

---

# YERBİLİMLERİ

## Bulletin for Earth Sciences

---

Cilt / Volume 39 Sayı / No 2 Ağustos / August 2018

---

### Editörler Kurulu / Editorial Board

#### Baş Editör (*Editor-in-Chief*)

MEHMET TEKİN YÜRÜR

### Yayın Danışma Kurulu / Editorial Advisory Board (2016-2018)

|                                       |   |   |
|---------------------------------------|---|---|
| Emre Altun (Ankara, Turkey)           | Gökhan Göktürkler (İzmir, Turkey)       | Gürol Seyitoğlu (Ankara, Turkey)        |
| Ali İhsan Arol (Ankara, Turkey)       | Klaus Gessner (Crawley, Australia)      | Hasan Sözbilir (İzmir, Turkey)          |
| Mehmet Arslan (Ankara, Turkey)        | Nilgün Güleç (Ankara, Turkey)           | Şevket Şen (Paris, France)              |
| Ömer Aydan (Ryukyu, Japan)            | Cüneyt Güler (Mersin, Turkey)           | Sabri Bülent Tank (İstanbul, Turkey)    |
| Erkan Aydar (Ankara, Turkey)          | Özcan Gülsoy (Ankara, Turkey)           | Orhan Tatar (Sivas, Turkey)             |
| Faruk Aydın (Trabzon, Turkey)         | Emine Aysun Güney (İstanbul, Turkey)    | Uğur Kağan Tekin (Ankara, Turkey)       |
| Nurgül Balcı (İstanbul, Turkey)       | Cahit Helvacı (İzmir, Turkey)           | Erhan Tercan (Ankara, Turkey)           |
| Hakan Başarır (Crawley, Australia)    | Yusuf Kağan Kadioğlu (Ankara, Turkey)   | Reşat Ulusay (Ankara, Turkey)           |
| Ahmet Tuğrul Başokur (Ankara, Turkey) | Doğan Kalafat (İstanbul, Turkey)        | Timur Ustaömer (İstanbul, Turkey)       |
| Osman Candan (İzmir, Turkey)          | Orhan Karlı (Rize, Turkey)              | Ulvi Can Ünlügenç (Adana, Turkey)       |
| Jean Chorowicz (Paris, France)        | Mehmet Ali Kaya (Edirne, Turkey)        | Bahtiyar Ünver (Ankara, Turkey)         |
| Namık Çağatay (İstanbul, Turkey)      | Cemil Koçak (Ankara, Turkey)            | Keith T. Weber (Idaho, USA)             |
| İsmail Hakkı Demirel (Ankara, Turkey) | Yılmaz Mahmutoğlu (İstanbul, Turkey)    | Mustafa Gürhan Yalçın (Antalya, Turkey) |
| Ünal Dikmen (Ankara, Turkey)          | Faruk Ocakoğlu (Eskişehir, Turkey)      | Namık Yalçın (İstanbul, Turkey)         |
| Hakan Dündar (Ankara, Turkey)         | Aral Okay (İstanbul, Turkey)            | Ali Bahadır Yavuz (İzmir, Turkey)       |
| Hasan Ergin (İstanbul, Turkey)        | Coşkun Sarı (İzmir, Turkey)             |   |
| Mehmet Ekmekçi (Ankara, Turkey)       | Mehmet Akif Sarıkaya (İstanbul, Turkey) |   |

**YERBİLİMLERİ Dergisi makale dizin ve özleri;**

Bibliography of Economic Geology, Compendex, Elsevier BIOBASE, EMBASE, EMBiology, FLUIDEX, Geoarchive, GEOBASE, Geological Abstracts, Geoscience Documentation, GeoSEARCH, Geotitles, HydroROM, Hydrotitles, Marine - Oceanographic & Freshwater Resources, SCOPUS Water Resources Abstracts (Cambridge Scientific Abstracts), World Textiles, Zoological Record, ULAKBİM ve Directory of Open Access Journal veri tabanında yer almaktadır.

***YERBİLİMLERİ is indexed or abstracted in***

*Bibliography of Economic Geology, Compendex, Elsevier BIOBASE, EMBASE, EMBiology, FLUIDEX, Geoarchive, GEOBASE, Geological Abstracts, Geoscience Documentation, GeoSEARCH, Geotitles, HydroROM, Hydrotitles, Marine - Oceanographic & Freshwater Resources, SCOPUS, Water Resources Abstracts (Cambridge Scientific Abstracts), World Textiles, Zoological Record, ULAKBİM and Directory of Open Access Journal databases.*

**ISSN 1301-2894**

**Kapak**

Kuarsit şistozite düzlemine paralel kalkopirit damarı, Alanya Masifi -Antalya, Türkiye.  
Fotoğrafi çeken: Yurdal GENÇ

**Cover**

Chalcopyrite vein parallel to the schistosity planes of quartzites, Alanya Massif - Antalya, Turkey.  
Photographed by: Yurdal GENÇ

**Yayın Türü (Publication type):** Yaygın Süreli Yayın

**Baskı (Printed by):** Hacettepe Üniversitesi Hastaneleri Basımevi, 06100, Sıhhiye-Ankara

Tel.: +90 312 310 97 90

**Baskı Tarihi (Date of Print):** 17.08.2018

# YERBİLİMLERİ

## Bulletin for Earth Sciences

Cilt / Volume 39 Sayı / No 2 Ağustos / August 2018

### İÇİNDEKİLER CONTENTS

**Suda dağılmaya karşı duraylılık deney sonuçları ile agregaların fraktal boyutu arasındaki ilişkiler / Relationships between results of slake durability test and fractal dimension of aggregates**  
**Kıvanç ZORLU, Saffet YAĞIZ . . . . . 89**

**Termik Santral Katı Atık Depolama Sahası Kapasitesinin Arttırılması Olanaklarının Araştırılması: Yatağan Termik Santrali Örneği / Investigation of capacity increasing facility of solid waste landfill of thermal power plant: a case study of Yatağan Thermal Power Plant**  
**Doğan KARAKUŞ, Mehmet Volkan ÖZDOĞAN, Gökhan TURAN, Gürcan KONAK, Ahmet Hakan ONUR . . . . . 103**

**Türkiye'de Meydana Gelen Depremlerin İyonküre Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi / The Analysis of the Effects of the Earthquakes in the Ionosphere over Turkey**  
**Seçil KARATAY . . . . . 117**

**Sulfur and Lead Isotopic Compositions of the Akgüney (Ordu) Cu-Pb-Zn Deposit in the Black Sea Region, Turkey / Karadeniz Bölgesinde Akgüney (Ordu) Cu-Pb-Zn Yatağının Kükürt ve Kurşun İzotop Bileşimleri**  
**Esra ÜNAL-ÇAKIR, Ahmet GÖKCE . . . . . 131**

**Elektrik ve Elektromanyetik Yöntemler ile Doğu Karadeniz (Trabzon, Türkiye) Kıyı Şeridinde Deniz Suyu Girişiminin Çevreye Olan Etkisinin Araştırılması / The Investigation of Environmental Effect of Sea Water Intrusions in Eastern Black Sea Coastal Area (Trabzon, Turkey) Using Electric Resistivity and Electromagnetic Methods**  
**Ali Erden BABACAN . . . . . 141**



## Suda dağılmaya karşı duraylılık deney sonuçları ile agregaların fraktal boyutu arasındaki ilişkiler

### *Relationships between results of slake durability test and fractal dimension of aggregates*

KIVANÇ ZORLU<sup>1\*</sup>, SAFFET YAĞIZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mersin Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Çiftlikköy, Mersin, Türkiye

<sup>2</sup>Pamukkale Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kınıklı, Denizli, Türkiye

Geliş (received) : 31 Temmuz (July) 2017

Kabul (accepted) : 25 Temmuz (July) 2018

#### ÖZ

Ekonomik değere sahip karbonatlı kayaların bozunmaya karşı duraylılıkları, kullanılabilir olmaları bakımından oldukça önemlidir. Bu tür kayaların, bozunmaya karşı dirençleri laboratuvar koşullarında suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi (SDI) ile belirlenebilmektedir. SDI deneyleri iki çevrim olarak yürütülmekle birlikte, literatürde çoklu çevrim deneylerine de rastlanmaktadır. Bu çalışmada, SDI çevrim sayısının, kaya tane şekli üzerindeki etkisinin fraktal geometri yaklaşımı kullanılarak araştırılması amaçlanmaktadır. Çalışmada, kökenleri, yapısal ve dokusal özellikleri birbirinden farklı yedi çeşit kaya örneği kullanılmıştır. SDI deneyleri toplam 10 çevrim olarak yürütülmüş ve her çevrim sonrasında tanelerin geometrik değişimleri fraktal boyut değerleri (D) ile ortaya konmuştur. Sonuç olarak, her çevrim sonunda SDI değeri azalırken, tanelerin ortalama, D, değeri de azalmaktadır. Fraktal boyutlardaki en belirgin değişim 4. çevrim sonuna kadar elde edilmiş olup, diğer çevrim sonlarındaki değişim ihmal edilebilir düzeydedir.

**Keywords:** Fraktal boyut, kireçtaşı, suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi (SDI), traverten.

#### ABSTRACT

Durability of carbonate rocks in terms of weathering is very important for their usability. Resistance of these types of rocks against weathering could be measured in laboratory conditions by slake durability index (SDI) tests. Although SDI tests are commonly carried out by application of two cycles, studies concerning application more than two cycles are encountered in literature. In this study it is aimed to evaluate the number of SDI cycles on grain shape using fractal geometry approach. During the study, seven different rock types which have various origins, textures and structural features were used. SDI tests were carried out within ten cycles for each rock and geometrical differences in grain shape after application of certain number of cycles were determined by fractal dimension (D) approach. As a result, while SDI was decreased after each cycle, average fractal dimension is also decreased. While, decreases in fractal dimensions were more drastic up to end of fourth cycle, insignificant changes were observed beyond the cycle.

**Anahtar Kelimeler:** Fractal dimension, Limestone, slake durability indices, travertine.

\* K. Zorlu

e-posta: kivancgeo@mersin.edu.tr

## GİRİŞ

Bozunma, kimyasal bozunma ve fiziksel parçalanma ile kaya ve toprak malzemelerinin atmosferik şartlara açık yüzeylerdeki bozulma ve parçalanması sürecidir (Anon, 1995). Bozunma, yerden yere ve zamana göre değişen hava koşulları (iklim, bitki büyümesi vb.) ile tetiklenen dış çevresel etkenlere ve kaya malzemesi ile kaya kütlesi özelliklerine bağlıdır. Kaya malzemesi için, bozunmaya karşı hassasiyeti (veya direnci) belirleyen özellikler, mineraloji, (çözünürlük ve kimyasal bozunmaya karşı direnç), tane boyu, gözeneklilik ve geçirgenliktir (Martin 1986, Price, 1995). Kimyasal bozunma genellikle çözümlenir ve bu çözeltinin derecesi, çözelti yüzeyinden geçen suyun miktarına, çözülmüş malzemeye ve suyun pH'ına bağlıdır. Elementlerin çözünürlüğü değişkenlik göstermekte olup, en sık rastlanan mineral oluşturan elementler için çözünürlük sırası yüksekten düşüğe göre; Ca, Na, Mg, K, Si, Al ve Fe (Price, 1995)'dir. Bununla birlikte, mevcut bozunma sınıflandırmaları, çözünme tipini yeterince açıklamamaktadır. (Anon, 1995)'e göre, farklı durumlar ve ölçekler için çeşitli yaklaşımlar gerekmektedir. Kayaçların bozunabilirliğe karşı duyarlılığı, suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi (SDI) gibi duraylılık parametreleri ile belirlenmektedir. SDI, özellikle çimentolu veya zayıf kayalarda kullanılmakla birlikte, her tür kaya için uygulama örnekleri mevcuttur (Kahraman vd., 2016, Predrag and Goran, 2011, Kolay ve Kayabalı 2006, Kayabalı vd., 2006, Czerewko and Cripps 2001, Singh vd., 2004, Erguler and Ulusay 2009, Santi, 1998). ISRM (1979) ve ASTM (2004) suda dağılmaya karşı duraylılık deneylerinin iki çevrim olarak yürütülmesini önermiş olmakla birlikte, bazı araştırmacılar iki çevrimlik deneyin çimentolu ve killi kayaların duraylılığını belirlemede yeterli olmayacağını savunmuşlardır (Kongcagul ve Santi, 1999, Gökçeoğlu vd., 2000). Deneye tabi tutulan kayaların ikinci döngü sonunda parçalanmış olmalarına rağmen, yüksek SDI değeri gösterdiklerini söyleyen araştırmacılar, döngü sayısının artırılmasının daha doğru sonuçlara ulaşılmasında önemli olduğunu belirtmişlerdir. Çimentolu ve killi kayaların dayanımlarının düşmesinde önemli bir rol oynayan ıslanma-kuruma döngüsü, özellikle bu tür kayaların mineralojilerine bağlı yapısal özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. SDI; porozite, permeabilite, deney çözeltisinin özellikleri, kayanın direnci, deney tamburu içerisine konan tanenin şekli ve kalitesi, örneğin depolanma koşulları gibi pek çok parametre tarafından kontrol edilmektedir (Franklin

ve Chandara, 1972). Literatürde, suda dağılmaya karşı duraylılık deneyi ile; kayanın dayanım özellikleri, mineralojik bileşimi, deneyde kullanılan çözelti ve kayanın porozitesi arasındaki ilişkiyi ortaya koymayı amaçlayan çalışmaların yanı sıra, kaya tane şeklinin deney öncesi ve sonrasındaki değişimini inceleyen araştırmalara rastlamak mümkündür (Vallejo, 1994, Gökçeoğlu vd., 2000, Yılmaz ve Karacan 2005, Kolay ve Kayabalı 2006, Kayabalı vd., 2006, Miscevic ve Vlastelica, 2011, Yağız 2011, Kahraman vd., 2016).

Genel jeoloji ve mühendislik jeolojisi literatüründe fraktal geometriyi çeşitli amaçlar için bir araç olarak kullanan bazı çalışmalar bulmak mümkündür. Vallejo (1994), fraktal boyut ile tane şekli arasındaki nicel ilişkiyi ortaya koymak amacıyla suda dağılmaya karşı duraylılık deneyi çevrimlerinden sonraki tane şekillerine dikkat çeken ilk araştırmacılarından biridir. Kruhl ve Nega (1996), kuvars tanelerinin fraktal şeklini araştırmış ve dokanak oluşumu sırasında fraktal boyutun artan sıcaklıkla düştüğünü bulmuşlardır. Bernal ve Lopez (2000) gözenek yüzeyinin fraktal boyutunu bozunma tanımlayıcısı olarak araştırmışlardır. Araştırmacıların bulgularına göre, aşınma süreçleri yüzey fraktal boyutunda bir artışa neden olmaktadır. Gulbin ve Evangulova (2003), granitlerdeki kuvars agregalarının morfometrisi üzerine çalışmışlar ve kuvars agregalarının fraktal boyutlarının granit türüne bağlı olarak farklı olduğunu göstermişlerdir. Kolay ve Kayabalı (2006), agrega şeklinin ve yüzey pürüzlülüğünün fraktal boyuta göre suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi üzerindeki etkilerini ve yüzey pürüzlülüğü ile suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi arasındaki ampirik ilişkileri araştırmıştır. Zorlu (2008), antik şehir yapı taşlarındaki bozunmayı görsel bir bozunma sınıflamasıyla tanımlamış ve duvarların fraktal boyutlarını bozunma ile ilişkilendirmiştir. Navarre-Sitchler ve Brandley (2007), bazalttaki bozunmanın fraktal boyut yaklaşımı ile belirlenebileceğini ve bozunmanın ilerleme hızının yüzey fraktal boyutu ile ilişkili olabileceğini vurgulamışlardır.

Bu çalışmada, kökenleri, yapısal ve dokusal özellikleri birbirinden farklı yedi çeşit karbonatlı kaya örneğine ait tanelerinin suda dağılmaya karşı duraylılık deneyinde, bozunma sonucu değişen tane şekillerinin geometrik bir yaklaşım olan fraktal analizi amaçlanmaktadır.

## MATERYAL YÖNTEM

Bu çalışmada, laboratuvar deneyleri ve analizler, Denizli ve Antalya ili çevresinde işletilen traverten ve

kireçtaşı ocaklarından elde edilen kayaç örnekleri üzerinde yürütülmüştür (Şekil 1). Denizli ili çevresinde işletilen traverten, içerisinde bulundukları kil miktarı, dokusal farklılıklar, bitki köklerinin oluşturduğu boşluklar ve laminalı doku özellikleri bakımından farklılıklar göstermektedir (Çizelge 1). Sahadan alınan traverten örnekleri fiziksel ve dokusal özelliklerine göre; çalı tipi, kamyş tipi, oniks tipi ve noçe tipi travertenler olarak sınıflandırılabilir. Çalı tipi açık krem-açık kahve renkli, birkaç mm ile cm kalınlığında düzensiz laminalı yapıya sahiptir. Kamyş tipi olarak adlandırılan traverten, bataklık ortamında depolanmış ve depolanma sırasında bitki köklerine tutunarak çökmesi nedeniyle boşluklu, gözenekli bir doku sergilemektedir. Noçe tipi olarak bilinen kahve renkli travertenin yoğunluğu, dayanımı ve sertliği kamyş türü travertenlerden daha yüksektir. Oniks tipi olarak adlandırılan yoğun, açık renkli, çökme yüzeyine dik olarak gelişen kalsit kristalleri içeren traverten tipleri, kamyş ve noçe tipi travertenlere oranla daha yüksek dayanımlıdır. Bu çalışma kapsamında, traverten tiplerine ek olarak, Denizli ili Bozkurt ilçesinde işletilmesi düşünülen siyah renkli dolomitik kireçtaşları, Antalya ili çevresinde işletilen yumuşak beyaz kireçtaşı ve bej renkli kireçtaşları da kullanılmıştır (Şekil 2). Antalya ili çevresinde üretilen dolomitik kireçtaşları, orta dayanımlı kayaçlar sınıfında yer almakta olup, dokusal olarak kompakt olmakla birlikte homojenlik

göstermemektedirler. Antalya Korkuteli ilçesinde işletilmekte olan bej kireçtaşları, orta dayanımlı, homojen ve mikro çatlaklı bir yapıya sahiptirler. Antalya ili, Elmalı ilçesinde işletilen beyaz kireçtaşları ise, kil içeriği yüksek, dayanımı düşük fakat su emme oranı göreceli olarak yüksek bir kaya olarak tanımlanmaktadır. Çalışmada kullanılan yedi farklı tip kayanın fiziksel ve jeomekanik özelliklerini belirlemek amacıyla yürütülen laboratuvar deneylerinin sonuçları Çizelge 2’de verilmiştir.

Petrografik incelemelerde kullanılan kaya tiplerinin her birinin farklı dokular sergilediği gözlenmiştir. Örneğin, kamyş tipi travertenlerin gözeneklilik derecesinin diğer örneklerle göre daha yüksek olduğu, mikrit spartit çimentolu içerdiği ve kalsit kristallerinin varlığı belirlenmiştir. Ancak çalışmaya konu olan kayalarda gözlenen kalsit kristallerinin boyutları oldukça değişken bir aralık sergilemekte, ince taneli kristallerden (beyaz kireçtaşı), kaba tanelilere (dolomitik kireçtaşı) kadar farklı tane boyutlarına rastlanmaktadır (Şekil 3).

#### Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık (SDI) Deneyleri

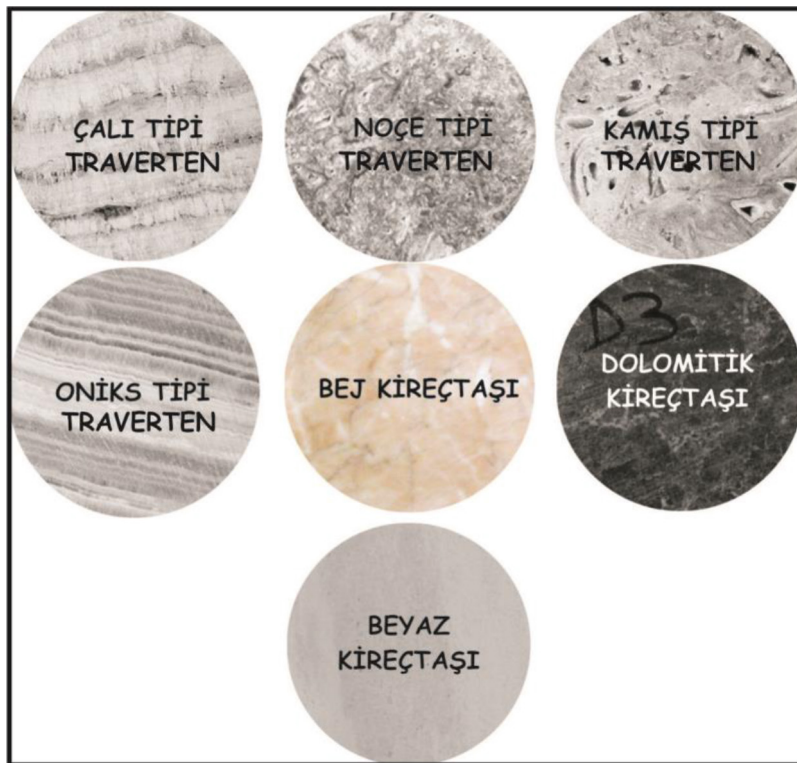
Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi (SDI) deneyi, ilk olarak Franklin ve Chandra (1972) tarafından ortaya konmuştur. Daha sonra, ISRM (1981) tarafından kabul görmüş ve standart hale getirilmiştir. Suda dağılmaya karşı duraylılık, kaya malzemesi ve kaya



Şekil 1. Örnekleme lokasyonlarının haritası.  
Figure 1. Location map of sampling sites.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan kayaç tiplerinin örnekleme sahaları ve mikroskopik/makroskopik özellikleri.  
Table 1. Sampling locations and microscopic / macroscopic properties of rock types used in the study.

| Örnek sahası      | Kaya tipi            | Mikroskopik/makroskopik özellikler   |
|-------------------|----------------------|--|
| Denizli-Kocabaş1  | Çalı tipi traverten  | 3-16 mm kalınlığında laminalar, açık krem renkli, düşük gözenekli, az boşluklu, sparit-mikrit çimentolu, ince/orta taneli                          |
| Denizli-Kocabaş2  | Noçe tipi traverten  | Sparit-mikrit çimentolu, siyah-kahve renkli, göreceli olarak kompakt, laminalanma yok, orta ve kaba taneli, düşük gözenekli                        |
| Denizli Kaklık    | Kamış tipi traverten | Sparit-mikrit çimentolu, siyah-kahve renkli, organik malzeme içerikli, göreceli olarak yüksek gözenekli  |
| Denizli-Honaz     | Oniks tipi traverten | 1-3 mm laminaya sahip, açık renklerden kahve rengine kadar farklı renklerde olabilen, sparit-mikrit çimentolu, kalsit kristalli ve organik malzeme |
| Antalya-Korkuteli | Bej kireçtaşı        | Sparit-kalsit çimentolu, mikro çatlaklar ve kapanmış çatlaklar içeren ikincil kalsit dolgululu orta dayanımlı                                      |
| Denizli-Bozkurt   | Dolomitik kireçtaşı  | Koyu siyah-mavimsi renkli, sahada yer yer breşik görünümlü, sparit-mikrit çimentolu, orta dereceden kaba dereceye doğru farklı tane boyutları      |
| Antalya-Elmalı    | Beyaz kireçtaşı      | Sparit çimentolu, ince taneli, beyaz renkli, homojen, mikro çatlak içermeyen, çakı ile kolayca çizilebilen yumuşak dokulu                          |



Şekil 2. SDI deneylerinde kullanılan kayaçların makroskopik görüntüsü  
Figure 2. Macroscopic view of samples using SDI tests.

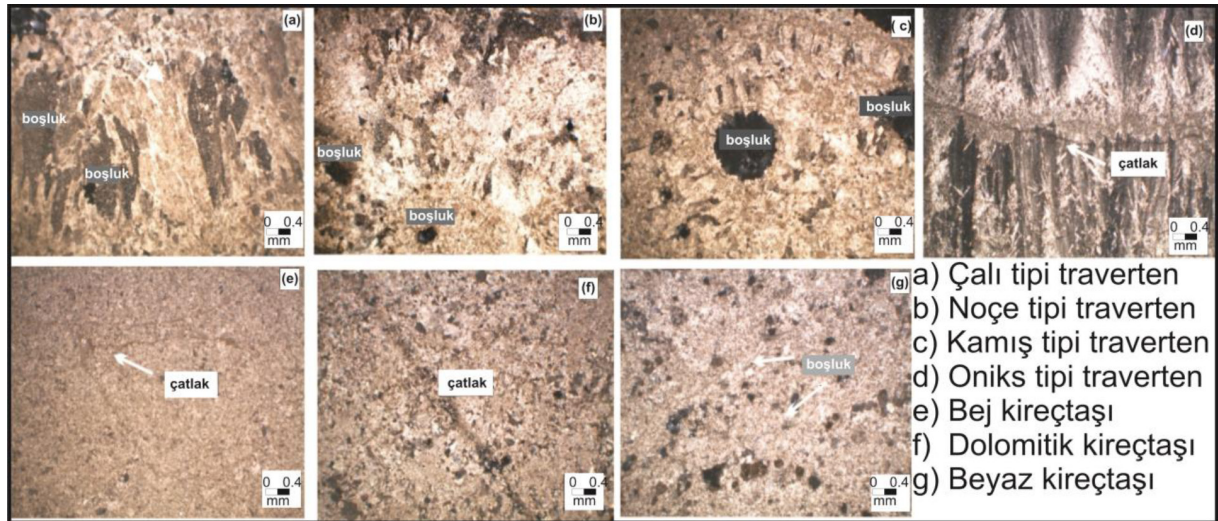
kütelleri için önemli bir özelliktir. Kaya kütlelerinin bozunmaya karşı duyarlılığı ve bozunma dereceleri, suda dağılmaya karşı duraylılık deneyleri ile belirlenmektedir. Genellikle şeyl, kiltası, kumtaşı, marn,

kireçtaşı ve traverten gibi karbonat ve kil içeriği yüksek kayaların suda dağılmaya karşı göstermiş oldukları duraylılık değerinin tayin edilmesi için SDI deneyi kullanılmaktadır. Kayalar için önemli bir mühendislik



Çizelge 2. Çalışmada kullanılan kayaç tiplerinin laboratuvar deney sonuçları  
Table 2. Laboratory test results for studied rocks types.

| Kaya Tipi            | $g_{dry}$<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | $g_{sat}$<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | UCS<br>(MPa) | V <sub>p</sub><br>(km/s) | E<br>(GPa) | n'<br>(%) | W<br>(%)  |
|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------|--------------------------|------------|-----------|-----------|
| Çalı tipi traverten  | 24,27±0,22                        | 24,40±0,25                        | 61±20        | 4,8±0,12                 | 43±7       | 1,35±0,46 | 0,55±0,19 |
| Oniks tipi traverten | 26,63±0,46                        | 26,84±0,38                        | 61±20        | 4,7±0,19                 | 44±5       | 2,05±0,88 | 0,76±0,34 |
| Kamış tipi traverten | 23,18±0,56                        | 23,36±0,54                        | 41±17        | 4,5±0,11                 | 35±6       | 1,89±0,50 | 0,80±0,22 |
| Noçe tipi traverten  | 23,73±0,48                        | 23,88±0,42                        | 64±11        | 5±0,08                   | 44±3       | 1,59±0,89 | 0,66±0,38 |
| Dolomitik kireçtaşı  | 27,26±0,34                        | 27,32±0,32                        | 92±33        | 4,9±0,29                 | 52±12      | 0,60±0,27 | 0,22±0,10 |
| Beyaz kireçtaşı      | 22,67±0,98                        | 23,62±0,78                        | 32±4         | 3,8±0,41                 | 22±5       | 9,70±2,20 | 4,24±1,14 |
| Bej kireçtaşı        | 26,31±0,08                        | 26,32±0,08                        | 82±28        | 5,0±0,17                 | 46±4       | 0,16±0,10 | 0,06±0,04 |



Şekil 3. Çalışmada kullanılan kayaların polarize mikroskop altında çift nikol görüntüleri (x10).  
Figure 3. Studied rocks, cross polarized under microscope (x10).

özelliği olan suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi ( $I_{d2}$ ), bozunma çalışmalarının yanı sıra, modifiye kaya kütle sınıflama sistemi (M-RMR) ve tek eksenli sıkışma dayanımının belirlenmesine yönelik yaklaşımlar gibi çalışmalarda da yaygın olarak kullanılan parametrelerden biridir. Bir kayanın suda dağılılabileme özelliği pek çok faktöre bağlıdır. Özellikle kaya tipi, mineralojik bileşimi, bozunma derecesi, yapısı ve dokusu suda dağılılabileme özelliği ile yakından ilişkilidir. Bu nedenle, standartlara göre hazırlanması gereken örneklerin, yeteri kadar dikkatle hazırlanmaması durumunda, sonuçlar gerçek değerinden fazla çıkmakta ve duraylılık sınıfları değişmektedir (Kolay ve Kaya-bali, 2006).

SDI deneyinin amacı, belirli boyutlarda hazırlanmış olan kaya örneklerin, standart iki çevrim süresince kurumaya ve ıslanmaya bırakılması durumunda, parçalanmaya ve zayıflamaya karşı gösterdiği duraylılık değerinin belirlenmesidir (Martin, 1986). Bazı araştırmacılar (Ulusay vd., 1995, Gökçeoğlu ve Aksoy, 2000), SDI deneyinde iki yerine dört veya daha fazla döngünün uygulanması ile daha anlamlı sonuçlara ulaşılabilineceğini vurgulamışlar. Ancak her çevrim sonrasında izlenecek standart yöntem düşünüldüğünde bunun oldukça uzun bir zaman alacağı da oldukça açıktır.

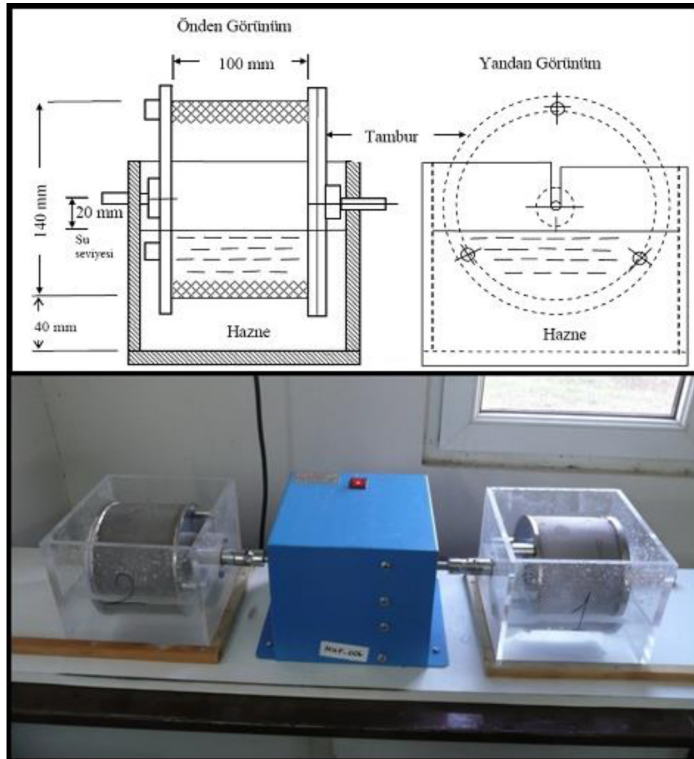
Bu çalışmada suda dağılmaya karşı duraylılık deneyleri 10 çevrim olarak yürütülmüş olup, her bir

litolojiden 10 set deney numunesi hazırlanmıştır. Deneylerde kullanılan örnekler yaklaşık aynı boyutlarda, 45-55 gr ağırlığında ve 10 parça olacak şekilde hazırlanmıştır. Deney cihazındaki tamburun elek açıklığı 2 mm standart açıklık olup, çevrim süresi 20 rpm hızla 10 dakika olarak ayarlanmıştır. Fırında 105 C°'ye kurutulmuş olan örnekler, tambur ile birlikte 20 C° su ile yarıya kadar doldurulmuş olan hazne içerisine konulmuştur (Şekil 4). Her bir çevrim sonrasında örnekler ve tambur fırında kurutulurken ağırlıkları ölçülmüştür. Herhangi bir çevrim sonrasında ait kuru ağırlığın, o çevrim öncesine ait olan kuru ağırlığa oranı, ilgili çevrim için suda dağılmaya karşı duraylılık indeksini (Id) vermektedir. SDI deneylerine ait sonuçlar Çizelge 3'de ve çevrim sayılarına göre SDI sonuçları ise Şekil 5'de sunulmuştur.

### Fraktal Boyut Analizleri

Fraktal kelimesi literatüre ilk kez Mandelbrot (1967) ile girmiş ve oldukça geniş kullanım alanları bulmuştur. Doğada çoğu nesnenin düzenli bir geometrik şekli olmamasından yola çıkılarak ortaya atılmış olan bu kavramda, düzensizliklerin ve parçalılığın

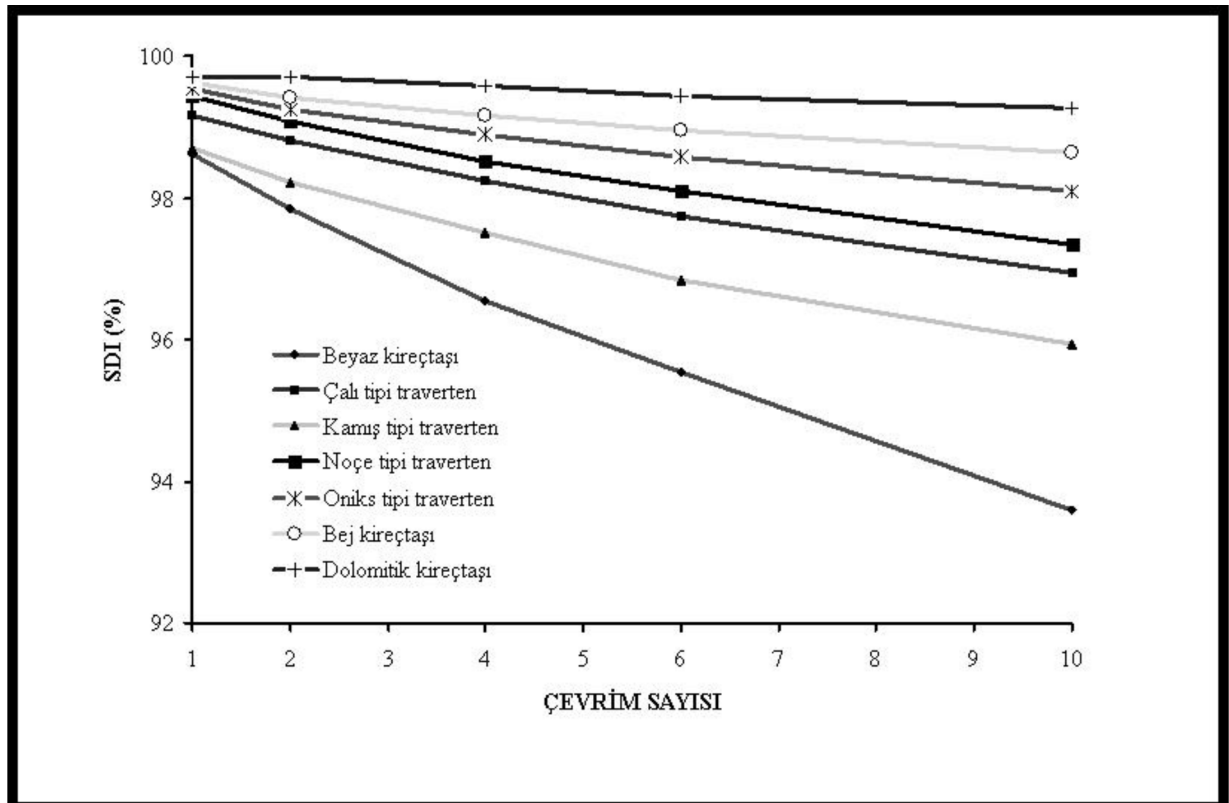
matematiksel olarak ölçeklendirme özellikleri analiz edilmektedir. Doğadaki geometrik şekiller genellikle Öklid geometrisi kullanılarak analiz edilmektedir. Buna göre, düz çizgiler mükemmel düz çizgiler ve eğriler mükemmel dairelerin yayları olarak tanımlanır. Ancak, doğada bu tür mükemmel geometrilere rastlamak oldukça zordur. Çünkü doğal nesnelerin şekilleri çoğu zaman düzensiz bir yapı sergilemektedir. Fraktal geometri, düzensiz şekilli nesnelerin geometrisini tanımlamak amacıyla geliştirilmiş matematiksel bir kavramdır (Vallejo, 1994). Mükemmel geometrik şekillerin (doğru parçası, daire, prizma vb.) tanımlanmasında formüller kullanılırken, fraktal şekillerin tanımlanmasında yineleme (iterasyon) kullanılmaktadır. Bu nedenle basit geometrik şekillere ait boyut değerlendirmesi ile fraktal şekillere ait değerlendirmeler birbirinden oldukça farklıdır. Örneğin, fraktal ölçekleme özelliği taşımayan basit bir doğru parçasının topolojik boyutu  $D_T=1$  iken, fraktal ölçekleme özelliğine sahip çizgisel bir nesnenin fraktal boyutu  $1 < D < 2$  arasında değişebilen, özel ondalık değerlere sahiptir. Benzer şekilde; bir düzlem için topolojik boyut  $D_T=2$  iken, fraktal ölçekleme özelliğine sahip topografik bir yüzey için  $2 < D < 3$  aralığında değişebilen



Şekil 4. Suda dağılmaya karşı duraylılık deney düzeneği  
Figure 4. Testing apparatus of slake durability test.

Çizelge 3. Standart sapma değerleri ile birlikte ortalama SDI deney sonuçları. (Yağız, 2011'den)  
 Table 3. Summary of averaged SDI with standard deviation (from Yağız, 2011).

| Çevrim Sayısı | Çalı tipi traverten | Noçe tipi traverten | Kamış tipi traverten | Oniks tipi Traverten | Bej kireçtaşı | Dolomitik kireçtaşı | Beyaz kireçtaşı |
|---------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|---------------|---------------------|-----------------|
| Id1           | 99.23±0.08          | 99.25±0.11          | 98.94±0.12           | 99.53±0.04           | 99.62±0.03    | 99.73±0.06          | 99.00±0.15      |
| Id2           | 98.91±0.10          | 98.87±0.12          | 98.55±0.14           | 99.24±0.07           | 99.43±0.04    | 99.65±0.06          | 98.49±0.25      |
| Id3           | 98.57±0.11          | 98.59±0.13          | 98.23±0.16           | 99.05±0.09           | 99.29±0.07    | 99.56±0.06          | 98.03±0.33      |
| Id4           | 98.34±0.12          | 98.32±0.16          | 97.95±0.19           | 98.86±0.10           | 99.13±0.05    | 99.50±0.07          | 97.62±0.40      |
| Id5           | 98.09±0.13          | 98.09±0.17          | 97.66±0.23           | 98.69±0.13           | 99.00±0.06    | 99.43±0.07          | 97.26±0.45      |
| Id6           | 97.89±0.15          | 97.88±0.19          | 97.44±0.25           | 98.55±0.15           | 98.89±0.08    | 99.36±0.08          | 96.97±0.52      |
| Id7           | 97.71±0.18          | 97.69±0.17          | 97.24±0.26           | 98.41±0.16           | 98.80±0.08    | 99.31±0.08          | 96.63±0.61      |
| Id8           | 97.54±0.19          | 97.51±0.17          | 97.05±0.28           | 98.28±0.17           | 98.70±0.11    | 99.24±0.08          | 96.36±0.68      |
| Id9           | 97.36±0.20          | 97.37±0.18          | 96.86±0.29           | 98.15±0.19           | 98.60±0.12    | 99.19±0.09          | 96.06±0.74      |
| Id10          | 97.20±0.22          | 97.18±0.19          | 96.67±0.30           | 98.05±0.21           | 98.53±0.13    | 99.15±0.09          | 95.79±0.80      |



Şekil 5. Kayaç tiplerinin çevrim sayılarına göre SDI deney sonuçları.

Figure 5. SDI test results based on wetting-drying cycles of studied rock types.

fraktal boyut değerleri söz konusu olacaktır. Fraktal özellik gösteren doğal nesnelerin fraktal boyutlarının hesaplanmasında, nesneye ait veri setinin, tıpkı kıyı şeritlerinde ya da süreksizlik yüzeyi pürüzlülük profillerinde olduğu gibi topolojik olarak 1-Boyutlu (1-D), veya süreksizlik yüzeyleri gibi topografik yüzeylerde olduğu gibi topolojik olarak 2-Boyutlu (2-D) olmasına bağlı olarak seçilebilecek başlıca kutu sayma, pergel (ya da cetvel) yöntemi, variogram analizi, alan/çevre metodu, güç spektrum yoğunluğu analizi gibi çeşitli yöntemler literatürde önerilmiştir. Yöntemlere ve bunların geçerli oldukları veri seti tiplerine ait detaylı değerlendirmeler Klinkenberg (1994) ve Develi ve Babadağı (1998)'de mevcuttur.

SDI deneylerinin ıslanma ve kuruma döngüsünde, aşınma süreci ile tanelerin şeklindeki düzensizliklerin yanı sıra, keskin köşeleri yontulmakta ve profillerinde geometrik değişiklikler meydana gelmektedir (Şekil 6). Bu çalışmada, deneyin her bir çevrimi sonrasında, agrega tanelerinde meydana gelen geometrik değişimleri değerlendirmek amacıyla fraktal geometriden yararlanılmış, agrega profilleri fraktal boyut (D) değerleri ile tanımlanmıştır.

Bir nesnenin fraktal boyutunu hesaplamak için farklı yöntemler olmakla birlikte, grid hücre yöntemi sıklıkla tercih edilen bir yöntem olarak literatürde yer almaktadır. Çalışmada kullanılan kaya tanelerinin fraktal boyutları, laboratuvarında yürütülen SDI deneylerinin her bir çevrimi sonrası çekilmiş olan fotoğrafların JAVA dilinde yazılmış bir bilgisayar programı olan (FRACEK 1.0) yardımıyla sayısallaştırılması ile hesaplanmıştır (Sezer, 2007) (Şekil 7). Şekil 7'de görüldüğü gibi tanelerin alansal olarak yüzeyleri değil dört farklı açıdan çevreleri sayısallaştırılmıştır. Bu işlemi yapmaktaki amaç, açısız olarak yüzey değişiminin fraktal boyut değerini nasıl etkilediğini görmek ve ortalama fraktal boyutu kullanarak taneyi daha iyi temsil edecek bir değere ulaşmaktır. Fraktal boyutların hesaplanmasında grid-hücre yöntemi kullanılmıştır. Sayısallaştırma aşamasından sonra, her bir grid hücresinin boyutları (s), kare hücrelerinin sayıları (N(s)) ve çevre tahmini (sxN(s)) parametreleri otomatik olarak hesaplanmış ve bir Excel dosyası haline dönüştürülmüştür. Fraktal boyut (D) ve benzerlik katsayıları (b) kullanıcı tarafından çizilen grafiklerden hesaplanmıştır (Şekil 8). Grid hücre yöntemi için kullanılan genel matematiksel ifade aşağıda verilmiştir.

$$D = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{\text{Log}N(s)/\text{Log}(s)}{\quad} \quad (1)$$

7 farklı kaya tipi üzerinde yapılan deneylerde, toplam 70 adet tanenin 1., 2., 4., 6., 10. çevrimler sonundaki fraktal boyutları bir tanenin dört yüzeyinin ortalaması alınarak belirlenmiştir (Çizelge 4).

