

# JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ

*Journal of Geological Engineering*

*Cilt - Volume 38*

*Sayı - Number 2*

*ISSN 1016 - 9172*

*Aralık / December 2014*



**TMMOB JEOLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI**  
**Chamber of Geological Engineers of Turkey**

## **EDİTÖR / EDITOR**

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

## **TEKNİK EDİTÖR / TECHNICAL EDITOR**

Yavuz KAYA  
Orta Doğu Teknik Üniversitesi  
Jeoloji Mühendisliği Bölümü

## **Makale Gönderim Adresi:**

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

**Yayın Türü:** Yaygın Süreli Yayın  
**Yayın Şekli:** Yılda 2 kez (6 ayda bir)  
Türkçe

**Yayın Sahibi:** TMMOB JMO Adına  
Hüseyin ALAN

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

**Baskı:** Afşaroğlu Matbaası,  
Kazım Karabekir Cad. Altıntop İşhanı  
No:87/7 İskitler/Ankara  
Tel : (0312) 384 54 88  
Baskı Tarihi : Ocak 2015  
Baskı Adedi : 1000

## **Yayın Kurulu / Editorial Board**

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

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

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

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

Hüseyin ALAN	Başkan / President
Faruk İLGÜN	İkinci Başkan / Vice President
Murat ATEŞOĞULLARI	Yazman / Secretary
Halil İbrahim YİĞİT	Sayman / Treasurer
Ümit UZUNHASANOĞLU	Mesleki Uygulamalar Üyesi / Member of Professional Activities
Rengin KONUK	Sosyal İlişkiler Üyesi / Member of Social Affairs
Nedret Beril AÇIKGÖZ	Yayın Üyesi / Member of Publication

*Jeoloji Mühendisliği Dergisi JMO yayını olup para ile satılmaz.*

## **İçindekiler / Contents**

### **Makaleler / Articles**

- 
- 53- Cem KINCAL, Doğan KARAKUŞ, Ahmet Hakan ONUR, Mehmet Yalçın KOCA**  
**Sübidans Nedeniyle Elek Yolu ve Açık Ocak Şevlerinde Meydana Gelen Deformasyonların Değerlendirilmesi: Soma-Kısrakdere Kömür Sahası için Örnek Bir Çalışma**  
*Evaluation of the Deformations Occured in the Run-Off Mine Road and Open-Pit Slopes Due to the Subsidence: A Case Study for Soma-Kısrakdere Coal-Field*
- 73- Ali KAYABAŞI**  
**Taşıma Gücü ve Oturma İncelemelerinde Menard Pressiyometre Deneyinin Uygulanması: Kuloğlu HES RegülatörüYerinde Bir Örnek Çalışma (Kars, Türkiye)**  
*Application of the Menard Pressuremeter Test for the Bearing Capacity and Settlement Analysis: A Case Study at Kuloğlu Hydro-Electric Central (HEC) Regulator Site (Kars, Turkey)*
- 103- Hakan ELÇİ, Necdet TÜRK, İsmail İŞİNTEK**  
**İzmir Karaburun Yarımadasındaki Farklı Kireçtaşlarının Beton Agregası Olarak Değerlendirilmesi**  
*Evaluation of Different Limestones as Concrete Aggregate in İzmir Karaburun Peninsula*
- 135- Zeynep ÖZDEMİR, Semiha ZORLU, Mustafa AKYILDIZ**  
**Kırka (Eskişehir), Bigadiç (Balıkesir) ve Emet (Kütahya) Bor Yatakları Bölgesinde Mn, Zn, Cu, Ni ve Co için Biyojeokimyasal Anomalilerin Araştırılması**  
*Investigation of the Biogeochemical Anomalies for Mn, Zn, Cu, Ni and Co in the Kırka (Eskişehir), Bigadiç (Balıkesir) and Emet (Kütahya) Boron Deposits Area*



## Sübsidans Nedeniyle Elek Yolu ve Açık Ocak Şevlerinde Meydana Gelen Deformasyonların Değerlendirilmesi: Soma-Kısrakdere Kömür Sahası için Örnek Bir Çalışma

*Evaluation of the Deformations Occured in the Run-Off Mine Road and Open-Pit Slopes Due to the Subsidence: A Case Study for Soma-Kısrakdere Coal-Field*

**Cem KINCAL<sup>1</sup>, Doğan KARAKUŞ<sup>2</sup>, Ahmet Hakan ONUR<sup>2</sup>, Mehmet Yalçın KOCA<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İZMİR

<sup>2</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İZMİR

Geliş (received) : 03 Kasım (November) 2014  
 Düzeltme (revised) : 10 Aralık (December) 2014  
 Kabul (accepted) : 12 Aralık (December) 2014

### ÖZ

KM<sub>2</sub> ve KM<sub>3</sub>-linyit damarları, Miyosen yaşlı Soma formasyonu'nda yer alan Kısrakdere kömür zonunda oluşmuştur. Soma-Eynez kömür sahasındaki Neojen yaşlı istifin tabanında yer alan çamurtaşlarını üzerleyen sınırın hemen üzerindeki KM<sub>2</sub>-kömür damarının kalınlığı 1 ile 25 m arasında değişmektedir. Saha, Türkiye'deki belli başlı büyük kömür üretim alanlarından birisidir. Yeraltı kömür üretimi Miyosen yaşlı M<sub>2</sub>-marnlarının üzerinde yer alan KM<sub>2</sub>-kömür damarında yürütülmektedir. Işıklar uzunayak panellerinde yeraltı kömür üretimi nedeniyle oluşturulmuş olan yeraltı açıklıkları yüzeyden 291 m derinliktedir. Kireçtaşı (M<sub>3</sub>) ve marn (M<sub>2</sub>) katmanları, tasman nedeniyle deforme olmuş ve çatlaklı bir yapı kazanmıştır. Böylelikle, oluşan boşlukların birbirleriyle bağlanması ve açıklıklara doğru ilerlemesi, elek yolunun çökmesine neden olmuştur. Tasmandan etkilenen yüzey alanının sınırı etki açısıyla tanımlanır. Tasman, yeraltı açıklıklarının merkezine yakın değil, uzun ayak panellerini düşey olarak kesen fay zonu üzerinde büyük miktarda farklı oturmalara neden olmuştur. Sonuç olarak, sahada asimetric bir sübsidans profili meydana gelmiştir. Yüzeydeki çatlakların boyutu ve yayılımının, sahadaki tasman hareketi tamamlanıncaya kadar artarak devam etmesi beklenmektedir. Elek yolu üzerindeki çatlak desenlerinin gelişiminin, tasman profili boyunca farklılıklar sunduğu belirlenmiştir. Farklı çatlak desenleri, bu profilin çekme ve çökme bölgelerinde gözlenmiştir. Sübsidanslar elek yoluna paralel ve dik alınmış kesitlerde incelenmiştir. Bu nedenle kesitler üzerinde farklı kırılma açıları bulunmuştur. Bunun birinci nedeni; kesitlerin kömür damarına ve faya dik veya paralel konumda olması, ikincisi ise; her iki kesitin birbirlerinden farklı topoğrafyalara sahip olmasıdır. Çünkü Kuzey – Güney yönünde alınmış kesit şevli bir topoğrafyaya sahiptir. Bu çalışmada, çatlak desenleri tasman profilinin oluşturulmasında kullanılmıştır. Kömür üretim panellerinin tesir açısı iki farklı kesitte incelenmiştir. K-G yönünde alınmış kesitte uzun ayak panolarının

C.Kincal

E-posta : cem.kincal@deu.edu.tr

her iki tarafı için sınır açıları sonlu elemanlar yöntemiyle belirlenmiştir. Doğu – Batı yönünde alınmış kesitte yer yüzeyinde gelişmiş farklı tasman çatlak desenleri ve elek yolu boyunca tesis edilmiş noktalardaki deformasyon ölçümleri yardımıyla sınır açıları belirlenmiştir. Her iki yöntemden elde edilen sonuçlar birbiriyle deneştirilmiştir. İki yöntemden elde edilen açısal farkların  $7^\circ$  ile  $10^\circ$  arasında değiştiği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kömür, Deformasyon, Kısrakdere (Soma), Sübsidans.

### ABSTRACT

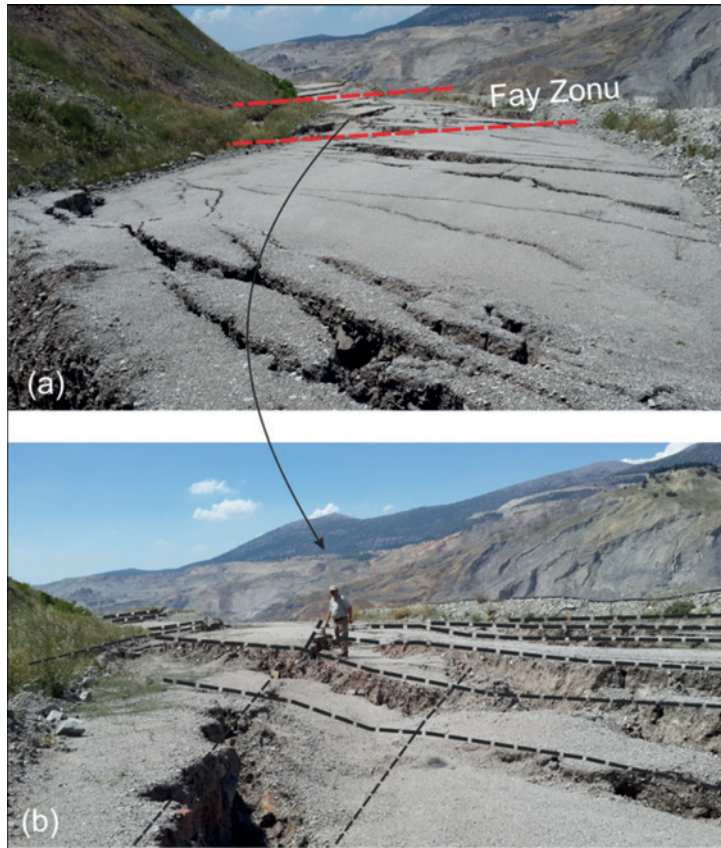
*KM<sub>2</sub> and KM<sub>3</sub>-lignite seams occur in the Kısrakdere coal zone of Miocene aged Soma formation. The thickness of the KM<sub>2</sub> coal seam varies between 1 and 25 meters above the contact with the underlying mudstones at the base of the Neogene sequence in the Soma-Eynez coal field. This field is one of the major coal production areas in Turkey. Underground coal production has been conducted in the KM<sub>2</sub>-coal seam located above the M<sub>2</sub>-marl unit with Miocene in age. Subsurface openings in Işıklar longwall-panels is located at 291 m depth from the ground-surface level created due to the underground coal mining. Limestone (M<sub>3</sub>) and marl (M<sub>2</sub>) layers deformed and formed a jointed structure due to the subsidence. Thus, these voids fractured and collapsed into the openings, with resultant lowering of the ground surface on the run-off mine road. The boundary of the surface area affected from the subsidence is defined by the angle of influence. Subsidence caused differential settlement, with the greatest amount on a fault zone which vertically cuts the longwall panels, not near the center of the opening. As a result, asymmetrical subsidence profile developed in the area. The extend and size of ground surface cracks are expected to increase until the subsidence is completed in the area. The development of ground-crack patterns on the run-away mine showed some differences along the subsidence profile. Different crack patterns were observed in the extraction and the gap zones (subsided zone) of this profile. These patterns were used in the constitution of subsidence profile in this work. Subsidence was investigated in the cross-sections constructed by either vertical or parallel to the run-off mine road. Different break angles were determined on these sections. The causes obtained different break angles are due to the preparation of the cross-sections both parallel and vertical to the fault zone and the coal seam, and different topography. Because the cross-section constructed in N-S direction has a topography with slope. The angle of influence (limit angle) about the coal production panels were investigated in two different cross-sections. In the cross-section with N-S direction, limit angles for both sides of the longwall panel were determined by using the finite element method. In the cross-section with E-W direction, limit angles were determined on the cross-section produced with the help of the different subsidence crack patterns developed on the ground surface and the measurements of deformation on the survey points along the run-off mine road. The results obtained from the two methods were correlated with each other. It was determined that angular differences acquired from the two methods have a range changing between  $7^\circ$  and  $10^\circ$ .*

**Key Words:** Coal, Deformation, Kısrakdere (Soma), Subsidence.

## GİRİŞ

Soma TKİ (Türkiye Kömür İşletmeleri) sahası, Kısırkdere bölgesi, Işıklar yeraltı ocağında kömür üretiminin neden olduğu çökme (sübsidans) etkisiyle elek yolunda ve yeraltı üretim panolarının üst kısmında yer alan açık ocak şevlerinde deformasyonlar meydana gelmiştir. Yeraltı kömür madenciliği nedeniyle meydana gelen yeraltı boşlukları yüzeyde yer alan elek yolu üzerinde tasman çatlaklarının gelişmesine neden olmuş ve yol işlevini kaybetmiştir (Şekil 1). Bu çatlakların yüzeyde meydana getirdiği

kırık desenlerini (çatlak paternlerini), yeraltı boşluğunun geometrisine ve damar eğimine bağlı olarak gelişen çökme profilindeki çekme ve çökme bölgelerindeki gerilmeler tayin etmektedir (Whittaker ve Reddish, 1989; Singh ve Dhar, 1997; Oncioiu ve Onica, 1999; Onargan vd., 2000; Aksoy vd., 2004). Ayağın uzun eksenine dik bir kesitte, çökme bölgesinde baskın olarak yer altı üretim panosunun (uzun ayağın) hem uzun hem de kısa eksenine, çekme bölgesinde de sadece kısa eksenine dik yönde yüzey kırıkları oluşmaktadır (Şekil 1a ve 1b). Çekme ve çökme bölgelerinin sınırlarında ise

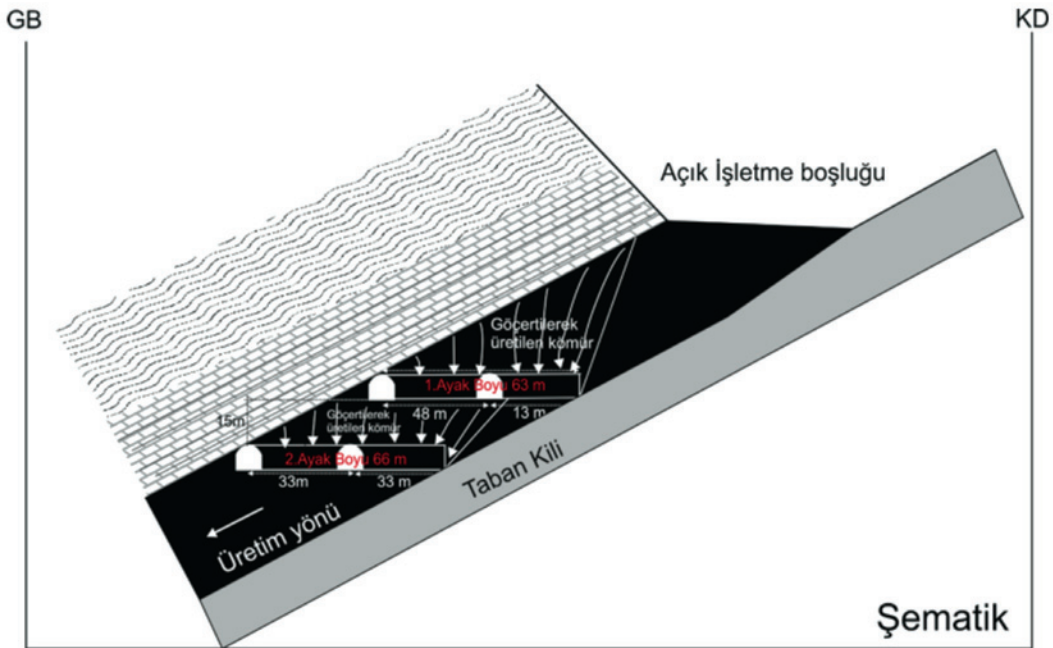


Şekil 1. (a) Elek yolunda gözlenen tasmanlar ve ana fay zonunun (K28D/90) konumu. (b) Fayın etki bölgesinde fayın doğrultusuna dik ve paralel doğrultuda gelişmiş tasman çatlakları.

Figure 1. (a) Displacements observed along the run-off mine road and main position (K28D/90) of the fault zone. (b) Subsidence cracks developed parallel and vertical to the strike of the fault in its zone of influence.

ayağın uzun eksenine dar açı yapacak şekilde gelişmiş verevine çatlaklara rastlanmaktadır. Ayaklar fay gibi tektonik bir hattı kesiyorsa, yüzeyde tasman çatlak desenleri ve sübsidans profili de değişmektedir. Bu kapsamda, elek yolu boyunca 10 farklı noktada, tasman ölçümleri periyodik olarak alınmış ve ölçümlerin sonuçları uzun ayakları dikine kesen fayın etki bölgesiyle ilişkilendirilmiştir. Ölçüm noktalarının faya olan mesafeleriyle bu noktadaki toplam tasman miktarlarının değişimi incelenmiştir. Bu ilişkilendirmeden amaç; yaklaşık  $25^\circ$  eğimli kömür damarı ve düşey fay zonunun varlığı nedeniyle çökme profilinde yer alan çökme ve çekme bölgelerinin lokasyonlarının (National Coal Board, 1975) nasıl değiştiğini yüzeyde gelişen çatlak desenlerini ve ölçüm noktalarındaki yer değiştirme miktarlarını dikkate alarak (kazık

ölçümleri) kestirmektir. Kömür üretimi yapılan ve 291 m derinlikte yer alan uzun ayaklar başlangıç noktasından itibaren birinci ayakta 105 m, ikinci ayakta 165 m mesafelerinde, konumu K28D/90 olan düşey bir fay tarafından kesilmiştir (Şekil 1a). Bu çalışmada, yüzeydeki tasman çatlak desenlerinin bu faydan nasıl etkilendiği incelenmiş ve oluşacak sınır açıları ayaklar hazırlanmadan önce tahmin edilmiştir. Sınır açıları iki farklı kesitte incelenmiştir: birincisi; K-G yönünde alınmış ve şevli topoğrafyaya sahip kesit üzerinde Phase<sup>2</sup> v.7 (2014) bilgisayar programı yardımıyla, ikincisi ise; D-B yönlü elek yoluna koşut alınmış kesit üzerinde, yüzeyde gelişen çatlak desenleri ve kazık ölçümleri yardımıyla elde edilen sübsidans profilinden, doğrudan açı ölçülerek gerçekleştirilmiştir. İki kesit arasındaki temel farklar; K-G yönlü



Şekil 2. Uzun ayakların kömür eğimiyle ilişkisi.

Figure 2. Locational relationship between the dip angle of the coal bed and the long walls.



kesitin fayı kesmemesi (faya paralel kesit), şevli topografyaya sahip olması, D-B yönlü kesitin ise; düz topografyaya (yola paralel kesit) sahip olması, kömürün doğrultusuna paralel kesitte incelemenin yapılması ve kesitin fayı kesmesidir. Makalede bu farklılıkların kırılma açılarında meydana getireceği değişim araştırılmıştır.

Yeraltı ocağında göçertmeli geri dönümlü uzun ayak yöntemi ile kömür üretimi gerçekleştirilmektedir. Havzada yürütülen kalın kömür damarı üretim ilkesi bu ocakta da uygulanmaktadır. Buna göre yaklaşık 25° eğimli ve kalınlığı 14 ile 23 m arasında değişen kömür damarı doğrultu boyunca oluşturulan uzun ayak panolarıyla yukarıdan aşağıya doğru arkadan göçertmeli mekanize ayak teçhizatı kullanılarak üretilmektedir. Kısa dönem yeraltı üretim planı olarak öncelikle 4 adet panonun planı yapılmıştır. İki adet mekanize teçhizat ile eş güdümlü yürütülen üretim çalışmaları Aralık 2013 tarihinde hazırlık galerilerinin tamamlanmasından sonra başlamıştır.

İncelenen bölgedeki şev geometrisi açık ocak çalışmalarına bağlı olarak Kasım 2008 tarihinde oluşmuştur. Kasım 2008 tarihinden Aralık 2013 tarihine kadar bölgede bir kazı çalışması gerçekleştirilmemiştir. Yeraltı üretim çalışmalarının Aralık 2013 tarihinde başlamasından kısa bir süre sonra tasman çatlakları elek yolu üzerinde izlenmeye başlamıştır ve yeraltı üretim çalışmaları ilerledikçe gelişim göstermiştir. Çatlakların ilk gözlenmeye başlanmasından itibaren bölgede konumlandırılan 10 adet kazığın konum ölçümlerine başlanmıştır. Yeraltı üretim çalışmalarının zaman içinde çeşitli nedenlerle durmasına bağlı olarak kazıkların da hareketleri yavaşlamış, üretim çalışmalarının tekrar başlamasıyla kazık hareketlerinde hızlanma

gözlenmiştir. Yeraltı üretim çalışmalarında 1-nolu ayak boyu 63 m, pano uzunluğu 422 metredir (Şekil 2). 2-nolu ayak boyu 66 m ve pano uzunluğu 456 metredir. İki ayak arasındaki düşey mesafe 15 metredir. Panoların eğimleri 3.6° - 4.7° GD'dur. Yeraltı uzun ayakları (üretim panoları) dört adet olarak planlanmış ancak ikinci ayak tamamlandıktan sonra elek yolunda gelişen tasmanlar nedeniyle üretime ara verilmiştir.

Kömür üretim panoları (ayaklar), elek yolu ve bu yolu dikine kesen ve tasman çatlağı oluşum şekillerini denetleyen ana fay zonunun konumları ve bunların birbirleriyle olan ilişkileri Şekil 3a ve 3b'de verilmiştir. Elek yolu üzerinde gelişen deformasyonlar, yolun 291 m altında 165 m kotunda gerçekleştirilen kömür üretimi nedeniyle meydana gelmiştir.

Elek yolu boyunca çökme etki mesafesinin uzunluğu (L) =  $W + 1.4 * h = 422 + 1.4 * (456 - 165) = 829.4$  m, ikinci ayak için;  $L = 450 + 1.4 * (456 - 150.5) = 877.7$  metredir. Burada, W: Ayak uzunluğu (m), h: Ayak derinliğidir (m). Kömürün 25° güneydoğuya eğimli olması ve kömür damarının düşey bir fay (K28D/90) tarafından kesilmesi topoğrafik yüzeylerden birisinin açık ocak şevi olması nedeniyle incelenen sahada asimetrik bir çökme profilinin gelişmesine neden olmuştur (Şekil 4).

## YÖNTEM

Bu çalışmada, öncelikle çökme nedeniyle meydana gelen çatlakların konumları belirlenerek haritalanmıştır. Daha sonra, tasman çatlak ölçülerinin kontur diyagramı çıkartılarak bu diyagram üzerinde çatlak paternlerinin (desenlerinin) ve elek yolunu dikine kesen ana fay zonunun konumsal ilişkileri stereografik projeksiyon teknikleri kullanılarak analiz

Kıncal, Karakuş, Onur, Koca



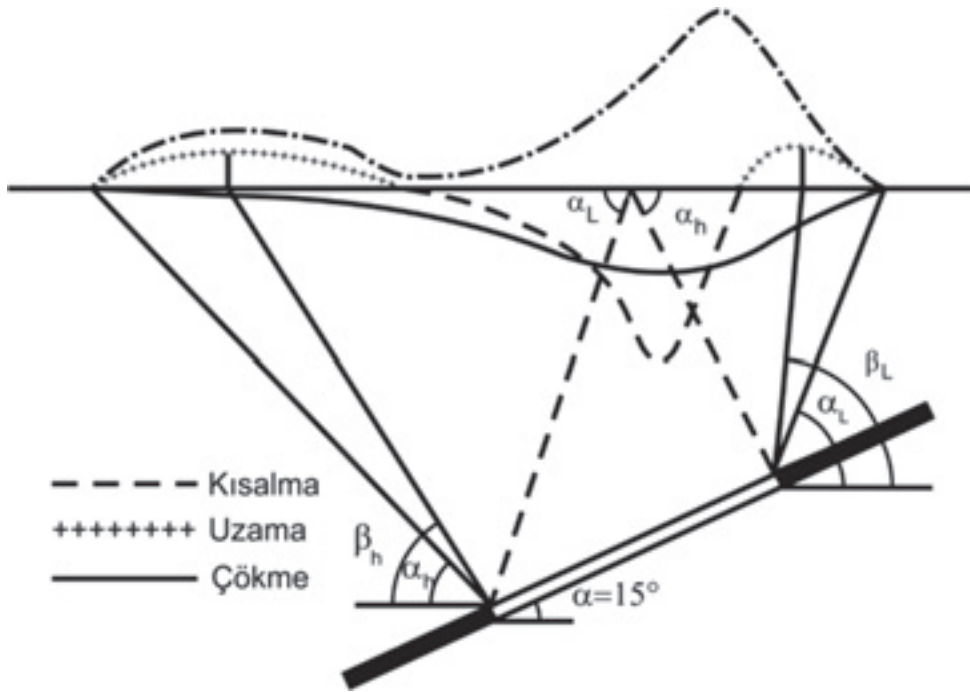
Şekil 3a. Tasman hareket yönleri, yer altı kömür üretim panoları, ana fay zonu ve elek yolunun konumsal ilişkileri.

Figure 3a. Locational relations among movement directions of the subsidences and underground coal production panels and run-off mine road.



Şekil 3b. Ana fay zonu, elek yolu ve eski harman sahasının konumsal ilişkileri (X-X': Kömür damarını dikine kesen kesitin izi-Phase<sup>2</sup> yazılımıyla analizi yapılmıştır, Y-Y': Elek yoluna paralel alınan kesitin izi).

Figure 3b. Locational relations of the main fault zone and run-off mine road and old waste-tip field (X-X': Cross-section vertical to coal seam-analysed using Phase<sup>2</sup> software, Y-Y': Cross-section paralel to the run-off mine road).



Şekil 4. Etki açısı ve mesafesini gösteren şematik şekil (faya paralel kesit).

Figure 4. Schematic figure showing limit angle and its distance (cross-section constructed parallel to the fault plane).

edilmiştir (Goodman, 1976; Koca ve Kıncal, 2004; Kıncal ve Koca, 2009). Kinematik analizlerde Schmidt neti ve alt yarımküre projeksiyonu kullanılmıştır.

Tasman ölçüm noktalarında (10 nokta) yatay ve düşey yer değiştirmeler okunmuş ve sonuçlar bileşke yer değiştirme değeri olarak verilmiştir. Deformasyonların miktarının ve yönünün belirlenmesi için şev hareketinin üst kotlarında elek yolu üzerinde konumlandırılmış noktalarda tekrarlı konum ölçümleri yapılmıştır. Noktalar kazıklar çakılarak işaretlenmiş ve kazıkların tekrarlı ölçümleri total station konum ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Hareketli olmayan bölgeye kurulan total station ölçüm cihazları milimetre mertebesinde hassasiyetle bir noktanın konumunu belirleyebilmektedir. Kazık ölçümleri

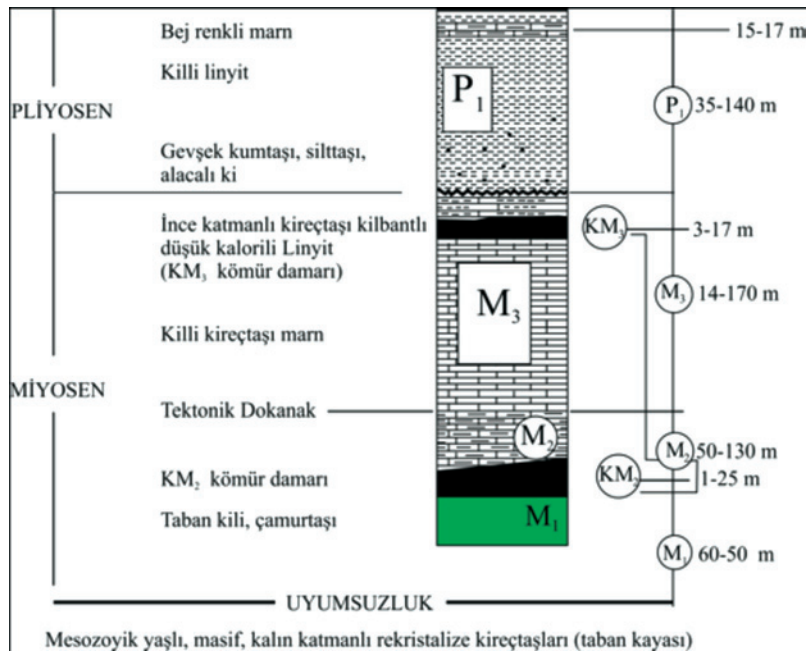
sonucunda elde edilen koordinat bilgilerinin analizi sonucunda kazıkların yönleri ve hareket miktarları belirlenebilmektedir. Kazıkların konumlarının analizinde üç boyutlu madencilik yazılımları kullanılmış, hareket yönleri şev hareketini temsil eden kazıklardan deformasyon analizleri gerçekleştirilmiştir.

Yeraltı kömür üretimi nedeniyle oluşacak yüzeysel çökme ve kayma miktarlarının önceden tahmin edilmesi amacıyla sonlu elemanlar modeliyle çalışan Phase<sup>2</sup> v.7 (2014) bilgisayar programı kullanılarak analizler yapılmıştır. Bu modelde tabaka eğimleri, taban kili (çamurtaşı), KM<sub>2</sub>-kömür damarı, üretim yapılan uzun ayaklar ve modeldeki tüm birimlerin malzeme özellikleri modele yüklenerek analizler gerçekleştirilmiştir. Üretimi tamamlanan iki adet pano koordinatlarıyla

modele yerleştirilmiştir. Analizler sonucunda yatay yer değiştirme (kayma) ve düşey yer değiştirme (çökme) miktarları hesaplanmıştır. Yatay yer değiştirme miktarının belirlenmesi, kömür üretimi nedeniyle gelişen yer değiştirmelerin yüzeyde yer alan şevlerde bir kayma hareketinin gelişip/gelişmeyeceğini anlamaya, gelişmesi durumunda kayma yerinin önceden tahmin edilmesine olanak sağlayacaktır. Düşey yer değiştirmeler ise elek yolunun her iki tarafında (K ve G) meydana gelmesi olası kırılma açılarının önceden tahmin edilmesine olanak sağlayacaktır. Bilgisayar programı yardımıyla ayaklarda üretime başlamadan önce oluşacak tasmanlar, bu tasmanların miktarı ve tasmanlar nedeniyle  $M_3$ -kireçtaşlarının gerilmeler etkisiyle kırılıp/kırılmayacağı, kırılması durumunda yamaçlarda meydana gelecek şev kaymalarının olası yerlerinin önceden belirlenebilmesi mümkün olmaktadır.

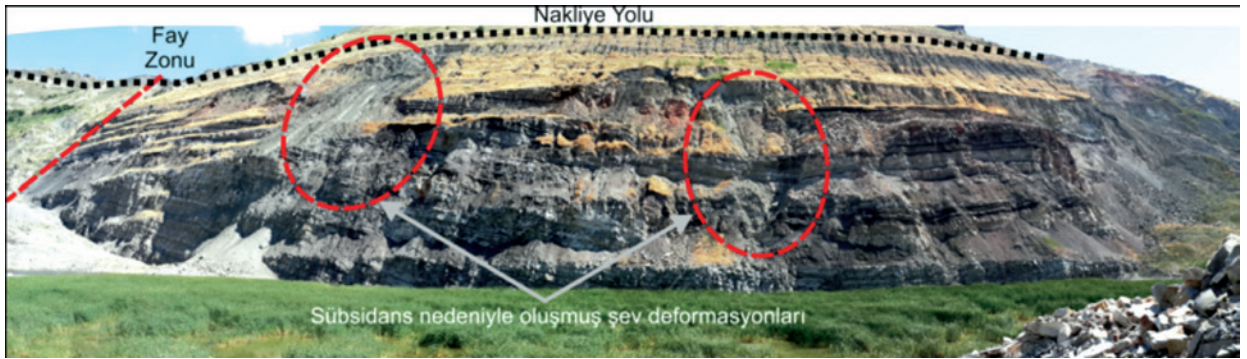
## İNCELEME ALANININ JEOLJİSİ

İnceleme alanı ve yakın yöresinde, tüm Soma havzasındaki istiflenmeye uygun bir stratigrafik dizilim görülür. Temel birimleri (Mesozoyik yaşlı kristalize kireçtaşı ve grovaklar) bunların üzerine açılal uyumsuzlukla oturan ve kömür düzeyleri içeren (KM<sub>2</sub> ve KM<sub>3</sub> kömür damarları) Neojen yaşlı tortul birimler yer alır (Şekil 5). Yeraltı kömür madenciliği yapılan kömür seviyesi KM<sub>2</sub> damarıdır. Stratigrafik kesitte M<sub>2</sub> sembolüyle kireçtaşı bantları içeren marnlar, M<sub>3</sub> sembolüyle de kilitaşı-kumtaşı ara seviyeleri içeren, gastropoda fosilli kireçtaşları gösterilmiştir. P<sub>1</sub> formasyonu; kilitaşı, serisit pullu ve gevşek çimentolu ince taneli kumtaşlarından oluşur. P<sub>1</sub>, inceleme alanında gözlenen en zayıf (en düşük direnç parametrelerine sahip) jeolojik birimdir (Şekil 6). Sahada M<sub>2</sub> marnlarının ve M<sub>3</sub> kireçtaşı katmanlarının eğim yönleri (195/34,



Şekil 5. İnceleme alanının stratigrafik kolon kesiti.

Figure 5. Stratigraphic columnar section of the study area.



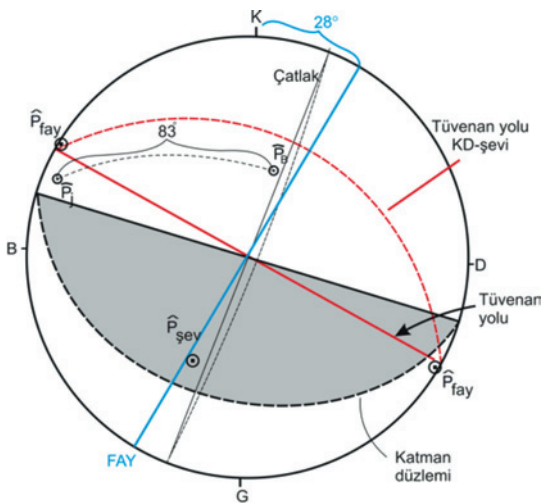
Şekil 6.  $M_3$  biriminin üst seviyelerinde gözlenen  $KM_3$  kömür damarı ve  $P_1$ -formasyonu arasındaki uyumlu dokanak ve elek yolunun kuzeyinde yer alan yüksek açılı yamaçlarda yer altı üretimi sonrasında meydana gelen şev deformasyonları.

Figure 6.  $KM_3$  coal seam observed in the upper levels of the  $M_3$  unit and conformable contact with the  $P_1$ -formation and slope deformations observed after underground coal production in the steep slopes located in northern part of the run-off mine road.

190/33, 186/28) güneybatıya, bir diğer anlatımla yamaç içine doğrudur (Şekil 6). Katmanlanmaya dik gelişmiş çatlakların (115/90, 110/90, 108/90, 105/89) eğim yönleri ise şev tabanına doğrudur. Şekil 7'de katmanlar, çatlaklar, ana fay zonunun ve elek yolunun birbirleriyle olan konumsal ilişkileri gösterilmiştir.

## SINIR AÇILARININ SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ

Oluşacak yüzeysel çökme ve kayma miktarlarının önceden tahmin edilmesi amacıyla, halen üretimi tamamlanmış olan ilk iki pano için sonlu elemanlar modeliyle X-X' kesiti üzerinde



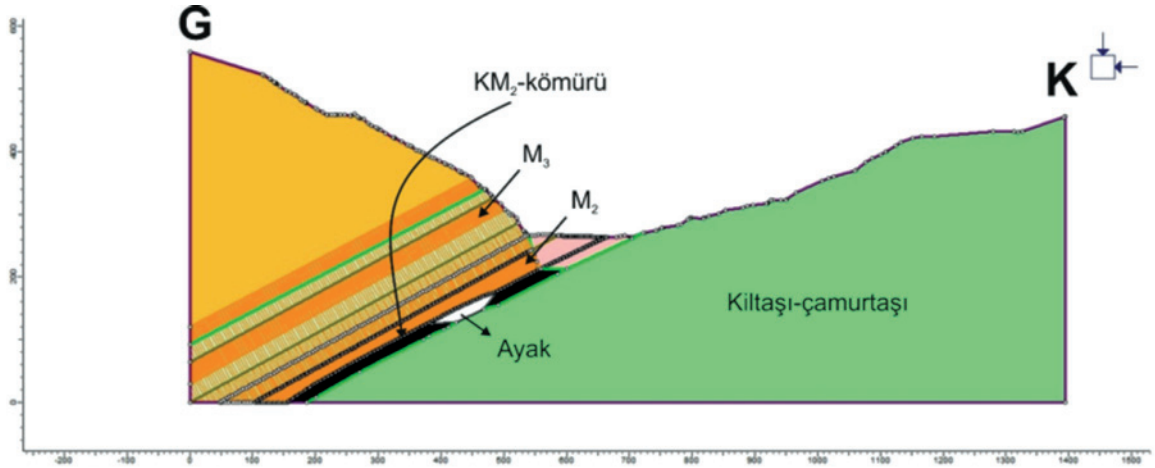
Tüvenan yolunun kuzeydoğusunda yer alan şevin konumu : K63B/40-45KD  
 Tabaka Konumu : 110/34  
 Çatlaklar : 110/85  
 Ana Fay : 118/90  
 Aynı tektonik aktivitenin sonucu olarak meydana gelmiş süreksizlikler  
 Çatlak ve tabaka düzlemleri arasındaki açı : 83° dir.

Şekil 7. Katmanlar, çatlaklar, fay zonu ve elek yolu arasındaki ilişkileri gösteren stereografik projeksiyon.

Figure 7. Stereographic projection showing the relationships among bedding planes, joints, fault zone and run-off mine road.

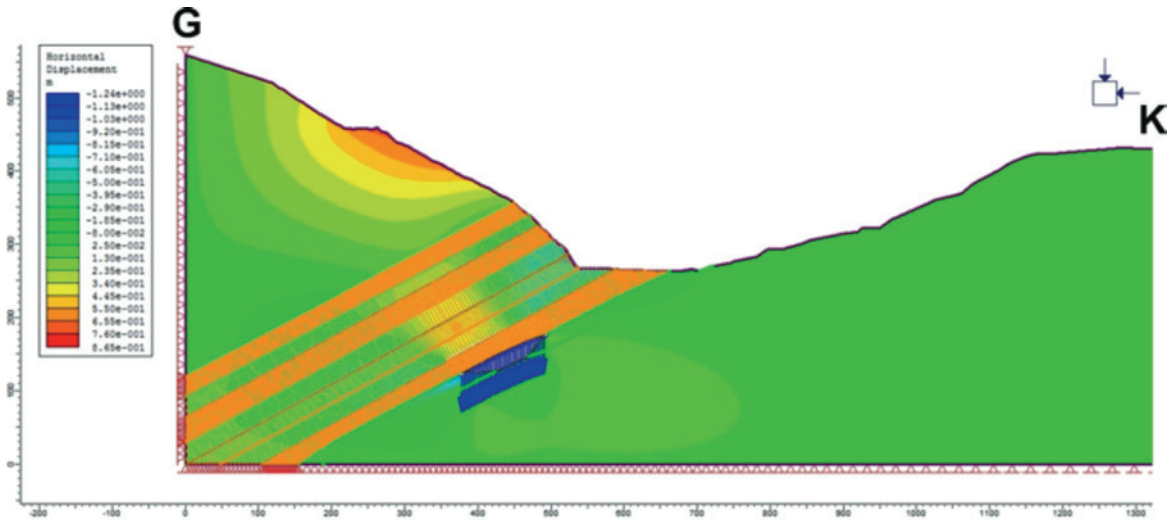
analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerin gerçekleştirilebilmesi için Şekil 8’de verilen model K-G yönlü jeolojik kesitler (elek yoluna dik alınmış kesitler) kullanılarak hazırlanmıştır. Bu kesitler kömürün doğrultusuna dik alındığından gerçek eğimlerinde görülmektedir ( $\alpha = 25^\circ$ ). Kömür damarının yüzeye çıktığı bölge daha önceden üretilmiş ve günümüzde dolgu yapılan Kısrakdere sahasının doğu kısmıdır.

Şekil 8’de oluşturulan model parametreleri analiz edilerek elde edilen yatay deplasmanlar (kayma) ve düşey deplasmanlar (çökme) sırası ile Şekil 9 ve 10’da verilmektedir. Kaymanın hesaplandığı modelde, kayma hareketi hemen  $KM_3$ -kömürünün üzerinde ve elek yolunda en yüksek değerlere ulaşmaktadır. Bu durum, arazi gözlemleriyle de desteklenmektedir. Şekil 10’da düşey yönde oluşan deplasmanların bittiği ve



Şekil 8. Jeolojik kesit yardımıyla oluşturulan sonlu elemanlar modeli.

Figure 8. Finite element model of the geological cross-section.



Şekil 9. Yeraltı kömür üretimi sonucunda oluşabilecek yatay deplasmanların sonlu elemanlar yöntemiyle belirlenmesi.

Figure 9. Determination of horizontal displacements after coal production by means of finite element model.

hareketin sıfırlandığı bölgeler sınır alınmak üzere kömür damarında çizilen doğruların yatayla yaptığı açılar sınır açısını oluşturmaktadır. Burada, daha az kot farkının olduğu iç döküm sahasının bulunduğu bölümde (elek yolunun kuzey tarafı) sınır açısı yaklaşık  $38^\circ$ , elek yoluna doğru daha fazla kot farkının olduğu bölümde ise (elek yolunun güney tarafı)  $53^\circ$  olarak saptanmıştır (Şekil 10).

Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçlar, iki ayağın üretiminin tamamlanması neticesinde çökmeye bağlı zemin hareketlerinin yüzeye ulaşacağını göstermiştir. Arazi gözlemleri sonucunda (13 Aralık 2013 ve 2 Ocak 2014 tarihlerinde), öngörülen hareketlerin başladığı, elek yolunda gerçekleştirilen ölçümler sonucunda saptanmış ve hareketin devam edeceği belirlenmiştir.

## ELEK YOLU ÜZERİNDE GELİŞEN ÇATLAK DESENLERİ

Elek yolunun üzerinde gözlenen tasman çatlakları GPS yardımıyla haritalanmıştır (Şekil

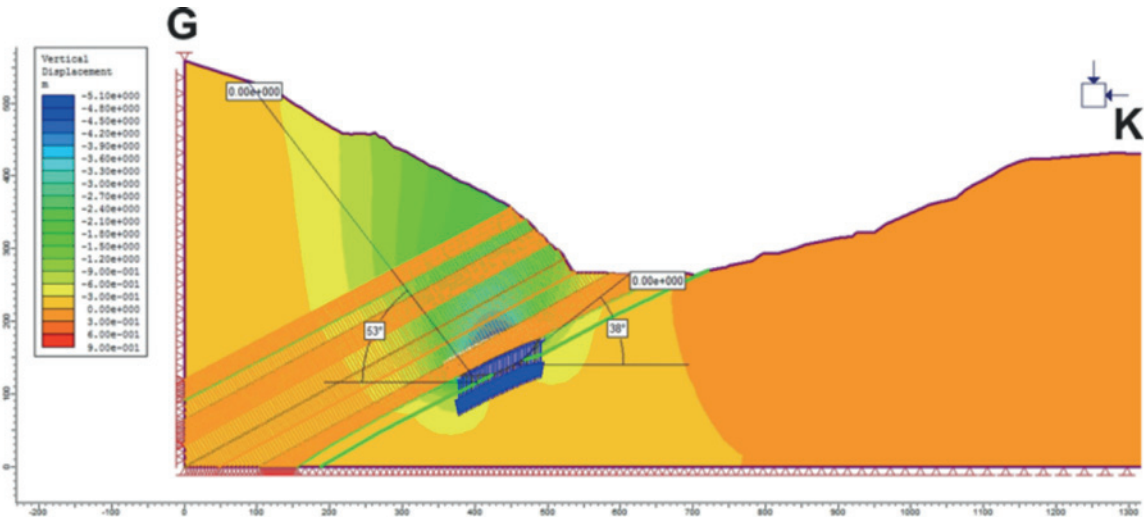
11). Belirgin olarak izlenebilen, 31 adet tasman çatlak harita üzerine aktarılmıştır. Tüm çatlaklar numaralandırılmış ve fotoğrafları çekilmiştir (Şekil 12 a ve b). 31 adet tasman çatlak ölçüsünden yararlanılarak kontur diyagramı hazırlanmış ve kutup yoğunlaşma noktaları elde edilmiştir (Şekil 12). Kutup yoğunlaşma noktalarını dikkate alan büyük daireler çizilmiştir.

I. Takım tasman çatlaklarının konumları  $J_1$ : 010/90 ve  $J_2$ : 040/90,

II. Takım tasman çatlaklarının konumu  $J_3$ : 085/90 olarak elde edilmiştir (Şekil 12).

III. Fay: 118/90 (K28D/90).

Çatlak takımlarını ( $J_1$  ve  $J_2$  çatlak takımları) temsil eden düzlemlerin eğimleri  $90^\circ$  olduğundan; stereogram üzerinde (Şekil 12) sadece doğrultularıyla temsil edilmiştir. Fay uzun ayakların tam ortasından değil, ayakların KB ucuna (başlangıç noktası) daha yakın olacak şekilde geçmektedir. Hem fayın bu konumu hem de kömür seviyesinin  $25^\circ$  güneydoğuya eğimli olması sübsidans profilininin asimetric şeklini



Şekil 10. Yeraltı kömür üretimi sonucunda oluşabilecek düşey deplasmanların sonlu elemanlar yöntemiyle belirlenmesi.

