

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ

Journal of Geological Engineering

Cilt - Volume 37

Sayı - Number 2

ISSN 1016 - 9172

Aralık / December 2013



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 Yenşehir, 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

Dündar ÇAĞLAN

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 2014

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 özlere

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**

DÜNDAR ÇAĞLAN

HÜSEYİN ALAN

HALİL İBRAHİM YİĞİT

FARUK İLGÜN

ARZU ÇAĞLAYAN

ÖZCAN DUMANLILAR

ÜMİT UZUNHASANOĞLU

Başkan / President

İkinci Başkan / Vice President

Sayman / Treasurer

Yazman / Secretary

Mesleki Uygulamalar Üyesi / Member of Professional Activities

Yayın Üyesi / Member of Publication

Sosyal İlişkiler Üyesi / Member of Social Affairs

Jeoloji Mühendisliği Dergisi JMO yayını olup para ile satılmaz.

İçindekiler / Contents

Makaleler / Articles

83- Hakan ELÇİ, Necdet TÜRK

Karaburun Yarımadası Kireçtaşı Ocaklarında Üretilen Blokların Hacimlerinin Ölçülen Süreksizlik Aralığı Verileriyle Tahmini

Estimation of the Mean Volume of the Producible Blocks Using the Discontinuity Spacing Data Measured in the Limestone Quarries in Karaburun Peninsula

103- Ayberk KAYA, Fikri BULUT

Zayıf Kaya Kütlelerinde Açılan Tünellerde Ampirik ve Nümerik Yöntemlerle Duraylılık Analizi

Stability Analyses of Tunnels Excavated in Weak Rock Masses Using Empirical and Numerical Methods

119- Erkan DEMİR, Zeynep ÖZDEMİR

Kazanlı - Mersin Bölgesinde Cu, Mn, Zn, Cd ve Pb için Biyojeokimyasal Anomalilerin İncelenmesi ve Çevresel Ortamın Yorumlanması

Investigation of Biogeochemical Anomalies and Interpretation of Environmental Conditions for Cu, Mn, Zn, Cd and Pb in Kazanlı-Mersin Area

141- Yusuf Ziya ÖZKAN, Mehmet Ali AKBABA

Örneklemeden Rapor Etmeye Adım Adım Maden Kaynak Tahmini

Step by Step Mineral Resource Estimation from Sampling to Reporting

Zayıf Kaya Kütlelerinde Açılan Tünellerde Ampirik ve Nümerik Yöntemlerle Duraylılık Analizi

Stability Analyses of Tunnels Excavated in Weak Rock Masses Using Empirical and Numerical Methods

Ayberk KAYA¹, Fikri BULUT²

¹Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, RİZE

²Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, TRABZON

Geliş (received) : 09 Mayıs (May) 2013
Düzeltilme (revised) : 24 Haziran (June) 2013
Kabul (accepted) : 15 Temmuz (July) 2013

ÖZ

Zayıf kaya kütlelerinde açılacak tünellerin tasarımı, mühendislik jeolojisi açısından bazı zorluklar sunmaktadır. Tasarım aşamasında yapılacak küçük bir hata, kazı aşamasında maliyeti yüksek ve zaman alıcı sorunlara yol açabilmektedir. Bu tür ciddi sorunlarla karşılaşmamak için zayıf kaya kütlelerinde açılacak tünellerin, tasarım aşamasında, en uygun ve ekonomik kazı yöntemine göre projelendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, Cankurtaran (Hopa-Artvin) tünelinin güzergahında yüzeyleyen Paleosen yaşlı Şenkaya Sırtı formasyonu'na ait ince tabakalı marnların duraylılığı, ampirik ve nümerik yöntemler kullanılarak incelenmiştir. İlk önce, ISRM (1981) tanımlama kriterleri esas alınarak marnların içerdiği süreksizlerin özellikleri ve kaya malzemesinin jeomekanik özellikleri belirlenmiştir. İkinci aşamada, marnlar RMR, Q ve GSI sistemleri ile sınıflandırılmış ve kütle özellikleri tespit edilmiştir. Son aşamada ise marnlarda açılması planlanan tünelin duraylılığı, Singh vd. (1992), Goel vd. (1995), Bhasin ve Grimstad (1996) kriterleri ve Sonlu Eleman Yöntemi (FEM) yardımıyla araştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda güvenlik sayısı değerinin 0.08 ile 1.43 arasında değiştiği ve tünelde duraysızlık sorunuyla karşılaşma riskinin olabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ampirik ve nümerik yöntemler, Sonlu Eleman Yöntemi, Tünel duraylılığı, Zayıf kaya kütleleri.

ABSTRACT

In terms of geological engineering, tunnel design in weak rock masses presents some challenges. A small misinterpretation in the design stages can lead to costly and time-consuming problems at the construction phases. To avoid serious problems of these kinds, tunnels excavated in weak rock masses should be projected with the most suitable and economical excavation method in design stage. In this study, stability of the thin-bedded marls belong to Paleocene aged Şenkaya Sırtı formation, outcropped on the route of Cankurtaran (Hopa-Artvin) tunnel, was investigated using empirical and numerical methods. Firstly, the properties of the discontinuities in the marls and geomechanical parameters of intact rock material were determined based on the description criteria of ISRM (1981). In the next stage, marls were classified by using the RMR, Q and GSI systems and rock mass properties were determined. In the final stage, the stability of the tunnel, planned to be excavated in the marls, was investigated by using the criterion of Singh et al. (1992), Goel et al. (1995), Bhasin and Grimstad (1996) and Finite Element Method (FEM). As a result of the analyses, it was concluded that the factor of safety value varies between 0.08 and 1.43 and there may be a risk of instability problem in the tunnel.

Key Words: *Empirical and numerical methods, Finite Element Method, Tunnel stability, Weak rock mass.*

GİRİŞ

Ülkemizdeki araç sayısı ve trafikteki araç kalitesi, büyüyen ve küreselleşen ekonomiye bağlı olarak artmakta ve gelişmektedir. Bu gelişme ve artış, beraberinde yeni, geniş ve daha konforlu yolların yapımını gündeme getirmiştir. Ülkemizin dağlık coğrafyası düşünüldüğünde, yapılan yolların standartlarının yükseltilmesi için doğal engellerin çeşitli mühendislik yapıları aracılığı ile aşılması gerekmektedir. Bu mühendislik yapılarından biri de, son yıllarda yol ağında sayısı giderek artan karayolu tünelleridir.

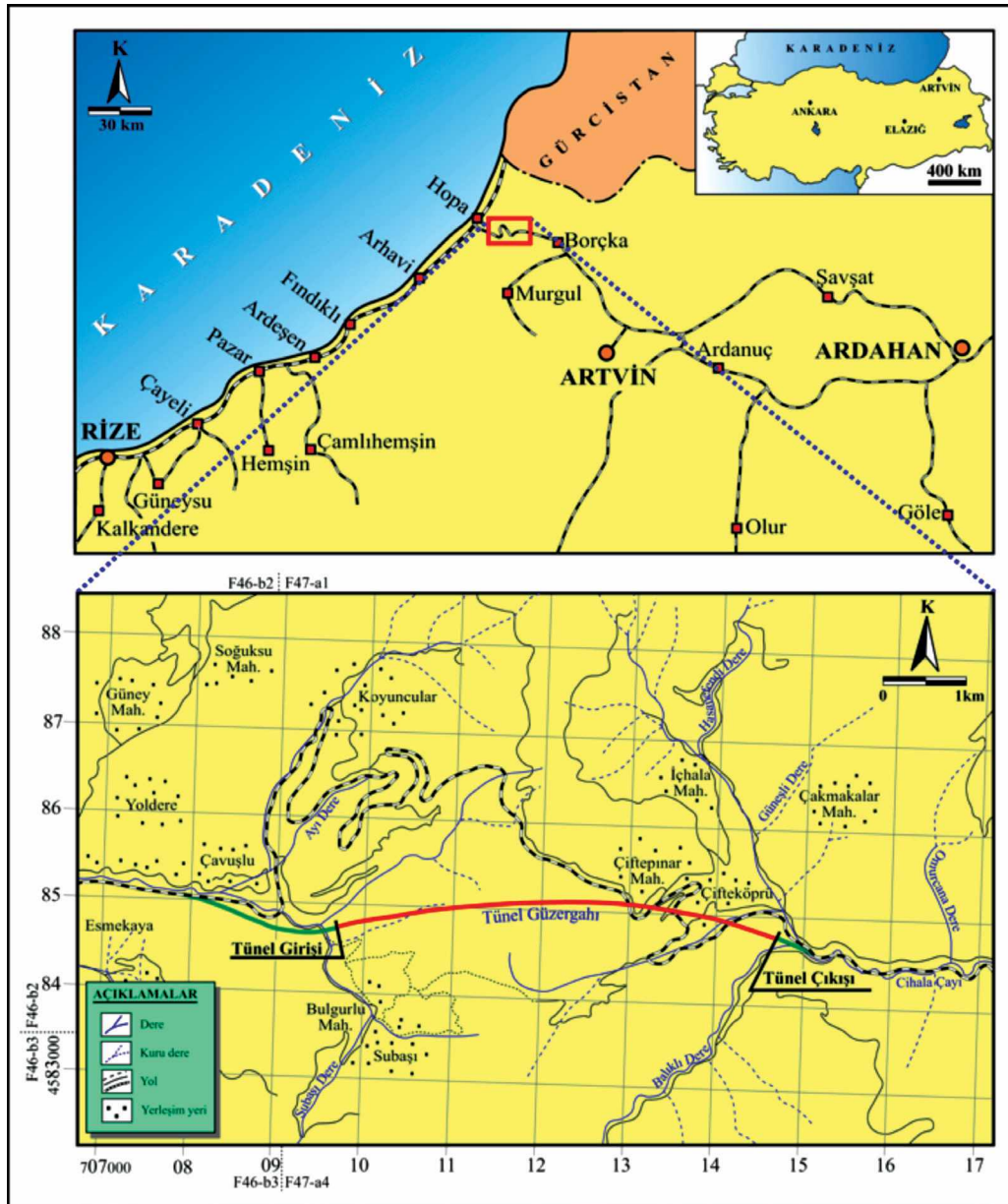
Tüneller, geometrilerinin ve üstlerine gelen yüklerin karmaşıklığı, kaya ve kaplama malzemelerinin özellikleri ve karşılıklı etkileşimleri nedeniyle projelendirmesi oldukça güç yapılarıdır. Bu nedenle tünel kazılarının, emniyeti sağlayacak en uygun tahkimat ve en az maliyetli kazı tasarımına göre projelendirilmesi gerekmektedir. Zayıf kaya kütlelerinde açılan

yeraltı kazıları, tünelcilere kazı sırasında büyük zorluklar sunmaktadır. Bu tür ortamlarda açılması planlanan tünellerin duraylılığı, tasarım aşamasında yapılacak ayrıntılı mühendislik jeolojisi çalışmalarıyla incelenmelidir. Yeraltı kazılarının duraylılığının belirlenmesi konusunda bir çok araştırmacı (Singh vd., 1992; Aydan vd., 1993; Barla, 1995; Goel vd., 1995; Hoek vd., 1995; Bhasin ve Grimstad, 1996; Carranza-Torres ve Fairhurst, 1999; Carranza-Torres ve Fairhurst, 2000) ampirik eşitlikler önermiş ve bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişmeler sayesinde de Sonlu Eleman (FEM), Ayrık Eleman (DEM), Sonlu Farklar (FDM) ve Sınır Eleman (BEM) gibi yeni nümerik analiz yöntemleri geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, 5288 m uzunluğu ile Türkiye’de projelendirilen en uzun çift tüplü tünellerin arasında yer alan ve hâlen kazı aşamasında olan Cankurtaran (Hopa-Artvin)

tünelinin güzergâhında (Şekil 1) yüzeyleyen Paleosen yaşlı Şenkaya Sırtı formasyonu'na ait ince tabakalı marınların kazı sonrası duraylılık özellikleri araştırılmıştır. Analizlerde, zayıf kaya kütlelerinin duraylılığını belirlemek için

literatürde yaygın olarak kullanılan Singh vd. (1992), Goel vd. (1995), Bhasin ve Grimstad (1996) tarafından önerilen ampirik eşitliklerden ve nümerik analiz kapsamında da Sonlu Eleman Yöntemi'nden (FEM) yararlanılmıştır.



Şekil 1. Çalışma alanına ait yer bulduru haritası.

Figure 1. Location map of the study area.

MATERYAL VE YÖNTEM

Cankurtaran (Hopa-Artvin) tünel güzergâhında yüzeylenen Paleosen yaşlı Şenkaya Sırtı formasyonu'na ait ince tabakalı marnlar, çıkış portalından itibaren yaklaşık 550 m sonra tünelin 300 m'lik kısmında yer almaktadır. En büyük örtü yükü kalınlığının 80 m olduğu tünelin bu bölümünde; 12 m genişliğinde, 10.5 m yüksekliğinde modifiye at nalı şekilli üst yarı, alt yarı ve taban kazı modelinin uygulanması planlanmaktadır. Tünel güzergâhında yüzeylenen diğer litolojik birimler zayıf kaya kütleli özelliği taşımadığından, bu proje kapsamında marnların kazı sonrası davranışlarını ortaya koymak daha fazla önem arz etmektedir. Marnların mühendislik özelliklerini belirlemek için 180 m uzunluğundaki YSK-7 ve 61 m uzunluğundaki YSK-1 numaralı temel sondajlarından ve yol şevlerinde yapılan hat etütlerinden yararlanılmıştır. Marn kaya kütleindeki süreksizliklerin özellikleri, ISRM (1981) tarafından önerilen ölçütlerine göre tanımlanmıştır. Gümüşhane Üniversitesi'nin Uygulamalı Jeoloji Laboratuvarı'nda, alınan kaya malzemeleri üzerinde çalışmanın amacına uygun olan fiziko-mekanik deneyler yapılmıştır. Bu amaçla, ISRM (1977 ve 1985) tarafından önerilen yöntemlere göre birim hacim ağırlık ve nokta yükleme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler yardımıyla marnlar, Q (Barton vd., 1974), RMR (Bieniawski, 1989) ve GSI (Sönmez ve Ulusay, 2002) sistemleri kullanılarak sınıflandırılmıştır. Deformasyon modülü (E_m), tek eksenli basınç dayanımı (σ_{cm}), kaya kütle sabitleri (m_b , s , a) ve artık kaya kütle sabitleri (m_{br} , s_r , a_r) ise Çizelge 4'te sunulan araştırmacılar tarafından önerilmiş ampirik eşitlikler yardımıyla belirlenmiştir. Dinamik poisson oranı (ν) ise sismik kırılma ölçümleriyle

elde edilen elastik ses dalgasının boyuna (V_p) ve enine (V_s) yayılma hızları yardımıyla tespit edilmiştir.

Marnlarda açılacak tünelin duraylılık özellikleri, ilk önce Singh vd. (1992), Goel vd. (1995) ve Bhasin ve Grimstad (1996) tarafından önerilmiş ampirik yöntemler ile araştırılmış, elde edilen sonuçlar, sonlu elemanlar tabanlı Phase² v7.0 (Rocscience, 2008) programında yapılan nümerik analizin sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

ÇALIŞMA ALANININ VE ÇEVRESİNİN JEOLJİSİ

Çalışma alanı ve çevresinde, yaşlıdan gence doğru Geç Kretase yaşlı Subaşı Sırtı formasyonu, Geç Kretase-Paleosen yaşlı Cankurtaran formasyonu, Paleosen yaşlı Şenkaya Sırtı formasyonu, Eosen yaşlı Kabaköy formasyonu ile Kuvaterner yaşlı alüvyonlar ve yamaç molozları yüzeylenmektedir (Çapkınoğlu, 1981; Güven, 1993).

Subaşı Sırtı formasyonu, tabanda piroklastitlerle başlayıp kireçtaşı, marn, kumtaşı, tuf, silttaşı arakatıkları içeren ve tavana doğru tekrar piroklastit seviyesi ile son bulan bir volkano-tortul istif özelliğindedir. Birim, Cankurtaran tünelinin giriş bölümünün yer aldığı Subaşı Köyü civarında genişçe yüzeylenmektedir. Subaşı Sırtı formasyonu'nun üzerine uyumlu olarak gelen Cankurtaran formasyonu, tabanda ve tavanda ince tabakalanmalı marn ara seviyeleri içeren kireçtaşlarından, orta kısmında kalın tabakalı kireçtaşlarından oluşmaktadır. Birim, tünel güzergâhının orta kısmında yüzlek vermektedir. Çalışmanın konusunu oluşturan Şenkaya Sırtı formasyonu ise, bordo, gri ve kirli sarı renkli marnlardan oluşmakta olup, yer yer

ince tabakalanmalı kırmızı ve gri renkli kireçtaşı ile ince orta tabakalanmalı kiltası ara seviyeleri içermektedir (Şekil 2a, b). Marnlar bordo, gri ve kirli sarı renkli olup, genellikle belirgin bir

ve yoğun bir biçimde kloritleşmiştir. Çalışma alanı içindeki akarsu vadilerinin hem dar hem de oldukça yüksek eğimli olmasından dolayı alüvyon oluşukları iri bloklu malzemeler



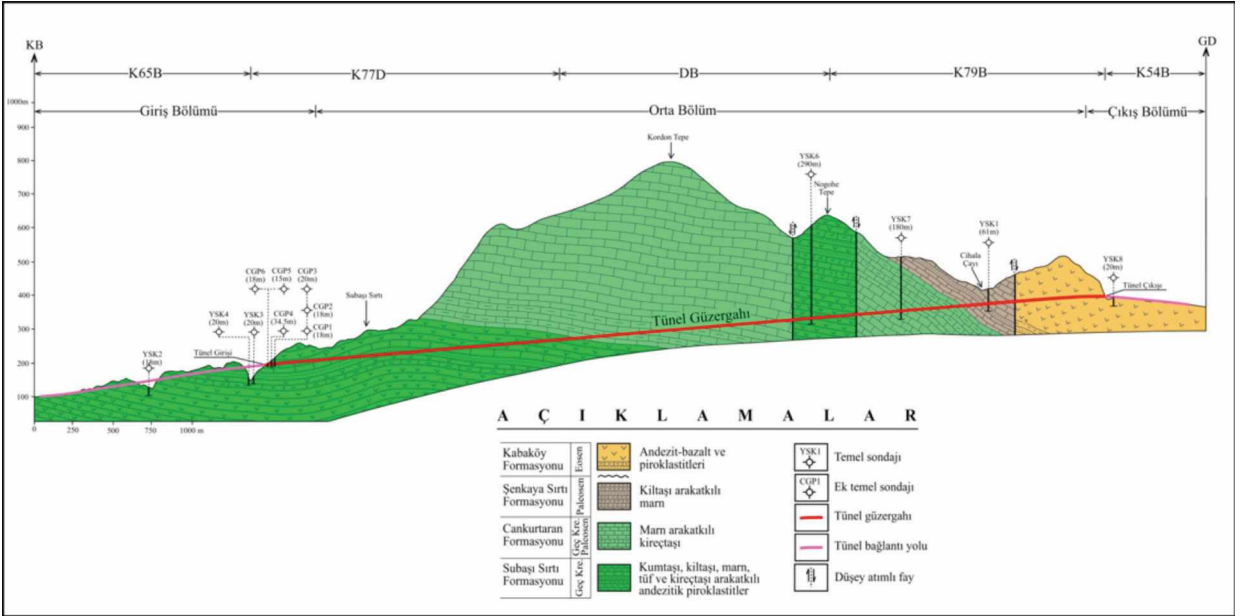
Şekil 2. Şenkaya Sırtı formasyonu'na ait marnların arazideki görünümü.

Figure 2. Field view of the marls belong to Şenkaya Sırtı formation.

tabakalanma göstermezler. Bazen kalın, çok kalın yer yer de masif bir görünüm sunarlar. Bol çatlaklı ve dağınık olup, yer yer yumrulu ve laminalı bir yapı gösterirler. Paleosen yaşlı birimlerin üzerine taban konglomerası ile açısız uyumsuzlukla gelen Kabaköy formasyonu ise, tabanda kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve marn tabakaları içeren andezit-bazalt ve piroklastitlerden oluşmaktadır. Formasyonun tabanındaki tortul seviye Cankurtaran tünelinin çıkış bölümünde gözlenemediğinden, Şenkaya Sırtı formasyonu ile Kabaköy formasyonu arasındaki sınırın bu alanda faylı olduğu düşünülmektedir. Bu bölgedeki bazaltlar, faylanmadan dolayı eklemlili ve düşük dayanımlı bir yapı kazanmış

şeklinde kendini göstermektedir. Tünel çıkış bölümünün bulunduğu Çiftköprü yöresindeki Cihala Çayı'nın birleştiği Çoruh Nehri boyunca, Kuvaterner yaşlı alüvyonlar yoğun şekilde gözlenmektedir. Yamaç molozları, çalışma alanı içindeki yamaç eteklerinde yer almakta olup, bunlar yamaçların bulunduğu alandaki kayaç türlerine göre köşeli, yassı ve bazıları küt köşeli, blok, çakıl, kum, silt ve killerden oluşmuşlardır. Silt ve kil miktarı, diğer elemanlara göre daha fazladır.

Cankurtaran tünel güzergâhındaki birimlerin birleştirilmiş Jeolojik kesit üzerindeki görünümü Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Cankurtaran tünel güzergâhındaki birimlerin birleştirilmiş jeolojik kesiti üzerindeki görünümü (Kaya, 2012).

Figure 3. Combined cross-section view of the geological units on the route of the Cankurtaran tunnel (Kaya, 2012).

KAYA MALZEMELERİNİN FİZİKO-MEKANİK VE ELASTİK ÖZELLİKLERİ

Bu çalışmada, marn tabakalarından alınan bloklardan laboratuvarında dikdörtgenler prizması şeklinde örnekler hazırlanmış ve kaya malzemelerine ait birim hacim ağırlık değerleri belirlenmiştir. Deneyler, ISRM (1977) tarafından önerilen yöntemler esas alınarak yapılmıştır. Birim hacim ağırlık hesaplamaları yapılırken prizmatik örneklerin hacim ve ağırlıkları dikkate alınmıştır.

Marnların yüksek süreksizlik sıklığına sahip olması nedeniyle, açılan temel sondajlarından, tek eksenli basınç deneyi için standartlara uygun boyutlarda örnekler hazırlanamamıştır. Bu nedenle, kaya malzemelerinin tek eksenli basınç dayanımını belirlemede nokta yükleme deneyinden yararlanılmıştır. Nokta yükleme

deneyleri ISRM (1985) tarafından önerilen yöntemlere göre gerçekleştirilmiştir. ISRM (1985) tarafından önerilen yöntemde, kaya malzemesine ait nokta yük dayanım indeksinin 20-25 katının tek eksenli basınç dayanımına eşit olduğu belirtilmiştir. Kaya malzemesine ait tek eksenli basınç dayanımı değerleri hesap edilirken güvenli tarafta kalmak için nokta yük dayanım indeksi değerinin 20 katı alınmıştır. Ortalama tabaka kalınlığı 2.12 cm olan marnların elastisite modülünü doğrudan ve dolaylı yöntemlerle belirlemede zorluklar yaşandığından, Sönmez vd. (2006) tarafından önerilen abakta tek eksenli basınç dayanımı ve birim hacim ağırlık değerleri çakıştırılarak elastisite modülü tahmin edilmiştir.

Kaya malzemesinin birim hacim ağırlık, nokta yük dayanım indeksi, tek eksenli basınç dayanımı ve elastisite modülü değerleri özet olarak Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Marnlara ait birim hacim ağırlık, nokta yük dayanım indeksi, tek eksenli basınç dayanımı ve elastisite modülü değerleri

Table 1. Unit weight, point load strength index, uniaxial compressive strengt and modulus of elasticity values of the marls

	Örnek sayısı	Ortalama	En büyük	En küçük	Std. Sp.
Birim hacim ağırlık (g, kN/m ³)	10	22.73	24.73	18.95	0.0022
Nokta Yük Dayanım İndeksi ($I_{s(50)}$, MPa)	53	1.31	2.82	0.27	0.66
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (σ_{ci} , MPa)	-	26.19	56.31	5.37	13.27
Elastisite Modülü (E_p , GPa)	-	8.9	23.1	4.2	-

SÜREKSİZLİKLERİN ÖZELLİKLERİ

Cankurtaran tünel güzergâhındaki marnların içerdiği süreksizliklerin özelliklerini belirlemek için, YSK-2 ve YSK-7 numaralı temel sondajlarından ve yol şevlerinde yapılan hat etütü çalışmalarından yararlanılmıştır. Süreksizliklerin özellikleri, ISRM (1981) tarafından önerilen ölçütlerine göre tanımlanmıştır. Hat etütü çalışmaları ile süreksizliklere ait yönelim, ara uzaklık, açıklık, devamlılık, yüzey pürüzlülüğü ve dalgalılığı, bozunma derecesi, dolgu malzemesinin özelliği ve yüzeylerindeki su durumu gibi özellikler tespit edilmiştir. ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilen süreksizliklerin özellikleri Çizelge 2’de verilmiştir.

Elde edilen veriler yardımıyla hesaplanan süreksizlik sıklığı (λ) değerinin 41-94 m⁻¹ arasında değiştiği ve ortalama 63 m⁻¹ olduğu;

kaya kalite göstergesi (RQD) değerinin % 0 ile % 8 arasında değiştiği ve ortalama %3 olduğu, hacimsel eklem sayısı (J_v) değerinin ise 131.61 eklem/m³ olduğu belirlenmiştir. Marnlarda sistematik süreksizliklerin yanı sıra düzensiz süreksizliklerin de gelişmiş olması nedeniyle RQD’yi belirlemek için Priest ve Hudson (1976) tarafından önerilen (1) numaralı eşitlikten; J_v ’yi belirlemek için ise Palmström (1982, 1985 ve 1996) tarafından önerilen (2) numaralı eşitlikten yararlanılmıştır.

$$RQD = 100e^{-0.1\lambda} (0.1\lambda + 1) \quad (1)$$

Burada; λ : 1 metre uzunluğundaki ölçüm hattını kesen ortalama süreksizlik sayısıdır.

$$J_v = \frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} + \frac{1}{S_3} + \dots + \frac{1}{S_n} \quad (2)$$

Burada; S_n : gözlenen her bir süreksizlik takımı için bulunan metre cinsinden ara uzaklık değeridir.

Kaya, Bulut

Çizelge 2. Marnlardaki süreksizliklerin ISRM (1981) tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi.

Table 2. Evaluation of the discontinuities in marls according to the definition criteria of ISRM (1981).

Süreksizlik özelliği				
Süreksizlik takımları	60/15	57/289	37/20	47/170
Süreksizlik türü	Eklem	Eklem	Eklem	Tabaka
Süreksizlik ara uzaklığı (cm)	6.89	3.56	2.39	2.12
Tanımlama (ISRM, 1981)	Yakın ara uzaklıklı	Dar ara uzaklıklı	Dar ara uzaklıklı	Dar ara uzaklıklı
Süreksizlik açıklığı (mm)	1.1	1.1	1.1	1.05
Tanımlama (ISRM, 1981)	Açık	Açık	Açık	Açık
Süreksizlik devamlılığı (m)	9.66	9.66	9.66	27.11
Tanımlama (ISRM, 1981)	Orta derecede devamlı	Orta derecede devamlı	Orta derecede devamlı	Çok yüksek devamlı
Süreksizlik pürüzlülüğü (JRC)	12-14	12-14	12-14	2-4
Tanımlama (ISRM, 1981)	Dalgalı pürüzlü	Dalgalı pürüzlü	Dalgalı pürüzlü	Düzlemsel pürüzlü
Süreksizliklerdeki dolgu malzemesinin özelliği	Çok ince kil sıvaması	Çok ince kil sıvaması	Çok ince kil sıvaması	Çok ince kil sıvaması
Süreksizlik yüzeylerinin bozunma derecesi (ISRM, 1981)	Az bozunmuş	Az bozunmuş	Az bozunmuş	Az bozunmuş
Süreksizlik yüzeylerindeki su durumu (ISRM, 1981)	Çok az sızıntı gözleniyor	Çok az sızıntı gözleniyor	Çok az sızıntı gözleniyor	Çok az sızıntı gözleniyor

KAYA KÜTLE SINIFLAMA SİSTEMLERİNE GÖRE MARNLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Kaya malzemelerine ait mekanik özellikler ve süreksizliklere ait özellikler yardımıyla Cankurtaran tünel güzergahında yer alan marnlar, Q (Barton vd., 1974), RMR (Bieniawski, 1989) ve Sönmez ve Ulusay (2002) tarafından yeniden düzenlenmiş GSI (Marinos ve Hoek,

2000) sistemleri kullanılarak sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma yapılırken güvenli tarafta kalmak amacıyla marnlar için değerlendirilen parametrelerin en düşük değerleri göz önüne alınmıştır. Marnların, Bieniawski (1989)'a göre "çok zayıf", Barton vd. (1974)'e göre "son derece zayıf", Sönmez ve Ulusay (2002)'ye göre ise "bloklu/örselenmiş" kaya sınıfında olduğu saptanmıştır. Belirlenen RMR, Q ve GSI değerleri Çizelge 3'te sunulmuştur.

Çizelge 3. Marnların RMR₈₉, Q ve GSI sınıflama sistemlerine göre değerlendirilmesi.

Table 3. Evaluation of the marls according to the RMR, Q ve GSI classification systems.

Kaya kütle sınıflama sistemi	Değerlendirme
Temel RMR	26.1
Nihai RMR	21.1
Düzeltilmiş RMR	13.3
Tanımlama (Bieniawski, 1989)	Çok zayıf
Q	0.015
Q _N	0.15
Tanımlama (Barton vd., 1974)	Son derecede zayıf
GSI	24
Tanımlama (Sönmez ve Ulusay, 2002)	Bloklu/örselenmiş
Q: Kaya kütle kalitesi Q _N : SRF içermeyen Q SRF: 10 alınmıştır	RMR ₈₉ : Kaya kütle puanlaması GSI: Jeolojik dayanım indeksi

MARLARIN KÜTLE ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Marn kaya kütlelerine ait dinamik poisson oranı (ν) değerini belirlemek için elastik ses dalgasının boyuna (V_p) ve enine (V_s) yayılma hızlarından yararlanılmıştır. Bu amaçla, belirlenen en uygun yerde 12 kanallı Geometrics marka ve ES3000 model araştırma sismografi kullanılarak sismik kırılma ölçümleri alınmıştır. ASTM (2005) tarafından önerilen eşitlik kullanılarak dinamik poisson oranı (ν) değeri saptanmıştır.

Hoek vd. (2002) tarafından önerilen eşitliklerle marnların tek eksenli basınç dayanımı (σ_{cm}) ve kaya kütle sabitleri (m_b , s , a) belirlenmiş, deformasyon modülü (E_m) ise Hoek ve Diederichs (2006) tarafından önerilen eşitlik kullanılarak tespit edilmiştir.

Kaya kütlelerinin yenilme sonrası nasıl bir davranış göstereceğinin bilinmesi, yeraltı

kazılarının tasarımında ve duraylılığında önemlidir. Tünel duvarları gibi sınırlandırılmış ortamlarda çoğu kaya kütle dayanım azalmasına uğrar ve birim deformasyon artık dayanım seviyesine ulaşır (Cai vd., 2007). Marn kaya kütlelerinin yenilme sonrasındaki durumuna ait artık kaya kütle sabitleri (m_{br} , s_r , a_r) ise Cai vd. (2007) tarafından önerilen eşitlikler kullanılarak belirlenmiştir.

Ayrıca, marnlar için kaya malzemesi sabiti olan m_i 'yi belirlemek için, RocLab v1.0 (Rocscience, 2002) programından yararlanılmış ve 7 olarak seçilmiştir. Marnlarda mekanik yeraltı kazısının uygulanacağı varsayılmış ve örselenme faktörü (D) sıfır kabul edilmiştir.

Nümerik analizlerde kullanılmak amacıyla belirlenen dinamik poisson oranı (ν), deformasyon modülü (E_m), tek eksenli basınç dayanımı (σ_{cm}), kaya kütle sabitleri (m_b , s , a), artık kaya kütle sabitleri (m_{br} , s_r , a_r) ve hesaplamalarda kullanılan eşitlikler Çizelge 4'te sunulmuştur.

Kaya, Bulut

Çizelge 4. Marnlara ait kaya kütle özellikleri ve bunların belirlenmesine yönelik, bazı araştırmacılar tarafından önerilen ampirik eşitlikler.

Table 4. Rock mass properties of the marls and empirical equations suggested by some researchers to determine them.

