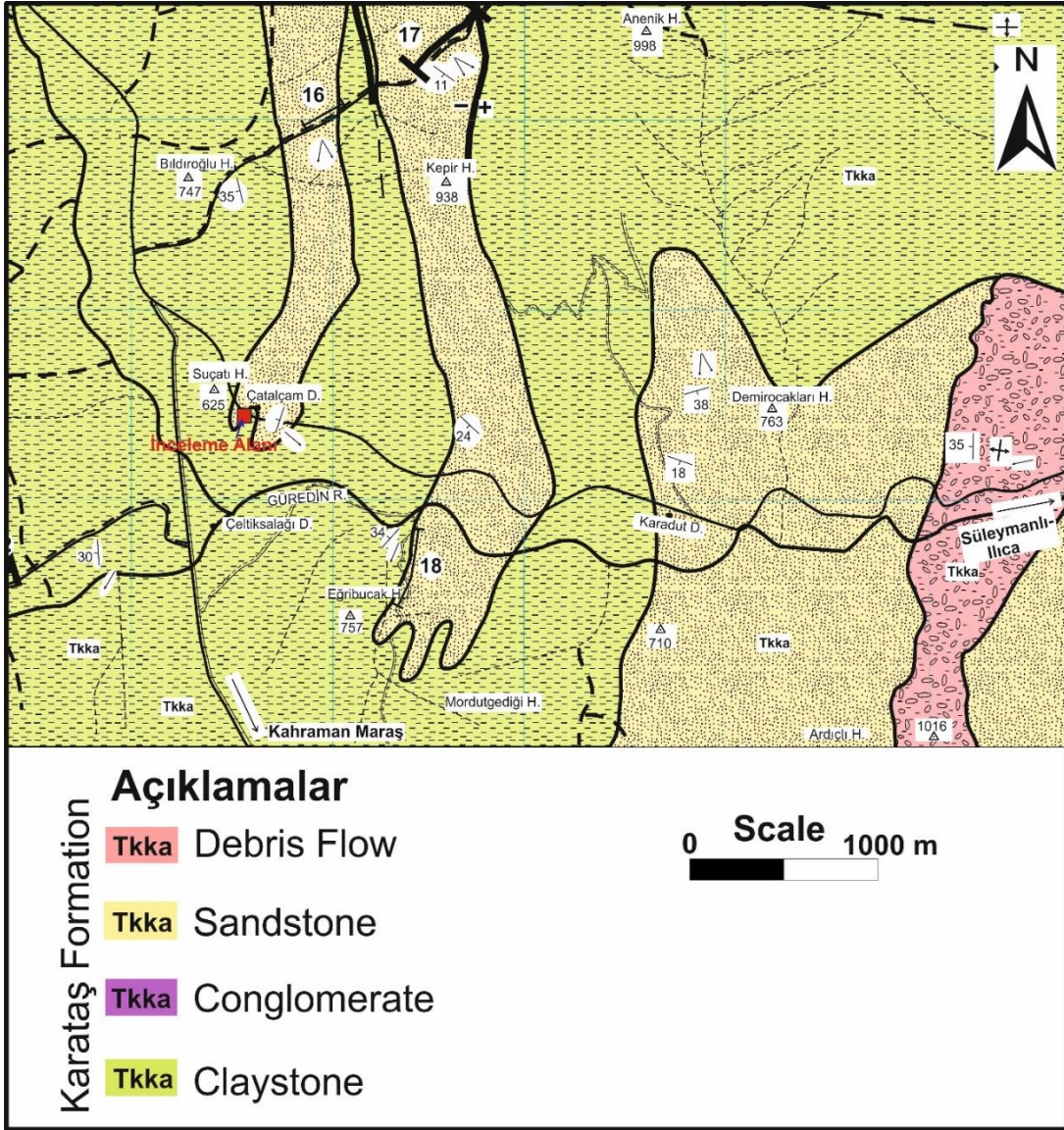
GİRİŞ

Doğal olarak dengede bulunan yamaçlarda mühendislik yapılarının inşası için yapılan kazılar sonucunda ortaya çıkan kazı şevlerinin duraylılığının sağlanması mühendislik

yapılarının güvenliği açısından oldukça önemlidir. Şev topuğunda yapılan kazılar, yeraltı ve yüzey sularının etkisi, şev eğimi, şev yüksekliği, zemin parametreleri vb. özellikler şev duraylılığının belirlenmesinde ana etmenleri oluşturmaktadır. Son yıllarda ülkemizde hızla gelişen yapılaşmaya bağlı olarak, özellikle engebeli ve eğimli topoğrafyaya sahip alanlarda mühendislik yapılarının inşası artmaktadır. Ancak bu çalışmalar yürütülürken, bu tür eğimli alanlarda yeterli ve gerekli şev duraylılığına yönelik çalışmaların yapılmadığı, bunun sonucunda istenmeyen can ve mal kayıplarının olduğu gözlenmektedir. Esnek, rijit, kagir, beton ve kafes-gabion türü farklı istinat yapılarının tasarımından önce heyelan mekanizmasının doğru bir yöntem ile belirlenmesi, uygulanacak istinat yapısının seçiminde önemli rol oynamaktadır.

Geçmişten günümüze kadar şev duraysızlığı probleminin ortaya konması, oluşum nedenleri ve şev duraylılığının sağlanmasına yönelik olarak Kim et al (2002), Cheng et al. (2007), Bol ve diğ. (2017), Pehlivan (2008), Hammouri, et al. (2008), Akçakal (2009), Akçakal ve diğ. (2010), Tekin (2011), Fırat ve Canik (2014), Tokgözoğlu (2014), Liu et al. (2015), Taşkiran ve diğ. (2015), Pınarlık ve diğ. (2017), Alamdağ (2016), Natur (2018), Chen, Li, and Fang (2019), Büyükkağnıcı ve Işık (2019), Karadağ ve diğ. (2019), Ün ve Yıldız (2021) vb. bir çok araştırmacı tarafından yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalarda araştırmacılar genel olarak farklı analiz yöntemleri kullanarak şev duraylılığı analizleri yapmış, yapılan analizlere bağlı olarak duraysızlığa neden olan parametreler belirlenerek yenilme mekanizması belirlenmeye çalışılmış ve yenilme sonrasında duraylılığın sağlanmasına yönelik ne tür iyileştirme yöntemlerinin kullanılması gerektiği belirtilmiştir.

İnceleme alanı, Kahramanmaraş Kayseri Karayolunun yaklaşık 30 km kuzeybatısında Süleymanlı Ilıca kasabaları yolu üzerinde yer almaktadır (Sekil 1). Suçatı barajının hemen kıyısında yer alan 154 kV Çağlayan Trafo Merkezi, dik yamaçlarla sınırlandırılmış bir denizaltı yelpazenin üzerine inşa edilmiştir. İnceleme alanında yapılan saha çalışmalarında genelde kumtaşı ve kiltası ardalılarından oluşan Orta Miyosen yaşlı Karataş formasyonuna ait birimler ile formasyon içerisinde havza kenarlarında yamaç ortamında çökelmiş moloz akmaları ve göçme (slump) çökelleri belirlenmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. İnceleme alanı ve yakın civarının jeoloji haritası (Gül 2000 ve Gül 2004'ten değiştirilerek)

Figure 1. Geological map of the study area and its vicinity (modified from Gül 2000 and Gül 2004)

Karataş Formasyonu birbirinden oldukça farklı fasiyes özellikleri sunan kaya türlerinden oluşmaktadır. Alt seviyeleri, sarımsı gri, boz, kahverenkli, ince-orta tabakalı killi kireçtaşı-marn, koyu boz renkli, şeyl ile seyrek kanal çakıltası ve ince tabakalı türbiditik kumtaşı ardalıdır. Üst seviyeleri ise, üste doğru artan çakıl, blok ve moloz akmalarının hakim olduğu koyu boz renkli, tabanı kazımalı, kalın, çok kalın tabakalı çakıltası, kalın tabakalı, yer yer masif kumtaşı, yer yer kalın-çok kalın tabakalı, derecelenmeli, laminalı,

karbonatlı kumtaşı ve şeyl ile Eosen-Miyosen yaşlı kireçtaşı olistolitleri içeren, olistostromal çakıllı şeyl ardalanmalıdır.

Bu çalışma Kahramanmaraş ilinde bulunan 154 kV Çağlayan Trafo Merkezi sahasının yapım aşamasında tesviye kotuna getirilmesi için açılan desteksiz kazılarda zamanla gözlenen şev kaymalarının nedenleri ve kayma mekanizmasının belirlenmesine yönelik çalışmaları kapsamaktadır.

LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

İnceleme alanından yamaç ortamında çökelmiş moloz akmalarının oluşturduğu zeminlerden alınan örselenmiş ve örselenmemiş numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri TS 1900–1 (2006) TS 1900–2 (2006) standartlarına göre belirlenmiştir. Zeminlerin fiziksel ve mekanik özelliklerine ilişkin olarak; doğal birim hacim ağırlık, kıvam limitleri (likit limit, plastik limit), dane boyu dağılımı (elek analizi) ve kesme kutusu deneyleri yapılmıştır. Kesme kutusu deneyi konsolidasyonsuz-drenajsız (UU) koşullarında, kesme hızı 0.60 mm/dak olacak şekilde gerçekleştirilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. İnceleme alanındaki zeminlerin bazı fiziksel özellikleri.

Table 1. Some physical properties of soils in the study area.

Örnek No	Derinlik (m)	Doğal Birim Hacim Ağırlık γ_n (kN/m ³)	Kıvam Limitleri			Elek Analizi		Zemin Sınıfı (TS 1500)	Kesme Kutusu	
			LL (%)	PL (%)	PI (%)	200 No Geçen (%)	10 No Geçen (%)		ϕ	c (kg/cm ²)
N-1	Yüzey	18,69	42,00	18,36	23,64	51,48	83,20	CI	27,78	0,54

İnceleme alanında Orta Miyosen yaşlı Karataş formasyonu içerisinde yer alan kumtaşı kıltaşı ardalanmasından oluşan kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi çalışmaları kapsamında ISRM (2007) standartları göz önüne alınarak yüzeyden derlenen

örnekler üzerinde doğal birim hacim ağırlık, görünür gözeneklilik, boşluk oranı, ağırlıkça su emme ve disk makaslama dayanım indeksi deneyleri yapılmıştır (Tablo 2). Kumtaşı ve kıltaşı arıdanmasından oluşan kayaçların yer yer az-orta ve oldukça bozunmuş olması nedeniyle laboratuvarında istenilen standartlara uygun karot numuneler elde edilememiştir. Bundan dolayı kayaçların tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri, Ulusay ve Gökceoğlu (1997) tarafından önerilen ve daha sonraki yıllarda kullanıcıların ihtiyaçları doğrultusunda daha da geliştirilen disk makaslama indeksi deneyi kullanılarak dolaylı yoldan belirlenmiştir.

Tablo 2. İnceleme alanındaki kayaçların bazı fiziksel ve mekanik özellikleri

Table 2. Some physical and mechanical properties of the rocks in the study area

Deney No	Doğal Birim Hacim ağırlık γ (kN/m ³)	Ağırlıkça Su Emme A_w (%)	Görünür Gözeneklilik n (%)	Boşluk Oranı e	Disk Makaslama İndeksi Deneyi BPI (Mpa)	Tahmini Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı σ_c (Mpa)
1	25,40	2,50	7,40	0,08	4,92	25,10
2	23,75	4,85	8,98	0,12	5,45	27,80
3	24,86	2,76	5,68	0,07	4,83	24,65
4	23,45	4,86	9,45	0,01	5,73	29,20
5	24,25	4,30	8,02	0,10	4,86	24,80

KAYA KÜTLESİ ÖZELLİKLERİ

İnceleme alanında kumtaşı ve kıltaşı arıdanmasından oluşan heterojen birimlerin deformasyon ve dayanım özelliklerinin belirlenmesinde Hoek-Brown yenilme kriterleri (Hoek ve Brown 1980; Hoek ve ark. 1995; Hoek ve Brown 1997; Hoek ve ark. 1998; Marinos ve Hoek 2001; Hoek ve ark. 2002; Sonmez ve Ulusay 2002; Hoek ve Diederichs 2006, Hoek 2013 ve Hoek ve Martin 2018) göz önüne alınmıştır. İnceleme alanındaki birimlerin dayanım ve deformasyon özelliklerinin belirlenmesine yönelik çalışmalarda RocDATA programı (Rocscience, 2017) kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. İnceleme alanında kumtaşı ve kıltaşı arıdanmasından oluşan birimlerin Jeolojik dayanım indeksi (GSI) Marinos ve Hoek (2001) tarafından önerilen tablo kullanılarak belirlenmiştir (Tablo 3). Araziye yapılan ölçümler ve incelemeler sonucunda kumtaşı ve kıltaşılarının süreksizlik yüzey koşulu genelde sert ve köşeli parçalar içeren dolgular içeren, çok ayrılmış kaygan yüzeylere sahiptir.

Kompozisyon ve yapı açısından iki farklı sınıf belirlenmiştir. Birincisi zayıf kıltaşı ve kumtaşı tabakaları içermekle birlikte kıltaşı oranı kumtaşına göre oldukça yüksek oranlarda tespit edilen E sınıfı, ikincisi ise tektonik olarak deforme olmuş, yoğun kıvrımlanma, kırılmış kıltaşları ile kaotik yapıda kırılmış ve deforme olmuş kumtaşlarından oluşan F sınıfıdır. Tablo 3 kullanılarak yapılan değerlendirmelerde E sınıfı için GSI 26 ve F sınıfı için GSI değeri 22 olarak belirlenmiştir.

Marinos ve Hoek (2001) heterojen kayaçların σ_{ci} ve m_i parametrelerinin belirlenmesinde hem kumtaşlarının hem de kıltaşlarının laboratuvar veya arazi deneyleri ile belirlenmiş değerlerin direk kullanılamayacağını belirtmişlerdir. Bunun yerine her iki birimi temsil eden ortalama bir değer kullanılması gerektiğini belirtmişlerdir. Marinos ve Hoek (2001) inceleme alanımızdaki gibi bazen yüzlerce tabakalanma yüzeyi içeren heterojen kumtaşı-kıltaşı aradalanmalarının dayanımının ve m_i parametrelerinin sağlam kumtaşı tabakalarına göre belirlenen değerlerden daha düşük olması gerektiğini önermişlerdir. İnceleme alanında yapı ve kompozisyon özellikleri göz önüne alınarak belirlenen kayaç gruplarına göre σ_{ci} ve m_i parametreleri Marinos ve Hoek (2001) tarafından önerilen tablo kullanılarak E sınıfı için % 40 ve F sınıfı için %60 oranında azaltılarak belirlenmiştir (Tablo 4).

Temel kazısı elle veya iş makinalarıyla yapılacağından örselenme faktörü tüm kayaçlar için (D) 0.7 alınmıştır. Hoek Brown (2018) yenilme kriteri kullanılarak yapılan analizler sonucunda kumtaşı kıltaşı aradalanmasından oluşan birimlerden E sınıfı için, Mohr Colomb kayma dayanımı parametrelerinden kohezyon (c) 0.039 MPa, içsel sürtünme açısı (ϕ) 34.56°, F sınıfı için yer yer deformasyona uğramış kıvrımlanmış kumtaşı kıltaşı aradalanmasından oluşan birimler için, kayma dayanımı parametrelerinden kohezyon (c) 0.025 MPa, içsel sürtünme açısı (ϕ) 25.98° belirlenmiştir. Elastisite modülü (E_{rm}) Hoek ve Diederichs (2006) tarafından önerilen Eşitlik-1 kullanılarak E sınıfı için 120.90 MPa, F sınıfı için 75.10 MPa, olarak hesaplanmıştır.

$$E_{rm} = E_i \left\{ 0.02 + \frac{1 - D/2}{1 + \exp[(60 + 15D - GSI)/11]} \right\} \quad \mathbf{E-1}$$

Tablo 3. Fliş tipi heterojen kaya kütlelerinin GSI'nin belirlenmesi GSI (Marinos and Hoek 2001).

Table 3. Geological strength index estimates for heterogeneous rock masses such as Flysch (Marinos and Hoek 2001).

FİLİŞ GİBİ HETEROJEN KAYA KÜTLELERİ İÇİN GSI (Marinos P. ve Hoek E. 2000)		SÜREKSİZLİK YÜZEY KOŞULU				
<p>Litoloji, yapı ve yüzey koşulları tanımlamalarında (özellikle tabaka düzlemlerinde) tablodan bir kutu seçin. Süreksizlik koşullarına karşılık gelen kutunun konumunu belirleyin ve konturlardan GSI için tahmini ortalama değerleri belirleyin. Çok hassas olmaya teşebbüs etmeyin. 33-37 arası bir değer yerine daha gerçekçi olarak GSI= 35 olarak alın. Hoek-Brown kriterinin yapısal olarak kontrol edilmeyen yenilmelere uygulanamayacağına dikkat edin. Uygun olmayan yönelimli sürekli zayıf düzlemsel süreksizliklerin olduğu yerlerde, bunlar kaya kütle davranışlarında etkin olacaktır. Bazı kaya kütlelerinde dayanımı yeraltı suyunun varlığı ile azaltılır ve buda sütunlarda orta, zayıf ve çok zayıf koşullar için sağa doğru hafif kaymalara izin verebilir. su basıncı GSI değerini değiştirmez ve sadece efektif gerilim analizlerinin kullanımı ile ilgilidir.</p>		<p>ÇOK İYİ Çok pürüzlü, taze ve yırtılmamış yüzeyler</p>	<p>İYİ Düz, çok az ayrılmış, demir oksit sıvımalı yüzeyler</p>	<p>ORTA Düz, orta derecede ayrılmış yüzeyler</p>	<p>ZAYIF Kaygan, sert veya kösel parçalar içeren, dolguya sahip, çok ayrılmış yüzeyler</p>	<p>ÇOK ZAYIF Kaygan, yumuşak kil dolgusu çok ayrılmış yüzeyler</p>
<p>Kompozisyon ve Yapı</p>						
<p>A. Kalın tabakalı, çok bloklu kumtaşı. Tabaka düzlemleri üzerine pelitik kaplama etkisi kapalı kaya kütleleri ile minimize edilmiştir. Sığ tüneller ve şevlerdeki bu tabaka düzlemleri yapısal olarak kontrollü duraysızlığa neden olabilir.</p>	<p>B. İnce silttaşı ara tabakalı kumtaşı</p>	<p>C. Benzer oranda kumtaşı ve silttaşı</p>	<p>D. Silttaşı veya kumtaşı ile siltli şeyl</p>	<p>E. Zayıf silttaşı veya kumtaşı ile killi şeyl</p>		
<p>C, D, E ve G- resimdekinden daha az veya daha çok kıvrılmış olabilirler ancak bu dayanımı değiştirmez. Tektonik deformasyon, faylanma ve devamlılığın azalması F ve H kategorisinde gösterilir.</p>		<p>F. Tektonik olarak deforme olmuş yoğun kıvrımlanma/faylanma parçalanmış killi şeyl veya silttaşı ile hemen hemen chaotic yapıdan oluşmuş kırılmış ve deforme olmuş kumtaşı.</p>				
<p>G. Bozunmamış siltli veya killi şeyl, ince kumtaşı tabakaları olmaksızın.</p>	<p>H. Tektonik olarak deforme olmuş siltli veya killi chaotic yapıdan oluşmuş şeyl ile kil içerir. İnce tabakalı kumtaşı ince kayaç parçalarına dönüşmüştür.</p>					
<p>→ : Tektonik bozunma sonrasındaki deformasyon</p>						

4. ANALİTİK MODELELER İLE ŞEV DURAYLILIK ANALİZİ

Şev duraylılık analizi topoğrafik özellikler, litolojik özellikler, eğim durumu, hareket yönü göz önüne alınarak iki kesit güzergâhı seçilerek gerçekleştirilmiştir. Seçilen A-A' kesiti için şev yüksekliği 10 m, şev açısı 45-23° arasında değişim sunmakta olup, kesit uzunluğu 20 m, B-B' kesiti için şev yüksekliği 10 m, şev açısı 48-33° arasında değişim sunmakta olup, kesit uzunluğu 20 m alınmıştır. Seçilen iki kesit için Plaxis 7.2 ve Slide 5.v programları kullanılarak mevcut durum için duraylılık analizleri gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4. Düzeltilmiş σ_{ci} ve m_i parametreleri
Table 4. Adjusted σ_{ci} and m_i parameters

Deney No	Kompozisyon ve Yapı	Düzeltilme Katsayısı	Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı σ_c (Mpa)	Düzeltilmiş Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı σ_c (Mpa)	m_i Sabiti	Düzeltilmiş m_i sabiti
1	E	%40 Oranında	25,1	15,06	17	10,2
2	E	Kumtaşı Değerlerini	27,8	16,68	17	10,2
3	E	Azaltın	24,65	14,79	17	10,2
4	F	%60 Oranında	29,2	11,68	17	6,8
5	F	Kumtaşı Değerlerini Azaltın	24,8	9,92	17	6,8

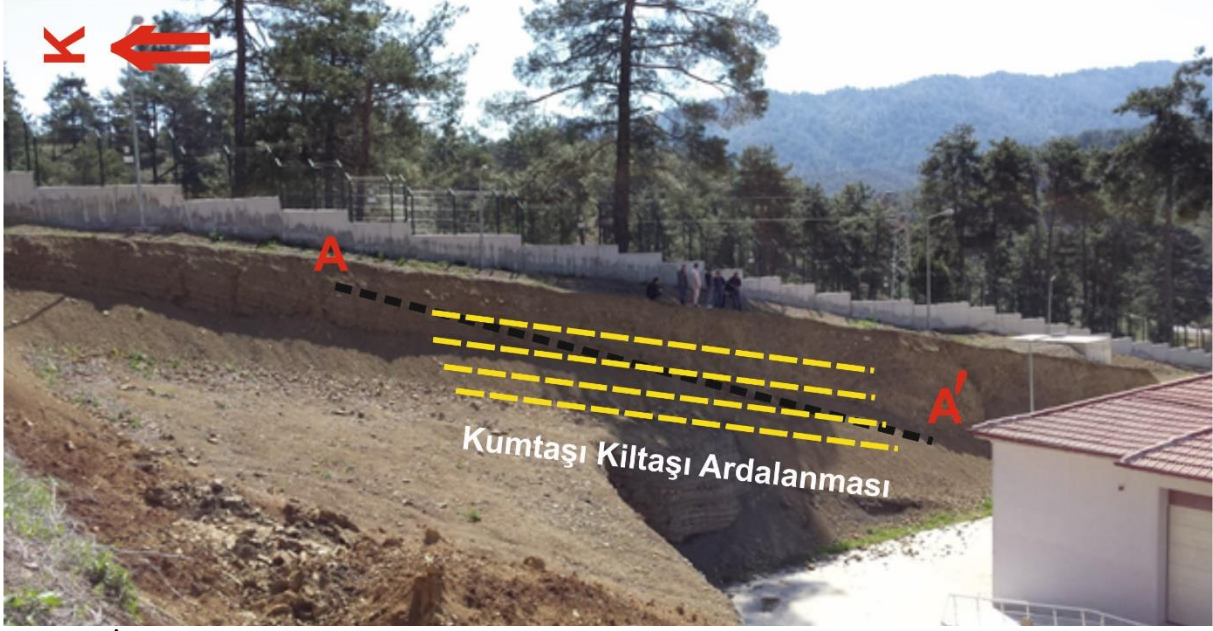
Güvenlik katsayısı hesaplamaları mevcut yamaçta boşluk suyu basıncı (r_u) göz önüne alınarak statik ve dinamik (deprem durumu) koşullar için yapılmıştır. Bir şev kaymasında, kayan bölgenin içinde kalan su kütlelerinin yarattığı boşluk suyu basıncının, kayan zemin kütlelerine oranına boşluk suyu basıncı oranı denir (Smith, 1993) ve şev için aşağıdaki şekilde hesaplanabilmektedir. Bu bağlamda γ_t zeminin toplam birim hacim ağırlığıdır.

$$r_u = \frac{\text{Kayan şev parçasının hacmi (su altındaki)} * \gamma_w}{\text{Kayan şev parçasının hacmi} * \gamma_t}$$

Burada incelenen şevin drenaja açık yapısı dikkate alındığında şevdeki su hacmi, kayan kütlelerin hacminin yarısı mertebesinde olduğu kabul edilebilmektedir. Göçmelerin yağışlı bir sezonda gerçekleşme olasılığına karşın r_u için 0.0 ila 0.3 arasında değişen değerler alınmıştır. Suyun birim hacim ağırlığının, zeminin doymun birim hacim ağırlığına oranının 0.5 olduğu dikkate alınır, yukarıda verilen formülden, r_u değeri yamaç molozu için 0.27 ve kumtaşı kıltaşı aralanmasından oluşan birimler için 0.25 olarak seçilerek analizlerde kullanılmıştır. İnceleme alanının dinamik (deprem durumu) analizleri için en büyük yer ivmesi (PGA) Türkiye Deprem Tehlike Haritası kullanılarak, Deprem Yer Hareketi Düzeyi DD-2 (50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) ve inceleme alanının aktif faylara göre konumu ile deprem büyüklüğü göz önüne alınarak 0.252 g olarak belirlenmiştir.

Seçilen A-A' kesitinin kumtaşı kıltaşı aralanmasından oluşan tabakalı bir yapı sunduğundan dairesel olmayan düzlemsel kayma dikkate alınarak analizler

gerçekleştirilmiştir. Araziye yapılan ölçümlerde tabaka konumları K85D/16GD olarak ölçülmüştür. Tabakaların konumları ve eğimleri model üzerine aktarılmıştır (Şekil 2). Yamaç molozundan oluşan B-B' kesiti için analizler dairesel kayma koşulu dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3).



Şekil 2. İnceleme alanında şev duraylılık analizi için seçilen A-A' kesit hattı
Figure 2. A-A' section line selected for slope stability analysis in the study area

Genel olarak kumtaşı kilitaşı ardalanmasından oluşan A-A' kesiti ve yamaç molozundan oluşan B-B' kesiti için Plaxis 7.2 ve Slide 5.v programları kullanılarak gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen güvenlik sayısı değerleri Tablo 5'de verilmiştir. Şev duraylılık analizlerinde şev üst bölgesinde yer alan İhata duvar yükü gözönüne alınarak analizler yapılmıştır. TS 8853 (1991) standartlarına göre yarmalarda toplam gerilme için güvenlik sayısı >1.50 m, efektif gerilme için >1.25 ve deprem durumu için >1.0 olarak verilmiştir. temeller için Analizlerde kullanılan A-A' kesiti için Plaxis ve Slide programları kullanılarak yapılan analizler ile elde edilen değerler şevin statik ve kuru koşullarda güvenlik sayısının her iki programda da 1,50 değerinden büyük olduğundan duraylı olduğu, ancak Slide ve Plaxis programı ile yeraltı suyu ve dinamik (deprem durumu) koşulda yeterli güvenlik sayısına ulaşılmadığından modelin destek ve dizayn değişikliğine ihtiyacı olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4-5). B-B' kesiti için Plaxis ve Slide programları kullanılarak yapılan analizlerde şevin

statik ve kuru koşullarda güvenlik sayısının 1,50 değerinden büyük olduğundan duraylı olduğu, ancak Slide programında yeraltı suyu koşulunda duraylı ve dinamik (deprem durumu) koşulda duraysız, Plaxis programında yeraltı suyu ve dinamik (deprem durumu) koşulda yeterli güvenlik sayısına ulaşılmadığından modelin destek ve dizayn değişikliğine ihtiyacı olduğu tespit edilmiştir (Şekil 6-7).

A-A' kesitinin çizildiği şev kumtaşı, kıltaşı malzemelerinin araldanmasından oluştuğundan, bu kesite ait zemin dayanım parametreleri belirlenirken Hoek Brown yenilme kriteri esas alınarak tek bir birim olarak değerlendirilmiş ve her iki şev analiz programında modellenerek analiz edilmiştir. Limit denge yöntemini kullanan programda (Slide-5) tek bir birim olarak değerlendirilen araldanmanın tabakalar halinde bulunan yapısı ve tabaka konumları model üzerinde oluşturulabilmekte ve istenilen herhangi bir tabaka üzerinde düzlemsel kayma analizi yapılabilmektedir. Sonlu elemanlar analizlerinde A-A' kesitinde kayma yüzeyinin daha derinde çıkmasının sebebi kullanılan programda (Plaxis 7.20) kullanıcı tanımlı bir analiz yapılamamaktadır ve model tek birim olarak değerlendirildiğinden gerçekte dairesel kayma analizi yapmaktadır. Esasen modelleme kolaylığı açısından bu duruma benzer yamaçlarda (aynı birim olarak değerlendirilmesi gereken ve gerçekte tabakalı bir yapı sunan yamaçlarda) kullanıcı tanımlı analizler yapılabilmesine izin vermesi limit denge yöntemlerinin avantajıdır.

Şevli bir zeminde yeraltı su seviyesinin artması durumu için boşluk suyu basıncı yöntemi ya da su seviyesinin model üzerinde tanımlanması yöntemi ile analizler gerçekleştirilebilmektedir. Limit denge analizini kullanan programda boşluk suyu basıncı yöntemi tercih edilmiş ve ru değeri için 0 - 0,3 aralığından 0,27 ve 0,25 değerleri seçilmiştir. Belirlenen ru değerlerinin limitler içerisinde üst değerine yakınlığı göz önünde bulundurulduğunda, sonlu elemanlar yöntemini kullanan programda oluşturulan kesitlerin tamamına yakını yeraltı su seviyesi içerisinde kalacak şekilde modellenerek analiz edilmiştir.

Limit denge yöntemini kullanan programda (Slide-5) her bir nokta için güvenlik sayıları verildiğinden açıklamalar bölümünde renklendirme şeklinde lejant verilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemini kullanan programda (Plaxis 7.20) ise açıklamalar bölümündeki güvenlik sayısı programda sonuç olarak verilmekte olup, renkli olarak verilen lejant ise yerdeğiştirmeleri gösterdiğinden, burada lejant verilmemiştir. Plaxis programında, basınç gerilmeleri altında oluşturulan ağırlık yüklemesi adımıyla kullanılan poisson oranının seçimi ağırlık yüklemesi eşleştirmesiyle değerlendirilir. Plaxis programında genel olarak Poisson

oranının 0,15-0,25 aralığında bir değer olarak alınması önerilmektedir Brinkgreve (2002). Bu doğrultuda plaxis analizlerinde poisson oranı, Mohr Coulomb Model ile oluşturulan zemin birimleri ile dolgu malzemesinde 0,20, Lineer Elastik Model ile oluşturulan istinat duvarı yapısında ise 0,25 olarak alınmıştır.