### 2.3 Hesaplanan Fraktal Boyutların İstatistiksel Değerlendirmesi

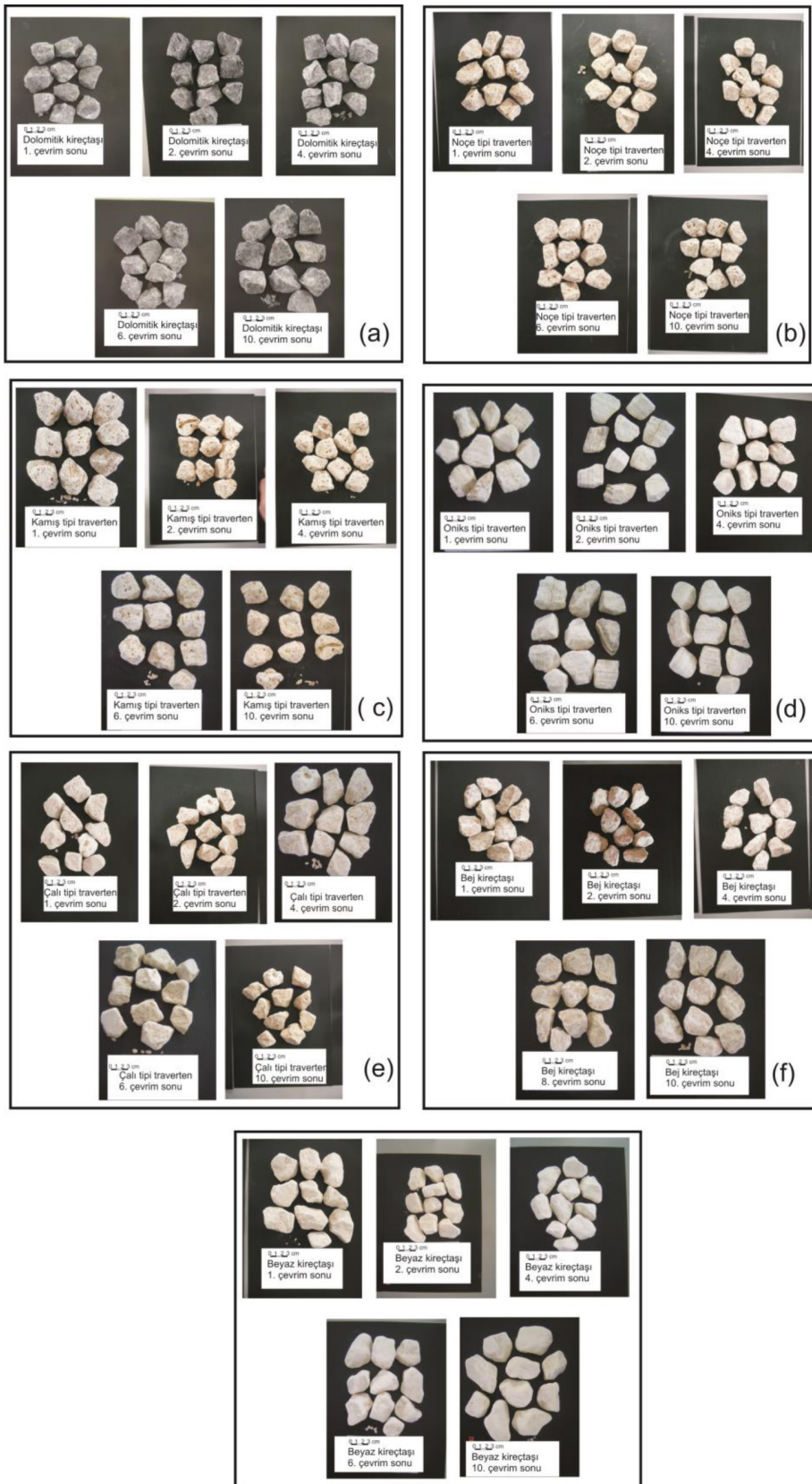
Bu çalışmada, her birinden 10 set olmak üzere 7 farklı kaya üzerinde 10 çevrimlik SDI deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyin her çevrimi sonunda, ayrışma sonucu tanelerin geometrik değişimini belirlemek amacıyla, tanelerin çevresi (FRACEK 1.0) yazılımı kullanılarak 2 boyutta sayısallaştırılmıştır. Sayısallaştırma sonrasında, fraktal boyutları belirlenen agrega tanelerinin, SDI deney çevrimleri ile geometrik değişimleri ortaya konmuştur.

SDI deneyleri ile kaya tanelerinin fraktal boyutları arasındaki ilişkiler belirlenirken her bir kayaç grubu kendi içinde değerlendirilmiştir. Yapılan istatistiksel değerlendirmeler sonucunda, çevrim sayısının artması ile fraktal boyutun (D) azaldığı gözlenmiştir. Çevrimler sonunda agrega tanelerinin birbirine çarpmalarından kaynaklanan ve tanelerin yuvarlaklaşmasına neden olan döngü, fraktal boyutun azalmasına neden olmaktadır (Şekil 7). Ayrıca SDI-D ilişkisinin de oldukça yüksek korelasyon katsayısına sahip olduğu belirlenmiştir (Şekil 9). İstatistiksel değerlendirmelerde,  $Id_1$ ,  $Id_2$ ,  $Id_4$ ,  $Id_6$ ,  $Id_{10}$  çevrimleri kullanılmıştır.  $Id_3$ ,  $Id_5$ ,  $Id_7$ ,  $Id_8$ ,  $Id_9$  çevrim sonunda elde edilen sonuçlar, verilerin üst üste binmeleri ve istatistiksel analizlerde, yaşanacak yorumlama güçlükleri dikkate alınarak istatistiksel değerlendirmeye alınmamıştır.

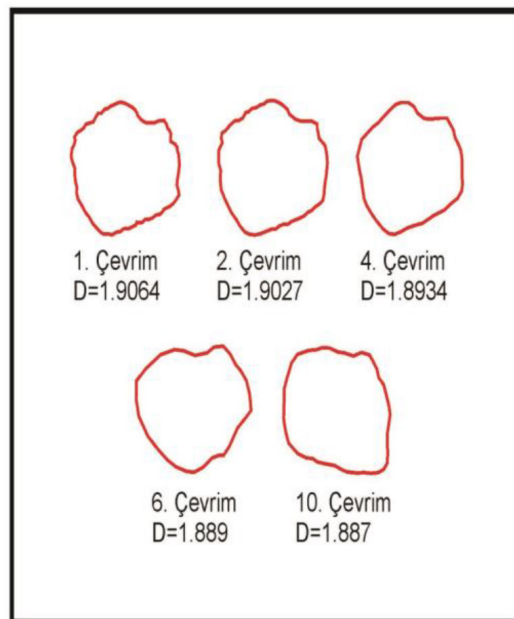
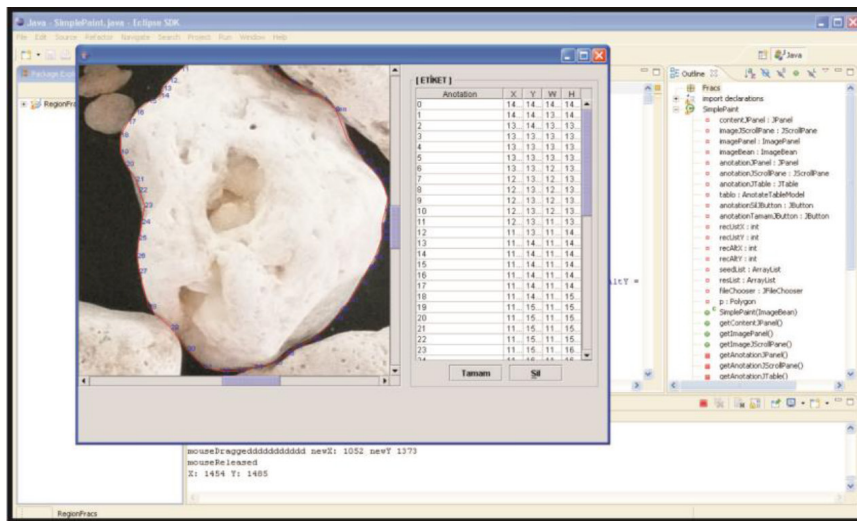
Kaya tipleri mineralojik ve yapısal özelliklerine göre, her bir çevrim sonunda farklı davranış sergilenmekte, buna göre SDI değerlerinde de değişimler gözlenmektedir. Çalışmada kullanılan tüm kaya tiplerinin SDI değerleri ile fraktal boyutları birlikte değerlendirildiğinde anlamlı bir ilişki sunmamaktadır (Şekil 10). Bu nedenle, her bir kayaca ait SDI ve fraktal boyut değerlendirmelerinin kendi içinde yapılması daha anlamlı sonuçlara ulaşmak için önemlidir.

### SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, suda dağılmaya karşı duraylılık deneyinde kullanılan örneklerin aşınmanın yanı sıra, tane şekli üzerinde meydana gelen geometrik değişimler fraktal analiz modellemesi ile nicel olarak ifade edilmiştir. Çalışma kapsamında, 7 farklı kaya örneğinin

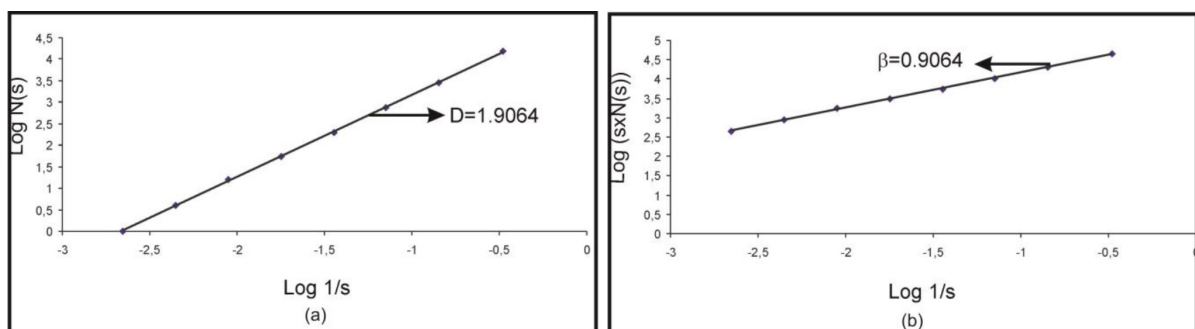


Şekil 6. 1., 2., 4., 6., ve 10. çevrimler sonunda tanelerin şekli.  
 Figure 6. Rock grain shapes after 1., 2., 4., 6., and 10. cycles.



Şekil 7. Fraktal boyut hesaplamalarında kullanılan tanelerin sayısallaştırma işlemi ve şematik gösterimi (Çalı tipi traverten).

Figure 7. Digitization process and schematic representation of particles used in fractal dimension calculations



Şekil 8. Fraktal boyut hesaplamalarına bir örnek.

Figure 8. An example for the calculation of fractal dimension.

Çizelge 4. SDI deneyi çevrimleri sonunda elde edilen fraktal boyutları.  
Table 4. Summary of the fractal dimensions obtained from SDI wetting-drying cycles.

| Kayaç Tipi                  | D (en yüksek)   |                 |                 |                 |                  | D (en düşük)    |                 |                 |                 |                  | D (ortalama)    |                 |                 |                 |                  |
|-----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
|                             | Id <sub>1</sub> | Id <sub>2</sub> | Id <sub>4</sub> | Id <sub>6</sub> | Id <sub>10</sub> | Id <sub>1</sub> | Id <sub>2</sub> | Id <sub>4</sub> | Id <sub>6</sub> | Id <sub>10</sub> | Id <sub>1</sub> | Id <sub>2</sub> | Id <sub>4</sub> | Id <sub>6</sub> | Id <sub>10</sub> |
| <b>Çalı tipi traverten</b>  | 1,9131          | 1,9085          | 1,903           | 1,889           | 1,887            | 1,8532          | 1,8346          | 1,7532          | 1,7641          | 1,7279           | 1,883           | 1,872           | 1,828           | 1,827           | 1,807            |
| <b>Noçe tipi traverten</b>  | 1,8869          | 1,8827          | 1,877           | 1,872           | 1,8717           | 1,6489          | 1,6248          | 1,5816          | 1,5335          | 1,531            | 1,768           | 1,754           | 1,729           | 1,703           | 1,701            |
| <b>Kamış tipi traverten</b> | 1,925           | 1,8962          | 1,883           | 1,8233          | 1,8198           | 1,7521          | 1,722           | 1,6468          | 1,4287          | 1,4118           | 1,839           | 1,809           | 1,765           | 1,626           | 1,616            |
| <b>Onix tipi traverten</b>  | 1,8245          | 1,7923          | 1,7545          | 1,7312          | 1,7311           | 1,7896          | 1,6754          | 1,5246          | 1,4834          | 1,4822           | 1,807           | 1,734           | 1,640           | 1,607           | 1,607            |
| <b>Bej kireçtaşı</b>        | 1,9086          | 1,8846          | 1,8814          | 1,7622          | 1,7588           | 1,8651          | 1,8478          | 1,7617          | 1,7334          | 1,7318           | 1,887           | 1,866           | 1,822           | 1,748           | 1,745            |
| <b>Dolomitik kireçtaşı</b>  | 1,9422          | 1,9231          | 1,8955          | 1,8742          | 1,8654           | 1,8948          | 1,8614          | 1,6742          | 1,5233          | 1,5186           | 1,919           | 1,892           | 1,78            | 1,699           | 1,692            |
| <b>Beyaz kireçtaşı</b>      | 1,8747          | 1,8533          | 1,8416          | 1,8211          | 1,8188           | 1,7552          | 1,7148          | 1,5415          | 1,4718          | 1,4369           | 1,815           | 1,784           | 1,692           | 1,646           | 1,628            |

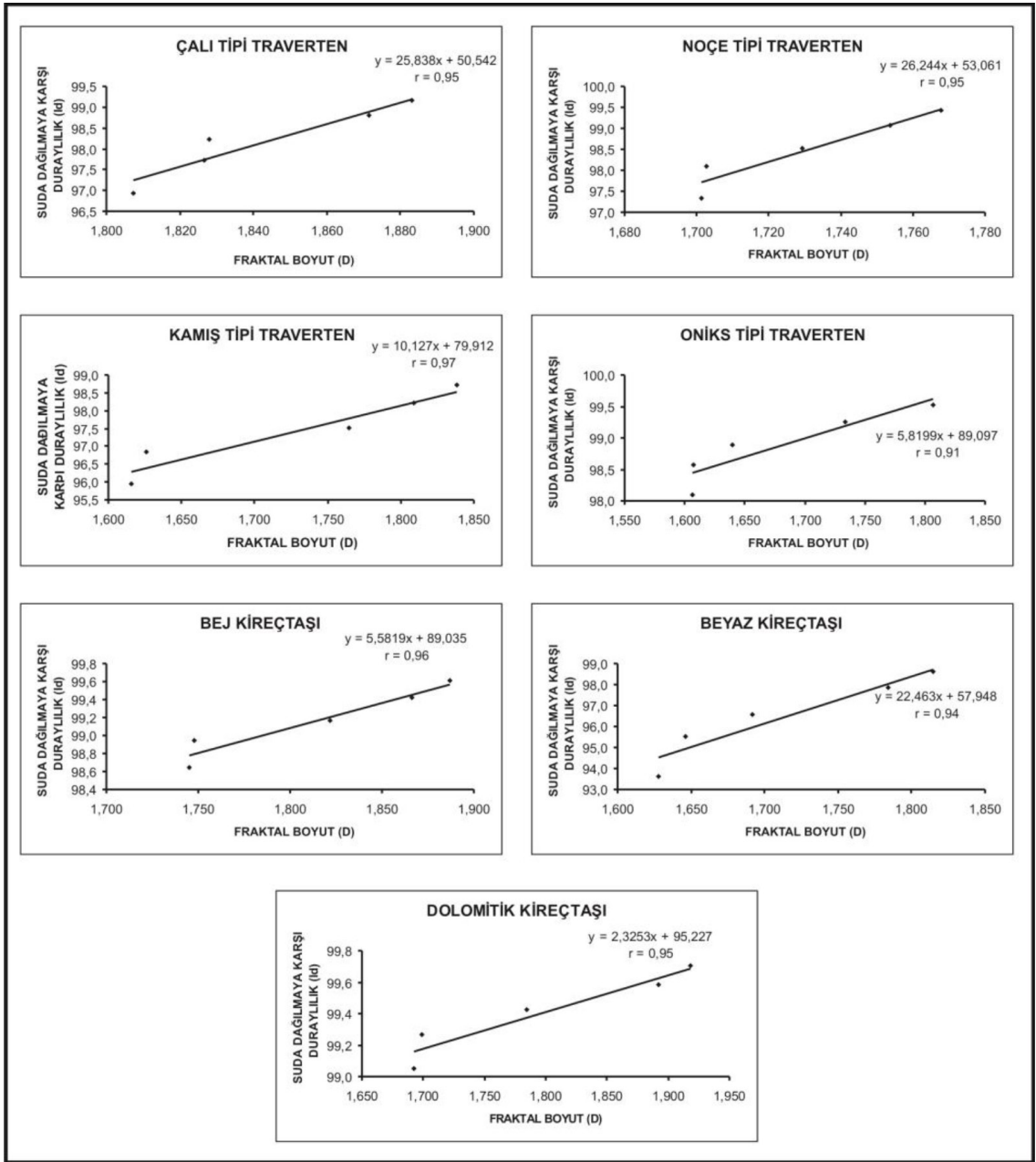
SDI deneyleri ile, 10 çevrim sonundaki geometrik tane şekillerindeki değişim, fraktal boyut analizleri ile belirlenmiştir.

SDI deneyinin her bir çevrimi sonrasında, fraktal boyutta gözlenen azalma, bu çalışma ile benzer çalışmalarda olduğu gibi (Yılmaz ve Karacan 2005, Kolay ve Kayabalı 2006, Kayabalı vd., 2006), tanelerin geometrisindeki düzensizliğin bir artışı olarak ifade edilebilir. Bu şekilde, taneler arasındaki sürtünmeye bağlı makaslama dayanımında da bir azalma olacaktır. Oransal bir sayı ile ifade edilen fraktal boyut kavramı, suda dağılmaya karşı duraylılık deneyinin aşamaları sırasında, kaya parçalarının şekilsel ve geometrik değişimleri yorumlamak için kullanılabilir önemli bir matematiksel araç olarak düşünülebilir.

Kayalara ait fraktal boyut ile SDI arasında oldukça kuvvetli bir ilişki bulunmaktadır, fakat bu ilişki aynı tip kaya dikkate alındığında geçerlidir. Eğer farklı kaya tiplerinde yapılan deneylerden elde edilen tüm SDI ve fraktal boyut (D) değerleri aynı veritabanı olarak kabul edilse ve ilişkilendirilirse, bu durumda aralarında anlamlı bir ilişki gözlenmemektedir.

SDI deneyinde, özellikle killi ve çimentolu kayalarda, kayanın mineralojik ve yapısal özellikleri önemli bir rol oynamaktadır. Düşük gözeneklilik, iri taneli bir yapı ve özellikle sert dolguluya sahip kayalarda (çalı tipi traverten, noçe tipi traverten ve bej kireçtaşı gibi) göreceli daha yüksek fraktal boyut değerleri, devam eden aşınma süreci ile tanelerin şeklindeki düzensizliklerin tamamen yuvarlaklaşmadığına, aşınmaya ve parçalanmaya karşı direncin daha yüksek olduğuna işaret etmektedir. Bunun tersine, daha yumuşak, organik malzeme içerikli ve gözenekli kaya örneklerinde fraktal boyutlarının daha düşük olduğu gözlenmektedir. Bu da deney sırasında meydana gelen aşındırıcı kuvvetler ile sivri köşelerin daha düzgün ve kolay bir biçimde tıraşlandığını göstermektedir.

Daha önceki çalışmalarda, SDI deneyinin 4. çevrim sonuna kadar devam etmesinin yeterli olduğu, daha sonraki çevrimlerin sonuçları dikkate değer bir biçimde etkilemediği belirtilmiştir (Gökçeoğlu vd., 2000). Çalışma kapsamında, 10 çevrim olarak yürütülen SDI deneylerinde de, 4 çevrimin yeterli olduğu, dördüncü çevrimden sonra çevrim sayısını artırmaya gerek olmadığı, fraktal boyut analizleri ile de doğrulanmıştır. Islanma ve kuruma çevrimleri ile taneler arası bağlar zayıflamakta, ancak bu durum kayanın duraylılık kazanmasına neden olmaktadır (Gökçeoğlu vd., 2000). Başka bir deyişle, elde edilen fraktal boyutlar



Şekil 9. SDI çevrim sayısı ve fraktal boyut ilişkisi.

Figure 9. Relationships between SDI wetting-drying cycles and fractal dimensions

arasındaki ilişkiler ve dördüncü çevrimden sonraki D değerlerindeki değişimin ihmal edilebilir boyutlarda olması, çevrim sayısını 4 ile sınırlandırmanın yeterli olacağını göstermektedir.

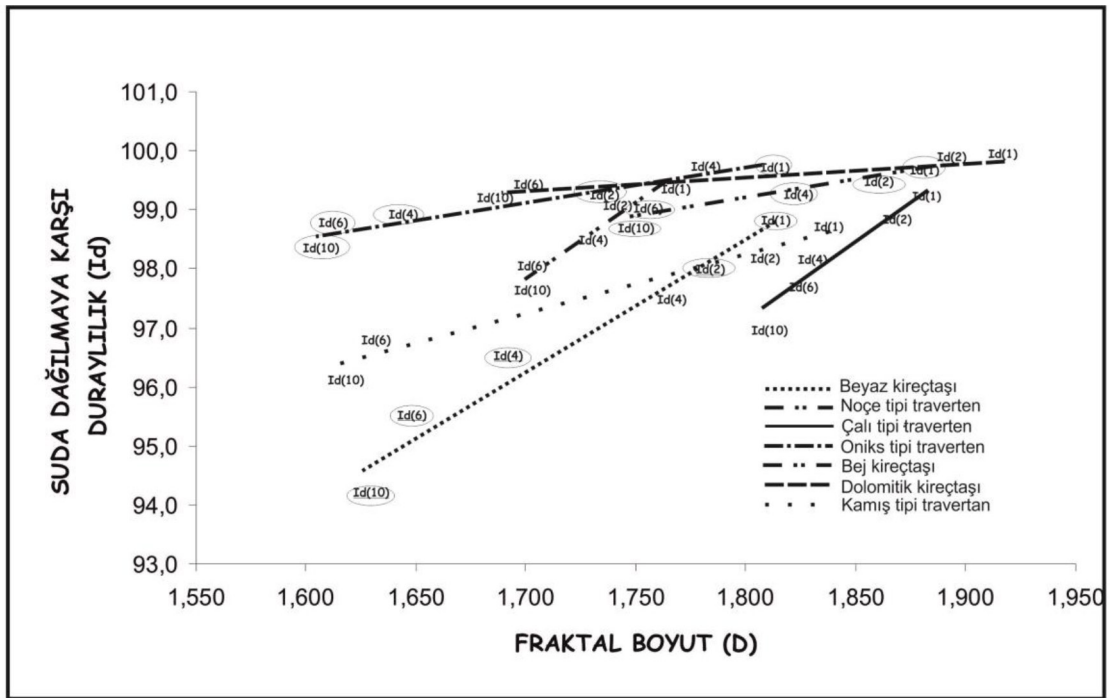
Bu çalışma 7 farklı kaya tipi üzerinde yürütülmüş olup, kaya tiplerine ait çeşitlilik bundan sonraki çalışmalarda artırılabilir. SDI deneylerinde, farklı kaya tipleri için belirlenecek olan fraktal boyutlar ile bir kılavuz veya abak hazırlanabilir. Bu şekilde, kaya tanelerinin

geometrik özelliklerini yansıtan fraktal boyutları, SDI değerleri ile birlikte değerlendirilebilir.

#### KATKI BELİRTME

Yazarlar, makaleye katkıları ile önemli destek sağlayan iki hakemimize teşekkür ederler.





Şekil 10. Tüm kayaç tiplerinin birlikte değerlendirildiği SDI-Fraktal Boyut grafiği.  
Figure 10. SDI- fractal dimension graph evaluating all type of rocks.

## KAYNAKLAR

- ANON, 1995. The description and classification of weathered rocks for engineering purposes. Quarterly Journal of Engineering Geology , 28, 207-242.
- ASTM (D4373-02)., 2004. Standard test method for rapid determination of carbonate content of soils.
- Bernal J.L., P Lopez MAB., 2000. The fractal dimension of stone pore surface as weathering descriptor. Applied Surface Surface, 161, 47-53.
- Czerewko M.A., Cripps J.C., 2001, Assessing the durability of mudrocks using the modified jar slake index test. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 34(2):153-163.
- Develi K., Babadağlı T., 1998. Quantification of natural fracture surface using fractal geometry. Mathematical Geology, 30(8), 971-998.
- Erguer Z.A., Ulusay R., 2009. Assessment of physical disintegration characteristics of clay-bearing rocks: disintegration index test and a new durability classification chart. Engineering Geology, 105:11-19.
- Franklin J.A., Chandra R., 1972. The slake durability test. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 9,325-341.
- Gökçeoğlu C., Aksoy H., 2000. New approaches to the characterization of clay-bearing, densely jointed and weak rock masses. Engineering Geology, 58, 1-38.
- Gökçeoğlu C., Ulusay R., Sönmez H., 2000. Factors affecting the durability of selected weak and clay-bearing rocks from Turkey, with particular emphasis on the influence of the number of drying and wetting cycles. Engineering Geology, 57:215-237.
- Gulbin Y.L., Evangulova E.B., 2003. Morphometry of quartz aggregates in granites: fractal images referring to nucleation and growth processes. Mathematical Geology, 35 (7), 819-833.
- ISRM, 1979. Suggested methods for determining water content, porosity, density absorption and related properties and swelling and slake-durability index properties. International Journal of Rock Mechanics and Mining

- Science Geomechanical Abstract 16:141–156.
- ISRM. 1981. ISRM Suggested Methods: Rock Characterization, Testing and Monitoring. E. T. Brown (ed.), Pergamon Press, London.
- Kayabali K., Beyaz T., Kolay E., 2006. The effect of the pH of the testing liquid on the slake durability of gypsum. *Bulletin of Engineering Geology and Environment*, 65:65–71.
- Kahraman S., Fener M., Gunaydin O., 2016. Estimating the uniaxial compressive strength of pyroclastic rocks from the slake durability index. *Bulletin of Engineering Geology and Environment*, DOI 10.1007/s10064-016-0893-3.
- Kolay E., Kayabali K., 2006. Investigation of the effect of aggregate shape and surface roughness on the slake durability index using the fractal dimension approach. *Engineering Geology*, 86, 271-294.
- Klimkenberg B., 1994. A review of methods used to determine the fractal dimension of linear feature. *Mathematical Geology*, 36 (1), 23-46.
- Koncagul E.C., Santi P.M., 1999. Predicting the unconfined compressive strength of the Breathitt shale using slake durability, Shore hardness and rock structural properties. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 36:139–153.
- Kruhl J.H., Nega M., 1996. The fractal shape of sutured quartz grain boundaries: application as a geothermometer. *Geologische Rundschau*, 85, 38-43.
- Mandelbrot B.B., 1967. How long is the coast of Great Britain? Statical self similarity and the fractal dimension. *Science*, 156, 636- 638.
- Martin R.P., 1986. Use of index tests for engineering assessment of weathered rocks. In: Proc. 5th. Int. Cong. of IAEG, Buenos Aires, 433–460.
- Miscevic P and Vlastelica G., 2011. Durability Characterization of Marls from the Region of Dalmatia, Croatia. *Geotechnical Geological Engineering*, 29:771–781.
- Navarre-Sitchler A., Brandley S., 2007. Basalt weathering across scales. *Earth and Planetary Science Letters*, 261, 1–2, 321-334..
- Price D.G., 1995. Weathering and weathering processes. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 28, 243-252.
- Santi P.M., 1998. Improving the jar slake, slake index, and slake durability tests for shales. *Environmental and Engineering Geoscience*, 4(3):385–396.
- Sezer E., 2007. FRACEK: A computer program for fractal analysis, Version 1.0. Hacettepe University, Department of Computer Engineering.
- Singh T.N., Verma A.K., Singh V., Sahu A., 2005. Slake durability study of shaly rock and its predictions. *Environmental Geology*, 47:246–253.
- Ulusay R., Arikan F., Yoleri M.F., Çağlayan D., 1995. Engineering geological characterization of coal mine waste material and evaluation in the context of back analysis of spoil pile instabilities in a strip mine SW Turkey. *Engineering Geology*, 40, 77–101.
- Vallejo L.E., 1994. Fractal analysis of the slake durability test. *Canadian Geotechnical Journal*, 31:1003–1008.
- Yağız S., 2011. Correlation between slake durability and rock properties for some carbonate rocks. *Bulletin of Engineering Geology and Environment*, 70,377–383.
- Yılmaz I., Karacan E., 2005. Slaking durability and its effect on the doline occurrence in the gypsum. *Environmental Geology*, 47(7):1010–1016.
- Zorlu K., 2008. Description of the weathering states of building stones by fractal geometry and fuzzy inference system in the Olba ancient city (Southern Turkey). *Engineering Geology*, 101 (3-4), 124-133.

## Termik Santral Katı Atık Depolama Sahası Kapasitesinin Arttırılması Olanaklarının Araştırılması: Yatağan Termik Santrali Örneği

*Investigation of capacity increasing facility of solid waste landfill of thermal power plant: a case study of Yatağan Thermal Power Plant*

DOĞAN KARAKUŞ<sup>1</sup>, MEHMET VOLKAN ÖZDOĞAN<sup>\*1</sup>, GÖKHAN TURAN<sup>1</sup>, GÜRCAN KONAK<sup>1</sup>, AHMET HAKAN ONUR<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir, TÜRKİYE

Geliş (*received*) : 8 Ocak (January) 2018

Kabul (*accepted*) : 28 Temmuz (July) 2018

### ÖZ

Günümüzde enerji üretimi ülkelerin en önemli çabalarının başında gelmektedir. Kömürlü termik santraller de ülkemizde ana enerji kaynaklarından biridir. Ancak fosil yakıtlardan biri olan kömürün yanması sırasında bazı katı atıklar ortaya çıkmaktadır. Bu katı atıkların depolanması için ise büyük alanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışma kapsamında Yatağan Termik santralinde mevcut kotu +470 m'ye ulaşan katı atık depo alanının bundan sonraki çalışma planı ve bu plana göre oluşacak yığının şev duraylılığı irdelenmiştir.

**Keywords:** *Kül atığı, atık depolama, şev duraylılığı.*

### ABSTRACT

*Energy production is one of the most important efforts of countries in recent days. Coal fired thermal power plants are the main source of energy in our country. But coal that is used as fossil fuel causes some solid wastes during the combustion and huge areas are needed for storage of these solid wastes. In this study solid waste storage of Yatagan termal power plant is examined to determine the future design of storage area which is over 470 m elevation and the slope stability studies have been carried out for the new designed plan.*

**Anahtar Kelimeler:** *Ash waste, waste storage, slope stability.*

---

\* M. V. Özdoğan

e-posta: mehmet.ozdogan@deu.edu.tr

## GİRİŞ

Ülkemizde elektrik enerjisinde kurulu gücün yaklaşık %22'si kömürlü termik santrallerden elde edilmektedir. Son yıllarda, giderek artan enerji ihtiyacını karşılamak ve enerjide dışa bağımlılığı azaltmak için yerli kömürle çalışan termik santrallerin yapımına hız verilmiştir. Buna bağlı olarak termik santrallerden kömürün yanması sonrası atık olarak çıkan termik santral külünün bertaraf edilmesi de ciddi bir sorun teşkil etmektedir.

Kömürlü termik santrallerde yakıt olarak kullanılan toz kömürün yakılması sırasında değişik karakterde kül ve cüruf ortaya çıkmaktadır. Yanma sonucu ortaya çıkan çok ince kül parçacıkları elektrofiltre ve siklonlarda tutulmaktadır. Bu tutulan ince küle "uçucu kül", baca gazıyla taşınmayan ve yanma sonunda tabanda biriken daha iri parçalı malzemeye ise "taban külü" adı verilmektedir (Yılmaz 1992; Ergül vd.1994; Kızgıt vd., 2001).

Termik santrallerinde kullanılan taş kömürlerinin %10-15'i ve linyit kömürlerinin ise % 20 - 40 'ı küldür. Kömürlü termik santrallerde 1 kWh'lik enerji üretildiğinde ortalama 110 g kül atık madde olarak ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla 1 000 MW 'lik bir santralden bir yılda yaklaşık 650 000 ton kül elde edilmektedir. Bu mertebedeki bir kül üretiminin depolanabilmesi için yılda 60 000 m<sup>2</sup>, santralin servis ömrü olarak kabul edilebilecek 30 yıllık bir süre içinde ise 1 800 000 m<sup>2</sup> civarında bir araziye ihtiyaç doğmaktadır. Bu sanayi atıklarının uzaklaştırılması ve depolanması çevre kirliliğinin yanı sıra işletme, enerji üretim kaybı vb konularda da mali ve teknik problemler meydana getirmektedir (Tokyay vd., 1990; Aslan vd., 2009). Her ne kadar termik santral külleri, çimento, beton, tuğla üretimi, altyapı çalışmalarında dolgu malzemesi olarak ya da atık su arıtımı, seramik ve hafif agrega üretimi gibi alanlarda kullanım olanağı bulsa da, bu alanlarda tüketilen termik santral küllerinin açığa çıkan atık küle oranı oldukça düşüktür ve bu küllerin büyük bir kısmı atık sahalarında depolanmaktadır. Dolayısıyla depolanan atık yığınları gün geçtikçe yükselmekte ve belirli bir zaman sonunda depo alanlarında duraylılık sorunları ortaya çıkabilmektedir.

Bu çalışmada Yatağan Termik Santrali enerji üretimi sırasında oluşan katı atıkların depolandığı ve santralin 1.2 km güneybatısında bulunan +470 m kotuna ulaşmış olan kül döküm sahasının, +470 m kotunun üst seviyelerine katı atık dökümü yapılarak yükseltilmesi ve depo hacminin artırılması olanakları araştırılmıştır.

Bu çerçevede güvenli şev açılarının analizi, ekonomik ve teknik kısıtlar çerçevesinde en yüksek döküm kotunun belirlenmesi, kül döküm sahası içerisinde su biriken alanın kullanımı ve kül döküm sahası sınırları içerisinde tüm alanının depolama kapasitesinin belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır.

## Çalışma Alanı ve Çalışmanın Amacı

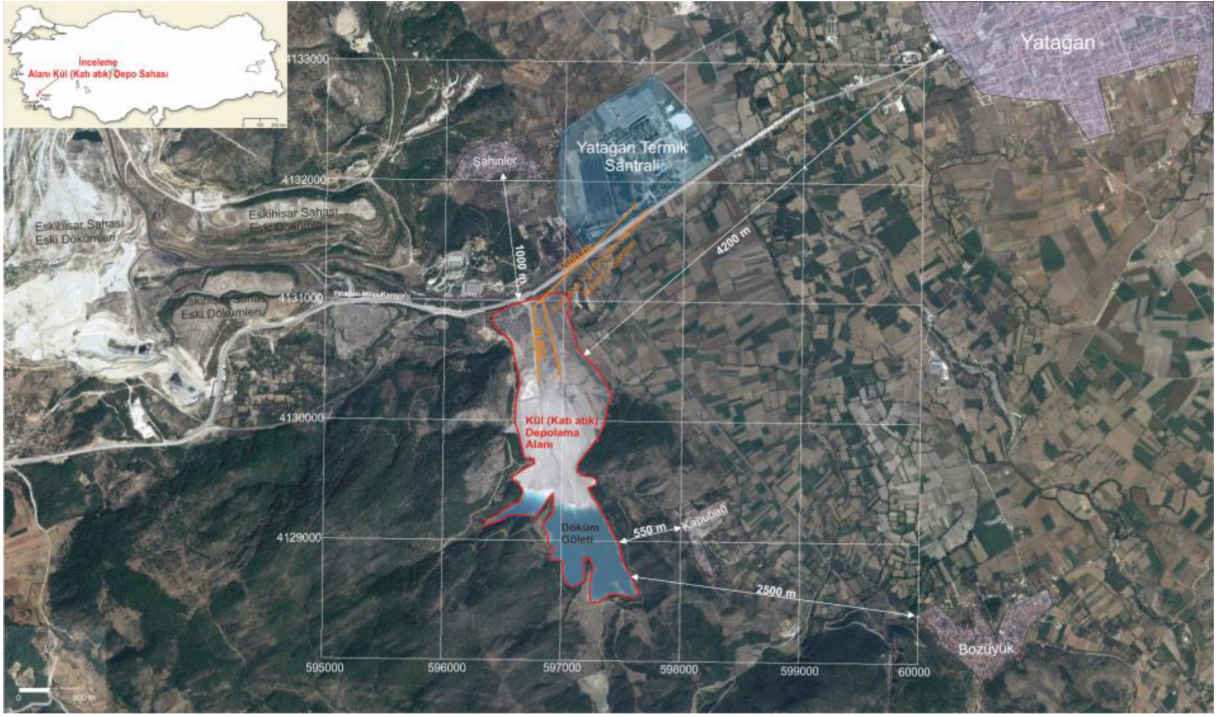
630 MW kurulu gücündeki Yatağan Termik Santrali, Muğla iline bağlı Yatağan ilçesinin 3 km güneybatısında 1 163 000 m<sup>2</sup>'lik alan üzerine konulanmıştır. Yıllık 4 500 000 000 kWh/yıl elektrik üretimi olan santral, alt ısı değeri 1750-2100 kcal/kg olan günlük 18 000 ton linyit kömürü ihtiyacı Eskihisar, Tınaz ve Bağyaka açık ocaklarından karşılanmaktadır.

Yatağan termik santralinde ısı enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi sırasında kapasiteye bağlı olarak 4000 ton/gün uçucu kül, 1000 ton/gün taban külü (cüruf) oluşmaktadır. Ayrıca kükürt tutma işlemi sırasında %45 katı oranında 2500 ton/gün jips (alçıtaşı) ve su arıtma tesisinde oluşan 120 ton/gün arıtma çamuru katı atık olarak ortaya çıkmaktadır. Termik santral katı atıkları santralin güneybatısında bulunan kül döküm alanının 2 km uzunluğunda olan bant konveyör ile taşınmakta ve burada oluşturulan depolama sahasına boşaltılmaktadır. Şekil 1.'de Yatağan Termik Santrali, kül döküm sahası ve çevre yerleşim birimlerinin konumları uydu görüntüsünde verilmektedir. Şekildeki kırmızı renkle sınırlandırılan alan "Kül (katı atık) depolama sahası" olarak tanımlanmıştır (Karakuş vd., 2017).

2013 yılında TÜBİTAK MAM ÇE grubu tarafından gerçekleştirilen bir projeye depolama alanının 465 m ile 470 m kotları arası projelendirilmiştir. Atık alanı mevcut durumda 470 m kotu olan sınırına kuzey kısımlarda ulaşmış olup devam eden süreçte 470 m kotu üzerine atık dökümü yapılması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında mevcut katı atık dökümlerinin üzerine yapılacak olan katı atık yığınının 470 m kotundan sonraki maksimum kapasitesi hesaplanmıştır. Bu tasarım yapılırken katı atık depolama yığını şevlerinin duraylılığı, görsel etki ve arazinin yeniden doğaya kazandırılması konuları ön planda tutulmuştur.

## Kül depolama sahasının mevcut durumu

Katı atık depolama sahası olarak belirlenen alanın uzun ekseni kuzey-güney doğrultulu 2400 m uzunluğunda, kısa ekseni ise doğu-batı doğrultulu ortalama



Şekil 1. Yatağan Termik Santrali katı atık depolama sahası konumu.  
Figure 1. Location of Yatağan Thermal Power Plant solid waste storage area.

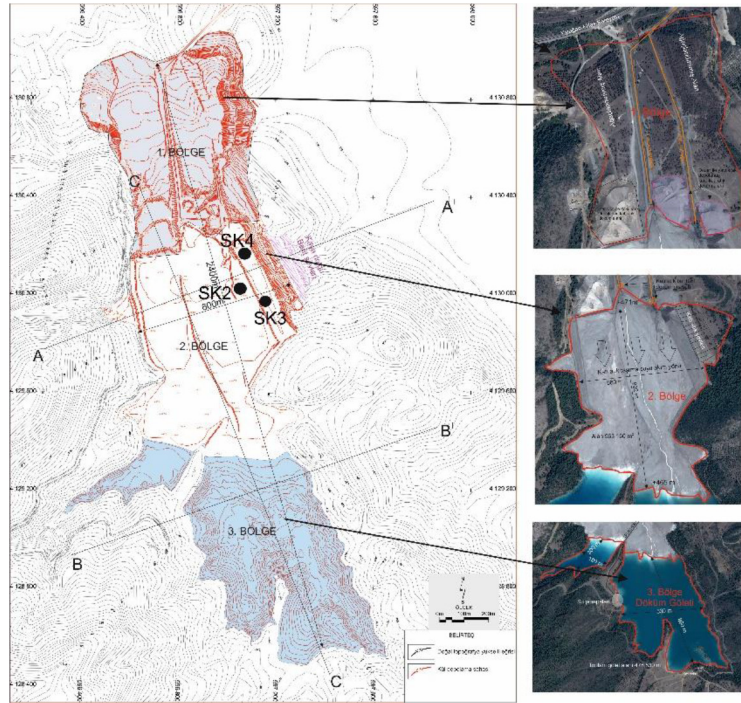
600 m genişliğindedir. Döküm alanı kot farkları açısından değerlendirildiğinde sahanın çevresindeki üç tepenin yamaçları ve yamaçlar arasındaki vadi yatakları belirleyici olmaktadır. Bu tepeler döküm alanın batısında +630 m kotunda Alazeytin Tepe ve kuzeybatısında +730 m Bakacak Tepe ve doğusunda +505 m kotundaki Peynirli Tepedir. Bu tepelerin yamaçları ve yamaçlar arasında küllü depolama sahası olarak seçilmiş alan içerisinde vadilerle oluşmuş en düşük doğal arazi kotu döküm alanının doğusunda bulunan +370 m kotudur.

Katı atık depolama sahası üç bölgeye ayrılmıştır. Birinci bölge sahanın Yatağan-Milas Karayoluna yakın olan, belirli kısmında termik santral katı atıkları üzerine serilen doğal toprakla bitkilendirilmiş, belirli bir kısmı ise kuru katı atık depolama alanı olarak ayrılmış bölgedir. İkinci bölge olarak tanımlanan alan santral-den bant nakliyesi ile getirilen katı atıkların hidrolik nakliyat (suyla taşıma) ile taşınarak depolandığı ve güney istikametinde döküm sahası sınırları içerisinde genişlemekte olan bölgedir. Küllü depolama sahasının üçüncü bölgesi, ikinci bölgedeki taşıma suyunun akışıyla oluşmuş gölet alanı olup depolama izinli alan içerisinde yer almaktadır. Taşıma suyu ile ikinci bölge yüzeyinde katı atığın tamamı çökmemektedir ve

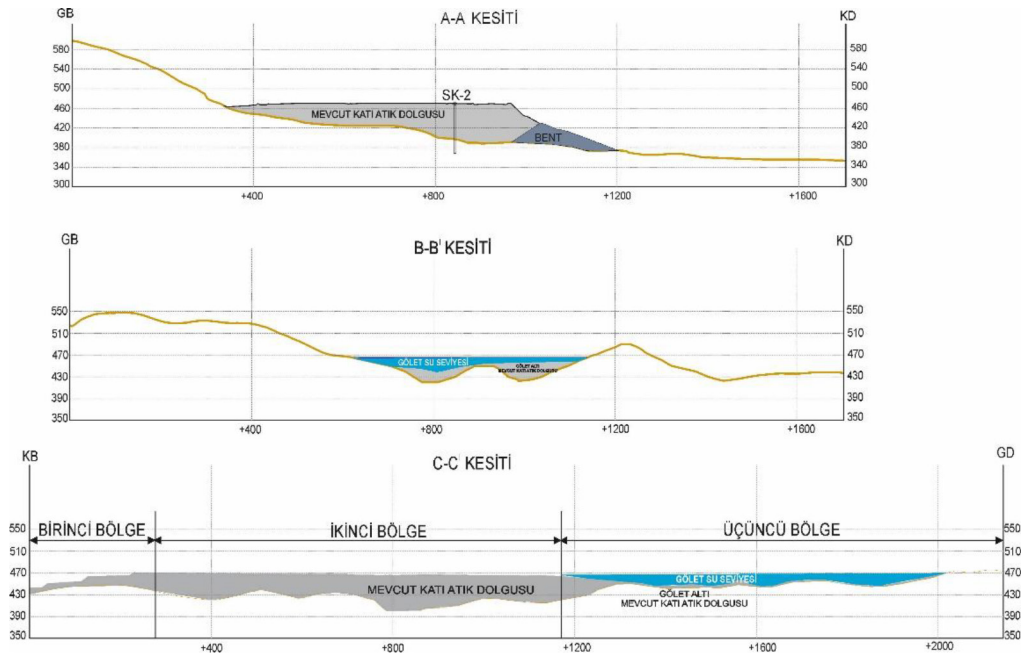
taşıma suyu ile birlikte belirli miktarda katı atık gölet alanına ulaşarak gölet alanı tabanına çökmektedir. Bu nedenle üçüncü bölge olarak tanımlanan döküm göleti tabanında da belirli bir kalınlıkta taşıma suyu ile gelerek depolanmış katı atık bulunmaktadır (Şekil 2). Katı atık depolama sahasını karakterize edecek şekilde alınan kesit hatları Şekil 2’de gösterilmiş olup, bu kesit hatlarına ait kesit görüntüleri Şekil 3’de verilmiştir.

