

Cilt **23/24** Sayı **1** 1999/2000
Volume Number

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ

Geological Engineering Journal

ISSN 10116-9172



TMMOB - Jeoloji Mühendisleri Odası yayınıdır
Published by the Chamber of Geological Engineers of Turkey

Editörler/*Editors*

Mehmet EKMEKÇİ
Hacettepe Üniversitesi
Jeoloji Mühendisliği Bölümü
06532 Beytepe Ankara
Tel: 0312 297 77 30
Fax: 0312 434 23 88
E-Posta: ekmekci@hacettepe.edu.tr

Aydın ARAS
MTA Genel Müdürlüğü
MAT Dairesi
Eskişehir Yolu, 06520 Ankara
Tel: 0312 287 34 30/1392
Fax: 0312 434 23 88
E-Posta: aras@mta.gov.tr

Teknik Editör
Technical Editor

Levent TEZCAN
Hacettepe Üniversitesi
Jeoloji Mühendisliği Bölümü
06532 Beytepe Ankara
Tel: 0312 297 77 50
Fax: 0312 434 23 88
E-Posta: tezcan@hacettepe.edu.tr

Teknik Editör Yardımcısı
Assistant Technical Editor

Teoman MERİÇ
Hacettepe Üniversitesi
Jeoloji Mühendisliği Bölümü
06532 Beytepe Ankara

Jeoloji Mühendisleri Odası
Chamber of Geological Engineers
Yönetim Kurulu
Executive Board

Aydın ÇELEBİ / Başkan
President
İsmet CENGİZ / 2. Başkan
Vice President
Mutlu GÜRLER / Genel Sekreter
Secretary General
Ali KAYABAŞI / Sayman
Treasurer
Ercan BAYRAK / Yayın Üyesi
Member of Executive Board Secretary of Publication
Dinçer ÇAĞLAN / Mesleki Uygulamalar Üyesi
Member of Executive Board Professional Application Secretary
Yüksel METİN / Sosyal İlişkiler Üyesi
Member of Executive Board Social Affairs Secretary

Jeoloji Mühendisliği Dergisi Makale ve Dizin Özleri
GeoRef Uluslararası Index tarafından taranmaktadır

Yayın Kurulu/*Editorial Board*

Halük AKGÜN (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)
Erhan ALTUNEL (Osman Gazi Üniversitesi)
Ömer AYDAN (Tokai Üniversitesi)
Can AYDAY (Anadolu Üniversitesi)
Ahmet BAŞOKUR (Ankara Üniversitesi)
Serdar BAYARI (Hacettepe Üniversitesi)
Baki CANİK (Ankara Üniversitesi)
Zeki ÇAMUR (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)
Zafer DEMİR (Weiss Co-ABD)
Remzi DİLEK (Karadeniz Teknik Üniversitesi)
Vedat DOYURAN (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)
Nusret EMEKLİ (İller Bankası)
Ömer EMRE (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü)
Mustafa ERDOĞAN (İstanbul Teknik Üniversitesi)
Şevki FİLİZ (Dokuz Eylül Üniversitesi)
Hasan GERÇEK (Karaelmas Üniversitesi)
Okay GÜRPINAR (İstanbul Üniversitesi)
Nurkan KARAHANOĞLU (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)
K. Erçin KASAPOĞLU (Hacettepe Üniversitesi)
Erkin NASUF (İstanbul Teknik Üniversitesi)
Akın ÖNALP (Sakarya Üniversitesi)
Mustafa ÖNDER (Harita Genel Komutanlığı)
Ahmet SAĞIROĞLU (Fırat Üniversitesi)
Cem SARAC (Hacettepe Üniversitesi)
Reşat ULUSAY (Hacettepe Üniversitesi)
Ali UYGUN (GEOS - İstanbul)
Asuman TÜRKMEÑOĞLU (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)
Mahir VARDAR (İstanbul Teknik Üniversitesi)
Hasan YAZICIGİL (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)
Yücel YURTSEVER (International Atomic Energy Agency)
Erdoğan YÜZER (İstanbul Teknik Üniversitesi)

Bu sayıda katkı koyanlar
Reviewers in this issue:

Candan GÖKÇEÖĞLU (Hacettepe Üniversitesi)
Saldıray İLERİ (Kuşadası - İzmir)
Halim MUTLU (Osman Gazi Üniversitesi)
Lütfi NAZİK (Maden Tetkik ve Arama)
Tamer TOPAL (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)

Yazışma Adresi
Correspondance

TMMOB JEOLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI
P.K. 464 Yenışehir, 06444 Ankara
Tel: (0312) 434 36 01
Fax: (0312) 343 23 88
E-Posta: jmo@jmo.org.tr
www.jmo.org.tr

The Geological Engineering Journal is indexed and abstracted by GeoRef.

Editörlerden/Editorial

Değerli Yerbilimciler,

Çoğumuzun bildiği gibi, Jeoloji Mühendisleri Odası Şubat 1977'de, "Jeoloji biliminin, jeoloji mühendisliğinin sorunlarını yurt sorunlarından ayırmayan temel bir ilke ile yayın" etkinliğini, "daha derli toplu bir yayın organıyla" sürdürmek amacıyla JMO'nun bir yayın organı olacak şekilde Jeoloji Mühendisliği adında bir dergi çıkarmaya başlamıştır. İlk sayı çeşitli yabancı yayınların çevirisinden oluşan metinleri içermiş, daha sonraki sayılarda ülkemiz yerbilimcilerinin gerçekleştirdikleri özgün çalışmalara daha çok yer vermeye başlanmıştır. 1977 yılından bugüne kadar önemli bir misyonu başarıyla yüklenen Jeoloji Mühendisliği, son yıllarda yerbilimleri uygulamalarının insan yaşamını ve doğal çevresini doğrudan ilgilendiren ve etkileyen bir bilim dalı olarak kendini daha da çok hissettirmeye başlaması sonucunda, yayın politikasında yeni bir yapılanmayı zorunluluk olarak görmüştür.

Jeolojinin uygulama alanına ilişkin her türlü çalışma Jeoloji Mühendisliği Dergisinin yayın amaçlarına uygundur. Bununla birlikte, çalışmaya konusunun, kullanılan teknik ne olursa olsun, bilimsel yöntemlerle ele alınması ve jeolojinin uygulama alanına ilişkin olması aranan temel nitelikler arasında olacaktır.

Yeni yapısıyla Jeoloji Mühendisliği Dergisi, yerbilimlerinin uygulama alanlarında yapılan çalışmaların daha nesnel, bilimsel ve özellikle sayısal veriye dayanan bir niteliğe kavuşturulması konusunda özendirici, hatta zorlayıcı bir görev üstlenmiştir. Çalışmalarıyla mesleğe olduğu kadar toplumun refahı için büyük emek veren yerbilimcilerin, bu emeklerine yakışan biçim ve içerikte, uluslararası tarama listelerinde yer alacak bir yayına sahip olmak sanırız Odamızın olduğu kadar bütün üyelerimizin de özlemi içinde oldukları bir konudur.

Değerli Yerbilimciler,

Yeni yapısıyla yayımlanan elinizdeki bu sayıdan itibaren Cilt-Sayı sistemine geçilmiştir. Bu sistem değişikliği, derginin kesintiye uğramadan düzenli bir şekilde çıkarılmakta olduğunu göstermek ve bu şekilde uluslararası tarama listelerinde yer almasını sağlamak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Nitekim, uluslararası tarama listeleri ile yapılan görüşmeler sonucunda, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, ilk aşamada *GeoRef* uluslararası index tarafından tarama listesine alınmış bulunmaktadır. *GeoRef* in yanı sıra *GEOBASE/GeoAbstracts* için yapılan başvurumuz değerlendirmeye alınmış ve JMD'nin, yıllık tarama yapan bu indekslerin kapsamına 2001 yılından itibaren girebileceği bildirilmiştir. Bu girişimin olumlu bir şekilde sonuçlanması, derginin uluslararası niteliklere ulaşmasını sağlamak amacıyla alınan önlemler, bunların başında, dergiye sunulan çalışmaların "*katkı koyarak*" değerlendiren, geniş yelpazeli bir yayın inceleme kurulunun oluşturulması, yazarların büyük bir titizlik ve sabırla gerek yayın kurulunun gerekse editörlerin düzeltmeye ilişkin görüşlerini dikkate alarak metinlerini yeniden düzenlemeleri, derginin belirli bir formda yayınlanması ve sürekliliği etkili olmuştur. Elinizdeki sayının bugüne kadar gecikmesi, yukarıda özetlenen süreçler nedeniyle olmuştur. Yeni yapısı oluşturulduktan sonra Jeoloji Mühendisliği Dergisinde yayımlanmak üzere toplam 35 çalışma gönderilmiş, ancak bunlardan 10 tanesi yayına değer bulunmuştur. Bu düşük oran, derginin yeni yapısının yeterince duyurulmaması sonucunda ortaya çıktığı inancındayız. Gelecek sayıdan itibaren, siz meslektaşlarımızın dergiye yeni yapısına uygun katkılarda bulunacağınıza güveniyoruz. Çünkü, nitelikte süreklilik esas olmalıdır.

Sonsöz olarak, Türkiye'de uygulamalı yerbilimleri konusunda çalışma yapan meslektaşlarımıza ve hepimizin çatısı altında toplandığımız Jeoloji Mühendisleri Odasına yakışan, Jeoloji biliminin hakettiği değerini ve saygınlığını ciddi, veriye dayanan çalışmalarla ortaya koyacak olan derginin bu düzeye gelmesinde katkıları olan başta yazarlar olmak üzere, titiz ve ciddi inceleme ve değerli katkılarıyla yayın inceleme kurulu üyelerine, Derginin belirli bir düzeye gelebileceğine baştan itibaren inanan ve her türlü desteği veren 1998-1999 dönemi JMO Başkanı Sayın *Ayhan Kösebalaban* ve Yönetim Kurulu Üyelerine; editörlerle birlikte büyük bir özveriyle akademik bir ciddiyetle çalışan 1998-1999 dönemi Yayın Kurulu Üyesi Sayın *Dr. Faruk Ocakoğlu*'na; özverili çalışmalarla derginin uluslararası düzeye gelebileceğine ve bu tür bir yayının bütün yerbilimciler ve JMO açısından önemli bir katkı olacağı sonucuna varan başta Bilimsel Teknik Kurul Başkanı Sayın *Prof. Dr. Ali Yılmaz* ve Kurul üyelerine; başarılı çalışmaların ancak sürekliliğin sağlanmasıyla gerçekleştirilebileceği bilinciyle Dergi Editörlüğüne sabırlı-anlayışlı desteğini esirgemeyen 2000-2002 dönemi JMO Başkanı Sayın *Aydın Çelebi*'ye, Yönetim Kurulu Üyeleri ve yeni dönem Yayın Kurulu Üyesi Sayın *Erhan Bayrak*'a içten teşekkür hepimizin borcudur.

Saygılarımızla.

Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüne ilişkin değişiklik önerileri ve bunların uygulanabilirliği

Suggested modifications to the empirical Hoek-Brown failure criterion and their applicability

Reşat ULUSAY, Harun SÖNMEZ

ÖZ

Sık aralıklı süreksizlikler içeren kaya kütlelerinin dayanımlarının laboratuvarında tayininde kullanılacak örneklerin temsil edici olabilmesi amacıyla, klasik örnek boyutlarının dışına çıkılarak, çok büyük örneklerle gereksinim duyulmaktadır. Ancak, bu tür kaya kütlelerinde metre boyutunda örnek alımı mümkün olmayıp, bu boyuttaki örneklerin yerleştirileceği çok büyük deney hücrelerinin geliştirilmesi de güçtür. Bu güçlük, 80'li yıllardan bu yana kullanılan Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüyle aşılmaya çalışılmaktadır. Zayıf kaya kütlelerine uygulanmasında ortaya çıkan bazı sınırlamalardan dolayı, önerildiği 1980'den günümüze değin ölçüt, yaratıcıları tarafından pek çok kez değişikliğe uğramıştır. 1994'e kadar Jeomekanik Sınıflama Sistemi'nden belirlenen RMR değerini esas alan ölçüte, 1994'ten sonra doğrudan RMR'ın kullanılması yerine, yine RMR değerinden belirlenen Jeolojik Dayanım İndeksi (Geological Strength Index-GSI) dahil edilmiştir. Ölçütün 1997 yılındaki son versiyonunda; RMR'dan bağımsız ve herhangi bir kaya kütlesi parametresi için sayısal değer esas alınmaksızın, sadece kaya kütlelerinin görsel olarak tanımlanmasına dayalı bir GSI Sınıflama Sistemi'nin kullanımına geçilmiştir. Güncel GSI Sınıflama Sistemi'nde, GSI değerleri kaya kütlelerinin görünümüne ve tanımlanmasına göre belirlenmekte ve bu uygulama genel olarak sübjektif bir değerlendirmeye yol açmaktadır. GSI sistemi ile ilgili tartışmaya açık diğer bir husus ise, yenilme ölçütünün son versiyonunda örselenmiş ve örselenmemiş kaya kütlelerinin mühendislik parametrelerinin belirlenmesine yönelik bir kılavuzun mevcut olmayışıdır. Ölçütün son versiyonunun desteklediği herhangi bir araştırmanın bulunmayışı da, güncel GSI sisteminin güvenilirliği ve/veya performansı hakkında yorum yapılmasını olanaksız kılmaktadır. Bu yazıda, GSI sistemine ait yukarıda değinilen belirsizlikler dikkate alınarak, öncelikle GSI değerlerinin daha gerçekçi şekilde ve kolaylıkla tayin edilebilen kaya kütlesi parametrelerine bağlı olarak hesaplanması amacıyla yazarlar tarafından önerilen değişiklikler ve bunlarla ilgili puanlama parametreleri sunulmuştur. Ayrıca, kaya kütlesi parametreleri üzerinde kazı yöntemine bağlı olarak ortaya çıkan örselenmenin etkisini dikkate alan bir yöntem önerilmiştir. GIS'in yazarlar tarafından modifiye edilmiş bu son hali, Türkiye'den seçilmiş sık eklemlili kaya kütlelerinde açılmış şevler ile pasa yığınlarında meydana gelmiş duraysızlıkların geriye dönük analizlerinde kullanılarak, önerilen sistemin ve yöntemin performansı sınanmıştır. Analizler, önerilere göre hesaplanmış GSI değerlerinin kullanılması ve örselenme etkisinin yenilme ölçütüne dahil edilmesi halinde gerçekçi sonuçların elde edilebileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Geriye dönük analiz, Hoek-Brown yenilme ölçütü, Jeolojik Dayanım İndeksi, Kaya kütlesi, Pasa yığını, Şev duraylılığı.

EXTENDED SUMMARY

The strength of a rock material is determined in the laboratory on representative standard samples. In the case of a closely jointed rock mass it is not possible to obtain a sample with suitable dimensions to represent the whole rock mass. Since 1980, the empirical Hoek-Brown failure criterion (Hoek and Brown, 1980) began to be used to overcome the difficulties in laboratory shear strength determination of jointed rock masses. The empirical failure criterion was used in conjunction with the Geomechanics Classification System-RMR (Bieniawski, 1989) until 1994. However, due to the limitations in the RMR classification scheme particularly for very poor quality rock masses and for unrealistic rating adjustments for discontinuity orientation in slopes, the failure criterion has been modified over the years. Recently, the originators of the criterion introduced a new index, called Geological Strength Index (GSI), into the criterion. The GSI is based upon the visual impression on the rock mass structure and consists of twenty codes to identify each rock mass category and to estimate the GSI value (Hoek and Brown, 1997).

Because rock mass classification requires time consuming procedures and has some limitations, the existing GSI system seems a more practical parameter for the determination of the strength of jointed rock masses from field observations. However, the system is lack of measurable and more representative parameters, and related interval limits or ratings for describing the structure and surface conditions of discontinuities. This situation results in subjective assessments on the determination of the GSI value. In other words, it is possible to estimate different GSI values for the same rock mass by different persons. The other important problem of the criterion is the use of undisturbed and disturbed rock mass categories for determining the parameters in the criterion, for which clear guidelines are lacking. It is also noted that the data supporting of the revisions have not been published. These uncertainties make it difficult to judge their validity and performance.

In order to provide a more quantitative basis for evaluating GSI values, the authors of this paper suggested some modifications by introducing easily measurable rock mass parameters with ratings and/or intervals. For the purpose, two terms, namely Structure Rating (SR) based on volumetric joint count and Surface Condition Rating (SCR) from the input parameters are introduced into the GSI system, and the modified GSI chart is established. In the latest version of the failure criterion (Hoek and Brown, 1997; Hoek et al., 1998) average undisturbed in-situ conditions are considered to estimate the GSI without application of any adjustment due to any disturbance effect, such as blasting. Method of excavation, major planes of weakness or change in stress are considered as local features influencing the rock mass at a particular location. Therefore, the influence of such factors should be compensated, and necessary adjustments should be taken into consideration.

In this study, a method was proposed to assess the influence of disturbance on rock constants due to method of excavation as discussed in detail by Sönmez and Ulusay (1999). The modifications and the method suggested have been applied to well studied five slope instabilities from Turkey to check the validity and performance of the modifications and the methodology of parameter estimation. Four cases were selected from the slopes excavated in heavily jointed rock masses and one from spoil piles in a strip coal mine. The application of the suggested modifications and the method examined by the back analysis of the failures indicated that the use of GSI value determined from the suggested modified chart and consideration of disturbance effect confirmed the limit equilibrium condition for the investigated failed slopes. The back analysis results from a spoil pile instability revealed that spoil pile materials consisting of blocky and angular rock pieces with small amount of fines could be categorized as a disintegrated rock mass in the GSI system and the criterion seemed to be applied to spoil materials. However, future applications of the suggested modifications onto failure case studies both from surface and underground excavations may provide a better tool for more precise guidelines and to check the performance of the equations of the criterion.

Key Words: Back analysis, Hoek-Brown failure criterion, Geological Strength Index, Rock mass, Spoil pile, Slope stability.

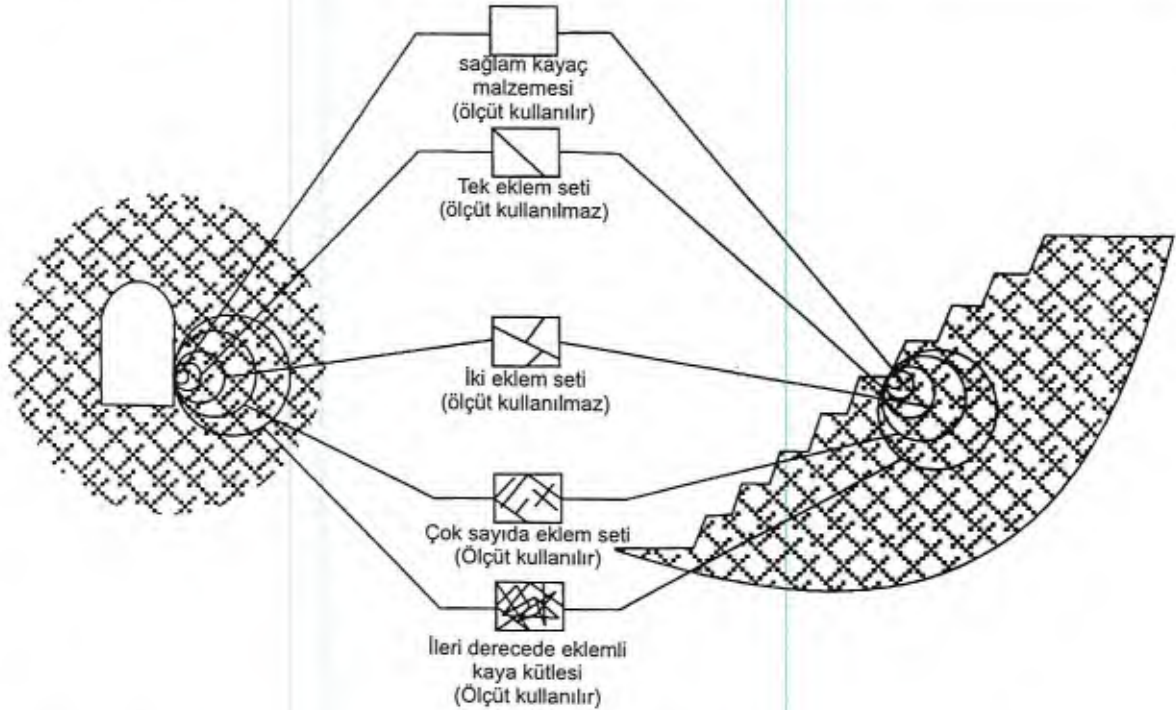
GİRİŞ

Doğal malzemelerin dayanım parametreleri, bu malzemelerden alınmış temsil edici büyüklükteki örneklerin laboratuvarında standartlara uygun şekilde test edilmesiyle belirlenir. Ancak, sık eklemli kaya kütlelerinden, sağlam kaya malzemesi ile birlikte süreksizlik sistemlerini de içerecek büyüklükte ve metre boyutuna varan örneklerin alınması genellikle mümkün değildir (Şekil 1). Yeterli büyüklükte örnek alındığı varsayılsa bile, laboratuvar ölçeğinde bu büyüklükteki bir örneği test edebilecek hücre ve ekipman geliştirilmemiştir. Eklemli kaya kütlelerinin makaslama dayanımının laboratuvarında tayininde karşılaşılan bu güçlük, 80'li yıllardan sonra Bieniawski (1989) tarafından önerilen Jeomekanik Kaya Kütleli Sınıflama Puanı RMR'ı da bir girdi parametresi olarak kabul eden Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüyle (Hoek-Brown, 1980) aşılmaya çalışılmaktadır.





RMR sınıflama sisteminin özellikle zayıf ve çok zayıf kaya kütleleri için içerdiği sınırlamalar ve bu sistemin özellikle şevlerdeki süreksizliklerin yöneli-

mi için önerdiği gerçekçi olmayan düzeltme faktörleri, Hoek-Brown yenilme ölçütünde de günümüze değin bazı değişikliklerin yapılmasını gerekli kılmıştır. Hoek-Brown görgül yenilme ölçütünün yazarların yaptığı çalışmaya (Sönmez ve Ulusay, 1999) kadar geçen dönemdeki gelişimi (geçirdiği değişiklikler) Çizelge 1'de özetlenmiştir. 1994'e kadar RMR puanıyla birlikte kullanılan bu ölçüte Hoek (1994), RMR'ın yerine Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) 'ni dahil etmiştir. Başlangıçta, RMR değeri kullanılarak hesaplanan GSI, daha sonra Hoek ve Brown (1997) tarafından önerildiği biçimde ve kaya kütlelerinin görsel tanımlanmasını esas alacak şekilde düzenlenmiş bir GSI sınıflama abağından (Şekil 2) belirlenmeye başlanmıştır. Bu sınıflama sisteminde kaya kütleleri, kayacın içerdiği süreksizliklerin neden olduğu bloklaşma durumuna ve süreksizlik yüzeylerinin koşullarına bağlı olarak 20 farklı sınıfa ayrılmaktadır.

RMR sınıflaması, ayrıntıları Sönmez vd. (1998) tarafından tartışılan bazı sınırlamaları ve zaman alıcı işlemleri gerektirmektedir. Bu nedenle, GSI Sınıfla-



Şekil 1. Sağlam kaya malzemesinden ileri derecede eklemli kaya külesine geçiş ve örnek boyutundaki artış (Hoek 1988'den).

JEOLOJİK DAYANIM İNDEKSİ		SÜREKSİZLİK YÜZEY KOŞULU				
Kaya kütlelerinin yapı ve yüzey koşullarının tanımlandığı harf kodlarını belirleyerek uygun kutu seçilir ve ortalama Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI)'nin değeri abaktaki konturlardan tayin edilir.		AZALAN YÜZEY KALİTESİ →				
YAPI		KAYA PARÇALARININ KENETLENME DERECESİNDE AZALMA				
	BLOKLU- 3 ortogonal süreksizlik setinin oluşturduğu kübik bloklu, çok iyi kenetlenmiş, örselenmemiş kaya kütleleri	80 B/Çİ	B/İ	B/O	B/Z	B/ÇZ
	ÇOK BLOKLU- Dört veya daha fazla sayıda süreksizlik setlerinin keşilmesiyle oluşmuş çok yüzeyli-köşeli bloklar içeren kısmen örselenmiş kaya kütleleri	70 ÇB/Çİ	ÇB/İ	ÇB/O	ÇB/Z	ÇB/ÇZ
	BLOKLU/ÖRSELENMİŞ- Birbirini kesen çok sayıda süreksizliklerin oluşturduğu köşeli bloklar içeren kıvrımlanmış ve/veya faylanmaya maruz kalmış kaya kütleleri	60 BÖ/Çİ	BÖ/İ	BÖ/O	BÖ/Z	BÖ/ÇZ
	PARÇALANMIŞ- Köşeli ve yuvarlak kaya parçalarının karışımından oluşan, zayıf derecede kenetlenmiş, aşırı derecede kırıklı kaya kütleleri	50 P/Çİ	P/İ	P/O	P/Z	P/ÇZ
		40				
		30				
		20				
		10				

Şekil 2. Güncel GSI sınıflama sistemi (Hoek ve Brown, 1997'de verilen Çizim 3 ve 4'den düzenlenmiştir).

Çizelge 1. Hoek-Brown yenilme ölçütünün bu çalışmaya değin geçirdiği tarihsel gelişim
(Hoek ve Brown, 1997 ile Hoek vd., 1998'den düzenlenmiştir)

Kaynak	Kapsam	Eşitlikler
Hoek ve Brown (1980)	İnce tane içermeyen ileri derecede eklemli kaya kütleleri için orijinal yenilme ölçütü : Mohr dairesi, Balmer (1952) tarafından yayımlanan yöntemle hesaplanmış çok sayıda σ'_n , τ veri çiftinin istatistiksel olarak değerlendirilmesiyle elde edilmiştir. σ'_1 ve σ'_3 yenilme anındaki asal ve tali efektif gerilimler olup, σ'_1 kaya kütlelerinin çekilme dayanımı, m ve s malzeme sabitleri, σ'_n ve τ efektif normal ve makaslama gerilimleridir.	$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \sqrt{m \sigma'_3 / \sigma_{ci} + s}$ $\sigma_1 = (\sigma_{ci} / 2) (m - \sqrt{m^2 + 4s})$ $\tau = A \sigma_{ci} ((\sigma'_n - \sigma'_1) / \sigma_{ci})^B$ $\sigma'_n = \sigma'_3 + ((\sigma'_1 - \sigma'_3) / (1 + \partial \sigma'_1 / \partial \sigma'_3))$ $\tau = (\sigma'_n - \sigma'_3) \sqrt{\partial \sigma'_1 / \partial \sigma'_3}$ $\partial \sigma'_1 / \partial \sigma'_3 = m \sigma_{ci} / 2 (\sigma'_1 - \sigma'_3)$
Hoek (1983)	Anizotropik yenilme ve Mohr dairesi için çözümlenme konularında Dr. J.W. Bray ile yapılan değerlendirmeye göre öngörülen düzenleme sonucu ince tane içermeyen ileri derecede eklemli kaya kütleleri için orijinal yenilme ölçütü.	$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \sqrt{m \sigma'_3 / \sigma_{ci} + s}$ $\tau = (\cot \phi_i - \cos \phi_i) m \sigma_{ci} / 8$ $\phi_i = \arctan (1 / \sqrt{4h \cos^2 \theta - 1})$ $\theta = (90 + \arctan(1 / \sqrt{h^3 - 1})) / 3$ $h = 1 + (16(m \sigma'_n + s \sigma_{ci}) / (3m^2 \sigma_{ci}))$
Hoek ve Brown (1988)	Yenilme ölçütü, Hoek (1983) tarafından önerildiği gibi olmakla birlikte, aşağıdaki bazı düzenlemeleri içermektedir: yeraltı suyu puanı için 10 değerinin sabit alındığı ve süreksizlik yönelim düzeltilmesi için 0 değerinin verildiği modifiye edilmiş RMR puanı (Bieniawski, 1989) ile m ve s kaya kütleleri arasındaki ilişkilerin ilave edilmiş olması, kütlelel deformasyon modülü E'nin tahmin edilmesiyle birlikte örselenmiş ve örselenmemiş kaya kütleleri arasındaki farklılığın ayırtlanması.	<p>Örselenmiş kaya kütleleri:</p> $m_b / m_i = \exp((RMR - 100) / 14)$ $s = \exp((RMR - 100) / 6)$ <p>Örselenmemiş veya kenetlenmiş kaya kütleleri:</p> $m_b / m_i = \exp((RMR - 100) / 28)$ $s = \exp((RMR - 100) / 9)$ $E = 10^{(0.04RMR - 0.9975)}$ <p>m_b ve m_i sırasıyla kırık ve sağlam kayac için önerilmiştir.</p>
Hoek vd. (1992)	İleri derecede eklemli kaya kütlelerinin çekilme dayanımına sahip olmadığı dikkate alınarak, ölçüt modifiye edilmiştir: normal ve makaslama gerilimi veri çiftlerinin hesaplanması için Balmer'in yöntemi kullanılmıştır.	$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} (m_b \sigma'_3 / \sigma_{ci})^a$ $\sigma'_n = \sigma'_3 + ((\sigma'_1 - \sigma'_3) / (1 + \partial \sigma'_1 / \partial \sigma'_3))$ $\tau = (\sigma'_n - \sigma'_3) \sqrt{\partial \sigma'_1 / \partial \sigma'_3}$ $\partial \sigma'_1 / \partial \sigma'_3 = 1 + a m_b^b (\sigma'_3 / \sigma_{ci})^{(a-1)}$
Hoek (1994) Hoek vd. (1995)	Yöntem, hem orta kaliteli, hem de çok zayıf kaliteli kaya kütleleri için modifiye edilerek geliştirilmiş Hoek-Brown yenilme ölçütü önerilmiştir. Bu amaçla: RMR sınıflama sisteminde çok düşük kaliteli kayalara ilgili olarak karşılaşılan güçlüklerin aşılması için ölçüte Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) ilave edilmiş; örselenmiş ve örselenmemiş kaya kütleleri için daha önce önerilen ayırtlama ölçütünden vazgeçilerek bu amaçla GSI değerlerinin azaltılması yoluna gidilmiştir.	$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} (m \sigma'_3 / \sigma_{ci} + s)^a$ <p>GSI > 25 için</p> $m_b / m_i = \exp((GSI - 100) / 28)$ $s = \exp((GSI - 100) / 9)$ <p>a = 0.5</p> <p>GSI < 25 için</p> $s = 0$ $a = 0.65 - GSI / 200$
Hoek ve Brown (1997)	Yenilme ölçütü, Hoek (1994) ve Hoek vd. (1995)'nin önerdiği şekliyle kalmakla birlikte, kayacın yapısal özellikleri ve süreksizlik yüzey koşullarını temel alan gözleme dayalı bir GSI abağı geliştirilerek ölçüte ilave edilmiştir.	Hoek (1994)'deki gibi
Hoek vd. (1998)	Ölçüt, Hoek ve Brown (1997)'un önerdiği ana ilkelerini korumakla birlikte, laminalı, foliasyonlu, kıvrımlı ve makaslanmış türdeki zayıf ve bloklı yapı göstermeyen kaya kütlelerinin de tanımlanması amacıyla GSI sistemine "foliasyonlu-laminalı" kaya kütleleri başlıklı bir sınıf daha eklenmiştir.	Hoek (1994)'deki gibi

ma Sistemi, kaya kütlelerinin dayanımının belirlenmesinde yararlı olarak çok daha pratik bir girdi parametresi olarak gözükmektedir. Görsel ve subjektif bir değerlendirmeye dayanan güncel GSI abağındaki kaya kütleleri sınıflarının alabileceği GSI değerleri geniş bir dağılım aralığı sergilemektedir (Şekil 2). Örneğin, bloklu ve çok iyi (B/Çİ) süreksizlik koşuluna sahip kaya kütleleri sınıfı için abaktan 63 ile 85 arasında değişen GSI değerleri elde edilmektedir. Bu durumda, "güncel GSI abağını kullanarak daha hassas bir GSI değeri nasıl elde edilebilir?" sorusuna yanıt aranması gerekmektedir. Hoek (1998), jeolojik ortamın bu denli duyarlı bir değerlendirmeye açık olmadığını ve tek bir GSI değeriyle kaya kütlelerini tanımlamanın pek gerçekçi olamayacağını ifade ederek, bu soruyu yanıtlamaya çalışmış ve ayrıca tek eksenli sıkışma dayanımının, sağlam kaya malzemesine ait sabitlerin ve GSI'nin normal dağılım gösterdiğini belirtmiştir. Ancak, normal dağılımla ifade edilecek GSI değerlerinin, güncel GSI abağından nasıl belirleneceği sorusu ise yanıtız kalmaktadır. Ayrıca, güncel GSI abağının kullanımının sadece uygulayıcının deneyimine dayanan bir değerlendirmeye yol açacağı, dolayısıyla bu abaktan belirlenen GSI değerlerinin kişiden kişiye değişiklik gösterebileceği de kaçınılmazdır.

Ölçütün son versiyonunda (Hoek ve Brown, 1997; Hoek, 1998), patlatmaya bağlı olarak kaya kütlelerinde meydana gelecek örselenmenin nasıl ifade edileceği yönünde net bir açıklama da bulunmamaktadır. Sönmez vd. (1998), değişik kaya kütlelerinde açılmış üç farklı şevde duraysızlıkların geriye dönük analizini yapmışlar ve Hoek-Brown yenilme ölçütünün RMR puanıyla birlikte örselenmiş kaya kütleleri için uygulanabilir olduğunu belirlemişlerdir. Hoek ve Brown (1997), kaya kütlelerinde patlatmaya bağlı olarak gelişecek örselenmenin, kaya kütlelerinin örselenmeden önceki GSI değerini ortalama 10 puan civarında düşüreceğini belirtmişler ve bu etkinin dikkate alınması için, Şekil 2'deki abaktan yapısal özelliklere ve yüzey koşullarına göre saptanan GSI değerinin aynı kolonda bir satır aşağı inilerek tekrar belirlenmesini önermişlerdir. Ancak Sönmez ve Ulusay (1999) tarafından yapılan hesaplamalar, GSI abağındaki bu bir satırlık oynamanın kaya kütlelerinin tek ek-

senli sıkışma dayanımını % 70 oranında etkileyeceğini göstermiştir. Patlatma açısından dikkate alınması gereken diğer bir husus ise, patlatmanın şiddetine bağlı olarak örselenmenin etkisinin de değişiklik göstereceğidir. Bu değerlendirmelerin ışığında, örselenme etkisinin Hoek ve Brown (1997)'in önerdiği şekilde değerlendirilmesinin tartışmalı olacağı görülmektedir. Ayrıca örselenme etkisi için Hoek ve Brown (1997) tarafından önerilen bu yaklaşımın, uygulamadan seçilmiş yerüstü ve yeraltı kazılarında sınındığına ilişkin bir çalışma da bulunmaktadır.