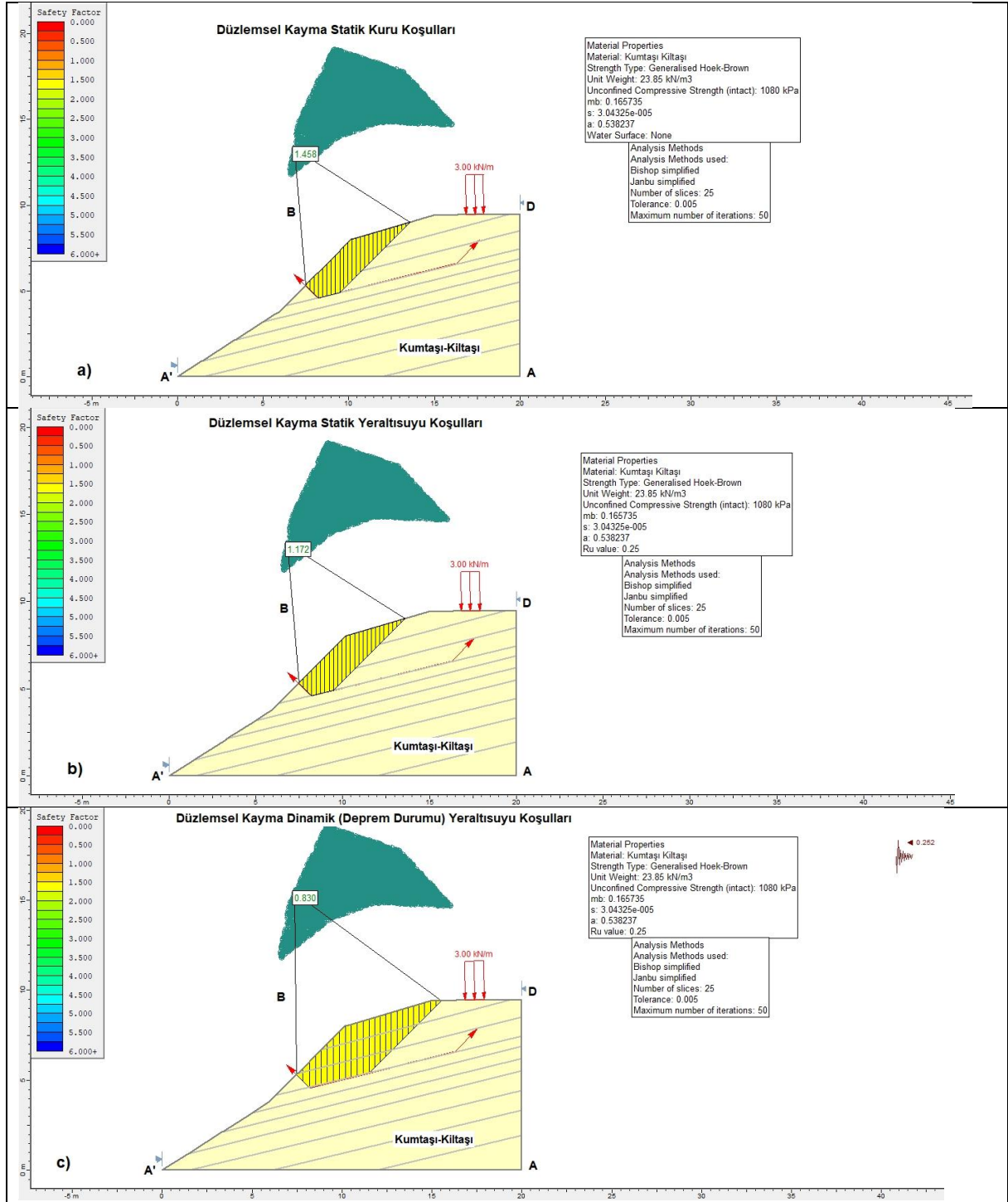
Şekil 3. İnceleme alanında şev duraylılık analizi için seçilen B-B' kesit hattı

Figure 3. B-B' section line selected for slope stability analysis in the study area

Tablo 5. A-A' ve B-B' kesitleri için statik, yeraltısuyu ve dinamik (deprem durumu) koşullarda elde edilen güvenlik sayıları

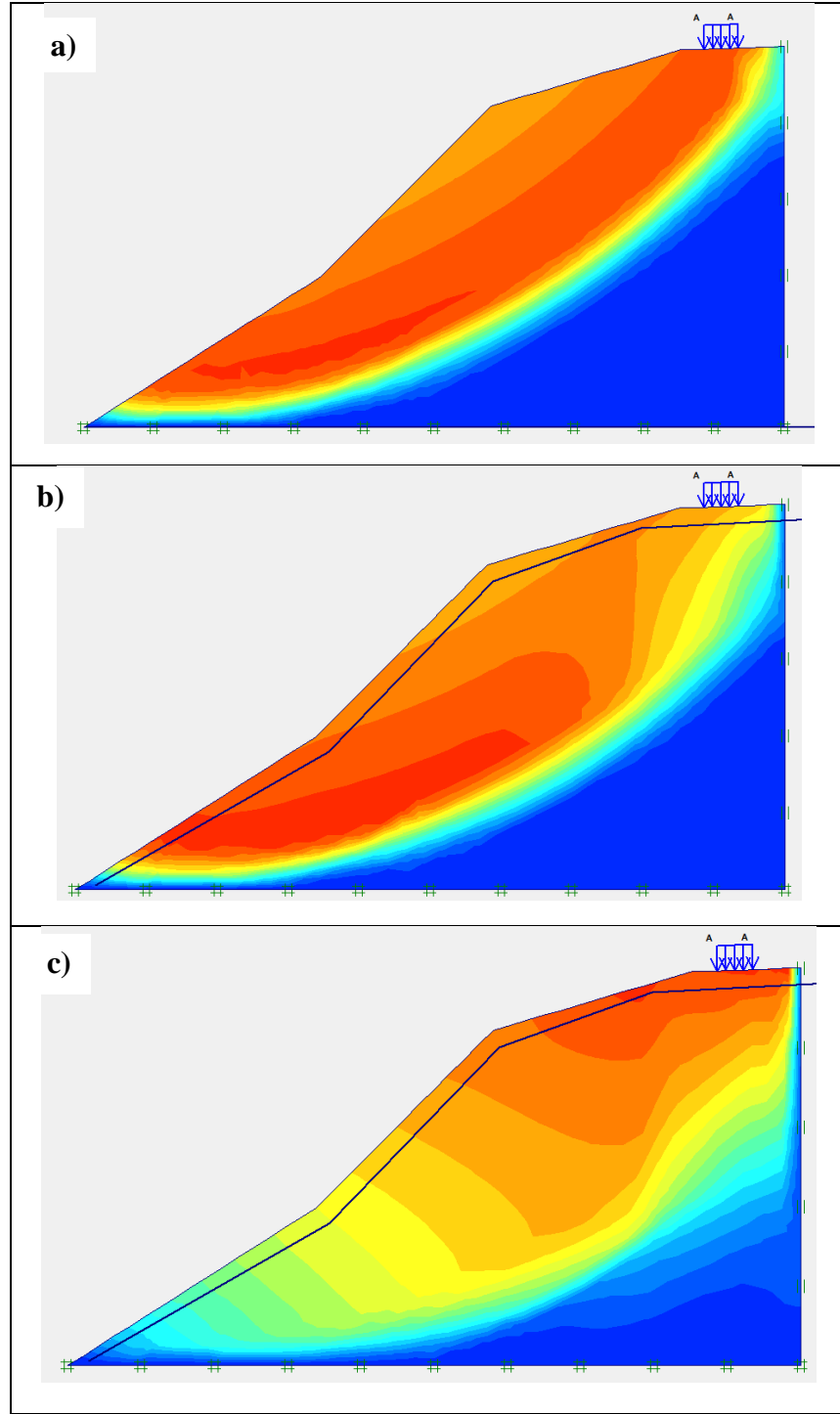
Table 5. Safety numbers obtained in static, groundwater and dynamic conditions for sections A-A' and B-B'

Kesit	A-A' KESİTİ		B-B' KESİTİ	
	Slide	Plaxis	Slide	Plaxis
Program				
Statik Kuru Koşullar	1,458	1,753	1,706	1,562
Statik Yeraltısuyu Koşulu	1,172	1,25	1,310	< 1,00
Dinamik (Deprem Durumu) Yeraltısuyu Koşulu	0,83	< 1,00	0,833	< 1,00



Şekil 4. İnceleme alanındaki A-A' kesitinin a) statik kuru b) statik boşluk suyu basıncı oranı (ru) c) dinamik (deprem durumu) boşluk suyu basıncı oranı (ru) koşulunda gerçekleştirilen şev duraylılık analizi.

Figure 4. Slope stability analysis of the A-A' section in the study area under the condition of a) static dry b) static pore water pressure ratio (ru) c) dynamic (seismic) pore water pressure ratio (ru).



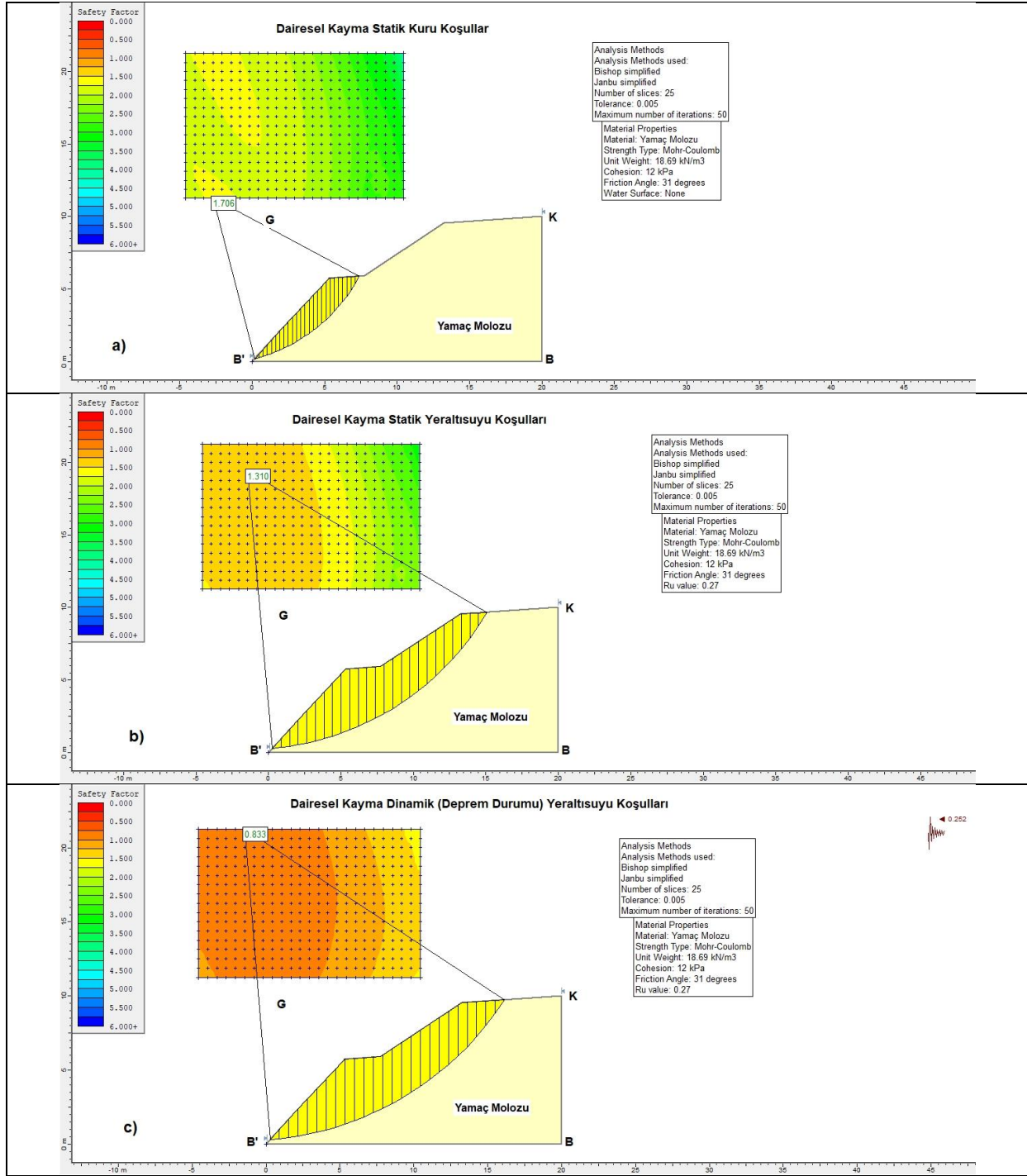
Şekil 5. İnceleme alanındaki A-A' kesitinin Plaxis programında gerçekleştirilen a) statik kuru b) statik yeraltısuyu c) dinamik (deprem durumu) yeraltısuyu koşulu göz önüne alınarak gerçekleştirilen şev duraylılık analizi

Figure 5. Slope stability analysis of the A-A' section in the study area, taking into account the a) static dry, b) static groundwater and c) dynamic (seismic) groundwater conditions performed in the Plaxis program

Destek tasarımına ihtiyaç duyulan şevlerin iyileştirmesine yönelik betonarme istinat duvarları planlanmıştır. Bu kapsamda gerçekleştirilen analizlerde betonarme istinat duvarı lineer elastik malzeme modeli ile modellenmiş olup model parametreleri olarak programa Elastisite Modülü, $E=30.000$ MPa (C25 beton sınıfı), Poisson Oranı, $\nu= 0,25$ olarak kabul edilmiştir. İstinat duvarı tasarımında geri dolgu ara yüzleri de oluşturularak limit denge ve sonlu elemanlar yöntemleriyle duraylılık analizleri yapılmıştır. Analizler dolgu malzemesi için literatürden AS 4678 (2002)'de önerilen parametrelerden kohezyon değeri 5 kPa ve içsel sürtünme açısı ise 32° alınarak gerçekleştirilmiştir.

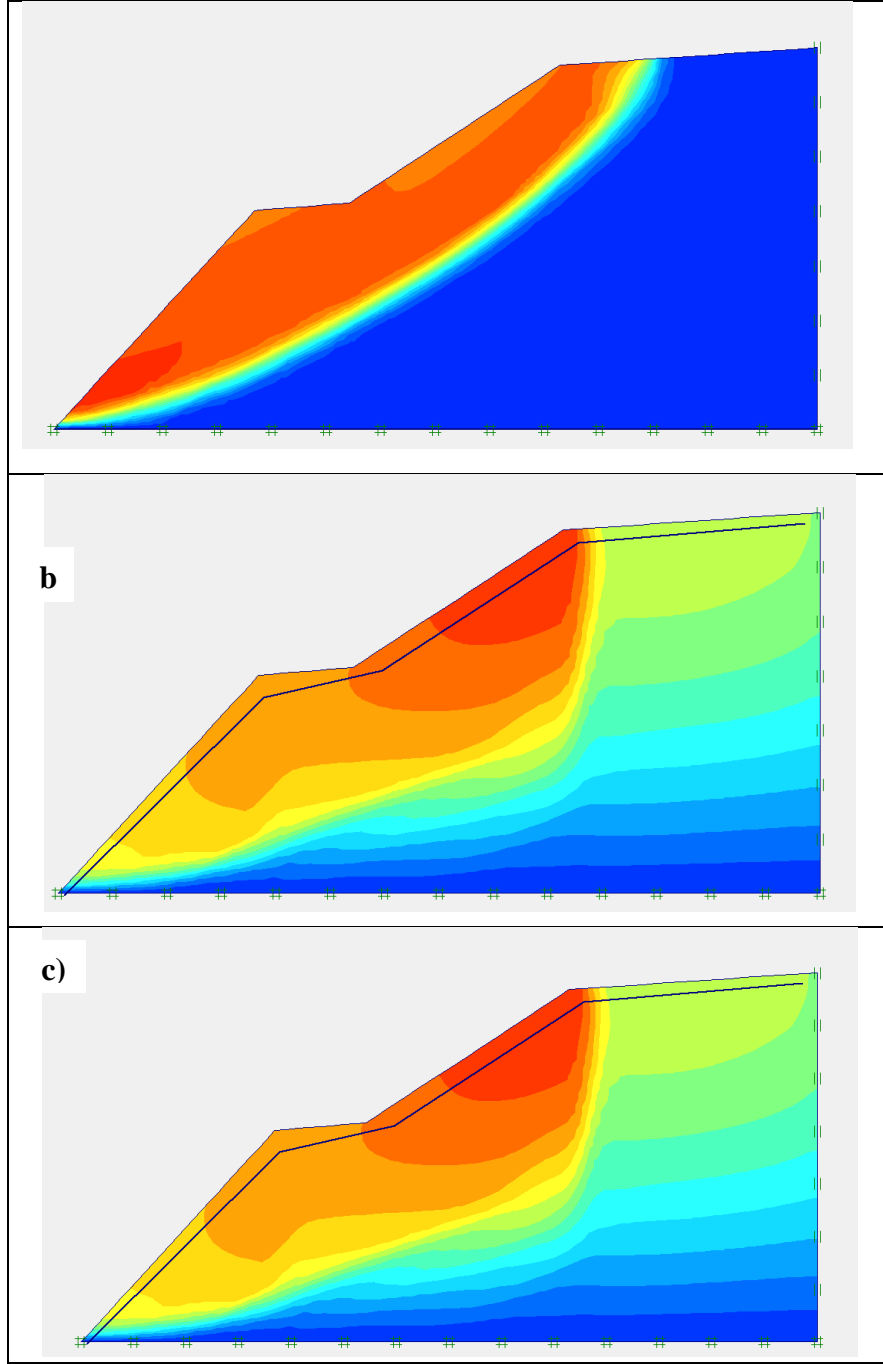
A-A' kesiti üzerinde gerçekleştirilen analizler sonucunda tüm koşullarda yeterli güvenlik sayıları elde edilmiştir (Tablo 6). Plaxis programında yapılan analizlerde statik, kuru ve yeraltı suyu koşullarında şevdeki zorlanmaların önemli ölçüde azaldığı, dinamik durumda ise istinat duvarına yakın kısımda yüzeysel olarak oluştuğu gözlenirken, Slide programında ulaşılan kayma yüzeylerinde ise tüm koşullarda üst kısımlarda yapı yükünün çevresinde yüzeysel olarak oluştuğu görülmektedir (Şekil 8-9).

B-B' kesiti üzerinde gerçekleştirilen analizlerde tüm koşullarda yeterli güvenlik sayıları elde edilmiştir (Tablo 6). Plaxis programında yapılan analizlerde statik kuru koşulda şevdeki zorlanmanın üst kısımda yüzeysel olarak oluştuğu, statik yeraltı suyu koşulunda ise şevdeki zorlanmaların önemli ölçüde azaldığı görülmektedir. Dinamik koşulda ise kayma yüzeyi derinleşmiştir. Slide programında yapılan analizlerde statik kuru ve yeraltı suyu koşullarında şevdeki zorlanmaların istinat duvarı çevresinde yüzeysel olarak oluştuğu, dinamik koşulda ise kayma eğrisinin derinleştiği görülmektedir. (Şekil 9-10).



Şekil 6. İnceleme alanındaki B-B' kesitinin a) statik kuru b) statik boşluk suyu basıncı oranı (ru) ve c) dinamik (deprem durumu) boşluk suyu basıncı oranı (ru) koşulunda gerçekleştirilen şev duraylılık analizi.

Figure 6. Slope stability analysis of the B-B' section in the study area under the condition of a) static dry b) static pore water pressure ratio (ru) c) dynamic (seismic) pore water pressure ratio (ru).



Şekil 7. İnceleme alanındaki B-B' kesitinin Plaxis programında gerçekleştirilen a) statik kuru b) statik yeraltısuyu c) dinamik (deprem durumu) yeraltısuyu koşulu göz önüne alınarak gerçekleştirilen şev duraylılık analizi

Figure 7. Slope stability analysis of the B-B' section in the study area, taking into account the a) static dry, b)static groundwater c)dynamic (seismic) droundwatersu conditions performed in the Plaxis program

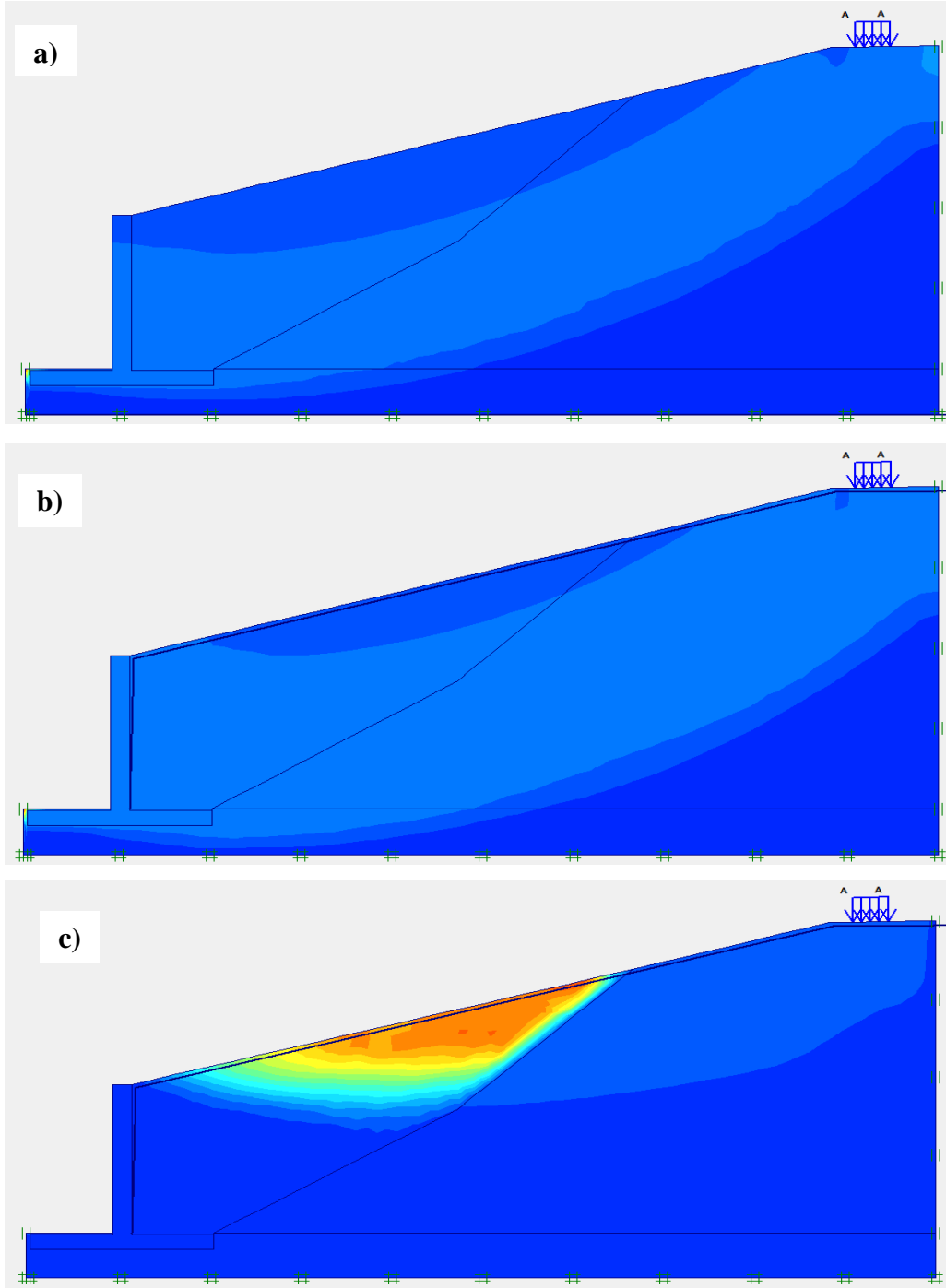
Tablo 6. İstinat duvarı ile iyileştirilen A-A' ve B-B' kesitleri için statik, yeraltı suyu ve dinamik koşullarda elde edilen güvenlik sayıları*Table 6. Safety numbers obtained in static, groundwater and dynamic conditions for sections A-A' and B-B' improved with retaining wall*

Kesit Program	A-A' KESİTİ		B-B' KESİTİ	
	Slide	Plaxis	Slide	Plaxis
Statik Kuru Koşullar	2,847	2,619	2,202	2,644
Statik Yeraltısuyu Koşulu	2,352	1,964	1,837	1,966
Dinamik Yeraltısuyu Koşulu	1,294	1,087	1,123	1,080

SONUÇLAR

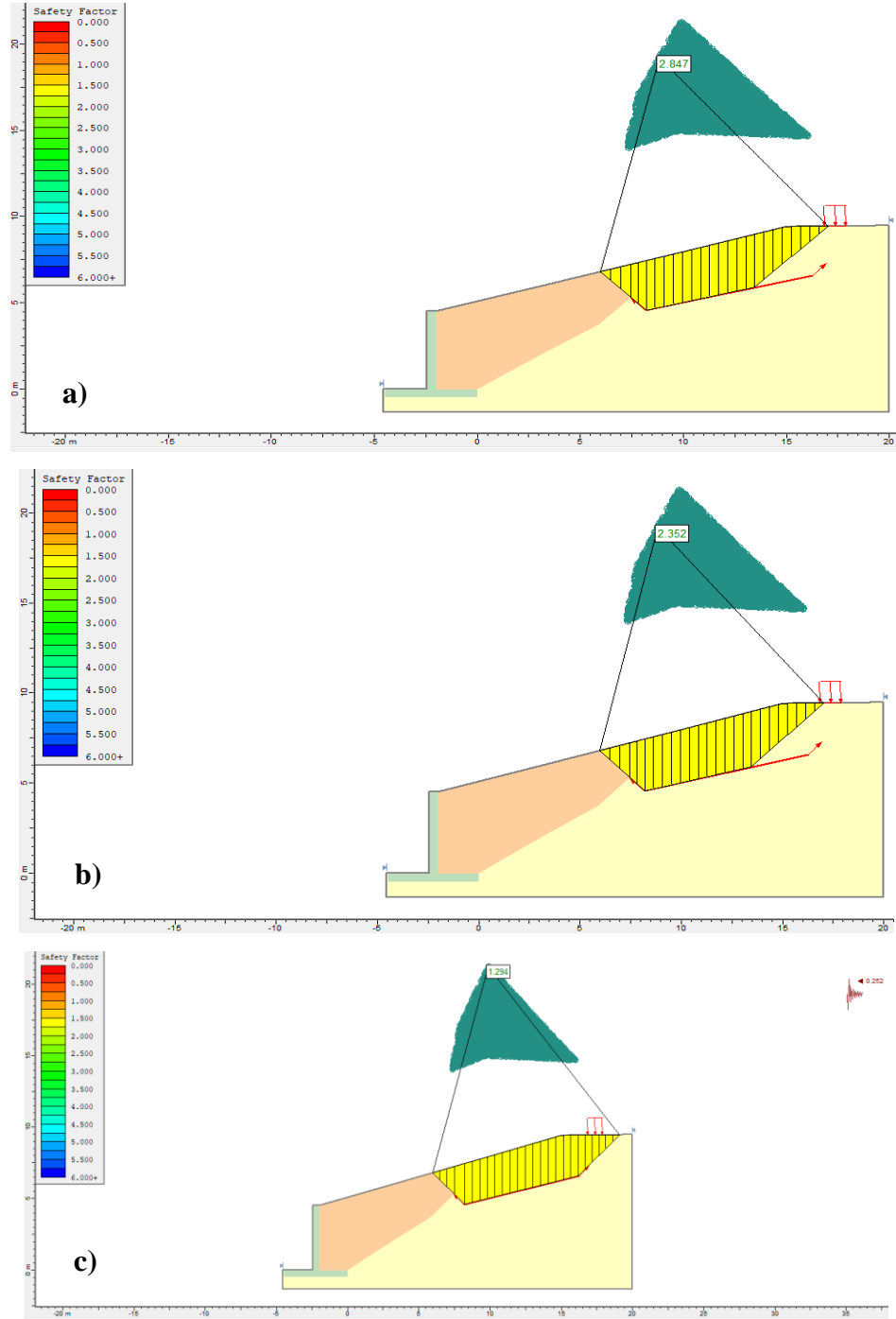
İnceleme alanında kumtaşı ve kiltası ardalanmasından oluşan Orta Miyosen yaşlı Karataş formasyonuna ait birimler ile formasyon içerisinde havza kenarlarında yamaç ortamında çökelmiş moloz akmalari ve göçme (slump) çökelleri gözlenmiştir. Bu birimler içerisinde açılan kazı şevlerinde meydana gelen kayma şeklindeki kütle hareketleri sonlu elemanlar ve limit denge yöntemini kullanarak analiz edilmiştir. Bu kazı şevlerinde oluşan duraysızlık mekanizmasının belirlenmesi amacıyla Slide-5 ve Plaxis 7.20 bilgisayar programı kullanılarak iki farklı kesit profili üzerinde şev duraylılık analizi yapılmıştır. Analizler kazı şevlerinin statik, yeraltı suyu ve deprem koşulu göz önüne alınarak gerçekleştirilmiştir.

A-A' kesiti için Plaxis ve Slide programları kullanılarak yapılan analizlerde şevin statik ve kuru koşullarda güvenlik sayısının $GS > 1,50$ olması nedeniyle duraylı olduğu, ancak yeraltı suyu ve dinamik koşulda yeterli güvenlik sayısına ulaşılmadığından modelin destek ve tasarım değişikliğine ihtiyacı olduğu tespit edilmiştir. B-B' kesiti için Plaxis ve Slide programları kullanılarak yapılan analizlerde şevin statik ve kuru koşullarda güvenlik sayısının $GS > 1,50$ olduğundan duraylı olduğu, ancak Slide programında yeraltı suyu koşulunda duraylı ve dinamik koşulda duraysız, Plaxis programında hem yeraltı suyu hem de dinamik koşulda yeterli güvenlik sayısına ulaşılmadığından modelin destek ve tasarım değişikliğine ihtiyacı olduğu belirlenmiştir.



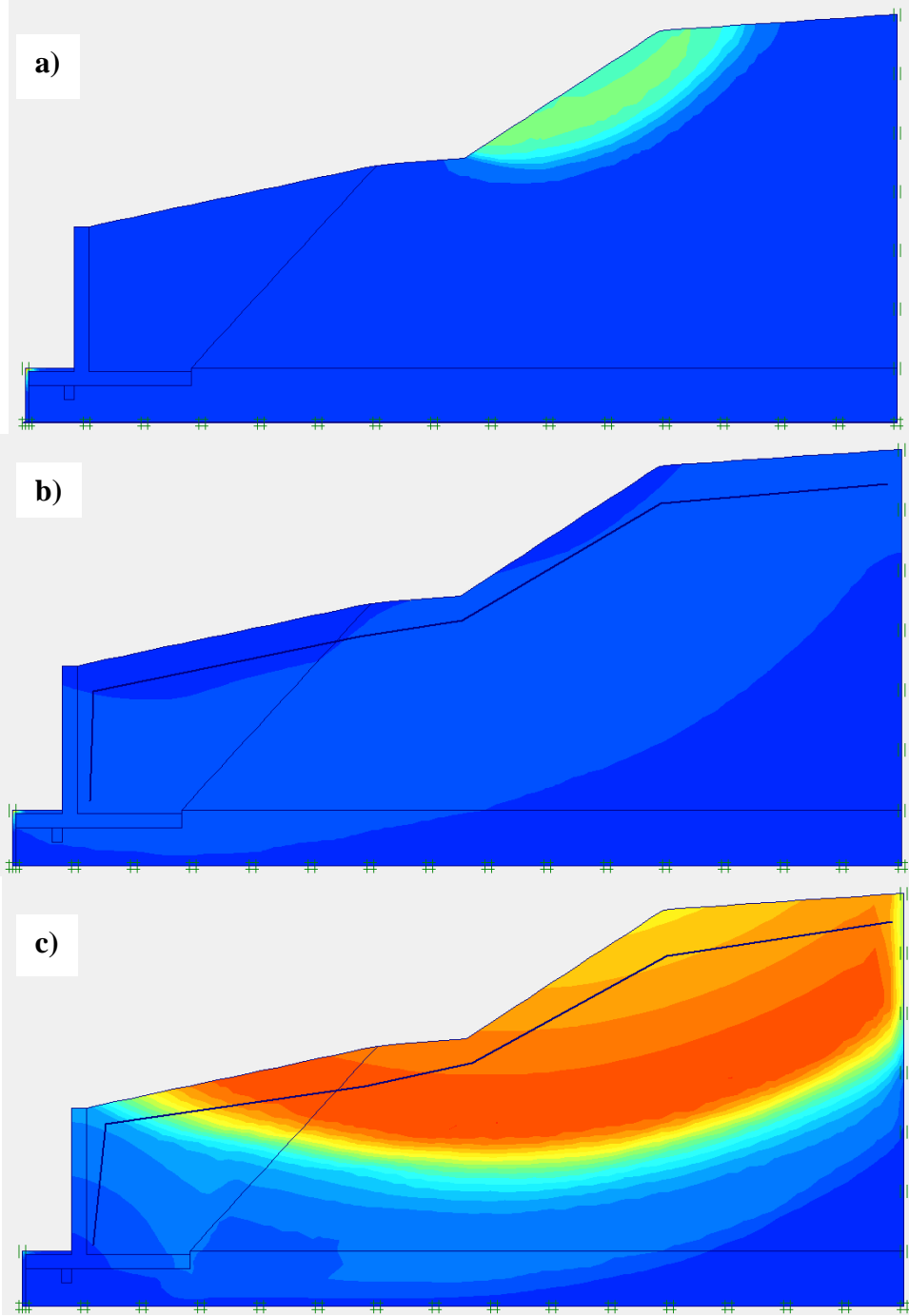
Şekil 8. İstinat Duvarı ile iyileştirilen A-A' kesitinin Plaxis programında gerçekleştirilen a) statik kuru b) statik yeraltısuyu c) dinamik (deprem durumu) yeraltısuyu koşulu göz önüne alınarak gerçekleştirilen şev duraylılık analizi

Figure 8. Slope stability analysis of the A-A' section improved with the Retaining Wall, taking into account the a) static dry, b) static groundwater and c) dynamic (seismic) groundwater in the Plaxis program



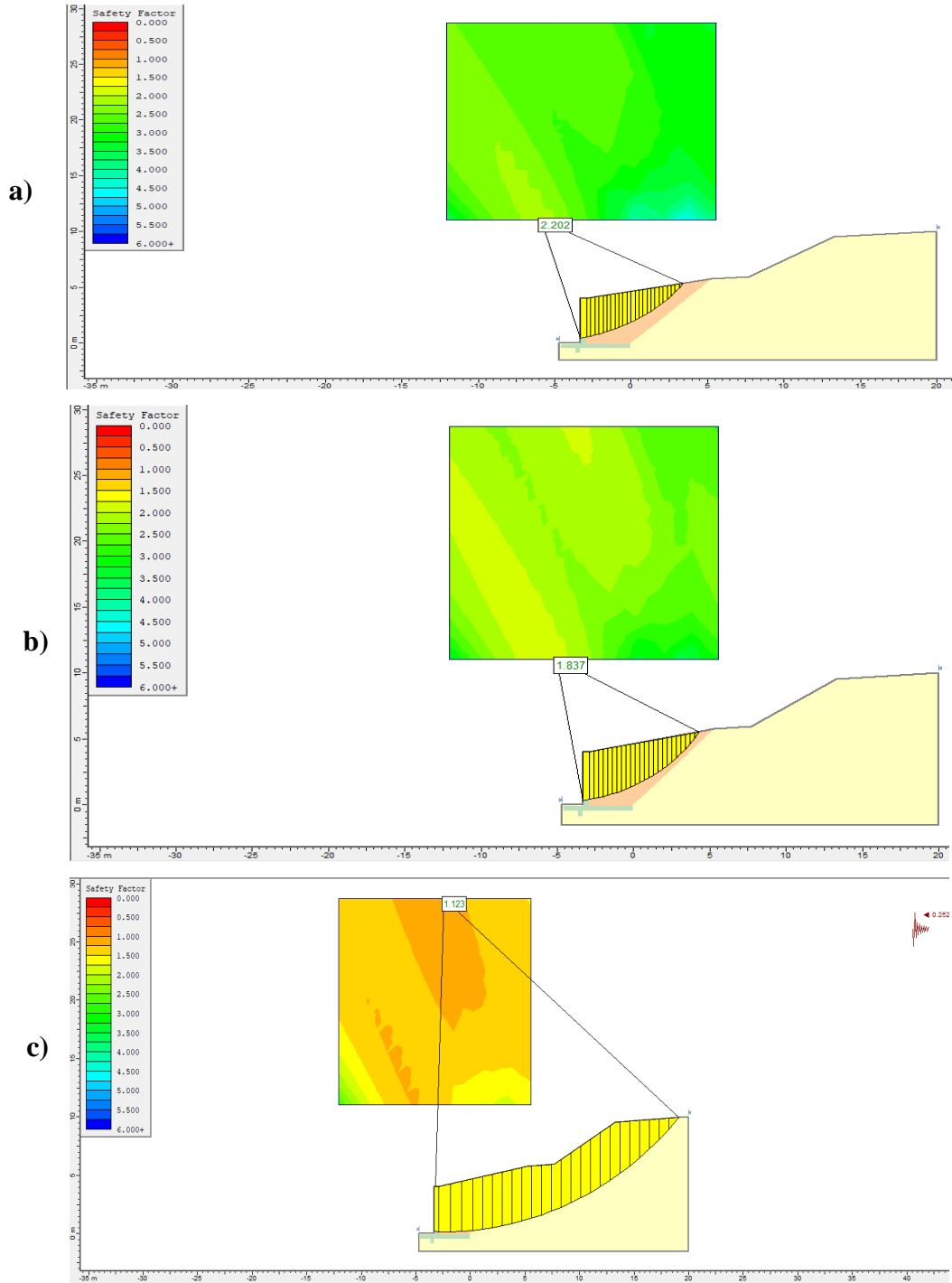
Şekil 9. İstinat Duvarı ile iyileştirilen A-A' kesitinin a) statik kuru b) statik boşluk suyu basıncı oranı (ru) c) dinamik (deprem durumu) boşluk suyu basıncı oranı (ru) koşulunda gerçekleştirilen şev duraylılık analizi.

Figure 9. Slope stability analysis of the A-A' section improved with the Retaining Wall, taking into account a) static dry b) static pore water pressure ratio (ru) c) dynamic (seismic) pore water pressure ratio (ru).