#### Küllü Depolama Sahası Katı Atık Örnekleri Ve Taban Malzemesi Üzerinde Yapılan Laboratuvar Çalışmaları

Katı atık depolama alanı içerisindeki termik santral atık malzemesinin ve tabanında bulunan kil bantları içeren kireçtaşı, şist, fillit birimlerinin jeomekanik özellikleri, mevcut durumundan itibaren kot yükseltilecek yapılacak dökümlerin duraylılığıyla yakından ilgilidir. Bu sebeple küllü depolama alanında lokasyonları Şekil 2’de verilen 3 noktadan toplam uzunluğu 276 m olan karotlu sondajlar gerçekleştirilmiştir. Sondajların konumları, depolama sahası topoğrafyanın döküm yapılmadan önceki ilk durumu, geçmiş jeolojik çalışmalarda yapılan sondaj çalışmaları ve alınacak numunelerin sahayı temsil etmesi göz önünde bulundurularak



Şekil 2. Yatağan Termik Santrali katı atık depolama sahası mevcut durum haritası ve sondaj lokasyonları.  
Figure 2. Map of Yatağan Thermal Power Plant solid waste storage area and locations of boreholes.



Şekil 3. Katı atık sahasından alınan kesitler.  
Figure 3. Cross-sections from solid waste storage area.

belirlenmiştir. Alınan karot numuneleri üzerinde şev duraylılığı analizlerinde girdi parametresi olarak kullanılmak üzere tek eksenli basınç dayanımı, dolaylı çekme (Brazilian) dayanımı ve kohezyon ve içsel sürtünme açısının belirlenmesine yönelik kesme kutusu deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarına ait değerler Çizelge 1’de verilmiştir.

Kül depolama sahasında depolanan katı atık malzemesinin dayanım değerleri yüzeyden itibaren tabana doğru artması beklenirken test sonuçları bu artıştan farklı sonuçlar göstermektedir. Dayanım değerlerinin düşey eksenindeki değişimini gösteren Şekil 4 incelendiğinde en yüksek dayanımların +433 m ile +455 m kotları arasında olduğu görülmüştür. 2007 yılından itibaren termik santral baca gazı arıtma sistemindeki değişikliğinden dolayı döküm sahasına gelen katı atık malzemesi karışımı içerisinde jips bulunmaktadır. Jipsin bağlayıcı etkisi göz önüne alındığında +433 m üzerindeki kotların alt kotlara göre daha yüksek dayanımlı olması jipsin bağlayıcı etkisini göstermektedir. +455 m kotu ile +470 m arasındaki malzeme dayanımının +455 m kotu altındaki malzemeye göre düşük olmasının gerekçesi ise malzemenin henüz yeterince sıkışmamış olması ve yeterli hidrasyon süresine erişmemiş olması olarak açıklanmaktadır.

### ŞEV DURAYLILIĞI ANALİZLERİ

Açık maden işletmelerinde kazı faaliyetlerine bağlı şev duraylılıklarının belirlenmesi çok yönlü bileşenleri olan bir tasarım problemidir. Bu problemin çözümü detaylı teorik yaklaşımlar içermektedir. Açık ocak madencilğinde gerçekleştirilen kazı

çalışmaları sonucunda, orijinal zeminde güvenli kazı yapılabilmesi amacıyla şev duraylılığı analizleri gerçekleştirilmektedir. Aynı prensipler, doğal olmayan döküm malzemesi gibi yapılar için de geçerlidir. Genel bir değerlendirmeye yerçekimi etkisi altındaki döküm malzemelerinin, döküm geometrisine göre değişen kuvvet yönlerine bağlı gerilme bileşenleri oluşmaktadır. Şev duraylılığının temel mekaniği genel olarak Şekil 5’de verilmektedir.

Oluşan şev üzerinde kaymayı kolaylaştıracak yöndeki kuvvet bileşenleri ile kaymayı engelleyecek yöndeki kuvvet bileşenlerin belirlenmesi limit denge şev duraylılığı analizinin temelini oluşturmaktadır. Şekil 4’deki modele göre yatayla  $\beta$  açısı yapan bir eğik düzlemde  $W$  ağırlığında bir blok düşünülürken, bloğa etki eden kuvvetler yerçekimi kuvveti ve depremlerden kaynaklanan kuvvetlerdir. Bloğun yüzey üzerinde kaymasını sağlayacak  $W$  kuvvetinin düzlem boyunca etki eden bileşeni  $W \cdot \sin\beta$  kaymayı engelleyecek eğik düzleme dik olarak etki eden kuvvet bileşeni ise  $W \cdot \cos\beta$ ’dir. Ayrıca modeldeki su durumu ve su basıncı etkisi göz önüne alındığında genel olarak limit denge şev emniyet katsayısı denklem 1’de verildiği gibidir.

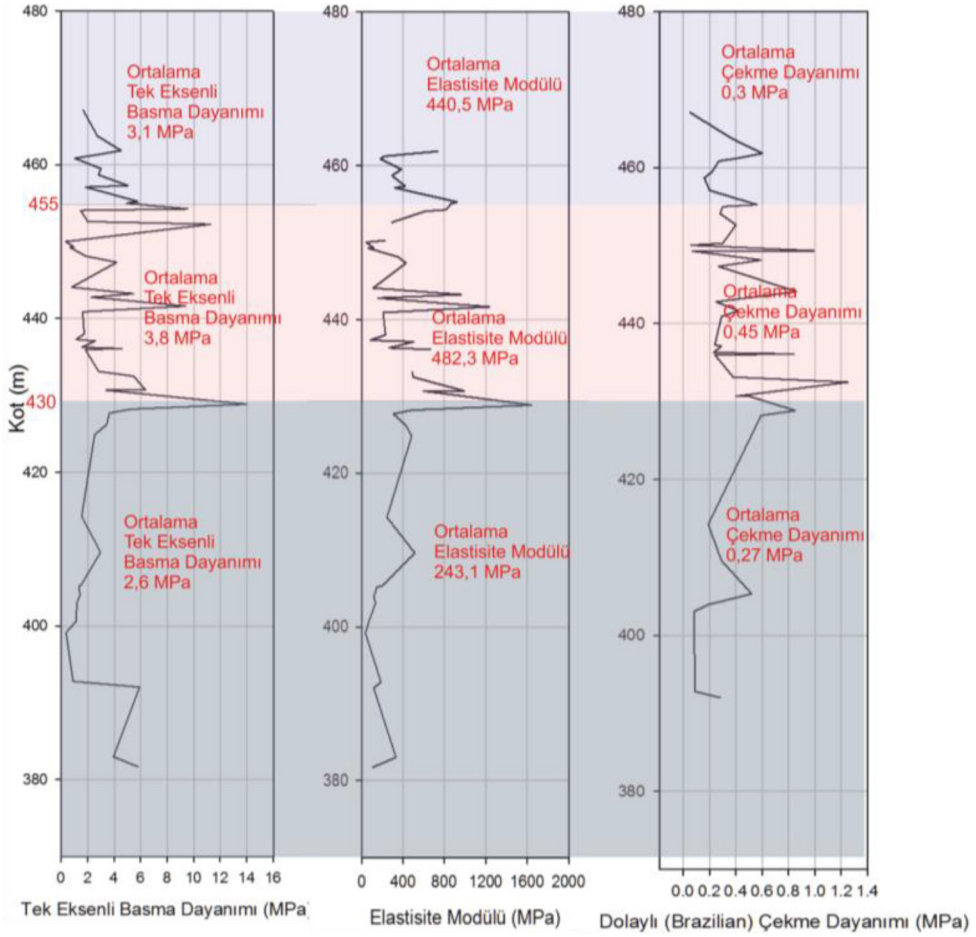
$$F_S = \frac{cA + (W \cos\beta - U) \tan \Phi}{W \sin \beta + V} \quad (\text{Hoek, 1973}) \quad (1)$$

Fonksiyonda kaymayı engelleyici kuvvetlerde tanımlı olan “ $c$ ” kaya kütesinin kohezyonu, “ $\Phi$ ” ise içsel sürtünme açısıdır. Modern şev duraylılık analizleri programlarının tamamı bu limit denge analizi yönüne göre sonuç üretmektedir. Buna göre kaymayı önleyici yöndeki gerilmelerin, kayma yönündeki gerilmelere oranı şev emniyet katsayısı ( $F_s$ ) olarak

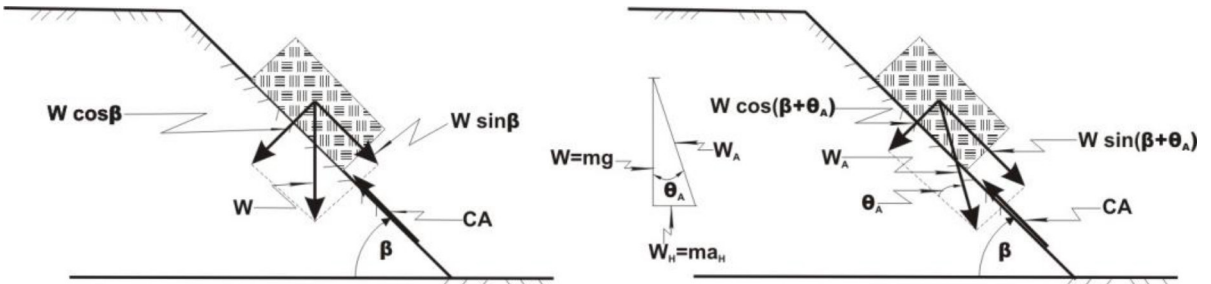
Çizelge 1. Atık depolama sahasının jeomekanik özellikleri.

Table 1. *Geomechanical properties of waste storage.*

| Parametre                               | Atık Malzeme | Atık Malzeme Tabanı |       |
|---|--------------|---------------------|-------|
|   |              | Kireçtaşı           | Kil   |
| Birim Hacim Kütle (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.72         | 2.69                | -     |
| Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)       | 3.34         | 40.36               | -     |
| Çekme Dayanımı (MPa)                    | 0.38         | 4.21                | -     |
| Elastisite Modulu (MPa)                 | 399          | -                   | -     |
| Kohezyon (kPa)                          | 5.88         | -                   | 0.06  |
| İçsel Sürtünme Açısı                    | 43.28        | -                   | 34.04 |



Şekil 4. Katı atık malzemesinin dayanım değerlerinin derinliğe göre değişimi.  
Figure 4. Variation of strength value for solid waste material according to depth.



Şekil 5. Şev duraylılığının temel mekaniği (Hoek, 1973, Konak vd., 2004).  
Figure 5. Basic mechanism of slope stability (Hoek, 1973, Konak et al., 2004).

tanımlanmaktadır. Bu katsayının " $F_s = 1$ " olması şevin denge durumunda olduğunu, " $F_s < 1$ " olması şevin kayma durumunda olduğunu, " $F_s > 1$ " olması ise şevin duraylı olduğunu ifade eder. Bu denkleme, depremlerden kaynaklanan ek yükler de eklenmelidir. Uzun süreler duraylılığının sağlanması gereken doğal veya

doğal olmayan yapılarda deprem şiddeti ivme olarak yukarıdaki fonksiyona dahil edilmelidir. Şekil 5'de sağda verilen grafikte, deprem ivmeleri kullanılarak kayma yüzeyindeki bloğa ek dinamik yük eklenmektedir. Deprem etkisinin oluşturulması için, bölgede yaşanan geçmiş depremler baz alınmaktadır. Bu



amaçla Erdik ve ark. 1999 yılında yaptıkları çalışmada "Global Seismic Hazard Assessment Program Report" sonuçlarını esas alarak Şekil 6'da verilen deprem ivmesi değişimini hazırlamışlardır. Şekil 6'da verilen grafik kullanılarak, kül döküm projesinin uygulandığı Yatağan bölgesi için deprem ivmesi 0.25 g olarak tespit edilmiş ve analizlerde kullanılmıştır. Bu değer, %10 olasılık ile 50 yılda meydana gelebilecek depremin şiddetini temsil etmektedir.

Proje kapsamında ele alınan kül depolama alanı için uzun vadeli güvenli bir şev duraylılığı sağlanması için  $F_s = 1.3$ 'ün üzerinde emniyet katsayılarının sağlanacağı kül döküm geometrisine göre tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Mevcut durumda şev emniyet katsayılarının çok daha yüksek olması beklenmektedir. Ancak, bölgede meydana gelebilecek olası bir deprem sonucunda, kül stok alanının duraylılığını koruması beklenmektedir. Bu nedenle, gerçekleştirilen analizlerde deprem ivmeli ve deprem ivmesiz analiz sonuçları ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu projede hesaplama aracı olarak limit denge yöntemini kullanan bir bilgisayar yazılımında Bishop dilimler yöntemi kullanılmıştır. Bishop dilimler yöntemi ile şev emniyet katsayısının hesaplanma prensibi Şekil 7'de verilmektedir

### Sahanın Mevcut Durumda Duraylılığı

Yatağan Termik Santrali kül atık sahasının kapasite artırımına yönelik yapılacak olan planlamadan önce

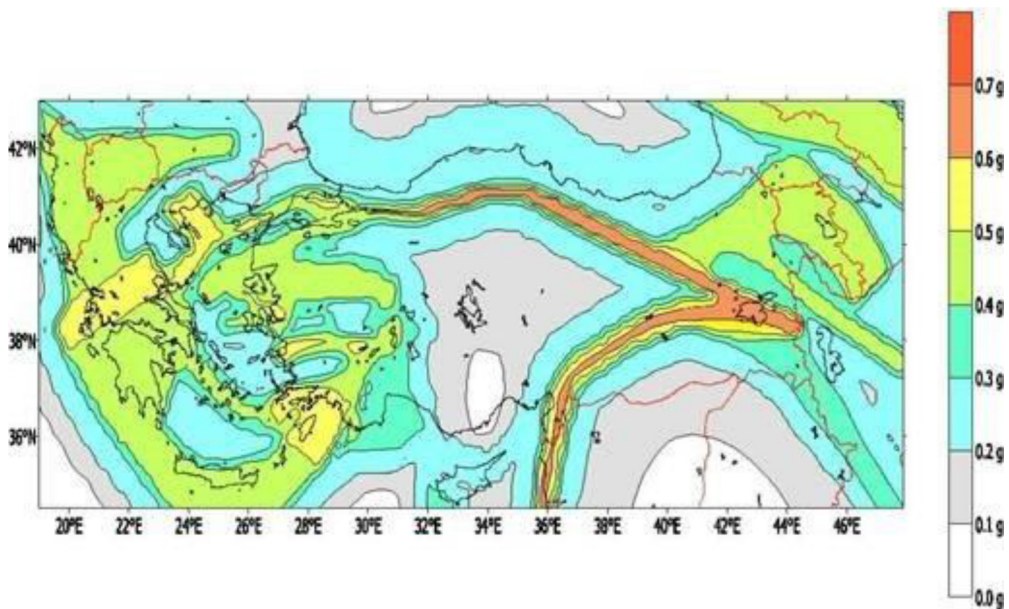
katı atık sahasının mevcut durumunun duraylılığı deprem ivmeli ve deprem ivmesiz durumlar için analiz edilmiştir.

Laboratuvar çalışmaları kısmından da belirtildiği üzere yaklaşık kalınlığı 90 m olan mevcut kül dökümünün 3 farklı dayanım özelliğine sahip katmandan meydana geldiği belirlenmiştir. Yüzeiden yaklaşık 15 m derinliğe kadar tam sıkışmamış ve hidrasyonu devam eden bölüm üst dolgu, üst dolgu altında yer alan ve +430 m kotuna kadar devam eden ve jips içeren orta dolgu ve bu kotun altında farklı mekanik özelliklere sahip alt dolgu tespit edilmiştir. Şev duraylılık analizleri yapılırken bu katmanlar göz önüne alınarak model oluşturulmuş ve analizler bu modele göre gerçekleştirilmiştir.

Döküm sahasının mevcut duraylılığını belirlemek amacıyla kül döküm sahasını üzerinden 8 adet kesit alınmış ve bu kesitler üzerinde şev duraylılık analizleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 8).

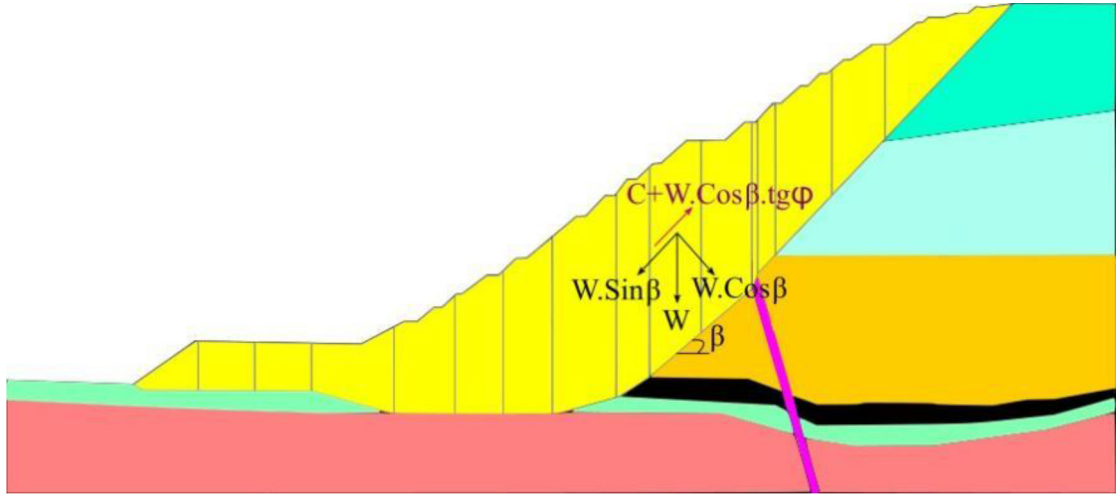
Şekil 7'de gösterilen ilk 5 kesit mevcut döküm alanının üzerinden alınan kesitlerdir. 6, 7 ve 8. kesitler ise, kapasite artışından sonra doldurulacak alanların üzerinden alınan kesitlerdir. Mevcut döküm alanının duraylılığını incelemek amacıyla alınan kesitler üzerinde limit denge yöntemiyle gerçekleştirilen şev duraylılığı analiz sonuçları Şekil 9'de verilmiştir.

Mevcut durum için gerçekleştirilen şev duraylılığı analiz sonuçları toplu olarak Çizelge 2'de verilmiştir.



Şekil 6. Katı atık döküm sahası için kullanılan deprem ivme haritası (Erdik vd., 1999).

Figure 6. Peak ground acceleration map used for solid waste storage area (Erdik et al., 1999).



Şekil 7. Basitleştirilmiş Bishop dilimler yöntemi.  
Figure 7. Bishop's simplified method of slices.

Çizelge 2'den de görüldüğü üzere, Kesit 1-1' ve Kesit 5-5'de, deprem ivmeli olarak gerçekleştirilen analiz sonuçları şev duraylılığı ile ilgili sorun teşkil edebilecek seviyededir. Bu nedenle, her iki kesit hattının bulunduğu bölümlere topuk vazifesi görmesi için ilave dolgu yapılması önerilmektedir

#### Kül Döküm Sahası Dolgu Planı

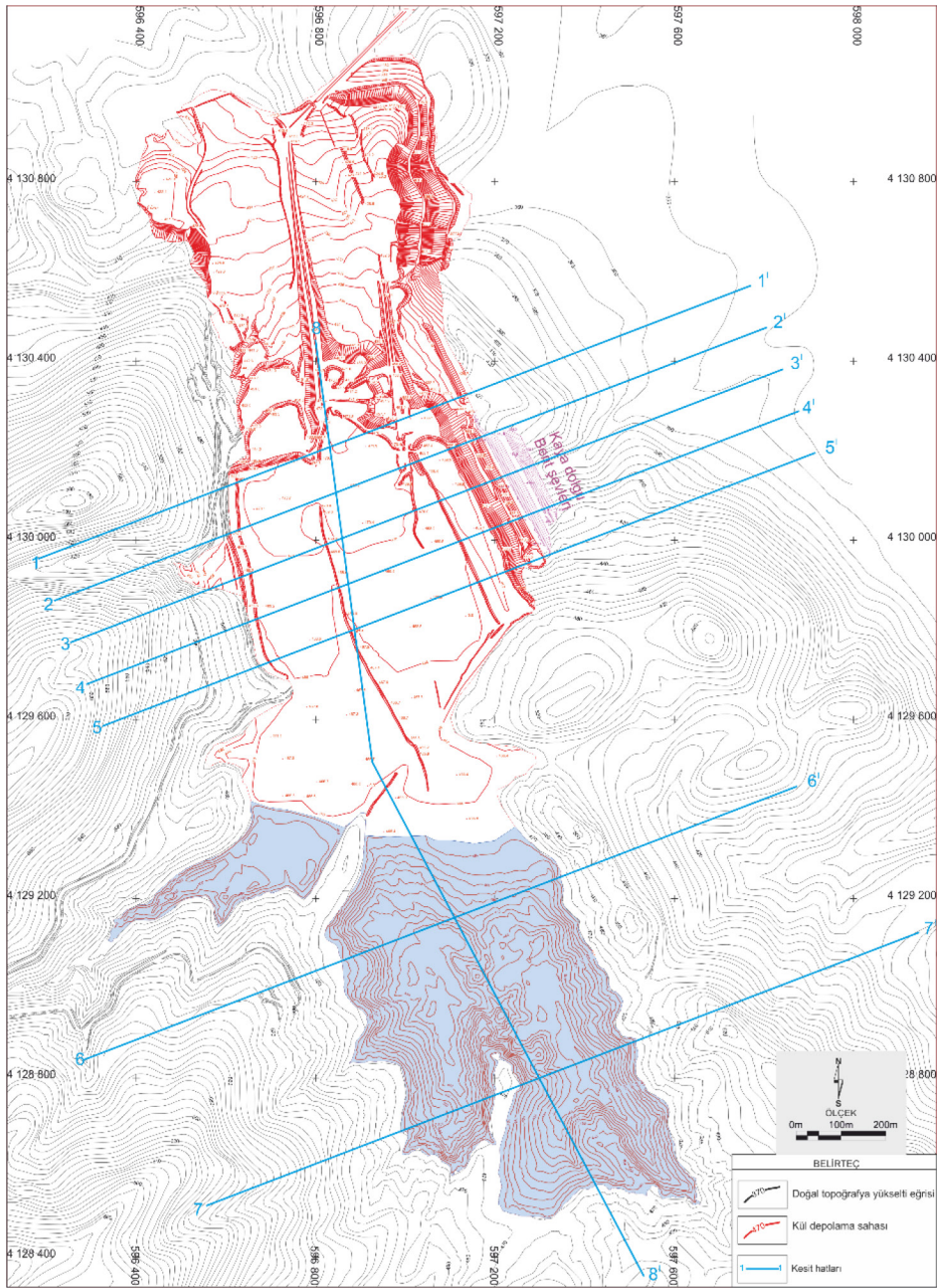
+470 m seviyesi üzerinde dökülecek katı atığın planlanması yapılırken döküm sahasının planlama sonrası şev duraylılığı ve sahanın terk edildikten sonra düzenlenerek çevreye uyumlu hale getirilebilmesine olanak sağlayacak bir topografik yapının oluşturulması esas alınmıştır. Ayrıca döküm tamamlandıktan sonra sahanın her yerine ulaşımı sağlayabilecek şekilde basamak düzlükleri ile düşük eğimli basamak şevleri oluşturulması gerekmektedir.

Katı atık depolama sahasının +470 m seviyesi için planlanması yapılırken oluşturulacak şevler nihai şevler olacaktır. Bu sebepten dolayı şev geometrileri, şev emniyet katsayısı ( $F_s$ ) depremsiz durumlar için en az 1.5, ivme değeri 0.25 g olan bir depremin olması durumunda ise en az 1.3 değerini sağlayacak şekilde tasarlanmıştır.

Arazi çalışmaları ve laboratuvar deneylerinden elde edilen veriler ile yukarıda belirlenen kısıtlar göz önüne alınarak, + 470 m kotu üzeri katı atık depolama alanının planlamasına yönelik yapılan çalışmada döküm dilimleri yüksekliği 20 m ve son basamakta

10 m, basamak düzlükleri 15 m, genel şev açısı 25°, basamak şev açıları 30° olarak belirlenmiştir. Şekil 10'da kül döküm sahasında +470 m kotu üzerinde yapılacak dolgu için tasarlanan basamak geometrisi verilmektedir.

Orijinal topoğrafyada +470 m kotu ile tanımlanmış olan kül döküm sahası sınırları içerisindeki alanın tamamının +470 m kotu seviyesine kadar doldurulması, daha sonra ters basamaklar oluşturularak yükselmesi öngörülmüştür. Yukarıda verilen tasarım parametrelerine göre kül depolama sahasında +470 m kotu üzerinde 20 m yüksekliğinde 2 adet basamak ve 10 m yüksekliğinde 1 basamak oluşturularak +520 m kotuna kadar bir döküm planlanmıştır. Kül döküm sahasının kuzey kısmında +470 m kotu üzerinde yapılacak ilk dolgu basamağının üst kotu +490 m seviyesinde tamamlanacaktır. İkinci dolgu basamağı ise +490 m ile +510 m kotları arasında tasarlanmıştır. 10 m olarak tasarlanan son basamak ise +510 m ile +520 m kotları arasında oluşacaktır. Projelendirilen bu basamakların güney kısmındaki kotları %1 eğimle birlikte kuzeydeki kotlardan 17 m daha düşük olarak gerçekleşecektir. Dolayısıyla sahanın kuzey kısmında oluşturulacak dolgunun en üst kotu +520 m seviyesinde oluşacakken, güney kısmında en üst seviye +503 m kotunda tamamlanmış olacaktır. Yapılan tasarıma göre en üst kot olan +520 m kotuna atığı taşıyan bant konveyör %8 eğim ile ulaşabilmektedir. Hazırlanan tasarıma göre sahanın kuzey kısmında bulunan ve en yüksek kot olan +520 m kotuna bant konveyör 8° eğim ile ulaşabilecektir.

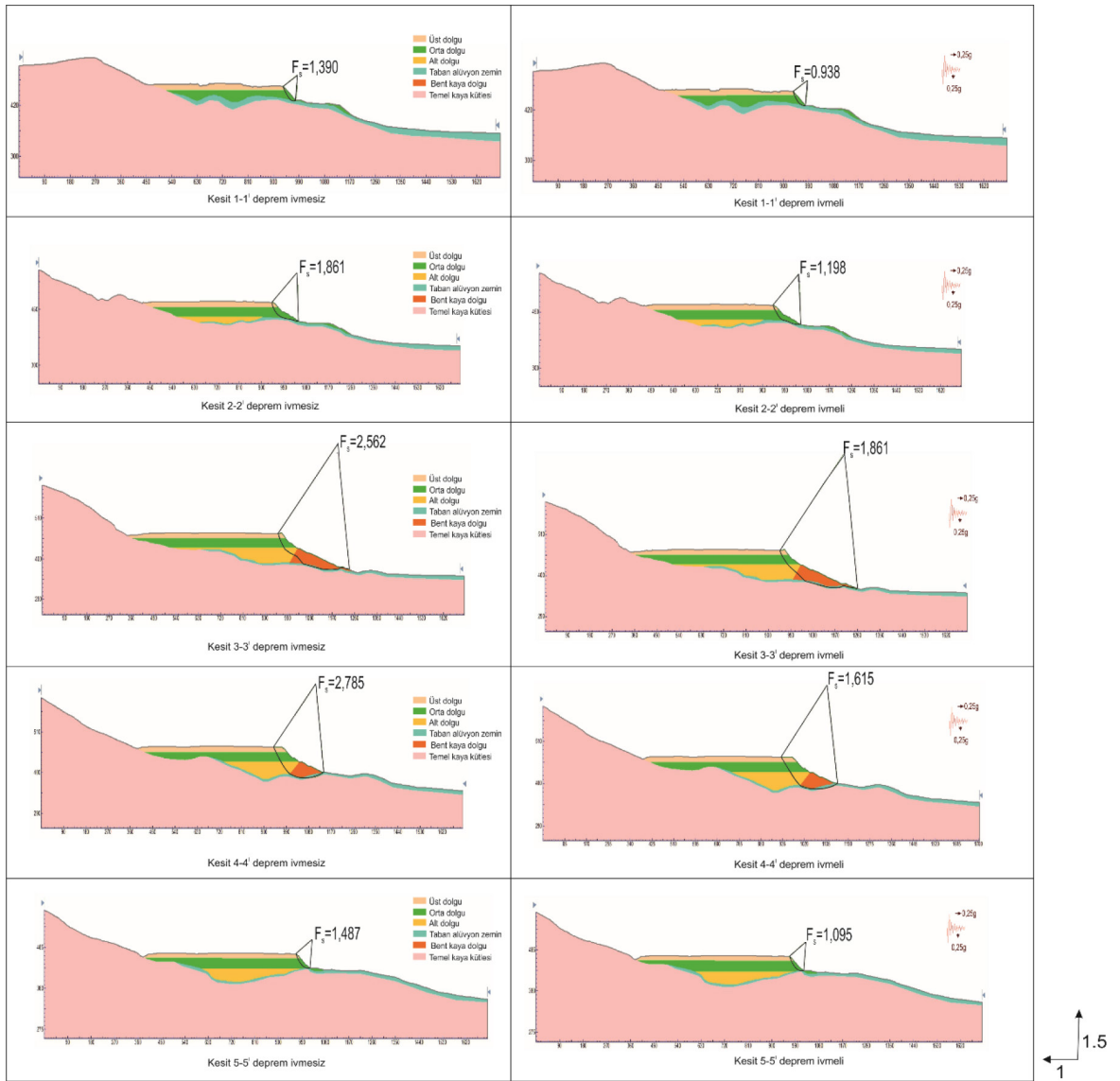


Şekil 8. Şev duraylılık analizleri amacıyla alınan kesit hatlarını gösterir harita.  
Figure 8 . Cross-section lines used in slope stability analyses.

Kül döküm sahası için planlanan dolgunun 10m'lik yatay dilimler halinde kapasite miktarları Çizelge 3'de verilmektedir. Kül döküm sahası için +470 m kotu üzerinde tasarımı yapılan dolgunun, plan görüntüleri ise Şekil 11'de verilmiştir.

#### Planlanan Döküm Sahasının Şev Duraylılığı

+470 m kotu ile 520m kotu arasında planlanan katı atık dolgununun şev duraylılığı analizleri Şekil 8'de verilen 7 adet kesit üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deprem ivmeli ve deprem ivmesiz olarak gerçekleştirilen bu analizler 1-1' kesit hattında kül dolgusu bulunmadığı için 2-2' kesitinden başlamaktadır. 2-2' ile



Şekil 9. Mevcut durum için gerçekleştirilen şev stabilite analiz sonuçları.

Figure 9. Results of slope stability analyses for the current situation of solid waste storage area.

7-7' kesitlerinde doğu ve batı yönlerindeki şevler için emniyet katsayıları hesaplanmış, 8-8' kesitinde ise kuzey ve güney yönlerinde bu değerlendirme yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda elde edilen şev emniyet katsayıları Şekil 12'de toplu olarak verilmiştir. Yapılan şev duraylılığı analizlerine ait en küçük şev emniyet katsayıları Çizelge 4'de toplu halde verilmiştir.

## SONUÇLAR

Yapılan çalışmada Yatağan Termik Santrali mevcut depolama alanına +470 m kotu üzerine dökülecek yeni katı atık malzemesi için uygulama şartları ortaya

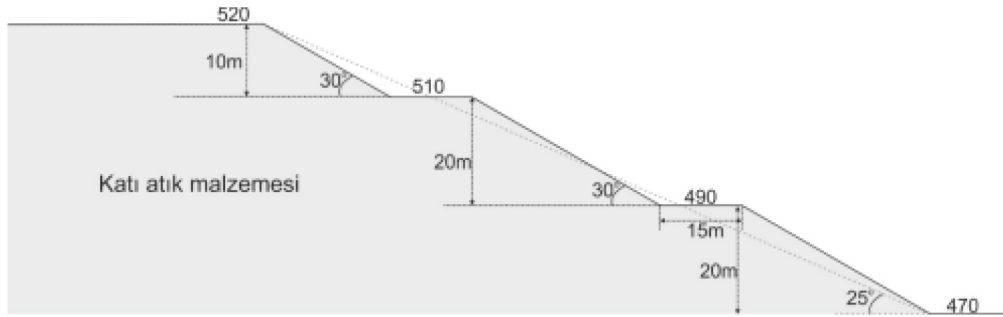
konmuş ve buna göre +470 m kotu ile +520 m kotu arasında katı atık döküm planı yapılmıştır. Planlama yapılırken oluşturulacak yığınin duraylılığı ve çevresel etmenler göz önünde tutulmuştur.

Yapılan planlama sonunda +470 m kotu ile +520 m kotu arasında 39 899 703 m<sup>3</sup> atık malzemenin duraylı bir şekilde depolanabileceği hesaplanmıştır. Bu tasarıma göre deprem ivmeli şev duraylılığı analizlerinde dahi +520m kotuna kadar atık depolanması durumunda en düşük şev emniyet katsayısının 1.205 olduğu ve duraylı bir depolama alanı sağlandığı görülmektedir.

Çizelge 2. Mevcut durum şev duraylılığı analiz sonuçları.

Table 2. Results of slope stability analyses for the current situation.

| Kesit No | Deprem İvmesiz<br>Min. $F_s$ | Deprem İvmeli<br>Min. $F_s$ |
|----------|------------------------------|-----------------------------|
| 1-1'     | 1.390                        | 0.938                       |
| 2-2'     | 1.861                        | 1.198                       |
| 3-3'     | 2.562                        | 1.489                       |
| 4-4'     | 2.785                        | 1.615                       |
| 5-5'     | 1.487                        | 1.095                       |



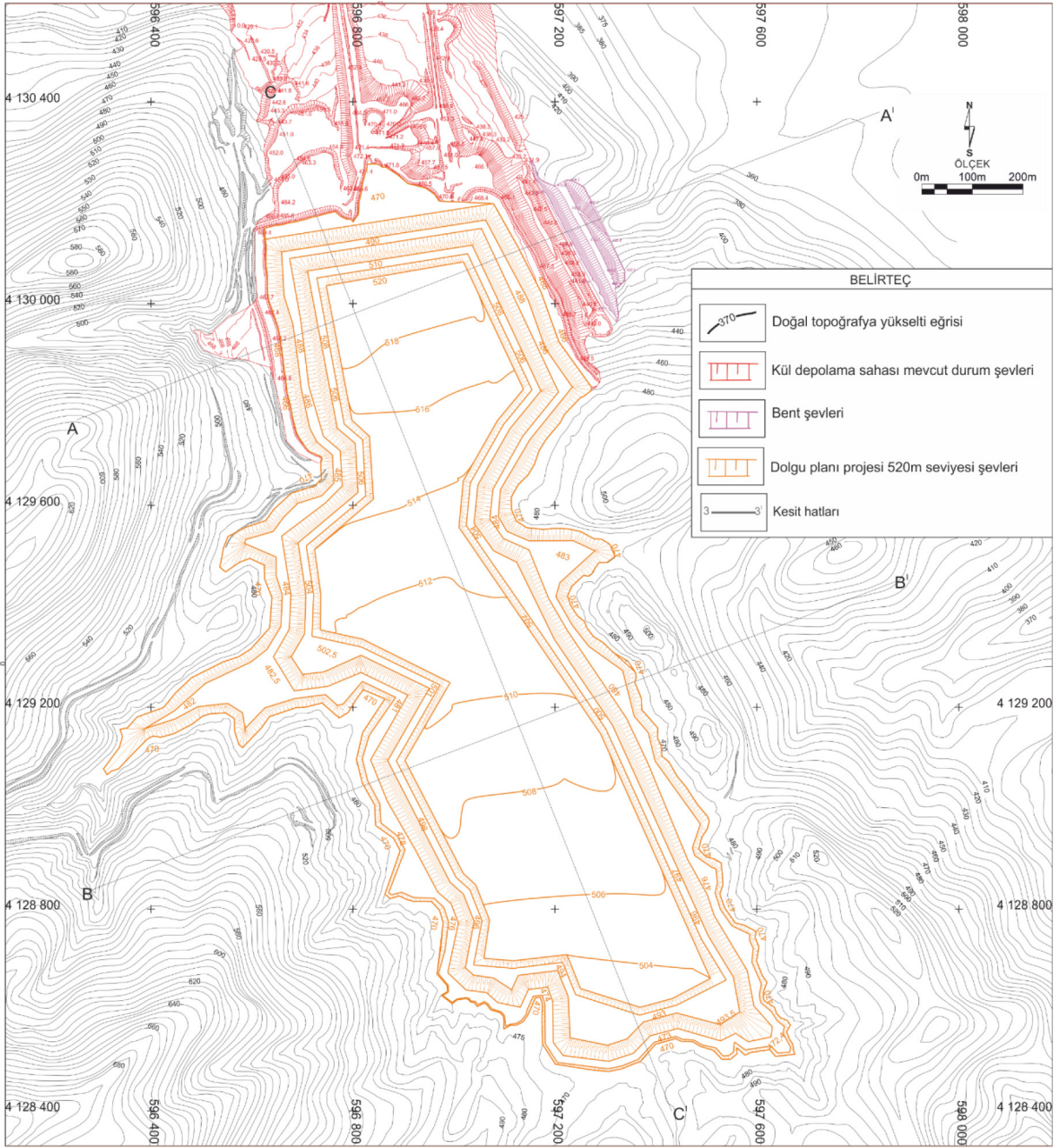
Şekil 10. 470m kotu üzeri yapılacak döküm için önerilen basamak geometrisi.

Figure 10. Suggested bench geometry for casting above +470 m elevation.

Çizelge 3. Hazırlanan plana göre atık sahasının depolama kapasitesi.

Table 3. Capacity of waste storage area according to for the new storage plan.

| Seviye Kotları<br>(m) | Dolgu miktarı<br>(m <sup>3</sup> ) | Birikimli<br>(m <sup>3</sup> ) |
|-----------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| 440 - 450             | 743 271                            | 743 271                        |
| 450 - 460             | 2 406 468                          | 3 149 741                      |
| 460 - 470             | 5 319 759                          | 8 469 500                      |
| 470 - 480             | 8 737 442                          | 17 206 942                     |
| 480 - 490             | 7 486 656                          | 24 693598                      |
| 490 - 500             | 6 282 387                          | 30 975 985                     |
| 500 - 510             | 5 194 215                          | 36 170 200                     |
| 510 - 520             | 3 729 503                          | 39 899 703                     |
| <b>Toplam</b>         | <b>39 899 703</b>                  |                                |

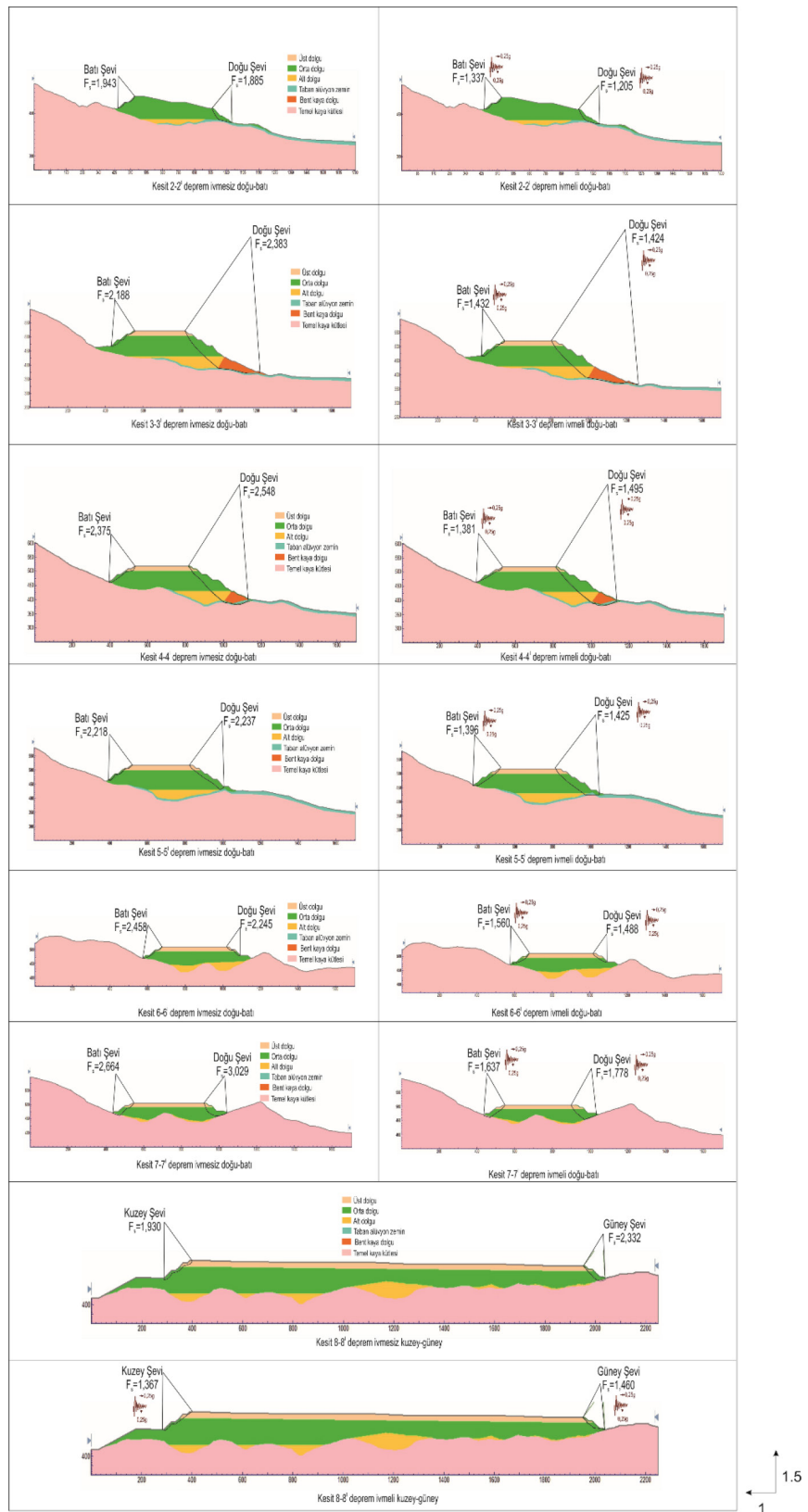


Şekil 11. Katı atı döküm sahası +470 m kotu üzeri için önerilen döküm planı.  
Figure 11. Casting plan of solid waste storage for the elevation above +470 m.

Günlük 6250 ton katı atığın ortaya çıktığı Yatağan Termik Santralinde yapılan çalışma sonunda 30 yıllık üretim atığını karşılayacak depolama alanı yaratılmıştır. Bölgedeki kömür rezervinin yaklaşık 30 yıl kaldığı düşünüldüğünde termik santralin başka bir depolama alanına ihtiyaç duymadan bölge kömürlerinin atıklarını bu alanda depolayabilmesi sağlanmıştır.

#### KATKI BELİRTME

Bu çalışma Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü ile Yatağan Termik Enerji Üretim A.Ş.'nin birlikte yürüttüğü "Yatağan Termik Santrali Kül Döküm Sahası Kapasitesinin Arttırılması Olanaklarının Araştırılması" projesinden üretilmiştir. Yazarlar



Şekil 12. Önerilen katı atık döküm planına göre elde edilen şev emniyet katsayıları.  
 Figure 10. Factor of safety for the suggested plan of solid waste storage.

Çizelge 4. Planlanan atık sahası projesine göre şev emniyet katsayıları.

Table 4. Factor of safety values for intended waste storage.

| Kesit No | Doğu şevi<br>Deprem ivmesiz  | Doğu şevi<br>Deprem ivmeli  | Batı şevi<br>Deprem ivmesiz  | Batı şevi<br>Deprem ivmeli  |
|----------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 2-2'     | 1.885                        | 1.205                       | 1.943                        | 1.337                       |
| 3-3'     | 2.383                        | 1.424                       | 2.188                        | 1.432                       |
| 4-4'     | 2.548                        | 1.495                       | 2.375                        | 1.381                       |
| 5-5'     | 2.237                        | 1.425                       | 2.218                        | 1.396                       |
| 6-6'     | 2.245                        | 1.488                       | 2.458                        | 1.560                       |
| 7-7'     | 3.029                        | 1.778                       | 2.664                        | 1.637                       |
|          | Güney şevi<br>Deprem ivmesiz | Güney şevi<br>Deprem ivmeli | Kuzey şevi<br>Deprem ivmesiz | Kuzey şevi<br>Deprem ivmeli |
| 8-8'     | 2.332                        | 1.460                       | 1.930                        | 1.367                       |

çalışmada her türlü kolaylığı sağlayan Yatağan Termik Enerji Üretim A.Ş. çalışanlarına teşekkür eder. Ayrıca yazarlar makalenin değerlendirilmesi sırasında hakemlerin koydukları katkıdan dolayı teşekkür ederler.