Araştırmacı	Eşitlik	Not	Değerler
ASTM (2005)	$v = \left(V_p^2 - 2V_s^2 \right) / 2 \left(V_p^2 - V_s^2 \right)$	V_p : 1150 m/sn V_s : 600 m/sn	0.31
Hoek ve Diederichs (2006)	$E_m = 100 \left(\frac{1 - D / 2}{1 + e^{((75+25D-GSI)/11)}} \right)$	GPa	0.48
Hoek vd. (2002)	$\sigma_{cm} = \sigma_{ci} s^a$	MPa	0.29
Hoek vd. (2002)	$m_b = m_i e^{\left(\frac{GSI-100}{28-14D} \right)}$	m_i : 7 D : 0	0.46
Hoek vd. (2002)	$s = e^{\left(\frac{GSI-100}{9-3D} \right)}$	D : 0	0.00022
Hoek vd. (2002)	$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right)$		0.533
Cai vd. (2007)	$m_{br} = m_i e^{\left(\frac{GSIr-100}{28} \right)}$		0.37
Cai vd. (2007)	$s_r = e^{\left(\frac{GSIr-100}{9} \right)}$		0.000103
Cai vd. (2007)	$a_r = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-GSIr/15} - e^{-20/3} \right)$		0.552

GSI_r : Artık jeolojik dayanım indeksi ($GSI_r = GSI e^{-0.0134GSI}$)
 σ_{ci} : Kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı (MPa)
 V_p : Elastik ses dalgasının boyuna yayılma hızı (m/sn)
 V_s : Elastik ses dalgasının enine yayılma hızı (m/sn)

GSI : Jeolojik dayanım indeksi
 D : Örselenme faktörü
 m_i : Kaya malzemesi sabiti

AMPIRİK VE NÜMERİK YÖNTEMLERLE DURAYLILIK ANALİZİ

Desteklenmemiş bir tünelin duraylı olarak kabul edilebilmesi için açıldığı kaya kütlelerine ait tek eksenli basınç dayanımının, açıklığın etrafında gelişen gerilmelerden büyük olması gerekmektedir. Bu iki parametrenin bilinmesi halinde kaya kütlelerinin kazı sonrası davranışı tahmin edilebilir. Yeraltı açıklıklarının duraylılığı, duraylılık analizlerinde güvenlik sayısı (G_s) ile ifade edilmektedir. Güvenlik sayısı, tünelin açıldığı kaya kütlelerine ait tek eksenli

basınç dayanımının tünel açıklığının etrafında gelişen gerilmeye oranı olarak tanımlanmaktadır. Bu oran 1'den büyük olursa, tünelde duraysızlık sorununun gerçekleşmeyeceği kabul edilir. Duraylılık analizleri, iki boyutlu düzlemsel bozunum prensibine göre yapılmış olup, güvenlik sayıları ise hidrostatik gerilme altındaki yeraltı açıklıkları için kritik bölge olarak kabul edilen tavan için belirlenmiştir.

Singh vd. (1992) tarafından geliştirilen sıkışma derinliği kriterine göre, yeraltı açıklıklarının duraylılığı, kaya kütlelerinin kalitesi

(Q) ve örtü yükü kalınlığı (H) tarafından kontrol edilmektedir. Buna göre, Q değeri bilinen bir kaya kütleğinde, birimi metre olan $(350Q^{1/3})$ sınır derinliğinden daha derinde bir tünel açılırsa duraysızlık sorunu meydana gelir. Bu durumda (3) numaralı eşitlikte de gösterildiği gibi bir tünelin duraylı olabilmesi için $(350Q^{1/3}) > H$ koşulunun sağlanması gerekmektedir.

$$G_s = \frac{350Q^{1/3}}{H} \quad (3)$$

Burada; Q: kaya kütle kalitesi ve H: örtü yükü kalınlığıdır (m).

Goel vd. (1995) ise sıkışma derinliği üzerinde, kaya kütle kalitesi (Q) ve örtü yükü kalınlığının (H) yanı sıra açıklık genişliğinin (B) de etkili olduğunu belirtmiş ve sıkışma derinliğini, birimi metre olan $[(275Q_N^{0.33})B^{-0.1}]$ eşitliği ile tanımlamıştır. Benzer şekilde, Goel vd. (1995)'in kriterine göre, bir yeraltı açıklığının duraylı olabilmesi için $[(275Q_N^{0.33})B^{-0.1}] > H$ koşulunun sağlanmış olması gerekmektedir (Eşitlik 4).

$$G_s = \frac{(275Q_N^{0.33})B^{-0.1}}{H} \quad (4)$$

Burada; Q_N : SRF içermeyen Q, B: yeraltı açıklığının genişliği (m) ve H: örtü yükü kalınlığıdır (m).

Bhasin ve Grimstad (1996)'nın duraylılık kestirimi kriterine göre, bir tünel açıklığındaki en büyük asal gerilme (σ_1), polar koordinat sisteminde en büyük teğetsel gerilmedir (σ_θ) ve hidrostatik gerilme alanı altında ise düşey gerilmenin (σ_v) yaklaşık olarak iki katıdır. Kaya kütleğine ait tek eksenli basınç dayanımı (σ_{cm}), tünel duvarında gelişen en büyük teğetsel gerilmeden (σ_θ) büyük olursa tünelde duraysızlık sorunu gerçekleşmez. Bu durumda, güvenlik sayısı (5) numaralı eşitlikle tanımlanır.

$$G_s = \frac{\sigma_{cm}}{\sigma_\theta} = \frac{\sigma_{cm}}{2\sigma_v} \quad (5)$$

Burada; σ_{cm} : kaya kütleğinin tek eksenli basınç dayanımı (MPa), σ_θ : en büyük teğetsel gerilme (MPa) ve σ_v : düşey gerilmedir (MPa).

Tünelin açılacağı derinlikte oluşacak düşey gerilme (σ_v) miktarının belirlenmesinde, örtü yüküne bağlı olarak derinlikle birlikte arttığı kabulünün yapıldığı Fenner (1938) tarafından aşağıda önerilen eşitlik kullanılmıştır.

$$\sigma_v = \gamma H \quad (6)$$

Burada; γ : birim hacim ağırlık (MN/m^3) ve H: örtü yükü kalınlığıdır (m).

Örselenmemiş yatay gerilme (σ_h) miktarını ölçmek oldukça zordur. Yatay gerilme, sıg derinliklerde oldukça değışkendir ve derinlere inildikçe hidrostatik olarak artma eğilimindedir. Bu çalışmada, tünelin açılacağı derinlikte oluşacak yatay gerilme miktarını belirlemek için Sheorey vd. (2001) tarafından önerilen aşağıdaki eşitlikten yararlanılmıştır.

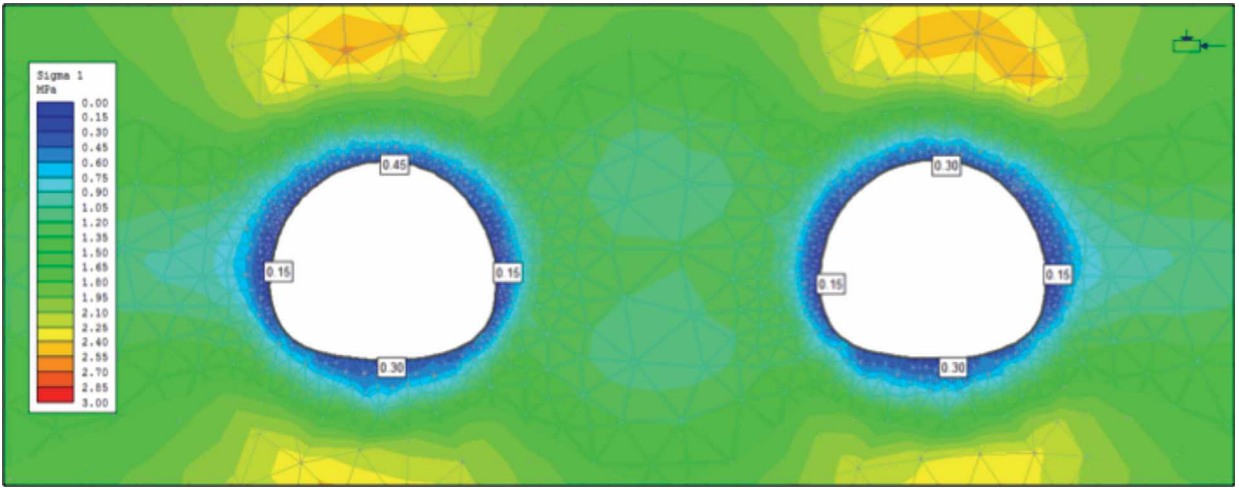
$$\sigma_h = \frac{\nu}{1-\nu} \sigma_v + \frac{\beta E_m G}{1-\nu} (H + 1000) \quad (7)$$

Burada; β : lineer ısıl genleşme katsayısı ($8 \times 10^{-6}/^\circ C$), G: jeotermik gradyan ($0.024 \text{ }^\circ C/m$), ν : kaya kütleğinin poisson oranı, H: örtü yükü kalınlığı (m) ve E_m : kaya kütleğinin deformasyon modülüdür (GPa).

Nümerik duraylılık analizleri kapsamında ise Rocscience (2008) tarafından geliştirilen "Phase² v7.0" (Plastic Hybrid Analysis of Stress for Estimation of Support) sonlu elemanlar programından yararlanılmıştır. Marn kaya kütleğinin için 12 m genişliğinde ve 10.5 m yüksekliğinde

üst yarı, alt yarı ve taban kazı modeli uygulanarak 18 m mesafeli çift tüp kazı kesiti oluşturulmuştur. Yapılan modellemede, detay analiz için kazı etrafında hassas zonlama yapılmış ve üç düğüm noktalı üçgen sonlu elemanlar kullanılmıştır. “Elastic-Perfectly Plastic (EPP)” malzeme olarak kabul edilen marn kaya kütlesi, yoğun süreksizlik içermesi nedeniyle analizlerde sürekli ortam olarak değerlendirilmiştir. Nümerik analiz için oluşturulan modelin üst kısmı, örtü yüksekliği göz önüne alınarak sınırlandırılmıştır. Kazı etrafında oluşacak en büyük asal gerilme (σ_1) miktarını ve yenilen sonlu elemanları

belirlemek için yapılan analizlerde, Hoek vd. (2002) tarafından önerilen yenilme kriterinden yararlanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda en büyük asal gerilme değerinin sol tüpün tavanında 0.45 MPa, sağ tüpün tavanında ise 0.30 MPa olduğu belirlenmiştir (Şekil 4). Duraylılık kabulü için $\sigma_{cm} > \sigma_1$ koşulunun sağlanması gerekli olduğundan, (8) numaralı eşitlikte verilen güvenlik sayısı, kaya kütlelerine ait tek eksenli basınç dayanımının (σ_{cm}) tünelin tavanında oluşan en büyük asal gerilmeye (σ_1) oranı olarak belirlenmiştir.



Şekil 4. Sonlu Eleman Yöntemi (FEM) ile desteksiz tünel açıklığı etrafında gelişecek en büyük asal gerilme dağılımlarının belirlenmesi.

Figure 4. Determination of the maximum principal stress distribution developed around the tunnel opening by Finite Element Method (FEM).

$$G_s = \frac{\sigma_{cm}}{\sigma_1} \quad (8)$$

Burada; σ_{cm} : kaya kütlelerinin tek eksenli basınç dayanımı (MPa), σ_1 : en büyük asal gerilmedir (MPa).

Ampirik ve nümerik yöntemler kullanılarak yapılan analizler sonucunda belirlenen güvenlik sayıları özet olarak Çizelge 5’te verilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, düşey gerilmenin 1.82 MPa olduğu 80 m derinlikte, modifiye at nalı şekilli bir açıklık oluşturulursa, Singh vd. (1992)

ve Goel vd. (1995) tarafından önerilen sıkışma derinliği kriterlerine göre güvenlik sayısı, limit denge durumu olan 1'den büyük çıkmakta ve duraysızlık sorunu beklenmemektedir. Ancak, Bhasin ve Grimstad (1996) tarafından önerilen

duraylılık kestirimi kriterine ve Sonlu Eleman Yöntemi ile (FEM) yapılan nümerik analize göre ise güvenlik sayısı 1'den küçük çıkmakta ve desteksiz koşullar için duraysızlık sorununun gerçekleşebileceği sonucuna varılmaktadır.

Çizelge 5. Farklı yöntemlere göre belirlenmiş güvenlik sayıları.

Table 5. Factor of safety values determined by different methods.

Kriter	Güvenlik sayısı (Gs)	Duraylılık durumu
Singh vd. (1992)	1.08	Duraylı
Goel vd. (1995)	1.43	Duraylı
Bhasin ve Grimstad (1996)	0.08	Duraysız
FEM	Sol tüp 0.64	Duraysız
	Sağ tüp 0.97	Duraysız
B: 12 m H: 80 m Q: 0.15 Q _N : 0.015	σ_v : 1.82 MPa σ_h : 0.82 MPa σ_e : 3.64 MPa σ_{cm} : 0.29 MPa	σ_1 : 0.45 MPa (Sol tüp) σ_1 : 0.45 MPa (Sağ tüp) γ : 0.23 MN/m ³

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Cankurtaran (Hopa-Artvin) tünel güzergahında yüzeylenen zayıf kaliteli kaya özelliğindeki Paleosen yaşlı Şenkaya Sırtı formasyonu'na ait marnların kazı sonrası duraylılık özellikleri, ampirik ve nümerik yöntemler yardımıyla incelenmiştir. Bu amaçla, zayıf kaya kütlelerinin duraylılığını belirlemede literatürde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden yararlanarak güvenlik sayısı değerleri belirlenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

1) Singh vd. (1992) tarafından önerilen sıkışma derinliği kriterine göre yapılan duraylılık analizinde, güvenlik sayısı 1.08 olarak

belirlenmiş ve tünel açıklığının duraylı olduğu saptanmıştır.

- Goel vd. (1995)'in sıkışma derinliği kriterine göre güvenlik sayısı 1.43 olarak hesaplanmış ve tünelde her hangi bir duraysızlık sorununun gerçekleşmeyeceği sonucuna varılmıştır.
- Bhasin ve Grimstad (1996) tarafından önerilen duraylılık kestirimi kriterine göre güvenlik sayısının 0.08 olduğu tespit edilmiştir. Hesaplanan güvenlik sayısı 1'den küçük olduğu için tünel açıklığında duraysızlık sorununun gerçekleşmesi olasıdır.
- Sonlu Eleman Yöntemi ile (FEM) yapılan nümerik analize göre güvenlik sayısı sol tüp için 0.64, sağ tüp için ise 0.97 olarak

belirlenmiştir. Her iki tüpte de duraysızlık sorununun oluşması ihtimali vardır.

- 5) Singh vd. (1992) ve Goel vd. (1995)'in sıkışma derinliği kriterleriyle belirlenen güvenlik sayısının 1'den çok büyük olmaması, marnlar için güvenli tarafta kalmanın duraylılık açısından daha güvenilir olacağını göstermektedir. Bu nedenle, Cankurtaran tünelinin bu bölümünde duraysızlık sorunuyla karşılaşmamak için kısa kazı aralıklarıyla mekanik kazı yöntemi uygulanmalı ve plastik deformasyon zonunun genişlemesine izin vermeden hızlı bir şekilde en uygun destek elemanlarıyla desteklenmelidir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Rektörlüğü, Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından 2010.112.005.2 kod numaralı proje ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- ASTM (American Society for Testing and Materials), 2005. Laboratory determination of pulse velocities and ultrasonic elastic constants of rock, ASTM Publications, 7 p.
- Aydan, Ö., Akagi, T., Kawamoto, T., 1993. Squeezing potential of rocks around tunnels; theory and prediction. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 26 (2), 137-163.
- Barla, G., 1995. Squeezing rocks in tunnels. *ISRM News Journal*, 2 (3-4), 44-49.
- Barton, N., Lien, R., Lunde, J., 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mechanics*, 6, 189-239.
- Bhasin, R., Grimstad, E., 1996. The use of stress-strength relationship in the assessment of tunnel stability. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 11 (1), 93-98
- Bieniawski, Z.T., 1989. *Engineering Rock Mass Classifications*. Wiley, New York, 251 p.
- Cai, M., Kaiser, P., K., Tasaka, Y., Minami, M., 2007. Determination of residual strength parameters of jointed rock masses using the GSI system. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 4 (2), 247-265.
- Carranza-Torres, C., Fairhurst, C., 1999. The elastoplastic response of underground excavations in rock masses that satisfy the Hoek-Brown failure criterion. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 36 (6), 777-809.
- Carranza-Torres, C., Fairhurst, C., 2000. Application of the convergence-confinement method of tunnel design to rock masses that satisfy the Hoek-Brown failure criterion. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 15 (2), 187-213.
- Çapkinoğlu, Ş., 1981. Borçka-Çavuşlu (Hopa) arasının jeolojisi. K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Yüksek Lisans Tezi, 36 s (yayımlanmamış).
- Fenner, R. 1938. Untersuchungen zur erkenntnis des gebirgsdrucks. *Glückauf*, 74 (32), 681-695.
- Goel, R.K., Jethwa, J.L., Paithankar, A.G., 1995. Indian experiences with Q and RMR systems. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 10 (1), 97-109.
- Güven, İ.H., 1993. Doğu Pontidler'in jeolojisi ve 1/250.000 ölçekli komplikasyonu. MTA, Ankara (yayımlanmamış).
- Hoek, E., Diederichs, M.S., 2006. Empirical estimation of rock mass modulus. *International*

- Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 43, 203-215.
- Hoek, E., Kaiser, P.K., Bawden, W.F., 1995. Support of underground excavations in hard rock. Balkema, Rotterdam, 215 p.
- Hoek, E., Carranza-Torres, C., Corkum, B., 2002. Hoek-Brown failure criterion 2002 edition. Proceedings of the NARMS-TAC 2002, Mining Innovation and Technology, Toronto, Canada, 267-273.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1977. ISRM suggested methods: rock characterization, testing and monitoring. Pergamon Press, London, 211 p.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1981. ISRM suggested methods: the quantitative description of discontinuities in rock masses. Pergamon Press, Oxford.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1985. Suggested method for determining point load strength. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics, Abstracts, 2 (22) 53-60.
- Kaya, A., 2012. Cankurtaran (Hopa-Artvin) tünel güzergahının ve çevresinin jeoteknik açıdan incelenmesi. K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Doktora Tezi, 185 s (yayımlanmamış).
- Marinos, P., Hoek, E., 2000. GSI: A geologically friendly tool for rock mass strength estimation, International Proceedings of the GeoEng2000 at the international conference on geotechnical and geological engineering, Melbourne, Technomic Publishers, Lancaster, 1422-1446.
- Palmström, A., 1982. The volumetric joint count-a useful and simple measure of the degree of jointing,. 4th International Congress of the IAEG, November, New Delhi, Proceedings book, 221-228.
- Palmström, A., 1985. Application of the volumetric joint count as a measure of rock mass jointing. International Symposium on Fundamentals of Rock Joints, September, Sweden, Proceedings book: 103-110.
- Palmström, A., 1996. Rmi-A system for rock mass strength for use in rock engineering. Journal of Rock Mechanics and Tunnelling, 2, L, 69-108.
- Priest, S.D., Hudson, J.A., 1976. Discontinuity spacing in rock. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics, Abstracts, 13, 135-148.
- Rocscience, 2002. Roclab v1.0 rock mass strength analysis using the generalized Hoek-Brown failure criterion. Rocscience Inc., Toronto, Ontario, Canada.
- Rocscience, 2008. Phase² v7.0 finite element analysis for excavations and slopes. Rocscience Inc., Toronto, Ontario, Canada.
- Sheorey, P.R., Murali, M.G., Sinha, A., 2001. Influence of elastic constants on the horizontal in situ stress. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 38 (1), 1211-1216.
- Singh, B., Jethwa, J.L., Dube, A.K., Singh, B., 1992. Correlation between observed support pressure and rock mass quality. Tunnelling and Underground Space Technology, 7 (1), 59-74.
- Sönmez, H., Ulusay, R., 2002. A discussion on the Hoek-Brown failure criterion and suggested modification to the criterion verified by slope stability case studies. Yerbilimleri Dergisi, 26, 77-9.
- Sönmez, H., Gökçeoğlu, C., Nefeslioğlu, H.A., Kayabaşı, A., 2006. Estimation of rock modulus: For intact rocks with an artificial neural network and for rock masses with a new empirical equation. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 43, 224-235.

Karaburun Yarımadası Kireçtaşı Ocaklarında Üretilecek Blokların Hacimlerinin Ölçülen Süreksizlik Aralığı Verileriyle Tahmini

Estimation of the Mean Volume of the Producible Blocks Using the Discontinuity Spacing Data Measured in the Limestone Quarries in Karaburun Peninsula

Hakan ELÇİ¹, Necdet TÜRK²

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi, Torbalı Meslek Yüksekokulu, Geoteknik Programı, Torbalı, İZMİR.

² Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Buca, İZMİR.

Geliş (received) : 26 Nisan (April) 2013
Düzeltilme (revised) : 20 Mayıs (May) 2013
Kabul (accepted) : 04 Haziran (June) 2013

ÖZ

Blok taş işletmeciliğinde bir kaya kütlelerinden alınabilecek ortalama blok hacminin tahmin edilebilmesi ekonomik açıdan önemlidir. Bu çalışmanın ilk aşamasında Karaburun Yarımadası Mesozoyik kireçtaşlarında açılmış blok taş ocaklarında kayıt olunan süreksizlik ölçülerinin, literatürde önerilen eşitlikler kullanılarak yapılan analizlerden, bu taş ocaklarından alınabilecek ortalama blok hacimleri hesaplanmıştır. Yazarlar tarafından önerilen blok kalite katsayısı (BQD) yöntemiyle hesaplanan blok hacim değerlerinin literatürde önerilen yöntemlerden kayaçların hacimsel eklem sayısını (J_v) kullanarak ($V_i = 36/J_v^3$) hesaplanan blok hacim değerlerine yakın sonuçlar verdiği belirlenmiştir. İkinci aşamada, Karaburun Yarımadası'nda işletilmekte olan blok taş ocaklarından çıkarılan 2378 bloğa ait ortalama blok hacmi (V_b), hacimsel eklem sayısı (J_{vb}) ve blok şekil faktörü (β_b) katsayıları elde edilmiş ve bu katsayıların ortalama değerleri, arazide ölçülen süreksizlik aralığı verilerinden hesaplanan yerinde ortalama blok hacmi (V_i) ve hacimsel eklem sayısı (J_{vi}), ile karşılaştırılmıştır. Arazide ölçülen süreksizlik aralığı verilerinden, herhangi bir taş ocağından üretilebilecek blokların ortalama hacimlerinin tahmin edilmesine olanak sağlayacak ilişkiler belirlenmiş ve genel kullanım için grafik olarak verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Blok Hacmi, Blok Kalite Katsayısı, Karaburun, Mesozoyik kireçtaşı, Süreksizlik aralığı.

ABSTRACT

It is important from the economy point of view to be able to estimate the mean block volume obtainable from a rock mass in block stone quarrying operations. In the first stage of this study, the mean block volumes likely to be obtainable from the Mesozoic limestone quarries of the Karaburun Peninsula are estimated by analyzing the discontinuity measurements made in these quarries using the equation given in literature. It has been found that the rock block designation method (BQD) proposed by the author has given closer results to the block volume values estimated using the volumetric joint count (J_v) as $V_i = 36/J_v^3$ among the suggested block volume estimation method given in literature. In the second stage, the mean block volume (V_b), the volumetric joint count (J_{vb}) and the block shape factors (β_b) values of 2378 blocks produced from the working quarries of Karaburun Peninsula are compared with the mean block volumes (V) and the volumetric joint counts (J_v) estimated by using the field discontinuity spacing measurements. Relations are given for estimating the mean block volume producible from a quarry using the field discontinuity spacing measurements and they are presented as a graph for general use.

Key Words: Blok volume, Blok Quality Designation, Karaburun, Mesozoic limestone, Discontinuity spacing

1. GİRİŞ

Bir kaya kütesinden elde edilecek blok boyutları süreksizlik düzlemleri tarafından denetlenir. Dolayısıyla herhangi bir kaya kütesinde blok taş işletmeciliğine başlanmadan önce o kaya kütesinden alınabilecek ekonomik blok boyutlarını tahmin edebilmek için süreksizliklerin aralıklarını belirlemek ve analiz etmek oldukça önemlidir. Süreksizlik aralıklarının analizi sadece üretilebilecek blok hacmini tahmin edebilmek için değil, aynı zamanda kaya kütesinin ekonomik olarak işletilebilir bölümlerinin de belirlenmesine imkân sağlar.

Literatürde, süreksizlik aralıklarını kullanarak blok boyutunu belirlemek için yapılmış çok sayıda çalışma vardır. Priest

ve Hudson (1976) süreksizlik düzlemlerinin bulunuş geometrileri açısından oldukça düzensiz şekiller oluşturduğunu, bunların geometrilerini açıklamak ve buna bağlı modeller yapmak için istatistiksel yöntemlerin kullanılmasının gerektiğini belirtmişlerdir. Attawell ve Farmer (1976), Priest ve Hudson (1976), Hudson ve Priest (1979), Einstein ve diğ. (1983), Ulusay ve Sönmez (2007), süreksizlik düzlemlerinin geometrilerini iki boyutlu ve düzensiz dağılmış çizgiler şeklinde tanımlamışlar, süreksizlik aralıkları ile frekanslar arasında negatif eksponansiyel bir ilişki olduğunu belirtmişler ve bu ilişkiyi de;

$$f(S_m) = \lambda e^{-\lambda S_m} \quad (1)$$

eşitliği ile açıklamışlardır. Eşitlikte;

$$f(S_m): \text{Olasılık}$$

λ : Ortalama süreksizlik sıklığını

S_m : Ortalama süreksizlik aralığını belirtmektedir.

Süreksizlik aralıklarının dağılımlarını istatistiksel olarak modelleyen araştırmacıların büyük çoğunluğu negatif eksponansiyel dağılım önerirken, Wang (1992); Lu ve Latham (1999); Priest (1993); Wittke (1990); Barton ve Zobak (1990); Doyuran ve diğ. (1993) log normal dağılımını önermiştir. Rouleau ve Gale; (1985) ise Weibull dağılımını önermişlerdir (Bardsley, 1990). Hudson (1993), log normal ve Weibull dağılımı sonuçlarının birbirine benzer olduğunu ve bu dağılımlar sonucunda elde edilen ortalama süreksizlik aralığı sonuçlarının, Priest ve Hudson (1976); Priest ve Hudson (1979) tarafından önerilen negatif eksponansiyel eşitlikten elde edilen ortalama süreksizlik aralığı değerlerine yakın olduğunu belirtmiştir.

Türkiye’de de değişik kaya kütlelerinde, gerek blok taş işletmeciliğine, gerekse kaya kütlelerinin mühendislik amaçlı sınıflamalarına yönelik yapılan benzeri çalışmalar da, farklı araştırmacılar (Ayday (1989); Ulusay (1991); Gökçeoğlu (1997); Yavuz ve diğ. (2005); Ulusay ve Sönmez (2007) ve Kaya ve diğ. (2011)) süreksizlik aralığı parametresinin negatif eksponansiyel dağılım modeline uyduğunu saptamışlardır.

Literatürde süreksizlik verilerinden blok boyutunu tahmin etmek için önerilen ve kullanılan iki yöntem vardır. Bu yöntemlerden ilki hacimsel eklem sayısı (Palmström 1982), ikincisi ise ağırlıklı eklem sıklığı yöntemidir (Palmström, 1995).

Hacimsel eklem sayısı (J_v), eklemlerli kaya kütlelerinde metre küp başına düşen süreksizlik sayısı olarak ifade edilir ve bir 1 m^3 eklemlerli kaya kütleleri içerisinde kesişen süreksizliklerin sayısının bir ölçüsüdür. J_v genellikle süreksizlik setlerinin ortalama süreksizlik aralığından hesaplanır.

$$J_v = 1/S_1 + 1/S_2 + 1/S_3 \dots + 1/S_n \quad (2)$$

Burada; S_1 , S_2 , ve S_3 her bir süreksizlik seti için gerçek süreksizlik ara uzaklığıdır.

Ayrıca Palmström (1995), bir boyutta ölçülen süreksizlik aralığından, hacimsel eklem sayısını kullanarak (J_v) arazide yerinde blok hacminin (V_i) tahmin edilebileceği bir eşitlik önermiştir. Bu eşitlikte blokların şekline göre de bir blok şekil katsayısını (β) tanımlamıştır. Yaygın blok şekli (prizmatik şekilli bloklar) için bu değer 36 olarak önerilmiştir.

$$V_i = \beta/(J_v)^3 \quad (3)$$

Latham ve diğ. (2006), sondaj yönü ile süreksizlik düzlemi arasındaki açının çoğu zaman 35° olduğunu belirtmiş, blok şekil faktörünü (36) kabul ederek ortalama süreksizlik aralığından (S_m) yerinde blok hacmini (V_i) genel kullanım için aşağıdaki eşitlikten hesaplamayı önermiştir.

$$V_i = 36(S_m/2)^3 \quad (4)$$

Palmström (2005), ayrıca üç veya daha fazla süreksizlik seti içeren kaya kütlelerindeki blok hacminin, süreksizlik ara uzaklığına bağlı olarak aşağıdaki eşitlikten hesaplanabileceğini belirtmiştir.

$$V_i = (S_1 * S_2 * S_3) / (\sin \gamma_1 * \sin \gamma_2 * \sin \gamma_3) \quad (5)$$

Elçi, Türk

İki süreksizlik setine sahip kaya kütlelerinde;

$$V_i = S_1 * S_2 * 5S_3 \quad (6)$$

ilişkisini önermişlerdir (Elçi ve Türk, 2013).

V_i : arazideki blok hacmi (m^3)

S_1, S_2, S_3 : her bir süreksizlik setine ait ara uzaklık (m)

$\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$: Süreksizlik setleri arasındaki açı ($^\circ$)

Elçi ve Türk (2013), Karaburun kireçtaşı ocaklarında yaptıkları gözlemlerde, üretilen blokların en küçük boyutunun 1 m ve 1 m'den büyük olduğunu belirtmişler, 1 m ve daha büyük süreksizlik ara uzaklığını dikkate alarak, kayaç kütle blok kalite katsayısı (BQD) kavramını önermişlerdir.

BQD'yi % olarak ifade etmişler ve 1 m ve 1 m'den daha büyük aralıklı süreksizliklerin toplamının hat etüdü uzunluğuna oranı olarak tanımlamışlardır.

$$\% BQD = (\sum S_{\geq 1m} / L) 100 \quad (7)$$

BQD: Kayaç Blok Kalite katsayısı (%)

S: süreksizlik aralığı (m)

L: hat etüdü uzunluğu (m)

Karaburun Yarımadasındaki kireçtaşı ocaklarının ölçülen süreksizlik ara uzaklıkları değerlendirildiğinde % 50 BQD oranının eşik bir değer olduğu, BQD'nin % 50'den büyük olduğu ocaklarda blok üretiminin yapıldığı ve BQD'nin % 50'nin altında olduğu ocakların ise terk edilmiş olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, kireçtaşları için BQD oranı ile yerinde blok hacmi (V_i) arasında:

$$V_i = (BQD)^6 * 6.77 * 10^{-11} \quad (8)$$

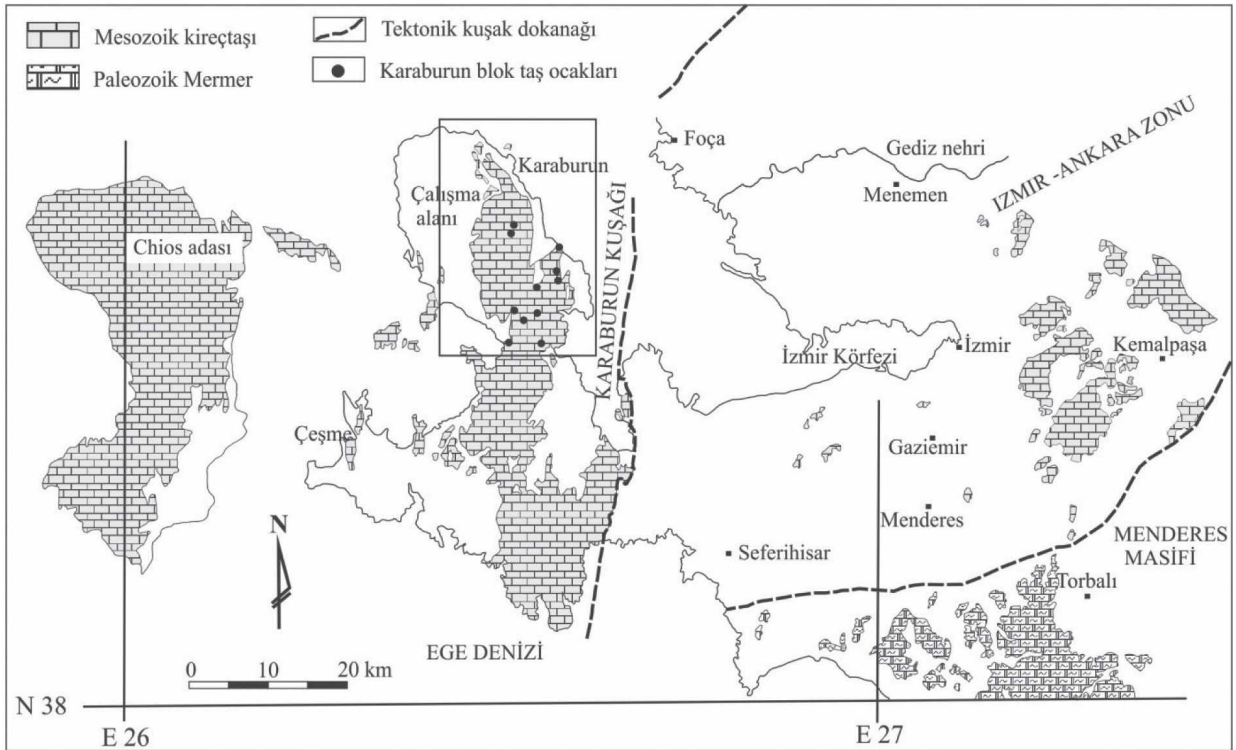
ilişkisini önermişlerdir (Elçi ve Türk, 2013).