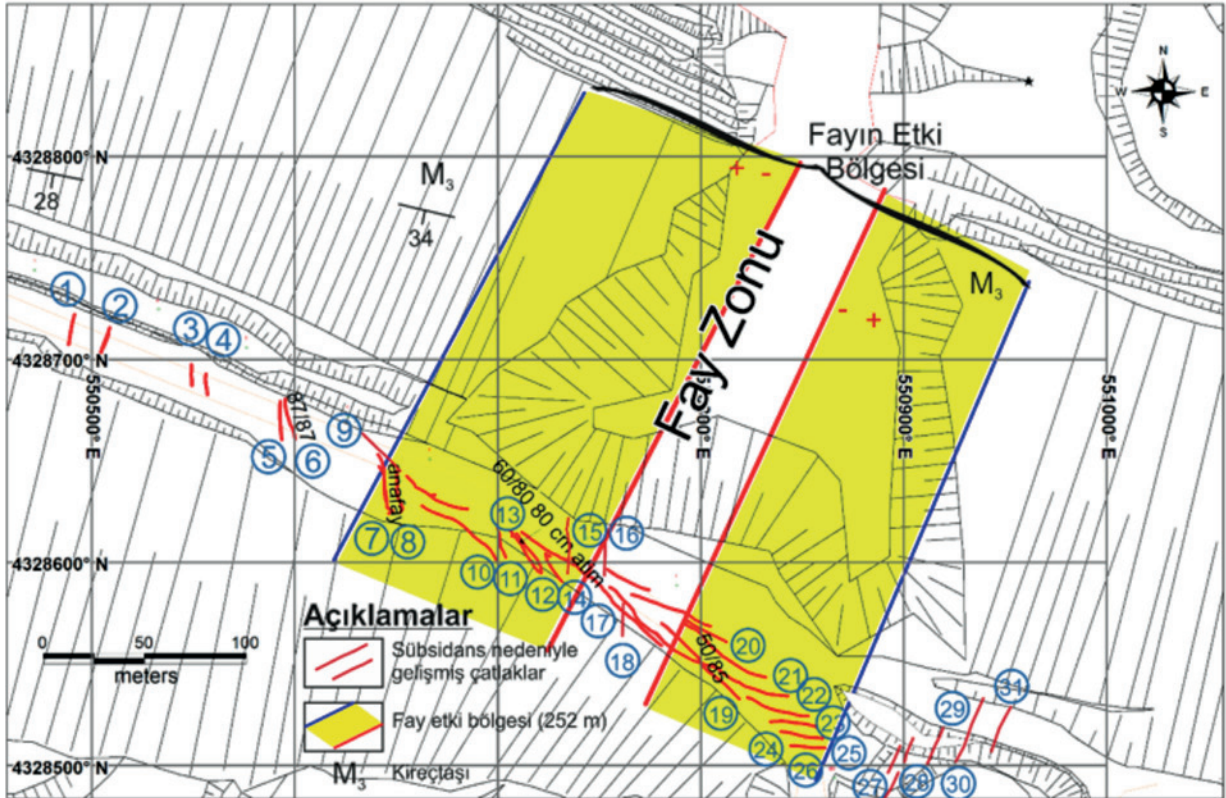
Figure 10. Determination of vertical displacements after coal production by means of finite element model.

belirlemiştir. Sübsidans ve fay etki zonları Şekil 3a ve Şekil 11'de gösterilmiştir.

Derinde (165 m kotunda) yeraltı kömür üretimi nedeniyle yüzeyde (elek yolunda ve yolun güneyinde yer alan eski harman sahasında) meydana gelen oturma şeklindeki deformasyonları kontrol eden tasman çatlakları, sübsidans profilini teşkil eden çökme ve çekme bölgelerinin oluşum mekanizmasına ve geometrisine uygun gelişmiştir (Şekil 12). Faya (K28D/90) bağlı olarak elek yolunun güneyinde yer alan şevler üzerinde atımları 0.3 m ile 1.0 m arasında değişen çok sayıda küçük fay gözlenmiştir. Faylar ve katmanlanmaya dik gelişmiş çatlakları aynı tektonik olaylar meydana

getirmiştir. Tasman çatlaklarının konumlarının K25B ile K17D arasında değiştiği (K25B, K15B, K10B, K17D, K2B, K3B, K10D) belirlenmiştir. Gerek ana fayın (K28D/90) gerekse de küçük atımlı fayların konumları birbirleriyle yaklaşık örtüşmektedir (Şekil 13). Diğer bir anlatımla, söz konusu tasman çatlaklarının konumu K25B ile K17D arasında değişmektedir.

Fay zonu boyunca makaslamaya bağlı olarak çok kırıklı, kum cepleri içeren bir paralanma zonu (milonitik zon) gelişmiştir. Bu zon elek yolu boyunca yaklaşık 50 m uzunluğunda bir hattı kapsar (Şekil 3a). Beklenen durum; fayın etki zonunda (252 m), faya koştur önceden oluşmuş çatlaklar boyunca tasmanların gelişmesidir.



Şekil 11. Çökme nedeniyle elek yolu üzerinde gelişen tasman çatlaklarının haritası.

Figure 11. The map of subsidence crack pattern caused by subsidence developed on the run-off mine road.



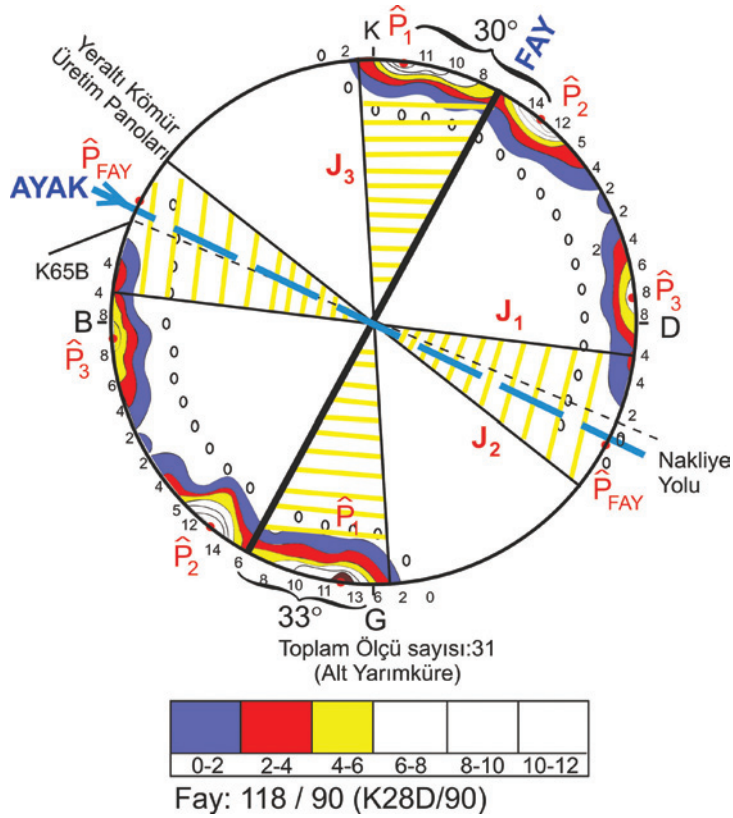


Şekil 12. (a) Fay zonu üzerinde birbirine yaklaşık dik gelişmiş tasman çatlakları (sübsidans çökme bölgesi), (b) Elek yolunu dikine kesen, sübsidans alanının çekme bölgesinde yer alan 3 ve 4 numaralı çatlaklar (fay etki sahasının dışında kalan bölge).

Figure 12. (a) Subsidence cracks developed nearly perpendicular to each other on the fault zone (subsidence zone), (b) 3 and 4-numbered cracks observed in the tensile zone of the subsidence which cut the run-off mine road perpendicularly.

Ölçüm ve gözlemler bunun tam tersi bir durumun geliştiğini göstermiştir (Şekil 11 ve 12a). Fay etki bölgesinde, fayın doğrultusuna dik tasman çatlakları gelişmiştir. Şekil 13;  $J_1$  ve  $J_2$  çatlak takımlarının fayın doğrultusuna dik fakat ayakların uzun eksenlerine paralel bir şekilde geliştiğini göstermektedir. Fayın etki bölgesinde, faylanma nedeniyle  $M_3$ -kireçtaşları sık çatlaklı kaya özelliğinde milonitik bir yapı kazanmıştır. Düşük kohezyon değerinde, kum zemin özelliği

kazanmış malzemeler yer altı boşluğu nedeniyle, düşey yönde ve boşluğa doğru çökme etkisiyle fayın doğrultusuna dik yönde tasman çatlakları oluştururlar. Fayın etki bölgesinin dışında ise, fayın doğrultusuna paralel gelişmiş küçük atımlı faylar (fay tektoniğine bağlı oluşmuş) boyunca tasmanlar gelişmektedir (Şekil 11). Fayın etki alanının dışında gelişen tasman çatlaklarının doğrultusuyla fayın doğrultusu arasında ortalama  $33^\circ$  açı farkının (en çok:  $45^\circ$ , en az:  $8^\circ$ ) meydana



Şekil 13. Tasman çatlak konumlarından yararlanılarak hazırlanmış kontur diyagramı (kutup yoğunlaşma noktaları, elek yolu, ana fay zonu ve kömür üretim panellerinin konumları).

Figure 13. Contour diagram prepared by utilizing the subsidence cracks (pole concentration points, run-off mine road, fault zone, and the positions of the longwalls panels).

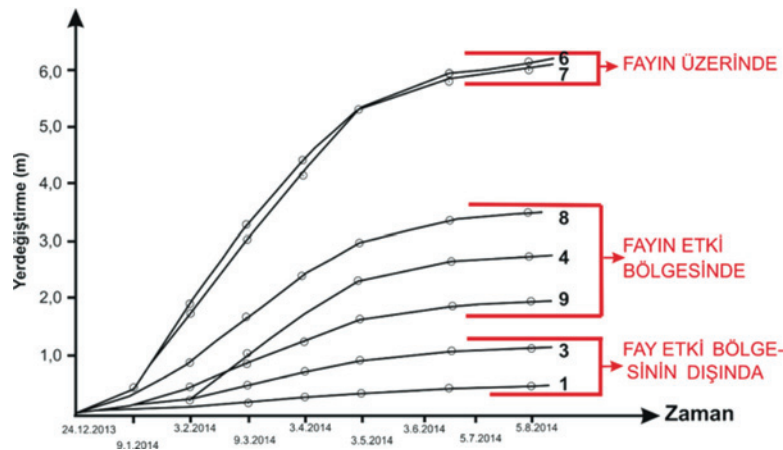
geldiği (K5B – K28D = 33°) saptanmıştır. Bu açı farkının nedeni; 165 m kotunda kömür üretimi nedeniyle oluşan yeraltı boşluğunun ve faylanma nedeniyle önceden (sübsidans meydana gelmeden önce) gelişmiş çatlakların varlığıdır. Elek yolunu dik kesen tasman çatlakları, iki faktörün bileşke kuvveti yönünde gelişmektedir. Bu yön de  $J_3$ -çatlak takımına ait süreksizliklerin konumlandığı (K5B/90) yöndür. Milonitik özellikteki fay zonuna doğru çökme etkisiyle süreksizlik doğrultularında sapmalar meydana gelmektedir (Maksimum: 33°).

## KAZIK ÖLÇÜMLERİ

Kömür üretimi nedeniyle oluşan yer altı boşlukları panoların üzerinde yer alan elek yolu üzerinde ilk tasman çatlaklarını Aralık 2013 tarihinde oluşturmuştur. Şekil 3a'da toplam 10 adet kazığın lokasyonları gösterilmiştir. 6 ve 7 numaralı lokasyonlar tam fay zonu üzerinde, 4, 8 ve 9 numaralı lokasyonlar ise bu zonun her iki yanında kalan ve "fay etki bölgesi" olarak adlandırılan bölümlerde yer almaktadır (Şekil 14). 3, 4, 6, 7, 8 ve 9 numaralı lokasyonlarda tasman çatlaklarının konumları belirlenmiş ve

analiz edilmiştir. Analiz sonucu olarak fay etki alanında yer alan kazıklarda günlük 3.8 cm'ye varan deformasyonlar ölçülmüştür (Çizelge 1). İlk 125 günde 6 ve 7 numaralı kazıklarda sırasıyla 5.92 m ve 5.80 m en yüksek yer değiştirmeler ölçülmüştür. Daha sonraki 43 günde aynı kazıklarda sırasıyla 0.63 m ve 0.53 m yer değiştirmeler ölçülmüştür. 17.06.2014'ten 17.07.2014 tarihine kadar olan zaman diliminde

bu miktarlar daha da azalarak (< 20 cm.) devam etmiştir. Bunun nedeni; yeraltı üretim faaliyetinin, beklenmeyen süreçler nedeniyle (denetleme eksiklikleri, ocak yangını vb.) üretime ara vermiş olmasıdır. 10 nolu ölçüm noktası hariç (hareket yönü F5 fayına ve/veya kuzeybatıyadır), tüm ölçüm noktalarında hareket yönü düşey fayı göstermektedir (kuzeydoğuya doğru).



Şekil 14. Kazık ölçümleriyle bileşke yer değiştirmе miktarları (m) arasındaki ilişkiler.

Figure 14. Relationship between survey measurements and quantities of the resultant displacements (m).

Çizelge 1. Elek yolu üzerindeki kazıklarda farklı tarihlerde alınmış deformasyon ölçümleri.

Table 1. Deformation measurements recorded in different times at the survey monuments located on the run-off mine road.

No	24.12.2013	03.01.2014	03.02.2014	03.03.2014	03.04.2014	05.05.2014	17.06.2014	3.7.2014
	Kümülatif bileşke deformasyon (m)							
1	0	0.056789	0.109676	0.158470	0.239117	0.276465	0.323199	-
2	0	0.052943	0.154081	0.337837	0.529360	0.648084	0.749871	-
3	0	0.075723	0.207571	0.445486	0.694134	0.864532	1.010587	-
4	0	0.124879	0.455189	1.075186	1.683110	2.254936	2.569196	-
6	0	0.406153	1.734389	3.019739	4.159608	5.290198	5.917651	< 20 cm*
7	0	0.379412	1.869351	3.259389	4.390497	5.276778	5.801797	<15 cm*
8	0	0.234970	0.878333	1.669789	2.370454	2.937248	3.298235	-
9	0	0.139989	0.410336	0.880700	1.205531	1.576487	1.807265	-
10	0	0,056329	0,078115	0,147597	0,140858	0,136638	0,196183	-

Not: 5 numaralı lokasyon, sağlıklı ölçü alınmadığı için iptal edilmiştir.

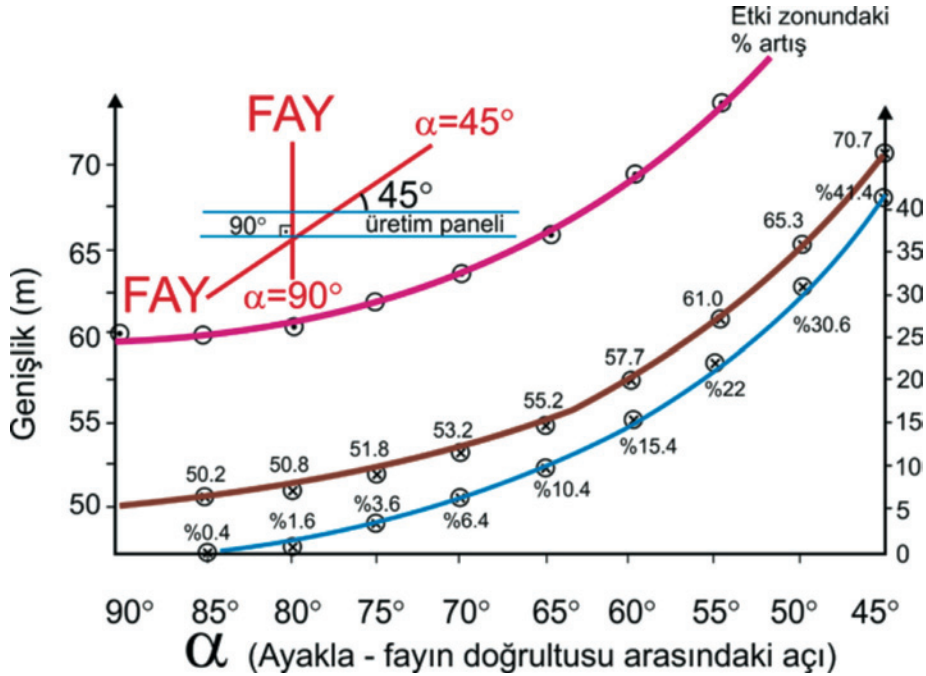
\* 17.06.2014 tarihi ile 3.7.2014 tarihi arasındaki ölçümlerde belirlenmiş olan kümülatif bileşke deformasyon miktarlarıdır.

## FAY ETKİ BÖLGESİYLE ÜRETİM PANOLARININ KONUMSAL İLİŞKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

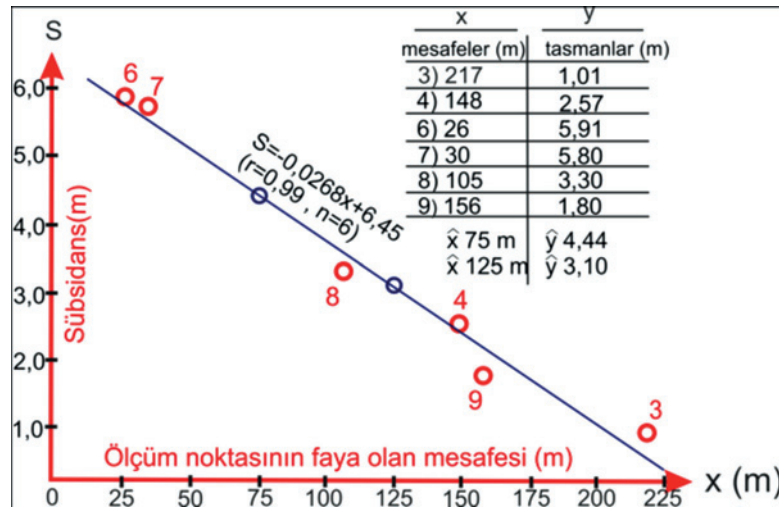
Ayaklar, yüzey çalışmaları sonucu belirlenen fay zonlarına dik açılmalıdır. Aksi durumda, fayın etki zonu genişlemekte ve bu durum da ayak boyunca daha uzun bir fay zonunun tahkim edilmesini gerekli kılmaktadır (Şekil 15). Kırıklı, paralanmış fay zonunun ayak boyunca etki mesafesinin artması zaman kaybına ve maliyet artışlarına neden olmaktadır. Kömür üretim panosu faya tam dik bir konumdaysa, fayın etki zonunun kalınlığı minimum değerdedir (Şekil 15). Doğrultular arasındaki

açısal fark küçüldükçe fayın etki zonunun kesit boyunca kalınlığı artmaktadır. Bu durum kömür üretim maliyetini arttırmaktadır.

Ölçüm noktalarının düşey faya olan uzaklıkları ölçülen tasmanlarla ilişkilendirildiğinde; faya olan uzaklık azaldıkça tasman miktarlarının arttığı ortaya çıkmaktadır (Şekil 16). Bu ilişki araştırılırken sadece fay etki bölgesinde kalan ölçüm noktaları dikkate alınmıştır (3, 4, 6, 7, 8 ve 9 numaralı ölçüm noktaları). Elde edilen sonuçlara göre; yeraltı boşluğu nedeniyle oluşan tasmanların fay zonlarından doğrudan etkilendiği, hatta bu zonların tasmanları denetlediği sonucu ortaya çıkmaktadır.



Şekil 15.  $\alpha$ -açısıyla (kömür üretim panoları ve fayın doğrultuları arasındaki açı) fayın etki zonunun genişliği arasındaki ilişkiler.  
Figure 15. Relationship between the width of fault influence zone and the  $\alpha$ -angle (angle between the strikes of fault and longwall panels).



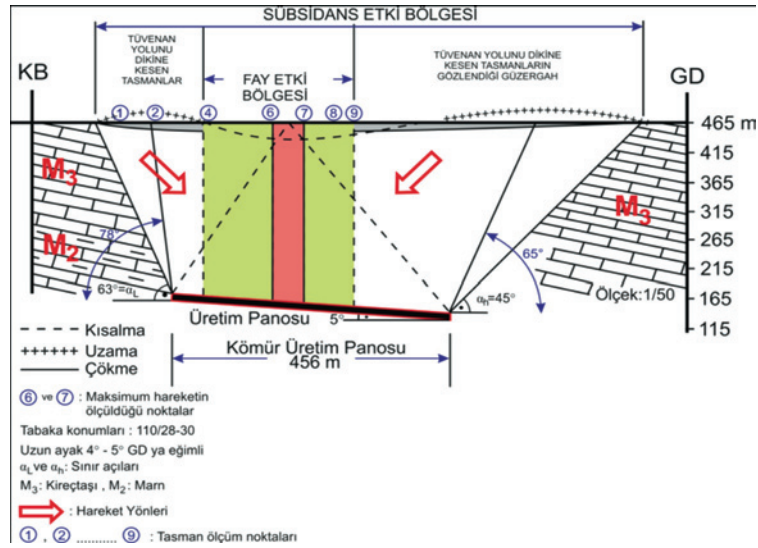
Şekil 16. Ölçüm noktalarının faya olan mesafeleriyle o noktalarda ölçülen tasman miktarları arasındaki ilişki.  
 Figure 16. Relationship between the distance of survey points to the fault zone and subsidence quantities.

### ÇATLAK DESENLERİ VE KAZIK ÖLÇÜMLERİ YARDIMIYLA ELDE EDİLEN SÜBSİDANS PROFİLİ

Yüzeyde oluşan sübsidans elipsinin uzunluğu boyunca, diğer anlatımla elek yoluna koşut alınmış bir kesit (KB-GD yönlü) çıkartılmıştır (Şekil 17). Kömürün doğrultusuna yaklaşık paralel alınan kesitte tabakalar yaklaşık yataydır ( $a = 5^\circ$  GD'ya eğilimlidir). Bu kesitte fay etkisi nedeniyle sübsidans profili değişmiş ve güneydoğu'ya doğru profil uzayarak asimetrik bir yapı kazanmıştır. Maksimum oturmalar fayın kendi üzerinde ölçülmüştür. Kesitte asimetrik yapı bu nedenle oluşmuştur. Elek yolu üzerinde gözlenen farklı çatlak desenleri ve kazıklardaki yer değiştirme miktarları dikkate alınarak, yola paralel kesitte sübsidans profili elde edilmiştir (Şekil 17). Kesitte çökme profili doğrudan kazık ölçüm sonuçları dikkate alınarak çizilmiştir. Sübsidans etki alanı ise hem  $W+1.4h$  formülü kullanılarak hem de yüzey tasman çatlaklarının

yer aldığı elek yolunun uzunluğu yerinde ölçülerek belirlenmiştir. Diğer taraftan, yolun kuzeybatısında kalan sübsidansa ait uzama bölgesinin geçtiği profil, doğrudan fay etki bölgesi dikkate alınarak çizilmiştir (Şekil 17).

Bilgisayar programıyla elde edilen sınır açıları profilin güneybatısı için  $53^\circ$ , kuzeydoğusu için  $38^\circ$  olarak bulunmuştur (Şekil 10). Şekil 17'deki kesitten ölçülen bu açılar ise; profilin kuzeybatısı için  $63^\circ$ , güneydoğusu için  $45^\circ$ 'dir. Ortaya çıkan açısız farklar  $7^\circ$ - $10^\circ$  mertebesinde. Bu farkın ortaya çıkmasının nedenleri şunlardır: a) çökmenin henüz tamamlanmamış olması, b) ayaklar ile elek yolunun tam olarak üst üste gelmemesi, c) ikisi arasında yatay mesafe farkının bulunması, d) X-X' kesitinin şevli topoğrafyaya sahip olması ve kömürü gerçek eğim değerinde kesmemesi, e) Y-Y' kesitinin fayın etkilerini barındırması, düz topoğrafyaya sahip olması ve de kömürü doğrultusu boyunca ( $a = 5^\circ$ ) kesmesidir.



Şekil 17. Yüzeyde gözlenen çatlak desenleri ve tasman ölçüleri dikkate alınarak hazırlanan sübsidans profili.

Figure 17. Subsidence profile prepared considering the crack patterns observed on the surface and the subsidence measurements.

## SONUÇLAR

Elek yolunu dik kesen düşey fay zonunun (K28D/90) ve bu yolun altında, yola paralel uzanmış ayaklardaki kömür üretimi nedeniyle gelişen yeraltı boşluklarından kaynaklanan tasmanların doğal olarak yüzeydeki çatlak desenlerinin oluşumunda ve gelişiminde etkili ve belirleyici olduğu sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte elde edilen diğer sonuçlar şunlardır:

1. Tasman çatlakları fayın etki bölgesinde, fayın doğrultusuna hem dik hem de paralel yönde gelişmiştir. Paralel ve dik yönlerde olacak şekilde bu çatlaklar elek yolunu kesmiştir. Fayın etki bölgesi dışındaki alanlarda tasman çatlakları fayın doğrultusuna yaklaşık paralel (açı farkı min: 8°, maks: 33°) konumda, elek yoluna dik geliştiği belirlenmiştir. Buna göre fayın yola dik ve/veya yaklaşık dik olduğu konumlarda, tasman çatlaklarının oluşturduğu desenlere bakarak çökme ve çekme bölgelerinin lokasyonları doğru bir

şekilde yüzeyden belirlenebilir. Böylelikle, fay zonunun kuzeybatısında 110 metrelik, güneydoğusunda 78 metrelik zonların fayın etki alanında kaldığı belirlenmiştir. Fayın kendi zonuyla birlikte “fay etki bölgesi” elek yolu boyunca 252 m bir yol güzergâhını kapsamaktadır. Asimetrik tasman profilinin gelişmesinin ana nedeni fayın varlığıdır. Tâli neden ise kömür üretim panolarının kesit boyunca 5° güneydoğuya eğimli olarak açılmasıdır.

2. Yedi aylık zaman içerisinde 10 farklı noktada belli aralıklarla ölçülen tasmanların toplam değerleri hesaplanmıştır. Maksimum düşey yer değiştirmeler 6 ve 7 numaralı ölçüm noktalarında sırasıyla 5.92 m ve 5.80 m olarak ölçülmüştür. Bu iki ölçüm noktası tam düşey fayın üzerinde yer almaktadır. Fayın her iki yanında yer alan fay etki bölgelerinde ve bu bölgelerin dışında da ölçümler yapılmıştır. En düşük deplasmanlar

fay etki bölgesi dışında yer alan noktalarda  $\pm 1.0$  m olarak ölçülmüştür. Uzun ayaklar elek yolunun altında ve 291 m derinlikte, tüm ölçüm noktalarına yaklaşık eşit mesafededir. Bu durum fay etkisinin yüzeyde gelişen çatlak deseninin oluşmasında en belirleyici parametre olduğunu ortaya koymaktadır.

3. Bilgisayar programı kullanılarak yapılan analizlerde, toplam 7.5 m'ye varan düşey yer değiştirmelerin meydana geleceği hesaplanmıştır. Meydana gelen tasmanların maksimum 5.92 m olduğu (6 nolu ölçüm noktası) göz önüne alındığında; toplam tasmanların ancak %80'inin tamamlandığı anlaşılmaktadır. Bu nedenle, sonraki dönemlerde de hareketin bir süre daha devam edeceği öngörülmektedir.
4. Elek yoluna dik ve paralel kesitlerde kırılma açıları farklı yöntemler kullanılarak elde edilmiştir. Dik kesitte kırılma açıları profiline güneybatısı için  $53^\circ$ , kuzeydoğusu için  $38^\circ$  olarak belirlenirken, paralel kesitte bu açılar  $63^\circ$  ve  $45^\circ$  olarak ölçülmüştür. Bu fark, iki kesitin topografyasının farklı olmasından, faya paralel ve dik kesitler olmalarının yanı sıra kömürü gerçek eğim değerinde kesip kesmemeleriyle ilgilidir.

### KATKI BELİRTME

Yazarlar, Işıklar panosunda (Soma/Manisa) yapılan arazi çalışmaları ile ilgili olarak yardım ve desteklerinden dolayı T.K.İ. E.L.İ. İşletme Müdürü Hakkı Duran'a, İşletme Müdür Yardımcısı İsmail Ceran'a, Soma İstihsal İşletme Müdürü N. Coşkun Ok'a, Maden Mühendisi Ekrem Demir'e ve Harita Mühendisi Gürhan Karapınar'a teşekkür eder.

### KAYNAKLAR

- Aksoy, C. O., Köse, H., Onargan, T., Koca, M.Y., Heasley, K., 2004. Estimation of limit angle using laminated displacement discontinuity analysis in the Soma coal field, Western Turkey. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 41, 547-556.
- Goodman, R. E., 1976. *Methods of Geological Engineering in Discontinuous Rocks*. West Publishing Company, St. Paul, MN, 170-207.
- Kıncal, C., Koca, M. Y., 2009. A proposed method for drawing the great circle representing dip angle and strike changes. *The Geological Society of America (AEG)*, Vol. XV, No.2, 145-165.
- Koca, M. Y., Kıncal, C., 2004. Abandoned stone quarries in and around the Izmir city centre and their geo-environmental impacts-Turkey. *Engineering Geology*, 75 (1), 49-67.
- National Coal Board (NCB), 1975. *Subsidence Engineer's Handbook*. National Coal Board, London, 111 p.
- Onargan, T., Koca, M. Y., Köse, H., 2000. Determination of "Break Angle" from subsidence cracks in Soma-Eynez coal field of Turkey. *7<sup>th</sup> National Mine Surveying Conference with International Participation*, 189-201.
- Oncioiu, G., Onica, I., 1999. Ground deformation in the case of underground mining of thick and dip coal seams in the Jiu Valley Basin. *18<sup>th</sup> Conference on Ground Control in Mining West Virginia*, 334 p.
- Phase<sup>2</sup>.v.7, 2014. Phase<sup>2</sup> software, <https://www.rocscience.com/products/3/updates/1>
- Singh, K. B., Dhar, B. B., 1997. Sinkhole subsidence due to mining. *Geotechnical and Geological Engineering*, 15, 327-341.
- Whittaker, B. N., Reddish, D. J., 1989. *Subsidence Occurrence, Prediction and Control*. Elsevier, 528 p.





## Taşıma Gücü ve Oturma İncelemelerinde Menard Presiyometre Deneyinin Uygulanması: Kuloğlu HES Regülatörü Yerinde Bir Örnek Çalışma (Kars, Türkiye)

*Application of the Menard Pressuremeter Test for the Bearing Capacity and Settlement Analysis: A Case Study at Kuloğlu Hydro-Electric Central (HEC) Regulator Site (Kars, Turkey)*

**Ali KAYABAŞI**

*Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Meşelik, ESKİŞEHİR.*

Geliş (received) : 11 Ağustos (August) 2014

Düzeltilme (revised) : 01 Ekim (October) 2014

Kabul (accepted) : 20 Ekim (October) 2014

### ÖZ

Bu çalışmada Aşağı Aras Havzası hidroelektrik santrali (HES) projelerinden biri olan Kuloğlu regülatörüne ait iki sondajda yapılan Menard presiyometre deneyleri değerlendirilmiş ve Menard presiyometresi tanıtılmaya çalışılmıştır. Temel alanını kaplayan alüvyonda açılmış sondajlardan SK-1 kuyusunda 8 adet, SK-2 kuyusunda ise 12 adet presiyometre deneyi yapılmıştır. Sondaj kuyularının 20 ile 24. metrelerden sonra genişlemesi ve çökmesi nedeniyle daha derinlerde deney yapılamamıştır. Alüvyonun homojen ve heterojen olduğu kabulüyle, iki grup halinde oturma ve taşıma gücü hesaplamaları yapılmıştır. Presiyometre deneyi oturma hesaplamalarının yanı sıra temel biriminde anlık oturma hesaplaması da yapılmıştır. Deneyin uygulanabildiği derinliklerden elde edilen veriler yardımıyla yapılan hesaplama sonuçları, kabul edilebilir taşıma ve oturma sınırları içerisindedir. Aynı hesaplamalar yardımı ile, yapı yükünden kaynaklı gerilimin derinlikle dağılımı belirlenmiştir. Yapı yükünün oluşturacağı gerilim, 48 m derinlikte % 10 değerine düşmektedir. 20 ile 24. metrelerden sonra sondaj kuyularının çökmesi, genişlemesi ve yapı yükünün oluşturacağı gerilimin daha derinlere devam etmesinden dolayı alüvyonun tamamının kaldırılması önerilmiştir. Çalışmada ayrıca, Menard presiyometre deneyinin su yapısı inşaat alanlarında uygulanması sırasında karşılaşılan sorunlara da değinilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Aras Nehri, Kuloğlu, Menard Presiyometresi, Oturma, Taşıma gücü.

A.Kayabaşı

E-Posta: akayabasi@ogu.edu.tr

**ABSTRACT**

*This paper deals with the short description of Menard pressuremeter and the evaluation of Menard pressuremeter tests carried out in two boreholes drilled at Kuloğlu Hydroelectric Power Plant (HPP) regulator which is one of the HPP Projects planned at Aşağı Aras basin. 8 pressuremeter tests in SK-1 borehole and 12 pressuremeter tests in SK-2 borehole were carried out at alluvium unit in the foundation site. Menard pressuremeter tests could not be carried out due to the collapsing and enlarging of the drillholes after 20 and 24 meter depths of boreholes. Two group of settlement and bearing capacity analysis were performed with the assumption of alluvium made up of homogeneous and heterogeneous. Immediate settlement computation and stress distribution analysis were also performed beside the pressuremeter analysis. The amount of settlement and bearing capacity of the alluvium are in acceptable limits in the depths of which the test could be applied. The stress from regulator load decreases to % 10 at a depth of greater than 48 m. Due to the collapsing-enlarging of the boreholes after 20 and 24 m depths and the load-related stress increase acting greater depths, the excavation of the alluvial soils is suggested. At the end of this study, the problems arisen from application of Menard pressuremeter test for the hydraulic structures are outlined.*

**Key Words:** Aras River, Kuloğlu, Menard Pressuremeter, Settlement, Bearing capacity.

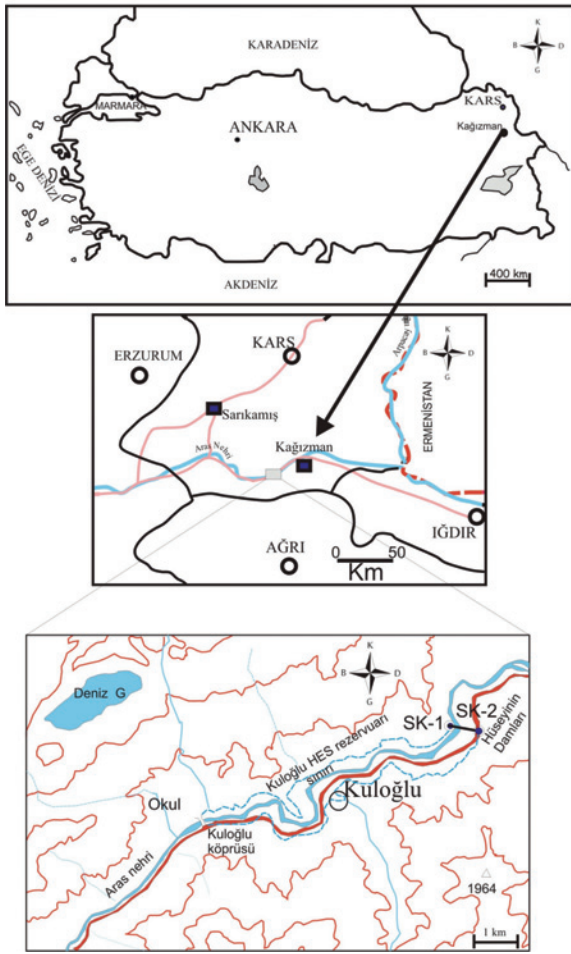
**GİRİŞ**

Çalışma alanı, Kars'ın 87 km güneyinde, Kağızman ilçesinin yaklaşık 17 km güney batısında yer almaktadır (Şekil 1). Kağızman ve çevresinde Mesozoyik yaşlı birimleri, Jura-Üst Kratase yaşlı peridotitler, volkanitler, kireçtaşı olistolitleri, sedimanter kayalar ve intrusif kayalar temsil eder (MTA, 2003). Kağızman ve yöresinde Tersiyer volkanizması asidik tüflerle başlar ve daha sonra bazik lavlarla devam eder. Eski alüvyon olarak da tanımlanan taraçalar, dik yamaç eteklerinde yerçekimi ve su etkisiyle oluşmuş yığılımlar oluştururlar. Taraçalar Pliyo-Kuvaterner yaşlıdır (Şekil 2).

Kuloğlu Regülatörü, Aşağı Aras havzası HES projelerinden birisidir. Regülatör yerini oluşturan Aras Nehri alüvyonal zeminlerinin taşıma gücünün ve oturma miktarının belirlenmesi amacıyla, çalışma alanında iki adet

sondaj kuyusu açılmıştır. Sondaj kuyularında her 1.5 m'de bir deney yapma koşulu öngörülmüştür. Aras Nehri alüvyonları kötü derecelenmiş çakıl, killi çakıl ve killi kumdan oluşmaktadır. SK-1 kuyusunda 8 adet presiyometre deneyi yapılabilirken SK-2 kuyusunda ancak 12 adet deney yapılabilmektedir. Sondaj ve presiyometre deneylerinin yapımı sırasında birçok seviyede kuyu genişlemesi ve dolgu-döküntü gibi sorunlar nedeniyle deney yapılamamıştır. SK-1 adlı kuyuda 20 m derinliğe kadar inilebilirken, SK-2 adlı kuyuda ancak 24 m'ye kadar inilebilmiştir. Bu metrelerden sonra kuyuların devamlı döküntü yapması ve çaplarının genişlemesi nedeniyle deneye son verilmiştir.

Presiyometre deneyi, temel altı zemin özelliklerini belirleyen kuyu içi yükleme deneylerinden birisidir. Bu deneyde temel fikir, zeminin basınç-deformasyon ilişkilerini



Şekil 1. Aşağı Aras Havzası Kuloğlu regülâtörü yer bulduru haritası.

Figure 1. Location map of the Kuloğlu regülâtör in the lower part of Aras Basin.

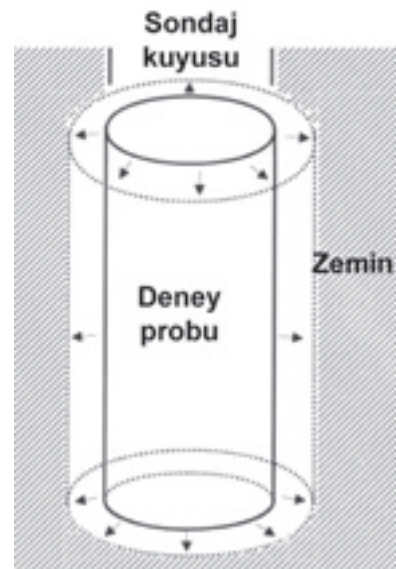


Şekil 2. Kuloğlu regülâtör yeri ve çevresinin jeoloji haritası (MTA, 2003).

Figure 2. Geological map of the Kuloğlu regulator site and its environment (MTA, 2003).

ölçmek için zeminde açılan silindirik bir boşluğun genişletilmesidir (Şekil 3). Zeminin deformasyon anlayışı, 1930'lu yıllarda, Alman araştırmacı Koeğler tarafından ortaya konmasına rağmen, presiometrenin bulunuşu 1950 ortalarına rastlar. Bu tarihlerde Dr. Mr. Louis Menard adlı bir araştırmacı, presiometre deney aletini icat etmiştir. 1960'lı yılların başlarında da presiometre cihazlarını imal etmeye başlamıştır (Baquelin vd., 1978).

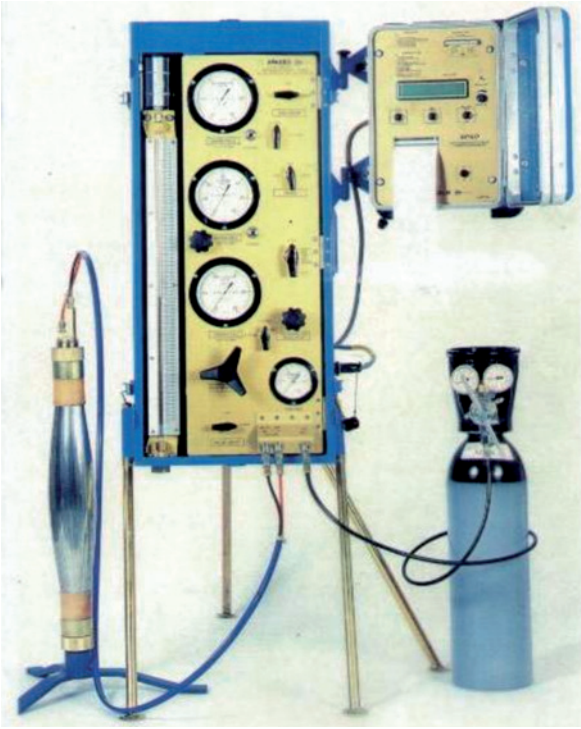
Ülkemizde ilk presiometre deneyleri 1969 yılında Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından Menard firmasından alınan G-tipi presiometrenin kullanımıyla başlamıştır (Erdoğan, 1980). 1980'li yılların başlarında da GA-tipi presiometre Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) tarafından kullanılmaya başlamıştır (Şekil 4). Presiometre deneyi, çok yumuşak zeminlerden, basınç dayanımı 20 MPa'ya kadar olan zeminlere kadar oldukça geniş bir aralıkta yer



Şekil 3. Daha önce açılan silindirik bir boşlukta sondanın şişirilmesi.

Figure 3. Expanding a probe in a prebored cylindrical hole.

Kayabaşı



GA TİPİ PRESİYOMETRE / GA TYPE PRESSUREMETER



G TİPİ PRESİYOMETRE / G TYPE PRESSUREMETER

Şekil 4. Presiyometre modellerinden bir görünüm.

Figure 4. A view from pressuremeter types.

alan zeminler için uygulanabilmektedir. Çizelge 1'de presiyometrenin uygulanabileceği dayanım sınırına bir yaklaşım yapılmıştır. Süreksizlik yüzeylerinin tek eksenli sıkışma dayanımına ve arazi tanımlamalarına göre sınıflandırıldığı tabloda zayıf kaya sınırı presiyometre deneyinin uygulanabileceği sınır olarak kabul edilebilir (ISRM, 1981).

Başarılı bir Menard presiyometre deneyi için sondaj kuyusunun uygun çapta açılması gerekir. Kuyu çapının uygun olmaması nedeniyle deney sonrasında çizilen deney eğrilerinin çoğunun başarılı olmayacağı Marnawski (2004)'te belirtilmiştir. Menard presiyometre deneyi verilerinin, diğer yerinde deney verileriyle

karşılaştırılarak görgül (ampirik) eşitliklerin belirlenmesi konulu makaleler literatürde yaygındır (Yağız vd., 2008; Bozbey ve Togrol, 2009; Kayabaşı, 2012). Ülkemizdeki 13 ayrı bölgede, farklı derinliklerdeki kil zeminlerde yapılan 65 adet presiyometre deneyi ve bu deneylerin taşıma gücü değerleri arasındaki değişimler Agan (2011) tarafından çalışılmıştır. Araştırmacı, killerin taşıma gücüne yönelik görgül bir eşitlik geliştirmiştir. Presiyometre deneyi, heyelan duraylılıkları ve geriye dönük analiz çalışmalarında da veri toplamak için kullanılmaktadır (Işık vd., 2008). Menard presiyometre deneyi ile hesaplanan taşıma gücü ve oturma değerlerinin diğer yaygın eşitliklerle karşılaştırılmasını Kayabaşı ve Gökçeoğlu,

(2012) Mersin arıtma tesisi temel araştırmaları verileriyle yapmıştır. Bu çalışmada, presiyometre ile hesaplanan oturma değerinin anlık oturmaya yakınlığına dikkat çekilmiştir. Taşıma gücü eşitliklerinden, Terzaghi yöntemi (Terzaghi, 1943), Hansen yöntemi (Hansen, 1961), Meyerof yöntemi (Meyerof, 1963) ve Menard presiyometresi ile belirlenen değerler birbirine yakın çıkmıştır.

Presiyometre deneyi kuyu içinde gerçekleştirilen yerinde (In situ) bir deneydir. Çapsal olarak genişleme özelliğine sahip silindirik bir sonda kullanılarak, kuyu içinde gerçekleştirilir. Çapsal genişlemeye neden olacak basınç kuyu duvarlarına uygulanır. Esasen deney kuyu çeperlerinde yer alan zeminin gerilme-deformasyon özelliğini ortaya koyar. Deney sonunda limit basınç ( $P_l$ ) ve presiyometre deformasyon modülü ( $E_M$ ) elde edilir.  $P_l$ , sondanın hacmi, orijinal zemin boşluğu hacminin iki katına ulaşıldığı basınçtır (ASTM, 1994).  $E_M$ , düzeltilmiş basınç-hacim eğrisinin pseudo-elastik kısmının eğiminden hesaplanır

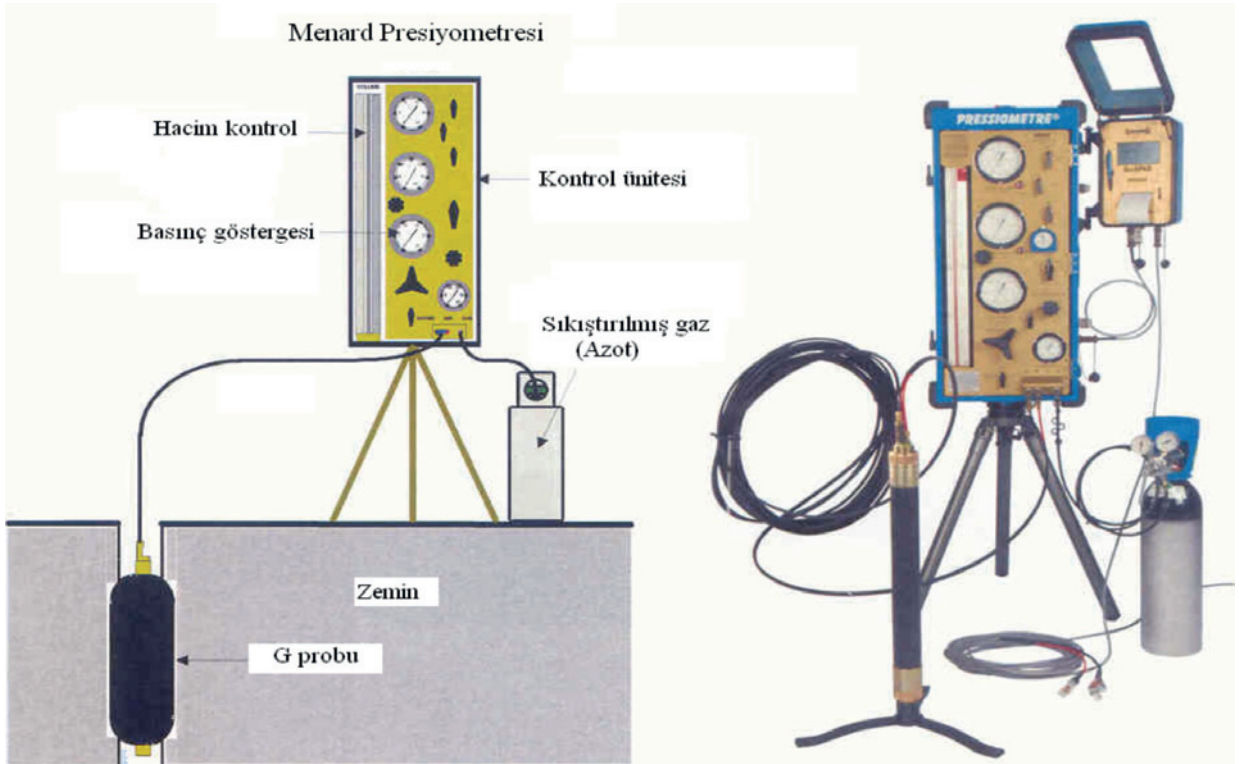
ve deformasyon modülü olarak adlandırılır. Bu deney metodu, yerinde zeminin gerilme-deformasyon tepkisini verir. Elde edilen  $P_l$  ve  $E_M$  değerleri, temel tasarımında ve jeoteknik analizlerde kullanılır.

Deney metodunun sonuçları, sondanın indirilmesi ve kuyunun açılması sırasındaki örselenmenin derecesine bağlıdır. Örselenme, hiçbir zaman tam olarak önlenemez ancak en aza düşürülmeye çalışılmalıdır. Bu konuda ASTM (1994)'e tam olarak uyulmalıdır. Örselenme, özellikle "çok yumuşak killerde" ve "çok gevşek kumlarda" kayda değer ölçülerdedir. Deney sonuçları yorumlanırken, sondaj sırasındaki şartlar da dikkate alınmalıdır.