#### KAYNAKLAR

- Aslan, A., Özer, N., Süner, Ü., 2009. Soma Termik Santralı uçucu külü içeren çimentolarda radyoaktivite düzeyinin araştırılması. X. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi Bildiriler Kitabı,213-220, Muğla.
- Erdik, M., Biro, Y.A., Onur T., Sesetyan ve Birgoren G., 1999. Assessment Of Earthquake Hazard In Turkey And Neighboring Regions. Global Seismic Hazard Assessment Program Report.
- Ergül, Ş. Günav, V., Sevinç, V., Özkan, O., 1994. Bentonit katkılı termik santral atık uçucu küllerinin sinterleşme karakterizasyonu. II. Uluslararası Seramik Kongresi Bildiriler Kitabı. Cilt I : s 319-326, Türk Seramik Derneği, Eskişehir.
- Hoek, E., Bray, J., 1973. Rock Slope Engineering, Inst. Mining and Metall, Londra.
- Konak, G., Onur, A. H., Karakuş, D., Köse, H., Koca, Y. ve Yenice, H. 2004. Slope Stability Analysis And Slide Monitoring By Inclinator Readings: Part 2. Transactions of the Insti-

tutions of Mining and Metallurgy: Section A. 113 (3) 171-181

- Kızıgüt, S., Çuhadaroğlu, D. & Çolak, K. 2001. Çatalağzı Termik Santralı Uçucu Küllerinden Tuğla Üretim Olanaklarının Araştırılması. Türkiye 17. Uluslararası Madencilik Kongresi Bildiriler Kitabı. Ankara
- Tokyay, M., Erdoğan, T., Yeğinobalı, A., 1990. Termik Santral Küllerinin Çimento ve Beton Katkı Maddesi Olarak Kullanılma İmkanlarının Etüd ve Envanteri Prosesi Ara Raporu, ODTÜ, İnşaat Mühendisliği, Ankara.
- TÜBİTAK MAM ÇE, 2013. Yatağan Termik Santralı Kül Dağı İyileştirme Planının Hazırlanması. Yatağan Termik Enerji Üretim A.Ş., Kocaeli.
- Karakuş, D., Onur, A.H., Konak, G., Ozdogan, M.V., Turan, G. 2017. Yatağan Termik Enerji Üretim A.Ş. Yatağan Termik Santralı Kül Döküm Sahası Kapasitesinin Arttırılması Olanaklarının Araştırılması. Proje Raporu. İzmir
- Yılmaz, Ş., 1992. Seyitömer Termik Santralı Atık Uçucu Küllerinin Yapı Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü.



# Türkiye’de Meydana Gelen Depremlerin İyonküre Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi

## *The Analysis of the Effects of the Earthquakes in the Ionosphere over Turkey*

SEÇİL KARATAY<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kastamonu Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kuzeykent, Kastamonu

Geliş (*received*) : 26 Aralık (December) 2017

Kabul (*accepted*) : 25 Temmuz (July) 2018

### ÖZ

Yer’in iyonküresi, uzay-havasını incelemelerinde önemli bir etkidir ve bu nedenle iyonkürenin değişkenliğinin incelenmesi, başta iyonküre fiziği ve radyo iletişimi olmak üzere birçok alanda önemlidir. İyonküreyi karakterize eden temel parametreler, yükseklik, enlem, boylam, jeomanyetik işleklik, güneş işlekliği ve sismik hareketlilikle değişimler gösteren elektron yoğunluğudur. İyonküreyi karakterize eden bir diğer parametre ise atmosferde bir yol boyunca hesaplanan serbest elektronların miktarına eşit olan Toplam Elektron İçeriğidir (TEİ). TEİ ölçümleri, uzay havasındaki değişimleri ve sismik hareketliliğin iyonkürede yarattığı etkileri sergilemeye olanak sağlar. Bu çalışmada, Türkiye’de konumlanmış Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları Ağındaki (TUSAGA-Aktif) on bir Yerküresel Konumlama Sistemi (YKS) istasyonlarından elde edilen TEİ verileri, Çapraz İlinti Katsayısı (ÇİK), Simetrik Kullback-Leibler Mesafesi (KLD), L2-Normu (L2N) kullanılarak iyonkürenin sakin günlerini, şiddetli jeomanyetik fırtınaların yaşandığı günlerini ve büyüklükleri farklı depremlerin yaşandığı günlerini kapsayan üç dönem için karşılaştırılmıştır. Buna göre, birbirine 340 km mesafe alanında bulunan istasyonlar için KLD ve L2N yönteminin sismik hareketliliği, jeomanyetik bozulmadan ve sakin durumlardan ayırabildiği gözlenmiştir. Her bir istasyonun üç dönem için elde edilen TEİ değerleri, ÇİK, KLD ve L2N yöntemleri kullanılarak ortalama sakin bir günde elde edilen TEİ değeriyle karşılaştırıldığında sadece KLD ve L2N yöntemlerinin deprem merkezine en fazla 150 km uzaklıkta olan istasyonlar için sismik hareketliliğin neden olduğu bozulmayı seçebildiği görülmüştür.

**Keywords:** İyonküre, Toplam Elektron İçeriği, deprem, jeomanyetik bozulma.

### ABSTRACT

Earth’s ionosphere is a dominant factor in space weather and the variability of the ionosphere is important for the ionospheric physics and radio communications. The characterizing property of the ionosphere is the electron density distribution that shows variation as a function of height, latitude, longitude, and geomagnetic, solar and seismic activities. An important measurable quantity about the electron density is the Total Electron Content (TEC), which is proportional to the total number of electrons on a line crossing the atmosphere. In this study, TEC obtained for eleven Turkish National Permanent GPS Network (TNPNGN-Active) Global Positioning System (GPS) stations located in Turkey are compared with each other using the Cross Correlation Coefficient (CCC), Symmetric Kullback-Leibler Distance (KLD) and L2-Norm (L2N) for quiet days of the ionosphere, during severe geomagnetic storms, and earthquakes having different magnitudes. It is observed that only KLD and L2N can differentiate the seismic activity from the geomagnetic disturbance and quiet ionosphere if the stations are in a radius of 340 km. When TEC for each station is compared with an average quiet day TEC for all periods using CCC, KLD and L2N, it is observed that, again, only KLD and L2N can distinguish the approaching seismicity for stations that are within 150 km radius to the epicenter.

**Anahtar Kelimeler:** Ionosphere, Total Electron Content, Earthquake, Geomagnetic Disturbance.

\* S. Karatay

e-posta: skaratay@kastamonu.edu.tr

## GİRİŞ

İyonküre, Atmosfer'in yaklaşık olarak 50 ile 1000 km arasındaki yükseklik alanında yer alan ve Güneş'ten gelen ışınlar ve kozmik ışınlar ile şekillenen doğal plazma ortamıdır. Güneş'ten gelen ışınlar, iyonküre içindeki atom ve molekülleri iyonlaştırarak pozitif yüklü iyonlar ile serbest elektronları oluşturmaktadır. İyonküreyi karakterize eden temel parametre, Güneş işlekliliği, jeomanyetik işleklilik, konum, zaman ve sismik hareketlilikle de değişimler gösteren elektron yoğunluğudur. İyonküreyi karakterize eden ve elektron yoğunluğunun bir fonksiyonu olan bir diğer parametre ise Toplam Elektron İçeriği (TEİ)'dir ve uydu ve alıcı arasındaki bir sinyal yolu boyunca hesaplanan toplam elektron miktarı olarak ifade edilir, TEİ'nin birimi TECU olup, 1 TECU metrekarede  $10^{16}$  elektrona eşittir (Arikan vd., 2003; Nayir, 2007; Nayir vd., 2007). İyonküredeki değişimler ve bozulmalar, TEİ'nin hesaplanması ve görüntülenmesi ile önemli ölçüde incelenebilir. TEİ elde etmek için yer tabanlı ve uydu tabanlı birçok teknik bulunur. Son yıllarda özellikle Yerküresel Konumlama Sistemi (YKS), yeryüzüne konumlanmış olan alıcıları ile birlikte TEİ hesaplamada ve iyonküresel değişimleri sergilemede etkili çözümler sağlar.

İyonkürenin zamansal ve uzamsal değişimleri genel olarak Yer'in günlük ve yıllık rotasyonuna ve manyetik alan çizgilerinin dağılımına bağlıdır. Yer'in manyetik alanı, çok nadir olarak bir jeomanyetik fırtına yok ise sakindir. Bu yönelimler ve periyodik değişimler, "sakin iyonküre" olarak bilinen iyonküreyi biçimlendirir (Rishbeth ve Garriot, 1969). Çok uzun süreli gözlemler sonucunda, Güneş'teki değişimler ile jeomanyetik ve sismik hareketliliğin, iyonkürenin sakin olduğu dönemlerde bazı sapmalara neden olduğu görülmüştür. Bu sapmalar, iyonküre içinde bozulmalar olarak adlandırılır. Eğer Yer'in manyetik alanındaki sapmalara bağlı olan jeomanyetik bozulmaları ölçeklendirebilmek için birçok indis geliştirilmiştir. Literatürdeki birçok çalışmada jeomanyetik fırtınaların iyonküredeki elektron yoğunluğunda ve TEİ'de bozulmalara neden olduğu saptanmıştır. Bununla birlikte son yıllarda, sismik hareketliliğin Litosfer, Troposfer ve iyonküre ile bağlaşımı sonucunda elektromanyetik sinyaller, Yer'in elektrik ve manyetik yapısı ile Atmosfer'in kimyasal yapısı üzerinde önemli ölçüde değişimlere neden olduğu bulunmuştur (Rishbeth ve Garriot, 1969; Zhang ve Xiao, 2000; Vlasov vd., 2003; Biqiang vd., 2007). Bu çalışmalarda, sismik hareketliliğe bağlı olarak meydana gelen elektromanyetik anormallikleri ve

iyonküreye etkilerini ortaya çıkarmak için birçok teori de geliştirilmiştir. Literatürdeki bu çalışmalara göre, büyük depremlerden önce özellikle TEİ, iyon sıcaklığı (T<sub>i</sub>) ve F2-bölgesi kritik frekansı (foF2) gibi iyonküre parametrelerinde büyük ölçüde bozulmalar meydana gelmektedir. Literatürde, iyonküre parametreleri üzerinde anormallikler yaratan iyonküresel bozulmaları inceleyen teknikler genel olarak şu şekilde sınıflandırılabilir: İlinti Analizi (Liu vd., 2000; Chuo vd., 2001; Liu vd., 2004; Pulinets, 2004; Pulinets vd., 2004; Pulinets vd., 2005; Pulinets vd., 2006;), Çeyrekler Arası Alan Analizi (Chuo vd., 2001; Liu vd., 2004; Lazo vd., 2004; Zhang vd., 2004), TEİ Farkı Analizi (Plotkin, 2003), İyonküresel Düzeltme Analizi (Trigunait vd., 2004), Radyo Yarısaydamlık Metodu (Smirnova ve Smirnov, 2005; Bondur ve Smirnov, 2006; Smirnova ve Smirnov, 2007) ve Bağlı Sapma Analizi (Kouris ve Fotiadis, 2002; Kouris vd., 2006). Bu sınıflamayla sıralanan bu tekniklerin hepsi iyonküre parametreleri üzerinde ya güçlü bir jeomanyetik fırtınanın yaşandığı dönem süresince ya da büyüklüğü 6'dan fazla olan deprem periyotları boyunca uygulanmıştır. Bu nedenle hâlâ, büyük jeomanyetik fırtınalar veya sismik hareketliliğin yarattığı bozulmalar için bir alarm sinyali oluşturabilmek adına gerçekçi ve geçerli istatistiksel yöntemlerin geliştirilmesi gerekmektedir.

İstatistikte ve bilgi teorisinde Kullback-Leibler İraksaklığı, iki Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu (OYF) arasındaki benzerlikleri veya farklılıkları ölçmek için kullanılır (Hall, 1987; Inglada, 2003; Bratsolis ve Sigelle, 2003; Chiang ve Braatz, 2003; Rached vd., 2004; Cover ve Thomas, 2006; Karatay vd., 2010; Karatay vd., 2017). Benzer olarak, L2-Normu da iki vektör arasındaki mesafesi tanımlamak için kullanılır (Kreyszig, 1998; Arikan vd., 2009; Karatay vd., 2010; Karatay vd., 2017). Bu iki istatistiksel yöntem dışında, Çapraz İlinti yöntemi de, iki dağılım arasındaki ilişkiyi/ilintiye ortaya koymak için sık kullanılan istatistiksel bir yöntemdir (Weisberg, 2005). Bu çalışmada, YYS istasyonlarından elde edilen TEİ'nin değişkenliğini incelemek için, iyonkürenin jeomanyetik açıdan bozulmalı ve sakin durumları da karşılaştırılarak, Simetrik Kullback-Leibler Mesafesi (KLD), L2-Normu (L2N) ve Çapraz İlinti Katsayısı (ÇİK) yöntemi de veri setleri üzerinde kullanılmıştır. Türkiye'de Kuzey Anadolu Fay hattında (KAF) meydana gelen benzer jeofiziksel özelliklere sahip iki deprem seçilmiştir. Harita Genel Komutanlığı tarafından Türkiye üzerine düzgün olarak yerleştirilmiş TUSAGA-Aktif YYS istasyonlarından her bir depremden 10 gün öncesi

ve sonrası günler için TEİ kestirimleri elde edilmiştir. TUSGA-Aktif TEİ kestirimleri Türkiye için iyonkürenin jeomanyetik ve sismik açıdan sakin olduğu günler ile karşılaştırılmıştır.

## ANALİZ YÖNTEMLERİ

Yerküresel Konumlama Sistemi (YKS) ile TEİ hesaplamada, uydu ve alıcı arasındaki sinyal yolu boyunca hesaplanan serbest elektron miktarına Eğik-TEİ (STEC-Slant Total Electron Content) denilmektedir. Bir YKS alıcısının yerel zenit doğrultusunda hesaplanan TEİ değeri ise Dik-TEİ (VTEC-Vertical Total Electron Content) ile ifade edilmektedir (Arikan vd., 2003; Nayir, 2007; Nayir vd., 2007). Belli bir zaman dilimi içinde hesaplanan VTEC verileri vektörüyle ifade edilebilir:

$$\mathbf{x}_{u,d} = [x_{u,d}(1) \dots \dots x_{u,d}(n) \dots \dots x_{u,d}(N)]^T \quad (1)$$

Burada  $u$ , alıcı numarasını;  $N$ , toplam ölçüm sayısını;  $n$ , örnek numarasını;  $\mathbf{x}_{u,d}$  ise matris devriğini göstermektedir. Veri setlerinde farklı mevsimlerde, yıllarda ve günlerde hesaplana TEİ değerleri karşılaştırılmak için düzgelenmiştir (normalize). Bir istasyonun günündeki vektörünün günlük deneysel Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu (OYF) (Karatay vd., 2010):

$$\hat{\mathbf{P}}_{u,d} = \mathbf{x}_{u,d} \sum_{n=N_i}^{N_s} x_{u,d}(n) \quad (2)$$

şeklinde yaklaşılmıştır. Bir istasyonunun sakin günler zaman aralığındaki toplam kadar günden elde edilen Ortalama Değer Sakin Gün (ODSG),vektörü Eşitlik 3'teki gibi tanımlanmıştır (Karatay vd., 2010):

$$\mathbf{x}_{u,d_i-d_s} = (1/N_d) \sum_{d_n=d_i}^{d_s} x_{u,d_n} \quad (3)$$

Burada, iyonkürenin sakin gün zaman aralığında başlangıç gününü, bitiş gününü temsil etmektedir. Eşitlik 3 ile ifade edilen ODSG vektörünün düzgelenmiş değeri olarak elde edilmiştir.

## Çapraz İlinti Katsayısı Yöntemi

İlinti, iki bazen de daha çok sayıda değişken arasındaki ilişkiyi gösterir. İlişkinin miktarı bir sayı ile belirtilir. Bu sayıya ilinti katsayısı denir (Weisberg, 2005). Seçilen birinci istasyona ait günlük VTEC verileri vektörüyle, ikinci istasyona ait günlük VTEC verileri vektörüyle tanımlanırsa, başlangıç bitiş örnek numarası ve toplam örnek sayısı olmak üzere bu iki istasyonun gününe ait günlük çapraz ilinti fonksiyonu, aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir:

$$r_{u,v;d} = \left(1/N_T \sigma_{u,d} \sigma_{v,d}\right) \sum_{n=N_i}^{N_s} (x_{u,d} - \bar{x}_{u,d})(x_{v,d} - \bar{x}_{v,d}) \quad (4)$$

Burada ve sırasıyla gün için örnek üzerinden ve vektörlerinin ortalama değerini ve ise bu vektörlerin standart sapmasını vermektedir. Bir istasyon için Eşitlik 3 ile tanımlanan ODSG vektörünün OYF vektörü ve günü arasındaki ÇİK fonksiyonu ile; istasyonunun ve ardışık günleri arasındaki Çapraz İlinti Katsayıları da ile hesaplanmıştır.

## Simetrik Kullback-Leibler Mesafesi (KLD) Yöntemi

Olasılık ve bilgi teorisinde Simetrik Kullback-Leibler Mesafesi (KLD), iki olasılık dağılımı arasındaki benzerlikleri ve farklılıkları ölçmek için kullanılır. Bir "doğru" olasılık dağılımından bir "tercihli" olasılık dağılımının farkının bir ölçümüdür. Doğru olasılık dağılımı veriyi, gözlemi veya tam olarak hesaplanmış bir olasılık dağılımı; tercihli olasılık dağılımı ise bir teoriyi, bir modeli ya da bir yaklaşımı temsil eder. Eşitlik 2 ile ifade edilen OYF kullanılarak ve istasyonları için 'den 'ye ve 'den 'ye olan Kullback-Leibler İraksaklığı ( $\lambda$ ):

$$KLM(\hat{\mathbf{P}}_{u,d} \setminus \hat{\mathbf{P}}_{v,d}) = \sum_{n=N_i}^{N_s} \hat{P}_{u,d}(n) \ln [\hat{P}_{u,d}(n) / \hat{P}_{v,d}(n)] \quad (5)$$

$$KLM((\hat{\mathbf{P}}_{v,d} \setminus \hat{\mathbf{P}}_{u,d})) = \sum_{n=N_i}^{N_s} \hat{P}_{v,d}(n) \ln [\hat{P}_{v,d}(n) / \hat{P}_{u,d}(n)]$$

eşitlikleri ile ifade edilir (Hall, 1987; Inglada, 2003; Bratsolis ve Sigelle, 2003; Chiang ve Braatz, 2003; Rached vd., 2004; Cover ve Thomas, 2006; Karatay vd., 2010; Karatay vd., 2017). Burada, başlangıç ve bitiş örnek numarasını göstermektedir. Eşitlik 5'te verilen fonksiyonları kullanılarak istasyonlar arasındaki simetrik Kullback-Leibler Mesafesi ( $\lambda$ ):

$$KLD(\hat{\mathbf{P}}_{u,d}; \hat{\mathbf{P}}_{v,d}) = KLM(\hat{\mathbf{P}}_{u,d} \setminus \hat{\mathbf{P}}_{v,d}) + KLM(\hat{\mathbf{P}}_{v,d} \setminus \hat{\mathbf{P}}_{u,d}) \quad (6)$$

eşitliği ile ifade edilir (Hall, 1987; Inglada, 2003; Bratsolis ve Sigelle, 2003; Chiang ve Braatz, 2003; Rached vd., 2004; Cover ve Thomas, 2006; Karatay vd., 2010; Karatay vd., 2017). Bir istasyonunun ortalama değer sakin gün vektörü ile günü arasındaki fonksiyonu ile tanımlanmıştır. Ardışık ve günleri arasındaki simetrik Kullback-Leibler Mesafesi de fonksiyonu ile elde edilmiştir.

## L2-Normu (L2N) Yöntemi

L2-Normu ( $\| \cdot \|$ ), iki vektör arasındaki mesafeyi ölçmek için kullanılır. L2-Mesafesi metrik bir ölçektir (Kreyszig, 1998; Arikan vd., 2009; Karatay vd., 2010; Karatay vd., 2017). Eşitlik 2 ile ifade edilen OYF kullanılarak ve istasyonları için 'den 'ye L2-Normu Eşitlik 7 ile ifade edilir (Karatay vd., 2010; Karatay vd., 2017):

$$L2N(\hat{P}_{u;d} \setminus \hat{P}_{v;d}) = \sqrt{\sum_{n=N_i}^{N_s} (\hat{P}_{u;d}(n) - \hat{P}_{v;d}(n))^2} \quad (7)$$

Burada başlangıç ve bitiş örnek numarasıdır. Bir istasyonun ortalama değer sakin gün vektörü ile günü arasındaki L2-Normu, fonksiyonu ile; ardışık ve günleri arasındaki L2-Normu da, fonksiyonu ile tanımlanmıştır.

## SONUÇLAR ve TARTIŞMA

İkinci bölümde izah edilen yöntemler, Türkiye'de Kuzey Anadolu Fay Hattı'nda meydana gelmiş iki deprem için istasyonlar arası çaprazlama uygulaması (Grup-I), Ortalama Değer Sakin Gün uygulaması (Grup-II) ve ardışık günler uygulaması (Grup-III) olmak üzere üç uygulama grubu içinde kullanılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan istasyonlar, daha önce Japonya ve Çin depremleri ele alınarak yapılan çalışmada (Karatay vd., 2010) ortaya konulan sonuçlar doğrultusunda deprem merkezlerine 427 km mesafeye kadar seçilmiştir. Çalışmanın amacı için Türkiye'de meydana gelen farklı büyüklükteki iki deprem seçilmiştir. Her iki deprem de Kuzey Anadolu Fay (KAF) hattı üzerinde bulunup benzer jeofiziksel özellikler taşımaktadır. Depremlerin tarihi, oluş zamanı, konumu ( $^{\circ}K$ - $^{\circ}D$ ), büyüklüğü (M-Richter) ve derinliği (z-km) Çizelge 1'de verilmiştir. Çizelge 1'de E1 ve E2 olarak temsil edilen depremler sırasıyla 30.07.2009 tarihli Çağlayan, Erzincan (www.koeri.boun.edu.tr) ve 08.08.2009 tarihli Yenice, Çanakkale (http://earthquake.usgs.gov/regional/world) depremidir. Deprem dönemi günleri için her bir depremden on gün öncesi ve sonrası olmak üzere toplam

yirmi bir günlük zaman aralığı seçilmiştir. Tüm şekiller üzerinde, depremin olduğu 11. gün mavi bir ok ile gösterilmiştir.

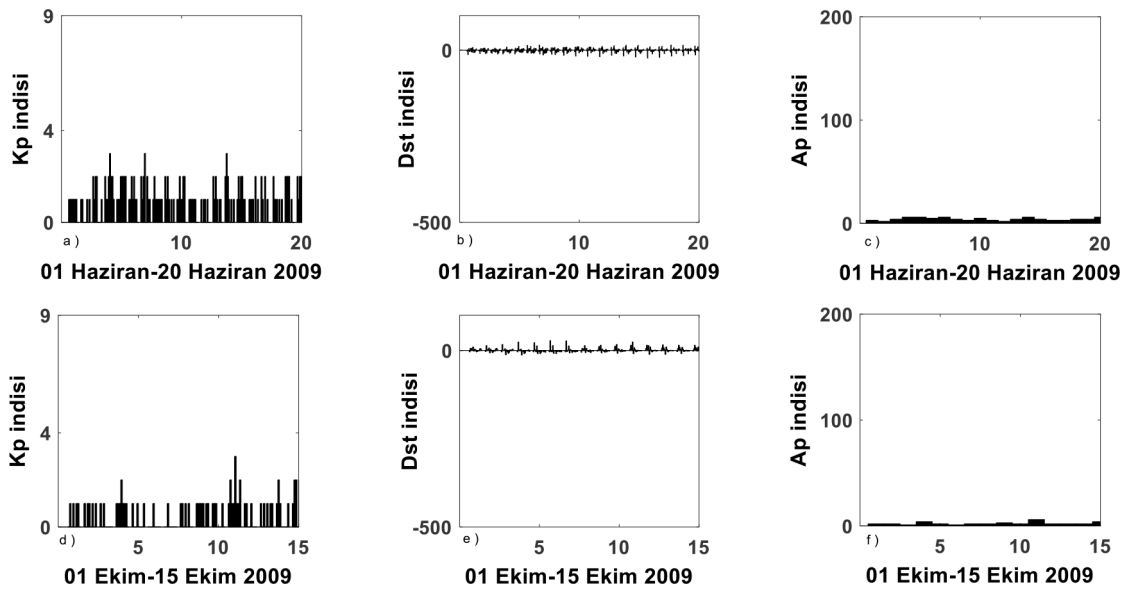
Türkiye'de deprem öncesi sismik hareketliliğin iyonküre üzerindeki etkilerini inceleyebilmek için, iyonkürenin Güneş'te meydana gelen hareketliliğe bağlı olarak jeomanyetik hareketliliğin yaşanmadığı sakin günler zaman aralığı da ele alınmıştır. TEİ kestirimleri için kullanılan Türkiye'deki YKS istasyon ağı Mayıs 2009 tarihinden itibaren işlevselliği kazanmıştır. 2009 yılı jeomanyetik olarak bozulmanın yaşanmadığı oldukça sakin bir yıl olarak geçmiştir. Bu nedenle karşılaştırmalar sadece deprem dönemi ve sakin dönem olmak üzere iki zaman aralığı için yapılabilmektedir. Sakin günler zaman aralığı seçilirken jeomanyetik hareketliliği ölçeklendiren Dst, Kp ve Ap indisleri (http://www.swpc.noaa.gov/ftpmenu/indices/old\_indices, http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst/dir/, http://www.cbk.waw.pl/rwc/idce.html) web sitelerinden elde edilmiştir. Sakin günler zaman aralığı için ( $SD_1$ ) 01 Ekim-15 Ekim 2009 tarihleri arasındaki günler, ODSG için ( $SD_2$ ) de 01-20 Haziran 2009 tarihleri arasındaki günler kullanılmıştır. Bu iki zaman aralığında, seçilen deprem bölgelerinde önemli sayılabilecek bir sismik hareketlilik yoktur. Bu iki sakin döneme ait Kp-indisi, Dst-indisi ve Ap-indisi değişimleri Şekil 1'de verilmiştir. Bu çalışmada, Harita Genel Komutanlığı tarafından Türkiye üzerine düzgün konumlandırılmış TU-SAGA Aktif YKS istasyonlarından elde edilen IONO-LAB-TEİ kestirimleri kullanılmıştır (Arikan vd., 2003; Nayir vd., 2007; http://www.ionolab.org). Kullanılan istasyonların ve seçilen depremlerin konumları Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2'de deprem merkezleri "kırmızı yıldız" ile YKS istasyonları "mavi nokta" ile gösterilmiştir. İstasyonların birbirlerine olan uzaklıkları, 69 km'den 441 km'ye kadar değişmektedir.

Birinci grup uygulamada, Eşitlik 4 ile tanımlanan ÇİK yöntemi, Eşitlik 6 ile tanımlanan KLD yöntemi ve Eşitlik 7 ile tanımlanan L2N yöntemi, E1 depreminde bayb, bing, erzi, kays, rhiy ve E2 depreminde ayvl, cana, datc, tekr, usak, yenc istasyonlarının TEİ değer-

Çizelge 1. Depremlerin konum, zaman, büyüklük ve derinlik göstergesi.

Table 1. Geographic locations, times, magnitudes and depths of the earthquakes.

| YER                | Tarih      | Saat  | Enlem ( $^{\circ}K$ ) | Boylam ( $^{\circ}D$ ) | M (Richter) | Z (km) |
|--------------------|------------|-------|-----------------------|------------------------|-------------|--------|
| <b>E1-Erzincan</b> | 30.07.2009 | 10 37 | 39.6                  | 40.3                   | 5           | 5      |
| <b>E2-Yenice</b>   | 08.08 2009 | 04 52 | 40.3                  | 27.2                   | 4.2         | 10     |

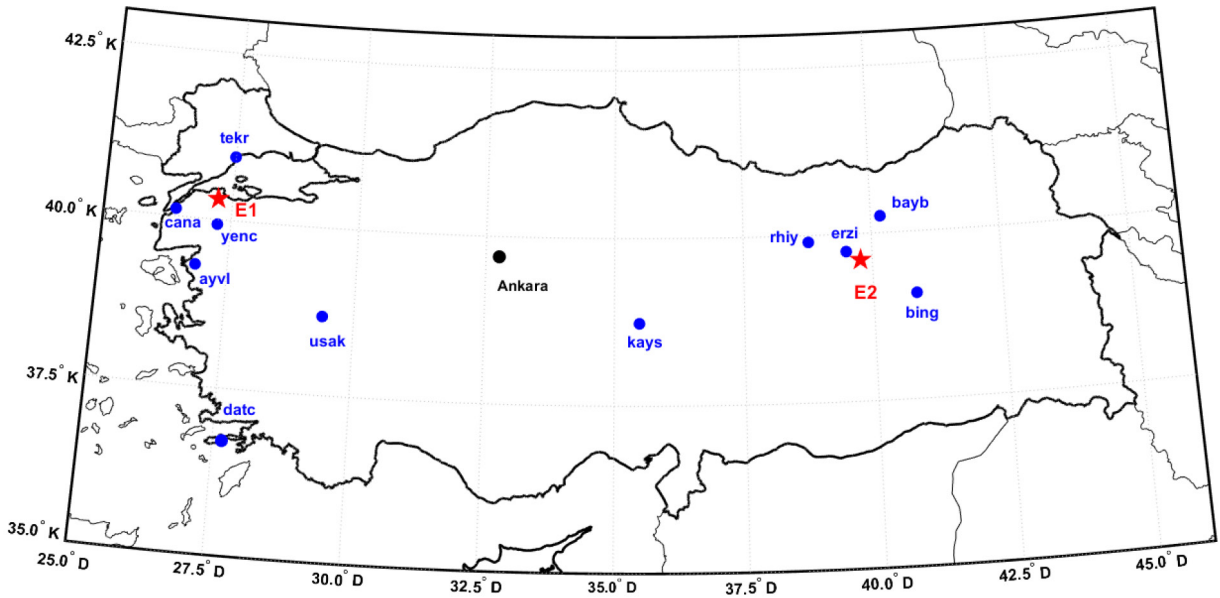


Şekil 1. Günlük jeomanyetik hareketlilik indisleri; SD2 için a) Kp indisi, b) Dst indisi, c) Ap indisi; SD1 için d) Kp indisi, e) Dst indisi, f) Ap indisi.

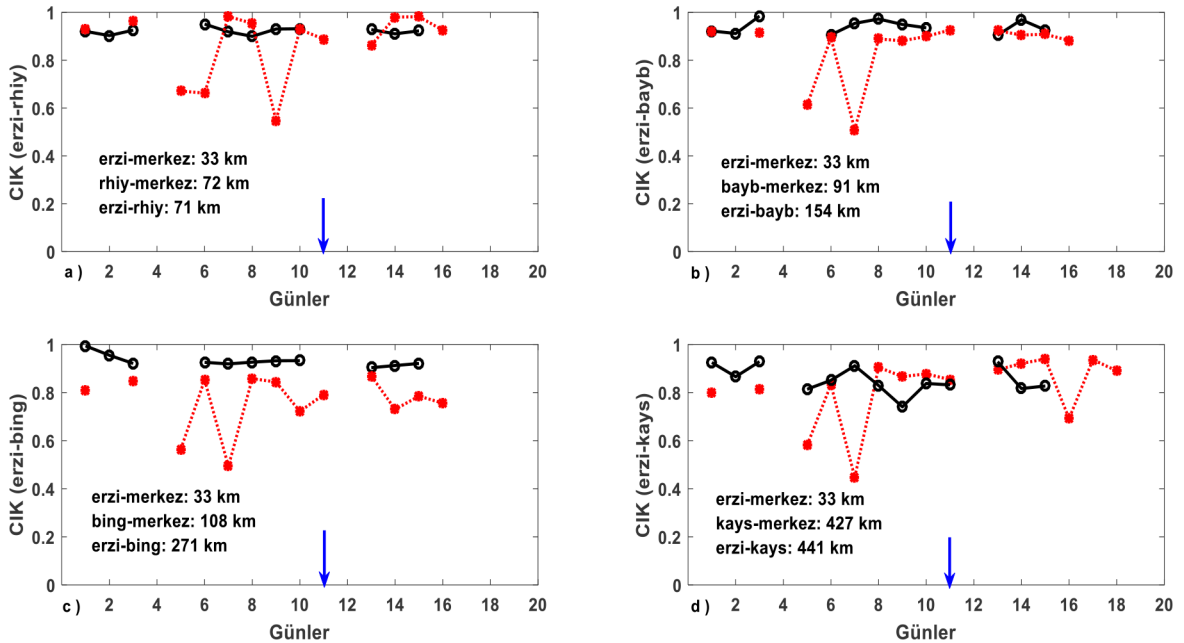
Figure 1. Daily geomagnetic indices; a) Kp index, b) Dst index, c) Ap index for SD2; d) Kp index, e) Dst index, f) Ap index for SD1.

leri arasında uygulanmıştır. Bu grup çalışmaya göre her iki depremde kullanılan istasyonların çaprazlama ÇİK değerleri sakin günlerde +1'e yakın değişirken deprem günlerinde +0.5 değerine kadar düşmüştür. Literatürde (Pulinets, 2004; Pulinets vd., 2004; Pulinets vd., 2005; Pulinets vd., 2006) eğer iki veri seti arasındaki ilinti katsayısı 0.9'dan büyük ise, bu iki veri setinin yüksek ilişkili olduğu kabul edilmiştir. Deprem gününden önce bu ilişkinin zayıflayarak 0.9'un altındaki değerlere ulaştığı ve deprem öncesi anomalilere işaret ettiği söylenmiştir. Bu nedenle bu çalışmada da ÇİK yöntemi için eşik değer 0.9 olarak kabul edilmiştir. ÇİK yöntemi bu çalışmada Türkiye üzerinde meydana gelen bu iki depremde, deprem günlerini ayırabilmiştir. Yine (Karatay vd., 2010) çalışmasında, KLD ve L2N yöntemlerinin, büyüklüğü 5.9 ile 8.3 arasında değişen depremler için deprem merkezine en fazla 340 km uzaklıkta bulunan istasyonlar için sismik anormalliği ayırabilen yöntemler olduğu bulunmuştur. İstasyonların deprem dönemleri, jeomanyetik açıdan sakin bir gün ile karşılaştırıldığında ise deprem merkezine 150 km çapta bulunan istasyonlardaki sismik anormalliği güçlü ölçüde ortaya çıkaran yöntemler olduğu gözlenmiştir. Bu çalışmada da istasyonların deprem dönemi çaprazlama KLD değerlerinin sakin günlerde elde edilen değerlerden 10 kat büyük olduğu gözlenmiştir. İstasyonlar arası L2N değerleri deprem dönemlerinde ve sakin dönemlerde birbirine

yakın değişmiştir. L2N yöntemi, deprem dönemi ile sakin dönemde istasyonlar arasındaki farkı KLD yöntemi kadar iyi ölçmemiştir. Şekil 3'te bu uygulamaya örnek olarak sırasıyla E1 depremi için deprem merkezine en yakın istasyon olan merkez istasyon ile diğer istasyonlar arasındaki deprem dönemi ve sakin dönem ÇİK değerleri verilmiştir. Deprem günlerinde ilintinin zayıf, sakin günlerde ise ilintinin yüksek olduğu Şekil 3'ten görülmektedir. İstasyonlar arasındaki mesafe arttıkça ve deprem gününe yaklaştıkça ilintinin azaldığı yine Şekil 3'ten gözlenmektedir. Şekil 4'te ise Grup-I uygulamaya örnek olarak sırasıyla E1 depreminde ve sakin günlerde istasyonlar arasındaki KLD değerleri verilmiştir. Her iki depremde de KLD değerlerinin sakin günlerden çok büyük olduğu görülmektedir. Özellikle istasyonların merkez istasyona olan uzaklıkları ve depremin büyüklüğü arttıkça deprem günlerinde bu farkın daha da arttığı gözlenmektedir. Birbirine yakın olan istasyonlar arasında deprem günlerinde KLD değerleri daha küçük olduğu görülmektedir. Şekil 5'te Grup-I uygulamaya örnek olarak E1 depremindeki ve sakin günlerdeki L2N değerleri verilmiştir. Deprem günlerindeki L2N değerlerinin sakin günlere yakın değiştiği gözlenmektedir. E1 deprem için L2N değerlerinin deprem ile sakin günler arasındaki farkın KLD değerleri kadar belirgin olmadığı Şekil 5'ten gözlenmektedir.



Şekil 2. Çalışma kapsamında seçilen depremlerin merkezleri ve TUSAGA-Aktif YKS istasyonları.  
Figure 2. The locations of the earthquakes and the TUSAGA-Active GPS stations chosen for the study.

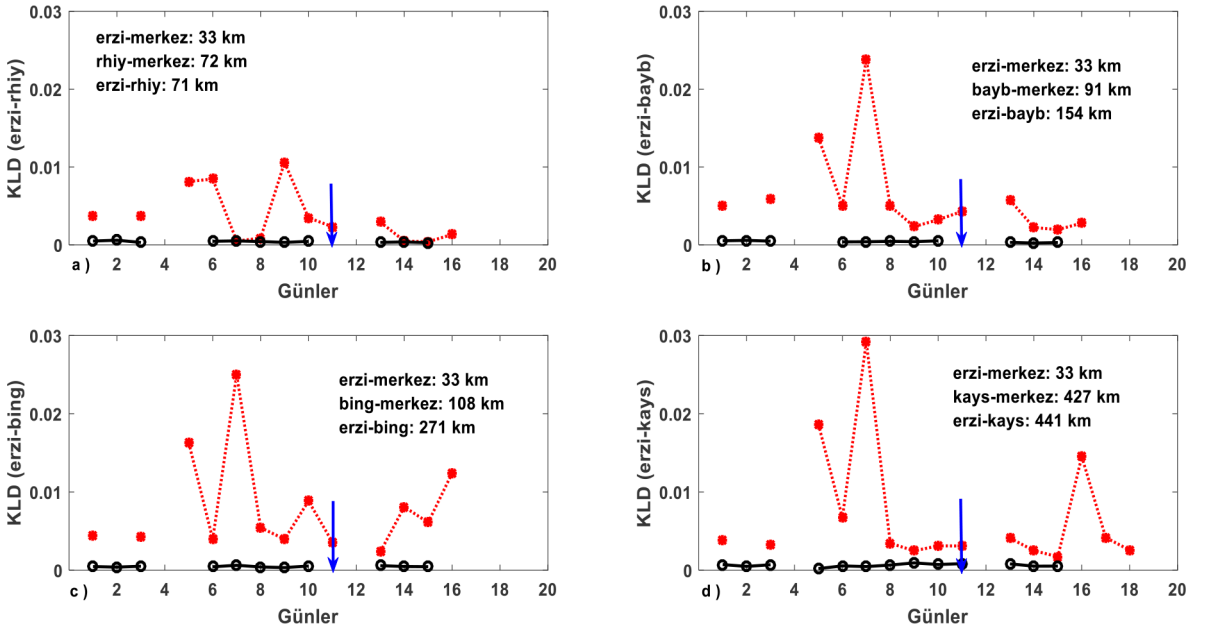


Şekil 3. E1 depremi periyodu ve sakin günler periyodu arasındaki ÇİK değerleri: a) erzi-rhiy, b) erzi-bayb, c) erzi-bing, d) erzi-kays istasyonları arasında. Deprem periyodu "kırmızı nokta" ile, sakin günler periyodu "siyah daire" ile, depremin olduğu gün ise "mavi ok" ile gösterilmiştir.

Figure 3. CCC values between E1 earthquake days period and quite days period for a) erzi-rhiy, b) erzi-bayb, c) erzi-bing, d) erzi-kays. Earthquake days, quiet days periods and the earthquake day are demonstrated with "red dot", "black circle" and "blue arrow", respectively.

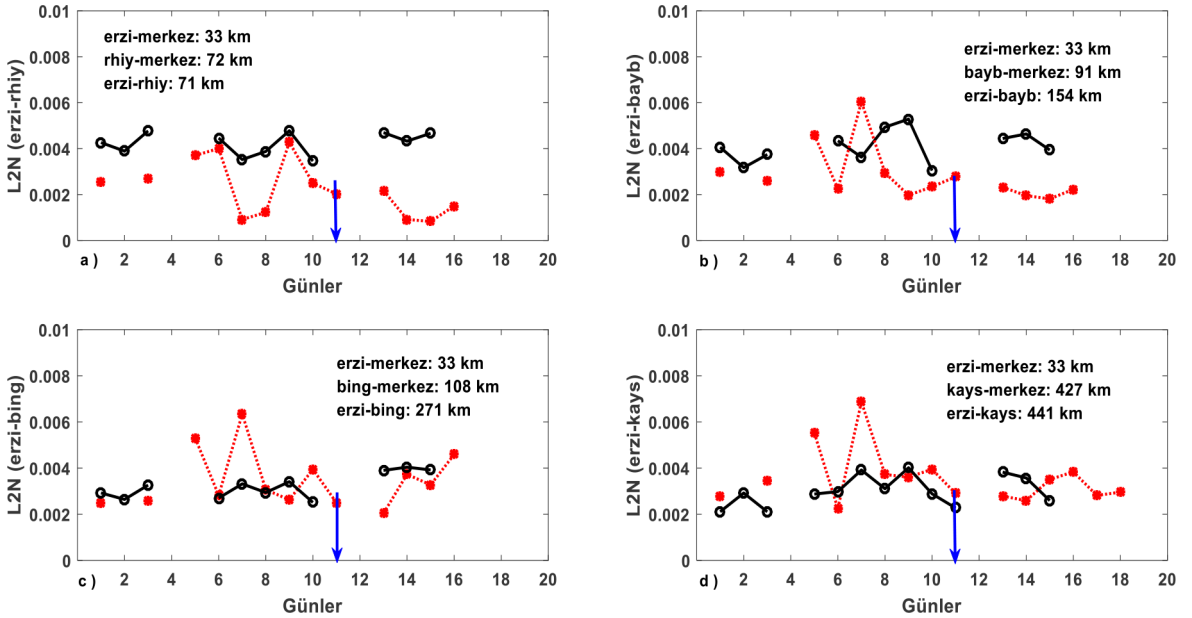
İkinci grup uygulamada fonksiyonu ile tanımlanan ÇİK yöntemi, ile tanımlanan KLD yöntemi ve fonksiyonu ile tanımlanan L2N yöntemi, çalışma kapsamında

kullanılan her bir YKS istasyonunun ODSG TEİ vektörü ile deprem dönemi ve sakin dönem günlerinin elde edilen TEİ değerleri arasında uygulanmıştır.



Şekil 4. E1 depremi periyodu ve sakin günler periyodu arasındaki KLD değerleri: a) erzi-rhiy, b) erzi-bayb, c) erzi-bing, d) erzi-kays istasyonları arasında. Deprem periyodu “ kırmızı nokta” ile, sakin günler periyodu “siyah daire” ile, depremin olduğu gün ise “mavi ok” ile gösterilmiştir.

Figure 4. KLD values between E1 earthquake days period and quite days period for a) erzi-rhiy, b) erzi-bayb, c) erzi-bing, d) erzi-kays. Earthquake days, quiet days periods and the earthquake day are demonstrated with “red dot”, “black circle” and “blue arrow”, respectively.