Diğer taraftan, Hoek vd.(1998), güncel GSI sınıflama sistemine foliasyonlu veya lamina içeren, ancak bloklu bir yapı göstermeyen makaslanmış zayıf kayaları da dahil ederek, beşinci grup bir kaya kütleleri daha önermişlerdir. Ancak Hoek (1994), görgül yenilme ölçütünün, homojen ve izotrop olarak kabul edilebilirlikleri dikkate alınarak, sadece sağlam kayalar malzemesine veya ileri derece eklemlili kaya kütlelerine uygulanabileceğini vurgulamaktadır. Bunun aksine, söz konusu foliasyonlu/laminalı ve makaslanmış kayaların dayanım ve deformasyon karakteristikleri sık aralıklarla dizilmiş makaslama ve kaygan foliasyon yüzeyleri boyunca meydana gelen yerdeğişirmeler tarafından denetlenmektedir. Bu tür kaya kütlelerinin izotrop ve homojen olmayan özellikleri dikkate alındığında, güncel GSI sistemine bu kayaları içeren yeni bir kaya kütleleri sınıfının dahil edilmesi gerçekçi görülmemektedir. Bu nedenle, bu çalışmada dört kaya kütleleri sınıfını içeren güncel GSI sistemi irdelenmiştir.

Bu çalışmada, Hoek-Brown yenilme ölçütüne ilişkin olarak ayrıntısı Sönmez ve Ulusay (1999) tarafından verilen ve özetle yukarıda değinilen belirsizliklerin giderilmesine yönelik olarak güncel GSI sisteminde yapılan değişiklik önerileri ve örselenme etkisinin değerlendirilmesi için önerilen yöntem ve yaklaşımlar sunulmuştur. Bu amaçla, Türkiye'den seçilmiş ve üzerinde ayrıntılı olarak çalışılmış beş şev duraysızlığı geriye dönük analiz edilerek, önerilen değişikliklerin ve yöntemin geçerliliği (performansı) sınıanmıştır.

JEOLJİK DAYANIM İNDEKSİ (GSI) İÇİN ÖNERİLEN DEĞİŞİKLİKLER

Ayrıntısı Hoek ve Brown (1997) tarafından verilen Hoek-Brown yenilme ölçütüne göre kaya kütlelerinin dayanımı, GSI değeri de kullanılarak, aşağıdaki eşitliklerden tayin edilmektedir.

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} (m_b \sigma_3 / \sigma_{ci} + s)^a \quad (1)$$

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI - 100}{28}\right) \quad (2)$$

GSI>25 için

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9}\right) \quad (3)$$

$$a = 0.5 \quad (4)$$

GSI<25 için

$$s=0 \quad (5)$$

$$a = 0.65 \left(\frac{GSI}{200}\right) \quad (6)$$

Burada m_b , s ve a kaya kütlelerinin, m_i ise sağlam kaya malzemesinin sabitleridir. Yukarıdaki eşitliklerden de görüleceği üzere, GSI değerindeki küçük bir değişim, kaya kütlelerinin dayanımını doğrudan etkilemektedir. Şekil 2'de verilen abaktaki süreksizlik yüzeyi koşulunun ve kaya kütle yapısının ölçülebilir ve/veya tanımlanabilen kaya kütle parametreleri esas alınıp daha duyarlı bir şekilde belirlenmesi amacıyla, yazarlar tarafından bir puanlama sistemine geçilmesi gerekli görülmüştür. Bu amaçla, "Yapısal Özellik Puanı (SR)" ve "Süreksizlik Yüzey Koşulu Puanı (SCR)" olarak tanımlanan iki parametrenin sisteme dahil edilmesi önerilmektedir.

Güncel GSI abağında (Şekil 2) süreksizlik yüzeylerinin durumu; süreksizliklerin dolgu, bozunma ve pürüzlülük özelliklerine bağlı olarak; ÇOK İYİ (Çİ), İYİ (İ), ORTA (O), ZAYIF (Z) ve ÇOK ZAYIF (ÇZ) olmak üzere beş sınıfa ayrılarak değerlendirilmektedir. Yazarlar ise, süreksizlik yüzey koşulunun tanımlanması amacıyla RMR Sınıflama Sistemi'nin dolgu, bozunma ve pürüzlülükle ilgili olarak önerdiği tanımlama ve puanlamaları (Bieniawski, 1989) kullanmışlar ve 0 ile 18 arasında değişen Süreksizlik Yüzey Koşulu Puanları (SCR) elde etmişlerdir. Süreksizlik Yüzey Koşulu Puanı,

$$SCR = R_r + R_w + R_f \quad (7)$$

ifadesiyle hesaplanmaktadır. Burada, R_r , R_w ve R_f sırasıyla pürüzlülük, bozunma ve dolgu puanları olup, bu puanlandırma, yazarların önerdiği ve Şekil 3'te verilen modifiye edilmiş GSI abağının sağ üst köşesindeki çizelge kullanılarak yapılmaktadır.

Blok büyüklüğü, kaya kütlelerinin yapısının tanımlanmasında kullanılan çok önemli bir belirteçdir. Büyük blokların oluşturduğu kaya kütleleri, küçük bloklardan oluşan kaya kütlelerine oranla daha az deforme olurlar. Diğer yandan, blok boyutu küçüldükçe şev kazılarında duraysızlık mekanizması süreksizlik denetimli duraysızlık mekanizmalarından (düzlemsel, kama ve devrilme türü kaymalar) kütleli (daireli) duraysızlık mekanizmasına doğru geçiş gösterir (bkz. Şekil 1). Aynı şekilde, kaya kütlelerini oluşturan blokların şekli de kaya kütlelerinin davranışında önemli rol oynar. Köşeli bloklar birbirlerine daha iyi kenetlenebilirken, yuvarlaklaşmış bloklarda kenetlenme köşeli bloklara oranla daha az olacaktır. Süreksizliklerin sayısı, aralığı ve devamlılığı kaya kütlelerini oluşturan blokların büyüklüğünü ve şeklini denetleyen parametrelerdir. Bir kaya kütlelerini bölen süreksizlik setlerinin aralığının düşük olması, blok boyutunun da küçük olması anlamına gelir. GSI'nin hesaplanmasında kullanılan girdi parametrelerinin sayısının azaltılarak pratiklik sağlanması açısından hem süreksizlik aralığını, hem de süreksizlik sayısını birlikte ifade eden hacimsel eklem sayısı (J_v), bu ça-

İşmada Yapısal Özellik Puanı (SR) 'nın belirlenmesi amacıyla önerilmiştir. Eklemlili kaya kütleli ortamının J_v parametresi,

$$J_v \frac{N_1}{L_1} + \frac{N_2}{L_2} + \dots + \frac{N_n}{L_n} \quad (8a)$$

$$J_v \frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} + \dots + \frac{1}{S_n} \quad (8b)$$

eşitlikleriyle hesaplanabilir. Burada; S gerçek süreksizlik aralığı, N süreksizlik hat etüdü boyunca karşılaşılan süreksizliklerin sayısı, L süreksizlik setine dik yönlü etüt hattının uzunluğu, n ise eklem seti sayısıdır.

Sık aralıklı ve değişik yönlerde gelişmiş eklemler içeren aşırı derecede parçalanmış kaya kütlelerinde belirgin eklem setlerinin ayırtlanması oldukça güçtür. Homojen ve izotrop kabul edilebilecek bu tür kaya kütleli ortamlarında, birbirine dik üç yönde (x, y ve z) yapılan hat etütlerinden belirlenen eklem sayılarının esas alınıp, J_v 'nin aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanması, yazarlar tarafından uygun ve pratik bir yaklaşım olarak önerilmiştir.

$$J_v = \frac{N_x}{L_x} \frac{N_y}{L_y} \frac{N_z}{L_z} \quad (8c)$$

Burada N_x , N_y ve N_z birbirine dik yönde ve L_x , L_y ve L_z uzunluğundaki üç hat boyunca karşılaşılan eklemlerin sayısıdır. Ancak, bir kaya kütleli mostrasında (aynasında) birbirine dik yönde üç hat etütünün yapılması çoğu kez mümkün olmayabilir. Bu husus ve ileri derecede eklemlili kaya kütleli ortamlarının nisbeten homojen ve izotrop kabul edilebilecek özellikleri gözönüne alınarak, eşitlik 8c,

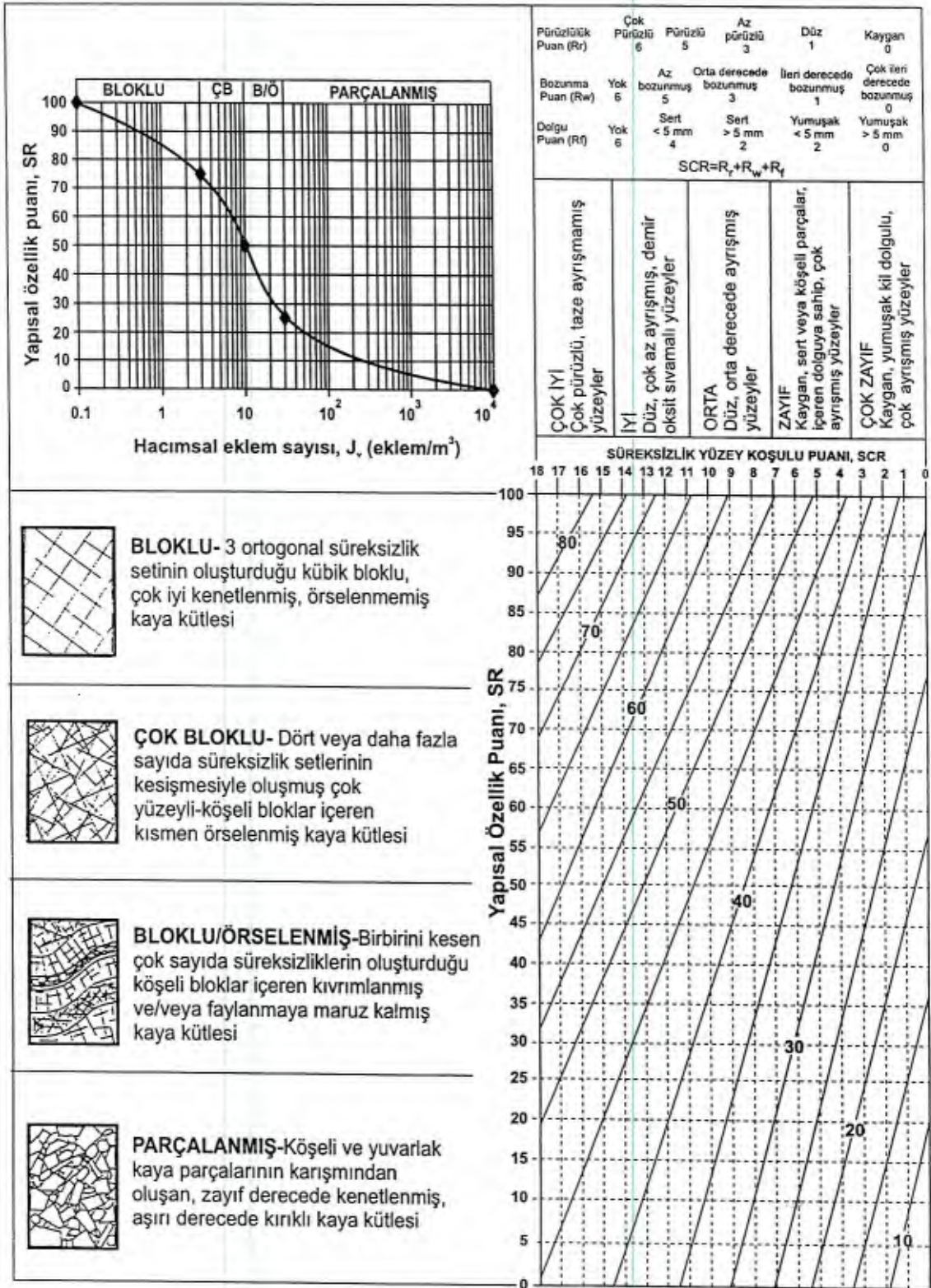
$$J_v = \left(\frac{N}{L}\right)^3 \quad (8d)$$

şeklinde düzenlenmiştir. Burada; N eklem sayısı, L ise süreksizlik etüt hattının toplam uzunluğudur.

J_v parametresi için gereksinim duyulan sınır değerleri için ISRM (1981) tarafından önerilen aralıklar (Çizelge 2) esas alınmış ve ayrıntısı Sönmez ve Ulusay (1999) tarafından verilen bir yaklaşımla Yapısal Özellik Puanı (SR) GSI sistemine uyarlanmıştır. Buna göre Yapısal Özellik Puanı (SR), belirlenen J_v değeri için Şekil 3'ün sol üst köşesinde verilen grafikten tayin edilmektedir. Böylelikle, Şekil 2'de verilen güncel GSI Sınıflama Sistemi abağı, bu çalışmada önerilen SR ve SCR parametrelerinin sisteme dahil edilmesiyle daha hassas ve uygulayıcıdan kaynaklanabilecek hatayı önemli ölçüde azaltacak şekilde modifiye edilmiştir. Bu düzenlemeye göre; Şekil 3'ün üst kısmında verilen grafikten ve çizelgeden belirlenecek olan SR ve SCR puanlarının abaktaki keşim noktasından GSI değeri tayin edilebilmektedir.

Çizelge 2. Blok boyutu tanımlamaları ve J_v parametresi için ISRM (1981) tarafından ve bu çalışmada önerilen aralıklar.

ISMR (1981)'in tanımları	J_v (eklem/m ³)	GSI için önerilen tanımlar (bu çalışma)
Çok büyük bloklar	<1	BLOKLU (B)
Büyük Bloklar	1-3	
Orta boyutlu bloklar	3-10	ÇOK BLOKLU (ÇB)
Küçük bloklar	10-30	BLOKLU/ÖRSELENMİŞ (B/Ö)
Çok küçük bloklar	30-60	
Parçalanmış/Ufalanmış	>60	PARÇALANMIŞ



Şekil 3. Modifiye edilmiş GSI sınıflama sistemi (Sönmez ve Ulusay, 1999)

ÖRSELENME ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI İÇİN ÖNERİLEN YAKLAŞIMLAR

Uygulanan kazı yöntemi (ekskavatörle kazı, patlatma vb.), makaslama zonlarının varlığı ve teknik girişim sırasında gerilim alanında meydana gelen değişimler gibi yerel etkiler, kaya kütlelerinin dayanımını azaltmaktadır (Kendorsky vd., 1983; Laubscher, 1990; Romana, 1993). Patlatma ile yapılan kazılarda, doğal süreksizliklerin açıklıkları artmakta, aynı zamanda patlatma sırasında gelişen çatlaklarla (yapay kırıklar) kaya kütlesi doğal durumuna oranla daha zayıf bir özellik kazanmaktadır. Sönmez vd. (1998), örselenmiş kaya kütlesi koşulunu dikkate alarak, RMR puanlarını ve yenilme ölçütünün 1988 versiyonunu (Hoek ve Brown, 1988) kullanarak duraysızlığa maruz kalmış şevler için yaptıkları geriye dönük analizlerde, örselenmenin etkisini yansıtan bir azaltma faktörünün analizlerde dikkate alınmasının incelenen yenilmiş kaya kütleleri için duraysızlık koşulunu sağladığını göstermişlerdir. Yenilme ölçütünün 1994'den önceki versiyonunda malzeme sabitleri olan m_b ve s 'in hesaplanması için örselenmiş ve örselenmemiş kaya kütleleri için iki farklı eşitlik kullanılmaktaydı. Ancak, ölçütün son versiyonunda (Hoek-Brown, 1997) m_b ve s sabitlerinin 2 ve 3 numaralı eşitliklerden hesaplanması ve örselenme etkisinin ise, kazı aynasında yapılacak gözlemlerle tayin edilecek GSI değerine göre değerlendirilmesi önerilmiştir. Bu öneride uygulanan kazı yönteminin yaratacağı örselenmenin kütleyi hangi ölçüde etkileyeceği kestirilememekte, dolayısıyla bu belirsizlik güncel GSI sistemi açısından diğer bir sınırlama olarak ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada, örselenme etkisinin dikkate alınması amacıyla dört farklı yaklaşım önerilmiş ve bunlar, Türkiye'nin değişik bölgelerindeki farklı kaya kütleleri içerisinde gelişmiş şev duraysızlıklarının geriye dönük analizlerinde kullanılarak sınanmıştır. Örselenme faktörü (d_r) için, incelenen her kaya ortamında uygulanan kazı yöntemi (ekskavatörle kazı, patlatma vb.) dikkate alınarak, bu kazı yöntemleri için ayrıntısı Kendorski vd. (1983) tarafından verilen ve 1 ile 0.8 arasında değişen değerler kullanılmıştır. Analizlerde dikkate alınan yaklaşımlar sırasıyla aşağıda verilmiştir.

1. Yaklaşım: Kaya kütlelerinin makaslama dayanımı, örselenme etkisi için herhangi bir düzeltme yapılmadan, 2 ve 3 nolu eşitlikler kullanılarak belirlenmiş olup, geriye dönük analizler de bu veriler esas alınarak yapılmıştır

2. Yaklaşım: Kazı yöntemine bağlı olarak 1'den küçük bir değerle ifade edilen örselenme faktörü (d_r) GSI değeri ile çarpılmış ve azaltılmış (indirgenmiş) bu GSI değeri 2 ve 3 numaralı eşitliklerde kullanılarak geriye dönük analizler gerçekleştirilmiştir.

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI * d_r - 100}{28}\right) \quad (9a)$$

$$s = \exp\left(\frac{GSI * d_r - 100}{9}\right) \quad (9b)$$

$$a = 0.65 - \frac{GSI * d_r}{200} \quad (9c)$$

3. Yaklaşım: İncelenen her duraysızlık için geçerli olan örselenme türü dikkate alınarak seçilen örselenme faktörü değerleri (d_r), 2 ve 3 numaralı eşitliklerin paydalarıyla çarpılarak hesaplanan kaya kütlesi sabitleri, m_b ve s parametreleri, geriye dönük analizlerde kullanılmıştır.

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 * d_r}\right) \quad (10a)$$

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 * d_r}\right) \quad (10b)$$

4. Yaklaşım: Yöntemin 1994 versiyonuna kadar (Hoek, 1994), kaya kütlesi sabitleri m_b ve s hesaplanırken 2 ve 3 numaralı eşitliklerin paydasında örselenme

lenmemiş ve örülenmiş kaya kütlesi koşullarında sırasıyla, m_b için 28 ve 14, s için ise 9 ve 6 değerleri kullanılmaktaydı (Çizelge 1). Ancak bu üst ve alt limit değerleri arasında kalan ve farklı örülenme derecelerini de yansıtan azaltma faktörlerinin kullanılmasının daha gerçekçi olacağı dikkate alınarak, 2 ve 3 numaralı eşitliklerin paydalarının söz konusu alt ve üst sınır değerlerinin arasında değişmesi gerektiği düşünülmüştür. Bu amaçla söz konusu iki eşitliğin paydasına b_m ve b_s gibi iki katsayı eklenerek eşitlikler aşağıdaki gibi yeniden düzenlenmiştir.

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI - 100}{b_m}\right) \quad (b_m = 14 - 28) \quad (11)$$

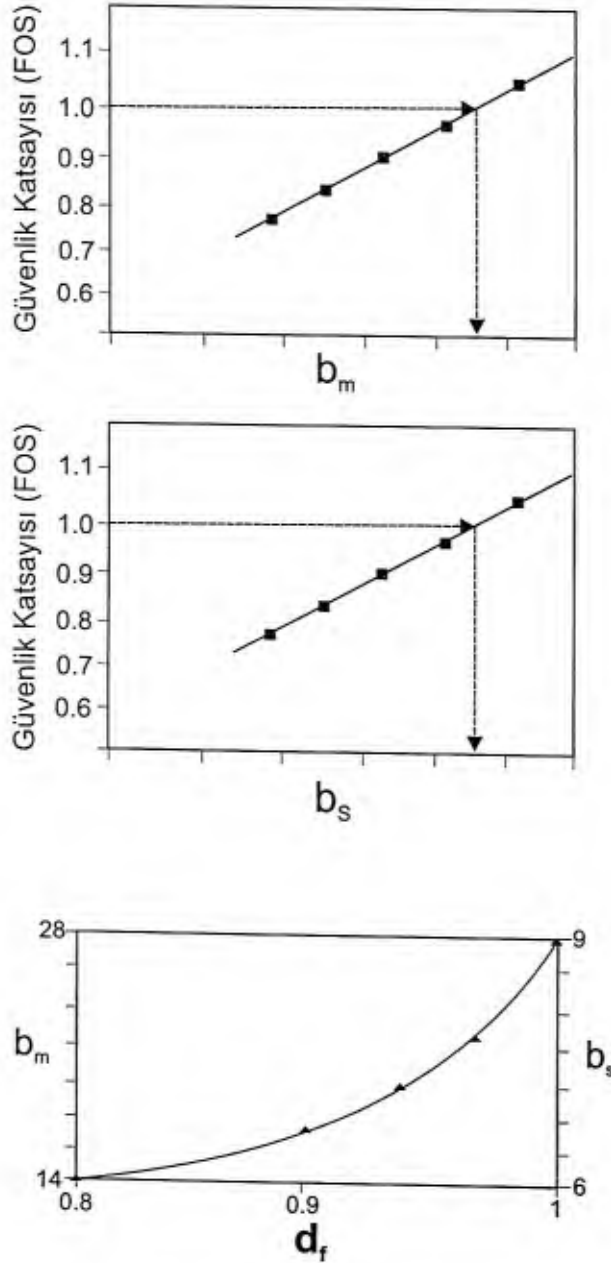
$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{b_s}\right) \quad (b_s = 6 - 9) \quad (12)$$

Bu yaklaşımda, örülenmenin derecesine bağlı olarak, m_b ile ilgili 11 numaralı eşitliğin paydasının 14'den 28'e, s 'e ait 12 numaralı eşitliğin paydasının ise 6'dan 9'a kadar değişen değerler alabilmesi öngörülmüştür. Örülenme faktörü (d_r) ile bu değişimin ifade edilebilmesi için kazı yöntemine bağlı olarak değişik örülenme derecelerine sahip kaya kütlelerinde gelişmiş dört şev duraysızlığının geriye dönük analizi yapılmıştır. Bu analizlerde m_b ve s parametrelerine ilişkin eşitliklerin paydalarına 5 farklı değer (m_b için 28 ile 14; s için 9 ile 6 arasında değişen b_m ve b_s değerleri) atanarak güvenlik katsayıları (FOS) hesaplanmıştır. Daha sonra, hesaplanan güvenlik katsayılarına karşılık b_m ve b_s grafikleri çizilerek duraysızlık koşulunu (FOS=1) sağlayan b_m ve b_s değerleri bu grafiklerden belirlenmiştir. Son aşamada, geriye dönük analizlerden seçilen düzeltme faktörüne (d_r) karşılık elde edilen b_m ve b_s veri çiftlerine ilave olarak, örülenmemiş kaya kütlesi koşulu için ($d_r=1$) $b_m=28$ ve $b_s=9$, ileri derecede örülenmiş kaya kütlesi (pasa malzemesi) koşulu ($d_r=0.8$) için ise, $b_m=14$ ve $b_s=6$ veri çiftleri de bu verilere eklenerek d_r - b_m/b_s grafiği çizilmiştir (Şekil 4).

YENİLME ÖLÇÜTÜYLE İLGİLİ DEĞİŞİKLİK ÖNERİLERİNİN SINANMASI

Malzeme ve Yöntem

Yukarıdaki bölümlerde kısaca tartışılan değişiklik önerilerinin sinanması amacıyla, kaya kütlesi özellikleri ile duraysızlık koşulları ve mekanizmaları ayrıntılı olarak araştırılmış üç linyit açık işletmesi (Ulusay, 1991; Sönmez vd., 1998; Ulusay vd., 1998) ile bir barit açık işletmesindeki (Ulusay ve Yücel, 1989) ocak şevlerinde ve bir linyit işletmesindeki pasaya yığınlarında (Ulusay vd., 1995 a ve b, 1996) meydana gelmiş şev duraysızlıklarından yararlanılmıştır (Şekil 5). Söz konusu kaya kütlelerinin ve pasaya malzemesinin özelliklerine ilişkin ayrıntılar Sönmez ve Ulusay (1999) tarafından tartışılmış olup, bu özelliklere ve GSI sistemi için yapılan değişiklik önerilerine göre Şekil 3'teki abaktan belirlenen parametreler, incelenen tüm duraysızlıklar için Çizelge 3'te özet olarak verilmiştir. İncelenen şev duraysızlıklarına ilişkin duraysızlık öncesini ve sonrasını temsil eden kesitler Şekil 6 ve 7'de görülmektedir. Eskihisar linyit işletmesindeki şev duraysızlığı, şev tepesinin gerisindeki geçici bir pasaya yığınından kaynaklanan yükün etkisiyle gelişmiş bir duraysızlıktır (Ulusay, 1991). Bu duraysızlığın geriye dönük analizinde, pasaya yükünün kayan kütle üzerindeki etkisi, ayrıntısı Sönmez vd. (1998) tarafından açıklanan ve Şekil 8'de verilen modele uygun şekilde dikkate alınmıştır. Göynük-Himmetoğlu işletmesinde ileri derecede eklemli marın kaya kütlelerinde gelişen duraysızlık, dairesel şekilde başlayıp tabakalanma düzlemi boyunca devam eden, birleşik bir yenilme yüzeyi üzerinde gelişmiştir. Bu duraysızlığın Ulusay vd. (1998) tarafından yapılan geriye dönük analizi sonucunda, hareket sırasında kayma yüzeyinin bir bölümünü oluşturan tabakalanma düzlemlerinin makaslama dayanımının artık değerlere ($c_r=1.4$ kPa, $\phi_r=12^\circ$) doğru azaldığı belirlenmiş ve bu değerler bu çalışmada da esas alınmıştır. Geriye dönük analizler, HOBRSPL isimli bir bilgisayar programıyla (Sönmez vd., 1998) gerçekleştirilmiş ve program bu çalışmada yapılan önerileri ve yaklaşımları da içerecek şekilde yeniden düzenlenmiştir.



Şekil 4. Hoek-Brown eşitlikleri için önerilen değişikliklerin sınanmasında kullanılan 4 numaralı yaklaşımın aşamalarını gösteren grafikler.

Yazarlar, örtü kayacının kazılarak başka bir alana dökülmesiyle oluşturulan pasa yığınlarının, fazla miktarda ince tane içermemeleri koşulunda, köşeli ve yuvarlak kaya bloklarından oluşan ve kenetlenme derecesi zayıf, aşırı derecede kırıklı kaya kütleleri ola-

rak da değerlendirilebilecekleri görüşündedirler. Bu yaklaşımdan hareketle, pasa malzemelerinin makaslama dayanımlarının tayini amacıyla Hoek-Brown yenilme ölçütünün, dolayısıyla GSI kavramının kullanılması öngörülmüştür. Bu yaklaşımın da sınanma-

Çizelge 3. İncelenen kaya kütleleri ve pasa malzemesi için modifiye edilmiş GSI sınıflamasında kullanılan parametreler

Parametre	Eskihisar	Başkoyak	Kısrakdere	Himmetoğlu	Eskihisar (pasa yığını)
^a Süreksizlik aralığı (m)	$S_1=0.71$, $S_2=0.82$ $S_3=1.26$, $S_b=0.65$	$S_{x,y,z}=0.04$	$S_1=0.75$, $S_2=1.07$ $S_3=0.13$, $S_b=0.4$	$S_1=0.37$, $S_2=0.65$ $S_b=0.11$	^c $S_x=0.085$, $S_y=0.081$ $S_z=0.083$
Süreksizliklerin yüzey koşulları (puanları)	Düz yüzeyler (1), az bozunmuş (5), yumuşak dolgu <5 mm (2)	düz-kaygan yüzeyler (1), ileri derecede bozunmuş (1), yumuşak dolgu<5 mm (2)	düz yüzeyler, (1), az bozunmuş (5), yumuşak dolgu <5 mm (2)	kaygan yüzeyler (0), orta derecede bozunmuş (3), yumuşak dolgu <5 mm (2)	düz yüzeyler (1), az-orta derecede bozunmuş (4), yumuşak dolgu <5 mm (2)
J_v	6,14	15635	12.5	13.3	1773
SR	63	0	42	35	4
SCR	8	4	8	5	7
^b GSI	43	16	37	27.5	26
^d d_f	0.94	0.97	0.90	0.97	0.80

^a Gerçek aralık (eklemler için S_1 , S_2 , S_3 , tabakalanma düzlemleri için S_b);

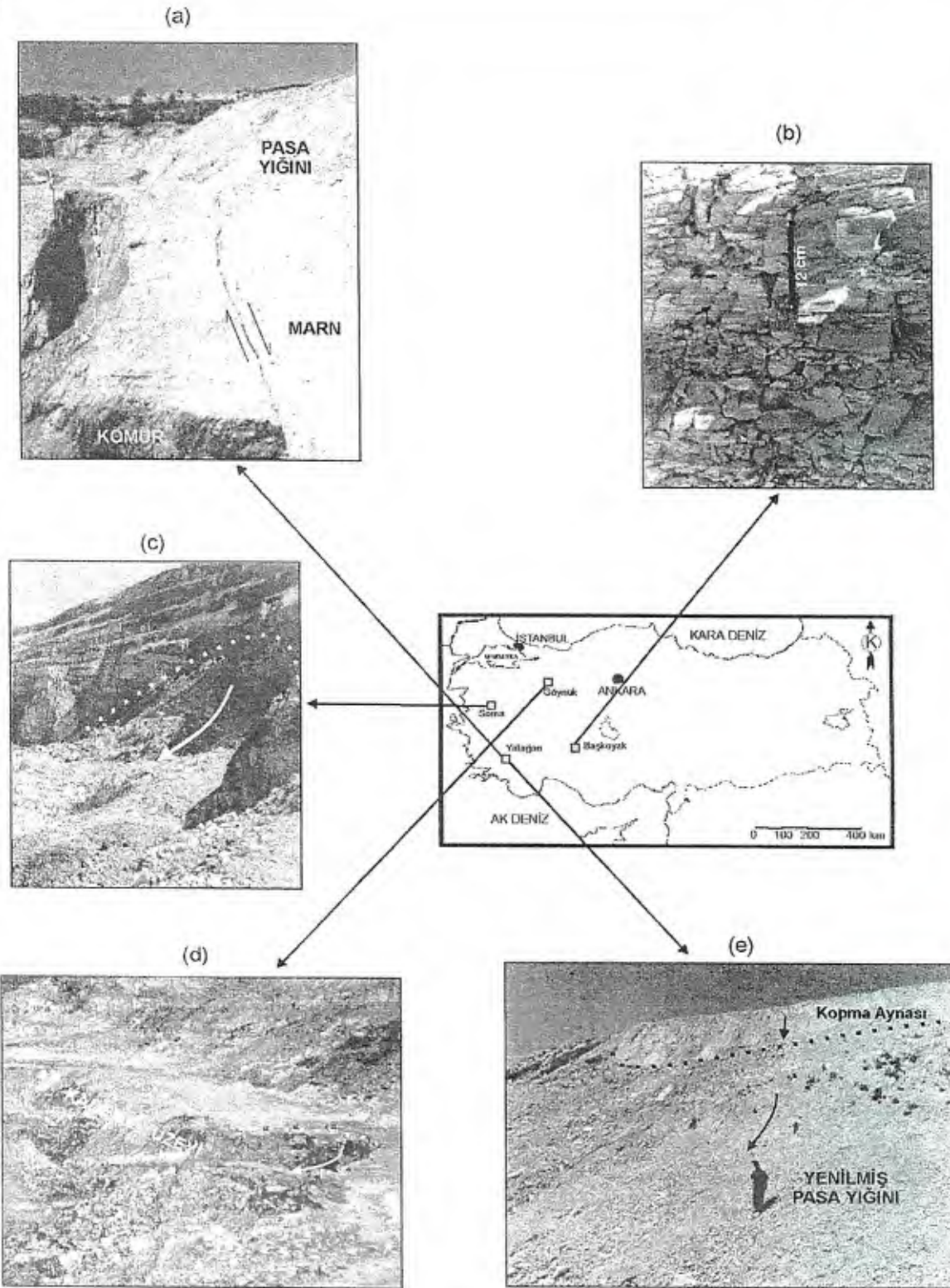
^b Şekil 3'deki modifiye edilmiş abaktan tayin edilmiştir