Bu çalışmada, Karaburun Yarımadasında Mesozoyik yaşlı kireçtaşlarında açılmış olan taş ocaklarının işletme aynalarındaki süreksizliklerin aralık değerleri hat etütleriyle ölçülmüş ve değerlendirilmeleri yapılmıştır (Şekil 4A). Süreksizliklerin gerçek aralıkları, ortalama süreksizlik aralıkları, süreksizlik setleri arasındaki açılar, hacimsel eklem sayısı ve BQD oranları belirlenmiştir (Çizelge 1). Bu süreksizlik verileri kullanılarak kireçtaşı kütlelerinde yer alan blokların yerinde hacimleri, yukarıda verilen eşitliklerle hesaplanmış ve bulunan blok hacim değerleri (V_i) Çizelge 2'de verilmiştir.

Ayrıca, halen blok üretilen ocaklardan 2009-2011 yılları arasında üretilmiş olan 2378 kireçtaşı bloğunun boyutları ölçülmüş, elde edilen değerler yardımıyla blokların hacimsel eklem sayısı (J_v), hacimleri (V_i) ve şekil faktörleri (β_b) hesaplanmıştır. Her ocak için arazide belirlenen J_{vi} , BQD ve V_i değerleri, ocaklardan üretilmiş olan gerçek blok değerlerinin J_{vb} ve V_b değerleri ile karşılaştırılarak ocaklardan üretilebilecek bloklar ile ilgili arazide ölçülen süreksizlik verilerine dayalı genel kullanım amaçlı bir grafik önerilmiştir.

2. KARABURUN YARIMADASININ JEOLJİSİ VE OCAKLARININ KONUMU

Çalışma alanı İzmir-Ankara Bloğuna (Okay ve Tüysüz, 1999) (Şekil 1) ait Bornova Filiş Zonunun (Okay ve Siako, 1993; Okay ve diğ., 1996) güney batı ucunda yer alan tektonik bir kuşaktır.



Şekil 1. İzmir ve yakın çevresinde yüzeyleyen Mesozoik karbonat kayaları ve çalışma alanını gösteren jeolojik harita (Yakut, 2001'den değiştirilerek).

Figure 1. Geological map showing the Mesozoic carbonate rocks in Izmir and its surrounding and the study area (Modified from Yakut, 2001).

Karaburun Yarımadası Mesozoik kireçtaşları Orta Triyas'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 ve diğ., 1990). İstifin en üst bölümünde yer alan Balıklıova Formasyonu, Karahasan Kireçtaşı ve Haneybaşı Üyesinden oluşur. (Brinkman ve diğ., 1972; Güngör 1989; Erdoğan ve diğ., 1990; İştentek, 2002). Gerence

Formasyonu; çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı, kumlu kireçtaşı, çörtlü ve radyolaryalı kireçtaşı, yeşil çamurtaşı, kırmızı yumru kireçtaşları, ammonitli yumru kireçtaşları, dolomit, dolomitleşmiş oolitik kireçtaşları ve kırmızı çört düzeylerine kadar değişen, çok örnek litolojik özellikleriyle tanınır ve derin deniz koşullarından derin deniz kenarı koşullarına kadar değişen bir birikim alanında çökelmiştir.

Süreksizlik ölçümleri hâlen aktif olan 6 ve terk edilmiş 5 taş ocağında gerçekleştirilmiştir. Taş ocaklarının jeolojik özellikleri aşağıda belirtilmiştir. 1 numaralı ocak Gerence

Formasyonunun en üst bölümünü oluşturan Orta Triyas yaşlı dolomit, dolomitleşmiş oolitik kireçtaşları içerisinde yer alır. Camiboğazi Formasyonu Karaburun Yarımadası'nda geniş yayılımı olan açık kahverengi, bej, gri ve açık gri renkli, iyi pekleşmiş, dayanımlı, masif veya kalın katmanlı, küçük mercan sünger yığılımları yanı sıra algal biyostromal kireçtaşı özellikleriyle tanınır ve sığ deniz karbonat platformu açık dolaşımli lagün ve daha az olarak sınırlı dolaşımli lagün koşullarında bir birikim alanında çökelmiştir. 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9 numaralı ocaklar Ladiyen yaşlı Camiboğazi Formasyonunun üst bölümünde yer alır. 4 numaralı ocak Camiboğazi Formasyonunun en üst bölümünde yer alır. Karniyen-Noriyen yaşlı sığ şelf lagün kireçtaşlarıdır.

10 numaralı ocak Güvercinlik Formasyonun alt düzeylerinde yer alır. Formasyonu'nun 10-numaralı blok taş ocağı alanında yüzeyleyen bölümleri de sığ denizel karbonat platformunun, daha çok sınırlı dolaşımli lagün, daha az açık dolaşımli lagün, gelgit düzlüğü gelgit altı ve gelgit arası ortamlarında çökelmiştir. 11 numaralı ocak Balıklıova Formasyonunun Karahasan Kireçtaşı içerisinde yer alır. Kampaniyen Mastrihtiyen yaşlı, yokuş önü-derin deniz kenarı kireçtaşları ile temsil edilir (Elçi, 2011). Karaburun Yarımadasının 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası ve Mesozoyik karbonat istifi Şekil 2'de verilmiştir.

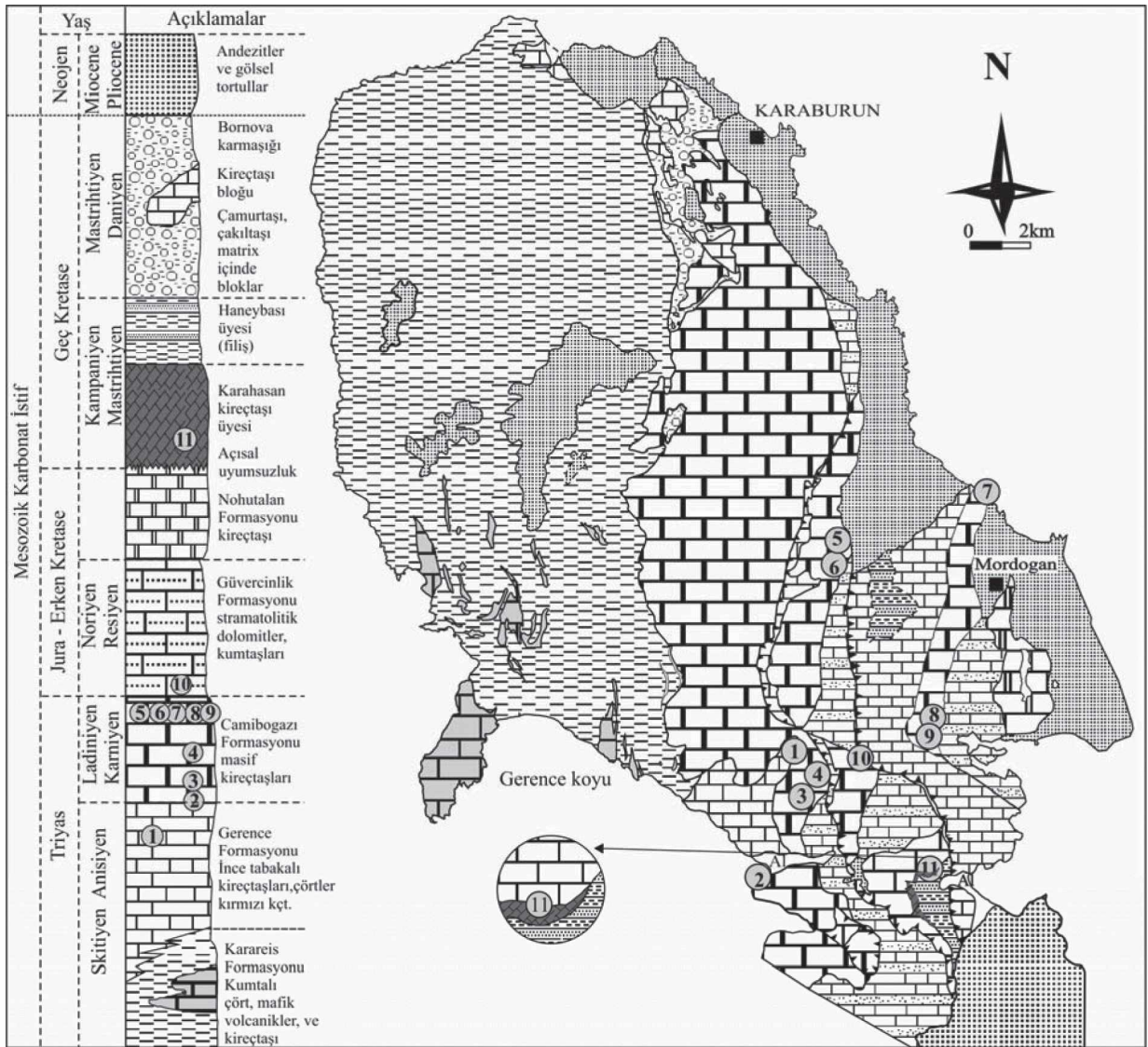
3. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ

Bu çalışmada, başlangıçta blok taş ocaklarının işletme aynalarının süreksizlik

haritası yapılmıştır (Şekil 3A). Ocaklarda tel kesme yöntemi ile üretim yapıldığı için işletme aynaları düzgün ve dik yüzeylidir. Süreksizliklere ait özellikler işletme aynalarında açık bir şekilde gözlenebilmiştir. 11 blok taş ocağına ait 183 adet işletme aynasında toplam 2199 m hat etüdü gerçekleştirilmiş ve ISRM (2007)'e göre süreksizliklere ait özellikler ölçülmüştür (Şekil 3B).

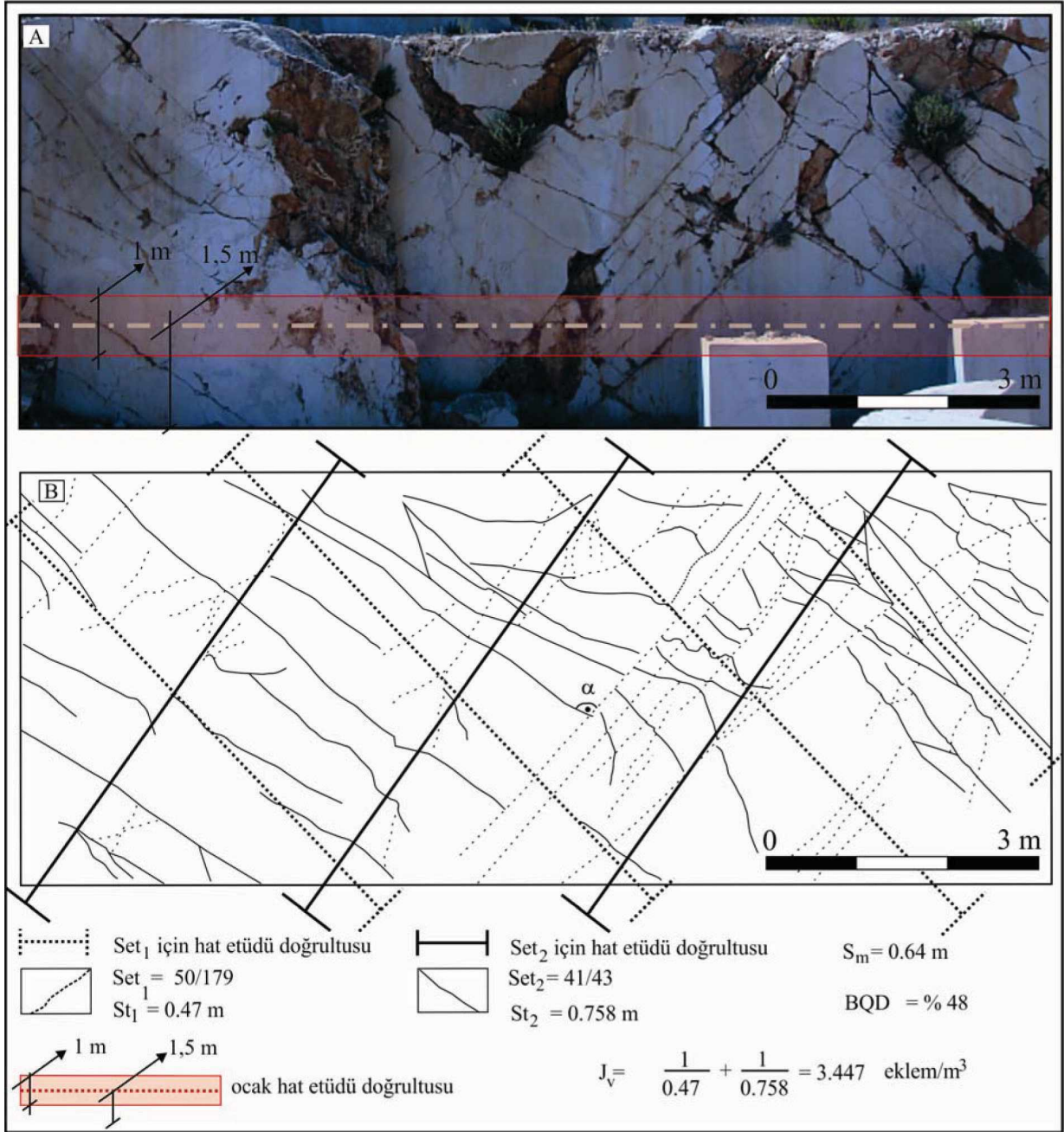
İlk aşamada ocaklarda blok taş üretimini kontrol eden süreksizlik düzlemleri, panoramik fotoğraf tekniği kullanılarak haritalanmıştır. Öncelikle hat etütlerinin gerçekleştirildiği işletme aynalarında panoramik fotoğraf çekimi yapılmıştır. Fotoğraf çekimi sırasında, fotoğraf makinesinin objektifinin yatay ekseninin fotoğraflanacak işletme aynası yüzeyine mümkün olduğunca dik olmasına dikkat edilmiş ve bu dikliğin bozulması durumunda en fazla 20°'lik sapmasına (Priest, 1993) izin verilmiştir. Fotoğraf çekiminde dijital fotoğraf makinesi ve üçayaklı sabitleyici kullanılmıştır.

İkinci aşamada çekilen fotoğraflar bilgisayar ortamında "Photostitch 3.1" (Canon, 2006) adlı yazılım yardımı ile birleştirilerek işletme aynaları tek bir fotoğraf haline getirilmiştir. Fotoğrafları çekilen işletme aynaları A0 boyutunda basılarak, bu baskı üzerine süreksizliklerin özellikleri işlenmiştir. Son olarak bu baskılardan 1/100 ölçekli süreksizlik haritaları hazırlanmış ve bu süreksizlik haritaları üzerinden süreksizlik arası uzaklıklar, oluşturulan ölçüm hatları boyunca ölçülmüş ve kireçtaşlarının hacimsel eklem sayısı hesaplanmıştır (Şekil 3B).



Şekil 2. Karaburun Yarımadasının jeoloji haritası ve Mesozoyik karbonat istif (Erdoğan, 1990).

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



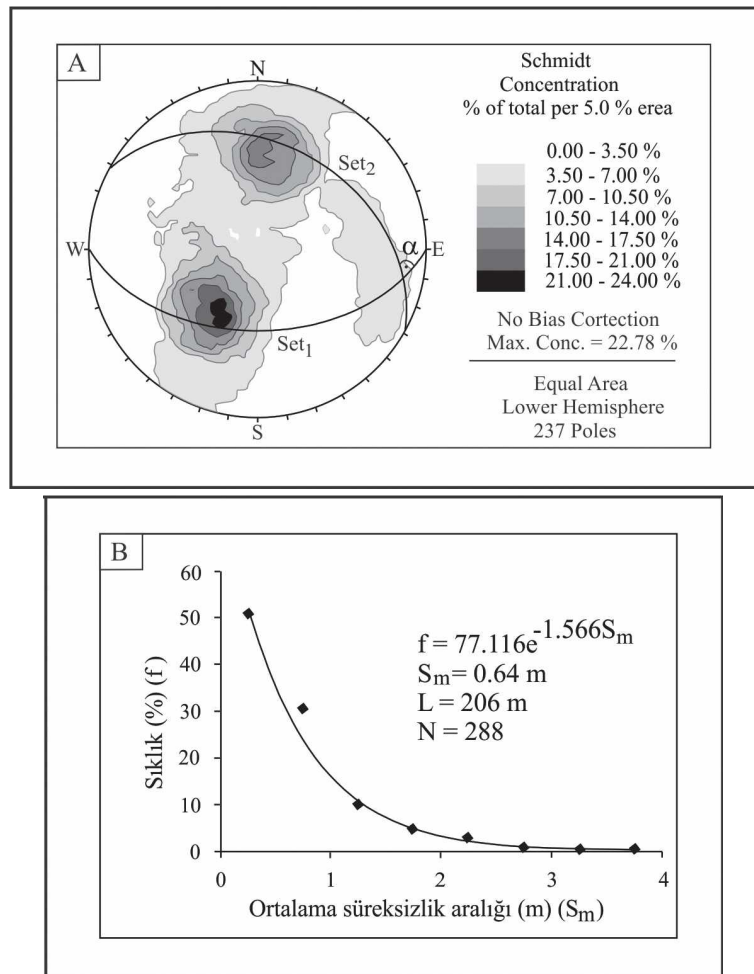
Şekil 3. 8 numaralı blok taş ocağın panoramik görünümü (A) ve 1/100 ölçekli süreksizlik haritası (B).

Figure 3. A panoramic view (A) and 1/100 scale discontinuity map (B) of a section of the quarry 8.

Süreksizlik yönelimleri “Stereografik İzdüşüm Tekniği” kullanılarak “Alt Yarımküre Projeksiyonunda” eğim açısı/eğim yönü çizilerek değerlendirilmiştir. (Şekil 4). Çizelge 1’de her bir blok taş ocağına ait hakim süreksizlik seti ve sayısı, süreksizlik yönelimleri, gerçek süreksizlik aralığı (S_r), ortalama süreksizlik aralığı (S_m), hacimsel eklem sayısı (J_v) ve BQD oranı verilmiştir. 1, 2, 3, 4, 9 ve 10 numaralı blok taş

ocaklarında 3 süreksizlik seti, 5,6 ve 8 numaralı blok taş ocaklarında 2 süreksizlik seti, 7 ve 11 numaralı blok taş ocaklarında 4 süreksizlik seti belirlenmiştir.

Karaburun Yarımadası blok taş ocakların da 183 hatta toplamda 2199 m’lik hat etüdü boyunca ölçülen süreksizliklerin genel özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.



Şekil 4. 8 numaralı ocağın alt yarımküre stereografik projeksiyonu (A) ve 8 numaralı ocakta hat etüdü ile ölçülen süreksizlik aralıklarının negatif eksponansiyel dağılımı (B).

Figure 4. Lower hemispherical stereographic projection plots of the quarry 8 (A) and the negative exponential distribution fit to the discontinuity spacing obtained along the horizontal direction on the scan line (B).

Elçi, Türk

Çizelge 1. Karaburun Yarımadası blok taş ocaklarında 183 hat boyunca süreksizlik düzlemlerinin genel özellikleri.

Table 1. The general properties of discontinuities measured along 183 scan lines in limestone quarries of the Karaburun Peninsula.

Ocak no	Süreksizlik seti yönelimi	γ (°)	S_i (m)	S_m (m)	J_v (eklem/m ³)	% BQD	
1	Set1	45/277	0.78	1.19	1.25	1.39	76
	Set2	66/187	0.64	2.01			
	Set3	71/344	0.70	2.67			
2	Set1	85/179	0.19	2.01	1.07	1.43	75
	Set2	84/0	0.98	1.98			
	Set3	18/320	0.93	2.33			
3	Set1	70/260	0.99	0.81	0.57	3.10	51
	Set2	22/80	0.93	1.00			
	Set3	70/357	0.94	1.15			
4	Set1	82/46	0.17	1.14	0.78	2.62	56
	Set2	88/90	0.95	1.18			
	Set3	21/46	0.94	1.11			
5*	Set1	33/26	0.64	0.50	0.68	3.70	47
	Set2	70/217	0.58	0.58			
6*	Set1	68/202	0.62	0.32	0.50	4.89	40
	Set2	75/29	0.56	0.56			
7*	Set1	65/90	0.74	1.01	0.50	7.60	34
	Set2	67/20	0.615	0.61			
	Set3	66/194	0.47	0.48			
	Set4	34/341	0.94	0.35			
8*	Set1	50/179	0.71	0.47	0.64	3.45	48
	Set2	38/29	0.76	0.76			
9*	Set1	22/173	0.99	0.49	0.56	4.79	39
	Set2	57/31	0.89	0.68			
	Set3	81/228	0.68	0.79			
10	Set1	30/36	0.99	2.16	1.60	1.11	86
	Set2	67/239	0.83	2.33			
	Set3	57/107	0.79	4.85			
11	Set1	80/74	0.64	3.47	1.14	1.81	67
	Set2	60/238	0.92	1.60			
	Set3	62/160	0.89	1.96			
	Set4	58/318	0.59	2.61			

S_i : gerçek süreksizlik aralığı, S_m : ortalama süreksizlik aralığı, γ : Süreksizlik setleri arasındaki açı, BQD: blok kalite katsayısı, *: terk edilmiş ocak.

Çizelge 2’de Karaburun Yarımadası kireçtaşı ocaklarında belirlenen süreksizlik verileri kullanılarak ve literatürde önerilen eşitlikler yardımıyla hesaplanan ortalama arazi blok hacimleri verilmiştir. Çizelge 2’de belirtilen kaya kütleindeki blok hacim tahmin yöntemleriyle hesaplanan ortalama blok hacimlerinden Palmström (1995) ile Elçi ve Türk (2013) yöntemlerinin birbirlerine yakın sonuçlar verdiği gözlenmektedir.

4. OCAKLARDA ÜRETİLEN BLOKLARIN BOYUTLARININ ANALİZİ

Karaburun’daki kireçtaşı ocaklarında yapılan süreksizlik ölçümleri yanı sıra, hâlen işletilmekte olan ocaklarda, toplamda 2378 kireçtaşı bloğunun boyutları da kayıt edilmiştir. Bu blokların hacimleri, uzunluğu, yüksekliği, genişlikleri ve bu değerler kullanılarak elde edilen ortalama hacim değerleri Çizelge 3’te verilmiştir.

Çizelge 2. Karaburun Yarımadası kireçtaşı ocakları için literatürde önerilen yöntemlerle hesaplanan ortalama arazi blok hacim değerleri.

Table 2. Mean in situ block volumes values of the Karaburun limestone quarries using the suggested method in literature.

Ocak No	Palmström, 1995 (Eş.3)	Latham ve dig., 2006 (Eş.4)	Palmström, 2005 (Eş.5 ve Eş.6)	Elçi ve Turk, 2013 (Eş.7)	Üretilen ortalama blok hacmi (V_i , m ³)
1	13.29	8.852	7.04	13.47	4.814 ± 2.187
2	12.23	5.482	16.57	12.36	4.406 ± 1.829
3	1.21	0.820	1.20	1.21	3.480 ± 1.381
4	1.99	2.135	2.9	1.99	3.980 ± 1.675
5	0.71	1.412	0.74	0.71	-
6	0.39	0.556	0.29	0.28	-
7	0.08	0.546	0.16	0.10	-
8	0.78	1.174	0.84	0.87	-
9	0.33	0.807	0.31	0.25	-
10	27.12	18.432	28.15	27.35	3.148 ± 1.645
11	6.10	6.221	10.14	6.33	4.026 ± 0.572

Elçi, Türk

Çizelge 3. Karaburun Yarımadasında işletilen taş ocaklarında üretilen blokların ortalama uzunlukları, genişlikleri, yükseklikleri ve hacimleri.

Table 3. Mean length, height, width and volume of the limestone blocks produced at limestone quarries in the Karaburun Peninsula.

Ocak No	Blok boyutları, ort (m)			J _v Eklem/m ³	Blok hacmi (m ³) V= l.w.h	Blok sayısı
	Uzunluk (l)	Genişlik (w)	Yükseklik (h)			
1	2.328 ± 0.496	1.298 ± 0.313	1.593 ± 0.265	1.828 ± 0.301	4.814 ± 2.187	798
2	2.304 ± 0.516	1.225 ± 0.254	1.561 ± 0.276	1.891 ± 0.310	4.406 ± 1.829	192
3	1.986 ± 0.400	1.205 ± 0.220	1.454 ± 0.223	2.021 ± 0.309	3.480 ± 1.381	353
4	2.090 ± 0.332	1.248 ± 0.224	1.526 ± 0.264	1.935 ± 0.264	3.980 ± 1.675	24
10	1.951 ± 0.400	1.151 ± 0.231	1.402 ± 0.213	2.095 ± 0.461	3.148 ± 1.645	158
11	2.192 ± 0.426	1.274 ± 0.243	1.549 ± 0.191	1.887 ± 0.368	4.026 ± 0.572	853
Ağırlıklı ortalama	2.142 ± 0.145	1.234 ± 0.048	1.514 ± 0.066	1.868 ± 0.100	4.127 ± 0.642	2378*

*: Toplam blok sayısı

4.1 Blokların Hacimsel Eklem Sayısı ve Şekil Faktörü Değeri

Kireçtaşı bloklarının yüzeyleri süreksizlik düzlemi olarak kabul edilerek, blokların hacimsel eklem sayısı (J_{vb}) eşitlik 9'dan hesaplanır.

$$J_{vb} = 1/uzunluk(l) + 1/genişlik(w) + 1/yükseklik(h) \quad (9)$$

Burada; J_{vb} = kireçtaşı bloğunun hacimsel eklem sayısı (1/m³).

Uzunluk = kireçtaşı bloğunun uzunluğu, (m)

Genişlik = kireçtaşı bloğunun genişliği, (m).

Yükseklik = kireçtaşı bloğunun yüksekliği, (m).

Çizelge 4. Karaburun Yarımadası'nda taş ocaklarında üretilen blokların ortalama hacmi (V_b), hacimsel eklem sayısı (J_{vb}) ve şekil faktörü (β) değerleri.

Table 4. The volumetric joint counts (J_{vb}) the shape factor (β) values and volume (V_b) of the limestone blocks in Karaburun Peninsula quarry.

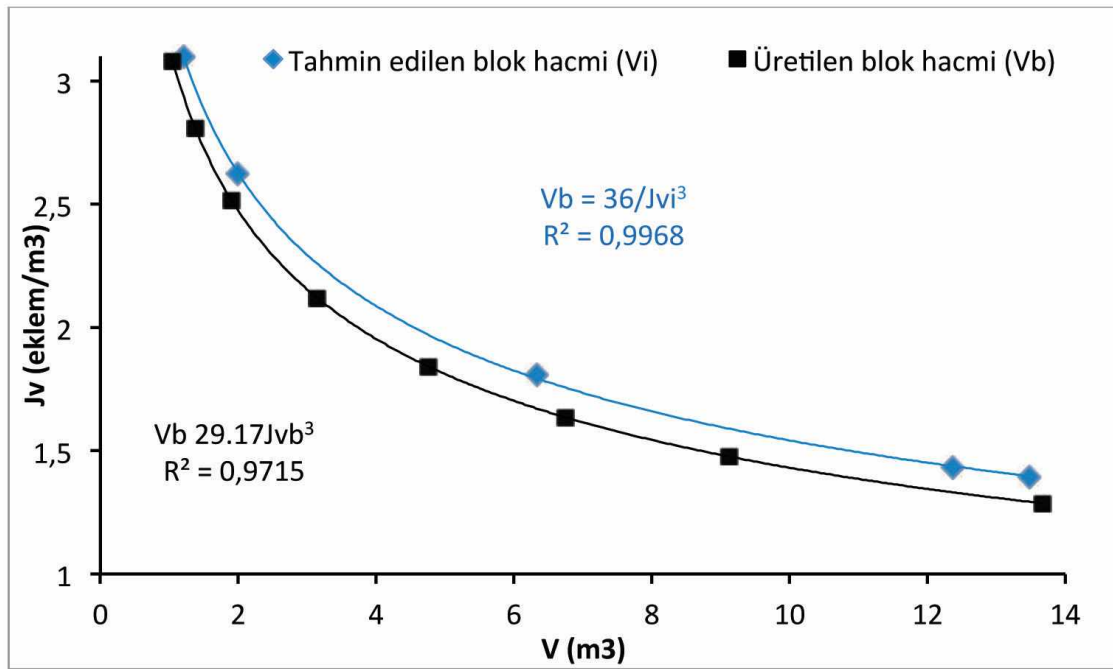
Ocak No	Ort. J_{vb} (1/m ³)	Ort. V_b	$\beta = V_b.(J_{vb})^3$	Blok sayısı
1	1.828 ± 0.301	4.814 ± 2.187	29.41	798
2	1.891 ± 0.310	4.406 ± 1.829	29.79	192
3	2.021 ± 0.309	3.480 ± 1.381	28.73	353
4	1.935 ± 0.264	3.980 ± 1.675	28.84	24
10	2.095 ± 0.461	3.148 ± 1.645	28.93	158
11	1.887 ± 0.368	4.026 ± 0.572	29.07	853
Ağırlıklı ortalama	1.868 ± 0.100	4.127 ± 0.642	29.17	2378*

*: toplam blok sayısı

Farklı ocaklarda üretilen blokların boyutlarından hesaplanan J_v değerlerinin ortalamaları Çizelge 4'te verilmiştir. 2378 adet bloğun J_v değerinin ağırlıklı ortalaması $J_v = 1.868$ eklem/m³tür ve blok hacimlerinin ağırlıklı ortalaması 4.127 m³ bulunmuştur. Ayrıca taş ocaklarında üretilen blokların şekil faktörünün ağırlıklı ortalaması $\beta = 29.17$ olarak bulunmuştur (Çizelge 4).

5. TARTIŞMA

Bir kaya kütesinden blok taş (TS EN 1467, 2005) üretimine karar vermek için kayacın materyal özelliklerini belirlemek kadar, o kayaktan alınabilecek blok hacmini de tahmin etmek önemlidir. Özellikle blok taş ocağı işletmeciliği yüksek maliyetler gerektirdiğinden bir ocak açılmadan önce ocaktan üretilebilecek ortalama blok hacmi tahmin edilebilirse



Şekil 5. Kireçtaşı bloklarının hacimsel eklem sayıları (J_{vi} , J_{vb}) ile blok hacimleri (V_i , V_b) arasındaki ilişki.

Figure 5. The relation between the volumetric joint counts (J_{vi} , J_{vb}) and block volumes (V_i , V_b) of limestone blocks.

Şekil 5'te kireçtaşı ocaklarında üretilen blokların V_b değerleri ile J_v değerleri arasında elde edilen $V_b = 29.17/(J_v)^3$ ilişkisi grafik halinde verilmiştir. Bu şekilde, ayrıca $V_i = 36/(J_v)^3$ ilişkiside mukayese için verilmiştir. Taş ocaklarında üretilen kireçtaşı bloklarının J_v değerinin 1 ile 3 arasında değiştiği, hacimlerin ise (V_b) 1 ile 14 m³ arasında değişmekte olduğu gözlenmiştir (Şekil 5).

ekonomik olmayan sahalara yatırım yapılmasının da önüne geçilebilir. Karaburun Yarımadasında yakın geçmişte açılan 5 adet blok taş ocağı bu yüzden terk edilmiştir. Bu durum taş ocaklarından ekonomik boyutta blok alınıp alınamayacağını önceden belirlenmemiş olmasından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla yeterli etüt yapılmamış bir taş ocağın açılması para ve zaman kaybına neden olacaktır.

Bu çalışmada, Karaburun Yarımadası'nda (İzmir) blok taş üretimi yapılan 6, terk edilmiş olan 5 ocakta ölçülen süreksizliklere ait veriler ve blok üretimi yapılan ocaklardan elde edilmiş olan blok boyutları analiz edilmiştir. Ortalama süreksizlik aralığı, gerçek süreksizlik aralığı ve hacimsel eklem sayısı değerlerinden elde edilen ortalama blok hacimleri, üretim yapılan ocaklardan üretilmiş gerçek blok hacimlerinden çok farklı sonuçlar vermektedir (Çizelge 2 ve 3). Blok taş ocaklarında, süreksizlik düzlemlerinin aralıklarının istatistiksel dağılımı negatif eksponansiyel bir denklem vermişlerdir. Önerilen farklı yöntemlerle hesaplanan ortalama blok hacim değerleri Çizelge 2'de sunulmuştur. Bu çizelgede ayrıca tarafımızca önerilen kaya kütle blok kalite katsayısı (BQD) kullanılarak hesaplanan arazi blok hacim değerleri de verilmiştir. Palmström (1995) ve BQD yöntemlerinin birbirine yakın blok hacim değerleri verdiği gözlenmiştir. BQD yöntemi sadece süreksizlikler arası mesafe ölçümlerine dayandığı için uygulaması daha pratiktir.