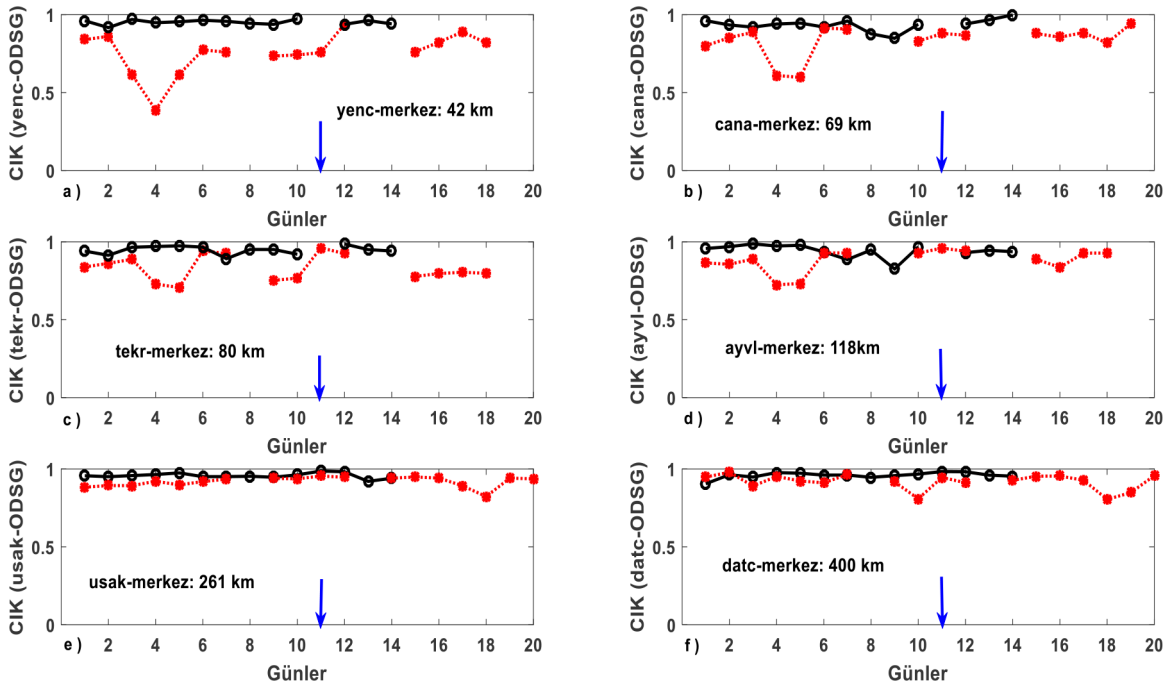
Şekil 5. E1 depremi periyodu ve sakin günler periyodu arasındaki L2N değerleri: a) erzi-rhiy, b) erzi-bayb, c) erzi-bing, d) erzi-kays istasyonları arasında. Deprem periyodu “ kırmızı nokta” ile, sakin günler periyodu “siyah daire” ile, depremin olduğu gün ise “mavi ok” ile gösterilmiştir.

Figure 5. L2N values between E1 earthquake days period and quite days period for a) erzi-rhiy, b) erzi-bayb, c) erzi-bing, d) erzi-kays. Earthquake days, quiet days periods and the earthquake day are demonstrated with “red dot”, “black circle” and “blue arrow”, respectively.

Bu grup çalışmayla, hem ODSG-deprem hem de ODSG sakin eşleşmesi için ÇİK değerlerinin 0.8 ile 1 arasında değiştiği gözlenmiştir. Deprem öncesi bazı günlerde ise ÇİK değerlerinin 0.6'ya kadar düştüğü gözlenmiştir. KLD ve L2N yöntemlerinin bu uygulamada paralel sonuçlar ortaya koyduğu görülmüştür. ODSG-deprem eşleşmesinin KLD ve L2N değerlerinin, ODSG-sakin eşleşmesi değerlerinden çok daha büyük değiştiği gözlenmiştir. KLD ve L2N değerlerinde özellikle ODSG-deprem eşleşmesinde ani artışlar gözlenmiştir. Şekil 6'da, kullanılan her bir YKS istasyonu için E2 depremi ve sakin günler ile ODSG arasındaki ÇİK değerleri gösterilmiştir. ÇİK yönteminin deprem günlerini ayırmada bu uygulama için ayırt edici bir yöntem olmadığı Şekil 6'dan görülmektedir. Şekil 7'de yine E2 depremi ve sakin günler ile ODSG arasındaki KLD değerleri verilmiştir. Deprem merkezine yakın istasyonlarda deprem-ODSG eşleşmesi değerlerinin sakin-ODSG eşleşmesi değerlerinden büyük olduğu, istasyonların deprem merkezine uzaklığı arttıkça bu eşleşmelerin birbirine çok yakın değerlerde olduğu gözlenmektedir. Depremün büyüklüğü arttıkça deprem-ODSG eşleşmesi değerlerinin de arttığı görülmektedir. Şekil 8'de ise, E2 depremi

ve sakin günler ile ODSG arasındaki L2N değerleri verilmiştir. Deprem merkezine yakın istasyonlarda özellikle deprem gününden önceki günlerde deprem-ODSG eşleşmesi değerlerinin sakin-ODSG eşleşmesi değerlerinden büyük olduğu görülmektedir. Deprem merkezine 180'den uzak olan istasyonların deprem-ODSG eşleşmesi ile sakin-ODSG eşleşmesi değerlerinin birbirine çok yakın olduğu yine Şekil 8'den de görülebilmektedir.

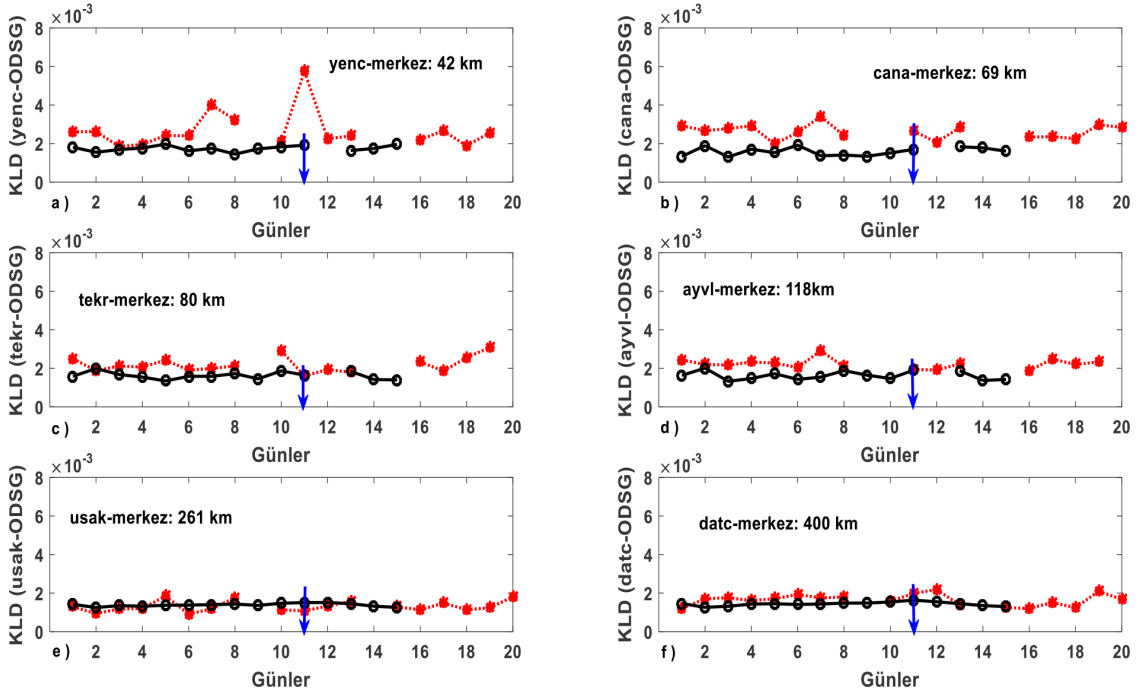
Üçüncü grup uygulamada fonksiyonu ile tanımlanan ÇİK yöntemi, fonksiyonu ile tanımlanan KLD yöntemi ve fonksiyonu ile tanımlanan L2N yöntemi, çalışma kapsamında kullanılan her bir YKS istasyonun ardışık deprem günleri ve ardışık sakin günleri arasında uygulanmıştır. Bu uygulamayla, ardışık sakin günler arasındaki ÇİK değerlerinin +1'e yakın değiştiği, ardışık deprem günlerinde ise ÇİK değerlerinin +0.2'ye kadar düşerek zayıf ilinti sergilediği gözlenmiştir. Ardışık deprem günleri için elde edilen KLD değerlerinin, ardışık sakin günler için elde edilen KLD değerlerinden yaklaşık olarak 10 kat büyük olduğu görülmüştür. Benzer olarak ardışık deprem günleri için elde edilen L2N değerlerinin, ardışık sakin günler için elde edilen



Şekil 6. E2 depremi ile ODSG ve sakin günler ile ODSG eşleşmeleri için ÇİK değerleri: a) yenc, b) cana, c) tekr, d) ayvl, e) usak, f) datc. Deprem periyodu " kırmızı nokta " ile, sakin günler periyodu "siyah daire" ile, depremin olduğu gün ise "mavi ok" ile gösterilmiştir.

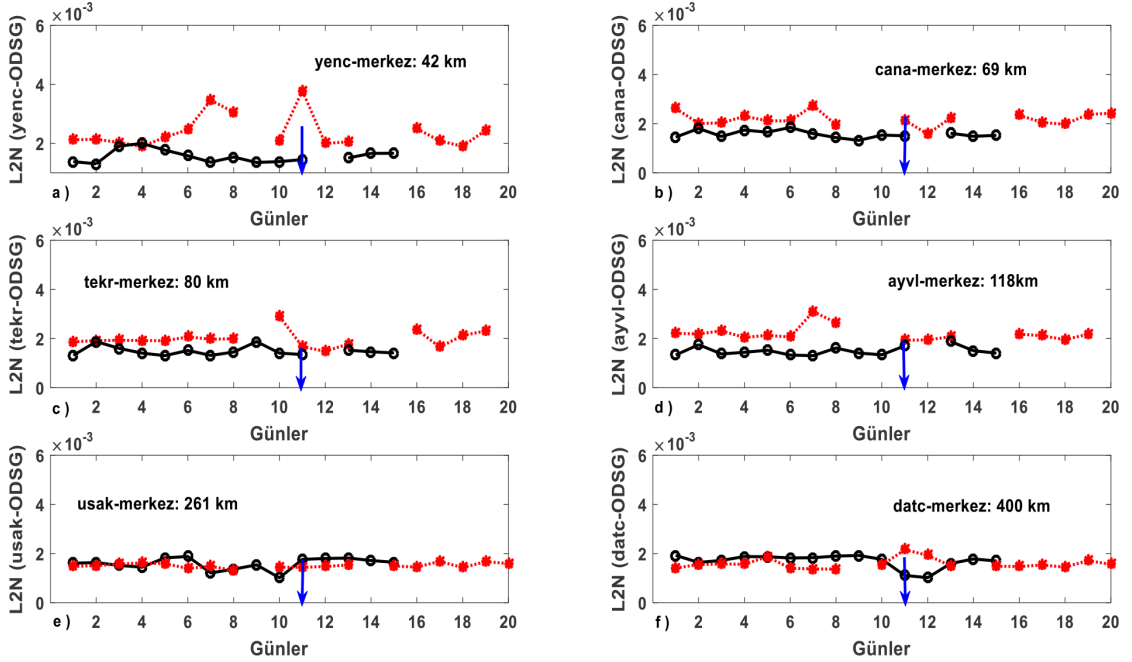
Figure 6. CCC values between E2 earthquake days and Average Quite Day TEC (AQDT) for a) yenc, b) cana, c) tekr, d) ayvl, e) usak, f) datc. Earthquake days, quiet days periods and the earthquake day are demonstrated with "red dot", "black circle" and "blue arrow", respectively.





Şekil 7. E2 depremi ile ODSG ve sakin günler ile ODSG eşleşmeleri için KLD değerleri: a) yenc, b) cana, c) tekr, d) ayvl, e) usak, f) datc. Deprem periyodu “ kırmızı nokta” ile, sakin günler periyodu “siyah daire” ile, depremin olduğu gün ise “mavi ok” ile gösterilmiştir.

Figure 7. KLD values between E2 earthquake days and Average Quite Day TEC (AQDT) for a) yenc, b) cana, c) tekr, d) ayvl, e) usak, f) datc. Earthquake days, quiet days periods and the earthquake day are demonstrated with “red dot”, “black circle” and “blue arrow”, respectively.



Şekil 8. E2 depremi ile ODSG ve sakin günler ile ODSG eşleşmeleri için L2N değerleri: a) yenc, b) cana, c) tekr, d) ayvl, e) usak, f) datc. Deprem periyodu “ kırmızı nokta” ile, sakin günler periyodu “siyah daire” ile, depremin olduğu gün ise “mavi ok” ile gösterilmiştir.

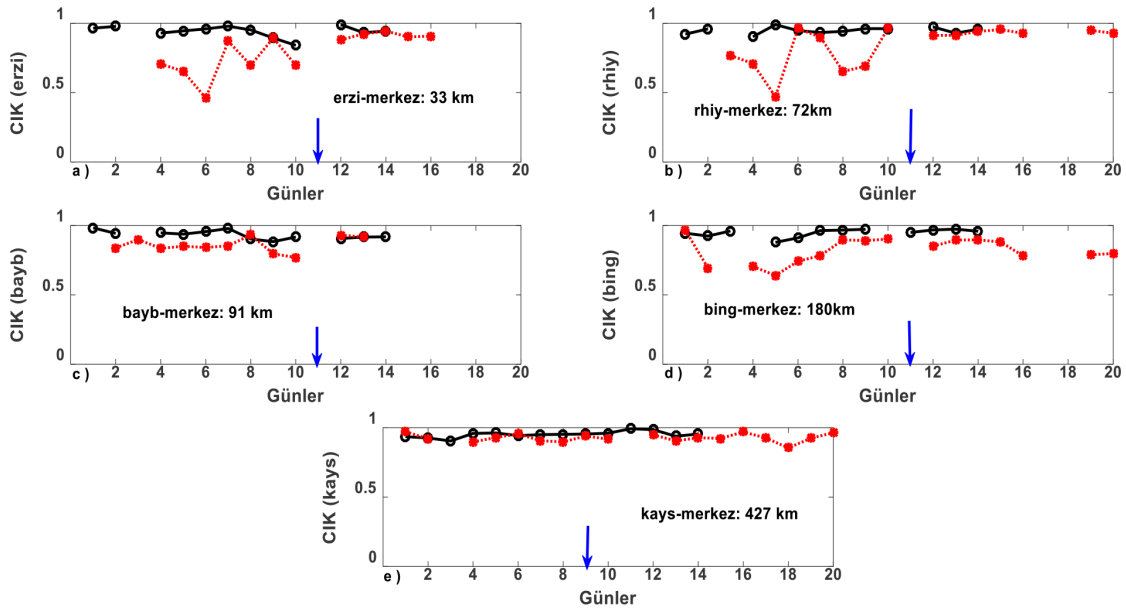
Figure 8. L2N values between E2 earthquake days and Average Quite Day TEC (AQDT) for a) yenc, b) cana, c) tekr, d) ayvl, e) usak, f) datc. Earthquake days, quiet days periods and the earthquake day are demonstrated with “red dot”, “black circle” and “blue arrow”, respectively.

L2N değerlerinden yaklaşık olarak 2 kat büyük olduğu gözlenmiştir. Bu uygulamada her üç yöntemin de deprem günlerini, sakin günlerden ayırdığı gözlenmiştir. Bu uygulamaya bir örnek olarak Şekil 9'da, istasyonların deprem merkezlerine olan uzaklığına göre sırasıyla E2 depremi için ardışık deprem günleri ve ardışık sakin günler arasındaki ÇİK değerleri verilmiştir. Deprem merkezlerine yakın olan istasyonlarda ÇİK değerlerinin deprem öncesi günlerde zayıf ilintili olduğu görülmektedir. Deprem merkezlerine daha uzak olan kays (427 km) istasyonu için ilintinin benzer ve yüksek olduğu gözlenmektedir.

Şekil 10'da, istasyonların deprem merkezlerine olan uzaklığına göre E1 depremi için ardışık deprem günleri ve ardışık sakin günler arasındaki KLD değerleri verilmiştir. Ardışık deprem günlerindeki KLD değerlerinin ardışık sakin günlerdeki KLD değerlerinden çok büyük olduğu ve KLD yönteminin ardışık deprem günlerini 400 km'ye kadar ardışık sakin günlerden çok iyi ayırdığı Şekil 10'dan görülmektedir. Büyüklüğü daha fazla olan E1 depremi için KLD değerlerinin E2 depremi için elde edilen KLD değerlerinden özellikle deprem merkezine yakın istasyonlar için daha büyük olduğu sonucu bu grup uygulamada gözlenmiştir. Şekil 11'de ise yine

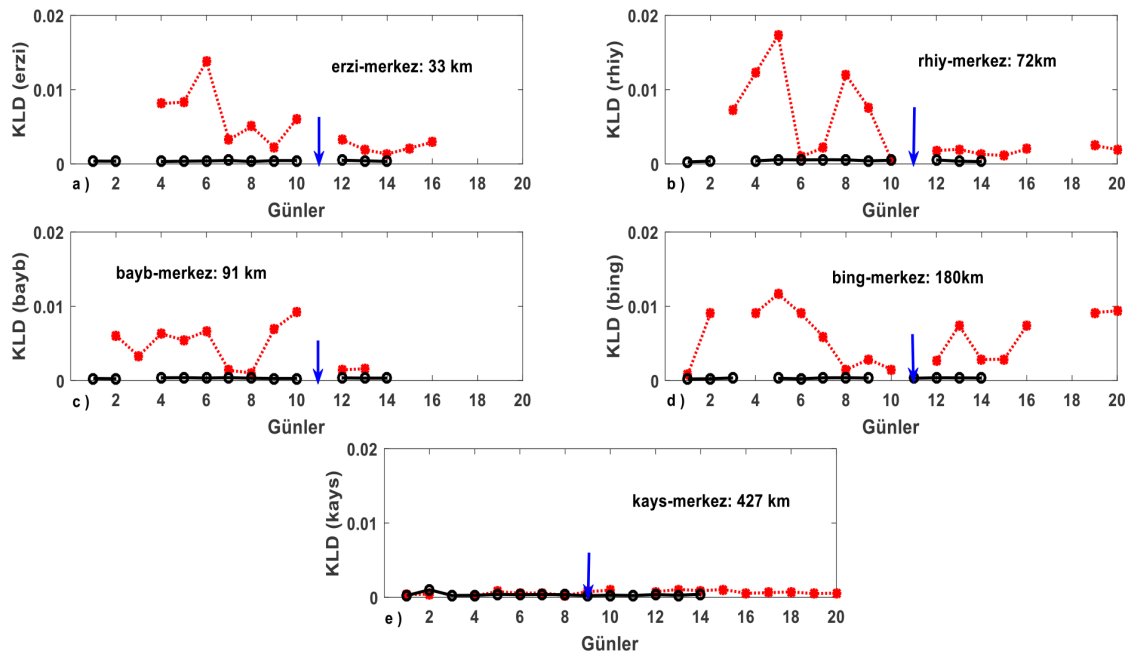
istasyonların deprem merkezlerine olan uzaklığına göre E1 depremleri için ardışık depremindeki ardışık günler ve ardışık sakin günler arasındaki L2N değerleri verilmiştir. Her iki deprem için istasyonların deprem merkezine olan uzaklığı arttıkça, ardışık deprem günleri ve ardışık sakin günlerdeki L2N değerlerinin birbirine yaklaştığı bu grup çalışmada gözlenmiştir ve bu sonuç Şekil 11'de de görülmektedir. 180 km uzaklık sınırından sonra her iki dönem için elde edilen L2N değerlerin birbirine benzediği ve deprem merkezine yakın olan istasyonlarda ardışık deprem günleri ve ardışık sakin günler arasındaki farkın ise büyüdüğü Şekil 11'den gözlenmektedir.

Türkiye sismik bölgesi için yapılan bu çalışmada, Türkiye'de Kuzey Anadolu Fay Hattı'nda meydana gelen benzer jeolojik ve sismik özelliklere sahip iki deprem ve iki sakin dönem için Çapraz İlinti Katsayısı, simetrik Kullback-Leibler Mesafesi ve L2-Normu yöntemleri, TUSAGA-Aktif YKS istasyonlarından elde edilen günlük TEİ verileri üzerinde uygulanarak karşılaştırmalar yapılmıştır. İyonküredeki sismik hareketliliğin yarattığı bozulma etkilerini herhangi bir bozulmanın olmadığı günlerden ayırabilmek için istatistiksel yöntemler sakin günler için de uygulanmıştır. Türkiye için elde edilen bu bulgular



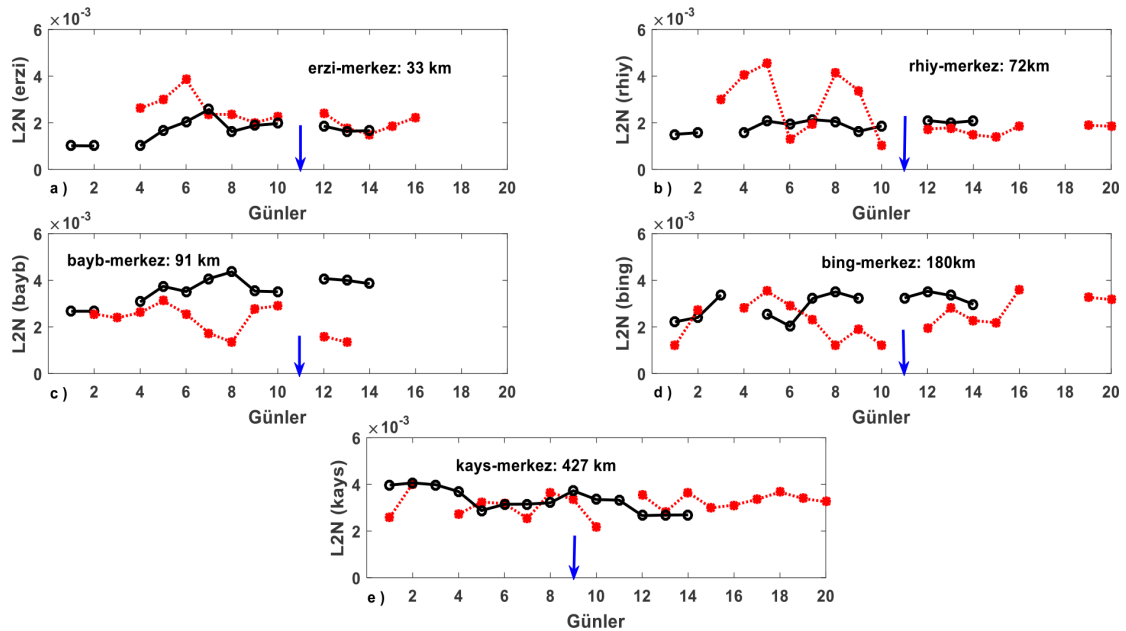
Şekil 9. Ardışık E1 günleri ve ardışık sakin günler arasındaki ÇİK değerleri: a) erzi, b) rhiy, c) bayb, d) bing, e) kays. Deprem periyodu " kırmızı nokta" ile, sakin günler periyodu "siyah daire" ile, depremin olduğu gün ise "mavi ok" ile gösterilmiştir.

Figure 9. CCC values between consecutive days of E1 earthquake and consecutive quiet days for a) erzi, b) rhiy, c) bayb, d) bing, e) kays. Earthquake days, quiet days periods and the earthquake day are demonstrated with "red dot", "black circle" and "blue arrow", respectively.



Şekil 10. Ardışık E1 günleri ve ardışık sakin günler arasındaki KLD değerleri: a) erzi, b) rhiy, c) bayb, d) bing, e) kays. Deprem periyodu “ kırmızı nokta” ile, sakin günler periyodu “siyah daire” ile, depremin olduğu gün ise “mavi ok” ile gösterilmiştir.

Figure 10. KLD values between consecutive days of E1 earthquake and consecutive quiet days for a) erzi, b) rhiy, c) bayb, d) bing, e) kays.. Earthquake days, quiet days periods and the earthquake day are demonstrated with “red dot”, “black circle” and “blue arrow”, respectively.



Şekil 11. Ardışık E1 günleri ve ardışık sakin günler arasındaki L2N değerleri: a) erzi, b) rhiy, c) bayb, d) bing, e) kays. . Deprem periyodu “ kırmızı nokta” ile, sakin günler periyodu “siyah daire” ile, depremin olduğu gün ise “mavi ok” ile gösterilmiştir.

Figure 11. L2N values between consecutive days of E1 earthquake and consecutive quiet days for a) erzi, b) rhiy, c) bayb, d) bing, e) kays. Earthquake days, quiet days periods and the earthquake day are demonstrated with “red dot”, “black circle” and “blue arrow”, respectively.

ışığında bu üç yöntemin, deprem alarm sinyalinin oluşturabilmek adına geliştirilmeye ihtiyacı olduğu sonucuna varılmıştır. Orta enlemlerde meydana gelen ve büyüklüğü 6'dan fazla olan depremleri incelemek; bu yöntemlerin geliştirilmesine ve Türkiye üzerinde, iyonküre parametreleri kullanılarak bir deprem alarm sinyali geliştirilmesine katkı sağlayacağı sonucu ortaya çıkmıştır.

## KATKI BELİRTME

Bu çalışma TÜBİTAK EEEAG 105E171, 109E055, 114E541, 115E915 ile ortaklı TÜBİTAK EEAG 114E092 ve AS CR 14/001 numaralı projeler tarafından desteklenmiştir. Yazar, Hacettepe Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü İONOLAB Araştırma Grubu'na ve Harita Genel Komutanlığı'na, ve hakem olarak makaleye destek veren Prof. Dr. Osman ÖZCAN ve bir diğer hakemimize katkılarından dolayı teşekkürlerini sunar.

## KAYNAKLAR

- Arikan, F., C. B. Erol and O. Arikan, 2003. Regularized estimation of vertical total electron content from Global Positioning System data. *Journal of Geophysical Research-Space Physics*, 109(A12), 1469, doi:10.1029/2003JA009605.
- Arikan, F., Karatay, S., Arikan, O., 2009. Investigation of ionospheric disturbance due to strong earthquakes using Total Electron Content. *Proceeding of EGU (European Geosciences Union), Vienna, Austria, Abstracts*, p. 8440.
- Biqiang, Z., Weixing, W., Libo, L., Tian, M., 2007. Morphology in the Total Electron Content under geomagnetic disturbed conditions: results from global ionosphere maps. *Annales Geophysicae*, 25(7): 1555-1568.
- Bondur, V., Smirnov, V., 2006. Seismo-ionospheric variations during the earthquake in Pakistan (September 2005) as a precursor of seismic events. *IEEE of Advances in Space Technologies International Conference*, p. 11-15, doi: 10.1109/ICAST.2006.313788.
- Bratsolis, E., Sigelle, M., 2003. Kullback-Leibler Divergence and Markov Random Fields for speckled image restoration. *Signal Processing and Its Applications*, 1, 425-428.
- Chiang, L. H., Braatz, R. D., 2003. Process monitoring using causal map and multivariate statics fault detection and identification. *Chemo-metrics and Intelligent Laboratory Systems*, 65, 159-178.
- Chuo, Y.J., Chen, Y.I., Liu, J.Y., Pulinets, S.A., 2001. Ionospheric foF2 variations prior to strong earthquakes in Taiwan area. *Advances in Space Research*, 27(6), 1305-1310.
- Cover, T.M., Thomas, A.J., 2006. *Elements of Information Theory*. Wiley Inter-Science, New York.
- Hall, P., 1987. On Kullback-Leibler loss and estimation. *The Annals of Statistics*, 15(4), 1491-1519.
- Inglada, J., 2003. Change detection on SAR images by using a parametric estimation of the Kullback-Leibler Divergence. *IGARSS*, 6(21-25), 4104-4106.
- IONOLAB, [www.ionolab.org](http://www.ionolab.org)
- Kandilli Rasathanesi, [www.koeri.boun.edu.tr](http://www.koeri.boun.edu.tr).
- Karatay, S., Arikan, F. and Arikan, O., 2010. Investigation of TEC Variability due to Seismic and Geomagnetic Disturbances in the Ionosphere. *Radio Science*. 45, 1-12, doi:10.1029/2009RS004313. 1-12.
- Karatay, S., Cinar, A., Arikan, F., 2017. Ionospheric responses during equinox and solstice periods over Turkey. *Advances in Space Research*, 60(9), 1958-1967.
- Kouris, S.S., Fotiadis, D.N., 2002. Ionospheric variability: a comparative statistical study. *Advances in Space Research*, 29(6), 977-985.
- Kouris, S.S., Polimeris, K.V., Cander, L.R., 2006. Specifications of TEC variability. *Advances in Space Research*, 37(5), 983-1004.
- Kreyszig, E., 1988. *Advanced Engineering Mathematics*. John Wiley & Sons Inc., New York.
- Lazo, B., Alazo, K., Rodriguez, M., Calzadilla, A., 2004. TEC variability over Havana for different solar activity conditions. *Advances in Space Research*, 34(9), 2044-2048.
- Liu, J.Y., Chen, Y.I., Pulinets, S.A., Tsai, Y.B., Chuo, Y.J., 2000. Seismo-ionospheric signatures prior to  $M \geq 6.0$  Taiwan earthquakes. *Geophysical Research Letters*, 27(19), 3113-3116.
- Liu, J.Y., Chuo, Y.J., Shan, S.J., Tsai, Y.B., Chen, Y.I., Pulinets, S.A., Yu, S.B., 2004. Pre-earthquake ionospheric anomalies

- registered by continuous GPS TEC measurements. *Annales Geophysicae*, 22(5), 1585-1593.
- Nayir, H., 2007. Yerküresel Konumlama Sistemi işaretlemleri kullanarak iyonküre Toplam Elektron İçeriği Kestirimi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara (Türkçe).
- Nayir, H., Arikan, F., Arikan, O., Erol, C.B., 2007. Total Electron Content estimation with Reg-Est. *Journal of Geophysical Research-Space Physics*, 112, A11313.
- NOAA, [http://www.swpc.noaa.gov/ftpmenu/indices/old\\_indices](http://www.swpc.noaa.gov/ftpmenu/indices/old_indices)
- Plotkin, V.V., 2003. GPS detection of ionospheric perturbations before the 13 February 2001 El Salvador earthquake. *Natural Hazards and Earth Systems Sciences*, 3, 249-253.
- Pulinets, S.A., 2004. Ionospheric precursors of earthquakes; recent advances in theory and practical applications. *TAO*, 15(3), 413-435.
- Pulinets, S.A., Gaivoronska, T.B., Contreras L.A., Ciraolo, I., 2004. Correlation analysis technique revealing ionospheric precursors of earthquake. *Natural Hazards and Earth Systems Sciences*, 4, 697-702.
- Pulinets, S.A., Contreas, A.L., Bisiacchi-Giraldi, G., Ciraolo, L., 2005. Total Electron Content variations in the ionosphere before the Collima, Mexico earthquake of 21 January 2003. *Geofisica Internacional*, 44(4), 369-377.
- Pulinets, S.A., Kotsarenko, A.N., Ciraolo, L., Pulinets, I.A., 2006. Special case of ionospheric day-to-day variability associated with earthquake preparation. *Advances in Space Research*, 39(2007), 970-977.
- Rached, Z., Alajaji, F., Campbell, L.L., 2004. The Kullback-Leibler Divergence rate between Markov sources. *IEEE Transactions of Information Theory*, 50, 917-923.
- Rishbeth, H. and Garriot, O.K., 1969. *Introduction to Ionospheric Physics*. Academic Press, New York.
- Smirnova E.V., Smirnov, V.M., 2005. Modification of electron density profile about the earthquake epicenter by GPS data. *Proceeding of 2<sup>nd</sup> RAST (Recent Advances in Space Technologies)*, İstanbul, Turkey, p. 767-771, doi: 10.1109/RAST.2005.1512669.
- Smirnova, E.V., Smirnov, V.M., 2007. Monitoring the earth ionosphere during the earthquake by radio transluence method by GPS data. *Proceeding of 3<sup>rd</sup> RAST (Recent Advances in Space Technologies)*, İstanbul, Turkey, p. 666-671, doi: 10.1109/RAST.2007.4284076.
- Space Research Centre, Polish Academy of Sciences, <http://www.cbk.waw.pl/rwc/idce.html>.
- Trigunait, A., Parrot, M., Pulinets, S.A., Li, F., 2004. Variations of the ionospheric electron density during the Bhuj seismic event. *Annales Geophysicae*, 22 (12), 4123-4131.
- USGS, <http://earthquake.usgs.gov/regional/world>.
- Vlasov, M., Kelley, M.C., Kil, H., 2003. Analysis of ground-based and satellite observations of F-region behavior during the great magnetic storm of July 15, 2000. *Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics*, 65, 1223-1234.
- Weisberg, S., 2005. *Applied Linear Regression*. John Wiley & Sons. Inc., New York.
- World Data Center for Geomagnetism, Kyoto, <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstidir/>.
- Zhang, D., Xiao, Z., 2000. Study of ionospheric TEC using GPS during the large solar flare burst on November 6, 1997. *Chinese Science Bulletin*, 45(19), 1749-1752.
- Zhang, M. L., Shi, J. K., Wang, X., Radicella, S. M., 2004. Ionospheric variability at low latitude station: Hainan, China. *Advances in Space Research*, 34(9), 1860-1868.



## Sulfur and Lead Isotopic Compositions of the Akgüney (Ordu) Cu-Pb-Zn Deposit in the Black Sea Region, Turkey

### *Karadeniz Bölgesinde Akgüney (Ordu) Cu-Pb-Zn Yatağının Kükürt ve Kurşun İzotop Bileşimleri*

ESRA ÜNAL-ÇAKIR<sup>1\*</sup>, AHMET GÖKCE<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bozok University, Department of Geological Engineering, 66200 Yozgat, Turkey

<sup>2</sup> Cumhuriyet University, Department of Geological Engineering, 58140 Sivas, Turkey

Geliş (received) : 12 Şubat (February) 2018

Kabul (accepted) : 25 Temmuz (July) 2018

#### ABSTRACT

The Akgüney Cu-Pb-Zn deposit is a vein type hydrothermal Cu-Pb-Zn deposit in the Black Sea Region of Turkey. This deposit is hosted by Upper Cretaceous andesitic rocks. The deposit consists of seven veins with varying thicknesses in the investigated area. The primary mineral paragenesis includes pyrite, galena, chalcopyrite, sphalerite, fahlore, quartz and calcite.

The  $\delta^{34}\text{S}$  values of sulfide minerals (pyrite, chalcopyrite, sphalerite and galena) range from -0.63 ‰ to 3.02 ‰, with an average of 1.22 ‰. These  $\delta^{34}\text{S}$  values and the calculated  $\delta^{34}\text{S}_{\text{H}_2\text{S}}$  values for  $\text{H}_2\text{S}$  dissolved in hydrothermal fluids are suggesting a homogeneous magmatic source.

The galena samples have  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  ratios from 18.533 to 18.745,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  ratios from 15.633 to 15.657 and  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  ratios from 38.710 to 38.772. These values suggest an orogenic source for lead.

**Keywords:** Akgüney deposit, Cu-Pb-Zn, Eastern Black Sea region, lead isotope, sulfur isotope.

#### ÖZ

Akgüney Cu-Pb-Zn yatağı, Karadeniz Bölgesi'nde bulunan bir damar tipi hidrotermal Cu-Pb-Zn yatağıdır. Bu yatak, Üst Kretase yaşlı andezitik kayalar içinde bulunur. Yatak çeşitli kalınlıklarda yedi damardan oluşur. Birincil mineral parajenezi pirit, galenit, kalkopirit, sfalerit, fahlerz, kuvars ve kalsit içerir.

Sülfürlü minerallerin (pirit, kalkopirit, sfalerit ve galenit)  $\delta^{34}\text{S}$  değerleri -0.63 ‰ ile 3.02 ‰ arasında değişmekte olup ortalama 1.22 ‰'dir. Hidrotermal çözelti içerisindeki  $\text{H}_2\text{S}$ 'in hesaplanan  $\delta^{34}\text{S}_{\text{H}_2\text{S}}$  değerleri ve sülfürlü minerallerin  $\delta^{34}\text{S}$  değerleri kükürtün kökeninin homojen bir magmatik kaynak olduğunu düşündürmektedir.

Galenit örnekleri  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  için 18.533-18.745,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  için 15.633-15.657 ve  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  için 38.710-38.772 değerlerine sahiptir. Bu değerler kurşun için orojenik kökenli bir kaynak önermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Akgüney yatağı, Doğu Karadeniz bölgesi, Cu-Pb-Zn, kurşun izotopu, kükürt izotopu.

\* E.Ü. Çakır

e-posta: esra.unal@bozok.edu.tr , e.esraunal@gmail.com

## INTRODUCTION

The Eastern Pontide region which is one of the major metallogenic belts in Turkey comprises different stratigraphic units ranging in age from Paleozoic to Cenozoic. The region hosts massive sulfide-skarn and vein type deposits. Furthermore, porphyry Cu-Mo and Mn deposits are found in granitic and volcanic rocks, respectively. Massive sulfide deposits of the region are assumed to be of Kuroko type and they are mainly associated with dacitic rock series.

The Akgüney Cu-Pb-Zn deposit is a typical example of volcanic-hosted vein type deposit and is located in the Akgüney Village of Kabadüz District in Ordu Province (Figure 1).

Previous researchers have investigated the geological and mineralogical properties of the deposit (Steinmann and Emerson, 2001; Köse, 1987). Ünal et al. (2009) carried out some geological investigations such as ore petrography, oxygen - hydrogen isotopes and fluid inclusion studies on the Akgüney deposit. According to these authors, the ore-forming fluids contain  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{NaCl}$  and possibly  $\text{KCl}$ . The salinity values range from 14 to 24 (avr. = 19.0) %  $\text{NaCl}$  equivalent. The temperature of the fluids were in the range of 276° to 349 °C (avr. 307 °C) at the earlier stages and decreased down to 211°C through later stages of the mineralization.  $\delta^{18}\text{O}$  -  $\delta\text{D}$  isotope data ( $\delta^{18}\text{O}$  values between + 1.1 and + 4.0‰,  $\delta\text{D}$  values between - 94.0 and - 38.0‰) suggest that the ore-forming fluids were mainly meteoric waters and whose oxygen isotopic composition was modified by the interaction with the volcanic host rocks, and they concluded that ore veins were formed by deep circulated meteoric water.

Demir et al. (2015) investigated the mineralogy, mineral chemistry, fluid inclusions and stable isotope characteristics of the Kabadüz ore veins. According to researchers, the homogenization temperatures and salinity of the fluids range from 180 to 436 °C and from 0.4 to 14.7 %  $\text{NaCl}$  equivalent, respectively. The  $\delta^{34}\text{S}$  values of sulfides range from 2.14 to 1.47 ‰ while oxygen and hydrogen isotope values range from 7.8-8.5 ‰ and -40-57 ‰, respectively.

This paper reports the sulfur- and lead- isotopes data from galena and accompanying sulfide minerals and deals with the origin of the sulfur and lead deposited in these veins.

## GEOLOGICAL BACKGROUND

The investigated area is located in the Pontides orogenic belt. This belt is divided into northern and southern parts according to their geological and tectonic properties (Okay and Şahintürk, 1997; Yılmaz et al., 1997; Okay, 1996). The northern part of the region contains extensive Mesozoic and Cenozoic volcanic rocks while the southern part is characterized by contemporaneous sedimentary units or intercalated with volcanic rocks (Eyüboğlu et al., 2014).

Investigated area corresponds to the western part of the Eastern Black Sea Region. Around the Akgüney Cu-Pb-Zn deposits, andesitic rocks crop out. These volcanic rocks were identified as component of Upper Cretaceous Dacitic Series by Akıncı (1985), and named as Upper Cretaceous Mesudiye Formation by Terlemez and Yılmaz (1980).

These rocks occur as interbedded massive lavas and agglomeratic layers. Agglomerates are characterized by tuffaceous matrix whereas massive lavas are lightly brecciated. Additionally, they have dark gray - black colour at the unaltered deeper levels while they are heavily altered at upper levels and show argillization, limonitization and chloritization.

The representative samples of these volcanic rocks were investigated under polarizing microscope, and they were determined to contain quartz, plagioclase, muscovite, biotite and hornblende. Hypo-hyaline porphyritic texture was quite common in samples; in addition, amigdaloidal and pilotaxitic textures were determined in some samples. Chloritization of biotites-hornblendes and sericitization, argillization and silicification of plagioclases are widespread on microscopic scale also. Some samples showed brecciation, and calcite and quartz are determined between brecciated rock fragments.

Positions of fractures indicate that this region is tectonically active and is affected by an N-S trending extensional regime.

## ORE GEOLOGY

Mineralizations are formed along fault zones developed in Upper Cretaceous volcanic rocks in the region. Altered quartz veins are numbered D-1, D-2, D-3, D-4, D-5, D-6 and D-7 (Figure 1).



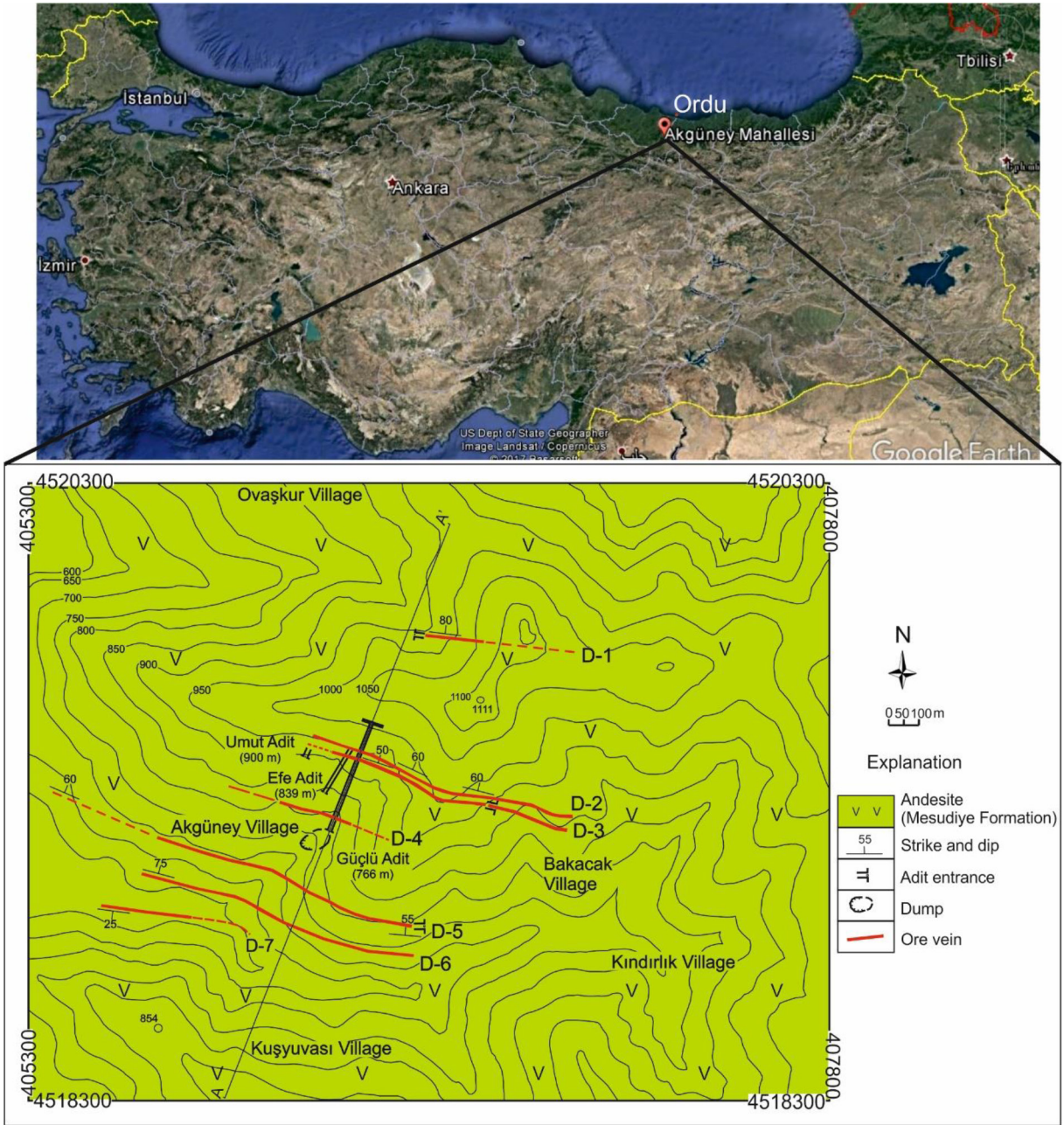


Figure 1. Location and geological map of the Akgüney Cu-Pb-Zn deposits.  
 Şekil 1. Akgüney Cu-Pb-Zn yatağının yerbulduru ve jeoloji haritası.

Two different types of mineralization were detected in the veins D-2 and D-3 where the mining operation was carried out. Mineralization was characterized by fine-grained and coarse-grained texture within first- and second-type mineralizations, respectively. Whereas the first-type mineralization only contains pyrite, the second-type mineralization contains sphalerite,

chalcopyrite, galena, fahlore and limonite together with pyrite. The latter one cuts the first one and they were assumed as early and late stage (1st. and 2nd phase) mineralizations (Figure 2). Additionally, the upper levels of the ore veins are rich in galena and sphalerite, while chalcopyrite and pyrite are enriched in the lower levels.