Şekil 10. İstinat Duvarı ile iyileştirilen B-B' kesitinin Plaxis programında gerçekleştirilen a) statik kuru b) statik yeraltısuyu c) dinamik (deprem durumu) yeraltısuyu koşulu göz önüne alınarak gerçekleştirilen şev duraylılık analizi

Figure 10. Slope stability analysis of the B-B' section improved with the Retaining Wall, taking into account the a) static dry, b) static groundwater and c) dynamic (seismic) groundwater in the Plaxis program



Şekil 11. İstinat Duvarı ile iyileştirilen B-B' kesitinin a) statik kuru b) statik boşluk suyu basıncı oranı (ru) c) dinamik (deprem durumu) boşluk suyu basıncı oranı (ru) koşulunda gerçekleştirilen şev duraylılık analizi.

Figure 11. Slope stability analysis of the B-B' section improved with the Retaining Wall, taking into account a) static dry b) static pore water pressure ratio (ru) c) dynamic (seismic) pore water pressure ratio (ru).

Yapılan analizlerde yeraltı suyu ve dinamik koşullarda beklendiği gibi statik duruma göre daha düşük güvenlik sayılarına ulaşılmıştır. Mevcut profillerle yapılan analizlerde hem Slide 5.v hem de Plaxis 7.2 programlarında genel olarak birbirine yakın güvenlik sayıları elde edilmiştir. Sonlu elemanlar yönteminde modelleme aşamasında muhtemel kayma eğrisi program tarafından otomatik olarak oluşturulmakta, limit denge yönteminde ise kayma yüzeyinin sınırları kullanıcı tarafından belirlenmektedir. Her iki yöntemle de elde edilen kayma yüzeylerinin birbirine benzer olduğu gözlemlenmiştir. İncelenen kesitler için gerçekleştirilen analizlerde, duraysızlık problemlerinin olduğu bu nedenle destek ve tasarım değişikliğine ihtiyaç duyulduğu görülmüştür. İyileştirme amaçlı istinat duvarı çözümü ele alınarak gerekli analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde, geri dolgu parametreleri, betonarme imalat değerleri ve diğer parametreler Plaxis ve Slide programlarında aynı değerlerle modellenmiştir. Hem sonlu elemanlar hem de limit denge yöntemi ile gerçekleştirilen analizlerde; statik, dinamik ve yeraltı suyu koşullarında şevin duraylılığının arttığı ve gerekli güvenlik sayısını sağladığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Akçakal Ö. 2009. Şev stabilitesi analizinde geri hesap yöntemi ve bir vaka analizi,” Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
- Akçakal Ö., Durgunoğlu T., Şenol A., Ve Öztoprak S. 2010. Şev Stabilitesi Analizinde Geri Hesap Yöntemi Kullanılarak Bir Vaka Analizi: Göktürk Kayması. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onüçüncü Ulusal Kongresi 30 Eylül-1 Ekim, İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul. 12s.
- Alemdağ, S. 2016. Toprak dolgulu barajlarda gövde duraylılığının limit denge ve sayısal analiz yöntemleri ile değerlendirilmesi: Türkiye’den bir atık barajı örneği. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6(2), 157-173. <https://doi.org/10.17714/gufbed.2016.06.015>
- Bol E., Sert S., ve Özocak A. 2017. Kazıklı İksa Sistemi İle Şev Duraylılığının Sağlanması, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 21, s. 5, 860–870.
- Brinkgreve RB 2002. Material models manual for Plaxis v8. Plaxis bv, Delft

- Büyükkağmıcı, C. Z., ve Işık, N. S. 2019. Şev Duraylılığı Analizlerinde Limit Denge Yöntemleri, Eurocode 7 Ve Bs 8006 Standartlarıyla Hesaplanan Başarı Oranlarının Karşılaştırılması", TÜBAV Bilim Dergisi, 12(2), 18-29.
- Cheng, Y.M., Lansivaara, T., Wei, W.B., 2007. Two-dimensional slope stability analysis by limit equilibrium and strength reduction methods, Computers and Geotechnics, p.137-150
- Chen G., Li, C. and Fang, Q 2019. Slope Stabilization Using Back-analysis Method," In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, vol. 332, no. 2, p. 022058, IOP Publishing, 2019.
- Fırat S. ve Canik B. 2014. Şev İyileştirmelerinde Kullanılan Kazıklara Uygulanan Deprem Etkisi. Politeknik Dergisi Journal of Polytechnic Cilt:17, Sayı : 1 (Özel Sayı), s.31-34,
- Gül, M., 2004. Evolution of Turbidite System in the Kahraman Maras Basin, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana, 354 s. (Yayınlanmamıs).
- Hammouri, N. A., Malkawi, A. I. H. and Yamin, M. M. A. 2008. "Stability Analysis of Slopes Using the Finite Element Method and Limiting Equilibrium Approach", Bulletin of Engineering Geology: 67:471–478.
- Hoek, E. and Brown, E.T., 1980a. Underground Excavation in Rock. London, Institution of Mining and Metallurgy 527 pp.
- Hoek, E. and Brown, E.T., 1980b, Empirical Strength Criterion for Rock Masses. J. Geotech. Engng Div., ASCE 106 (GT9), 1013-1035.
- Hoek, E., Kaiser, P. K. and Baeden, W. F., 1995, Support of Underground Excavation in Hard Rock. Rotterdam, Balkema 214.
- Hoek, E.; Brown, E.T., 1997, Practical estimates or rock mass strength. Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr, Vol. 34, No. 8, pp. 1165–1186.
- Hoek, E., Marinos, P. and Benissi, M., 1998, Applicability of the Geological Strength Index (GSI) Classification for Very Weak and Sheared Rock Masses: The Case of the

- Athens Schist formation. Bulletin of Engineering Geology and Environment, 57, 151-160.
- Hoek, E., Carranza-Torres, C.T., and Corcum, B., 2002, Hoek-Brown Failure Criterion:2002 edition. Proceedings of the North American Rock Mechanics Society Meeting, Toronto, Canada, 1-6.
- Hoek E, Diederichs M.S., 2006, Empirical estimation of rock mass modulus. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 43: 203–215.
- Hoek, E., & Martin, C. D. 2014. Fracture initiation and propagation in intact rock—a review. J Rock Mech Geotech Eng 6: 287–300.
- Hoek E and Brown E. T. 2018. The Hoek-Brown failure criterion and GSI e 2018 edition. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 11. 445-463.
- ISRM 2007, Basic geotechnical description of rock masses, international society of rock mechanics commission on the classification of rock masses Int J Rock Mech Mining Sci Geomech Abstract18:55–110
- Karadağ M. B ., Evirgen B., Tuncay M. 2019. Çiftlikköy İlçesi Gençlik Caddesindeki Heyelanın Vaka Analizi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 7 (2019) 640-649.
- Kim, J., Salgado, R. and Lee, J. 2002, “Stability Analysis of Complex Soil Slopes Using Limit Analysis”. J. Geotech. Geoenviron. Eng. ASCE 128-7:546–557.
- Liu, S.Y., Shao, L.T., Li, H.J., 2015. Slope stability analysis using the limit equilibrium method and two finite element methods
- Marinos, P.; Hoek, E., 2001, Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as flysch. Bull Eng Geol Environ, Vol. 61, pp. 85– 92.
- Natur O. 2018. Şev Stabilitesi Analiz Yöntemleri Ve Bir Vaka Analizi. Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi, 160s. (Yayınlanmamış).

- Pehlivan M. 2008. Kürtün Baraj Gölünün Sağ Sahilindeki Özkürtün (Gümüşhane) Beldesinin Heyelan Analizi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi. 112s. (Yayınlanmamış)
- Pınarlık M., Öztürk Kardoğan P. S., Kılıç Demircan R. 2017. Şev Stabilitesine Zemin Özelliklerinin Etkisinin Limit Denge Yöntemi İle İrdelenmesi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi 5(3), 675 – 684.
- Ün B., ve Yıldız A.. 2021. Şev Stabilitesi Probleminin Geri Analizle Çözümü: Örnek Bir Vaka. Academic Platform Journal of Engineering and Science 9-1, 174-181, 2021
- Sonmez, H.; Ulusay, R., 2002, A discussion on the Hoek–Brown failure criterion and suggested modifications to the criterion verified by slope stability case studies. *Yerbilimleri*, Vol. 26, pp. 77–99.
- Smith, M.J. 1993. “Soil Mechanics”, 4th Ed., Longman Scientific & Technical, Essex, UK
- Taşkıran T., Yavuz V. S., Keskin M. S. 2015. Şev stabilitesinin iki ve üç boyutlu modeller ile incelenmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Dergisi*. Cilt 6, Sayı 1, 1-8.
- Tekin A. 2011. Sonlu elemanlar ve limit denge yöntemleri ile şev stabilitesi analizi, Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Tokgözoğlu K. 2014. Anamur-Kaledran Devlet Karayolu inşaatında açılan derin yarmaların şev stabilitesi açısından değerlendirilmesi, Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
- TS 8853 1991. Yamaç ve Şevlerin Dengesi ve Hesap Metodları – Zeminde, Retrieved from www.tse.org.tr
- TS 1900-1 (2006). İnşaat mühendisliğinde zemin laboratuvar deneyleri-Bölüm 1: Fiziksel özelliklerin tayini. Türk Standartları Enstitüsü, 99s.
- TS 1900-2 (2006). İnşaat mühendisliğinde zemin laboratuvar deneyleri-Bölüm 2: Mekanik özelliklerin tayini. Türk Standartları Enstitüsü, 68s.

Ulusay, R. ve Gökçeoğlu, C., 1997, The modified block punch index test. Canadian Geotechnical Journal, 34, 991-1001.

Rockscience inc., 2017, ROCLAB Rock mass strength analysis using the generalized Hoek-Brown failure criterion, Toronto, available at <http://www.rockscience.com>.

Slide, *Bilgisayar Programı*, Rocscience Inc, 2004.

R. B. J. Brinkgreve, E. Engin ve W. M.Swolfs, *PLAXIS 2D AE Manual*, A.A.Balkema, 2014.



Kuvaterner Yaşlı Kaliçi Çökellerin Fiziko-Mekanik Özellikleri

Physico-Mechanical Properties of Quaternary Caliche Deposits

İsmail DİNÇER¹ ORCID 0000-0001-9734-7040

Altay ACAR²

¹Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Müh. Mim. Fak., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Nevşehir

²Çukurova Üniversitesi, Müh. Mim. Fak., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Adana (deceased)

Geliş (received): 05.03.2022

Kabul (Accepted): 28.03.2022

ÖZ

Kaliçilerin en belirgin fiziksel özelliği üst seviyelerinin birkaç metre kalınlıkta sert ve yer yer metrelerce kalınlığa ulaşan alt kısımlarının ise daha yumuşak karakterde olmasıdır. Bu durum kaliçilerin jeomekanik özelliklerinin belirlenmesinde bazı problemleri de beraberinde getirmektedir. Bu çalışmada Adana ili yerleşim alanı ve yakın civarında yüzeyleyen kaliçilerden alınan torba ve blok numuneler üzerinde yapılan bir dizi laboratuvar deneyleri sonucunda fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Buna göre kaliçi çökelleri litolojik ve jeomekanik özelliklerine göre taraça, kaliçileşmiş taraça, karbonat kabuk (hardpan) ve kaliçileşmiş zemin (softpan) olmak üzere dört ayrı birim olarak tanımlanmıştır. Taraça, kaliçileşmiş taraça ve sert kaliçi yumuşak kaya özellikleri sunarken, softpan ise zemin özellikleri göstermektedir. Taraça, kaliçileşmiş taraça ve hardpan “çok düşük dayanımlı kaya” sınıfında yer almaktadırlar. Kaliçileşmiş zeminler ağırlıklı olarak silt boyutu tanelerden ve bunun yanında kum ve kil boyutu malzemeler içermektedirler. Birleştirilmiş zemin sınıflamasına CL-ML zemin sınıfında yer almakta olup, düşük plastisiteli kil ve düşük plastisiteli silt olarak tanımlanmıştır. Litolojik değişimler, suya karşı hassasiyet ve fiziko-mekanik özelliklerinin belirlenmesinde yaşanan güçlükler, kaliçileri mühendislik jeolojisi açısından problemli bir malzeme olarak değerlendirilmesine neden olmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kaliçi, Taraça, Fiziko-mekanik özellik, Adana

İsmail DİNÇER (idinicer@nevsehir.edu.tr)

¹Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Müh. Mim. Fak., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Nevşehir

ABSTRACT

The most distinctive physical properties of the caliche deposits are that the hard upper levels are a few meters, high and the soft lower parts reach several meters in thickness. The stratigraphic case causes some problems in determining the geomechanical properties of caliche deposits. In this study, index, physical and mechanical properties were determined as a result of a series of laboratory experiments. For this purpose, disturbed soils and rock block samples are taken from the caliche cropping out in the settlement area of Adana and its vicinity. The caliche deposits were classified four different units as terrace, caliched terrace, carbonate crust (hardpan) and caliched soil (softpan) based on their lithological and geomechanical features. Terrace, calcified terrace and hardpan are classified as “very low strength rock”. Caliched soils mainly contain silt-size grains as well as sand and clay. It is included CL-ML soil class and is defined as low plasticity clay and low plasticity silt based on the unified soil classification system. Caliche deposits are caused by lithological changes, sensitivity to water, and difficulties in determining the physico-mechanical properties of these deposits, which cause them to be considered a problematic material for engineering geology.

Keywords: *Caliche, Terrace, Physico-mechanical properties, Adana*

GİRİŞ

Kaliçiler, genel literatürde “Caliche”, “Calcrete”, “Calcareous Crust” (Croutes Calcaires), “Petrocalcic Horizon” olarak adlandırılan kaliçiler, Hindistan’da ve Avustralya’da “Kankar”, İsrail’de “Nari”, Kıbrıs’ta “Kafkalla “Havara”, Almanya’da “Kulkrustea”, İspanya’da “Costra Caliza” gibi adlar alırken, ülkemizde ise “kaliş” ve “kaliçi” isimleri ile ifade edilmektedir. Genellikle kurak ve yarı-kurak iklime sahip bölgelerde normal jeolojik istiften farklı oluşum gösteren kaliçilerin en belirgin fiziksel özellikleri üst seviyelerinin birkaç metre kalınlıkta sert ve yer yer metrelerce kalınlığa ulaşan alt kısımlarının ise daha yumuşak karakterde olmasıdır. Kaliçiler, Amerika’nın birçok eyaletinde, Güney Afrika’da, Fas’ta, Cezayir’de, Libya’da, Tanzanya’da, Suudi Arabistan’da, Afganistan’da, Barbados’ta, Guatemala’da, Şili’de, Kanada’da, Avustralya’da, Alaska’da, İngiltere’de yaygın olarak bulunmaktadır. Ülkemizde ise daha çok Çukurova, Ege ve İç Anadolu bölgesinde gözlenmektedir. Çukurova bölgesinde Pliyo-Kuvaterner yaşlı olan bu birim, Adana kent merkezinin kuzeyi boyunca Kuvaterner yaşlı taraçalar, Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Handere Formasyonu ayrışma zonlarında ve hızlı bir yapılaşmanın geliştiği binlerce kilometre karelik bir alanda gözlenmektedir (Şekil 1). Kaliçiler için jeoteknik anlamda ilk sınıflama Ruellan (1970) tarafından yapılmış olup, Netterberg

(1971) sınıflaması ile benzerlik sunmaktadır. Ruellan (1970) farklı kaliçi seviyelerinin varlığına işaret etmiş ve bu seviyelerin dizilişinin düşey yönde olabildiği gibi bazı durumlarda yatay yönde gelişebildiğini belirtmiştir. Tavandan tabana ve akış yukarıdan akış aşağıya doğru hardpan, kabuk, tabakasız kaliçi ve dağınık kaliçi şeklinde gelişebildiğini belirtmiştir. Basit ve morfolojik özelliklerine göre Netterberg (1967 ve 1980) tarafından yapılan sınıflandırma, pedojenik kaliçiler ile ilgili olup, jeoteknik araştırmalar için geliştirilmiştir. Netterberg (1967 ve 1980) ve Goudie (1983) temel alınarak hazırlanan bu sınıflamada tanımlanan kaliçi sınıfları kaliçilerin gelişme profilleri ile ilgilidir. Örneğin, kalkerli zemin zamanla nodüler kaliçiye, bal peteği kaliçiye, hardpan kaliçiye ve belki daha sonra koşullar değişirse bloklu kaliçiye dönüşebilmektedir.



Şekil 1 Google Earth görüntüsü üzerinde kaliçi çökellerin genel görünümü ve 2002-2022 yılları için yapılaşmanın gelişimi

Figure 1 General view of caliche deposits in Google Earth image and urban development for the period of 2002-2022

Kaliçilerin farklı litolojik seviyelere sahip olması, jeomekanik özelliklerinin belirlenmesinde bazı problemleri de beraberinde getirmektedir. Yılmaz ve Smith (1992), Mersin–Tarsus–Adana–Ceyhan–Osmaniye–İskenderun hattı boyunca yapılmakta olan otoyol projesindeki kaliçinin jeolojik ve jeoteknik özelliklerini araştırmışlardır. Kaliçinin, zemin duyarlılığı açısından önem taşıdığı kadar dolgu malzemesi ve kırma taş üstyapı malzemesi olarak da sorunlar çıkardığını belirtmişlerdir. Ayrıca kaliçinin, yüzeye doğru genellikle sertken ve alt dokanağa doğru yüksek plastisiteli, parlak yüzeyli, dolgulu çatlaklı ve kalker yumrulu killi seviyelerden oluşan yumuşak seviyeler içerdiğini belirtmişlerdir. Türkmen ve Yılmaz

(1998), Tarsus–Adana–Gaziantep otoyol güzergâhındaki kaliçi biriminin neden olduğu büyük çaplı heyelanları ve maliyete olan etkilerini araştırmışlardır. Otoyol çalışmalarında sert kısmın kireçtaşı ile karıştırıldığını ve önemsenmediğini ancak pek çok sorunun yaşandığını belirtmişlerdir. Kaliçiler üzerinde yer alan yapılarda 1998 Adana-Ceyhan depreminde ciddi yapısal hasarlar olduğu birçok araştırmacı tarafından belirtilmiştir (Çetin ve Demirtaş, 1999; Ulusay ve diğ. 2000; Dinçer ve diğ., 2010).

Konu ile ilgili yapılan çalışmalar kaliçilerin jeoteknik açıdan problemlili bir malzeme olduğu göstermekte olup, fiziko-mekanik özelliklerinin detaylı olarak değerlendirildiği bir çalışmaya rastlanmamıştır. Dinçer (2007) tarafından gerçekleştirilen doktora çalışmasında Adana ili yerleşim alanı ve yakın civarında yüzeyleyen kaliçilerin sert ve yumuşak seviyelerinden alınan torba ve blok numuneler üzerinde yapılan bir dizi laboratuvar deneyleri sonucunda indeks, fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen bu veriler ışığında kaliçiler jeoteknik açıdan farklı sınıflara ayrılarak jeomekanik davranışları açıklanmaya çalışılmıştır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Materyal

Kaliçiler pek çok araştırmacı tarafından farklı şekillerde tanımlanmalarına rağmen genel olarak kurak ve sıcak bölgelerde, dikey olarak zonlanma gösteren, yatay-yataya yakın konumlarda bulunan, yer yer kalınlığı 25 metreye ulaşan ve kalsiyum karbonatın baskın olduğu karasal bir oluşum olarak tanımlanırlar. Genellikle göl, akarsu ve yelpaze çökelleri içerisinde oluşan kaliçiler Ege, Akdeniz ve Orta Anadolu bölgesinde yaygın bir şekilde gözlenmektedir (Dinçer, 2007).

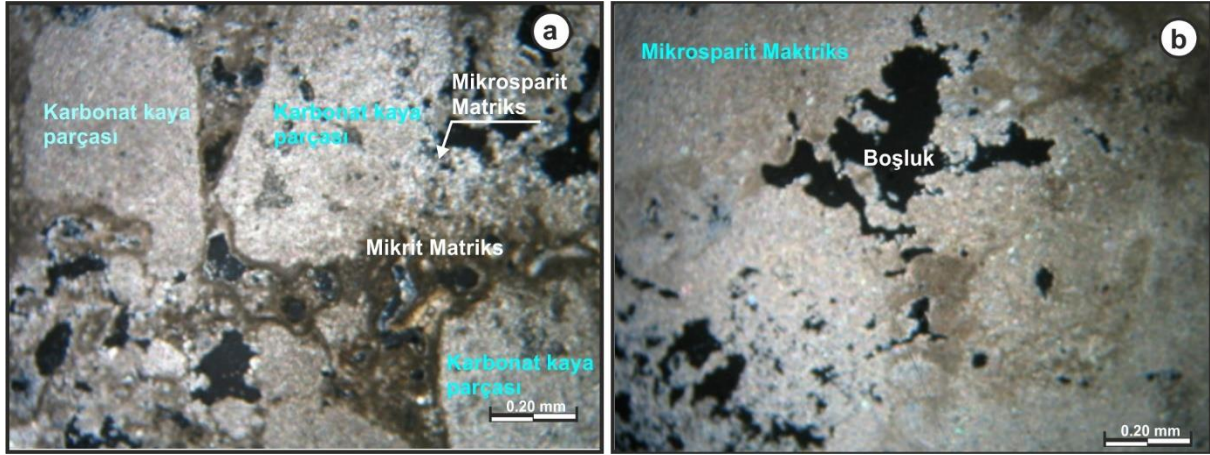
Kaliçi oluşumu için karbonat varlığı, kurak ve yarı-kurak bir iklim rejimi, yaygın bir kapilarite aktivasyonu ve CO₂ varlığının bulunması gibi bazı çevresel ve jeolojik koşulların sağlanması gerekmektedir. Kaliçi oluşumu, karbonatlaşma sürecinin bir ürünüdür. CO₂ havada ve yağmur suyunda 0.03%-0.45% oranında bulunmaktadır. Suyun ve karbondioksitin reaksiyonu sonucu karbonik asit oluşur ($CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3$). Bu asit kalsiyum ve magnezyumca zengin kayaları çözerek kalsiyum, magnezyum ve karbonatça zengin çözeltiler oluşturur. Oluşan kalsiyum ve magnezyum bikarbonata doygun sular, gevşek zemin içerisinde aşağıya doğru

süzülürler. Sonra bu çözeltiler kurak ve yarı kurak iklim dönemlerinde kapilarite ve buharlaşmanın etkisiyle yüzeye doğru yükselirler. Su durgun hale gelirken çözeltilerin içindeki CO_2 ve H_2O doygun bikarbonat çözeltisinden uzaklaşmış olur. Bu ayrılışı takiben kalsiyum karbonat veya magnezyum karbonat nodülleri yanal veya düşey olarak oluşur (Dinçer, 2007). Ayrıca kaliçi oluşumunu açıklayan süzülme, kapilarite ve kırıntı modeli gibi yaklaşımlar farklı araştırmacılar tarafından öne sürülmüştür (Goudie, 1983). Bu çalışmada Çukurova'nın kuzeyinde topoğrafyanın yükselmeye başladığı bölgede ve Adana kent merkezinin kuzeyinde mostra veren kaliçiler çalışmanın konusunu oluşturmaktadır.

Yumrulu, farklılaşmamış, breşik ve laminalı bir yapı sunan kaliçi örnekleri açık sarı-krem renkte olup, kaya renk tablosuna göre 10YR 8/2, 5YR 5/6, 5YR 8/6, 10YR 7/4, 10YR 8/6 ve 10YR 5/4 skalasında tanımlanmışlardır. Genellikle koyu renkli mikrit ve mikrosparit kalsit çimentoları kaliçilerin ana malzemesini oluşturmaktadır (Şekil 2). İnce kesitlerde farklı tip ve şekillerde boşluklar odacık, basit paketlenme boşlukları, kanallar ve hücreler şeklindedir. Bazı örneklerde boşlukların oranı % 50'ye kadar çıkabilmektedir. Matriks içerisinde yayılmış halde köşeli kuvars, çört, volkanik ve kireçtaşı parçaları gözlenmiştir. Genellikle bunların boyutları $5\mu\text{m}$ – $1000\mu\text{m}$ arasında değişmekte olup, nadiren daha iri tanelere ($>1000\mu\text{m}$) rastlanmıştır. Karbonat kabuk seviyelerinde hakim mineral tipi kalsit olup, yüzde oranı %88.2 - %98.7 aralığında değişmektedir. Aynı zamanda çok düşük oranda (%1.8-%11.8) kuvars mineralinin varlığı tespit edilmiştir. Bölgeden alınan örneklerin kimyasal içeriği CaCO_3 %83.43-%96.06, SiO_2 %0.70-%11.74, Al_2O_3 %0.0031-%0.0141 ve Fe_2O_3 ise %0.24-%0.54 arasında değişmektedir (Dinçer, 2007).

Yöntem

Kaliçiler, litolojik özelliğinden dolayı hem kaya hem de zemin özelliği taşıyan seviyelere sahiptir. Bunlar literatürde yumuşak kısım (softpan) ve sert kısım (hardpan) olarak adlandırılmaktadır. Bundan dolayı hem kaya mekaniği deneyleri hem de zemin mekaniği deneylerine yönelik örselenmiş, örselenmemiş ve blok kaya numuneleri TS (1901)'e göre alınmıştır. Araştırmanın konusu olan taraça, kaliçilerin karbonat kabuk (hardpan) ve kaliçileşmiş zemin (softpan) seviyelerinden ayrı ayrı alınan numunelerin indeks ve jeomekanik parametrelerinin tayini kaya ve zemin mekaniği laboratuvarlarında TS (1500), TS (1900–1 ve 2), ASTM D4318-87 (2005) ve ISRM (2007)'e göre titizlikle gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2 Kaliçi örneklerine ait ince kesit görüntüleri

Figure 2 View of caliche thin section

JEOMEKANİK ÖZELLİKLER

Kuvaterner yaşlı kaliçiler farklı litolojik, fiziksel ve mühendislik özelliklerine sahip mostralar sunmakta olup, Adana kent kuzeyinde yayılım sunan kaliçi birimleri taraça, kaliçileşmiş taraça, karbonat kabuk (hardpan) ve kaliçileşmiş zemin (softpan) olmak üzere dört farklı birim olarak ayırt edilmiştir.

Taraça

Bölgede gözlenen taraça birimleri ağırlıklı olarak gri renkli çakıltaşları olup, yer yer kumtaşı, silttaşı bloklu çakıltaşı ve çakıltaşı ardalanması şeklinde gözlenmektedirler. Maksimum tane boyutu 40–50 cm'ye ulaşan birimde oldukça yuvarlak ofiyolit, kireçtaşı, kuvars, radyolarit ve çört çakılları bulunmaktadır. Boylanma ve derecelenme açısından seviyelere göre değişen özellikler sunan taraçalar genellikle kötü boylanmalı olarak tanımlanabilir. Schmidt (1961) tarafından birimin kalınlığının 50 metreye kadar ulaştığı belirtilmiş olup, genel olarak 30 metre kalınlığa sahiptir (Şekil 3).

Taraçaların doğal birim hacim ağırlığı 25.50–26.72 kN/m³ aralığında olup ortalama ıslak birim hacim ağırlığı 27.23 kN/m³ olarak belirlenmiştir. Ağırlıkça ve hacimce su emme oranları ise sırasıyla %1.98–3.88, %5.15–10.01 aralığında değişmektedir (Çizelge 1). Suyu doyurma yöntemi ile belirlenen ortalama görünür porozite %7.74 olup, boşluk oranı ise 0.07–0.13 aralığında değişmektedir. Ortalama nokta yükü dayanım indeksi 3.34 MPa olarak belirlenmiş olup, IAEG (1979)'a göre taraçalar orta mukavemetli kaya sınıfında olarak tanımlanmıştır.

Fakat tek eksenli sıkışma dayanımları 12.75–18.54 MPa arasında olan taraçalar, Deere ve Miller (1966)'e göre ise çok düşük dayanımlı kaya sınıfında yer almaktadır. Hoek ve diğ., (2002)'ye göre taraçalar için elde edilen üç eksenli sıkışma dayanımı deney sonuçları Şekil 4'de verilmiştir. Ayrıca Hoek (1990) içsel sürtünme açısı ve kohezyonun (instantaneous) elde edilmesini sağlayan ve klasik mohr zarfını doğrusal eğri olarak kabul eden bir yöntem ortaya koymuştur (Bell, 1994). Buna göre taraçalar için içsel sürtünme açısı (ϕ) 25°, kohezyon (c) ise 1.078 MPa olarak belirlenmiştir.



Şekil 3 Adana kent merkezinde Taraçaların genel görünümü

Figure 3 General view of terrace deposits in center of Adana

Kaliçileşmiş Taraça

Handere formasyonu üzerine gelip güneye doğru Adana Ovası'nın alüvyonları ile örtülü bulunan taraçaların içerisinde ve üzerinde oluşan kaliçi oluşumları “kaliçileşmiş taraça” olarak

adlandırılmıştır. Balcalı, Sofulu ve Yeni Adana olarak adlandırılan bölgelerde yaygın olarak gözlenmektedirler.

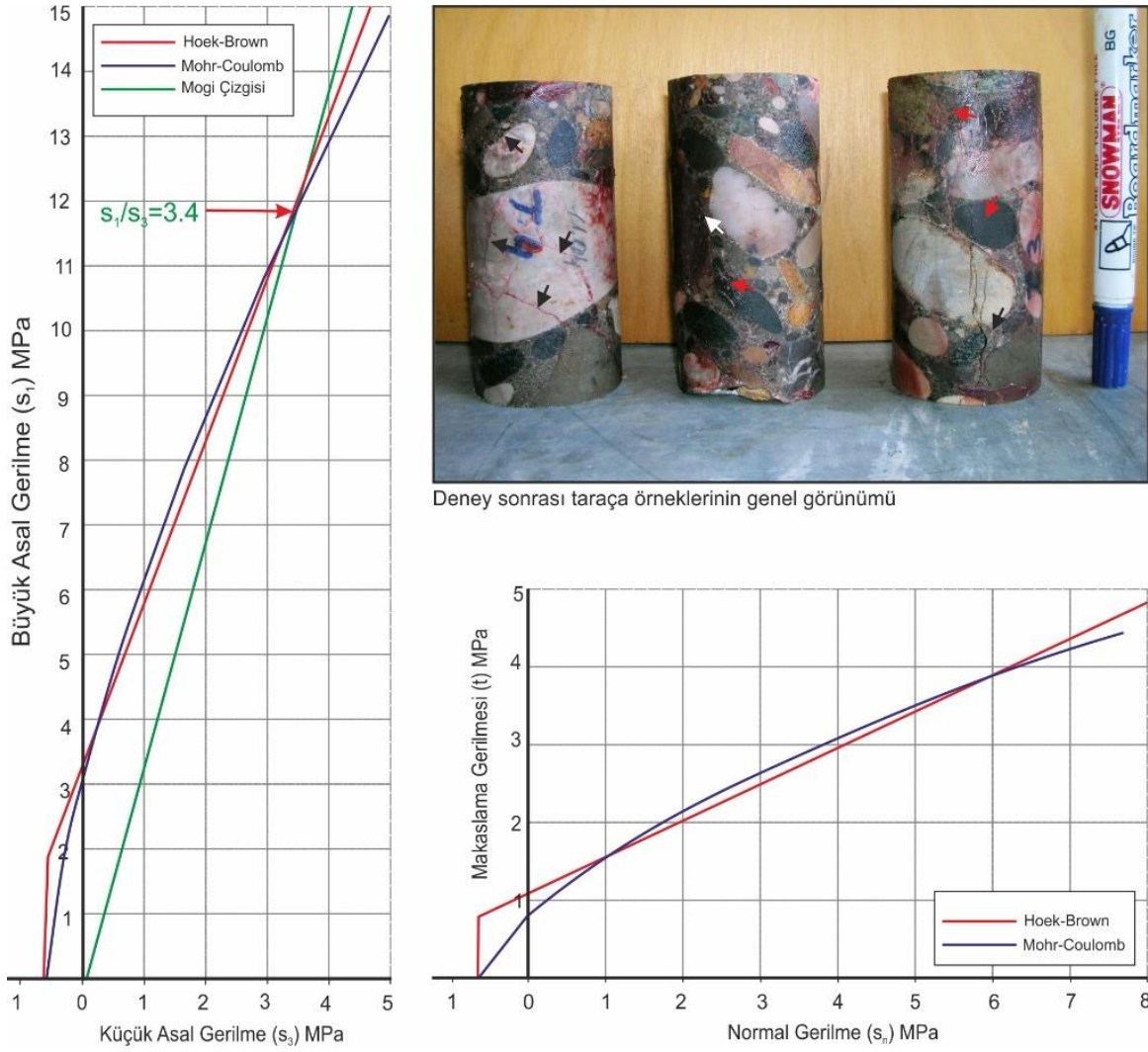
Genellikle beyazımsı kahverengi ve gri renkli olan kaliçileşmiş taraçalar kökensel olarak aynı olan ve bölgede yayılım gösteren diğer taraçaların özelliklerini taşımakla beraber çakıltaşı ağırlıklı, yer yer kumtaşı ara katkılı bir birim olarak tanımlanabilirler. Taraçaların alt seviyelerinde kaliçi yumrulu olarak başlayan kaliçileşmeler, genellikle taraçaların üst seviyelerine doğru artmaktadır. Şekil 5’de Sofulu çöplüğü olarak bilinen bölgede malzeme ocaklarına ait yarmada düşey kesit ve kaliçileşmiş taraça mostrasının genel bir görünümü verilmiştir. Buna göre alt seviyeler yine taraça özelliğini sunmakta olup, üst metrelerde birkaç metre kalınlığında gözlenen oluşum kaliçileşmiş taraça olarak değerlendirilmiştir

Çizelge 1 Taraçaların belirlenen fiziko-mekanik özellikleri
Table 1 Physio-mechanical properties of terrace deposits

Özellik	Ortalama	Maksimum	Minumum	STD
Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	25.93	26.70	25.50	0.67
Islak Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	27.23	27.90	26.64	0.63
Boşluk Oranı	0,10	0,13	0,07	0,03
Görünür Porozite (%)	8.89	11.35	6.35	2.50
Hacimce Su Emme (%)	7.74	10.01	5.15	2.45
Ağırlıkça Su Emme (%)	2.95	3.88	1.98	0.95
Schmidt Sertliği (N)	45.00	48.50	42.49	3.13
Nokta Yüğü Dayanımı (MPa)	3.34	3.64	2.85	0.43
Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (MPa)	16.02	18.54	12.24	3.34

STD: Standart Sapma

Kaliçileşmiş taraçaların birim hacim ağırlığı 20.20–19.51 kN/m³ aralığında olup ortalama ıslak birim hacim ağırlığı 22.36 kN/m³ olarak hesaplanmıştır (Çizelge 2). Kaliçileşmiş taraçalarda bağlayıcı malzemenin tamamen veya kısmen karbonattan oluşması taraçalarda birim hacim ağırlığında bir azalmaya sebep olmuştur. Ortalama ağırlıkça ve hacimce su emme oranları ise sırasıyla %11.69 ve, %23.22 ve suya doyurma yöntemi ile belirlenen ortalama görünür porozite %24.54, ortalama boşluk oranı ise 0.33 olarak hesaplanmış olup, porozite açısından yaygın kaya türleriyle karşılaştırıldığında yüksek değerlere sahiptir (Çizelge 2). Ortalama P-dalga hızı ise 797 m/sn olarak ölçülmüştür.