^c x, y ve z eksenleri boyunca fotoanaliz yöntemiyle belirlenmiş

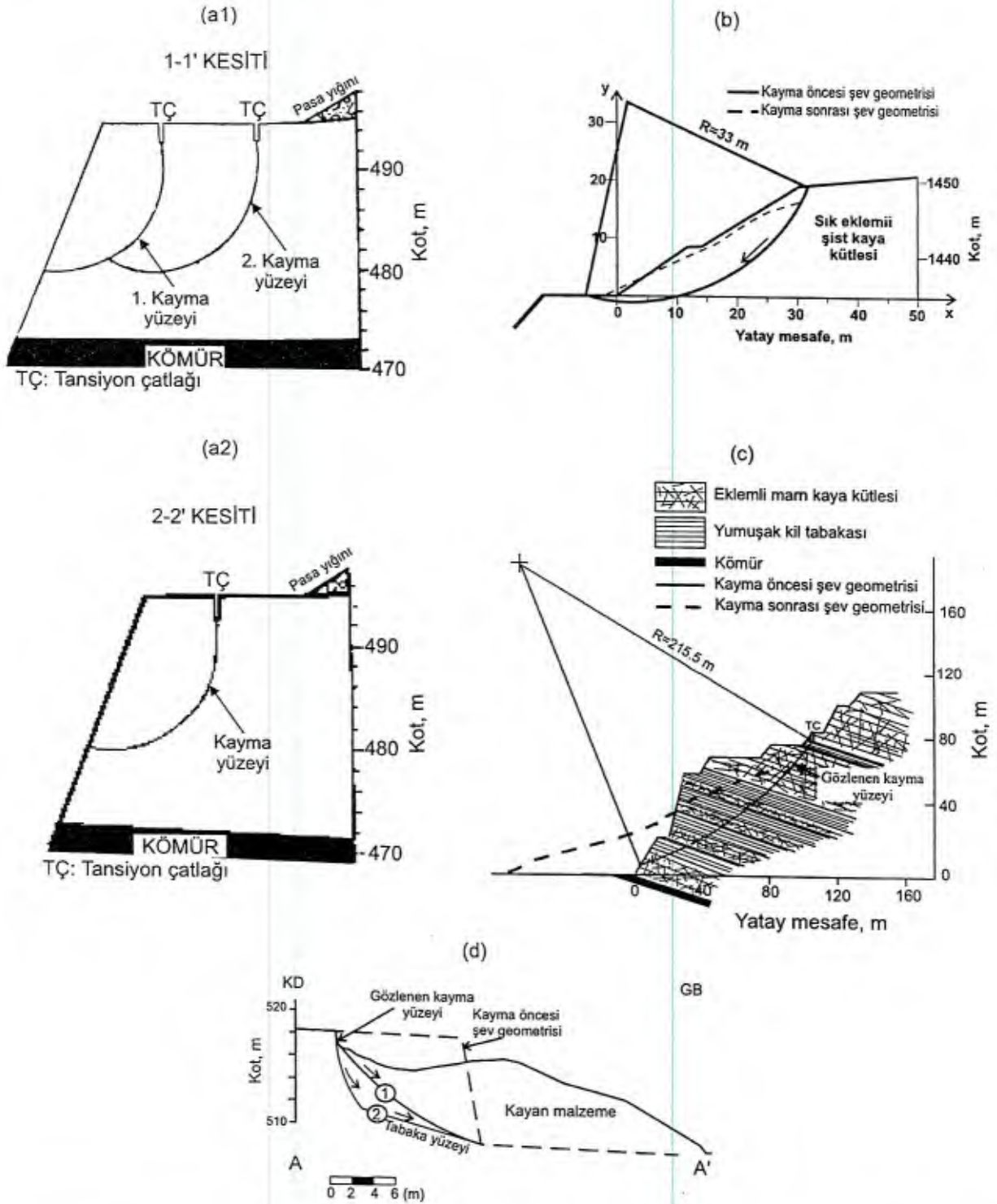
^d örselenme etkisi için azaltma faktörü

si amacıyla Eskihisar (Yatağan-Muğla) linyit işletmesinde dairesel yüzeyler boyunca gelişmiş pasa duraysızlıklarından (Şekil 5e ve 7) yararlanılmıştır. Malzeme özellikleri ve duraysızlık mekanizmaları Ulusay vd. (1995a ve b, 1996) tarafından incelenen bu pasa yığınları, linyit horizonunun üzerinden kaldırılmış marnlardan oluşmaktadır. Bu nedenle, analizlerde aynı marnların tek eksenli sıkışma dayanımı ve m_1 parametresi için tayin edilmiş olan 4.15 MPa ve 9.87 değerleri (Ulusay, 1991) esas alınmıştır. Yerinde yapılan deneylerden pasa malzemesinin birim ağırlığı 14 kN/m³ olarak belirlenmiştir (Ulusay vd., 1995a). Pasa malzemesini oluşturan kayaç parçalarının yüzeyleri; az pürüzlü, az-orta derecede bozunmuş ve kalınlığı 5 mm'den küçük yumuşak dolgu içeren yüzeyler olarak tanımlanmıştır. Bu tanımlar kullanılarak Şekil 3'ten SCR puanı ($R_r=1$, $R_w=4$ ve $R_f=2$) 7 olarak belirlenmiştir. Ancak, pasa yığınları için süreksizlik seti gibi bir kavramın olmayışı hacimsel eklem sayısının (J_v) tayininde güçlük yaratmaktadır. Bu güçlüğü aşılması amacıyla, yığını oluşturan ortalama parça boyutunun pasa malzemesi için bir ortalama süreksizlik aralığı değerini temsil edebileceği kabul edilmiştir. Bu tür malzemeler için ortalama parça boyutunun birbirine dik yönlü üç ek-

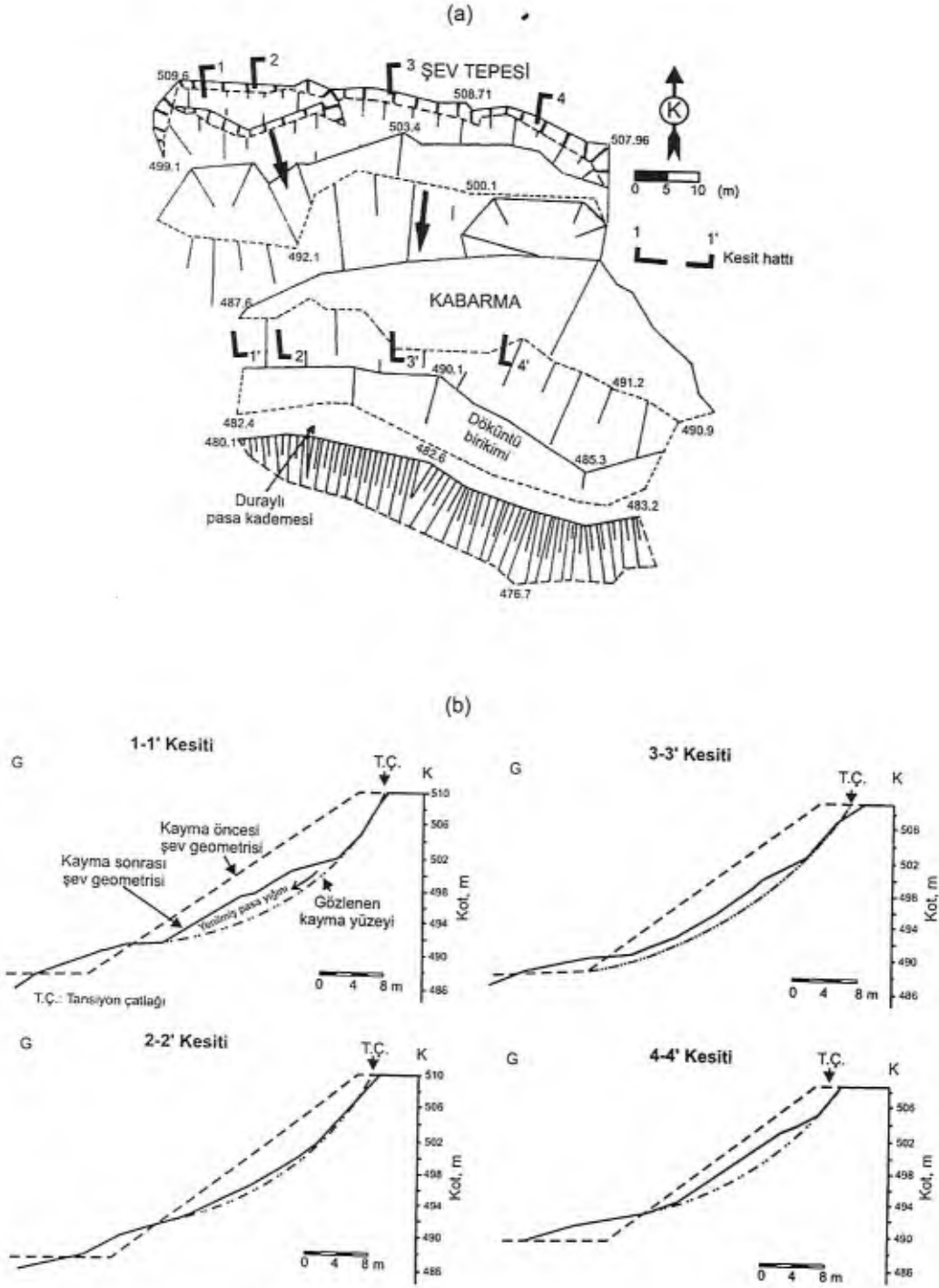
sen boyunca belirlenmesi amacıyla, son yıllarda yaygın olarak kullanılan ve ekonomik ve hızlı bir yöntem olarak bilinen bilgisayar destekli fotoanaliz tekniğinden yararlanılmıştır (Franklin vd., 1988; Singh vd., 1991). Amaç doğrultusunda, duraysızlığa uğramış pasa yığınının yakınında aynı malzemeden küçük boyutlu yığınlar oluşturulmuş ve seçilmiş bir ölçek (çapı bilinen bir plaka) ile bir referans alan (ahşap karelaç ağı) yığınların üstüne konarak birbirine dik yönde fotoğraflar çekilmiştir (Şekil 9). x, y ve z yönlerinde çekilmiş görüntüler, bilgisayar ortamında sayısallaştırılarak 2 cm ve daha büyük parçalar boyutlandırılmıştır. Daha sonra yapılan istatistiksel değerlendirmelerle, parça boyutu, diğer bir ifadeyle ortalama süreksizlik aralığı, x, y ve z yönlerinde sırasıyla, 0.085 m, 0.081 m ve 0.083 m olarak tayin edilmiştir. Bu değerler, 8c numaralı eşitlikte kullanılarak pasa kütlelerinin J_v değeri 1773, SR puanı ise 4 olarak belirlenmiş ve Şekil 3'ten pasa kütleleri için GSI 26 bulunmuştur. Yerinde kazılan malzemenin taşınıp yığılmasıyla oluşan pasa yığınlarının örselenme derecesinin ileri düzeyde olacağı dikkate alınarak, örselenme faktörü için literatürde önerilen alt sınır değeri olan 0.8 seçilmiştir.

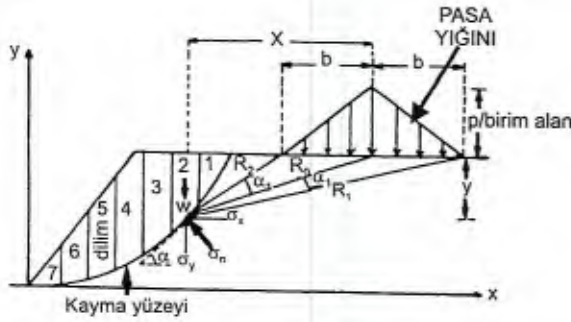


Şekil 5. Geriye dönük analizi yapılan şev duraysızlıklarının lokasyonları ve duraysızlıklardan görüntüler: (a) Eskihişar (Yatağan) linyit açık işletmesi; (b) Başköyak barit işletmesi; (c) Kısırakdere (Soma) linyit açık işletmesi; (d) Himmetoğlu (Göynük) linyit açık işletmesi; (e) Yatağan açık işletmesinde pasa şevi duraysızlığı.



Şekil 6. Farklı kaya kütleleri içinde gelişmiş ve geriye dönük analizi yapılan şev duraysızlıklarını temsil eden kesitler: (a1-a2):Eskihisar linyit işletmesi; (b) Başkoyak barit işletmesi; (c) Kısırkaldere linyit işletmesi; (d) Himmetoğlu linyit işletmesi.





Şekil 8. Eskihişar linyit işletmesindeki duraysızlığın (Şekil 5a ve 6a) geriyeye dönük analizinde esas alınan simetrik - üçgen dış yükleme modeli.

Geriyeye Dönük Analizlerin Sonuçları

Beş farklı şev duraysızlığı için örselenme faktörü açısından dikkate alınan dört yaklaşıma göre yapılan analizlerin sonuçları Çizelge 4'te verilmiştir. Sonuçlardan görüleceği gibi, ilk üç yaklaşımın kullanımıyla duraysızlığa maruz kalmış bir şev için elde edilmesi gereken güvenlik katsayısı değerinden (FOS=1) oldukça yüksek değerler elde edilmiştir. Bu belirleme, yenilme ölçütünün son versiyonunda (Hoek-

Brown, 1997) önerilen, "örselenme etkisinin dikkate alınmaması" görüşünün gerçekçi bir yaklaşım olmadığını göstermiştir. Ayrıca, örselenme etkisinin doğrudan GSI değerine yansıtılmasıyla yapılan hesaplamalardan elde edilen sonuçların da doğadaki gerçek koşulları desteklemediği anlaşılmaktadır.

Buna karşın, 4. yaklaşım esas alınarak incelenen her kaya kütleli için beş farklı b_m ve b_s değerine göre geriye dönük analizler yapılmış ve her b_m ve b_s için hesaplanan güvenlik katsayıları (FOS) Şekil 10'daki grafiklere işlenmiştir. Bu grafiklerden kayma koşulunun sağlandığı FOS=1 değerine karşılık gelen b_m ve b_s veri çiftleri belirlenmiştir (Çizelge 4). Pasa malzemesi için örselenme faktörü (d_f) olarak 0.8 değeri seçildiğinden, bu değere karşılık gelen b_m ve b_s değerleri 14 ve 18 olup, bunlar Çizelge 4'te ayrıca verilmiştir. Çizelge 4'te incelenen her duraysızlık için esas alınan d_f değerlerinin kayma koşulunu sağlayan (FOS=1) b_m ve b_s değerlerine karşılık grafiği çizilmiştir (Şekil 11). Bu grafikten b_m ve b_s katsayılarının herhangi bir d_f değerine göre hesaplanabilmesinde kullanılmak üzere aşağıdaki eşitlikler elde edilmiştir.

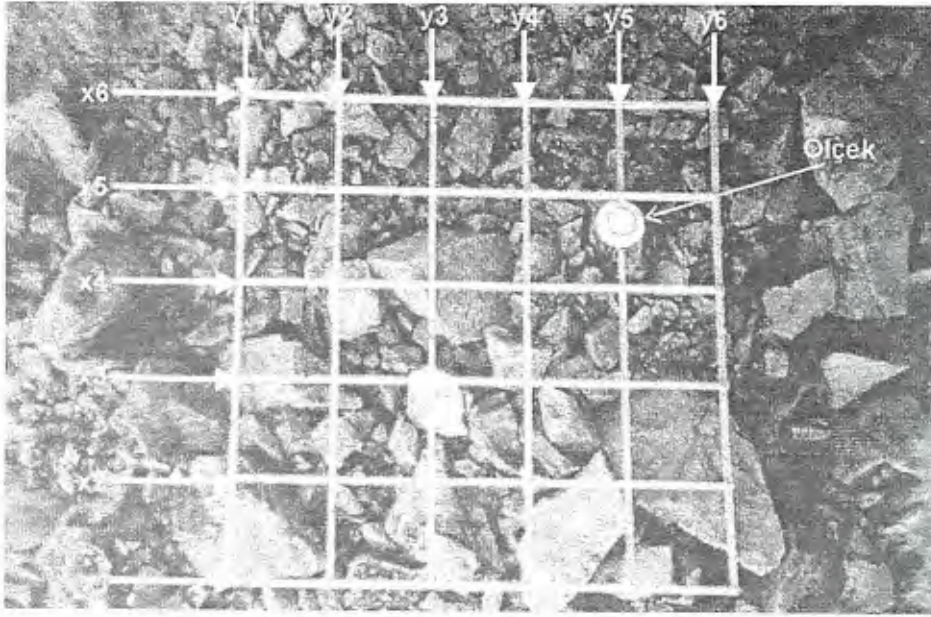
Çizelge 4. Örselenme etkisinin değerlendirilmesi için dört farklı yaklaşıma göre yapılan geriyeye dönük analizlerin sonuçları

İncelenen Saha	Hesaplanan Güvenlik Katsayısı (FOS) d_f	1. Yaklaşım 2. Yaklaşım 3. Yaklaşım 4. Yaklaşım			
		'Limit denge koşulunda b_m b_s			
Eskihişar:	0.94				
Kesit 1-1'/1		1.48	1.44	1.42	18.9 (18.55) 7.05 (6.98)
Kesit 1-1'/2		1.48	1.43	1.41	18.2 (18.55) 6.90 (6.98)
Kesit 2-2'		1.45	1.40	1.39	18.55 (18.55) 6.98 (6.98)
Başkoyak:	0.97	1.70	1.62	1.59	20.28 7.34
Kısrakdere:	0.90	1.41	1.34	1.28	17.15 6.68
Himmetoğlu:	0.97	1.32	1.23	1.19	20.3 7.35
Eskihişar (pasa):	0.80				
Kesit 1-1'		2.71	1.93	2.10	14 6
Kesit 2-2'		2.64	1.80	2.03	14 6
Kesit 3-3'		2.64	1.84	2.04	14 6
Kesit 4-4'		2.69	1.84	2.07	14 6

*Şekil 10'dan elde edilmiştir.

d_f : Örselenme etkisi için azaltma faktörü;

Parantez içindeki değerler üç kesit için ortalama değerlerdir



Şekil 9 . Görüntü analizi yapılan pаса malzemesi ve kullanılan noktasal ve alansal ölçekler.

$$b_m = 3.14 \ln \left(\frac{d_f}{d_f + 340(1 - d_f)} \right) + 28 \quad (13)$$

$$b_s = 0.67 \ln \left(\frac{d}{d_f + 340(1 - d_f)} \right) + 9 \quad (14)$$

Dördüncü yaklaşımın sonuçları; kaya kütlesi sabitleri olan m_b ve s 'in tayininde örselenme etkisinin dikkate alınması gerektiğini ve uygulanan kazı yöntemine bağlı olarak seçilecek bir d_f değerine göre, Şekil 11'de verilen grafikten veya 13 ve 14 numaralı eşitliklerden, b_m ve b_s 'in belirlenmesinin, dolayısıyla kaya kütlesinin makaslama dayanımının bu değerler esas alınarak tayin edilmesinin daha gerçekçi olacağını göstermiştir.

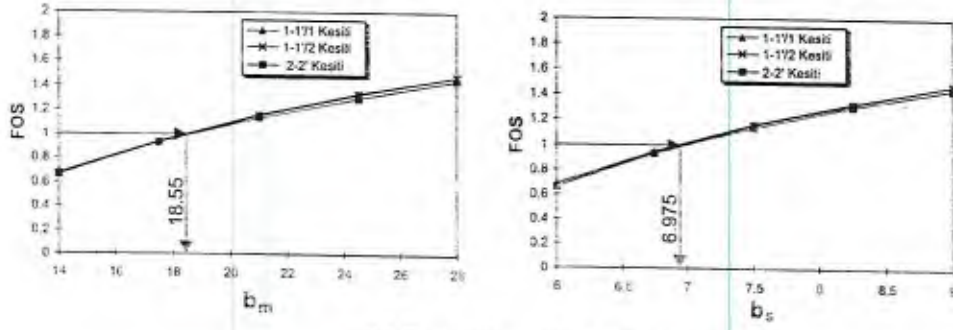
SONUÇLAR VE TARTIŞMA

RMR Kaya Kütlesi Sınıflama Sistemi'nin, özellikle çok zayıf kaya kütleleri için içerdiği sınırlama-

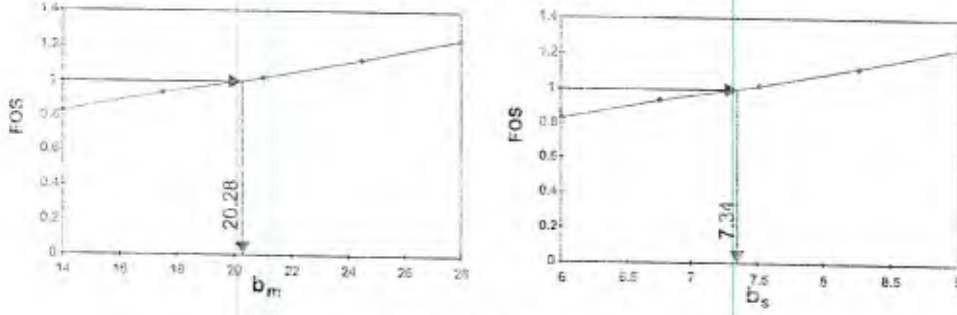
lar dikkate alınarak, Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüne RMR'ın yerine Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) adı verilen bir parametre dahil edilmiştir. Ancak güncel GSI sisteminin eklemli kaya kütlelerindeki şev kazıları ve yeraltı açıklıkları ile ilgili olarak performansının sınırlı olduğu bir çalışma mevcut değildir.

Bu çalışmada, güncel GSI sisteminin subjektif değerlendirmeye dayalı olan uygulamasını değiştirerek, sayısal verileri esas alacak şekilde modifiye edilmesine yönelik öneriler yapılmıştır. Bu amaçla, sistemdeki Yapısal Özellik ve Yüzey Koşulu tanımlamaları puanlama yöntemine göre yeniden düzenlenmiş ve güncel GSI abağı modifiye edilmiştir. Ayrıca, görgül yenilme ölçütünün son versiyonunda kaya kütlesi sabitlerinin hesaplanmasında örselenmenin dikkate alınmaması şeklindeki yaklaşımın gerçekçi olmadığı hususu da, ayrıntılı olarak incelenmiş şev duraysızlıklarının geriye dönük analizleriyle ortaya konmuştur. Bu araştırmanın dikkati çeken diğer bir sonucu da; nispeten düşük miktarda ince tane içeren, köşeli ve yuvarlak parçalardan oluşan pаса malzemelerinin GSI sisteminde yer alan parçalanmış malzeme grubuna dahil edilebileceği ve bu çalışmada önerilen

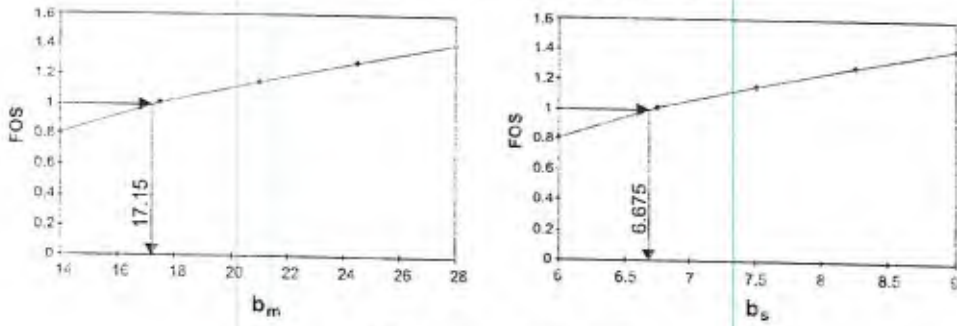
(a) Eskihisar linyit işletmesi



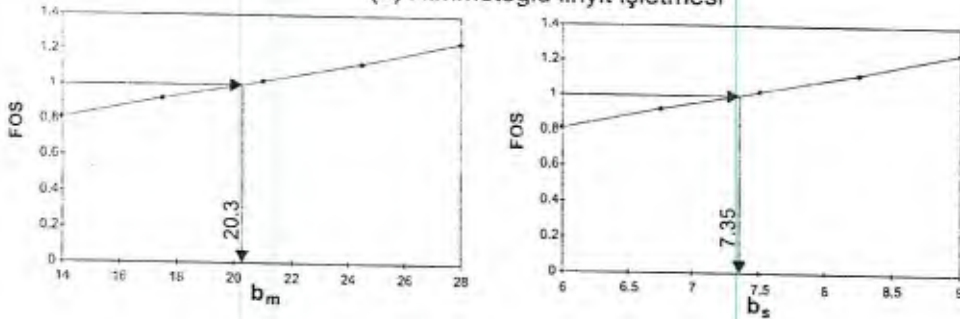
(b) Başkoyak barit işletmesi

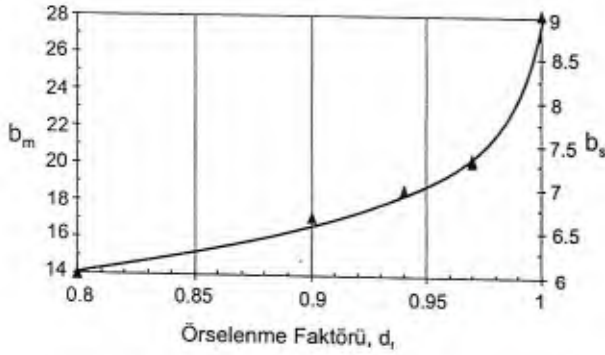


(c) Kırakdere linyit işletmesi



(d) Himmetoğlu linyit işletmesi

Şekil 10. Sık eklemli kaya kütlelerinde incelenen şev duraysızlıkları için b_m ve b_s 'nin güvenlik katsayısına bağlı değişimi.



Şekil 11. 4 numaralı yaklaşıma göre incelenen duraysızlıkların geriye dönük analizinden elde edilen b_m , b_s -örselenme faktörü (d) ilişkisi.

değişiklikler dikkate alınarak bu tür malzemelerin makaslama dayanımının Hoek-Brown yenilme ölçütüyle tayininin mümkün olabileceğidir.

Eklemli kaya kütlelerinin mekanik davranışının daha iyi anlaşılması, jeoteknik mühendisliğinin kuşkusuz en önemli sorunları arasında yer almaktadır. Yazarlar, Hoek-Brown yenilme ölçütünün, eklemli kaya kütlelerinin ve hatta pasa malzemelerinin makaslama dayanımlarının tayini amacıyla kullanılabilir uygun bir yöntem olduğu görüşünü paylaşmaktadır. Bununla birlikte, yazarlar, yenilme ölçütüne ilişkin olarak bu çalışma kapsamında önerilen değişikliklerin şev ve yeraltı kazılarında bundan sonra karşılaşılabilecek çeşitli duraysızlıklara da uygulanmasının, önerilerin daha çok sayıda veriye dayanarak sınanmasına ve önerilen yöntemin uygulamada kullanılabilirliğine katkıda bulunacağı görüşündedirler.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Balmer, G., 1952. A general analytical solution for Mohr's envelope. American Society of Testing Materials, 52, 1269 - 1271.
- Bieniawski, Z.T., 1989. Engineering Rock Mass Classifications. John Wiley and Sons, 237 p.
- Franklin, J.A., Mearz, N.H. and Bennett, C.P., 1988. Rock mass characterization using photoanalysis. International Journal of Mining and Geological Engineering, 6, 97-112.

- Hoek, E., 1983. Strength of jointed rock masses, 1983 Rankine Lecture. Geotechnique, 33(3), 187 - 223.
- Hoek, E., 1994. Strength of rock and rock masses. ISRM News Journal, 2(2) 4 - 16.
- Hoek, E., 1998. Reliability of the Hoek-Brown estimates of rock mass properties and their impact on design. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 35, 63-68.
- Hoek, E. and Brown, E.T., 1980. Underground Excavations in Rock. Institution of Mining and Metallurgy. Stephen Austin and Sons, London, 527 p.
- Hoek E. and Brown, E.T., 1988. The Hoek-Brown failure criterion: a 1988 update. Proc. 15th Canadian Rock Mechanics Symposium: Rock Engineering for Underground Excavations, J.C. Juran (ed.), University of Toronto, 31 -38
- Hoek, E. and Brown, E.T., 1997. Practical estimates of rock mass strength. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 34(8), 1165 - 1186.
- Hoek, E., Wood, D. and Shah, S., 1992. A modified Hoek-Brown criterion for jointed rock masses. ISRM Symposium: Eurock'92 - Rock Characterization, J.A. Hudson (ed.), Thomas Telford, 209 - 213.
- Hoek, E., Kaiser, P.K. and Bawden, W.F., 1995. Support of Underground Excavations in Hard Rock. A.A. Balkema, Rotterdam, 214 p.
- Hoek, E., Marinos, P. and Benissi, M., 1998. Applicability of the geological strength index (GSI) classification for very weak and sheared rock masses: the case of the Athens schist formation. Bulletin of Engineering Geology and Environment, 57, 151 - 160.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1981. ISRM Suggested Methods: Rock Characterization, Testing and Monitoring. E.T. Brown (ed.), Pergamon Press, London, 211 p.

- Kendorski, F.S., Cumming, R.A., Bieniawski, Z.T. and Skinner, E.H., 1983. Rock mass classification for block caving mine drift support. Proc. 5th International Congree on Mechanics, ISRM, Melbourne, B51 - B63.
- Laubscher, D.H., 1990. A geomechanics classification system for the rating of rock mass in mine design. Journal of South African Institute of Minerals and Metallurgy, 90(10), 257 - 273.
- Romana, M.A., 1993. Geomechanical classification for slopes: Slope Mass Rating. J.A. Hudson (ed.), Comprehensive Rock Engineering, 3., Pergamon Press, London, 575 - 599.
- Singh, A., Scoble, M., Lizotte, Y. and Crowther, G., 1991. Characterization of underground rock fragmentation. Geotechnical and Geological Engineering, 9, 93 - 107.
- Sönmez, H., Ulusay, R. and Gökçeoğlu, C., 1998. A practical procedure for back analysis of slope failures in closely jointed rock masses. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 35(2), 219 - 233.
- Sönmez, H. and Ulusay, R., 1999. Modifications to the Geological Strength Index (GSI) and their applicability to stability of slopes. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 36(6), 743 - 760.
- Ulusay, R., 1991. Geotechnical evaluations and deterministic design considerations for pit-wall slopes at Eskihsar (Yatağan-Muğla) strip coal mine. PhD dissertation, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 340 p (unpublished).
- Ulusay, R. ve Yücel, Z., 1989. Zayıf kayaçlarda açılan şevlerin duraylılığına bir örnek: Başkoyak barit işletmesi. Yerbilimleri, 15, 15 - 27.
- Ulusay, R., Arkan, F., Yoleri, M.F. and Çağlan, D., 1995a. Engineering geological characterization of coal mine waste material and an evaluation in the context of back analysis of spoil pile instabilities in a strip mine, SW Turkey. Engineering Geology, 40, 77 - 101.
- Ulusay, R., Yoleri, M.F., Çağlan, D. and Arkan, F., 1995b. Design evaluations for spoil piles at a strip coal mine considering safety of the haul road. International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment, 9, 133 - 140.
- Ulusay, R., Çağlan, D., Arkan, F. and Yoleri, M.F., 1996. Characteristics of biplanar wedge spoil pile instabilities and methods to improve stability. Canadian Geotechnical Journal, 33(1), 58 - 79.
- Ulusay, R., Ekmekçi, M., Gökçeoğlu, C., Sönmez, H., Tuncay, E. ve Erdoğan, E., 1998. Himmetoğlu Linyit Açık İşletmesi şev stabilite etüdü: 1. Aşama - A panosu şevlerinin duraylılığı. Hacettepe Üniversitesi, Proje No: 97 - 0058, 245 s.

Water quality analysis of the Hummer and Nau'r aquifer springs in the Suf area, North Jordan

Kuzey Ürdün Suf sahasında bulunan Hummer ve Nau'r akiferleri kaynaklarının su kalitesi analizleri

Abu-Rukah. Y.H., Nabil. S. Abderahman

ABSTRACT

In recent years, the Suf area has become highly populated, increasing the demands on water resources for various uses. This study aims to evaluate the water quality of major springs in the Suf area. In this respect 11 main springs emerging from two different aquifers (Hummer aquifer A4, and Nau'r limestone aquifer A1/2) were chemically analyzed. Chemical analyses performed include TDS, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} and NO_3^- as well as pH, EC and temperature. Results show that these springs have different chemical compositions, which reflect, to a large extent, the geological character of the two aquifers. In addition, historical data on spring chemistry were also used to show the variations and long term trends in water quality. Generally, the waters of major springs in the area are of HCO_3^- and Ca^{2+} type. Chloride and sodium ions make the main contribution to the salinity of spring waters, while SO_4^{2-} and Mg^{2+} concentrations are moderate. Over all, chemical content of groundwater from various springs is dominated by NO_3^- , HCO_3^- , Cl^- , Na^+ , and Ca^{2+} . Suf, Fawwer, Um-Faraj, Al-garaj and Nabhan springs show, to some extent, degradation in the water quality.

Key Words: Hummer and Nau'r aquifers, Groundwater quality, Jordan, Suf region

ÖZ

Son yıllarda Suf bölgesinin nüfusu ile birlikte çeşitli amaçlarla kullanılacak suya olan ihtiyacı da artmıştır. Bu çalışma Suf sahasında bulunan ana su kaynaklarının su kalitesini değerlendirmeyi amaçlar. Bunun için iki ayrı akiferden (Hummer akiferi A4 ve Nau'r kireçtaşı akiferi A1/2) kaynaklanan 11 kaynak suyunun kimyasal analizleri yapılmıştır. Bu analizler, toplam çözünmüş madde (TDS) Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} ve NO_3^- ye ilave olarak pH, elektriksel iletkenlik (EC) ve sıcaklıkları içermektedir. Sonuçlar bu kaynakların farklı kimyasal içeriklerde ve büyük ölçüklere bu iki akiferin farklı jeolojik karakterde olduğunu göstermiştir. Bunlara ilaveten tarihsel veriler de, uzun bir zaman içerisinde su kimyalarında değişiklikler göstermiştir. Kaynakların çoğu bikarbonat ve kalsiyum karakterindedir. Suyun içindeki tuzluluğu oluşturan başlıca iyonlar klor ve sodyum iyonlarıdır, sülfat ve magnezyum oranları orta değerlerdedir. Bütün bu kaynaklardan alınan suların kimyasal analizlerini NO_3^- , HCO_3^- , Cl^- , Na^+ ve Ca^{2+} belirlemektedir. Suf, Fawfer, Um-Faraj, Al-garaj ve Naphan kaynakları bir dereceye kadar su kalitelerinde bozulma göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Hummer ve Nau'r akiferleri, Suf bölgesi, Ürdün, Yeraltısu kalitesi

INTRODUCTION

Water is a natural resource, and Jordan seems to be among the least blessed areas of the world with respect to its availability. Groundwater has a geochemical variability caused by natural processes including groundwater flow, formation through which the flow occurs, chemical changes resulting from annual flow fluctuations, source recharge and mixing with other water types.

Due to the increasing needs of local urban and rural areas within the area, the water is over used. Water of many springs is used to meet daily needs of people. This is furtherly strains the water resources and, as a result, some of the springs are polluted.

The study area is located in the central part of

Jordan and extends between 188-194 North longitude, and 226-234 East latitude (Palestine grid) (Figure 1). The area lies almost on the highlands. Quennell (1958) has discussed the geology of the region including Jerish and Ajlun areas.