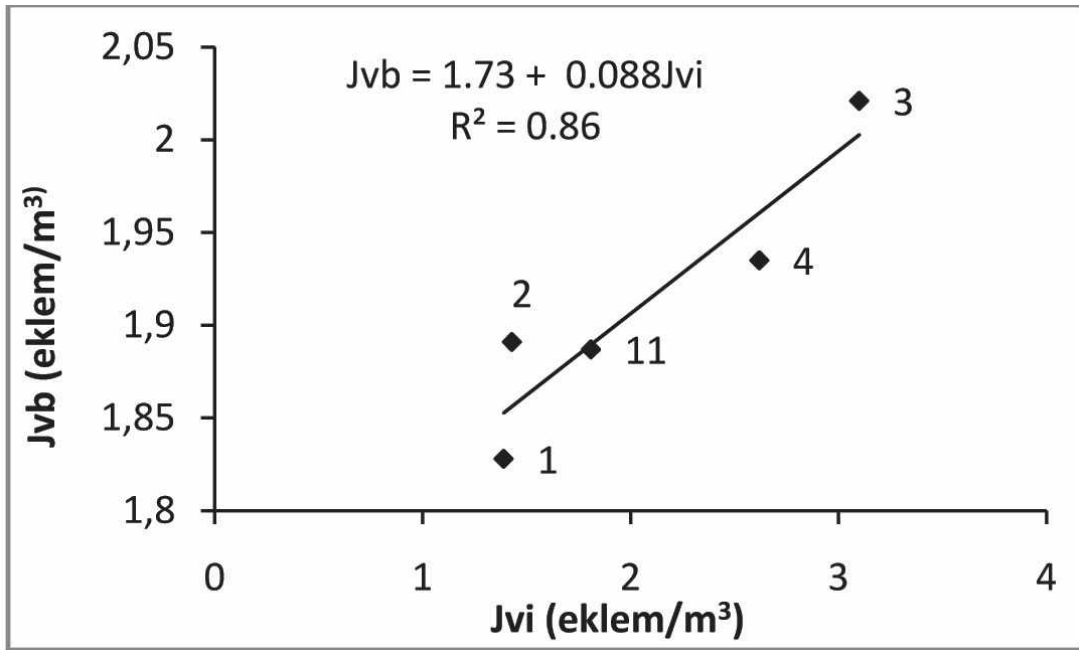
Munoz de la Nava ve diğ. (1989) J_v değeri ile doğal süreksizliklerin sınırlandığı kaya bloklarının boyutları hakkında bir fikir edinilebileceğini ve uygun bloklar elde etmek için J_v değerinin 3'ten küçük olması gerektiğini belirtmiştir. Garcia (1996) bir kaya kütlelerinden uygun bloklar elde etmek için J_v değerinin 2'den fazla olmaması gerektiğini belirtmiştir. Sousa (2007) ise bu eşik değeri, granitik kayalarda blok taş işletmeciliği için kullanmıştır. Karaburun Yarımadasında açılan taş ocaklarında 1.11 ile 7.60 eklem/m³ arası J_{vi} değerleri elde edilmiştir (Çizelge 1). Terk edilmiş ocaklarda J_{vi} değerinin 3.45 ile 7.60 eklem/m³ arasında olduğu belirlenmiştir. Üretim yapılan taş ocaklarında ise

1.11 ile 3.45 eklem/m³ arası değişen değerler elde edilmiştir (Çizelge 1). Ayrıca taş ocaklarından üretilmiş olan blokların J_{vb} değerlerinin ağırlıklı ortalaması 1.868 eklem/m³ değerini vermiştir.

Karaburun Yarımadası kireçtaşları ocaklarında ölçülen süreksizlik verileri ile ocaklarda üretilmiş kireçtaşı bloklarının boyutları yardımıyla R^2 değerleri 0.86 olan yaklaşık ilişkiler elde edilmiştir. Şekil 6, 7 ve 8 uygulamada yeni açılacak taş ocaklarının işletilebilirlikleri ve onlardan alınabilecek ortalama blok hacimlerinin hangi mertebeye olacağını belirlemede kılavuz olarak kullanılabilir.

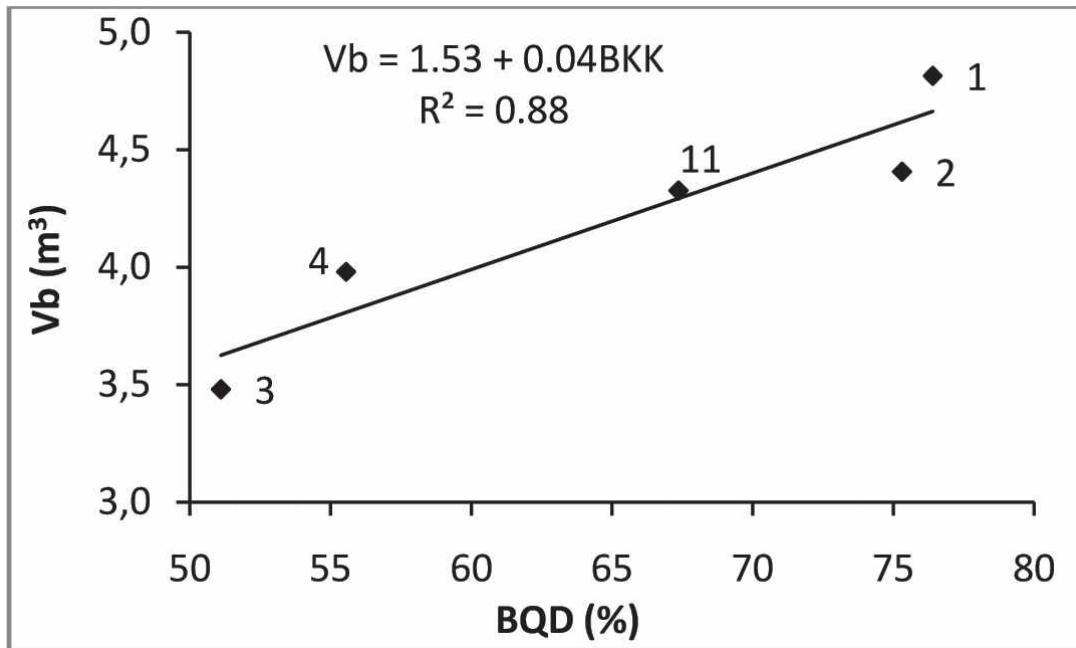
Taş ocaklarında üretilen bloklar bir taraftan ocağın makine ve teçhizatının kapasitesiyle, diğer taraftan da karayolları taşıma koşullarıyla sınırlandırılmaktadır. Dolayısıyla ortalama blok hacmi 4-5 m³ arası oluşturulmaya çalışılmaktadır. 10 numaralı ocak gerek BQD değeri, gerekse de J_v değeri bakımından Karaburun Yarımadasının en iyi ocağıdır. Fakat ocakta kullanılan iş makinelerinin kapasitesinin sınırlı olması nedeniyle üretilen blok hacimleri 3.1 m³ civarında kalmıştır. Bu nedenle 10 numaralı ocak verileri Şekil 6, 7, 8 ve 9'daki grafik çizimlerinde değerlendirme dışı bırakılmıştır.

Çizelge 1 ve 3'te Karaburun kireçtaşlarında ölçülen süreksizliklerden yararlanılarak elde edilen J_{vi} (Eşitlik-3) ve blok boyutlarından yararlanılarak elde edilen J_{vb} değerleri verilmiştir. Arazi J_{vi} değerleri ile blok J_{vb} değerleri arasında $J_{vb} = 1.73 + 0.888J_{vi}$ ilişkisi elde edilmiştir (Şekil 6). Şekil 7 'de de ocaklarda ölçülen BQD değerleri ile ocaklardan üretilen bloklar arasında $V_b = 1.53 + 0.04BQD$ bağıntısı elde edilmiştir. Şekil 8'de J_{vi} ile V_b arasında $V_b = 5.5 - 0.63J_{vi} (R^2 0.90)$ ilişkisi elde edilmiştir.



Şekil 6. Blok taş ocaklarında belirlenen ortalama hacimsel eklem sayısı (J_{vi}) ile ocaklarda üretilmiş blokların ortalama hacimsel eklem sayısı (J_{vb}) arasındaki ilişki.

Figure 6. Relation between the mean field volumetric joint count values determined in the quarries (J_{vi}) and the block volumetric joint count values (J_{vb}) of the blocks produced in the quarries.



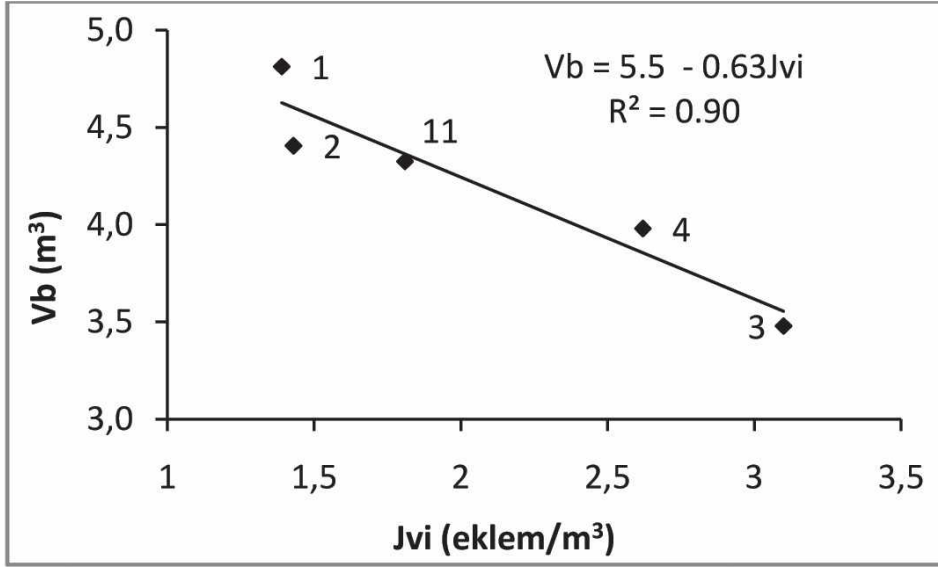
Şekil 7. Karaburun Yarımadası'nda blok taş ocaklarının % BQD değerleri ile ocaklardan üretilen blokların ortalama hacimleri (V_b) arasındaki ilişki

Figure 7. Relation between the % BQD values and mean volume of the blocks produced in the Karaburun Peninsula quarries.

Elçi, Türk

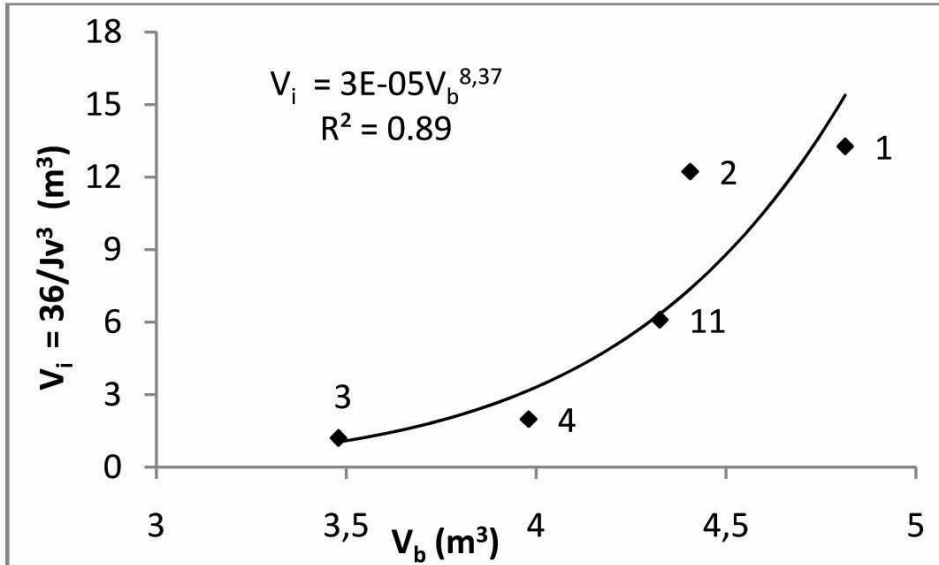
Şekil 9'da kayaçların arazide ölçülen süreksizliklerinin J_v ve $\beta = 36$ değerleri kullanılarak elde edilen hacimleri $V_i = 36/(J_v)^3$

ile ocaklarda üretilmiş olan blokların hacimleri arasındaki ilişki gösterilmiştir.



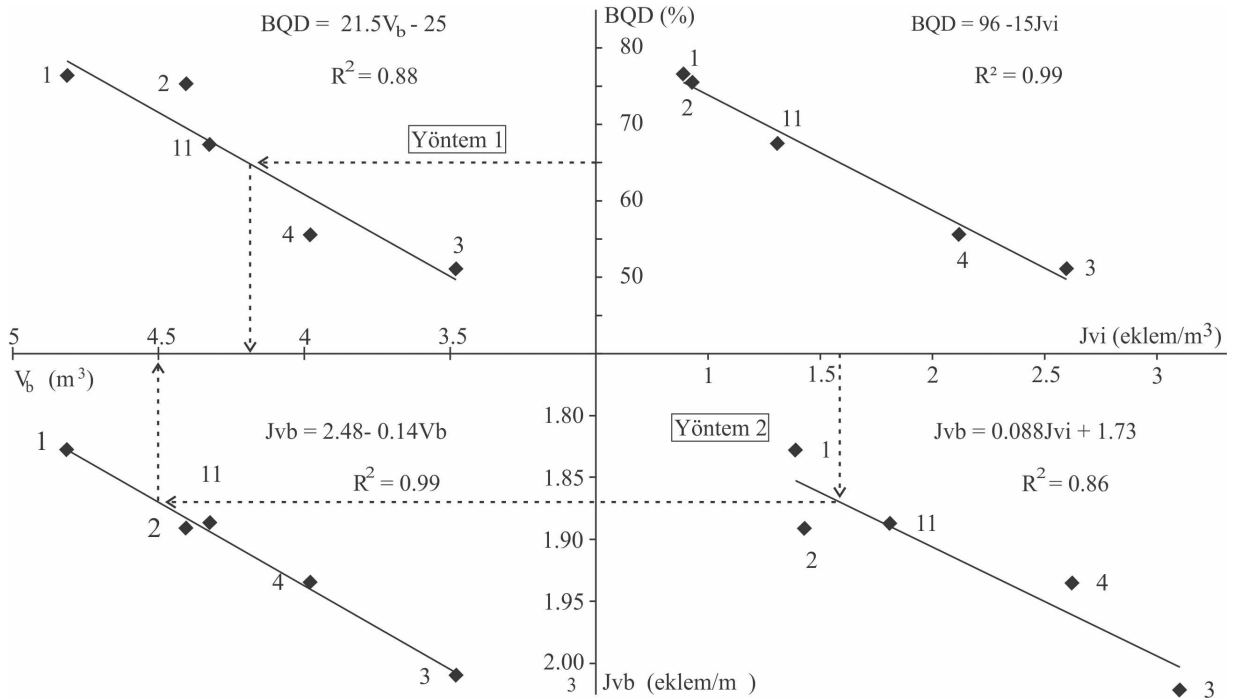
Şekil 8. Karaburun Yarımadası blok taş ocaklarında ölçülen hacimsel eklem sayısı (J_{vi}) ile ocaklardan üretilen blokların ortalama hacimleri (V_b) arasındaki ilişki.

Figure 8. Relation between the field volumetric joint count and mean volumes of the blocks produced in the Karaburun Peninsula quarries.



Şekil 9. Karaburun Yarımadası blok taş ocakları için hesaplanan yerinde ortalama blok hacmi (V_i) ile ocaklardan üretilen blokların ortalama hacimleri (V_b) arasındaki ilişki.

Figure 9. Relation between the estimated field block volume (V_i) and the mean volumes of the blocks produced in the Karaburun Peninsula quarries.



Şekil 10. Karaburun Yarımadası kireçtaşı ocaklarında arazide ölçülen süreksizlik aralıklarıyla ocaklarda üretilen blok hacimlerini tahmin etmek için önerilen bir grafik.

Figure 10. A chart to estimate the mean produced block volume from the field discontinuity spacing measurement in the Karaburun Peninsula limestone quarries.

Şekil 10'da Karaburun Yarımadasında üretim yapılan kireçtaşı ocaklarında kayıt alınan süreksizlik ölçümleri ve üretilen blokların boyutlarından yararlanılarak elde edilen ilişkiler genel bir grafikte sunulmuştur. Bu grafik ile bir blok taş ocağında üretilebilecek ortalama blok hacminin belirlenmesi, kaya kütlelerinin BQD oranı ve J_{vi} değerinden yararlanılarak iki farklı yöntemle önerilmiştir. Bir ocakta üretilebilecek blokların hacimleri;

- Ortalama blok hacmi BQD- V_b ilişkisi (Yöntem 1) veya
- J_{vi} - J_{vb} ve J_{vb} - V_b ilişkilerinden (Yöntem 2) iki farklı şekilde hesaplanabilir (Şekil 10).

6. SONUÇLAR

Karaburun Yarımadası kireçtaşlarında açılmış olan taş ocaklarında ölçülen süreksizliklerin ve hâlen üretim yapılan ocaklarda üretilen blokların boyutlarının değerlendirilmesinden;

- Yazarlar tarafından önerilen kayaç Blok Kalite Katsayısı yönteminde, BQD değerinin % 50'den daha büyük olduğu ocaklarda blok üretimi yapıldığı gözlenmiştir. Böylece BQD değeri % 50'den büyük olan sahalarda blok taş üretme potansiyeli olduğu kabul edilir.

- Arazide, yerinde ortalama blok hacmini belirleme yöntemlerinden Palmström (1995) ve Elçi ve Türk (2013) yöntemleri birbirlerine yakın değerler vermiştir.
- Blokların hacmi (V_b), hacimsel eklem sayısı (J_{vb}) ve şekil faktörü değerleri (β) arazide taş ocaklarında ölçülen süreksizlik verileriyle karşılaştırılarak J_{vb} ve BQD değerleriyle elde edilen ilişkiler Karaburun Yarımadasında yeni ocak işletmesine geçmeden kaya kütlelerinden alınabilecek ortalama blok hacmini tahmin etmede kullanılabilir (Şekil 10).
- J_{vi} ile J_{vb} arasında $J_{vb} = 0.088 - 1.73 (R^2 = 0.86)$ ilişkisi bulunmuştur. Benzer şekilde J_{vi} ile V_b arasında $J_{vb} = 2.48 - 0.14V_b (R^2 = 0.99)$ ilişkisi elde edilmiştir. J_{vi} 'yi belirlemek için farklı yönlerdeki süreksizlikleri ve aralarındaki açıların sinüslerini belirlemek gerekirken, BQD oranı yöntemi sadece lineer hat boyunca süreksizlik aralığı ölçümü yapılarak pratik bir şekilde uygulanabilmektedir.
- Arazi bloklarının genel kullanımı için önerilen $\beta = 36$ değeri, taş ocaklarında üretilen düzgün şekilli bloklar için $\beta = 29.17$ olarak bulunmuştur.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma 107Y052 numaralı proje ile TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir. Finansal desteği için TÜBİTAK'A ve değerli görüş ve bilgileriyle katkıda bulunan hakemlere teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Attewel, P. B., Farmer, I. W., 1976. Principles of Engineering Geology. Chapman & Hall, London.
- Ayday, C., 1989. Statistical analysis of discontinuity parameters of Gölbaşı (Ankara) andesites, Süpren (Eskişehir) marble and Porsuk Dam (Eskişehir) peridotite. Middle East Technical University PhD Thesis, Geological Engineering Department, Ankara, 186.
- Bardsley, W. E., 1990. Note on a Weibull property for joint spacing analyses. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstract, 27 (2), 133-134.
- Barton C. A., Zobak, M. D., 1990. Self-similar distribution of macroscopic features at depth in crystalline rock in the Cajon Pass scientific drill hole. Journal of Geophysical Research, 97, 5181-5200.
- Canon 2006. Canon Utilities PhotoStitch Version 3.1
- Brinkman, R., Flogel, E., Jacobshagen, V., Kenchner, H., Rendel, B., Trick, P., 1972. Triyas, Jura and Unterkreide der Halbinsel Karaburun (West Anatolia). Geologica et Paleontologica, 6, 139-150, 4 Abb, Marburg.
- Doyuran, V., Ayday, C., Karahanoglu, N., 1993. Statistical Analyses of Discontinuity Parameters of Gölbaşı (Ank.) Andesites, Süpren (Eskişehir) Marble, and Porsuk Dam (Eskişehir) Peridotite in Turkey. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 48, 15-31.
- Elçi, H., 2011. Karaburun yöresi doğal yapı taşlarının mühendislik jeolojisi. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 518 (yayımlanmamış).
- Elçi, H., Türk, N., 2013. Blok taş işletmeciliği için blok kalite katsayısı. 66. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, s. 334.
- Einstein H. H., Veneziona, D., Baecher, B. G., Reilly, J. K., 1983. The Effect of discontinuity

- persistence on rock slope stability. International Journal of Rock Mechanics Mining. Science and Geomechanics. Abstracts, (20), 227-236
- Erdoğan, B., 1990. İzmir – Ankara Zonu ile Karaburun Kuşağının Tektonik İlişkisi. MTA Dergisi. 110, 1-15.
- Erdoğan, B., Altın, D., Güngör, T. Özer, S., 1990. Karaburun Yarımadası'nın stratigrafisi. MTA Dergisi 111, 1-22
- Garcia, E.O., 1996. Investigación de yacimientos In: Sousa, L. M. O., 2010 (ed.). Evaluation of joints in granitic outcrops for dimension Stone exploitation. Quarterly Journal Engineering Geology and Hydrogeology (43), 85–94.
- Gökçeoğlu, C., 1997. Killi, yoğun süreksizlik içeren ve zayıf kaya kütlelerinin Mühendislik sınıflamalarında karşılaşılan güçlüklerin giderilmesine yönelik yaklaşımlar. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 214 s. (yayımlanmamış)
- Güngör, T., 1989. Karaburun Yarımadası Balıkhova – Barboros arasındaki bölgenin jeolojisi ve yapısal evrimi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 47 s, (yayımlanmamış)
- Hudson, J.A., 1993. Comprehensive Rock Engineering. Pergamon Press, Oxford
- Hudson, J.A., Priest, S.D., 1979. Discontinuities and rock mass geometry International Journal of Rock Mechanics Mining. Science and Geomechanics. Abstracts, 16, 339-362.
- I.S.R.M. 2007. The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring, 1974-2006, Ulusay, R., & Hudson J.A. ISRM Turkish National Group Ankara, Turkey.
- 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)
- Kaya A., Alemdağ S., Yılmaz A., Çapık M., 2011. Doğal Taş Ocaklarında Blok Hacminin Belirlenmesi için RQD ve Jv'nin Kullanılabilirliği. Jeoloji Mühendisliği Dergisi 35 (1), 79-92.
- Latham, J.P., Meulen, J.M., Dupray, S., 2006. Prediction of in-situ block size distributions with reference to armourstone for breakwaters. Engineering Geology (86), 18–36
- Lu, P., Latham, J.P., 1999. Developments in the assessment of in-situ block size distributions of rock masses. Rock Mechanics Rock Engineering 30 (1), 29-49.
- Munoz de la Nava, P., Escudero, J.A.R., Suarez, I.R., Romero, E.G., Rosa, A.C., Moles, F.C., Martinez, M.P.G., 1989. Metodología de investigación de rocas ornamentales: granitos. Boletín Geológico y Minero. In: Sousa L. M O. 2010 (eds). Evaluation of joints in granitic outcrops for dimension Stone exploitation. Quarterly Journal Engineering Geology and Hydrogeology (43), 85–94.
- Okay, A.I., Siyako, 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., 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.
- Okay, A.I., Satır, M., Siyako, M., Monié, P., Metzger, R., Akyüz, S., 1996. Paleo- and Neo-Tethyan events in northwestern Turkey: Geologic and geochronologic constraints. In: Yin A, Harrison

- TM, (eds). The Tectonic Evolution of Asia. Cambridge University Press, Cambridge. 420–41
- Palmström, A., 1982. The volumetric joint count-a useful and simple measure of the degree of jointing. Proceedings of the 4th International Congress of IAEG, New Delhi, 221-228.
- Palmström, A., 1995. Rmi - A System for Characterization of Rock Masses for Rock Engineering Purposes. Ph.D. Thesis, Univeristy of Oslo, Norway pp. 408.
- Palmström, A., 2005. Measurements of and correlations between block size and rock quality designation (RQD). Tunnelling and Underground Space Technology. 20 (4), 362–377.
- Priest, S.D. 1993. Discontinuity Analysis for Rock Engineering. London Chapman & Hall Inc.
- Priest, S.D., Hudson, J.A., 1976. Discontinuity spacing in rock. International Journal of Rock Mechanics Mining Science and Geomechanics. Abstracts, 13, 135-138.
- Priest, S.D., Hudson, J.A. 1979. Discontinuites and rock mass geometry. International Journal of Rock Mechanics Mining Science and Geomechanics. Abstracts, 16 (6), 339-362.
- Roulea, A., Gale J, E. 1985. Statistical characterization of the fracture system in the Stripa granite, Sweden. International Journal of Rock Mechanics Mining Science and Geomechanics. Abstracts, 22 (6), 353-367.
- Sousa, L.M.O., 2007. Granite fracture index to check suitability of granite outcrops for quarrying. Engineering Geology 92 (3-4), 146–159.
- TS EN 1467, 2005. Doğal taşlar - Ham bloklar – Özellikler. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- Ulusay, R., 1991. Geotechnical evaluations and deterministic design considerations for pitwall slopes at Eskihisar (Yatağan-Muğla) strip coal mine. Middle East Technical University PHD Thesis, Geological Engineering Department, Ankara Turkey 340 p. (yayımlanmamış)
- Ulusay, R., Sönmez, H. 2007. Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri. (2. Baskı) . Ankara: TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları.
- Wang, H., 1992. Prediction of In-situ and blastpile block size distributions of rock masses, with special reference to costal requirements. Queen Mary and Westfield College Thesis of Phd, London University.
- Wittke, W., 1990. Rock Mechanics, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg-quarrying. Quarterly Journal of Engineering Geology, 24, 91-99.
- Yakut, E., 2001. İzmir ili çevresindeki kireçtaşlarının mühendislik özellikleri ve kullanım alanlarının araştırılması. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi. 196 s. (yayımlanmamış).
- Yavuz, A. B., Turk, N., Koca, M. Y., 2005. Geological parameters affecting the marble production in the quarries along the southern flank of the Menderes Massif, in SW Turkey. Engineering Geology, 80, 214-241

Kazanlı - Mersin Bölgesinde Cu, Mn, Zn, Cd ve Pb için Biyojeokimyasal Anomalilerin İncelenmesi ve Çevresel Ortamın Yorumlanması

Investigation of Biogeochemical Anomalies and Interpretation of Environmental Conditions for Cu, Mn, Zn, Cd and Pb in Kazanlı-Mersin Area

Erkan DEMİR¹, Zeynep ÖZDEMİR²

¹ TMMOB, Jeoloji Mühendisleri Odası İl Temsilciliği, Yenişehir, MERSİN

² Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Çiftlikköy, MERSİN

Geliş (received) : 11 Haziran (June) 2013
Düzeltilme (revised) : 31 Temmuz (July) 2013
Kabul (accepted) : 16 Ağustos (August) 2013

ÖZ

Kazanlı- Mersin bölgesinde yıllardır yoğun bir şekilde seracılık ve narenciye üretimi yapılmaktadır. Tarım amaçlı kullanılan bu arazilerde birden fazla kirlenici unsur bulunmaktadır. Başta krom işletmesi olmak üzere petrol dolum tesisleri ve fabrikaların yarattığı atıklar nedeniyle son 25 yıldır Kazanlı-Mersin bölgesi Cu, Mn, Zn, Cd ve Pb gibi toksik düzeyde elementleri içeren atıklara maruz kalmıştır. Bölgedeki kirlilik; toprak, bitki, yeraltı suyu, yüzey suyu, deniz suyu ve hava kirliliği olarak gözlenebilmektedir. Bu çalışmada Kazanlı-Mersin bölgesinde biyojeokimyasal anomalilerin incelenmesi ve çevresel ortamın yorumlanması amaçlanmıştır. Bölgede yetişen 19 bitki türü (16 doğal, 3 plantasyon bitki türü) ile bitkilerin yetiştiği topraklardan ve çalışma alanında mevcut suların (kuyu, deniz, dere) sistematiği olarak örnekler toplanmıştır. Alınan örneklerde Cu, Mn, Zn, Cd ve Pb düzeyleri Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi (AAS) ile analiz edilmiştir. Toprak ve bitki örneklerinde yapılan kimyasal analizlerde 5 element için toprak-bitki arasındaki dağılımlar istatistiksel olarak incelenerek 3 element için bitki-toprak arasında doğrusal ilişki saptanmıştır. Cu için *Melilotus sp.* (yaprak ve dal), *Alhagi camelorum* (yaprak) ve *Xanthium strumarium* (yaprak ve dal) bitki türlerinin; Mn için *Vicetoxicum parviflorum* (yaprak), *Melilotus sp.* (yaprak), *Alhagi camelorum* (yaprak ve dal), *Salsola kali* (yaprak), *Arundo donax* (yaprak), *Xanthium strumarium* (yaprak ve dal) ve *Eucalyptus grandis* (yaprak) bitki türlerinin; Zn için ise *Melilotus sp.* (yaprak), *Pancratium maritimum* (dal) ve *Arundo donax* (yaprak ve dal) bitki türlerinin belirtgen (indikatör) bitki olabileceği saptanmıştır. İncelenen bitki türleri ile topraklar arasında Pb ve Cd element düzeyleri açısından doğrusal bir ilişki saptanamamıştır. Bitkilerde ve toprakta element içerikleri bakımından Mn ve Zn için derişim düzeylerinin normal düzeylerden fazla olduğu ve bölgenin bu elementlerce de kirlenmiş olabileceği söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Belirtgen bitki, Biyojeokimyasal anomali, Cu-Mn-Zn-Cd-Pb, Çevresel ortam, Kazanlı-Mersin.

ABSTRACT

In the area of Kazanlı in Mersin, greenhouse cultivation and citrus production have been intensively done. There are several pollutant elements used for agriculture in these lands. Due to the petroleum filling plants, factories and especially chromium mining, Kazanlı-Mersin Region has been exposed to the wastes including toxic elements such as Cu, Zn, Mn, Cd and Pb for the last 25 years. The pollution in the area can be observed as soil, plant, air, ground water, surface water and seawater pollutions. The aim of this study is to investigate the biogeochemical anomalies and interpretation of the environmental conditions. Samples of 19 plants types (16 natural, 3 plantation type), soil and water (stream, sea, wells) in the study area were systematically collected. The samples were analyzed for their Cu, Mn, Zn, Cd, Pb contents using Atomic Absorption Spectrometer (AAS). The results of chemical analyses of the soil and plant samples have been evaluated statically for 5 elements and a linear relationship between plant and soil has been determined for 3 elements. Leaves and twigs of Melilotus sp., leaves of Alhagi camelorum, leaves and twigs of Xanthium strumarium for Cu, leaves of Vicetoxicum parviflorum, leaves of Melilotus sp., leaves and twigs of Alhagi camelorum, leaves of Salsola kali, leaves of Arundo donax, leaves and twigs of Xanthium strumarium, leaves of Eucalyptus grandis for Mn, leaves of Melilotus sp., twigs of Pancratium and leaves and twigs of Arundo donax for Zn have been determined as indicator plants. Linear relationship between plant types and soil for the element levels of Pb and Cd is obtained. Element contents of plant and soil are above the normal levels for Mn and Zn. In this respect, plant and soil can be considered as polluted with these heavy metals in Kazanlı- Mersin area.

Key Words: *Indicator plant, Biogeochemical anomaly, Cu-Mn-Zn-Cd-Pb, Environmental condition, Kazanlı- Mersin.*

GİRİŞ

Bitkiler toprakta ve yeraltı sularında çözünmüş elementleri bünyelerine alarak beslenirler. Bu nedenle bitki besin suyu, köklerin kapsamış olduğu geniş bir sahadaki toprak ve yeraltı suyunu yansıtır.

Cevherleşme zonlarında gelişen topraklar, cevher minerallerince oldukça zengindir. Bu topraklarda büyüyen bitkiler cevher elementince temiz topraklarda büyüyen bitkilere oranla bu elementlerden daha fazla etkilenerek ortama uyum sağlayarak yaşarlar ya da ölürlür. Yaşayabilen bitki türleri adeta sığ sondaj yapar

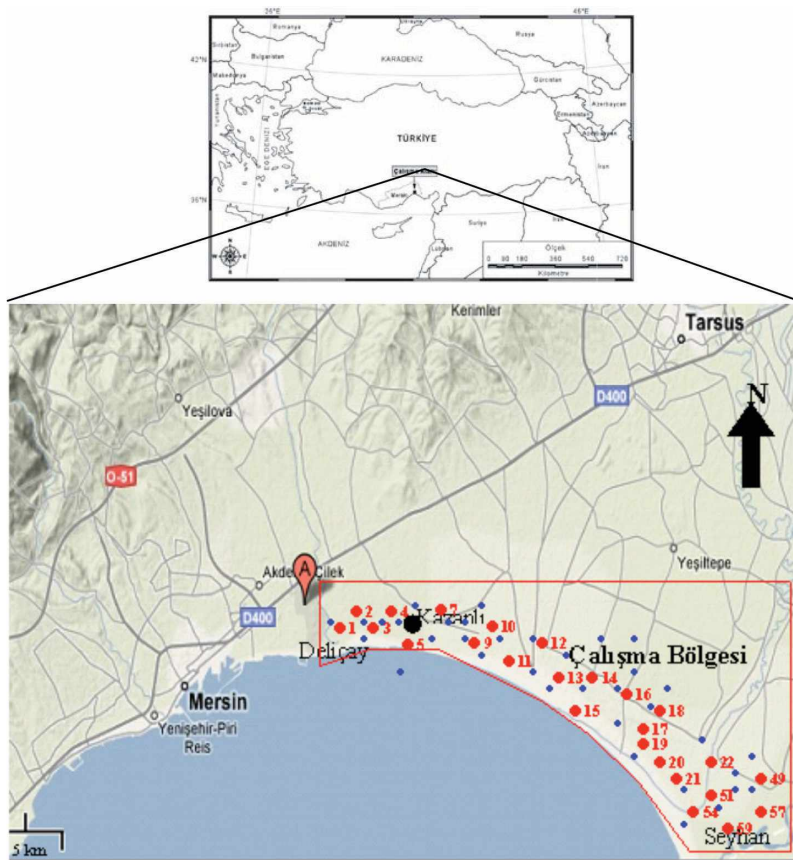
gibi yer altından bilgi getirirler. Bünyesinde biriktirdiği element çeşitliliğine ve miktarına göre de değişimlere uğrayabilirler. Araziden sistematik olarak toplanan bitki örneklerinin değişik organlarında kimyasal analizler yapılarak cevher aranmasına biyojeokimyasal prospeksiyon denirken, bitki türlerinin morfolojik ve fizyolojik özelliklerindeki ve dağılımlarındaki değişimlerin, gözlemlere dayalı olarak incelenmesiyle maden aranmasına jeobotanik prospeksiyon denilmektedir (Rose vd., 1979; Köksoy, 1991; Brooks vd.,1995; Dunn, 2007).