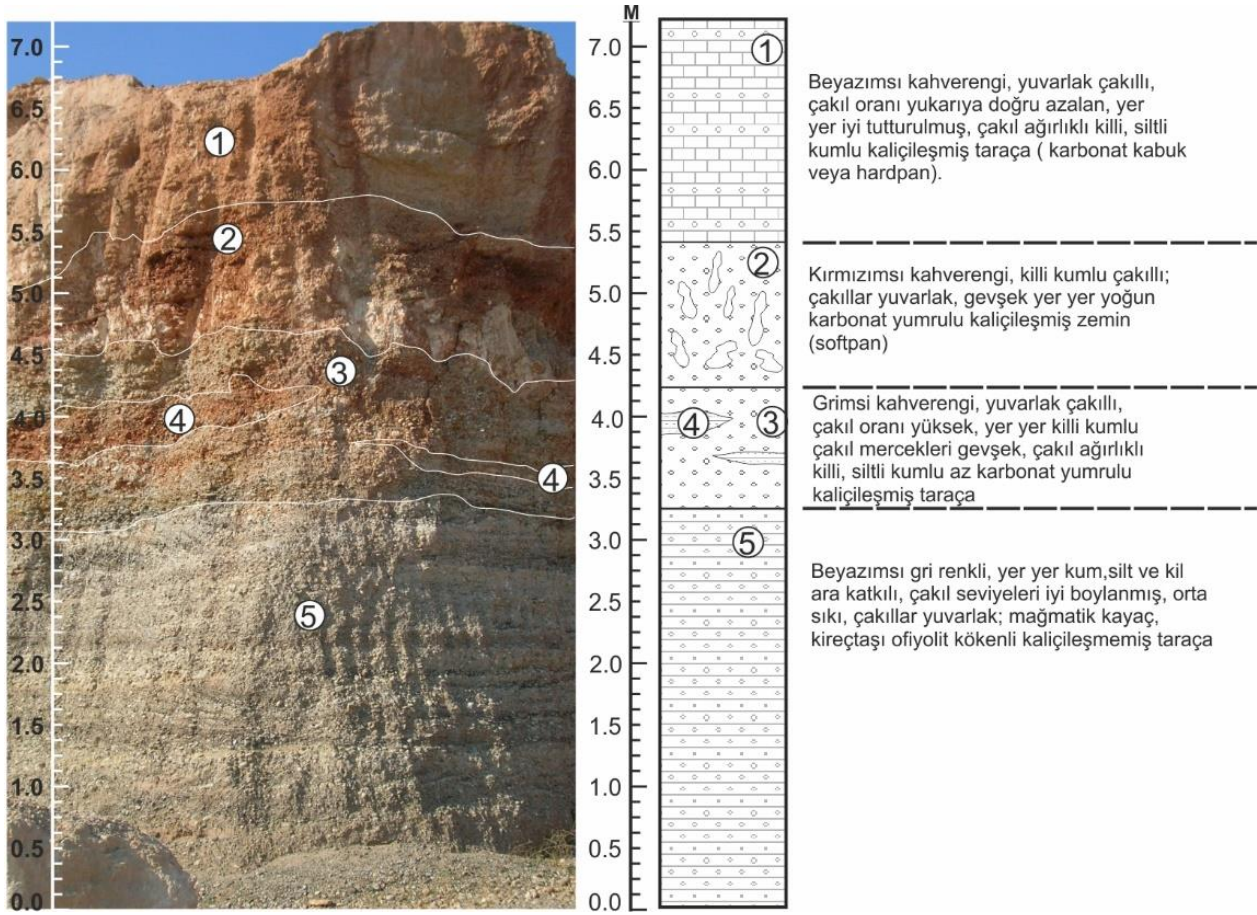


Şekil 4 Taraçalara ait üç eksenli deney sonuçları

Figure 4 Three axial test results of terrace

Kaliçileşmiş taraçaların suda dağılmaya karşı dayanıklılık indeksi (I_{d2}) % 98.34–86.20 arasında değişmektedir (Çizelge 2). Buna göre taraçalar suda dağılmaya karşı yüksek dayanıklı olarak tanımlanmıştır (Gamble, 1971). Deney sonrası örneklerin fiziki özellikleri incelendiğinde ise ağırlıkça kayıplarının çok olmamasına karşın fiziksel olarak parçalandıkları görülmüştür. Bunun muhtemel sebebi kaliçileşmiş taraçalarda bağlayıcı malzeme görevini üstlenen karbonatın suda kolaylıkla çözülebildiği ancak taraçaları oluşturan çakılların suda dağılmaya karşı daha dirençli olması gösterilebilir. Suda dağılmaya karşı dayanıklılık

deneyine göre yüksek dayanımlı olan kaliçileşmiş taraçaların bu özelliğinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.



Şekil 5 Taraçaların genel görünümü

Figure 5 General view of caliched terrace deposits

Ortalama nokta yük dayanım indeksi 1.58–0.97 MPa aralığında değişen ve buna göre orta-yüksek dayanımlı olarak tanımlanan kaliçileşmiş taraçaların tek eksenli sıkışma dayanımı ise 6.56–4.76 MPa aralığında değişmektedir (Çizelge 2). Deere ve Miller (1966)’a göre çok düşük dayanımlı kayaç olarak tanımlanmıştır. Kaliçileşmiş taraçaların deformasyon davranışlarını açıklamak üzere Kaliçileşmiş taraçalar içim gerilme-deformasyon eğrileri çizilmiş ve teğet (tanjant) modülü (E_t) 0.69 GPa, kiriş (sekant) modülü (E_s) 0.84 GPa ve ortalama elastisite modülü (E_{av}) 0.63 GPa olarak hesaplanmıştır (Çizelge 2). Üç eksenli deney sonuçları üzerinde Hoek & Brown ölçütünü uygulayabilmek için kaliçileşmiş taraçaların alabileceği minimum değer olan 70 kullanılmıştır. Buna göre elde edilen üç eksenli deney sonucu Şekil

6'da verilmiştir. Kalıçileşmiş taraçalar için anlık kohezyon ve içsel sürtünme açısı 0.421 MPa ve 22^0 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 2 Kalıçileşmiş taraçaların belirlenen fiziko-mekanik özellikleri
Table 2 *Physio-mechanical properties of caliched terrace deposits*

Özellik	Ortalama	Maksimum	Minimum	STD
Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	19.85	20.20	19.51	0.34
Islak Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	22.36	23.13	21.59	0.77
Boşluk Oranı	0.33	0.34	0.31	0.02
Görünür Porozite (%)	24.54	25.76	23.75	0.76
Hacimce Su Emme (%)	23.22	23.70	22.62	0.55
Ağırlıkça Su Emme (%)	11.69	11.92	11.36	0.29
Shore Hardness (SH)	14.45	18.87	11.80	3.85
Schmidt Sertliği (N)	32.01	36.94	26.00	5.55
P-dalga hızı (m/sn)	797.83	1131.26	536.03	304.01
Suda dağılmaya karşı dayanıklılık İndeksi (Id2)	92.69	98.34	86.20	6.11
Nokta Yüğü Dayanımı (MPa)	1.19	1.58	0.97	0.34
Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (MPa)	5.41	6.56	4.76	1.00
Tanjant Elastisite Modülü (GPa)	0.69	0.70	0.68	0.01
Kiriş Elastisite Modülü (GPa)	0.84	0.89	0.76	0.08
Ortalama Elastisite Modülü (GPa)	0.63	0.71	0.54	0.09

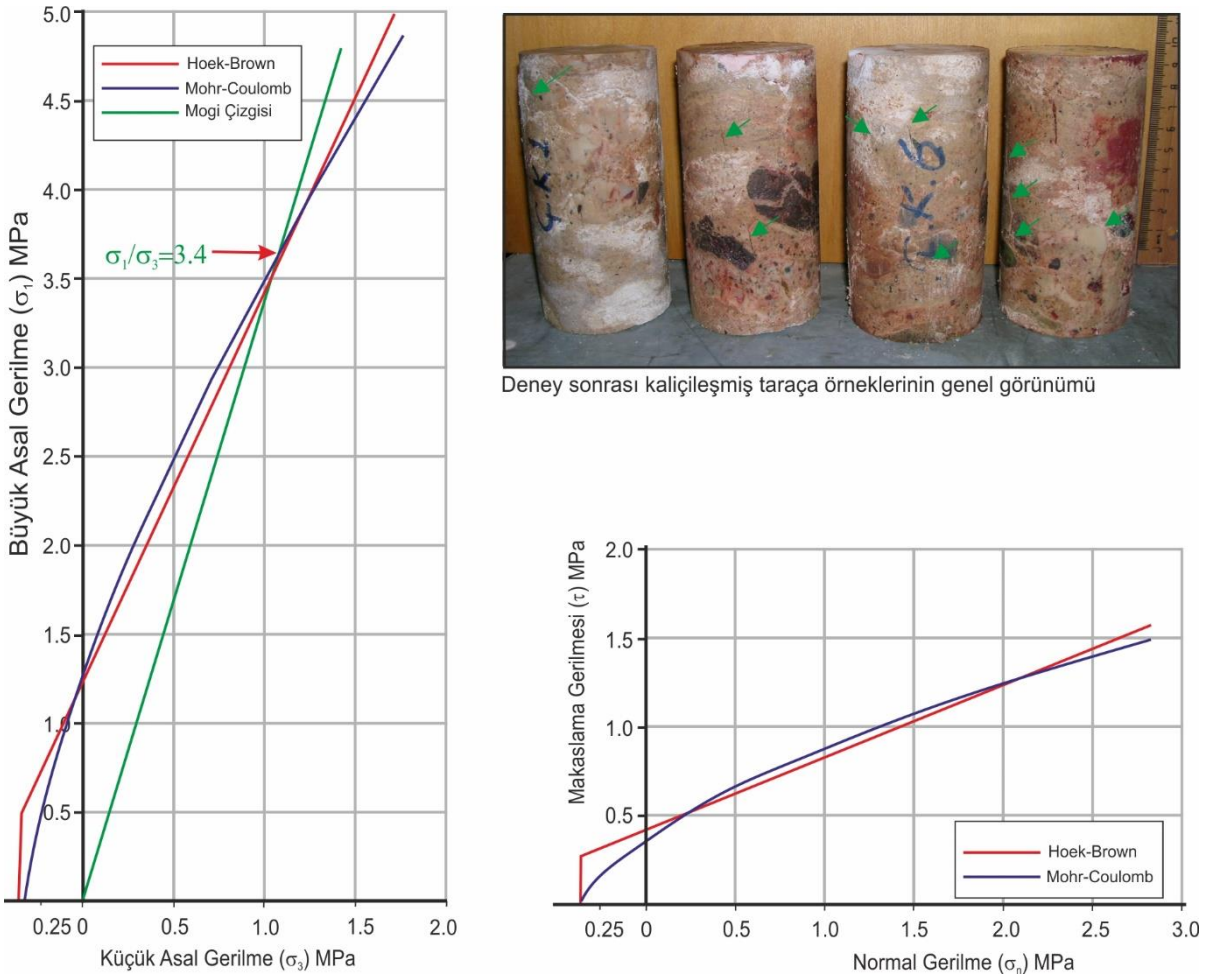
STD: Standart Sapma

Kalıçileşmiş taraçalar düşük gerilme koşullarında gevrek davranış gösterdikleri, fakat kısa süre sonra düşük sayılabilecek gerilme koşullarında sünek davranışa geçiş yapmaktadır. Mogi (1966) tarafından belirtildiği gibi kalıçileşmiş taraçalar diğer kaya tiplerinde olduğu gibi asal gerilme oranının (σ_1/σ_3) 3.4 ulaştığında gerçekleşmiştir (Şekil 6). Bilindiği üzere sünek davranış zeminin herhangi bir deformasyona uğramadan yenilmesi olarak tanımlanabilir. Deney sonrası yenilen numuneler incelendiğinde belirgin bir kırılma görülmemektedir. Ancak yenilme sonrası bir süre daha deneye devam edilerek yenilme düzlemlerinin ortaya çıkması sağlanmıştır (Şekil 6). Bu durum göz önünde bulundurulduğunda kalıçileşmiş taraçalar zeminlerin yenilme şekillerine benzer (varilleşme şeklinde) yenildiği ve yüksek basınç altında plastik bir davranış sergilediği söylenebilir.

Karbonat Kabuk (Hardpan)

Bölgede Handere formasyonu üzerinde gözlenen kalıçiler, en alta Handere formasyonuna ait kil taşları ile başlayıp üste doğru yoğun kalıç yumrularının gözlendiği ve diğer seviyelere

göre daha gevşek ve yumuşak olan ve softpan olarak adlandırılan seviye ve en üstte masif görünümlü, yüksek CaCO₃ içerikli ve kalınlığı 1–2 metre arasında değişen karbonat kabuk yer almaktadır (Şekil 7). Bu bölümde en üstte yer alan çok düşük dayanımlı kaya özellikleri sunan karbonat kabuğa ait jeomekanik özellikler değerlendirilmiştir. Şekil 7’den görüleceği üzere kaliçileşme kiltaşları içerisinde gözlenmektedir. Bu durum derinleştikçe nadiren gözlenmekte olup, karbonat kabuğa yaklaştıkça daha yoğun bir şekilde gözlenmektedir.

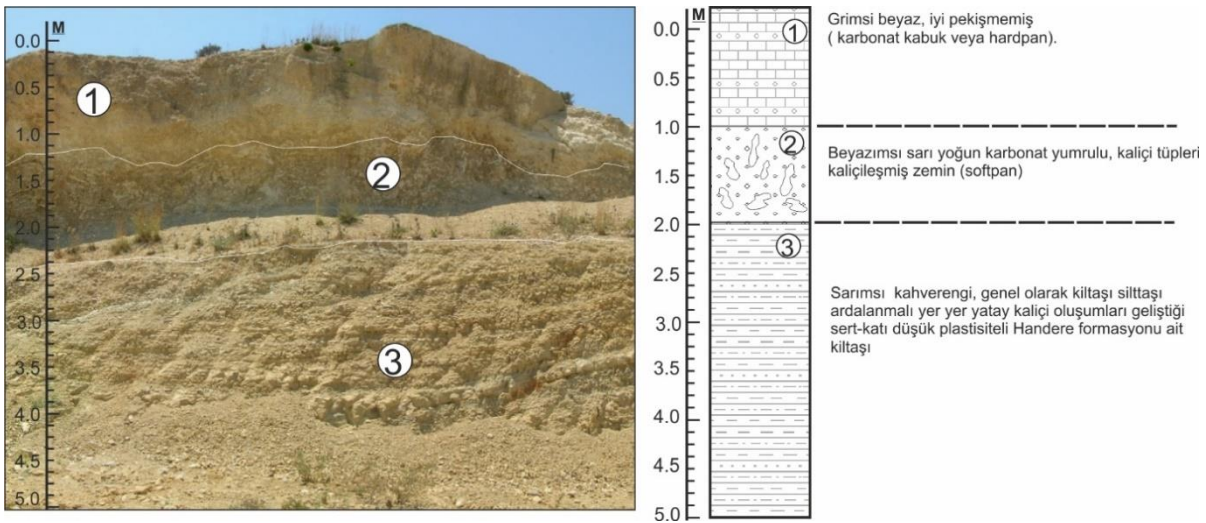


Şekil 6 Kaliçileşmiş taraçaların üç eksenli deney sonuçları

Figure 6 Three axial test results of caliched terrace

Karbonat kabuk (hardpan) seviyelerinin birim hacim ağırlığı 22.94–14.96 kN/m³ aralığında olup ortalama ıslak birim hacim ağırlığı 21.82 kN/m³ olarak belirlenmiştir. Kaliçiler Çizelge 3’de görüldüğü gibi birim hacim ağırlık değeri, diğer kaya tipleri ile karşılaştırıldığında

oldukça geniş bir aralıkta değişmektedir. Kaliçilerin bazıları aşırı boşluklu olup, yeterince pekişmemiştir. Bu yüzden bazı hardpan seviyelerinde çok düşük değerler elde edilmiştir. Yüksek birim hacim ağırlığına sahip örnekler ise görece iyi pekişmiş, kısmen veya tamamen kalsitleşmiş ve sıkı bir yapıdadır. Kaliçilerin boşluk oranı değerleri 0.60–0.19 ve görünür porozite ise %37.43–16.23 arasında değişmektedir (Çizelge 3). Elde yüksek porozite değerleri kaliçilerin çok değişken yapılarını işaret eden diğer bir veri olarak karşımıza çıkarken, tüm kaliçiler orta-yüksek poroziteli kayaç olarak tanımlanmıştır (IAEG,1979)



Şekil 7 Tipik bir kaliçi kesitinde karbonat kabuğun genel görünümü

Figure 7 General view of hardpan in typical caliche section

Hardpan seviyelerinin suda dağılmaya karşı dayanıklılık indeksi (I_{d2}) % 98.10–65.36 arasında değişmektedir. Buna göre kaliçiler suda dağılmaya karşı düşük-aşırı yüksek dayanıklı olarak tanımlanmıştır (Gamble, 1971). Deney sonrası örneklerin fiziki özellikleri incelendiğinde bazı örneklerin oldukça dağıldığı gözlenirken bazı örnekler ise çok fazla parçalanmaya maruz kalmamıştır. Bu örneklerin makro ve mikro düzeyde incelendiğinde aralarındaki en büyük farkın kalsitleşme derecesi olduğu gözlenmektedir. Kalsitleşmenin yoğun olarak gözlendiği kaliçiler suda dağılmaya karşı daha dirençli olduğu gözlenirken, tamamen kalsitleşmemiş örneklerin ise daha kolay parçalandıkları gözlenmiştir.

Nokta yükü dayanım indeksi 2.08–0.53 MPa arsında değişen hardpan seviyeleri, Bieniawski (1984)' e göre düşük-çok düşük dayanımlı kaya olarak tanımlanmıştır. Tek eksenli sıkışma

dayanımı ise 10.41–2.03 MPa arasında değişmekte olup, Dere ve Miller (1966)’a göre çok düşük dayanımlı kaya olarak tanımlanmıştır. Hadrpan seviyelerinin ortalama teğet (tanjant) modülü (Et) 0.76 GPa, kiriş (sekant) modülü (Es) 0.60 GPa ve ortalama elastisite modülü (Eav) 0.55 GPa olarak hesaplanmıştır (Çizelge 3). Hoek (1990) göre anlık sürtünme açısı 22–500, anlık kohezyon 0.058–0.723 MPa arasında değişmektedir. Hardpan örnekleri düşük gerilme koşullarında gevrekten sünek davranışa doğru bir geçiş yaparken, bazı örneklerde ise bu geçiş düşük gerilme koşullarında gerçekleşmemektedir (Şekil 8). Genel olarak bakıldığında kendi içinde düşük dayanımlı kayalar (< 5.0 MPa) gevrekten sünek davranışa geçiş düşük gerilme koşullarında ve asal gerilme oranının (σ_1/σ_2) 3.4 ulaştığında gerçekleşmektedir (Şekil 8b).

Çizelge 3 Karbonat kabuğun (hardpan) belirlenen fiziko-mekanik özellikleri
Table 3 Physio-mechanical properties of hardpan

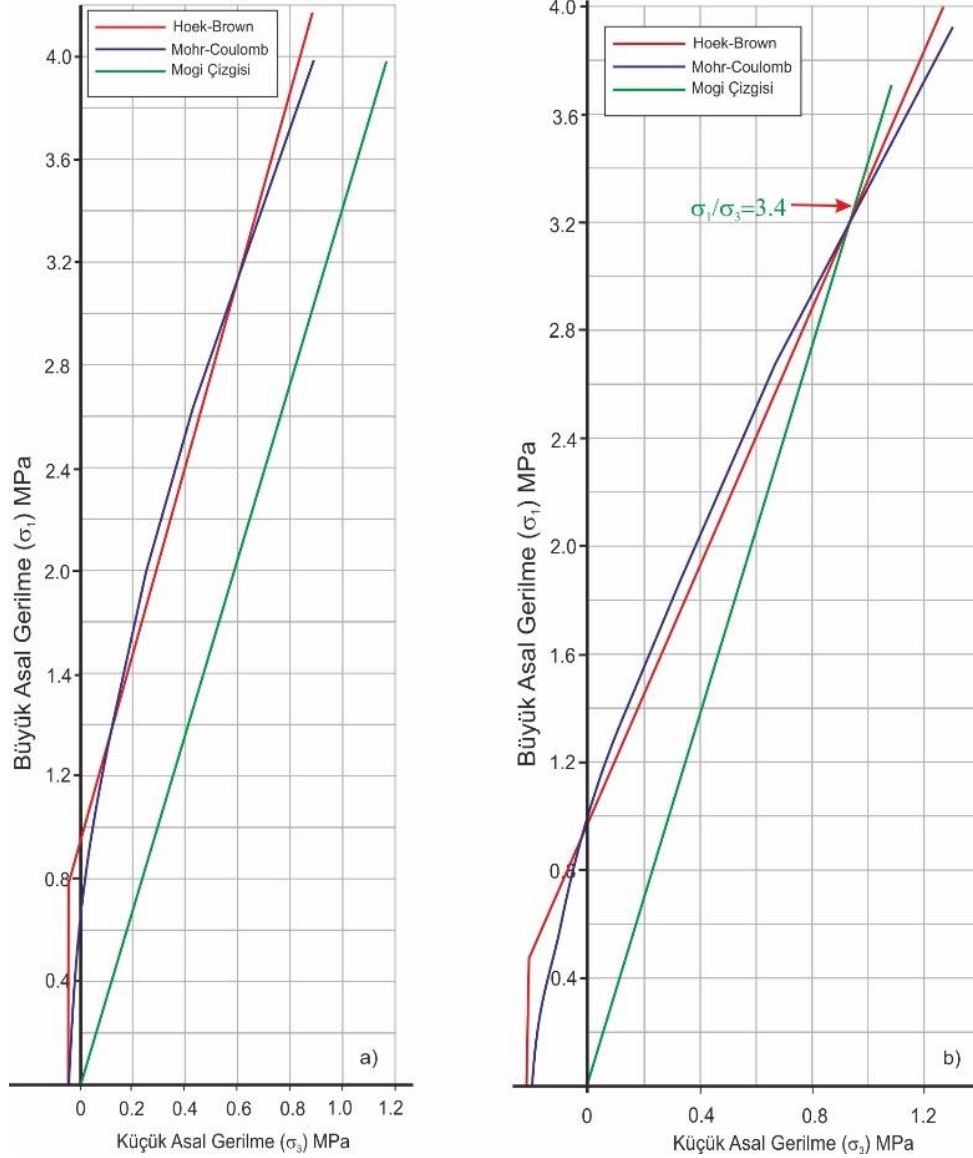
Özellik	Ortalama	Maksimum	Minimum	STD
Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	18.90	22.94	14.96	2.23
Islak Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	21.82	25.17	18.38	1.68
Boşluk Oranı	0.38	0.60	0.19	0.11
Görünür Porozite (%)	27.05	37.43	16.23	5.98
Hacimce Su Emme (%)	26.10	36.52	15.34	6.00
Ağırlıkça Su Emme (%)	14.16	22.95	7.01	4.71
Shore Sertliği (SH)	12.58	24.56	4.20	5.28
Schmidt Sertliği (N)	26.99	43.44	14.50	7.56
P-dalga hızı (m/sn)	747.32	1575.40	374.78	382.55
Suda dağılmaya karşı dayanıklılık İndeksi (Id ₂)	89.73	98.10	65.36	9.01
Nokta Yüğü Dayanımı (MPa)	1.12	2.08	0.53	0.45
Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (MPa)	5.10	10.41	2.03	2.63
Suya Doygun Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (MPa)	4.36	8.48	2.03	2.60
Tanjant Elastisite Modülü (GPa)	0.76	1.79	0.03	0.56
Kiriş Elastisite Modülü (GPa)	0.60	1.46	0.03	0.43
Ortalama Elastisite Modülü (GPa)	0.55	1.41	0.16	0.40

STD: Standart Sapma

Kaliçileşmiş Zemin (Softpan)

Küçük yumrulu, karbonat dolgu kırıklı, iğnemsî kalsit kristalleri içeren karbonat yamaları ve küçük karbonat birikintili, çok zayıf çimentolanmış veya çimentolanmamış zemin ve literatürde “calcareous soil” olarak isimlendirilen oluşumlar “kaliçileşmiş zemin” olarak adlandırılmıştır. Bölgede kaliçileşmiş zemin bazen karbonat kabuk olarak adlandırılan

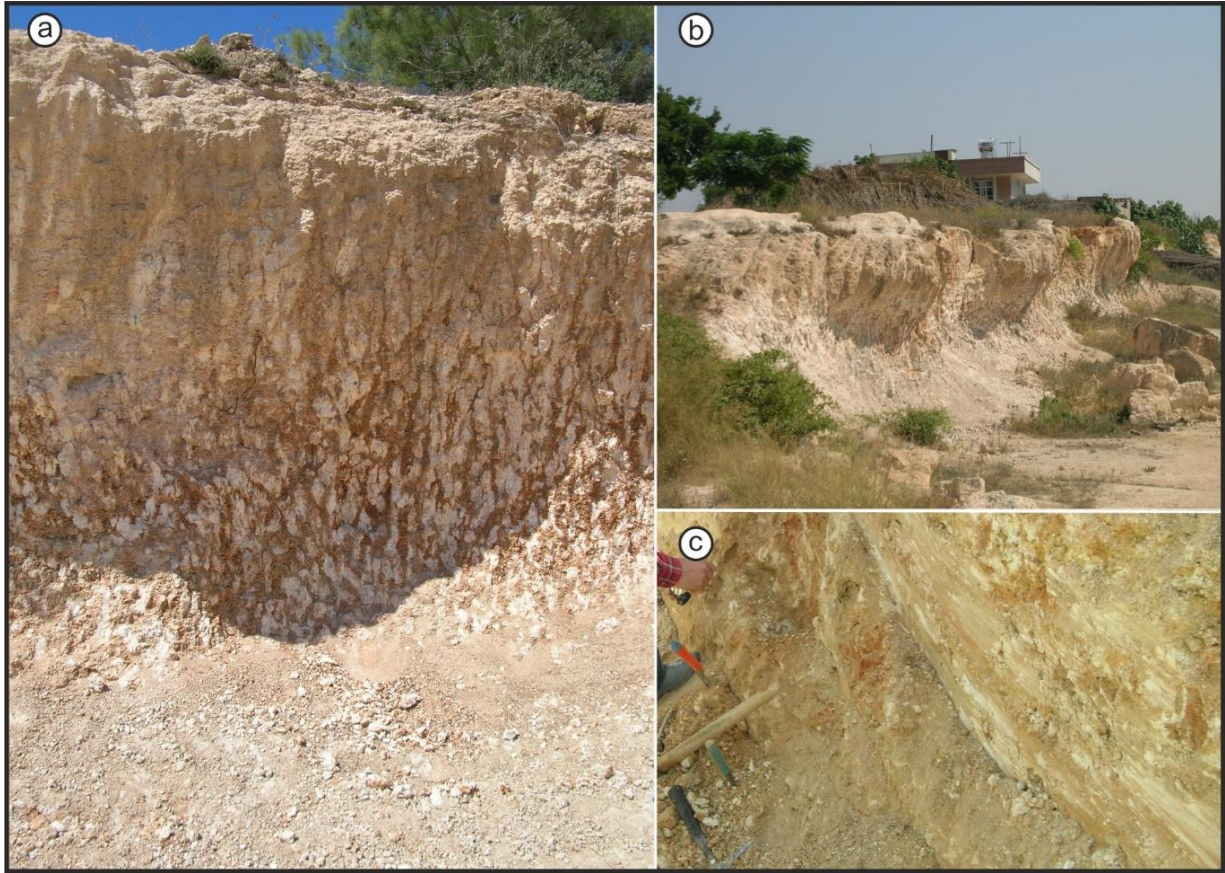
seviyenin altında, bazense güncel zeminler içerisinde gözlenmektedir. Kaliçileşmiş zeminler bölgede çok geniş mostralar vermemesine rağmen üste yer alan karbonat kabuğun hemen altında bulunmasından dolayı çalışma alanında temel zemini olma açısından büyük bir potansiyel taşımaktadırlar. Güneye doğru inildikçe güncel alüvyon zeminlerin üst seviyelerinde de gözlenen kaliçi oluşumları, açık kırmızımsı kahverengi-beyaz renkli, katısert, killi kumlu siltli bir zemin olarak karşımıza çıkmaktadır (Şekil 9).



Şekil 8 Karbonat kabuk (hardpan) seviyelere ait üç eksenli deney sonuçları a) UCS > 5.0 MPa, b) UCS < 5.0 MPa

Figure 8 Three axial test results of hardpan a) UCS > 5.0 MPa, b) UCS < 5.0 MPa

Kaliçileşmiş zeminler silt boyutunda tanelerin yanı sıra kum ve kil boyutu malzemelerden oluşmakta ve iyi-orta derecelenmiş kumlu-killi SİLT olarak tanımlanmıştır. Ağırlıkça yüzde kil oranı % 2.00–34.00, silt oranı %34.2–84.5 kum oranı %5.64–34.2 ve çakıl oranı %0.66–25.3 arasında değişmektedir (Dinçer, 2007). Likit limit 12.50–41.90 arasında, plastik limit 10.39–36.33 arasında, plastisite indeksi 1.53–15.73 arasında, büzülme limiti 11.00-36.00 arasında ve aktivite değerleri 0.22-3.49 arasında değişmektedir. Kaliçileşmiş zeminler birleştirilmiş zemin sınıflamasında CL-ML zemin sınıflarında yer almakta olup, düşük plastisiteli kil ve düşük plastisiteli silt olarak tanımlanmışlardır.

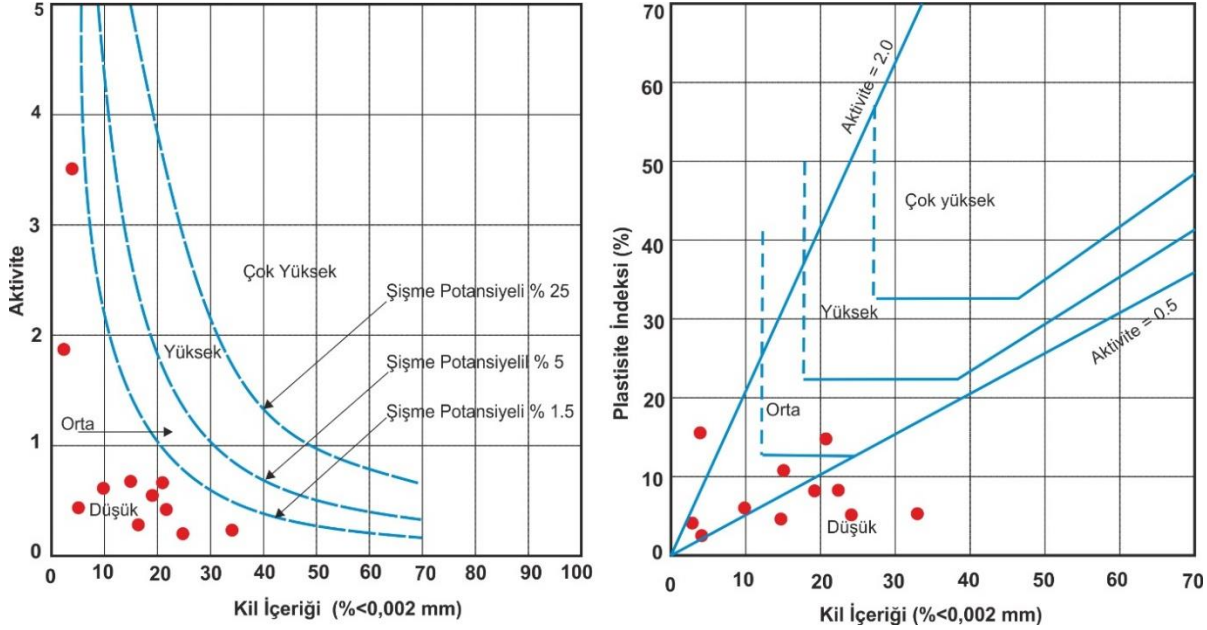


Şekil 9 Kaliçileşmiş zeminlerin (softpan) genel görünüşleri

Figure 8 General view of different caliched soils

Killi siltli kaliçileşmiş zemin örneklerinin Van Der Merwe (1964) tarafından geliştirilen ve daha sonra Williams ve Donaldson (1980) tarafından değiştirilerek önerilen abak ve Seed ve

diğ. (1962) tarafından önerilen şişme potansiyeli abağı üzerindeki dağılımları Şekil 10'de verilmiştir. Buna göre şişme ve aktivite açısından değerlendirildiğinde düşük şişme potansiyeline sahip aktif olmayan killere sınıfta yer almaktadırlar.



Şekil 10 Kaliçileşmiş zemin örneklerinin şişme potansiyeli değerlendirme abaklarındaki dağılımı

Figure 10 Distribution of caliche soils in swelling potential chart

TARTIŞMA SONUÇLAR

Bölgede yayılım sunan kaliçi birimleri farklı litolojik ve jeoteknik özelliklere sahip olup, jeomekanik özellikleri göz önünde bulundurulduğunda; taraça, kaliçileşmiş taraça, karbonat kabuk (hardpan) ve kaliçileşmiş zemin (softpan) olmak üzere dört ayrı birim olarak tanımlanmıştır. Taraça, kaliçileşmiş taraça ve sert kaliçi yumuşak kaya özellikleri sunarken, softpan ise zemin özellikleri göstermektedir. Taraça, kaliçileşmiş taraça ve hardpan “çok düşük dayanımlı kaya” sınıfında yer almaktadırlar. Kaliçileşmiş zeminler ağırlıklı olarak silt boyutu tanelerden ve bunun yanında kum ve kil boyutu malzemeler içermektedirler. Birleştirilmiş zemin sınıflamasına CL-ML zemin sınıfında yer almakta olup, düşük plastisiteli kil ve düşük plastisiteli silt olarak tanımlanmıştır. Taraça, kaliçileşmiş taraça ve hardpan örnekleri genel olarak düşük gerilme koşullarında gevrekten sünek davranışa doğru bir geçiş yaparken, bazı örneklerde ise bu geçiş düşük gerilme koşullarında gerçekleşmemektedir.