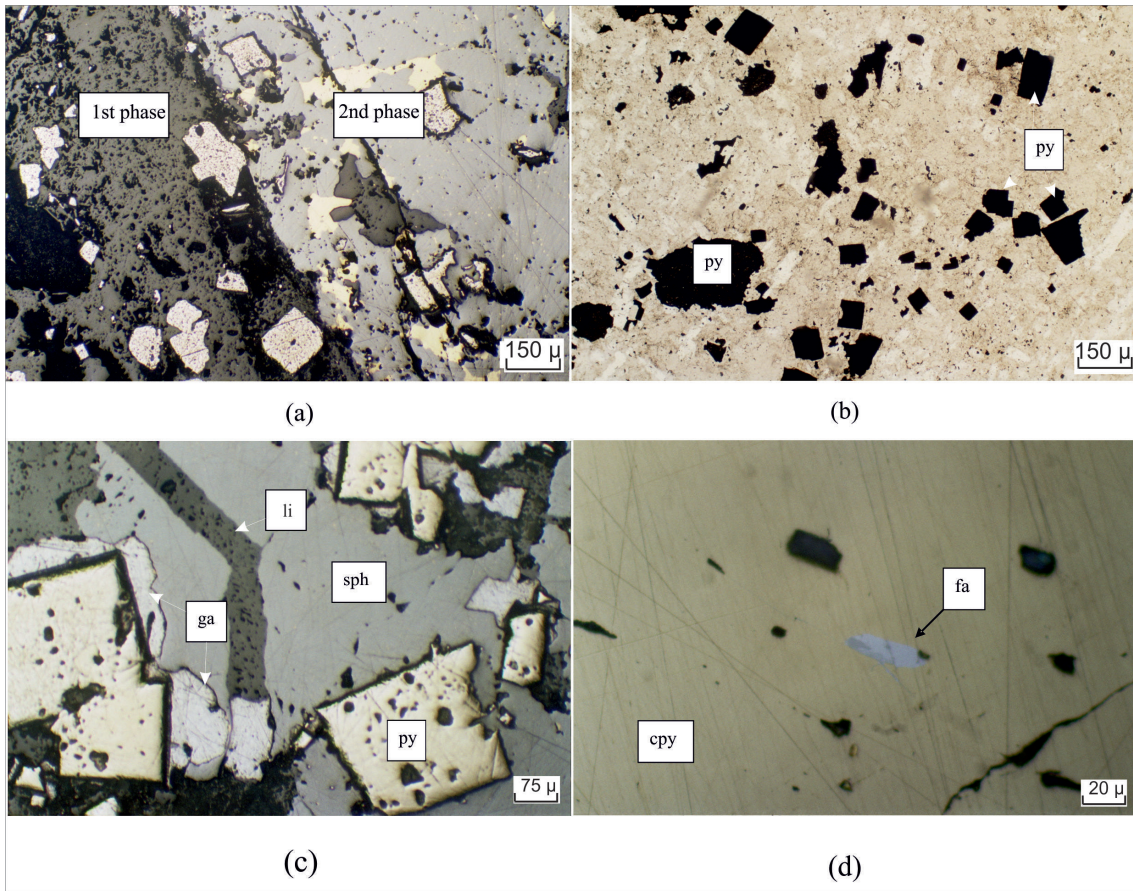


Figure 2. Photo-micrographs of the ore samples: a: views of 1st- and 2nd- type ores, b: the first-type mineralization only contains pyrite (py), c: pyrite (py), sphalerite (sph), galena (ga) and limonitic (li) filling, d: fahlerz (fa) inclusion in chalcopyrite (cpy).

Şekil 2. Cevher örneklerinin mikrofotografaları: a: 1. ve 2. tip cevherleşmelerin görüntüsü, b: sadece pirit (py) içeren birinci tip cevherleşme, c: pirit (py), sfalerit (sph), galen (ga) ve limonitik (li) dolgu, d: kalkopirit (cpy) içindeki fahlerz (fa) kaparımları.

## SULFUR- AND LEAD-ISOTOPE STUDIES

### Sampling and Analytical Methods

Sulfur isotope studies were carried out on the sulfide minerals separated from the representative ore samples collected from the investigated ore veins. Unaltered pyrite, chalcopyrite, galena and sphalerite mineral fragments were liberated by crushing, grinding and sieving (-250 - +125 µm) and hand picked under stereo-microscope. Finally, the mineral separates were powdered and the  $\delta^{34}\text{S}$  ratios were analysed at the Royal Holloway College of London University using a EA1500 elemental analyser connected to VG/Fisons/Micromass 'Isochrom-EA' system that was operated in the continuous He flow mode

(Grassineau et al, 2001). The amount of sample analysed depends of the content of sulfur in the sulfide mineral. Quantity as small as 0.5 mg is used for sulfides with 50 wt% of S (pyrite, marcassite), for sulfides containing about 12 - 13 wt% of S, like galena, the quantity analysed is more than 2 mg. The samples are individually crimped in a tin capsule before being dropped in a furnace at 1030 °C. Under helium atmosphere and with the simultaneous introduction of  $\text{O}_2$  in the system, the sample is combusted at 1800 °C by flash combustion. The released gases are then oxidized, and the excess of  $\text{O}_2$  is absorbed in copper wires. Carried by He, the resulting gases are then separated in a chromatographic column, their peaks measured, and the  $\text{SO}_2$  gas is isolated to be directly measured in the mass spectrometer.

A precision of  $\pm 0.1\%$  for  $\delta^{34}\text{S}$  has been obtained on the sulfide minerals. The results are reported relative to Vienna-Canyon Diablo Triolite (V-CDT). One standard is used to monitor the run at the beginning of the day and regularly during the run. Its role is also to check if the absorption of the excess of  $\text{O}_2$  is still complete. In addition, six standards have been used for the correction calibration applied to the raw values obtained for the samples. They cover a range of more than 50 %, from  $-32$  to  $+20\%$ . Three of these standards are international, NBS123, NBS127 and IAEA-S3 and the three other ones are working standards, TB3, CP1 and GRU 9G, that have been measured in other laboratories and by conventional lines. One standard is analysed every five samples to check or eventually modify the calibration, and one blank is run every 10 analyses in order to “flush” the system.

For lead isotope studies, galena samples collected from the investigated ore veins were hand-picked under a binocular microscope. The Pb isotope compositions were analyzed using a multi-collector mass

spectrometer instrument (Finnigan MAT – 261) within the Isotope Geochemistry Laboratory (University of Tübingen). The measured Pb isotope ratios were corrected for mass fractionation of 0.145% per atomic mass unit calculated from replicate measurements of Pb isotope composition in NBS SRM-982 standard. External reproducibility of lead isotope ratios  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 0.1\%$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 0.15\%$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 0.2\%$  has been demonstrated through multiple analyses of standard BCR-1. To minimize the effect of mass fractionation, measurements of the Pb isotope compositions of galena were carried out at constant (and equal to those measured in NIST SRM-982) lead concentrations. This was accomplished through the separation of lead from the galena using ion-exchange columns with a calibrated resin capacity (Krogh's method). SRM Standard was run twice with each series of samples. Lead isotope compositions of the duplicate OC-26 were measured using  $^{207}\text{Pb} + ^{204}\text{Pb}$  double-spike procedure (Woodhead and Hergt 1997) with uncertainty of 0.03%. All uncertainties are quoted at the  $2\sigma$  level.

Table 1. Sulfur isotope composition of sulfides in the Akgüney Cu-Pb-Zn deposits.  
Çizelge 1. Akgüney Cu-Pb-Zn yatağı kükürt izotopları bileşimi.

| Sample No: | Location                | Mineral      | $\delta^{34}\text{S} \text{ ‰ (VCDT)}$ |
|------------|-------------------------|--------------|--|
| OC-01      | D-7 vein, surface       | Sphalerite   | 1.67                                   |
| OC-05      | D-3 vein, 843m sublevel | Chalcopyrite | 1.77                                   |
| OC-05      | D-3 vein, 843m sublevel | Sphalerite   | 1.50                                   |
| OC-05      | D-3 vein, 843m sublevel | Galena       | -0.25                                  |
| OC-15      | D-3 vein, 843m sublevel | Sphalerite   | 0.75                                   |
| OC-15      | D-3 vein, 843m sublevel | Galena       | -0.63                                  |
| OC-17      | D-4 vein, surface       | Sphalerite   | 1.72                                   |
| OC-17      | D-4 vein, surface       | Galena       | 0.60                                   |
| OC-23      | D-3 vein, 766m sublevel | Pyrite       | 2.42                                   |
| OC-23      | D-3 vein, 766m sublevel | Chalcopyrite | 0.91                                   |
| OC-25      | D-3 vein, 766m sublevel | Pyrite       | 3.02                                   |
| OC-25      | D-3 vein, 766m sublevel | Chalcopyrite | 1.17                                   |

## Results and Discussion

The  $\delta^{34}\text{S}$  ‰ (V-CDT) results are reported in Table 1. Pyrite separates have  $\delta^{34}\text{S}$  values ranging from 2.42 to 3.02 (n = 2, avg. = + 2.72‰); while those for chalcopyrite separates from 0.91 to 1.77‰ (n = 3, avg. = + 1.28‰); those for sphalerite separates from 0.75 to 1.72‰ (n = 4, avg. = + 1.41‰) and that for galena separates from -0.63 to 0.60‰ (n = 3, avg. = - 0.09‰). Frequency distribution of the results indicates an homogenous source for sulfur in minerals with small differences (Figure 3).

Lead isotope data for six galena samples from various locations of the ore veins are presented in Table 2.  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  and  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  ratios are dispersed in narrow ranges from 18.533 to 18.745, from 15.633 to 15.657 and from 38.710 to 38.772 respectively. The dispersion of these data on  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  vs  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  and  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  vs  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  diagrams plot above the Stacey and Kramers (1975) model curves, which simulate average crustal Pb isotope evolution (Figure 4).

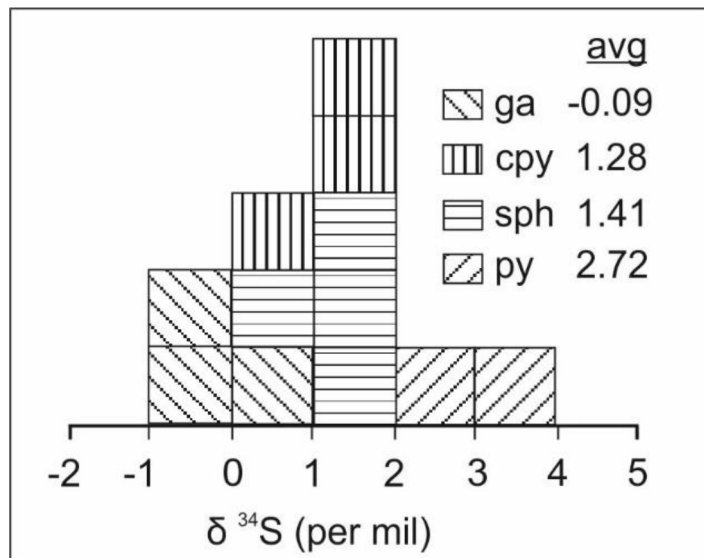


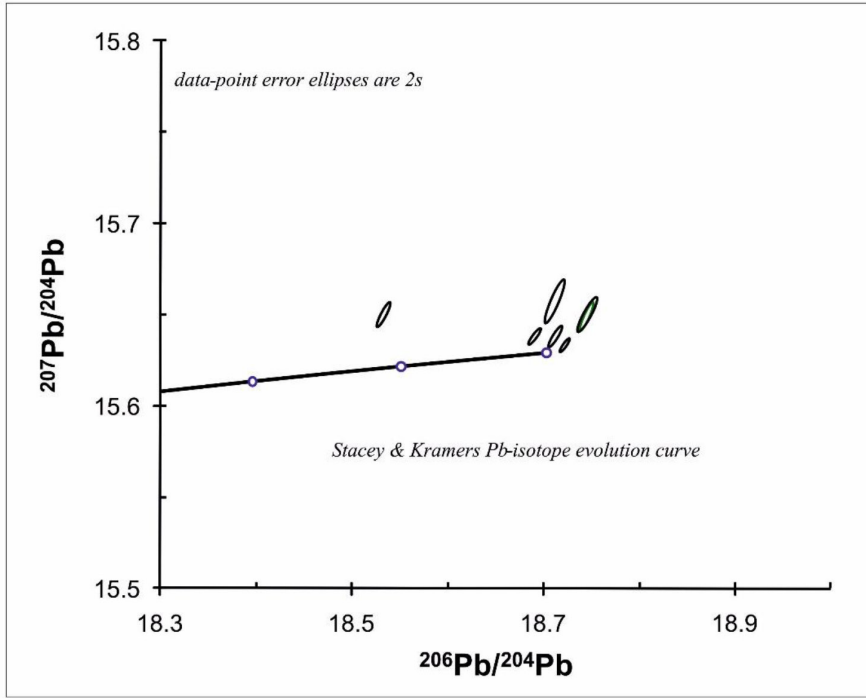
Figure 3. Histogram of sulfur isotope data in the Akgüney Cu-Pb-Zn deposits.

Şekil 3. Akgüney Cu-Pb-Zn yatağı kükürt izotop verilerinin histogramı.

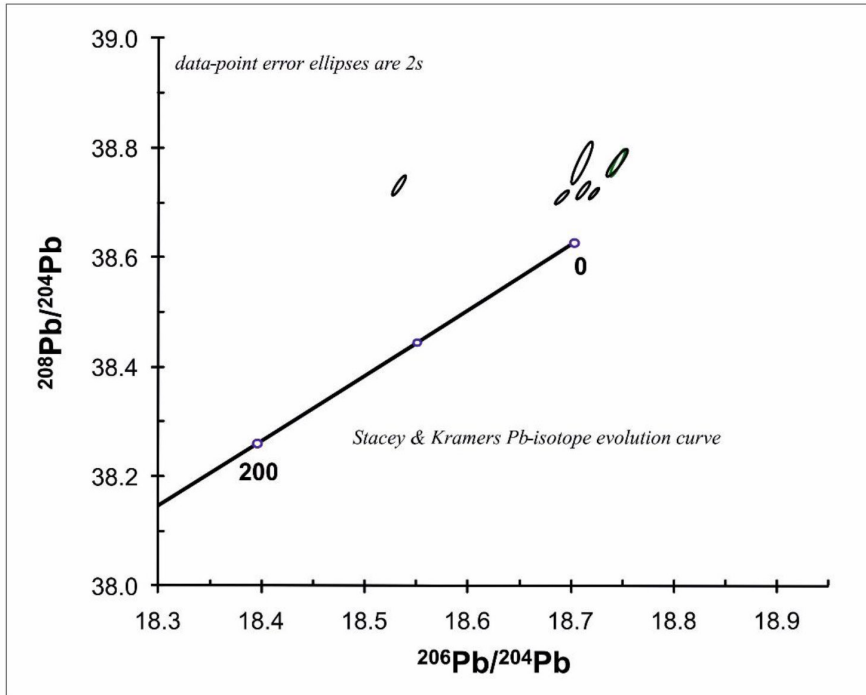
Table 2. Lead isotopic composition of the galena samples from Akgüney Cu-Pb-Zn deposits.

Çizelge 2. Akgüney Cu-Pb-Zn yatağı galenit örneklerinin kurşun izotopları bileşimi.

| Sample      | 206/204 | 1 SD [%] | 207/204 | 1 SD [%] | 208/204 | 1 SD [%] | Model Age (Ma) | $\mu$ |
|-------------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|----------------|-------|
| OC-05       | 18.533  | 0.015    | 15.650  | 0.018    | 38.731  | 0.020    | 174            | 9.87  |
| OC-07c      | 18.691  | 0.014    | 15.638  | 0.012    | 38.710  | 0.013    | 29             | 9.78  |
| OC-15       | 18.722  | 0.011    | 15.633  | 0.010    | 38.716  | 0.010    | -5             | 9.75  |
| OC-17       | 18.711  | 0.023    | 15.657  | 0.031    | 38.772  | 0.041    | 55             | 9.86  |
| OC-26       | 18.745  | 0.016    | 15.649  | 0.020    | 38.772  | 0.026    | 12             | 9.82  |
| OC-26 (WDH) | 18.745  | 0.023    | 15.650  | 0.025    | 38.772  | 0.027    | 14             | 9.82  |
| OC-27       | 18.712  | 0.015    | 15.638  | 0.015    | 38.722  | 0.016    | 13             | 9.78  |



(a)



(b)

Figure 4. Lead isotopic composition of galena in the Akgüney Cu-Pb-Zn deposits. (a) Diagram of  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  vs  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  (a) and Diagram of  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  vs  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  (b) Model Pb-isotope evolution curve is from Stacey and Kramers (1975).

Şekil 4. Akgüney Cu-Pb-Zn yatağında galenitlerin kurşun izotopları bileşimi. (a)  $^{207}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$ 'a karşı  $^{206}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$  diyagramı ve (b)  $^{206}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$ 'a karşı  $^{208}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$  diyagramı. Pb-izotop gelişim eğrisi modeli Stacey ve Kramers'ten (1975).

$\delta^{34}\text{S}$  values of twelve sulfide separates range from -0.63 ‰ to 3.02 ‰, with an average of 1.22 ‰. The differences of the  $\delta^{34}\text{S}$  values of sulfides of the same samples are in accordance with the expected isotopic fractionation trends of these mineral pairs. The  $\delta^{34}\text{S}$  value of the  $\text{H}_2\text{S}$  dissolved in hydrothermal mineralizing fluids is expected to be between those of sphalerite and galena; very close to 0.0‰. The similarity of the  $\delta^{34}\text{S}$  values of the sulfides suggest that the sulfur was derived from the same sulfur reservoir. In addition, the proximity of the  $\delta^{34}\text{S}$  values to 0.0 ‰ and the abundance of the volcanic rocks within the surrounding region encourage to suggest a magmatic sulfur reservoir; either leached from the surrounding volcanic host rocks or derived from a deep seated plutonic intrusion.

The  $\delta^{34}\text{S}$  value of sulfides in Akgüney deposits are similar to those of vein type deposits in Kabadüz, İnleryaylası and Kurşunlu lead-zinc deposits (Demir et al. 2015; Gökce and Bozkaya, 2006; Gökce, 1990). The  $\delta^{34}\text{S}$  values are given from -3.7 ‰ to -8.4 ‰ in Kurşunlu, from -3.9 ‰ to 0.4 ‰ in İnleryaylası and from 2.14 ‰ to -1.47 ‰ in Kabadüz. These authors also suggest a magmatic source for the sulfur in sulfide minerals within the investigated deposits.

Our  $\delta^{34}\text{S}$  values of sulfides and estimated  $\delta^{34}\text{S}$  values of  $\text{H}_2\text{S}$  suggest a homogeneous magmatic source, with sulfur produced directly by magmas or by derived from surrounding volcanic rocks.

Six galena have  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  ratios from 18.533 to 18.745,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  ratios from 15.633 to 15.657 and  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  ratios from 38.710 to 38.772. These values plot on the  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  versus  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  and  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  versus  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  diagrams above of average crustal Pb isotope evolution curve. In addition, these isotope ratios mentioned indicate the orogenic origin lead when compared with the values determined for possible sources by Zartman and Haines (1988).

Except two values (175 and - 5 Ma), calculated Pb-isotope model ages of these deposits have range from 55 to 12 Ma. At that rate, it can be said that the mineralization occurs between Eocene and Miocene. The value of - 5 Ma can be assumed as J type lead whereas the value of 175 Ma., may represent the leaching of lead from Jurassic volcanics in the area.

Lead isotope data are close to those of orogene reservoir of distal and proximal characteristics concluded by Zartman and Haines (1988), and possibly

very little amount of lead derived from a mantle related reservoir may be included.

## CONCLUSIONS

The Akgüney Cu-Pb-Zn deposit is a vein typemineration within the Upper Cretaceous andesites.

The sulfur isotope data (values from -0.63 ‰ to 3.02 ‰, n=12) suggest a magmatic origin for the sulfur in sulfide minerals, while the lead isotope data suggest an orogene reservoir for lead in galenas, and the age of 175 Ma suggests a possible Jurassic source for lead in galena. In the light of these data, it may be concluded that the ore veins were formed by deep circulated meteoric water. The sulfur in sulfide minerals was leached from volcanic rocks widespread within the surrounding area, while the lead was possibly leached from a Jurassic reservoir. Jurassic volcanics and/or massive sulfide enrichments occurred in these volcanics are likely to be the source of both components of sulfide minerals.

## ACKNOWLEDGMENTS

This study was financially supported by the Research Foundation Council of Cumhuriyet University (No: M-297). We thank to Natalli V. Grassineau for sulfur isotope analyses at Royal Holloway Stable Isotope & Geochemistry Laboratory of University of London and to Muharrem Satır for lead isotope analyses at Isotope Geochemistry Laboratory of University of Tubingen.

## REFERENCES

- Akinci, T.Ö., 1985. The Eastern Pontide volcano-sedimentary belt and associated massive sulfide deposits. In: Dixon JE, Robertson AHF, editors. *The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean*. Special Publication of the Geological Society 17. Oxford: Blackwell.
- Demir, Y., Uysal, İ., Sadıklar, M.B., Ceriani, A., Hanılçı, N. and Müller, D., 2015. Mineralogy, mineral chemistry, fluid inclusion, and stable isotope investigations of the Kabadüz ore veins, Ordu, NE-Turkey. *Ore Geology Reviews*, 66, 82-98.
- Eyüboğlu, Y., Santosh, M., Yi, K., Tüysüz, N., Korkmaz, S., Akaryalı, E., Dudas, F.O. and

- Bektas, O., 2014. The Eastern Black Sea-type volcanogenic massive sulfide deposits: Geochemistry, zircon U–Pb geochronology and an overview of the geodynamics of ore genesis. *Ore Geology Reviews*, 59, 29-54.
- Gökce, A., 1990. Sulfur isotope study of Cu-Zn-Pb deposits of the Kurşunlu (Ortakent-Koyulhisar-SIVAS). *MTA Bulletin*, 111, 111-118.
- Gökce, A. and Bozkaya, G., 2006. Lead and sulfur isotope evidence for the origin of the Inler Yaylası lead-zinc deposits, Northern Turkey. *Journal Asian Earth Science*, 26, 91-97.
- Grassineau, N.V., Matthey, D.P. and Lowry, D., 2001. Sulfur isotope analysis of sulfide and sulfate minerals by continuous flow-isotope ratio mass spectrometry. *Analytical Chemistry*, 73, 220-225.
- Köse, M., 1987. Geological investigation of the Pb – Zn – Cu veins Akgüney – Kabadüz (Ordu) area. M.Sc, KTÜ, Trabzon, Turkey.
- Okay, A.I., 1996. Granulite facies gneisses from the Pulur Region, Eastern Pontides. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 5, 55–61.
- Okay, A.I. and Şahintürk, Ö., 1997. Geology of the Eastern Pontides. In: Robinson, A. (Ed.), *Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Regions*. AAPG Memoir, 68, 291–311.
- Stacey, J.S. and Kramers, J.D., 1975. Approximation of the terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model. *Earth and Planetary Science Letters*, 26, 207-221.
- Steinmann, M., and Emerson, C., 2001, Technical reports on the geology, reserves and drilling program of the North Turkey Project: Zamanti, Zamanti Mining Company, 15 p (unpublished).
- Terlemez, İ. and Yılmaz, A., 1980. Stratigraphy of the area between Ünye-Ordu-Koyulhisar-Reşadiye. *Bulletin of the Geological Society of Turkey* 23, 179-191.
- Ünal, E., Gökce, A. and Harris, C., 2009. Microthermometric and O- and H-isotope characteristics of the mineralizing fluid in the Akgüney copper–lead–zinc deposit, NE Turkey. *International Geology Review*, 51, 375-387.
- Woodhead, J.D. and Hergt, J.M., 1997. Application of “double spike” technique to Pb –isotope geochronology. *Chemical Geology*, 138, 311-321.
- Yılmaz, Y., Tüysüz, O., Yiğitbaş, E., Genç, Ş.C. and Şengör, A.M.C., 1997. Geology and tectonic evolution of the Pontides, in Robinson, A.G., ed., *Regional and petroleum geology of the Black Sea and surrounding region: AAPG Memoir*, 68, 183–226.
- Zartman, R.E. and Haines, S.M., 1988. The Plumbotectonic model for Pb isotopic systematics among major terrestrial reservoirs—a case for bidirectional transport. *Geochemica et Cosmochimica Acta*, 52, 1327–1339.





## Elektrik ve Elektromanyetik Yöntemler ile Doğu Karadeniz (Trabzon, Türkiye) Kıyı Şeridinde Deniz Suyu Girişiminin Çevreye Olan Etkisinin Araştırılması

### *The Investigation of Environmental Effect of Sea Water Intrusions in Eastern Black Sea Coastal Area (Trabzon, Turkey) Using Electric Resistivity and Electromagnetic Methods*

ALİ ERDEN BABACAN<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Karadeniz Technical University, Department of Geophysical Engineering, 61080/Trabzon-Turkey

Geliş (received) : 1 Kasım (November) 2017

Kabul (accepted) : 28 Temmuz (July) 2018

#### ÖZ

Elektrik ve elektromanyetik yöntemler kıyı bölgelerinde olası tuzlu su girişiminin haritalanmasında oldukça yararlı yöntemlerdir. Olası tuzlu su girişiminin; çevreye, yol güzergâhlarına, yeraltı sularına ve tarımsal toprak üzerine birçok olumsuz etkiye neden olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada, Doğu Karadeniz bölgesinde yer alan Trabzon ilinde seçilen bir kıyı şeridinde deniz suyu girişiminin olup olmadığının belirlenmesi için bir dizi Jeofiziksel araştırma gerçekleştirilmiştir. Ayrıca çalışma alanına yakın olan bir viyadüğün beton ayaklarına deniz suyunun etkisinin olup olmadığı belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, çalışmada frekans ortamı elektromanyetik yöntem olan Slingram yöntemi ve elektrik özdirenç tomografi (ERT) yöntemi kullanılmıştır. Bu kapsamda, 11 profil de Slingram yöntemi ile 8 profil de ERT yöntemi kullanılarak veriler toplanmıştır. Slingram yöntemi ile 1 boyutlu olarak toplanan veriler birleştirilerek 2 boyutlu görünür iletkenlik haritaları oluşturulmuş, ERT verilerinin 2 boyutlu ters çözümünden de yeraltının özdirenç dağılımı elde edilmiştir. Sonuç olarak, hem çalışma alanının önemli bir kısmında hem de çalışma alanına yakın olan viyadüğün beton ayaklarında yaklaşık 15 m derinliklere kadar tuzlu su girişiminin etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

**Keywords:** *Slingram, elektrik özdirenç tomografi, tuzlu su girişi, Karadeniz,*

#### ABSTRACT

*Geophysical methods are beneficial for mapping of possible fresh and salt water intrusion in coastal regions. As it well knows, possible sea water intrusion might have negative impacts on environmental, groundwater quality and agricultural soil. In this study, a geophysical survey was performed along to shoreline of the province of Trabzon in the Eastern Black Sea in order to determine possible sea water intrusion. Furthermore, it has been tried to determine whether the effect of sea water on the concrete feet of a viaduct near the study area. For this purpose, Slingram method which is a frequency domain electromagnetic method and electrical resistivity tomography (ERT) method were used. In this context, Slingram and 2D ERT data were collected along 11 profiles and 8 profiles at the selected area, respectively. 2D terrain conductivity maps were created from 1D Slingram measurement profiles, and the resistivity distribution of the underground was obtained from 2D inversion of ERT data. Finally, it has been determined that there is no effect sea water intrusion at least up to 15 meters in depth both in a significant part of the study area and the concrete pillar of the viaduct, which is close to the working area.*

**Anahtar Kelimeler:** *Slingram, Electrical resistivity tomography, Sea water intrusion, Black Sea*

\* A.E. Babacan

e-posta: alierdenbabacan@hotmail.com

## GİRİŞ

Elektrik ve elektromanyetik yöntemler kıyı bölgelerinde deniz suyu girişiminin araştırılmasında başarılı bir şekilde uygulanabilmektedir. Tuzlu su girişiminin meydana gelmesi tatlı suların kalitesinin bozulmasına, tarımsal toprağın verimliliğinin düşmesine, denize yakın olan yol, köprü veya viyadük ayaklarının zarar görmesi gibi bir çok çevresel probleme neden olabilmektedir. İnsanlar eski dönemlerden beri kıyı bölgelerini verimli toprakların olması, suya ulaşımın kolaylığı, deniz ticareti gibi sebeplerden dolayı yerleşim yeri olarak tercih etmişlerdir. Günümüzde zamanla değişen çevre ve iklim koşulları, nüfus yoğunluğunun artışı tatlı suya ulaşımı giderek zorlaştırmaktadır. Bu gibi sebeplerden dolayı bu alanlarda meydana gelen olumsuz değişikliklerin sürekli izlenmesi gerekmektedir. Bu tür alanlar bütün jeofizik yöntemler gibi harsarsız olan ve çevreye zarar vermeyen, elektrik ve elektromanyetik yöntemler ile sürekli olarak izlenerek meydana gelen değişimler kolayca haritalanabilir. Deniz suyunun yeraltı sularına ve tarımsal toprağa verdiği zarar dışında özellikle günümüzde mühendislik yapılarına ve bunlardan sahil boyunca yapılan çok sayıda yol ve bu yollara bağlantılı olan köprü ve viyadük ayaklarına da tuzlu suyun etkisi araştırılmalıdır. Deniz suyu ya da tuzlu su girişiminin uzanımı jeolojik formasyonlara (Himi vd., 2010), akifer tipi ve kalınlığına (Chachadi ve Ferreira, 2005), iklimsel değişimlere bağlı olarak deniz suyunda meydana gelen yükselme (Nguyen vd., 2009) gibi pek çok faktöre bağlı olarak birkaç metreden kilometrelerce uzaklığa kadar, karyaya doğru değişim gösterebilir. Deniz suyu, jeolojik formasyonların elektriksel iletkenliğinin belirgin bir şekilde artmasına neden olur. Diğer bir deyişle deniz suyu girişiminin artmasıyla formasyonun özdirenç azalacaktır. Yanal ve düşey yönde iletkenlik dağılımı frekans ortamı elektromanyetik yöntem ile belirlenebilirken, aynı zamanda çalışılan alanın özdirenç değişimi 2 boyutlu elektrik özdirenç tomografi yöntemi ile haritalanabilir. Deniz suyu girişiminin elektrik ve elektromanyetik yöntemler ile araştırılması bir çok yazar tarafından çalışılmıştır (Himi vd., 2010; Khalil vd., 2012; Nenna vd., 2013; Chitea vd., 2015, Ardali vd., 2015, 2016).

Çalışma alanı Doğu Karadeniz bölgesinde yer alan Trabzon ilinin doğu kısmında yer almaktadır (Şekil 1a). Bölge tamamıyla karmaşık ve düzensiz bir dolgu sahası olup, içerisinde her türlü malzeme bulunmaktadır. İnceleme alanının denize uzaklığı yaklaşık 40-45 m olup, sahil yoluna paralel olarak uzanmaktadır. Bu

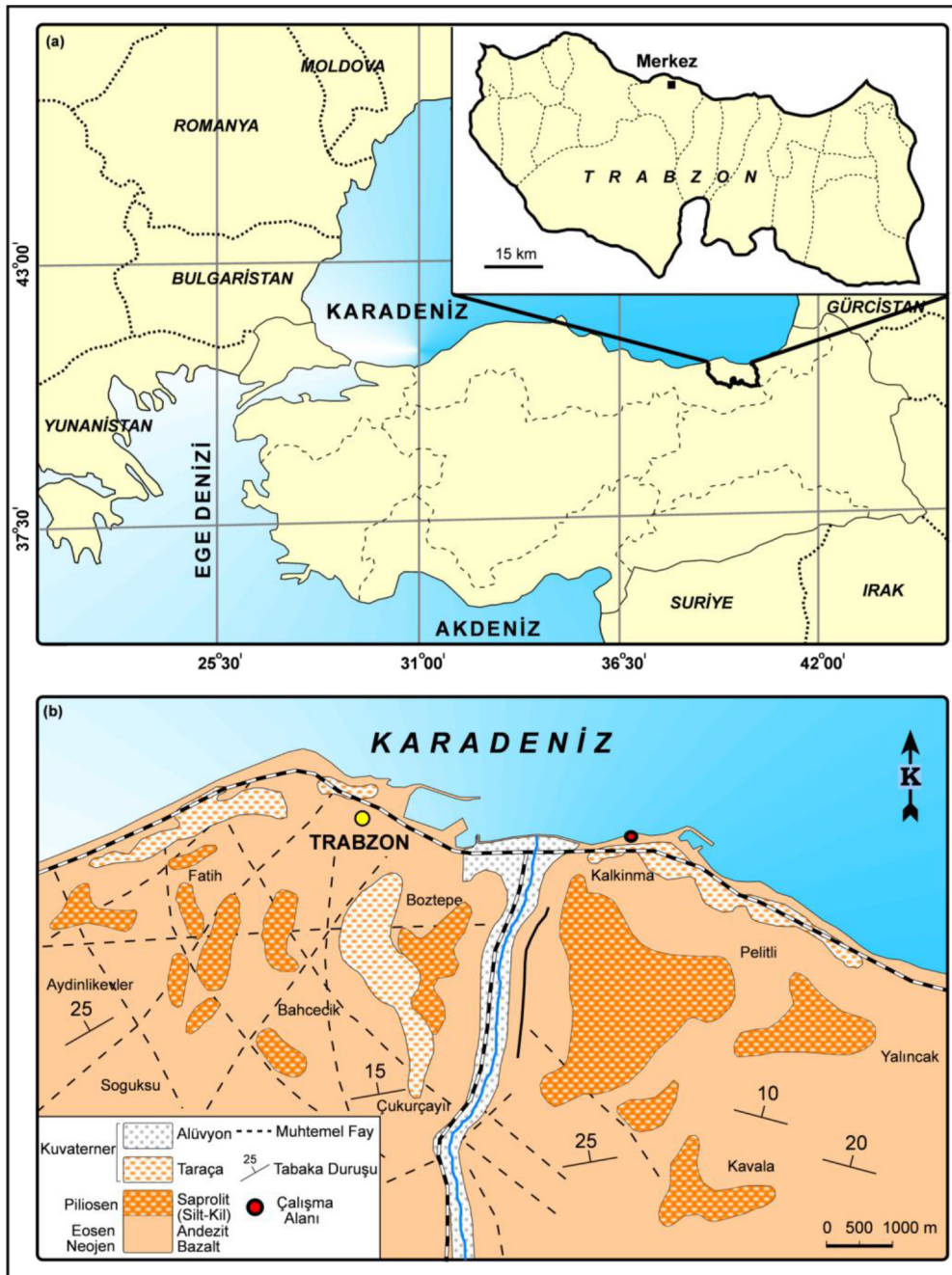
alanın hemen doğusunda Trabzon havalimanı ve güneyinde ise Karadeniz Teknik üniversitesi yer almaktadır. Bölgede deniz kıyısına paralel yüksek sıradağlar hâkimdir. Doğu-Batı doğrultusundaki bu dağlar, Karadeniz kıyısının hemen gerisinde uzanmaktadır. Nüfusun çoğu dağlar ve kıyı şeridi arasında kalan dar ve düzlük alanlarda yaşamaktadır. Bu bölgenin çoğunluğunda tarımsal topraklar sınırlı olup genelde yoğun bir bitki örtüsüyle kaplıdır. Ayrıca, çalışılan bölgede sıklıkla heyelanlar meydana gelmekte, bu durum tarımsal toprakların azalmasına ve zarar görmesine neden olmaktadır. Ayrıca, son yıllarda Doğu Karadeniz sahili boyunca birçok yol, köprü, tünel yapılması mevcut olup, bu yapılara deniz suyunun ne derece etki ettiğinin de belirlenmesi gerekmektedir.

Doğu Karadeniz Bölgesi kıyı şeridinde genellikle yazlar sıcak, kışlar ılık ve her mevsim yağışlı bir iklime sahiptir. Trabzon yıl içerisinde önemli derecede yağış alan illerden biri olup, yıllık ortalama yağış miktarı 68,23 mm ve ilkbahar aylarının ortalaması ise 55,77 mm' dir (www.mgm.gov.tr). Genel olarak bu bölgede, Liyas'tan Eosen'e kadar belli zaman aralıklarında gelişimini sürdüren magmatik kayaçlar ve magmatik faaliyetlerin durduğu dönemlerde çökelen tortul istifler hâkimdir. Çalışma alanında geniş yüzeylenmeler veren tortul ara katkılı andezit, bazalt ve piroklastitlerden oluşan jeolojik birim, Güven (1993); tarafından tanımlanan Kabaköy Formasyonu (Şekil 1b) ile benzer özelliklere sahip olduğu için aynı adla isimlendirilmişlerdir. Çalışma alanı ve civarında hâkim litolojik birim bazalt ve andezitik volkanik kayaçlar olmakla beraber, ölçüm alınan alan tamimiyle dolgu sahasıdır.

Bu çalışma kapsamında, olası deniz suyu girişiminin ne kadarlık bir alanda etkin olduğunu ve çalışılan alana yakın olan sahil yolu bağlantı noktalarından biri olan viyadüğünün ayaklarının deniz suyu girişiminden etkilenip etkilenmediği elektrik ve elektromanyetik yöntemler ile belirlemeye çalışılmıştır. Sonuç olarak denize hem paralel hem de dik olmak üzere toplam 11 profilde Slingram ve 8 profilde de elektrik özdirenç tomografi (ERT) verisi toplanarak deniz suyunun girişim yaptığı alanlar tespit edilmeye çalışılmıştır.

## JEOfİZİK ÖLÇÜMLER VE BULGULAR

Bu çalışma ilkbahar aylarında gerçekleştirilmiş olup, 11 profilde Slingram yöntemi ile 8 profilde de ERT yöntemi ile veriler toplanmıştır. Toplanan veriler değerlendirilerek yer altının elektrik özdirenç ve görünür iletkenlik dağılımı ortaya çıkarılmıştır.



Şekil 1. (a) Çalışma alanına ait yer bulduru (a) ve jeoloji haritası (b) (Güven, 1993; Baykan, 2011'den değiştirilerek).  
Figure 1. The location (a) and geological map of the study area (modified from Güven, 1993; Baykan, 2011).

### Slingram Yöntemi

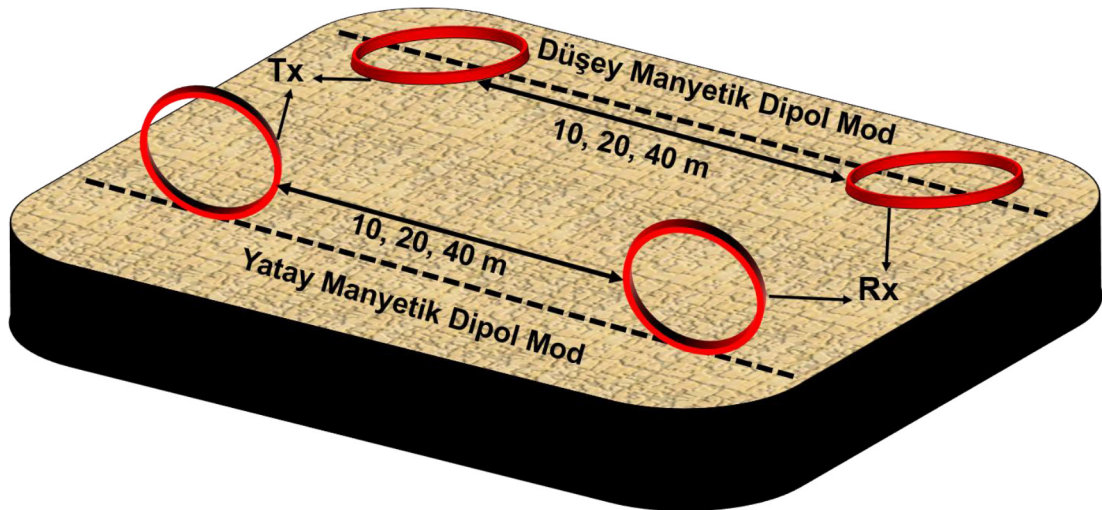
İlk olarak çalışma sahasında nispeten haritalamanın daha hızlı ve kolay olduğu aktif kaynaklı frekans ortamı elektromanyetik yöntem olan Slingram tekniği kullanılmıştır. Slingram tekniğinde verici halka yardımıyla sürekli bir elektromanyetik alan üretilir ve bu

alan birincil manyetik alanının oluşmasını sağlar. Yer içerisinde iletken bir yapı olduğu durumda birincil manyetik alan, ikincil bir manyetik alanı meydana getirir. Bu birincil ve ikincil manyetik alanlar alıcı bir halka yardımıyla kayıt edilir. İkincil manyetik alanın birincil manyetik alana oranından yer için elektrik

iletkenliği belirlenmektedir (McNeill, 1980). Yer içinin iletkenliğini önemli ölçüde tuzluluk etkilemektedir. Bununla birlikte yerin kil içeriği, nem içeriği, sıcaklık, gözeneklilik ve toplam çözülmüş madde miktarı gibi etkiler iletkenliği etkileyen diğer faktörlerdir. Slingram ölçümleri Geonics marka EM34-3 aleti ile toplanmıştır. Bu alet alıcı-verici halka ve bunlara bağlı kontrol birimlerinden oluşmaktadır. İletkenlik değerleri direk olarak alıcı kontrol birimden mS/m cinsinden okunabilmektedir. EM34-3 aletinde sabit 3 farklı alıcı-verici halka arası mesafe olup, bu mesafeler 10 m, 20 m ve 40 m'dir (Şekil 2). Halkalar arası uzaklıklar için frekans değerleri Çizelge 1'de verilmiştir. Alıcı-verici halkanın ölçüm alınan yüzeydeki konumuna göre düşey manyetik dipol (VDM) ve yatay manyetik dipol mod (HDM) olmak üzere iki farklı modda ölçüm alınabilmektedir (Şekil 2). Ölçümlerde araştırma derinliği alıcı-verici halkanın frekansına ve ölçüm moduna göre değişmektedir. Çizelge 1'de alıcı-verici halka mesafeleri ve ölçüm modları için araştırma derinlikleri görülmektedir (McNeill, 1980).

Slingram yönteminde alıcı verici halka aralığı 10 m ve ölçüm noktaları arası uzaklık 2 m seçilerek hem düşey manyetik hem de yatay manyetik dipol modda ölçümler toplanmıştır (Şekil 3). İlk 7 ölçümde her bir profil uzunluğu 44 m olup 161 noktada ölçüm alınmıştır. Ölçümler batıdan doğuya doğru olacak şekilde alınmış ve her bir profil aralığı 5 m'dir. Bu kısımda alınan ölçümlerde ilk profilin denize olan uzaklığı yaklaşık 45 m'dir. Bu alanda 7 profile ek olarak

yaklaşık kuzey-güney yönlü olmak üzere 4 profile daha ölçümler alınmıştır. Ölçüm noktaları arası 2 m olmak üzere toplamda 164 noktada veri toplanmıştır. Her bir profilin uzunluğu 80 m olup, profil aralıkları 9 m'dir. Her iki kısımda da alınan ölçümlerin sonuçları Şekil 4 ve 5'te verilmiştir. Ayrıca ilk 7 profil ve son 4 profil birleştirilerek çalışan ortama ait 2 boyutlu görünür iletkenlik haritaları elde edilmiştir (Şekil 6, 7). Şekil 6b ve 7b'de görünür iletkenlik değişimleri Şekil 6a ve 6b'ye göre daha geniş bir aralığa karşılık geldiği için, kesitler üzerindeki değişimleri daha iyi görebilmek açısından farklı renk skalaları kullanılmıştır. Halka aralığı 10 m için hem HDM hem de VDM modunda yapılan ölçümler Çizelge 1 göre değerlendirildiğinde, teorik olarak nüfuz edilebilen derinlik HDM modu için 7.5 m ve VDM modu için ise yaklaşık 15 m olarak öngörülmektedir. Ancak ortamın iletkenliğine göre nüfuz edilebilen derinlik değişebilmektedir. Şekil 4'te verilen ilk 7 profil için görünür iletkenlik değişimleri incelendiği zaman, bütün profillerde HDM modu için elde edilen değerlerde (25-48 mS/m arasında) çok fazla bir değişim gözlenmemiştir. Bununla birlikte, VDM modunda elde edilen görünür iletkenlik değerlerinde ise, özellikle 1, 5, 6 ve 7. profillerde önemli değişimler görülmektedir. 2, 3, 4. ve 5, 6, 7. profillerin ise belirli alanlarında hem HDM hem de VDM modunda elde edilen değerler nispeten birbirine yakın olup derinlikle iletkenlikte fazla bir değişim meydana gelmemektedir. Ancak, elde edilen verilerde dikkat çekici iki değişim mevcuttur: (1) 1. profile HDM modunda elde edilen iletkenlik değerleri sabit bir



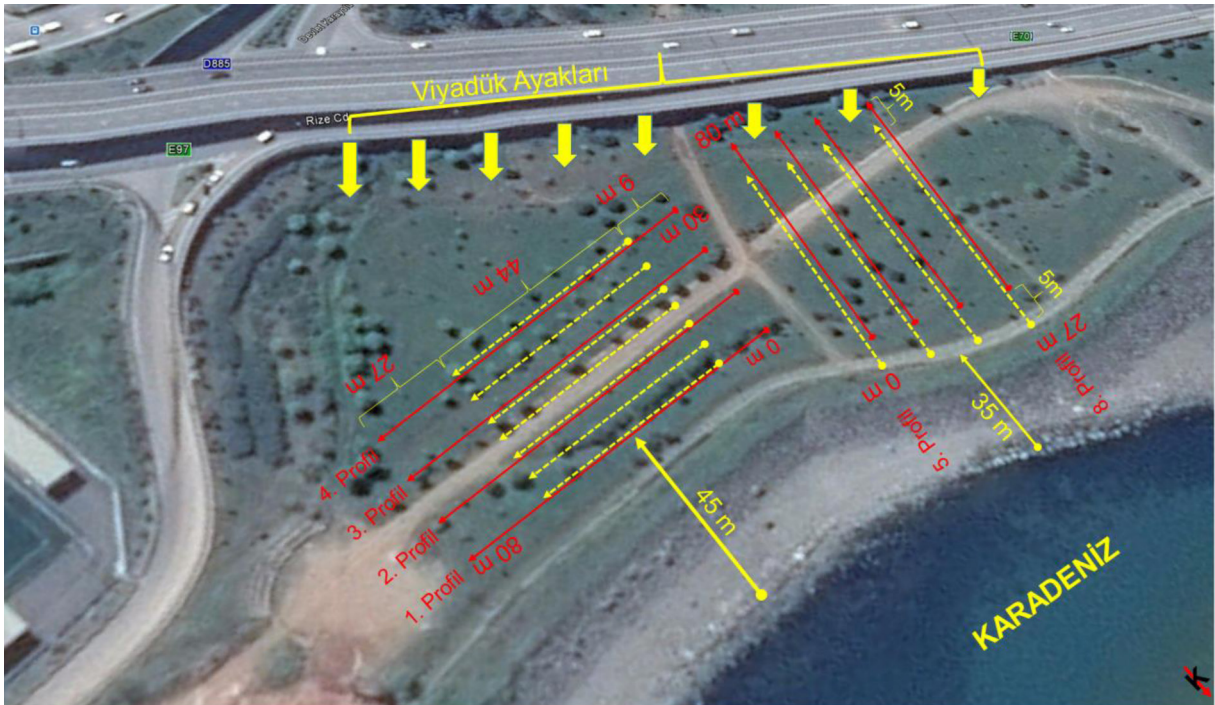
Şekil 2. Slingram ölçüm düzeneğinin şematik bir görünümü. Rx ve Tx sırasıyla alıcı-verici halka.