Prevailing geologic formations in the area are mainly Nau'r formation of 180 m thick and Hummar formation of 40-50 m thick (Figure 2). They mainly comprise a sequence consisting of gray limestone and dolomitic limestone with intercalation of marl and shale of lower Cenomanian age Olexon, (1967), and limestone and dolomitic limestone of upper Cenomanian age. Dominant structures in the study area and its vicinity area a major E-W fault system and NNE-NE and NW striking faults. Strike slip faults have directions of E-W and N-S and consider-

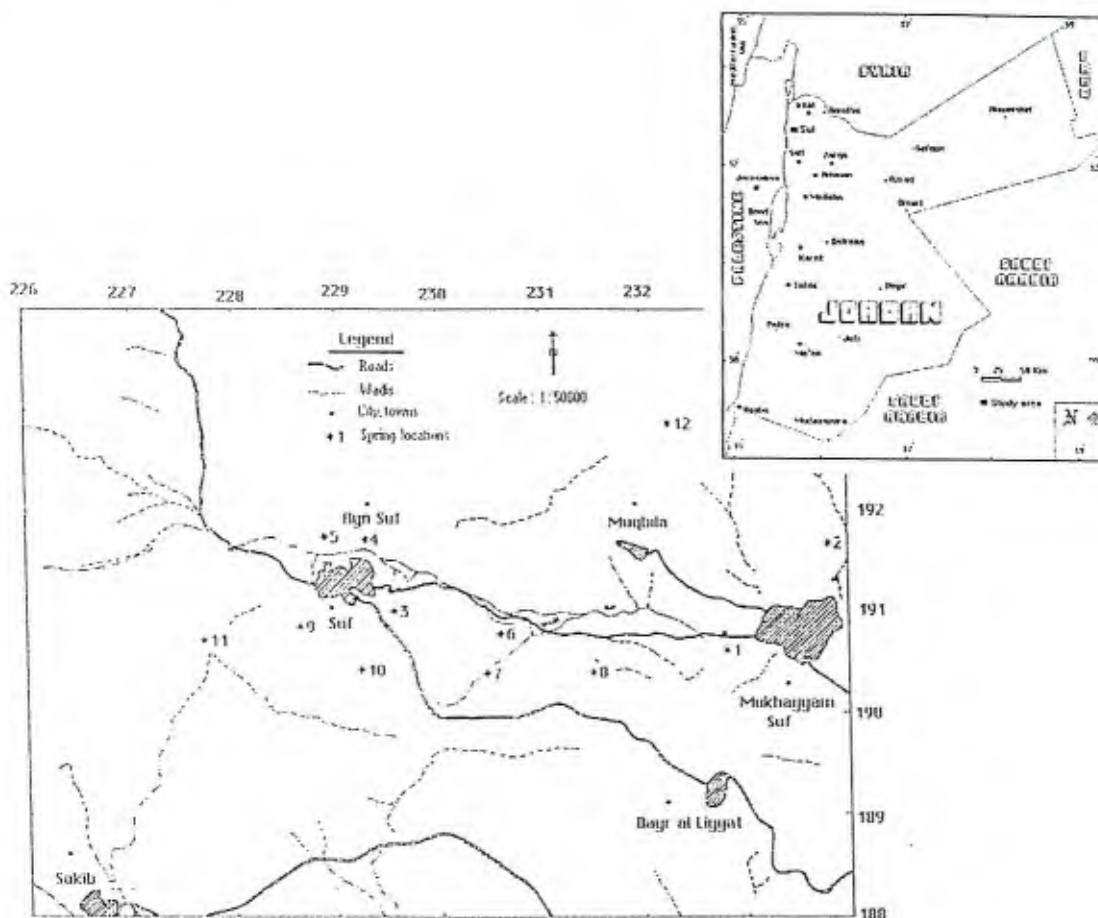


Figure 1. Field investigation map shows the main urban areas and the main springs in the study area.

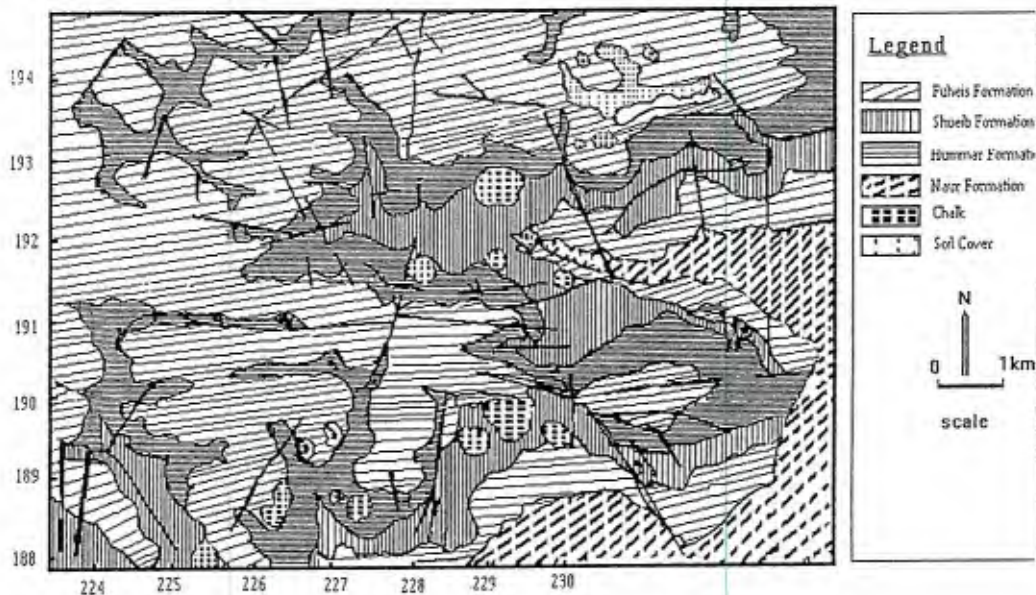


Figure 2. Geologic map of the study area.

able down throw are observed along some other faults. Majority of the folds are gentle, subparallel and have trends varying from E-NE and NE to WNW. A number of monoclines, flexures is associated with major faults, Bender, (1974).

The climatological parameters of the study area are shown in Table 1, the area is characterized by semi-arid climate, the mean annual rainfall is 413 mm, while the maximum average temperature is 16.5°C. The springs investigated within the study area fall within two aquifers, these are the Hummer aquifer A4, and the Nau'r limestone aquifer A1\2,

Table 1. Selected climatological parameters for the study area

1	Max. Temperature (°C)	39 (August)
2	Max. Average annual Temperature (°C)	16.5
3	Min. Temperature (°C)	-5 (January)
4	Min. Average Temperature(°C)	1.3
5	Max. annual rainfall (mm)	79.5(January)
6	Mean annual rainfall (mm)	413
7	Max. daily rainfall mm	96.4
8	Average annual relative humidity(%)	60
9	Average annual evaporation (mm)	2123.0
10	Wind direction	NW.

(Table 2). The present study aims to evaluate the water quality of these two aquifers on the basis of their hydrochemical properties and their relationship to potential deterioration of the water quality in the study area. The water type and quality also classified in the present study. In addition, historical data are also used to show the variations and long term trends in water quality.

Table 2. Major springs investigated in the present study
Aquifer types based on the Water Authority of Jordan technical report (1989)

Spring name	E Longitudes	N Latitudes	Aquifer type	Flow rate (m ³ /h)
1 Bassas Aldub El gurbi	232.7	190.8	A1/2	25.107
2 Bassas El- Room	234.1	191.6	A1/2	30.750
3 Bassas Um-Faraj	229.4	191.4	A4	0.306
4 Ain El-Maghasil	229.3	191.7	A1/2	38.000
5 Ain Suf (ElBalad)	229.	191.6	A4	3.764
6 Ain Fawwar	230.9	190.9	A4	55.087
7 Ain Nabhan	230.6	190.4	A4	1.919
8 Ain El -Karaj	231.5	190.4	A1/2	2.371
9 Ain El kelab	228.7	191.3	A4	0.397
10 Basset Lauzeh	229.2	190.4	A4	0.335
11 Basset Abeid	227.8	191.7	A4	0.172

The relatively high rainfall, high relief, intensive faulting and solution cavities have lead to the appearance of the major springs in the region. According to McDonald (1965), springs in the study area and adjacent areas can be classified into four types; these are fault springs, contact springs, fracture springs, and karst springs.

The main objectives of the present investigation are as follows:

- To investigate the water quality of the major springs within Suf area.
- To measure the physical parameters such as pH, EC, and TDS.
- Water chemistry evaluation for the springs through the analysis of major and minor ions which includes Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , and NO_3^- .
- The classification of the water quality, and to study the correlation coefficient for the various chemicals in water collected from the springs in the area.

METHODS

Water of eleven springs issuing from Nau'r A1/2 and Hummer A4 aquifers were collected on 11 July 1997 and then analyzed for their chemical compositions. The chemical analysis of the collected spring water samples was conducted out at the laboratories of the Department of Earth and Environmental Sciences of the Yarmouk University. In addition, historical data on waters were used to determine long term trends in water quality.

At each sampling site, water temperature, pH value, and electrical conductivity (EC) were measured using a field thermometer, a pH-meter and an EC-meter. A 500 ml polyethylene bottle was used to store water for chemical analysis (TDS, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} and NO_3^-). Titration method was used to determine Cl^- and HCO_3^- concentration. Spectrophotometer system (SPETRONIC 200) was

used to estimate NH_4^+ , SO_4^{2-} and NO_3^- concentration in the samples. Aflame photometer was used to determine Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , and K^+ .

RESULTS AND DISCUSSION

The present investigation deals with springs associated with Nau'r (A1/2), and Hummer aquifers (A4), Table 2. Chemical data of the analyzed water samples are presented in Table 3 and Figure 3, they also includes historical data on variations and long terms trends in water quality of these springs. Deterioration water quality in four of the springs can be attributed to either intensive use of water for domestic and drinking purposes (22 MCM/year) or to agriculture (40 MCM/year) and small-scale industries in (4 MCM/year) in the study area, Salameh (1996).

Chemical Characteristics

A number of inferences can be drawn from the experimental and historical data obtained, Table 3 and Figure 3. The TDS values ranges between 237-1344 ppm. PH values ranges between 6.9-8.2. In all the springs the data shows variation in the results for the major cations and anions. The major cations, Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , K^+ , shows range values between 22-182.5 mg/L, 5.5-115.0 mg/L, 2.7-24.1 mg/L and 0.0-46 mg/L respectively. The major cations HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , and Cl^- show concentration ranges between 146.4-356.2 mg/L, 0-56.5 mg/L, 1.8-167 mg/L and 16-500 mg/L respectively. Use of a Piper diagram (Figure4), (Piper 1944) permits the classification of the waters according to Langguth (1966). This classification is based on the concentration of the four major anions, HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- and NO_3^- , and on the four major cations, Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ , and K^+ . Based upon this the water in the study area can be classified as alkaline earth waters of either bicarbonate and chloride character. This type of water increases the alkalinity with prevailing bicarbonate and chloride for A3 aquifer, and bicarbonate for A1/2 aquifer.

Carbonate and bicarbonate anions are considered

Table 3. Chemical data from the springs in the study area.(▼For locations and parameters shows increase in concentration)

No	Springs name	Date	EC µs/cm	TDS ppm.	PH	Ca ²⁺ mg/L	Mg ²⁺ mg/L	Na ⁺ mg/L	K ⁺ mg/L	Cl ⁻ mg/L	HCO ₃ ⁻ ▼ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L
Concentration mg/L													
1	Aldub Elgurbi	8/79	651	417.0	7.4	71.7	19.6	29.8	5.9	56	247.7▼	8.6	46.5▼
		7/80	656	420.0	7.5	85.7	19.2	34.4	5.8	48	292.2	22.0	64.1
		3/81	760	486.0	7.3	87.9	16.5	37.7	4.6	51	306.2	18.7	58.4
		5/82	720	460.0	7.0	93.9	16.5	25.2	5.3	54	295.9	21.1	32.3
		1/85	700	408.0	7.4	86.5	20.9	27.5	7.8	53	287.3	21.6	35.4
		4/86	630	416.0	7.8	72.1	21.3	25.2	0.0	37	250.7	9.6	35.7
		9/89	720	461.0	7.3	86.5	22.8	25.2	5.8	49	278.9	30.2	36.5
		6/92	750	452.0	7.6	86.9	23.0	22.9	4.6	66	244.6	28.3	46.9
		8/97	620	353.2	8.1	76.0	7.11	20.0	3.6	70	280.0	39.2	34.0
2	El-Room	7/80	531	340.0	8.0	72.9	21.6	22.9	5.8	37	276.9▼	11.5	27.9▼
		4/81	600	384.0	7.4	64.9	22.6	20.6	0.7	35	266	0.0	29.2
		12/83	680	435.0	7.7	60.1	23.8	34.4	0.0	67	235.5	1.9	34.5
		3/84	570	364.0	7.6	73.9	22.0	16.0	0.0	26	262.3	47.0	17.6
		7/87	580	371.0	7.6	70.1	19.4	18.0	0.0	33	282.4	2.8	16.7
		6/88	570	365.0	7.4	40.4	17.9	16.1	1.9	36	285.5	19.2	16.0
		9/89	590	378.0	7.9	74.7	23.0	17.2	1.9	34	299.5	2.8	17.4
		8/97	712	455.6	8.1	22.0	6.76	19.6	1.5	80	330.0	37.3	19.4
3	Um Faraj	8/79	1034	662.0	7.2	144.2	11.4	54.0	1.5	122	298.9▼	16.3	119.5▼
		4/81	1110	710.0	7.7	158.3	20.6	44.8	1.5	104	314.8	40.3	132.8
		5/82	990	633.0	6.9	148.2	11.6	40.2	0.0	97	309.3	23.0	110.0
		8/89	1110	710.0	7.5	156.1	12.3	50.5	2.7	110	322.7	41.3	102.0
		5/91	1170	650.0	7.4	151.9	13.3	59.5	8.2	128	293.4	31.7	154.0
		9/92	1150	644.0	7.6	141.6	19.4	63.2	5.8	117	283.7	81.6	135.0
		8/97	440	281.6	7.4	23.0	16.4	42.0	1.5	90	202.0	23.4	-
4	El-Maghasil	2/82	535	342.0	7.2	86.1	8.1	18.1	4.3	16	289.2▼	16.8	14▼
		12/83	560	358.0	7.4	75.1	14.2	11.4	0.0	21	281.8	0.0	11.9
		4/84	550	352.0	7.4	86.3	9.1	11.4	0.0	17	268.4	11.5	13.3
		12/85	540	345.0	7.5	84.7	13.7	11.4	0.0	21	296.5	0.0	13.9
		1/86	580	371.0	7.7	91.9	14.1	11.4	0.0	24	297.7	5.2	17.6
		4/87	570	339.0	7.4	84.1	10.3	11.4	0.0	21	237.9	25.9	20.8
		11/89	560	358.0	7.7	88.9	14.2	11.4	0.0	21	310.5	12.4	13.2
		3/91	580	320.0	7.5	86.1	10.9	20.6	0.7	18	300.0	3.3	17.74
		8/97	583	373.1	7.4	80.0	7.56	19.0	1.5	75	264.0	25.8	4.6
5	Suf ▼	7/80	847▼	542	7.4	130.4▼	13.7	43.6	1.9	88▼	270.2▼	21.1	132.3▼
		1/85	1200	767	7.2	170.7	13.8	50.5	0.0	129	317.2	96.5	63.1
		4/86	750	608	7.5	121.4	19.9	43.5	1.1	109	239.1	38.4	121.0
		8/97	2100	1344	7.3	123.0	18.52	115.0	11	500	192.0	25.8	31.4
6	Fawwar▼	2/82	640	409.0	7.2	90.3▼	12.5	24.5	41	32	290.4▼	19.2	37.5▼
		12/83	620	396.0	7.4	79.9	12.7	20.6	35	34	266.0	12.0	30.9
		10/84	660	358.0	7.3	77.7	15.3	16.0	27	26	248.9	18.7	34.6
		1/86	740	422.0	7.1	92.9	17.1	27.5	40	37	317.2	16.8	43.6
		4/87	570	474.0	7.4	105.4	13.8	27.5	46	47	356.2	12.9	58.7
		2/88	560	365.0	7.6	182.5	11.0	27.5	27	17	264.7	28.8	22.8
		3/91	660	450.0	7.4	89.7	11.5	16.0	28	28	257.4	19.2	26.7
		8/97	635	406.4	7.6	85.0	12.6	14.0	25	78	300.0	31.8	22.7

Table 3. (contid)

7	Nabhan	8/79	635	406	7.6	84.9	11.1	24.1	0.3	57	179.3▼	25.9	63.7▼
		7/80	561	359	7.6	87.9	10.0	20.6	1.1	49	186.0	4.8	105.0
		5/82	650	416	7.4	93.9	9.4	22.9	0.0	53	207.7	20.1	74.9
		1/85	680	435	8.0	91.7	13.1	27.5	0.0	64	169.6	9.1	131.0
		4/86	740	474	8.2	107.0	15.3	25.2	1.9	62	206.2	40.8	107.0
		9/89	890	570	7.8	113.6	12.7	41.3	1.9	81	219.6	45.1	113.0
		6/92	840	566	7.4	112.6	13.3	34.9	1.5	74	231.8	36.0	110.0
		8/97	450	288	8.0	97.0	7.92	28.0	0.7	90	186.0	15.5	112.0
8	El-karaj	8/79	439	281.0	7.8	63.8	7.5	14.9	0.3	26	205.7▼	0.0	17.7▼
		7/80	491	314.0	7.4	87.5	7.0	25.2	1.5	25	259.9	16.8	51.4
		5/82	550	352.0	7.3	94.1	5.1	11.4	0.0	25	273.9	1.9	9.4
		10/83	600	320.0	7.4	56.5	18.8	16.0	0.0	26	247.9	0.0	23.9
		1/85	510	326.0	7.9	85.5	7.6	13.7	0.0	25	234.8	19.0	22.7
		4/88	460	274.0	7.8	74.1	6.5	8.3	4.6	41	170.3	25.9	26.2
		9/89	600	384.0	7.5	96.7	7.1	13.7	1.5	33	261.1	19.2	28.5
		8/97	638	408.3	7.6	79.0	8.6	18.0	5.0	89	252.0	17.2	67.0
9	El-keelab	8/79	541	329	7.9	53.7	11.1	33.3	2.7	49	146.4▼	22.0	54.9▼
		7/80	576	369	7.5	79.9	10.9	34.4	3.9	57	189.1	8.6	93.4
		4/81	690	441	7.4	90.1	10.2	26.4	3.9	51	231.8	13.4	75.2
		5/82	655	419	7.7	85.7	15.3	28.7	3.9	57	229.4	23.0	59.5
		10/83	660	422	7.5	74.1	12.1	34.4	3.9	65	192.1	9.6	65.0
		1/85	650	422	7.7	76.6	15.3	32.1	0.0	57	237.9	28.0	63.8
		4/86	616	390	7.8	77.3	14.5	29.8	3.1	56	189.1	13.4	84.0
		9/89	105	672	7.4	107.8	24.1	50.5	3.9	82	237.3	33.1	167.0
		5/91	108	620	7.5	127.4	20.6	51.9	8.2	106	255.0	23.0	45.0
		6/92	990	611	7.2	125.6	18.2	45.5	3.9	91	280.6	34.5	130.0
		8/97	997	638	8.0	87.0	9.2	9.2	3.6	20	222.0	18.3	111.0
10	Basset Lauzeh	8/97	485	310.0	7.7	80.5	6.5	11.4	0.3	21	266▼	0.0	4.3▼
		7/80	460	269.0	7.7	77.9	5.1	16.0	0.3	18	247.7	0.0	4.5
		4/81	400	294.0	7.9	76.1	3.6	11.4	0.3	24	229.4	0.0	10.6
		6/83	420	256.0	7.9	73.7	3.6	18.3	0.0	21	196.4	0.0	7.5
		1/85	370	268.0	7.8	65.7	2.7	9.19	0.0	21	209.2	9.6	7.3
		4/86	420	237.0	7.9	70.5	5.2	6.8	0.0	16	206.2	9.6	6.1
		1/88	500	269.0	7.4	84.1	4.8	11.4	0.0	18	215.3	6.7	4.8
		9/89	0.440	320.0	7.8	74.7	3.9	9.1	1.1	21	269.6	9.1	4.6
		5/91	0.450	312.0	7.6	86.3	4.8	7.5	5.8	33	225.1	9.6	6.0
		4/92	0.504	315.0	7.6	54.4	6.0	7.3	0.0	20	236.7	0.0	8.8
		8/97	-	322.5	8.2	46.0	4.8	19.0	0.3	62	254.0	14.7	17.0
11	Basset Abeid▼	8/79	0.461	295.0	7.9	69.3	8.9	11.4	0.7	222▼	222▼	14.4	10.8▼
		7/80	0.485	310.0	7.7	84.5	11.3	20.6	1.5	263	263.5	21.6	21.7
		5/82	0.542	346.0	7.9	84.9	11.9	12.6	0.0	273	273.9	23.0	10.6
		6/83	0.510	326.0	7.7	52.1	23.0	9.1	0.0	256	256.8	0.0	9.1
		1/85	0.510	826.0	7.8	80.3	11.5	9.1	0.0	255	255.0	28.8	9.3
		4/86	0.460	294.0	7.2	76.1	13.3	6.8	0.0	244	244.0	25.9	8.0
		1/88	0.570	365.0	7.6	92.1	15.1	13.7	0.3	294	294.6	17.7	1.8
		9/89	0.530	339.0	7.2	84.9	8.5	9.1	1.5	266	266.0	24.0	8.1
		5/91	0.510	312.0	7.8	83.7	10.9	8.7	5.8	265	265.4	18.7	9.9
		6/92	0.510	312.0	7.5	83.3	12.1	5.5	0.3	262	262.9	25.9	8.1
		8/97	0.509	325.7	7.2	74.0	8.4	12.0	0.7	150	264.0	15.5	33.0

to be the most important anions in natural waters. They are related to and control the pH and alkalinity of water. In A4 aquifer the correlation between bicarbonate (HCO_3^-) and TDS shows a strong correlation between Um-Faraj, Nabhan, Elkelab, and Lauzeh springs and r ranges between 0.5-0.9. While in springs emerged from aquifer A1/2, and El Karaj spring show a correlation between HCO_3^- and TDS that's $r = 0.5$. This is attributed to the increasing of

bicarbonate content in the water. The bicarbonate present in the water is derived mostly from carbon dioxide that has been extracted from the air and liberated in the soil through natural weathering and biochemical activity. In addition, anthropogenic activities in the area mainly domestic sewage from septic tanks and wastewater from treatment plants in the area contribute to the increase in bicarbonate.

Figure 5 and Table 4 show the correlation and

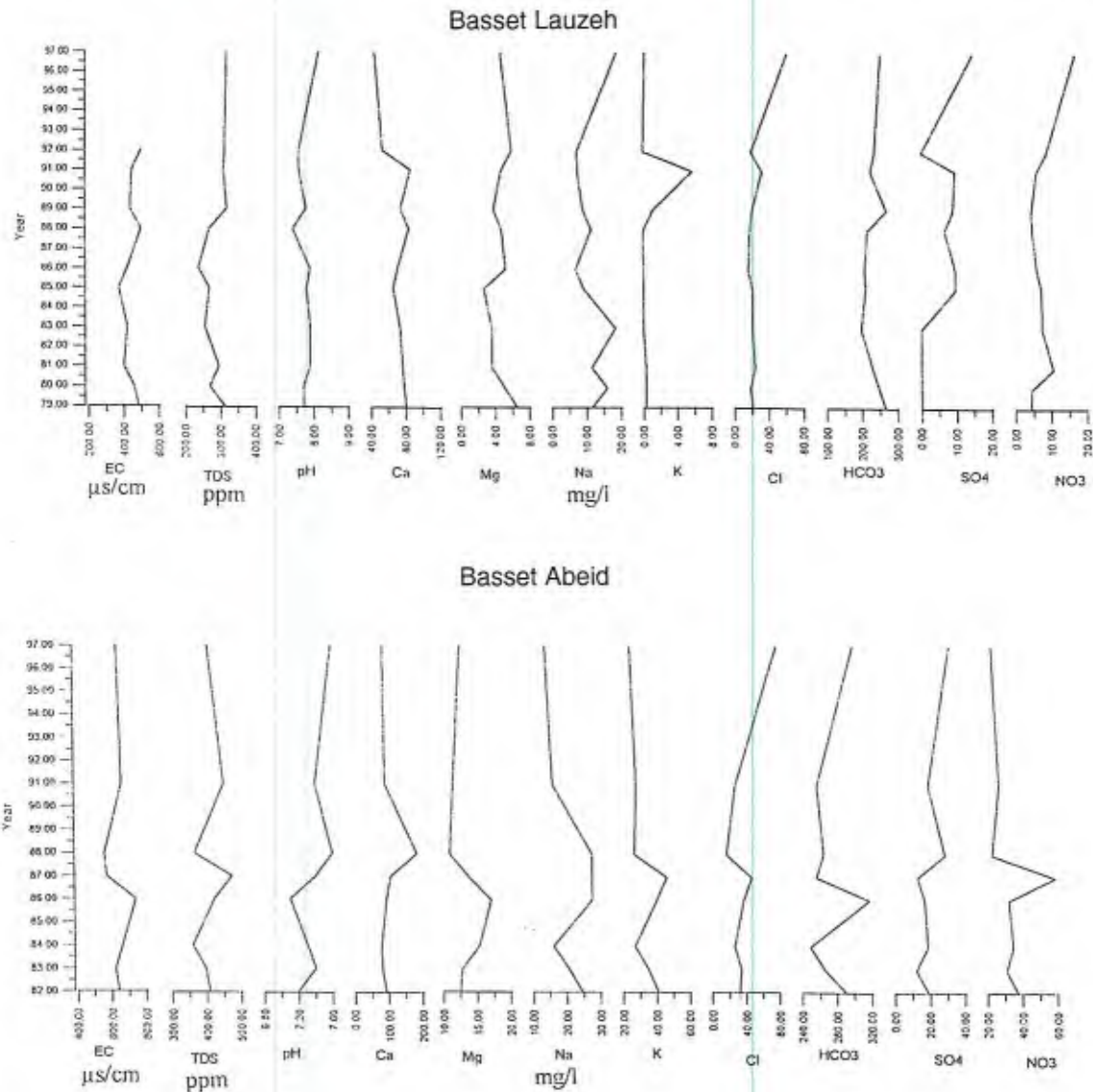


Figure 3. Various variables concentration in collected water samples of study area.

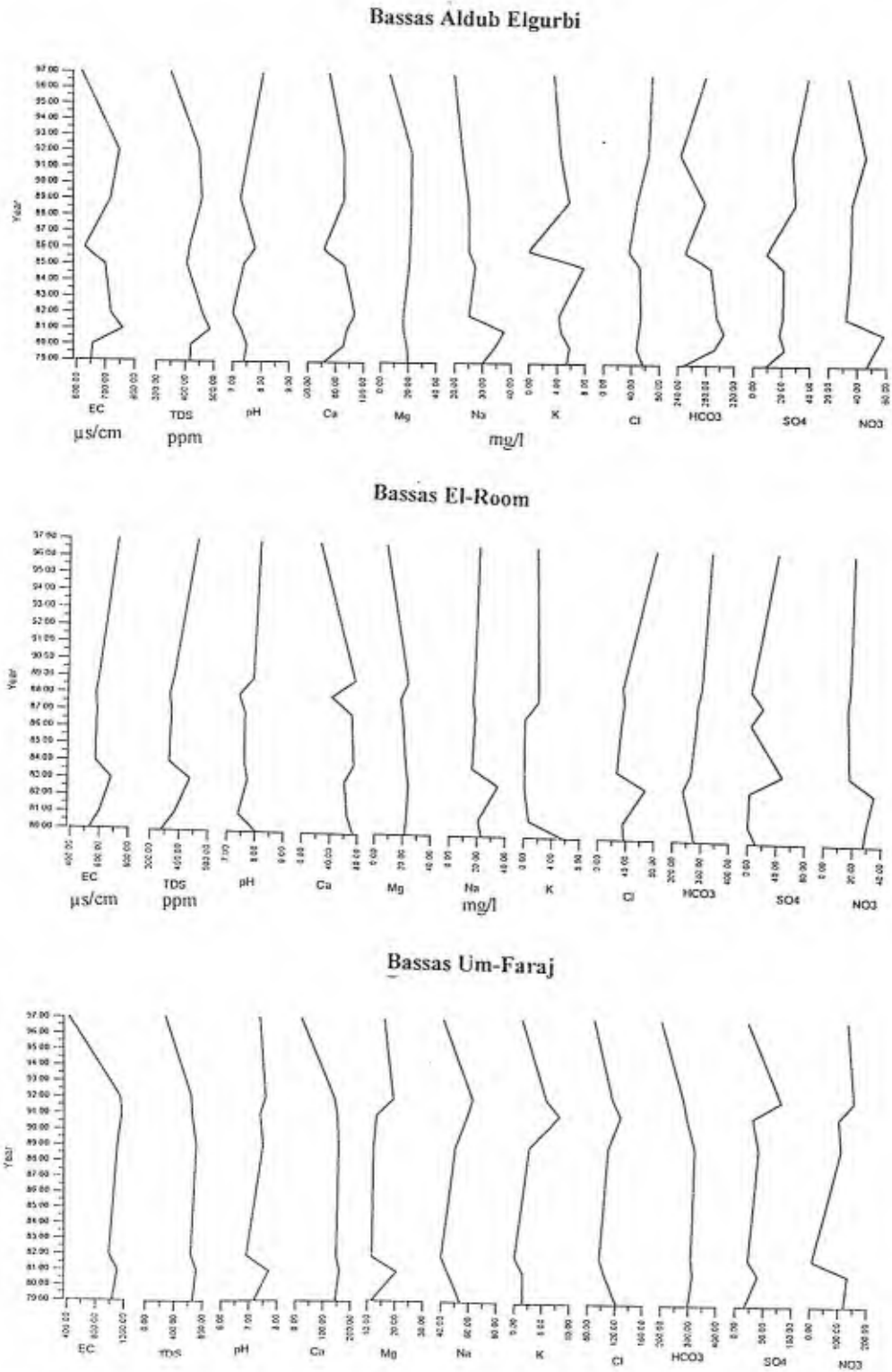


Figure 3. (cont'd)

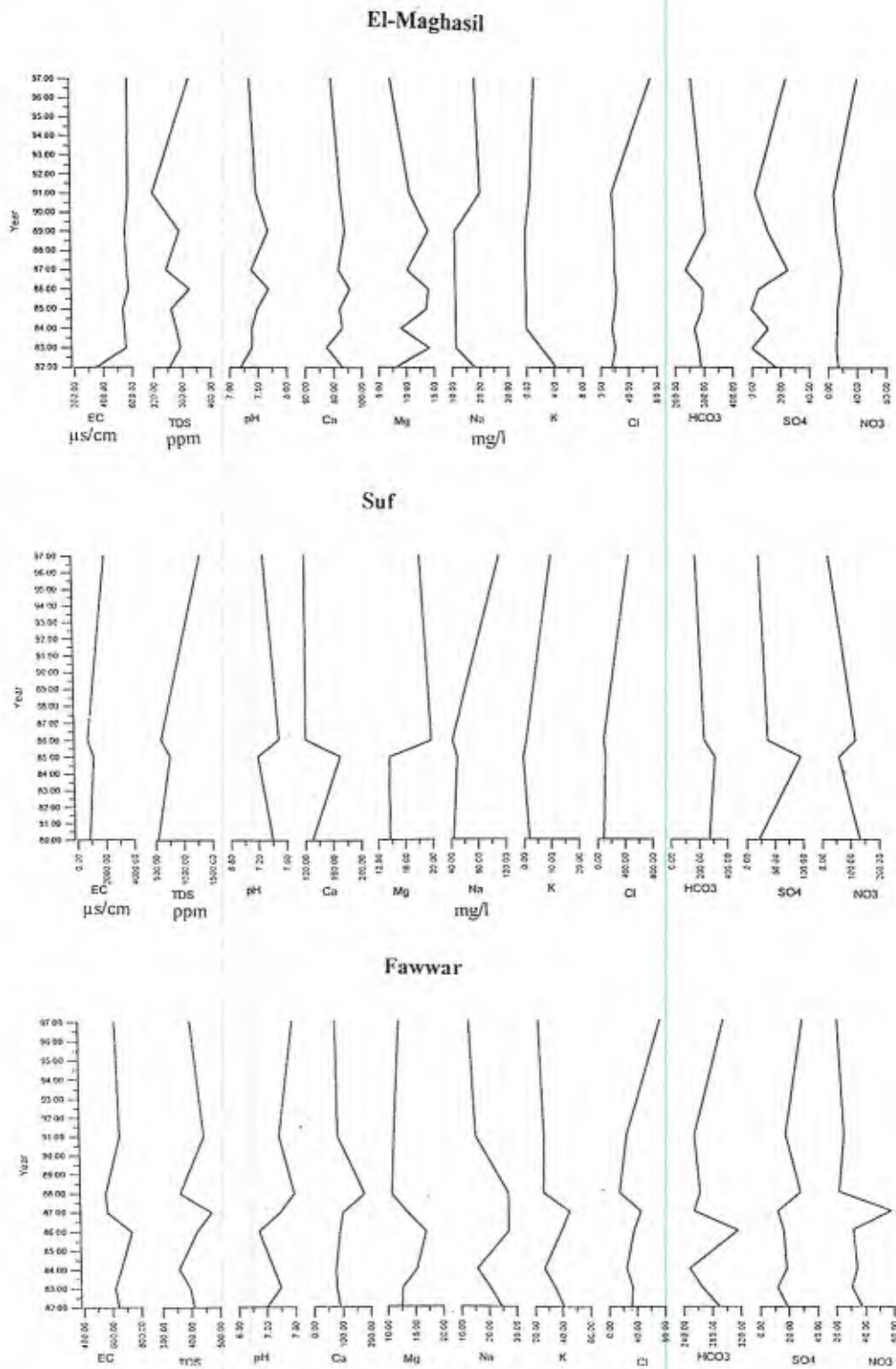


Figure 3. (cont'd)