Genel olarak bakıldığında kendi içinde düşük dayanımlı kayalar (< 5.0 MPa) gevrekten sünek davranışa geçiş düşük gerilme koşullarında gerçekleşmektedir.

Kalıçilerin fiziko-mekanik özelliklerindeki değişkenlik, kalıçilerin stratigrafik ilişkileri ve yayılımında da gözlenmektedir. Bu durum, kalıçilerin suya karşı hassasiyeti ve fiziko-mekanik özelliklerinin belirlenmesinde yaşanan güçlükler, kalıçilerin mühendislik jeolojisi açısından problemlili bir malzeme olmasında önemli rol oynamaktadır. Ayrıca söz konusu birim üzerinde hızla gelişmekte olan yapılaşma, ileride kalıçilerin temel zemini olarak da bir takım problemlerin kaynağı olması tetikleyecektir. Bundan dolayı kalıçilerin temel zemini olma açısından oturma ve taşıma gücü özelliklerinin de detaylı bir şekilde araştırılması önerilir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma Çukurova Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BAP) tarafından MMF 2004D-19 numaralı ve TUBITAK (104Y189) numaralı projeler kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- ASTM D4318-87., 2005. Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils. ASTM D4318-87, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA
- Bell, F.G., 1994. A Survey of the Engineering Properties of Some Anhydrite and Gypsum from the North and Midlands of England, *Engineering Geology*, 38: 1-23.
- Bieniawski, Z.T., 1984. *Rock Mechanics Design In Mining And Tunneling*. AA Balkema, Rotterdam.
- Çetin, H., Demirtaş, R., 1999. Jeolojik ve Topoğrafik Faktörlerin 27 Haziran 1998 Adana Depremi hasar dağılımı üzerindeki etkisi. *Kentleşme ve Jeoloji Sempozyumu, Avcılar Belediye Başkanlığı*, 141-150.
- Deere, D.U., Miller, R.P., 1966. *Engineering Classification and Index Properties of the Intact Rock*. Air Force Lab. Tech. Rep. AFNLTR, 65-116, Albuquerque, NM.
- Dinçer, İ., 2007. Çukurova Bölgesi Kalıçı, Kalıçı-Taraça Birimlerinin Jeomekanik ve Dinamik Davranışlarının Değerlendirilmesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, s, 207.

- Dinçer, İ., Acar, A., Kocaoğlu, A., 2010. Engineering properties and dynamic behavior of caliche deposits in a seismically active region in southern Turkey. *Engineering geology*, 111(1-4), 73-89.
- Gamble, J.C., 1971. *Durability-Plasticity Classification For Shales And Other Argillaceous Rocks*. Doktora Tezi, University of Illinois, Illinois, USA.
- Goudie, P. A., 1983. Calcrete. In Goudie A. S. & Pye K. (eds). *Chemical Sediments and Geomorphology: Precipitates and Residua in the Near-Surface Environment*, 93–132. Academic Press, London.
- Hoek, E., 1990. Estimating Mohr-Coulomb Friction and Cohesion Values from the Hoek-Brown Failure Criterion, *Int. J. Rock. Mech. Min. Sci. Geomech. Abst.*, 27, 227-229.
- Hoek, E., Carranza-Torres, C.T., Corkum, B., 2002. Hoek-Brown failure Criterion: 2002 edition. *Proceedings of the North American Rock Mechanics Society Meeting*, Toronto, Canada, 1–6.
- IAEG., 1979. Report of the Commission on Engineering Geological Mapping. *Bull IAEG* 19: 364–371.
- ISRM., 2007. *The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974-2007: Suggested Methods prepared by the Commission on Testing Methods*, R. Ulusay, and J.A. Hudson, J.A. (Editors), International Society for Rock Mechanics. ISRM Turkish National Group, Kozan Ofset, Ankara, 628 p.
- Mogi, K., 1966. Pressure Dependence on Rock Strength and Transition from Brittle Fracture to Ductile Flow. *Bull. Earthquake Res.Inst., Tokyo Univ.*, 44: 215- 232.
- Netterberg, F., 1967. Some road making properties of South African Calcretes, *Proc. 4th Reg. Conf. African Soil Mech. Fndn. Eng., Cape Town*, 1, 77-81.
- Netterberg, F., 1971. Calcrete in road construction. *B.N.I.R.R., Pretoria, C.S.I.R. Res. Report*, 286, 73 pp.
- Netterberg, F., 1980. Geology of Southern African Calcretes. I. Terminology, description, macrofeatures and classification. *Trans. Geol. Soc. S.Afr.*, 83, 255-283.
- Ruellan, A., 1970. “Quelques Réflexions sur la Paléopédologie,” *Bzill. Ass. FU. Et. Quat.*, 23, 24: 179-180.
- Seed, H. B., Woodward Jr, R. J., & Lundgren, R. (1962). Prediction of swelling potential for compacted clays. *Journal of the soil mechanics and foundations division*, 88(3), 53-87.

- TS 1500., 2000. İnşaat Mühendisliğinde Zeminlerin Sınıflandırılması. TSE Yayını, 12sy, ANKARA.
- TS 1900., 1987. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleleri. TSE Yayını, 153sy, ANKARA.
- TS 1901, 1975. İnşaat Mühendisliğinde Sondaj Yolları ile Örselenmiş ve Örselenmemiş Numune Alma Yöntemleri. TSE Yayını, 74sy, ANKARA.
- Türkmen, S.,Yılmazer, Ö., 1988. Engeenering Geology of a Caliche Unt Which Caused Noticable Slope Failures Along the TAG Motorway, Turkey, Enviromental & Engineering Geoscience,4: 519-523.
- Ulusay, R., Aydan, Ö., Kumsar, H., Sönmez, H., 2000. Engineering Geological Characteristics of the 1998 Adana-Ceyhan Earthquake, with Particular Emphasis on Liquefaction Phenomena and the Role of Soil Behaviour, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 59, 2, 99-118.
- Van Der Merwe, D.H., 1964. The Prediction Of Heave From The Plasticity Index And The Percentage Clay Fraction Of Soils, The Civil Engineer's Afr Inst Civ Engrs, 6, 103-131.
- Williams, A.A.B., Donaldson, G., 1980. Building on Expansive Soils in South Africa, Proc 4th Int Conf Expansive Soils, Denver. 2, 834–838.
- Yılmazer, İ., Smith, I., 1992. Yumuşakken ve Sertken Seviyelerinden Oluşan Kalışın Jeolojik ve Jeoteknik Özellikleri. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni, 7,5, 145–152.



Statistical Analysis of REE Contents in Felahiye (Kayseri) Fluorite Deposit

Felahiye (Kayseri) Florit Yatağındaki NTE İçeriklerinin İstatistiksel Analizi

CİHAN YALÇIN¹ ORCID 0000-0002-0510-2992

YUSUF URAS² ORCID 0000-0001-5561-3275

¹*Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Sanayi Bölgeleri Genel Müdürlüğü, Dünya Bankası Proje Uygulama Birimi, Ankara*

²*Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş*

Geliş (received): 28.02.2022

Kabul (Accepted): 20.05.2022

ABSTRACT

Geochemical data is applied to clarify many geological questions. One of the practical operations of these data is statistical approaches. As it is recognized, the geological characters of many mineral deposits are performed with the use of Rare Earth Elements (REE) they have. The formation environment and physicochemical properties, specifically in vein type fluorite deposits, are pointed out by the REE content. Hayriye (Felahiye-Kayseri) fluorites are in the form of veins and epigenetically formed within the syenites in the Central Anatolian Crystalline Complex. The Felahiye fluorite mineralization is poor in REE contents. The average F% value of fluorite mineral taken from this region and analyzed is 19.72. When the arithmetic means of REE values are examined, Y has a maximum value with 20.65 and Lu has a minimum value with 0.006. In correlation analysis, a high positive correlation is observed between Tb-Er, Tb-Sm, Tb-Eu, Gd-Yb, Tb-Tm and Tb-Yb respectively. Regression analysis shows that the % F values are directly related to REE amounts.

Key Words: REE, Correlation, Regression, Fluorite

CİHAN YALÇIN, cihan.yalcin@sanayi.gov.tr

¹ *Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Sanayi Bölgeleri Genel Müdürlüğü, Dünya Bankası Proje Uygulama Birimi, Ankara*

ÖZ

Jeokimyasal veriler birçok jeolojik problemin çözümünde kullanılır. Bu verilerin etkili kullanım alanlarından biri ise istatistiksel yaklaşımlardır. Bilindiği üzere birçok maden yatağının jeolojik özellikleri ihtiva ettikleri Nadir Toprak Elementleri (NTE) yardımıyla yapılır. Özellikle damar tipi florit yataklarında oluşum ortamı ve fizikokimyasal özellikler REE içeriği ile açıklanır. Hayriye (Felahiye-Kayseri) floritleri Orta Anadolu Kristalen Kompleksinde siyenitler içerisinde damar tipi şeklinde ve epijenetik oluşumludur. Felahiye florit zenginleşmesi, Nadir Toprak Elementleri (REE) içeriği bakımından fakirdir. Bu bölgeden alınan ve analiz edilen florit mineralinin ortalama % F değeri 19.72'dir. REE değerlerinin aritmetik ortalamaları incelendiğinde, Y 20.65 ile maksimum, Lu ise 0.006 ile minimum değere sahiptir. Korelasyon analizinde sırasıyla Tb-Er, Tb-Sm, Tb-Eu, Gd-Yb, Tb-Tm ve Tb-Yb arasında yüksek pozitif korelasyon gözlenmektedir. Regresyon analizi, % F değerlerinin doğrudan REE miktarları ile ilişkili olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: NTE, korelasyon, Regresyon, Florit

INTRODUCTION

Many researchers have tried to identify analytical and statistical explanations to adopt the geochemical analysis results further adequately (Cheng et al., 1994). These explanations involve numerous mathematical methods, consisting of traditional (Hawkes and Webb, 1963; Tennant and White, 1959; Tukey, 1970) and modern techniques (such as fractal/multifractal analysis) (Cheng, 1999; 2007; Carranza, 2009; Cheng et al., 1994, 2000; Li et al., 2003; Zuo and Wang, 2016; Zuo et al., 2019). Studies based on statistical parameters, mineralization, correlation and anomalies are presented to point out geological relations (Agterberg, 2012; Carranza, 2009; Cheng et al., 1994; Madani and Sadeghi, 2019).

Fluorite, which is formed as a gangue or ore mineral in many mineral deposits, is one of the minerals with the most diverse color range. Fluorite can be mineralized in mantle-based magmatic masses or in normal sea water due to evaporation. REE, are an important indicator in geological studies, reflect ore origin and crystalization conditions just like fluorite deposits.

Rare earth elements (REE) are an essential indicator utilized as indexes of the physicochemical conditions in which minerals are formed. Geochemical statistics was applied as an indicator for the fluorite-REE relation (Schneider et al., 1975; 1977; Marchand et al. 1976; Grappin et al., 1979). The extraordinary characters of REE distribution and patterns have been studied on many

vein-type fluorite deposits. Thanks to these studies, geological problems such as genesis types of REE, depth, pH, and mineralization have been cleared up (Rub et al., 1986; 1987; Bredikhina et al., 1992; 2000).

The rare earth elements (REE)-fluorite relation benefits the formation of mineral deposits (Samson et al., 2004). The REE concentrations correlated with fluorite and the origin and formation type of fluorite are extremely significant for geochemical studies (Bau and Dulski, 1995; Grammaccioli et al., 1999; Irber et al., 1996, Möller et al., 1976; Möller et al., 1994; Schwinn and Markl, 2005; Kolonin and Shironosova, 2007). REE having fluorite was early outlined in the granite complex by Gahn and Berzelius in Sweden in 1814 (Pekov et al., 2009). In following studies, the fluorite-REE relation was checked out as an approach to solve many geochemical questions. Models are established for prognosis and uncertainty situations with geostatistical techniques. Statistical models based on random function or variable theory are involved in these models (Shaltami et al., 2021). Although geostatistics methods have been practiced frequently in reserve calculations from recent to present, they are still put for ore formation type and origin newly. Successful analyzes have been carried out with these applications, which are based on representing the relations of the geological structures (ore, fault, anomaly, etc.) examined with geostatistical methods. For example, Saein and Afzal (2017), as a result of the geostatistical analysis of the data gathered in the Kerman Magmatic Belt in Iran, declared that the Mo concentration is associated with faults. Lindagato et al., (2018) set up a correlation of NE-SW trending Au–As–Hg anomalies with faults related to Au mineralization by kriging and interpolation. For this reason, correlation and geostatistical analysis according to the results of geochemical analysis obtained from the field are one of the essential approach methods in problem solving.

Most of fluorite is associated alkaline magmatic rocks in Turkey, depending on the closure of Neo-Tethys (Kadioğlu et al., 2006). Rocks are divided into three classes depending on the type of rare earth element-rich fluorite deposits in Turkey: (i) carbonatite, (ii) alkaline igneous rocks, and (iii) limestone (Altuncu, 2009). Öztürk et al. (2019) stated that these deposits developed in relation to post-collision magmatism and that ore-forming fluids were also fed from other sources.

Hayriye fluorite mineralization is observed in the Central Anatolian intrusive rocks (Uras et al., 2020). Geology, geochemistry and microthermometric studies have been carried out in fluorite deposits located in different regions within the Central Anatolian intrusive rocks (Yaman, 1985; Göncüoğlu et al., 1991; Genç, 2006; Uras, 2007; Şaşmaz and Yavuz, 2007; Koç et al., 2007; Coşanay et al., 2017; Uras et al., 2020). The aim of this study is to explain and reveal the basic relationships between the % F and REE values of 12 samples belonging to Hayriye fluorites.

METHOD

The study area is located in the Central Anatolian Crystalline Complex. (Figure 1). In this complex, metamorphic basement and igneous and ophiolite rocks are observed simultaneously. Hayriye fluorite mineralization is observed in Central Anatolian intrusive rocks. The mineralization observed in the form of veins in fractures and cracks in altered syenites is epigenetic in nature (Figure 2a). The vein thicknesses range between 5 and 20 cm. The fluorites observed in this region are purple in color and pyrite minerals are still formed in places. The length of the ore vein does not exceed 1 meter (Uras et al., 2020). Carbonation and sericitization are common in thin sections (Figure 2b). Fluorites were formed in the fractures and cracks developed in the syenites during the hydrothermal phase.

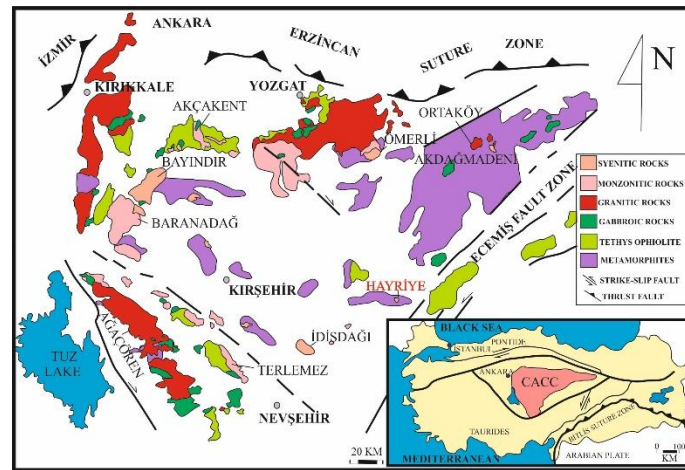


Figure 1. Geological map of the Central Anatolian Crystalline Complex (OAKK) and the location of the study area (modified from Kadioğlu et al., 2006)

Şekil 1. Orta Anadolu Kristalen Karmaşığının (OAKK) jeoloji haritası ve inceleme alanının konumu (Kadioğlu vd., (2006)'den değiştirilmiştir)

Fluorite samples were classified separately as pure fluorite and separated fluorite respectively in Hayriye region (Uras et al., 2020). The selected crystals were ground in agate mortar, packed in 5 grams. 12 samples were sent to Acme Laboratories (Vancouver-Canada) for rare earth element analyzes were made by LIBO2 fusion with ICP-MS method.

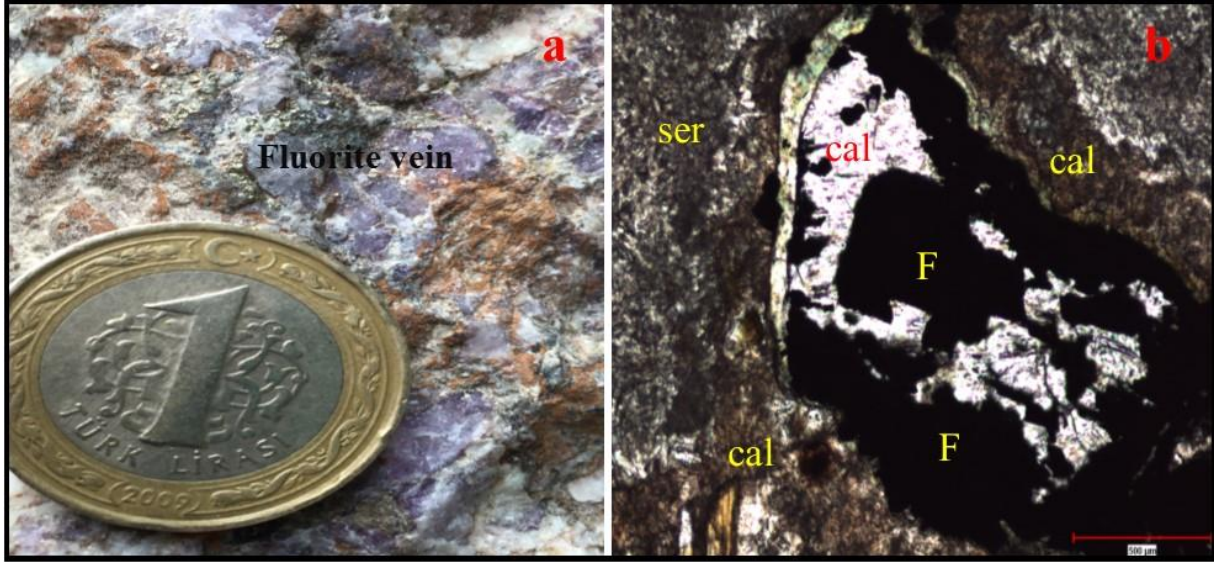


Figure 2. a. General view of fluorite vein, b. Polarizing microscope image of fluorite and host rocks; Abbreviatin: calcite (cal), fluorite (F), sericite (ser)

Şekil 2. a. Florit damarının görünümü, b. Florit ve yan kayacın polarizan mikroskop görüntüsü; Kısaltmalar: kalsit (cal), florit (F) serisit (ser)

% Fluorite and Rare Earth Element (REE) analysis values of 12 fluorite samples observed in the southern of Hayriye (Felahiye-Kayseri) were evaluated in correlation matrix and regression analysis with using Microsoft Excel.

Statistical Analysis

The average F% (Table 1) of Hayriye fluorites with F% values between 12.2-35.8 is 19.72. REE (Table 1) contents of fluorites vary between 0.02 and 8.2 ppm and there is 443.5 ppm Σ REE in total (Uras et al., 2020).

Table 1. % F and REE analyzes of Hayriye fluorites (from Uras et al., 2020).

Çizelge 1. Hayriye floritlerinin % F ve NTE analizleri (Uras vd., 2020'den alınmıştır).

SAMPLE	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12
F (%)	21.69	12.2	13.05	14.09	18.8	35.8	20	19.88	20.5	19.78	21.2	19.67
La (ppm)	3.4	5.1	4.6	4.2	4.9	5.3	2.8	2.6	3.7	2.3	2.9	3.4
Ce (ppm)	6	8.2	6	7	7.5	5.1	5.3	6.4	5.6	6.2	5.9	6.2
Pr (ppm)	0.97	1.12	0.91	0.82	1.09	0.84	0.85	0.9	0.9	0.84	0.99	0.87
Nd (ppm)	4.6	4.5	3.8	3.4	3.2	3.9	4.3	4.3	4.3	3.2	3.5	4.1
Sm (ppm)	1.26	0.84	0.72	0.82	0.71	1.11	1.11	1.29	1.06	1.27	1.33	1.32
Eu (ppm)	0.32	0.18	0.14	0.12	0.14	0.24	0.27	0.34	0.31	0.31	0.33	0.41
Gd (ppm)	1.85	0.9	0.75	0.82	0.78	1.44	1.64	1.74	1.53	1.58	1.59	1.61
Tb (ppm)	0.32	0.15	0.12	0.11	0.12	0.24	0.28	0.33	0.27	0.31	0.33	0.35
Dy (ppm)	2.02	0.91	0.79	0.64	0.74	1.47	1.6	2.16	1.69	2.12	3.1	3
Ho (ppm)	0.4	0.2	0.18	0.14	0.18	0.21	0.39	0.44	0.38	0.41	0.44	0.51
Er (ppm)	1.07	0.59	0.38	0.28	0.45	0.71	0.99	1.16	0.95	1.15	1.16	1.21
Tm(ppm)	0.12	0.05	0.05	0.05	0.06	0.1	0.1	0.12	0.1	0.11	0.13	0.15
Yb (ppm)	0.66	0.32	0.24	0.34	0.31	0.49	0.58	0.62	0.61	0.59	0.61	0.66
Lu (ppm)	0.08	0.04	0.03	0.02	0.09	0.07	0.07	0.08	0.07	0.09	0.1	0.08
Y (ppm)	25	14.3	13	12	13.2	24.3	24.5	25.8	22.2	24.4	25.5	23.6
Ce/Ce*	0.8	0.8	0.7	0.9	0.8	0.6	0.8	1.0	0.8	1.1	1.2	0.9
Eu/Eu*	0.6	0.6	0.5	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.6	0.7	0.8
ΣREE	44.67	32.3	27.11	26.56	28.57	40.22	41.98	45.68	39.97	42.58	33.85	40.01

When the arithmetic mean of REE are examined, Y has a maximum value with 20.65 and Lu has a minimum value with 0.006. This displays that the Hayriye fluorites are poor in terms of REE. The formation of fluorites according to REE chemistry shows hydrothermal waters circulating along the fracture lines. A limited amount of enrichment is observed in terms of Eu in Hayriye fluorites. Negative Ce anomaly means high oxygen fugacity (Uras et al., 2020).

REE analysis results of fluorites (Uras et al., 2020) were evaluated with the help of the correlation calculation function in the “Data Analysis” submenu of Microsoft Excel's “Tools” menu. As a result of this evaluation, it was determined that a high positive correlation was observed between Tb-Er, Tb-Sm, Tb-Eu, Gd-Yb, Tb-Tm and Tb-Yb respectively (Table 2).

Table 2. Correlation matrix of Hayriye fluorites according to REE results.

Çizelge 2. NTE sonuçlarına göre Hayriye floritlerinin korelasyon matrisi

REE	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
La	1,00														
Ce	0,36	1,00													
Pr	0,39	0,68	1,00												
Nd	-0,02	-0,13	0,11	1,00											
Sm	-0,75	-0,51	-0,35	0,24	1,00										
Eu	-0,70	-0,47	-0,26	0,35	0,94	1,00									
Gd	-0,73	-0,62	-0,35	0,41	0,94	0,91	1,00								
Tb	-0,76	-0,54	-0,30	0,32	0,98	0,98	0,96	1,00							
Dy	-0,69	-0,43	-0,19	0,13	0,93	0,93	0,81	0,93	1,00						
Ho	-0,83	-0,43	-0,23	0,30	0,90	0,97	0,88	0,96	0,92	1,00					
Er	-0,79	-0,45	-0,20	0,30	0,95	0,97	0,93	0,98	0,92	0,97	1,00				
Tm	-0,67	-0,55	-0,31	0,22	0,95	0,97	0,91	0,97	0,95	0,93	0,94	1,00			
Yb	-0,75	-0,56	-0,35	0,34	0,95	0,95	0,97	0,97	0,86	0,92	0,94	0,94	1,00		
Lu	-0,51	-0,30	0,12	-0,11	0,68	0,68	0,66	0,72	0,71	0,69	0,75	0,74	0,69	1,00	
Y	-0,68	-0,67	-0,36	0,31	0,94	0,89	0,97	0,96	0,83	0,85	0,92	0,91	0,93	0,72	1,00

% F and REE were used for regression analysis. In the regression analysis, the standard error was 0, and it was determined that F% and REE results were directly related (Table 3).

RESULTS AND DISCUSSION

Yazıcı et al., (2021) established interpretations of the major and trace element contents prepared from marbles by applying the Pearson correlation coefficient. They still proved by regression analysis that CaO, which plays a significant role in the formation of marbles, has a strong negative correlation with SiO₂ and MgO. Atakoğlu and Yalçın (2021) explained the statistical properties of Sutlegen (Antalya) bauxite according to their REE content and set up thematic maps with the Krigging interpolation method.

Table 3. Regression analysis in Hayriye fluorites.
 Çizelge 3. Yeşilyurt floritlerinin regresyon analizi.

Regression Statistics					
Sample Number	R	R square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	
12	1	1	65535	0	
ANOVA					
	df	SS	MS	F	Sig.
Regression	15	398,9387667	26,59591778	-	-
Residual	0	0	65535		
Total	15	398,9387667			

When the statistical results of F% and REE values of Felahiye (Kayseri) fluorites and correlation analysis of REEs are evaluated; Fluorites are poor in terms of REE. When the arithmetic means of REE values are examined, Y has a maximum value with 20.65, and Lu has a minimum value with 0.006 respectively. The standard error is 0 as a result of regression analysis. % F values are closely related to REE compositions, According to the correlation matrix results, it was determined that element Tb has high positive correlation with many elements.

Statistical approaches in terms of fluorite-REE relation will lead to subsequent studies. After the statistical evaluation of all geochemical analyzes, the fluorite-REE relations will be further acceptable with the creation of thematic maps.

ACKNOWLEDGEMENT

This paper is restricted to the memory of the late Prof. Dr. İSMAİL ALTAY ACAR.

REFERENCES

Agterberg, F.P., 2012. Sampling and analysis of element concentration distribution in rock units and orebodies. *Nonlinear Processes in Geophysics* 19, 23–44.

- Altuncu, S., 2009. Türkiye Florit Yataklarının Oluşumlarının Karşılaştırmalı İncelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (in Turkish).
- Atakoğlu, Ö.Ö., Yalçın, M.G., 2021. Geochemical characterization of the Sutlegen bauxite deposit, SW Antalya. *Mining of Mineral Deposits*, 15(3), 108-121. doi:10.33271/mining15.03.108.
- Bau, M., Dulski, P., 1996. Distribution of yttrium and rare-earth elements in the Penge and Kuruman iron-formations, Transvaal Supergroup, South Africa, *Precambrian Research*, Volume 79, Issues 1–2, 37-55, ISSN 0301-9268, [https://doi.org/10.1016/0301-9268\(95\)00087-9](https://doi.org/10.1016/0301-9268(95)00087-9).
- Bredikhina, S.A., Mel'gunov, S.V., and Rikhvanov, L.P., 1992. Rare Earth Elements in Fluorites from Genetically Different Deposits, *Geol. Geofiz.*, 9, 102–113.
- Bredikhina, S.A., Borisenko, A.S., Bobrov, V.A., and Cherepanov, A.A., 2000. Rare Earth Elements in Fluorites from the Central Aldan and Their Strontium Isotope Composition, *Geol. Geofiz.*, vol. 41, no. 2, 181–187.
- Carranza, E.J.M., 2009. Geochemical anomaly and mineral prospectivity mapping in GIS. *Handb. Explor. Environ. Geochem.* 11.
- Cheng, Q., Agterberg, F.P., Ballantyne, S.B., 1994. The separation of geochemical anomalies from background by fractal methods. *J. Geochem. Explor.* 51, 109–130. [https://doi.org/10.1016/0375-6742\(94\)90013-2](https://doi.org/10.1016/0375-6742(94)90013-2).
- Cheng, Q., Xu, Y., Grunsky, E., 2000. Integrated spatial and spectrum method for geochemical anomaly separation. *Nat. Resour. Res.* 9, 43–51. <https://doi.org/10.1023/A:1010109829861>.
- Cheng, Q., 1999. Multifractal interpolation. In: Lippard, S.J., Naess, A., Sinding-Larsen, R. Trondheim (Eds.), *Proc. Fifth Annual Conf. Internat. Ass. Math. Geol*, pp. 245–250. Tapir Akademisk Forlag, Norway.

- Cheng, Q., 2007. Mapping singularities with stream sediment geochemical data for prediction of undiscovered mineral deposits in Gejiu, Yunnan Province, China. *Ore Geology Reviews*, 32(1), 314–324.
- Coşanay, P., Varol, E., Çevik, N., Kızıllkanat, C., Mutlu, H., Koç, Ş., 2017. Geochemical, Microthermometric and Isotopic Constraints on the Origin of Fluorite Deposits in Central Anatolia, Turkey, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 26(3), 206-226.
- Grammaccioli, CM., Diella, V., Demartin, F., 1999. The role of fluoride complexes in REE geochemistry and the importance of 4f electrons: Some examples in minerals. *Eur J Mineral*, 11: 983–992.
- Genç, Y. 2006. Genesis of the Neogene Interstratal Karst-Type Pöhrenk Fluorite-Barite (Lead) Deposit (Kırşehir, Central Anatolia, Turkey), *Ore Geology Reviews*, 29, 105-117.
- Göncüoğlu, M. C., Toprak, V., Kuşcu, İ., Erler, A., Olgun, E., 1991. Geology of the Western Part of the Central Anatolian Massif, Part 1: Southern Section, Unpubl. Report No. 2909. Ankara, Turkey: Turkish Petroleum Company (in Turkish). C. D. Smith and E. F. Jones, “Load-cycling in cubic press,” in *Shock Compression of Condensed Matter-2001*, AIP Conference Proceedings 620, edited by M. D. Furnish *et al.* (American Institute of Physics, Melville, NY, 2002), pp. 651–654.
- Grappin, C., Treuil, M., Yaman, S., and Touray, J.C., 1979. Le spectre des Terres rares de la fluorine en tant que marqueur des propriétés du milieu de dépôt et des interactions entre solutions mineralisantes et roches sources. Exemple pris dans le district de la Marche Occidentale (France), *Miner. Deposita*, 14, 297–309.
- Hawkes, H.E., Webb, J.S., 1962. *Geochemistry in mineral exploration*. New York: Harper and Row
- Irber, W., Bau, M., Moller, P., 1996. Experimental leaching with cation exchange resin: a method to estimate element availabilities in geological samples. *J. Conf. Abstr.* 1, 280.
- Kadıoğlu, Y.K., Dilek, Y., Foland, K.A., 2006. Slab Break-off and Syn collisional Origin of the Late Cretaceous Magmatism in the Central Anatolian Crystalline Complex, *Geological Society of America, Special Paper No.409*, 381-415.

- Koç, Ş., Özşahin, A., Özmen, Ö. 2007. A Comparison Between Fluorite Mineralizations in the Central Anatolian Massif in Regard to Trace Element Contents, *Geochemistry International*, 45(5), 509-517.
- Kolonin, G.R., Shironosova, G.P., 2007. REE distribution between fluorite and ore-forming fluid based on results of thermodynamic modeling. *Doklady Earth Sciences* 414, 661–665.
- Li, Ch, Ma, T., Shi, J., 2003. Application of a fractal method relating concentrations and distances for separation of geochemical anomalies from background. *J. Geochem. Explor.* 77, 167–175. [https://doi.org/10.1016/S0375-6742\(02\)00276-5](https://doi.org/10.1016/S0375-6742(02)00276-5).
- Lindagato, P., Li, Y., Yang, G., Duan, F., Wang, Z., 2018. Application of geostatistical analyst methods in discovering concealed gold and pathfinder elements as geochemical anomalies related to ore mineralization. *Geologos* 24, 95–109. <https://doi.org/10.2478/logos-2018-0010>.
- Madani, N., Sadeghi, B., 2019. Capturing Hidden Geochemical Anomalies in Scarce Data by Fractal Analysis and Stochastic Modeling. *Nat Resour Res* **28**, 833–847. <https://doi.org/10.1007/s11053-018-9421-4>
- Marchand, L., Joseph, D., Touray, J.C., and Treuil, M., 1976. Creteres d’analyse geochimique des gisements de fluorine basee sur l’etude des distributions des lanthanides, application aux gites de Mine (Cordes France), *Miner. Deposita*, 11, 357–379.
- Möller, P., Parekh, P.P. and Schneider, H.J., 1976. The Application of Tb/Ca, Tb/La Abundance Ratios to Problems of Fluorspar Genesis. *Min. Deposits*, (11), 111-116.
- Möller, P., Morteani, G., 1983. On the Geochemical Fractination of Rare Earth Elements During the Formation of Ca Minerals and its Application to Problems of the Genesis of Ore Deposits in Augustiths”, In: S.S. (Ed)., *The Significance of Trace Elements in Solving Petrogenetic Problems and Controversies*. Theophrastus Pub, p. 747- 791, Athens.
- Möller, P., Giese, U., Dulski, P., 1994. Behaviors of REE in alteration processes of granites. In: Seltmann, R., Kämpf, H., Möller, P. (Eds.), *Metallogeny of Collision Orogens*. Czech Geological Survey, Prague, pp. 368–375.