Biojeokimyasal 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 bitkiler denilmektedir (Köksoy, 1991).

Yaklaşık 60 yıldan beri biyolojik örneklerde kimyasal analiz yoluyla biojeokimyasal prospeksiyon yapılmaktadır. Son yıllarda belirtgen bitki türleri maden yataklarının saptanmasının yanı sıra, çevresel ortamın ve ortamdaki metal kirliliğinin belirlenmesinde de

kullanılmaktadır. Bunlara ek olarak, ortamdaki element kirliliğinin giderilmesi için o ortamda belirtgen bitkiler yetiştirilmektedir. Çoğunlukla biojeokimyasal prospeksiyonla; Au başta olmak üzere Cu, Zn, Fe, Mn, Co, Pt, Ag, U, B ve Ni gibi pek çok elementi içeren maden yataklarının saptanması için belirtgen bitkiler bulunmuştur (Brooks vd., 1995; Robinon vd., 1997; Özdemir ve Sağiroğlu, 1999; Özdemir ve Sağiroğlu, 2000a; Özdemir ve Sağiroğlu, 2000b; Özdemir, 2003; Akıncı, 2003; Dunn, 2007; Ragnarsdottir, 2006; Demir ve Özdemir, 2008; Anjos vd., 2012).

Bu çalışma kapsamında Mersin-Kazanlı bölgesinden (Şekil 1) sistematik olarak 19



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

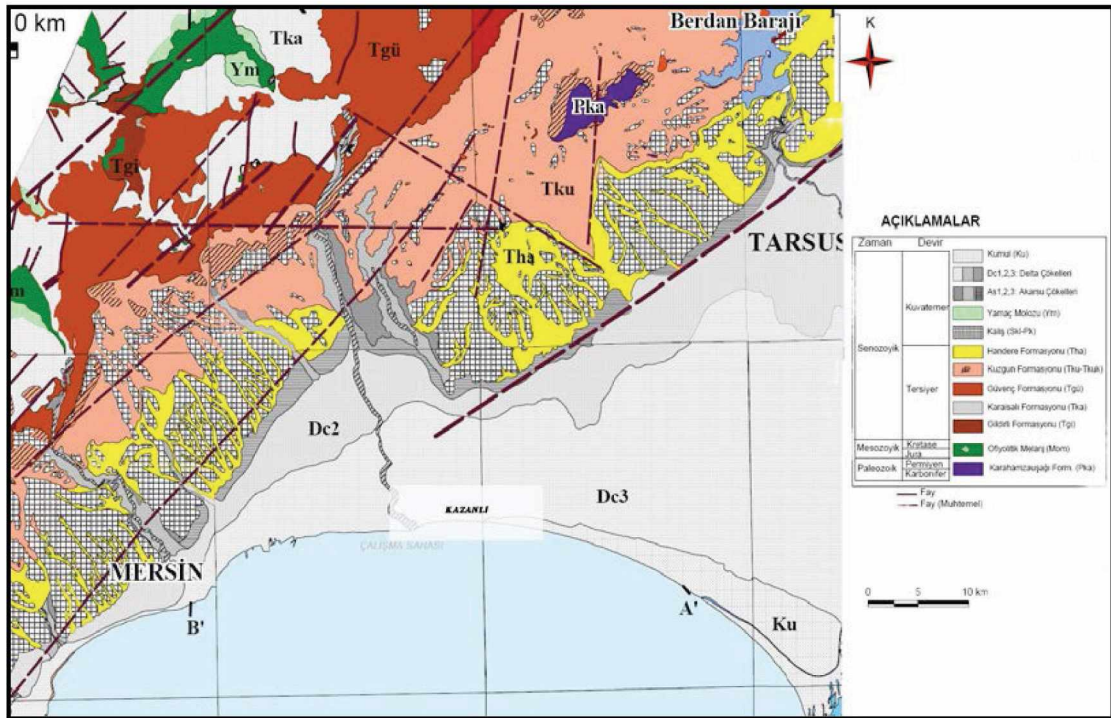
bitki türü (16 doğal, 3 plantasyon bitki türü) ile birlikte bitkilerin yetiştikleri topraklarından ve çalışma alanında mevcut sulardan (az sayıda kuyu, deniz, dere suyu) bitki, toprak ve su örnekleri toplanmıştır. Alınan bitki, toprak ve su örneklerinde Cu, Mn, Zn, Cd ve Pb düzeyleri Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi (AAS) ile analiz edilmiştir. Örneklerde yapılan kimyasal analiz sonuçlarının istatistiksel olarak değerlendirilmesi sonucunda bitki-toprak arasında doğrusal ilişkiler incelenerek belirtgen bitkiler saptanmaya çalışılmıştır.

ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ

Çalışma alanı Mersin'in doğusunda bulunan Kazanlı bölgesi içerisinde yaklaşık 50 km²'lik bir alanı kapsamaktadır. Mersin ve çevresi

drenaj alanında yeralan jeolojik birimler, Toros Dağ oluşum Kuşağının Ecemiş Fayı güneydoğu kesiminde yer alır ve bu kuşağın jeolojik özelliklerini taşır.

Alttan üste doğru Palaeozoyik yaşlı metamorfikler (mermer, şist, kuvarsit), Üst Kretase döneminde bölgeye yerleşen ofiyolitik melanaj, Oligosen-Miyosen-Pliyosen döneminde karasal, geçiş ve denizel ortam çökelleri (kireçtaşı-kumtaşı-kiltaşı-konglomera-marn-jips), Kuvaterner yaşlı karasal ve geçiş ortamı çökelleri ile morfolojik birimler bölgenin doğu ve güney kesimlerinde yaygın olarak görülmektedir. Birimlerin yaşlıdan gence yüzey yayılımları genel olarak kuzeyden güneye doğrudur. Bölgenin genelleştirilmiş jeoloji haritası ise Şekil 2'de gösterilmiştir (Şenol ve Duman, 1998).



Şekil 2. İnceleme alanının jeoloji haritası (Şenol ve Duman, 1998).

Figure 2. Geological map of the study area (Şenol and Duman, 1998).

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

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

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

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

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

üzerine Güvenç Formasyonu geçişli olarak gelmektedir. Kalınlığı, aşınma koşullarına bağlı olarak değişim göstermekte ve yayılımlarında düzensizlik görülmektedir.

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

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

Handere Formasyonu: Beyazımsı, sarımsı, yeşilimsi gri ve siyahımsı gri renkli olan; kilttaşı-marn-silttaşı, fosilli oolitik kireçtaşı, alçıttaşı (Jips) ve kumtaşı-konglomera olmak üzere belirgin dört birimden oluşmuştur. Kuzgun formasyonu üzerine uyumlu olarak gelmektedir. Kalınlığı 50-500 metre arasında olup, kurak-sıcak iklimler ile sık sık değişen küçük ölçekli transgresyon ve regresyonlar sonucu oluşan sığ deniz, geçiş (kıyı, lagün, delta, gelgit) ve akarsu ortamlarında çökelmiştir.

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

MATERYAL ve YÖNTEM

Çalışma kapsamında önceden belirlenen 50 istasyondan sistematik olarak bitki, toprak ve su örnekleri alınmış, GPS cihazı yardımı ile alınan koordinatlar, 1/25.000 ölçekli jeolojik harita üzerine işlenmiştir. Sistematik olarak 19 bitki türü için 130 bitki örnekleme, bitkilerin yetiştiği topraklardan toprak örnekleme ve bölgedeki mevcut sulardan (dere, deniz, sondaj kuyularından yeraltı suyu) su örnekleme yapılmıştır. Arazi çalışmasından alınan örnekler laboratuvara getirilmiş ve sistematik tanımlama amacıyla tüm bitki örneklerinden presleme yapılmıştır. Bitki örneklerinin bir yıllık, iki yıllık ve çok yıllık bitkiler oldukları saptanmıştır (Şekil 3). Bitki, toprak ve su örnekleri farklı örnek hazırlama yöntemleri ile analize hazırlanmıştır.

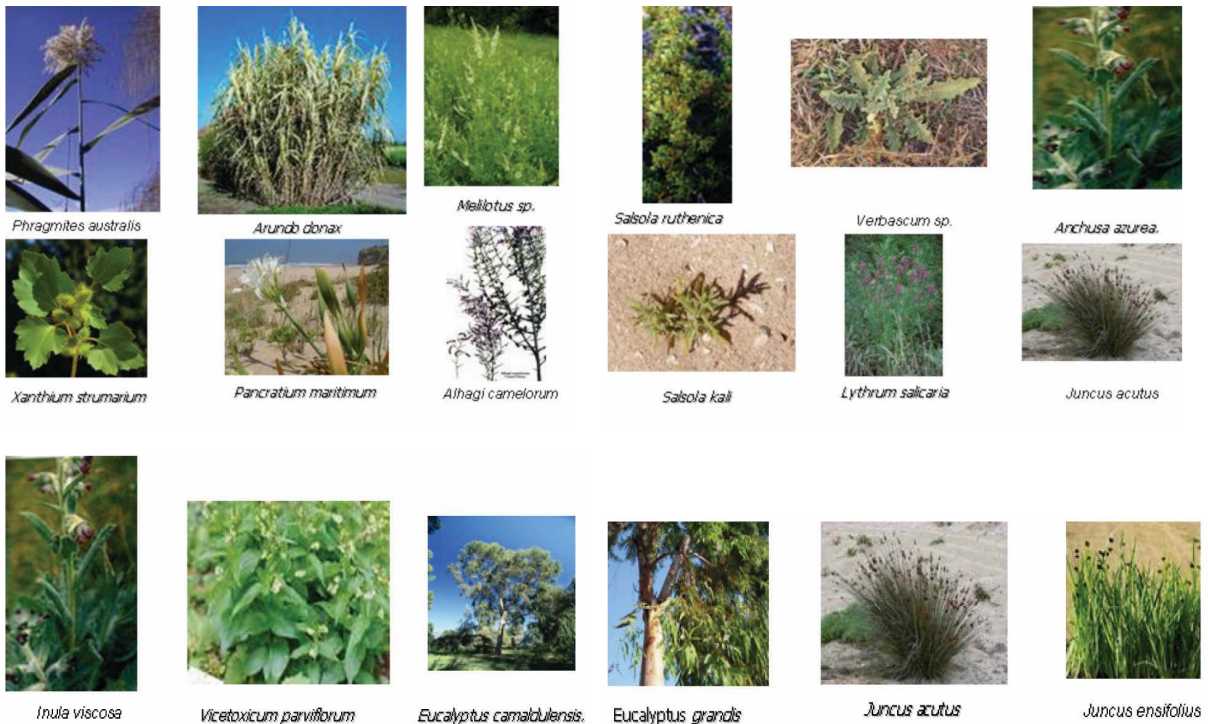
Bitki örnekleri, Benton ve Jones (1984) ile Dunn (2007) tarafından geliştirilen yonteme göre analize hazırlanmıştır. Yıkayıp saf sudan geçirilerek 80 °C kurutulmuş bitki örnekleri yaprak, dal ve çiçek gibi organlarına ayrılarak 3'er g tartılıp porselen krezeler içinde kül fırınında 50 °C/saat hızla 550 °C'ye kadar getirilmiş ve bu sıcaklıkta 10 saat bekletilmiştir. Elde edilen kül üzerine 5 ml derişik HCl eklenerek balon joje içerisinde deiyonize su ile 25 ml'ye tamamlanmıştır.

Toprak örnekleri Brooks vd. (1992) ile Dunn (2007) tarafından uygulanan yöntemlere göre hazırlanmıştır. 80 °C etüvde kurutulup, 80 meşlik elekten geçen toprak örneklerinden 0.1'er g tartıldıktan sonra polietilen kaba konulmuş, üzerine 10 ml derişik HF+HNO₃ (1:1) karışımı eklendikten sonra buharlaştırılmış, örnekler üzerine 7 ml derişik HCl eklenmiş ve buharlaştırma işlemi tekrarlanmıştır. Elde edilen kalıntı 7ml derişik HCl'de çözüldükten sonra deiyonize su ile 25 ml'ye tamamlanmıştır.

Bitki ve toprak örneklerinde Cu, Mn, Zn, Cd ve Pb element düzeyleri atomik absorpsiyon spektrofotometrisi (AAS-Perkin Elmer 3100 Model) ile okunmuştur. Su örneklerinde ise AAS'de doğrudan okuma yapılmıştır. Bitki örneklerinde sonuçlar kuru ağırlık üzerinden verilmiştir ve toprak-bitki arasındaki istatistiksel ilişki Schroll (1975)'e göre % 95 ve % 99 güvenilirlikle yorumlanmıştır.

FAMİLYA	BİTKİ TÜRÜ	TÜRKÇE YÖRESEL AD
<i>Poaceae sp.</i>	** <i>Phragmites australis</i>	Kamış, Saz
<i>Poaceae sp.</i>	** <i>Arundo donax</i>	Akdiken, Kargı kamışı
<i>Asteraceae sp.</i>	* <i>Xanthium strumarium</i>	Domuz pırtlağı, İri pıtrak
<i>Amoryllidaceae sp.</i>	* <i>Pancreatium maritimum</i>	Kum zambağı
<i>Fabacaceae</i>	** <i>Genus: Acacia</i>	Çit dikenini (Plantasyon)
<i>Fabacaceae</i>	* <i>Genus: Melilotus alba</i>	Sarı kokulu yonca
<i>Fabacaceae sp.</i>	** <i>Alhagi camelorum</i>	Deve dikenini
<i>Asteraceae sp.</i>	* <i>Inula viscosa</i>	Andız otu
<i>F.Ascleridaceae sp.</i>	* <i>Vicetoxicum parviflorum</i>	Panzehir otu
<i>Moraceae</i>	** <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Sıtma ağacı (Plantasyon)
<i>Moraceae</i>	** <i>Eucalyptus grandis</i>	Sıtma ağacı (Plantasyon)
<i>Juncaceae sp.</i>	* <i>Juncus acutus</i>	Sivri hasır otu
<i>Juncaceae sp.</i>	* <i>Juncus ensifolius</i>	Hasır otu
<i>Chenopodiaceae sp.</i>	* <i>Salsola ruthenica</i>	Soda otu
<i>Scrophulariaceae sp.</i>	*** <i>Verbascum sp.</i>	Sığır kuyruğu
<i>Chenopodiaceae sp.</i>	* <i>Salsola kali</i>	Soda otu
<i>Boraginaceae sp.</i>	*** <i>Anchusa azurea</i>	Sığır dili
<i>Lythraceae sp.</i>	* <i>Lythrum salicaria</i>	Kançiçeği, Litrum
<i>Asteraceae sp.</i>	* <i>Pulicaria dysenterica</i>	İri karnı yarık

*. Tek yıllık bitki, **:Çok yıllık bitki, ***:Bir ya da iki yıllık bitki



Şekil 3. Çalışma kapsamında araştırılan bitki türlerinin yöresel adları ve fotoğrafları.
Figure 3. Local names and photos of the investigated plant species.

BULGULAR

Mersin Kazanlı bölgesinde yapılan bu çalışma ile, bölgeden alınan örneklerde yapılan analizler sonucu element içerikleri açısından elde edilen veriler istatistiksel olarak değerlendirilmiştir; Cu, Mn, Zn, Cd ve Pb elementleri için elde edilen verilerle biyojeokimyasal anomaliler ve çevresel ortamın yorumlanması elementlere göre ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Cu için Biyojeokimyasal Anomalilerinin İncelenmesi ve Çevresel Ortamın Yorumlanması

Dokuz bitki türünde yapılan bakır elementi analizlerinde, 3 tür bitki (*Melilotus alba*, *Alhagi camelorum*, *Xanthium strumarium*) ile toprak örnekleri arasında element içerikleri açısından doğrusal bir ilişki olduğu saptanmıştır.

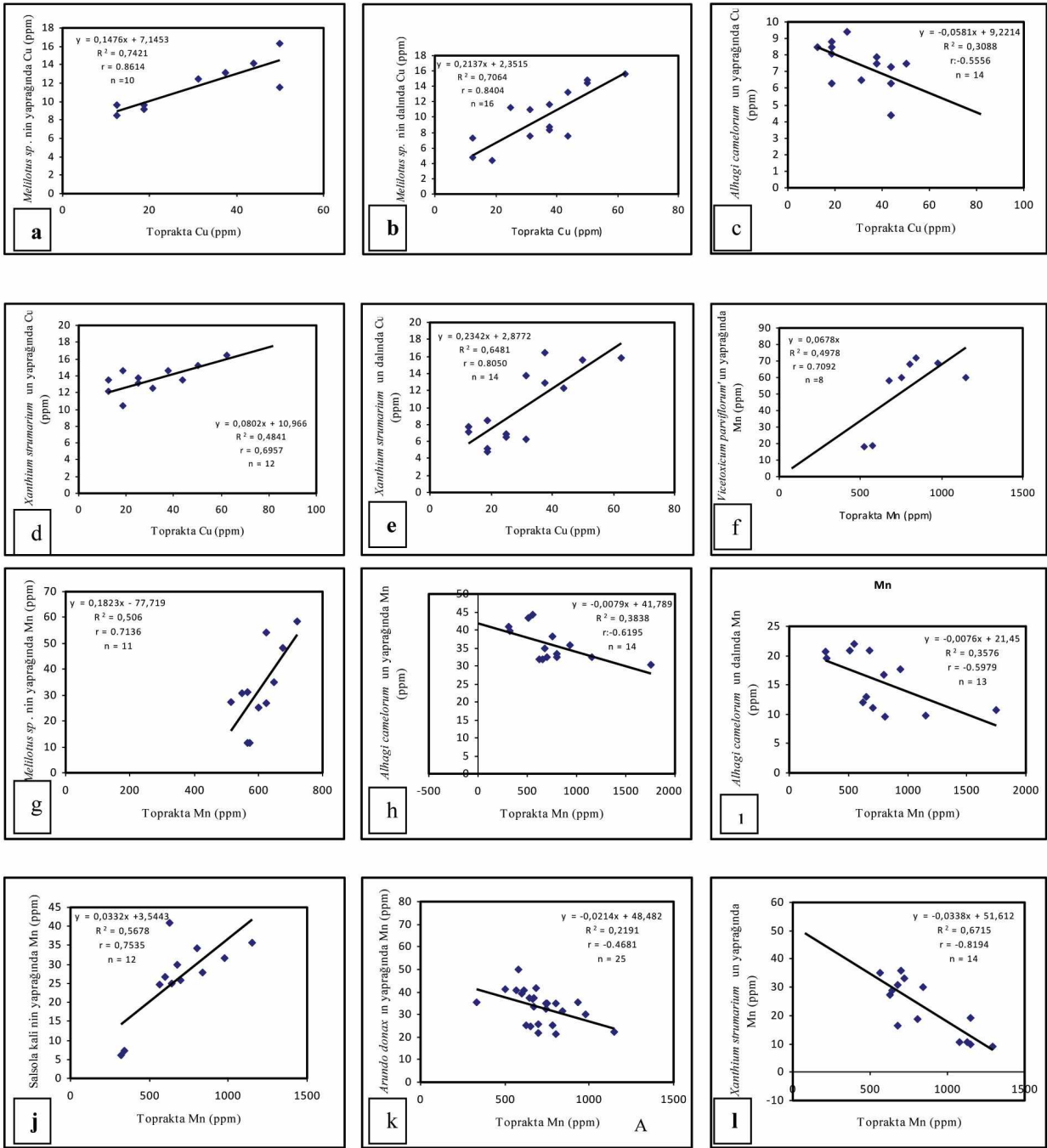
M. alba bitkisinin yaprağında 9-16 ppm, dalında 4-16 ppm, üzerinde yetiştiği topraklardan alınan örneklerde ise 13-63 ppm arasında değişen Cu konsantrasyonu değerleri saptanmıştır. Bitkinin yaprağı ile toprak ve dalı ile toprak arasında % 99 güvenilirlikle pozitif korelasyon bulunmaktadır ($n = 10$, $r = 0.8614$, r deneysel $>$ r teorik, $P < 0.01$, yaprak ile toprak $n = 16$, $r = 0.8404$, r deneysel $>$ r teorik, $P < 0.01$, dal ile toprak) (Şekil 4 a ve b). Bu bitki türünün yaprağının ve dalının, Cu için belirtgen olabileceği söylenebilir.

A. camelorum bitkisinin üzerinde yetiştiği topraklardan alınan örneklerde 13 ile 44 ppm arasında değişen Cu konsantrasyonu değerleri saptanmıştır. Bitkinin yaprağında Cu konsantrasyonu 4 ile 10 ppm arasında değişirken,

bitkinin yaprağı ile toprak arasında % 95 güvenilirlikle negatif korelasyon bulunmaktadır ($n = 14$, $r = -0.5556$, r deneysel $>$ r teorik, $P < 0.05$) (Şekil 4.c). Bu bitki türünün yaprağının Cu için belirtgen olabileceği söylenebilir.

X. strumarium bitkisinin üzerinde yetiştiği topraklardan alınan örneklerde Cu konsantrasyonu için 13 ile 63 ppm arasında değişen değerler saptanmıştır. Bitkinin yaprağında Cu konsantrasyonu 10-17 ppm, dalında ise 5-17 ppm arasında değişmektedir. Bitkinin yaprağı ile toprak arasında % 95 güvenilirlikle pozitif korelasyon bulunmaktadır ($n = 12$, $r = 0.6957$, r deneysel $>$ r teorik, $P < 0.05$) (Şekil 4.d). Bitkinin dalı ile toprak arasında % 99 güvenilirlikle pozitif korelasyon bulunmaktadır ($n = 14$, $r = 0.8050$, r deneysel $>$ r teorik, $P < 0.01$) (Şekil 4.e). Bu bitki türünün yaprağı ve dalının Cu için belirtgen olabileceği söylenebilir.

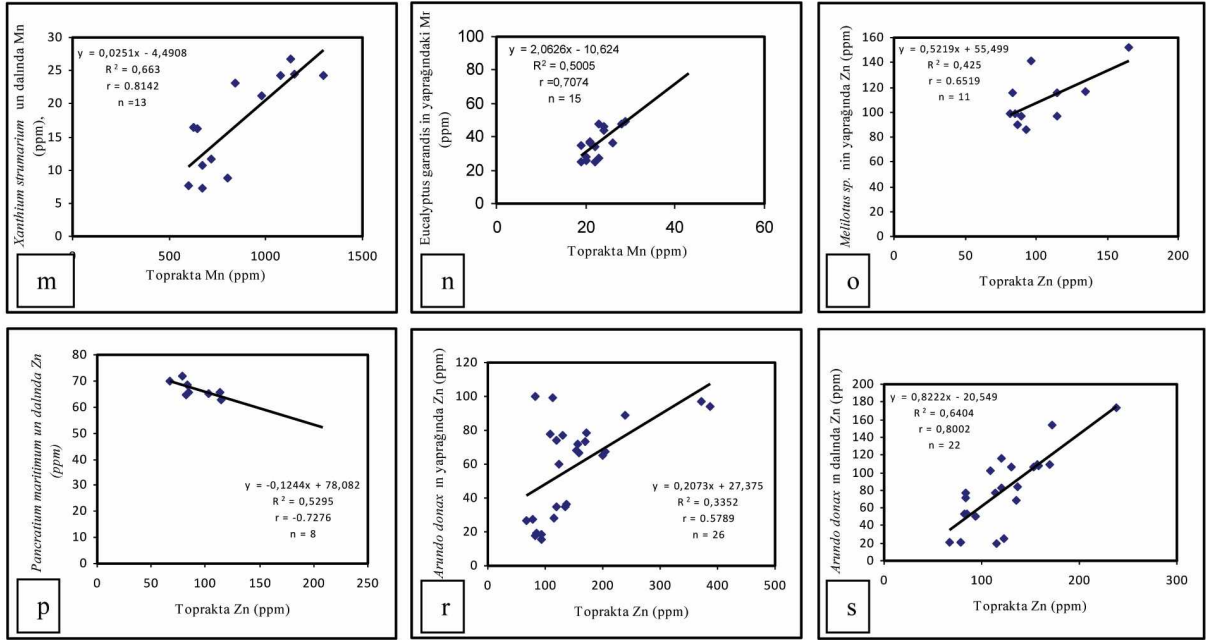
Çevresel ortamın belirlenmesinde Çizelge 1'de literatür verilerine ve bu çalışma ile belirlenen Cu değerlerine bakıldığında yeraltı sularında Cu seviyelerinin (literatürde 1-5 ppm) normal değerden biraz fazla (2-7 ppm) olduğu saptanmıştır. Toprak değerlerinin ise (literatürde normalde 1-20 ppm, toksik durumlarda 6646 ppm'e kadar çıkabildiği, bu çalışma ile en fazla 75 ppm, ortalama 30.9 ppm Cu saptanması) normalin üzerinde olması nedeniyle, alınan su ve toprak örneklerinin Cu açısından çok fazla kirli olmadığı normal değerlerin biraz üzerinde olduğu söylenebilir. Bitki için ise, literatürde bakırın normalde 1-17 ppm arasında olduğu, 17 ppm den sonra toksik etki yarattığı belirtilmektedir.



Şekil 4. Topraktaki element (Cu, Mn, Zn) konsantrasyonu ile bitki türündeki (dal, yaprak) element (Cu, Mn, Zn) konsantrasyonu arasındaki ilişki.

Figure 4. Cu, Mn, Zn element relations between soil and plant types (twigs, leaf).

Demir, Özdemir



Şekil 4. Devam ediyor.

Figure 4. Continues.

Çizelge 1'e bakıldığında belirtgen bitki olarak seçilen bitkilerde en fazla 17 ppm Cu olduğu ve toksik düzey sınırında olduğu söylenebilir.

Sonuç olarak, bölgenin Cu elementi açısından normal düzeyin üst sınırında veya eşik seviyede olduğu, anomali değer taşımadığı söylenebilir. Toprakta fazla miktarda Cu olduğunda, *M. alba*, *A. camelorum*, *X. strumarium* bitki türlerinin Cu için belirtgen olacağı, Cu içeren maden yataklarının araştırılmasının yanı sıra topraktaki kirliliğin araştırılmasında da kullanılabileceği söylenebilir. Ayrıca bu bitki türlerinin ekimi yapılarak, bakırla kirlenmiş toprakların temizlenmesi de mümkün olabilir.

Mn için Biyojeokimyasal Anomalilerinin İncelenmesi ve Çevresel Ortamın Yorumlanması

7 tür (*Vicetoxicum parviflorum*, *Salsola kali*, *Arundo donax*, *Eucalyptus grandis*, *X. strumarium*, *M. alba*, *A. camelorum*) bitki ile toprak örnekleri arasında yapılan incelemeler sonucunda mangan içeriği açısından doğrusal bir ilişki olduğu saptanmıştır.

V. parviflorum bitkisinin üzerinde yetiştiği topraklardan alınan örneklerde Mn konsantrasyonu için 525 ile 1150 ppm arasında değişen değerler saptanmıştır. Bitkinin yaprağındaki Mn konsantrasyonu 18 ile 72 ppm

Çizelge 1. Cu için literatürden ve çalışmadan elde edilen, çeşitli ortamlardaki (bitki, toprak ve su) element içerikleri (ppm olarak).

Table 1. Cu contents (in ppm) of various geological materials (plant, soil, water) compiled from literature and this study.

Kaynak	Literatürde Cu			Bu çalışmada Cu			
	Bitki	Toprak	Su	Belirtgen Bitkiler	Ort. değer	Aralık	
Özdemir, 2003	6-33	18-2355		<i>Melilotus alba</i>	Yaprak	12	9-16
Özdemir, 2003	4-468 (*)	146-5688 (*)			Dal	9	4-16
Tuna vd., 2005	15-685 (*)	15-6647 (*)	0.02 2,6		Toprak		13-63
Özmen ve Koç, 2006	5-18 (*)	-		<i>Alhagi camelorum</i>	Yaprak	7	4-10
Chapman, 1966	5-19	-			Toprak		13-44
Laatsch ve Zech, 1967	2-8	-		<i>Xanthium strumarium</i>	Yaprak	13	10-17
Bouat, 1971	78 (*)	-			Dal	10	5-17
Kloke, 1980	-	100			Toprak		13-63
Hakerlerler ve Höfner, 1984	88-313	-		Bütün Örnekler İçin	Bitki	8	1-50
Mills ve Jones, 1996	6-9	-			Toprak	31	13-75
Özbek vd., 1993	4-90	2-40			Su	3	2-7
Alloway, 1995	-	2-100					
Chettri vd., 1997	-	100-800					
Özdemir ve Sağıroğlu, 2000a	16-780	62-1920					
Rademacher, 2001	4	-					
Aktaş, 2004	34-386	19-50					
Batista vd., 2007	7-11	28-62					
Batista vd., 2007	64-592 (*)	179-6138 (*)					
Demirezen ve Aksoy, 2004	1-25	-	3-5				
Turan vd., 2006	2-32 (*)	20-50 (*)					
Yurdakul, 1997	20-25 (*)	-					
Wang, 2006	5-43	-					
Manta vd., 2002	-	16-146					
Alaimo vd., 2000	2-38	-					
Njofang vd., 2008	59-290	34					
Njofang vd., 2008	-	2-250					
Kaçar ve Kankat, 2009	3-19	2-48					
						(*) toksik	

değerleri arasında değişmektedir. Schroll (1975)'e göre, bitkinin yaprağı ile toprak arasında % 95 güvenilirlikle pozitif korelasyon bulunmaktadır ($n = 8$, $r = 0.7092$, r deneysel $>$ r teorik, $P < 0.05$) (Şekil 4.f). Bu bitki türünün yaprağının Mn için belirtgen olabileceği söylenebilir.

M. alba bitkisinin üzerinde yetiştiği topraklardan alınan örneklerde Mn konsantrasyonu için 515 ile 1750 ppm arasında değişen değerler saptanmıştır. Bitkinin yaprağında Mn konsantrasyonu 12 ile 58 ppm arasında değişmektedir. Schroll (1975)'e göre, bitkinin yaprağı ile toprak arasında % 95 güvenilirlikle pozitif korelasyon bulunmaktadır ($n = 11$, $r = 0.7136$, r deneysel $>$ r teorik, $P < 0.05$) (Şekil 4.g). Bu bitki türünün yaprağının Mn için belirtgen olabileceği söylenebilir.

A. camelorum bitkisinin üzerinde yetiştiği topraklardan alınan örneklerde Mn konsantrasyonu için 310 ile 1750 ppm arasında değişen değerler saptanmıştır. Mn konsantrasyonu, bitkinin yaprağında 30-44 ppm, dalında ise 10–21 ppm arasında değişmektedir. Schroll (1975)'e göre bitkinin yaprağı ile toprak arasında % 95 güvenilirlikle negatif korelasyon bulunmaktadır ($n = 14$, $r = -0.6195$, r deneysel $>$ r teorik, $P < 0.05$) (Şekil 4.h). Bitkinin dalı ile toprak arasında ise Schroll (1975)'e göre % 99 güvenilirlikle negatif korelasyon bulunmaktadır ($n = 13$, $r = -0.5979$, r deneysel $>$ r teorik, $P < 0.01$) (Şekil 4.i). Bu bitki türünün yaprağı ve dalının Mn için belirtgen olabileceği söylenebilir.

S. kali bitkisinin üzerinde yetiştiği topraklardan alınan örneklerde Mn konsantrasyonu için 320 ile 1150 ppm arasında değişen değerler saptanmıştır. Bitkinin yaprağında Mn konsantrasyonu 6 ile 41 ppm arasında değişmektedir. Schroll (1975)'e göre

bitkinin yaprağı ile toprak arasında % 99 güvenilirlikle pozitif korelasyon bulunmaktadır ($n = 12$, $r = 0.7535$, r deneysel $>$ r teorik, $P < 0.01$) (Şekil 4.j). Bu bitki türünün yaprağının Mn için belirtgen olabileceği söylenebilir.

A. donax bitkisinin üzerinde yetiştiği topraklardan alınan örneklerde Mn konsantrasyonu için 295 ile 1150 ppm arasında değişen değerler saptanmıştır. Bitkinin yaprağında Mn konsantrasyonu 21 ile 50 ppm arasında değişmektedir. Schroll (1975)'e göre bitkinin yaprağı ile toprak arasında % 95 güvenilirlikle negatif korelasyon bulunmaktadır ($n = 25$, $r = -0.4681$ r deneysel $>$ r teorik, $P < 0.05$) (Şekil 4.k). Bu bitki türünün yaprağının Mn için belirtgen olabileceği söylenebilir.