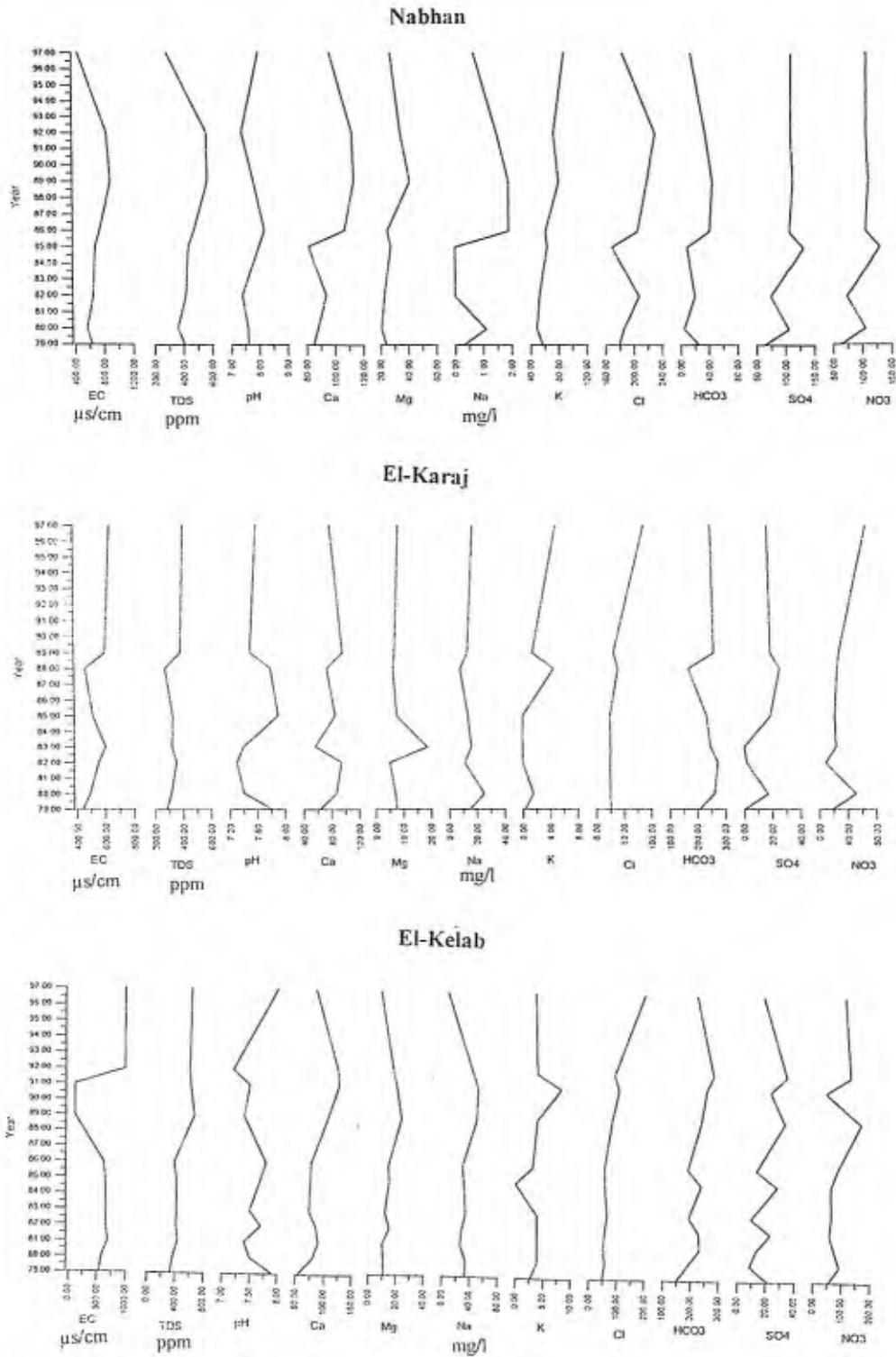


Figure 3. (cont'd)

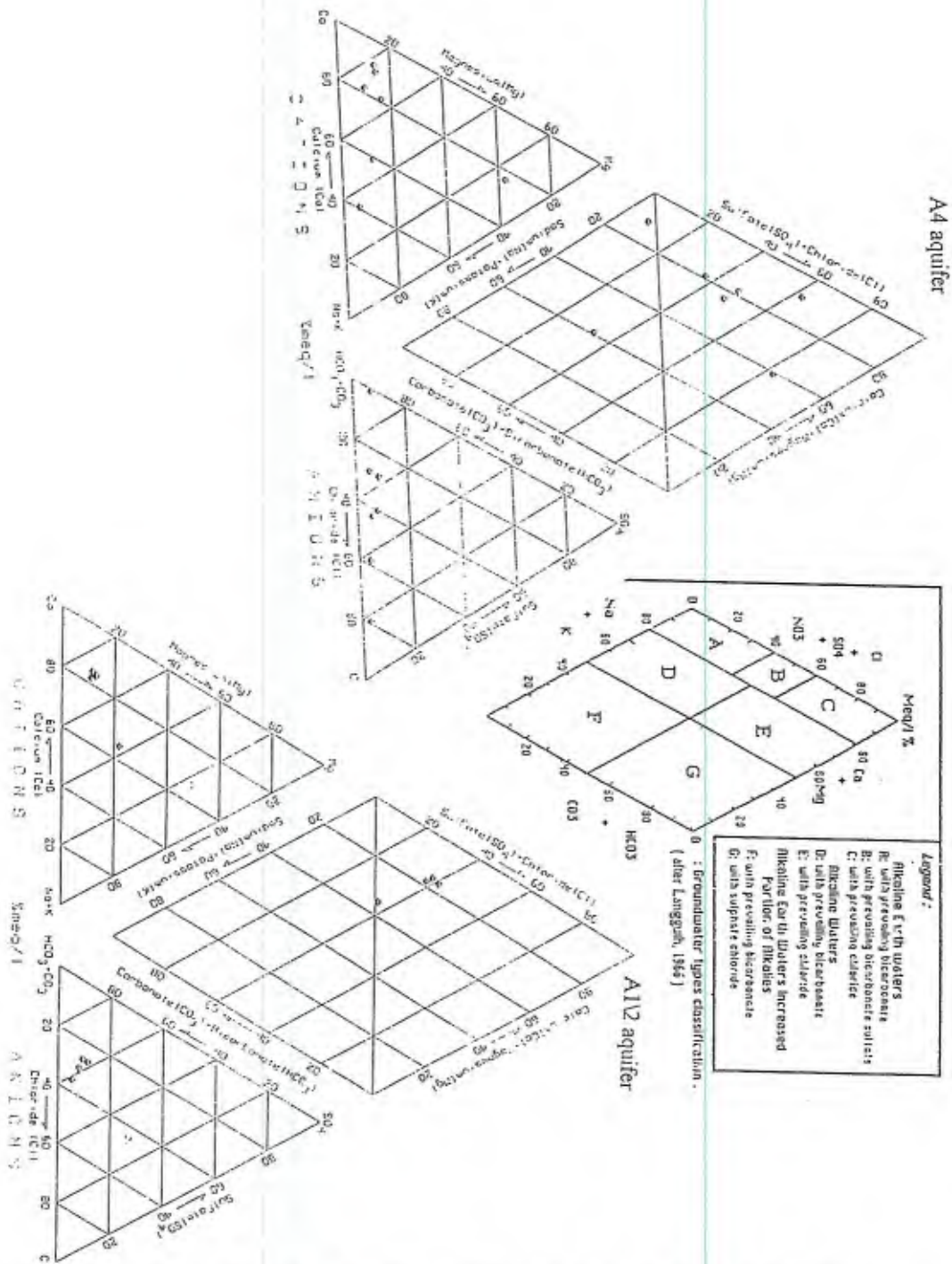
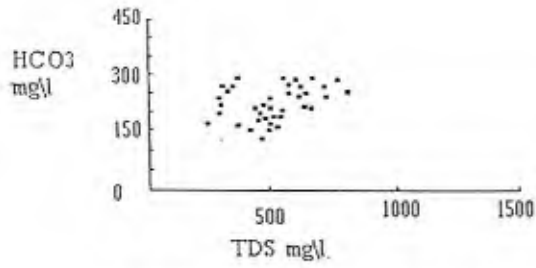
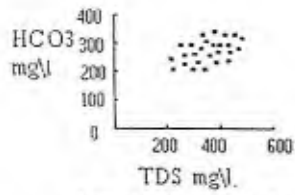


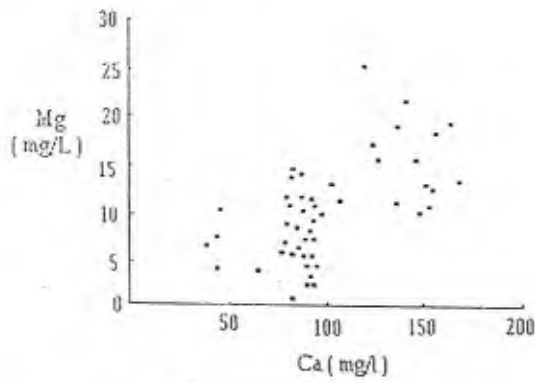
Figure 4. Trilinear diagram of major ions of water samples in the study area for A4 and A1/2 aquifers.



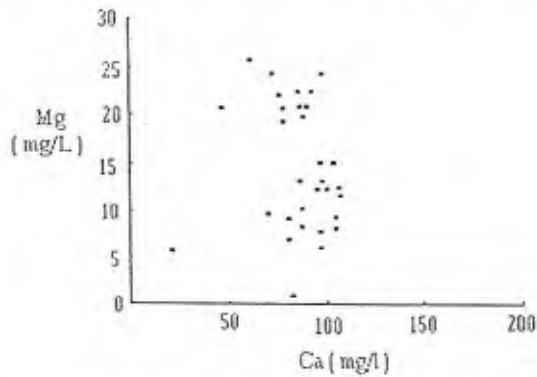
Correlation of bicarbonate with total dissolved solid for A1 aquifer .



Correlation of bicarbonate with total dissolved solid for A1\2 aquifer.



Calcium Vs magnisum for the A1 aquifers.



Calcium Vs magnisum for the A1\2 aquifers.

Figure 5. Correlation between various elements of the studied water samples.

correlation coefficient between the various chemicals in the Hummer aquifer (A4). There is a slight correlation between Mg^{2+} and Ca^{2+} in Suf and Nabhan springs, r is 0.5 and 0.5 respectively, while for A1/2 in El-Room and El Karaj springs, there is a strong correlation between Mg^{2+} and Ca^{2+} . Here the presence of dolomite limestone and pure limestone as the aquifer formation reflect a good correlation.

Water Quality

According to Hem (1971), EC is the ability of substance to conduct electric current. The measure of the conductance is used to approximate the total concentration of ionic species present. Generally, EC is less than 1500 ms/cm. None of the springs has higher concentration than recommended by WHO, except Suf spring with 2100 ms/cm Table 3, in the August 1997. Um Faraj shows range from 440-1170 ms/cm, which is within the permissible limits, but indicate the possibilities of increase in the future. The increase in the concentration of EC reflects that these springs emerge from a shallow aquifer (A4) and are consequently more affected by wastewater from the authopogenic activities within the area. The TDS values in all the springs for the various years' ranges between 237-1344 ppm Table 3. The international guideline (WHO) indicates the permissible level between 500-1000 mg/L. Only Suf springs shows higher concentrations exceeding the permissible limits (1344 mg/L), Table 3, and to some extent Um-Faraj springs, the values ranges between 281.6-710mg/L, this falls within the permissible limits, but is an indication of possible increases in the future. The Ca^{2+} shows elevated values in Suf (170.2 mg/L) and Fawwar springs (182.5 mg/L), Table 3. The WHO permissible limits for Ca^{2+} is 75-200 mg/L. The increase in the Ca^{2+} concentration is due to the release of Ca^{2+} from sedimentary carbonate rocks and soils into the springs. Most of the springs included in the present study, shows increased concentration of HCO_3^- , especially Suf (192-317.2 mg/L) El Room (235.5-330 mg/L), Aldub Elgurbi (244.6-306.2

mg/L), Fawwar (248.9-317.5), Table 3, the permissible limits (WHO) is 125-360 mg/l. The pH low values in the study area contribute to the increase in the bicarbonate. The permissible limits for chloride Cl are 250 mg/L as stated by the WHO. The highest Cl values are found in Suf spring (88-500 mg/L) and Basset Abeid spring (150-294 mg/L), Table 3. This increase in Cl concentration can be attributed to municipal waste from the septic tanks and the local effluent from domestic and agricultural water use.

There is fluctuation in the in the NO_3^- concentration from one year to the next (Table 3). Kolenbender (1977) indicated that there are several processes affecting the quantity of nitrate in groundwater, including nitrification, denitrification, ammonification, assimilation and oxidation. The data presented in Table 3 show higher concentrations in NO_3^- in almost all the springs included in the present study exceeding the permissible guidelines of the WHO 50 mg/L. Nitrate concentration in the A1/2 aquifer springs ranges from 9.4 mg/L (El Karaj springs) to 67 mg/L (El karaj spring) Aldoub Elgarbi, El Room and El Karaj shows concentration values exceeding the permissible limits, Table 3. Nitrate concentration in the A4 aquifer ranges from 4.3 mg/L (Basset Lauzeh springs) to 154 mg/L (Um-Faraj spring). The distribution of nitrate in spring water in the study area suggests that, the human waste sources of nitrate have entered the aquifers at more than one location. The source of nitrate in the shallow aquifer (A4) originates from non-point leakage of municipal waste from different sites in the study area. The relatively low levels of nitrate in some springs such as Magasil, Fawwar, Lauzeh and Bussat Abeid can be perhaps attributed to two conflicting trends.

- The spring water is not affected by any source of nitrate, either from domestic waste or fertilizers.

- Denitrification of nitrates decreasing its level by special types of psedomonas. The first trend is likely to be more favorite, because the chemical of different ions is within the natural levels in these springs.

CONCLUSION

The geochemical conditions of groundwater contamination in spring of the Suf region were investigated. Based on the chemical data, the value of TDS is the highest in Suf springs (1344 mg/l), which exceeds the permissible limits. Degradation in water quality is seen in Fawwar, Um-faraj, El-Karaj, and Nabhan springs with respect to certain chemicals. Ca^{2+} , Na^{+} and Mg^{+} reaches to 123, 115 and 500 mg/l, respectively, which exceed the permissible WHO limits. The Um-faraj springs show-increasing values of NO_3 . Local people attribute this increase in the value of the various chemicals to the natural and anthropogenic that's the aquifers rock formation and the use of water for various purposes. The water in the study area is classified as alkaline earth waters of prevailing bicarbonate and chloride character for A4 aquifers, and alkaline earth water, with prevailing bicarbonate character for Al/2 aquifer.

REFERENCES

- Bender, F (1974) Geology of Jordan. Gebruder Borntraeger. Berlin Stuttgart, V: 23-27 pp.
- Hem, J.D (1971) Study and interpretation of the chemical characteristics of natural groundwater. U.S geological Survey water supply where 1473 p.
- Kolenbänder, G.J (1977) Nitrogen in organic matter and fertilizer as a source of pollution nitrogen as a water pollutant. Journal of the inter.associ. In water pollution Vol.8, No.4/5: 67-84 pp.
- Langguth, HR (1966): Groundwater nerhaltisse in Bereich des velbertersattles Der Minister for Emahrung land Wistschaft and Forstern. NRW, Dusseldorf, 127p.
- McDonald (1965) East Bank water resources. Vol., 5, London, Amman, 1-45 pp.
- Olexon International Ltd (1967): Micropaleontological, palynology, stratigraphyb and oil source rock identification, various wells and sections, unpublished report, NRA, Amman.
- Piper, A.M. (1944): A graphical procedure in geochemical interpretation of water analysis, Trans-Amer. Geophy. Union, vol. 25, 914-928 pp.
- Quennell, AM (1958) The structure evolution of the bead sea rift. Q J Geol. Soc. 64: 1-24 pp.
- Salameh, E (1996) water quality degradation in Jordan, impact on environmental economy and future generating resources base: Amman, Jordan. 179p.
- Water Authority of Jordan technical reports (1989): Yarmouk Basin internal technical report, Water Authority – Amman, 160 p.

Kama türü yenilmelerin olasılıklı risk haritasının hazırlanmasına bir örnek: Altındağ (Ankara)

An example for preparation of probabilistic risk map of wedge type failures: Altındağ (Ankara)

Candan GÖKÇEOĞLU, Murat ERCANOĞLU, Harun SÖNMEZ

ÖZ

Eklemli kaya kütleleri içerisinde yapılan şev duraylılığı araştırmalarının en önemli aşamalarından birisini stereografik projeksiyon tekniklerini kullanarak gerçekleştirilen kinematik analizler oluşturur. Klasik yöntemler kullanılarak kaya şevlerinin olası yenilmelerinin incelenmesinde, eklem yönelimlerinin en yoğun olduğu konum yanı sıra şev geometrisi ve zayıflık düzleminin sürtünme açısı parametre olarak kullanılır. Bu durumda merkezde yoğunlaşmayan ancak şevin duraysızlığını kontrol edebilecek diğer konumlar gözardı edilir. Bu çalışmada Ankara ve civarında yüzeylenen eklemli andezit kütlesi içerisinde gelişebilecek olası kama türü yenilmelerin analizi hem klasik kinematik analiz hem de olasılıklı kinematik analiz yöntemleriyle araştırılmış ve elde edilen sonuçlar kullanılarak risk haritaları üretilmiş ve bir karşılaştırma yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Altındağ (Ankara), andezit, kinematik analiz, olasılık analizi, risk haritası.

EXTENDED ABSTRACT

The evaluation of potential rock slope failures using stereographic projection techniques known as kinematic analysis is one of the most important parts of a slope stability investigation to be carried out in jointed rock media. In conventional stereoprojection techniques for the assessment of possible rock slope failures, the peak orientations of joints together with the slope geometry and the friction angle of the weakness planes are used. Other possible joint orientations which may be encountered in the rock media are ignored. In the present study, possible wedge failures which can develop in jointed andesites cropped out Ankara and its vicinity were investigated using both conventional and probabilistic kinematic analysis methods, and risk maps were produced using the results obtained from kinematic analysis and a comparison was made between the results. According to the results obtained from this study, probabilistic risk map are more realistic than the map using conventional kinematic analysis, because, all the actual wedge type slope failures developed in the study area are located on the risk zones of the probabilistic risk map. When three peak orientations of the discontinuities are used for the preparation of the risk map, 20% of the study shows wedge type failure risk. However, this value goes up to 73% when the probabilistic kinematic analysis is applied. In conclusion, each possible discontinuity orientation must be taken into consideration in a kinematic analysis research program. This phenomenon is important for the selection and planning of settlement regions particularly, because, a failure can cause important hazards and loss of life. Besides, the procedure described in the present study is very simple.

Keywords: Altındağ (Ankara), andesite, kinematic analysis, probabilistic analysis, risk map.

GİRİŞ

Şev duraylılığının araştırılması için çok sayıda analiz yöntemi mevcuttur. Özellikle son yirmi yılda limit-denge yöntemi gibi klasik analiz yöntemleri olasılıklı yöntemlerle birlikte desteklenerek yaygın biçimde kullanılmaya başlanmıştır.

Kaya şevleri ve madencilikte pasa yığın şevlerinin olasılıklı yöntemler kullanılarak değerlendirilmesine ilişkin değişik araştırmacılar tarafından çalışmalar gerçekleştirilmiştir (McMahon, 1971 ve 1975; Pitteau ve Martin, 1977; Baecher ve Einstein, 1978; Marek ve Savely, 1978; La Pointe, 1980; Priest ve Brown, 1983; Miller, 1983; Morris ve Stotter, 1983; Chowdhury, 1986 ve 1987; Carosso vd., 1987; Hoerger ve Young, 1987; Kulatilake, 1988; Young ve Hoerger, 1988; Leventhal vd., 1992; Young, 1993; Tunçay, 1999; Gökçeoğlu vd., 2000).

Kaya şevlerinin duraysızlığı üzerinde eklem yönelimleri konumu önemli bir rol oynamaktadır. Kütle içerisindeki devamlılık gösteren zayıflık düzlemleri yenilmeye uygun bir yönelimde bulunduğu, duraylılık açısından ciddi problemler ortaya çıkabilmektedir. Tek bir süreksizlik düzlemi bile duraylılık üzerinde önemli bir etken olabilmesine rağmen, klasik kinematik analiz yönteminde, sadece süreksizliklerin yoğunlaştığı tek bir süreksizlik yönelimi dikkate alınmaktadır. Kaya kütlesi içerisindeki süreksizliklerin kontur diyagramının stereografik projeksiyon ağı üzerinde belli noktalarda aşırı derecede yoğunlaşması, süreksizliklerin yönelimlerinin homojen olduğu anlamına gelmektedir. Bu durumda, kinematik analiz sonuçları güvenilir olarak kabul edilebilir. Ancak, genelde kaya kütleleri içerisindeki süreksizliklerin yönelimleri kütlelerin karmaşık özelliklerinden dolayı bu tür bir yoğunlaşma göstermezler. Süreksizliklerinin yönelimleri açısından heterojen özellikte olan kaya kütlelerinde yapılacak olan klasik kinematik analiz sonuçlarının güvenilirliği ise tartışmaya açıktır. Einstein ve Baecher (1983)'e göre, diğer mühendislik dallarıyla karşılaştırıldığında mühendislik jeolojisinin muhtemelen en farklı özelliği, jeolojik koşullar ve jeoteknik parametrelerdeki belir-

sizliklerdir. Kaya şevlerinin tasarımında yeri ve konumu saptanamayan bazı süreksizlikler de sıklıkla belirsizliklere neden olmaktadır (McMahon, 1971). Belirsizliklerin bir başka nedeni ise jeolojik yapının karmaşıklığından kaynaklanan ve belli bir düzen içerisinde tanımlanamayan bir takım özelliklerin analiz aşamasında dikkate alınamamasıdır. Ancak dikkate alınmayan bu özellikler bazen yapılan tasarımın sonuçlarını önemli ölçüde etkileyebilmektedir (Wu vd., 1996). Şevlerdeki yenilmelerin tünel ve temeller gibi diğer jeoteknik tasarımlara göre daha sık gözlenmesi nedeniyle şev duraylılığı daha fazla araştırmaya konu olmuştur.

Klasik ve olasılıklı şev duraylılığı analizlerinden elde edilen sonuçların kullanılmasıyla potansiyel yenilme zonlarının haritalanması özellikle kent jeolojisinin önemli bir konusudur. Çünkü, şev yenilmelerine ilişkin risk haritaları özellikle uygun yerleşim alanlarının seçilmesinde ve kentsel gelişme planlarının hazırlanmasında planlamacılar ve mühendisler için önemli bir kılavuz işlevine sahiptir.

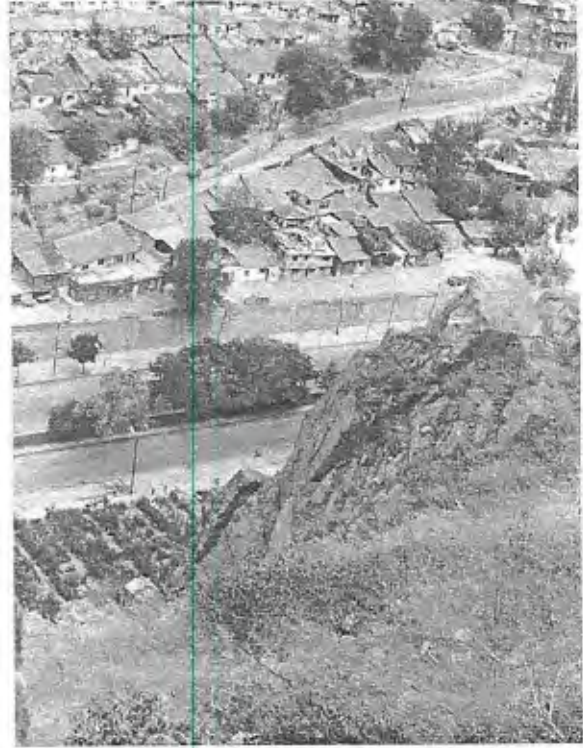
Bu çalışma kapsamında dik topografik yükseltilere sahip olan Altındağ yöresindeki eklemli andezit kaya kütlesi içerisinde gelişebilecek olası kama yenilmelerinin analizi hem klasik hem de olasılıklı kinematik analiz yöntemleriyle gerçekleştirilmiş, elde edilen sonuçlarla güncel yenilmeler karşılaştırılarak sonuçlarının performansı değerlendirilmiştir. Bu amaçla saha genelinde 783 adet süreksizlik yönelimi ölçümü ISRM (1981) tarafından önerilen hat-etüdü yöntemine uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca örnek olarak seçilen alanın sayısal arazi modeli 1/5000 ölçekli topografik haritadan hazırlanmış ve bu model yardımıyla IDRISI isimli program (Eastman, 1992) kullanılarak eğim ve eğim yönü haritaları üretilmiştir. Sahanın sayısal arazi modeli 195 satır, 166 kolonun oluşturduğu ve herbiri analiz edilmesi gereken bir şeve karşılık gelen 32370 piksele sahiptir. IDRISI programı yardımıyla üretilen eğim ve eğim yönü haritaları Sönmez ve Gökçeoğlu (1998) tarafından geliştirilen kinematik analiz programında (KINAN) kullanılmıştır.

İNCELENEN SAHANIN ÖZELLİKLERİ

İncelenen saha Ankara kentinin merkezinde olup, kuzeyde Fermanlılar Mahallesi, batıda Tabakhane, güneyde Ankara kalesi ve doğuda da Altındağ Caddesi ile sınırlanmıştır (Şekil 1). İnceleme alanında plansız ve yer yer de eski taşocakları içine yapılan gecekondular yoğun bir şekilde yer almaktadır (Şekil 2), yerleşik nüfus çok yoğundur. İnceleme alanında yaklaşık dik eğimli ve ISRM (1981) sınıflamasına göre de genelde yüksek-çok yüksek devamlılığa sahip olan eklem sistemlerini içeren andezitler (Şekil 3) yüzeylenmekte olup, topoğrafya oldukça diktir. Süreksizliklerin yönelimleri ve dik topoğrafyaya bağlı olarak sıkça süreksizlik kontrollü yenilmelerin oluşmasına ve evlerin zarar görmesine neden olmaktadır.



Şekil 1. İnceleme alanı yer bulduru haritası.



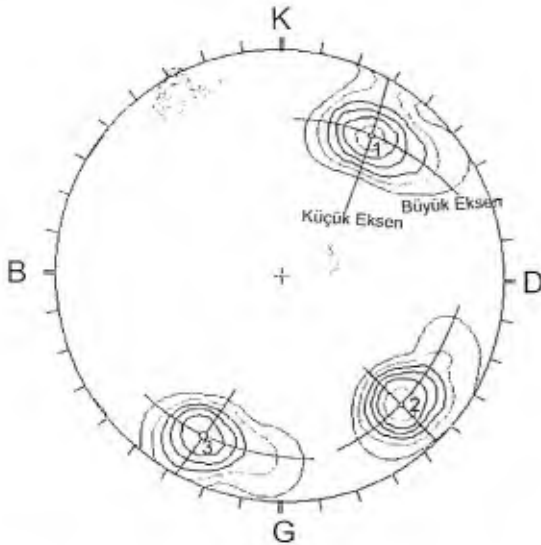
Şekil 2. İnceleme alanından tipik bir görünüm.

4 km² den oluşan ve çok dik topoğrafyaya sahip olan inceleme sahası Bentderesi vadisiyle kesilmektedir. Sahadaki topoğrafik yükseklik 840 ile 1003 m arasında değişmekte olup, önemli yükseklikleri kuzeyde Timurlenktepe (1003m), güneyde ise Kaletpe'dir (986m) (bkz. Şekil 1). Tipik karasal iklimin hakim olduğu sahada yıllık yağış ortalaması 350 mm olup, -1 °C (Ocak) ile 23.3°C (Ağustos) arasında değişmekte olan sıcaklığın yıllık ortalaması 11.7 °C'dir (DMI, 1997).

İnceleme sahasını Miyosen volkanizmasının (Erol, 1961; Erentöz, 1975) ürünü olan yaklaşık düşey konumlu eklemleri içeren andezitler oluşturur (bkz. Şekil 3). Eklemlerin yönelimlerinin stereonet üzerindeki dağılımı incelendiğinde (Şekil 4), 74/220, 76/312 ve 79/026 yönelimli üç eklem setinin yer aldığı görülür. Ana mineral olarak kuvars, feldispat, hornblend ve biyotitlerin oluşturduğu andezitlerin dokusu porfiriktir (Ulusay, 1975; Kasapoğlu, 1980, Ercanoğlu, 1997).



Şekil 3. İnceleme alanında yüzeylenen andezitlerin tipik bir görünümü.



Şekil 4. Eklem setlerinin stereografik ağ üzerindeki dağılımları.

ŞÜREKSİZLİK VERİLERİNİN İSTATİKSEL ANALİZİ

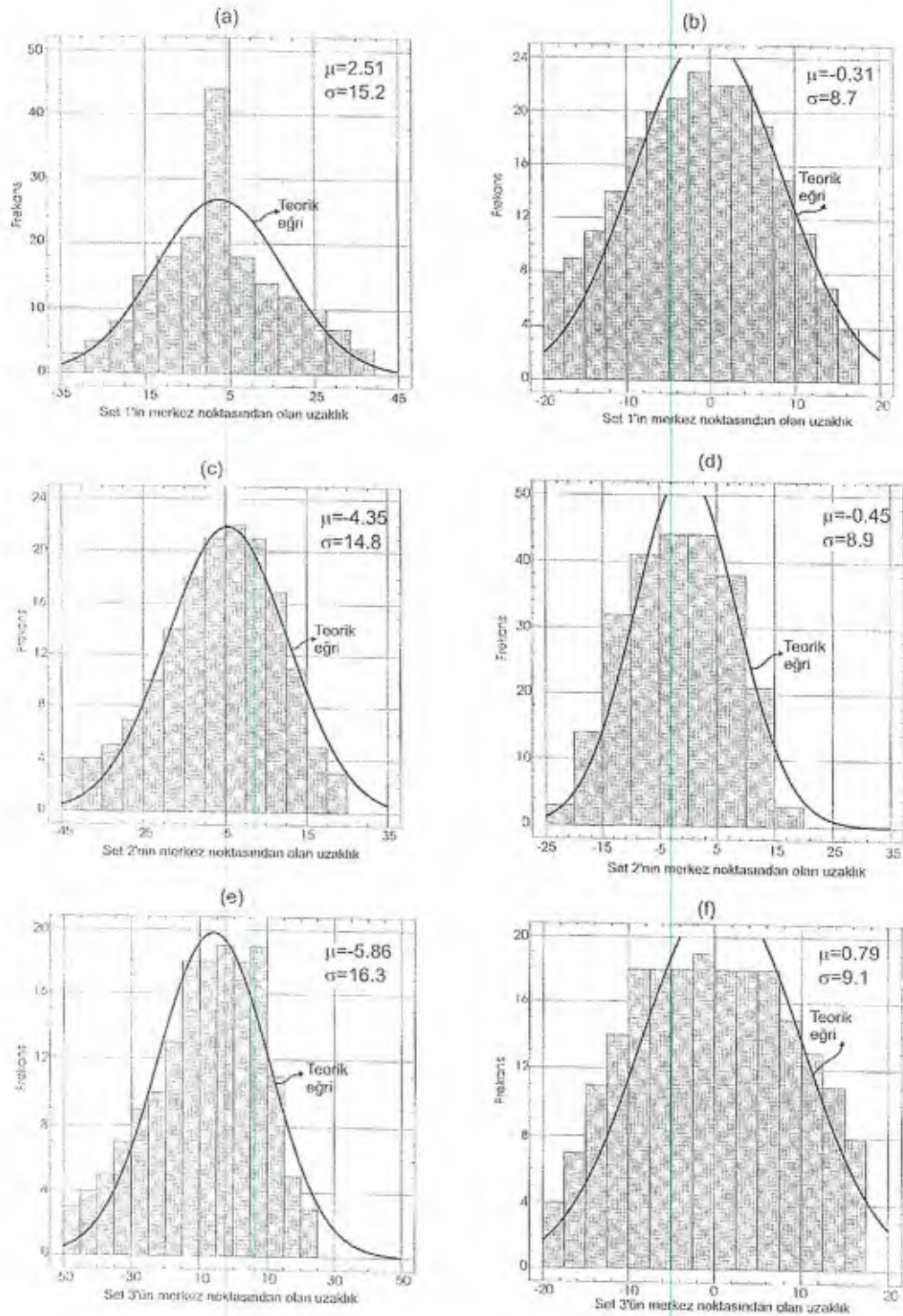
Hat etüdlerinden elde edilen 783 adet eklem yönelimi verisinin değerlendirilmesi için bir seri istatistiksel analiz gerçekleştirilmiştir. Yönelim verilerinin değerlendirilmesinde eş açı stereoneti kullanılmış ve tipik olarak ayırt edilen üç eklem seti belirlenmiştir (bkz. Şekil 4). Frekans eğrilerinin şekli yaklaşık eliptik olup, her bir set üzerinde birbirinden farklı iki eksen mevcuttur (bkz. Şekil 4). Bunun sonucu olarak, her bir eklem seti için bir adet küçük, bir adet de büyük olmak üzere, toplam altı adet eksen belirlenmiş ve konumları Çizelge 1'de verilmiştir. Stereografik projeksiyon ağı üzerindeki frekans eğrilerinin büyük ve küçük eksenlerle kesim noktalarının eksenlerin kesişim noktasına olan uzaklıkları veri olarak kullanılmış ve 6 adet veri grubu istatistiksel dağılım modeli açısından değerlendirilmiştir. Yapılan istatistiksel analizler sonucunda dağılımların normal dağılıma uygunluk gösterdiği anlaşılmıştır (Şekil 5).

Çizelge 1. Eklem setlerinin büyük ve küçük eksenlerinin yönelimleri

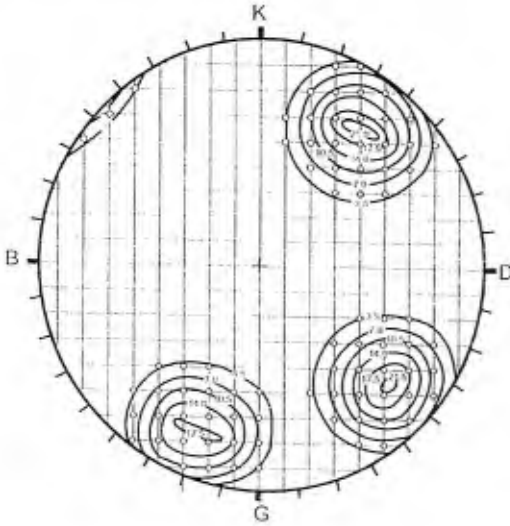
	Set 1	Set 2	Set 3
Küçük eksen	75/118	90/046	80/118
Büyük eksen	20/358	15/127	14/206

Çizelge 2. Her setin teorik normal dağılımlara uygunluğunun χ^2 testi sonuçları.

Eklem Seti	Büyük/ Küçük	χ^2	Serbestlik Derecesi	σ Seviyesi
Set 1	B	17.5	8	0.026
	K	9.6	11	0.565
Set 2	B	10.2	9	0.339
	K	13.7	5	0.017
Set 3	B	13.9	10	0.178
	K	19.0	12	0.088



Şekil 5. Her eklem seti için frekans histogramları (a) Set 1'in büyük dairesi; (b) Set 1'in küçük dairesi; (c) Set 2'nin büyük dairesi; (d) Set 2'nin küçük dairesi; (e) Set 3'ün büyük dairesi; (f) Set 3'ün küçük dairesi



Şekil 6. Eklem setleri için normalleştirilmiş kontur diyagramı.