- Öztürk, H., Altuncu, S., Hanilçı, N., Kasapçı, C., Goodenough, K.M., 2019. Rare Earth Element-Bearing Fluorite Deposits of Turkey; An Overview, *Ore Geology Reviews*, 105, 426-444.
- Pekov, I.V., Chukanov, N.V., Kononkova, N.N. et al. 2009. Tveitite-(Y) and REE-enriched fluorite from amazonite pegmatites of the Western Keivy, Kola Peninsula, Russia: Genetic crystal chemistry of natural Ca,REE-fluorides. *Geol. Ore Deposits* 51, 595–607. <https://doi.org/10.1134/S107570150907008>.
- Rub, M.G., Rub, A.K., and Akimov, V.M., 1986. Rare Metal Bearing Granites in the Central Sikhote-Alin Range, *Izv. Akad. Nauk SSSR, Ser. Geol.*, 7, 33–46.
- Rub, M.G., Rub, A.K., and Zayats, A.P., 1987. Rare Earth Elements as Indicators of the Granitoid Genesis and Ore Bearing Potential, *Geokhimiya*, 295, 5, 1224–1228.
- Saein, L.D., Afzal, P., 2017. Correlation between Mo mineralization and faults using geostatistical and fractal modeling in porphyry deposits of Kerman Magmatic Belt, SE Iran. *J. Geochem. Explor.* 181, 333–343. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2017.06.014>.
- Samson, I.M., Wood, S.A., Finucane, K., 2004. Fluid inclusion characteristics and genesis of the fluorite–parisite mineralization in the snowbird deposit, Montana. *Economic Geology* 99, 1727–1744.
- Schneider, H.J., Möller, P. and Parekh, P.P., 1975. Rare Earth Elements Distribution in Fluorites and Carbonate Sediments of the East-Alpine Mid Triassic Sequences in the Nordliche Kalkalpen. *Mineralium Deposita*, vol. 10pp.330-344.
- Scheider, H.J., Moller, P., Parekh, P.P., and Zimmer, E., 1977. Fluorine Contents in Carbonate Sequences and Rare Earths Distribution in Fluorites of Pb–Zn Deposits in East-Alpine Mid-Triassic, *Miner. Deposita*, 12, 22–36.
- Schwinn, G., Markl, G., 2005. REE systematics in hydrothermal fluorite. *Chemical Geology* 216, 235–248.
- Shaltami, O.R., Fares, F.F., Errishi, H., El Oshebi, F.M., Souza, R., 2021. Geostatistics – A Review. *Virtual Conference on Natural Gas*. Yekaterinburg, Russia. Shaw, D.M., 1961.

- Şaşmaz, A., Yavuz, F., 2007. REE Geochemistry and Fluid-Inclusion Studies of Fluorite Deposits from the Yaylagözü Area (Yıldızeli-Sivas) in Central Turkey, *Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen*, 183(2), 215-226.
- Tennant, C.B., White, M.L., 1959. Study of the distribution of some geochemical data. *Economic Geology*, 54(7), 1281– 1290.
- Tukey, J.W., 1977. *Exploratory data analysis*. Reading: AddisonWesley.
- Uras, Y. (2007). Pöhrenk (Kırşehir) florit yataklarının kökensel incelemesi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 119 s, Adana (in Turkish).
- Uras, Y., Yalçın, C., İlbeyli, N., Tapınç, B.G., 2020. Hayriye (Felahiye-Kayseri) Floritlerinin Nadir Toprak Element (NTE) Jeokimyası, Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 9(1): 461–471, doi: 10.28948/ngumuh.604350 (in Turkish).
- Yaman, S., 1985. Akçakent (Çiçekdağı-Kırşehir) yöresi Florit Yataklarının Jeolojisi ve Sıvı Kapanım Çalışmaları, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 22, 73-78 (in Turkish).
- Yazıcı, I., Yalçın, M. G., Atakoglu, O. O., Yalçın, F., 2021. Multivariate Statistical Evaluation of Geochemical Properties of “Alanya Emperador Dark” Marbles. *Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation*, 8(3), 361-372.
- Zuo, R., Wang, J., 2016. Fractal/multifractal modeling of geochemical data: a review. *J. Geochem. Explor.* 164, 33–41. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2015.04.010>.
- Zuo, R., Xiong, Y., Wang, J., Carranza, E.J.M., 2019. Deep learning and its application in geochemical mapping. *Earth Sci. Rev.* 192, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.02.023>.



Depremler Kayada Yıkamaz ve Ovalar Stratejik Ürün Kaynağıdır

Earthquakes Don't Demolish In/On Rock And Soil Plains are Source of Strategic Product

İLYAS YILMAZER¹ ORCID 0000-0003-2072-0665

ÖZGÜR YILMAZER¹ ORCID 0000-0003-0121-4273

YASEMİN LEVENTELİ^{2*} ORCID 0000-0003-3714-4131

¹Atac Müh., Prof.Dr. Ahmet Taner Kışlalı Mah., 2866 Cad. 35/A Çayyolu, Çankaya/Ankara

²Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Antalya

Geliş (received): 01.06.2022

Kabul (Accepted): 07.06.2022

ÖZ

Depremler sadece ovada yıkar. Kayada yıktığına dünyadan da örnek yoktur. Ovalar stratejik ve organik ürünlerin ana kaynağı olup hukuk devletlerinde anayasa, yasa ve tüzüklerle koruma altına alınmıştır. Yarım asırdır süren bu uğraşı özellikle 1999 sonrası uluslararası düzlemde de artan ivmeyle kavranmaktadır. Çok iyi bilinen 5 temel dayanak ilke anımsandığında, sıradan insanların da anlayabildiği kurama karşı koyanlar da kısa süre sonra direnç göstermenin gereksiz olduğunu, göreceklerdir. Bu ilkelerden en yalını: deprem enerjisi cisimcik ve/veya molekül devinimiyle kinetik enerji [$E_k = (1/2) m v^2$] harcayarak dalgalar halinde ilerler. Tıpkı havuzdaki dingin suya atılan bir taşın çıkardığı dairesel dalgalar gibi. Suyu doygun kaya ve toprak zeminde hızlar sırasıyla 3000 ve 150 m/s olduğunda hızın bağımlı değişkeni olarak " $E_{kK}(v_K)/E_{kT}(v_T)$ " oranı 400 olur. Başka bir anlatımla; kayada birim zamanda 400 kat daha büyük enerji harcanır. Çekme dayanımı en zayıf kayada küçük de olsa bir değere sahiptir. Oysa suya doygun toprakta kolaylık için (0,00000...1) yerine "0,0" alındığında çekme gerilmeleri oranı " $\sigma_{çK}/\sigma_{çT}$ " sonsuza gider. Sıkıştırma gerilmesinde bu oran 1000 dolaylarındadır. Suyu doygun ortamda Young, hacimsel ve makaslama modülü değerleri oranı da 1000'ni aşmaktadır. Sıvılaşma durumunda ise sonsuza gitmektedir. Başka bir anlatımla kayada sıvılaşma olasılığı sıfır iken suya doygun toprakta küçüğe olsa rakamsal değeri ifade eder. Bu bağlamda, kaya zeminlerin toprak zeminlere üstünlüğü (O_{sT}/O_{sK}) sonsuza gider.

En sık karşılaşılan soruya yanıtın özünü çok bilinen 1999 Kocaeli depremi (derinlik=17 km, B=7,6) üzerinden anlatmak gerekirse; deprem merkez üssü bitişiğinde ve kaya zemin üzerindeki yapılaşmada hiçbir sorun çıkmazken 200 km uzaktaki Tekirdağ ovalarında büyük kayıplar yaşanmasının nedeni ne olabilir? (a) Kayadan toprak zemine geçişte birim zamanda yüklenen enerji toprakta ilerleyen enerjinin 400 katıdır. Başka bir anlatımla dokunakta ve toprak tarafında birim zamanda biriken enerji 399 kattır. Toprak zeminde dalga boyunda değişim olmayacağından

yüklene enerji genlik büyümesiyle harcanır. Bu da ovada 10'larca saniye süren büyük sarsıntılara ve dolayısıyla mal ve can kayıplarına neden olur. (b) Toprak zeminden (ovadan) kayaya geçişte ise; topraktan kayaya birim zamanda yüklenen enerjinin 400 katı iletilebilecektir. İlgili kayada da dalga boyu değişmeyeceğinden enerji sönümlenmesi genliğin küçülmesiyle gerçekleşir. Sonuç olarak da yıkım söz konusu bile olamaz.

Sonuç olarak insanlar depremin ne zaman ve/veya nerede olacağıyla değil malına ve canına zarar gelip gelmeyeceğiyle ilgilenir. Bu da insani bir haktır. Binalar her koşulda ilgili uluslararası kodlara uyarak yapılacaktır. Bu tür sorunları sorun olmaktan çıkarmak için bilim ve sanatı kılavuz edinmek yeterlidir.

Anahtar Sözcükler: Deprem, kaya, toprak (ova), emniyet, stratejik ürün, ulusal servet.

Yasemin LEVENTELİ leventeli@akdeniz.edu.tr

Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Antalya

ABSTRACT

Earthquakes cause disaster only in soil plains. As far as the author's team reached a case of casualty in/on rocky grounds could not been experienced. Moreover, soil plains are unique source of strategic and organic products. Hence, such farm lands are protected by supreme court, legislation, and regulations in constitutional state. The ongoing struggle for half a century has been respected with higher acceleration particularly since 1999. The ones who resist to realize the explicit facts, which could be understood by an ordinary person upon remembering the 5 basic principles, recognize the significance of the subject. One of the principles is that earth quake energy propagates in particle and/or molecule motion by spending kinetic energy $E_{kR}(v_R)/E_{kS}(v_S)$. Just as the wave propagating circularly created by a stone dropped into the still pool water. In case of a saturated rock and soil, seismic velocities would be 3000 and 150 m/s respectively, the ratio " $E_{kR}(v_R)/E_{kS}(v_S)$ " of the respective kinetic energies as dependent function of velocity would be 400. In other words, 400 times more energy would be spent in rock at a unite time. Moreover, tensile strength of a very weak rock is a value whereas that of saturated soil approaches zero. So, the ratio " σ_{tR}/σ_{tS} " goes to infinity. In case of compressive strength, the ratio is around 1000. Similarly, relative ratios of elastic properties, including Young's modulus, bulk modulus, and shear modulus, exceeds 1000. In the event of liquefaction, it goes to infinity. In other words, probabilities of liquefaction in saturated rocks and soils orderly are zero and a value. Hence, superiority of rock (P_{IS}/P_{IR}) becomes infinite.

A concise answer to the frequent question by audients could be given over the well-known Kocaeli 1999 earthquake (Depth=17 km, $M_w=7.4$). What is the reason behind that the earthquake did not demolish the settlements on rocky grounds adjacent to the epicenter whereas it caused a disaster of epic proportions in thick soil plains even at 200 km far as the case Tekirdağ's fertile soil plains? (a) Seismic wave in rock induces 400 times more kinetic energy into the soil per unit time and 1/400 would be transmitted in soil. Since the wave length, specific to that soil, remains constant. The induced excess energy (399) is spent by amplification

(increase in amplitude) which results in strong and destructive quakes with duration of tens of seconds. (b) On the contrary, seismic wave propagating in soil induces unit energy per unit time into the rock and rock transmits 400-unit energy. By virtue of that the wave length, specific to that rock, remains constant. Consequently, the deficiency of energy is counterposed by reduction in amplitude which in turns result in very small quakes with duration of a few seconds. Then, it ceases out quickly.

Conclusively, people do not interest when and where an earthquake will hit. Their main concern is whether they can save lives and properties from the forthcoming earthquake. Anyway, buildings have to be constructed in accordance with respective international codes. Consequently, problems pertinent to earthquake could be overwhelmed by respecting science and art.

Keywords: *Earthquake, rock, soil (plain) safety, strategic products, national asset.*

GİRİŞ

“Depremler sadece ovada yıkar. Kayada yıktığına dünyadan da örnek yoktur. Ayrıca ovalar stratejik ve organik ürünlerin ana kaynağı olup hukuk devletlerinde anayasa, yasa ve tüzüklerle koruma altına alınmıştır.” kuramını anlamak güç değildir. Bilimsel temelde yapılan gözlemlere dayalı gelişen “**deneyim**” Einstein’ın 10 büyük yaşam dersinden biridir. Gözlem sonuçları yinelenişinde bilimseldir. Bu bağlamda binlercesinden seçilip aşağıda sunulan çarpıcı güncel örnekler güvenilir kanıtlardır.

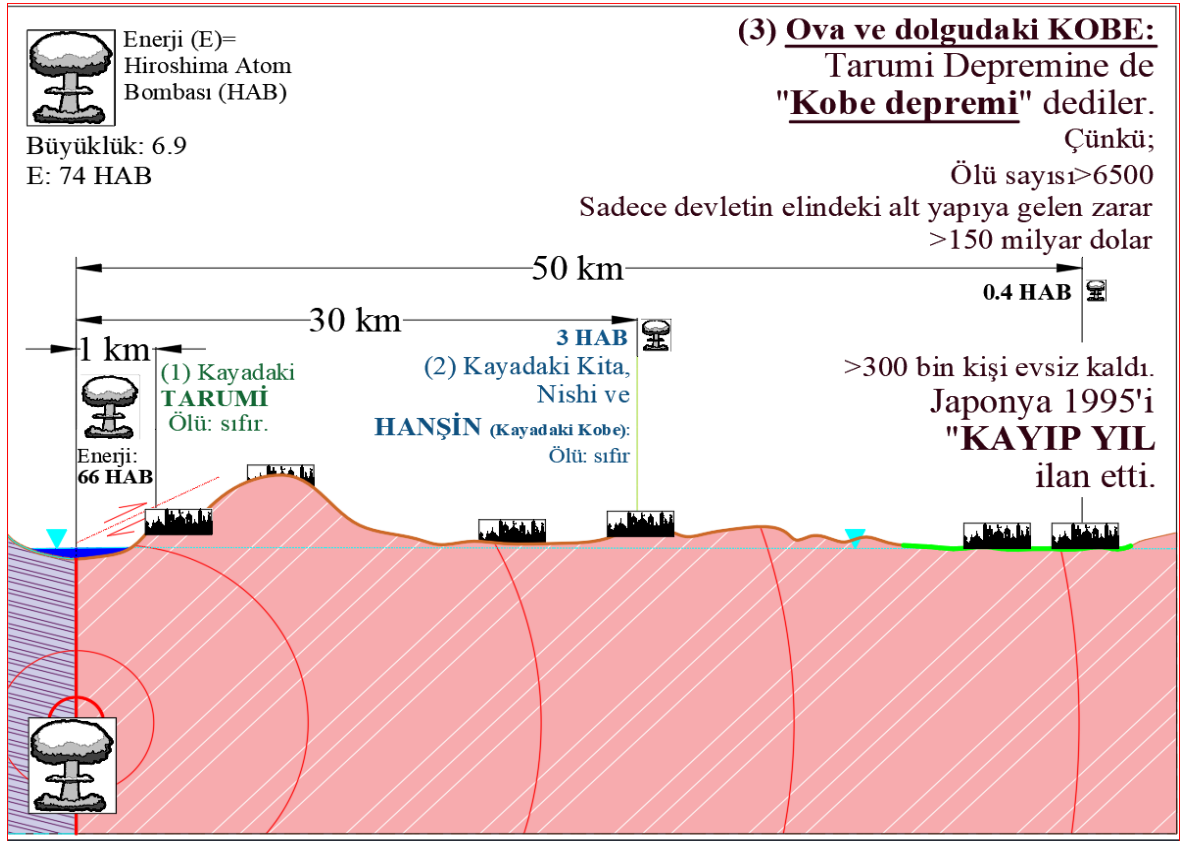
1. 17.01.1995 Tarumi depremi ($Der.=17,6$ km, $B (M_w)=6,9$); hemen yakın çevrede ve kaya üzerinde olan Tarumi, Nishi, Kita, Hanşin ve diğerlerinde ölü-yaralı sayısı sıfırdır. 1980 sonrası ovada büyüyen Kobe’de Tarumi depreminin enerjisi %1’in de altına düşmüşken [74 *Hiroşima Atom Bombası (HAB → 0,4 HAB)*] 6500 ölü ve 300 bin kişi de evsiz kalmıştır. Sadece devletin elindeki alt yapıya gelen zarar 150 milyar doların üzerinde olup 1995 yılı “Kayıp Yıl” olarak adlandırılmıştır (Şekil 1). Japonya’nın Doğu yarısının %100 ve batı kesiminin de %90 ve üzeri kaya zeminden oluşmaktadır.
2. Kayaköy (Fethiye); adından anlaşılacağı üzere kaya üzerine $t>3000$ yıl önce kurulmuş olup, yüzlerce deprem görmüş ve etkilenmiştir. 1957 depreminde ovadaki Fethiye’de 1500 ev yıkılırken Kayaköy’de hasar sıfırdır. Üzücüdür ki; bugün Fethiye’de yapılaşma birinci sınıf tarım ovalarında sürdürülmektedir.
3. Kulesiyle birlikte 39 m yüksekliğindeki Kızkulesi, Kuzey Anadolu fayının birinci derecede tehlikeli kuşağında yer almaktadır. 2500 yıl önce denizin içindeki kireçtaşı tektaş üzerine konuşlandığı için hasar almamıştır. 17.08.1999 Kocaeli depremini de hasarsız atlattır. Oysa 50-150 km daha uzaktaki Avcılar, Büyükçekmece ve Tekirdağ ovalarında büyük

kayımlara neden olmuştur. Depremi merkez üssüne birkaç km uzaktaki eski/yeni yerleşimlerde de yıkım (hasar) sıfırdır (Şekil 2).

4. Yazarların ekiplerinin katkısıyla 2000 yılı sonrası Van'da da ovaların yapılaşmaya yasaklanması ve yapılaşmaya en uygun alanların belirlenmesi çalışmaları tamamlanmıştır. Ova dışında belirlenen yeni ova dışı alanlar haritalar üzerine işlenerek Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi (YYÜ) aracılığıyla ilgili yöneticilere sunulmuştur. Ayrıca yerel TV'ler aracılığıyla kamuoyu yaratılmıştır. Van'da da toplu konutlar, halkın da desteğiyle ovoidan kayaya çıkarılmıştır. Çünkü bölgede 35 senede 1 olan 7 ve üzeri büyüklüğündeki deprem 2011 dolaylarında olacaktı. Bir önceki son deprem 1976 yılında Çaldıran'da olmuştur ve sadece ovalarda yıkımını yapmıştır. 2011 Van depreminin merkez üssü Tabanlı köyünün bitişiğindeki taban (ova=toprak) sahadadır. Ovanın bitişiğindeki ($L_{\text{merkezüssü}} \sim 100$ m) kaya üzerine kurulan Tabanlı köyünde ölü-yaralı sıfırdır. Köylüler “her yağışlı dönemde (>6 ay boyunca) ova çamur oluyor” diye yamaç ve eteğine yerleşmişlerdir. Buna karşın “ $L > 120$ km” uzaktaki Muş ili Bulanık ilçesinin Soğuksu ovasındaki 15 köyün tamamı yıkılmıştır. En büyük kayıp ise Zilan deresinin oluşturduğu Sulumahalle deltasında yaşanmıştır (Şekil 3; Şekil 4). Kayaya çıkarılan toplu konutlarda ise hasar sıfırdır (Şekil 5). Ayrıca, birinci ve ikinci yıkıcı deprem merkez üslerine uzaklık sırasıyla 38 ve birkaç km'dir.

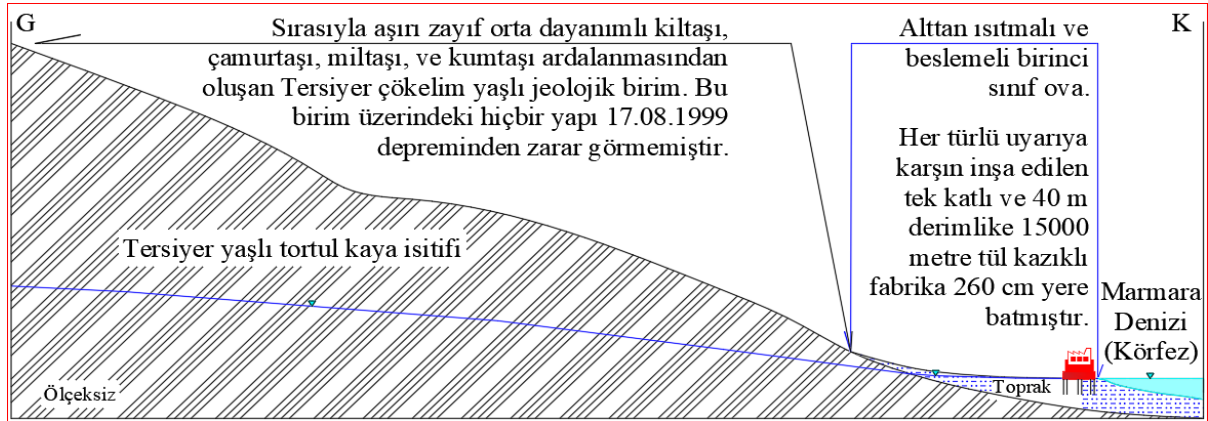
Aynı bölgede kireçtaşı üzerine konuşlandırılan kale 3000 senedir ayakta iken, kaleyi çevreleyen ovada 4 medeniyet gömülmüş ve yok olmuştur. 1954'te İpekyolu kayadan Harçot ovasına indirilince, şehir de zamanla kayadan yol boyuna inmiştir. Ovaları yok etmenin en kestirme yolu karayolunu ovalardan geçirmektir [*Ankara-İstanbul otoyolunun 255 km'si birinci sınıf Kuzey Anadolu Fayı (KAF) ovasının ortasından geçirilmesi de ovaları yok etme projesinin bir parçasıdır. Bolu dağı geçişinde tünel ve viyadüklü geçişin tekrar ulaşımına kapanması için deprem beklenmeyecektir. Yazarlar ve ekipleri 1985'ten beri bu tehlikeyi anlatırken, 160 (80 eksen ve 80 yüksek standart kısıtlığı) km daha kısa olan öneriyi ilgililere sunmuşlardır. Bu uğraş da sürmektedir. Yer kaymaları ve yerinde tektonik gerilmelerin artması bu geçişin doğal özelliğidir.*].

Ayrıca bu bildiri de “Bir şekil 10 bin sözcüktür.” özdeyişine uyulmaya çalışılmış ve konunun mümkün olduğu kadar şekillerle anlatılmasına özen gösterilmiştir.



Şekil 1. 17.01.1995 Tarumi (Japonya) depreminin de kayada yıktığına tek bir örnek yoktur ve yaklaşık 50 km uzaktaki ovada 1980 sonrası gelişen Kobe'yi yıktığı için "Tarumi depremi" değil "Kobe depremi" diyerek deprem gerçeği bir kez daha bilerek (?) gizlenmiştir.

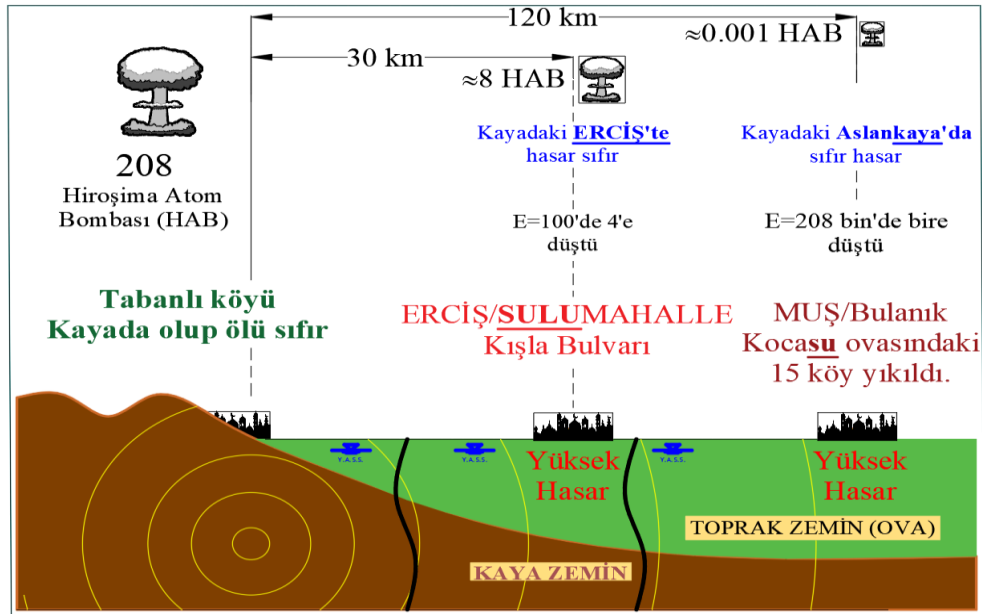
Figure 1. There is not a single example that the 17.01.1995 Tarumi (Japan) earthquake also destroyed the rock, and since it destroyed Kobe, which developed after 1980, on the plain, which is about 50 km away, the fact of the earthquake was deliberately (?) hidden once again by saying "Kobe earthquake", not "Tarumi earthquake".



Şekil 2. 17.08.1999 Kocaeli depreminin de kayada yıktığına tek bir örneğe ulaşılammıştır [17.08.1999, Mw: 7,6, Der.=17 km, Can kaybı 17 bin 480 ve alt yapıya gelen zarar 3,5 milyar dolar. Bütün bu acı kayıplar sadece ve sadece ovadaki yerleşimlerde gerçekleşmiştir. 5 yıl süren aydınlar grubunun uğraşına karşın birinci sınıf tarım ovasının kalbine yerleştirilen ve binlerce kazık (Ç=1,60 m, derinlik=40 m) üzerine oturtulan fabrika yenice işletmeye açılmıştı. Deprem anında sadece bekçi vardı. O da yaşamını yitirmiştir. Oysa içerisinden otoyol, devlet yolu ve hızlı tren geçen ayrıca, hava alanı ulaşımı da olan liman bağlantılı yer sunulmuştur. Kuzey Anadolu

fayının (KAF) ≈ 12 milyon senede oluşturduğu bu ovanın, başka bir yerde oluşturulmasının (ulusal servet) değeri trilyon dolarların üzerindedir. İklimiyle ve kotuyla yeni bir yer yaratılabilir. Ancak alttan ısıtan ve besleyen milyonlarca senedir devinimini sürdüren KAF yeni sahanın altına yerleştirilemez. Bütün can-mal kayıplarının ovalardaki yerleşimlerde olduğu günışığında olmasına karşın; Anayasa, yasa ve ilgili tüzükler çiğnenerek ulusal servet ovalar katledilmektedir. Bir sonraki depremde yurttaşlara gözyaşı ve gam bilim ve sanatı reddedenlerce yaşatılacaktır.].

Figure 2. Not a single example could be found that the 17.08.1999 Kocaeli earthquake destroyed on the rock [17.08.1999, Mw: 7.6, Depth=17 km, 17 thousand 480 casualties toll, and the damage to the infrastructure is 3.5 billion dollars. All these painful losses occurred only in settlements on the plain. Despite the efforts of the intellectuals group that lasted for 5 years, the factory, which was placed in the heart of the first-class agricultural plain and placed on thousands of stakes (D=1.60 m, Depth=40 m), was just put into operation. There was only a guard at the time of the earthquake. He has also died. However, there was a port-connected place with highway, state road and high-speed train passing through, as well as airport transportation. The value of creating this plain (national wealth) elsewhere, which was formed by the North Anatolian fault (NAF) in ≈ 12 million years, is over trillions of dollars. A new place can be created with its climate and elevation. However, you cannot place the NAF, which has been in motion for millions of years, heating and feeding from the bottom, under the new field. Despite the fact that all the loss of life and property was in the settlements on the plains in the daylight; the plains of national wealth are being slaughtered by violating the constitution, laws and related statutes. In the next earthquake, tears and sorrow for the citizens will be lived by those who reject science and art.].



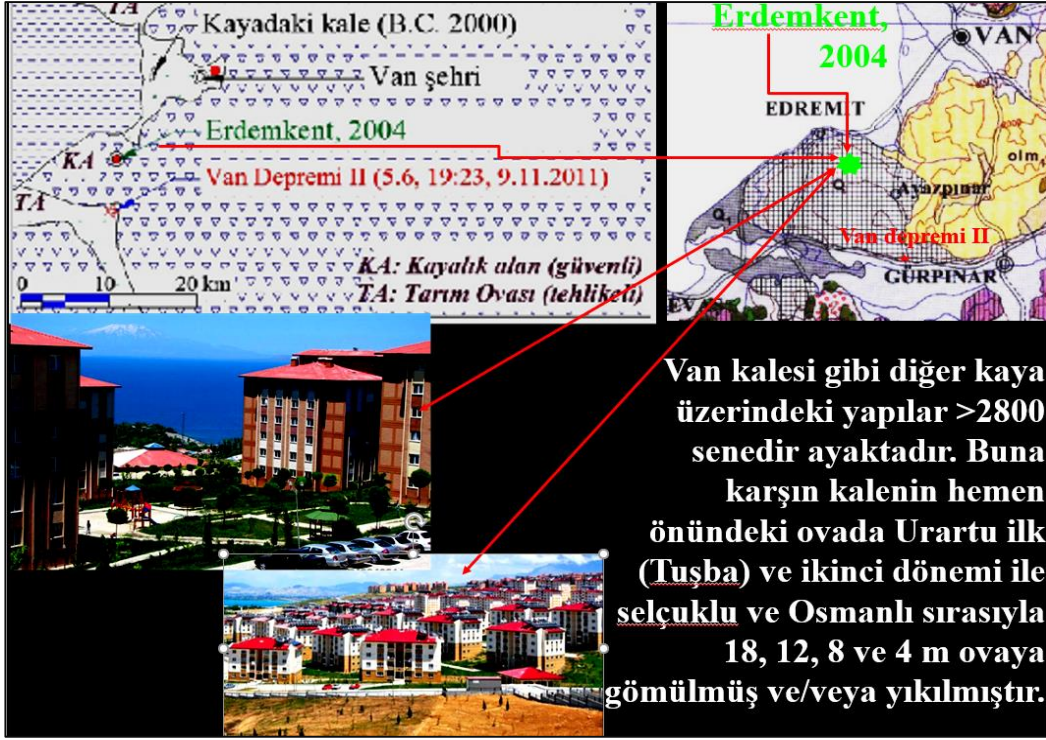
Şekil 3. Van depremi de tüm kıyımların sadece ovalarda olduğunu kanıtlamıştır [Tarihi kayıtlar ve güncel örneklerin tamamı depremlerin sadece ovarda (özellikle kalınlığının 20 m'den fazla ve yeraltısuyu tablasına derinliğin 20 m'den az olduğu toprak zeminlerde) kıyımlara neden olduğunu kanıtlamaktadır.].

Figure 3. The Van earthquake also proved that all the massacres took place only in the plains [Historical records and all the current examples prove that earthquakes caused massacres only in the plain (especially in soils where the thickness is more than 20 m and the depth to the groundwater table is less than 20 m).].



Şekil 4. Ovanın çamurundan kurtulmak için evlerini yamaç eteği ve yamaca kuran Tabanlı köylüleri depremi can kaybı ve yaralanma olmadan atlarken harçsız taş duvarları (a,b,c) ve toprak dolgu barajları da (d) sorunsuzdur.
Figure 4. The villagers of Tabanlı, who built their houses on the slopes to get rid of the mud of the plain, survived the earthquake without loss of life or injury, while the stone walls (a,b,c) and earthfill dams without mortar (d) are also without problems.

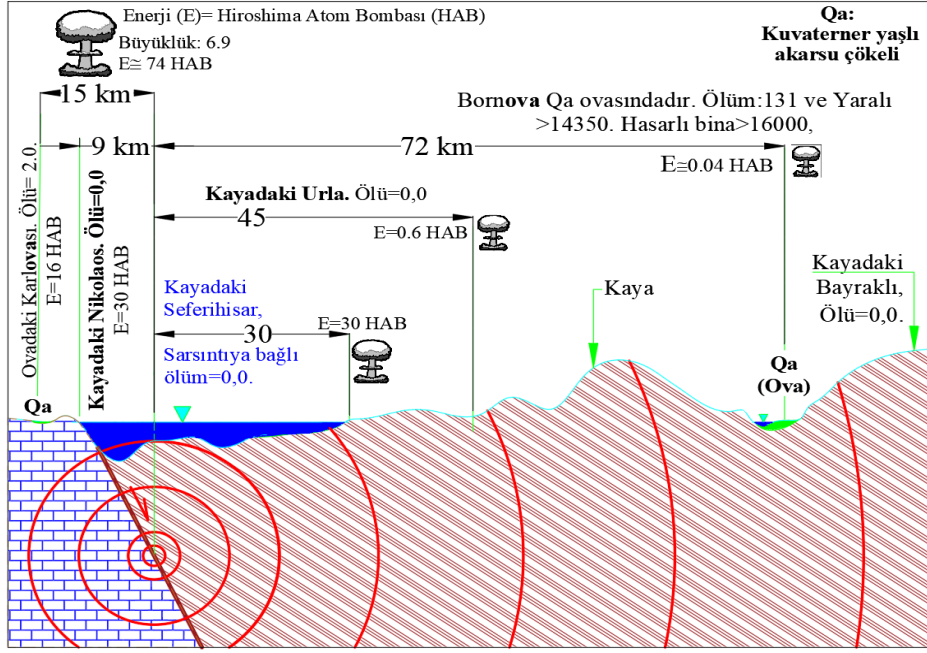
Van Harçot ovasındaki Valilik binası için yapılan su sondajında, sondaj takımları on üçüncü metrede 5 m aşağı düşmüştür. Akarsu çökeli ovasında 18 m gömülü bu yapının, önemli bir Urartu yapısı olduğu arkeologlar tarafından belirlenmiştir. 10 Kasım 1938 sonrası “stratejik organik ürün kaynağı ulusal servet olan ovalar” katledilmeye başlanmıştır. 1950 sonrası ise artan ivmeyle süregelmiştir. Bunun nedeni “deprem gerçeğinin bilinçli(?) olarak gizlenmesidir”. Hala “Japonlar evlerini sağlam yapıyor.” diyerek ortalığa saçtıkları “ezberletilmiş zehri bu ülkede silmek yurttaşlıktan çok bir insanlık görevi olmalıdır.



Şekil 5. Sağlıklı yaşam koşulları içeren Erdemkent ve depremin merkez üssünün bitişiğinde kaya üzerine yerleştirildiği için yıkılmayan Tabanlı köyü (601 kişinin ölümü ve 4152 kişinin yaralanması ile büyük ölçekli mal kaybından çıkarılan ağır bedelli bir ders oldu).

Figure 5. Erdemkent, which has healthy living conditions, and Tabanlı village, which was not destroyed because it was placed on the rock next to the epicenter of the earthquake (It was a costly lesson to be learned from the massive loss of property with 601 deaths and 4152 injuries).

5. 30.10.2020 Samos depremi; Samos'un sadece Karlovası beldesinde 2 çocuğun ölümüne yol açarken geri kalan kayalık alanda ise hasar sıfırdır. Buna karşın, L>80 km uzaktaki Bornova'da (Burunova'da) 131 can kaybı ile 14350'den fazla yaralanma olmuştur (Şekil 6). Oysa 5 milyondan fazla insanın çağdaşça yaşayacağı manzaralı Yamanlar ve Dikmen kayalık alanları İzmir ovalarındaki yerleşimlerin bitişiğindedir. Ülke genelinde tarımsal araştırma ve geliştirmenin kalbi olan Bornova'nın, 1980 sonrası imara açılmasının nedeni de son derece açıktır. Üstelik de bu suç Anayasa (Madde: 43-46) ve ilgili yasa ve tüzükler-yönetmelikler çiğnenerek işlenmiş ve işlenmektedir.