X. strumarium bitkisinin üzerinde yetiştiği topraklardan alınan örneklerde Mn konsantrasyonu için 565 ile 1150 ppm arasında değişen değerler saptanmıştır. Bitkinin yaprağında Mn konsantrasyonu 9 ile 36 ppm, dalında ise 7 ile 27 ppm arasında değişmektedir. Schroll (1975)'e göre bitkinin yaprağı ile toprak arasında % 99 güvenilirlikle negatif korelasyon bulunmaktadır ($n = 14$, $r = -0.8194$, r deneysel $>$ r teorik, $P < 0.01$) (Şekil 4.l). Bitkinin dalı ile toprak arasında ise Schroll (1975)'e göre % 99 güvenilirlikle pozitif korelasyon bulunmaktadır ($n = 13$, $r = 0.8142$, r deneysel $>$ r teorik, $P < 0.01$) (Şekil 4.m). Bu bitki türünün yaprağının ve dalının Mn için belirtgen olabileceği söylenebilir.

E. grandis bitkisinin üzerinde yetiştiği topraklardan alınan örneklerde Mn konsantrasyonu için 19 ile 29 ppm arasında değişen değerler saptanmıştır. Bitkinin yaprağında Mn konsantrasyonu 25 ile 49 ppm arasında değişmektedir. Schroll (1975)'e göre bitkinin yaprağı ile toprak arasında % 99

güvenilirlikle pozitif korelasyon bulunmaktadır ($n = 15$, $r = 0.7074$ r deneysel $>$ r teorik, $P < 0.01$) (Şekil 4.n). Bu bitki türünün yaprağının Mn için belirtgen olabileceği söylenebilir.

Çevresel ortamın belirlenmesinde Çizelge 2’de verilen literatür ve bu çalışma ile belirlenen Mn değerlerine bakıldığında yeraltı sularında Mn seviyelerinin (literatürde 3-5 ppm) normal değerden fazla (1-9 ppm, ortalama 3 ppm) olmadığı, bölgedeki toprağın ise Mn değerleri açısından (literatürde 20-800 ppm, toksik

durumlarda 10.000 ppm’e kadar çıkabildiği ve bu çalışma ile en fazla 1750 ppm, ortalama 685 ppm Mn saptanması) kirli olmadığı normal değerlerde olduğu söylenebilir. Bitki için ise, literatürde manganın normalde 2 ile 160 ppm arasında olduğu, 160 ppm’den sonra toksik etki yarattığı (bazı durumlarda 1.000 ppm’in üzerine çıkabildiği) belirtilmektedir. Çizelge 2’ye bakıldığında belirtgen bitki olarak seçilen bitkilerde en fazla 72 ppm Mn olduğu ve bu bitkilerde Mn’nin normal düzeyde olduğu söylenebilir.

Çizelge 2. Mn için literatürden ve çalışmadan elde edilen, çeşitli ortamlardaki (bitki, toprak ve su) element içerikleri (ppm olarak).

Table 2. Mn contents (in ppm) of various geological materials (plant, soil, water) compiled from literature and this study.

Literatürde Mn				Bu çalışmada Mn			
Kaynak	Bitki	Toprak	Su	Belirtgen Bitkiler	Ort. Değer	Aralık	
Nagaraju ve Karimulla, 2002	134–1940	141–230		<i>Vicetoxicum parviflorum</i>	Yaprak	29.4	18–72
Özdemir, 2003	14–94	119–2783			Toprak	-	525–1150
Özdemir, 2003	6–164 (*)	119–2783(*)		<i>Melilotus alba</i>	Yaprak	36	12–58
Tuna vd., 2005	42	487- 544			Toprak	-	515–1750
Özmen ve Koç, 2006	132–338 (*)	-		<i>Alhagi camelorum</i>	Yaprak	16	30–44
Laatsch ve Zech, 1967	35–58	-			Dal	26.3	10–21
Bouat, 1971	5–36	-			Toprak	-	310–1750
Pendias ve Pendias, 1984	-	1500–3000		<i>Salsola kali</i>	Yaprak	33	6–41
Çepel ve Dündar, 1978	50–69	-			Toprak	-	320–1150
Normandin vd., 1999	20–500	500–900		<i>Arundo donax</i>	Yaprak	23	21–50
Batista vd., 2007	558- 1212	34–400			Toprak	-	295–1150
Batista vd., 2007	213- 1233 (*)	403–3195(*)		<i>Xanthium strumarium</i>	Yaprak	23	9–36
Demirezen ve Aksoy, 2006	-	50–500	3–5		Dal	17	7–27
Turan vd., 2006	1- 7	20–61 (*)			Toprak	-	565–1150
Ghaderian ve Baker, 2007	11–239	700–810		<i>Eucalyptus grandis</i>	Yaprak	36	25–49
Wang, 2006	24.2–170	-			Toprak	-	19–29
Manta vd., 2002	-	286–750		Bütün Örnekler İçin	Bitki	31	5–175
Alaimo vd., 2000	5- 81	-			Toprak	685	11–1750
Njofang vd., 2008	48–516	767			Su	3	1–9
Njofang vd., 2008Kaçar ve İnal, 2009	-1-2262	20–10000-		(*) toksik			
Kaçar ve İnal, 2009	1-2262	-					

Sonuç olarak bölgenin Mn elementi açısından normal düzeylerde olduğu, anomali değer taşımadığı söylenebilir. Toprakta fazla miktarda Mn olduğunda, *V. parviflorum*, *M. alba*, *A. camelorum*, *S. kali*, *A. donax*, *X. strumarium*, *E. grandis* bitki türlerinin Mn için belirtgen olacağı, Mn içeren maden yataklarının araştırılmasının yanı sıra topraktaki kirliliğin araştırılmasında da kullanılabilmesi önerilebilir. Ayrıca bu bitki türlerinin ekimi yapılarak, mangan açısından kirlenmiş toprakların temizlenmesi söylenebilir.

Zn için Biyojeokimyasal Anomalilerinin İncelenmesi ve Çevresel Ortamın Yorumlanması

Dokuz bitki türünde yapılan çinko elementi analizlerinde, 3 tür bitki (*M. alba*, *Pancreatium maritimum*, *A. donax*) ile toprak örnekleri arasında element içerikleri açısından doğrusal bir ilişki olduğu saptanmıştır.

M. alba bitkisinin üzerinde yetiştiği topraklardan alınan örneklerde Zn konsantrasyonu için 565 ile 1750 ppm arasında değişen değerler saptanmıştır. Bitkinin yaprağında Zn konsantrasyonu 86 ile 152 ppm arasında değişmektedir. Bitkinin yaprağı ile toprak arasında % 95 güvenilirlikle pozitif korelasyon bulunmaktadır ($n = 11$, $r = 0.6519$, r deneysel $>$ r teorik, $P < 0.05$) (Şekil 4.o). Bu bitki türünün yaprağının Zn için belirtgen olabileceği söylenebilir.

P. maritimum bitkisinin üzerinde yetiştiği topraklardan alınan örneklerde Zn konsantrasyonu için 103 ile 1150 ppm arasında değişen değerler saptanmıştır. Bitkinin dalında Zn konsantrasyonu 63 ile 72 ppm arasında değişmektedir. Bitkinin dalı ile toprak arasında % 95 güvenilirlikle negatif korelasyon bulunmaktadır ($n = 8$, $r =$

-0.7276 , r deneysel $>$ r teorik, $P < 0.05$) (Şekil 4.p). Bu bitki türünün dalının Zn için belirtgen olabileceği söylenebilir.

A. donax bitkisinin üzerinde yetiştiği topraklardan alınan örneklerde Zn konsantrasyonu için 170 ile 1150 ppm arasında değişen değerler saptanmıştır. Bitkinin yaprağında Zn konsantrasyonu 16 ile 100 ppm, dalında ise 20 ile 173 ppm arasında değişmektedir. Bitkinin yaprağı ile toprak arasında % 99 güvenilirlikle pozitif korelasyon bulunmaktadır ($n = 26$, $r = 0.5789$, r deneysel $>$ r teorik, $P < 0.01$) (Şekil 4.r). Bitkinin dalı ile toprak arasında % 99 güvenilirlikle pozitif korelasyon bulunmaktadır ($n = 22$, $r = 0.8002$, r deneysel $>$ r teorik, $P < 0.01$) (Şekil 4.s). Bu bitki türünün yaprağı ve dalının Zn için belirtgen olabileceği söylenebilir.

Çevresel ortamın belirlenmesinde Çizelge 3'te verilen literatür ve bu çalışma ile belirlenen Zn değerlerine bakıldığında yeraltı sularında Zn seviyelerinin normal düzeyin üzerinde olduğu (literatürde 15 ppm TS266, bu çalışmada 5-64 ppm), toprak değerlerinin ise (literatürde 5-70 ppm, toksik durumlarda 5.645 ppm'e kadar çıkabildiği, bu çalışma ile ortalama 113 ppm ve 1750 ppm'e kadar varan Zn saptanması) normalin üzerinde olması nedeniyle, bölgedeki toprağın Zn açısından kirli olduğu söylenebilir. Bitki için ise, literatürde, çinkonun normalde 2 ile 100 ppm arasında olduğu, 150 ppm'den sonra toksik etki yarattığı belirtilmektedir. Çizelge 3'e bakıldığında, belirtgen bitki olarak seçilen bitkilerde en fazla 173 ppm, ortalama ise 80 ppm Zn olduğu ve normal düzeyin üzerinde olduğu söylenebilir.

Sonuç olarak bölgenin Zn elementi açısından normal düzeylerin üzerinde olduğu, anomali değer taşıdığı söylenebilir. *M. alba*,

Çizelge 3. Zn İçin literatürden ve çalışmadan elde edilen, çeşitli ortamlardaki (bitki, toprak ve su) element içerikleri (ppm olarak).

Table 3. Zn contents (in ppm) of various geologic materials (plant, soil, water) compiled from literature and this study.

Literatürde Zn			Bu çalışmada Zn			
Kaynak	Bitki	Toprak	Belirtgen Bitkiler		Ort. Değer	Arahk
Özdemir, 2005	18–156 (*)	80–5915	<i>Melilotus alba</i>	Yaprak	110	86–152
Özdemir, 2005	7–896 (*)	63–9908 (*)		Toprak		565–1750
Akçay vd., 1998	3–1244 (*)	5–948	<i>Panocratium maritimum</i>	Dal	67	63–72
Gedik, 2005	68–1245 (*)	42–171		Toprak		103–1150
Tuna vd., 2005	22	76–87	<i>Arundo donax</i>	Yaprak	59	16–100
Özmen ve Koç, 2006	100	-		Dal	81	20–173
Kloke, 1980	-	300		Toprak		170–1150
Pendias ve Pendias, 1984	-	70–400	Bütün Örnekler İçin	Bitki	80	11–192
Mills ve Jones, 1996	59–66	-		Toprak	113	3–1750
Özbek vd., 1993	5–100	10–80		Su	15	5- 64
Alloway, 1995	25–150 (*)	10–300	Literatürde (TS266)	Su	15	
Rademacher, 2001	40	-				
Batista vd., 2007	12- 20	32- 59				
Batista vd., 2007	54- 177 (*)	78–607 (*)				
Demirezen ve Aksoy, 2004	-	5–70 (*)				
Turan vd., 2006	2- 35	77- 1443				
Yurdakul, İ., 1997	119- 272 (*)	-				
Wang, 2006	4- 70	-				
Manta vd., 2002	59- 516 (*)	-				
Alaimo vd., 2000	11- 60	-				
Njofang vd., 2008	138–1197 (*)	90				
Njofang vd., 2008	-	1–900				
Kacar ve İnal, 2009	6-83	-	(*) toksik			

Demir, Özdemir

P. maritimum, *A. donax* bitki türlerinin Zn için belirtgen olacağı, Zn içeren maden yataklarının araştırılmasının yanı sıra topraktaki kirliliğin araştırılmasında da kullanılabilmesi önerilebilir. Ayrıca bu bitki türlerinin ekimi yapılarak, çinko açısından kirlenmiş toprakların temizlenmesi söylenebilir.

Pb ve Cd için Biyojeokimyasal Anomalilerinin İncelenmesi ve Çevresel Ortamın Yorumlanması

Çalışma bölgesinde araştırılan bitki türlerinde, Pb ve Cd için belirtgen bitki saptanamamıştır. Toprakta, Pb için normal

değerlerin üzerinde değerler elde edilirken, bitkilerde ise Cd ve Pb elementleri için bazı anomali değerler elde edilmiştir. Ancak bu değerler için, bitki ile toprak arasında istatistiksel olarak bir ilişki saptanamamıştır.

Belirtgen Olarak Saptanan Bitki Türlerinin Topraktaki Diğer Elementlerle İlişkisi

Cu, Mn ve Zn elementleri için saptanan belirtgen bitkilerin belirttiği element düzeylerinin, toprakta bulunan diğer elementlerle (Cu, Mn, Zn, Fe, Cr, Cd, Pb, Ni ve Co) olan ilişkileri incelenmiştir (Çizelge 4).

Çizelge 4. Belirtgen bitki olarak saptanan türlerin topraktaki diğer elementlerle (Cu, Mn, Zn, Fe, Cr, Cd, Pb, Ni ve Co) olan ilişkisi.

Table 4. Element (Cu, Mn, Zn, Fe, Cr, Cd, Pb, Ni and Co) relations between indicator plants and soil.

Belirtgen Bitkide Cu		Toprakta Element								
		Cu	Mn	Zn	Fe	Ni	Cr	Cd	Pb	Co
<i>Melilotus alba</i>	Yaprak	ÇÖ	ÖD	Ö	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD
<i>Melilotus alba</i>	Dal	ÇÖ	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD
<i>Alhagi camelorum</i>	Yaprak	-Ö	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD
<i>Xanthium strumarium</i>	Yaprak	Ö	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD
<i>Xanthium strumarium</i>	Dal	ÇÖ	ÖD	ÖD	ÖD	ÇÖ	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD
Belirtgen Bitkide Mn		Toprakta Element								
		Cu	Mn	Zn	Fe	Ni	Cr	Cd	Pb	Co
<i>Vicetoxicum parviflorum</i>	Yaprak	ÖD	Ö	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD
<i>Melilotus alba</i>	Yaprak	ÖD	Ö	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD
<i>Alhagi camelorum</i>	Yaprak	ÇÖ	-Ö	ÖD	-Ö	ÖD	-Ö	ÖD	ÖD	ÖD
<i>Alhagi camelorum</i>	Dal	Ö	-ÇÖ	ÖD	-Ö	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD
<i>Xanthium strumarium</i>	Yaprak	ÖD	-ÇÖ	ÖD	-Ö	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD
<i>Xanthium strumarium</i>	Dal	ÖD	ÇÖ	ÖD	Ö	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD
<i>Salsola kali</i>	Yaprak	ÖD	ÇÖ	ÖD	ÇÖ	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD
<i>Eucalyptus grandis</i>	Yaprak	ÖD	ÇÖ	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD
<i>Arundo donax</i>	Yaprak	ÖD	-Ö	Ö	ÖD	ÖD	-Ö	ÖD	ÖD	ÖD
Belirtgen Bitkide Zn		Toprakta Element								
		Cu	Mn	Zn	Fe	Ni	Cr	Cd	Pb	Co
<i>Melilotus alba</i>	Yaprak	ÖD	ÖD	Ö	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD
<i>Pancreatium maritimum</i>	Dal	ÖD	ÖD	-Ö	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD
<i>Arundo donax</i>	Yaprak	ÖD	ÖD	ÇÖ	-Ö	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD
<i>Arundo donax</i>	Dal	Ö	ÖD	ÇÖ	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD

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

Bakır için belirtgen bitki olarak saptanmış olan *M. alba* bitkisinin yaprağındaki Cu derişimi ile toprakta bulunan Zn derişimi arasında % 95 güvenilirlikle pozitif yönde bir ilişki bulunmaktadır ($r = 0.7142$, $n = 8$). Toprakta Zn elementinin bulunduğu durumlarda *M. alba* bitkisinin yaprağı, topraktaki Cu elementini bünyesine alabilmektedir. Bu bitki türünün bakırı bünyesine almasında topraktaki çinkonun belirleyici bir etkisi olduğu, toprakta Zn değerinin arttığı durumda bitki Cu elementini bünyesine bu artan oranda daha fazla alıp, özellikle yaprağında biriktirmektedir.

Bakır için belirtgen bitki olarak saptanmış olan *X. strumarium* bitkisinin dalındaki Cu derişimi ile toprakta bulunan Ni derişimi arasında % 99 güvenilirlikle pozitif yönde bir ilişki bulunmaktadır ($r = 0.7033$, $n = 14$). Toprakta Ni elementinin bulunduğu durumlarda *M. alba* bitkisi Cu elementini bünyesine alabilmektedir. Bu bitki türünün bakırı bünyesine almasında topraktaki nikelin belirleyici bir etkisi olduğu söylenebilir.

Mangan için belirtgen bitki olarak saptanmış olan *A. camelorum* bitkisinin yaprağı ile topraktaki Mn arasında negatif yönde, toprakta bulunan Cu derişimi ile arasında % 99 güvenilirlikle pozitif yönde bir ilişki ($r = 0.6744$, $n = 14$) bulunurken, toprakta bulunan Fe derişimi ile arasında % 95 güvenilirlikle negatif yönde, ($r = -0.6606$, $n = 14$) Cr derişimi ile ise arasında % 95 güvenilirlikle negatif yönde bir ilişki ($r = -0.5679$, $n = 14$) bulunmaktadır.

Mangan için belirtgen bitki olarak saptanmış olan *A. camelorum* bitkisinin dalındaki Mn derişimi ile toprakta bulunan Cu derişimi arasında % 95 güvenilirlikle pozitif yönde bir ilişki ($r = 0.5891$, $n = 13$) bulunurken,

toprakta bulunan Fe derişimi ile arasında % 95 güvenilirlikle negatif yönde birilişki ($r = -0.5937$, $n = 13$) bulunmaktadır.

Mangan için belirtgen bitki olarak saptanmış olan *X. strumarium* bitkisinin yaprağındaki Mn derişimi ile toprakta bulunan Fe derişimi arasında % 95 güvenilirlikle negatif yönde bir ilişki ($r = -0.8194$, $n = 14$) bulunmaktadır. Topraktaki Fe derişimi arttıkça, *X. strumarium* bitkisinin bünyesine aldığı mangan o oranda azalmaktadır.

Mangan için belirtgen bitki olarak saptanmış olan *X. strumarium* bitkisinin dalındaki Mn derişimi ile toprakta bulunan Fe derişimi ile arasında % 95 güvenilirlikle pozitif yönde bir ilişki ($r = 0.8142$, $n = 13$) bulunmaktadır. Topraktaki Fe derişimi arttıkça *Xanthium strumarium* bitkisinin (dalında) bünyesine aldığı mangan da artmaktadır.

X. strumarium bitki türünün yaprağındaki mangan ile topraktaki Mn arasında negatif birilişki varken dalında pozitif bir ilişki gözlenmektedir. Aynı şekilde yaprağındaki Mn ile topraktaki Fe arasında azalan yönde doğrusal ilişki ($r = -0.8194$, $n = 14$) gözlenirken, dalındaki Mn ile toprağındaki Fe arasında artan yönde doğrusal ilişki ($r = 0.8142$, $n = 13$) gözlenmektedir.

Mangan için belirtgen bitki olarak saptanmış olan *S. kali* bitkisinin yaprağındaki Mn derişimi ile toprakta bulunan Fe derişimi arasında % 99 güvenilirlikle doğrusal bir ilişki ($r = 0.7945$, $n = 12$) bulunmaktadır. Topraktaki Fe derişimi arttıkça *S. kali* bitkisinin bünyesine aldığı mangan da artmaktadır.

Mangan için belirtgen bitki olarak saptanmış olan *A. donax* bitkisinin yaprağındaki Mn derişimi ile toprakta bulunan Zn derişimi arasında % 95 güvenilirlikle artan yönde doğrusal

bir ilişki ($r = 0.4684$, $n = 25$) bulunurken, toprakta bulunan Cr derişimi ile arasında % 95 güvenilirlikle azalan yönde doğrusal bir ilişki ($r = -0.4249$, $n = 25$) bulunmaktadır. Toprakta artan Zn derişimine karşı *A. donax* bitkisi bünyesine manganı doğrusal olarak alırken, toprakta artan Cr derişimi ile bitkinin içerdiği Mn arasında azalan yönde doğrusal bir ilişki bulunmaktadır.

Çinko için belirtgen bitki olarak saptanmış olan *A. donax* bitkisinin yaprağındaki Zn derişimi ile toprakta bulunan Fe derişimi arasında % 95 güvenilirlikle azalan yönde doğrusal bir ilişki ($r = -0.3895$, $n = 26$) bulunmaktadır. Topraktaki Fe derişimi arttıkça *A. donax* bitkisinin bünyesine aldığı çinko miktarı azalmaktadır.

Çinko için belirtgen bitki olarak saptanmış olan *A. donax* bitkisinin dalındaki Zn derişimi ile toprakta bulunan Cu derişimi arasında % 95 güvenilirlikle artan yönde doğrusal bir ilişki ($r = 0.4286$, $n = 26$) bulunmaktadır. Topraktaki Cu derişimi arttıkça *A. donax* bitkisinin bünyesine aldığı çinko da artmaktadır.

Ayrıca kuyu, deniz ve dere sularından alınan su örneklerinde Cu için 2-7 ppm, Mn için 1-9 ppm ve Zn için 5-64 ppm arasında değişen element düzeyleri saptanmıştı

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında Kazanlı-Mersin bölgesinden alınan örneklerde (Cu, Mn, Zn, Cd ve Pb) element düzeyleri araştırılmış ve Cu, Mn ve Zn için toprak-bitki arasında element içerikleri açısından doğrusal bir ilişki saptanmıştır.

Araştırılan 19 bitki türünden 8'inin (*Melilotus alba*, *Alhagi camelorum*, *Xanthium strumarium*, *Vicetoxicum parviflorum*, *Salsola kali*, *Arundo donax*, *Eucalyptus grandis*,

Panocratium maritimum) element düzeyleri açısından belirtgen bitki olabilecekleri önerilmiştir. Sırası ile:

1. Bakır elementi için; *M. alba* ve *X. strumarium* bitki türlerinin yapraklarının ve dallarının, *A. camelorum* bitki türünün ise yaprağıının belirtgen olabileceği saptanmıştır.
2. Mangane elementini için; *V. parviflorum*, *M. alba*, *S. kali*, *A. donax* ve *E. grandis* bitki türlerinin yapraklarının, *A. camelorum* ve *X. strumarium* bitki türlerinin ise yapraklarının ve dallarının belirtgen olabileceği saptanmıştır.
3. Çinko elementi için; *M. alba* bitki türünün yaprağıının, *P. maritimum* bitki türünün dalının ve *A. donax* bitki türünün yaprağıının ve dalının belirtgen olabileceği saptanmıştır.
4. Cu, Mn ve Zn elementleri için saptanan belirtgen bitkilerin belirttiği element düzeylerinin toprakta bulunan diğer elementlerle (Cu, Mn, Zn, Fe, Cr, Cd, Pb, Ni ve Co) olan ilişkileri (inter element ilişkisi) incelenmiş ve tartışılmıştır.

Cu için belirtgen bitki olarak saptanan *M. alba* bitki türünün yaprağı ile toprakta bulunan Zn arasında önemli bir ilişkinin (% 95 güvenilirlikle, $P < 0.05$) olduğu, bitkideki Cu değerinin, toprakta bulunan Zn'ye bağlı olabileceği söylenebilir.

Ayrıca Cu için belirtgen bitki olarak saptanan *X. strumarium* bitki türü ile toprakta bulunan Ni arasında çok önemli bir ilişki (% 99 güvenilirlikle, $P < 0.01$) olduğu, bitkideki Cu değerinin, toprakta bulunan Ni'ye bağlı olabileceği söylenebilir.

Mangane için belirtgen bitki olarak saptanmış olan *A. camelorum* bitki türünün yaprağı ve dalı, *X. strumarium* bitki türünün yaprağı ile toprakta

Fe arasında azalan yönde bir ilişki olduğu saptanmış olup, topraktaki Fe'nin az olması durumunda bu bitki türlerinin Mn'yi bünyelerine fazla miktarda alabilecekleri söylenebilir.

Ayrıca *X. strumarium* bitkisinin dalı (% 95 güvenilirlikle, $P < 0.05$) ve *S. kali'* bitkisinin yaprağında bulunan Fe (% 99 güvenilirlikle, $P < 0.01$) ile topraklarında bulunan Fe içeriği arasında artan yönde bir ilişki saptanmıştır.

Toprakta Fe düzeyinin artması durumunda bu bitkilerin Mn'yi bünyelerine almasının artan bu yönde fazla olacağı söylenebilir. Bunun yanında toprakta Cr'nin fazla olması durumunda *A. camelorum* bitkisinin ve (% 95 güvenilirlikle, $P < 0.05$) *A. Donax* bitkisinin yaprağının Mn'yi daha az miktarda bünyesine alabileceği söylenebilir.

Zn için belirtgen bitki olarak seçilen *A. donax* bitkisinin yaprağındaki Zn içeriği ile (% 95 güvenilirlikle, $P < 0.05$) topraktaki Fe miktarı arasında azalan yönde bir ilişki, topraktaki Cu miktarı ile artan yönde bir ilişki olduğu (%95 güvenilirlikle, $P < 0.05$) saptanmıştır. Bu bitki türünün Zn'yi bünyesine daha fazla alabilmesi için yetiştiği toprakta Fe nin az ve Cu nun fazla miktarda olması önemlidir.

5. Toprakta Cu, Mn ve Zn kirliliğinin olduğu bölgelerde, belirtgen bitki olarak seçilen bitki türlerinin yetiştirilmesi ile kirliliğin giderilebileceği söylenebilir. Özellikle *M. alba* bitki türünün üç element için belirtgen bitki olması, bu bitki türünün önemini arttırmaktadır. Ayrıca tüm belirtgen bitkilerin biyojeokimyasal prospeksiyonda da kullanılabilirliği söylenebilir.
6. Cd ve Pb için bölgede belirtgen bitki saptanamamıştır. Toprakta Pb için normal

değerin üzerinde değerler elde edilirken, bitkilerde Cd ve Pb elementleri için bazı anomali değerler elde edilmiştir. Ancak bitki-toprak arasında istatistiksel olarak önemli bir ilişki saptanamamıştır.

7. Bölgedeki bitkilerin alüvyon seviyeler üzerinde yetişmesi nedeniyle toprak yüzeyindeki ağır metallerin yağmur sularıyla derinlere indiği ve toprakta uzun süreli kalamadığı, bölgenin yeraltı sularının dikkatli olarak incelenmesi gerektiği, bu kirliliğin çok uzaklarda bile etkili olabileceği söylenebilir.
8. Cu, Mn ve Zn elementleri için belirtgen bitkiler saptanırken sadece Zn için saptanan belirtgen bitkilerde anomali düzeyler belirlenmiştir. Alınan örneklerde Zn için toksik düzeylerin saptanmasının nedeni olarak bu bölgede yoğun bir şekilde sürdürülen tarım faaliyetleri sırasında kullanılan ilaç ve gübreler ya da bölgedeki krom işletmesinin atıklarından kaynaklı olarak bölgedeki toprakların kirlenmiş olabileceği söylenebilir.
9. Bu çalışmada birçok element için belirtgen bitkinin bulunmasının nedeni, bölgede yıllardır yoğun bir şekilde süren seracılık ve narenciye faaliyetleri yanı sıra krom işletmesi, petrol dolum tesisleri ve fabrikaların yarattığı atıklardan kaynaklı, bölgedeki toprağın farklı birçok kaynak tarafından kirlenmiş olmasının bir sonucu olabilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Mersin Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından desteklenen BAP-FBE JB

(ED) 2006-3 YL numaralıproje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Çalışmamıza destek veren Mersin Üniversitesi Araştırma Fonu'na ve bitkilerin sistematik tanımlamalarını yapan Prof. Dr. Bayram Yıldız'a (Balıkesir Üniversitesi) teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Akçay, M., Lermi, A., Van, A., 1998. Biogeochemical exploration for massive sulphide deposits in areas of dense vegetation: an orientation survey around the Kanköy deposit. *Journal of Geochemical Exploration*, 63, 173-187.
- Akıncı, T.Ö., 2003. Maden jeolojisi ve arama yöntemleri. Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fak. Yayınları, Yayın No.33, Isparta, 146s.
- Aktaş, M., 2004. Bitkilerde beslenme bozuklukları ve tanımları. *Tarım Sanayi Bildiri Kitabı*, s:1118-1186, Tokat.
- Alaimo, M.G., Dongarra, G., Melati, M.R., Monna, F., Varrica, D., 2000. Recognition of environmental using pine needle a bioindicators, The urban area of Palermo (Italy). *Environmental Geology*, 39:914-924.
- Alloway, B. J., 1995. *Heavy Metals in Soil*. Blackie Academic and Professional, Second Edition, 368 s.
- Anjos, C., Magalhaes, M.C.F., Abreu, M.M., 2012. Metal (Al, Mn, Pb and Zn) soils extractable reagents for available fraction assesment: Comparison using plants, and dry and moist soils from the Braçal abandoned lead mine area. Portugal, *Journal of Geochemical Exploration*, 113,45-55.
- Batista, M.J., Abreu, M.M., Pinto, M.S., 2007. Biogeochemistry in Neves corvo mining region, Iberian pyrite belt, Portugal. *Journal of Geochemical Exploration*, 92 (2-3), 159-176.
- Benton, J., Jones, R., 1984. Developments in the measurement of trace metal in foods. *Analytical Food Contrum*, 157-206
- Bouat, A., 1971. Zeytin Fizyolojisi ve Yaprak Analizleri. *Zeytincilik Ens. Md., Bornova-İzmir*, 37-60.
- Brooks, R.R., Baker, A.J.M., Malaisse, F., 1992. Copper flowers national geographic. *Research and exploration*, 8(3), 338-351.
- Brooks, R.R., Dunn, C.E., Hall, G.E.M., 1995. *Biological system in mineral exploration and processing*. Elles Horwood Limited, 538 s.
- Chapman, H.D., 1966. *Diagnostic Criteria For Plants and Soils*. Univ. of California, Div. of agricult. Science, 663-665,
- Chettri, M.K., Sawidis, T., Karataglıs, S., 1997. Lichens as a Too for Biogeochemical Prospecting. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 38, 322-335.
- Çepel, D., Dündar, M., 1978. Bitki beslenmesi ile ilgili Araştırmalarda elverişli yaprak örneği alma zamanının belirlenmesi. *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Seri: B*, 28(2), 56-66.
- Demir E., Özdemir, Z., 2008. Kazanlı (Mersin) Bölgesinde Cr, Fe, Ni ve Co m çevresel etkisi ve bir Biyojeokimyasal Çalışma. *Mersin Sempozyumu Kitapçığı*, 146-159, Mersin
- Demirezen, D., Aksoy, A., 2004. Accumulation Of Heavy Metals İn Typha Angustifolia (L.) and Potamogeton Pectinatus (L.) Living İn Sultan Marsh (Kayseri, Turkey). *Chemosphere*, 56, 685-696.
- Demirezen, D., Aksoy, A., 2006. Common hydrophyte a bioindicators of iron and manganese pollution. *Ecological Indicators*, 6, 388-393.
- Dunn, C., 2007. *Biogeochemistry in mineral exploration*. Consulting Geochemist, 480 s.
- Gedik, T., 2005. Madenköy (Niğde/Ulukışla) ve dolaylarının biyojeokimyasal Anomalilerinin incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Çukurova*

- Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 113s.
- Ghaderian, S.M., Baker, A.J.M., 2007. Geobotanical and biogeochemical reconnaissance of the ultramafics of Central Iran, *Journal of Geochemical Exploration*, 92(1), 34-42.
- Hakerlerler, H., Höfner, W., 1984. Schwermetallbelastung von Olivenanlagen Durch Immissionen Einer Düngermittelfabrik. *Zf.F.Pflanzenernah. u. Bodenk*, 147(4), 526-529.
- Kacar, B., Kankat, A., 2009. Bitki Besleme, Nobel Yayını Yayın No:849/30.
- Kacar, B., İnal, A., 2009. Bitki Analizleri, Nobel Yayını Yayın No:1241/63,892s.
- Kloke, A., 1980. Orientierungsdaten für Tolerierbare Gesamtgehalte einiger Elemente in Kulturboden *Mitt. Vdlufa, H.*, 1(3), 9-11.
- Köksoy, M., 1991. Uygulamalı Jeokimya. Hacettepe Yayınları, Yayın No.64, Ankara, 368 s.
- Laatsch, W., Zech, W., 1967. Die Bedeutung der Beschattung für Unzurerchend Ernährte Nadelbaume *Anales de Adafologia. Agrobiologia*, 26, 691-702.
- Manta, D.S., Angelone, M., Bellance, A., Neri, R., Sprovieri, M., 2002. Heavy metals in urban soil: a case study from the city of Palermo (Sicily), Italy. *The Science of the Total Environment*, 300, 229-243.
- Mills, A., Jones, J.B., 1996. *Plant Analysis Handbook II. Micro macro Pub. Athens, Georgia*.
- Nagaraju, A., Karimulla, S., 2002. Accumulation of elements in plants and soil in and around Nellore Mica Belt, Andhra Pradesh, India biogeochemical study. *Environmental Geology*, 41, 852-860.
- Njofang, C., Matschullant, J., Amougou, A., Tchouankoue, J.P., Heilmeyer, H., 2008. Soil and plant composition in the Noun river catchment basin, Western Cameron: a contribution to the development of a biochemical baseline. *Environmental Geology*, 56(7), 1427-1436.
- 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 İn Unleaded Gasoline. *The Science of the Total Environment*, 239, 165-171.
- Özbek, H., Kaya, Z., Gök, M., Kaptan, H., 1993. Toprak Bilimi. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Adana, 816s.
- Özdemir, Z., Sağıroğlu, A., 1999. Biogeochemical Manganese Anomalies Along the Maden Çayı Valley, Maden-Elazığ. *Geochemistry International*, 37(7), 673-677.
- Özdemir, Z., Sağıroğlu, A., 2000a. Biogeochemical Zinc Anomalies along the Maden Çayı Valley, Maden-Elazığ, Turkey. *Zeitschrift für Angewandte Geologie*, 46, 218-222.
- Özdemir, Z., Sağıroğlu, 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., 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.
- Özmen, Ö., Koç, Ş., 2006. Kaman (Kırşehir, Türkiye) Florit Cevherleşme Alanlarında *Thymus Siphyleus* Boiss Subsp. *Rosulans* (Borbas) ve *Bromus Sterilis* L. Poaceae (Gramineae) Türlerinde Florür ve İz Element Birikimi. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 21(4), 729-735.