Bir presiyometre deneyi, yaklaşık 10-15 dakika gibi kısa bir sürede yapılabilmektedir. Bunun nedeni, kilde drenajsız, kum ve çakıllı granüler zeminlerde ise ancak drenajlı deneylerin yapılabilmesidir. ASTM D4719-87, (ASTM, 1994), AFNOR NF 94-110-1 (Apageo, 2006) ve TSEV (1997-3) presiyometre ile ilgili kullanılan standartlardır.

Çizelge 1 Süreksizlik yüzeylerinin tek eksenli sıkışma dayanımına ve arazi tanımlamalarına göre sınıflandırılması (ISRM, 1981).  
Table 1. Classification of discontinuity surfaces according to uniaxial compressive strength and field identification (ISRM, 1981).

Simge	Tanım	Saha tanımlaması	Tek eksenli sıkışma dayanımı, $\sigma_{ci}$ (MPa)
R0	Aşırı derecede zayıf kaya	Kayanın yüzeyinde tırnak ile çentik oluşturulabilir	0.25-1.0
R1	Çok zayıf kaya	Jeolog çekiciyle sert bir darbeye ufulanan kaya, çakı ile doğranabilir.	1.0-5.0
<b>R2</b>	<b>Zayıf kaya</b>	<b>Kaya, çakı ile güçlkle doğranır. Jeolog çekici ile yapılacak bir darbe kayacın yüzeyinde iz bırakır.</b>	5.0-25
R3	Orta derecede sağlam kaya	Kaya çakı ile doğranamaz. Kaya örneği, jeolog çekici ile yapılacak tek ve sert bir darbeye kırılabilir.	25-50
R4	Sağlam kaya	Kaya örneğinin kırılabilmesi için jeolog çekici ile birden fazla darbenin uygulanması gerekir.	50-100
R5	Çok sağlam kaya	Kaya örneğinin kırılabilmesi için jeolog çekici ile çok sayıda darbe gerekir.	100-250
R6	Aşırı derecede sağlam kaya	Kaya örneği jeolog çekici ile sadece yontulabilir.	>250



Şekil 5. G tipi presiyometre cihazı ve parçaları (Apageo, 2006).

Figure 5. G-type pressuremeter and its parts (Apageo, 2006).

Presiyometre aleti, kontrol ünitesi, silindirik sonda, iletim hortumları ve tüp olmak üzere dört ana bölümden oluşmaktadır (Şekil 5).

### Kontrol Ünitesi

Kontrol ünitesinin üzerinde sondaya verilen basınç değerlerini ayrıntılı olarak gösteren manometreler vardır. GA-tipinde su-gaz basınç farklarını düzenleyen bir gösterge vardır. Buna karşın G-tipinde diferansiyel basınç göstergesi yoktur. Muhafaza hücresi ve merkezi hücre basınç değerleri farkından diferansiyel basınç değeri hesaplanır. Deney sırasında, verilen basınç altında zeminde oluşan hacim değişiklikleri volumetreden (hacimölçer) giden su miktarıyla

belirlenir. Volumetrede  $0.5 \text{ cm}^3$ 'e kadar su gidişleri rahatlıkla gözlenebilir. Ek göstergelerle bu hassasiyet artırılabilir.

### Silindirik Sonda

İstenen deney kotuna yerleştirilen ve radyal olarak genişleyen silindirik sondadır. Değişik çap ve uzunlukta olanları vardır (Şekil 6). İç içe geçirilmiş iki lastik kılıfın kaplanmasıyla oluşmuş metalik bir silindir ve iki hücreden meydana gelir. Deney sırasında muhafaza hücresi olarak adlandırılan dış kısımdaki koruyucu hücre kuru hava,  $\text{CO}_2$ , nitrojen gazı gibi tüpten gelen gazlarla, iç kısımdaki merkezi hücre ise su ile dolar. Bu iki hücre birbirleriyle bağlantılı değildir.

Hücreler, volumetre ile ayrı ayrı bağlantılıdır ve aynı basınç ile yüklenirler. Çizelge 2’de, açılacak sondaj çapıyla uyumlu sonda tipleri verilmiştir. Deneyin çıplak sondayla mı veya sonda üzerine geçirilecek yarık muhafazayla mı yapılacağına ilişkin değerlendirmelere göre sondaj kuyusu çapı ve kullanılacak karotiyer belirlenmelidir. Kablolü (Wireline) takımın kullanıldığı sondajlarda, kuyu çapı 75 mm’den az olduğu için, 76 mm’lik karotiyer takımının açtığı kuyuya

75 mm’lik yarık muhafazalı BX sondası (sonda çapı 58 mm) girmemektedir. Bu duruma dikkat edilmesi gerekmektedir.

Çizelge 3’te sonda tipleri ve özellikleri verilmektedir. BX-tipi sonda yaygın olarak kullanılmaktadır ve referans sonda olarak bilinir. Sondaların ölçüm yapan kısmı yaklaşık olarak kendi uzunluğunun yarısıdır. AX sondasının ölçüm hücresi, B sondasıyla aynı hacime sahiptir ancak AX-probu daha uzundur.

Çizelge 2. Menard Presiyometre deneyinde kuyu çapı-prop-yarık muhafaza ve karotiyer uyumluluğu.

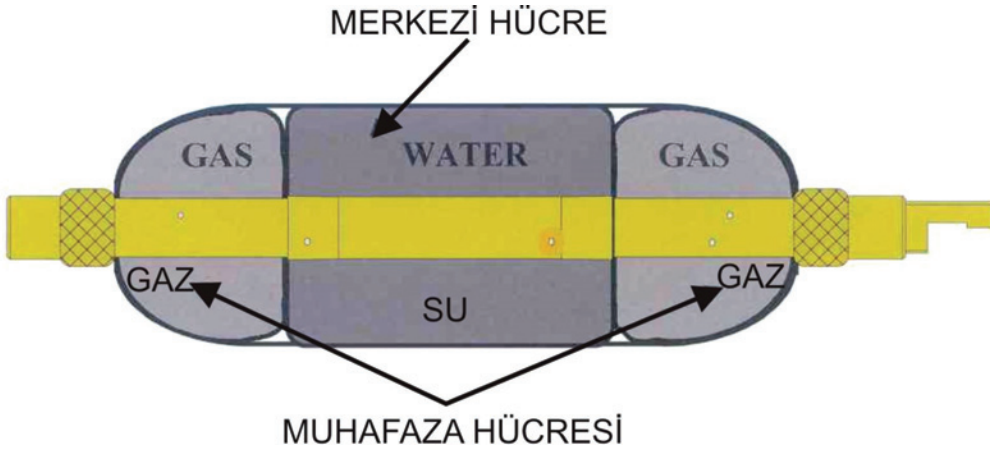
Table 2. Borehole diameter-probe-casing and casing compatibility in Menard pressuremeter test.

DCDMA	Sondaj kuyu çapı (mm)			Yarık muhafaza çapı (mm)	Yarık muhafaza alternatif (mm)	Çift tüplü karotiyer (mm) (Çıplak propla deney yapılacaksa)	Çift tüplü karotiyer (mm) (Yarık muhafazalı deney yapılacaksa)
	Prop çapı (mm)	En az	En fazla				
EX	32	34	38	Yok	Yok	56	Yarık muhafaza yok
AX	44	44	46	63.5	63.5	56	66
BX	58	58	60	75	44’lük (AX) prop 63.5’lik yarık muhafaza ile BX kuyuda kullanılabilir	66	76
NX	74	74	76	Yok	58’lik prop (BX) 75’lik yarık muhafaza ile NX kuyuda kullanılabilir.	76	86

Çizelge 3. Tipik sonda ve kuyu boyutları.

Table 3. Typical probe and borehole dimensions.

KODU DCDMA	KUYU ÇAPI (mm)		Prob Çapı (mm)	Ölçüm Hücresi Hacmi $V_c$ (cm <sup>3</sup> )
	Min	Max		
EX	34	38	32	535
AX	45	53	44	535
BX	60	70	58	535
NX	76	89	74	790



Şekil 6. G tipi presiyometre sondası ve kesiti (Apageo, 2006).

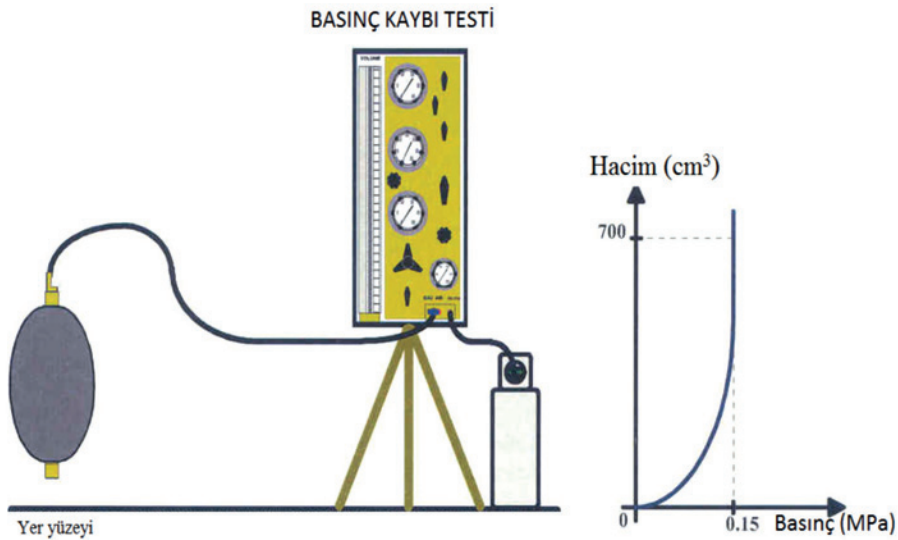
Figure 6. G type pressuremeter probe and its section (Apageo, 2006).

### İletim Hortumları

Sonda ile kontrol ünitesi arasındaki bağlantıyı sağlayan iletim hortumları iç içe iki ayrı boru halinde üretilmiştir. İçteki boru saf suyu, dıştaki boru ise gazı iletir.

### Tüp

Sistemin, dolaşım (sirkülasyon) basıncını karşılamak için sıkıştırılmış kuru hava, azot veya karbondioksit gazı kullanılabilir.



Şekil 7. Basınç kaybı testi (Apageo, 2006).

Figure 7. Pressure loss test (Apageo, 2006).



## Menard Presiyometre Cihazının Deneye Hazırlanması

Öncelikle sondanın merkezi hücrelerinde ve iletim hortumunun su bölümünde olabilecek hava su basılarak boşaltılır. Bu aşamada basınç kaybı deneyi, hacim kaybı deneyi, basınç farkının ayarlanması gibi cihaza ait kalibrasyonlar yapılmıştır. Yeni bir proje başlangıcında veya on deney sonrası sonda lastiğinin esnemesi göz önüne alınarak, basınç kaybı deneyi ve hacim kaybı deneyi yeniden yapılmalıdır. Farklı presiyometre cihazına ait kalibrasyon değeri kullanılmamalıdır.

## Basınç Kaybı Deneyi

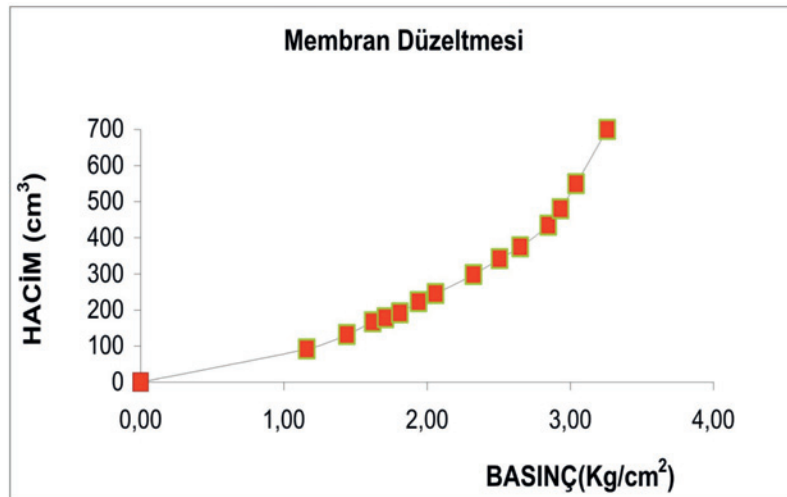
Cihazın kendisini oluşturan parçalarının ve sondanın lastik kısmının düşük bir direnci vardır. Bu direncin deneyin yapıldığı zemine verilen basınç içine dâhil edilmemesi gerekir. Bunun için kuyu içine sonda sokulmadan, açık havada,

toplam suyun ( $700 \text{ cm}^3$ ) sondaya gidebileceği kadar basınç verilerek deney yapılır (Şekil 7). Bu uygulamanın adı basınç kaybı veya membran deneyidir. Bu basınç değerleri daha sonra deneyde oluşturulan basınç değerlerinden çıkartılır. Aras havzası Kuloğlu regülatör yerindeki deneyler için yapılan basınç kaybı deney grafiği ve verileri Şekil 8’de verilmiştir.

## Hacim Kaybı Deneyi

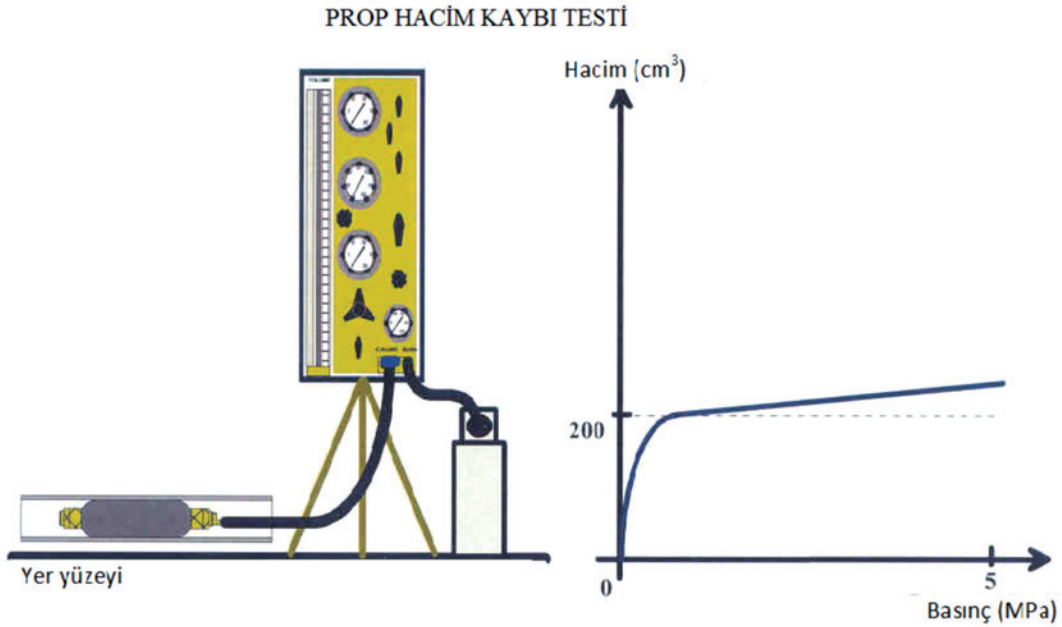
Tüm su hattı boyunca oluşabilecek hacimsel bir genişleme deney sonuçlarını etkileyecektir. Bu nedenle, kuyu çapındaki kalibrasyon cihazı içerisine sonda sokularak hacim kayıpları belirlenir. Çelik kalibrasyon cihazı içinde, basınç karşılığında oluşan hacimsel genişleme verileri grafiklenir (Şekil 9). Sonda kuyu kotuna indirilir ve deney yapıldıktan sonra çelik muhafaza içinde alınan hacim değerleri, deney hacim değerlerinden çıkarılarak cihaza ait hacimsel

BASINÇ (Kg/cm <sup>2</sup> )	HACİM (kg/cm <sup>2</sup> )
0,00	0
1,16	92
1,44	132
1,62	167
1,71	178
1,81	192
1,94	223
2,06	245
2,32	298
2,51	342
2,65	375
2,85	435
2,93	480
3,04	550
3,26	700



Şekil 8. Kuloğlu regülatör yerinde yapılan basınç düzeltmesi değerleri ve grafiği.

Figure 8. Pressure loss corrections and their graphs done at the Kuloğlu regulator site.



Şekil 9. Hacim kaybı testi (Apageo, 2006).

Figure 9. Volume loss test (Apageo, 2006).

genleşme giderilir. Aras havzası Kuloğlu regülatör yerindeki deneyler için yapılan hacim kaybı deneyi grafiği ve verileri Şekil 10'da verilmiştir.

### Hidrostatik Basınç Düzeltmesi

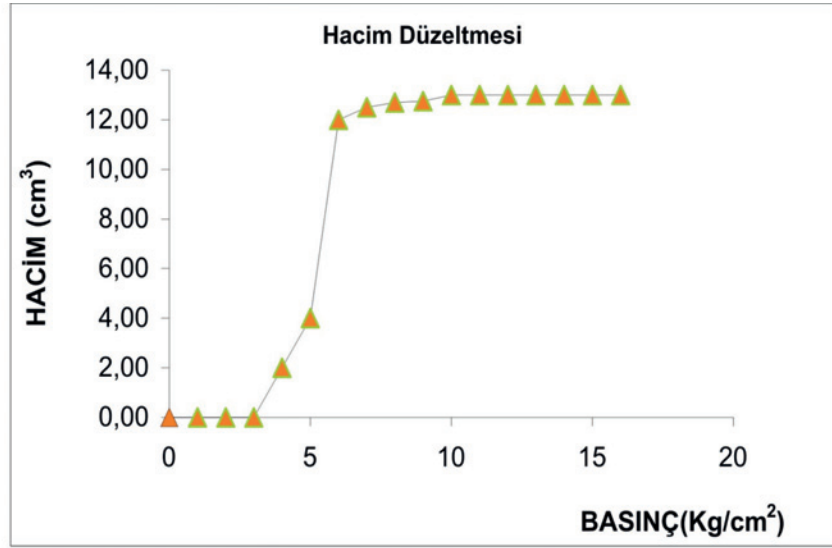
Sonda derinlere indikçe, merkezi hücredeki suyun basıncı artar. Yer yüzeyi ile deney seviyesi arasındaki basınç farkı diferansiyel düzeltme ile giderilir. Cihazın yüksekliği ile yer yüzeyi arasında oluşacak su basıncı da deney basınç verilerine eklenir (Şekil 11). Aras havzası Kuloğlu regülatör yerindeki Menard presiyometresi volümetresinin orta seviyesi ile yer yüzeyi arasındaki seviye farkı 60 cm'dir. Bu seviye farkı nedeniyle oluşan 0.06 bar basınç deney basınç verilerine eklenmiştir.

### Diferansiyel Basınç Farkı

Deney hortumu içerisinde iki bölüm vardır. Aynı şekilde deney sonda da iki bölümdür. Bu bölümler merkezi hücre ve gaz hücresidir. İki hücre arasında basınç farkı vardır. Bu farkın giderilmesi ve kuyu çeperlerine eşit basınç uygulanabilmesi için, diferansiyel basınç düzeltmesi yapılmalıdır. Bu düzeltme GA-tipi modellerde diferansiyel göstergesiyle yapılırken, G-tipi modellerde bu gösterge bulunmadığı için, merkezi hücre ve muhafaza hücresi arasındaki basınç farkı takip edilerek gerçekleştirilir.

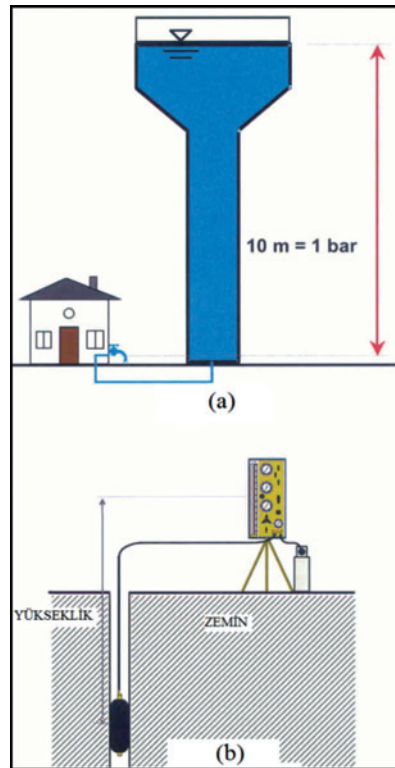
Merkezi hücre (su) ve muhafaza hücreleri (gaz) arasındaki basınç farklılıkları ve etkileri giderilmelidir. Şekil 12'de görüldüğü gibi durum 1, hatasız bir deney konumundaki merkezi hücrenin tamamıyla zemine yapışması durumunu göstermektedir.

BASINÇ (Kg/cm <sup>2</sup> )	HACİM (cm <sup>3</sup> )
0	0,00
1	0,00
2	0,00
3	0,00
4	2,00
5	4,00
6	12,00
7	12,50
8	12,70
9	12,75
10	13,00
11	13,00
12	13,00
13	13,00
14	13,00
15	13,00
16	13,00



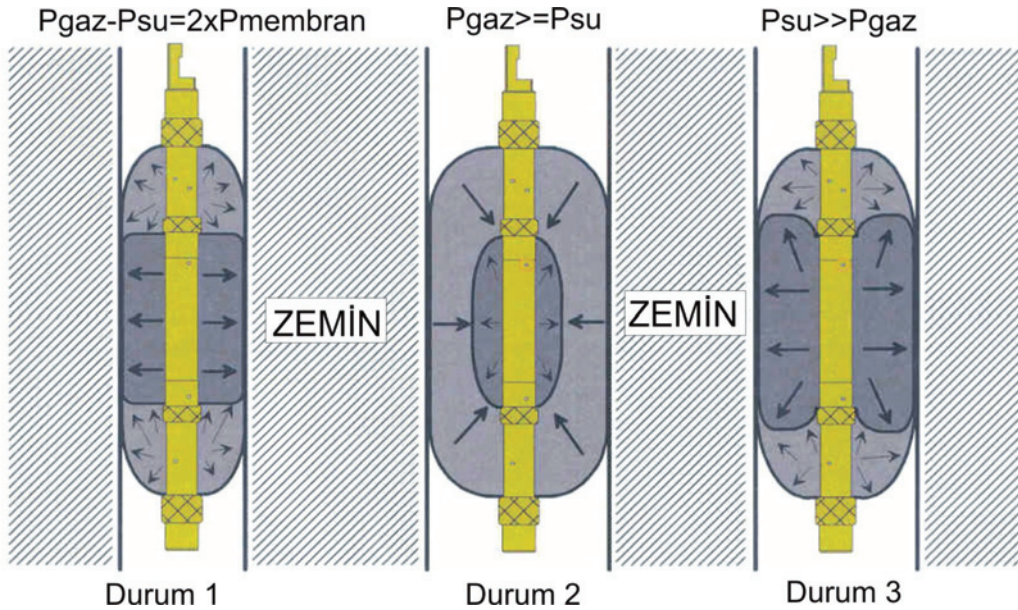
Şekil 10. Kuloğlu regülatör yerinde yapılan hacim düzeltmesi deneyi değerleri ve grafiği.

Figure 10. Volume loss test values and their graphs done at the Kuloğlu regulator site.



Şekil 11. Hidrostatik basınç farkı (a) Su seviyesi yükseldikçe hidrostatik basınç artışı, b) Hidrostatik basıncın belirlendiği kontrol ünitesinin altındaki su seviyesi yüksekliği (Apageo, 2006).

Figure 11. Hydrostatic pressure difference (a) Hydrostatic pressure increases with increasing water level, b) Water level below the control unit where hydrostatic pressure is determined (Apageo, 2006).



Şekil 12. Diferansiyel basınç farkı konumları (Apageo, 2006).

Figure 12. The conditions of differential pressure difference conditions (Apageo, 2006).

Durum 2’de ise muhafaza hücrelerindeki basınç fazlalığı merkezi hücrenin şişmesini önlemektedir. Bu duruma bağlı olarak zeminle bağlantı kurulamamaktadır.

Durum 3’te ise merkezi hücreye daha fazla basınç gitmesi ve muhafaza hücrelerine ise az basınç gitmesi konumunu gösterir. Bu durumda düşük basınçta fazla hacimsel genişleme meydana gelmekte ve hacim verileri gerçeği yansıtmamaktadır.

Durum 1’de görüleceği üzere manometreler yardımıyla muhafaza hücrelerindeki gaz basıncını, nispeten biraz daha az tutarak merkezi hücre ve muhafaza hücrelerinin sağlıklı şişmesi sağlanabilir. Bu diferansiyel basınç regülatörü düğmesi yardımıyla yapılabilmektedir.

Yüzeyde gaz hücresi basıncı ile merkez hücre basıncı arasındaki fark 1 bar iken, 10 metre derinlikte her iki göstergedeki basınç değerleri aynı olur.

20 metre derinlikte, gaz hücresi 1 bar önde giderken 30. metrede bu fark 2 bara çıkmaktadır (Çizelge 4). Esas amaç sonda ve hortumlardaki hidrostatik su basıncını gidermektir.

### Menard Presiyometre Deneyinin Yapılışı

Genel kural olarak presiyometre deneyi sondaj işleminden hemen sonra yapılmalıdır. Yapılacak araştırmanın niteliğine bakılmaksızın derinliğin bir fonksiyonu olarak direnç parametrelerinin değişimlerinin daha ayrıntılı olarak kayıt edilebilmesi için deneyler sistematik olarak her metrede bir kez tekrarlanmalıdır. Kural olarak incelenen üst yapının genişliğinin yaklaşık iki katı derinliğe kadar, her metrede deney yapılmalıdır (Baquelin vd., 1978).

Kalibrasyonu daha önce yapılmış olan sonda, kuyu içine, deneyin yapılacağı derinliğe

Çizelge 4. Prob derinliğinin fonksiyonu olarak diferansiyel göstergesi basınç farkı ( $P_{diff}$ ).

Table 4. Pressure lag ( $P_{diff}$ ) as a function of probe depth.

Prob Derinliği (m)	Muhafaza Hücresi Göstergesi ve Merkezi Hücre Göstergesi Farkı (bar)
0*	-1,0
1	-0.9
2	-0.8
3	-0.7
4	-0.6
5	-0.5
6	-0.4
7	-0.3
8	-0.2
9	-0.1
10	Eşit Basınç
11	0.1
12	0.2
20	1.0
25	1.5
30	2.0

\*Kalibrasyon testi için (For calibration test)

indirilir ve basınçlı hava ( $CO_2$ , vb.) ile şişirilir. Sondanın şişmesi ve buna bağlı olarak boşluğun genişlemesini sağlamak için gaz tüpünden regülatör (dedantör) yardımı ile ölçme hücresine eşit aralıklarla (1-2-3 bar) arttırılan basınçlar uygulanır. Arttırılan her basınç seviyesinde, sabit bir zaman aralığına kadar (genellikle 1 dakika) beklenilir. Belirlenen bu zaman aralığında her basınç artışı ( $p_m$ ) için ölçme hücresindeki hacim değişimleri ( $V_m$ ) kaydedilir. Boşluk hacminde oluşan artış, kuyunun yalnız çapsal olarak genişlemesi şeklinde gelişir. Bir deney zonuna en az 10 kademelik basınç uygulanır. Böylece bir deney yaklaşık olarak 10-15 dakika sürer.

Kayıtların alımından sonra hacim ve basıncın artan değerleri üzerinde gerekli düzeltmeler yapılır. Şekil 13'te Kuloğlu regülatör yerinde açılan SK-1 nolu kuyuda 7.50 ile 9.00 m arasında yapılan presiometre deney verileri

görülmektedir. 2 nolu sütunda deneyde uygulanan basınç artışları verilmiştir. Üç nolu sütunda ise, basınç artışlarının karşılığında oluşan hacimsel genişleme değerleri verilmiştir. 2 ve 3 nolu sütun verileri, düzeltme yapılmamış ham verilerdir. 4 nolu sütundaki veriler eklenen hidrostatik basınç değerleridir. SK-1 kuyusunda deney yapılırken sondaj kuyusu seviyesiyle presiometre cihazı volumetre tüpünün ortasına kadar olan yükseklik 60 cm ölçülmüştür. Bu değer deney çizelgesinde manometre yüksekliği seviyesi 0.6 m olarak kayıt edilmiştir. 60 cm yükseklikteki bir su sütunu  $0.06 \text{ kg/cm}^2$  basınç yapacağı için, deneyde uygulanan basınç değerlerine  $0.06 \text{ kgf/cm}^2$  ek basınçlar ilave edilerek 4-nolu sütun oluşturulur. 5-nolu sütun değerleri hacim kalibrasyonu değerleridir. Deneyde uygulanan basınç değerlerinin karşılığı, yüzeyde kalibrasyon borusu içerisine sonda sokarak yapılan deneye ait hacim değerleridir.

## Kayabaşı

Bu hacim değerleri deneyde kayıt edilen hacim verilerinden çıkartılarak 6 nolu sütun oluşturulur. 7 nolu sütundaki basınç değerleri sondanın yer yüzeyinde açık havada 700 cm<sup>3</sup>'e kadar şişirilmesi için gereken basınç değerleridir. 7 nolu sütundaki basınç değerleri, deneyde kullanılan ve hidrostatik basıncın da ilave edildiği basınç değerlerinin verildiği 4-nolu sütundaki verilerden çıkarılarak 8-nolu sütundaki düzeltilmiş basınç değerleri belirlenir.

6-nolu sütundaki düzeltilmiş hacim değerleri ve 8-nolu sütundaki düzeltilmiş basınç değerlerinden presiyometre grafiği çizilir. Her deney için çizilen bu grafiklerden, Menard deformasyon modülü ( $E_M$ ) ve zeminin yenilmesi halinde net limit basınç ( $P_1^*$ ) değerleri hesaplanır.

### Menard Deformasyon Modülü ( $E_M$ )'nün Hesaplanması

Baquelin vd. (1978)'de elastik bir ortamda, silindirik bir boşluğun radyal genişlemesi sırasında basınç ( $\Delta P$ ) artması ile çapta meydana gelen hacim ( $\Delta V$ ) değişmesi ilkesinden hareketle, Menard Deformasyon Modülü'nün ( $E$ ) aşağıdaki eşitlikten hesaplanacağını belirtmiştir.

$$E = k \cdot \Delta P / \Delta V \quad (1)$$

$$k = (1+v)2(V_c + V_m) \quad (2)$$

Poisson oranının 0.33 alınması durumunda

$$E = 2.66(V_c + V_m) \Delta P / \Delta V \quad (3)$$

$\Delta P$ : Kalibrasyonları yapılarak çizilmiş presiyometre deney eğrisinde, doğrusal (lineer) kısımdaki basınç farkı

$\Delta V$ : Kalibrasyonları yapılarak çizilmiş presiyometre deney eğrisinde, doğrusal (lineer) kısımdaki hacim farkı

$V_c$ : Probun boş hacmi

$V_m$ : Eğrinin doğrusal kısmında proba verilen ortalama hacim

$v$ : Poisson Oranı

Şekil 13 incelenecek olursa, hacim-basınç eğrisinin kuyu çeperine yapışmaya kadar dikey olarak yükseldiği, kuyu çeperine tam yapışmanın ve tam hacimsel genişlemenin başlamasının, yani  $P_o$  noktasının 1.76 kgf/cm<sup>2</sup> olduğu ve bu değere karşılık gelen  $v_o$  değerinin 105 cm<sup>3</sup> olduğu görülür. Bu noktadan sonra grafik eğrisinde doğrusal bir kısım başlar. Bu doğrusal kısım; zeminin elastik özelliklerini belirler. Doğrusallığın bittiği nokta, akma noktası ( $P_f$ ) olarak tanımlanır. Akma noktasından sonraki aşama, zeminin plastik davranış sergilediği kısımdır.

$$\Delta P = P_f - P_o = 8.34 - 1.76 = 6.58 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\Delta V = V_f - V_o = 186 - 105 = 81 \text{ cm}^3$$

$$V_m = 81/2 + 105 = 145.5 \text{ cm}^3$$

$$E_M = 2.66 * (535 + 145.5) * (6.58/81) = 147.05 \text{ kgf/cm}^2$$

### Limit Basıncın ( $P_1$ ) Bulunması

Limit basınç; teorik olarak zeminde açılmış olan silindirik boşluğun ilksel hacminin iki katına ulaştığı hacmine ( $2v_o + V_c$ ) karşılık gelen basınç değeridir. Şekil-14'te görülebileceği gibi limit basıncın tanımlandığı koşul; deneyin yapıldığı kuyu çapının iki katına ulaştırılabilmesi için

PRESİYOMETRE DENEYİ PRESSUREMETER TEST								
PROJE ADI Project Name		AŞAĞI ARAS HAVZASI BARAJ VE HES PROJELERİ KULOĞLU REGÜLATÖRÜ JEOTEKNİK ÇALIŞMALARI				Tarih Date of Test		16.10.2002
Presiyometre Türü Type of pressuremeter		Menard GA	Sonda Çapı (mm) Diameter of Probe	44	Sfır Vol. Okumasındaki Hacim $V_0$ (cm <sup>3</sup> ) Zero volumeter reading corresponds to $V_0$		535	
Kuyu No Borehole		SK-1	Manometre Yüksekliği (m) Height of Manometer		0,6	Deney Derinliği (m) Test Depth		7,50-9,00
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]
Kademe Artışı Increment	Deney Basıncı Volumeter Pressure Kg/cm <sup>2</sup>	Hacim Ölçer Okuması 1 minute Volumeter Reading cm <sup>3</sup>	[2]+ Hidrostatik Okuması [2]+ Hydrostatic Pressure Kg/cm <sup>2</sup>	Hacim Düzeltmesi Volume Correction cm <sup>3</sup>	Düzeltilmiş Hacim Corrected Volume cm <sup>3</sup>	Membran Düzeltmesi Membrane Correction Kg/cm <sup>2</sup>	Düzeltilmiş Basınç Corrected Pressure Kg/cm <sup>2</sup>	$V=V_c + 2V_0$ cm <sup>3</sup>
0	0	0	0,06	0	0	0,00	0,06	
1	1	50	1,06	0	50	0,80	0,26	
2	2	85	2,06	0	85	1,18	0,88	
3	3	105	3,06	0	105	1,30	1,76	
4	4	120	4,06	2	118	1,38	2,68	
5	5	135	5,06	5	130	1,48	3,58	
6	6	145	6,06	6	139	1,51	4,55	
7	8	175	8,06	12	163	1,65	6,41	
8	10	200	10,06	14	186	1,72	8,34	186
9	12	236	12,06	16	220	1,90	10,16	220
10	14	275	14,06	18	257	2,16	11,90	257
11	16	335	16,06	20	315	2,40	13,66	315
								745
Belirlenen Değer/ Assessed Value	Limit Basınç $P_L$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	21,00	Net Limit Basınç $P^*L$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	19,24	Elastisite Modülü $E_v$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	147,05		

$P_L$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	1,76	$V_0$ (cm <sup>3</sup> )	105	$\Delta P$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	6,58	$E_v/P_L$	7,64	Sayfa No
$P^*L$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	8,34	$V^*L$ (cm <sup>3</sup> )	186	$\Delta V$ (cm <sup>3</sup> )	81			

Şekil 13. Kuloğlu regülâtör yerinde SK-1 nolu kuyuda 7.50-9.00 m arasında yapılan presiometre deneyi verileri.

Figure 13. The pressuremeter test results performed at 7.50-9.00 m depth of SK-1 for the Kuloğlu regulator site.

cihazdan sondaya gönderilen su hacmine karşılık gelen basınç değeridir.

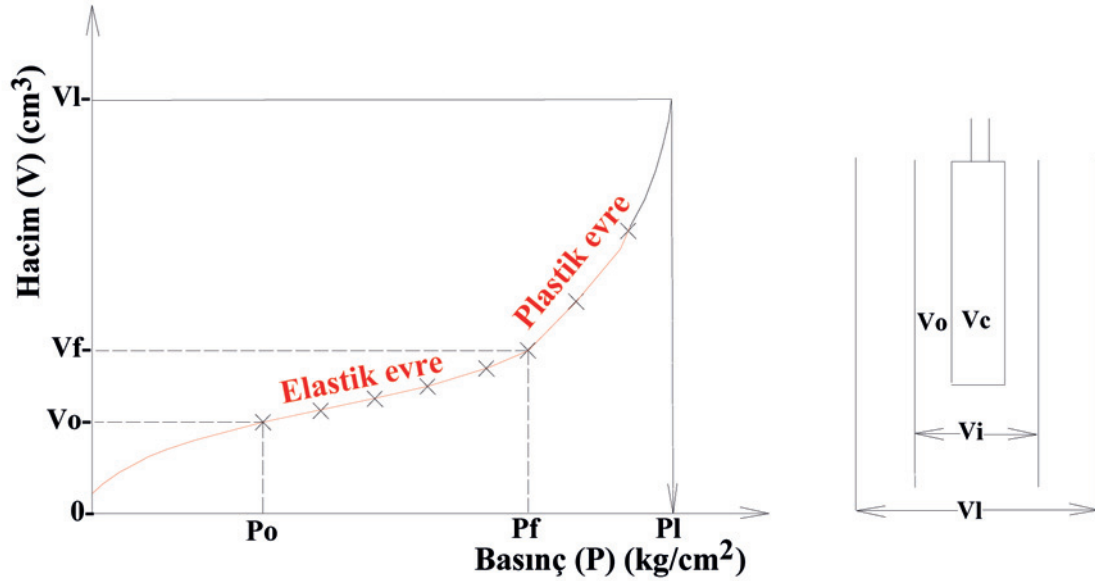
$$V_t = 2V_0 + V_c \quad (4)$$

$V_c$ : Presiyometre sondasının hacmi

$v_0$ : Deneyin başlamasından sonra sondanın şişerek kuyu çapına yaslandığı hacim

$V_t$ : Deneyin yapıldığı kuyu çapının iki katına çıktığı hacim

$V_t$ -hacmini oluşturan basınç değeri limit basınç ( $P_L$ ) değeridir. Deney sırasında elde edilen hacimsel artış 4 nolu eşitliğin değerinden daha az ise; deney sırasında elastik safha-plastik safha



Şekil 14. Presiyometre deney eğrisinin şekli ve bölümleri.

Figure 14. The shape of the pressuremeter test curve and its sections.

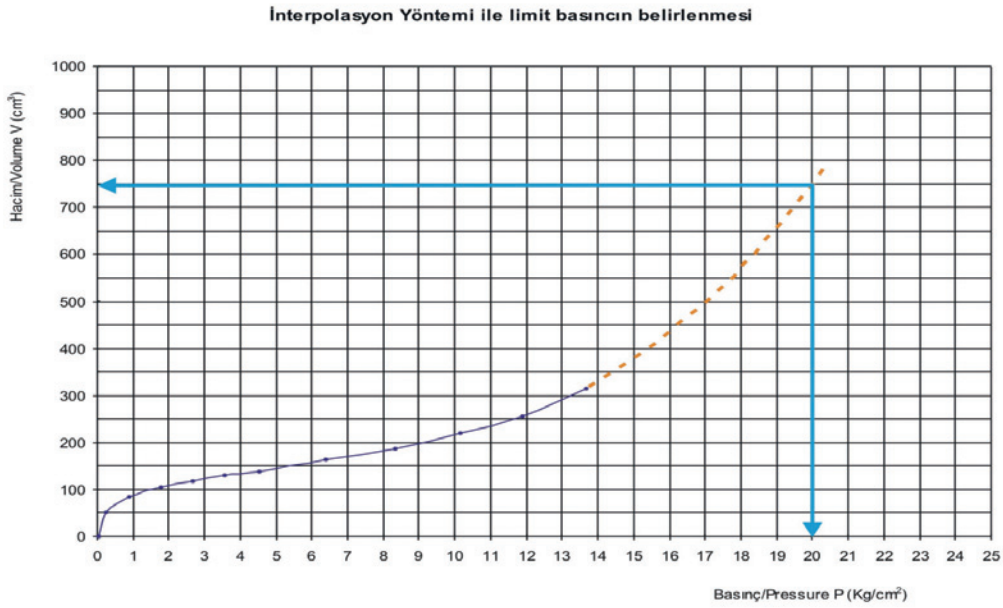
sınırını aşması şartıyla limit basınç değeri tahmin edilebilir. Limit basınç ( $P_l$ ), kuyu çeperinde artan üniform basıncın etkisi altında kalan bir zeminin yenilmesinin sınır durumuna karşılık gelir ve zeminin teorik olarak nihai taşıma gücünü temsil eder. Erdoğan (1980) sert zeminlerde deformasyonların az olması nedeniyle yüksek basınç altında dahi silindirik boşluğun ilksel hacminin iki katına ulaşılama durumunda, grafik eğrisinin  $700 \text{ cm}^3$ 'e karşılık gelen basınç değerini limit basınç ( $P_l$ ) olarak tanımlar.

Bir eğrinin uzatılması için kullanılan en basit ve yaygın yöntem, eğriyi P-V grafiği üzerinde devam ettirmektir. Eğrinin uzatılma işlemi pistole veya diğer çizim araçları ile yapılabilir (Şekil 15).  $P_{\max}$  ve  $V_{\max}$  noktası (yani eğrinin son noktası) eğrinin eğimi (veya yönelimi) yönünde ( $2v_o + V_c$ ) değerine

kadar (hacim ekseninde) uzatılır.  $2v_o + V_c$  noktası, deney boşluğunun boyut olarak iki kat olduğu noktadır.  $2v_o + V_c$  hacmine eş gelen basınç değeri limit basıncı ( $P_l$ ) oluşturur. Bu işlem el ile çizim yapıldığı için, manuel limit basınç yöntemi olarak isimlendirilir. Şekil 15'te görüldüğü gibi SK-1 kuyusunda 7.00 - 9.50 m arasında yapılan presiyometre deney grafiği eğrisi  $2v_o + V_c = 745 \text{ cm}^3$  değerine kadar uzatılarak, bu hacmi oluşturan basınç değeri yani limit basınç ( $P_l$ ) =  $20 \text{ kg/cm}^2$  olarak belirlenmiştir. Net limit basıncın bulunabilmesi için, presiyometre probunun zeminde hacimsel değişim oluşturmaya başladığı basınç değerini limit basınç değerinden çıkarmamız gereklidir.

Net limit basınç ise  $P_l^* = P_l - P_o = 20 - 1.76 = 18.24 \text{ kgf/cm}^2$ 'dir.





Şekil 15 İnterpolasyon yöntemi ile limit basınç  $P_l$  değerinin belirlenmesi.

Figure 15. Determination of the limit pressure ( $P_l$ ) by utilizing the interpolation method.

El ile presiyometre grafik eğrisinin uzatılması işlemi kişiden kişiye değişebilir ve bu nedenle de subjektiftir. Bu nedenle literatürde daha objektif yöntemler önerilmiştir. Bunlar Log-Log Yöntemi (Jézéquel vd., 1974), Ters Çevirme Yöntemi (Van Wambrake ve D'henri Court, 1971) ve Göreceli Hacim Yöntemi (Centre d'Etudes Menard, 1971) şeklinde sayılabilir.

Log-Log yöntemine göre SK-1 kuyusunda 7.50-9.00 m derinlikte yapılan presiyometre deneyinin net limit basıncı ( $P_l^*$ ) değerini hesaplırsak; Şekil 13'te 9 nolu sütunda düzeltilmiş hacim değerlerinin son 4 değeri verilmiştir. Bu son dört değer her iki eksenin logaritmik olduğu P-V grafiğinde çizilmesi sonucu grafik eğrisi düz bir çizgi olur. Bu çizginin  $2v_o + V_c = 2*(105) + 535 = 745 \text{ cm}^3$  e uzatılmasıyla bulunan basınç değeri limit basınç  $P_l = 21 \text{ cm}^3$

olacaktır. Net limit basıncının bulunabilmesi için, presiyometre probunun zeminde hacimsel değişim oluşturmaya başladığı basınç değerini limit basınç değerinden çıkarmamız gereklidir.

Net limit basınç ise  $P_l^* = P_l - P_o = 21 - 1.76 = 19.24 \text{ kgf/cm}^2$  'dir.

Aşağı Aras havzası kuloğlu regülatör yerinde açılan SK-1 ve SK-2 kuyularında da çeşitli kademelerde yapılan presiyometre deneyleri sonucunda belirlenen Menard Deformasyon Modülü ( $E_M$ ) ve Limit Basıncı ( $P_l$ ) değerleri şekil-16'da verilmiştir. Çizelge 5'te SK-1 ve SK-2 kuyularında deney sonuçlarının istatistiksel değerlendirilmesi verilmiştir. Kuloğlu regülatör yerinde belirlenen ortalama Menard deformasyon modülü ve ortalama limit basınç değerleri, çizelge 6'da Baguelin vd. (1978)'e göre verilen verilerle uyumluluk göstermektedir.

Kayabaşı

Çizelge 5. Kuloğlu regülatör yerinde yapılan Menard presiometre deneylerinin istatistiksel değerlendirmesi.

Table 5. Statistical evaluation of the Menard pressuremeter test performed at the Kuloğlu regulator site.

Parametre	Parametre sayısı	Aralık	En düşük	En yüksek	Ortalama	Std. sapma	Varyans
Menard Modülü, $E_M$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	20	376.59	35.58	412.17	177.59	98.24	9651.15
Net Limit Basınç $P_l^*$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	20	39.04	6.48	45.52	28.74	11.31	128.06

### KULOĞLU REGÜLATÖR YERİNDE PRESİYOMETRE DENEYİ SONUÇLARIYLA TEMEL BİRİMİNİN TAŞIMA GÜCÜNÜN BELİRLENMESİ

Kuloğlu regülatör yeri proje özellikleri şu şekildedir:

Proje yükü ( $q^*$ ) = 3.2 kgf/cm<sup>2</sup>

Temelin uzun kenarı uzunluğu ( $L$ ) = 2400 cm

Temelin kısa kenarı uzunluğu ( $B$ ) = 2400 cm

Temel kazı derinliği ( $D_p$ ) = 300 cm

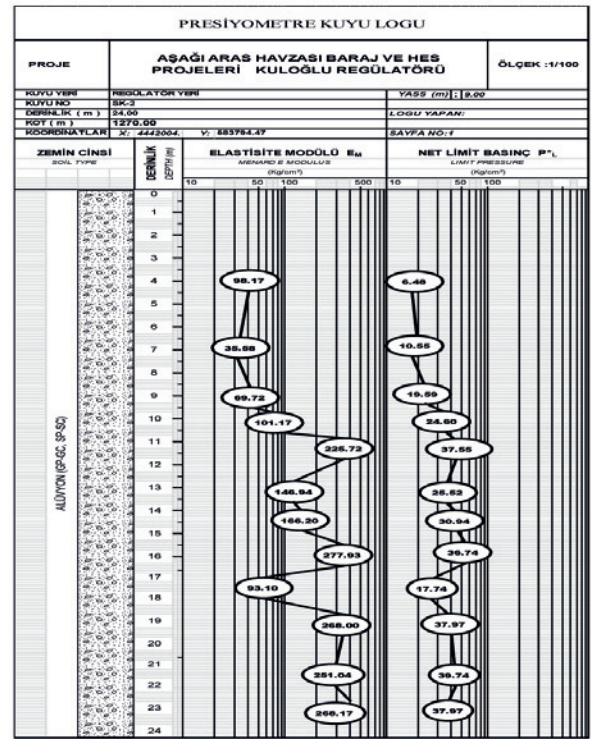
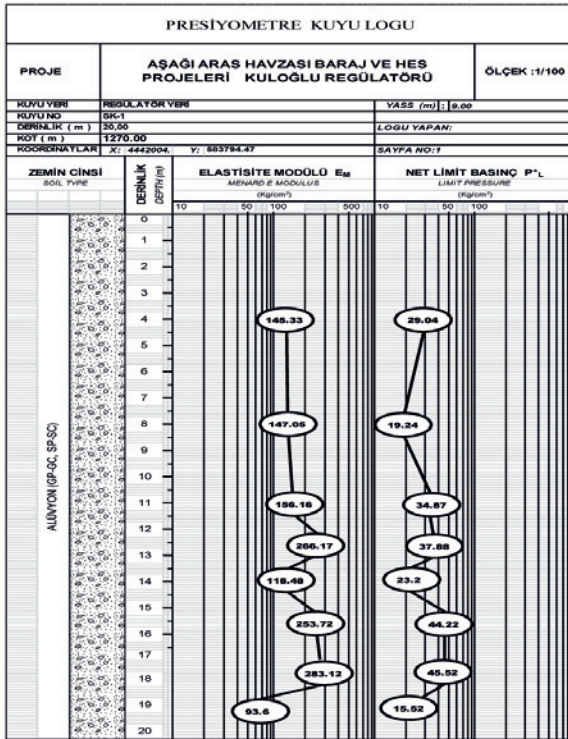
Alüvyon birim hacim ağırlığı ( $\gamma_n$ ) = 1.83 gr/cm<sup>3</sup>

Güvenlik katsayısı ( $F$ ) = 3

Çizelge 6. Tipik zeminlerde Menard modülü ile limit basınç arasındaki ilişki.