Figure 2. A schematic view of the Slingram measurement setup. Tx and Rx transmitter-receiver loop respectively.

Çizelge 1. Alıcı-verici halka mesafesi için frekans değerleri ve araştırma derinlikleri (McNeill, 1980).

Table 1. Frequency values and penetration depths for transmitter-receiver loop distances (McNeill, 1980).

| Alıcı-verici halka mesafesi (m) | Frekans (kHz) | Araştırma Derinliği |                 |
|---------------------------------|---------------|---------------------|-----------------|
|                                 |               | Yatay Dipol Mod     | Düsey Dipol Mod |
| 10                              | 6.4           | 7.5                 | 15              |
| 20                              | 1.6           | 15                  | 30              |
| 40                              | 0.4           | 30                  | 60              |

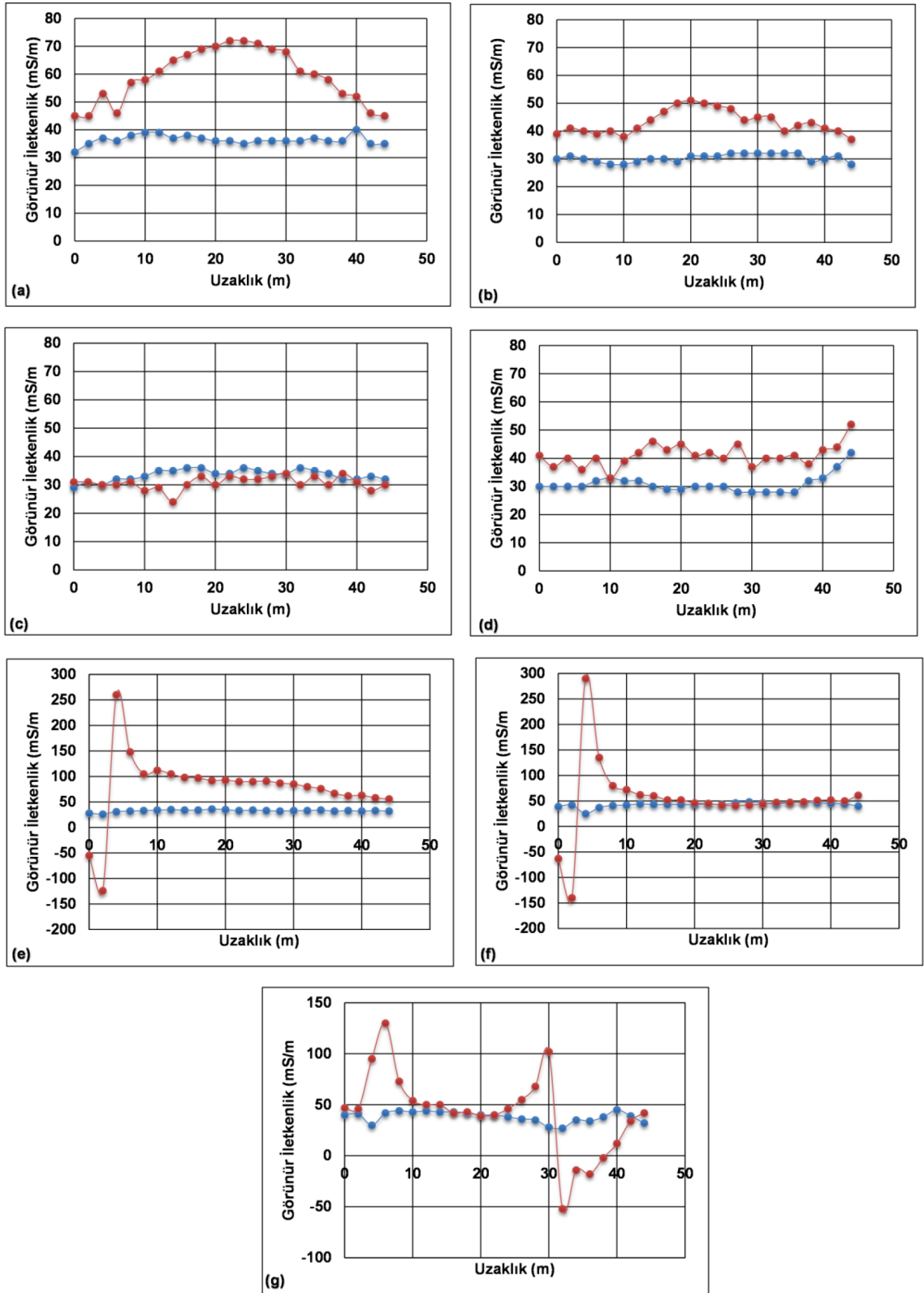


Şekil 3. Slingram ve elektrik özdirenç ölçüm profillerinin konumları. Sarı kesikli çizgiler Slingram ölçüm hatlarını, kırmızı kesikli çizgiler ise elektrik özdirenç hatlarını göstermektedir.

Figure 3. The locations of the Slingram and electrical resistivity measurement profiles. Yellow dotted lines show Slingram measurement, and red solid lines show electrical resistivity profiles.

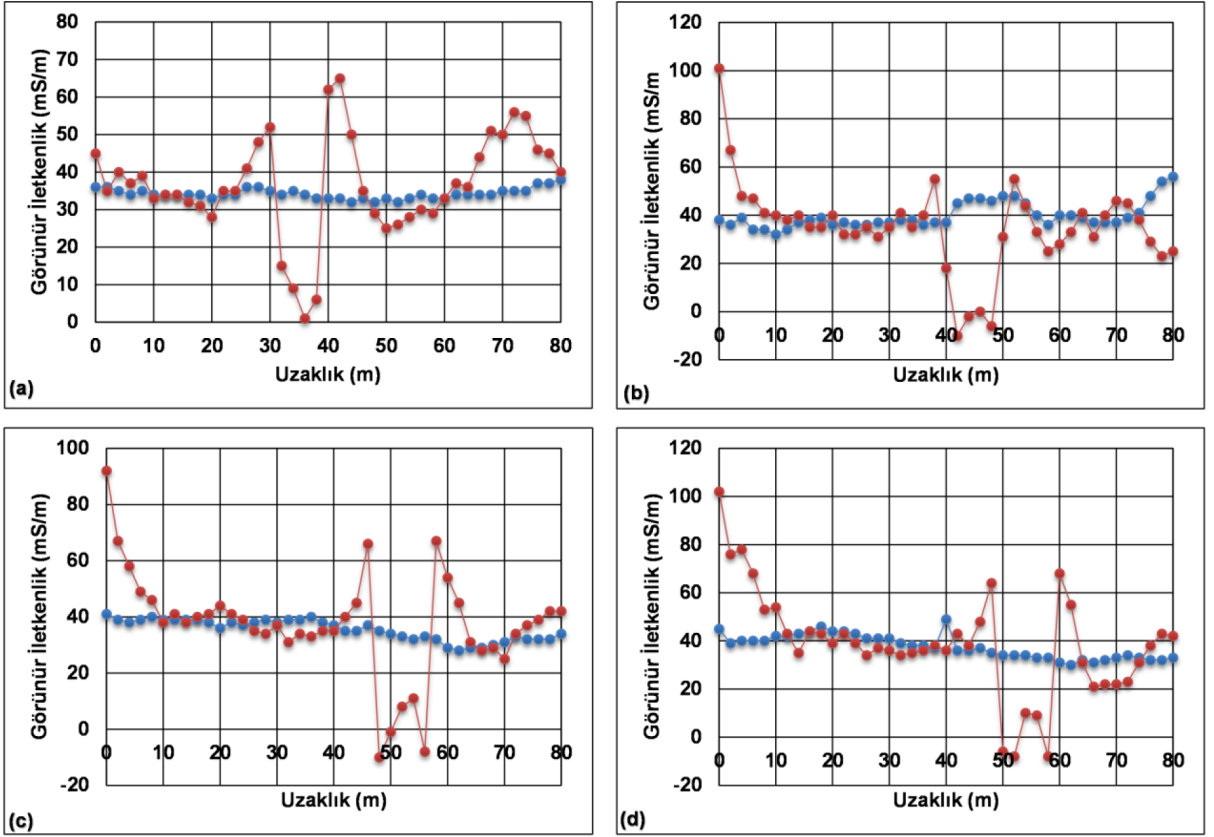
değişim göstermekte ve ortalama 30-40 mS/m arasında değişmektedir. Buna karşılık, VDM modunda elde edilen iletkenlik değerleri özellikle yatayda 10-40 m'ler arasında ciddi bir yükselim göstermektedir. Bu durum da, derine doğru iletkenliğin arttığını ve bunun sebebinin ise tuzlu su girişiminden kaynaklandığı düşünülmektedir. (2) ikinci dikkat çekici durum ise 5, 6, ve 7. profillerde gözlenen negatif ve pozitif yönde meydana gelen ani iletkenlik değişimidir. Bu son üç profilde negatif iletkenlik değerleri elde edilmiştir. Yalnızca VDM modunda okunan bu negatif iletkenlik

değerleri EM34-3 aletinin değeri okuma aralığından kaynaklanan bir durum olup, yerinin iletkenlik değerleri 700 mS/m değerini aştığı zaman, aletin okuduğu görünür iletkenlik değerleri sıfıra doğru gitmekte ve bu değer büyüdükçe iletkenlik değerleri negatif olarak okunmaktadır (Geonics, 2009). Slingram çalışmalarında negatif iletkenlik ve bu şekildeki ani değişimlerin genelde yer altındaki metalik bir iletken den veya bir süreksizlik zonundan kaynaklandığı düşünülmektedir (McNeill, 1980; Hayles, 2004; Tsikudo, 2009; Selepeng, 2016). Şekil 5'te ikinci kısımda elde



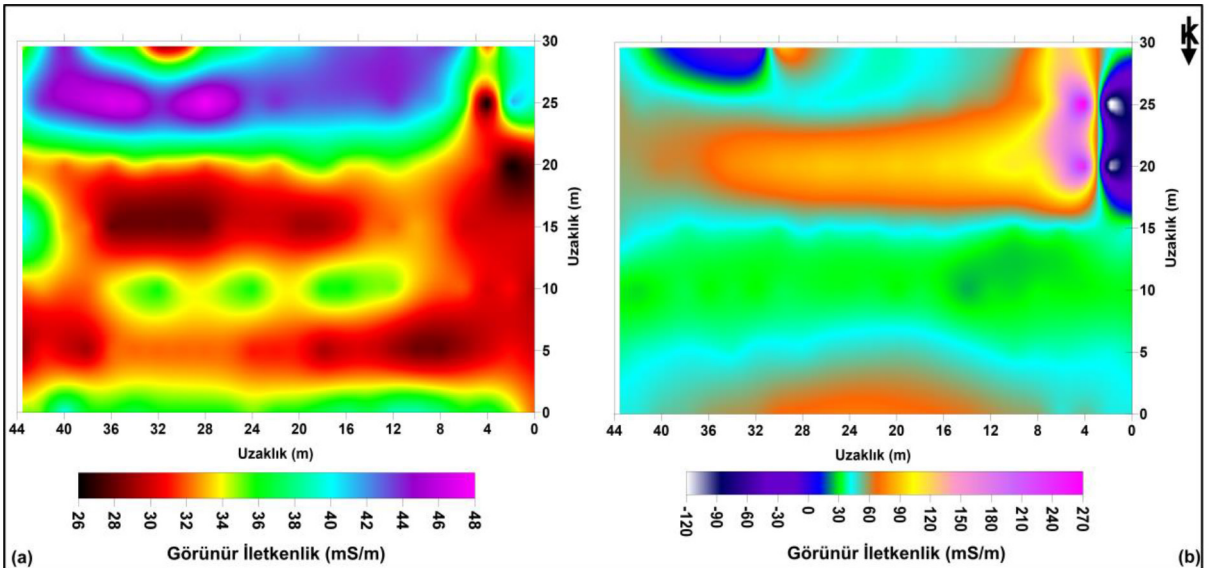
Şekil 4. Görünür iletkenlik değerlerinin değişimi. Kırmızı noktalar VDM modunda, mavi noktalar ise HDM modunda alınan ölçümleri göstermektedir. a, b, c, d, e, f, g sırasıyla 1-7. profiller.

Figure 4. Apparent Conductivity values. The red and blue dots show the measurements taken in VDM and HDM mode respectively. The letters a, b, c, d, e, f, g indicate respectively from 1. to 7. profiles.



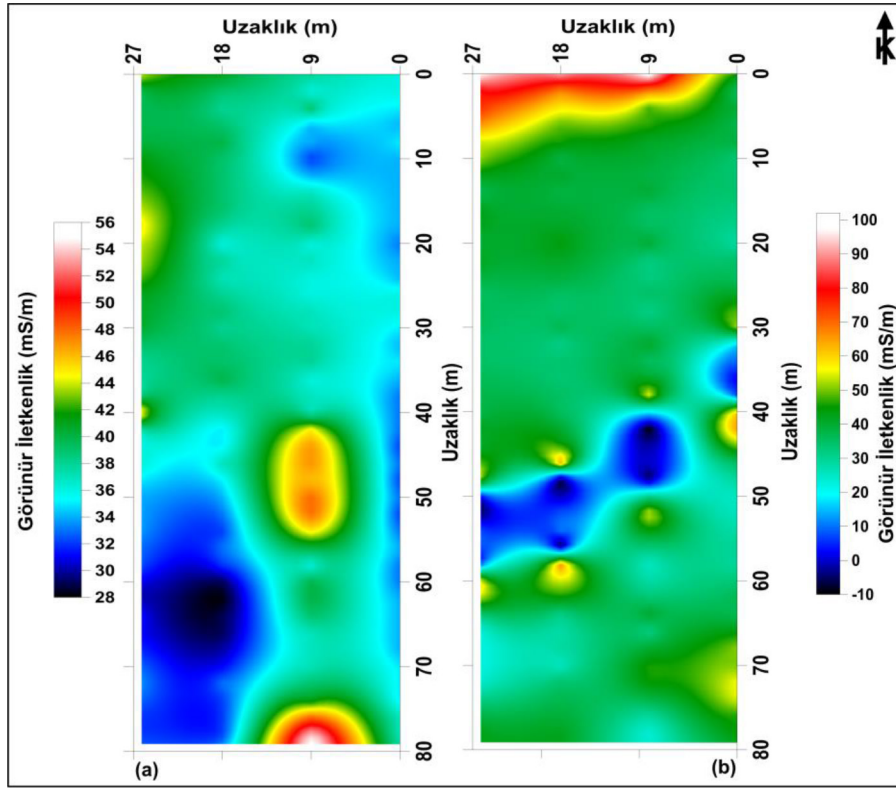
Şekil 5. Görünür iletkenlik değerlerinin değişimi. Kırmızı noktalar VDM modunda, mavi noktalar ise HDM modunda alınan ölçümleri göstermektedir. a, b, c, d sırasıyla 8-11. profiller.

Figure 5. Variations of apparent conductivity values. The red and blue dots show the measurements taken in VDM and HDM mode respectively. The letters a, b, c, d respectively from 8. to 11. profiles.



Şekil 6. 1-7. profiller için 2B görünür iletkenlik kesitleri. a) HDM modu, b) VDM modu.

Figure 6. 2D apparent conductivity sections for 1-7. profiles. a) HDM mode, b) VDM mode.



Şekil 7. 8-11. profiller için 2B görünür iletkenlik kesitleri. a) HDM modu, b) VDM modu.  
Figure 7. 2D apparent conductivity sections for 8-11. profiles. a) HDM mode, b) VDM mode.

edilen 8-11. profiller için görünür iletkenlik değerleri (28-50 mS/m arasında) incelendiğinde ise HDM modunda elde edilen değer ilk 7 profilde de elde edilen değerlerle benzerlik göstermekte olup çok fazla bir değişim gözlenmemiştir. Ancak VDM modunda elde edilen değerlerde 8. profil hariç 9, 10 ve 11. profillerin özellikle ilk kısımlarında yani denize yakın olan alanlarda yüksek iletkenlik değerleri gözlenmiş olup, bu değerler denizden uzaklaştıkça azalmaktadır. Bu alanda dikkat çeken diğer bir olay ise; 8, 9, 10 ve 11. profillerin tamamında gözlenen, yatayda 30 m'lerden başlayıp batıya doğru yaklaşık 60 m'lere kadar uzanan iletkenlik değerlerindeki ani azalış ve yükselimidir. Bu kısımda da diğer ölçümlerdeki gibi VDM modunda negatif iletkenlik değerleri okunmuştur. Bu negatif iletkenlik ve görünür iletkenlik eğrisinde meydana gelen bu ani azalış ve yükselime metalik bir nesnenin sebep olabileceği düşünülmektedir. Şekil 5'te yatayda 30-60 m'ler arasında gözlenen bu tür değişim ve gözlenen negatif iletkenlikler yeraltında ki metalik bir nesnenin varlığından kaynaklanabilir. Şekil 6a ve b'de ilk 7 profil için HDM ve VDM mod kullanılarak elde edilen görünür iletkenlik değerlerinin

birleştirilmesinden oluşturulan 2B kesitlerde, çalışılan alanın görünür iletkenlik dağılımı elde edilmiştir. Özellikle VDM modunda yüksek iletkenlikle alanların değişimi açıkça gözlenmekte ve tuzlu su girişi ve süreksizlik ya da metalik bir nesne varlığının olabileceği alanlar belirgindir. Şekil 7'de ise ilk 7 profille aynı şekilde elde edilmiş olan son 4 profilin (8-11) görünür iletkenlik kesitleri incelendiğinde ise HDM modunda elde edilen kesitte (Şekil 7a) genel olarak düzgün bir değişim gözlenmekle birlikte, yerel olarak bazı alanlarda nispeten daha yüksek iletkenlik değişimleri gözlenmiş olup, çalışma alanının düzensiz bir dolgu sahası olduğu düşünüldüğünde, bu nispeten yüksek iletkenlik gözlenen alanların atık iletken bir malzemeden veya kil içeriği daha yüksek bir alandan kaynaklanmış olabileceği varsayılmaktadır. Şekil 7b'de VDM modunda elde edilen kesitte tuzlu su girişimin olduğu alan (70-100 mS/m olan kısımlar) belirgin bir şekilde gözlenmektedir. Ayrıca bu kesitte dikkat çeken diğer bir önemli olay ise, alanın doğu tarafından güney batıya doğru (düşey uzaklıkta 30-60 m'ler ve yatay uzaklıkta ise kesitin hemen hemen tamamı) belirgin bir şekilde izlenebilen, negatif iletkenlik değerleri



gösteren bir alanın mevcut olmasıdır. Burada şekilden de görüldüğü gibi iletkenlik değerleri önce negatif yönde daha sonra ise pozitif yönde pik vermektedir. İki pik noktası arası uzaklık alıcı verici halka arası uzaklık ile de uyumludur. Bu ani pik değişimin olduğu kısım metalik bir nesnenin varlığını işaret etmektedir.

### Elektrik Özdirenç Yöntemi

Elektrik özdirenç yöntemi, temel olarak yeraltına bir çift akım elektrotu ile gönderilen doğru akımdan kaynaklanan elektriksel potansiyelin yeryüzünde diğer bir çift potansiyel elektrotu ile ölçülmesine dayanmaktadır. Elektriksel potansiyelin dağılımı, yerin özdirenç değişimine bağlı olmaktadır (Telford vd., 1990). Elektrik özdirenç yöntemi bir çok alanda uzun yıllardan beri araştırmacılar tarafından kullanılmaktadır (Karlık ve Kaya, 2000; Kaya vd., 2007; Yogeshwar vd., 2012; Orlando, 2013; Kaya vd., 2015; Elmas, 2017). ERT yönteminde, çok kanallı doğru akım verisinden yerin 2B özdirenç dağılımı ortaya çıkarılmaktadır. 2B elektrik özdirenç çalışmaları ile jeolojik yapıların yanal ve düşey yöndeki değişimleri belirlenebilmektedir. ERT yöntemi ile araştırılan yer altı yapısı yüksek çözünürlükte görüntülenebilmektedir.

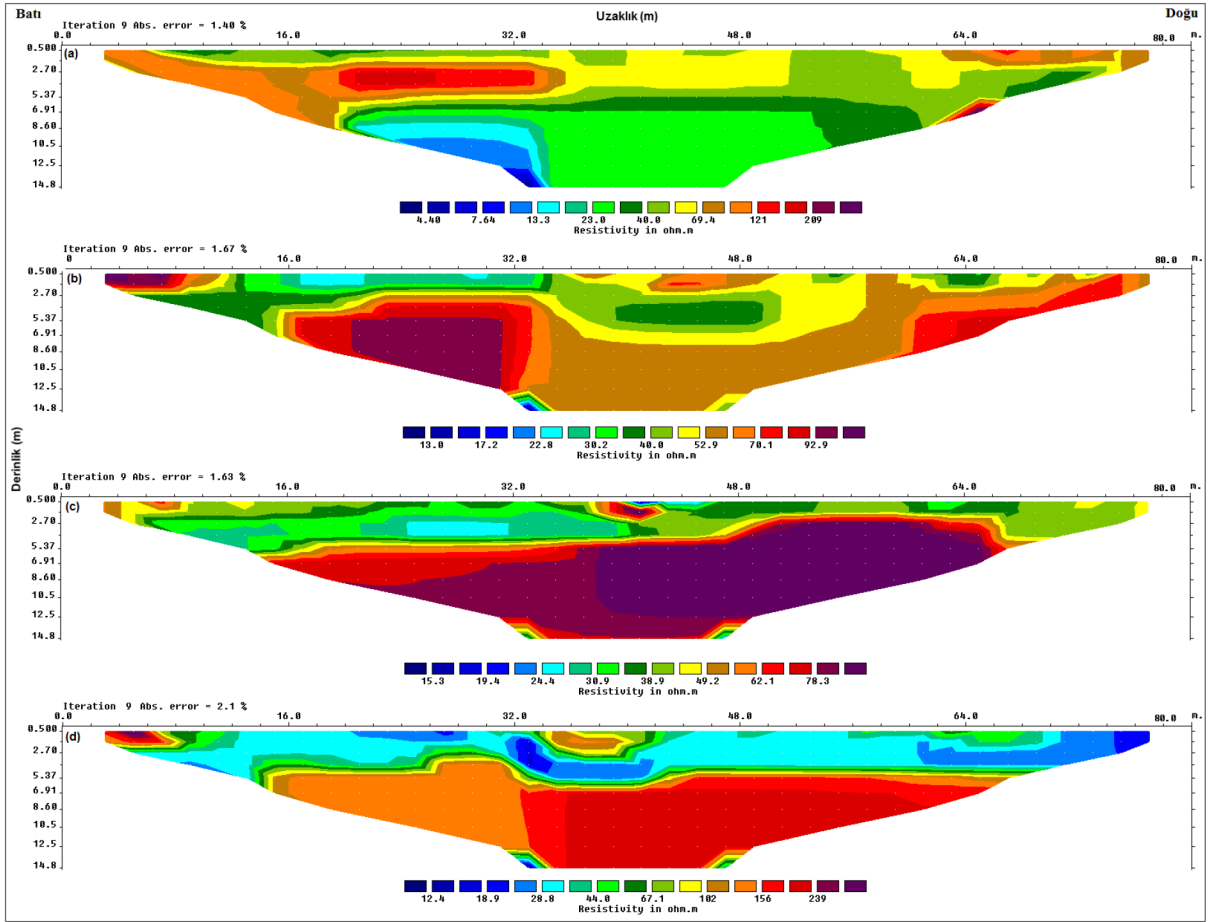
Bu çalışma sahasında ERT yöntemi ile iki alanda birbirine paralel 4 profilde olmak üzere toplamda 8 profil olacak şekilde Wenner dizilimi kullanılarak ölçümler alınmıştır (Şekil 3). ERT ölçümlerinde 41 elektrot kullanılmış ve elektrot aralıkları 2 m seçilerek toplamda 80 m'lik bir alan taranmıştır. İlk 4 profilde (1-4) profil aralıkları 10 m ve ikinci dört profilde (5-8) ise profil aralıkları 9 m olarak seçilmiştir. ERT ile Slingram ölçüm profilleri aynı hatlar üzerindedir. Çalışmada görünür özdirenç verileri ABEM Terrameter LS cihazı ile toplanmış ve Res2Dinv programı (Loke, 2010) ile değerlendirilmiştir. Çalışma sahasına ait 2B özdirenç kesitleri Şekil 8-9' da sunulmuştur. Slingram yöntemi ile elde edilen görünür iletkenlik kesitlerinde olduğu gibi özdirenç kesitlerinde de küçük değişimleri daha iyi görüntüleyebilmek için farklı renk skalaları kullanılmıştır. Şekil 8 incelendiğinde maksimum etki edilebilen derinlik yaklaşık olarak 15 m'dir. İlk dört profilde (1-4) özdirenç değişimi genel olarak 10-250 Ohm-m arasında değişim göstermekle birlikte yalnızca birinci profilde yaklaşık 13 m'lerden sonra özdirenç değerlerinin sınırlı bir alanda da olsa 4 Ohm-m'lerin altına düştüğü gözlenmiştir. Genel olarak 5 Ohm-m'lerden daha düşük özdirenç değerleri kısmen de olsa tuzlu su varlığını işaret etmektedir. İlk 4 profilde yaklaşık

5-5.5 m'lerde nispeten düzgün bir ara yüzey varlığından bahsetmek mümkündür. İkinci 4 profilin (5-8) yer aldığı Şekil 9' da ise yeraltının özdirenç dağılımı 1-700 Ohm-m'ler arasında oldukça geniş bir dağılım göstermekle birlikte, yalnızca 8. profilde elde edilen özdirenç kesitinde bu geniş dağılım görülmektedir. 5, 6, ve 7. profillerde ise özdirenç değişim aralığı daha sınırlıdır. 5, 6 ve 7 profillerde yaklaşık 13 m'lerden itibaren çok sınırlı bir alanda düşük özdirenç değerleri (5-15 Ohm-m) mevcut olsa da, bu değerlerin tuzlu su varlığını gösterdiği düşünülmektedir. 5-15 Ohm-m'lik özdirenç değişimleri daha çok tatlı suya doygun killi ortamlara karşılık gelmektedir. İlk 4 profilde olduğu gibi son dört profilde de yaklaşık 5 -5.5 m'ler civarında bir ara yüzey varlığından bahsedilebilir. Burada dikkat çekici durum ise, diğer profillerde gözlenmeyip 8. profilde gözlenen çok düşük ve nispeten çok yüksek özdirenç değerlerinin varlığıdır. Bu düşük ve yüksek özdirençlere yeraltında mevcut bir metalik kanalın varlığının (alandan geçtiği düşünülen atık su borusu gibi) sebep olabileceği düşünülmektedir.

### SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada Slingram ve ERT yöntemleri kullanılarak çalışılan alana ait görünür iletkenlik ve özdirenç dağılımları ortaya konulmuştur. Görünür iletkenlik ve özdirenç kesitlerinden tuzlu su girişimin olup olmadığı, tuzlu su girişimi olduysa ne kadarlık bir alanı etkilediği belirlenmeye çalışılmıştır.

Doğu-batı yönlü alınan görünür iletkenlik ölçümlerine göre yalnızca birinci profilin VDM ölçümlerinde yaklaşık 10-35 m'lerde iletkenlik değerlerinin yükseldiği görülmüştür. Benzer şekilde alınan elektrik özdirenç kesitlerinde de yine yalnızca birinci profilde çok düşük özdirenç (<4 Ohm-m) değerleri ölçülmüştür. Her iki yöntemden elde edilen bu sonuçlar birbirlerini desteklemekte ve bu alanda kısmi bir tuzlu su girişimi olduğunu işaret etmektedir. Çalışma alanında güneye doğru gidildikçe iletkenlik değerleri düşerken, özdirenç değerlerinin yükselmeye başlaması, güneye doğru herhangi bir tuzlu su girişiminin olmadığı şeklinde değerlendirilmiştir. Doğu-batı yönlü alınan görünür iletkenlik ölçümlerinin 5, 6 ve 7. profillerinde negatif ve pozitif yönde çok yüksek iletkenlik değerleri ölçülse de, bu alanda elde edilen elektrik ölçümlerinde düşük özdirenç değişimi gözlenmediğinden dolayı burada yüksek iletkenlik varlığının tuzlu su girişimi ile değil de, yanal yönde bir süreksizlik varlığı ile ilişkilendirilmiştir. Kuzey-güney yönlü alınan görünür

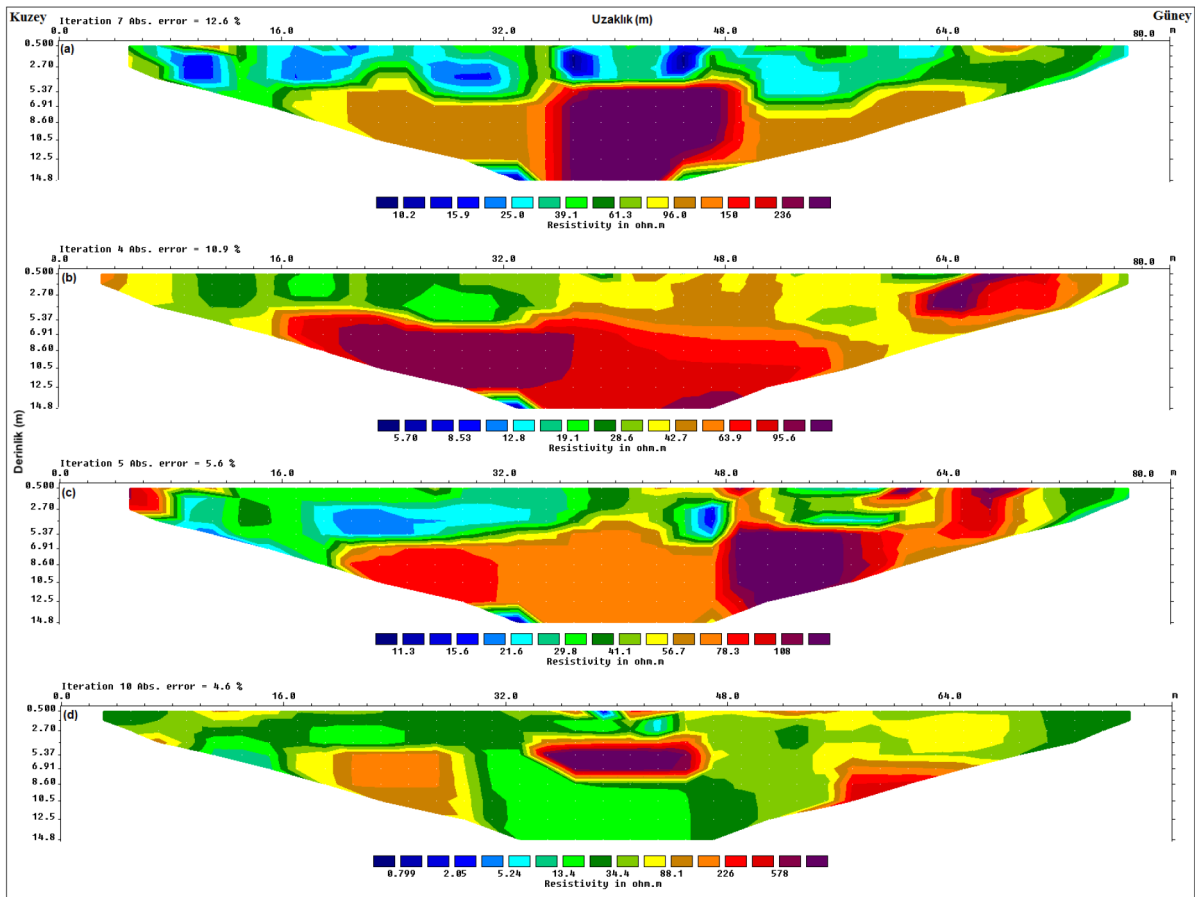


Şekil 8. 2B ERT kesitleri. a, b, c, d sırasıyla 1-4. profilleri göstermektedir.

Figure 8. 2D ERT sections. The letters a, b, c, d indicate respectively from 1. to 4. profiles.

iletkenlik ölçümlerinde ise 8, 9 ve 11. profillerin ilk 10 m'leri ile 8. profilde 30-40 m, 9. profilde 40-50 m ve 10 ile 11. profillerde ise 50-60. m'ler hariç diğer alanlarda hem HDM hem de VDM modunda benzer bir değişim gözlenmiştir. Her iki modda benzer değişim olması derine doğru iletkenliğin çok değişmediğinin bir göstergesidir. Bununla birlikte 9, 10 ve 11. profillerin ilk 10 m'lerinde yüksek iletkenlik değerlerinin olması, bu kısmın denize en yakın alan olduğu düşünülmüşse, bu yüksek iletkenliğin tuzlu su etkisinden kaynaklandığını göstermektedir. Bu alanda alınan öz direnç değerlerinde tuzlu su etkisi görülmemektedir. Bunun sebebi de Şekil 3'te de görülebileceği gibi görünür iletkenlik ölçümleri ile elektrik öz direnç ölçümlerinin başlangıç noktalarının aynı olmayıp, görünür iletkenlik ölçümlerinin hat başlangıçlarının denize daha yakın olmasıdır. Kuzey-güney yönlü elektrik ölçümlerinde özellikle 8. profilde çok düşük öz direnç değerleri gözlenirse de bunlar çok yerel olup, görünür

iletkenlik kesitleri ile de desteklenmediği için bu düşük değerlerin tuzlu sudan kaynaklanmadığı şeklinde yorumlanmıştır. Kuzey-güney yönlü görünür iletkenlik kesitlerinde (8, 9, 10, 11. profil) dikkat çeken diğer önemli bir detay ise, 30-60 m'ler arasında meydana gelen ani iletkenlik azalımı ve artışıdır. Slingram yöntemi ile elde edilen verilerdeki bu tür bir değişim yer içindeki metalik bir nesnenin varlığını işaret etmektedir. 8-11. profillerin birleştirilmesinden elde edilen 2B görünür iletkenlik kesitinde (Şekil 7) metalik nesnenin konumu ve yönelimi belirgin bir şekilde izlenebilmektedir. Bu kısımda alınan elektrik öz direnç kesitlerinde ise, özellikle 8. profilde yatayda 32-46 m'ler ve düşeyde ise 5.5-8.5 m derinliklerinde olan ve göreceli olarak çok yüksek öz direnç gösteren bir yapının varlığı mevcuttur. Bu yapının görünür iletkenlik kesitlerinde de olduğu düşünülen metalik içi boş bir kanalizasyon olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 9. 2B ERT kesitleri. a, b, c, d sırasıyla 5-8. profilleri göstermektedir.

Figure 9. 2D ERT sections. The letters a, b, c, d indicate respectively from 5. to 8. profiles.

Sonuç olarak görünür iletkenlik ve ERT kesitleri birlikte değerlendirildiğinde tuzlu su girişiminin sadece denize en yakın alanlarda görüldüğü, güneye doğru bir yayılımın olmadığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, çalışma alanının topografyası ve güneyden gelen Değirmendere ve Değirmendere'nin denize getirdiği malzemelerin oldukça kalın bir alüvyon yatağı oluşturduğu dikkate alınır, bu alanda tuzlu suyunun hidrojeolojik açıdan da güney yönünde ilerlemesi pek mümkün gözükmemektedir. Doğu Karadeniz bölgesindeki yeraltı suyu taşıyan akifer niteliğindeki malzemeler çoğunlukla dere yataklarında dar vadilere sıkışmış alüvyonlardır. Yeraltı suyu hareketinin kontrolü çoğunlukla yüzey akışı tarafından kontrol edildiği için, bu tür dar alüvyonların denizle birleştiği alanlarda tuzlu su girişiminin alüvyon içine doğru kamanması beklenmez. Ayrıca, deniz suyunun güney yönde karaya doğru girişim yapmasına neden olabilecek, çalışma alanının ve çevresinde tatlı su çekmek amacıyla açılmış bir kuyu bulunmaması da deniz

su girişiminin olmamasına etki edecek faktörlerden biridir. Hem jeofizik verilerden hem de hidrojeolojik açıdan çalışmada alanında en azından 15 m derinliklere kadar tuzlu su girişiminin geniş bir alanı etkilemediği ve ayrıca denize yakın bir alandan geçen sahil yolu üzerinde mevcut olan viyadüğün ayaklarına bir etkisinin olmadığı anlaşılmaktadır. Ancak yine de bu alanda yapılacak bir proje kapsamında birkaç noktada sondaj veya hendek açmak suretiyle toplanacak toprak ve su örneklerinin analizi ile elde edilen Jeofizik verilerin desteklenmesi çalışmanın katkısını daha somut olarak ortaya koyacaktır.

Bununla birlikte tuzlu su girişiminin belirlenmesi amacıyla yapılan bu çalışma kapsamına ek olarak, Slingram yöntemi ile çalışma alanında mevcut olan bir kanalizasyon veya atık su borusu gibi metalik bir nesnenin varlığının da başarıyla haritalandığı görülmüştür.

## KATKI BELİRTME

Yazar, arazi verilerinin toplanmasında yardımcı olan Jeofizik Mühendisliği Bölümü öğrencilerinden Askerhan Burak ŞAHİN, Uğur ÇINAR, Hasan TURAN ve İhsan KUL'a; makalenin değerlendirme sürecinde gösterdikleri ilgi nedeniyle Yerbilimleri Dergisi Editörlüğüne; makalenin kalitesinin artırılmasında yapıcı eleştirilerde bulunan Prof.Dr. Çoşkun SARI ve Prof. Dr. Mehmet Ali KAYA'ya teşekkür eder.

## KAYNAKLAR

- Ardali, A., Gurer, A., and Tezkan, B., 2015. Geoelectrical and geoelectromagnetic imaging in Durusu Basin, Istanbul. 8th Congress of the Balkan Geophysical Society, Chania, Greece.
- Ardali, A., Gurer, A. and Tezkan, B. 2016. Geoelectrical mapping of seawater intrusion in Durusu basin, Istanbul. 22nd European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Near Surface Geoscience, Barcelona, Spain.
- Baykan, İ., 2011. Trabzon ili kırmızı killerin jeoteknik özelliklerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Chachadi, A.G., and Ferreira, J.P.L., 2005. Assessing aquifer vulnerability to sea-water intrusion using GALDIT method: Part 2- GALDIT indicators description. The 4th Inter-Celtic Colloquium on Hydrology and Management of Water resources, Portugal.
- Chitea, F., Georgescu, P., and Ioane, D., 2015. Geophysical detection of marine intrusions in Black Sea. 6th Congress of Balkan Geophysical Society - Budapest, Hungary.
- Elmas, A., 2017. Gravite ve Elektrik Yöntemlerle Jeotermal Yapı Araştırması. International Conference on Research in Education and Science (ICRES), May 18-21, Kuşadası, Aydın. Proceeding Book, 700-703.
- Geonics, 2009. EM34-3 & 34-3XL Operating Instructions (For model with two digital meters).
- Güven, İ.H., 1993. Doğu Pontidlerin Jeolojisi ve 1/250.000 ölçekli kompilasyonu. MTA Yayınları, Ankara, Türkiye.
- Hayles, J., 2004. EM-31 & EM-34 Surveys near Spring Hill. Report. Hayles Geoscience Surveys Ltd.
- Himi, M., Stitou, J., Rivero, L., Salhi, A., Tapias, J.C., and Casas, A., 2010. Geophysical surveys for delineating salt water intrusion and fresh water resources in the Oued Laou coastal aquifer. Near Surface - 16<sup>th</sup> European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Abstracts volume, Switzerland.
- Kaya, M.A., Özürlan, G. and Şengül, E., 2007. Delineation of soil and groundwater contamination using geophysical methods at a waste disposal site in Çanakkale, Turkey, Environ Monit Assess, 135:441-446.
- Kaya, M. A., Özürlan, G. and Balkaya, Ç., 2015. Geoelectrical investigation of seawater intrusion in the coastal urban area of Çanakkale, NW Turkey, Environ Earth Sci, 73:1151-1160.
- Karlık, G., and Kaya, M.A., 2000. Investigation of groundwater contamination using electric and electromagnetic methods at an open waste-disposal site: a case study from Isparta, Turkey, Environmental Geology 40 (6).
- Khalil, M.A., Abbas, A.M., Santos, F.M., Masoud, U., and Salah, H., 2012. Application of VES and TDEM techniques to investigate sea water intrusion in Sidi Abdel Rahman area, northwestern coast of Egypt. Arab J Geosci, DOI 10.1007/s12517-012-0564-z.
- Loke, M.H., 2010. RES2DINV software. Geoelectrical Imaging 2D and 3D. Instruction Manual. Geotomo Software, <http://www.geotomosoft.com>.
- McNeill, J. P., 1980. Electromagnetic terrain conductivity measurements at low induction numbers: Geonics Ltd., Mississauga, Ontario, Canada, Technical Note, p. 1-15.
- Nenna, V., Herckenrath, D., Knight, R., Odlum, N., and McPhee, D., 2013. Application and evaluation of electromagnetic methods for imaging saltwater intrusion in coastal aquifers: Seaside Groundwater Basin, California. Geophysics, 78, B77-B88.
- Nguyen, F., Kemna, A., Antonsson, A., Engesgaard, P., Kuras, O., Ogilvy, R., Gisbert, J., Jorreto, S., and Pulido-Bosch, A., 2009. Characterization of seawater intrusion using 2D electrical imaging. Near Surface Geophysics, 7, 377-390.
- Orlando, L., 2013. GPR to Constrain ERT Data Inversion in Cavity Searching: Theoretical and

Practical Applications in Archeology. *Journal of Applied Geophysics*, 89, 35–47.

- Selepeng, A.T., 2016. Three Dimensional Numerical Modeling of Loop-Loop Electromagnetic Data at Low Induction Numbers, Graduate School of Engineering and Resource Science, Akita University, Japan, PhD Thesis.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., and Sheriff, R.E., 1990. *Applied Geophysics*, Second Edition, Cambridge University Press.
- Tsikudo, B.K., 2009. Geophysical Investigation for Groundwater in the Gushiegu-Karaga and Zabzugu-Tatale Districts of the Northern Region of Ghana Using the Electromagnetic Method. Kwame Nkrumah University of Science and Technology, MSc Thesis.
- Yogeshwar, P., Tezkan, B., Israil, M., and Candansayar M.E., 2012. Groundwater contamination in the Roorkee area, India: 2D joint inversion of radiomagnetotelluric and direct current resistivity data. *Journal of Applied Geophysics* 76, 127–135.