- Pendias, K.A., Pendias, H., 1984. Trace Elements in Soil and Plants. CRC Pres. Boca Raton.
- Rademacher, P., 2001. Atmosferic Heavy Metals and Forest Ecosystems. ICP Forest-Programme Coodinating Centre, UNIECE and EC, Geneva and Brussels Prited in Germany.
- Ragnarsdottir, K.V., Hawkins, D.P., 2006. Bioavailable copper and manganese in soils from Iceland and their relationship with scrapie occurrence in sheep, Journal of Geochemical Exploration, 88, 228-234.
- Rose, A.W., Hawkes, H.E., Webb, J.S., 1979. Geochemistry in mineral Exploration (2nd ed.). Academic Press, New York, 657 s.
- Robinon, B.H., Brooks, R.R., Hoe, A.W., Kirkman, J.H., Gregg, P.E.H., 1997. The potential of the high-biomass nickel hyperaccumulator *Berkheya coddii* for phytoremediation on phytomining. Journal of Geochemical Exploration, 60, 115-126.
- Schroll, E. (Ed)., 1975. Analytische Geochemie Enke Verl. Bd. I. Stuttgart, 292s.
- Şenol, M., Duman, T.Y., 1998. Adana-Mersin Dolayının Jeoloji Etüd Raporu. MTA, Adana, (yayınlanmamış).
- Tuna, L., Yağmur, B., Hakerlerler,H., Kılınç, R., Yokaş, İ., Bürün, B., 2005. Muğla Bölgesindeki Termik Santrallerden Kaynaklanan Kirlilik Üzerine Araştırma Raporu. Muğla Ü., Bilimsel Araştırma Projeleri, s:1-79, Muğla.
- Turan, H., Özdemir, Z., Zorlu, S., 2006. Çiftehan (Ulukışla-Niğde) bölgesinin Cu, Zn, Fe, Mn ve Ni için biyojeokimyasal anomalilerin araştırılması. İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yerbilimleri Dergisi, 19(2), 131-140.
- TS266, Sular-İnsani Tüketim Amaçlı Sular, 2005. Türk Standartları Enstitüsü Başkanlığı, Ankara.
- Yurdakul, İ., 1997. Ağır Metallerin Toprakten Ekstraksiyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması ve Buğday Yetiştirilerek Kalibrasyonu. Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Yıllığı, Yayın No.106, s:330-346.
- Wang, Y., 2006. Trace element geochemical characteristics of plant and their influence on the remoteening pectral propertie in the North Jiangsu oil field. Chinee Science Bulletin, 45, 27-34.

Örneklemeden Rapor Etmeye Adım Adım Maden Kaynak Tahmini

Step by Step Mineral Resource Estimation from Sampling to Reporting

Yusuf Ziya ÖZKAN, Mehmet Ali AKBABA

DAMA Mühendislik A.Ş., Çayyolu, ANKARA

Geliş (received) : 16 Mayıs (May) 2013
Düzeltilme (revised) : 18 Haziran (June) 2013
Kabul (accepted) : 25 Haziran (June) 2013

ÖZ

Madencilik faaliyetlerinin planlanmasının ve takvime bağlanmasının önemi anlaşıldıkça, çıkarılacak madenin tenör ve miktarını tahmin etmek için örnekleme verilerinin kullanımında bir artış olmuştur. Buna paralel olarak güvenilir kaynak ve rezerv tahmininin önemi de artmıştır. JORC Yönetmeliği (Avustralya Rapor Etme Yönetmeliği) ile başlayan modern madencilik döneminde, maden kaynak ve rezervlerinin tahmini ve halka açık rapor edilmesi yönünde artan bir eğilim görülmektedir. Bu yönetmelikler, maden kaynak/rezervleri tahmin yöntemlerini ya da sınıflama tekniklerini düzenlemeye kalkmaz, daha ziyade jeolojik güvenilirlik ve göz önüne alınması gereken teknik/ekonomik faktörlere göre tenör ve tonaj tahminlerinin yapılabilmesi ve sınıflaması için bir sistem sağlar. Rapor etme standartları; borsa ve mali kuruluşlar tarafından, maden arama sonuçları, maden kaynakları ve rezervlerinin halka açık rapor edilebilmesi için gerekli asgari standartlar olarak kabul edilir ve bu konuda en iyi uygulamaları tanımladıkları düşünülür. Bir süredir ulusal rapor etme yönetmeliklerindeki tanım ve standartların karşılıkları için uluslararası anlaşmalar yapılmaktadır ve bu durum yaygınlaşarak devam etmektedir. Bu arada Borsa kabul koşulları, söz konusu yönetmeliğe uymayan üyesine yaptırım uygulamayı kabul eden yabancı ülke meslek örgütlerinin üyelerini de “tanınan” (ya da muteber) meslek adamı (yetkin kişi eşdeğeri) olarak tanımlamaktadır. Bu tanınma ya da kabul görme zincirinin dışında kalan meslek adamlarının bu konuda iş yapmaları gittikçe zorlaşmakta ve imkânsız hale gelmektedir. Bu derleme, hem bu noktaya dikkati çekmek, hem de maden kaynak tahmini ve rapor edilmesi konusundaki en iyi uygulamaları tanıtmak ve en son gelişmeleri özetlemek için hazırlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: En iyi uygulamalar, JORC yönetmeliği, Raporlama standartları, Tanınan meslek adamı.

ABSTRACT

As the importance of planning and scheduling of a mining operation become apparent, there has been an increasing use of sample data to estimate the grade and amount of material to be mined. Concordantly importance of reliable mineral resource and reserve estimations has increased. Since the start of the modern mining era by the JORC Code, there has been an increasing tendency to regulate estimation and public reporting of mineral resources and reserves. These codes do not attempt to regulate either the method of estimation of the resource/ore reserve or the classification technique, but rather provide a system for estimation and classification of tonnage and grade estimates according to geological confidence and technical/economic considerations. These reporting standards are considered by stock exchanges and finance organizations to represent best practice and form the minimum standard for public reporting of exploration results, mineral resources and ore reserves. The national reporting codes are involved in international negotiations on reciprocity of reporting definitions and standards which have been underway for some years and are still ongoing. Meanwhile, stock exchange listing rules now define a "recognized mining professional" in similar terms to a CP, except that the person must have "membership of a recognized overseas professional body that has agreed to sanction the person if the person does not comply with rules". This review paper has been written to summarize the latest developments in mineral resource estimation and reporting practices, describe some best practices.

Key Words: *Best practices, JORC Code, Reporting standards, Recognized mining professional.*

GİRİŞ

Günümüzde genellikle sondaj verilerinin işlenmesi ve yorumlanmasıyla türetilen maden kaynak bilgileri; madencilik projelerinde rezerv tahmini, maden işletme tasarımı, teknolojik testlerin planlanması ve mali değerlendirme yapılırken temel alınır. Madencilik projelerinin başarısında bu temelin sağlamlığı son derecede önemlidir. Kötü kaynak tahminleri; yanlış yatırım kararları, proje maliyetinin öngörülenin üzerine çıkması, projenin geç tamamlanması, aşırı maliyetler, düşük maden üretimi gibi kötü sonuçlara yol açabilmektedir. Bundan dolayı tüm dünyada güvenilir kaynak tahminlerine büyük önem verilmekte, bu yönde uzun yıllardır çaba gösterilmektedir.

Doğru olmayan maden kaynak tahminleri için beş temel neden vardır:

- Düşük veri kalitesi (kötü örnekleme ve analiz kalitesi)
- Yatak hakkında yetersiz jeolojik kavrayış/yorum
- Tenör üzerindeki jeolojik kontrolün tam anlaşılammış olması
- Bilgisayar destekli tahmin tekniklerinin kötü uygulanması ve
- Dayanak değişiminin etkisi veya hacim-varyans etkisi, yani küçük hacimli numune tenörleri ile numunelere dayanarak tenörü tahmin edilen büyük hacimli blokların tenörlerinin (madencilikte böyle büyük

hacimlerin tenörü merak konusudur) varyansları arasındaki farklılığın etkisi.

JORC Yönetmeliği (Joint Ore Reserve Committee, Avustralya), NI 43-101 (National Instrument 43-101, Kanada), SAMREC (South African Reserve Committee, Güney Afrika), PERC (Pan European Reserve Committee, AB) gibi ulusal ve CRIRSCO gibi uluslararası düzenlemelerle maden kaynak ve rezervlerinin halka açık rapor edilmesi belirli kurallara bağlanmıştır. Bunun uzantısı olarak örneklemeden, veri işlemeye, tenör interpolasyonundan sınıflandırmaya kadar her konuda zaman zaman yenilenen (sürekli güncellenen, geliştirilen) standartlar getirilmekte, “en iyi uygulamalar” kılavuzları yayınlanmaktadır. Kaynak tahminindeki iş süreçlerinin sürekli iyileştirilmesini amaçlayan bu standartlar ve bu kılavuzlar “Bir işi en iyi o işi yapan bilir.” ilkesi esas alınarak bizzat o işi yapanların (meslek örgütlerinin) katılımı ile geliştirilmiş olup zaman zaman yenilenmektedir.

Söz konusu düzenlemelerin gerektirdiği gibi nesnel, tekrarlanabilir ve yeterince temellendirilmiş güvenilir kaynak tahminleri yapabilmek için, örneklemeden kaynak sınıflandırmasına kadar her konudaki en iyi uygulamalar hakkında genel bilgilendirme yapmak bu derlemenin ana amacını oluşturmaktadır. Yazıda özellikle, madencilik projelendirme/planlama ihtiyaçlarına cevap verebilecek kaynak modelleri nasıl türetilir, örnekleme ve tahmin hataları nasıl azaltılabilir ya da istenilen sınırlar içinde tutulabilir, kaynak sınıflandırmasında tahmin güvenilirliği düzeyleri nasıl yansıtılabilir, denetlenebilir ve tekrarlanabilir, kaynak tahminleri nasıl yapılır gibi sorular üzerinde durulmuştur.

VERİTABANI OLUŞTURMA, VERİ DOĞRULAMA VE VERİ GEÇERLEME

Kaynak tahmini, uygun bir veritabanı oluşturulmasıyla başlar. Veritabanı oluşturulduğunda ilk iş veri doğrulama ve veri geçerlemedir. Kaynak tahmini sürecinin başarılı ya da başarısız olmasında bu adımlar çok kritik bir işlev görmektedir.

Yanlış veriden doğru bilgi türetilmez. Bu bakımdan kaynak tahmininde kullanılan verilerin doğru ve kaliteli oldukları yönünde yeterli güvenin sağlanması ya da verilerin doğrulanması büyük önem taşımaktadır. JORC benzeri yönetmeliklere göre kaynak tahmininde kullanılan analiz ve test verilerinin; örnekleme, örnek hazırlama ve analiz sürecinde veri kalitesi açısından önemli olan sapmaların QA/QC prosedürleri ile kontrol altında tutulduğundan emin olunması, jeolojik verilerin “en iyi uygulamalar” denilen uluslararası standartlara uygun şekilde üretilmiş olması ve bunun belgelenmesi zorunlu tutulmaktadır. Çünkü ancak bu şekilde doğruluğu kanıtlanmış verilere ulaşılabileceği düşünülmektedir.

“En iyi uygulama” terimi; sondaj, jeolojik loglama, örnekleme, analiz gibi veri toplama faaliyetlerinin “yeterli mesleki uygulama” için asgari gerekleri yerine getirerek gerçekleştirilmiş olmasını ifade eder. “En iyi uygulama” kavramı, niteliği bakımından dinamik bir özellik taşımaktadır. Yani gelişen teknoloji, değişen koşullar ve ihtiyaçlar nedeniyle bugünün en iyi uygulaması yarının en iyisi değildir. Bu nedenle gelişmelere paralel olarak en iyi uygulama kılavuzları zaman zaman yenilenmektedir.

Arama sürecinde toplanan verilerin doğruluğunu teyit etmek amacı ile bağımsız

gözetim ya da bağımsız gözden geçirmeye ihtiyaç duyulmaktadır. Arama çalışmalarıyla toplanmış verilerin kalitesini ve kaynak tahminindeki işe yararlılığını ölçmeyi ve artırmayı ya da işe yarar hale getirilmesini kapsayan “veri doğrulama” işlemleri son zamanlarda kaynak tahmin sürecinin önemli ve vazgeçilemez bir ögesi haline gelmiştir.

Kaynak tahmini süreci, jeolojik veriler (haritalama, sondaj ve diğer), jeoteknik veriler, karot verimi, mineral özellikleri (oksit, sülfür vb.), örnekleme ve analiz verileri, yoğunluk verileri gibi birçok veri takımını bütünleştiren uygun bir veritabanı oluşturulmasıyla başlar.

Öte yandan kaynak tahminlerinde genellikle büyük hacimlerde verinin kısa süreler içinde bilgisayar ortamına aktarılması gerekmektedir. Bu noktada veri girişinde bazı hatalar (hatalı, eksik, tekrar eden, çelişkili veri girişleri) yapılması ihtimali olduğu unutulmamalıdır. Dolayısı ile veri tabanına girilen verilerin doğruluğunun ve bütünlüğünün teyit edilmesi, eksik verinin tamamlanması, hatalı verinin düzeltilmesi ve tutarsızlıkların giderilmesi gerekmektedir. “Veri Geçerleme” denilen bu işlemler, kaynak tahminlerinde kullanılan bilgisayar paket programları ile kolayca yapılabilmektedir.

JEOLJİK MODELLEME

Güvenilir teknik ve mâli değerlendirme ve planlama yapılabilmesi için, madencilik sırasında yerinden çıkarılacak cevher ve kaya malzemelerinin konumunun, şeklinin, boyutlarının ve özelliklerinin (tenörünün) doğru öngörülmesi (tahmin edilmesi) şarttır. Bu ihtiyaç, günümüzde yaygın olarak maden yatağındaki malzemenin şeklinin ve özelliklerinin bilgisayar

programları yardımıyla üç boyutlu jeolojik modellemesi ile karşılanır.

Jeolojik modelleme veya jeolojik olarak özellikleri farklı alanlara (alan kelimesi ile maden yatağının özellikleri birbirine benzer bölümleri ‘hacimleri’ anlatılmaktadır) ayırma, nitelendirmenin bir ön şartı ve kaynak tahmini sürecinin en önemli adımlarından biridir. Kaynak tahminleri üzerinde önemli etkilere sahiptir (Stegman, 2001).

Maden kaynakları tahmininde olağan uygulama, örneklenmemiş lokasyonlara bir tenör tahmini yapmadan ve maden kaynağını modellemeden önce mineralize gövdeyi litolojik, yapısal ve eşik tenör gibi ölçütler ile tanımlanan birkaç alan halinde bölümlere ayırmaktır. Bu modeller kaynak tahmini yapılacak yatağa ilişkin bugünkü jeolojik kavrayışı/yorumlamayı yansıtır ve bir kaynak modeli oluşturmak için tenör tahminlerinin sınırlandırılacağı alanlar belirleme ihtiyacını karşılar. Tenör tahminleri sadece mineralize olmuş olabilecek bu jeolojik alanlarla (birimlerle/yapılarla) sınırlandırılır.

Mineralize olan jeolojik alanlar sınırlandırılırken şu ölçütler esas alınır:

1. Tenör alanlarını tanımlamak için eşik tenör
2. Mineralize gövdenin asgari kalınlığı
3. Azami ara yoz kalınlığı (mineralizasyonla birlikte tel kafes içine alınan mineralize zonlar arasındaki kaya kalınlığı)
4. Azami derinlik (bu derinliğin altında kalan maden kaynakları, ekonomik olmayacakları için dışarıda bırakılır)

Jeolojik model veya tenör alanları paralel kesit yönteminden grid modelleme yöntemlerine kadar değişen birçok teknik ile yapılabilmektedir

(Şekil 1). Paralel kesit tekniğinde, her kesitte yorumlanan alanlar tel kafes içine alınıp bu kesitlerdeki tel kafeslerin birleştirilmesi ile 3D üçgenlenmiş yüzeyler türetilerek katı model oluşturulur. Bugünkü gelişmiş etkileşimli bilgisayar paket programlarıyla bir dizi paralel kesitler kolayca hazırlanabilmekteyse de yine de çok zaman almaktadır. Fakat jeoloji mühendisine yorum üzerinde daha fazla kontrol imkânı sağlaması üstün tarafıdır.

Grid veya yüzey modelleme tekniği sondajlardaki litolojik giriş çıkış kotları dikkate alınarak yüzey topoğrafyaları oluşturup birleştirme teknikleriyle yapılmaktadır (Carr vd., 2001; Cowan vd., 2003, 2011). Bu model, bazı yazılım programlarında veri tanımlamaları yapıldıktan sonra otomatik olarak çok hızlı yapılabilmektedir. Günümüzdeki ticari programlarla tenör kabukları oluşturma birkaç saatten daha az zamanda gerçekleştirilebilir.

Uygulamada, makul tenör alanları üretmek için bu iki uç yaklaşımın bir dizi halinde kullanılması da oldukça yaygındır.

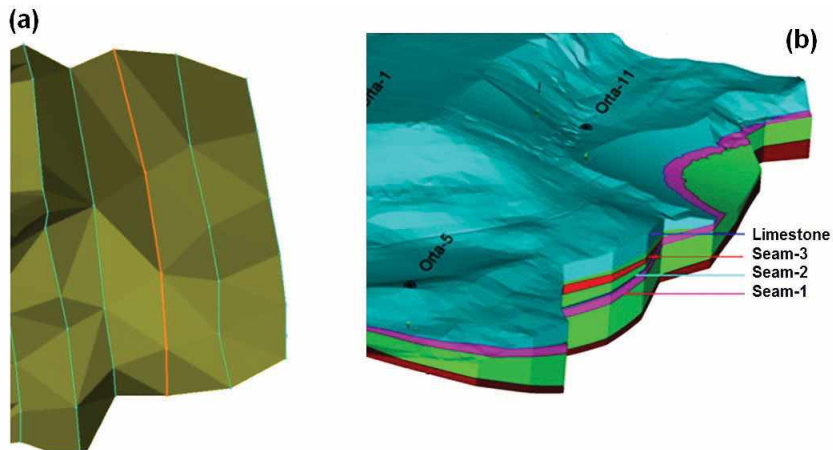
Tenör alanlarına ayırma yaklaşımının kavramsal sınırlamaları, özellikle komşu alanlar arasındaki mekânsal bağımlılığı göz önüne almayı ve alan sınırlarındaki belirsizlik olgusu birçok çalışmada vurgulanmıştır (Emery ve Ortiz, 2005). Bu yaklaşımın, alanları tanımlayan eşik tenöre duyarlı olduğu ve kriging haritalarında, histogramlarda, gerçek ve tahmin edilen tenörler arasındaki örümcek diyagramlarında yapaylıklara ve maden kaynak sınıflamasını etkileyebilen bir özellik olan düşük kriging varyansına yol açtığı da gösterilmiştir.

VERİ ANALİZİ

Derlenen veriler üzerinde herhangi bir işlem uygulanmamışsa bunlara “ham veri” denir. Veri analizinden önce ham veriler üzerinde yapılması gereken iki önemli işlem vardır: Kompozitleme ve kümelenme etkilerinin giderilmesi.

Kompozit Numune Oluşturma

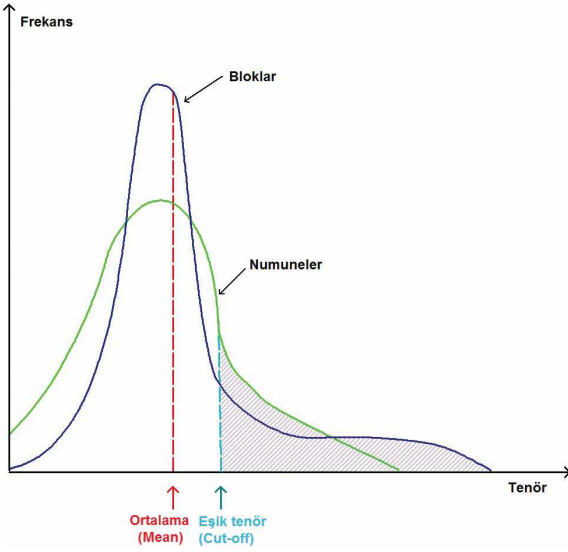
Veri analizinin ilk önkoşulu tüm numunelerin eşit bir hacmi temsil etmesidir. Buna numune



Şekil 1. Paralel kesit (a) ve yüzey modelleme (a) teknikleri ile 3 boyutlu jeolojik modelin oluşturulması.

Figure 1. The Construction of the 3D geological model using parallel cross-sections (a) and surface (Grid) modeling (b) techniques.

dayanağı denilir (Şekil 2). Bir alan içindeki tüm numunelerin eşit dayanakta olmalarını sağlamak için, genellikle değişik uzunluklarda sondaj karotlarını temsil eden numunelere ait analiz dosyası eşit aralıklara bölme işleminden geçirilerek kompozit dosyası oluşturulur. Kompozit yapma için çeşitli algoritmalar vardır.



Şekil 2. Dayanak etkisi (Deraysme, 1996).

Figure 2. Support effect (Deraysme, 1996).

Kompozit numune uzunluğu, genellikle ortalama numune uzunluğu veya en sık tekrarlanan orijinal numune uzunluğu tespit edilerek belirlenir. Kompozit türetmek için orijinal numune uzunlukları, daha küçük uzunluklar hâlinde parçalara ayrılmamalıdır. Çünkü daha küçük uzunluklarda kompozitler halinde parçalara ayrılırsa, komşu kompozitler birbiriyle aynı değerlere sahip olacağından, yapay olarak daha küçük varyansa yol açacaktır.

Seyrelme hesaplarında daha iyi sonuç alınabileceği için, kompozit numunelerin daima

madencilik basamak yüksekliğine eşit olması gerektiğini düşünenler de vardır. Bununla birlikte, sondajların madencilik basamaklarına göre çeşitli derecelerde açılı yönlenmiş olduğu durumlarda (özellikle sondajlar yataya yakın düşük açılı olduğunda), bu farklı kompozitler için farklı dayanak uzunluklarına yol açabilir. Kaynak tahmininin gerçek üç boyutlu yöntemleri egemen oldukça (bu yöntemde her bir kompozit üç boyutlu uzayda yönlenmeye bakmaksızın bir noktayı temsil ettiğinden) daha az önemli olmaya başlamıştır.

Kompozit yapma yöntemi uyarlanırken mineralizasyon biçimi ve sınır gerekleri de göz önüne alınmalıdır. Örneğin keskin sınırlı dar bir damarda, aşırı yüksek veya düşük seyrelmeden sakınmak için zonlara göre kompozit yapmak esastır. Bu, sınırların dereceli geçişli olduğu durumlarda sonuca daha az etkilidir.

Mekânsal Kümelmenin Giderilmesi

Veri analizinden önce ele alınıp çözülmesi gerekli bir başka problem de verilerin tercihli kümelmesidir. Yüksek tenörlü yatak bölümlerine daha fazla sondaj yapma ve daha fazla numune alma eğilimi olduğundan dolayı, kümelme veya numunelerin çok farklı hacimleri temsil etmesi sık karşılaşılan bir durumdur.

Veri kümelmesi sadece istatistiksel analizi etkilemez, yanlı (tarafgir) variografiye de yol açabilir (Glacken ve Snowden, 2001). Bunu düzeltmek için alanlara ayırma zorunlu olabilir. Başka bir çözüm seçeneği olarak, istatistiksel analiz için her bir numunenin eşit hacmi temsil etmesini sağlayacak çeşitli kümelme giderici yaklaşımlar geliştirilmiştir. Verilerin tercihli

kümelenmesini göz ardı etmek, yanlış tutan sonuçlara yol açabilir. Aynı alanın içindeki değişik sondaj tipleriyle (karotlu ve kırıntılı sondaj) elde edilmiş verilere farklı şekilde işlem de uygulanabilir.

İstatistiksel Analizin Yorumlanması

Ham verilere kompozitleme ve kümelenme giderilmesi işlemleri uygulandıktan sonra istatistiksel veri analizine geçilebilir. İstatistiksel analiz, jeolojik model veya başka yaklaşımlarla tanımlanmış alanların içinde yapılmalıdır. Bu alanların her birindeki veri dağılımlarının özelliklerini yansıtan istatistiksel parametreler, yani ortalama, ortanca, tepe değer, geometrik ortalama gibi merkezi eğilim ölçüleri ile varyans ortalama mutlak sapma ve çeyrek ayrılışlar gibi dağılım ölçüleri hesaplanır ve histogram ve birikimli olasılık şeklinde tanımlanır. Alanlar içinde bir verinin sergilediği eğilimin ve birkaç değişkenin olması durumunda veriler arasındaki ilişkilerin belirlenmesine ve yorumlanmasına çalışılır, değişik numune tiplerinin özellikleri karşılaştırılır. Cevher yoğunluğu ile ilgilenilen metalin/mineralin tenörü arasında pozitif korelasyon saptandığında, tenör tahmininde kullanılan numuneler, uzunlukları yanı sıra yoğunluklarıyla da ağırlıklandırılır. Bir başka seçenek de tenör değişken(ler)i ile birlikte genel yoğunluğun da doğrudan interpolasyonudur (Glacken vd., 2001).

İstatistiksel analiz, veri ile ilgili problemleri tanımaya yardım eder. İstatistiksel analiz, örneğin aşırı yüksek varyasyon katsayısı veya çok popülasyonlu olasılık grafikleri şeklinde bazı alanların çok karışmış popülasyonlar olduğuna işaret edebilir. Bu durum, daha fazla

veya değişik şekilde alanlara ayırma ihtiyacının bir işareti olabilir. Örneğin istatistiksel analiz, aykırı değerlerin veya aşırı değerlerin ortaya çıkarılmasını sağlar. Aykırı değerler, tipik değerlerden önemli ölçüde farklı olan değerlerdir. Aykırı değerler, veri giriş hataları veya farklı jeolojik alanların karışması sonucu olabilir. Aykırı ya da aşırı veriler tespit edildiğinde, ya ayrı alan içine konulmalı ya da üstten kesme uygulanmalıdır. Üsten kesme uygulanmasına gerek olup olmadığına ve hangi değerlerin üzerindeki kayıtlara uygulanması gerektiğine istatistiksel analize göre karar verilir.

İstatistiksel analiz, uygun interpolasyon tekniğinin seçimine yarar. Mesafenin tersi (IDW), kriging gibi interpolasyon teknikleri normal olasılık dağılımı özelliği gösteren veriler üzerinde doğru sonuçlar verebilmektedir. Bunun için verilerin normal dağılım özellikleri gösterdiğinin belirlenmesi veya normal dağılıma dönüşümleri ile mümkündür.

DEVAMLILIK ANALİZİ (VARYOGRAM ANALİZİ)

Bir maden kaynak tahmininin kalitesi, jeolojik ve tenör devamlılığının ne kadar iyi bilindiğine bağlıdır. JORC ve benzer diğer yönetmeliklerde “devamlılık” maden kaynak ve rezervlerin tanımlanmasında en büyük merak konusudur (Guibal, 2001; Dominy vd., 2003a). Devamlılık analizi, litolojik/mineralize birimler arasındaki sınırların tiplerini tayin eder, jeolojik alanlar içinde değişik tenör dağılımlarının kavranmasını sağlar (Dominy vd., 2003b).

Genel olarak, maden kaynaklarının tahmini çerçevesinde iki tip devamlılık tanımlanmıştır (Sinclair ve Vallée, 1994; Dominy vd., 2003a):

Özkan, Akbaba

1. Jeolojik devamlılık: Mineralizasyona ev sahipliği yapan jeolojik yapının/yapıların veya zonun/zonların geometrik devamlılığı (örneğin cevher gövdesi kalınlığı ve eğim yukarı/aşağı devamı);
2. Tenör devamlılığı: Özel bir jeolojik zon içinde var olan tenörün devamlılığı, bazen değer devamlılığı da denir.

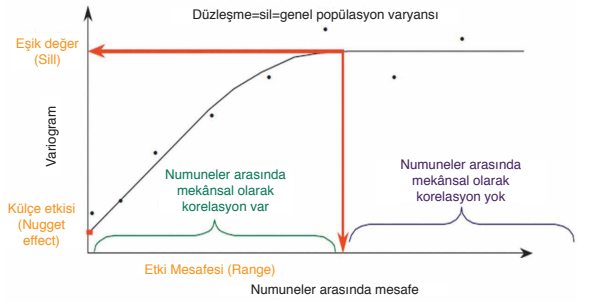
Tenör devamlılığı ve jeolojik devamlılık ölçeğe bağlı bir özelliktir. Bir mineralizasyonun bağlı olduğu (içinde yer aldığı) jeolojik birim ya da yapının devamlılığı binlerce metreden daha büyük olabilirken, bu büyük yapının içinde iyi mineralize olmuş bölümler (ekonomik olabilecek tenöre erişmiş kesimler) onlarca metre büyüklüğünde olabilir.

Jeolojik devamlılık tonaj tahmini üzerinde önemli etkiye sahiptir. Tenör devamlılığının tenör tahminindeki önemi ise açıktır. Jeolojik devamlılığın üç boyutta göz önüne alınması özellikle önemlidir. Bir maden yatağı, yatay ve düşey yönde büyük devamlılığa sahip iken, kalınlığı yerel ölçekte hem düzensizce hem de önemli oranda değişiyorsa ve sondaj yoğunluğu bu değişimleri yakalamak için yetersizse, tonaj tahmini kötü olabilir.

Devamlılık analizinin temel yöntemi, varyogram analizidir. Yeterli veri olması durumunda her bir alan için doğrultu, eğim ve dalım yönlerinde varyogram grafikleri çıkartılarak eşik değeri, kontrolsüz etki varyansı, külçe etkisi ve etki mesafesi değerleri tespit edilir. Yarıvaryogramların yapısal uzaklıkları yöne göre değişiklik gösteriyorsa, yatağın ilgili değişken için anizotrop olduğu söylenir. Anizotropi durumuna bakmak için öncelikle belirlenen arama çapı, açısı ve açısız, mesafe

toleransa göre bir teorik yarıvaryogram modeli uyarlanır (Şekil 3, 4).

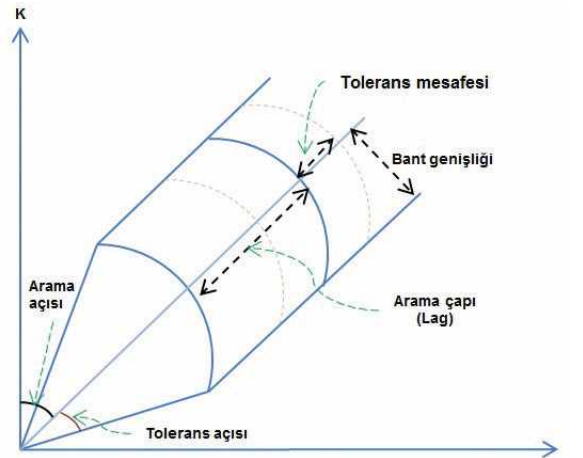
Yarıvaryogram modelinin testi ve kabullü için çapraz doğrulama testi uygulanır. Bu testle, geri besleme yapılarak aynı zamanda uygun varyogram yöntemi ve grafiği de elde edilmiş olur.



Şekil 3. Deneysel yarıvaryogram grafiği ve küresel model (Snowden, 2000).

(Sill: Eşik; Nugget: Kontrolsüz etki varyansı; Range: Etki mesafesi; Lag: Numune çiftleri arasındaki mesafe)

Figure 3. Experimental semivariogram and spherical model (Snowden, 2000).



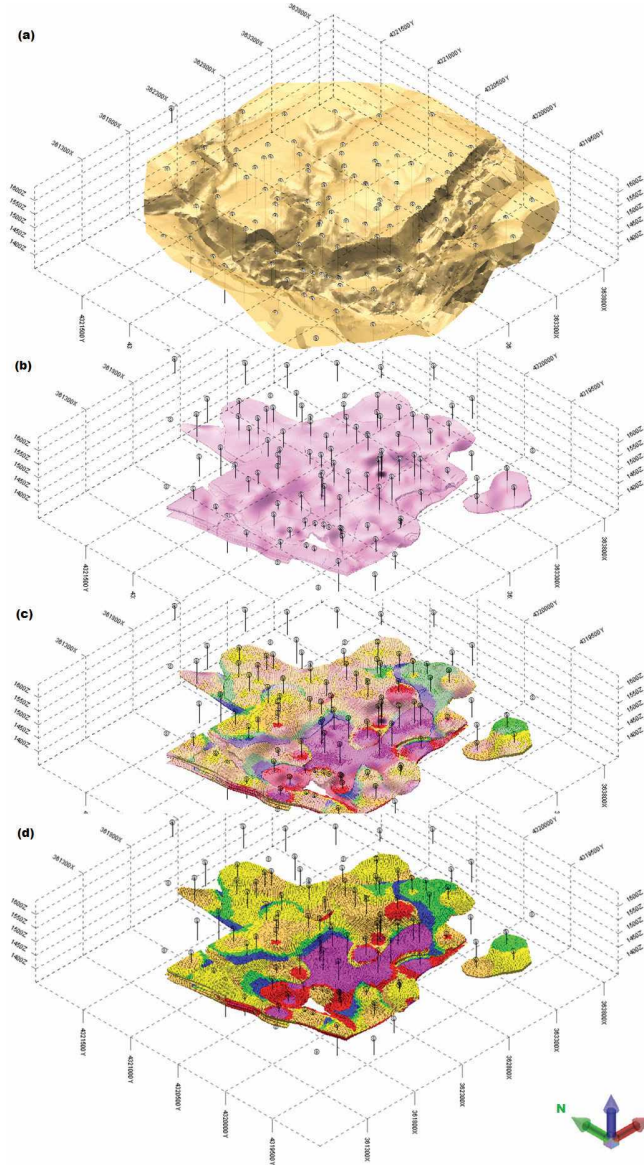
Şekil 4. Örnek çifti seçim konisi.