Table 6 The relationship between Menard modulus and limit pressure for typical soils.

Zemin Cinsi	Menard Modülü ( $E_M$ ) (kN/m <sup>2</sup> )	Limit Basınç ( $P_l$ ) (kN/m <sup>2</sup> )
Balçık	200 - 500	20 - 150
Yumuşak Kil	500 - 3 000	50 - 300
Plastik Kil	3 000 - 8 000	300 - 800
Sert Kil	8 000 - 40 000	600 - 2 000
Marn	5 000 - 60 000	600 - 4 000
Gevşek Siltli Kum	500 - 2 000	100 - 500
Silt	2 000 - 10 000	200 - 1 500
Kum ve Çakıl	8 000 - 40 000	1 200 - 5 000
Tortul Kum	7 500 - 40 000	1 000 - 5 000
Kireçtaşı	80 000 - 20 000 000	3 000 - 10 000
Yeni Toprak Dolgu	500 - 5 000	50 - 300
Eski Toprak Dolgu	4 000 - 15 000	400 - 1 000



Şekil 16. SK-1 ve SK-2 nolu kuyuların presiyoumetre deney logları.

Figure 16 The pressuremeter borehole logs of SK-1 and SK-2.

Baquelin vd. (1978) taşıma gücü için aşağıdaki eşitlikleri önermiştir:

$$q_u = q_o + k \cdot (P_{lc}^*) \quad (5)$$

$$q_a = q_o + (k P_{lc}^* / F) \quad (6)$$

$q_u$  : Nihai taşıma gücü

$q_o$  : Temel taban seviyesinde zemine uygulanan düşey gerilme değeri (Temel taban basıncı)

$k$  : Temel şekli, derinliği ve zeminin cinsine bağlı olarak (kil, silt, kum, çakıl ve zayıf kaya) elde edilen bir katsayı ( $k$  katsayısı Şekil 17'deki

grafiklerden veya Çizelge 7'deki eşitlikler yardımıyla belirlenebilir)

$P_{lc}^*$  : Eşdeğer net limit basınç

$q_a$  : İzin verilebilir taşıma gücü

Eşdeğer limit basıncı ( $P_{lc}^*$ ), presiyoumetre deneyiyle elde edilen net limit basınçlarının, Eşitlik 7'ye göre geometrik ortalaması alınarak elde edilir.  $P_{lc}^*$  değerinin hesaplanması, öncelikle yapının oturacağı temel derinliği =  $B/2$  aralıklarına bölünmesiyle olur. Burada  $B$ , temelin kısa kenar uzunluğudur (Şekil 18).

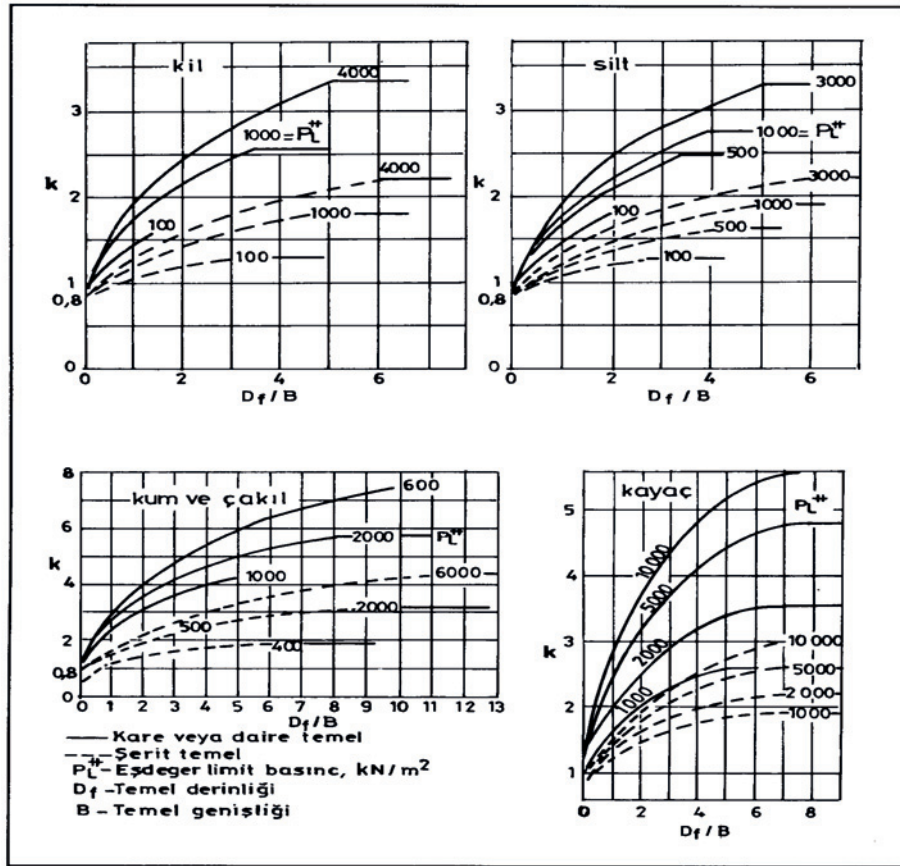
Kayabaşı

Çizelge 7. Taşıma gücü katsayısı (k) değerleri.

Table 7. The value of bearing capacity factor (k).

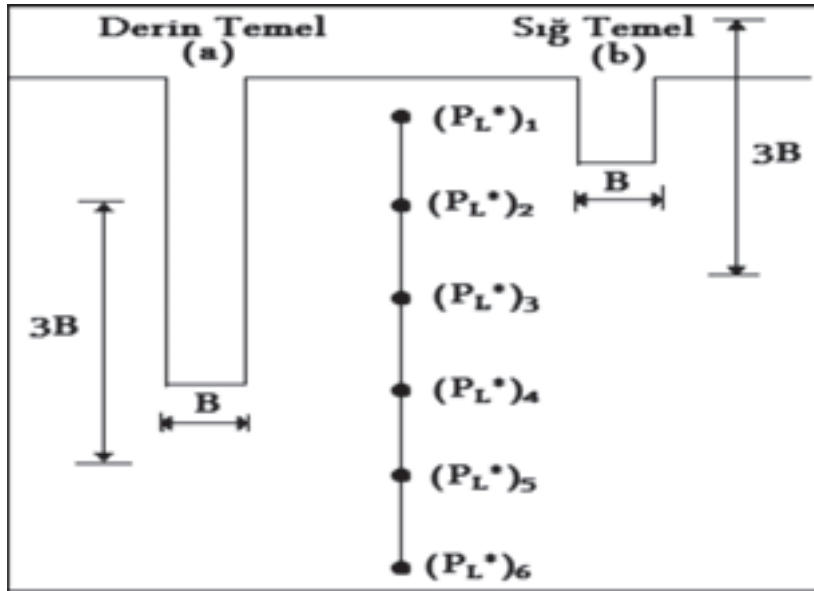
Zemin cinsi	k
Kohezyonlu	$1 + 0,2 B/L$
Daneli – gevşek	$1.1 + 0.2 B/L$
Daneli - sıkı	$1.2 + 0.4 B/L$

B = temel genişliği, L = temel uzunluğu



Şekil 17. Taşıma gücü faktörü (k) tespiti için hazırlanmış grafikler (Baquelin vd., 1978).

Figure 17. The graphs for the determination of bearing capacity factor (k) (Baquelin et al., 1978).



Şekil 18. Temel zemininin taşıma gücünün belirlenmesi için hayali tabakalara bölünmesi.

Figure 18. Division of the foundation soil for the assessment of bearing capacity.

$$P_{lc}^* = (P_{11} \times P_{12} \times P_{13})^{1/3} \quad (7)$$

$P_{11}^*$  : Temel taban seviyesinin üstünde, +3R ile +R aralığında tespit edilen net limit basınç değeri

$P_{12}^*$  : Temel taban seviyesinin alt ve üstünde (+R ile -R) ölçülen net limit basınç değerlerinin geometrik ortalaması

$P_{13}^*$  : Temel taban seviyesinin altında -R ile -3R aralığında ölçülen net limit basınç değerlerinin geometrik ortalaması

Yüzeysel temellerde,  $P_{11}^*$  değeri dikkate alınmadan, eşdeğer limit basıncı hesaplanırken, Eşitlik 8 dikkate alınır.

$$P_{lc}^* = (P_{12}^* \times P_{13}^*)^{1/2} \quad (8)$$

Kuloğlu regülatör yerinde SK-1 kuyusunda yapılan presiyometre deformasyon modülü ( $E_M$ ) ve presiyometre net limit basınç ( $P_1^*$ ) değerleri sondaj loguna işlendikten sonra taşıma gücü hesaplamaları için temel tabanı seviyesinden sonrası  $R = B/2$  şeklinde zonlanarak aşağıdaki gibi gruplandırmalar yapılmıştır.

$P_{12}^*$  : Temel taban seviyesinin alt ve üstünde, +R ile -R aralığında tespit edilen net limit basınç değerlerinin geometrik ortalamasıdır. Örneğimizde bu aralığa düşen değerler: 29.0 kgf/cm<sup>2</sup>, 19.2 kgf/cm<sup>2</sup>, 34.9 kgf/cm<sup>2</sup>, 37.9 kgf/cm<sup>2</sup> ve 23.2 kgf/cm<sup>2</sup>'dir

$P_{13}^*$  : Temel taban seviyesinin altında -R ile -3R aralığında tespit edilen net limit basınç değerleri geometrik ortalamasıdır. Örneğimizde bu aralığa düşen değerler: 4.2 kgf/cm<sup>2</sup>, 45.5 kgf/cm<sup>2</sup> ve 15.52 kgf/cm<sup>2</sup>'dir.

Kayabaşı

$$P_{12}^* = (29.0 \times 19.2 \times 34.9 \times 37.9 \times 23.2)^{1/5} = 26.13 \text{ kgf/cm}^2$$

$$P_{13}^* = (44.2 \times 45.5 \times 15.52)^{1/3} = 31.49 \text{ kgf/cm}^2$$

Eşitlik 8'e değerlerin konmasıyla net eşdeğer limit basınç ( $P_{lc}^*$ ) bulunur:

$$P_{lc}^* = (26.13 \times 31.49)^{1/2} = 28.69 \text{ kgf/cm}^2$$

Tesis yerini oluşturan alüvyon, taneli ve sıkı olarak tanımlanmıştır. Bu tanımlamaya göre Çizelge 6'dan k-değerlerini tanımlayan eşitlik seçilmiştir (kare temel için  $B/L = 1$ 'dir).

$k = 1.2 + 0.4 B/L = 1.2 + 0.4 \times 1 = 1.6$  olarak bulunur.

İzin verilebilir taşıma gücü;

$$q_a = \frac{q_u}{3} = \frac{1}{3} [Df\gamma_n + kxP_{lc}^*] \quad (9)$$

$$q_a = \frac{1}{3} [3 \times 1.83 + 1.6 \times 286.9]$$

$$q_a = 154.84 \text{ tonf/m}^2$$

## KULOĞLU REGÜLATÖR YERİNDE PRESİYOMETRE DENEY SONUÇLARIYLA OTURMA MİKTARININ TAHMİNİ

Baquelin vd. (1978) tarafından, temel taban zeminindeki oturmaları farklı özellikte olan zeminler için değişik yöntemler önerilmiştir. Bu yöntemler: 1) Homojen zeminler içerisindeki sığ temellerde oturma, 2) heterojen zeminlerde oturma, 3) yüksek derecede değişken zeminlerde

oturma (iki tabaka sistemi, daha katı tabakalar arasında gevşek yapılı sıkışabilir bir tabakanın bulunması durumu). Kuloğlu regülatör yerinde SK-1 ve SK-2 kuyularında geçilen alüvyonda ölçülen Menard presiyometre modül değerlerinde fazla değişkenlik tespit edilememiştir. Bununla birlikte oturma analizlerinde zemin heterojen ve homojen olarak kabul edilerek analizler yapılmıştır.

### Temel tabanı zemininin heterojen olması durumu için oturma analizi

Presiyometre deneyinden elde edilen  $E_M$  değerleri kullanılarak bir yapıda meydana gelebilecek oturmalar hesaplanabilir. Şekil 19'da görüldüğü gibi temel zemini  $R = B/2$  kalınlığında olacak şekilde dilimlere ayrılmıştır. Her dilim içerisinde ölçülen Menard modülü ( $E_M$ ) okumalarının harmonik ortalaması alınarak, o dilimi temsil edecek eşdeğer deformasyon modülü değeri ( $E_i$ ) hesaplanır. Diğer bir anlatımla, 1. dilim içerisinde alınan okumalar  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$  ise 1. dilimin  $E_i$  değeri aşağıdaki eşitlikten hesaplanır.

$$E_i = 3 / (1/E_1 + 1/E_2 + 1/E_3) \quad (10)$$

Her dilim için benzer işlemler yapılarak her tabakanın  $E_i$  değeri hesaplanır. Deviatorik gerilme bölgesi eşdeğer Menard modülü değeri ( $E_d$ ) ve hacimsel gerilme bölgesi eşdeğer presiyometre modülü değeri ( $E_c$ )'yi hesaplamak için aşağıdaki eşitlikler önerilmiştir:

$$E_c = E_i \quad (11)$$

$$E_d = 4 \left/ \frac{1}{E_1} + \frac{1}{0.85E_2} + \frac{1}{E_{3/4/5}} + \frac{1}{2.5E_{6/7/8}} + \frac{1}{2.5E_{9/16}} \right. \quad (12)$$

$E_p/q$ 'nin anlamı p ve q dilimini de kapsayan aralığa düşen  $E_i$ 'lerin harmonik ortalamasıdır.

Kuloğlu regülatör yerinde temel kazı derinliği  $D_f = 3$  m, regülatörün kısa kenarı  $B = 24$  m olarak projelendirilmiştir.  $R = B/2 = 12$  m alınması durumunda 16 nolu dilime kadar olan derinliğin 195 m olması gerekmektedir. Eşitlik 12'nin tam olarak uygulanabilmesi için 195 m derinliğe kadar Menard modülü değerlerimizin olması gerekir.

Eğer  $E_9$  ile  $E_{16}$ 'ya kadar olan aralıktaki modül değerleri herhangi bir nedenle ölçülemediyse aşağıdaki eşitlik önerilmiştir (Gambin ve Rousseau, 1998).

$$E_d = \frac{3.6}{\frac{1}{E_1} - \frac{1}{0.85E_2} - \frac{1}{E_{3/4/5}} - \frac{1}{2.5E_{6/7/8}}} \quad (13)$$

Eşitlik 12'nin tam olarak uygulanabilmesi için 99 m derinliğe kadar Menard modülü değerlerimizin olması gerekir.

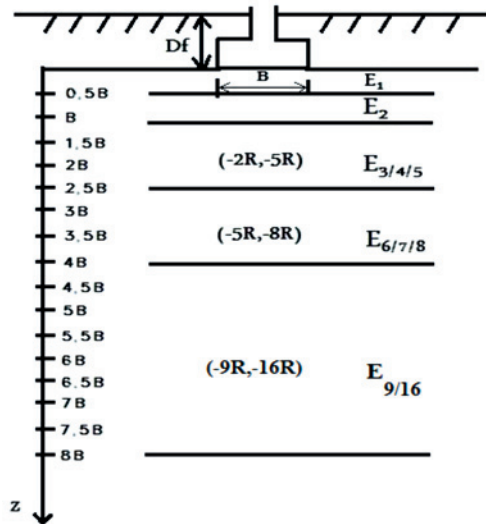
Eğer  $E_6$  ile  $E_8$ 'e kadarki olan aralıktaki modül değerleri de herhangi bir nedenle ölçülemediyse aşağıdaki eşitlik önerilmiştir (Gambin ve Rousseau, 1998)

$$E_d = \frac{3.2}{\frac{1}{E_1} + \frac{1}{0.85E_2} + \frac{1}{E_{3/4/5}}} \quad (14)$$

Eşitlik 13'ün tam olarak uygulanabilmesi için 63 m derinliğe kadar Menard modülü değerlerimizin olması gerekir.

Heterojen zeminlerde Oturma hesabı için Menard tarafından önerilen formül aşağıdaki gibidir (Baquelin vd., 1978).

$$s = \frac{2}{9} \cdot \frac{q_{net} \cdot B_0 \cdot (\lambda_d \frac{B}{B_0})^{\alpha} + \frac{\alpha}{9E_c} \cdot q_{net} \cdot \lambda_c \cdot B}{E_d} \quad (15)$$



Şekil 19. Temel zemininin oturma miktarının belirlenmesi için hayali tabakalara bölünmesi.

Figure 19. Division of the foundation soil for the assessment of settlement capacity.

## Kayabaşı

$E_d$  : Deviator gerilme bölgesi eşdeğer presiyometre modülü değeri

$E_c$  : Hacımsal gerilme bölgesi eşdeğer presiyometre modülü değeri

$q_{net}$  :  $q - q_o = q - \gamma_n * D_f =$  Temel taban seviyesindeki net temel taban basıncı

$q$  : Yapıdan zemine gelen temel taban basıncı (Sürşarj yükü)

$B_o$  : Referans genişlik (genellikle 60 cm alınır)

$B$  : Temelin genişliği

$\alpha$  : Zemin cinsine ve  $E_M/P_L^*$  oranına bağlı reolojik faktör (Çizelge 8)

$\lambda_d, \lambda_c$  : Temelin L/B oranına bağlı olan şekil faktörü (Çizelge 9)

$\gamma$  : doğal birim hacim ağırlık

$D_f$  : Temel derinliği

Bu eşitliğin ilk bölümü gerilmenin deviatorik bileşenin etkisinde hacim değişimi olmaksızın kayma deformasyonu sonucu meydana gelen (shear veya distortion deformation) oturmayı, ikinci bölüm ise gerilmenin küresel bileşenin etkisiyle zemindeki hacim azalması sonucu meydana gelen (volumetrik veya konsolidasyon deformasyonu) oturmayı gösterir (Şekil 20).

Çizelge 8. Değişik zeminler için reolojik faktör( $\alpha$ ) değerleri.

Table 8. The values of rheological factor ( $\alpha$ ) for various soils.

ZEMİN CİNSİ	KİL		SİLT		KUM		KUM VE ÇAKIL	
$E_M/P_L^*$	$E_M/P_L$	$\alpha$	$E_M/P_L^*$	$\alpha$	$E_M/P_L^*$	$\alpha$	$E_M/P_L^*$	$\alpha$
Aşırı konsolide	>16	1	>14	2/3	>12	½	>10	1/3
Normal konsolide	9-16	2/3	8-14	½	7-12	1/3	6-10	¼
Ayrıışmış veya yoğrulmuş	7-9	½		½		1/3		¼

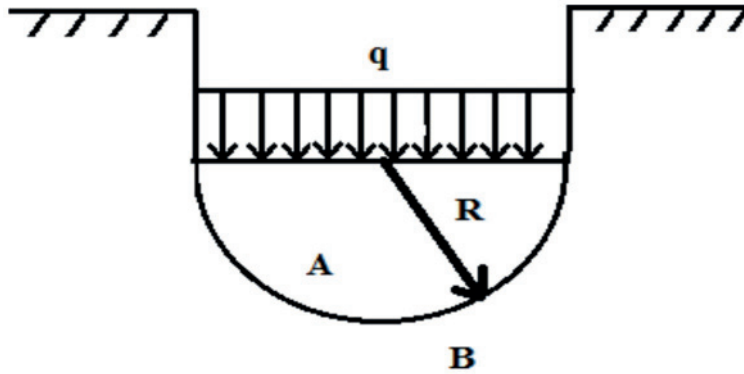
Kaya Tipi	Aşırı kırıklı kayalar	Diğerleri	Hafif kırıklı veya aşırı ayrıışmış
$\alpha$	1/3	½	2/3

Çizelge 9. Temeller için şekil faktörleri ( $\lambda_d, \lambda_c$ ).

Table 9. The shape factors ( $\lambda_d, \lambda_c$ ) for foundations.

L/B	1	2	3	5	20
	Daire	Kare			
$\lambda_d$	1.0	1.12	1.53	1.78	2.65
$\lambda_c$	1.0	1.10	1.20	1.30	1.50





Şekil 20. Küresel gerilme bölgesi A ve deviatorik gerilme bölgesi B.

Figure 20. Spherical stress zone A and deviatoric stress zone B.

Kuloğlu regülatör yerinde açılan SK-1 kuyusu içerisinde temel kazısı seviyesinden sonra  $B/2 = 12$  m'lik zonlar oluşturulursa, kuyu derinliğinin 20 m'den fazla olmaması nedeniyle  $E_1$  ve  $E_2$  bölgesi için verilerin olduğu,  $E_{3/4/5}$ ,  $E_{6/7/8}$  ve  $E_{9/16}$  bölgesi için kuyu derinliğinin yeterli olmadığı görülür. Bu sorunun aşılması için Gambin ve Rousseau (1998),  $E_2$  bölgesine düşen Menard presiyometre modülleri harmonik ortalamasının,  $E_{3/4/5}$  olarak da kullanılabilirdiği Eşitlik 14'ü önermiştir. Sorun böylelikle aşılsa bile bulunan oturma değeri alüvyonun ilk 20 m'si için gerçekçi olacak, daha derin seviyeler için aynı durum söz konusu olamayacaktır.

1. Tabaka:

$$5/E_1 = (1/145.3) + (1/147.0) + (1/156.1) + (1/266.1) + (1/118.4)$$

$$E_1 = 155.82 \text{ kgf/cm}^2$$

2. Tabaka:

$$3/E_2 = (1/253.7) + (1/283.1) + (1/93.6)$$

$$E_2 = 165.23 \text{ kgf/cm}^2$$

$E_{3/4/5}$  değerlerinin olmaması nedeniyle  $E_2$

değeri eşitlikte  $E_{3/4/5} = 165.23 \text{ kgf/cm}^2$  olarak kabul edilir.

$$E_c = E_1 = 15582 \text{ kPa}$$

$$E_d = \frac{3.2}{\frac{1}{15582} + \frac{1}{0.85 \times 16504} + \frac{1}{16523}}$$

$$E_d = 16322 \text{ kPa}$$

Reolojik faktörün ( $\alpha$ ) bulunabilmesi için SK-1 kuyusundaki  $E_M$  ve  $P_1^*$  değerlerinin aritmetik ortalamalarının hesaplanması gerekir.

$$\alpha = 1/4 \text{ (kil ile } E_{Mort}/P_{lort}^* = 183/31.2 = 6 \text{ (Çizelge 8))}$$

$L/B = 1$  için

$$\lambda_d \approx 1.12 \text{ (Çizelge 9)}$$

$$\lambda_c \approx 1.10 \text{ (Çizelge 9)}$$

$D_f/B = 0.125$  değerine göre Şekil 21'den oturma miktarında %1 7.5 artış yapılır.

## Kayabaşı

Değerler eşitlik 14'te yerine konularak oturma miktarı hesaplanır.

$$s_{net} = q - \gamma_n * D_f = 313.82 - 3 * 17.94 = 260 \text{ kPa}$$

$$\frac{S}{1.175} = \frac{2}{9 * 16322} * 260 * 0.6 * \left(1.12 * \frac{24}{0.6}\right)^{1/4}$$

$$+ \frac{1}{9 * 15582} * 260 * 1.10 * 24$$

$$S = 0.017 \text{ m} = 1.7 \text{ cm}$$

### Temel taban seviyesinin homojen olması durumunda oturma

Baquelin vd., (1978) temel alanında alınan Menard modülü değerlerinin çok farklılık göstermemesi durumunda homojen zeminlerdeki yapılar için aşağıdaki eşitliği önermiştir:

$$s = \frac{2}{9 \cdot E_M} \cdot q_{net} \cdot B_0 \cdot \left(\frac{B}{B_0}\right)^{\alpha} + \frac{\alpha}{9 E_M} \cdot q_{net} \cdot \lambda_c \cdot B \quad (16)$$

$E_M$  : Homojen özellik gösteren Menard deformasyon modüllerinin aritmetik ortalaması

Temel kazı derinliğinin  $D < B$  olması durumunda, 16 numaralı eşitlikten belirlenen değer in şekil 20'deki grafikten bulunan değer kadar arttırılması gerekmektedir.

Kuloğlu regülatör yerinde presiyometre deneyleriyle belirlenen Menard deformasyon modüllerinin ortalaması ( $E_M$ ) = 183 kgf/cm<sup>2</sup>'dir.

$$s = \frac{2}{9 * 18300} * 260 * 0.6 * \left(1.12 * \frac{24}{0.6}\right)^{1/4}$$

$$+ \frac{0.25}{9 * 18300} * 260 * 1.10 * 24$$

$$s = 0.0154 \text{ m} = 1.54 \text{ cm} \text{ olarak bulunur.}$$

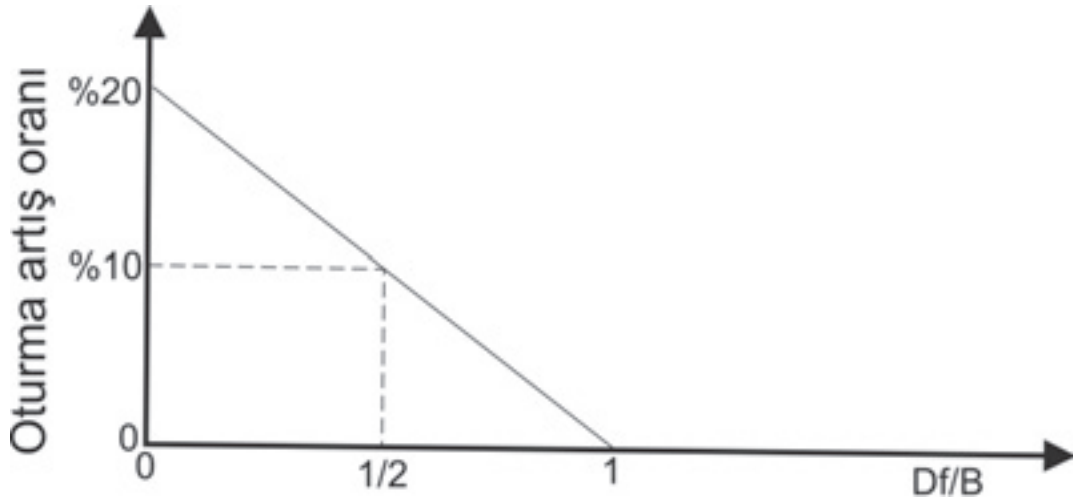
$D_f/B = 0.125$  değerine göre Şekil 21'den oturma miktarında %17.5 artış yapılır.

$s = 1.54 * 1.175 = 1.80 \text{ cm}$  olarak son oturma miktarı belirlenir.

Aşağı Aras projesi Kuloğlu HES regülatör yerinde açılan SK-2 kuyusunda da SK-1 kuyusundaki verilerin değerlendirildiği gibi limit basınç ve Menard deformasyon modülleri değerlendirilerek taşıma gücü ve oturma miktarı hesaplanmıştır. SK-1 ve SK-2 kuyularında yapılan presiyometre deney sonuçlarından hesaplanan taşıma gücüyle oturma sonuçları Çizelge 10'da verilmiştir. Regülatör temelleri radye jeneral temel olarak kabul edilir. Radye jeneral temeller için kumlarda toplam oturma tolerans sınırı 7.5 cm, farklı oturma sınırı ise 3.2 cm olarak belirlenmiştir ( Kumbasar ve Kip, 1992). Bu değerlendirmeye göre oturmalar tolerans sınırları içerisinde dir.

### TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Genel anlamda yapıların projelendirilmesinde önerilen Menard presiyometre deneyinin büyük boyutlu baraj regülatör yerlerinde kullanılması uygulamada bazı sorunlara yol açmaktadır. Kuloğlu regülatörünün kısa kenarı 24 m



Şekil 21. Oturma artış oranı (D:Temel kazı derinliği, B:Temel kısa kenar uzunluğu).

Figure 21. Settlement increment ratio (D:Foundation excavation depth, B:Foundation width).

olarak projelendirilmiştir. Regülatör yerinde proje yükünün etkisiyle oluşacak oturma miktarının tam olarak belirlenebilmesi için sondaj derinliğinin Eşitlik 11'e göre 196 m olması gerekirken, Eşitlik 12'ye göre 99 m, Eşitlik 13'e göre ise 63 m olması gerekir. Menard presiyometresi deney hortumunun uzunluğunun 50 m standart olarak satışta olması ve deney hortumunun 120 m derinliğe kadar uzatılabileceğinin belirtilmesine rağmen Menard presiyometre cihazıyla en fazla kaç metre derinliğe kadar deney yapılabileceği belirsizdir. Konuya ilişkin literatürde veya ilgili standartlarda bir açıklama yoktur.

Kuloğlu HES regülatör yerindeki projelendirme  $D_f/B$  değerinin oldukça düşük olması nedeniyle "sığ temel" sınıfı olarak dikkate alınmıştır. Eşitlik 8'e göre, taşıma gücünün belirlenebilmesi için limit basınç değerlerinin 36 m'ye kadar belirlenmesi ( $-3R = 36m$ ) gereklidir. Sondaj kuyu derinlikleri kuyu genişlemesi ve çökmesi nedeniyle limit basınç değerleri SK-1 kuyusunda 20 m'ye kadar, SK-2 kuyusunda 24 m'ye kadar alınabilmektedir. Bu aralıklarda alınan değerlerle taşıma gücü hesaplamaları yapılmıştır.

Coduto (1999)'a göre net proje yükünün oluşturacağı gerilim değerinin, %10 değerine kadar azaldığı derinliğine, temelin kısa kenarı uzunluğunun

Çizelge 10. Menard presiyometre deney sonuçları kullanılarak elde edilen oturma ve taşıma gücü değerleri.

Table 10. The bearing capacity and settlement values obtained by using the results of Menard pressuremeter test.

Kuyu No	Nihai taşıma gücü, $q_u$ (kgf/cm <sup>2</sup> )		İzin verilebilir taşıma gücü, $q_a$ (kgf/cm <sup>2</sup> )		Heterojen yöntemle oturma (cm)	Homojen yöntemle oturma (cm)
	Süarsarjlı	Süarsarjsız	Süarsarjlı	Süarsarjsız		
SK-1	46.48	45.94	15.86	15.31	1.70	1.80
SK-2	47.77	47.22	16.29	15.74	3.31	1.88

iki katı kadarlık derinliğe eşit olduğunu ifade eder. Regülatör temelinin kısa kenarı 24 m olduğu için net proje yükünün %10 değerine sönmüldüğü derinlik yaklaşık 48 m olmalıdır. Kuloğlu regülatör yerinin kare bir temel olması ve proje net yükünün ( $q_{net}$ ) = 260 kPa'ya eşit olmasının kabulü ile, uniform bir şekilde yüklenmiş dikdörtgen bir alanın orta noktasındaki gerilim dağılımını hesaplırsak net gerilimin 20. metrede, 111.18 kPa'ya, 24. metrede ise 87.36 kPa'ya düştüğünü ve proje net yükünün 24 metre derinlikte % 10 değerine kadar sönmülenmediğini görürüz. Proje net yükünün 45 m derinlikte 39 kPa'ya, 49 metrede ise 19 kPa'ya düştüğünü görürüz. Bu değerlendirmelerin ışığında 20-24 m'ye kadar olan verilerin yetersiz kaldığı açıkça görülecektir. Daha derinlerde kuyunun devamlı genişlemesi veya çökmesi (kendini tutamaması) sonucu presiyometre deneyi yapılamamıştır. Bu nedenle 24 m'ye kadar yapılan presiyometre taşıma gücü ve oturma analizleri yetersiz kalmaktadır. Çünkü gerilme dağılımının 20 m'den daha derinlerde de devam etmesi söz konusudur. Sonuçta bu durumlar dikkate alınarak regülatör yeri için alüvyon zeminin tamamının kaldırılması önerilmiştir.

İri taneli zeminlerde beklenen oturma türü anlık oturmadır. Kuloğlu regülatör yerinde hesaplanan Menard presiyometre deneyi oturma sonuçları ile karşılaştırmak amacı ile, Harr (1966) tarafından geliştirilen anlık oturma hesaplaması yapılmıştır (Eşitlik 17).

$$S_i = qx Bx \left( \frac{1-\nu}{E_u} \right) x l_s \quad (17)$$

$S_i$  : Ani oturma

$q$  : Temel alanındaki net taban basıncı (260 kPa)

$\nu$  : Poisson oranı (0.33)

$B$  : En küçük yanal boyut (Genişlik veya çap) (24 m)

$E_u$  : Drenajsız elastisite (young) modülü (Bu çalışmada drenajsız elastisite modülü sıkı kum/çakıl için 150 MN/m<sup>2</sup> olarak Özüdoğru vd. (1988)'den alınmıştır).

$I_s$  : Temel alanının şekli ve rijitliğine bağlı tesir faktörü. Tesir faktörü,  $B = 24$  m ve  $L = 24$  m için kare ve rijit bir temel için 0.82 olarak Özüdoğru vd. (1988)'den alınmıştır.

$$S_i = 260 * 24 * \frac{1-0.33}{150000} * 0.82 = 0.0229m = 2.29cm$$

Granüler zeminlerde yapılan presiyometre deneyinden belirlenen oturma değerleri ile anlık oturma değerleri yakınlık göstermektedir.

Menard presiyometre deneyinin sağlıklı yapılabilmesi için bazı önerilerde bulunulmuştur:

- Her sonda lastiği değişiminde, yeni proje başlangıcında veya her on deney sonrası lastiğin esnemesi göz önüne alınarak, periyodik aralıklarla kalibrasyonlar yeniden yapılmalıdır.
- Bir başka presiyometreye ait kalibrasyon değerleri kullanılmamalıdır.
- Kullanılacak sonda çapına uygun sondaj kuyusu açılmalıdır.
- Sondaj açılırken bentonit veya benzeri maddeler kullanılmamalıdır. Bentonit veya benzeri maddelerin kullanılması sonucunda presiyometre deneyinin yapılacağı zeminin elastik özellikleri değişmekte bu ise yanlış sonuçlara yol açmaktadır.

- Deney sırasında sondadaki merkez ve muhafaza hücrelerindeki basınç dengesini sağlayan diferansiyel basınç ayarına dikkat edilmelidir.
- Mümkünse, her 1 metrede bir deney yapılmalıdır. Bununla birlikte deney yapılan birimin özelliklerinin değişmemesi durumunda deney aralığı açılabilir veya çok değişim gösteren birimlerde deney sayısı artırılabilir.
- Projelendirilen yapı net yükünün sönmüldüğü derinliğe kadar sondaj açılarak presiyometre deneyleri yapılmalıdır.

### KATKI BELİRTME

Bu çalışmada, Elektrik İşleri Etüt İdaresi'nin projelendirdiği Aşağı Aras Havzası HES Projelerinden birisi olan Kuloğlu HES projesi regülatör yerinde açılan iki adet kuyuda yapılan presiyometre deney verileri kullanılmıştır. Yazar, Jeoloji mühendisleri Yaşar Alkılıç'a, Ali Kaya'ya, Necmettin Gürsoy'a, Osman Ceylan'a, Cemil Demirer'e ve Ertuğrul Kanmaz'a teşekkür eder.

### KAYNAKLAR

- Agan, C., 2011. Investigation of bearing capacity changes of different clays by using the Menard pressuremeter tests. *International Journal of the Physical Sciences*, 6 (23), 5454-5461.
- Apapeo., 2006. Menard Pressuremeter (G Type) operating instructions, 2006 edition.
- ASTM (American society for testing and materials)., 1994. Annual book of ASTM Standards-Section 4, Construction, V. 0408 Soil and Rock; Building Stones. ASTM Publication, 978 p.
- Baquelin, F., Jezequel, J.F., Shields, D. H., 1978. The Pressuremeter and Foundation Engineering. Trans Tech Publications, Clausthal-Zellerfeld, Germany, 617 p.
- Bozbey, İ., Togrol, E., 2009. Correlation of standart penetration test and pressuremeter data: a case study from Istanbul, Turkey. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 69, 505-515.
- Centre d'Etudes Ménard, 1971. La méthode des volumes relatifs. Notice D22-A71.
- Coduto, D.P., 1999. Geotechnical Engineering Principles and Practices. Prentice-Hall, USA.
- Erdoğan, H., 1980. Zemin ve Kaya Mekanikliği Arazi Deneyleri. Mühendislik Jeolojisi Toplantısı-5.,9-14 Haziran 1980, Yalova Tesisleri, 98 s.
- Gambin, M.P., Rousseau, J., 1998. The Menard Pressuremeter Interpretation and application of pressuremeter test results to foundation design. United Kingdom: ISSMFE, 50 p.
- Hansen, J.B., 1961. The Bearing Capacity of Sand Tested by Loading Circular Plates. 5 th International Conference on Soil Mechanic Foundation. England: Vol 1, 659-664, Paris.
- Harr, M.E., 1966. Fundamentals of Theoretical Soil Mechanics. Mc Graw-Hill-New York.
- ISRM, 1981. ISRM Suggested Methods: Rock Characterization, Testing and Monitoring. E.T. Brown (ed.); Pergamon Pres, London, 211 p.
- Isik, N.S., Ulusay, R., Doyuran, V., 2008. Deformation modulus of heavily jointed-sheared and blocky greywackes by pressuremeter tests: Numerical, experimental and empirical assessments. *Eng. Geol.*, 101, 269-282.
- Jézéquel, J.F., Lemée, E., Saintilan, D., 1974. Exploitation de l'essai pressométrique normal par méthode numérique. *Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*. No. 69 Janvier-Février, ref. 1375, 105-114.

- Kayabaşı, A., 2012. Prediction of pressuremeter modulus and limit pressure of clayey soils by simple and non linear multiple regression techniques: a case study from Mersin, Turkey. *Environmental Earth Science*, 66, 2171-2183.
- Kayabaşı, A., Gökceođlu, C., 2012. Taşıma Kapasitesi ve Oturma Miktarının hesaplanmasında Yaygın Kullanılan Yöntemlerin Mersin Arıtma Tesisi Temeli Örneğinde Uygulanması. *TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 36 (1), 1-22.
- Kumbasar, V., Kip, F., 1992. *Zemin Mekaniđi Problemleri* (5. Baskı). Çađlayan Basımevi, İstanbul, 614 s.
- Marnawski M., 2004. The Perfect Menard pressuremeter curve. *Archives of Hydro-engineering and Environmental Mechanics*, 51 (4), 387-402.
- Meyerof, G.G., 1963. Some recent research on the bearing capacity of foundations. *Canadian Geotechnical Journal*, 1 (1), 16-26.
- MTA., 2003. 1/500000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları; Kars Paftası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Terzaghi, K., 1943. *Theoretical Soil Mechanics*. John Wiley&Sons, New York.
- Türk Standartları Enstitüsü (TSE)., 1997. *Jeoteknik Tasarım Bölüm 3, Arazi Deneşleri Yardımıyla Tasarım (TS ENV 1997-3, Eurocode 7)*.
- Özüdoğru, K., Tan, O., Aksoy, İ.H., 1988. *Çözümlü problemler Zemin mekaniği*. Birsen Yayınevi, İstanbul, 160 s.
- Van Wambeke, A., D'Henricourt, J., 1971. *Courbes pressiométriques inverse. Méthode d'interprétation de Pessai pressiométrique*. Royal Military School Publication. Bruxelles.
- Yağız, S., Akyol, E., Sen, G., 2008. Relationship between the standart penetration test and the pressuremeter test on sandy silty clays: a case study from Denizli. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 67, 405-410.

## İzmir Karaburun Yarımadasındaki Farklı Kireçtaşlarının Beton Agregası Olarak Değerlendirilmesi

*Evaluation of Different Limestones as Concrete Aggregate in İzmir Karaburun Peninsula*

**Hakan ELÇİ<sup>1</sup>, Necdet TÜRK<sup>2</sup>, İsmail İŞİNTEK<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Torbalı Meslek Yüksekokulu, Geoteknik Programı, Torbalı, İZMİR.

<sup>2</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Buca, İZMİR.

Geliş (received) : 21 Mayıs (May) 2014

Düzeltilme (revised) : 11 Ağustos (August) 2014

Kabul (accepted) : 12 Aralık (December) 2014

### ÖZ

Dört milyonu aşan nüfusu ile Türkiye'nin üçüncü büyük şehri olan İzmir'deki hazır beton ve çimento fabrikalarının ihtiyacını karşılayan taş ocaklarının, yerleşim alanlarına oldukça yakın olması ve oluşturduğu çevresel sorunlar nedeniyle yakın gelecekte kapatılması veya başka bir yere taşınması söz konusudur. Bu durum, ileriye yönelik olarak İzmir için yeni kırma taş sahalarının belirlenmesini gerekli hale getirmiştir. İzmir'in gelecekteki agrega ihtiyacının bir kısmının Karaburun Yarımadası (İzmir) Mesozoyik yaşlı kireçtaşlarından karşılanması öngörülmektedir. Bu çalışmada Karaburun Yarımadası Mesozoyik yaşlı kireçtaşlarının fasiyes ve kimyasal özellikleri araştırılmış ve bu özelliklerinin, beton agregası olarak kullanılabilirliklerine olan etkisi değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre farklı litolojik özellik gösteren Mesozoyik yaşlı Karaburun kireçtaşlarının beton agregası olarak kullanılabilirliğini etkileyen en önemli özelliğin, kireçtaşının saflığını (bileşimsel homojenliğini) bozan ve betonda alkali silika reaksiyonuna da neden olabilen silis miktarı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca kil minerali içerikli agregaların, beton dayanım değerini düşürdüğü gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Alkali Silika Reaksiyonu, Kireçtaşı Agregası, Kireçtaşı saflığı, Karaburun.

H. Elçi

E-posta: hakan.elci@deu.edu.tr

**ABSTRACT**

*Izmir is the third biggest metropolitan city in Turkey with a population more than 4 million. The quarries which presently supply aggregate to the ready-mixed concrete plants and cement factories in and around the metropolitan city of İzmir are expected to be closed down in the near future due to their closeness to the settlement areas and the environmental problems they create. Thus it is necessary to find new crushed rock areas that will meet the future aggregate needs of the city. It is envisaged that the aggregate needs of the city will be met partially from the Mesozoic aged limestones of the Karaburun Peninsula. In this study, the facies and chemical properties of Mesozoic aged limestones of the Karaburun Peninsula have been investigated and the influences of these properties on the usability as concrete aggregate were evaluated. The results indicated that the most important property affecting the usage of the limestones as concrete aggregate is found to be silica content. It affects the purity of the limestones by causing alkali silica reaction in concrete. Additionally, it has been noted that the clay containing aggregates in the limestones are found to decrease the strength of the concrete.*

**Key Words:** *Alkali Silica Reaction, Limestone Aggregate, Purity of Limestone, Karaburun.*

**GİRİŞ**

İzmir, 4 milyon nüfus (TUİK, 2014) ile Türkiye'nin üçüncü büyük şehridir. Şehrin agrega ihtiyacının % 90'lık bölümü Bornova ilçesi, Kavaklıdere mevkiindeki taş ocaklarından sağlanmaktadır. Bu taş ocakları İzmir Ankara Tektonik Zonu içinde yer alan, Maastrichtiyen-Daniyen Bornova Karmaşığı'na ait Jura-Geç Kretase (Erdoğan, 1990; İşintek vd., 2007) kireçtaşı blokları içerisinde açılmış ocaklardır. Bu taş ocaklarının günümüzde İzmir şehri yerleşim alanına oldukça yakın olmaları ve oluşturduğu çevresel sorunlar nedeniyle yakın gelecekte kapatılması söz konusudur (Şekil 1). Ayrıca, ülke genelinde başlatılan kentsel dönüşüm projesi ile de gelecekte İzmir şehrinde beton üretimi için kaliteli agregaya olan ihtiyaç daha da artacaktır. Bu durum, ileriye yönelik olarak İzmir şehri için alternatif kırma taş sahalarının araştırılması ve planlanmasını gerekli hale getirmiştir. Bu nedenle, İzmir şehir merkezine yakın alanlardaki alternatif kırma taş sahalarının

değerlendirilmesi kaçınılmazdır. Bu gerekçeler dikkate alındığında; Karaburun Yarımadası kireçtaşları ileriye yönelik kırma taş potansiyeline sahip sahalardan birini oluşturmaktadır. Yarımada kireçtaşları içerisinde blok taş üretimi amacıyla açılmış (Hacımustafaoğlu, 1999; Elçi, 2011) çok sayıda taş ocağı mevcuttur (Şekil 2).