İstatistiksel dağılımların anlamlılığı χ^2 testiyle kontrol edilmiş (Çizelge 2) ve istatistiksel olarak kabul edilebilir sonuçlar elde edilmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında, stereografik projeksiyon ağı üzerindeki dağılımlar ideal normal dağılıma uygun olarak eksenlerin kesişim noktaları sabit tutularak, yeniden çizilmiştir. Diğer bir deyişle, stereografik ağı üzerindeki frekans eğrileri Zambak (1977) tarafından önerilen yöntemle uygun olarak normalleştirilmiştir (Şekil 6). Yönelim verilerinin normal dağılıma uygunluk göstermesi nedeniyle ideal normal dağılımların çizilmesi sırasında, Monte Carlo gibi herhangi bir simülasyon tekniği kullanılmamıştır.

Eklemelerin olası yönelimlerini dikkate alabilmek için normalleştirilmiş stereografik izdüşüm ağı, önceki çalışmalarda da (Zambak, 1977; Leung ve Quek, 1995) yapıldığı gibi, herbir kenarı stereografik projeksiyon ağının yarıçapının $1/10$ 'u kadar olan grid ağına bölünerek düğüm noktalarındaki konumlar belirlenmiştir. Bu işlem sonucunda 83 farklı eklem konumu elde edilmiştir. Elde edilen verilerin herbiri numaralanmış ve veri numarası, eğim, eğim yönü ile frekans değerini içeren "dis.dat" isimli bir veri dosyası oluşturulmuştur. Oluşturulan veri dosyası olası kinematik analizlerde kullanılmıştır.

SAYISAL ARAZİ MODELİ VE İLGİLİ HARİTALAR

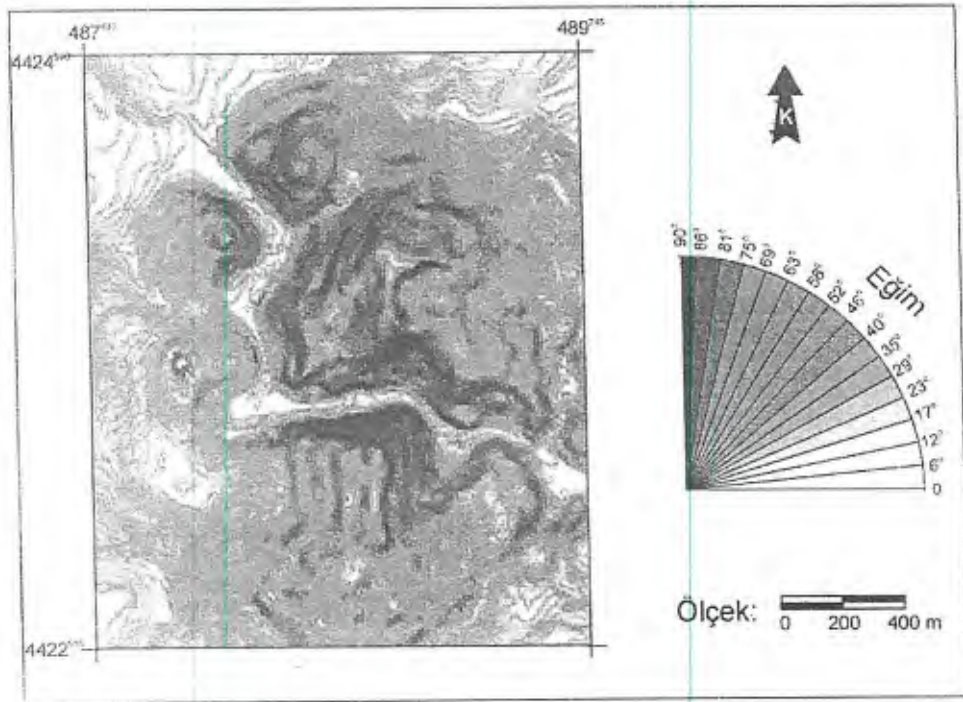
Sayısal arazi modeli sahanın $1/5000$ ölçekli topografik haritasının sayısallaştırılmasıyla hazırlanmıştır. Hazırlanan sayısal arazi modeli kullanılarak kinematik analizlerde kullanılmak üzere IDRISI programı (Eastman, 1992) ile eğim (Şekil 7) ve eğim yönü (Şekil 8) haritaları üretilmiştir. Eğim haritasına göre çalışma alanındaki topografik eğimler $0-85^\circ$ arasında değişmekte olup, ortalaması 51° dir. Kinematik analizlerde kullanılmak üzere hazırlanan eğim ve eğim yönü değerleri "ori.dat" ismi verilen ASCII formatlı bir dosyada toplanmıştır.

KİNEMATİK ANALİZLER

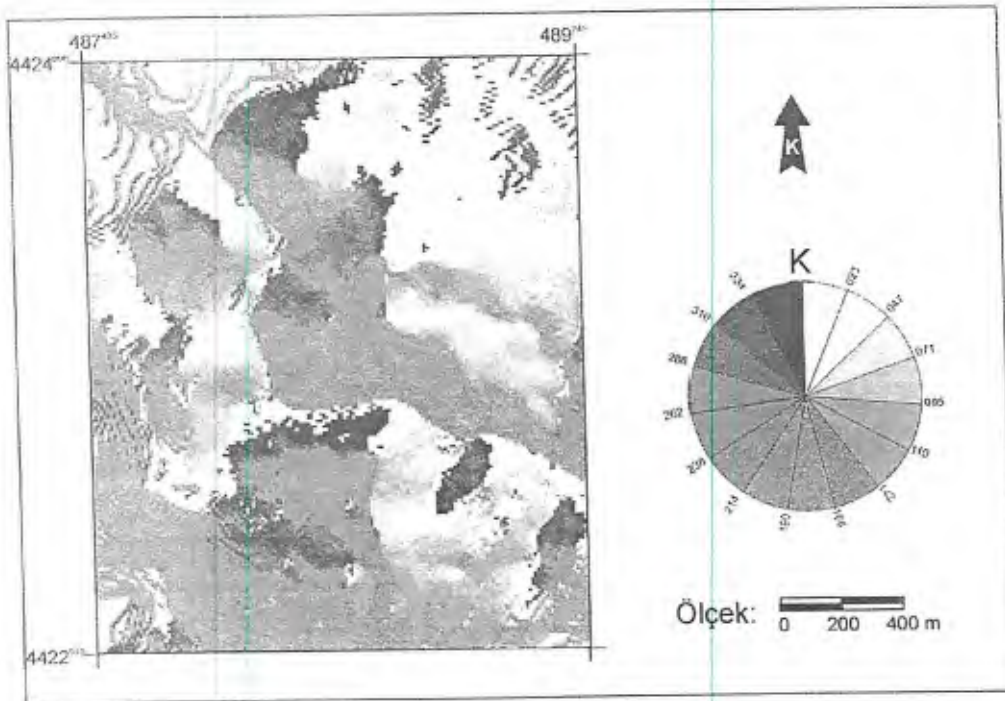
Eklemli kaya kütlesi içerisindeki şev duraylılığı çalışmalarının ilk aşamalarında yapılması gereken önemli çalışmalardan biri olması nedeniyle kinematik analizler açık maden işletme ve otoyol şevleri gibi çalışmalarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Jeolojik verilerin değerlendirilmesinde eş alan (Lambert veya Schmidt) ve eş açı (Stereografik veya Wulff) projeksiyon teknikleri olarak bilinen iki teknik mevcuttur. Bu her iki teknik de yapısal verilerin analizinde kullanılmaktadır. Ancak, geometrik özellikleri nedeniyle eş açı stereografik ağı, mühendislik çalışmalarında daha çok tercih edilir (Hoek ve Bray, 1981). KINAN programı da eş açı stereonetini temel alarak hazırlanmıştır (Sönmez ve Gökçeoğlu, 1998). İş-akış şeması Şekil 9'da verilen KINAN programı, Goodman (1980) ve Hoek ve Bray (1981) önerileri temel alınarak, Priest (1985) tarafından oluşturulan eşitlikleri kullanılmaktadır.

KINAN girdi parametresi olarak eklem set sayısı, eklemelerin yönelimi, sürtünme açısı ve şev yönelimini kullanılmaktadır. Bu girdi parametrelerini kullanan KINAN çıktı olarak da olası yenilme türü, kritik şev açısı ve seçenekli olarak güvenli şev yönelimlerini vermektedir.



Şekil 7. İnceleme alanının eğim haritası.



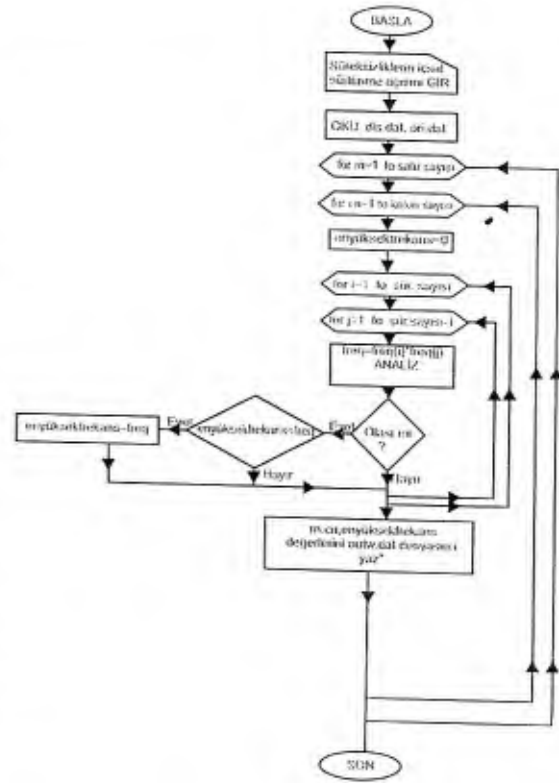
Şekil 8. İnceleme alanının eğim yönü haritası.

Yapısal jeolojik verilerin analizi için üretilmiş çok sayıda bilgisayar programı (Chiao, 1985; Zhang ve Tong, 1988; Diedrich ve Hoek, 1989; Pilant, 1989) olmasına karşın, kinematik analiz amaçlı üretilen programlar sınırlıdır (Tharp, 1985; Leung ve Kheok, 1987; Öcal ve Özgenoğlu, 1995). Doğrudan veri dosyalarından okuma yapıp, analizleri otomatik olarak gerçekleştirebilecek ve sonuçları harita koordinatı sistemi içerisinde bir dosyaya aktarabilecek özellikteki bir program olan ve Sönmez ve Gökçeoğlu (1998) tarafından yazılan KINAN bu çalışmada tercih edilmiştir.

Çalışma alanında belirlenen şev duraysızlıkları süreksizlik kontrollüdür (Şekil 10). Bu nedenle, bu çalışma kapsamında sadece kinematik analizle yetinilmiş ve incelenen sahada sıklıkla karşılaşılan model olan kama türü yenilme incelenmiştir. Sahaya ilişkin süreksizlik kontrollü yenilmelerin tamamının klasik kinematik yöntemlerle incelenmesi Ercanoğlu (1997) ve olasılıklı değerlendirmesini kapsayan bir başka çalışma da Gökçeoğlu vd., (2000) tarafından gerçekleştirilmiştir.

Kinematik analizlerin bir diğer girdi parametresi de süreksizlik yüzeylerinin sürtünme açısıdır. Bu çalışmada, süreksizlik yüzeylerinden örnek alınmada karşılaşılan güçlükler nedeniyle, Barton (1973) yenilme kriteri kullanılarak süreksizlik yüzeylerinin sürtünme açısı 30° olarak belirlenmiş ve analizlerde bu değer kullanılmıştır.

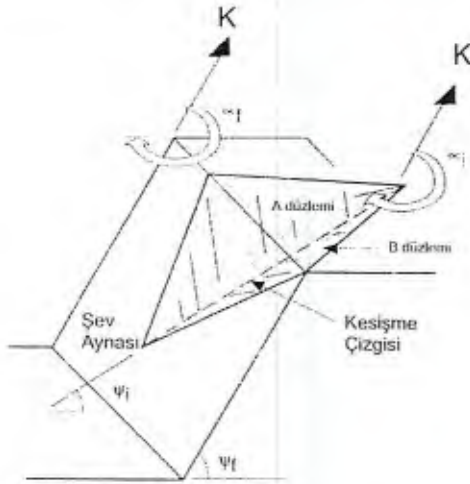
Bir ortamda kinematik anlamda kama türü bir yenilme olasılığını veren koşulları gösteren Şekil 11'den de görüldüğü gibi, bir ortamda kama türü bir duraysızlığın oluşabilmesinin temel koşullarından birisi, birbirini kesen iki süreksizliğin bulunması zorunluluğudur. Bu nedenle, normalleştirme sonucunda elde edilen 83 süreksizlik verisinin bütün kombinasyonları dikkate alınarak 32370 piksel için ayrı ayrı 107500770 adet kinematik analiz gerçekleştirilmiştir. Analizi yapılan pikselde süreksizliklerin kesişimi boyunca eğer kama türü yenilme olasılığı mevcutsa, o süreksizliklerin birarada bulunabilmesine ilişkin frekans değeri "outp.dat" isimli çıktı dosyasına koordinatlarıyla birlikte yazdırılmıştır. Eğer aynı



Şekil 9. Kinematik analiz programı KINAN'ın iş-akış şekli.



Şekil 10. Çalışma alanındaki güncel bir kama yenilmesi.

**ACIKLAMALAR**

α_a = şev aynasının eğim yönü

α_a = a düzleminin eğim yönü

α_b = b düzleminin eğim yönü

ψ_a = şev aynasının eğimi

ψ_a = a düzleminin eğimi

ψ_b = b düzleminin eğimi

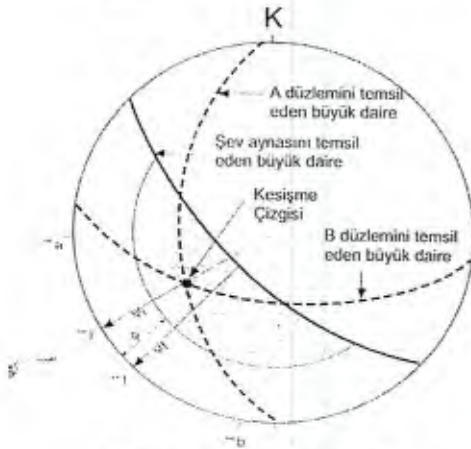
ϕ = içsel sürtünme açısı

ψ_k = kesişim çizgisinin dalımı

α_k = kesişim çizgisinin dalım yönü

KAMA YENİLMESİ İÇİN GEREKLİ KOŞULLAR

1. $\alpha_k = \alpha_a +$ (şev aynasına doğru eğim)
2. $\psi_k < \psi_a$
3. $\phi < \psi_k$



İki süreksizliğin kesişiminin oluşturduğu hattın şev aynasıyla yaklaşık aynı doğrultulu olması ve $\phi < \psi_k < \psi_a$ koşullarının sağlanmasıyla kinematik anlamda kama yenilmesi oluşur. Bu düzlemlerin kesişim noktası ağ üzerinde kritik alan içine düşmektedir.

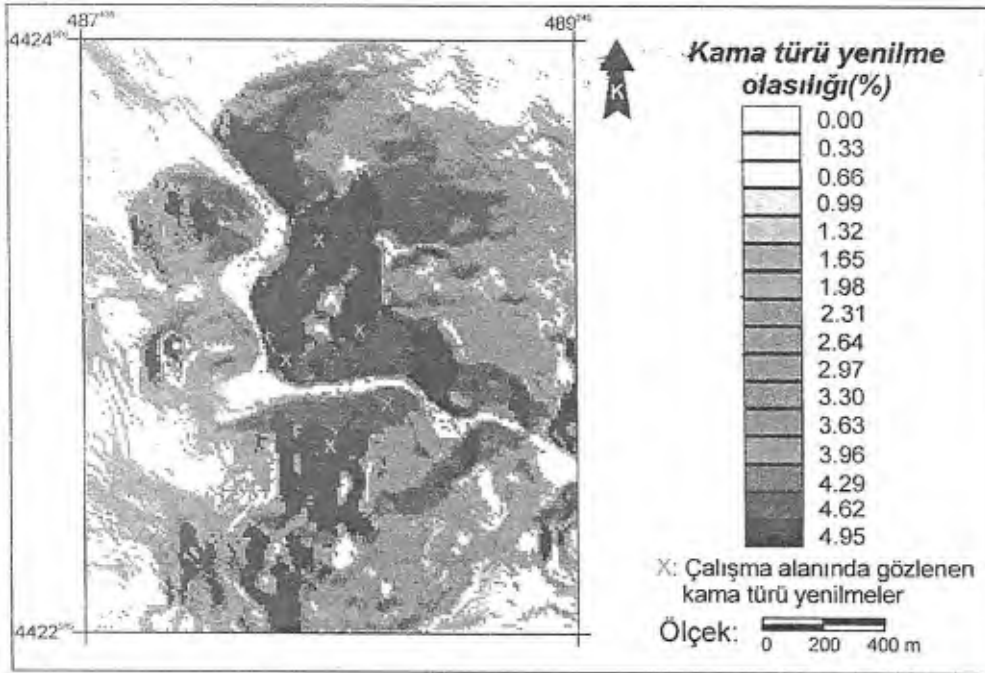
Şekil 11. Bir kama türü yenilmenin gelişebilmesi için gerekli kinematik ve geometrik koşullar (Norrish ve Wyllie, 1996'dan düzenlenmiştir).

piksel için birden fazla yenilme oluşturabilecek süreksizlik kombinasyonu mevcutsa, en yüksek frekans değeri diğer tüm olasılıkları da içereceğinden, en yüksek frekans değeri "outp.dat" dosyasına aktarılmıştır. Eğer analiz edilen piksel için hiçbir süreksizlik kombinasyonu kama türü yenilme koşulunu sağlamıyorsa, bu durumda da "outp.dat" dosyasına frekans değeri olarak sıfır yazdırılmıştır. Elde edilen sonuçları içeren "outp.dat" dosyası olasılıklı risk haritasının hazırlanmasında kullanılmış ve görüntüye dönüştürülmüştür (Şekil 12). Olasılıklı risk haritasını klasik kinematik analiz sonuçlarıyla da karşılaştırmak için üç ana eklem setini kullanarak yukarıda sözü edilen mantık yardımıyla bir başka kama türü yenilme analizi gerçekleştirilmiş ve sonuçlar benzer şekilde bir dosyada toplanmıştır. Ancak bu dosyadaki sonuçlar frekans değerleri şeklinde değil, yenilme koşulları sağlanıyorsa bir, sağlanmıyorsa sıfır şeklinde oluşturulmuştur.

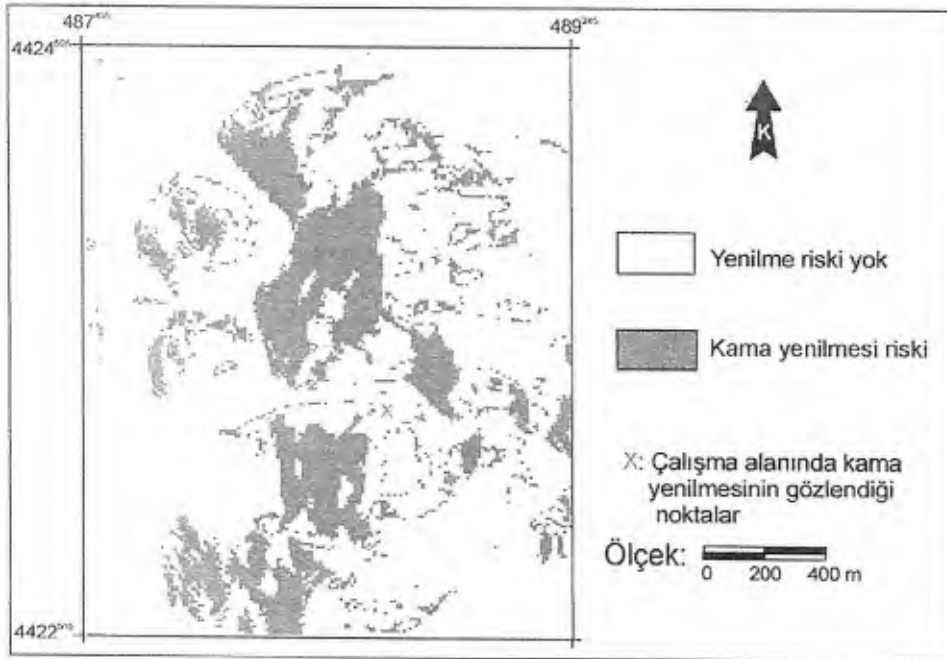
İnceleme alanındaki en yüksek kama türü yenilme olasılığı % 4.95 olarak bulunmuştur (Şekil 12). Bununla birlikte, olasılıklı bir değerlendirme yapıldığında sahayı değişik değerlere sahip risk bölgeleri şeklinde bölmek mümkündür. Klasik yöntemde ise yenilme riski var ya da yok şeklinde daha basit ancak kaba bir sonuca ulaşılabilmektedir. Bunun yanı sıra, sahada oluşmuş güncel kama türü yenilmelerin tamamı olasılıklı risk haritası üzerinde % 4.3 risk oranından daha yüksek bölgeler içerisinde yer alırken, klasik yöntemle elde edilen sonuçlar tam performans sağlayamamıştır (Şekil 12 ve Şekil 13). Diğer bir deyişle, olasılıklı risk haritası daha gerçekçi sonuçlar vermiştir. Olasılıklı risk haritası (bkz. Şekil 12) ve frekans histogramına (Şekil 14) göre çalışma alanının %73.7'si %1.32-%4.95 arasında değişen kama türü yenilme olasılığına sahiptir.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Çalışma alanı, dik topografyaya sahip olması ve süreksizlik kontrollü şev duraysızlıklarının sıkça gözlenmesi nedeniyle, yöntemin uygulanabilmesi için seçilmiştir.



Şekil 12. Kama yenilmesi için olasılıklı risk haritası.



Şekil 13. Klasik yöntemle yapılan kinematik analizlerin sonuçları kullanılarak hazırlanan kama yenilmesi risk haritası.



Şekil 14. Yenilme olasılığı frekans histogramı.

Bu çalışma sonucunda elde edilen olasılıklı risk haritası, klasik yöntem sonuçları kullanılarak hazırlanan haritaya oranla, sahada gözlenen güncel duraysızlıkları daha iyi yansıtmıştır. Bu nedenle, mühendislik tasarımının ilk aşamalarında kinematik analiz yapılırken, olasılıklı değerlendirmelerin dikkate alınması daha gerçekçi sonuçlara ulaşılabilme açısından önemlidir. Sadece üç ana eklem setinin yönelimi kullanılarak hazırlanan risk haritası sahanın %20'sinde kama türü duraysızlık riskini gösterirken, olasılıklı haritaya göre sahanın %73'ü değişik oranlarda riske sahip bölgelerdir. Ancak bu bölgeler içerisinde bir kama türü duraysızlığın gelişebilmesi için en yüksek olasılık %4.95 olarak belirlenmiştir.

Kaya kütlelerinin karmaşık yapısı dikkate alındığında, bir süreksizlik setini tek bir yönelimle ifade etmek gerçekçi bir değerlendirme sağlayamamaktadır. Çünkü tek bir süreksizlik dahi uygun yönelime sahip ise, şev duraysızlığına neden olabilmektedir. Çalışma kapsamında uygulanan yöntem kullanıldığında, bir kinematik analizde çok sayıda süreksizlik yöneliminin dikkate alınmasıyla sonuçların güvenilirliği artacak, aynı zamanda sonuca kısa sürede ulaşılabilecektir. Bu durum özellikle yerleşim alanlarının seçimi ve planlanmasında oldukça önemlidir. Çünkü duraysızlıklar önemli oranda can ve mal kayıplarına neden olabilmektedir.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

- Baecher, G.B., ve Einstein, H.H., 1978. Slope stability models in pit optimisation. International Proceedings 16 Apcom Sysmp., Tucson, AZ, U.S.A., 501-512.
- Barton, M.R., 1973. Review of a new shear strength criterion for rock joints, Engineering Geology, 7, 287-332.
- Carosso, G., DelGreco, O., ve Giani, G.P., 1987. Some probabilistic approaches to stability analysis of open pit explorations. In Proceedings of International Symposium on Engineering Geology, Beijing, China, 881-891.
- Chiao, L.Y., 1985. Fortran-V program for contouring point density on PI diagrams using a microcomputer. Computer and Geosciences, 11 (5) 647-657.
- Chowdhury, R.N., 1986. Geomechanics risk model for multiple failures along rock discontinuities. International Journal of Rock Mechanics Mining Science and Geomechanics Abstracts, 23 (5) 337-346.
- Chowdhury, R.N., 1987. Risk of slip along discontinuities in a heterogenous medium. Mining Science and Technology, 4, 241-255.
- Diederich, M.S., Hoek, E., 1989. DIPS, A computer program for stereographic net, (Version 2.2, Advanced Version). Rock Engineering Group, Department of Civil Engineering, University of Toronto.
- D.M.I., (Devlet Meteoroloji İşleri) 1997. Çubuk istasyonu sıcaklık ve yağış verileri, Ankara.
- Eastman, J.R., 1992. IDRISI: A grid-based geographic analyses system, User's guide (Ver. 4.1), Clark University, Massachusetts, 178 p.
- Einstein, H.H., Baecher, G.B., 1983. Probabilistic and statistical methods in engineering geology, specific methods and examples, Rock Mechanics and Rock Engineering, 16, 39-72.

- Ercanoğlu, M., 1997. Altındağ (Ankara) yerleşim bölgesindeki andezitlerde olası şev duraysızlık modellerinin incelenmesi ve duraysızlık risk haritasının oluşturulması, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Yüksek Mühendislik Tezi, 83 s (yayımlanmamış).
- Erentöz, C., 1975. 1/15000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası, Ankara Bölgesi, MTA Yayınları, 111 s.
- Erol, O., 1961. Ankara bölgesinin tektonik gelişimi. Türkiye Jeoloji Kurumu Yayınları, 7, 57-85.
- Goodman, R.E., 1980. Introduction to Rock Mechanics. John Wiley and Sons, New York, 478p.
- Gökçeoğlu, C., Sönmez, H., Ercanoğlu, M., 2000. Discontinuity controlled probabilistic slope failure risk maps of the Altındağ (settlement) region in Turkey. Engineering Geology, 55, 277-296.
- Hoek, E. ve Bray, J., 1981. Rock Slope Engineering. Institute of Mining and Metallurgy, London, 358 p.
- Hoerger, S.F., ve Young, D.S., 1987. Predicting local rock mass behavior using geostatistics. In Proceedings of 28th Symposium in Rock Mechanics, Rotherdam, Balkema, 99-106.
- ISRM, 1981. Rock Characterization, Testing and Monitoring- ISRM Suggested Methods, Pergamon Press, Oxford, Brown, E.T. (ed.), 211 p.
- Kasapoğlu, K.E., 1980. Ankara kentinin jeo-mühendislik özellikleri, Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Enstitüsü, Ankara, Doçentlik Tezi, 206 s. (yayımlanmamış).
- Kulatılake, P.H.S.W., 1988. State-of-the-art in stochastic joint geometry modeling. International Proceedings of 29th US Symposium on Rock Mechanics, University of Minnesota Minneapolis.
- La Pointe, P.R., 1980. Analysis of the spatial variation in rock mass properties through geostatistics. International Proceedings of 21st Symposium on Rock Mechanics, Rolla, MO, 570-580.
- Leung, C.F., Kheok, S.C., 1987. Computer aided analysis of rock slope stability. Rock Mechanics and Rock Engineering, 20, 111-122.
- Leung, C.F., Quack, S.T., 1995. Probabilistic stability analysis of excavations in jointed rock. Canadian Geotechnical Journal, 32: 397-407.
- Leventhal, A.R., Barker, C.S., Ambrosis, L.P., 1992. Malankhve copper project-overview of the geotechnical investigation for optimum mining exploration. Regional Symposium on Rock Slopes, India, 69-78.
- Marek, J.M., Savely, J.P., 1978. Probabilistic analysis of plane shear failure mode. International Proceedings of 19th US Symposium on Rock Mechanics, 40-44.
- McMahon, B.K., 1971. A statistical method for the design of rock slopes. International Proceedings of 1st Australia-New Zealand Conference on Geomechanics, 314-321.
- McMahon, B.K., 1975. Probability of failure and expect volume of failure in high rock slopes. International Proceedings of 2nd Australia-New Zealand Conference on Geomechanics, Brisbane, Australia, 308-314.
- Miller, S.M., 1983. A statistical method to evaluate homogeneity of structural populations. Mathematical Geology, Vol. 15 No. 2, 317-328.
- Morris, P., Stotter, H.J., 1983. Open-cut design using probabilistic methods. In Proceedings of 5th International Congress on Rock Mechanics, Vol.1, C107-113.

- Norrish, N.I., Wyllie, D.C., 1996. Rock slope stability analysis. Landslide Investigation and Mitigation (Editors Turner and Schuster) Special Report 247. Transportation Research Board National Research Council. National Academy Press, Washington, 673 p.
- Öcal, A., Özgenoğlu, A., 1995. A computer program for kinematic analysis of rock slopes. Proceedings of the 4th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection, Canada, 1005-1010.
- Pilant, W.L., 1989. A PC interactive stereonet plotting program. Computers and Geosciences, 15 (1), 43-48.
- Piteau, D.R., Martin, D.C., 1977. Slope stability analysis and design based on probability techniques at Cassiar Mine Canadian Mining Metallurgy Journal, March, 1-12.
- Priest, S.D., 1985. Hemispherical Projection Methods in Rock Mechanics. George Allen and Unwin, Boston, 124 p.
- Priest, S.D., ve Brown, E.T., 1983. Probabilistic stability analysis of variable rock slopes. Transportation Institute Mining Metallurgy, London, Vol.92
- Sönmez, H., Gökceoğlu, C., 1998. A computer program for the kinematical analysis of rock slopes and its application, Earthsciences (Bull. of Earthsciences Application and Research Center of Hacettepe University), 20, 75-89 (in Turkish).
- Tharp, T.M., 1985. Stability analysis for three-plane wedges. Computers and Geosciences, 11 (4), 417-428.
- Tuncay, E., 1999. TKI-Himmetoğlu linyit açık işletmesindeki şevlerin duraylılığının deterministik ve olasılığa dayalı yöntemlerle değerlendirilmesi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Yüksek Mühendislik Tezi. 165 s. (yayımlanmamış).
- Ulusay, R., 1975. Ankara kenti kuzey-orta bölgesinin jeo-mühendislik özellikleri, Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Enstitüsü, Ankara, Yüksek Mühendislik Tezi, 81 s. (yayımlanmamış).
- Wu, T.H., Tang, W.H., Einstein, H.H., 1996. Lvs-lide Hazard and risk assessment. Landslides Investigation and Mitigation, (Editors Turner and Schuster) Special Report 247. Transportation Research Board National Research Council, National Academy Press, Washington, 673 p.
- Young, D.S., 1993. Probabilistic slope analysis for structural failure. International Journal of Rock Mechanics Mining Science and Geomechanics Abstracts, Vol.30, No.7, 1623-1629.
- Young, D.S., ve Hoerger, S.F., 1988. Geostatistics applications to rock mechanics. International Proceedings of 29 th US Symposium on Rock Mechanics, Minneapolis, MN, Brookfield, A.A. Balkema, 271-282.
- Zanbak, C., 1977. Statistical interpretation of discontinuity contour diagram, International Journal of Rock Mechanics Mining Science and Geomechanics Abstracts, V.14, 114,120.
- Zhang, S., ve Tong, G., 1988. Computerized pole concentration graphs using the Wulff stereographic projection. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science and Geomechanics Abstracts, 23 (1), 45-51.

Maden yataklarının değerlendirilmesinde geliştirilmiş yöntemler: halka ayrışım yöntemi ve uygulaması

Improved methods for ore deposit evaluation: ring decomposition method and its application

Cem SARAÇ, Sermin KOÇER, Arzu Giray YURDAGÜL

ÖZ

Bu çalışmada maden yataklarının değerlendirilmesinde kullanılan jeostatistiksel simülasyon yöntemlerinden "alt ve üst üçgensel matris ayrışım tekniği" ayrıntılı olarak anlatılmaktadır. Kovaryans matrisinin üçgensel analizini kullanarak, orta boyuttaki gridler üzerinde hızlı bir şekilde koşullu simülasyonu gerçekleştiren alt ve üst üçgensel matris tekniğinin algoritmasının büyük boyutlu gridler üzerinde simülasyonu sağlayamadığı gösterilmektedir.

Çalışmada bu yönteme alternatif olarak geliştirilen ve halka ayrışım tekniği adı verilen matris analizi alternatif olarak sunulmakta ve önerilen yeni teknik büyük boyutlu gridler üzerinde kullanılabilir. Geliştirilen yeni yöntemin matematiksel temeli verildikten sonra her iki yönteme ilişkin koşullu simülasyon uygulamaları sunulmaktadır. İlk önce yöntemleri birbirleriyle karşılaştırmak amacıyla 400 x 400 kovaryans matrisinden oluşan simülasyon uygulaması alt/üst üçgensel matris tekniği ve halka ayrışım tekniği kullanarak çözülmekte, ardından da alt/üst üçgensel matris tekniğiyle ayrıştırılmayacak boyutlarda olan 1500 x 1500 kovaryans matrisinden oluşan simülasyon, önerilen halka ayrışım tekniğiyle çözülmektedir.

Anahtar kelimeler: Halka ayrışım yöntemi, Jeostatistiksel simülasyon, Kovaryans, Maden yatakları

EXTENDED ABSTRACT

Ore deposit evaluation techniques by geostatistical simulation were first introduced some 25 years ago, it has not fulfilled its promise as a major tool in the earthsciences. This has been largely due to two main reasons: there are some shortcomings in the method which, although recognized early on by some practitioners, have been slow to be acknowledged and rectified, and alternatively wide usage of kriging methods (there is although a big difference between kriging and simulation). A survey of geostatistical simulation methods is given in Dowd (1992). Amongst proposed methods is Davis' (1987a) LU (lower and upper) decomposition method and related matrix polynomial approximation method (Davis, 1987b). The LU-matrix (lower and upper) decomposition method of conditional simulation allows fast generation of stochastic processes on small-moderate sized grids. The method is simple and based on the LU triangular decomposition of the matrix of covariances between data locations and simulation grid locations (Davis, 1987a; Alabert, 1987). Covariances matrices are symmetric and positive-definite and therefore can be decomposed into the product of a lower and an upper triangular matrix.

The advantages of the LU method are that it is simple to implement, performs conditioning simultaneously with simulation, is not limited to particular forms of covariance functions and handles anisotropies. The main drawback of this method is the amount of storage required which, at least in its general form as presented, effectively limits its application to less than 1000 grid locations. When there are many data or when there is a large number of points on which values are to be simulated, the correspondingly large matrices cannot be handled by classical decomposition algorithms.