Figure 4. Selection of the sample pair cone.

BLOK MODEL

Oluşturulan jeolojik model (alanlar) içine bilgisayar programları yardımıyla üç boyutlu sanal blok model yerleştirilmesi yerel kaynak tahmini için standart uygulamadır. Bu blokların

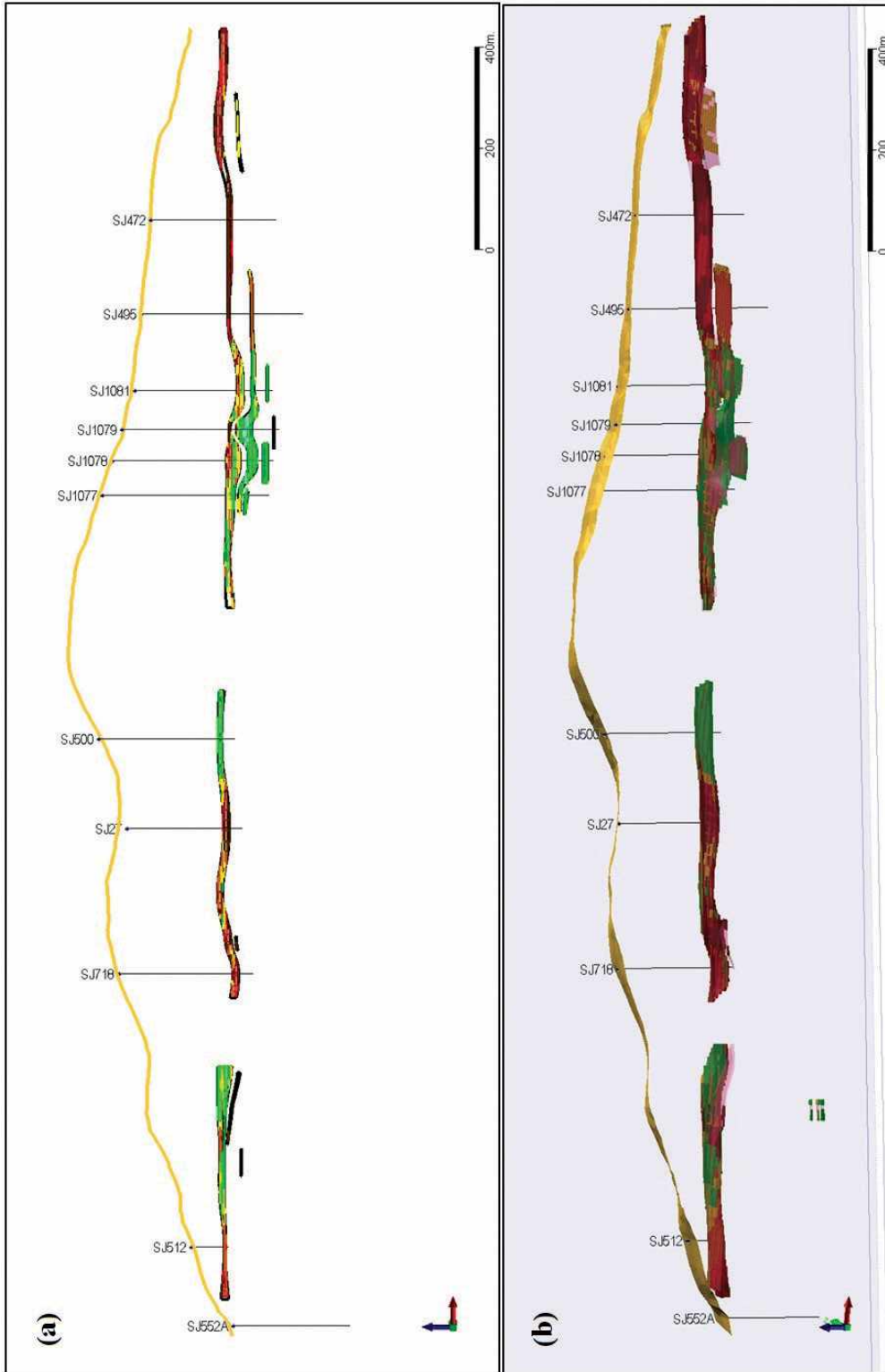
şekli, boyutları ve yönelimi, kaynak tahmininin kalitesi üzerinde etkilidir. Tarama elipsoidi parametrelerini optimize etmeden önce, blok boyutunu seçmek, ana blok boyutunu optimize etmek gerekir (Şekil 5, 6).



Şekil 5. Jeolojik ve blok modelin 3 boyutlu perspektif gösterimine bir örnek. Yukarıdan aşağıya; (a) Sondaj verisi + Topografya; (b) Katı model; (c) Katı model + Blok model; (d) Blok model.

Figure 5. An Example of three-dimensional perspective representation of the geological and block model. From top to bottom; drill-hole data + Topography (a), Solid model (b), Solid model + Block model (c), Block model (d).

Özkan, Akbaba



Şekil 6. Blok modelin tel kafes (jeolojik model) içine yerleştirilmesine bir örnek: (a) Kesit görünümü, (b) Kesitin perspektif görünümü.

Figure 6. An example of the fitting of block model into the wireframe. (a) Cross-section view, (b) Perspective view of the cross-section.

Çözünürlüğü arttırmak (mineralize zon içindeki kısa mesafeli tenör değişimlerini algılayabilmek), cevher-yoztaş sınırlarını elverdiğince dar biçimde tanımlamak amacıyla, olabildiğince küçük boyutlu bloklar seçilmesi ve bu küçük bloklara tenör interpolate edilmesi istenmektedir. Ancak blok boyutu tahmin kalitesini büyük oranda etkiler. Doğrusal tahmin yöntemleri küçük bloklar için elverişli değildir. Kriging formülüne bakıldığında bloklar ne kadar küçük ise, kriging hatasının o kadar büyük olacağı anlaşılabilir. Varyogram etki mesafesine ve numune aralığına kıyasla küçük bloklara interpolasyonla bulunan sonuçlar gerçek durumdan büyük sapmalar gösterebilmektedir.

Armstrong ve Champigny (1989), birkaç yalın örnekleme deseni için, blok boyutu, varyogram etki mesafesi ve kriging sonuçlarını incelemiş ve örnekleme aralığının yarısından az varyogram etki mesafesi için krige edilmiş blok tahminlerinin gerçek değerlerle ilişkisiz olduğunu kanıtlamıştır. Çok küçük bloklara krige edilmiş tahminlerin aşırı yumuşatıldığı vurgulayarak böyle tahminlerin rezerv hesaplarında kullanılmaması için uyarılmışlardır.

Bu durumda şu sorular akla gelmektedir: Blok boyutları seçerken hangi parametrelere bakmak gerekir? Bu konuda bir standart var mıdır?

Tahmin edilmek istenen en küçük ölçek (hacim) ile yataktaki değişkenliğin nicelenebileceği en büyük ölçeğin uzlaştırılması bu konuda genel ilkedir. Bu genel ilke çerçevesinde belirli bir örnekleme gridi için blok boyutu seçerken şu hususların göz önüne alınması gerekir:

- Amaç
- Yatağın değişkenliği
- Ortalama örnekleme aralığı

Maden planlaması için, seçimli madencilik birimi boyutlarında blok seçimi tercih edilir ve blok boyutu, genellikle ekipman boyutuna ve ekonomik ölçütlere (örneğin açık ocak basamak yüksekliğine) göre belirlenir. Ancak seçimli madencilik birimi boyutlarında bloklardan oluşan bir blok model için çok sayıda sondaj yapmak gerekir. Arama evresinde genellikle bu mümkün olmaz ve çoğunlukla daha büyük blok boyutları seçmek zorunda kalınır. Madencilik sırasında çok daha sık veriler (patlatma kuyuları, sıklaştırma sondajları) var olduğunda, daha küçük blok boyutları seçilebilir.

Diğer bir yaklaşım, blok boyutu seçerken yatağın değişkenliğini dikkate almaktır. Bu yaklaşımda, blok boyutu, varyogram etki mesafesinin kabaca %25'inden küçük olmamalıdır. Değişkenlik ölçüt alındığında, her bir alan için değişik blok boyutu seçmek gerekebilir.

Coombes (2008)'e göre, blok boyutları ortalama numune aralığının (düşey sığ sondajlar durumunda sondaj aralığının) yarısından daha küçük olmamalıdır. Eğer blok boyutu, örnekleme gridinden çok daha küçük belirlenirse o zaman tahmin varyansı yüksek olacak ve tahmin güvenilirliği azalacaktır. İki sondaj arasındaki blok sayısının 4 ya da 5'i geçmemesi de uygulamada yaygın kabul edilen bir kuraldır. Tecrübeler ortalama sondaj aralığının %20'sinden daha küçük blok boyutu kullanmanın tahmin kalitesini riske atabileceğini göstermektedir. Blok yüksekliklerinin de kompozit numune uzunluğunun iki katı kadar alınması da yaygın görülen bir uygulamadır.

TENÖR TAHMİNİ

Blok modeli oluşturan blokların her birine, numune değerleri kullanılarak interpolasyonla tenör ya da yoğunluk değerleri atanır. İnterpolasyon, değeri bilinmeyen özel bir konumdaki noktalara/bloklara, değeri bilinen noktalardaki değerler (numune verileri) kullanılarak değer tahmin etme işlemidir.

Mükemmel bir tenör tahmini, sonsuz sayıda numune verisini gerektirir. Bu mümkün olamayacağına göre, kabul edilebilir düzeyde bir hatayla tahmin yapabilmeye yeterli sayıda numune ile yetinmek zorunludur. Yani amaç, hatasız tahmin yapmak değil, hata düzeyini kabul edilebilir sınırlar içinde tutmaktır.

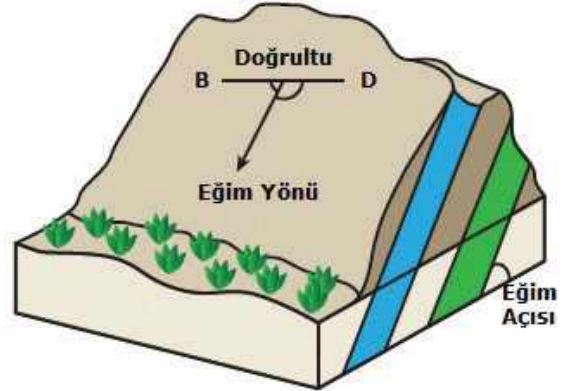
İnterpolasyon yöntemleri yerel ya da küresel olarak iki sınıfa ayrılabilir. Küresel interpolasyon yöntemleri, değerleri bilinmeyen noktalara/bloklara tahmin yapmak için eldeki bütün verileri kullanır. Yerel interpolasyon yöntemleri ise sadece tahmin yapılacak noktaya/bloka komşu numune bilgilerini kullanır. Küresel interpolasyon yöntemleri, tenör dağılımındaki trendleri sileceğinden dolayı pek tercih edilmez.

Maden kaynak tahminlerinde en fazla kullanılan interpolasyon teknikleri “uzaklığın (genellikle karesi ile) ters orantılı ağırlıklandırma” ve kriging teknikleridir. Bu derlemenin amacı interpolasyon tekniklerini tanıtmak değildir. Ancak kısaca belirtmek gerekirse “uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma” tekniği, yakın noktalara uzak noktalardan daha yüksek ağırlık değeri atayan deterministik bir interpolasyon yöntemidir. Yerel tahminler sağlar fakat tahmin hatasının büyüklüğü hakkında bir fikir vermez. Kriging, ileri jeoistatistik teknikleri kullanan ve bir bloğun değişken değerini (örneğin tenör), tahmin

hataları varyansını en küçükleyerek tahmin eden özel bir yerel interpolasyon tekniğidir.

Aynı verilerle bile değişik interpolasyon yöntemleriyle değişik sonuçlar bulunabileceği vurgulanmalıdır.

Tahmin hatalarını, semi-varyogram fonksiyonu ile ifade edilen mineralizasyonun özelliği, tenör ya da yoğunluk değeri tahmin edilen bloğun şekli ve boyutları yanı sıra kullanılan numunelerin sayısı, konumu, (ek olarak daha önce belirtildiği gibi büyüklüğü ve aykırı değerler) de önemli derecede etkilemektedir (Dominy vd. 2002). Bu nedenle, herhangi bir bloğa değer atamada (interpolasyonda) yararlanılacak numuneleri tanımlamada kullanılan tarama elipsoidinin boyutu ve yönlenmesi de önemlidir (Şekil 7).



Şekil 7. Düzlemsel jeolojik yönelimin geometrik gösterimi (Price, 2013).

Figure 7. Geometric representation of planar orientation of geological features (Price, 2013).

Tarama elipsoidinin duruşu, cevherin doğrultusu ve eğimi; boyutları ise, belirli yönlere jeolojik devamlılık (varyogram parametreleri) ve sondaj yoğunluğu dikkate

alınarak belirlenir. Bu amaçla seçilen interpolasyon tekniği kullanılarak değişik boyutta birkaç tarama elipsoidi ile tahminler yapılır ve en uygun (gerçeğe en yakın tahminler yapmaya elverişli) tarama çapı, deneme-yanılma yöntemiyle seçilir. Söz gelişi Kriging yöntemiyle yapılan interpolasyonda, en uygun numune tarama çapının belirlenmesinde kullanılan ölçütler; kriging varyansı, kestirilmeyen blokların sayısı, negatif ağırlıkların birikimli toplamı ve gerçek blok tenörünün tahmin edilen blok tenörüne karşı çizilen regresyonun eğimidir (Khakestar vd., 2011; De-Vitry, 2003). Tarama çapı arttırılarak yapılan denemelerde tarama elipsoidinin boyutundaki artışın, tahmini önemli oranda iyileştirmediği (yani gerçek ve tahmin edilen tenörler arasındaki regresyon yamacının önemli oranda artmadığı, kriging varyansının düştüğü ve negatif kriging ağırlıkları sayısının arttığı) noktada en uygun tarama elipsoidi boyutu belirlenir. Bu noktadaki boyutlar en uygun tarama elipsoidi boyutu olarak seçilir (De-Vitry, 2003).

BLOK MODEL GEÇERLEME

Tenör ataması yapılmış blok modeli doğrulamak için blok model geçerlemesi işlemi uygulanır. Bu işlem başlıca şu yollarla gerçekleştirilir:

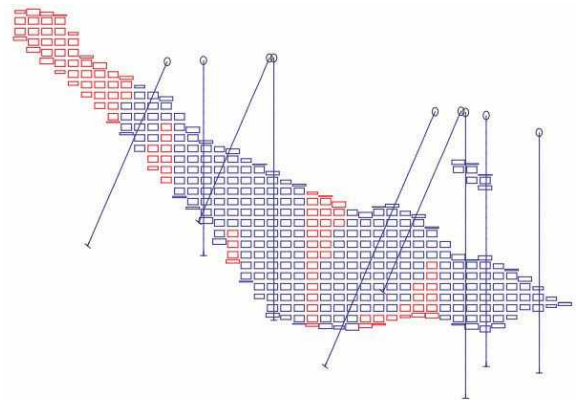
- Blok modelin kompozit ve analiz dosyasıyla istatistiksel karşılaştırması, (çapraz doğrulama)
- Yatay ve düşey kesitler alınarak görsel karşılaştırma
- Alternatif yöntemlerle kaynak tahminler yapılarak blok modelin doğruluğunun test edilmesi

Bu geçerlemenin sağlanamaması durumunda tarama elipsoidi parametresinin tekrar gözden geçirilmesi gerekmektedir.

KAYNAK SINIFLANDIRMA

Belirlenen kaynaklar artan güvenilirlik ya da azalan jeolojik belirsizlik derecesine göre, çıkarsanmış, gösterilmiş ve ölçülmüş kaynaklar olmak üzere üç sınıfa ayrılmaktadır. Maden kaynak ve rezervlerini sınıflandırmanın esas amacı, tahmin güvenilirliğini değerlendirmektir (Royle, 1977; Emery vd., 2006). Bu değerlendirmede göz önüne alınması gerekli ölçütler başlıca şunlardır:

- Jeolojik karmaşıklık
- Veri yoğunluğu
- Veri kalitesi/güvenilirliği
- Tahmin edilen blok modelin kalitesi



Şekil 8. Kaynak sınıflandırmasını gösteren kesit, kırmızı: ölçülmüş kaynak, mavi: gösterilmiş kaynak (Snowden, 2000).

Figure 8. Drill-hole section showing resource classification categories, blue: measured, red: indicated (Snowden, 2000).

Genel olarak jeolojik ve tenör sürekliliğini kesinleştirmeye yetecek sıklıkta ve kalitede

Özkan, Akbaba

verilere dayanarak tahmin edilmiş bloklar “Ölçülmüş Kaynak” sınıfına sokulur (Şekil 8). Verilerin sayısı ve dağılımı, jeolojik ve/veya tenördeki sürekliliği kesin olarak ortaya koymak için geniş ya da uygun olmayan aralıkta, buna karşılık sürekliliğin varsayılabilmesi için yeterli aralıkta ise, bu verilere dayanarak tahmin edilmiş bloklar “Gösterilmiş Kaynak” sınıfında nitelenir (Şekil 8). Değeri sınırlı ya da belirsiz nitelik ve güvenilirlikte verilere dayanarak tahmin edilmiş bloklar ise “Çıkarılmış Kaynak” olarak tanımlanır.

Rapor edilen kaynakların madencilik, metalürjik, ekonomik, sosyal ve yasal faktörler göz önüne alınarak **çıkartılabilirliği** (işletilebilirliği) yönünde makul bir beklentinin olması da şart koşılmaktadır.

En iyi uygulamalar olarak kabul edilen sınıflama ölçütleri başlıca şunlardır:

Komşuluk Kısıtlamaları

Bu ölçüt blokları geometrik sınırlamalara göre, yani belli bir komşuluk içinde bulunan verilerin sayısına ve konfigürasyonuna göre sınıflamaya dayanır. IDW ve Kriging yöntemleriyle tahmin edilmiş kaynaklara uygulanır. Burada gittikçe daha büyük tarama çapları kullanılarak tenör tahminleri yapılır. En küçük tarama çapları (en kısıtlayıcı komşuluk kuralı) kullanılarak tahmin edilmiş bloklar “ölçülmüş kaynak”; ikinci seferde daha büyük tarama çapları kullanılarak tahmin edilmiş bloklar “gösterilmiş kaynak”; bu iki seferde tahmin edilenlerin dışında kalan bloklar da “çıkarılmış kaynaklar” olarak sınıflanır (Sinclair ve Blackwell, 2002).

Kriging Varyansı

Bu ölçüt, Kriging yöntemiyle yapılmış tahminlere uygulanabilir. Her bir blok, sadece komşu olan verilerin niceliğini ve kofigürasyonunu değil, aynı zamanda varyogramlarından ölçülen mekânsal tenör devamlılığını da göz önüne alan kriging varyansına göre sınıflanır. Çünkü kriging varyansı, jeostatistik parametreler üzerinden geometrik ve jeolojik bilgileri birleştirir. Pratikte ölçüt, kaynak sınıfları arasında bir eşik varyans tanımlanmasını gerektirir (Royle, 1977; Sabourin, 1984; Froidevaux vd., 1986). Bunu yapmak için, o sınıfın üst sınırı olarak alınmak üzere belirli bir örnekleme gridinin merkezinde bulunan bir blokun kriging varyansı hesaplanır (kriging varyansı veri değerlerine bağlı olmadığından, tenör varyogramı modellenince varyans hesabı yapılabilir).

Kriging varyansı, verilerin gerçek değerlerine bağlı değildir. Veri sayısının ve veriler arasındaki uzaklığın bir fonksiyonudur. Kriging varyansı, bu özelliğinden dolayı gerçekte sondaj yapılmadan önce olası lokasyonları test edip, bunlar arasından optimum olanları belirlemek amacıyla da kullanılabilir (Saraç, C. ve Tercan, A. E., 1996).

Koşullu Varyans

Bu ölçüt, benzetimle (simülasyon) tahmin edilmiş kaynaklara uygulanmakta olup, kriging varyansının yerine koşullu varyansın alınması dışında önceki ölçüte benzerdir. Bununla birlikte, kriging varyansı sadece mekânsal konfigürasyona bağımlı ve verilerin değerinden bağımsız olduğundan dolayı yerel ortalamadan bağımsız iken koşullu varyans yerel ortalamaya güçlüce bağımlıdır. Bundan dolayı bu iki yöntemin sonuçları değişik olur.

Nispi Kriging Varyansı

Kriging yöntemiyle yapılmış tahminlere uygulanabilir. Bu ölçüte göre sınıflamada; her bir bloğun kriging varyansı yerine, belirsizliğin standardize edilmiş boyutsuz bir ölçüsünü veren nispi oranı kullanılır (David, 1988; Blackwell, 1998).

Nispi Koşullu Varyans

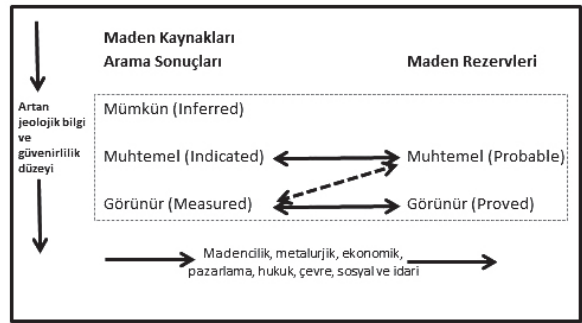
Bu ölçüt de benzetimle (simülasyon) tahmin edilmiş kaynaklara uygulanır. Nispi koşullu varyans, varyansın ortalamaların karesine bölünmesiyle bulunan bir değerdir. Önceki ölçütteki eşik değer gibi kaynak sınıflarını tanımlamada kullanılır. Bu standardizasyon, onu kriging varyansına benzer kılarak, belirsizlik ölçüsündeki yerel ortalama tenörün etkisini gideriyor olarak anlaşılabilir.

Kaynak sınıflarını tanımlayan ölçütler değiştirildiğinde veya belirli bir ölçütü etkileyen parametrelerin değerleri değiştirildiği zaman büyük değişiklikler görülebilir. Bütün bu yöntemlerin hepsi uluslararası yönetmeliklerle tanımlanan geçerli çerçeve içinde geçerli yöntemler olarak kabul edilmektedir.

KAYNAK RAPORLAMA

Kaynak tahminleri, seçilen eşik değer(ler) e ya da ocak optimizasyonuna göre raporlanır. Tahmin tablosu hem kaynak sınıflarına göre, hem de jeolojik alanlara göre ayrı ayrı raporlanmalıdır. Çıkarılmış kaynaklar, tanımı gereği rezerv tahminlerinde kullanılamazlar, ölçülmüş ve gösterilmiş kaynaklarla toplanamazlar. Ölçülmüş ve gösterilmiş kaynaklara ek olarak (onların dışında) rapor edilmelidirler.

Kaynak raporlarında, veri noktalarından azami uzatma mesafesi, blok boyutlarını belirleme ölçütleri, değişkenler arasındaki korelasyon hakkındaki kabuller vurgulanmalıdır. Maden kaynaklarının çeşitli güvenilirlik sınıflarına ayrılmasında kullanılan ölçütler belirtilmelidir (Şekil 9).



Şekil 9. Arama sonuçları ile maden kaynakları ve maden rezervleri arasındaki ilişki.

Figure 9. General relationship between exploration results, mineral resources and mineral reserves.

SONUÇLAR

JORC ve benzeri yönetmelikler, kaynak tahminlerinde uyulması zorunlu katı bir reçete değil, aslında ilkeleri belirleyen ve bu ilkelerin uygulamaya nasıl yansıtılacağıın yolunu yordamını “yetkin kişi” denilen işin uzmanının takdirine bırakan bir yönetmeliktir. Projeye uygun yol ve yöntemin seçimi ve uygulanması yetkin kişinin takdir ve sorumluluğundadır.

Birinci ilke “açıklık” ya da “saydamlık”tır. Hangi çalışmalar yapılmış ve ne sonuçlar alınmışsa, bunların hepsinin açıklanması gerekir. Alınan sonuçların bazılarını vermemek, değiştirmek gibi bir davranış açıklık ilkesine sığmaz.

İkinci ilke “kapsamlılık” ya da “sağlam temellendirme” olarak ifade edilmektedir. Hazırlanan kaynak raporlarında verilen bütün bilgilerin, bunlar için gerekli olan bütün verilerin ve kullanılan veri işlemlerinin belirtilmesi istenmektedir.

Üçüncü ilke olarak raporu hazırlayanların konularında yeterlilik sahibi olmaları gereğidir. Kaynak tahminine dayanak oluşturan çalışmaların o konuda yeterli bilgi ve tecrübeye sahip bir yetkin kişi tarafından yapılmış olması ya da kontrol edilerek doğrulanmış olması şartı aranmaktadır. Halka açık raporlarda, bu rapordan sorumlu olan yetkin kişinin isminin belirtilmesi zorunludur.

Yetkin kişi, teknik raporların kurallara uygun hazırlanmasından ve içindeki bilgilerin doğruluğundan sorumlu, muteber (tanınan) meslek örgütlerinden birine üye jeoloji mühendisi, maden mühendisi veya jeofizik mühendisidir. Muteber meslek örgütü ise, JORC benzeri standartlara ve meslek ahlakı kurallarına uymayı şart koşan ve bu konuda üyelerinin gözetimini yapan, uymayanları üyelikten atma ve disiplin cezası verme gücüne sahip (yerli veya muteber bir yabancı) meslek örgütüdür.

Günümüzde dünya ekonomisini büyük oranda ellerinde tutan ülkelerde ilgili kamu kuruluşları, borsa kurulları, bankalar hem kendi ülkelerindeki hem de yabancı ülkelerdeki meslek örgütlerini, ancak bu ölçütleri karşıladıkları zaman “muteber meslek örgütü” veya “muteber yabancı meslek örgütü” olarak kabul etmektedir.

Böylece meslek örgütleri için, bu uluslararası denklik (akreditasyon) zincirine katılmak önemli hâle gelmiştir. Bu gelişmelerin uluslararası denkliğin önemini giderek daha da arttıracaktır.

görülmektedir. Çünkü denkliği olmayan meslek örgütü üyelerinin mesleklerini yapması gittikçe daha fazla engellenecektir. Bundan dolayı maden kaynak ve rezervleri hakkında güvenilir tahmin ve raporlar hazırlanmasını temin etmek için, uluslararası standartlara uyumlu ulusal düzenlemeler yapılması; hem yatırımcıların korunması, hem de uluslararası akreditasyon zincirine katılmak suretiyle Türk mühendislerine iş piyasalarında getirilen engellerin kaldırılması bakımından büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Armstrong, M., Champigny, N, 1989. A Study on Kriging small blocks: CIM Bulletin, 82, 128-133.
- Blackwell, G. H., 1998. Relative kriging errors – a basis for mineral resource classification: Exploration and Mining Geology, 7 (1-2), 99-106.
- Carr, J.C., Beaton, R.K., Cherrie, J.B., Mitchell, T.J., Fright, W.R., McCallum, B.C., Evans, T.R. 2001. Reconstruction and Representation of 3D Objects with Radial Basis Function. In: ACM SIGGRAPH, 12-17 August 2001, Los Angeles.
- Cowan, E.J., Beatson, R.K., Ross, H.J., Fright, W.R., McLennan, T.J., Evans, T.R., Carr, J.C., Lane, R.G., Bright, D.V., Gillman, A.J., Oshust, P.A., Titley, M. 2003. Practical Implicit Geological Modelling. In: Dominy, S. (ed.) 5th International Mining Geology Conference, Bendigo, Victoria, November 17-19, 2003, Australian Institute of Mining and Metallurgy, Publication Series No. 8, 89-99.
- Coombes, J., 2008. The art and science of resource estimation : a practical guide for geologists and engineers. Coombes Capability, 231 p.

- Cowan, E.J., Spragg, K.J., Everitt, M.R. 2011. Wireframe-Free Geological Modelling – An Oxymoron or a Value Proposition? In: Eighth International Mining Geology Conference, Queenstown, New Zealand, 22-24 August 2011, 13 p.
- David, M., 1988. Handbook of Applied Advanced Geostatistical Ore Reserve Estimation, Elsevier Scientific, Amsterdam, 216 p.
- Deraisme J., de Fouquet, C., 1996. A geostatistical approach for reserves: Mining Magazine, May 1996.
- De-Vitry, Chris, 2003. Resource classification – a case study from the Joffre-hosted iron ore of BHP Billiton's Mount Whaleback operations: A196 Mining Technology (Trans. Inst. Min. Metall. A), Volume 112.
- Dominy, S.C., Annels, A.E., Platten, I.M., Raine, M.D., 2003a. A review of problems and challenges in the resource estimation of high-nugget effect lode-gold deposits. In Proceedings, Fifth International Mining Geology Conference. Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 279-298.
- Dominy, S.C., Platten, I.M., Raine, M.D., 2003b. Grade and geological continuity in high-nugget effect gold-quartz reefs: Implications for resource estimation and reporting. Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, 112, 239-259.
- Dominy, S.C., Noppé, M A., Annels, A.E., 2002. Errors and uncertainty in mineral resource and ore reserve estimation-the importance of getting it right. Exploration and Mining Geology 11 (1-4), 77-98.
- Emery, X., Ortiz, J. M., 2005. Estimation of mineral resources using grade domains: critical analysis and a suggested methodology: The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy, 105, 247-256.
- Emery, X., Ortiz, J.M., Rodriguez, J.J., 2006. Quantifying uncertainty in mineral resources by use of classification schemes and conditional simulations. Mathematical Geology, 38(4), 445-464.
- Froidevaux, R., Roscoe, W. E. and Valiant, R. I., 1986. Estimating and classifying gold reserves at Page-Williams C zone- a case study in nonparametric geostatistics: In: Ore reserve estimation: methods, models and reality, Montreal, Canadian Institute of Mining and Metallurgy, p. 280-300.
- Glacken, I M., Sommerville, B. L. and Arnold, C. G., 2001. Reserve Estimation at Kambalda Nickel Operations from 1970 to 2000, in *Mineral Resource and Ore Reserve Estimation – The AusIMM Guide to Good Practice* (Ed: A C Edwards), pp237-248 (The Australasian Institute of Mining and Metallurgy: Melbourne).
- Glacken, I.M., Snowden, D.V., 2001. Mineral Resource Estimation, in *Mineral Resource and Ore Reserve Estimation: The AusIMM Guide to Good Practice* (Ed: A C Edwards), 189-198 (The Australasian Institute of Mining and Metallurgy: Melbourne).
- Guibal, D., 2001. Variography – A Tool for the Resource Geologist. In: Edwards, A.C. (Ed.) *Mineral Resource and Ore Reserve Estimation – The AusIMM Guide to Good Practice*. The Australian Institute of Mining and Metallurgy: Melbourne.
- Khakestar, M. S., Hassani, H., Angorani, S., 2011. A Hybrid Strategy to Optimize the Search Ellipsoid Dimensions: Case Study from Anomaly No 12A Iron Deposit in Central Iran: *Yerbilimleri*, 32 (1), 51-58.
- Price M., 2013. Strike it rich with maplex: Labeling oriented structure point labels in ArcGIS 10.1
- Royle, A. G., 1977. How to use geostatistics for ore reserve classification: *Eng. Min. Journal*, February, 52-55.

- Sabourin, R., 1984. Application of a geostatistical method to quantitatively define various categories of resources. In: *Geostatistics for Natural Resource Characterization*, Verly, G., M. David, A. G. Journel, and A. Maréchal (eds.), Dordrecht: Reidel, 1, p. 201-215.
- Saraç, C., Tercan, A. E., 1996. Grade and reserve estimation of the Tulovasi borate deposit by block kriging, *International Geology Review*, 38(9), 832-837.
- Stegman, C.L., 2001. How domain envelopes impact on the resource estimate – case studies from the Cobar Gold Field, NSW, Australia. In: Edwards, A.C. (Ed.) *Mineral Resource and Ore Reserve Estimation – The AusIMM Guide to Good Practice*. The Australian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne.
- Sinclair, A.J. and Vallée, M., 1994. Reviewing continuity: An essential element of quality control for deposit and reserve estimation: *Exploration and Mining Geology*, 2, 95-108.
- Sinclair, A. J., Blackwell, G. H., 2002. *Applied mineral inventory estimation*. Cambridge: Cambridge University Press, 381 p.
- Snowden, D. V., 2000. *Practical interpretation of mineral resource and ore reserve classification guidelines: mineral resource and ore reserve estimation-the AusIMM guide to good practice (Monograph 23)*.