Kireçtaşları sahip oldukları yüksek dayanımları ve yoğunlukları, düşük poroziteleri (< % 1) ile beton üretimi için iyi bir agrega kaynağıdır (West, 1996; McNally, 1998; Carlos vd., 2010). Kireçtaşlarının beton agregası olarak tercih edilmesinin bir diğer nedeni de düşük termal genleşmeye sahip olmaları (French, 1991) ve çimento hamuru ile iyi bir kimyasal bağ yapabilme özelliğidir (Akman, 1984; Baradan, 2004). Saf kireçtaşları alkali agrega reaksiyonu (AAR) yönünden risk oluşturmazlar (West, 1996, Carlos vd., 2010) ve birçok araştırmacı tarafından alkali silis reaksiyonu (ASR) çalışmalarında zararsız agrega olarak kullanılmışlardır (Hobbs, 1978; Binal,



2004, 2008; Tosun vd., 2006). Fakat bileşiminde kalsit ile birlikte karbonat olmayan mineralleri de (asitte çözülmeyen kalıntı) bulunduran, kireçtaşları ile üretilen betonlarda, ASR'ye neden olan ve betonun kalitesini düşüren tehlikeli bileşenlerin varlığı rapor edilmiştir (Lorenzi vd., 2001; Qian vd., 2001; Qian vd., 2002; Katayama, 2004; RILEM, 2005; Alptuna, 2009). Bu tehlikeli bileşenler, kireçtaşlarının bileşiminde yer alan ve safıklarının bozan düzensiz yapıdaki silisli minerallerden ileri gelmektedir (Smith ve Collis, 2001; Lorenzi vd., 2001; Binal, 2004; Baradan, 2004). Dolomit kökenli agregalar ise alkali karbonat reaksiyonu (ACR) riski taşırlar ve ASR'ye oranla bu reaksiyon daha nadir görülür. ACR'ye dolomit mineralinin tek başına neden olduğu konusu tartışmalıdır. Bazı araştırmacılar kireçtaşlarında 75 mikronun altındaki dolomit kristallerinin (dolomikrit) kil mineralleri ile birlikte reaksiyona neden olduğunu belirtmişlerdir (Gillot ve Swenson, 1969; French ve Poole, 1974; Akman, 1978; Sims ve Sotiropoulos, 1983; Erdoğan, 1996). Katayama (2004) ve Qian vd. (2002) ise kireçtaşlarında 50 mikrondan daha küçük boyutlu dolomit kristallerinin (dolomikrit) silisli mineraller (kriptonkristalin kuvars) ile birlikte reaksiyona neden olduğunu ve ACR'nin ASR ile birlikte geliştiği görüşündedir. Ülkemizde dolomit kökenli agregaların neden olduğu ACR hasarı rapor edilmemiştir. Zarif vd. (2003) beton yapımında kullanılan İstanbul yöresi dolomit ve dolomitik kireçtaşların iri kristalli dolomit minerallerinden oluştuğunu ve ACR'ye neden olmadıklarını belirtmiştir. Alptuna (2009) ince kristalli dolomit minerali (< 50 mikron) ile birlikte kuvars (% 13) minarelini de içeren Zonguldak kireçtaşını AAR çalışmalarında Kingston (Kanada) agregası gibi referans agrega (Qian vd., 2001; Qian vd., 2002; Katayama, 2004; RILEM, 2005) olarak kullanılmış ve reaksiyona neden olduğunu

belirtmiştir. Ülkemizde AAR'ye neden olmayan ve kaliteli beton yapımında kullanılan kireçtaşları genelde düşük  $\text{SiO}_2$  (> % 2) içerikli ve tenetaşı karakterindedir (Zarif vd., 2003; Güler vd., 2010).

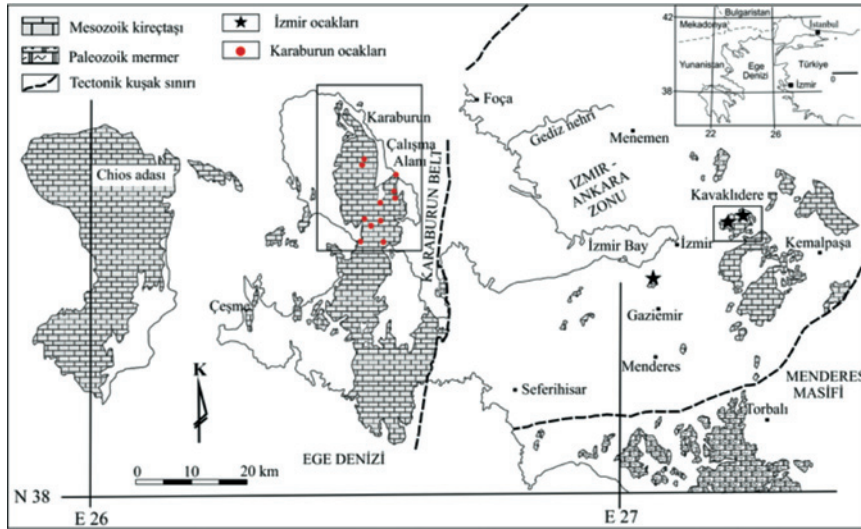
Kireçtaşlarının tanımlanmasına ve sınıflanmasına yönelik yapılan çalışmalarda; kireçtaşlarının saflığını bozan karbonat olmayan bileşenlerin (asitte çözülmeyen kalıntı) miktarını belirlemeye yönelik değildir. Özellikle beton agregası olarak kullanılmaları durumunda uygunluğunu belirlemede bu sınıflama ve tanımlamalar sınırlı kalmaktadır. Jeolojide yapılan sınıflamalar; kireçtaşlarının safsızlıklarından ziyade, 1960'larda petrol şirketlerinin kireçtaşlarının hidrokarbon rezervleri olduğunu keşfetmesi ile bu ihtiyaç doğrultusunda geliştirilmiştir. Bu amaç için, Folk (1959), kireçtaşlarını bileşimine göre, Dunham (1962) ise dokusunu göre sınıflandırmıştır. Krumbein ve Sloss (1963) kireçtaşlarını kalsit, dolomit ve karbonat olmayan mineral miktarına (%) göre sınıflandırılmışlardır. Dearman (1981) kireçtaşlarının malzeme ve kütleli özelliklerinin söz konusu olduğu mühendislik amaçlı çalışmalarda dokusal, bileşimsel ve diyajenetik özelliklerinin birleştirilerek, Bell (2006) ise bu özelliklere teknolojik özellikleri de dahil ederek sınıflandırılmasını önermiştir. Oysa kireçtaşlarının endüstriyel kullanımında (beton agregası, kireç endüstrisi, metalurji, tarım) alt sınıflamalar gereklidir ve bu alt sınıflamalar, kireçtaşlarının kalsit, dolomit ve karbonat olmayan minerallerin oranında (Flügel, 2004) ve uluslararası normlarda (Oates, 1998) yapılmalıdır. Bu çalışmada, Karaburun kireçtaşları, beton agregası olarak uygunluğunun değerlendirilmesi amacıyla saflıklarına (bileşimsel homojenlik) göre sınıflandırılmıştır.

Elçi, Türk, İşintek

Karaburun Yarımadası kireçtaşlarının oluşumu; dokusal homojenlik (tanetaşı, vaketaşı), bileşimsel homojenlik (kimyasal bileşim, yabancı madde içeriği, safsızlık), vb. özellikleri büyük bölümüyle çökeltme ortamı koşulları ve diyajenez kontrolündedir. Bu çalışma ile günümüz koşullarında kırma taş üretimi açısından hala bakir sayılabilecek olan Karaburun Yarımadası kireçtaşlarının beton agregası olabilirlikleri, fasiyes özellikleri ve ortamsal dağılımları ile ilişkilendirilerek incelenmiştir. Ek olarak literatürde AAR yönünden reaktif agrega (referans agrega) olarak tanınan Kingtson (Kanada) Agregası'nın ve Zonguldak (Türkiye) Agregası'nın petrografik, kimyasal özellikleri ve AAR testi sonuçları belirlenerek, Karaburun Yarımadası kireçtaşlarının petrografik, kimyasal ve AAR testi sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

## KARABURUN YARIMADASI'NIN JEOLJİSİ

Çalışma alanı İzmir-Ankara Zonu içinde yer alan (Okay ve Tüysüz, 1999) (Şekil 1) Bornova Filiş Zon'unun (Okay ve Siako, 1993; Okay vd., 1996) güneybatı ucunda yer alan tektonik bir kuşaktır. Karaburun Yarımadası Mesozoyik kireçtaşları, Erken Trias'tan Geç Kretase'ye kadar kalın bir istif sunar. İstif alttan üste doğru Skitiyen-Anisiyen Gerence Formasyonu, Anisiyen -Karniyen Camiboğazı Formasyonu, Noriyen-Resiyen Güvercinlik Formasyonu, Lias-Erken Kretase Nohutalan ve Kampaniyen-Mastrihtiyen Balıklıova Formasyonu olarak sıralanır (Erdoğan vd., 1990). İstifin en üst bölümünde yer alan Balıklıova formasyonları, Karahasan Kireçtaşı ve Haneybaşı Üyesinden oluşur (Güngör, 1989; Erdoğan vd., 1990; İşintek,



Şekil 1. İzmir kırma taş ocakları ve Karaburun Yarımadası kireçtaşları örnekleme lokasyonları (Yakut, 2001; Güngör ve Erdoğan, 2002'den değiştirilerek).

Figure 1. Quarry of the İzmir metropolitan city and new locations in Karaburun Peninsula limestone modified from Yakut (2001), Güngör and Erdoğan (2002).

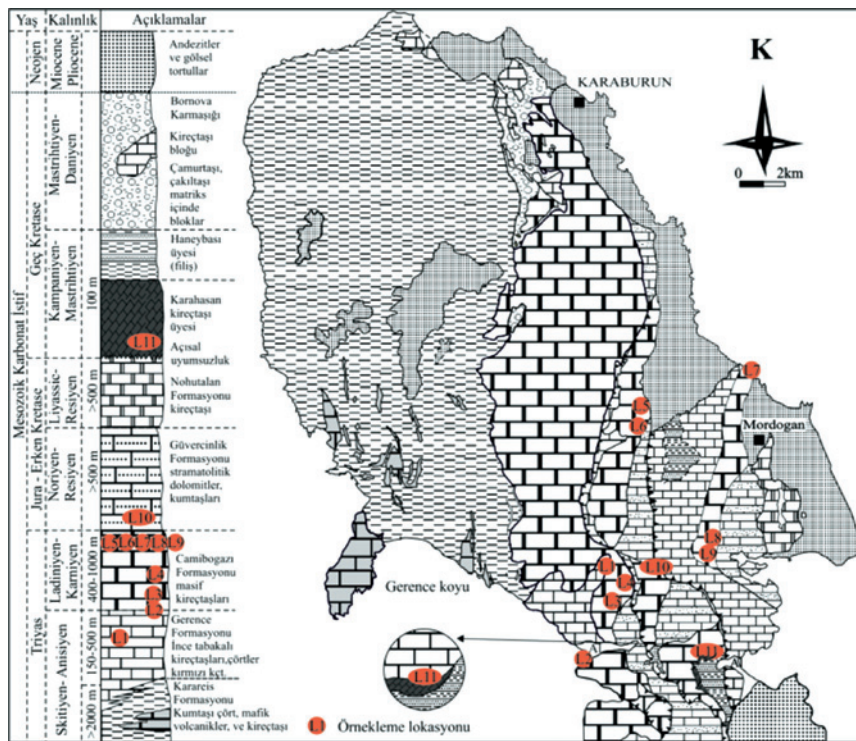
2002). Karaburun Yarımadası'nın 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası, Mesozoyik karbonat istifi ve örnekleme lokasyonları Şekil 2'de verilmiştir.

## ARAŞTIRMA YÖNTEMİ

Araştırma iki aşamada yürütülmüştür. İlk aşamada Karaburun Yarımadası kireçtaşları içerisinde açılmış blok taş ocaklarında (lokasyonlarda) kireçtaşı tabakalarının konumları belirlenmiştir. Tabaka eğimine dik olacak şekilde ortalama her 1,5 metrede bir petrografik ve kimyasal analizler için örnekleme yapılmıştır. Petrografik analizlerle kireçtaşların mineral içeriği, mineral yüzdesi ve dokusal özellikleri belirlenmiştir. Kimyasal analizlerle de kireçtaşlarının ana element oksit yüzdeleri

belirlenmiştir. Ek olarak Dunham, (1962) sınıflamasına göre dokusal özellikler dikkate alınarak kireçtaşlarının fasiyes adlandırması yapılmıştır (Çizelge 1).

Ayrıca kireçtaşlarının içerdikleri karbonat minerallerin yüzdesine göre mineral homojenliği (Eşitlik 1) ve karbonat olmayan bileşenlerin yüzdelere göre de saflığı (kimyasal homojenliği, Saflık, Eşitlik 2) belirlenmiştir. Çizelge 1'de Karaburun Yarımadası taş ocaklarında bu amaç için örnekleme yapılan kireçtaşı düzeylerinin fasiyesleri, fasiyes özellikleri, fasiyes kalınlıkları, dokusal homojenliği verilmiştir. Çizelge 2'de ise kireçtaşlarının ana oksit yüzdeleri ve bu yüzdelere kullanılarak hesaplanan (Eşitlik 2) kireçtaşlarının saflık dereceleri (kimyasal homojenliği) verilmiştir.



Şekil 2. Karaburun Yarımadası'nın jeoloji haritası, Mesozoyik karbonat istifi (Erdoğan, 1990) ve örnekleme lokasyonları.

Figure 2. Geological map of the Karaburun Peninsula, the Mesozoic carbonate sequence (Erdoğan, 1990) and sample locations.

Elçi, Türk, İşintek

Bileşimsel homojenlik, mineral homojenliği ve kimyasal homojenlik olarak tanımlanabilir.

Mineral homojenliği:  $\text{Kalsit} + \text{dolomit} > \% 97 = \text{Homojen}$ ,  $\text{Kalsit} + \text{dolomit} < \% 97 = \text{Heterojen}$  (1)

Kimyasal homojenlik:  $\text{Saflik} (\%) = 100v - [\% \text{SiO}_2 + \% (\text{Al, Fe})_2\text{O}_3]$  (2)

Dokusal homojenlik: Karbonat kayalarının dokusal homojenliğinde çökme ortamları ve diyajenetik koşullar etkindir. Derin deniz kenarı ve derin deniz ortamlarında çökelen kireçtaşlarının dokusal homojenliği yüksektir. Ancak sığ deniz ortamında (lagün ve gelgit ortamı) çökelen kireçtaşlarının dokusal homojenliği düşüktür.

İkinci aşamada ise kireçtaşlarının agrega özelliklerini ve beton kalitesini belirleyebilmek için, arazide kireçtaşlarının fasiyes özellikleri dikkate alınarak yaklaşık 30\*30\*15 cm boyutlu blok numuneler alınmıştır. Bu bloklar çekiç ile ufaltılıp, laboratuvarında çeneli kırıcı ile kırılarak TS 706 EN 12620+A1'de (TSE, 2009) yer alan agrega deneyleri için belirtilen çaplarda agrega numuneleri hazırlanmıştır (Şekil 3). Hazırlanan agregaların fiziksel, dayanım ve dayanıklılık özellikleri belirlenmiştir.

Karaburun Yarımadası kireçtaşlarının farklı fasiyeslerinden hazırlanan agregaların beton özelliklerine etkilerini araştırmak amacıyla laboratuvarında deneme betonları üretilmiştir. Taze betonda çökme ve taze beton yoğunluğu, sertleşmiş betonda ise 7, 28 ve 56 günlük yaşlar sonrası basınç dayanımı belirlenmiştir. Ayrıca dolomit içerikli kireçtaşı agregalarına "Karbonat Agregaları İçin Hızlı Gözlem Testi" silisli mineral



Şekil 3. Ocaklardan alınan blok numuneler ve hazırlanan agregalar.

Figure 3. Block samples and prepared standard aggregates.

içeren kireçtaşı agregalarına ise “Hızlandırılmış Harç Çubuğu Metodu” uygulanarak kireçtaşların alkali agrega reaktifliği (AAR) araştırılarak, Karaburun Yarımadası kireçtaşlarının fasiyes özelliklerinin beton kalitesine etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca literatürde AAR yönünden reaktif agrega olarak tanınan Kingtson (Kanada) Agregası'nın ve Zonguldak (Türkiye) Agregası'nın petrografik, kimyasal özellikleri ve AAR testi sonuçları belirlenmiş, elde edilen bu sonuçlar Karaburun Yarımadası kireçtaşlarındakilerle karşılaştırılmıştır.

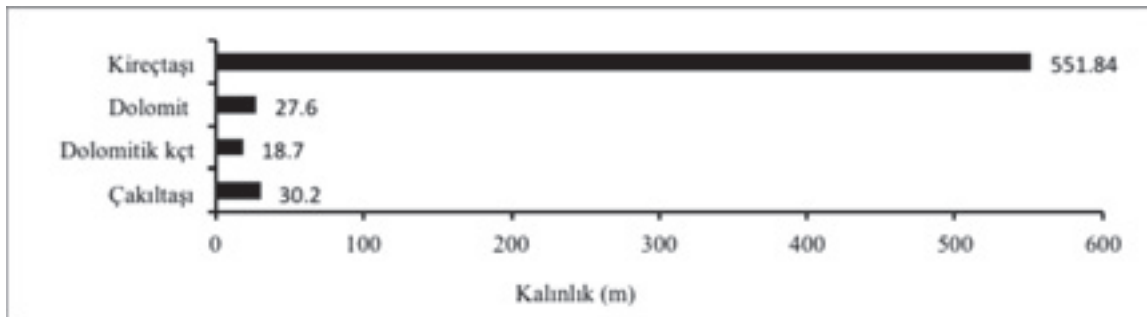
## ÖRNEKLEME LOKASYONLARINDAKİ KİREÇTAŞLARININ ÖZELLİKLERİ

### Kireçtaşlarının Fasiyesleri ve Petrografik Özellikleri

Bir kayacın petrografisi, o kayacın potansiyel agrega olarak uygunluğunun değerlendirilmesinde, zararlı ve kusurlu malzemelerin varlığının ortaya konulmasında yardımcı olabilir (Hammersly, 1989; Smith ve Collis, 2001; TS 10088 EN 932-3/A1 TSE, 2006). Çalışmada, Karaburun Yarımadası Mesozoyik yaşlı kireçtaşlarında açılan taş ocaklarında, toplam 11 lokasyonda, 628 m uzunlukta hat boyunca örnekleme yapılmıştır. Yapılan

petrografik analiz çalışmaları ile bu örnekler; kireçtaşı (551 m), dolomitik kireçtaşı (28 m), dolomit (19 m) ve konglomera (30 m) olarak tanımlanmıştır (Şekil 4). Kireçtaşlarının Dunham (1962) doku ağırlık sınıflaması kullanılarak yapılan fasiyes adlamasında; vaketaşı, istiftaşı ve tanetaşı oldukça yüksek kalınlıklara sahip iken yüzertaş, kabataş, çatıtaşı, bağlamtaşı dolomit ve dolomitik kireçtaşı fasiyesleri daha az kalınlıkta ve ardalıdır (Çizelge 1 ve Şekil 5).

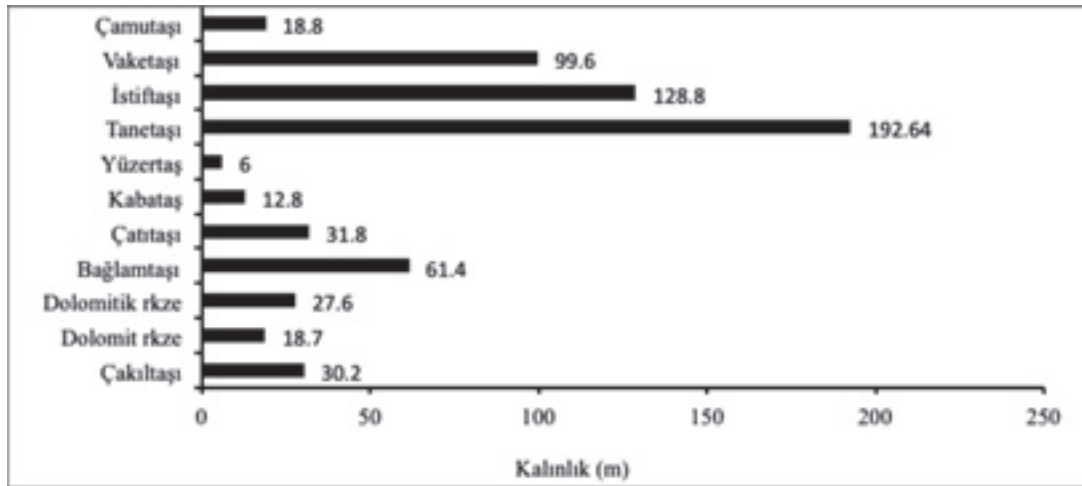
Şelf lagünü, gel-git ortamı ve resif ortamlarına ait tanetaşı, istiftaşı (kısmen), yüzertaş, kabataş, çatıtaşı ve bağlamtaşı fasiyesleri homojen özellik (kalsit + dolomit > % 97) gösterirken, yokuş önü ve derin deniz kenarı ortamlarına ait istiftaşı, vaketaşı fasiyesi daha çok heterojen (karbonat olmayan mineraller > % 3) bir özelliğe sahiptir (Çizelge 1). Karaburun Yarımadası kireçtaşların örnekleme lokasyonlarının çökme ortamlarıyla olan genelleştirilmiş ilişkisi Şekil 6'da sunulmuştur. Petrografik analizlerde karbonat olmayan tane ve mineraller; mikrokristalin kuvars tane, megakuvars, kaya kırıntısı, çört, silisli sünger sipikülleri ve çok az miktarda kil olarak tanımlanmıştır. Referans agregalarda ise karbonat olmayan minerallere (kuvars ve çört) ek olarak kum silt boyutunda ve az miktarda (% 2-3) feldspat minerali gözlenmiştir (Şekil 6 ve 7, Çizelge 1).



Şekil 4. Karaburun Yarımadası örnekleme lokasyonlarında incelenen karbonat kayalarının litolojik dağılımı.

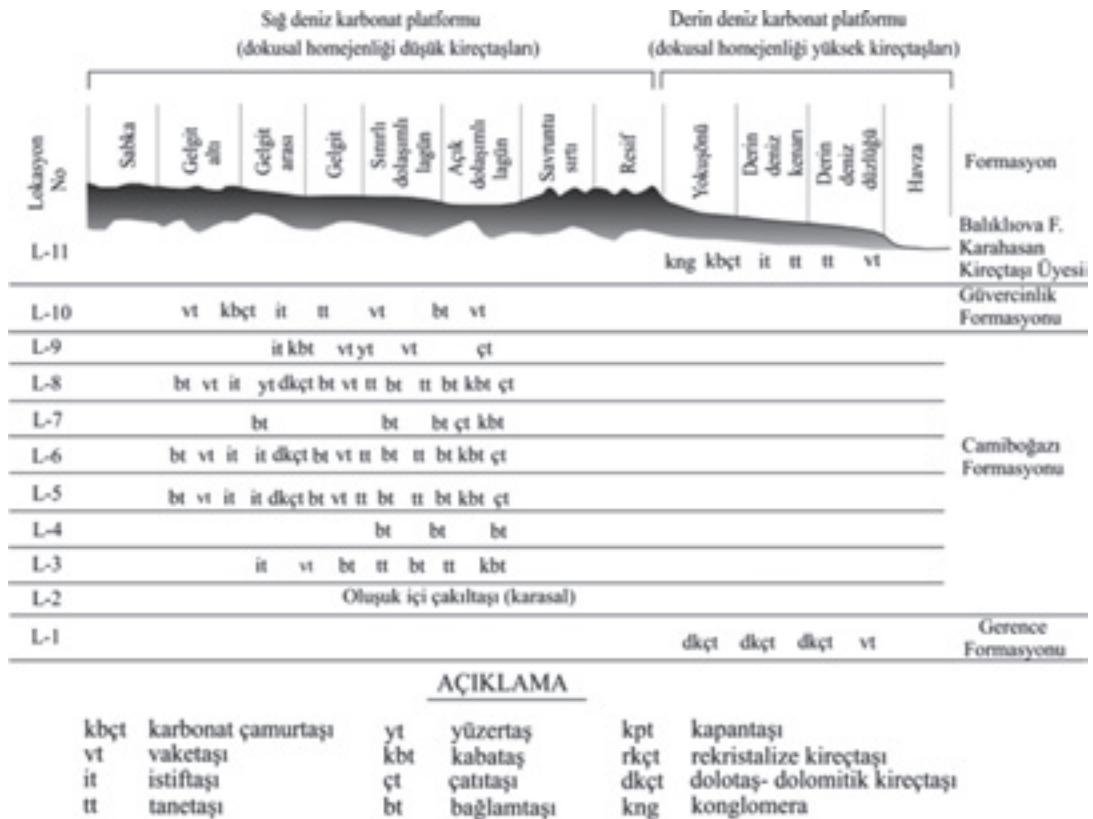
Figure 4. Lithological distribution of the Karaburun Peninsula carbonates in the sample locations.

Elçi, Türk, İşintek



Şekil 5. Karaburun Yarımadası örnekleme lokasyonlarındaki karbonat kayaların dokularına göre dağılımları (rkze: rekristalize kireçtaşı).

Figure 5. Distribution of the Karaburun Peninsula carbonates according to their textures in the sample locations (rkze: recrystallized limestone).



Şekil 6. Karaburun Yarımadası kireçtaşlarının örnekleme lokasyonlarındaki çökeltme ortamları.

Figure 6. Depositional environments of the Karaburun Peninsula limestone in the sample locations.

Çizelge 1. Karaburun Yarımadası kireçtaşlarını petrografik özellikleri ve fasiyesleri.

Table 1. Petrographical and facies properties of the Karaburun Peninsula limestone.

Lokasyon	Yaş	Formasyon	Kalınlık (m)	Fasiyes no	Fasiyes	Mineral (%)					Mineral Homojenlik		
						Ca	Do	Q	K	F			
L11	Kampanyen - Maastriyen	Formasyonu	8	11-5	vaketaşı	72	6	20	2		Doku, fosil, mikrit/spar kalsit.	Mikritik aramada destekli doku, yüksek miktarda silisli sünger sipikülleri ve az miktarda kil içeren yumru lu vaketaşı	Ht
			3.5	11-4	istiftaşı	88	7	5			Genellikle mikritik aramada destekli doku, yüksek miktarda silisli sünger sipikülleri içeren istiftaşı		
			5.3	11-3	istiftaşı	91	7	2			Mikritik aramada destekli doku, Calcisphare ve plantonic foraminifer fosilleri içeren istiftaşı	Hm	
			85	11-2	istiftaşı-tanetaşı	97	2	1			Spar kalsit çimentolu ve tane destekli bir dokuya sahip istiftaşıları. Taneler arası spar kalsit çimentolu tanetaşları	Hm	
			15	11-1	Litik konglomera	73	2	20			Çört, kuvars, mega kuvars, polikristalin kuvars, mikrokristalin kuvars, içeren kum, çamur boyutu matrix destekli doku , kireçtaşı çakıllarından oluşan konglomera.	Ht	
L10	Noriyen - Resiyen	Güvercinlik F	3.3	10-5	vaketaşı	95	3	2			Pelloidal bağlamtaşı ve Thaumaporealla fosilli bağlamtaşı arakatmanlı bioklastlı vaketaşı,.	Hm	
			4.9	10-4	bağlamtaşı	>97	1	1			mikrobial mikrit, pelloidal mikrit, Thaumaporealla fosilli bağlamtaşı	Hm	
			1.6	10-3	vaketaşı-tanetaşı	>97		1			Biyoklastlı koyu mikrobial mikritli vaketaşı, pseudospar kalsit çimentolu tanetaşı.	Hm	
			2	10-2	istiftaşı	>97		1			Spar kalsit çimentolu bioklastik istiftaşı	Hm	
			9.4	10-1	vaketaşı-çamurtaşı	>97		1			Mikritik aramada destekli vaketaşı	Hm	
L9	Ladiyen - Karniyenn	Camiboğazi Formasyonu	6.1	9-4	tanetaşı-kabataş						Seyrek, ince kavlı pelesipod ve foraminifer içeren vaketaşı ara katmanlı, krinoid kırıntılı, pel-intrasparitiki psodyospar çimentolu tanetaşı. Krinoid kırıntılı biyo-intrasparit karekterli psodyospar kalsit çimentolu kabataş.	Hm	
			6	9-3	vaketaşı-yüzertaş	>98					İntra-biyosparitik kabataş, intrabiyoklastik tanetaşı ara katmanlı, pelesipod kırıntılı biyomikritik vaketaşı-pelesipodlu biyomikritik yüzertaş (sünger, alg, krinoid bivalvia ve az miktarda foraminifer).	Hm	
			3.9	9-2	çatıtaşı						İntra-biyosparitik kabataş ara katmanları içeren biyohermal ve biyostromal çatıtaşı (sünger, mercan, mavi-yeşil algleri foraminiferler resif döküncüleri ( sünger, mercani krinoid ve bivalviya)	Hm	
			9.3	9-1	vaketaşı						Biyo-intrasparitik tanetaşı (foraminifer, bivalviya, krinoid), biyo-intrasparitik kabataş (psodyospar çimentolu, sünger mercan, krinoid ve bivalviya), pelloidal bağlamtaşı (mavi yeşil alg, mikrobiyal mikrit) ara katmanları içeren vaketaşı (biyomikrit, gastropod, bivalviya).	Hm	

Elçi, Türk, İştentek

Çizelge 1. (devamı)

Table 1. (continued)

Lokasyon	Yaş	Formasyon	Kalınlık (m)	Fasiyes no	Fasiyes	Mineral (%)					Mineral Homojenlik		
						Ca	Do	Q	K	F			
L8	Ladimiyen- Noriye	Camibogaşı Formasyonu	4.4	8-8	vaketaşı-tanetaşı						Doku, fosil, mikrit/spar kalsit.	Biyoklastlı sparkalsit çimentolu tanetaşı ve mikritik ara madde destekli vaketaşı (sünger, mercan, alg ve bivalvia)	Hm
			2.8	8-7	çatıtışı	>98						Sparkalsit çimentolu biyohermal ve biyostromal çatıtışı (sünger, mercan, mavi-yeşil algler foraminiferler)	Hm
			17	8-6	kabataş-tanetaşı							Psoydospar kalsit çimentolu intra-biyoklastik kabataş ve intra-biyoklastik tanetaşı (biyopelsparitik) araldanması (bivalvia, foraminifer ve ekinit parçaları içerir)	Hm
			4.4	8-5	vaketaşı							Psoydomikritik ara madde destekli, biyo-intraklastik vaketaşı, biyoklastik vaketaşı	Hm
			6.7	8-4	kabataş							İntra-biyoklastik kabataş, bol miktarda biyoklast [sünger, bivalvia ve foraminifer (Aulotortus ve Auloconus)] daha az oranda intraklast	Hm
			2.9	8-3	dolomitik rekr. kçt	>98						Yersel olarak ileri derecede dolomitleşmiş, spar kalsitlemiş rekristalize olmuş dolomitik kireçtaşı.	Hm
			17	8-2	tanetaşı							Tane destekli, psodyospar çimentolu intra-biyosparitik tanetaşı (krinoid ve bivalvia kırıntıları ve foraminiferler)	Hm
			3.2	8-1	vaketaşı-istiftaşı							Biyoklastik vaketaşları (bivalvia ve Dasyclag alg) intra-biyoklastik istiftaşıları	Hm
L7	Ladimiyen- Noriye	Camibogaşı Formasyonu	4.4	7-5	bağlamtaşı						Kabataş (intra-biyoklastik>intraklast ve pellet; krinoid, bivalvia, gastropod, foraminifer) tanetaşı (intra-biyosparitik) arakatmanlı bağlamtaşı	Hm	
			18.4	7-4	bağlamtaşı kabataş çatıtışı						Mavi yeşil alglerle bağlanmış süngerlerili bağlamtaşı Mercan sünger ve mavi-yeşil alg yığışimli çatıtışı Psoydo spar kalsit çimentolu, intraklastlı ve bioklastlı kabataş	Hm	
			3.2	7-3	bağlamtaşı	>97					Spar kalsit çimentolu, sünger parçalarını bağlayan mavi-yeşil alg yığışimli bağlamtaşı.	Hm	
			0.6	7-2	çatıtışı							Kabataş (intra-biyosparitik)- tanetaşı (biyo-intrasparitik) arakatlı spar kalsit çimentolu çatıtışı (sünger, mercan, yeşi alg, mavi-yeşil alg, foraminifer)	Hm
			3.7	7-1	bağlamtaşı							Çatıtışı (alg, sünger, bivalvia biyostrom)- kabataş (krinoid parçaları, bivalvia, bölümsel spar kalsit, yersel mikrit)- tanetaşı İntraklastlı pellet) arakatmanlı bağlamtaşı (fenestral boşluklu, mavi-yeşil algli)	Hm



Çizelge 1. (devamı)  
Table 1. (continued)

Lokasyon	Yaş	Formasyon	Kalınlık (m)	Fasiyes no	Fasiyes	Mineral (%)					Mineral Homojenlik	
						Ca	Do	Q	K	F		
L6	Ladinyen- Noriyen	Camiboğazi Formasyonu	6.5	6-8	istiftaşı-tanetaşı						Doku, fosil, mikrit/spar kalsit.	
			6.8	6-7	dolomitik rekristalize kireçtaşı						İleri derecede mikrodolospaerleşmiş ve/veya sparkalsitleşmiş rekristalize olmuş dolomitik kireçtaşları. Yersel olarak hayalet iz olarak korunmuş, olasılıkla intraklastlar) olağandır. İlksel doku tümsele yakın silinmiştir.	Hm
			15.2	6-6	vaketaşı-tanetaşı						Bivalvialı intra-biyosparitik kabataş ve fenestral boşluklu peloidal mavi-yeşil algal bağlamtaşı (ostracod, demir oksit dolgu ve stiliolit) arakatlı oolittli, biyo-intrasparitik tanetaşları ve biyo-mikritik foraminiferli vaketaşı.	Hm
			10.5	6-5	istiftaşı-tanetaşı	>97					Biyo-intrasparitik veya biyo-mikritik istiftaşı (dasyklad alg, bivalvia ve gastropod) ve seyrek biyoklastlı intra-pelsparitik tanetaşı (foraminifer). Tane destekli bölümler psodyospar kalsit çimentoludur	Hm
			9.2	6-4	vaketaşı						Aulotortus'lu (foraminifer) vaketaşı, psodyomikrit ara madde destekli doku. Aulotortus dışında alg ve bivalvia.	Hm
			11.4	6-3	bağlamtaşı vaketaşı kabataş ardalanmalı istiftaşı-tanetaşı						Biyo-intraklastik kabataş (psodyospar kalsit), biyo-intraklastik vaketaşı, enestral boşluklu peloidal mavi-yeşil algal bağlamtaşı arakatlı intra-biyosparitik istiftaşı (psodyospar kalsit) intra-pelsparitik tanetaşı (dasyklad alg, bivalvia, foraminifer)	Hm
			9.4	6-2	karbonat çamurtaşı						Biyoklastlı diyajenetik karbonat çamurtaşı. Psodyomikrit doku, yersel olarak psodyomikrospara dönüşmüştür. (gastropod)	Hm
			30.4	6-1	tanetaşı-kabataş istiftaşı-bağlamtaşı arakatmanlı vaketaşı	>97					İntra-biyoklastik tanetaşı (tane destekli ve sparkalsit çimento, gastropod ve foraminifer) ve intrasparitik ve biyo-intraklastik kabataş (tane destekli ve sparkalsit çimento), biyo-intraklastik istiftaşı, dasyklad algli mavi-yeşil algal bağlamtaşı (mavi-yeşil alg ve yeşil alg), biyoklastik vaketaşı katmanlarından oluşur	Hm

Elçi, Türk, İşintek

Çizelge 1. (devamı)

Table 1. (continued)

Lokasyon	Yaş	Formasyon	Kalınlık (m)	Fasiyes no	Fasiyes	Mineral (%)					Mineral Homojenlik		
						Ca	Do	Q	K	F			
L5	Geç Anisiyen – Noriyen	Camiboğazı Formasyonu	4	5-14	Vaketaşı							Biyoklastik (foraminiferler) vaketaşı. Doku mikrit aramada desteklidir, yersel olarak psoydomikrospara dönüşmüştür.	Hm
			4.1	5-13	tanetaşı katkılı bağlamtaşı							Tanetaşları (pel-intrasparitik veya intra-pelsparitik) tane destekli ve psoydospar çimento. Bağlamtaşları ise ince fenestral boşluklu peloidal mikrobiyal bağlamtaşı özelliğindedir.	Hm
			4.0	5-12	tanetaşı katkılı çatıtaşı	>97						İntra-biyoklastik kabataş (psoydospar kalsit çimentolu) ve biyo-intraklastik tanetaşı (psoydospar kalsit çimentolu ve bazı düzeylerde biyopelsparitik karakterli) katkılı yeşil algal çatıtaşı.	Hm
			9.9	5-11	bağlamtaşı tanetaşı-kabataş-vaketaşı							Vaketaşı (biyomikrik, mikrit aramada destekli Aulotortus' lu veya dasyclad algli biyoklastlar) Tanetaşı (biyo-intraklastik, foraminifer). Kabataş (intraklastlar ve seyrek biyoklastlar) Bağlamtaşı büyük fenestral boşluklu, mavi-yeşil algler).	Hm
			2.6	5-10	tanetaşı katkılı bağlamtaşı							Tanetaşı (pel-intrasparitik veya intra-pelsparitik, tane destekli ve psoydospar çimento). Bağlamtaşları ise ince fenestral boşluklu peloidal mikrobiyal bağlamtaşı özelliğindedir.	Hm
			3.7	5-9	dolmitik rekristalize kireçtaşı							ileri derecede dolomitleşmiş sparkalsitlemiş rekristalize kireçtaşı kısmen psoydomikritleşmiş ve psoydomikrospar-psoydomikrodolosparlaşmış kireçtaşlarından oluşur. Doku korunmuş allokemler ve basınç çözünmesi yapıları olağandır.	Hm
			2.3	5-8	vaketaşı							Biyoklastik (foraminiferler) vaketaşı. Doku mikrit aramada desteklidir, yersel olarak psoydomikrospara dönüşmüştür.	Hm
			6.5	5-7	tanetaşı-istiftaşı							Biyo-intrasparitik veya mikritik istiftaşı (Aulotortus ve Auloconus) ve biyoklastlı intrasparitik tanetaşı.	Hm
			4.5	5-6	bağlamtaşı-tanetaşı-vaketaşı							Vaketaşı (biyo-intraklastik, psoydomikrit ve psoydomikrosp aramada destekli), Tanetaşı (peloidal bağlamtaşı ve tekrarlanan pel-intrasparit ve intra-biyosparit), bağlamtaşı (peloidal algal bağlamtaşı ve yeşil algal bağlamtaşı).	Hm
			1.5	5-5	vaketaşı	>97						Biyoklastik (foraminiferler) vaketaşı. Doku mikrit aramada desteklidir, yersel olarak psoydomikrospara dönüşmüştür.	Hm
			3.6	5-4	bağlamtaşı							İntraklastik tanetaşı ve intrabiyoklastik kabataş (sünger, mercan, alg ve bivalvia) arakatlı bağlamtaşı (laminalı mavi yeşil alg ve yeşil alg) katmanlarından oluşur. Doku kabataş ve tanetaşlarında tane destekli ve sparkalsit çimentolu.	Hm
			2.1	5-3	tanetaşı, kabataşlı çatıtaşı							İntra-biyoklastik kabataş (psoydospar kalsit çimentolu) ve biyo-intraklastik tanetaşı (psoydospar kalsit çimentolu ve bazı düzeylerde biyopelsparitik karakterli) katkılı yeşil algal çatıtaşı.	Hm
			1.2	5-2	vaketaşı							Biyoklastik (foraminiferler) vaketaşı. Doku mikrit aramada desteklidir, yersel olarak psoydomikrospara dönüşmüştür.	Hm
15.8	5-1	tanetaşı-kabataş arakatmanlı bağlamtaşı							İntraklastik tanetaşı ve intrabiyoklastik kabataş (sünger, mercan, alg ve bivalvia) arakatlı bağlamtaşı (laminalı mavi yeşil alg ve yeşil alg). Doku kabataş ve tanetaşlarında tane destekli ve sparkalsit çimentolu.	Hm			

Çizelge 1. (devamı)

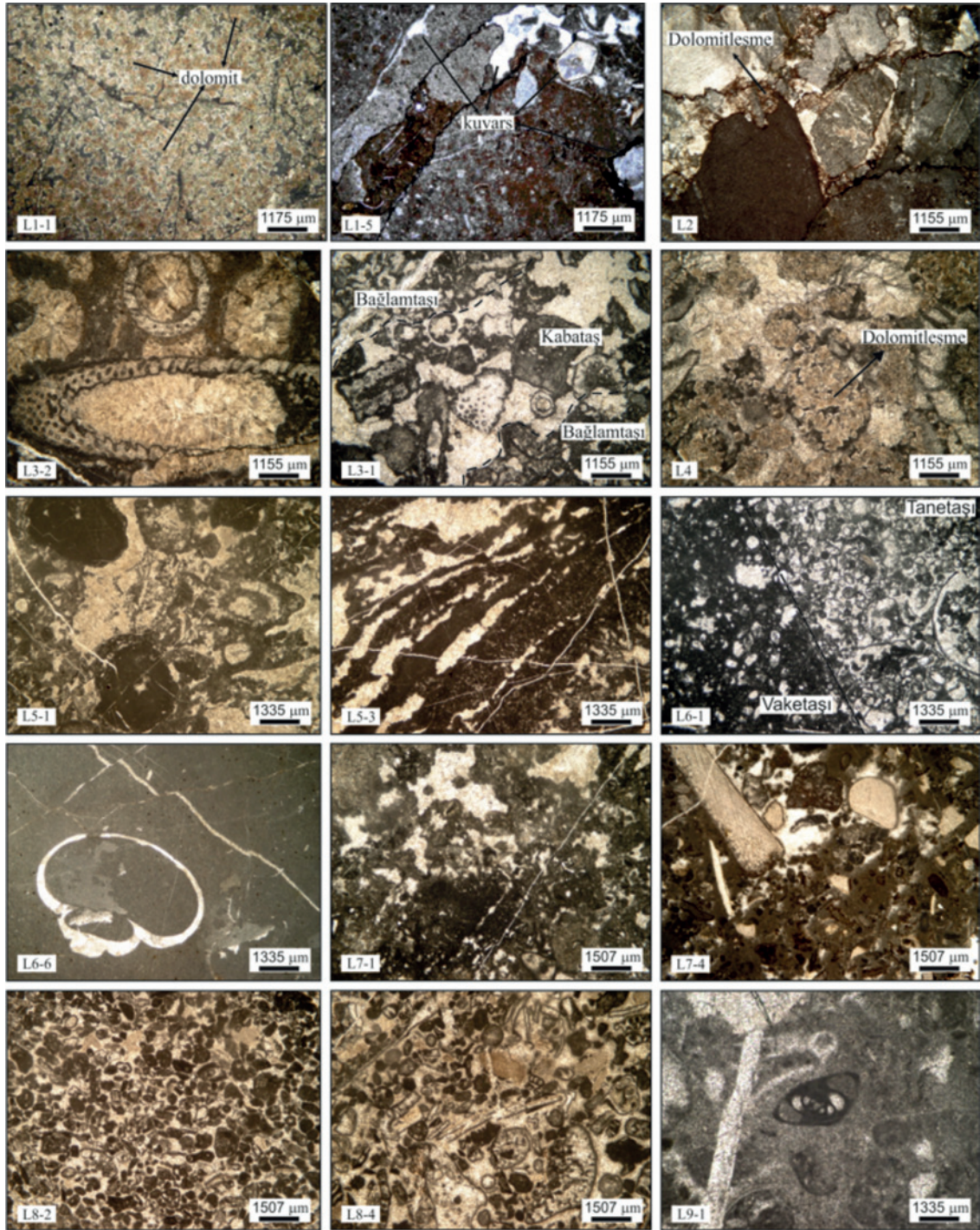
Table 1. (continued)

Lokasyon	Yaş	Formasyon	Kalınlık (m)	Fasiyes no	Fasiyes	Mineral (%)					Mineral Homojenlik		
						Ca	Do	Q	K	F			
L4	Noriyen		7	4-1	bağlamtaşı	92	8				Doku, fosil, mikrit/spar kalsit.		
L3	Ladinyen-Karniyen		5.1	3-4	istiftaşı	>97					Psoyduospar kalsit çimetolu ve tane destekli doku, bioklastik istiftaşı		Hm
			4.5	3.3	vaketaşı	>99					Mikritik madde destekli,Aulotortus'lu vaketaşı		Hm
			99.1	3-2	bağlamtaşı tanetaşı	97	1	2			Pelloidal algal bağlamtaşı, Dasyclad algli bağlamtaşı ve bioklastlı intra-pelsparit ardalıdır.		Hm
			47.8	3-1	Kabataş-tanetaşı-bağlamtaşı	85	15				Kabataş; intraklast, Dasyclad alg Tanetaşı; intraparit, bol pellet ve bioklast, dolomit Tanetaşı, Dasyclad alg, mavi yeşil alg		Hm
L2			15.2	2-1	konglomena	70	30				Çakıl ve kum boyu kırıntılı spar kalsit ve demir oksitli kireçli ara madde ile tutturulması ile oluşmuş intraformasyonel konglomena Çakıl ve kalkarenitlerin bazıları ileri derecede rekristalize olmuş veya dolomitlenmiştir		Hm
L1	Skitiyen - Anisiyen	Gerence Formasyonu	10.8	1-5	vaketaşı istiftaşı	1		96	3		Radiolaryalı killi vaketaşı-istiftaşı		Ht
			5.5	1-4	kalsitik dolomit	70	30				Yeniden kristalleşmiş dolomitik kireçtaşı, kireçli dolomit. Psoydomikrit, dolomite, dolosparit.		Hm
			14.8	1-3	dolomitik tanetaşı	80	20				Yeniden kristalleşmiş dolomitik kireçtaşı dolomikrit > dolosparit		Hm
			14.2	1-2	tanetaşı	75	25				Dolomitlenmiş ooliteli tanetaşı, dolospar çimento.		Hm
			18.7	1-1	dolomit	10	90				İdiomorfik/subidiomorfik dolomit kristalleri dolosparitik doku dolospar > dolomikrit.		Hm
Kingston (Kanada) agregası					dolomitik tanetaşı-vaketaşı	75	17	5		3	Silt kum boyutu kuvars taneleri ve az miktarda kil içeren rekristalize dolomitik kireçtaşı. Genel olarak psodyomikritik, psodyosparitik, dolosparitik veya dolomikrosparitik dokuya sahiptir. Bazı örnekler mikritik dokulu vaketaşı ve intrapelsparitik tane destekli kalsit çimentolu dokulu tanetaşı özelliğindedir. Seyrek bivalvia, gastropod ve ekinid parçaları içerir.		Ht
*Zonguldak (Türkiye) agregası					dolomitik tanetaşı	70	15	13		2	Silt,kum boyutulu kuvars taneli mikritik kireçtaşı, az miktarda feldispat. Mikrokristalin dolomitik doku ve karesel dolomit kristalleri. Doku genel olarak mikritiktir.		