This paper shows how ring decomposition can be used to extend the use of LU decomposition to larger simulations. Ring decomposition can be applied to reduce significantly this memory-size problem, and therefore proposed method can be used for large grid locations. After introducing the mathematical background of ring decomposition method, conditional simulation applications using lower-upper and ring decomposition methods are presented in the study. For the purpose of providing a comparison, simulations on 400 x 400 covariance matrix were performed using both LU decomposition and ring decomposition. The results are shown in Figures 1 and 2. The both methods yield satisfactory simulations. Finally a 1500 x 1500 covariance matrix which is too large for LU decomposition method is solved by ring decomposition and the result is given in Figure 3.

Key words : Covariance, Geostatistical simulation, Ore deposits, Ring decomposition method

GİRİŞ

Jeoistatistiksel simülasyon yöntemleri kullanılarak maden yataklarının değerlendirilmesi yaklaşık olarak 25 yıl önce ortaya konulmasına rağmen, yer-bilimlerdeki uygulamalarında henüz tam olarak çok güçlü bir araç olarak yaygın olarak kullanılmamaktadır. Bunun başlıca iki önemli nedeni bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, jeoistatistiksel simülasyon yöntemlerinde görülen çeşitli eksikliklerin oldukça yavaş olarak düzeltilmesi ve ikincisi ise jeoistatistiksel kriging yöntemlerinin alternatif olarak (simülasyon ve kriging arasında büyük farklılıklar bulunmasına rağmen) daha yaygın olarak kullanılmasıdır. Özellikle geçtiğimiz 10 yıl boyunca jeoistatistiksel simülasyon yöntemlerinin geliştirilmesinde çok önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Journel ve Alabert (1989, 1990) 'in geliştirdikleri ardışıklı simülasyon (sequential simulation) yöntemi, indikatör simülasyon yöntemi (Suro-Perez and Journel, 1990; Gomez-Hernandez and Srivastava, 1990) bunlara örnek olarak verilebilir. Bu yöntemlerin en önemlilerinden bir tanesi de Davis (1987a) ve Alabert (1987) tarafından geliştirilen "alt ve üst üçgensel matris ayrışım yöntemi" (AÜM) dir. Basit bir tekniği olan AÜM analiz yöntemi, maden yatağındaki veri lokasyonları ile simülasyon grid lokasyonları arasında kovaryans matrisinin üçgensel analizi üzerine kurulmuştur.

AÜM yönteminin en büyük avantajı uygulanmasının basit olması, koşullandırmayı simülasyonla birlikte simültane olarak gerçekleştirmesi, ayrıca kovaryans fonksiyonlarının ve kullanılan anizotropilerin özel yapılarıyla sınırlı olmamasıdır. Ancak uygulamalarda bu yöntem simülasyon sonuçlarını depola-

ma ve zaman sorunu nedenleriyle sınırlıdır ve bundan dolayı da ancak küçük ve orta boyuttaki gridlere uygulanabilmektedir (Deutsch and Journel, 1998).

Çalışmada, ilk olarak AÜM analizi ile koşullu ve koşulsuz simülasyon incelenmiş; ardından "halka ayrışım yöntemi" (HAY) adı verilen yeni bir yaklaşım sunulmaktadır.

ALT VE ÜST ÜÇGENSEL MATRİS YÖNTE- MİYLE (AÜM) KOŞULSUZ SİMÜLASYON

Bir değişkenin rasgele değerlerde olduğu grid noktaları setinin simüle edildiğini düşünelim. Bu değişkenin kovaryans matrisleri C ($n \times n$ boyutunda) aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$C_{ij} = \text{Kov}(Z_i, Z_j) \quad (1)$$

Z_i yukarıda örnek olarak verilen değişkendir. C 'nin Cholesky algoritmasıyla alt ve üst olarak iki matrise ayrıldığını varsayarsak, $C = A\bar{U}$ (A : alt matris; \bar{U} : üst matris) şeklinde olacaktır. Buna göre w 'nin rastlantısal bir vektör olduğu düşünülerek, y vektörü aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$y = Aw \quad (2)$$

y vektörüne benzer şekilde, rasgele değişken olan Y 'nin tanımı:

$$\begin{aligned}
\text{Kov}(Y) &= E[(Aw)(Aw)'] = E(Aww'Ü) \\
&= A \bar{Ü} E(ww') \\
&= A \bar{Ü} I = C \quad (3)
\end{aligned}$$

olacaktır. Böylece y , Z 'nin koşulsuz simülasyonu olacaktır.

ALT VE ÜST ÜÇGENSEL MATRİSYÖNTE-MİYLE (AÜM) KOŞULLU SİMÜLASYON

Koşullu veri (genellikle cevherleşmelerden gelen sondaj verileri) ve grid noktaları setinin simüle edildiğini düşünürsek, bu setlere benzer olarak kovaryans matrisi $C_{VV}, C_{VG}, C_{GV}, C_{GG}$ olarak ayrılabilir:

$$C = \begin{pmatrix} C_{VV} & C_{VG} \\ C_{GV} & C_{GG} \end{pmatrix}$$

Yukarıda verilen matriste:

C_{VV} maden yatağındaki veri noktaları arasındaki kovaryans matrisi,

C_{GV} grid ve veri noktaları arasındaki kovaryans matrisi,

C_{GG} grid noktaları arasındaki kovaryans matrisidir.

C aynı zamanda alt ve üst matrislerine ayrılabilir, bu durumda yukarıdaki ifade

$$C = \begin{pmatrix} C_{VV} & C_{VG} \\ C_{GV} & C_{GG} \end{pmatrix} = A\bar{Ü} = \begin{pmatrix} A_{VV} & 0 \\ A_{GV} & A_{GG} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \bar{Ü}_{VV} & \bar{Ü}_{VG} \\ 0 & \bar{Ü}_{GG} \end{pmatrix}$$

şeklinde yazılabilir ve bu ilişkiden aşağıdaki eşitlikler elde edilir:

$$\begin{aligned}
C_{VV} &= A_{VV} \bar{Ü}_{VV} \\
C_{VG} &= A_{VV} \bar{Ü}_{VG} \\
C_{GV} &= A_{GV} \bar{Ü}_{VV} \\
C_{GG} &= A_{GV} \bar{Ü}_{VG} + A_{GG} \bar{Ü}_{GG}
\end{aligned}$$

w_G rasgele vektör ve w_V koşullu vektör ise w vektörü $\begin{pmatrix} w_V \\ w_G \end{pmatrix}$ olarak tanımlanacaktır. Buna göre:

$$\bar{Ü}_{VV} w_V = z_V \quad (4)$$

Yukarıdaki eşitlikte, z_V koşullu veriyi göstermektedir.

$$y: \begin{pmatrix} y_V \\ y_G \end{pmatrix} = \bar{Ü}_{VV} \text{ olarak tanımlanabilir.}$$

$$y_V = A_{VV} w_V = z_V$$

$$y_G = A_{GV} w_V + A_{GG} w_G$$

Sonuç olarak grid noktalarındaki değerlerin koşullu simülasyonu ;

$$y_G = A_{GV} A_{VV}^{-1} z_V + A_{GG} w_G \quad (5)$$

şeklinde ifade edilebilecektir. 5 numaralı eşitlikte $A_{GV} A_{VV}^{-1} z_V$ koşullu verileri sağlayan bir bileşen, $A_{GG} w_G$ ise çeşitli simülasyonların yapılmasına olanak tanıyan diğer bir bileşendir ve simülasyon sonuçları da A_{GG} 'ye bağlı bulunmaktadır.

HALKA AYRIŞIM YÖNTEMİYLE (HAY) KOŞULLU SİMÜLASYON

AÜM yöntemi kovaryans matrisinin üçgensel analizlerini gerektirmektedir, eğer veri sayısı çoksa veya simüle edilen değer sayısı çok fazlaysa, benzer olarak büyük matrisler klasik analiz algoritmaları ile kullanılmaz (Dowd, 1992). Bunun temel nedeni de, AÜM algoritmasının hafızasının grid sayısının karesi ile ve hesaplama zamanının ise grid sayısının kübü ile artmasıdır (Dowd and Saraç, 1993). AÜM yönteminde matris boyutları Cholesky algoritması kullanılarak en fazla 1000x1000'dir, yani bu yöntem en fazla 1000 simülasyon değeriyle sınırlıdır.

AÜM yönteminin yukarıda belirtilen sınırı, bu çalışmada halka analiz teorisi kullanılarak genişletilmiş ve böylece yöntemin daha büyük boyutlu simülasyonlar yapmasına olanak sağlanmıştır.

Anderson and Fuller (1992)'ye göre M simgesi ile gösterilen ve R halkalarından oluşan modül; B_i alt modüllerinin cinslerinin $\{B_i | i \in I\}$ toplamı olarak tanımlanmaktadır. Buna göre aşağıdaki tanımlamalar yazılabilir:

$$M = R^n = R \oplus \dots \oplus R \quad (6)$$

$$\sum_{i \in I} B_i = \left\{ \sum_{\text{sontu}} b_i | b_i \in B_i \right\}; \quad (7)$$

$$M = \bigoplus_{i \in I} B_i \leftrightarrow \begin{cases} 1.) M = \sum_{i \in I} B_i \\ 2.) \forall j \in I \left[B_j \cap \sum_{i \in I} B_i = 0 \right] \end{cases} \quad (8)$$

Hepsi için $i \in I$, $0 \in B_i$ olduğu varsayılarak; indeks seti için $I = (1, \dots, n)$ ise M aynı zamanda $M = B_1 \oplus \dots \oplus B_n$ olarak ve C_{ij} $n \times n$ matrisi $C = (C_{ij})$ şeklinde yazılabilir (Kasch, 1982). Bu durumda I i'inci pozisyonda $n \times n$ birim matrisi, $e_i = (0, \dots, 0, 1, 0, \dots, 0)$ olacaktır.

$B_i = e_i C$ 'yi tanımlarsak;

$$C = \bigoplus B_i$$

$$e_i C = (C_{i1}, C_{i2}, \dots, C_{in}) \quad (9)$$

(C_{i1}, \dots, C_{ij}) vektörü aşağıda görüldüğü gibi B_i ile tanımlanabilir.

$$\begin{aligned} C &= e_1 C \oplus e_2 C \oplus \dots \oplus e_n C \\ &= B_1 \oplus B_2 \oplus \dots \oplus B_n \end{aligned} \quad (10)$$

Bundan sonraki adım aşağıda gösterildiği şekilde B_i 'yi alt ve üst üçgensel matrisler şeklinde ayırmaktır.

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C_{i1} & C_{i2} & \dots & C_{in} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & 0 & \dots & 0 \\ A_{21} & A_{22} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{i1} & A_{i2} & \dots & A_{in} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U_{11} & \dots & U_{1n} \\ 0 & U_{22} & \dots & U_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & U_{nn} \end{pmatrix}$$

Böylece büyük boyutlu simülasyonlara olanak veren eşitlikler aşağıdaki gibi genelleştirilebilir:

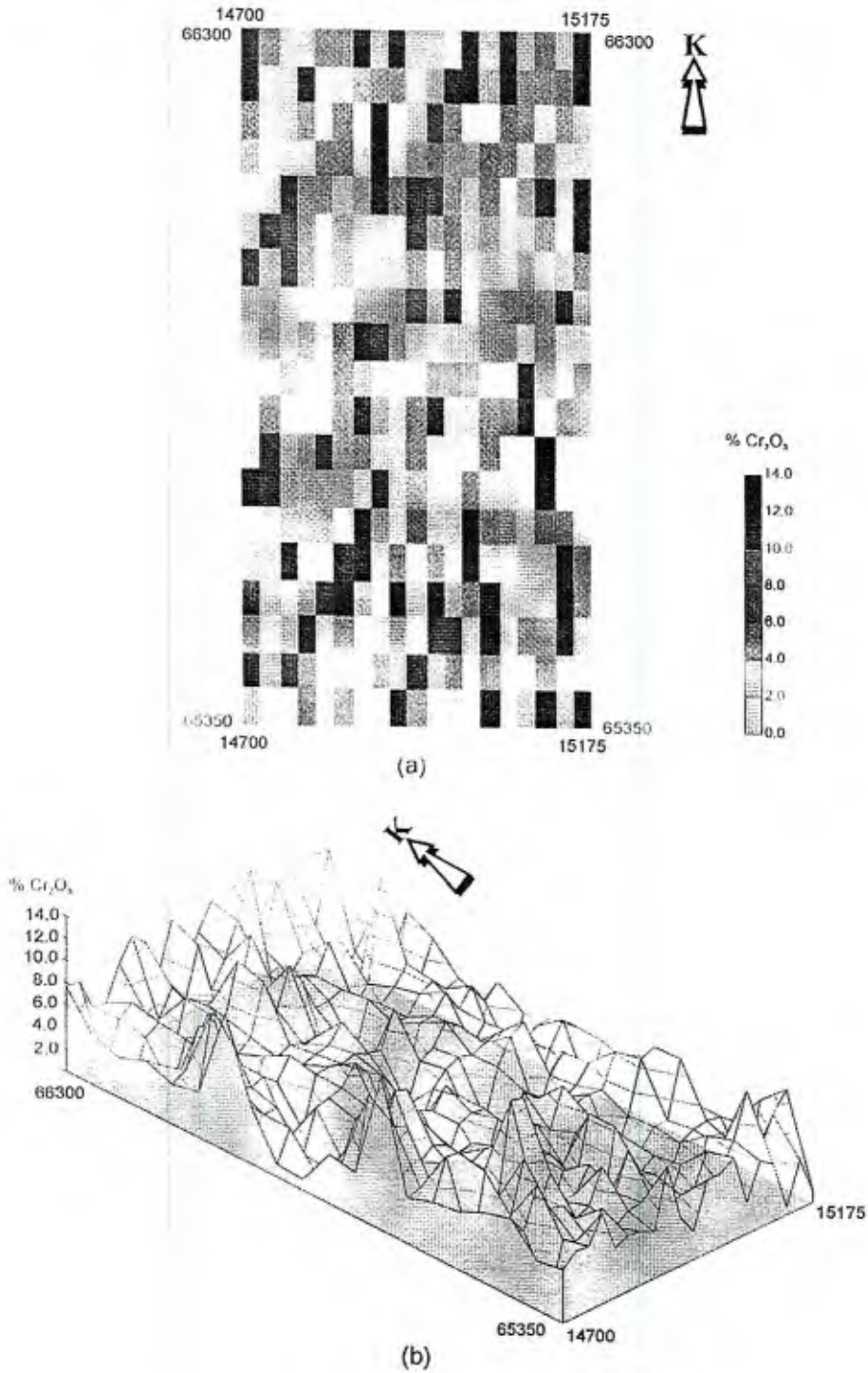
$$A_{11} \bar{U}_{11} = C_{11} \quad (\text{Cholesky ayrışımı kullanarak})$$

$$A_{i1} = C_{i1} \quad i \geq 2$$

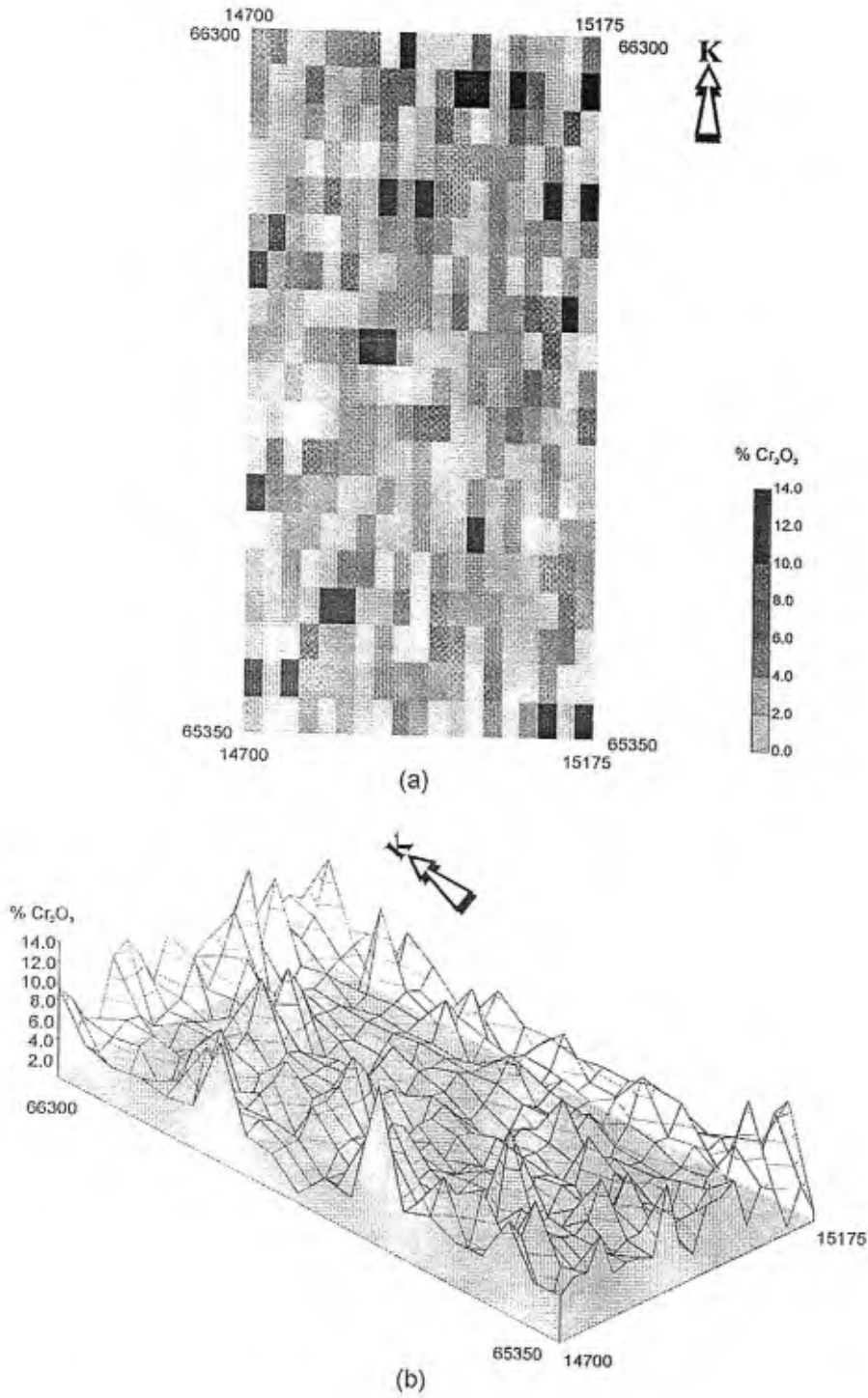
$$A_{ij} = C_{i,j-1} - C_{ij} \quad 2 \leq j \leq i-1$$

$$A_{ii} \bar{U}_{ii} = C_{i,i-1} - C_{ii} \quad i \geq 2 \quad (\text{Cholesky ayrışımı kullanarak})$$

$$A_{ij} = 0 \quad j > i$$



Şekil 1. AÜM yöntemiyle cevherleşmenin 1050 metre katı için gerçekleştirilen koşullu simülasyon sonuçları (a): Tenör blok dağılımı (b): Tenör değerlerinin blok diyagramı



Şekil 2. HAY yöntemiyle cevherleşmenin 1050 metre katı için gerçekleştirilen koşullu simülasyon sonuçları (a): Tenör blok dağılımı (b): Tenör değerlerinin blok diyagramı

Sonuç olarak grid noktalarındaki değerlerin koşullu simülasyonu;

$$y_G = A_{GV} A_{VV}^{-1} z_V + A_{GG} w_G \quad (11)$$

eşitliği kullanılarak elde edilecektir.

Her bir n_y değeri için elde edilen AGG matrisi hesaplanırken aynı zamanda A_{GG} ve A_{VV}^{-1} matrisleri de elde edilecektir. Yöntemde alt matrisler, iki veya üç boyutlu simülasyon hacminin herhangi bir alt bölümü için saptanabilir. Seçilen alt bölümler grid noktalarının kendine özgü üç boyutlu düzenine bağlı olacak ve uygulamalarda simüle edilen değerlerin artan bir aralıkla birbirlerini tutması zorunluluğu da bulunmamaktadır ($n_y=1,2,3$). Ancak uygulamalarda yeterli alt bölümlerin seçilmesi önerilmektedir.

UYGULAMA

AÜM yöntemi ve bu çalışmada önerilen HAY yönteminin uygulaması karşılaştırmalı olarak Karşantı, Adana krom cevherleşmesine uygulanmıştır. Cevherleşme alanında, Saraç ve Tercan (1992) tarafından rezerv ve tenör dağılım çalışması; Tercan ve Saraç (2000) tarafından da jeostatistiksel yöntemlerle jeolojik yapının ve tenör değerlerinin değişimi incelenmiştir. Bu nedenlerden dolayı sondaj verilerine ilişkin bilgiler, cevherleşmeden elde edilen variogram değerleri ve model parametreleri bu çalışmada verilmemiştir, ayrıntılı jeostatistiksel bilgiler yukarıdaki çalışmalardan edinilebilir.

Koşullu simülasyon krom cevherleşmesinin 1050 metre katı için gerçekleştirilmiş olup, x eksenini (doğu-batı doğrultusunda) boyunca 20 grid ve y eksenini (kuzey-güney doğrultusunda) boyunca 20 grid olmak üzere toplam 400 adet grid noktasında tenör değerlerinin simülasyonu yapılmıştır. Koşullandırma işlemi için cevherleşmeden elde edilen 289 veri değeri (% Cr_2O_3) kullanılmış ve grid boyutları x ekseninde 25

metre, y ekseninde 50 metre olarak alınmıştır. Buna göre x ekseninde 14700 m. ve 15175 m. arasında, y ekseninde 65350 m. ve 66300 m. arasındaki koordinatlarda 400 blok için tenör değerlerinin koşullu simülasyonu gerçekleştirilmiştir.

AÜM yöntemi ile yapılan koşullu simülasyon sonucu Şekil 1'de, HAY yöntemi ile yapılan koşullu simülasyon sonucu da Şekil 2'de sunulmaktadır. Her iki şekilden de görüldüğü gibi yöntemler birbirleriyle oldukça uyuşan tenör sonuçları vermişlerdir. Ancak uygulamada 400 adet simülasyon sonucu yerine 1000 adet ya da daha büyük bir sayıda çözüm istenilseydi, AÜM yöntemi buna yanıt veremeyecektir. Örnek olarak, cevherleşmede x eksenini boyunca 10 metre aralıklı 50 adet grid noktasındaki ve y eksenini boyunca da 35 metre aralıklı 30 adet grid noktasındaki tenör değerlerinin simülasyonu (toplam 1500 blokta Cr_2O_3 değeri) bu çalışmada önerilen HAY yöntemi ile aşağıdaki şekilde gerçekleştirilebilir.

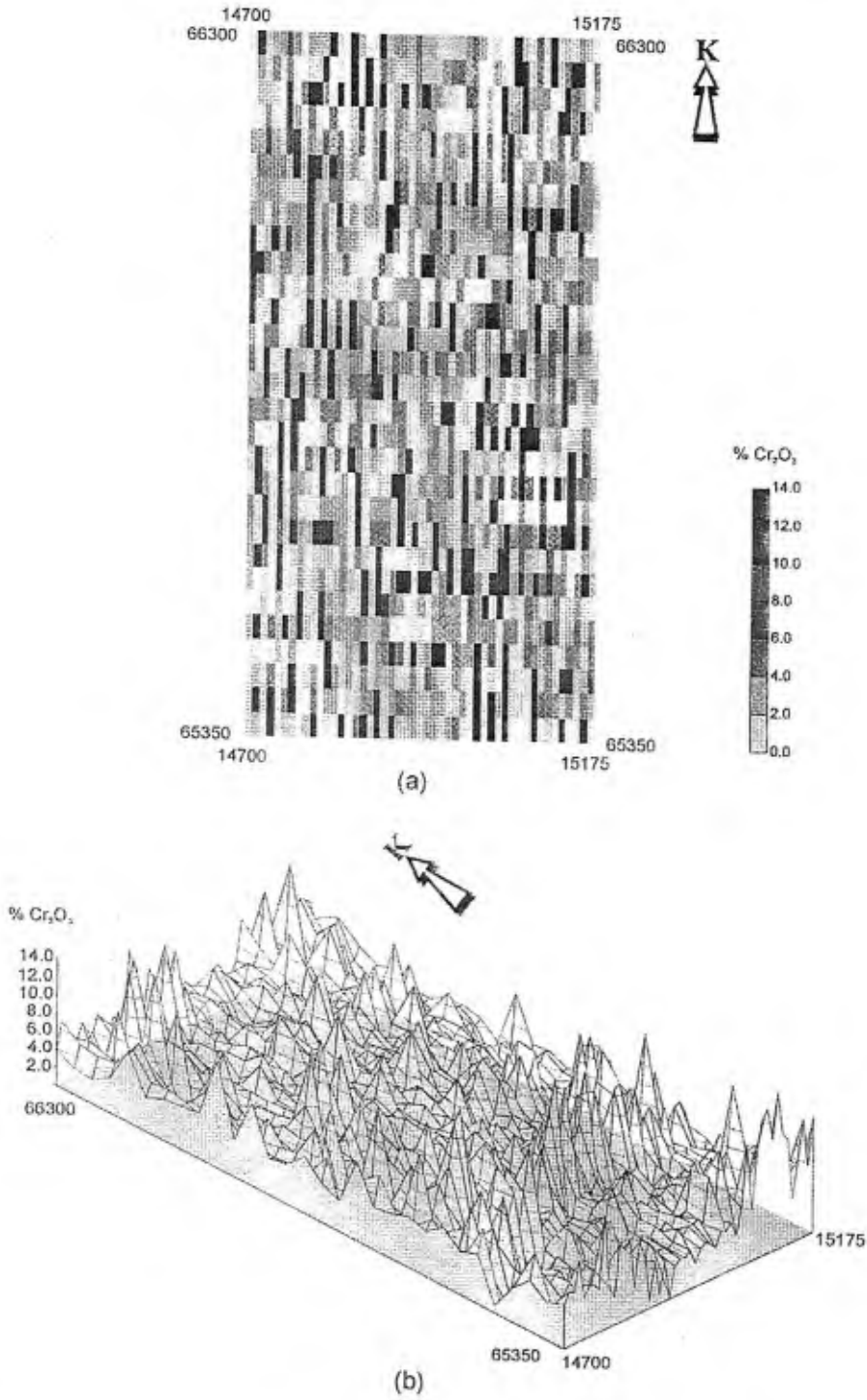
$$C = \begin{pmatrix} C_{VV} & C_{VG} \\ C_{GV} & C_{GG} \end{pmatrix} \quad (12)$$

Bu uygulamada 1500 x 1500 'lük bir kovaryans matrisi olan C_{GG} , AÜM yöntemi için oldukça geniş bir matristir. Bu nedenle istenilen simülasyon halka ayrışımıyla n_y 'nin herbir değeri için tanımlanan alt matrislerle çözülebilir.

$$C_{GG} = \begin{pmatrix} C_1 & C_2 & C_3 \\ C_4 & C_5 & C_6 \\ C_7 & C_8 & C_9 \end{pmatrix} \quad (13)$$

Her alt matris 500 x 500 ($n_x \times n_x$)'lük bir boyuta sahiptir ve 3 x 3 ($n_y \times n_y$) alt matrislerine ayrılarak, halka teorisinin blok analiz tekniğini uygulanmış ve C_{GG} aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır;

$$C_{GG} = e_1 C_{GG} \oplus e_2 C_{GG} \oplus e_3 C_{GG} \quad (14)$$



Şekil 3. HAY yöntemiyle cevherleşmenin 1050 metre katı için 1500 adet grid lokasyonu için gerçekleştirilen koşullu simülasyon sonuçları (a): Tenör blok dağılımı (b): Tenör değerlerinin blok diyagramı

Yukarıdaki eşitlikte (14 numaralı) e birim kareleri birbirine eşit olan matrisi simgelemektedir; $e_1 = (1,0,0)$; $e_2 = (0,1,0)$ ve $e_3 = (0,0,1)$ 'dir.

$$C_{Gz} = \begin{pmatrix} C_1C_2C_3 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ C_1C_3C_4 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ C_2C_4C_5 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} C_1C_2C_3 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_1 & A_1^T C_2 & A_1^T C_3 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ C_1C_3C_4 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ C_2 & A_2C_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ C_2C_4C_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & C_{Gz} \end{pmatrix}$$

$$y_G = A_{GV} A_{VV}^{-1} z_V + A_{GG} w_G$$

eşitliği uygulanarak 1500 x 1500 boyutundaki kovaryans matrisi çözülerek koşullu simülasyon sağlanmıştır. Elde edilen tenör sonuçları Şekil 3'de blok diyagram ve kat tenör dağılımı olarak gösterilmektedir.

SONUÇLAR

AÜM yönteminin en büyük avantajı koşullandırmayı simülasyonla birlikte simültane olarak gerçekleştirmesi, uygulanmasının basit olması, ayrıca kovaryans fonksiyonlarının ve kullanılan anizotropilerin özel yapılarıyla sınırlı olmamasıdır. Ancak uygulamada bu yöntem simülasyon sonuçlarını depolama ve zaman sorunu nedenleriyle sınırlıdır ve bundan dolayı da ancak küçük-orta boyuttaki gridlere uygulanabilmektedir. Genel olarak AÜM yönteminin uygulama limiti yaklaşık olarak 1000 adet grid lokasyonundan daha azdır.

Çalışmada AÜM yöntemine alternatif olarak sunulan HAY yönteminde grid lokasyonları arasındaki kovaryans matrisi, simülasyon grid noktalarının her

bir alt bölümü için elde edilerek büyük boyutlardaki gridlerin simülasyonunun sağlandığı gösterilmiştir. 400 x 400 kovaryans matrisinden oluşan simülasyon uygulaması, alt/üst üçgensel matris tekniği ve halka ayrışım tekniği kullanarak çözümlenerek yöntemler karşılaştırılmış ve 1500 x 1500 kovaryans matrisinden oluşan alt/üst üçgensel matris tekniğiyle ayrıştırılmayacak boyutlarda olan simülasyon, önerilen halka ayrışım tekniğiyle çözülmüştür.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Alabert, F., 1987, The practise of fast conditional simulations through the LU decomposition of the covariance matrix: *Mathematical Geology*, v. 19, no. 5, 369-386.
- Anderson, F.W. and Fuller, K.R., 1992, Rings and categories of modules: Second Edition, Graduate texts in mathematics, Springer-Verlag New York Inc., no. 13.
- Davis, M., 1987a, Production of conditional simulations via the LU decomposition of the covariance matrix: *Mathematical Geology*, v. 19, no. 2, 91-98.
- Davis, M., 1987b, Generating large stochastic simulations-the matrix polynomial approximation method: *Mathematical Geology*, v. 19, no. 2, 99-108.
- Deutsch, C.V., and Journel, A.G., 1998, GSLIB, Geostatistical Software Library and User's Guide: Second Edition, Oxford University Press, New York, 369 s.
- Dowd, P.A., 1992, A review of recent developments in geostatistics: *Computers and Geosciences*, v. 17, no. 10, 1481-1500.
- Dowd, P.A. and Saraç, C., 1993, An extension of the LU decomposition method of simulation, in *Geostatistical Simulations*, eds: P.A. Dowd and M. Armstrong: Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 23-36.

- Gomez-Hernandez, J.J. and Srivastava, R.M., 1990, ISIM3D: an ANSI-C three-dimensional multiple indicator conditional simulation program: *Computer and Geosciences*, v. 16, no. 4, 395-440.
- Journel, A.G. and Alabert, F., 1989, Non-Gaussian data expansion in the earth science: *Terra Nova*, v. 1, 123-134.
- Journel, A.G. and Alabert, F., 1990, New method for reservoir mapping: *Journal of Petroleum Technology*, v. 42, no. 2, 212-218.
- Kasch, F., 1982, *Modules and rings*: London Mathematical Society, Academic Press Inc., England.
- Saraç, C. and Tercan, A.E., 1992, A geostatistical case study of the Kizilyuksek-Yataardic chromium orebody: The first international symposium on Eastern Mediterranean Geology, Çukurova University, Adana, Turkey, 219-229.
- Suro-Perez, V. and Journel, A.G., 1990, Stochastic simulation of lithofacies and improved sequential indicator approach: *Proc. Second European Conference on the Mathematics of Oil Recovery (ECMOR)*, Publ. Technip, Paris, 3-10.
- Tercan, A.E. and Saraç, C., 2000, Spatial variability of Cr₂O₃ % in Kizilyuksek-Yataardic chromium deposit (Adana, Turkey): *International Geology Review* (in press).

Kızıltepe (Sille, Konya) zemin deformasyonlarının incelenmesi

Investigation of soil deformations at the Kızıltepe (Sille, Konya) slopes .

Adnan ÖZDEMİR

ÖZ

Bu çalışmada Konya il merkezinin 6 km kuzeybatısında yer alan Pliyo-Kuvaterner yaşlı killi siltli kumdan oluşmuş Kızıltepe yamaçlarına inşa edilen yapılarda oluşan deformasyonlar incelenmiştir. Eğimleri % 5 ile %15 arasında değişen yamaçlarda inşaat öncesinde gerçekleştirilen düzenlemelerle bazı kesimlerde kazı, bazı kesimlerde ise kazıdan elde edilen malzeme ile, 2-8 m arasında değişen kalınlıklarda dolgular inşa edilmiştir. Triplex villalar ile 6 katlı apartmanlar kısmen doğal, kısmen de bu dolgu zemin üzerine oturtulmuştur. Söz konusu yapıların inşa edilmesinden 6 ay sonra bahçe duvarlarında yıkılmalar, bazı apartmanlarda düşeyden sapsmalar ve bazı konutlarda ise oturulamayacak boyutta çatlama oluşmuştur. Doğal ve düzenlenerek yüklenmiş yamaçlarda deformasyonların gözlemlendiği yapıların da üzerinde bulunduğu 20 yamaç profil üzerinde Modifiye Bishop ve Modifiye Janbu yöntemlerine göre duraylılık analizleri yapılmıştır. Duraylılık analizlerinde kalıcı kohezyon için 30 kN/m^2 , kalıcı içsel sürtünme açısı için dolgu zeminde 29° doğal zeminde ise 25° değerleri kullanılmıştır. Duraylılık analizlerinden hesaplanan güvenlik sayıları doğal yamaçlarda kayma bakımından stabilite probleminin olmadığını ortaya koymuştur. Diğer taraftan düzenlenmiş ve yüklenmiş yamaç profillerinden sadece 2 tanesinde güvenlik sayısı 1,3 – 1,4 iken diğer yamaç profillerinde ise bu sayı genelde 1,5 dan daha büyüktür. Arazide yapılan gözlemlerde de yamaçların kaydığına ilişkin belirtiler gözlenememiştir. Yine yapılan sıkışma deneyi sonuçlarına göre 50 kN/m^2 basınç kademesinde, dolgu zemin hacimsel sıkışma sayısının doğal zeminin hacimsel sıkışma sayısına oranı yaklaşık 3,9 olarak belirlenmiştir. Bu oran dolgu zeminin doğal zemine göre daha çok sıkışacağını göstermektedir. Yapı temel zemini altında da 13 cm'ye varan farklı oturma alanları belirlenmiştir. Yapılardaki deformasyonlar bu farklı oturmalarından oluşmuştur.