# YAZIM KURALLARI

## YAYIN İLKE VE KURALLARI

YERBİLİMLERİ Dergisi'ne gönderilecek yazılar, daha önce yayımlanmamış, ayrıca eş zamanlı olarak diğer bir dergiye veya sempozyum, kongre vb. gibi etkinliklerde sunulmak üzere gönderilmemiş olmalıdır. Ayrıca, dergiye sunulacak yazıyla ilişkili diğer makalelerin içeriklerindeki çakışma, en alt düzeyde olmalı ve giriş/tartışma bölümleriyle sınırlı kalmalıdır.

Yazarlar, yazılarını hazırlarken, derginin “**Yazım Kuralları**” başlıklı ayrıntılı kılavuzundan yararlanmalıdırlar. Editörler, bu kılavuza uygun şekilde hazırlanmamış yazıları yazar(lar)ına iade edebilirler. Çok yazarlı yazılarda yazarlardan biri “Başvurulacak Yazar” konumunda olmalıdır. Tüm yazarların; çalışmada yer aldığı, yazıyı onayladıkları ve yazının dergiye sunulmasını kabul ettikleri esas alınır.

Dergiye sunulan yazılar, önce Baş Editör ile Editörler tarafından incelenir. Daha sonra makalenin değerlendirilmesi, düzeltilmesi ve yayıma kabulü veya kabul edilmemesi gibi işlemlerin yürütülmesi amacıyla bir Editör, Baş Editör tarafından görevlendirilir. Yazılar, Yayın Danışma Kurulu'ndan ve/veya bu kurulun dışından seçilmiş en az iki hakeme gönderilir. Yazıları değerlendirirken hakemlerden gizlilik ilkesine uymaları istenir ve adlarının açıklanıp açıklanmaması kendilerinin tercihine bırakılır. Yazılar, hakemlerin görüşleri alındıktan sonra, ayrıca Baş Editör ve ilgili Editör tarafından da değerlendirilir. Değerlendirmenin sonucuna göre yazının yayıma kabulü veya reddi ile ilgili son karar Baş Editör tarafından verilir.

## GÖNDERİLECEK YAZILARIN NİTELİĞİ

Dergide yerbilimlerinin değişik alanlarında (jeoloji, jeofizik, madencilik ve jeomorfoloji) gerçekleştirilmiş özgün araştırmalar, yeni gelişmeler ve vaka sunumları ile ilgili yazılara yer verilmektedir. Kabul edilen başlıca yazı türleri, “Özgün Araştırma Makaleleri” ve “Teknik Notlar”dır. Fikirler, mevcut tekniklere ilişkin destekleyici çalışmalar veya ön sonuçlar Teknik Not olarak kabul edilir. Teknik Notlar, genel olarak, makalelerden daha kısa yazılar olup, bu yazılarda Öz bölümünün verilmesine gerek yoktur. Bunların yanı sıra, önceki çalışmaları veya bir konuyu eleştirel bir yaklaşımla derleyen ve o konuda bazı katkılar da sağlayan “Eleştirel Derlemeler” ile dergide yayımlanmış makalelere ilişkin “Tartışmalar” da sunulabilir. Ancak Teknik Notlarla ilgili Tartışma türü yazılara dergide yer verilmez.

## YAZILARIN GÖNDERİLMESİ

Yazılar e-posta ile gönderilir. Gönderiler “Kapak Dosyası” ve “Ana Dosya” olmak üzere iki Word dosyası halinde olmalıdır. Kapak dosyası içerisinde tüm yazarların iletişim (adres, e-posta, telefon numarası) bilgileri bulunmalıdır. Ana dosya başlık, öz, anahtar kelimeler, metnin ana gövdesi, sonuçlar, teşekkür ve referansları içeren dosyadır. Çizelgeler ve açıklamaları, şekiller dizini ve şekiller de ana dosya içinde en sonda sıralanmalıdır. Ana dosyada tüm metne satır numarası verilmelidir. Ayrıca başlığın, şekil alt yazılarının ve çizelge açıklamalarının İngilizce çevirileri de eklenmelidir (İngilizce yazılan makaleler için ise Türkçe çevirileri eklenmelidir). Ana dosya yazım kurallarına uygun şekilde düzenlenmiş olmalıdır. Dosyalar Word dosyası olarak hazırlanmalıdır.

Editörlük makalelerin kaybolmasıyla ilgili herhangi bir sorumluluk almayacağı için, yazarlar yazılarının bir kopyasını muhafaza etmelidirler.

## YAZILARIN HAZIRLANMASI (YAZIM KURALLARI)

Derginin yayın dili Türkçe ve İngilizce'dir. Yazarların ana dillerinin Türkçe olmaması durumunda, yazıların başlığı ve özeti ile çizelge ve şekillerin başlıkları Editörlükçe Türkçeye çevrilir. İngilizce sunulacak yazılarda hem İngiliz, hem de Amerikan İngilizcesi kullanılabilir. Ana dili İngilizce olmayan yazarlara, yazılarını Editörlüğe göndermeden önce, gramer ve üslup açısından, ana dili İngilizce olan bir kişiden katkı almaları özellikle önerilir.

Yazılar, genel olarak, aşağıda verilen düzen çerçevesinde hazırlanmalıdır.

- Başlık (Türkçe ve İngilizce)
- Yazar adları (koyu ve tamamı büyük harfle) ve adresleri (italik ve küçük harfle) ile başvurulacak yazarın e-posta adresi (ilk sayfanın sol alt kısmında)
- Öz (Türkçe ve İngilizce)
- Anahtar Kelimeler (Türkçe ve İngilizce)
- Giriş (amaç, kapsam ve yöntem)
- Ana metin (kullanılan yöntemler, çalışılan malzeme(ler), tanımlamalar, analizler vd.)
- “Sonuçlar ve Tartışma” veya “Tartışma ve Öneriler”
- Katkı Belirtme (gerekliyse)
- Kaynaklar
- Ekler (gerekliyse)
- Çizelgeler

- (l) Şekiller Dizini
- (m) Şekiller
- (n) Levhalar (var ise)

Metinde kullanılan değişik türde başlıklar farklı şekillerde ve tüm başlıklar sayfanın sol kenarında verilmelidir. Ana başlıklar büyük harflerle ve koyu yazılmalıdır. İkinci derece başlıklar alt başlık olarak değerlendirilmeli ve birinci ve ikinci derece alt başlıklar küçük harfle (birinci derece alt başlıklarda her kelimenin ilk harfi büyük) ve koyu, üçüncü derece alt başlıklar ise italik olmalıdır. Başlıkların önüne numara veya harf konulmamalıdır. Yazılar (öz, metin, katkı belirtme, kaynaklar, ekler ve şekiller dizini) A4 (29.7 cm x 21 cm) boyutundaki sayfaların bir yüzüne, kenarlardan en az 2.5 cm boşluk bırakılarak, 1.5 cm aralıkla ve 12 puntuyla (Arial) yazılmalı, tüm sayfalarına ve ayrıca metindeki her satıra (başlıklar dahil) numara verilmelidir.

## **ÖZ**

### **GİRİŞ**

#### **ANA BAŞLIK**

##### **Birinci Derece Alt Başlık**

##### **İkinci derece alt başlık**

##### *Üçüncü derece alt başlık*

#### **SONUÇLAR VE TARTIŞMA**

#### **KATKI BELİRTME**

#### **KAYNAKLAR**

Yazılarda SI birimleri (örneğin; kPa, MPa, kN/m<sup>3</sup>) kullanılmalıdır. Bununla birlikte, eğer istenirse, bu birimlerin diğer sistemlerdeki karşılıkları da parantez içinde verilebilir (örneğin; “İncelenen kumtaşının birim hacim ağırlığı ve tek eksenli sıkışma dayanımı sırasıyla 24 kN/m<sup>3</sup> (2.4 kg/m<sup>3</sup>) ve 60 MPa (600 kgf/cm<sup>2</sup>)’dir”).

Rakamların ondalık hanelerinin gösteriminde virgül yerine nokta kullanılmalıdır. Yazılarda semboller (örneğin  $\sum$  \_  $\sqrt{\quad}$ ) kullanılmamalıdır. Bunların yerine, harflerin veya rakamların (örneğin; (a), (b),.....veya (i), (ii).....veya (1), (2).....) kullanılması önerilir. Dip notu verilmesinden kaçınılmalıdır. Özellikle reklam niteliği taşıyan yazılar kabul edilmez.

Yayıma kabul edilmesi koşuluyla, derginin yazım kurallarına uygun şekilde hazırlanmış yazılar, aşırı derecede düzeltmeye ihtiyaç gösteren yazılara göre daha kısa sürede basılır.

#### **Kapak Sayfası**

Yazıdan ayrı olarak sunulacak kapak sayfasında aşağıdaki bilgiler yer almalıdır.

- a. Yazının başlığı
- b. Yazar(lar)ın ad(lar)ı (ad ve soyadı kısaltılmadan)
- c. Tüm yazarların açık posta ve e-posta adresleri (Başvurulacak Yazar belirtilerek) ve telefon numaraları da ayrıca belirtilmelidir.

#### **Başlık ve Yazarlar**

Yazının başlığı, çalışmanın içeriğini anlaşılır şekilde yansıtmalı ve makul uzunlukta olmalıdır. Eğer yazı Türkçe hazırlanmışsa, Türkçe başlığı (koyu ve küçük harfle) İngilizce başlık (italik ve küçük harfle) izlemelidir. İngilizce hazırlanmış yazılarda ise, İngilizce başlık Türkçe başlıktan önce ve yukarıda belirtilen yazım kuralına göre verilmelidir.

## **Öz**

Öz, çalışma hakkında bilgi verici bir içerikle (çalışmanın amacı, elde edilen başlıca sonuçlar) ve 300 kelimeyi aşmayacak şekilde hazırlanmalıdır. Özde kaynaklara atıfta bulunulmamalıdır. Özler, hem Türkçe hem İngilizce olarak verilmelidir. Türkçe hazırlanmış yazılarda Öz’den sonra “Abstract” (italik) yer almalı, İngilizce yazılarda ise italik yazılmış Türkçe Öz Abstract’ı izlemelidir.

#### **Anahtar Kelimeler**

Öz ve Abstract’ın altında 7 kelimeyi aşmayacak şekilde ve yazının konusunu yansıtan anahtar kelimeler Türkçe ve İngilizce olarak verilmelidir. Anahtar kelimeler, alfabetik sırayla küçük harfle (ilk anahtar kelimenin ilk harfi büyük) yazılmalı ve aralarına virgül konmalıdır. Teknik Not ve Tartışma türü yazılarda anahtar kelimelerin verilmesine gerek yoktur.

#### **Kaynaklar**

Gerek metinde, gerekse şekil ve çizelge açıklamalarında atıfta bulunulan tüm kaynaklar, metnin sonunda “KAYNAKLAR” başlığı altında listelenmelidir. Tek veya iki yazarlı makalelerde yazarlara atıfta bulunulmalıdır (örneğin; Barka ve Cadinsky-Cade, 1988; Hudson, 1997). İki'den fazla yazarlı makalelerde ilk yazarın adının yanına “vd.” (makale Türkçe yazılmış ise) veya “et al.” (makale İngilizce yazılmış ise) eki ve yazar adlarıyla yayım tarihi arasına da virgül konmalıdır (örneğin; Vendeville vd., 1995 veya Vendeville et al., 1995).

Metin içinde kaynaklara atıfta bulunurken, kaynaklar en eski tarihten başlayarak en güncel doğru tarih sırasıyla verilmeli



ve her kaynağın arasına noktalı virgül konmalıdır (örneğin; “Laboratuvar ve arazide çeşitli çalışmalar Komar ve Li (1986); Schmidt ve Gintz (1995) tarafından yapılmıştır”). Makalenin İngilizce yazılması halinde, yukarıda verilen örneklerdeki “ve” ile “vd.”nin yerine “and” ve “et al.” kullanılmalıdır.

Eğer bir kaynağa doğrudan ulaşılamıyor, ancak diğer bir kaynaktan dolaylı olarak alınıyorsa, ulaşılamayan bu kaynak alıntı yapılan diğer kaynakla birlikte aşağıda belirtilen şekilde çapraz referans olarak verilmelidir: “.....Gamble (1971; Franklin ve Chandra, 1972). Sözlü ve yazılı görüşmelere de, yukarıda belirtilen örneklerle benzer şekilde, metin içinde atıfta bulunulmalı ve ayrıca Kaynaklar dizininde de yer verilmelidir (örneğin; Gerçek (2001)).

#### ***Atıfta bulunulan kaynakların “KAYNAKLAR” bölümünde sunulmasına ilişkin örnekler***

##### ***(a) Dergiler***

Barka, A.A., and Kadinsky-Cade, K., 1988. Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. *Tectonics*, 7, 663-684.

Yazar(lar), Tarih. Makalenin başlığı. Derginin Açık Adı, Cilt (No.), sayfa no.

##### ***(b) Bildiri Tam Metinleri ve Bildiri Özleri***

*Bildiri tam metinleri:*

Stephansson, O., 2003. Estimation of virgin state of stress and determination of final rock stress model. Proceedings of the 3rd International Symposium on Rock Stress-RS Kumamoto’03, K.Sugawara, Y.Obara and A.Sato (eds.), A.A.Balkama, Tokyo.

*Bildiri özlere:*

Bouchon, M., Toksöz, M.N., Karabulut, H., Boun, M.P., Dictrich, M., and Aktar, M., 2002. Space and times evaluation of rupture and faulting during the 1999 Gölcük, İzmit (Turkey) earthquake. 1st International Symposium of the Faculty of Mines (İTÜ) on Earth Sciences and Engineering, İTÜ, İstanbul, Abstracts, p.51.

Yazar(lar), Tarih. Bildirinin başlığı. Sempozyum veya Kongrenin Başlığı, Editör(ler)in Adı (eds.), Basımevinin Adı ve Yeri, (Cilt No, verilmişse), sayfa no.

*CD’ye yüklenmiş bildiriler:*

Aydan, Ö., Sezaki, M., and Yazar, R., 1996. The seismic characteristics of Turkish earthquakes. 11th World Conference on Earthquake Engineering, Acapulco, Mexico, CD Paper No. 1025.

##### ***(c) Kitaplar***

Turcotte, D.L., 1975. *Fractals and Chaos in Geology and Geophysics*. Cambridge University Press, Cambridge.

Yazar(lar), Tarih. Kitabın Adı. Basımevinin Adı ve Yeri.

##### ***(d) Yayınlanmış Raporlar ve Tezler***

Fairhurst, C., Brown, E.T., Marsly, G., Detounay, E., Nikolaevskiy, V., Pearson, J.R.A., and Townley, L., 1998. Underground nuclear testing in French Polynesia : Stability and hydrogeology issues. Report of International Geomechanical Commission to the French Government, Vol. I and II.

Yazar(lar), Tarih. Raporun Başlığı. Kuruluşun Adı, Rapor No., Yer adı (yayımlanmamış, raporun dili).

##### ***(e) Yayımlanmamış Raporlar ve Tezler***

Deere, D.U., and Miller, R.P., 1966. Engineering classification and index properties for intact rock. Air Force Weapons Laboratory, Technical Report No. AFWL-TR-65-116, Kirtland Air Force Base, New Mexico (unpublished).

Yazar(lar), Tarih. Raporun başlığı. Kuruluşun Adı, Rapor No., Kent Adı (yayımlanmamış).

Meyer, W.H., 1977. Computer modeling of electro-magnetic prospecting methods. PhD Thesis, University of California, Berkeley, USA (yayımlanmamış).

Yazar, Tarih. Tezin başlığı. Tezin türü (Y. Lisans veya Doktora), Üniversite veya Enstitü Adı, Kent Adı (yayımlanmamış).

##### ***(f) Kişisel Görüşme:***

Gerçek, H., 2001. Kişisel görüşme. Karaelmas Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak.

##### ***(g) İnternette İndirilen Bilgiler***

ERD (Earthquake Research Department of Turkey), 2005. <http://www.gov.tr>, 3 April 2005.

Kuruluş Adı, Tarih. Web adresi, web sitesine giriş tarihi.

Türkçe kaynaklar doğrudan Türkçe olarak verilmeli ve Türkçe karakterlerle yazılmalıdır. Türkçe kaynaklarla ilgili bazı örnekler aşağıda verilmiştir. Bu kaynakların başlıklarının İngilizce verilmesi veya makalenin İngilizce yazılması halinde kaynağın en sonuna parantez içinde “in Turkish” ibaresi eklenmelidir.

Gülsoy, Ö.Y., Orhan, C.E., Can, N.M. ve Bayraktar, İ., 2004. Manyetik ayırma ve flotasyonla magmatik ve metamorfik kayalardan feldispat üretimi. *Yerbilimleri*, 30, 49-61.

Doğan, R., 2003. Kırşehir Masifi kuzeyinin tektonik ve magmatik evrimi konusunda bazı düşünceler. 55. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özleri, 66-67.

Ketin, İ. ve Canitez, N., 1972 .Yapısal Jeoloji . İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu, İstanbul.

Sönmez, H., 1999. Soma linyitleri açık işletmelerinde eklemli kaya kütlesi içindeki şevlerin duraylılığının değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.

“Hazırlanmakta” veya “incelemeye sunulmuş” olan makalelere veya bildirilere atıfta bulunulmamalı ve Kaynaklar dizininde yer verilmemelidir. Çapraz referans verilmesi halinde, kaynaklar dizininde sadece orijinal kaynağın alındığı diğer kaynağın dolaylı olarak verilmesi gerekir. Aynı yazarın veya çok yazarlı yayımlarda ilk yazarın adının bulunduğu ve aynı tarihte yayımlanmış birden fazla sayıda kaynak için, kaynakların ayırt edilebilmesi açısından yayın tarihlerinin yanına “a”, “b” gibi harfler eklenmelidir (örneğin; Goodman 1988a ve 1988b).

### **Katkı Belirtine**

Katkı belirtme, kısa olmalı ve teşekkür edilecek olanlar çalışmaya en önemli katkıyı sağlayan kişilerin ve/veya kuruluşların adlarıyla sınırlandırılmalıdır. Teşekkür edilecek kişilerin açık adları unvanları belirtilmeksizin verilmeli, ayrıca bu kişilerin görevli oldukları kurum ve kuruluşların adları da eklenmelidir.

### **Eşitlikler ve Formüller**

Matematiksel semboller ve formüller el yazısıyla yazılmamalıdır. Eşitlik numaraları eşitliğin hizasında ve sağ kenarına dayandırılarak birbirini izleyen bir sırayla parantez içinde, ayrıca eşitliklerdeki sembollerin anlamı makalede ilk kez kullanıldıkları eşitliğin altında verilmelidir.

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (1)$$

Burada; t makaslama dayanımı, c kohezyon,  $\sigma$  normal gerilme ve  $\phi$  içsel sürtünme açısıdır”.

Eşitliklerde kullanılan alt ve üst indisler belirgin şekilde ve daha küçük karakterle yazılmalıdır (örneğin; Id, x2). Karekök işareti yerine parantezle birlikte üst indis olarak 0.5 kullanılmalıdır (örneğin; scmass = scs0.5). Çarpım işlemini göstermek için herhangi bir işaret kullanılmamalı, ancak gerekli durumlarda “\*” işareti tercih edilmelidir (örneğin;  $y = 5 \cdot 10^{-3}$ ). Bölme işareti olarak yatay çizgi yerine “/” işareti kullanılmalıdır. Kimyasal formüllerde iyonların gösterilmesi amacıyla  $Ca^{++}$  ve  $CO_3^{--}$  yerine  $Ca^{+2}$  ve  $CO_3^{-2}$  tercih edilmelidir. Metinde eşitliklere “eşitlik (1)” şeklinde atıfta bulunulmalıdır. Gerekliyse, bilgisayar programı listeleri de net ve okunur şekilde ekte verilmelidir.

### **Çizelgeler**

Çizelgeler, başlıklarıyla birlikte (çizelge başlıkları ayrı bir sayfada liste halinde verilmemelidir), derginin sayfalarındaki baskı alanını (15.8 cm x 22.5 cm) aşmayacak şekilde hazırlanmalı, metnin sonunda her bir çizelge ayrı birer sayfada bulunacak şekilde ve birbirini izleyen sıra numaralarıyla verilmelidir. Çizelgelerin üst kısmında hem Türkçe, hem de İngilizce başlıkları bulunmalıdır. Makalenin Türkçe yazılması halinde İngilizce başlık italik harflerle Türkçe başlığın altında yer almalı, İngilizce makalelerde ise, italik yazılmış Türkçe başlık İngilizce başlıktan sonra verilmelidir. Çizelgeler, “Çizelge 1” vb. şeklinde sunulmalıdır. Metinde çizelgelere Çizelge 1 veya Çizelge 1 ve 2 (eğer birden fazla sayıda çizelgeye atıfta bulunulacaksa) şeklinde değinilmelidir. Çizelgeler, metinde kullanılan karakterlerden daha küçük (10 veya 11 punto) karakterle yazılmalı ve derginin tek (7.3 cm-Genişlik) veya çift (15.8 cm-Genişlik) kolonuna sığacak şekilde düzenlenmelidir.

Çizelgelerde düşey çizgiler kullanılmamalı, yatay çizgiler ise sadece çizelgenin alt ve üstünde, ayrıca çizelgedeki başlıklar ile bunların altında listelenen rakamları ayırmak için kullanılmalıdır (Bunun için derginin önceki sayılarına bakılması önerilir). Çizelgelerde makalenin diğer kısımlarında verilen bilgi veya sonuçların (örneğin grafikler vb.) tekrar verilmemesine özen gösterilmelidir. Her çizelge ayrı sayfalarda olacak şekilde metnin sonunda (Kaynaklar dizininden sonra) sunulmalıdır. Çizelgelerdeki kısaltma ve simgeler daha küçük karakterlerle çizelgelerin altında verilmelidir (örneğin; sc: tek eksenli sıkışma dayanımı; II: illit vd.).

### **Şekiller**

Çizim, grafik ve fotoğraf gibi tüm şekiller “Şekil” başlığı altında ve metin içinde anıldıkları sırayla numaralandırılarak verilmelidir. Şekillerin her biri JPG olarak hazırlanmalı şekil numarası yazılmalıdır. Dergi siyah-beyaz basılacağı için, yazarlar hazırlanan şekillerde bu hususu dikkate almalıdırlar. Şekil açıklamaları; Şekillerin altına yazılmamalı ve ayrı bir sayfaya konularak “Şekiller Dizini” başlığıyla verilmeli, ayrıca “Şekil 1.” olarak başlamalıdır. Çizelgeler için yukarıda belirtilen yazım kurallarına benzer şekilde, şekil başlıkları hem Türkçe, hem de İngilizce hazırlanmalıdır. Şekiller için en büyük boyut, şekil başlığını da içerecek biçimde 15.8 cm (Genişlik) x 22.5 cm (uzunluk) olmalıdır. Tüm şekillerin derginin tek veya çift kolonuna sığacak boyutlarda hazırlanması ve mümkünse daha çok tek kolona göre tasarlanması önerilir.

Özellikle haritalar, araziyle ilgili çizimler ve fotoğraflar, sayısal ölçek (1:25,000 vb.) yerine, metrik sisteme uygun çizgi ölçekle verilmelidir. Tüm haritalarda kuzey yönü gösterilmelidir. Bölgesel haritalarda, uygun olduğu takdirde, ulusal grid veya enlem/boylam değerleri verilmelidir. Harita açıklamaları, şekil başlığıyla birlikte değil, şeklin üzerinde yer almalıdır. Fotoğraflar, çizimler veya bunların birlikteliğinden oluşan şekiller (a), (b) vb. gibi gruplar halinde verilebilir. Bu tür sunumlarda (örneğin; Şekil 5a ve 5b) a, b, c vb. gibi tek bir şekle ait çizimler veya fotoğraflar ayrı sayfalarda olması yerine, gruplandırılarak aynı sayfada sunulmalıdır. Şekillerde açık gölge ve tonlarından kaçınılmalı, özellikle bilgisayar programlarından elde edilen gra-

fiklerde bu hususa dikkat edilmelidir. Gölgeleme belirgin, fotoğraflar siyah-beyaz ve iyi bir kontrasta sahip olmalıdır. Tüm şekiller, Şekil 1 veya Şekil 1 ve 2 (birden fazla şekle değiniliyorsa) gibi ve metinde anıldıkları sırayla numaralandırılmalıdır. Bir dizi fosil fotoğraflarını içeren şekiller Levha olarak değerlendirilmelidir. Levhalara ilişkin açıklamalar, hem Türkçe hem İngilizce olarak aynı sayfada verilmelidir.

#### **Ekler**

Yöntemlere (bilinen yöntemler hariç) ilişkin özel ayrıntılar veya matematiksel işlemler için makalelerde eklere yer verilebilir. Bilgisayar programı listeleri de ek olarak kabul edilir.

#### **YAYIMA KABUL EDİLEN MAKALELERİN SUNUMU**

Yazarlar, makalelerinin yayıma kabulü halinde, makalenin düzeltilmiş son kopyasını elektronik ortamda Baş Editör'e göndermelidir. Makaleler WORD ile hazırlanmalıdır. Tüm şekiller her bir şekil 300 dpi'den az olmamak koşuluyla JPG olarak ayrı sayfalarda yer almalıdır.

#### **PROVA BASKILAR**

Makalenin prova baskıları dizgi ve yazım hatalarının olup olmadığının kontrolü için Başvurulacak Yazar'a gönderilir. Prova baskılarda yapılacak düzeltmeler yazım hataları ile sınırlı olup, yazarların makaleyi kabul edilmiş son halinden farklı bir duruma getirebilecek değişiklikler ve düzeltmeler yapması kabul edilmez. Prova baskılar, yazarlar tarafından alındıktan sonra en geç üç gün içinde Baş Editör'e gönderilmelidir. Gecikmeli olarak yapılacak düzeltmelerin baskıya verilmesi garanti edilmeyeceği için, yazarların prova baskıları göndermeden çok dikkatli şekilde kontrol etmeleri önerilir.

#### **TELİF HAKLARI**

Yazar veya Başvurulacak Yazar (birden fazla yazarlı makalelerde), kendisi ve diğer yazarlar adına "Telif Hakkı Devir Formu"nu makalenin baskıya verilmesinden önce imzalamalıdır. Bu sözleşme, Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi'ne yazarlar adına telif hakkı alınmış yayınlarını koruma olanağı sağlamakla birlikte, yazar(lar)ın makalenin sahibi olma haklarından vazgeçtiği anlamına gelmemektedir. Telif Hakkı Devir Formu, en kısa sürede Baş Editör'e gönderilmelidir. Bu form Baş Editör'e ulaştırılıncaya değin, makale yayına kabul edilmiş olsa bile, baskıya gönderilmez.

#### **Baş Editör**

Prof. Dr. Mehmet Tekin YÜRÜR

Yerbilimleri Dergisi

Adres: Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Beytepe Kampüsü, 06800 Çankaya, Ankara

E-posta: yerbilimleri@hacettepe.edu.tr

Tel: 0 312 7807797

Fax: 0 312 2992075

# INSTRUCTIONS FOR CONTRIBUTORS

## STATEMENT OF EDITORIAL AND PUBLICATION POLICIES

Manuscripts submitted to YERBİLİMLERİ/Bulletin for Earth Sciences should have not been published or simultaneously submitted elsewhere. The overlap of contents between related papers should be at minimum, and normally confined to the introductory/discussion sections.

Authors should consult the Journal's "**Instructions for Contributors**" for detailed stylistic guidelines during preparation of their manuscript. Editors may return manuscripts that are grossly inconsistent with these guidelines. One individual will need to be the Corresponding Author where the submitted manuscript is multi-authored. It will be assumed that all the authors have been involved in the work, have approved the manuscript, and have agreed to its submission.

Manuscripts submitted to the Journal are initially evaluated by the Editor-in-Chief and Editors. The Editor-in-Chief then allocates the manuscript to an Associate Editor, to handle the reviewing, revision and acceptance or rejection procedures. Manuscripts are sent to at least two reviewers selected from the Editorial Advisory Board and/or external specialists. Reviewers are requested to treat the manuscript confidentially. They may choose to identify themselves or to remain anonymous. After the reviewers' comments have been received, the Editor-in-Chief and an Editor also review the papers. The Editor-in-Chief's judgment is final with regard to the review process and suitability for publication.

## TYPES OF CONTRIBUTIONS

The Journal is concerned with original research, new developments, and case studies in earth sciences (geology, geophysics, mining, and geomorphology). The two main types of contributions are "Original Research Papers" and "Technical Notes". Ideas, preliminary results and confirmations on existing techniques are suitable as Technical Notes. In general, Technical Notes are shorter than papers and do not require Abstracts. In addition, "Comprehensive Reviews" and "Discussion" of papers that have already appeared in the Journal may also be submitted. Discussions should not exceed three pages. There is no provision for the publication of Discussion of Technical Notes.

## SUBMISSION OF MANUSCRIPTS

Submissions could be sending electronically, via the internet. Submissions should be in 2 word files as "Cover Page" and "Main Document". Contact information (e.g., address, e-mail, phone number) of all authors should be in cover page. Main Document is a file that includes title, abstract, keywords, main body, conclusions, acknowledgements, references. Table and figure captions as well as figures should also be at the end of main document. Line numbers should be added in main document. Figure, table captions and title of the manuscript should also be given in English (English manuscripts should contain Turkish title, figure and table captions). Main document should be arranged according to instructions. All files should be prepared as Word documents.

Authors should remain a copy of their manuscript, since the editors cannot accept responsibility for loss of papers.

## PREPARATION OF MANUSCRIPTS

The language of the Journal is both Turkish and English. If the author(s) are residents of a non-Turkish speaking country, titles, abstracts, and captions of figures and tables are translated into Turkish by the Journal. For manuscripts submitted in English, either British or American spelling is acceptable. It is strongly recommended that authors whose native language is not English, should ask a person whose native language is English to check the grammar and style of manuscript before submission. Manuscripts should generally be structured as follows:

- (a) Title
- (b) Names of authors (bold and in capital) and their affiliations (italic and lower-case). The name and E-mail address of the corresponding author must appear at the bottom of the first page (in the left margin).
- (c) Abstract
- (d) Key words
- (e) Introduction (aim, content and methodology)
- (f) Main text (methods, material studied, descriptions, analyses etc.)
- (g) "Results and Discussion" or "Conclusions and Recommendations"
- (h) Acknowledgements (if necessary)
- (i) References
- (j) Appendices (if necessary)
- (k) Tables
- (l) List of figure captions
- (m) Figures
- (n) Plates (if any)

The various levels of headings used in the manuscript should be clearly differentiated. All headings should be in left-aligned. Major headings should be bold capitals. Secondary headings should be considered as sub-headings. Primary- and secondary-subheadings should be given in lower-case and tertiary headings in italics. Headings should not be preceded by numerals or letters. Manuscripts (abstract, main text, acknowledgments, references, appendices and figure captions) should be typed on one side of the paper (A4 size: 29.7 cm x 21 cm) with wide margins (at least 2.5 cm) and 1.5 line-spaced throughout, at a font size of 12 point (Arial) and with all pages numbered. All pages and all lines in the text (including headings) should be numbered.

## **ÖZ**

### **ABSTRACT**

### **INTRODUCTION**

### **PRIMARY HEADING**

#### **Primary Sub-Heading**

#### **Secondary sub-heading**

#### *Tertiary sub-heading.*

### **CONCLUSIONS**

### **ACKNOWLEDGEMENTS**

### **REFERENCES**

SI units (e.g. kPa, MPa, kN/m<sup>3</sup>) should be used, although corresponding metric units can be added in parentheses if desired (e.g. “The unit weight and compressive strength of the investigated sandstone are 24 kN/m<sup>3</sup> (2.4 kg/m<sup>3</sup>) and 60 MPa (600 kgf/cm<sup>2</sup>), respectively).

A dot should be used instead of a comma to show decimal fractions (e.g. 23.1). Symbols (such as  $\sum$ ,  $\sqrt{\quad}$ ) should not be used in the manuscript. Instead of these, please use letters or numbers (i.e. (a), (b), .....or (i), (ii) ..., or (1), (2)). Foot notes should be avoided especially if they contain information which could equally well be included in the text. The use of proprietary names should be avoided. Papers essentially of an advertising nature will not be accepted. In the case of acceptance for publication, concise well-prepared papers in the Journal style are likely to be published sooner than those in need of extensive editing and revision.

### **Cover Page**

A cover page, separate from the main manuscript, must include the followings:

- a. Title of the paper
- b. Name(s) of author(s) (full forenames should be given)
- c. Full postal and e-mail addresses of all authors (the corresponding author should be indicated). Phone numbers for the corresponding author should also be provided.

### **Title and Authors**

The title of the paper should unambiguously reflect its content with reasonable length. If the paper is written in Turkish, the Turkish title (in bold-face type and lower-case) should be followed by the English title (italic and lower-case). If the paper is in English, the English title should appear before the Turkish title in the style mentioned above.

### **Abstract**

The abstract not exceeding 300 words should be informative (aim of the study and main conclusive remarks). It should not contain references. The Abstract should be given in both Turkish and English. If the paper is written in Turkish, an English abstract (in italics) should follow the Turkish abstract, while a Turkish abstract (in italics) should appear after the English abstract in papers written in English.

### **Key Words**

The Abstract should include not more than 7 key words which reflect the entries the authors would like to see in an index. Key words should be given in both Turkish and English. Key words should be written in lower-case letters, separated by commas, and given in alphabetical order. For Technical Notes and Discussions, key words should not be provided.

### **References**

All references cited in the text, and in captions of figures and tables should be presented in a list of references under a heading of “REFERENCES” following the text of the manuscript. For single or dual-author papers, refer to the author(s) name(s) (without initials) and the year of publication in parentheses (e.g. Barka and Kadiansky-Cade (1988); Hudson (1990)). For publications written by more than two authors, the name of the first author should be used, followed by “et al.” and a comma should be put between the authors’ names and the year of publication (e.g. Vendeville et al., 1995). The list of references in citations should be arranged chronologically from the earliest to the most recent, and separated by semi-colons (e.g. “Several studies, including both field and laboratory experiments (Komar and Li, 1986; Schmidt and Ergenziger, 1992; Carling et al., 1992; Schmidt and

Gints, 1995) were carried out.”). If reference is not directly obtained but can be found in another reference, cross-reference should be given as follows: “.....Gamble (1971; Franklin and Chandra, 1972)”. For verbal or written personal communications, the reference should be given in the text as above (e.g. Gerçek (2001)) and also be cited in the reference list.

### **Examples of layout of references**

#### **(a) Journals**

Barka, A.A., and Kadinsky-Cade, K., 1988. Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. *Tectonics*, 7 (1), 663-684.

Author(s), Date. Title of paper. Full Name of Journal, Vol. (No), pages.

#### **(b) Proceedings and Abstracts**

##### **Proceedings:**

Stephansson, O., 2003. Estimation of virgin state of stress and determination of final rock stress model. Proceedings of the 3rd International Symposium on Rock Stress-RS Kumamoto'03, K. Sugawara, Y. Obara and A. Sato (eds.), A.A. Balkama, Tokyo.

##### **Abstracts:**

Bouchon, M., Toksöz, M.N., Karabulut, H., Boun, M.P., Dietrich, M., and Aktar, M., 2002. Space and times evaluation of rupture and faulting during the 1999 Gölcük, İzmit (Turkey) earthquake. 1st International Symposium of the Faculty of Mines (İTÜ) on Earth Sciences and Engineering, İTÜ, İstanbul, Abstracts, p.51.

Author(s), Date. Title of paper. Title of Symposium or Congress, Name of Editor(s), Name and Location of Publisher, Vol. (if any), pages

##### **Proceedings on CD:**

Aydan, Ö., Sezaki, M., and Yazar, R., 1996. The seismic characteristics of Turkish earthquakes. 11th World Conference on Earthquake Engineering, Acapulco, Mexico, CD Paper No. 1025..

#### **(c) Books**

Turcotte, D.L., 1975. Fractals and Chaos in Geology and Geophysics. Cambridge University Press, Cambridge.

Author(s), Date. Name of Book. Name and Location of Publisher.

#### **(d) Published Reports**

Fairhurst, C., Brown, E.T., Marsly, G., Detounay, E., Nikolaevskiy, V., Pearson, J.R.A., and Townley, L., 1998. Underground nuclear testing in French Polynesia: Stability and hydrogeology issues. Report of International Geomechanical Commission to the French Government, Vol. I and II.

Author(s), Date. Title of report. Name of Organization, Vol. (if any).

#### **(e) Unpublished Reports and Thesis**

Deere, D.U., and Miller, R.P., 1966. Engineering classification and index properties for intact rock. Air Force Weapons Laboratory, Technical Report No. AFWL-TR-65-116, Kirtland Air Force Base, New Mexico (unpublished).

Author(s), Date. Title of report. Name of Organization, Report No., Name of City (unpublished).

Meyer, W.H., 1977. Computer modeling of electro-magnetic prospecting methods. PhD Thesis, University of California, Berkeley, USA (unpublished).

Author, Date. Title of thesis. Type of Thesis (MSc or PhD), Name of University or Institution, City, Country (unpublished).

#### **(f) Personal Communications**

Gerçek, H., 2001. Personal communication. Mining Engineering Department of Karaelmas University, Zonguldak, Turkey.

#### **(g) Information Downloaded from the Internet**

ERD (Earthquake Research Department of Turkey), 2005. <http://www.gov.tr>, 3 April 2005.

Name of the Organization, Date. Web address, date of access to website.

Turkish references can also be given directly in Turkish. For such references please use Turkish characters. Some examples are given below.

Gülsoy, Ö.Y., Orhan, C.E., Can, N.M. ve Bayraktar, İ., 2004. Manyetik ayırma ve flotasyonla magmatik ve metamorfik kayalardan feldispat üretimi. *Yerbilimleri*, 30, 49-61.

Doğan, R., 2003. Kırşehir Masifi kuzeyinin tektonik ve magmatik evrimi konusunda bazı düşünceler. 55. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özleri, 66-67.

Ketin, İ. ve Canitez, N., 1972. Yapısal Jeoloji. İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu, İstanbul.

Nazik, L., Törk, K., Özel, E., Mengi, H., Aksoy, B. ve Acar, C., 1998. Kuzey ve kuzeydoğu Trakya (Kırklareli- Tekirdağ)'daki doğal mağaralar. MTA Genel Müdürlüğü, Rapor No. 4384, Ankara (yayımlanmamış).

Sönmez, H., 1999. Soma linyitleri açık işletmelerinde eklemli kaya kütlesi içindeki şevlerin duraylılığının değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara (yayımlanmamış).

Papers “in preparation” or “submitted” are not valid references. In the case of cross-referencing, only the reference in which the otherwise inaccessible reference is found should appear in the list of references. For references, whose authors and dates of publication are the same, the letters “a, b,” etc. should follow the date of each reference (e.g. Goodman, 1988a and 1988b).

### Acknowledgements

Acknowledgements should be brief and confined to persons and organizations that have made significant contributions. Please use full names without titles and indicate name(s) of the organization(s) of the person(s) acknowledged.

### Mathematical Expressions

Mathematical symbols and formulae should be typed. Equation numbers should appear in parentheses at the right-hand side of the equations and be numbered consecutively. For Greek or other non-Roman letters, identify the symbol in words in the left-hand margin just below the equation the first time it is used. In addition, the meaning of symbols used in equations should be given below the equations.

$$\tau = c + \sigma \tan \theta \quad (1)$$

Where  $\tau$  is the shear strength,  $c$  is cohesion,  $\sigma$  is normal stress and,  $\theta$  is internal friction angle.”

Subscripts and superscripts should be given clearly and written in smaller character (e.g.  $I_d, x_2$ ). Instead of square-root symbol, an indice of 0.5 should be used (e.g.  $y = 5x^{0.5}$ ). For the of multiplication sign do not use any symbol, however if necessary, the symbol “\*” can be preferred (e.g.  $y=5*10^{-3}$ ). Please use “/” for division instead of a horizontal line between numerator and denominator. In the expression of chemical reactions, ions should be given as  $Ca^{2+}$  and  $CO_3^{2-}$  (not  $Ca^{++}$  and  $CO_3^{-}$ ). In the text, equations should be referred to as equation (1). Computer program listings, if appropriate, must be very clear in an Appendix.

### Tables

Tables with their titles should not exceed the printed area of the page (15.8 cm (wide) x 22.5 cm (deep)), be represented in separate pages and be numbered consecutively. Both Turkish and English titles should appear at the top of a table. If the manuscript is written in Turkish, English title in italics should follow the Turkish title. For manuscripts in English, a Turkish title should appear below the English title in italics. They should begin “Table 1.” etc. Tables should be referred to as Table 1 or Tables 1 and 2 (if more than one table is referred to). Tables can be written in a font size smaller than that of the text (10 or 11 point). Tables should be arranged to fit single column (7.3 cm wide) or double column (15.8 cm wide). No vertical rules should be used. Horizontal rules should only be used at the top and bottom of the tables, and to separate headings and numbers listed in the tables (Please check the previous issues of the Journal). Tables should not duplicate results presented elsewhere in manuscript (e.g. in graphs). Each table should be represented on an separate page and appear after the text (after references). All abbreviations and symbols must be identified with smaller character underneath the tables (e.g.  $\sigma_c$ : uniaxial compressive strength;  $Il$ : Illite; etc).

### Illustrations

All illustrations, whether diagrams, charts and photographs, should be of high quality JPG format, referred to as “Figures” and be numbered consecutively as they appear in the text. The number of the figure should be given at top on the right-hand side of the paper. Illustrations should be provided in camera-ready form (grayscale), suitable for reproduction (which may include reduction) without retouching. Figure captions should be supplied on a separate sheet and should begin “Figure 1.” etc. As with the rules given for tables, figure captions should also be given both in Turkish and English. All illustrations should be given offer tables together with a list of figure captions. The maximum size of illustrations is 15.8 cm (wide) x 22.5 cm (deep) together with figure captions. It is recommended that all illustrations should be designed with the Journal’s single-column or two-column layout in mind, and where possible, illustrations should be designed for a single column. Foldout and colored illustrations are not accepted.

Illustrations, particularly maps, field sketches and photographs should have a metric bar scale rather than magnification factors. All maps should have a north mark. Regional maps may include National Grid or latitude/longitude number where appropriate. Map keys should be given on the figure, not in the figure caption.

Photographs, line drawings, or combinations may be grouped as figure parts (a), (b), etc. It is preferred that these are mounted. Letters or numerals should not be less than 1 mm after reduction. Avoid fine shading and tones, particularly from computer graphics packages. Shading should be distinct. Photographs must be black and white and sharp, and exhibit good contrast.

All illustrations must be numbered in the order in which they are referred to and discussed in the text as Figure 1 or Figures 1 and 2 (if more than one figures is referred to). Illustrations consisting of a set of fossil photographs should be given as “Plates”. The number of plates should be kept to a minimum. Explanations of plates should be given in both Turkish and English on the same page.

## **Appendices**

Appendices are encouraged for specific details of methods (except known methods) or mathematics. Computer program listings are also accepted as appendices.

## **FINAL SUBMISSION OF MANUSCRIPTS ACCEPTED FOR PUBLICATION**

On acceptance of a manuscript, authors should send the digital copy of the revised final draft to the Editor-in-Chief via e-mail. Manuscripts should be processed in WORD format. All illustrations should be sent as JPG files (not less than 300 dpi resolution) individually.

## **PROOFS**

One set of page proofs are sent to the corresponding author to be checked for typesetting/editing errors. Corrections should be restricted to typesetting errors, change or corrections that constitute departures from the article are not accepted. Proofs should be returned to the Editor-in-Chief within 3 days of receipt. Please note that the authors are urged to check their proofs carefully before return, since the inclusion of late corrections cannot be guaranteed.

## **COPYRIGHT**

The author or corresponding author on behalf of all authors (for papers with multiple authors) must sign the "Copyright Transfer" agreement before the article can be published. This transfer agreement enables the Earth Science Application and Research Center of Hacettepe University to protect the copyrighted material for the authors, but does not relinquish the authors' proprietary rights. The Copyright Transfer form should be sent to the Editor-in-Chief as soon as possible. Manuscripts accepted for publication will not be sent to print until this form is received by the Editor-in-Chief.

## **Editor-in-Chief**

Prof. Dr. Mehmet Tekin YÜRÜR

Yerbilimleri Dergisi/Bulletin for Earth Sciences

Address: Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Beytepe Kampüsü, 06800 Çankaya, Ankara, Turkey

E-mail: [yerbilimleri@hacettepe.edu.tr](mailto:yerbilimleri@hacettepe.edu.tr)

Phone: +90 312 7807797

Fax: +90 312 2992075