Ht- heterojen, Hm-homojen, Ca-kalsit, Do-dolomit, Q-kuvars, K-kil, F-feldispat, \*: (Alptuna, 2009)

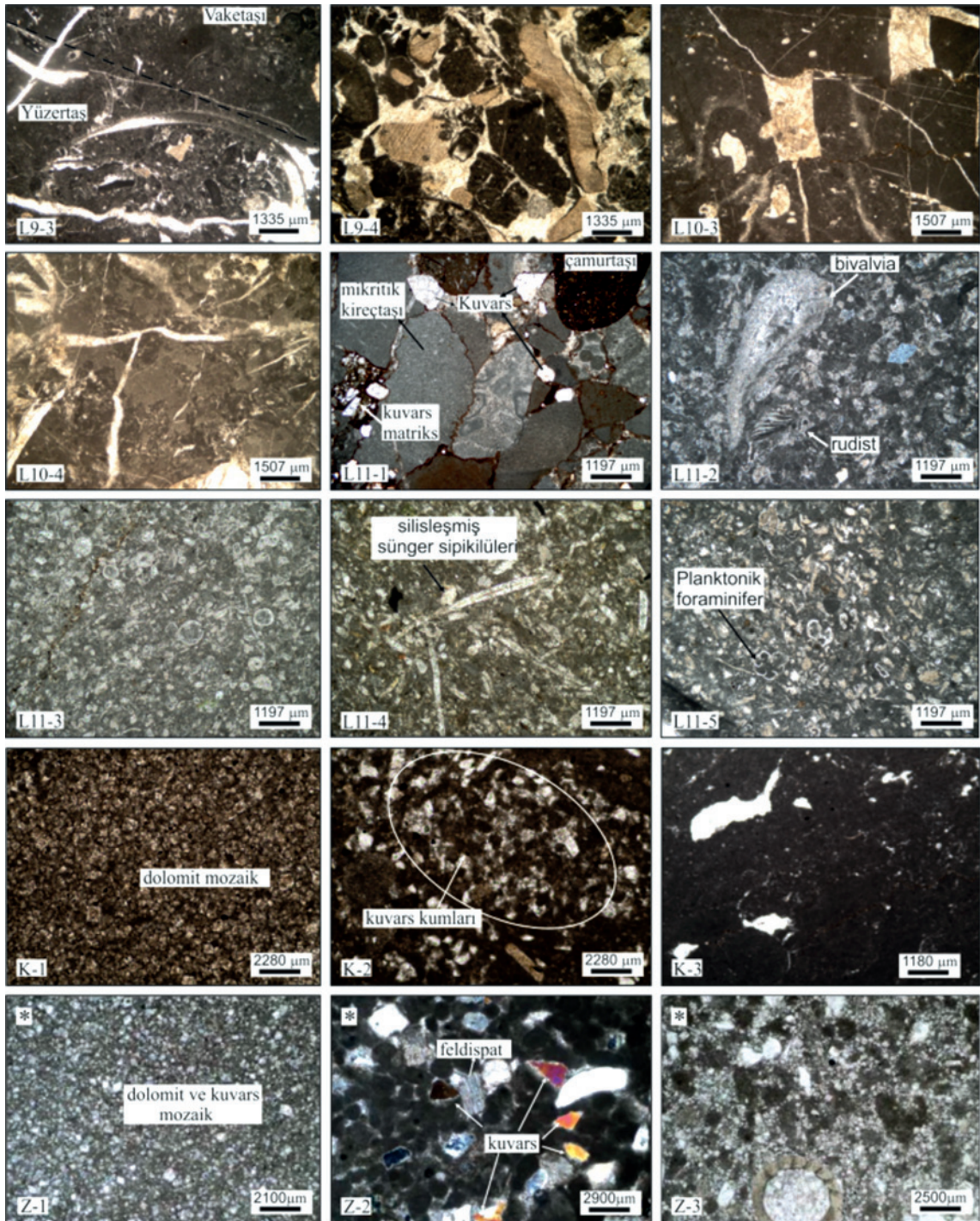
Ht- heterogeneous, Hm- homogeneous, Ca-calcite, Do-dolomite, Q-quartz, K-clay, F-feldspar, \*: (Alptuna, 2009).

Elçi, Türk, İşintek



Şekil 7. Lokasyon 1 ile 9 arası Karaburun Yarımadası kireçtaşlarının egemen fasiyelerine ait ince kesit görüntüleri.

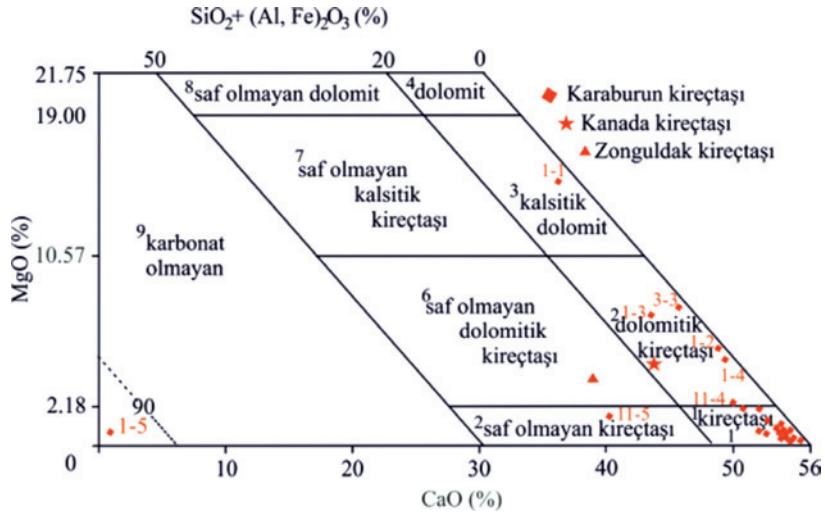
Figure 7. Thin section photographs of the dominant Karaburun limestone facies between location 1 and 9.



Şekil 8. Lokasyon 9, 10 ve 11’de Karaburun Yarımadası kireçtaşlarının egemen fasiyelerine ait ve Kingston (K), Zonguldak (Z) reaktif agregalarının \*(Alptuna, 2009) ince kesit görüntüleri.

Figure 8. Thin section photographs of the dominant Karaburun limestone facies at location 9, 10, 11 and reafers aggregates; Kingston (K), Zonguldak (Z) \*(Alptuna, 2009).

Elçi, Türk, İşintek



Şekil 9. Kireçtaşlarının safliklarına göre sınıflaması (Krumbein ve Sloss, 1963'ten değiştirilerek).

Figure 9. Classification of limestone according to the purity (modified from Krumbein and Sloss, 1963).

### Kireçtaşlarının Kimyasal Bileşimleri ve Saflikları

Kireçtaşlarının kimyasal bileşimi, mineral bileşimini ile benzerdir (Pettijohn, 1975). Şekil 9'da kireçtaşlarının CaO, MgO (karbonat bileşenler) ve  $\text{SiO}_2 + (\text{Al}, \text{Fe})_2\text{O}_3$  (karbonat olmayan bileşenler) ana oksit element yüzdeleri kullanılarak sınıflaması verilmiştir. Sınıflamada, Krumbein ve Sloss (1963)'te tanımlanan kireçtaşlarının adlamaları kullanılmıştır. Bu sınıflama ile kireçtaşları ana oksit element yüzdeleri ile kullanılarak adlanması yapılabilir. Ayrıca bu sınıflama kireçtaşlarının özellikle beton endüstrisinde agrega kaynağı olarak kullanılması durumunda, alkali agrega reaksiyonu riskine karar vermede aranan saflığı belirlemede oldukça pratiktir.

Bu çalışmada önerilen sınıflamada, kireçtaşlarının ana oksit element yüzdeleri dikkate alınarak, hem Karaburun kireçtaşları hem de literatürde reaktif agrega olarak tanınan Kingston (Kanada) ve Zonguldak (Türkiye) agregalarının sınıflamadaki adları verilmiştir

(Çizelge 2). Karaburun Yarımadası kireçtaşları bu sınıflamada büyük oranda “kireçtaşı”, “dolomitik kireçtaşı” sınıfında yer alır. Bununla beraber kireçtaşlarının safliklarını bozan silis miktarına bağlı olarak lokasyon L1-5 “karbonat olmayan” ve lokasyon L11-5 ise “saf olmayan kireçtaşı” sınıfında yer alır. Bu sınıflamaya göre Kingston agregası “dolomitik kireçtaşı” olarak adlandırılırken, Zonguldak agregası “saf olmayan dolomitik kireçtaşı” olarak adlandırılmıştır (Şekil 9, Çizelge 1 ve 2).

### Kireçtaşlarının Agregası Özellikleri

Hazırlanan agregaların tane yoğunluğu, su emme değeri, şekil özellikleri, ince madde miktarı, termal özellikleri, Micro deval aşınma ve Los Angeles parçalanma değerleri, asitte ve suda çözülebilen sülfat ve klorür miktarları belirlenmiştir. Aynı petrografik ve kimyasal özellik gösteren fasiyeslere ait agregalar karıştırılmıştır. Deney sonuçları, kullanılan standartlar ve deneylerin tekrar sayısı Çizelge 3, 4 ve 5'te verilmiştir.

Çizelge 2. Karaburun Yarımadası kireçtaşlarının ortalama ana oksit element yüzdeleri.

Table 2. Mean percentages of major element oxide of the Karaburun Peninsula limestones.

Ana Oksit → Örnek No↓	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	KK	Toplam	<sup>1</sup> Safılık (%)	<sup>2</sup> Adlama
L11-5	21.90	2.14	0.47	1.52	39.7	0.033	0.520	0,16	0.012	34.33	100.08	75.49	5
L11-4	5.09	0.28	0.261	2.39	49.91	0.029	0.048	E	0.046	41.75	99.804	94.37	2
L11-3	2.36	0.82	0.097	1.88	51.57	0.044	0.067	E	0.023	42.69	99.551	96,72	1
L11-2	0.917	0.127	0.036	0.743	54.017	0.012	0.020	0.02	0.009	43.35	99.232	98,92	1
L11-1	17.6	3.34	1.15	0.79	41.4	0.042	0.63	0.01<	0.011	35.05	100.01	77.91	*
L10-5	1.96	0.09	0.049	1.18	53.35	0.01	0.025	E	0.003	42.92	99.587	97.90	1
L10-4	2.21	0.047	0.028	0.36	52.86	0.026	0.029	E	0.007	43.73	99.720	97.72	1
L10-3	0.93	0.21	0.055	0.19	54.6	0.061	0.047	E	0.003	43.31	99.411	98.81	1
L10-2	0.75	0.07	0.038	0.31	54.66	0.017	0.019	E	0.008	43.39	99.257	99.14	1
L10-1	0.68	0.05	0.026	0.27	54.51	0.022	0.023	E	0.006	43.51	99.097	99.24	1
L9-3	0.11	0.04	0.036	0.46	55.03	0.01	0.007	0.01<	0.007	43.8	99.495	99.81	1
L8-3	0.041	0.016	0.035	8.52	44.46	0.011	0.018	0.01<	0,011	45.89	99,515	99.40	3
L8-2	0.11	0.04	0.031	0.46	55.03	0.01	0.007	0.01<	0.007	43.8	99.495	99.82	1
L7-5	0.65	0.281	0.203	0.45	54.54	0.01	0.04	0.01<	0.071	43.4	99.645	98.87	1
L6-7	0.28	0.18	0.031	11,381	42.46	0.011	0.021	0.01<	0.013	44.89	99.267	99.51	2
L6-5	0.515	0.021	0.16	0.453	54.66	0.01	0.032	0.01<	0.055	43.5	99.603	99.30	1
L5-9	0.37	0.15	0.043	9.78	41.46	0.009	0.025	0.01<	0.010	45.89	97.737	99.44	2
L5-2	0.380	0.161	0.117	0.455	54.785	0.01	0.024	0.01<	0.039	43.6	99.570	99.34	1
L4-1	0.92	0.47	0.086	2.06	52.89	0.029	0.034	E	0.014	42.96	99.563	98.52	1
L3-4	0.763	0.23	0.021	0.287	54.67	0.051	0.032	E	0.008	43.53	99.619	99.00	1
L3-3	0.11	0.04	0.011	0.22	54.75	0.009	0.007	E	0.002	44.87	100.01	99.82	1
L3-2	1.75	0.22	0.033	0.27	53.46	0.038	0.02	E	0.007	43.68	99.478	97.90	1
L3-1	0.82	0.173	0.03	8.027	45.587	0.017	0.019	E	0.006	44.93	99.609	98.97	1
L2-1	0.53	0.39	0.126	9.39	43.65	0.009	0.008	E	0.011	45.33	99.444	97.60	*
L1-5	87.84	3.52	1.48	0.73	0.86	0.057	1.21	0.01<	0.096	3.15	99.238	8.61	9
L1-4	0.33	0.149	0.027	4.99	49.21	0.007	0.028	0.01<	0.007	44.49	99.238	99.49	2
L1-3	0.33	0.13	0.03	7.54	43.46	0.009	0.025	0.01<	0.010	44.89	99.324	99.51	2
L1-2	0.22	0.041	0.027	5.65	48.91	0.009	0.004	0.01<	0.007	44.9	99.768	99.69	2
L1-1	0.33	0.125	0.05	15.31	37.45	0.01	0.028	0.01<	0.008	46.5	99.811	97.61	3
Kanada	5.12	1.92	1.94	4.20	43.71	0.22	1.12	0.01<	0.035	40.86	99.235	90.91	2
Zonguldak	14.4	2.49	2.05	3.93	39.00	0.25	1.12	0.01<	0.028	36.43	99.838	83.11	6

E: Eser, KK: Kızdırma kaybı, 1: Kireçtaşlarının safılıkları (Eşitlik 1), 2: Kireçtaşlarının safılıklarına göre sınıflandırması (Şekil 10), \*: Konglomera.

E: Trace, KK: Losses on ignition, 1: The purity of limestone (Equation 1), 2: classification of limestone according to the purity, (Figure 10), \*: Conglomerate.

Elçi, Türk, İşintek

Karaburun Yarımadası kireçtaşlarının tane yoğunluğu ortalama  $2.70 \text{ kg/m}^3$  olarak belirlenmiştir. Kireçtaşlarının tane yoğunluğu içerdikleri dolomit ve kuvars minerali miktarına bağlı olarak değişmektedir. İçerdikleri dolomite minerali miktarına göre dolomitik kireçtaşları ve dolomitlerin tane yoğunluğu  $2.74 \text{ kg/m}^3$ 'e kadar artmakta ve kuvars minerali miktarına göre de  $2.67 \text{ kg/m}^3$ 'e kadar azalmaktadır. Tane yoğunluğu intraformasyonel konglomera (Çizelge 1, L2-1) ve taban konglomerası fasiyeslerine (Çizelge 1, L11-1) ait agregalarda, kireçtaşı agregalarına kıyasla daha düşüktür. Bunun nedeni konglomera ara maddesinin (kum silt boyu tane ve silisçe zengin çimento), konglomera tanelerini oluşturan kireçtaşı tanelerine göre daha boşluklu bir yapıya sahip olmasıdır. (Çizelge 3).

Agregaların su emme değeri, fiziksel ve mekanik özelliklerini etkiler (Gillott, 1980; Smith ve Collis, 2001). Su emme değeri yüksek agrega, betonun su ihtiyacını artırarak dayanımını azaltır (Tuğrul ve Yılmaz, 2012). Fookes (1980), agrega tanelerinin su emme değerinin, % 1.5'ten küçük olması gerektiğini belirtmiştir. Poitvein (1999), su emme değeri % 2'den küçük olan agregalarla yüksek dayanımlı beton elde edilebileceğini göstermiştir. Karaburun Yarımadası kireçtaşı ve çakıltası agregalarının su emme değeri % 0.14 – 1.20 arasındadır (Çizelge 3).

Agreganın tane şekli ise kırıcı tipine ve kayaç litolojisine bağlıdır. İdealde agrega tanelerinin kübik şekilli olması istenir. Uzun ve yassı taneler, betonu aktarmada pompalama

Çizelge 3. Kireçtaşı agregalarının fiziksel özellikleri.

Table 3. Physical properties of the limestone aggregates.

Özellik + Örnek no +	Tane Yoğunluğu ( $\text{Mg/m}^3$ )	Su emme (%)	Gevşek yığın yoğunluğu ( $\text{ton/m}^3$ )	Boşluk hacmi (%)	Şekil indeksi (%)	Yassılık indeksi (%)
L1	2.74	0.16	1.39	49.18	16.57	23.29
L2	2.68	1.12	1.34	49.76	13.16	31.05
L3	2.71	0.24	1.39	50.29	21.87	42.00
L4	2.74	0.16	1.36	50.40	13.05	27.73
L5	2.69	0.12	1.36	49.41	26.21	36.98
L6	2.71	0.07	1.37	49.31	16.17	30.53
L7	2.68	1.12	1.34	49.76	13.16	31.05
L8	2.69	0.24	1.38	48.69	16.06	25.53
L9	2.70	0.13	1.38	49.03	28.03	25.26
L10	2.70	0.16	1.34	50.16	20.16	25.26
L11-1	2.68	0.346	1.36	49.28	13.88	20.51
L11-2	2.69	0.15	1.35	49.97	17.89	26.66
L11-3	2.70	0.21	1.33	50.73	24.71	32.51
L11-4	2.68	0.26	1.32	50.88	18.51	28.39
L11-5	2.67	0.40	1.33	50.07	20.43	22.38
n	6	6	5	5	5	5
Standard	TS EN 1097-6 (2013)	TS EN 1097-6 (2013)	TS EN 1097-3 (1999)	TS EN 1097-3 (1999)	TS EN 933-4 (2009)	TS EN 933-3 (2012)

n: örnek sayısı, n: number of sample



güçlüğü vermenin yanı sıra, kötü paketlenmek suretiyle betonun basınç dayanımını ve yığınsal ağırlığını düşürürler (Rollings ve Rollings, 1995; Bell, 2006). Kireçtaşları, kırıldıkları zaman köşeli parçalar verme eğilimi gösterir (Bell, 2006). Hazırlanan tüm agregalarda şekil indeksi değeri % 13-28 arasında iken yassılık indeksi değeri kireçtaşlarında % 20-32 arasındadır. Dolomit ve dolomitik kireçtaşlarında yassılık indeksi değeri % 42'lere ulaşabilmektedir. Dolomit ve dolomitik kireçtaşları, kırıldıklarında, kireçtaşlarına kıyasla daha yassı taneler verme eğilimi göstermişlerdir (Çizelge 3).

Agregaların ince madde miktarı, agreganın fiziksel, mekanik özelliklerini ve özellikle donma-çözülme, magnezyum sülfat sonrası ağırlık kaybı değerlerini etkiler (Petkovsek vd., 2010). Agregaların ince madde miktarı metilen mavisi ve kum eşdeğeri deneyleri ile belirlenir. Metilen mavisi değeri ince agrega içindeki kil, demir oksit ve organik madde miktarını sınırlandırmak için ISSA (1989) tarafından önerilen bir deneydir. Deney sonucu, ince agrega içindeki zararlı malzemenin miktarını gösterir (Kandall vd., 1998). Düşük absorpsiyon değeri, kilin az olduğunu (Stapel ve Verhoef, 1989) gösterir. Yüksek metilen mavisi değeri agrega kalitesinin düşüklüğüne işaret eder. Hasdemir (2004), agreganın metilen mavisi değerinin 1 g/kg'ın altında olması durumunda, içerdiği ince malzemenin beton dayanımına olumsuz bir etkisi olmadığını belirtmiştir. Karaburun Yarımadası kireçtaşları için metilen mavisi değeri 1 g/kg'ın altındadır. Bu değer L1 numaralı lokasyonun taban konglomerasında, konglomeranın ince madde ve demir oksitçe zengin ara maddesine bağlı olarak 1.43 g/kg'a kadar çıkmıştır. Ayrıca L7 numaralı lokasyona

ait kireçtaşı agregasının metilen mavisi değeri 1.57 g/kg olarak belirlenmiştir. L7 numaralı loksayona ait agreganın, kum eşdeğeri ve diğer agrega özellikleri incelenen kireçtaşlarından farklı değildir. Bu lokasyondaki agreganın yüksek metilen mavisi değerinin, kayacın koyu renginden ileri geldiği düşünülmektedir (Çizelge 4). Kum eşdeğeri, metilen mavisi değeri gibi ince agregalarda, kil ya da toz gibi malzemelerin bağlı oranını gösteren bir yöntemdir. Düşük kum eşdeğer yüzdesi agrega kalitesinin düşüklüğüne işaret eder (Kara vd., 2009). Her ne kadar beton agregalarının kum eşdeğeri için bir sınır değer tanımlanmamış olsa da Petkovsek vd. (2010), Fransa'da asfalt agregası ile ilgili olarak yaptıkları çalışmada, kum eşdeğerinin % 60'tan daha büyük olması durumunda ince madde miktarının sorun oluşturmayacağını belirtmişlerdir. Karaburun Yarımadası kireçtaşı agregalarında kum eşdeğeri % 60'tan büyük olarak belirlenmiştir (Çizelge 4).

Kireçtaşlarının donma çözülme sonrası ağırlık kayıpları % 0.04 – 0.67 arasındadır. Bu değer, konglomeralarda ise % 0.61 – 0.66'ya kadar artar. Magnezyum sülfat değeri ise % 0.81 – 3.0 arasındadır ve bu değer taban konglomerasında % 21'e kadar artar (Çizelge 4). Kireçtaşlarının sahip oldukları donma-çözülme ve magnezyum sülfat deneyi sonrası düşük ağırlık kaybı değerleri, onların kaliteli agrega olduğuna işaret eder. Taban konglomerasının, kireçtaşlarından farklı fiziksel, mekanik ve dayanım özelliği göstermesi, konglomeranın, tanelere kıyasla daha zayıf özellikte ara maddesi içermesinden kaynaklanmaktadır.

Los Angeles parçalanma değeri (LA) ve mikro deval aşınma değeri (MD), agregaların aşınmaya karşı dayanımını ölçen ve yaygın olarak kullanılan mekanik deneylerdir.

Elçi, Türk, İşintek

Genellikle LA değerinin % 40 veya daha az olması betonda kullanılacak agregalar için yeterlidir (Rollings ve Rollings, 1995; Poitvein, 1999). Kireçtaşı agregalarının Los Angeles parçalanma değeri (LA) % 20'nin altındadır. Mikro deval aşınma değeri (MD) ise % 15'ten küçüktür. Mikro deval aşınma değeri taban konglomerasında %

sülfat ve klorür miktarları da belirlenmiştir. Agregalarda bulunan sülfatlar, betonda şişmeye bağlı hasarlara, klorür ise betonda kullanılan donatının korozyonuna neden olabildiğinden TS 706 EN 12620+A1'de (TSE, 2009) agregaların sülfat ve klorür miktarları sınırlandırılmıştır. Karaburun kireçtaşı agregalarında suda çözülebilen sülfat miktarı 7-200 ppm, asitte

Çizelge 4. Karaburun Yarımadası kireçtaşı agregalarının termal, ince malzeme ve mekanik özellikleri.

Table 4. Thermal, fines materials and mechanical properties of the Karaburun Peninsula limestone aggregates.

Özellik → Örnek No+	Donma-çözülme (%)	Magnezyum sülfat (%)	Kum eşdeğeri (%)	Metilen mavisi (g/kg)	Micro Deval aşınma değeri (%)	Los Angeles parçalanma değeri (%)
L1	0.15	2.77	71.81	0.24	10.40	16.89
L2	0.67	2.71	65.32	0.38	12.66	20.22
L3	0.18	1.35	73.76	0.38	9.17	17.98
L4	0.20	3.27	74.58	0.71	9.87	17.41
L5	0.15	2.07	72.42	0.61	14.56	19.82
L6	0.04	1.00	79.74	0.47	11.81	19.41
L7	0.67	5.71	74.38	1.57	12.66	20.22
L8	0.02	2.34	58.83	0.52	12.22	19.69
L9	0.03	1.67	69.28	0.50	11.99	19.56
L10	0.11	2.43	67.46	0.47	12.13	19.55
L11-1	0.66	20.77	66.66	1.43	20.73	17.96
L11-2	0.05	0.88	68.55	0.48	12.52	17.58
L11-3	0.05	0.87	68.83	0.25	12.15	14.95
L11-4	0.03	0.81	71.09	0.30	12.25	14.25
L11-5	0.06	1.77	68.65	0.75	11.19	10.25
n	5	5	3	1	5	5
Standart	TS EN 1367-1 (2009)	TS EN 1367-2 (2010)	TS EN 933-8 (2009)	TS EN 933-9 (2010)	TS EN 1097-1 (2003)	TS EN 1097-2 (2010)

n: örnek sayısı, n: number of sample

21'dir (Çizelge 4). Bu değerler, Karaburun kireçtaşlarının aşınmaya karşı dirençli ve beton agregası olarak aranan özellikte olduğunun göstergesidir.

Kireçtaşı agregaların fiziksel, mekanik ve dayanım özelliklerine ek olarak içerdikleri

çözülebilen sülfat miktarı ise 53-1465 ppm arasındadır. Suda çözülebilen klorür miktarı 29-176 ppm, asitte çözülebilen klorür miktarı ise 58-305 ppm arasındadır. Bu değerler TS 706 EN 12620+A1'de (TSE, 2009) verilen sınır değerlerden oldukça düşüktür (Çizelge 5).

Çizelge 5. Karaburun Yarımadası Kireçtaşı agregalarının sülfat ve klorür miktarları.

Table 5. Sulfate and chloride content of the Karaburun Peninsula limestone aggregates.

Özellik → Örnek No+	Suda çözülebilen sülfat (ppm)	Asitte çözülebilen sülfat (ppm)	Suda çözülebilen klorür (ppm)	Asitte çözülebilen klorür (ppm)
L1	72.4	839.7	123	206
L2	36.2	1391.2	151	305
L3	29.9	181.1	130	146
L4	99.6	576.2	125	128
L5	99.6	568	96	83
L6	45.3	740.9	116	282
L7	199.2	1407.7	128	157
L8	135.8	1465.3	112	129
L9	140	1365.3	135	146
L10	45.3	938.4	96	58
L11-1	7.4	296.3	176	168
L11-2	63.4	403.4	96	101
L11-3	360	53	43	102
L11-4	62	140	29	88
L11-5	65	153	49	128
n	1	1	1	1
Standard	TS EN 933-3 (2012)	TS EN 1744-1 (2011)	TS EN 1744-1 (2011)	TS EN 1744-5 (2008)
Sınır değerler (%)	< 0.08	< 0.08	< 0.001	< 0.001

n: örnek sayısı, n: number of sample

### Taze ve Sertleşmiş Beton Özellikleri

Karaburun Yarımadası kireçtaşlarının farklı fasiyeslerinden hazırlanan agregaların beton özelliklerine etkilerini araştırmak amacıyla laboratuvarında 15 seriden oluşan deneme betonları üretilmiştir. Deneme beton üretiminde kullanılan agrega karışım oranları Şekil 10'da verilmiştir. Fasiyes farklılığının (agrega türünün) beton özelliklerine etkisini görebilmek amacıyla agrega karışım oranı ve tane çapı ideal karışım (Şekil 10) olarak hazırlanmıştır. Ayrıca karışımında doğal kum yerine her agrega türüne ait kırma kum kullanılmıştır. Üretilen deneme betonlarında, fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 6'da belirtilen, CEM I 42.5 R tipi (Portland) düşük alkali içerikli (toplam alkali içeriği < % 0.6) çimento kullanılmıştır ve tüm

dizaynlarda çimento miktarı sabit tutulmuştur (Çizelge 7). Deneme betonu üretiminde kullanılan çimentonun özellikleri TS EN 197-1'de (TSE, 2012) verilen ölçütlere uygundur. Sertleşmiş betonun dayanım özelliklerini belirlemek için Şekil 10'da verilen ideal agrega karışımından 15\*15\*15 cm boyutunda kalıplarla deneme betonları hazırlanmıştır. Bu örnekler, üretimden 24 saat sonra kalıplarından çıkarılarak 20 C° de kirece doymuş su ile dolu kür havuzunda bekletilmişlerdir. TS EN 12390-3'e göre (TSE, 2010), 7, 28 ve 56 günlük her bir kürün sonunda basınç dayanımı testleri uygulanmıştır.

Kireçtaşı agregalarından üretilen deneme betonlarında yoğunluk 2315 kg/m<sup>3</sup> ile 2385 kg/m<sup>3</sup> arasında, konglomera agregalarından üretilen deneme betonlarında ise 2329 kg/m<sup>3</sup> ile 2347

Elçi, Türk, İşintek

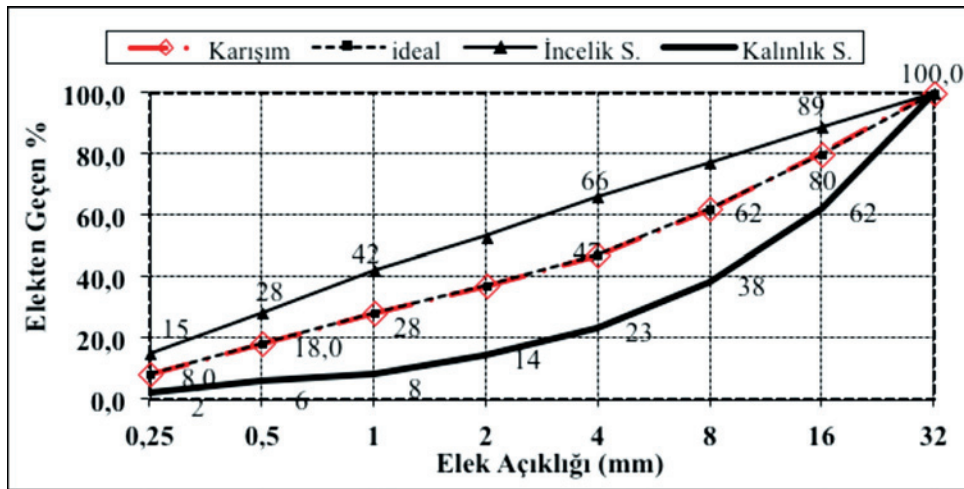
kg/m<sup>3</sup> arasında ölçülmüştür. İşlenme özelliğinin sertleşmiş betonun dayanımına önemli derecede etki etmesi nedeniyle üretilen tüm betonları gerçekçi bir şekilde karşılaştırmak amacıyla çökme değeri sabit tutulmaya çalışılmıştır. Kireçtaşı ve konglomera agregalarından üretilen deneme betonlarında çökme değeri 130-150 mm arasında ölçülmüştür (Çizelge 8). Kireçtaşı agregalarından üretilen deneme betonlarının 28 günlük basınç dayanımları 32.13 – 42.11 MPa arasında, konglomera agregalarından

üretilen deneme betonlarının 28 günlük basınç dayanımları ise 29.60 – 33.92 MPa arasında bulunmuştur. Ayrıca laboratuvar ortamında bekletilen örneklerin uzun dönemdeki (yaklaşık 3.5 yıl) basınç dayanımları kireçtaşlarında 37.37 – 48.06 MPa arasında, konglomeralarda ise 34.58 – 37.44 MPa arasında bulunmuştur. Basınç dayanımları arasındaki bu fark kireçtaşı agregaların konglomera agregalarından daha dayanıklı agregalar olmasından kaynaklanmaktadır. (Çizelge 8).

Çizelge 6. Beton üretiminde kullanılan çimentonun (CEM I 42.5 R) özellikleri.

Table 6. Properties of the cement (CEM I 42,5 R) used in concrete production.

Kimyasal özellik	Deney sonucu	Fiziksel özellik	Deney sonucu
Kızdırma kaybı (%)	3.26	Priz başlangıcı (hh:mm)	03:30
Çözünmeyen kalıntı (%)	0.58	Piriz sonu (hh:mm)	04:30
MgO (%)	2	Hacim genişmesi (mm)	1
SO <sub>3</sub> (%)	2.82	Özgül yüzey (cm <sup>2</sup> /gr)	3647
Cl <sup>-</sup> (%)	0.01	<b>Mekanik özellikleri (gün)</b>	<b>Deney sonucu</b>
SiO <sub>2</sub> (%)	19.8	2. gün (MPa)	33.3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	4.52	7. gün (MPa)	47.2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	2.97	28. gün (MPa)	56
CaO (%)	63.48		
K <sub>2</sub> O (%)	0.66		
Na <sub>2</sub> O (%)	0.21		



Şekil 10. Beton üretiminde kullanılan agregaların karışım oranları ((TS 706 EN 12620 + A1, (TSE, 2009))

Figure 10. Aggregate mixture ratios used in concrete production ((TS 706 EN 12620 + A1, (TSE, 2009))

Çizelge 7. Beton karışım oranları.

Table 7. Concrete mixture proportions.

Lokasyon No	Su/ Çimento	Su (kg/m <sup>3</sup> )	Çimento (kg/ m <sup>3</sup> )	Kırma kum (kg/m <sup>3</sup> )	Kırma taş 0-5 (kg/m <sup>3</sup> )	Kırma taş 5-15 (kg/m <sup>3</sup> )	Kırma taş 15-25 (kg/m <sup>3</sup> )
L1	0.69	241	350	434	434	434	434
L2	0.82	286	350	410	410	410	410
L3	0.67	228	350	442	442	442	442
L4	0.65	236	350	436	436	436	436
L5	0.68	240	350	428	428	428	428
L6	0.67	234	350	434	434	434	434
L7	0.82	285	350	400	400	400	400
L8	0.65	228	350	439	439	439	439
L9	0.65	228	350	439	439	439	439
L10	0.63	222	350	441	441	441	441
L11-1	0.74	259	350	417	417	417	417
L11-2	0.68	239	350	430	430	430	430
L11-3	0.56	195	350	430	430	430	430
L11-4	0.59	205	350	428	428	428	428
L11-5	0.60	210	350	427	427	427	427

Çizelge 8. Üretilen betonların seçili özellikleri.

Table 8. Selected properties of the test concrete.

Özellik + Örnek No+	Çökme (cm)	Taze beton yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )	Beton basınç dayanımı (MPa)			
			7. gün	28. gün	56. gün	1350. gün
L1	14	2344	26.46	33.37	34.35	39.67
L2	15	2329	22.97	29.60	34.35	37.44
L3	13	2385	32.99	42.11	44.81	48.06
L4	14	2350	26.46	32.13	32.47	39.18
L5	15	2315	24.90	26.26	33.20	37.90
L6	13.5	2342	28.41	34.50	39.36	44.81
L7	15	2325	28.46	35.78	36.88	41.45
L8	15	2347	28.66	36,11	38.29	43.26
L9	15	2344	28.53	35.31	38.83	44.52
L10	13	2383	29.47	37.20	39.15	40.82
L11-1	14	2347	17.46	25.68	30.71	34.58
L11-2	13.5	2333	20.36	28.07	34.20	40.42
L11-3	15	2350	20.98	29.47	36.12	41.18
L11-4	14,5	2350	16.62	25.99	32.61	37.37
L11-5	14	2336	16.99	26.74	32.42	36.38
n	3	3	3	3	3	3
Standart	TS EN 12350-2 (2007)	TS EN 12350-6 (2010)	TS EN 12390-3 (2007)			

n: örnek sayısı, n: number of sample

Elçi, Türk, İşintek

### Kireçtaşlarının Alkali Agregası Reaktivitesi

Alkali agregası reaktivitesini (AAR) belirlemek için dolomit içerikli agregalara, Karbonat Agregaları İçin Hızlı Gözlem Testi, AAR-5 (RILEM, 2005), silisli mineral içeren agregalara ise Hızlandırılmış Harç Çubuğu Metodu AAR-2 (RILEM, 2000) uygulanarak kireçtaşlarının alkali agregası reaktivitesi belirlenmiştir. AAR deneylerinde, deneme betonları üretiminde kullanılan çimentodan farklı, alkali agregası reaktivitesine neden olabilecek ve toplam

dolomitik kireçtaşları ve dolomitler, alkali karbonat reaksiyonuna neden olmamıştır. Bununla birlikte petrografik analizle silisli mineral türü ve kimyasal analiz ile de silisli bileşen miktarı belirlenen, L1-5, L11-1, L11-4 ve L11-5 numaralı lokasyona ait agregalarda hazırlanan harç çubuklarının, 14 günlük ortalama genleşme değeri % 0.1'den büyük çıkmıştır. RILEM TC 106-2'ye göre (RILEM, 2000), 14 günlük ortalama genleşme değeri % 0.1'den küçük ise alkali silis reaksiyonu (ASR) yönünden zararsız agregalar, % 0.1 - 0.2 arasında ise potansiyel

Çizelge 9. Alkali agregası reaktivitesini belirlemede kullanılan portland çimentosunun bileşenleri ve alkali içeriği.

Table 9. The Chemical content of the portland cement used for the alkali aggregate reactivity. .

Bileşen	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	LOI	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TAI	Cl
İçerik (%)	19.90	5.91	2.10	62.92	1.25	3.26	3.94	0.38	0.90	0.98	0.01

TAI: Toplam Alkali İçeriği, TAI: Total Alkali Content

alkali içeriği % 0.6'dan büyük olan çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun bileşenleri ve alkali içeriği Çizelge 9'da verilmiştir. Böylelikle Karaburun Yarımadası kireçtaşlarının fasiyes özelliklerinin beton dayanıklılığına etkisi araştırılmıştır. Ek olarak literatürde alkali agregası reaksiyonu yönünden reaktif agregası (referans agregası) olarak tanınan Kingston (Kanada) Agregası ve Zonguldak (Türkiye) Agregası'nın petrografik, kimyasal özellikleri belirlenerek Karaburun Yarımadası kireçtaşlarından elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır.

Test edilen dolomit kökenli agregaların hiçbirinin 28 günlük ortalama genleşme değeri RILEM TC 191-AAR-5'te (RILEM, 2005) belirtilen % 0.1'lik sınır genleşme değerini aşmamıştır (Çizelge 10). Karaburun Yarımadası

tehlike arz edebilir agregalar ve % 0.2'den büyük ise zararlı agregalar şeklinde değerlendirilmiştir. L1-5, L11-4 ve L11-5 numaralı lokasyonlara ait agregalar ASR yönünden zararlı agregalardır. L11-1 numaralı lokasyona ait agregası ve Kanada agregası ASR yönünden potansiyel tehlike arz edebilecek agregasıdır. Zonguldak agregası ise ASR yönünden zararsız agregasıdır (Çizelge 10, Şekil 11). L1-5, L11-4 ve L11-5 numaralı lokasyonlara ait agregalar beton yapımında kullanıldığında alkali silis reaksiyonu kaçınılmazdır. SiO<sub>2</sub> miktarının % 5'i geçtiği fasiyeslerde (L11-1, L11-4 ve L11-5) alkali agregası reaksiyonu sonucu harita görünümümlü çatlaklar gözlenirken, SiO<sub>2</sub> miktarının % 2'nin altında olduğu fasiyeslerde (Çizelge 3, L11-2, L11-3) bu çatlaklar görülmemiştir (Şekil 12).

Referans agregalardan Kingston (Kanada) Agregası'nın, hem ACR hem de ASR testindeki genleşme değerleri, sınır genleşme değerini aşmıştır. Zonguldak agregasında ise sadece ASR testi sonrası genleşme değeri aşılmış, ACR testinde ise sınır genleşme değerine yakın bir genleşme değeri elde edilmiştir (Çizelge 10). Referans agregalar ACR testinde genleşmeye neden olurken Karaburun Yarımadası dolomitleri ve dolomitik kireçtaşları genleşmeye neden olmamışlardır. Bu durum, dolomit ve dolomitik kireçtaşların dokusu ve içerdikleri dolomit

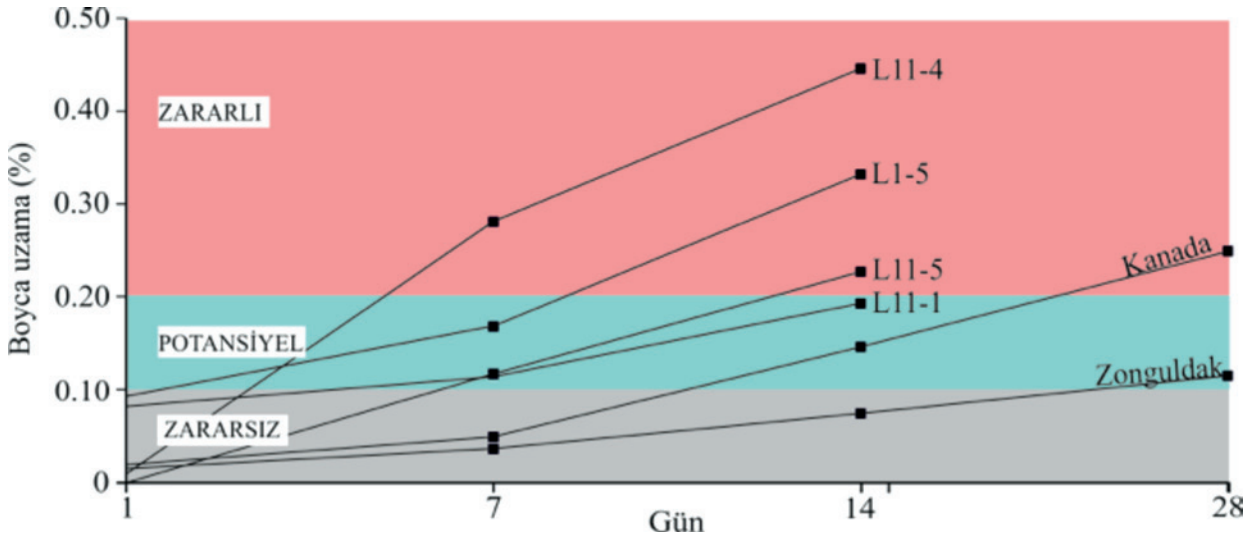
kristallerinin boyutu ile ilgilidir. Karaburun Yarımadası dolomit ve dolomitik kireçtaşları dolospar ( $> 200 \mu\text{m}$ ) karakterindedir. Referans agregalarda ise dolomitler mikro dokuda ve dolomikkrit ( $<50 \mu\text{m}$ ) karakterdedir. Ayrıca Karaburun Yarımadası dolomitleri ve dolomitik kireçtaşlarının içerdiği silisli mineral miktarı % 2'yi geçmez. Bu veriler, dolomit kökenli agregalarla ACR konusunda yapılan çalışmalarda, dolomit kristallerinin boyutunun etkili olduğu ve ACR-ASR reaksiyonların birlikte geliştiği tezini destekler niteliktedir.

Çizelge 10. Karaburun Yarımadası kireçtaşı agregalarından üretilen harç çubuklarının 14 ve 28 günlük genleşme değerleri. \*(Alptuna, 2009)

Table 10. Expansion values of mortar bar made of the limestone aggregates of the Karaburun Peninsula at 14 and 28 days setting. \*(Alptuna, 2009)

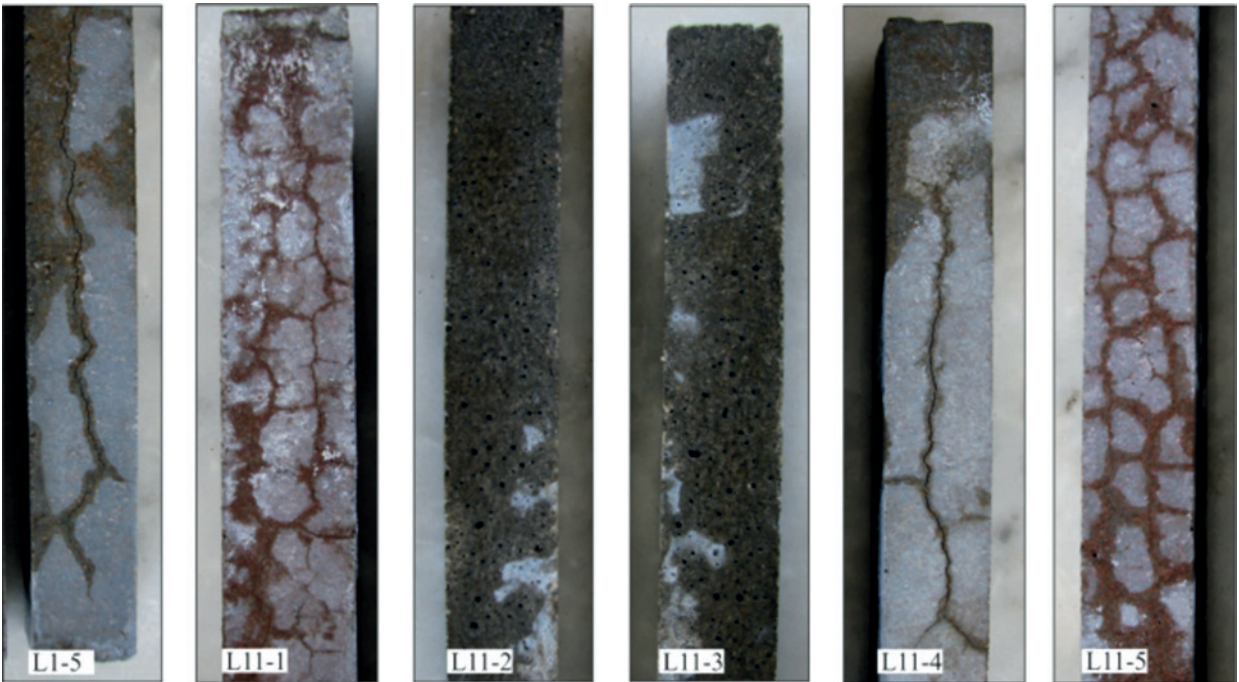
Örnek no	Safılık (%)	1. gün (%)	7. gün (%)	14. gün (%)	28. gün (%)	ASR	ACR
L1	99.08	0.024	0.025	0.021	0.043		
L1-5	8.61	0.093	0.168	0.332		reaktif	
L2	97.60	0.004	0.004	0,011	0.014		
L3	98.93	0.001	0.007	0.011	0.019		
L4	98.52	0.002	0.004	0.007	0.014		
L5	99.39	0.003	0.007	0.014	0.019		
L6	99.41	0.001	0.005	0.011	0.016		
L7	99.87	0.000	0.002	0.005	0.009		
L8	99.61	0.002	0.005	0.008	0.009		
L9	99.81	0.001	0.004	0,008	0.009		
L10	98.50	0.001	0.000	0.003	0.004		
L11-1	77.91	0.082	0.114	0.193		potansiyel	
L11-2	98.92	0.006	0.005	0.006	0.009		
L11-3	96.72	0.005	0.007	0.008	0.007		
L11-4	94.37	0.009	0.281	0.446		reaktif	
L11-5	75.49	0,000	0.117	0.227		reaktif	
Kanada*	90.91	0.019	0.049	0.146	0.249	potansiyel	Reaktif
Zonguldak*	83.11	0.015	0.036	0.074	0.115		Reaktif

Elçi, Türk, İşintek



Şekil 11. Karaburun Yarımadası, saflığı düşük kireçtaşı agregalarından üretilen harç çubuğunun 14 ve 28 günlük genişleme değerleri.

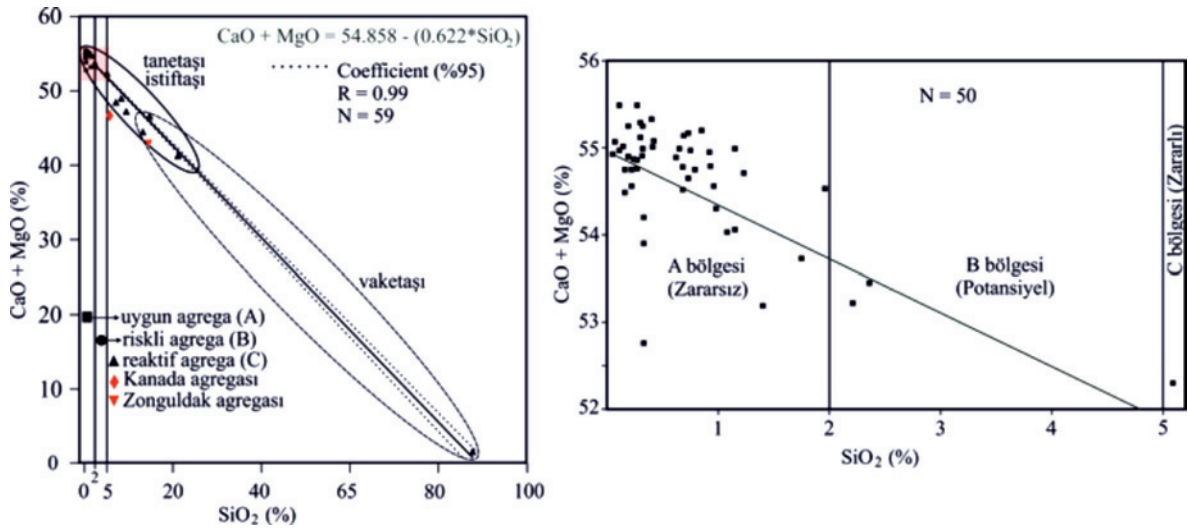
Figure 11. Expansion values of mortar bar made of low purity limestone aggregates of the Karaburun Peninsula at 14 and 28 days setting.