Şekil 6. Samos (Sisam) depremini (03.11.2020, odak derinliği=11 km ve $M_w=6,9$) “İzmir depremi” diye anarak deprem gerçeği bilinçli(?) olarak gizlenmektedir [Ne kadar üzücüdür ki; deprem-kaya-toprak ayrımını yapamayanlar, yeni bir acıyı yaşatmak üzere resmi olarak çalışmalar yapmakla görevlendirilmiştir. Oysa yazarlar ve ekipleri ilgilileri defalarca bilgilendirmişlerdir. Bunu da yurttaşlıktan çok bir insanlık görevi sayarak; gizlenen deprem gerçeklerini tüm çıplaklığıyla anlatmışlar ve her koşulda da anlatmayı sürdürmektedirler.]

Figure 6. By calling the Samos (Sisam) earthquake (03.11.2020, depth=11 km and $M_w=6.9$) as “İzmir earthquake”, the earthquake fact is deliberately (?) hidden [How sad it is; those who could not distinguish between earthquake-rock-soil were officially assigned to work to inflict a new pain. However, the authors and their teams have repeatedly informed the relevant people. Considering this as a duty of humanity rather than citizenship, they explained the hidden earthquake facts with all their nakedness, and they continue to tell them under all circumstances.]

İLGİLİ BAZI ÖRNEK DURUMLAR

Deprem tehlikelerini önlemek, yaraları sarmaktan daha kolay ve daha insandır. Bunun için de, bilim ve sanatın kılavuz edinilmesi yeterlidir. Burada depremin yarattığı sarsıntıdan kaynaklanan tehlikeler söz konusudur. Tsunami (*denizlerde ortaya çıkan deprem dalgası*) tehlikesinden kurtulmak için olası dalga yüksekliğinin üzerindeki ova dışı alanların kullanılması, en kolay çözümdür. Zaten bu tehlike de sadece Pasifik Okyanusuna sınırı olan ülkelerle, Karayip denizi kuzey kesimindeki ülkeler için geçerlidir. Buralardaki dalma (yitme) kuşaklarındaki ters faylardan kaynaklanmaktadır.

Japonya Tohoku depremi (03.11.2011, Der.≈30 km, $M_w=9,1$)

9,1 büyüklüğündeki Tohoku depremi (03.11.2011) Japon yitme kuşağı (hengeği) üzerindeki Honshu'nun KD kıyısında ve 27 km derinde olmuştur (Şekil 7). Türkiye'de ana yayın

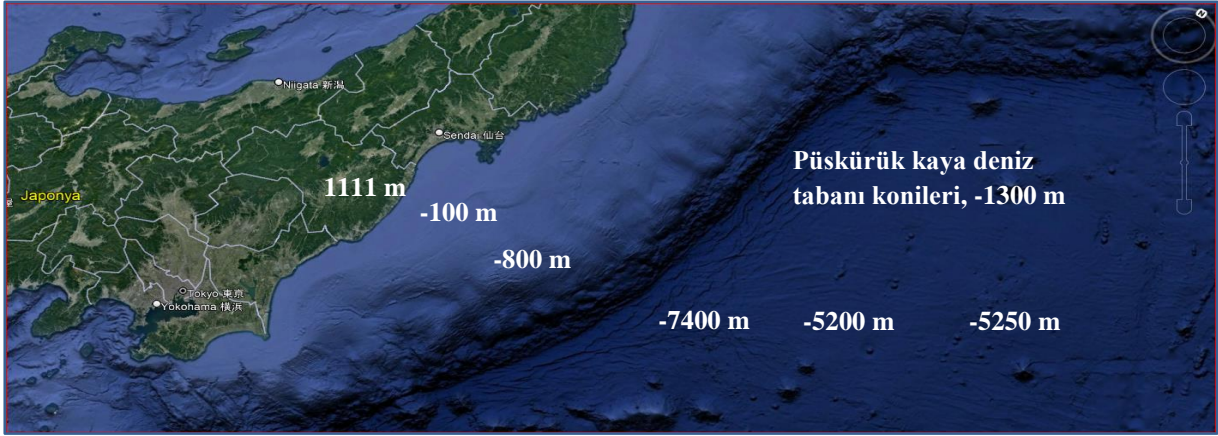
organlarında “*Bu kadar büyük bir depremde can ve mal kaybı olmadı. Çünkü evlerini sağlam yapıyorlar.*” diyerek deprem gerçeği yine aynı küme tarafından gizlenmeye çalışılmıştır. Oysa; 2021’de Japonya tarafından yapılan resmî açıklamaya göre Tohoku depreminde:

1. Can kaybı=19.747 kayıtlı ölü+2.556 ulaşılamayan ölü=**22.303**.
2. Yaralı: **6242**.
3. **228 bin 863** kişi evleri yıkıldığından başka uzak yerlerde yaşamak zorunda kaldılar.
4. Fukushima Daiichi nükleer santralının **20 km yarıçapı** (Ç=40 km) içerisindeki tüm yerleşimler boşaltılmıştır. Aynı şekilde Fukushima Daini nükleer santralının **10 km yarıçapı** (Ç=20 km) içerisindeki tüm yerleşimler boşaltılmıştır. Boşaltılan toplam alan≈**18 milyon 840 bin** dönümdür.
5. Sadece Japonya’ya maliyeti **220 milyar** doların üzerindedir. Kocaeli depreminde bu rakam **3,5-4 milyardır**.

Burada altı çizilmesi gereken nokta: Japonya’nın doğu kıyısında ova yoktur (bkz., Şek. 5). Çünkü kıta yükselmeyi sürdürmektedir. Örneğin 1964 Kodiak depreminde (27.03.1964, Der.=25 km, Mw=9,2) kıta 5 dakikada **11,5 m** yükselmiştir. Dolayısıyla ovaları yoktur. Bu kadar büyük bir depremde can kaybı sayısı 131’dir. Her iki depremde de tüm kıyımlar dalga yüksekliği 40 m’yi aşan tsunamiden dolayıdır. Sarsıntıdan kaynaklanan yıkım-ölüm yoktur.

Santiago (22.5.1960, Der.=33 km ve Mw=9,5)

Santiago (Şili): B=9.5, 22.5.1960; Bilinen en büyük depremdir. Büyüklüğü 7’nin üzerinde depremlerle birlikte 10 dakika sürekli sallanmıştır. And Dağlarının Pasifik kıyıları 10 dakikada 14 m yükselmiştir. Dolayısıyla ova oluşumu söz konusu değildir. Oluşan toprak, yüzey yıkamalarıyla okyanusa taşınmaktadır. Bu nedenle, tamamı kaya olan And Dağlarının üzerine kurulan Şili yerleşimlerinde tek bir can kaybı yoktur. 1655 can kaybı Asya, Japonya, Amerika ve Avusturalya sahil kentlerinde ve okyanusunda gerçekleşmiştir. Bu can kaybının nedeni de tsunamidir (Şekil 8; Şekil 9).



Şekil 7. Japonya'nın doğu kıyılarında Pasifik okyanusunun Japon kıtasının altına dalmasıyla toprak (ova) oluşumu yoktur [Kıyımlar sadece deprem dalgaları tarafından oluşturulmaktadır. Sarsıntudan kaynaklanan sorun yoktur.

Şek. 1'de sunulan Kobe ovası Japon kıtasının yaklaşık K-G doğrultuda kırılmasıyla oluşmuştur. Kobe denizi Marmara denizi gibi bir iç deniz olup tsunami yaşamamıştır. Burada en önemli nokta ova kenarına kurulan Hanşin kenti 20. yy'ın sonlarına doğru ovaya inmiştir ve denizi doldurarak yeni alanlar kazanmıştır. Doğa anadan aldıkları çok küçük bir deprem enerjisinde gerisin geri doğa tarafından alınmıştır. "Doğayı sev asla meydan okuma" yargısı bir kez daha doğrulanmıştır.].

Figure 7. On the east coast of Japan, there is no soil (plain) formation with the subduction of the Pacific Ocean under the Japanese continent [Crises are formed only by earthquake waves. There is no problem caused by vibration. The Kobe plain presented in Fig. 1 was formed by the rupture of the Japanese continent in an approximately N-S direction. Kobe Sea is an inland sea like the Marmara Sea and has not experienced a tsunami.

The most important point here is that the city of Hanshin, which was established on the edge of the plain, descended to the plain towards the end of the 20th century and gained new areas by filling the sea. In a very small earthquake energy they received from mother nature, they were taken back by it. "Love nature never challenge it" was once again confirmed.].

Sivrice Depremi (24.01.2020, Der.=10 km ve Mw=6,7)

Sivrice depremi de kıyımını ovalarda yapmıştır. Deprem merkez üssüne 29 km uzakta olan 4000 yıllık Harput'ta değil, 82 km uzaktaki Malatya'nın Battalgazi ovasında yıkımını gerçekleştirmiştir. Sivrice'de değil, Elazığ'ın Uluovası'nda büyük can ve mal kayıplarına neden olmuştur. Can kaybı 41 ve yaralı sayısı >1600'dür. Maddi kayıpların %80'i Uluova'da gerçekleşmiştir.

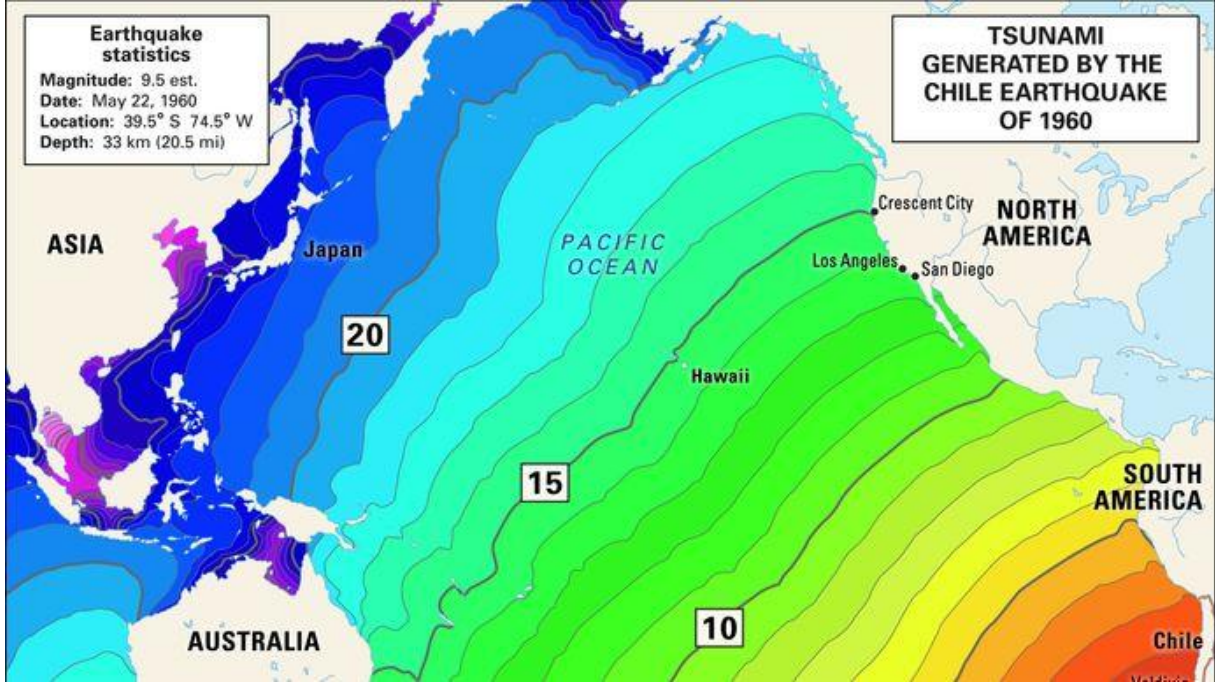
Düzce Depremi (12.11.1999, Der.=13,7 km ve Mw=8,2)

Gizlenen deprem gerçeğini en iyi kanıtlayanlardan biri de Düzce depremidir. Düzce, adından da anlaşılacağı gibi, Melen Irmağının getirdiği akarsu çökellerinin KAF'ın yarattığı çek-ayır çukurunun dolmasıyla oluşmuş, büyük bir ova içerisine 1880 yılında kurulmuştur. Birkaç km kuzeyinde ise ova dışına 4000 yıl önce kurulan Konuralp antik kenti bulunmaktadır (Şekil 10).

Konuralp antik kenti kurulduğundan günümüze tek bir afet yaşamamıştır. Buna karşın, Düzce 142 yılda 100'ün üzerinde taşkın (Yılmaz vd., 2022) ve deprem afeti yaşamıştır. Bu bölgede 1880 öncesi tüm yerleşimler ovayı çevreleyen kaya zemin üzerindedir. Çünkü ovada mevsimlik tarım yolları dışında yol yoktur. Her yıl özellikle yağışlı geçen 6 ay boyunca ulaşım olanakları; taşkınlar ve çamur nedeniyle sifıra yaklaşmaktadır. Yazın yüksek boylu çayırlardan (biçeneklerden) elde ettikleri ot, saman ve diğer tarım ürünlerini kullanarak/satarak geçimlerini sağlamışlardır. Köy ve devlet yolları da ova dışındadır (kaya üzerindedir).



Şekil 8. Bugüne dek bilinen ve kayıtlı en büyük deprem Santiago 1960 depremidir [Derinliği 3500 m olan okyanus tabanı Güney Amerika'nın altına dalmaktadır. Bu nedenle 7200 m dolaylarında derinliği olan yitme kuşağı hendeği oluşmuştur. Okyanus kabuğu kıta altına dalarken kıta kıyı boyunca yükselmektedir. Bu yükselmeye bağlı olarak kıyıya paralel uzanan And dağları oluşmuş ve yükselmesini sürdürmektedir. Sonuç: ova oluşumu yoktur.].
Figure. 8. The largest known and recorded earthquake to date is the Santiago 1960 earthquake [The ocean floor with a depth of 3500 m is subducting under South America. For this reason, a subduction zone trench with a depth of around 7200 m was formed. The continent rises along the coast as the oceanic crust plunges under the continent. Due to this elevation, the Andes Mountains, which extend parallel to the coast, were formed and continue to rise. Result: no plain formation.].



Şekil 9. 1960 Santiago depreminin yarattığı dalgalar 14 saatte Avusturalya ve Los Angeles, 23 saatte Japonya ve güney Asya kıyılarına ulaşmıştır [Kaynak: <https://learnodo-newtonic.com/chile-earthquake-1960-facts>].

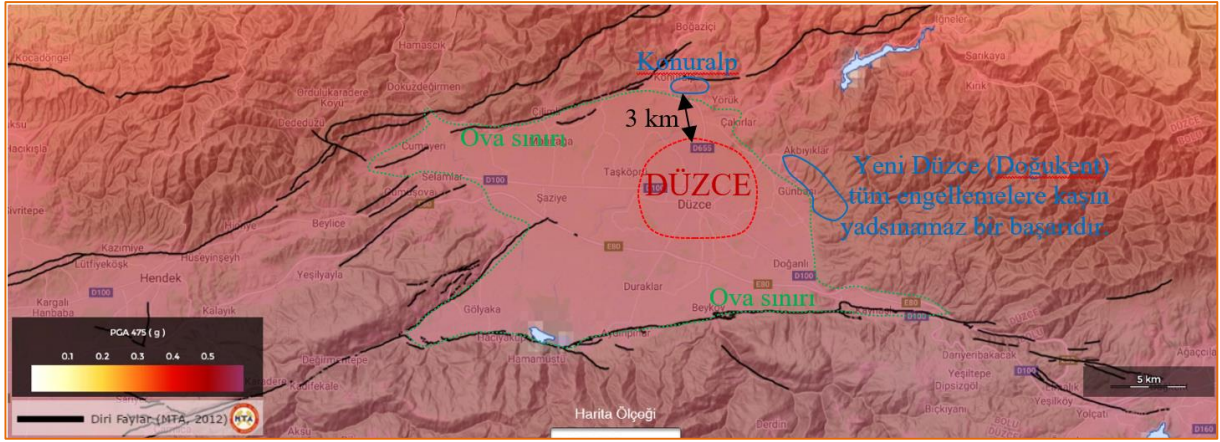
Figure 9. The waves created by the 1960 Santiago earthquake reached the coasts of Australia and Los Angeles in 14 hours, and Japan and south Asia in 23 hours [Source: <https://learnodo-newtonic.com/chile-earthquake-1960-facts>].

DEPREM GERÇEĞİ

Son yüzyılda gerçekleşen tüm kayıtlı ve yıkıcı depremler “gizlenen deprem gerçeğini” apaçık ortaya koymuştur (Yılmaz vd., 1999; 2004a-b; 2007; 2021; Yılmaz, 2003a-b; Leventeli vd., 2020). Söz konusu bu gerçekliğin, ilgililerce kavranmaması, içeride ve dışarıda masum halkların ölümlü afetler yaşamasının temel nedenidir. Yazarlar ve ekiplerinin yarım asırlık uğraşısı, özellikle gelişmiş ülkelerde olmak üzere, Türkiye’de de hızla başarıya ulaşmaktadır.

Yazarlar ve ekipleri tarafından, karar vericilere ve ilgililere yarım asırdır anlatılmasına karşın; hala ulusal servet ovaları imara açarak, taşkın ve depremlerden dolayı can ve mal kayıpları yaşatılmaktadır. Bu gerçekliğin fizik ve matematiği ileri derecede kolaydır (Çizelge 1). Buna karşın, devletin resmi haritası bu yalın gerçeği kavrayamayarak(?), veya kaya ile toprağın depreme karşı taban tabana zıt tepkisini göz ardı ederek (?), 1996 deprem tehlike kuşaklama haritası hazırlanmıştır (Şekil 11). 2019 yılına kadar bu harita ovalarda yapılaşmayı durdurup, ova kenarlarında kentleşmeyi sürdürme projemizin önündeki en büyük engel olmuştur. Ancak 2019 yılında hazırlayıp kullanıma sunulan yeni haritada da değişen bir şey yoktur. Sadece kuşaklama sınırlarını gösteren çizgiyi kaldırıp geçişli yapılmıştır. Bilim ve sanat yine göz ardı edilmiştir.

Dayanılmaz can ve mal kayıplarının tekrar önü açılmıştır. Anayasa, yasa ve ilgili tüzük maddeleri çiğnenmiştir.



Şekil 10. Kaya üzerindeki Konuralp, 4000 senedir ne deprem ne de taşkınlardan etkilenmektedir. Ovadaki Düzce 1880’de kurulduğundan bu yana (yani 142 senede) 100’ün üzerinde taşkın ve deprem afeti yaşadığı apaçık ortadadır. Buna rağmen haritada Konuralp ve kayadan oluşan tüm alanlar da en üst düzeyde tehlikeli bölge olarak gösterilmiştir [Bu kadar yalın gerçek ortadayken 17.08.1999 depreminde dalgaların kısa kirişe dik gelmesiyle etkilenmeyen Düzce Halk Bankasına, yazar ve ekiplerinin tüm uyarılarına karşın, güçlendirme yapılmıştır. 12.11.1999 Kaynaşlı depremi dalgasının uzun kirişe dik gelmesiyle deprem günü 18 kişi yaşamını yitirmiştir. Taşkın ovası olan Düzce ovası ve diğer tüm ovalar Anayasa ve ilgili yasa ile yönetmelikler gereği dünden yapılaşmaya kapatılmalıdır (Yılmaz vd., 2021). Bu bağlamda öneriler aşağıda özetlenmiştir.].

Figure 10. Konuralp on the rock has not been affected by earthquakes or floods for 4000 years. It is obvious that Düzce on the plain has experienced more than 100 flood and earthquake disasters since it was founded in 1880 (about 142 years). Despite this, all areas consisting of Konuralp and rock are shown on the map as the highest level of danger. [While the truth is clear, the Düzce Public Bank, which was not affected by the waves coming perpendicular to the short beam in the earthquake of 17.08.1999, was reinforced despite all the warnings of the author and his team. 12.11.1999 Kaynaşlı earthquake wave came perpendicular to the long beam, and 18 people lost their lives on the day of the earthquake. Düzce plain, which is a flood plain, and all other plains should be closed to construction as per the Constitution, related laws and regulations (Yılmaz et al., 2021). The recommendations in this context are summarized below.].

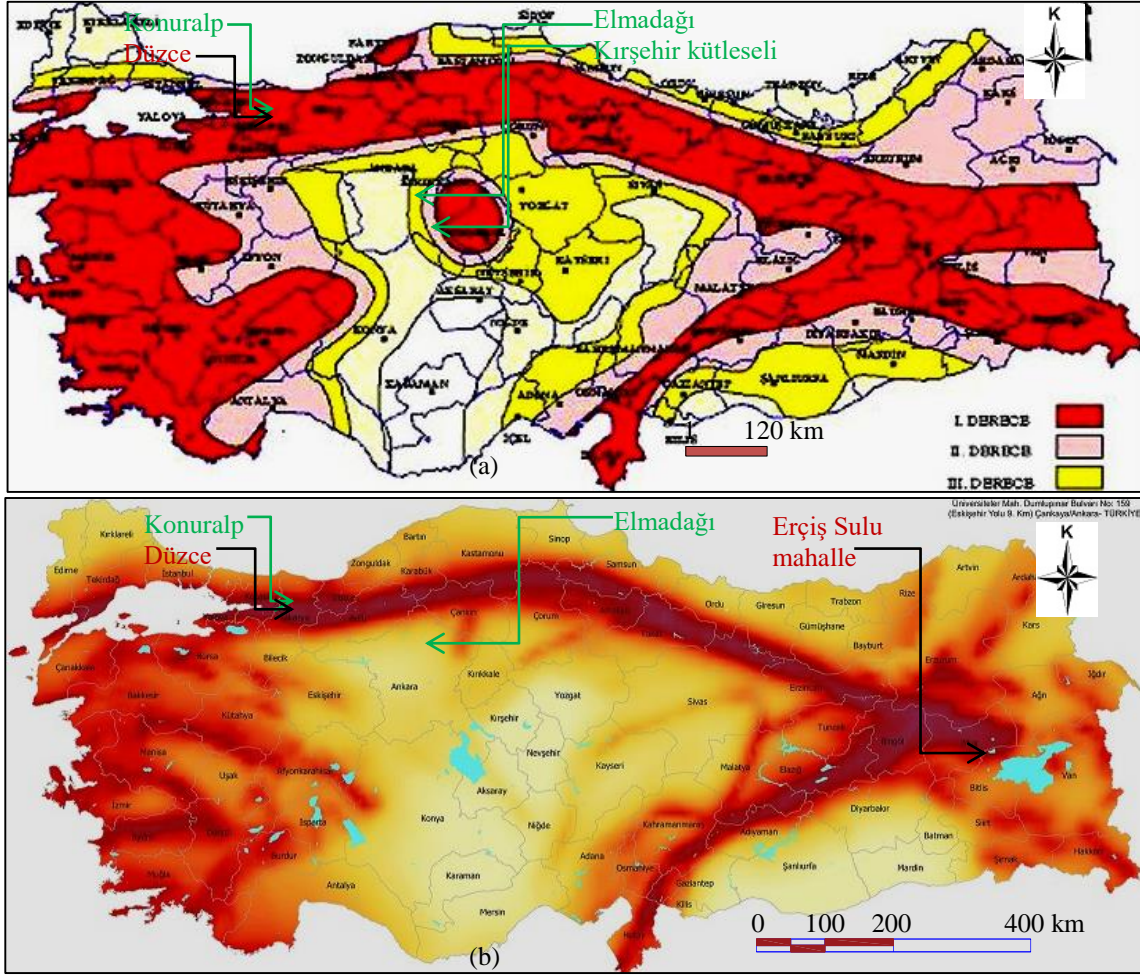
Yazarların, Devlete de ulusal servet bağlamında trilyon dolarlar kazandıracak öneri projeleri değişik bilimsel ortamlarda onlarca seneden buyana tartışılmıştır. **Projenin adı: Doğal Afetsiz (deprem, taşkın ve yerkayması tehlikesi taşımayan (Leventeli vd., 2019; Yılmaz vd., 2003; 2002; 1998; 1994)) Anadolu Yerleşim (DAAY) projesidir.** İlgili kişi, kuruluş ve kurumlara yarım asırdır sunulmasına karşın, “gizlenen deprem gerçekleri” yaklaşımı yüzünden türlü engellenmelerle karşılaşmışlardır. Buna karşın; içeride ve dışarıda, önemli ölçüde yol alınmıştır. Büyük başarıların altına imzalarını atmışlardır.

1. Ovaların ve kayma alanlarının sınırını harita kullanmasını bilen her teknisyen, mühendis ve mimara bütün ayrıntılarıyla öğretmek birkaç saatlik iştir. Çevrimiçi toplantılarla 81 ilin bayındır işlerinden sorumlularına ve ilgi duyan herkese örnekler üzerinden bir günlük görsel dersle kolayca öğretilir. 81 ilden tipik örneklemeler de yapılarak konunun kolay anlaşılması sağlanabilecektir.
2. Yapılaşma ovada durdurulur ve yeni ova dışı alanlarda alt yapı tamamlanır. Üst yapı olmadığında altyapı tasarımı ve uygulanması %95 daha ucuz, daha hızlı ve daha etkin olabilmektedir. Ayrıca bilim ve sanat temelinde çağdaş kentleşme ilkeleri (Kİ)>%10500 üstünlükle yaşama geçirilebilir.
3. Ovalardaki mülk sahiplerine yeni alanda ovadaki mülkiyetleri kadar konut sağlanarak ovadan çıkmaları özendirilebilir.

Çizelge 1. Suya doymun kaya ve toprak zeminlerin deprem kırımına karşı davranışı (Yilmazer vd., 2021).

Table 1. The behavior of saturated rock and soils against earthquake destruction (Yilmazer et al., 2021).

Değiştirge ve özellikler	Yaklaşık değerler		Kayanın toprağa üstünlüğü	Açıklama
	Kaya	Toprak		
Sıvılaşma etkisi, -	0	0>L	L/0= ∞	Kayada sıvılaşma olasılığı sıfırdır "0.0". Toprakta ise bu olasılık bir rakamdır. Dolayısıyla kaya zeminin toprak zemine üstünlüğü sonsuzdur (sayı/0→∞).
Elastiklik katsayısı (λ), kN/m ²	>10 ⁶	<10 ⁰	>>10 ⁶	Gerilme elastikliği (E), makaslama elastikliği [katılık elastikliği (G veya μ)] ve hacimsel esneklik katsayısı (K) için kaya zeminin üstünlüğü milyonları aşmaktadır.
Kohezyon (Özyapışkanlık) (c), kN/m ²	>>10 ³	<10 ⁻³	>>10 ⁶	Sıvılaşma altındaki toprağın "c" değeri sıfıra yaklaştığından kaya zeminin toprak zemine üstünlüğü milyonları aşmaktadır.
İçsel sürtünme açısının tanjantı (tanφ), -	>10 ⁻¹	<10 ⁻³	>>10 ²	Sıvılaşma altındaki toprağın "φ" değeri sıfıra yaklaştığından kaya zeminin toprak zemine üstünlüğü milyonları aşar. "c" ve "φ" değerleri sıfıra yaklaşacağından makaslama dayanımı (τ=c+tanφ) da sıfıra yaklaşır. Kayada ise bu değerler çok yüksektir. Dolayısıyla kaya zeminin üstünlüğü tartışmasız çok yüksektir.
Sismik hız (v), m/s	~10 ³	~10 ²	10	Kaya zeminde sismik dalgalar yüksek (a) frekansla (f _{sw} , Hertz), (b) hızla ve (c) enerji kaybıyla ilerler ve kısa tülde sönümlenir. Bunun yanı sıra, yüksek (h>5 m) yapıların mekanik frekansı (f, Hertz) düşüktür. Dolayısıyla, f _{sw} ve f çakışmaz ve cebrik toplamları sıfıra yaklaşır. Buna karşın, toprak zeminde çakışmalar (f _{sw} ≈f). Sonuç olarak genlik büyüme salınım kaçınılmaz olur. Sismik dalga enerjisi kayada kısa sürede sönümlenirken toprak zeminde çok uzun sürede sönümlenir. Özellikle kayadan toprak zemine geçişte kayadan toprağa aktarılan enerji (Ek=(1/2)mv ²) toprakta (v _{kaya} /v _{toprak}) ² oranında artar.
İki ve daha yüksek (h≥5 m) yapıların salınımına girmesi ve enerji sönümlenmesi ("h" ile dalga boyu doğru orantılıdır.)	≈0	0>Rs	Rs/0→ ∞	Neredeyse tüm doğrultu atımlı faylar okyanus-kıta kabuklarının çarpışması sırasında oluşan düşey makaslama düzlemleri boyunca oluşur. Bu makaslama düşey düzlemlerinin büyük çoğunluğu serpantin içeren ofiyolitlerde oluşur. Bu düzlemlerin kayma dayanımı çok düşüktür. Dolayısıyla diri doğrultu atım fayı kuşaklarında ovalaşma (topraklaşma) yaygındır.
Yanal atımlı faylarda kırılma, m	0	0<Rp	Rp/0= ∞	Neredeyse tüm doğrultu atımlı faylar okyanus-kıta kabuklarının çarpışması sırasında oluşan düşey makaslama düzlemleri boyunca oluşur. Bu makaslama düşey düzlemlerinin büyük çoğunluğu serpantin içeren ofiyolitlerde oluşur. Bu düzlemlerin kayma dayanımı çok düşüktür. Dolayısıyla diri doğrultu atım fayı kuşaklarında ovalaşma (topraklaşma) yaygındır.
Tabaka faylanması (B _F), -	B _F kayada ≥0	B _F toprakta >>0	Çok yüksek	Kayada tabaka faylanması (B _F) olasılığı 0,0'a yakındır. Buna karşın katmanlı toprakta bu olasılık yüksek bir değerdir. Sonuç olarak bu bağlamda da kaya zeminin üstünlüğü çok yüksektir.



Şekil 11. Deprem tehlike kuşaklarını göstermekten uzak resmi harita (a) AFAD (1996) ve (b) AFAD, (2018).

[4000 senedir deprem, taşkın ve yerkayması sorunu yaşamayan dayanımlı-yüksek dayanımlı kayalardaki Konuralp, Elmadağ-Kırşehir küteseli diri kırıklara yakın tüm kayalık alanlar kırmızı (önemli deprem tehlikesi taşıyan) alanlar olarak gösterilmiştir. Oysa deprem tehlikesi taşıyan alanlar, ülke yüz ölçümünün %4'ü dolaylarındadır. Bu alanlar da tarım alanları olup Anayasa, yasa ve tüzüklerle 1961'den bu yana koruma altındadır. Deprem tehlikesi taşımayan ancak tarım alanları özelliği taşıyan %4'lük alan da yerleşime, yasalar gereği, kapatılmalıdır.].

Figure 11. Official map that does not show earthquake hazard zones (a) AFAD (1996) and (b) AFAD, (2018). [All rocky areas close to the active fractures of Konuralp, Elmadağ-Kırşehir massif in high-strength rocks that have not experienced earthquake, flood and landslide problems for 4000 years are shown as red (first degree earthquake-hazardous) areas. However, areas with earthquake hazard are around 4% of the country's surface area. These areas are also agricultural areas and have been under protection since 1961 with the Constitution, laws and regulations. The 4% area, which is not earthquake-hazardous but has the characteristics of agricultural lands, should also be closed to settlement, as required by law].

4. Parasal kaynak bulmak daha da kolaydır. Deprem tehlikesi taşıyan birinci sınıf ovalarda 2020 itibariyle 4 milyon insan (1 milyon konut) ovanın bitişiğinde ve alt yapısı tamamlanmış yerleşime, 8 milyar dolara 1 senede çıkarılabilir. Ova olup, deprem tehlikesi taşımayan

ovalarda da yaklaşık 4 milyon insan yaşamaktadır. İkinci sene de bu yurttaşlar 8 milyar dolara taşınabilecektir. Depremlerden, özellikle de tsunami ve volkan külü çamur sellerinden acılar çeken 25 milyon nüfuslu Jakarta kurtuluşu taşınmakta bulmuştur. “Doğayı sev asla meydan okuma (İ. Yılmaz, 1990)” ilkesi yaşama geçirilmiştir. Yazar ve ekiplerinin yarım asırlık çabaları uluslararası düzlemde de yaşam bulmaktadır. Hele de Jakarta'nın 1100 km uzaktaki Borneo adasının K-KD'suna 35 milyar dolara 4 yıl sürede taşınıyor olması göz önünde bulundurulduğunda, Türkiye'de (i) deprem, (ii) taşkın ve (iii) yer kayması kıyımlarının (yapay afetlerinin) sonlandırılmasının ne kadar kolay olacağı açıkça görülebilmektedir.

5. Yazarlar ve ekipleri Doğal Afetsiz Anadolu Yerleşim (DAAY) projelerini 2 senede yaşama geçirmeye hazırdır. Dünyaya da büyük hizmet edilmiş olacaktır.
6. Son fakat en önemlisi, yurttaşların güvenli ve sağlıklı ortamlarda yaşaması sağlanırken (Leventeli ve diğ., 2017) ulusal servet ovalar ve ilgili tarım alanları geri kazanılacaktır. Bu kazanımın ulusal servet değeri de trilyon doların üzerindedir. Tarım ürünleri kendisine yeten ülkeler arasına girip pek çok organik üründe de 4 senede de ilk sıraya oturma kuvvetle olasıdır.

ENERJİ SÖNÜMLENMESİNDE DALGA BOYU VE ZEMİN İLİŞKİSİ

Deprem dalgaları kaya zeminde yüksek frekansla (*kısa dalga boyu*) ilerlerken toprak zeminde uzun dalga ile ilerler. Dolayısıyla kayada kısa sürede sönmelenirken kayadan toprak zemine geçişte kayadan gelen enerji iki ayrı ortamdaki hızların oranının karesi ile doğru orantılıdır [$E_k \propto (v_{kaya}/v_{toprak})^2$]. Dolayısıyla toprakta genlik büyümesi kaçınılmaz olur.