Şekil 12. L1 ve L11 numaralı lokasyona ait agregalarda yapılan harç çubuğu testi örneklerindeki ASR dokusunun görünümü.

Figure 12. The view of ASR texture of the the mortar bar test specimen made of the limestone aggregates of the location L1 and L11.





Şekil 13. Kireçtaşları için alkali silis reaksiyonu abağı.

Figure 13. Alkali silica reaction chart for the limestone aggregate.

Şekil 13'te farklı fasiyelere ait kireçtaşlarının CaO+MgO oranına karşılık SiO<sub>2</sub> oranı kullanılarak oluşturulan grafik yardımıyla, kireçtaşları için alkali silis reaksiyonu abağı önerilmiştir. Kireçtaşlarının SiO<sub>2</sub> miktarı arttıkça, saflığı azalır.

$$CaO + MgO = 54.858 - 0.622 * SiO_2 \quad (R = 0.99) \quad (3)$$

West (1996), kireçtaşlarının silis içeriğinin % 2'yi geçtiği durumlarda ASR riski bulunduğunu belirtmiştir. Önerilen ASR abağına göre Karaburun yarımadası kireçtaşlarında SiO<sub>2</sub> içeriği % 2'den daha az olan (saflığı yüksek) kireçtaşları (Şekil 13, A bölgesi) ASR yönünden zararsız agregalardır. % 2-5 SiO<sub>2</sub> içeriğine sahip (Şekil 13, B bölgesi) kireçtaşları, ASR yönünden potansiyel tehlike oluşturabilecek agregalardır. SiO<sub>2</sub> içeriği % 5'i aşan (Şekil 13, C bölgesi) kireçtaşları ise ASR yönünden zararlı

agregalardır. Her iki referans agrega da, önerilen ASR abağına göre zararlı agrega sınıfındadır. Bununla birlikte Kanada agregası ASR testinde potansiyel tehlike arz eden bir genleşme değeri gösterirken, Zonguldak agregası zararsız agrega genleşme değeri göstermiştir.

## SONUÇLAR

- Karaburun Yarımadası kireçtaşları, sahip oldukları fiziksel, mekanik ve dayanım özellikleri ile oldukça kaliteli agregalardır ve yakın gelecekte kapatılması söz konusu olan İzmir ili taş ocaklarına alternatif olabilecek, önemli bir agrega kaynağıdır.
- Gelgit, gelgit arası, kısmen de şelf lagün ortamlarında çökelen Karaburun kireçtaşları, derin deniz kenarı ve derin deniz ortamı kireçtaşlarına kıyasla az kalınlıkta olmasına rağmen arıdanmalıdır. Bu arıdanma kireçtaşlarının agrega kaynağı olarak işletebilir düzeyde olmalarını sağlar.

Elçi, Türk, İştetek

Ayrıca bu kireçtaşları dokusal homojenliği düşük, bileşimsel homojenliği yüksek (Saflık > % 95) kireçtaşlarıdır. Saflığı yüksek kireçtaşları ile kaliteli agrega, dolayısıyla kaliteli beton elde edilebileceği görülmüştür.

- Tane destekli dokudaki tanetaşı, istifası fasiyeslerininine ait Karaburun Yarımadası kireçtaşları, başka bir deyişle yokuş önü ortamında ve derin deniz kenarı ortamında çökelen kireçtaşları hem yayımları hem de kalınlıkları ile yine agrega kaynağı olarak daha işletilebilir düzeydedir. Ancak bu kireçtaşları, dokusal homojenliği yüksek, bileşimsel homojenliği (saflığı < % 95) düşük ve kalınlıkları birkaç 10 metreyi geçmeyen fasiyesler içerebilir. Bileşimsel homojenliği düşük bu kireçtaşları ile yüksek alkali bir çimento kullanılarak üretilen betonlarda alkali silis reaksiyonu geliştiği görülmüştür.
- Karaburun Yarımadası dolomit kökenli kireçtaşları alkali karbonat reaksiyonu (ACR) testinde risk teşkil edecek bir genleşme değeri göstermemiştir. Bunun nedeni, yarımadaadaki dolomitlerin ve dolomitik kireçtaşlarının dolospar (> 200 µm) özelliğinde ve SiO<sub>2</sub> içeriğinin % 2'den daha az olmasıdır.
- Kireçtaşları içerisinde kalınlıkları birkaç 10 metreyi geçmeyen konglomera fasiyeslerine ait agregalar, kireçtaşlarına kıyasla daha düşük kalitede agrega özelliğindedirler. Bu agregalar ile üretilen betonlarda, kireçtaşları ile üretilen betonlardan daha düşük dayanım değerleri elde edilmiştir.

## KATKI BELİRTME

Bu makalenin konusunu oluşturan söz konusu çalışma, 107Y052 proje numarası ile TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir. Finansal desteği için TÜBİTAK'a, beton deneyleri ve alkali agrega reaksiyonu hızlandırılmış harç çubuğu deneylerinin gerçekleştirilmesindeki katkılarından dolayı Prof. Dr. Selçuk TÜRKEL'e, Prof. Dr. Halit YAZICI'ya ve inşaat yüksek mühendisi Giray ALPTUNA'ya, değerli görüş ve katkılarından dolayı Prof. Dr. Atiye TUĞRUL'a ve Doç. Dr. Adil BİNAL'a teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

- Akman, S. M., 1978. Dolomit Kökenli Beton Agregalarında Alkali-Reaktivitesi Olasılığı. İTÜ Dergisi, 36 (3), 55-59
- Akman, S. M., 1984. Beton Agregaları. Beton Semineri, D.S.İ. Yayın No: 16 15-28 Ankara.
- Alptuna, G., 2009. Dolomit kökenli agregaların alkali-karbonat reaktivitesinin araştırılması. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Yüksek Lisans Tezi, 194 s (yayımlanmamış).
- Baradan, B., 2004. Yapı Malzemesi II. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Yayın No. 207.
- Bell, F. G., 2006. Mühendislik Jeolojisi ve İnşaat (Çeviren K. Kayabalı, Engineering Geology and Construction, 2004). Ankara, Sistem Ofset.
- Binal, A., 2004. Pesimum reaktif agrega içeriğinin alkali-silika reaksiyonuna etkisinin deneysel yöntemlerle araştırılması. İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yerbilimleri Dergisi, 17 (2), 119-128.
- Binal, A., 2008. The determination of gel swelling pressure of reactive aggregates by ASGPM

- devices and a new reactive innocuous aggregate decision chart. *Construction and Building Materials*, 22 (1), 1–13.
- Carlos, A., Masumu, I., Hiroaki, M., Maki, M., Takahisa, O., 2010. The effects of limestone aggregate on concrete properties. *Construction and Building Materials*, 24, 2363-2368.
- Dunham, R. J., 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: W. E. Ham (ed.), *Classification of Carbonate Rocks*. American Association Petroleum Geologist, 1, 108-121.
- Dearman, W. R., 1981. Engineering properties of carbonate rock, general report. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 24, 3-17.
- Elçi, H., 2011. Karaburun Yarımadası kireçtaşlarının mühendislik jeolojisi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Doktora tezi, 511 s.
- Erdoğan, B., 1990. İzmir – Ankara Zonu ile Karaburun Kuşağının Tektonik İlişkisi. *MTA Dergisi*, No:110, 1-15.
- Erdoğan, B., Altın, D., Güngör, T., Özer, S., 1990. Karaburun Yarımadası'nın Stratigrafisi, *MTA Dergisi*, No:111, 1-22.
- Erdoğan, M., 1996. Alkali karbonat reaksiyonunun gelişim mekanizması ve nedenleri. *Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi Bülteni*, 41-47.
- Flügel, E., 2004. *Microfacies of carbonate rocks: Analysis, Interpretation and application*. Berlin: Springer-Verlag, 976 p.
- Fookes, P.G., 1980. An introduction to the influence of natural aggregates on the performance and durability of concrete. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 13 (2), 207–229.
- Folk, R. L., 1959. Practical petrographic classification of limestones. *American Association Petroleum Geologist*, 43, 1-38.
- French, W.J., Poole, A. B., 1974. Deleterious reactions between dolomites from Bahrain and cement paste. *Cement and Concrete Research*, 4, 925-937.
- French, W. J., 1991. Concrete Petrography: a review. *Quarterly Journal Engineering Geology*, 24, 17-48
- Gillott, J. E., Swenson, E. G., 1969. Mechanism of alkali carbonate reaction. *Quarterly Journal Engineering Geology*, 2, 7-24.
- Gillott, J. E., 1980. Properties of aggregates affecting concrete in North America. *Quarterly Journal Of Engineering Geology*, 13, 289-303.
- Güler, B., Tuğrul, A., Hasdemir, S., Şahin, S. Y., 2010. İstanbul'da üretilen farklı kökenli agregaların beton özelliklerine etkileri. *Mühendislik Jeolojisi Bülteni*, 30, 53-72.
- Güngör, T., 1989. Karaburun Yarımadası Balıklıova – Barboros arasındaki bölgenin jeolojisi ve yapısal evrimi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 47 s, (yayımlanmamış).
- Güngör, T., Erdoğan, B., 2002. Tectonic significance of mafic volcanic rocks in a Mesozoic sequence of the Menderes Massif, West Turkey. *International Journal of Earth Science*, 91, 386 - 397.
- Hacımustafaoğlu, R., 1999. Karaburun Yarımadası Mermerlerinin Cinsleri Üretimleri Ekonomileri ve Kapasiteleri. Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 120 s (yayımlanmamış).
- Hammersly, G.P., 1989. The use of petrography in the evaluation of aggregates. *Concrete*, 23 No:10, 29-32.
- Hasdemir, S., 2004. Metilen mavisi deney sonuçlarının beton basınç dayanımlarına etkisi. *Beton 2004 Kongresi, İstanbul*, 615-622.
- Hobbs, D.W., 1978. Expansion of concrete due to alkali-silica reaction: An explanation. *Magazine of Concrete Research*, 30 (105), 215-220.

- İşintek, İ., 2002. Foraminiferal and Algal Biostratigraphy and Petrology of the Triassic to Early Cretaceous Carbonate Assemblages in the Karaburun Peninsula, (Western Turkey). Ph.D. Thesis, Natural and Applied Science of Dokuz Eylül University, 446 s (yayımlanmamış).
- İşintek, İ., Altiner, D., Altiner Özkan, S., 2007. İzmir-Soma (Manisa) arasında yüzeyleyen Mesozoyik karbonat kütlelerinin foraminifer ve alg biyostratigrafisi ve paleocoğrafik anlamları. Çaydag 103Y191 numaralı (TUBİTAK) proje raporu, 231 s (yayımlanmamış).
- ISSA, International Slurry Seal Association, 1989. Test Method for determination of methylene blue absorption value of mineral aggregate filler and fines, ISSA Bulletin No 145.
- Kandall, P.S., Lynn, C.Y., Parker, F., 1998. Tests for Plastic Fines in Aggregates Related to Stripping in Asphalt Paving Mixtures. National Center of Asphalt Technology, Auburn University, Alabama, USA, Report no. 98-3, 1-20.
- Kara, G., Tuğrul, A., Yılmaz, M., Buldum, M., 2009. Taş Ocaklarındaki Kayaç Değişimlerinin Agregata ve Beton Özelliklerine Etkisi. 5. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul, 107-117.
- Katayama, T., 2004. How to Identify Carbonate Rock Reactions in Concrete. Materials Characterization, 53, 85-104.
- Krumbein, W. C., Sloss, L. L., 1963. Stratigraphy and Sedimentation. W. H., Freeman and Co., San Francisco, 660p.
- Lorenzi, G., Jensen, J., Wigum, B. 2001. Petrographic Atlas of The Potentially Alkali-Reactive Rocks in Europe. Geological Survey of Belgium, 2006/01 - 302, 64p.
- McNally, G.H., 1998. Soil and Rock Construction Materials. E & FN Spon, London, 403 p.
- Okay, A. I., Sıyako, M., 1993. İzmir-Balıkesir arasında İzmir-Ankara Neo-Tetis Kenedinin yeni konumu. Türkiye ve Çevresinin Tektoniği-Petrol Potansiyeli (ed. S. Turgut) Ozan Sungurlu Sempozyumu Bildirileri, Ankara, 333-355.
- Okay, A. I., Satır, M., Sıyako, M., Monié, P., Metzger, R., Akyüz, S., 1996. Pale- and Neo-Tethyan events in northwestern Turkey: Geologic and geochronologic constrains. In: Yin A, Harrison TM, (eds). The Tectonic Evolution of Asia. Cambridge University Press, Cambridge, 420-441.
- Okay, A. I., Tüysüz, O., 1999. Tethyan Sutures of northern Turkey. In: Durand B., Jolivet L., Horvath, F. & Seranne M. (eds). Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen. Geological Society of London, Special Publication (156), 475-515.
- Oates, J. A. H., 1998. Lime and Limestone, Chemistry and Technology, Production and Uses. Weinheim, Wiley-VCH, 455p.
- Pettijohn, F. J., 1975. Sedimentary Rocks. Third edition, Harper, New York, 628p.
- Poitevin, P., 1999. Limestone aggregate concrete, usefulness and durability. Cement and Concrete Composites, 21, 89-97.
- Petkovsek, A., Macek, M., Pavsic, P., 2010. Fines characterization through the methylene blue and sand equivalent test: comparison with other experimental techniques and application of criteria to the aggregate quality assessment. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 69, 561-574.
- Qian, G., Deng, M., Thang, M., 2001. Expansion of Siliceous and Dolomitic Aggregates Lithium Hydroxide Solution, Cement and Concrete Research, 32, 763-768.
- Qian, G., Deng, M., Lan, X., Xu, Z., Tang, M., 2002. Alkali Carbonate Reaction Expansion of Dolomitic Limestone Aggregates With Porphyrotopic Texture. Engineering Geology, 63, 17-29.

- RILEM TC 191-ARP., 2005. Alkali-reactivity and prevention - Assessment, specification and diagnosis of alkali-reactivity AAR-5: Rapid preliminary screening test for carbonate aggregates. *Material and Structures*, 38, 787-792.
- RILEM TC 106-2., 2000. Alkali Aggregate Reaction – The Ultra Accelerated Mortar –Bar Test. *Material and Structures*, 33, 283-293.
- Rollings M. P., Rollings R. S., 1995. *Geotechnical Materials in Construction*. McGraw-Hill, London, 523p.
- Sims, I., Sotiropoulos, P., 1983. Standard alkali-reactivity testing of carbonate rocks from the Middle East and North Africa. *Proceedings of the 6th International Conference, Alkalis in Concrete, Research and Practice*, Copenhagen.
- Smith, M. R., Collis, L., 2001. *Aggregates: Sand, Gravel and Crushed Rock Aggregates for Construction Purposes*. Geological Society, London, UK, Engineering Geology, Special Publication, 17.
- Stapel, E. E., Verhoef, P. N. W., 1989. The use of the methylene blue adsorption test in assessing the quality of basaltic tuff rock aggregate. *Engineering Geology*, 26, 233-246.
- Tosun, K., Felekoğlu, B., Baradan, B., 2006. The effect of cement alkali content on ASR susceptibility of mortars incorporating admixtures. *Bulding and Environment*, 42, 3444-3453.
- TS EN 197-1., 2012. Çimento- Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri. Ankara. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS 706 EN 12620 + A1., 2009. Beton Agregaları. Ankara. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 933-3., 2012. Agregaların Yassılık Endeksi Tayini. Ankara. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 933-4., 2009. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin deneyler Bölüm 1: Tane Şeklinin Tayini – Şekil İndisi. Ankara. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 933-8., 2012. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 8: İnce Tanelerin Tayini –Kum Eşdeğeri Tayini. Ankara. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 933-9., 2010. Agregaların Metilen Mavisi Deneyi. Ankara. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 1097-1., 2003. Agregaların Aşınmaya Karşı Direnci-Mikro Deval. Ankara. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 1097-2., 2010. Agregaların Parçalanma Direnci-Los Angeles Deneyi. Ankara. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 1097-3., 1999. Agregaların Gevşek Yığın Yoğunluğunun ve Boşluk Hacminin Tayini. Ankara. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 1097-6., 2013. Agregaların Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranı Tayini. Ankara. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 1367-1., 2009. Agregaların Termal Bozunma Özellikleri İçin Deneyler- Bölüm1: Donmaya ve Çözölmeye Karşı Direnci Tayini. Ankara. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 1367-2., 2010. Agregalarda Magnezyum Sülfat Deneyi. Ankara. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 1744-1., 2011. Agregaların Kimyasal Analizi- Organik Madde Tayini. Ankara. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 1744-5., 2008. Agregaların Kimyasal Özellikleri İçin Deneyler-Bölüm 5: Asitte Çözölebilen Klorür Tuzlarının Tayini. Ankara. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS 10088 EN 932-3/A1., 2006. Agregaların Genel Özellikleri İçin Deneyler - Kısım 3: Basitleştirilmiş Petrografik Tanımlama İçin İşlem ve Terminoloji. TS EN 12350-2., 2007. Beton - Taze Beton Deneyleri - Bölüm 2: Çökme (Slump) Deneyi. Ankara. Türk Standartları Enstitüsü.

Elçi, Türk, İşintek

- TS EN 12350-6., 2010. Beton - Taze Beton Deneylei - Bölüm 6: Yoğunluk. Ankara. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 12390-3., 2010. Beton - Sertleşmiş Beton Deneylei - Bölüm 3: Denei Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini. Ankara. Türk Standartları Enstitüsü.
- TUIK, 2014. Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları -2013. Türkiye İstatistik Kurumu haber bülteni, Sayı: 15974.
- Tuğrul, A., Yılmaz, M., 2012. Assessing the quality of sandstone for use as aggregates in concrete. Magazine of Concrete Research, 64 (12), 1067-1078.
- West, G., 1996. Alkali-aggregate reaction in concrete roads and bridges. Thomas Telford, London 163 p.
- Yakut, E., 2001. İzmir ili çevresindeki kireçtaşlarının mühendislik özellikleri ve kullanım alanlarının araştırılması. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Yüksek Lisans Tezi, 250 s (yayımlanmamış).
- Zarif, İ. H., Tuğrul, A., Dursun, G., 2003. İstanbul'daki kireçtaşlarının agrega kalitesi yönünden değerlendirilmesi. İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Yerbilimleri Dergisi, 16, 61-70.

## Kırka (Eskişehir), Bigadiç (Balıkesir) ve Emet (Kütahya) Bor Yatakları Bölgesinde Mn, Zn, Cu, Ni ve Co için Biyojeokimyasal Anomalilerin Araştırılması

*Investigation of the Biogeochemical Anomalies for Mn, Zn, Cu, Ni and Co in the Kırka (Eskişehir), Bigadiç (Balıkesir) and Emet (Kütahya) Boron Deposits Area*

Zeynep ÖZDEMİR<sup>1</sup> Semiha ZORLU<sup>2</sup>, Mustafa AKYILDIZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, MERSİN.

<sup>2</sup> Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, ADANA.

Geliş (received) : 14 Temmuz (July) 2014

Düzeltilme (revised) : 20 Ekim (October) 2014

Kabul (accepted) : 17 Kasım (November) 2014

### ÖZ

Bitkiler pek çok elementi bünyelerinde biriktirirler. Biriken bu elementlerin miktarlarının belirlenmesi biyojeokimyasal prospeksiyon açısından önemlidir. Başta Kırka (Eskişehir) olmak üzere Bigadiç (Balıkesir) ve Emet (Kütahya) bölgelerinde 14 bitki türünden, 220 bitki örneği ve yetiştikleri topraklardan örnekler alınmış ve element içerikleri belirlenmiştir. Biyojeokimyasal anomalilerin saptanması için bitki ve toprak örnekleri arasındaki ilişki istatistiksel olarak incelenmiştir. Zn, Cu, Ni ve Co elementleri için biyojeokimyasal anomaliler saptanamazken Mn için *Gypsophila perfoliata* L. bitki türünün (n=13, r=0.79, R<sup>2</sup>=0.62, P<0.01, dalda) belirtgen (indikatör) bitki olabileceği ve bu belirtgen bitkinin biyojeokimyasal prospeksiyonda ve çevresel izleme aracı olarak kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır. Buna ek olarak *G. perfoliata* L. bitki türündeki Mn değerleri ile topraktaki B, Sr, Li, Mn, Zn, Cu, Ni ve Co değerleri arasındaki inter- element ilişkileri de incelenmiştir. Bitkideki Mn ile topraktaki Mn arasında pozitif çok önemli (ÇÖ) bir ilişki saptanırken topraktaki Li ile negatif çok önemli (-ÇÖ) bir ilişki saptanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Biyojeokimya, Bor, Mn, Belirtgen bitki, Kırka, Bigadiç, Emet.

### ABSTRACT

*Plants accumulates a lot of elements and determination of the amount of elements in the plants is important for biogeochemical prospecting. 14 plant species and 220 plant and soils samples were collected from Kırka (Eskişehir) primarily, Bigadiç (Balıkesir) and Emet (Kütahya) boron deposits area and element contents of plant and soil samples were determined. The biogeochemical anomalies were*

Z.Özdemir

E-posta: zozdemir@mersin.edu.tr

*determined with the help of the statistical relations between element contents of the soil and the plant species samples. There are no statical relationship established between the Zn, Cu, Ni ve Co values of plant and soil samples. Twigs of Gypsophila perfoliata L. (n=13, r=0.79, R<sup>2</sup>=0.62, P<0.01 for Mn) observed were found to be indicator plants. The indicator plants could be successfully used for biogeochemical prospecting and environmental monitoring. In addition, the correlation analysis was performed in order to determine the inter-elemental relationships between the soil (for B, Sr, Li, Mn, Zn, Cu, Ni and Co) and Mn in G. perfoliata L. While there is a positive significant (S) relationship between Mn in plant and Mn in soil, there is a negative significant(-S) relationship between Mn in plant and Li in soil.*

**Key Words:** Biogeochemistry, Boron, Mn, Indicator plant, Kırka, Bigadiç, Emet.

## GİRİŞ

Stratejik öneme sahip yer altı kaynaklarından biri olan bor, kimya sanayinden uzay teknolojisine kadar çok geniş alanlarda kullanılmaktadır. Türkiye’de bilinen başlıca borat yatakları Batı Anadolu’da yer almakta olup dünya bor rezervlerinin %70’i ülkemizde bulunmaktadır. Bununla birlikte Kırka (Eskişehir) yalnızca Türkiye de değil dünyada en büyük bor yatağıdır. Bigadiç (Balıkesir) ve Emet (Kütahya) Anadolunun diğer önemli bor yataklarındandır. Bor yataklarının bulunduğu bölgelerle ilgili pek çok çalışma bulunmaktadır (Helvacı, 1983; Helvacı, 1984; Helvacı, 2004, Helvacı ve Orti, 2004; Arslan vd., 2010; Garcia-Veigas ve Helvacı, 2013; Özdemir vd., 2014).

Bitkiler toprakta ve yeraltı sularında çözülmüş elementleri bünyelerine alarak beslenirler. Bitki ihtiyacı olan elementi seçmeye yarayan bir mekanizmaya sahiptir. Böylece bitkiler bazı elementleri bünyelerine kolayca kabul ettikleri halde bazı elementleri de bünyelerine kolaylıkla alamamaktadırlar. Cevherleşme zonlarında gelişen topraklar, cevher minerallerince oldukça zengindir. Bu

topraklarda büyüyen bitkiler cevher elementince temiz topraklarda büyüyen bitkilere oranla, bu elementlerden daha fazla etkilenecek ortama uyum sağlayarak morfolojik-fizyolojik değişime uğrayabilir yada ölebilirler. Bitkilerin bu özelliklerinden hareketle biyojeokimyasal çalışmalar başlamıştır (Köksoy, 1991; Brooks vd., 1995; Schlesinger, 2006).

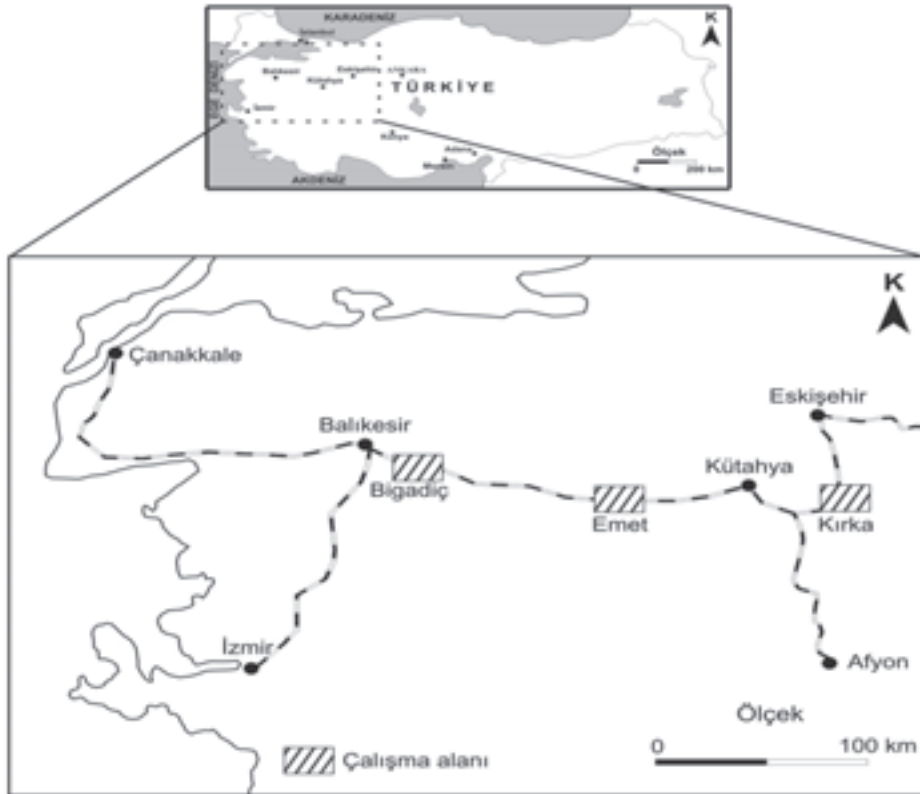
Biyojeokimyasal prospeksiyon; araziden sistematik olarak toplanan bitki örneklerinin değişik organlarının kimyasal analizlerinin yapılması ile maden yataklarının aranması olarak tanımlanabilir. Biyojeokimyasal prospeksiyonun başarılı bir biçimde uygulanması, toprakta cevherleşmeye ait element derişimi ile bitkideki element derişimi arasında doğrusal bir ilişkinin olmasına bağlıdır. Bu ilişkiyi sağlayan bitkiler, topraktaki element seviyesini belirtme özelliğine sahiptirler ve bu bitkilere belirtgen (indikatör) bitkiler denilmektedir. Biyojeokimyasal prospeksiyon en çok çöl, bataklıklar ve dağlık bölgelerde örtülmüş cevher yataklarının bulunduğu yerlerde başarı ile uygulanabilmektedir. Bitkilerle adeta sığ sondaj yapılmaktadır. Bu konuda yapılmış çalışmalardan



bazıları şöyle özetlenebilir: Köksoy, 1991; Özdemir ve Sağıroğlu, 1999; Özdemir ve Sağıroğlu, 2000a; Özdemir ve Sağıroğlu, 2000b; Brooks vd., 1995; Özdemir, 2003; Babaoğlu vd., 2004; Özdemir, 2005; Schlesinger, 2006; Turan vd., 2006; Dunn, 2007; Ghaderian ve Baker, 2007; Özdemir, 2009; Özdemir ve Demir, 2010; Özdemir, 2011; Demir ve Özdemir, 2013.

Bu çalışmada Şekil 1 de verilen, çalışma alanı olarak seçilen Kırka (Eskişehir) Bor Madeni ve çevresinde doğal olarak yetişen bitki türleri ve üzerinde yetiştikleri topraklardan örnekler alınarak kimyasal analizleri yapılmıştır. Bigadiç (Balıkesir) ve Emet (Kütahya) bölgelerinden de

bitki türleri ve kimyasal içeriklerini karşılaştırma amaçlı örnekler toplanmıştır. Çizelge 1 de bitki türlerinin ve yetiştikleri toprakların sistematik olarak toplandıkları istasyonlar verilirken Şekil 2 de istasyon numaraları bölgenin jeoloji haritasına işlenmiştir. Bor başta olmak üzere Li, Sr, Cu, Ni, Co, Zn ve Mn elementlerinin biyojeokimyasal anomalileri araştırılmış ve belirtgen bitkiler saptanmaya çalışılmıştır. Bu çalışmada ise Cu, Ni, Co, Zn ve Mn için biyojeokimyasal anomalilerin araştırılmıştır. Saptanan belirtgen bitki için topraktaki B, Li, Sr, Cu, Ni, Co, Zn ve Mn elementleri için inter- element ilişkisi de incelenmiştir.



Şekil 1. Yer bulduru haritası.

Figure 1. Location map of study area.

Özdemir, Zorlu, Akyıldız

Çizelge 1. Bitki ve toprak örneklerinin toplandığı istasyon numaraları.

Table 1. Station numbers of soil and plant samples collected.

<i>Allysum sibiricum</i>		K5, K8, K14, K20, K21, K27, K28
<i>Chrysopogon gryllus</i> (L.) Trin		K5, K6, K10, K11, K12, K15, K27, K28
<i>Gypsophila perfoliata</i> L.	Çöven	K2, K3, K4, K5, K10, K13, K29, K30, K31, K32, K34, K35, K37, K38, K50
<i>Puccinellia intermedia</i> (Schur) Janchen		K4, K10, K14, K28, K29, K30, K31, K32, K34, K35, K36, K45, K50, K51
<i>Quercus trojana</i> P.B. Webb	Makedonya meşesi	K6, K7, K11, K14, K17, K18, K19, K20, K21, K22, K23, K25, K26, K27, K28, K41, K44, K48, K49, E60, E61, E62, E66, E68, E69
<i>Genista aucheri</i> Boiss.		K5, K6, K7, K8, K9, K10, K11, K12, K13, K14, K15, K16, K17, K18, K20, K21, K22, K23, K24, K25, K26, K27, K28, K40, K41, K47
<i>Juniperus oxicedrus</i> L. Subsp	Katran ardıcı	K7, K9, K10, K11, K12, K13, K14, K15, K17, K18, K19, K20, K21, K22, K27, K28, K41, K44, K48, K50, B55, E56, E61, E65, E67, E68
<i>Pinus nigra</i> Arni	Karaçam	K7, K9, K10, K11, K12, K13, K14, K15, K16, K17, K18, K19, K20, K21, K22, K23, K24, K25, K26, K44, K47, K48, K50
<i>Juniperus foetidissima</i> Willd		K7, K20
<i>Euphorbia hirsuta</i>	Sütleğen	K9, K10, K11, K12, K13, K14, K15, K16, K17, K18, K19, K20, K21, K22, K23, K26, K27, K28, K40, K47, K50
<i>Apera intermedia</i> Hacker		K1, K2
<i>Quercus coccifera</i> L.	Kermes meşesi	B55, B58
<i>Catabrosa aquatica</i> (L.) P. Beauv.		B52, B53, B54
<i>Pinus brutia</i> Ten.	Kızılcım	B52, B53, B55, B56, B57

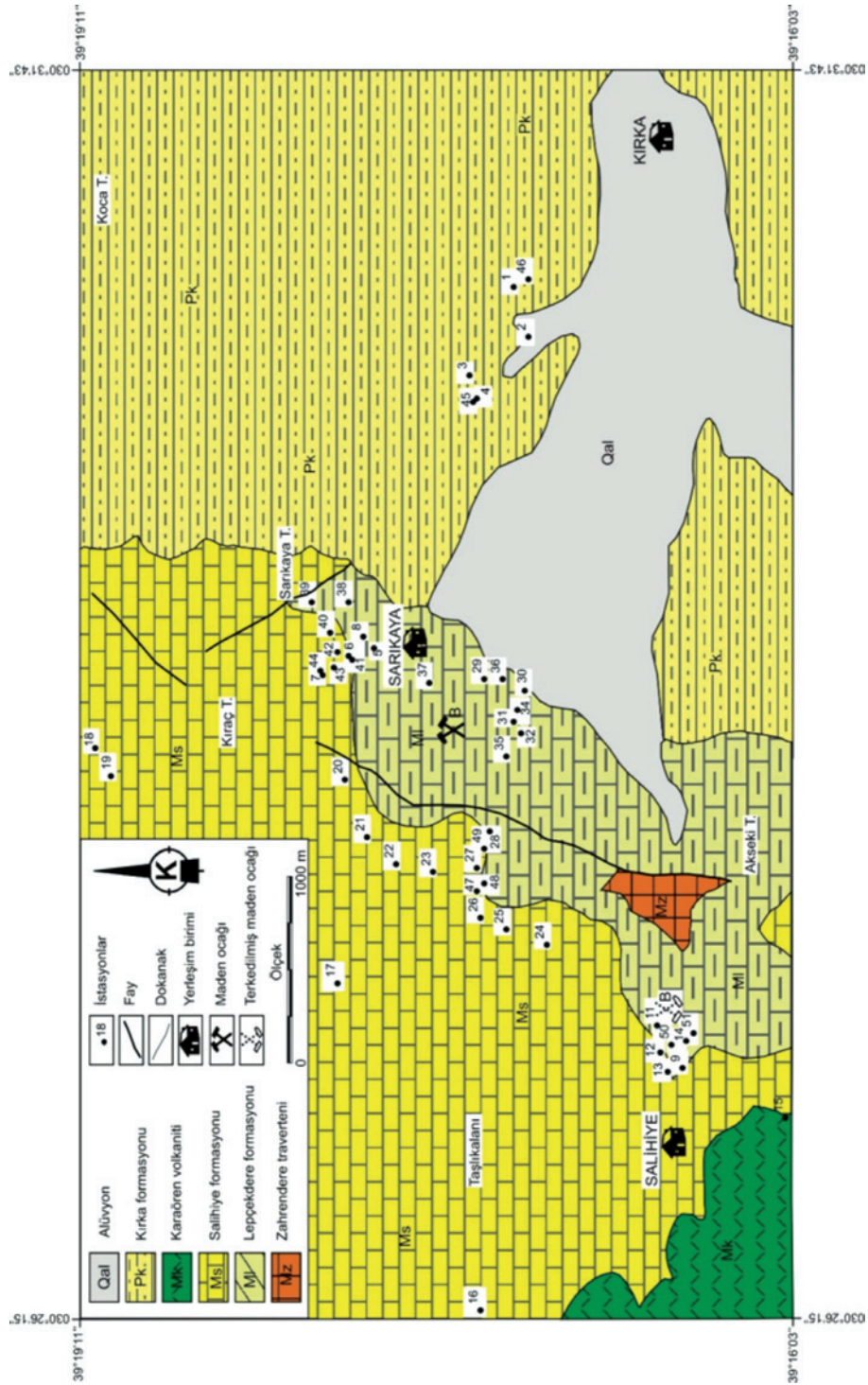
K:Kırka, B:Bigadiç, E:Emet

*Apera intermedia* Hacker, *Quercus coccifera* L., *Catabrosa aquatica* (L.) P. Beauv., *Pinus brutia* Ten. Bitki türlerinin analiz sonuçları Cu, Zn, Ni ve Co için duyarlılık sınırının altındadır.

## BÖLGENİN JEOLJİSİ

Eskişehir (Kırka) Bölgesi; Tersiyer volkano-sedimanter istif, Mesozoyik yaşlı ofiyolit karmaşığı ile Paleozoyik yaşlı metmorfik karmaşığı üzerine uyumsuz olarak oturan fosilli Eosen kireçtaşları ile başlar. Diğer kesimlerde temeldeki karmaşık üzerine doğrudan doğruya

Miyosen ve Pliosen tortulları gelmektedir. Bu bölgedeki Neojen istifi, Eosen fosilli kireçtaşları üzerine gelen tüfler ve volkanitler ile başlar. Üste doğru alt kireçtaşı, marn ve tuf, kiltası-borat zonu, üst kiltası, tuf, marn ve ince kömür bantları ile çört düzeyleri içeren üst kireçtaşı ve bazalt birimlerini kapsar (Şekil 2) (Gök vd., 1979).



Şekil 2. Kırka (Eskişehir) bölgesinin jeoloji haritası (Gök vd., 1979'dan değiştirilerek).

Figure 2. Geological map of the Kırka (Eskişehir) area (modified from Gök et al., 1979).

### Zahrandere Traverteni (Miyosen)

İnceleme alanındaki birimlerin tabanını oluşturan Zahrandere traverteni güney kesimlerde Akseki tepe civarında dar bir yayılım sunmaktadır. Birim kirli bej-sarı-beyaz renkli travertenden oluşmaktadır. Kalınlığı yaklaşık 250-300 m. olan Miyosen yaşlı Zahrandere traverteni, Lepçekdere formasyonu tarafından üzerlenmektedir.

### Lepçekdere Formasyonu (Miyosen)

İnceleme alanının orta ve güney bölümlerinde yayılım sunan Lepçekdere formasyonu Salihye formasyonu tarafından uyumlu olarak üzerlenmektedir. Formasyon boratlı kilaşı, kireçtaşı ve killi kireçtaşı ardalanmasından oluşmaktadır. Kırka Borat Yatakları kilaşları içerisinde yer almaktadır. Lepçekdere formasyonunun kalınlığı Etibank tarafından yapılan sondajlarda 200 m. olarak tespit edilmiştir.

### Salihye Formasyonu (Miyosen)

Salihye formasyonu inceleme alanında oldukça geniş bir yayılım sunmaktadır. Formasyon çalışma alanının orta kesimlerinde Kırka formasyonu tarafından, güneybatı ve güney kesimlerinde ise Karaören formasyonuna ait tüfler tarafından örtülmektedir. Salihye formasyonu Lepçekdere formasyonunu üzerlemektedir. Salihye formasyonu tamamen kireçtaşlarından oluşmaktadır. Formasyon içerisinde kireçtaşları ile ara katkılı şekilde opaller gözlenmektedir. Birimin kalınlığı Etibank tarafından yapılan sondajlarda 75-100 m. olarak saptanmıştır.

### Karaören Formasyonu (Miyosen)

İnceleme alanının güneybatı kesiminde dar bir alanda yayılım sunan Karaören formasyonu inceleme alanı dışında kalan bölgelerde oldukça geniş bir yayılım sunmaktadır. Zahrandere traverteni ve Salihye formasyonu üzerinde uyumsuz olarak yer alan Miyosen yaşlı Karaören formasyonu, Kırka formasyonu tarafından üzerlenmektedir. Formasyon killeşmiş karbonatlaşmış bir tüf seviyesi ile başlamaktadır. Üste doğru kaba taneli tüflere formasyonunun azami kalınlığı Etibank tarafından yapılan sondajlarda 200 m. olarak saptanmıştır.

### Kırka Formasyonu (Pliyosen)

İnceleme alanındaki Neojen çökellerinin en genç birimi Kırka formasyonudur. Birim çalışılan alanın doğu kesimleri oldukça geniş yayılım göstermektedir. Kırka formasyonu, Karaören formasyonunun tüflerinden türeme tüf, kilaşı ve kireçtaşları ile opal içeren kısmen killeşmiş ve karbonatlaşmış tüfit tabakalarından oluşmaktadır. Birimin yaşı Gök vd. (1979) tarafından Pliyosen olarak tespit edilmiştir. Etibank tarafından yapılmış olan sondajlarda Kırka formasyonu'nun 125-130 m. kalınlıkta olduğu anlaşılmıştır.

### MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma bölgesinden toplanan *Allysum sibiricum* Wild, *Chrysopogon gryllus* (L.) Trin, *Gypsophila perfoliata* L., *Puccinellia intermedia* (Schur) Janchen, *Quercus trojana* P.B. Webb, *Genista aucheri* Boiss., *Juniperus oxicedrus* L. Subsp., *Pinus nigra* Arn., *Juniperus foetidissima* Willd., *Euphorbia hirsuta* L., *Apera intermedia* Hacker *Quercus coccifera* L. *Catabrosa aquatica* (L.) P. Beauv ve *Pinus brutia* Ten. isimli 14

bitki türü (220 örnek) ve yetiştikleri topraklar toplanmıştır (Çizelge 1). Örnek istasyonları GPS (Global Positioning System) ile saptanıp 1/25000 ölçekli jeoloji haritaları üzerine işaretlenmiştir (Şekil 2).

Laboratuvara getirilen bitki örneklerinin bir miktarı preslenerek (özel sıkıştırma tahtalarıyla) sistematik tanımlama için ayrılmış ve sistematik tanımlamalar içinde Davis'in (1965-1985) kataloklarından yararlanılmıştır. Kimyasal analize hazırlanması ise Benton ve Jones (1984) tarafından geliştirilen yöntemle yapılmıştır. Bitki örnekleri saf su ile yıkanarak kağıt zarflar içerisinde 80 °C de 24 saat kurutulmuş ve neminden arındırılmıştır. Kurutma işleminden sonra bitkiler dal, yaprak, çiçek ve kabuk gibi organlarına ayrılarak öğütülmüştür. Daha sonra Mn, Cu, Ni, Zn ve Co analizleri için hazırlanmış olan bitki örneklerinde organik madde yıkımında yaygın olarak kullanılan kuru yakma yöntemi uygulanmıştır. Kurutulup öğütülerek hazırlanan bitki örneğinden 2,000 g'lık bir

kısım 0,001 hassasiyetindeki analitik terazi yardımı ile tartılmış ve porselen kroze içerisine konulmuştur. Daha sonra porselen kroze yüksek sıcaklığa çıkabilen elektrikli fırın içerisine yerleştirilmiş ve saatte 50 °C artacak şekilde programlanarak sıcaklık 550 °C ayarlanmıştır. Kroze, 550 °C sıcaklıkta 7 saat bekletilmiş, elde edilen kül üzerine 5 ml derişik HNO<sub>3</sub> çözeltisi ilave edildikten sonra ısıtıcı tabla üzerinde çözücü kuruyuncaya kadar bekletilmiştir. Daha sonra kroze içerisinde kalan kalıntı üzerine 5 ml derişik HCl eklenerek kalıntı tamamen çözünmesi sağlanmış ve çözelti balon joje içerisine konulduktan sonra saf su ile 25 ml'ye tamamlanmıştır. Örneklerde bulunan Cu (324.8 nm dalga boyunda), Ni ( 232.0 nm), Co (240.7 nm) derişimleri Perkin Elmer 3100 model ve Zn (213.9 nm), Mn (279.5 nm) derişimleri ise Perkin Elmer 5000 model Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi'nde okunmuştur. Bölgeden toplanan bitki türlerinin fotoğrafları Şekil 3'te verilmiştir.





Şekil 3. Kırka (Eskişehir) bölgesinde yetişen bitki türlerinin fotoğrafları.

Figure 3. Photographs of plant species that grow in the Kırka (Eskişehir) area.

Toprak örneklerinde Mn, Zn, Cu, Ni ve Co elementlerinin kimyasal analize hazırlanması Brooks vd., 1992 ve 1995'ten yararlanılarak yapılmıştır. 197 mikronluk (-80 mesh) elekten geçirilmiş toprak örneklerinden 0.100 g alınarak teflon buharlaştırma kabı içerisine konulmuştur. Üzerine 10 ml derişik HF + HNO<sub>3</sub> (1:1) karışımı eklendikten sonra ısıtıcı üzerinde kuruyuncaya kadar buharlaştırılmıştır. Daha sonra üzerine 7 ml 6 N HCl eklenmiş ve buharlaştırma işlemi tekrarlanmıştır. Elde edilen kalıntı 7 ml 6 N HCl'de çözüldükten sonra mavi bant filtre kâğıdından süzülerek balon jöjeye aktarılmış ve saf su ile 25 ml'ye tamamlanarak elde edilen çözeltilerde deki Cu, Ni, Co, Zn ve Mn derişimleri Perkin Elmer 3100 ve 5000 model Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi kullanılarak ölçülmüştür.

Toprakta B düzeyleri, Bingham (1982) ve Alkan (1998) tarafından geliştirilen azomethin-H

yöntemine göre yapılmıştır. Toprak örnekleri 197 mikronluk (-80 mesh) elekten geçirilmiş, 5 gr tartılarak plastik kaplara konulmuş ve her bir örneğe 20 ml bor ekstraksiyon çözeltisi eklenmiştir. Çalkalayıcıda 16 saat çalkalanarak mavi bantlı filtre kâğıdında süzümüştür. Daha sonra süzülen örneklerden 12.5 ml alınarak üzerine 2.5 ml tampon ve 2.5 ml azomethin-H çözeltisi eklenmiş, 90 dakika karanlıkta bekletildikten sonra elde edilen çözelti 420 nm' de Genesys 20 model spektrofotometrede B değerleri okunmuştur. Bor analizinin her aşamasında, bulaşmayı önlemek için plastik malzeme kullanılmıştır.

Toprak ve bitki örneklerinde Cu, Mn, Zn, Ni ve Co analizi ile element düzeyleri belirlendikten sonra toprak ve bitki değişkenleri arasındaki ilişki Microsoft Excel programı kullanılarak incelenmiştir. İki değişken arasındaki ilişkinin

incelenmesine basit korelasyon analizi adı verilmektedir. Basit korelasyon analizi ile iki değişken arasındaki ilişkinin gücünü gösteren ölçü korelasyon katsayısıdır ve  $r$  ile gösterilmektedir. Korelasyon katsayısı -1 ile +1 arasında herhangi bir değer alabilmektedir (Sümbüloğlu ve Sümbüloğlu, 1995).

Çalışma alanında toplanan bitki ve yetiştikleri toprak örneklerinin istasyon numaraları Çizelge 1’de, çeşitli bitki türlerinde ve toprakta Zn, Cu, Ni ve Co derişimi Çizelge 2’de, *G. perfoliata* L. bitki türlerinde ve toprakta Mn konsantrasyonu Çizelge 3’te ve istatistiksel incelenmesi de Çizelge 4’te verilmiştir.

Çizelge 2. Çeşitli bitki türlerinde ve toprakta Cu, Zn, Ni ve Co konsantrasyonu.  
Table 2. Cu, Zn, Ni and Co concentrations in various plants and soils.

Bitki türü	Bitki organı ve toprak	n	Element miktarları (ppm)							
			Cu		Zn		Ni		Co	
			Min.	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
<i>Allysum sibiricum</i> Willd	Dal	5	2	4	3	14	4	5	1	3
	Çiçek	6	3	5	10	18	8	15	3	6
	Toprak	7	13	31	1	130	50	125	1	77
<i>Chrysopogon gryllus</i> (L.) Trin	Dal	7	2	4	4	9	1	4	1	1
	Yaprak	7	1	3	8	14	3	4	1	1
	Toprak	7	13	31	13	133	50	175	1	96
<i>Gypsophila perfoliata</i> L.	Dal	16	2	4	8	35	1	6	2	7
	Yaprak	12	1	4	6	18	3	12	3	8
	Toprak	23	1	25	1	185	1	175	1	115
<i>Puccinellia intermedia</i> (Schur) Janchen	Dal	19	2	7	1	7	1	4	1	2
	Başak	11	1	4	3	28	1	4	1	1
	Kabuk	12	-	-	2	10	1	3	-	-
	Toprak	19	1	25	1	230	50	150	1	96
<i>Quercus trojana</i> P.B. Webb	Dal	21	3	7	1	36	3	9	1	5
	Yaprak	22	4	8	9	28	3	7	1	4
	Toprak	22	19	50	1	178	75	175	1	96
<i>Genista aucheri</i> Boiss.	Dal	23	2	7	11	41	1	4	1	3
	Yaprak	16	2	10	15	27	1	8	1	4
	Toprak	23	13	50	1	178	50	175	1	96
<i>Juniperus Oxycedrus</i> L. Subsp	Dal	22	2	5	5	13	2	5	1	3
	Yaprak	21	2	6	2	19	2	5	1	5
	Toprak	22	1	38	1	170	1	150	1	96
<i>Pinus nigra</i> Arn.	Dal	26	2	4	1	20	1	6	1	3
	Yaprak	25	1	4	1	20	1	4	1	1
	Toprak	26	1	50	1	238	1	175	1	96
<i>Juniperus foetidissima</i> Willd	Dal	3	4	5	8	14	5	7	2	3
	Yaprak	3	3	4	11	15	5	7	1	3
	Toprak	3	25	31	97	110	1	175	1	96
<i>Euphorbia hirsuta</i> L.	Dal	12	4	10	5	29	4	10	3	6
	Yaprak	20	4	12	1	29	6	18	3	8
	Toprak	20	1	38	1	170	1	175	1	96

Özdemir, Zorlu, Akyıldız

Çizelge 3. *G. perfoliata* bitki türünde ve toprakta Mn konsantrasyonu.Table 3. Mn concentrations in the *G. perfoliata* plant species and soil.

Bitki türü	Bitki Organı	n	Toprakta Mn konsantrasyonu (ppm)				Bitkide Mn konsantrasyonu (ppm)			
			Min.	Max	Ort	S. sapma	Min.	Max	Ort	S. sapma
<i>Allysum sibiricum</i> Willd	Dal	5	128	608	318	192	4	10	7	3
	Çiçek	6	128	608	308	174	9	29	18	7
<i>Chrysopogon gryllus</i> (L.) Trin	Dal	7	155	725	473	218	4	30	11	10
	Yaprak	7	155	725	473	218	11	82	36	26
<b><i>Gypsophila perfoliata</i> L.</b>	<b>Dal</b>	<b>13</b>	<b>10</b>	<b>385</b>	<b>158</b>	<b>120</b>	<b>3</b>	<b>33</b>	<b>13</b>	<b>10</b>
	Yaprak	12	10	385	163	125	6	130	32	33
<i>Puccinellia intermedia</i> (Schur) Janchen	Dal	19	15	753	247	197	9	103	43	25
	Başak	17	15	753	254	193	8	172	67	50
	Kabuk	12	15	753	257	198	14	325	58	85
<i>Quercus trojana</i> P.B. Webb	Dal	20	15	790	443	164	4	34	11	8
	Yaprak	20	15	790	441	165	5	94	18	20
<i>Genista aucheri</i> Boiss.	Dal	20	268	925	506	189	9	22	13	4
	Yaprak	14	268	925	496	183	16	54	36	16
<i>Juniperus Oxycedrus</i> L. Subsp	Dal	26	15	790	447	183	4	32	10	6
	Yaprak	24	15	790	440	186	16	127	42	27
<i>Pinus nigra</i> Arn.	Dal	23	20	790	503	181	1	17	7	5
	Yaprak	24	20	790	490	185	1	38	13	12
<i>Juniperus foetidissima</i> Willd	Dal	3	350	570	448	112	6	14	10	4
	Yaprak	3	350	570	448	112	45	75	61	15
<i>Euphorbia hirsuta</i> L.	Dal	10	63	790	466	212	8	21	14	5
	Yaprak	18	63	790	455	186	2	114	55	33
<i>Pinus brutia</i> Arn.	Dal	2	243	720	482	337	21	24	23	2
	Yaprak	2	243	720	482	337	67	33	50	224
<i>Cataprosa aquatica</i> (L.) P.Beauv.	Dal	3	353	875	604	262	45	69	54	13
	Başak	1	353		0		11		0	
	Kabuk	3	353	875	604	262	9	39	25	15



Çizelge 4. *G. Perfoliata* bitki türünün istatistiksel analizi.

Table 4. Statistical analyses of the *G. Perfoliata* plant species.

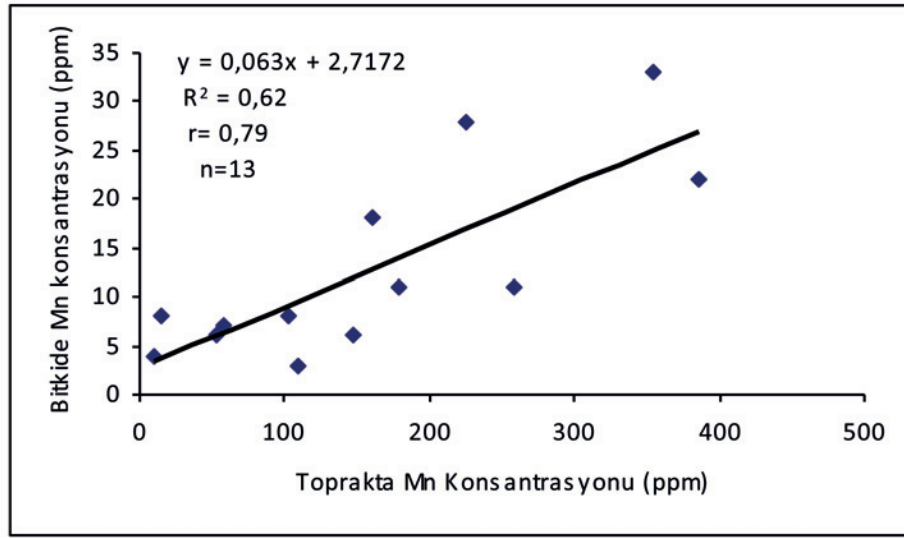
<i>G. Perfoliata</i> bitki türü	n	R <sup>2</sup>	r	Doğrunun denklemi	% 95 güvenilirlikle, P > 0.05	% 99 güvenilirlikle, P < 0.01
<b>Mn</b>						
Yaprak	12	0.3226	-	Y=0.1501X+7.2883	X	
<b>Dal</b>	<b>13</b>	<b>0.6266</b>	<b>0.79</b>	<b>Y=0.063X+2.7172</b>		<b>X</b>
<b>Zn</b>						
Yaprak	15	0.0011	-	Y=0.0028 X+12.648	X	
Dal	12	0.0623	-	Y=-0.0667 X+22.246	X	
<b>Cu</b>						
Yaprak	23	0.0722	-	Y=0.0361 X+1.8301	X	
Dal	13	0.2211	-	Y=0.0491 X+1.6585	X	
<b>Ni</b>						
Yaprak	21	0.0162	-	Y=0.008 X+5.8	X	
Dal	16	0.0191	-	Y=0.008 X+3.2853	X	
<b>Co</b>						
Yaprak	12	0.0079	-	Y=0.051X+2.052	X	
Dal	7	0.3225	-	Y=-0.0067 X+6.0967	X	

n:örnek sayısı, r: -(anlamsız değerler)

## DEĞERLENDİRME

Laboratuvarda toprak ve bitki örneklerinde Mn, Zn, Cu, Ni ve Co elementlerinin düzeyleri belirlendikten sonra aralarındaki ilişki istatistiksel olarak incelenmiştir (Çizelge 2, 3 ve 4). Deneysel olarak saptanan korelasyon katsayısı değerleri (r deneysel), Schroll (1975) tarafından % 95 ve % 99 güvenilirlikle verilen teorik korelasyon katsayısı (r teorik) değeri ile karşılaştırılmıştır. Bitki ve toprak arasında iyi bir korelasyon olabilmesi için r deneysel > r teorik olması gerekmektedir. Çalışma alanında bulunan topraklardaki Mn konsantrasyonu 10-925 ppm arasında, bitkilerdeki Mn konsantrasyonu ise 1-325 ppm arasında saptanmıştır.

Özbek vd. (1993)'e göre bitkilerde Mn derişimi 1000 ppm, topraklarda Mn derişimi 20-800 ppm'dir. Normandin vd. (1999) ise bitkilerde 20-500 ppm Mn bulunabileceğini, toprakların ise 500-900 ppm Mn içerebileceğini belirtmişlerdir. Demir ve Özdemir (2013)'e göre bitkilerde Mn derişimi 5-175 ppm, topraklarda Mn derişimi 11-1750 ppm'dir. Çalışma alanında incelenen bitki türlerinden *G. perfoliata* L. bitkisinin içerdiği Mn (3-33 ppm) ile toprakta bulunan Mn derişimi (10-385 ppm) arasında % 99 güvenilirlikte bir ilişki olduğu (n = 13, r = 0.79; R<sup>2</sup> = 0.62, P < 0.01) saptanmıştır (Şekil 4). Ornella ve Gabbrielli (1987) toprak ve bitki arasında doğrusal bir ilişki olduğunda bu bitki türlerini belirtgen (indikatör) bitki olarak tanımladığından, bu çalışmayla



Şekil 4. Topraktaki Mn konsantrasyonu ile *G. perfoliata* bitki türü arasındaki ilişki.

Figure 4. The relationship between the Mn concentration in soil and *G. perfoliata* plant species.

yetiştığı toprak ile doğrusal bir ilişkiyi yansıtan *G. perfoliata* L. bitki türünün dalı Mn için belirtgen bitki olarak tanımlanabilir.

Ancak toprakta bulunan Mn derişimi normal değerlerin çok az üzerinde, bitki türünün içerdiği Mn derişimi ise normal değerler içerisinde olduğundan toprakta fazla Mn değerlerinin bulunduğu durumda davranışının ne olacağı bilinmemekle birlikte, bu doğrusallığın devamlılığının olabilmesi olasıdır. *G. perfoliata* L. bitki türünün İran, Irak, Suriye, Rusya

Federasyonu, Batı Sibirya, Çin, Güneydoğu ve Doğu Avrupa gibi pek çok bölgede yetişebilmesi nedeniyle bu bitki türünün, belirtilen bölgelerde gerek Mn yataklarının saptanmasında gerekse çevre kirliliğinin ortaya çıkarılmasında çevresel izleme aracı olarak kullanılabilir.

Yapılan çalışma sonucunda Mn için *G. Perfoliata* L. bitkisi belirtgen bitki olarak saptanırken, bitkideki Zn, Cu, Ni ve Co değerleri ile topraktaki değerler arasında istatistiksel anlamda doğrusal bir ilişki saptanamamıştır.

Çizelge 5. *G. Perfoliata* bitki türü ve toprak arasında inter-element ilişkisi.

Table 5. Inter-elemental relationships between soil and *G. perfoliata* plant species.

Belirtgen Bitkide Mn		Toprakta Element							
		Mn	B	Li	Cu	Zn	Sr	Co	Ni
<i>Gypsophila perfoliata</i> L.	Dal	ÇÖ	ÖD	-ÇÖ	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD

ÇÖ: Çok Önemli (%99 güvenilirlikle,  $P < 0.01$ ); -ÇÖ: Negatif ilişki çok önemli (%99 güvenilirlikle,  $P < 0.01$ ); ÖD: Önemli Değil (% 95 güvenilirlikle,  $P > 0.05$ )

Tablo 4'te % 95 güvenilirliğin bile ( $P > 0.05$ ) altında olduğu, istatistiksel anlamda önemli olmadığı görülmektedir.

Tablo 5'te verilen; belirtgen bitki olarak saptanan *G. perfoliata* bitki türünün dalındaki Mn ile topraktaki Mn, B, Li, Cu, Zn, Sr, Co ve Ni arasındaki inter-element ilişkisi incelendiğinde; bitkideki Mn düzeyinin artan yönde Mn ile istatistiksel ilişkisinin (ÇÖ) yanında topraktaki Li ile de azalan yönde istatistiksel bir ilişkisi olduğu saptanmıştır (-ÇÖ). Yani toprakta artan yönde Mn bulunduğunda, doğrusal olarak o oranda Lityumu bünyesine az alacaktır (-ÇÖ). Ancak toprakta B, Cu, Zn, Sr, Co ve Ni elementleri ile *G. perfoliata* bitki türünün Mangany arasında doğrusal olarak önemli bir istatistiksel ilişki bulunmamaktadır (% 95 güvenilirliğin ( $P > 0.05$ ) altında, ÖD). Kısaca *G. perfoliata* bitki türünün Mn alımında topraktaki B, Cu, Zn, Sr, Co ve Ni elementlerinden bağımsız olduğu, bu elementlerin toprakta bulunup bulunmamasının Mn alımını etkilemeyeceği söylenebilir.

*G. perfoliata* bitki türünün dalının gerek biyojeokimyasal prospeksiyonda gerekse çevre kirliliğinin saptanmasında (bünyesine normalden fazla Mn almasının; ortamda ya Mn cevherleşmesi olabileceği ya da Mn elementince kirliliğin olması anlamına gelebileceği) çevresel izleme aracı olarak önemli olacaktır. Ayrıca ortamdaki Mn kirliliğinin giderilmesi için bitki yetiştiriciliği ile uğraşan çevrecilere bu bitkinin kullanılması önerilebilir.

## SONUÇLAR

1. *G. perfoliata* L. bitkisinin dalı ( $n = 13$ ,  $r = 0.79$ ) % 99 güvenilirlikte ( $P < 0.01$ ), Mn için belirtgen bitki olarak saptanmıştır (Şekil 4).
2. Belirtgen bitki türünün, hem Mn içeren maden yataklarının hem de Mn ile kirlenmiş toprakların saptanmasında çevresel izleme aracı olarak kullanılabileceği önerilebilir. Ayrıca Mn elementi açısından zehir etkisi yüksek topraklardan *G. perfoliata* L. bitkisinin yetiştirilmesi ile de Mn ile kirlenmiş toprakların temizlenebilmesi olasıdır.
3. Mn için belirtgen bitki olarak saptanan *G. perfoliata* L. bitki türü ile toprak arasında Zn, Cu, Ni ve Co elementleri için biyojeokimyasal anomalileri istatistiksel olarak incelenmiş fakat bitki ile toprak arasında bu elementler için doğrusal bir ilişki saptanamamıştır ( $P > 0.05$ ), (Çizelge 4).
4. Belirtgen bitki olarak saptanan *G. perfoliata* bitki türünün dalının, topraktaki Mn ile artan yönde istatistiksel doğrusal ilişkisinin yanında topraktaki Li ile de azalan yönde istatistiksel ilişkisinin olduğu, topraktaki B, Cu, Zn, Sr, Co ve Ni elementleri ile istatistiksel anlamda bir ilişkisi bulunmadığı sonucuna varılmıştır ( $P > 0.05$ ) (Çizelge 5).

## KATKI BELİRTME

Bu çalışma 104Y009 (2006) numaralı TÜBİTAK projesinin bir bölümünü oluşturmaktadır. Yazarlar, finansal destek için TÜBİTAK'a, bitkilerin sistematik tanımlamaları için ise Sayın Prof. Dr. Bayram Yıldız'a (Balıkesir Üniversitesi) ve Sayın Doç. Dr. Rıza Binzet'e (Mersin Üniversitesi) teşekkür eder.

**KAYNAKLAR**

- Alkan, A., 1998. Farklı Tahıl Türleri ile Buğday ve Arpa Çeşitlerinin Bor Toksisitesine Dayanıklılığının Araştırılması ve Dayanıklılıkta Rol Alan Faktörlerin Belirlenmesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Doktora Tezi, 135 s (yayımlanmamış).
- Arslan, N., Çiçek, A., Akkan, C., 2010. Accumulation of heavy metals by earthworms in boron-contaminated area (Kırka-Eskişehir). *Advances of the 4<sup>th</sup> International Oligochaeta Taxonomy Meeting Zoology in the Middle East, Supplementum 2*, 111-116.
- Babaoğlu, M., Gezgin, S., Sade, B., Dural, H., 2004. *Gypsophila sphaerocephala* Fezl ex Tchihat.: A.Boron Hyperaccumulator Plant Species That May Phytoremediate Soils with Toxic B Levels. TUBİTAK. *Turkish Journal of Botany*, 28, 273-278.
- Benton, J., Jones, R., 1984. Developments in the measurement of trace metal in foods. *Analytical Food Control*, 157-206.
- Bingham, F. T., 1982. Boron, In: A. L. Page, R. H. Miller and D. R. Keeney, (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 2*, Madison, 431-447.
- Brooks, R.R., Baker, A.J.M., Malaisse, F., 1992. Copper Flowers. *National Geographic Research and Exploration*, 8 (3), 338-351.
- Brooks, R.R., Dunn, C. E., Hall, G.E.M., 1995. *Biological System in Mineral Exploration and Processing*. Elsevier Horwood Limited, 538 p.
- Davis, P. H. (Ed.), 1965-1985. *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*. Vol. 1-9, University Press, Edinburgh.
- Demir, E., Özdemir, Z., 2013. Kazanlı-Mersin bölgesinde Cu, Mn, Zn, Cd ve Pb için biyojeokimyasal anomalilerin incelenmesi ve çevresel ortamın yorumlanması, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 37 (2), 119-140.
- Dunn, C. E., 2007. Biogeochemistry in Mineral Exploration. *Handbook of Exploration and Environmental Geochemistry*, Elsevier, London, V.9, 462 p.
- Garcia- Veigas, J., Helvacı, C., 2013. Mineralogy and Sedimentology of the Miocene Göcenoluk borate deposit, Kırka district, western Anotolia, Turkey. *Sedimentary Geology*, 290, 85-96. Ghaderian, S.M., Baker, A. J. M., 2007.
- Geobotanical and biogeochemical reconnaissance of the ultramafics of Central Iran, *Journal of Geochemical Exploration*, 92, 34-42.
- Gök, S., Çakır, A., Dündar, A., 1979. Survey of Kırka towns and surrounding area borate deposits and other industrial minerals. *Mineral Research and Exploration Institute of Turkey (MTA), Report No: 6768*.
- Helvacı, C., 1983. Mineralogy of the Turkish borate deposits. *Geological Engineering*, 17, 37-54.
- Helvacı, C., 1984. Occurrence of rare borate-minerals: veatch. Atunellite, teruggite and cahnite in the Emet borate deposits, Turkey. *Mineralium Deposite*, 19, 217-226.
- Helvacı, C., 2004. The Geological Situation and Economical importance of Turkey Borate Deposits and Borate Policy. 5. Symposium of Industrial Minerals, İzmir, 11-27.
- Helvacı, C., Orti, F., 2004. Zoning in The Kırka borate deposit, western Turkey: primary evaporitic fractionation or diagenetic modifications. *The Canadian Minerologist*, 42, 1179-1204.
- Köksoy, M., 1991. *Uygulamalı Jeokimya*. Hacettepe Üniversitesi Yayınları, A-64, 366 s.
- Normandin, L., Kennedy, G., Zayed, J., 1999. Potential Of Dandelion *Taraxacum Officinale* As a Bioindicator of Manganese Arising From the Use of Methylcyclopentadienyl Manganese Tricarbonyl in Unleaded Gasoline. *The Science of the Total Environment*, 239, 165-171.

- Ornella V.G., Gabrielli R., 1987. The response of plants to heavy metals: organic acid production. *Giornale Botanico Italiano*, 121 (3-4), 209-212.
- Özbek, H., Kaya, Z., Gök, M., Kaptan, H., 1993. Toprak Bilimi. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Adana, 816 s.
- Özdemir, Z., 2003. Biogeochemical studies at the Musalı and Silifke-Anamur area in Mersin, Turkey. *Geochemistry International*, 41 (11), 1137-1142.
- Özdemir, Z., 2005. *Pinus brutia* as a biogeochemical medium to detect iron and inc in soil analysis, chromite deposits of the area Mersin, Turkey. *Chemie Der Erde-Geochemistry*, 65, 79-88.
- Özdemir, Z., 2009. Bitkilerle Madenler Bulunabilir mi? Biyojeokimyasal (Bitki Jeokimyası) prospeksiyon nedir?. *Madencilik ve Yer Bilimleri Dergisi*, 1/3, 14-19.
- Özdemir, Z., 2011. Kobaltın Biyojeokimyasal prospeksiyonu için bir belirtgen *Alyssum Peltarioides* Boiss Subsp. Virgatiforme (Nyar.) Dudley. *İstanbul Üniversitesi Dergisi*, 24 (1), 65-75.
- Özdemir, Z., Sağiroğlu, A., 1999. Biogeochemical manganese anomalies along the Maden Çayı Valley, Maden-Elazığ. *Geochemistry International*, 37 (7), 673-677.
- Özdemir, Z., Sağiroğlu, A., 2000a. Biogeochemical zinc anomalies along the Maden Çayı Valley, Maden-Elazığ, Turkey. *Zeitschrift für Angewandte Geologie*, 46, 218-222.
- Özdemir, Z., Sağiroğlu, A., 2000b. *Salix acmophylla* Boiss, *Tamarix smyrnensis* Bunge and *Phragmites australis* (cav) Trin. ex. Stuedel as biogeochemical indicators for copper deposits in Elazığ-Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 18, 595-601.
- Özdemir, Z., Demir, E., 2010. Fındıkpınarı - Erdemli / Mersin bölgesinde nikel akümülatörü bir bitki türü *Alyssum murale* Waldst.&Kit, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 34 (1), 57-70.
- Özdemir, Z., Zorlu, S., Akyıldız, M., Yücesoy Eryılmaz., F., 2014. Determination of Indicator Plants for B in the Kırka (Eskişehir) Boron Deposit Area. *International Journal of Geosciences*, 5, 77-84.
- Schroll, E. (Ed.), 1975. *Analytische Geochemie* Enke Verl, Bd. I. Stuttgart, 292 p.
- Schlesinger W.H.(Edit.), Holland H. D, Turekian K. K, 2006. *Biogeochemistry. Treatise on geochemistry*, Vol. 8, Elsevier, London 702 p.
- Sümbüloğlu, K., Sümbüloğlu, V., 1995. *Biyoistatistik*. 6. Baskı, Özdemir Yayıncılık, Ankara, 269 s.
- Turan, H., Özdemir, Z., Zorlu, S., 2006. Çiftehane (Ulukışla-Niğde) bölgesinin Cu, Zn, Fe, Mn ve Ni için biyojeokimyasal anomalilerin araştırılması. *İstanbul Üniversitesi Yerbilimleri Dergisi*, 19 (2), 131-140.



# YAYIN AMAÇLARI VE KURALLARI, YAYINA KABUL İLKELEERİ

## AMAÇ

### JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ

• İnsan ile Yerküre arasındaki etkileşimlere ilişkin bilgi ve deneyimleri doğal çevreyi de gözetererek daha güvenli ve rahat bir yaşam ortamı sağlamak amacıyla ile insanlığın hizmetine sunmayı hedefleyen Jeoloji Mühendisliği mesleğinin, günlük yaşamdaki yerini ve önemini daha etkin bir şekilde yansıtmak,

• Bu alanda ulusal ve uluslararası gelişmeleri Jeoloji Mühendisleri'nin bilgisine sunmak,

• Konu ile doğrudan veya dolaylı etkinliklerde bulunan biliminsanları, araştırmacılar, mühendisler ve diğer uygulayıcılar arasındaki bilgi ve deneyim paylaşımını güçlendirecek ve hızlandıracak, kolay erişilebilen, geniş katılımlı bir tartışma ortamı sağlamak ve bunları yayma olanağı yaratmak,

• Türkiye'nin toplumsal ve ekonomik kalkınmasını yakından ilgilendiren jeolojiye ilişkin sorunların daha etkin bir şekilde çözüme kavuşturulması açısından büyük önem taşıyan kurumlararası işbirliğinin başlatılmasına ve geliştirilmesine katkıda bulunmak,

• Türkçe'nin Jeoloji Mühendisliği alanında bilim dili olarak geliştirilmesini ve yabancı sözcüklerden arındırılmasını özendirme amaçlarına sahiptir.

## KAPSAM VE NİTELİK

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ, ulusal ve uluslararası platformlarda, yerbilimlerinin uygulamaya yönelik alanlarında çalışmalar yapan herkesin katkısına açıktır. Bu çerçevede;

- İnsanların yaşamını etkileyen jeolojik süreçler ile mühendislik yapıları ve bunlara ilişkin sorunlar ve çözümler
- Jeolojik kaynakların yönetimi ve ekonomik açıdan değerlendirilmesi
- Doğal ve yapay kirleticiler ve ekosisteme etkileri
- Jeolojik anıtların korunması
- Jeolojik sorunların çözümüne katkıda bulunan arazi ve laboratuvar yöntemlerinin ve tekniklerinin geliştirilmesi

ile ilgili kuramsal ve uygulamalı çalışmaları kapsayan ürünler, Yayın Kurulu'nun değerlendirmesinden geçtikten sonra Jeoloji Mühendisliği Dergisi'nde yayımlanır.

Jeolojinin uygulama alanlarına ilişkin her türlü çalışma Jeoloji Mühendisliği Dergisi'nin yayın amaçlarına uygundur. Bununla birlikte, çalışmaya konu olan sorunun kullanılan teknik ne olursa olsun, bilimsel yöntemlerle ele alınması ve jeolojinin uygulama alanlarına ilişkin olması aranan temel nitelikler arasındadır. Çalışmanın daha önce Türkçe yayımlanmamış olması gerekmektedir. Jeoloji Mühendisliği Dergisi'nde, yeni yapıyla beş tür yazı yayımlanacaktır:

- 1- ELEŞTİREL İNCELEME (Review Paper):** Editörün daveti üzerine veya bilgisi dahilinde hazırlanan, Jeoloji Mühendisliği'nin herhangi bir alanında halen kullanılmakta olan teknik, yöntem ve yaklaşımları günümüz teknolojik gelişmeleri ve kendi deneyimleri ışığında inceleyen, bu açıdan öneriler geliştiren yazıdır. Yazı uzunluğu konuya bağlı olarak değişebilir. Yayın Kurulu incelemesi zorunluluğu yoktur.
- 2- ARAŞTIRMA MAKALESİ (Research Article):** Özgün bir çalışmanın sunulduğu yazıdır. Kuramsal temel, yeterli miktar ve nitelikte veriye dayalı bulgu ve sonuçların ayrıntılıyla

değerlendirildiği bölümleri içermelidir. Yazının toplam uzunluğu 6000 sözcük eşdeğerini (10 JMD sayfası) aşmamalıdır. En az iki Yayın Kurulu üyesi tarafından incelendikten sonra yayımlanır.

- 3- TEKNİK NOT (Technical Note):** Herhangi bir süreci veya tekniği, kuramsal temel, yeterli veri ve ayrıntılı değerlendirmeye dayanmadan sunan ve amacı, bu süreci veya teknikleri kullanabilecek yerbilimcilere duyurmak olan özgün yazıdır. Yazının uzunluğu 5000 sözcük eşdeğerini (5 JMD sayfası) aşmamalıdır. En az iki Yayın Kurulu üyesi tarafından incelendikten sonra yayımlanır.
- 4- ARAŞTIRMA NOTU (Research Note):** Henüz tamamlanmamış, eksik veri ve bulgularla yüzeysel değerlendirmelere dayalı, kendi içinde tutarlı, özgün, deneysel, uygulamalı veya kuramsal araştırmaların önsonuçlarının veya bulgularının sunulduğu yazıdır. Amaç, okuyucuya güncel bir konuya ilişkin bir çalışmanın ön bulgu ve sonuçlarını duyurarak konu üzerinde tartışma ortamı yaratmak, konunun gelişmesine diğer araştırmacıların katkılarını sağlamaktır. Yazı uzunluğu 5000 sözcük eşdeğerini (5 JMD sayfası) aşmamalıdır. En az iki Yayın Kurulu üyesi tarafından incelendikten sonra yayımlanır.
- 5- GÖRÜŞ-YORUM ve YANITLAR (View, Comment and Reply):** Dergide yayımlanan yazılar hakkında her türlü görüş, yorum ve bunlara ilişkin yanıtları içerir. Editörün uygun gördüğü uzunlukta yayımlanır.

## YAZILARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE YAYINA KABUL İLKELEERİ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ Editörlüğü'ne 2 satır aralığında 12 punto harflerle yazılmış ve 1 nüsha halinde \*.doc veya \*.docx formatında hazırlanarak e-posta ile gönderilen yazılar, öncelikle içerik, sunum, yayım kuralları, vd. yönlerden Editörlük tarafından incelenir ve daha sonra değerlendirilmek üzere en az iki Yayın Kurulu üyesine ve/veya Kurul dışından seçilecek uzmanlara gönderilir. Yayın Kurulu üyelerinden gelecek görüşler doğrultusunda yazının doğrudan, az veya önemli ölçüde düzeltilmesi koşuluyla yayımlanmasına veya reddine Editörce karar verilir ve sonuç yazarlara bildirilir.

Yayın Kurulu üyelerinin birbiriyle çelişen görüş bildirmeleri durumunda, Editör'ün bir karara varabilmesi için yazı, üçüncü bir Yayın Kurulu üyesine veya yazı konusundaki uzmana gönderilir. Yayın Kurulu üyeleri gerekli görürlerse yazıları düzeltilmiş haliyle tekrar görüp değerlendirebilirler.

Yazarlar, Yayın Kurulu üyelerinin ve Editör'ün yaptığı eleştiri, öneri ve düzeltmeler arasında katılmadıkları hususlar olduğunda bunları ayrı bir sayfada gerekçeleriyle birlikte açıklamalıdır.

Gönderilen yazılar, JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ'nde yayımlansın veya yayımlanmasın yazarlara iade edilmez.

## YAZIM DİLİ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ'nde yayın dili olarak "Türkçe" ve "İngilizce" kullanılmaktadır. Derginin oldukça geniş bir yurt dışı aboneliği ve sürümü olduğu için, Türkçe makalelerin, kabulden sonra "Genişletilmiş bir İngilizce Özeti"nin yazılması gerekmektedir. Dergide; ayrıca yazıların başlıkları, özetleri ve tüm çizelgeler ile şekillerin açıklamaları Türkçe ve İngilizce olarak iki dilde birlikte verilmelidir.

## YAZIM KURALLARI

**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ'nde yayımlanması kabul edilen yazıların** basım öncesi dizgi işlemleri Editörlükçe yazarlara gönderilecek olan "**Makale Yazım Formatı**"na göre yazarlar tarafından yapılır. Zaman tasarrufu, ekonomiklik ve yazıların son şeklinin yazarlar tarafından da kontrolünü sağlamak açısından tercih edilen bu yöntemde, yazarlar yazılarını baskıya girecek şekilde bilgisayarda formata uygun bir şekilde dize ederler ve bırakılan boşluklara da şekil ve çizelgeleri yerleştirerek (camera-ready uygulamasına benzer şekilde) basım aşamasına getirerek Editörlüğe gönderirler.

### Metin Bölümü

- 1- **Metin;** A4 boyutunda (29.7 x 21 cm) kağıtların üzerine bilgisayarda, 1.5 satır aralıkla, 10 punto ve Times New Roman yazı karakteri ile yazılmalıdır. Sayfa kenarlarında 3'er cm boşluk bırakılmalı ve sayfalar numaralandırılmalıdır.
- 2- **Başlık;** konuyu en iyi şekilde belirtecek ve 12 kelimeyi geçmeyecek şekilde kısa seçilmeli ve Türkçe başlığın (tamamı büyük harflerle ve koyu yazılmış) yanısıra, İngilizcesi (İtalik ve normal büyük harflerle) de yazılmalıdır. Eğer yazı İngilizce yazılmış ise, önce İngilizce sonra Türkçe başlık verilmelidir.
- 3- **Öz;** yazının başlangıcında 200 kelimeyi geçmeyecek şekilde hazırlanmış Öz/Abstract (Türkçe ve İngilizce) bulunmalıdır. Bu bölüm, yazının diğer bölümlerinden ayrı olarak yayımlanabilecek düzende yazılmış, yazının tümünü en kısa, ancak öz biçimde yansıtır nitelikte (özellikle çalışmanın amacını ve sonuçlarını yansıtarak) olmalıdır. Yazı Türkçe yazılmışsa Abstract'ın, İngilizce yazılmışsa Öz'ün başlığı ve metin kısmı italik karakterle yazılmalıdır. Ayrıca, Öz ve Abstract bölümlerinin altında bir satır boşluk bırakılarak **Anahtar Kelimeler ve Key Words** (en az 2, en çok 6 kelime alfabetik sıraya göre) verilmelidir. Eğer yazı İngilizce hazırlanmış ise, önce Abstract sonra Öz verilmelidir.
- 4- Yazının genel olarak aşağıda belirtilen düzene göre sunulmasına özen gösterilmelidir:
  - a) Başlık (Türkçe ve İngilizce)
  - b) Yazar ad(lar)ı ve adres(ler)i (yazar adları koyu karakterle ve soyadları büyük harflerle, adresler normal italik karakterlerle)
  - c) Öz (anahtar kelimeler eklenerek)
  - d) Abstract (key words eklenerek)
  - e) Giriş (amaç, kapsam, çalışma yöntemleri, vd.)
  - f) Metin bölümü (yöntemler, çalışılan malzeme, saha tanımlamaları, vd.)
  - g) Tartışmalar
  - h) Sonuçlar ve Öneriler
  - i) Katkı belirtme (gerekliyse)
  - j) Kaynaklar
- 5- Metin içinde ana bölüm başlıkları dışında en fazla üç alt başlık oluşturulmalı ve başlıklara numara verilmemelidir. Bunların yazım şekli aşağıdaki gibi olmalıdır:  
**ÖZ**  
**ABSTRACT**  
**GİRİŞ**  
**ANA BAŞLIK**  
**Birinci Derece Alt Başlık**  
**İkinci derece alt başlık**  
**Üçüncü derece alt başlık**  
**TARTIŞMALAR**  
**SONUÇLAR VE ÖNERİLER**  
**KATKI BELİRTME**  
**KAYNAKLAR**

6- Metrik sistem veya SI birimleri (kPa, kN/m<sup>3</sup> vb.) kullanılmalıdır.

7- Gerek metin içinde ve çizelgelerde, gerekse şekillerde rakamların ondalık bölümlerinin ayrılması için nokta kullanılmalıdır (3.1 gibi).

### Kaynaklar

- a) Metin içinde kaynaklara değinme yapılırken aşağıdaki örneklerde olduğu gibi, bibliyografya araştırmacı soyadı ve tarih sırasıyla verilir.  
....Ford (1986) tarafından.....  
....bazı araştırmacılar (Williams, 1987; Gunn, 1990; Saraç ve Tarcan, 1995)

- b) Birden fazla sayıda yazarlı yayımlara metin içinde değinirken ilk soyadı belirtilmeli, diğer yazarlar için vd. İbaresini kullanılmamalıdır.  
....Doyuran vd.(1995)....  
....Smart vd.(1971)....
- c) Ulaşılamayan bir yayına metin içinde değinme yapılırken bu kaynakla birlikte alıntının yapıldığı kaynak da aşağıdaki şekilde belirtilmelidir. Ancak Kaynaklar Dizini'nde de yer alıntının yapıldığı kaynak belirtilmelidir.  
....Dreybrodt(1981; Schuster and White, 1971)....
- d) Kişisel görüşmelere metin içinde soyadı ve tarih belirtilerek değinilmeli, ayrıca "Kaynaklar Dizini"nde de yer verilmelidir. (Soyadı, Adı, Tarih. Kişisel görüşme. Görüşülen kişinin/kişilerin adres(ler)i)
- e) Kaynaklar, yazar soyadları esas alınarak alfabetik sırayla değinilmeli ve metin içinde değinilen tüm kaynaklar, "Kaynaklar Dizini"nde eksiksiz olarak belirtilmelidir. Kaynakların yazılmasında aşağıdaki örneklerde belirtilen düzen esas alınmalıdır:

### Sürelili yayımlar ve bildiriler

Yarbaşı, N., Kalkan, E., 2009. Geotechnical mapping for alluvial fan deposits controlled by active faults: a case study in the Erzurum, NE Turkey. Environmental Geology, 58 (4), 701-714.

[Yazar ad(lar)ı, Tarih. Makalenin Başlığı. Sürelili Yayımların Adı (kısaltılmamış), Cilt No. (Sayı No.), Sayfa No.]

Altındağ, R., Şengün, N., Güney, A., Mutlutürk, M., Karagüzel, R., Onargan, T., 2006. The integrity loss of physicommechanical properties of building stones when subjected to recurrent cycles of freeze-thaw (F-T) process. Fracture and Failure of Natural Building Stones-Applications in the Restoration of Ancient Monuments (Editors: Stavros and Kourkoulis), 363-372.

[Yazar ad(lar)ı, Tarih. Bildirinin Başlığı. Sempozyum veya Kongrenin Adı, Editörler, Basımevi, Cilt No. (birden fazla ciltten oluşuyorsa), Düzenlendiği Yerin Adı, Sayfa No.]

### Kitaplar

Palmer, C.M., 1996. Principles of Contaminant Hydrogeology (2<sup>nd</sup> Edition). Lewis Publishers, New York, 235 p.

Ketin, İ., Canitez, N., 1972. Yapısal Jeoloji. İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu, Sayı:869,520 s.

[Yazar ad(lar)ı, Tarih. Kitabın Adı (ilk harfleri büyük). Yayımevi, Basıldığı Şehrin Adı, Sayfa Sayısı.]

### Raporlar ve Tezler

Demirok, Y., 1978. Muğla-Yatağan linyit sahaları jeoloji ve rezerv ön raporu. MTA Derleme No:6234, 17 s (yayımlanmamış).

Akın, M., 2008. Eskipazar (Karabük) travertenlerinin bozunmasının araştırılması. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Doktora Tezi, 263 s (yayımlanmamış).

[Yazar ad(lar)ı, Tarih. Raporun veya Tezin Başlığı. Kuruluşun veya Üniversitenin Adı, Arşiv No. (varsa), Sayfa Sayısı (yayımlanıp, yayımlanmadığı)]

**NOT:** Tüm kaynaklarda ilk satırdan sonraki satırlar 0.7 cm içeriden başlanarak yazılmalıdır.

### Eşitlikler ve Formüller

- a) Eşitlikler elle yazılmamalı ve bilgisayardan yararlanılmalıdır. Eşitliklerde, yaygın olarak kullanılan uluslararası simgelere yer verilmesine özen gösterilmelidir.
- b) Her eşitliğe sırayla numara verilmeli, numaralar parantez içinde eşitliğin hizasında ve sayfanın sağ kenarında belirtilmelidir.
- c) Eşitliklerde kullanılacak alt ve üst indisler belirgin şekilde ve daha küçük karakterlerle yazılmalıdır (I<sub>4</sub>, x<sup>2</sup> gibi).
- d) Eşitliklerdeki sembollerin açıklamaları eşitliğin hemen altındaki ilk paragrafta verilmelidir.
- e) Karekök işareti yerine parantezle birlikte üst indis olarak 0.5 kullanılmalıdır (σ<sub>cmss=</sub> σ<sub>c</sub><sup>0.5</sup> gibi).



- f) Bölme işareti olarak yatay çizgi yerine "/" simgesi kullanılmalıdır. Çarpma işareti olarak genellikle herhangi bir işaret kullanılmamalı, ancak zorunlu hallerde "\*" işareti tercih edilmelidir ( $y=5 * 10^{-3}$  gibi).
- g) Kimyasal formüllerde iyonların gösterilmesi amacıyla  $Ca^{++}$  veya  $CO^{-}$  gibi ifadeler yerine  $Ca^{2+}$  ve  $CO_3^{2-}$  kullanılmalıdır.
- h) İzotop numaraları, "<sup>18</sup>O" şeklinde verilmelidir.

#### Çizelgeler

- a) Yazarlar, derginin boyutlarını dikkate alarak, çizelgeleri sınırlamalı ve gerekiyorsa metinde kullanılabilecek oranda daha küçük karakterlerle yazmalıdır. Bu amaçla çizelgeler tek sütuna (7.5 cm) veya çift sütuna (16 cm) yerleştirilebilecek şekilde hazırlanmalıdır. Tam sayfaya yerleştirilmesi zorunlu olan büyük çizelgelerin en fazla (16 x 21) cm boyutlarında olması gerekir. Bu boyutlardan daha büyük ve katlanacak çizelgeler kabul edilmez.
- b) Çizelgelerin hemen altında gerekli durumlarda açıklayıcı dipnotlara veya kısaltmalara ilişkin açıklamalara yer verilmelidir.
- c) Çizelgelerin başlıkları, kısa ve öz olarak seçilmeli, hem Türkçe (normal karakterle ve ilk harfi büyük diğerleri küçük harfle) hem de İngilizce (ilk harfi büyük diğerleri küçük İtalic harflerle) "Çizelgeler Dizini" başlığı altında ayrı bir sayfaya yazılmalıdır. İngilizce olarak hazırlanmış yazılarda önce İngilizce sonra Türkçe çizelge başlığı verilmelidir.
- d) Çizelgelerde kolonsal ayrımı gösteren düşey çizgiler yer almamalı, sadece çizelgenin üst ve alt sınırları ve gerek görülen diğer bölümleri için yatay çizgiler kullanılmalıdır.
- e) Her çizelge, sıralı olarak ayrı bir sayfada olmalı ve çizelge başlıkları çizelgenin üzerine yazılmalıdır.

#### Şekiller (Çizim, fotoğraf ve levhalar)

- a) Şekiller, uygun bir bilgisayar yazılımı kullanılarak hazırlanmalı, değerlendirmeyi kolaylaştıracak biçimde yüksek kalitede, metin sonunda verilmelidir. Ancak bu durum, elektronik dosya boyutunu fazla büyütmemelidir.
- b) Tüm çizim ve fotoğraflar şekil olarak değerlendirilip numaralandırılmalıdır. Şekil altı yazıları "Şekiller Dizini" başlığı altında hem Türkçe (normal karakterle ve ilk harfi büyük diğerleri küçük harflerle) hem de İngilizce (ilk harfi büyük diğerleri küçük İtalic harflerle) ayrı bir sayfada verilmelidir. Yazı İngilizce olarak hazırlanmışsa, şekil altı yazıları önce İngilizce sonra Türkçe verilmelidir.
- c) Her şekil, ayrı bir sayfada yer alacak biçimde sıraya dizilerek "Şekiller Dizini" sayfasıyla birlikte çizelgelerden sonra sunulmalıdır.
- d) Şekiller, ya tek sütuna (7.5 cm), ya da çift sütuna (en fazla 16 cm) yerleştirilebilecek boyutta hazırlanmalıdır. Tam sayfaya yerleştirilmesi zorunluluğu olan büyük şekillerin, şekil altı açıklamalarına da yer kalacak biçimde, en fazla (16 x 21 cm) boyutlarında olması gerekir. Belirtilen bu boyutlardan daha büyük ve katlanacak boyuttaki şekiller kabul edilmez.
- e) Harita, kesit ve planlarda sayısal ölçek yerine çubuk (bar) türü ölçek kullanılmalıdır.
- f) Şekiller yukarıda belirtilen boyutlarda hazırlanırken, şekil üzerindeki açıklamaların (karakterlerin) okunabilir boyutlarda olmasına özen gösterilmelidir.
- g) Fotoğraflar, şekiller için yukarıda belirtilen boyutlarda basılmış olmalıdır. Fotoğrafların üzerinde gösterilecek olan simgeler okunaklı olmalıdır. Özellikle koyu tonların egemen olduğu bölgelerde simgelerin beyaz renk ile gösterilmesi tavsiye edilir. Yaygın olarak kullanılan uluslararası simgelerin kullanılmasına özen gösterilmelidir.

#### Ek Açıklamalar ve Dipnotlar

- a) Ana metnin içine alındığında okuyucunun dikkatinin dağılmasına yol açabilecek, hatırlatma niteliğindeki bilgiler, yazının sonundaki "Ek Açıklamalar" başlığı altına konulabilir (İstatistik bilgilerin verilmesinde, formüllerin çıkarımının gösterilmesinde, bilgisayar programlarının verilmesinde, vb. konularda bu yol izlenebilir).
- b) Dipnotlar, yerleştirme ve yazılma açısından güçlüklerle neden olduğundan, çok gerekli durumlarda kullanılmamalıdır. Eğer dipnot kullanılırsa, yıldız (\*) işareti ile gösterilmeli ve mümkün olduğunca kısa tutulmalıdır. Dipnota eğer değinme yapılırsa bibliyografik bilgiler dipnota değil, "Kaynaklar Dizini"nde verilmelidir.

#### YAZILARIN GÖNDERİLMESİ

*JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ'nin* "Yayın Amaçları ve Kuralları, Yayına Kabul İlkeleri"nde belirtilen ilkelere uygun olarak elektronik ortamda hazırlanmış yazılar, e-posta ile gönderilmelidir.

E-posta adresi: topal@metu.edu.tr

#### JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ EDITÖRLÜĞÜ TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası

Hatay Sokak No: 21 Kocatepe/Ankara

Tel : (312) 432 30 85 / (312) 434 36 01

Faks : (312) 434 23 88

E-posta : topal@metu.edu.tr

#### AYRI BASKILAR

Dergide yayımlanması kabul edilen yazıların ayrı baskısından on adet yazarına veya birden fazla yazarlı yazılarda yayım için başvuruyu yapan yazara olanaklar çerçevesinde ücretsiz olarak gönderilir. Ondan fazla ayrı baskı talebinde bulunulması halinde, Jeoloji Mühendisleri Odası Yönetim Kurulu tarafından belirlenen ücret, her ayrı baskı için yazarlar tarafından ödenir.



## **İçindekiler / Contents**

### **Makaleler / Articles**

- 
- 53- **Cem KINCAL, Doğan KARAKUŞ, Ahmet Hakan ONUR, Mehmet Yalçın KOCA**  
**Sübidans Nedeniyle Elek Yolu ve Açık Ocak Şevlerinde Meydana Gelen Deformasyonların Değerlendirilmesi: Soma-Kısrakdere Kömür Sahası için Örnek Bir Çalışma**  
*Evaluation of the Deformations Occured in the Run-Off Mine Road and Open-Pit Slopes Due to the Subsidence: A Case Study for Soma-Kısrakdere Coal-Field*
- 73- **Ali KAYABAŞI**  
**Taşıma Gücü ve Oturma İncelemelerinde Menard Pressiyometre Deneyinin Uygulanması: Kuloğlu HES Regülatörü Yerinde Bir Örnek Çalışma (Kars, Türkiye)**  
*Application of the Menard Pressuremeter Test for the Bearing Capacity and Settlement Analysis: A Case Study at Kuloğlu Hydro-Electric Central (HEC) Regulator Site (Kars, Turkey)*
- 103- **Hakan ELÇİ, Necdet TÜRK, İsmail İŞİNTEK**  
**İzmir Karaburun Yarımadasındaki Farklı Kireçtaşlarının Beton Agregası Olarak Değerlendirilmesi**  
*Evaluation of Different Limestones as Concrete Aggregate in İzmir Karaburun Peninsula*
- 135- **Zeynep ÖZDEMİR, Semiha ZORLU, Mustafa AKYILDIZ**  
**Kırka (Eskişehir), Bigadiç (Balıkesir) ve Emet (Kütahya) Bor Yatakları Bölgesinde Mn, Zn, Cu, Ni ve Co için Biyojeokimyasal Anomalilerin Araştırılması**  
*Investigation of the Biogeochemical Anomalies for Mn, Zn, Cu, Ni and Co in the Kırka (Eskişehir), Bigadiç (Balıkesir) and Emet (Kütahya) Boron Deposits Area*