Deprem odak noktasında enerji $E_0 = mgh = \rho Vgh$ olarak ortaya çıkar ve $E_k = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} \rho Vv^2$ olarak birincil (P), ikincil (S) ve yüzey dalgaları şeklinde ilerlerler (Şekil 12). E_0 : deprem anında ortaya çıkan enerji, J ; m : anlık devinimine uğrayan kütle, kg; g : yerçekimi ivmesi m/s^2 ; ρ : birim hacim ağır kg/m^3 ; V : hacim, m^3 ; h : anlık yer değişimin serbest düşme açısından değeri, m; E_k : kinetik enerji (J) olup deprem dalgalarının yarattığı cisimcikler (parçacıklar) devinimi için harcanan enerjidir (Şekil 13).

$$\text{Suya doymun kayada ilerlerken harcanan enerji: } E_{kk} = \frac{1}{2} m_k v_k^2 = \frac{1}{2} \rho_k V v_k^2 \quad (1)$$

$$\text{Suya doymun toprakta ilerlerken harcanan enerji: } E_{kt} = \frac{1}{2} m_t v_t^2 = \frac{1}{2} \rho_{kt} V v_t^2 \quad (2)$$

$$\text{Dolayısıyla; } E_{kk}/E_{kt} \cong (\rho_k V_k) v_k^2 / (\rho_t V_t v_t^2); \quad (\rho_k V_k) / (\rho_t V_t) \gg 2; \quad 2 \frac{E_{kk}}{E_{kt}} \gg \frac{v_k^2}{v_t^2} \quad (3)$$

Özetle; E_{kk}/E_{kt} oranı ortam hızlarının karesiyle doğru orantılıyken kayadaki hacimsel değişim (κ , MPa), esneklik (E , MPa) ve makaslama (τ , MPa) katsayıları çok çok yüksektir. Bu nedenle kayada ilerleyen sismik dalga kısa sürede enerjisini yitirir ve sönümlenir.

Sismik dalga kayada ilerlerken toprağın tersine;

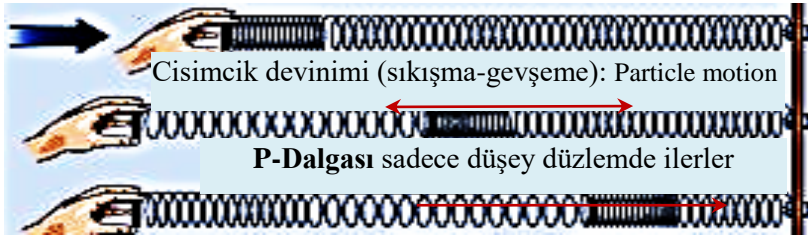
1. Hızın 4-40 kat daha fazla olması nedeniyle harcanan sadece hıza bağlı olarak enerji 16-1600 kat daha yüksektir.
2. “ ρV ” birim hacim ağırlığının yüksekliği yanında hacimsel değişim esneklik katsayısının yüksekliği de E_k 'yı doğru orantılı olarak artırır. Bu artış, 1000 ve üzeriyken sıvılaşma anında sonsuza gider.
3. Deprem odak noktasından uzaklaştıkça; yüksek esneklik “ κ , E , ve τ ” katsayı özellikleri ve hız nedeniyle deprem odak noktasından yola çıkan enerji “ E_0 ” kaya içerisinde yüzeye ulaşmaya kadar kayada plastik deformasyon yapamayacak duruma düşer. Kayadan toprağa yüklenen enerji çok küçük olsa da (i) toprağın ≈ 1000 kat daha düşük enerjide plastik deformasyona uğraması ve (ii) enerjinin kayadan toprağa yüklenmesi sırasında toprakta ilerleyecek enerji hızlarının karesi oranında artacağından ve ilgili toprağa özgü dalga boyu değişmeyeceğinden genlik büyümesi kaçınılmaz olur. Plastik deformasyon yüzlerce kat artır.
4. Kumlu-çakıllı toprak zeminlerde çekme dayanımı “0,0” iken en zayıf kayada da bir değerdir.

Dolayısıyla $\lim_{n \rightarrow 0,0} \frac{Sayı(n)}{0,0} \rightarrow \infty$ gereği “P-dalgası” gevşeme anında da kayada yüksek enerji harcarken kumlu-çakıllı zeminde gerekli enerji 0,0 alınabilecek kadar küçüktür. Dolayısıyla kaya zemin enerjinin sönümlenmesinde toprak zemine göre çok büyük üstünlük içermektedir.

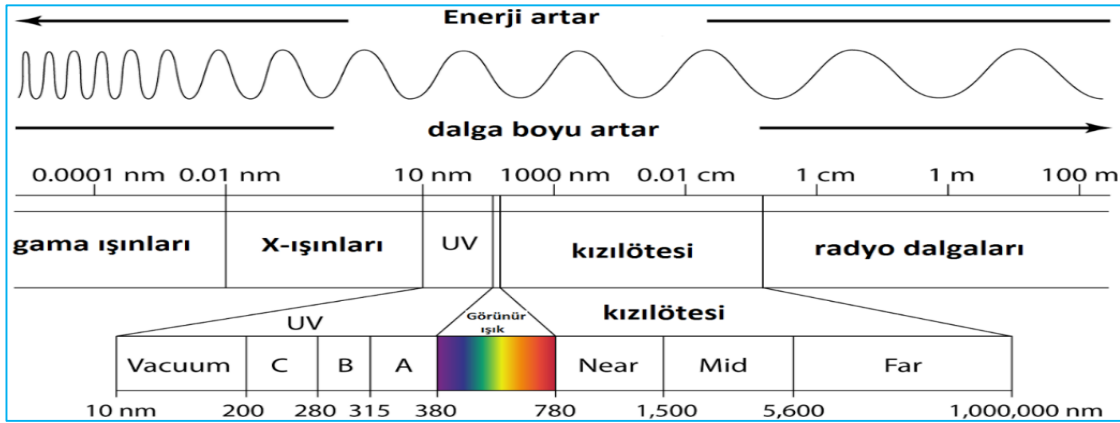
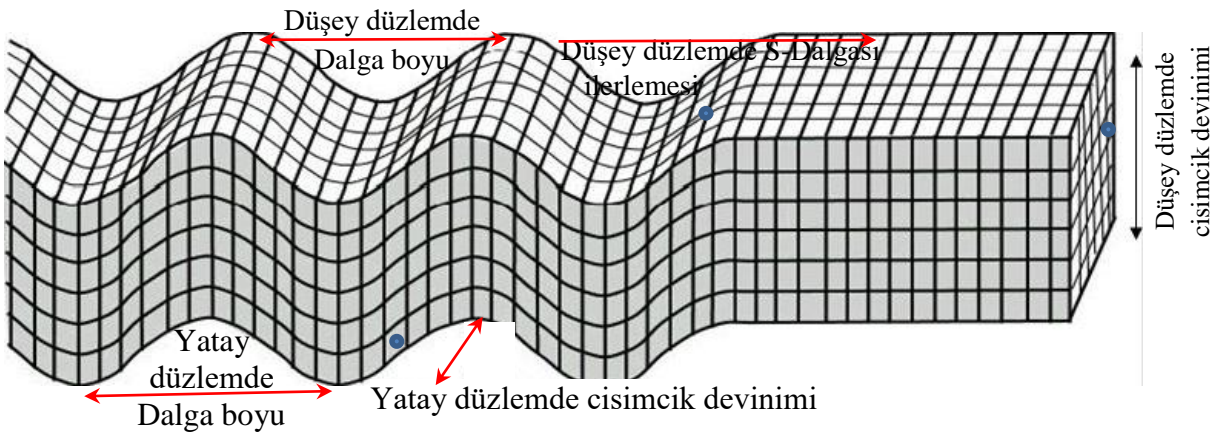
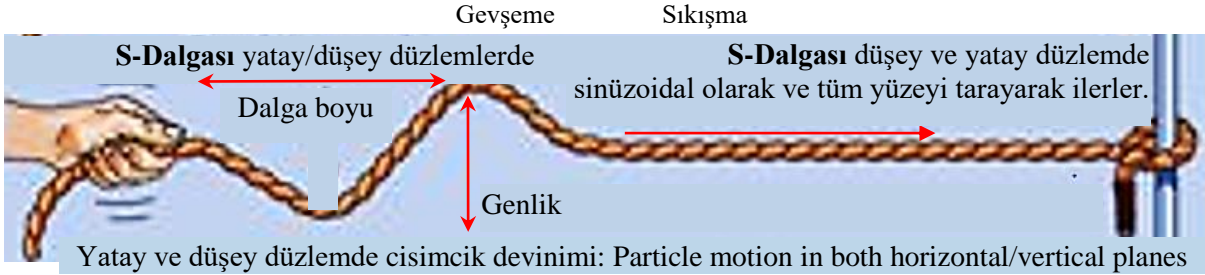
KAYA-TOPRAK ORTAMLARI ARASINDAKİ GEÇİŞTE GENLİK DEĞİŞİMİ

Kayadan Toprak Ortamına Geçiş

$E_{kk}=(1/2)(mv^2)=(1/2)m(2000)^2$ ile yüklenirken $E_{kt}=1/2 m(200)^2$ ile taşınmaktadır (Şekil 13). Dolayısıyla toprağın düşük esneklik (elastik) özellikleri gereği dalga boyu değişmeyeceğinden genlik büyümesi zorunlu olur. Bu da $h>5$ m olan yapılarda yüksek şiddetli (yıkıcı) salınım (resonance) neden olur. Ancak yüklemenin kayada anlık olup ve süreyle sönümlenmesi nedeniyle ilk yükleme en yükseğidir. Sonrakiler hızla sönümlenir. Deprem merkez üssüne yakın ($d<1000$ m) kaya zeminlerde caminin minaresi depremi sorunsuz atlatırken donatısız tek katlı camisinde küçük ölçekli de olsa çatlaklar oluşabiliyor. Çünkü yapının yüksekliği arttıkça; titreşim dalga boyu da artar, frekansı düşer. Oysa sismik dalga kayada yüksek frekansla (*kısa dalga boyu ile*) ilerlediği için frekanslarının örtüşmesi söz konusu değildir. Dolayısıyla kayadaki yüksek frekanslı dalga düşük frekanslı minareyi salınım geçiremez.

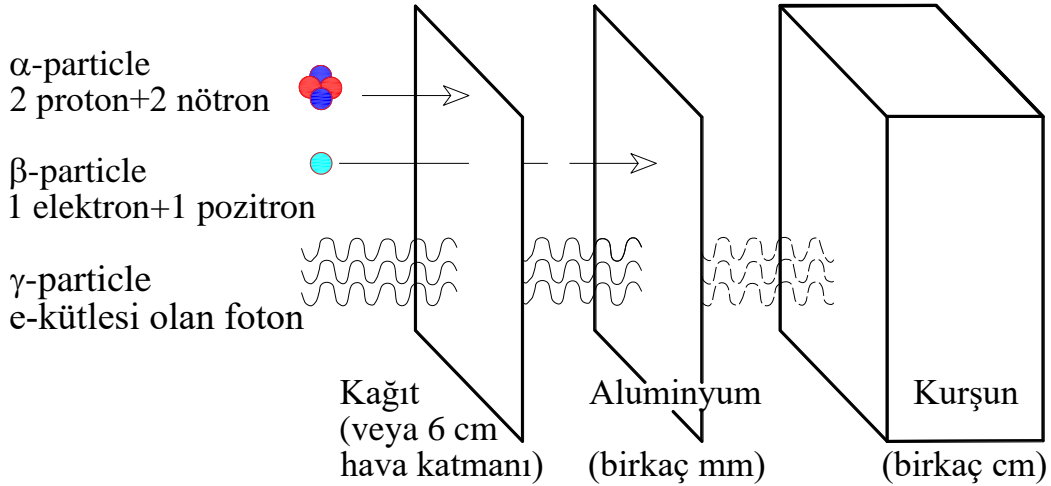
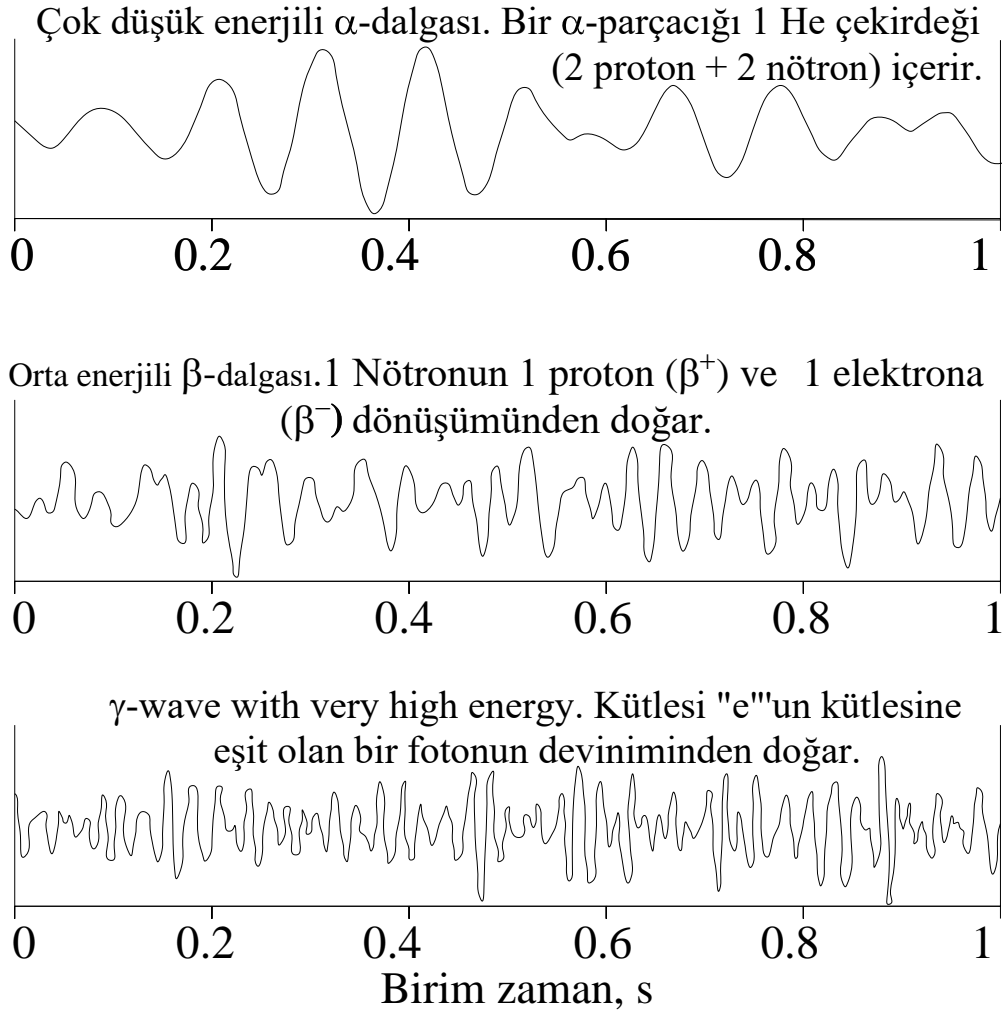


P-Dalgası sadece düşey düzlemde sinüzoidal olarak ilerler. Sıkışma ve gevşeme için harcanacak enerji kayada yüksek elastik modülleri nedeniyle çok yüksektir (≈ 1000). Toprakta plastik deformasyon çok düşük ($\approx 1/1000$) enerjide gerçekleşir.



Şekil 12. “P” ve “S” dalgaları kaya zeminde yüksek frekansla (yüksek hızla) ilerlerken alınan yol ve cisimcik deviniminin sinüzoidal şeklinde ilerlemesi sırasında harcadıkları enerji ile niteliksel olarak benzeşim sunan ışık dalgalarının dalga boyu-enerji ilişkisi [*nm*: nanometer olup 10^{-9} m’dir. En yüksek fotosentez aralığı 400-500 ve 680-720 nm dalga boylarında gerçekleşir. Kaynak: Bahçe Bitkileri Tarımı ile ilgili ders kitapları].

Figure 12. The wavelength-energy relationship of the light waves, which qualitatively resembles the energy they consume during the sinusoidal progression of the motion of the body and the path taken while the “P” and “S” waves move with high frequency (high speed) on the rock floor. [*nm* is nanometer and is 10^{-9} m. The highest range of photosynthesis occurs at wavelengths of 400-500 and 680-720 nm. Source: Textbooks on Horticulture].

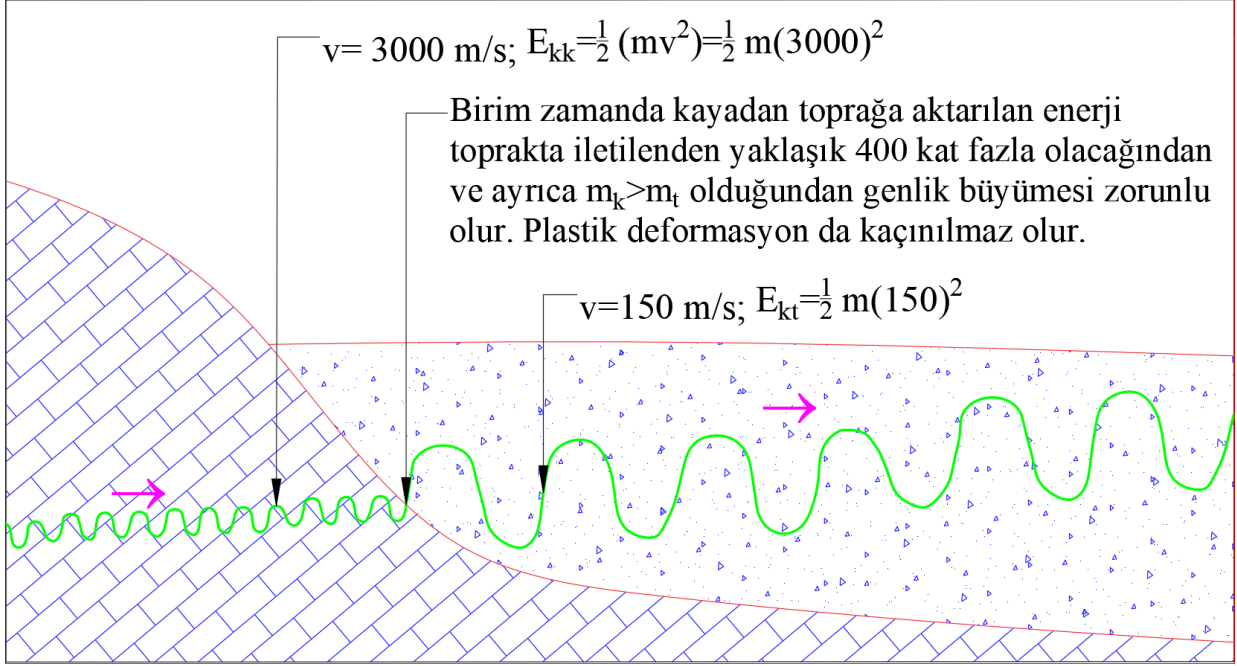


Şekil 13. Cisimeciklerinin sırasıyla artan frekansları ve birim zamanda harcadıkları enerji ilişkisi. Yukarıdan aşağıya artan frekanslarıyla Alfa ($2p+2n$) kağıttan geçemezken, beta ($p+e$) alüminyum levhasında sönümlenir ve gama (e-kütleli foton) birkaç cm kalınlığındaki kurşun içinde sönümlenir.

Figure 13. The relationship between the increasing frequencies of the particles and the energy they spend per unit time. Alpha ($2p+2n$) with increasing frequencies from top to bottom cannot pass through the paper, while beta ($p+e$) is quenched in the aluminum sheet and gamma (e-mass photon) is quenched in a few cm thick lead.

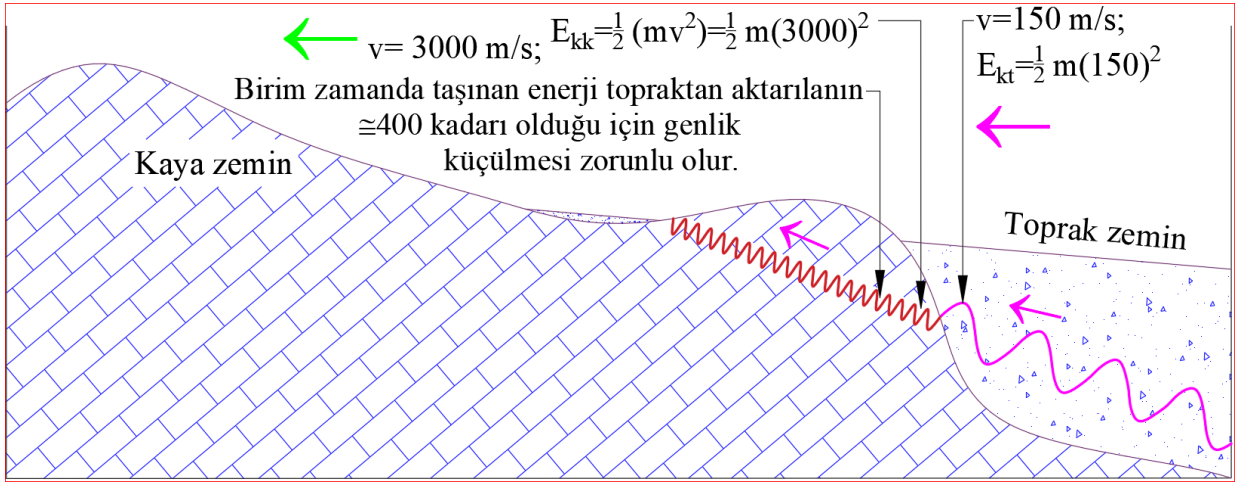
Topraktan Kaya Ortamına Geçiş

$E_{kt}=(1/2)m(200)^2$ ile yüklenirken $E_{kk}=(1/2)(mv^2)=(1/2)m(2000)^2$ ile taşınmaktadır (Şekil 14; Şekil 15). Dolayısıyla Kayanın yüksek elastik özellikleri gereği dalga boyu değişmeyeceğinden genlik küçülmesi zorunlu olur. Ayrıca kayada yüksek frekansla ilerlediğinden $h>5$ m olan yapılarda hissetmek bile olanaksızlaşır.



Şekil 14. Kayadan gelen sismik dalga toprağa girdikten sonra, o toprağa özgü dalga boyu değişmeyeceğinden genlik büyümesi yapar ki yüklenen yüksek enerjiyi tüketebilsin [17.01.1995 (Mw: 6.9) Tarumi (Japonya) depremi bitişiğinde ve kaya üzerinde olan Tarumi, Nişi, Kita ve Hanşin'de sorun yaratmazken 50-60 km uzakta ve ovaya 1980 sonrası ovada hızla büyüyen Kobe yerleşimini yerle bir etmiştir (bkz., Şek. 1). Benzer şekilde 17.08.1999 Kocaeli depremi 200-250 km uzakta Tekirdağ ovalarında yıkım yaparken deprem üssünün bitişiğindeki eski-yeni veya 2-20 katlı yapılarda hasar yaratmamıştır. Kocaeli-Gölcük ovasına, doğaya meydan okurcasına kurulan, Ford fabrikası 260 cm ovaya batarken hemen yamaçlardaki yapılarda tek bir hasar oluşmamıştır (bkz., Şek. 2). (Yılmaz, 2003; Yılmaz vd., 2021; Leventeli vd., 2020).]

Figure 14. After the seismic wave from the rock enters the soil, since the wavelength specific to that soil cannot change, the amplitude increases so that it can consume the high energy loaded. [17.01.1995 (M: 6.9) Tarumi (Japan) earthquake did not cause any problems in Tarumi, Nişi, Kita and Hanşin adjacent and on the rock, destroyed the Kobe settlement which is 50-60 km away and rapidly growing on the plain after 1980 (see Fig. 1). Similarly, the 17.08.1999 Kocaeli earthquake destroyed the Tekirdağ plains, 200-250 km away, but did not cause damage to the old-new or 2-20-storey structures adjacent to the earthquake base. While the Ford factory, which was built on the Kocaeli-Gölcük plain in defiance of nature, sank into the 260 cm plain, not a single damage occurred to the structures on the slopes (see Fig. 2). (Yılmaz, 2003; Yılmaz et al., 2021; Leventeli et al., 2020)].



Şekil 15. Toprak zeminden gelip kaya zemine geçen sismik dalgada değişim [Tam geçişte kaya içerisinde anlık olarak enerji seviyesi yaklaşık 25/1000'e iner ve kaya içinde ilerlerken daha da düşer. Dolayısıyla deprem kayada hissedilmez olur (Yılmaz vd., 2021). 2011 Van deprem üssünün bitişiğindeki kayalığa kurulan Tabanlı köyünde ölü yaralı sıfırken 120 km uzaktaki Muş-Bulanık ilçesinin Kocasu Ovasında 15 köyün 15'i de yıkılmıştır (bkz., Şek. 3). Samos adası depremi de Burunova'ya (Bornova'ya) kadar kaya üzerindeki 1,5 milyon konuta dokunmayıp 80-90 km uzaktaki Bornova'da mal ve canları almıştır (bkz., Şek. 6).].

Figure 15. Change in the seismic wave coming from the soil ground and passing to the rock ground [In full transition, the energy level instantly decreases to about 25/1000 in the rock and decreases further as it moves through the rock. Therefore, the earthquake will not be felt in the rock (Yılmaz et al., 2021). While the dead and wounded were zero in Tabanlı village, which was established on the rock adjacent to the 2011 Van earthquake base, 15 of the 15 villages were destroyed in the Kocasu Plain of the Muş-Bulanık district, 120 km away (see, Fig. 3). The Samos Island earthquake did not touch the 1.5 million houses on the rock up to Burunova (Bornova), and took lives and property in Bornova, 80-90 km away (see, Fig. 6).].

TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Özetle; depremler sadece ovalarda ve düşük oranda da olsa kaymaları da içeren tarım alanlarında yıkar. Ovalar ve tarım alanları da ulusal servet olup Anayasa, yasa ve ilgili tüzük maddelerince koruma altına alınmıştır.

2002 yılında Van Yüzüncü Yüzyıl Üniversitesi'nde verilen konferansta, büyüklüğü 7,0'ın üzerinde depremlerin 35 senede bir olduğu; 7,5 büyüklüğünde Çaldıran depreminin 24.11.1976 günü saat 12:22' olduğu vurgulanmıştır. Dolayısıyla 2011 yılı dolaylarında büyük deprem beklenebileceğinin altı çizilmiştir. Bunun üzerine yazarlar ve ekipleri DAAY projesi kapsamında yadsınamaz projeleri yaşama geçirmiştir. Erdemkent projesi bunlardan birisi olup Kurubaş diri fayının bitişiğinde yarattığı traverten kayası üzerine yerleştirilmiştir. 2011 Van depreminin ikincisi de bu fayın üzerinde olmuştur. Sonuç: ölü, yaralı ve hasar sıfırdır (0,0), (bkz., Şek. 4). Bunun üzerine; verilen amansız uğraş “insanların çoğu gözüyle gördüğünde gerçeği kavrar” özdeyişi gereği büyük başarıya ulaşılmıştır. Nasıl mı?

1. Konut maliyetleri ve kiralar >%300 oranında artmıştır.
2. Devlet kurumları başta olmak üzere, pek çok kişi ve kuruluşlar tarafından Erdemkent kayalık düzlüğünde inşaatlar başlatılmıştır.
3. Benzer şekilde Erciş'te ölümlerin yaşandığı **Sulumahalle** (*Zilan deresinin yarattığı ve tarım için üst düzeyde verimli delta ovası*) hemen kuzeyindeki kayalık (*daha öncesi örnek yapıların olduğu*) alana hızla taşınmaya başlamıştır. 2003 Nisan'ında düzenlenen konferansta, yazarlar ve ekibi tarafından Sulumahalle'nin, bugünden geçi yok, kuzeydeki Mesudiye kayalık düzlüğüne çıkarılması ve harita üzerinde sınırları verilen delta ovasının yapılaşmaya kapatılmasının zorunluluğu anlatılmıştır. 2003-2011 arasında çok az yapı çıkarılabilen alana, 2011 depremlerinden sonra hızla yapılaşma başlatılmıştır. Can ve mal kayıplarına mal olan “görerek kavrama” burada da yaşam bulmuştur.

İzmir'de ovaların yerleşime kapatılıp; yapılaşmanın, ovaların hemen bitişiğindeki kayalık alana çıkarılması çabası (boğuşması) onlarca yıldır sürmektedir (Yilmazer, 2001; 2003a-b; bkz., Şek. 5). Samos depremi Bornova'ya (Burunova'ya) kadar kayada 1,5 milyon konuta dokunmayıp, >80 km uzaktaki ovada yıktığı gerçeği toplumun büyük kesimi tarafından kolayca özümsemiştir. Bunların büyük bölümü Yamanlar gibi kayalık alanlara çıkmışlardır.

Sonuç olarak; bu bildirgeyi anlayıp yakın çevrelere de özümletenlerin sınır tanımaksızın dünya ölçeğinde, insanların canları ve mallarının korunması konusunda seslerini yükseltmesi kaçınılmazdır (Medawar, 1961).

SONUÇ

Depremin sadece ovada ve noktasal olarak da yer kayma sahalarında yıktığı binlerce gözlemlerle doğrulanmıştır. Toprak ve kayanın mühendislik özelliklerinin çok farklı olması ve sismik dalgaların kayada hızlıca sönmüldüğü gerçeği de apaçık ortadadır. Ovalar bir ulusun stratejik ve organik ürünler kaynağıdır. Tüm hukuk devletlerinde olduğu gibi, 1961 Anayasasında (Madde 43-46) ve bu çerçevede çıkarılan yasa, tüzük ve yönetmeliklerle bu alanlar koruma altındadır. 10 Kasım 1938'den sonra ulusal servet olan “ovalara” saldırı başlatılmıştır. 1950 sonrasında da artan ivmeyle bugüne gelinmiştir. Yarım asırdır bu bağlamda amansız uğraşlar veren yazarlar ve ekipleri içeride ve dışarıda büyük ölçekli projeleri yaşama geçirmişlerdir. Türkiye'de Doğal Afetsiz Anadolu Yerleşim Projesinin (DAAY) 2 yılda yaşama geçirilmesi dünyada bu bağlamda bir devrim olacaktır. İnsanlığa büyük bir hizmet olarak anılacaktır.

KATKI BELİRTME

Yazarlar ve ekipleri Einstein'ın "bilim deneyimden gelir" yaşam felsefesine içtenlikle bağlı olup, bu felsefenin ışığında, yaşamın her alanında bilim ve sanatı kılavuz edinen tüm kişi, kurum, kuruluş ve yönetimlere teşekkür ederler. DAAY projesinin ulusal ve uluslararası düzlemde yaşama geçirilmesi bağlamında katkı koymuş ve katkı sağlayacak herkese saygılarını sunarlar.

KAYNAKÇA

AFAD 1996. Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası.

AFAD, 2018. Türkiye Deprem Tehlike Haritası.

Leventeli, Y., Yilmazer, O., Yilmazer, I., 2020. The Importance of Effective Land Use Planning for Reduction in Earthquake Catastrophe. *Arabian Journal of Geosciences*, 13, 1-7.

Leventeli Y., Yilmazer Ö., Yilmazer I., 2019. Discontinuity Nomenclature and Its Significance in Geotechnics. *Geotechnical and Geological Engineering*, vol.37, no.6, pp.5349-5357.

Leventeli, Y., Yilmazer, İ., Yilmazer, Ö., 2017. Kentleşmede Maliyet, Emniyet, Zaman ve Estetik-Çevre (MEZE) Ölçütleri. 70. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, 816-817.

Medawar, P.B., 1961. Advice to a Young Scientist (2nd edition, first published January 1st 1979). Basic Books, New York, 128.

Yilmazer, Ö., Kırkayak, Y., Yilmazer, İ., 2022. Taşkınlar seldaignaklıklarla önlenebilir. Afet Sempozyum Kitapçığı, Ankara.

Yilmazer, O., Kırkayak, Y., & Yilmazer, I., 2021. A Practical and Effective Solution to Earthquake (EQ) Catastrophe. *International Journal of Geotechnical Earthquake Engineering*, 12(2), 1-17. <https://doi.org/10.4018/IJGEE.2021070101>.

Yilmazer, Ozgur, Yilmazer, Özlem, Yilmazer, İ. Ozvan, A., Leventeli, Y., 2007. The Assaults on the International Heritages of Hasankeyf: Dam Project. Proceedings of the International Conference on "The Environment: Survival and Sustainability", organized by Near East University, Nicosia, North Cyprus, February 18 – 25, 2007.

Yilmazer, İ. Yilmazer, Ö., Özvan, A., Biçek, C., 2004a. Why the Earthquake Disasters Occur Only in Fertile Soil Grounds?: Turkey. Proceedings of the 5th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology, 2, 667-669, Thessaloniki, Greece, 14-20.

Yilmazer, İ., Bulut, C., Yilmazer, Ö., Diker, S., Uluadam, E., 2004b. Anadolu Depremlerinin Gerçek Yüzü. Türkiye 16. Uluslararası Fofizik Kongre ve Sergisi, 22-28, Ankara.

Yilmazer, İ., 2003a. Deprem Sorununa Kalıcı Çözüm. Kaynak Yayınları, 104.

Yilmazer, İ., 2003b. Amaç Dışı Kullanılan Ulusal Servet Ovalarımız. ALMANAK, Sosyal Araştırmalar Vakfı (SAV), İstanbul.

Yilmazer, İ., Yilmazer, Ö., and Sarac, C., 2003. Case history of controlling a major landslide at Karandu, Turkey. *Engineering Geology* 70, 47-53.

Yilmazer, İ., Yilmazer, Ö., 2002. How to Rehabilitate a Landslide: Sinop-Turkey. International Environmental Conference on Environmental Problems of the Mediterranean Region, Near East Univ., Nicosia, North Cyprus.

- Yilmazer, İ., 2001. İzmir ve Çevresinde Deprem Doğal Afet Değildir: Deprem - Yapı Denetim – Mühendislik Projeleri İlişkisi. III. İzmir ve Çevresinin Deprem-Jeoteknik Sempozyumu Kitabı, TMMOB Jeoloji Müh. Odası İzmir Şubesi, 32.
- Yilmazer, İ., Yilmazer, Ö., Özkök, D., ve Gökçekuş, H., 1999. Jeoteknik tasarıma Giriş (Introduction to geotechnical design). Yilmazer Eğitim ve Mühendislik Ltd., 210 sayfa.
- Yilmazer, İ., Can, T., Duman, T., 1998. Why the Water-Discontinuity-Clay (WDC) Trinity Has to Be Highlighted in Geotechnical Investigations. Proceedings of the International Symposium on Geology and Environment. Organized by Chamber of geological Engineers of Turkey on the occasion of anniversary of the 50th Geological Congress of Turkey, 119-126.
- Yilmazer, İ., Kale, S., Doyuran, V., 1994. “Significantly Large and Typical Landslides”, Proceedings of the 7th congress of the International Association of Engineering Geology Organizing Committee, Lisbon-Portugal,1377-1382.