Anahtar kelimeler : Dolgu zemin, Konya, Yamaç stabilitesi

EXTENDED ABSTRACT

In this study, deformations occurred on the buildings located doing the sloping surface of Kızıltepe located 6 km Northwest of Konya, of Plio-Quaternary age silty and clayey sand, were investigated. Inclinations of the slopes range between 5% and 15%. The foundations of triplex houses and six stories apartments were build partly on the natural soil and partly on the fill ground. Six months after the construction, fence walls had been collapsed, and some apartments had been leaned and dangerous cracking occurred. Using Modified Bishop and Modified Janbu methods, stability analysis of Kızıltepe slopes have been made on the 20 selected profiles, involving deformed buildings and naturel soils and fill ground. Calculated safety factors have shown that there are not in

stability problems on the natural slopes. On the improved and loaded slope profiles, safety factors generally exceed 1.5, excepting two of profiles where safety factors are found as 1.3 and 1.4. No indications of land slips have been observed. According to the result of consolidation tests in the 50 kN/m² pressure stage, coefficient of compressibility of filled soil to the natural soil ratio is approximately 3.9. This ratio shows that fill ground undergoes more settlement than natural soil. Differential settlements up to 13 cm have been determined. The cause of deformations in the structures are thought to be due to differential settlements.

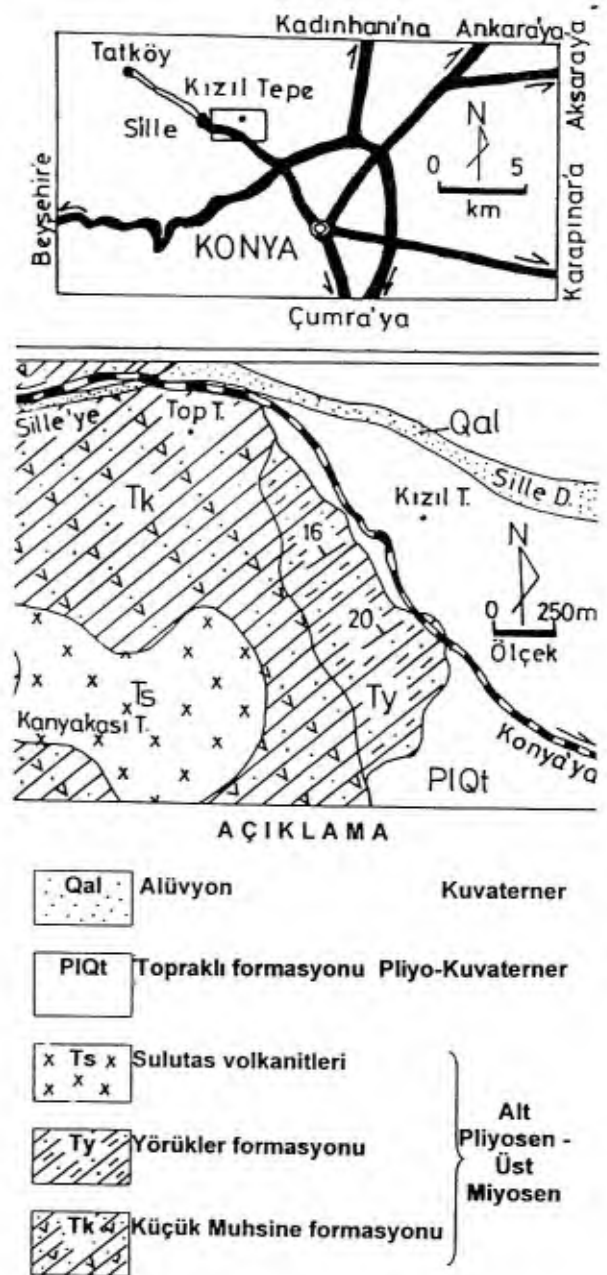
Key words : Fill ground., Konya, Slope stability

GİRİŞ

Doğal zemin özelliklerinin temel için uygun veya istenen nitelikte olmaması durumunda bazen zorunlu olarak bazen de tercihen yapının bir kısmı veya tamamı yapay yollarla oluşturulan dolgu üstüne-içine inşa edilebilmektedir. Bu dolgu alanları ya evsel atıkların depolandığı çöp sahalarının, ya da inşaat yarıntularından elde edilen artık malzemelerin toplandığı moloz sahalarının düzenlenmesiyle, çoğunlukla da mühendislik işlemleriyle inşa edilmektedir. İyi inşa edilmiş dolgular, çoğunlukla dolgu altında yer alan doğal zeminden daha iyi bir temel zemini oluşturabilmektedir (Bowles, 1982). Ancak, iyi bir dolgu zemini elde edilebilmesinde öncelikle dolgu malzemesinin iyi seçilmesi daha sonra da dolgu kalite kontrol işlemlerinin hassasiyetle uygulanması gerekmektedir. Bu ilkelere uyulmadan yapılan dolgular üzerine-içine inşa edilen yapılarda, zamanla ortaya çıkan problemlerin çözülmesi veya gerekli önlemlerin alınması oldukça yüksek maliyete yol açmakta, bazen de tüm bu faaliyetler başarıya ulaşmamakta ve yapının feda edilmesine sebep olmaktadır.

İnceleme alanı Konya Büyükşehir Belediyesi mücavir alanı içerisinde, Konya şehir merkezine 6 km mesafededir. İnceleme Konya-Sille köyü karayolunun kuzeydoğusunda bulunan Kızıltepe çevresinde yaklaşık 5 km² lik alanda yapılmıştır (Şekil 1).

Sille köy yolunun kuzey doğusunda bulunan Kızıltepe yamaçları, konut inşa etmek amacıyla düzenlenmiştir. Bu düzenlenmeler esnasında bazı kesimlerde kazı, bazı kesimlerde ise dolgu yapılmıştır. Düzenlenen bu yamaçlar üzerine 3 katlı villalar ile 6 katlı apartmanlar inşa edilmiştir. Daha sonra zeminden



Şekil 1. İnceleme alanı yerbulduru ve jeoloji haritası (Eren (1993) ve Özden (1994)'den

kaynaklanan deformasyonlarla bazı bahçe duvarlarında yıkılmalar, bazı villa ve apartmanlarda ise yapının fonksiyonlarını ortadan kaldıracak boyutta çatlamlar oluşmuştur. Bu çalışmada söz konusu sahada dolgu üzerine inşa edilen yapılarda oluşan deformasyonlar incelenmiş, bu deformasyonların nedenleri (kayma-farklı oturma) araştırılmıştır.

İNCELEME YÖNTEMLERİ

Kızıltepe yamaçlarının duraylılık incelemesinde, öncelikle yörenin jeolojisi ve morfolojisi daha sonra da arazinin jeoteknik incelemesi gerçekleştirilmiştir. Jeoteknik incelemeden elde edilen zemin parametreleri kullanılarak deformasyonların gözlemlendiği yapılardan geçen profiller üzerinde duraylılık analizleri yapılmıştır. Elde edilen tüm gözlem, deney sonuçları ile duraylılık analizleri birlikte yorumlanıp değerlendirilmiştir.

JEOLOJİ

İncelenen alan ve çevresinin ayrıntılı jeoloji incelemesi Özdemir (1984) ile Eren (1993) tarafından yapılmıştır (bkz. Şekil 1). Bu çalışmalara göre, Kızıltepe ve yakın çevresinde, altta yer alan beyaz-gri renkli tüf-tüfit ve volkanojen kumtaşı ile aglomerallardan oluşan Geç Miyosen-Erken Pliyosen yaşlı Küçük Muhsine formasyonu (Tk), Kanyakası Tepesi eteklerinde ve Top Tepe'de gözlenmektedir. Bu formasyonun litolojisini oluşturan, litik ve kristal tüf özelliğinde olan tüfitler ile volkanojen kumtaşları 5-50 cm arasında değişen tabaka kalınlığında olup çoğunlukla birimi oluşturan dasit ve andezit parçalarının köşeli ve yuvarlak oluşlarına göre, volkanik breş, aglomera veya her ikisinin karışımı şeklinde, yer yer yığın oluşturmuş biçimde gözlenirler. Küçük Muhsine formasyonun kalınlığı yaklaşık 150-200 m civarında olup, Yörükler formasyonu ile yanal ve düşey geçişler sunar. Kırmızı renkli çoğunlukla kireçtaşı ve volkanik kayaç kırıntılarından yapıtlı, karbonat çimento-lu, konglomera ve kumtaşından oluşan Yörükler formasyonu, ince tabakalanmalı olup tabakaların eğimi kuzeydoğuyadır. Kalınlığı 25-30 m civarında olan bu

formasyon Sulutas volkanitlerince (Ts) kesilmektedir. Geç Miyosen-Erken Pliyosen zaman aralığında, fastalarla faaliyete geçen dasit ve andezitik bileşimde olan volkanizma, zaman zaman Küçük Muhsine formasyonunu oluşturan kayaların malzeme kaynağını teşkil etmiş, zaman zaman da yine bu formasyonu kesmiştir. Sulutas volkanitleri (Ts) Kanyakası tepesi zirvesinde yüzeylemektedir. Killi, siltli kumdan oluşan Piliyo-Kuvaterner yaşlı Topraklı formasyonu (PIQt) yukarıda sözü edilen Küçük Muhsine ve Yörükler formasyonlarının üzerine diskordan olarak gelirken yine Holosen yaşlı alüvyonlarla(Qal) da diskordan olarak örtülmektedir. İncelemenin yapıldığı Kızıltepe'de Topraklı formasyonu yer almakta olup kalınlığı 70-80 m civarındadır.

JEOMORFOLOJİ, İKLİM VE BİTKİ ÖRTÜSÜ

İncelemenin yapıldığı Kızıltepe'nin yüksekliği 65 m olup (Şekil 2), kuzey yamaçlarında paralel, diğer yönlerdeki yamaçlarında ise yelpaze drenaj ağı gelişmiştir. Aşınma döneminde olan sahada iklim, kışları soğuk ve yağışlı, yazları ise sıcak ve kuraktır. Yıllık ortalama yağış 314 mm, sıcaklık 11 °C'dir. Bölgede yarı kurak, mezotermal, kışın çok az su fazlası olan, karasal iklim tipi görülmektedir. İncelenen saha çevresinde maksimum sıcaklık ortalaması 30 °C (Temmuz ayında), minimum sıcaklık ortalaması -5 °C (Ocak ayında) olarak hesaplanmıştır. Gece ve gündüz sıcaklıkları arasında 20 °C'lik fark görülmekte olup yılın 107 gününde (yılın %30'unda), don olayının görüleceği sıcaklığa düşülmektedir. Kızıltepe'de toprak kalınlığı yok denecek kadar azdır. İskan alanı içerisinde olan Kızıltepe bitki örtüsü bakımından çiplaktır.

Kızıltepe'de yapılan eğim analizlerinde yamaçların genelde az eğimli (Eğim < %5), ancak incelenen alanın güney ve batı orta kesiminde ise orta derecede eğimli (eğim % 5-15) simetrik yamaçlar bulunmaktadır. Doğal erozyonla oluşan yamaçların alt kesimlerinde yaklaşık 1 m kalınlığında yamaç molozu birikintileri gözlenmektedir.

JEOTEKNİK İNCELEMELER VE DEĞERLENDİRMELER

Kızıltepe'deki zeminin jeoteknik incelemesi, açılmış olan 4 adet sondaj logu (SMP, 1996) ile bu çalışma kapsamında açtırılan 5 adet 4-5 m derinliğindeki test çukurunun ve bu çukurlardan alınan örneklerin laboratuvarında belirlenen özelliklerinin saha gözlemleri ile birlikte değerlendirilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Test çukurları eğimin fazla ve deformasyona uğrayan konutların bulunduğu kesimlerden alınan profiller üzerinde açılmıştır (Şekil 2). Açılan bu çukurlarda dolgu ve doğal zemin özelliklerinin derinlikle pek fazla değişmediği saptandığından örselenmiş-örselenmemiş örnekler dolgu ve doğal zemini temsil edecek şekilde ayrı ayrı alınmıştır. Dolgu ve doğal zeminden alınan 5'er adet numune üzerinde doğal birim hacim ağırlığı (γ_n , kN/m³), tane birim hacim ağırlığı (γ_s , kN/m³), doğal su içeriği (ω %), likit limit (LL, %), plastik limit (PL, %), 4,76 mm den büyük tanelerin ağırlıkça $\%_c$ miktarı (+4, %), 0,074 mm den küçük tanelerin ağırlıkça $\%_c$ miktarı (-200, %) belirlenmiştir. Yine Standart Proctor Deneviden (SPD) belirlenen optimum su içeriği (ω_{opt} , %) ve buna karşılık gelen maksimum kuru yoğunluk (ρ_{dmax} , gr/cm³), kesme deneylerinden elde edilen kayma dayanımı parametrelerinden kalıcı içsel sürtünme

açısı (ϕ_r -derece) ile kalıcı kohezyon (c_r , kN/m²) belirlenmiştir. Belirlenen tüm bu değerler ile alınan örneklerin Birleştirilmiş Zemin Sınıflama sistemindeki konumları Çizelge 1'de verilmiştir. Diğer taraftan alınan örnekler üzerinde yapılan tek eksenli sıkıştırma deneyi sonuçları da Çizelge 2 ve Şekil 3'te verilmiştir.

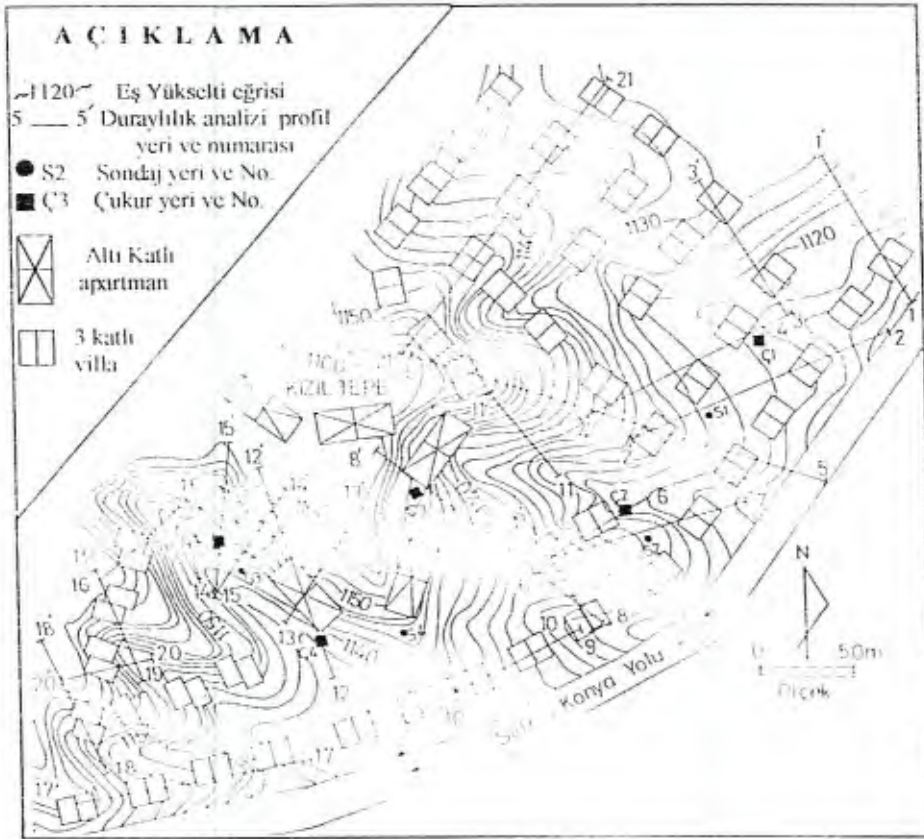
DURAYLILIK ANALİZLERİ

Kızıltepe'de inşa edilen yapılarda oluşan deformasyonların yamaçlarda daha önceden var olan duraysızlıktan mı, yoksa yamaç düzenlemelerinden ve yapılaşmanın getirdiği ek yüklemelerden mi kaynaklandığının aydınlatılması amacıyla, önce doğal yamaçların daha sonrada düzenlenmiş ve yüklenmiş olan yamaçların duraylılıkları incelenmiştir. Eğimin ve deformasyonların fazlaca gözlendiği yapılardan geçecek şekilde 21 profil üzerinde, muhtemel kaymanın oluşabileceği tahmin edilen geniş bir aralıkta 100 ile 200 arasında değişen kayma yüzeyi üzerinde PCSTABLE4 (Kopperman and Carpenter, 1985) programıyla, Modifiye (Bishop, 1955) ve Modifiye (Janbu, 1954) (random ve dairesel kayma yüzeylerine göre ayrı, ayrı olmak üzere) yöntemlerine göre yapılan analizlerden elde edilen en kritik kayma yüzeyine ilişkin güvenlik sayıları profillere göre Çizelge 3 ve 4'te verilmiştir.

Çizelge 1. Doğal ve dolgu zeminin indeks özellikleri.

ZEMİN	Num No	γ_n kN/m ³	γ_s kN/m ³	ω %	LL %	PL %	+4 %	-200 %	ω_{opt} %	ρ_{dmax} gr/cm ³	ϕ_r °	c_r kN/m ²	Sınıfı
DOĞAL	1	17,5	26,95	26	48	26	2	45	20	1,61	24	30	SC
	2	17,5	25,70	24	46	24	8	41	26	1,6	26	28	SC
	3	17,8	26,29	30	45	22	3	45	22	1,67	23	32	SC
	4	18,0	26,45	32	48	25	5	40	30	1,52	27	31	SC
	5	17,7	26,88	23	47	27	9	39	25	1,5	26	29	SM
	Ort.	17,66	26,00	27	47	25	-	-	25	1,58	25	30	-
DOLGU	1	15,7	25,70	32	47	28	6	36	27	1,49	30	35	SC
	2	17,2	25,51	30	46	30	7	34	22	1,53	32	32	SM
	3	17,3	25,31	28	44	25	4	38	26	1,65	28	27	SM
	4	17,0	25,51	29	48	26	3	37	20	1,62	34	30	SC
	5	16,4	25,41	34	48	23	5	36	24	1,55	28	30	SC
	Ort.	16,67	25,51	31	47	26	-	-	24	1,57	30	30	-

SC: kili kum
SM: siltli kum
- : değer yok

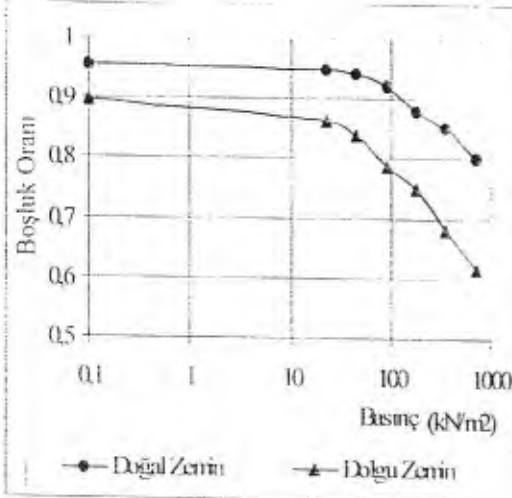


Şekil 2. Duraylılık incelemesi yapılan profil yerleri haritası

Çizelge 2. Doğal ve dolgu zeminlerin fiziksel ve mekanik özellikleri.

Basınç kN/m ²	Doğal Zemin				Dolgu Zemini					
	Boşluk Oranı %			M _{vn}	Boşluk Oranı, %			M _{vf}	M _{vf} /M _{vn}	
	Örn. 1	Örn. 2	Örn. 3		Örn. 1	Örn. 2	Örn. 3			
0	0,96	0,96	0,96	0,96	0,90	0,90	0,90	0,90		
22,2	0,95	0,95	0,94	0,95	1,77	0,86	0,86	0,86	8,25	4,67
44,4	0,94	0,94	0,97	0,94	1,79	0,84	0,84	0,84	6,97	3,85
88,8	0,92	0,92	0,90	0,92	2,08	0,79	0,79	0,79	6,51	3,12
177,0	0,88	0,88	0,92	0,88	2,20	0,76	0,75	0,75	4,38	1,95
355,0	0,85	0,85	0,82	0,85	0,148	0,68	0,67	0,69	3,23	2,18
710,0	0,80	0,79	0,85	0,80	0,112	0,62	0,62	0,62	2,08	1,85

M_{vn}: Doğal zemin hacimsel sıkışma katsayısı (m²/kN)M_{vf}: Dolgu zemin hacimsel sıkışma katsayısı (m²/kN)



Şekil 3. Basınç-boşluk oranı grafikleri

Duraylılık analizlerinde deneylerle belirlenen ve Çizelge 1'de verilen zemin değerleri kullanılmıştır. Doğal zemin için doğal birim hacim ağırlığı $17,8 \text{ kN/m}^3$, dolgu zemin için ise $16,67 \text{ kN/m}^3$ alınmıştır. Yapılan direkt kesme deneylerinden belirlenen kalıcı içsel sürtünme açısı doğal zemin için 25° , dolgu zemin için 29° , kalıcı kohezyon ise dolgu ve doğal zemin için 30 kN/m^2 alınmıştır. Diğer taraftan alınan örneklerde doğal ve dolgu zeminin doygunluk derecesi % 75 düzeylerinde olduğundan incelenen sahada yerel su içeriği artışlarının olabileceği göz önünde bulundurularak içsel sürtünme açısının 5° ve 10° düşmesi durumu içinde çözümler yapılmıştır. Yapılan sondajlarda yeraltı suyuna rastlanmamış, ancak Kızıltepe çevresinde yeraltı su seviyesinin 950 m yüksekliğinde bulunduğu, inceleme alanının hemen dışında yapılan sondaj loglarının incelenmesinden

Çizelge 3. Yamaç duraylılık analizi güvenlik sayıları

Profil No	YAMAÇ											
	Sürtünme açısı= 25°			Sürtünme açısı= 20°			Sürtünme açısı= 15°					
	Yöntem	J-c	B-c	J-r	Yöntem	J-c	B-c	J-r	Yöntem	J-c	B-c	J-r
1	J-c	3,63	4,05	3,82	J-c	3,01	3,33	3,39	J-c	2,45	2,72	2,79
2	J-c	5,36	5,73	6,54	J-c	4,36	4,71	5,61	J-c	3,41	3,77	4,62
3	J-c	4,24	4,63	4,95	J-c	3,52	3,91	4,17	J-c	2,84	3,24	3,25
4	J-c	2,99	3,36	3,31	J-c	2,55	2,87	2,81	J-c	2,11	2,38	2,35
5	J-c	2,24	2,46	2,60	J-c	1,86	2,05	2,22	J-c	1,51	1,66	1,83
6	J-c	2,81	3,18	3,05	J-c	2,41	2,75	2,63	J-c	2,04	2,31	2,25
7	J-c	3,64	4,02	3,69	J-c	3,03	3,30	3,35	J-c	2,44	2,70	3,31
8	J-c	2,74	3,00	3,71	J-c	2,26	2,49	3,04	J-c	1,80	1,99	2,41
9	J-c	3,40	3,73	3,89	J-c	2,89	3,17	3,31	J-c	2,40	2,66	2,75
10	J-c	4,04	4,54	4,94	J-c	3,38	3,86	4,15	J-c	2,76	3,23	3,42
11	J-c	2,60	2,83	3,24	J-c	2,17	2,35	2,72	J-c	1,75	1,91	2,24
12	J-c	2,93	3,23	2,99	J-c	2,40	2,64	2,74	J-c	2,10	2,13	2,25
13	J-c	2,32	2,51	2,52	J-c	1,95	2,14	2,15	J-c	1,60	1,79	1,81
14	J-c	2,17	2,45	2,33	J-c	1,85	2,13	2,04	J-c	1,55	1,79	1,75
15	J-c	2,83	3,07	2,89	J-c	2,37	2,61	2,46	J-c	1,93	2,18	2,03
16	J-c	1,69	1,77	1,77	J-c	1,42	1,55	1,52	J-c	1,20	1,32	1,29
17	J-c	2,87	3,27	3,18	J-c	2,45	2,89	2,19	J-c	2,05	2,43	2,47
18	J-c	2,10	2,30	2,26	J-c	1,81	1,98	1,92	J-c	1,51	1,67	1,60
19	J-c	1,41	1,48	1,39	J-c	1,23	1,31	1,24	J-c	1,06	1,11	1,11
20	J-c	1,85	1,96	2,02	J-c	1,62	1,74	1,77	J-c	1,41	1,50	1,55
21	J-c	3,03	3,35	3,19	J-c	2,61	2,89	2,71	J-c	2,21	2,53	2,25

J-c: Modifiye Janbu yöntemi (kayma yüzeyi dairesel) (Janbu, 1954)

B-c: Modifiye Bishop yöntemi (kayma yüzeyi dairesel) (Bishop, 1955)

J-r: Modifiye Janbu yöntemi (kayma yüzeyi random) (Janbu, 1954)

Çizelge 4. Düzenlenmiş ve yüklenmiş yamaçlara ait duraylılık güvenlik sayıları

Profil No	DÜZENLENMİŞ YAMAÇLAR								
	Sürtünme açısı Zeminde =25° Dolguda =29° Yöntem			Sürtünme açısı Zeminde =20° Dolguda =25° Yöntem			Sürtünme açısı Zeminde =15° Dolguda =20° Yöntem		
	J-c	B-c	J-r	J-c	B-c	J-r	J-c	B-c	J-r
1	3,84	4,16	4,21	3,27	3,54	3,55	2,66	2,95	2,94
2	4,58	5,00	4,65	3,86	4,21	3,87	3,15	3,43	3,12
3	3,36	3,74	3,40	2,87	3,22	2,87	2,41	2,70	2,38
4	2,40	2,90	2,50	2,07	2,34	2,15	1,76	1,99	1,82
5	1,99	2,27	2,05	1,70	1,94	1,76	1,42	1,60	1,45
6	1,68	1,91	1,71	1,53	1,69	1,52	1,34	1,50	1,34
7	3,39	4,27	4,21	3,25	3,58	3,50	2,65	2,94	2,84
8	2,72	2,96	2,80	2,25	2,47	2,31	1,80	2,01	1,84
9	2,60	2,89	2,57	2,21	2,50	2,20	1,83	2,13	1,87
10	3,70	4,19	3,61	3,27	3,68	3,13	2,83	3,15	2,67
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	2,21	2,51	2,68	2,21	2,51	2,68	1,46	1,65	1,84
13	2,46	2,65	2,52	2,09	2,28	2,14	1,72	1,92	1,84
14	2,05	2,20	2,00	1,73	1,88	1,71	1,44	1,59	1,44
15	2,00	2,12	1,99	1,68	1,78	1,69	1,38	1,46	1,41
16	1,38	1,45	1,37	1,20	1,26	1,18	1,03	1,08	1,01
17	3,72	4,14	4,03	3,10	3,45	3,39	2,47	2,81	2,76
18	2,18	2,36	2,55	1,87	2,01	2,16	1,58	1,69	1,80
19	1,15	1,21	1,28	1,03	0,82	0,90	0,91	0,95	1,00
20	1,49	1,53	1,46	1,29	1,32	1,27	1,10	1,13	1,09
21	1,93	2,22	2,20	1,65	1,89	1,91	1,39	1,58	1,65

J-c: Modifiye Janbu yöntemi (kayma yüzeyi dairesel) (Janbu, 1954)

B-c: Modifiye Bishop yöntemi (kayma yüzeyi dairesel) (Bishop, 1955)

J-r: Modifiye Janbu yöntemi (kayma yüzeyi random) (Janbu, 1954)

- Değer yok

anlaşılmıştır. Kızıltepe'nin en yüksek noktası deniz seviyesinden 1168 m, taban seviyesi ise 1110 m'dir. Yeraltı suyu seviyesi yüksekliğinin de 950 m de olduğu göz önünde bulundurularak duraylılık analizlerinde, gözenek suyu basıncı parametresi 0 olarak alınmıştır. Diğer taraftan yamaçlardaki yapılaşmadan dolayı zemine aktarılan yükler için triplex villalarda 50 kN/m², 6 katlı apartmanlarda ise 150 kN/m² basınçları kullanılmıştır.

DEĞERLENDİRME

DOĞAL VE DOLGU ZEMİNİN JEOTEKNİK DEĞERLENDİRİLMESİ

Yerleri Şekil 2'de verilen S1 ve S4 sondajları Topraklı formasyonu içerisinde açılmış olup yüzeye yakın kesimlerde (0-4 m arasında) Standart penetrasyon darbe sayısı (SPT) 7, 4 ile 6 m arasında 13, 6 ile 10 m arasında ise 30 civarındadır. S2 ve S3 sondajla-

rında ise 5-8 m arasında kesilen Topraklı formasyondan sağlanan kırmızı yer, yer çakıllı, killi siltli kum dolgu altında yine aynı litolojili Topraklı formasyonu kesilmiştir. Dolgu zonlarında ise SPT değerinin ortalama 7 olduğu (5 ile 9 arasında değişmektedir) belirlenmiştir.

İncelenen alanda doğal zeminin doğal birim hacim ağırlığı ($\gamma_{m\text{-doğal}}$) 17,5 -18,0 kN/m³, tane birim hacim ağırlığı ($\gamma_{s\text{-doğal}}$) ise 25,7-27,0 kN/m³ arasında değişmektedir. Zeminin likit limiti %47, plastik limiti ise %25 civarındadır. Örneklerin Birleştirilmiş Zemin Sınıflamasındaki konumu genelde SC (Killi kum) nadiren de SM (siltli kum) dir. Zeminin kayma dayanımı değerlerinden kalıcı içsel sürtünme açısı ($\phi_{r\text{-doğal}}$) 25°, kohezyon ise ($c_{r\text{-doğal}}$) 30 kN/m² dir. Beş dolgu zemin örneği üzerinde yapılan deneylerde ise tabii birim hacim ağırlık ($\gamma_{m\text{-dolgu}}$) 16,7 kN/m³ (15,7-17,3 kN/m³ arasında değişir) tane birim hacim ağırlığı ($\gamma_{s\text{-dolgu}}$) 25,5 kN/m³ (25,3-25,7 kN/m³ arasında değişir), likit limit (LL) %47, plastik limiti (PL) %26 olarak tespit edilmiştir. Dolgu zeminin Birleştirilmiş Zemin Sınıflama sistemine göre sınıfı genelde siltli kum (SM) nadiren de killi kum (SC)'dur. Yapılan Standart Proctor Deneylerinde ortalama optimum su içeriği doğal zeminde ($\omega_{opt\text{-doğal}}$) %25, dolguda ($\omega_{opt\text{-dolgu}}$) %24, ortalama maksimum kuru yoğunluk, doğal zeminde ($\rho_{dmax\text{-doğal}}$) 1,58 gr/cm³, dolguda ($\rho_{dmax\text{-dolgu}}$) 1,57 gr/cm³ olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 1).

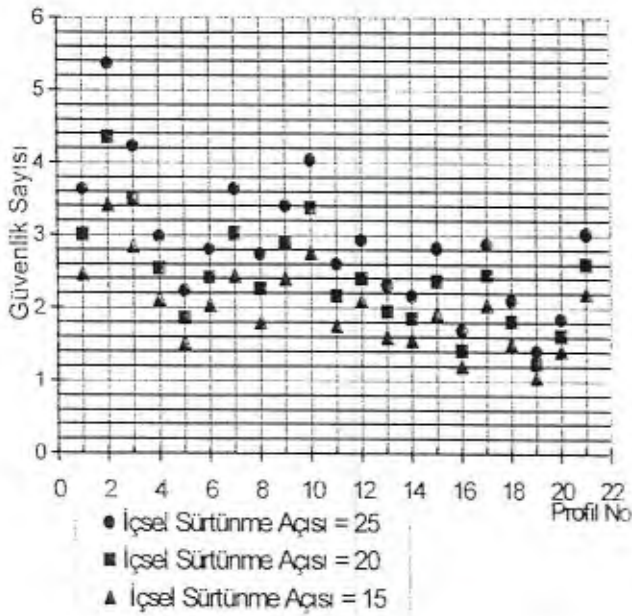
Verilen değerlerden de anlaşılacağı üzere gerek dolgu gerekse doğal zemin, genelde siltli-killi kumdur. Dolgu ile doğal zemine ilişkin belirlenen jeoteknik parametrelerin hemen, hemen aynı olması ve dolgu malzemesinin sağlanması hususunda edinilen bilgiler birlikte değerlendirildiğinde; yamaç düzenlemeleri sırasında kazılan malzemenin dolguda kullanıldığını ortaya koymaktadır. Diğer taraftan dolgu zeminin arazideki su içeriği %31, bu zeminin optimum su muhtevası da %24'tür. Ancak dolgu zeminin kuru yoğunluğu 1,3 gr/cm³, Proctor maksimum kuru yoğunluğu ise 1,57 gr/cm³'tür. Doğal zemin kuru yoğunluğunun (1,3 gr/cm³) dolgu zemin Proctor maksimum kuru yoğunluğa (1,57 gr/cm³) oranı olan sıkışma derecesi ($1,3/1,57 = 0,83$) % 83 olarak belirlen-

miştir. Bu durum dolgu zeminin üzerinde yeteri kadar sıkılmanın yapılmadığını göstermektedir. Yine Standart Penetrasyon darbe sayıları (SPT) doğal zeminde yüzeye yakın kesimlerde (0-4 m arasında) daha düşük (SPT=7), derinlerde ise (>4m) daha yüksektir (SPT= 30). SPT değerinin dolgu zemininde 7 civarında olması dolgunun, doğal zemine göre daha gevşek olduğunu göstermektedir. Doğal zemin SPT değerine göre, yüzeye çok yakın kesimlerde (0-2 m arasında) gevşek, 2-4 m arasında orta-sıkı, derinlerde ise (>6m) sıkı durumdadır. Dolgu ise yüzeye çok yakın kesimlerde (0-2 m arasında) çok gevşek-gevşek, daha derinlerde (>2m) ise gevşek durumdadır. Dolgu ve doğal zeminden alınan örnekler üzerinde yapılan üçer tane tek yönlü sıkıştırma deneylerinden elde edilen basınç boşluk oranı çizelge ve grafikleri (Çizelge 2, Şekil 3) incelendiğinde aynı basınç kademesinde dolguda sıkışmanın daha fazla olduğu görülmektedir.

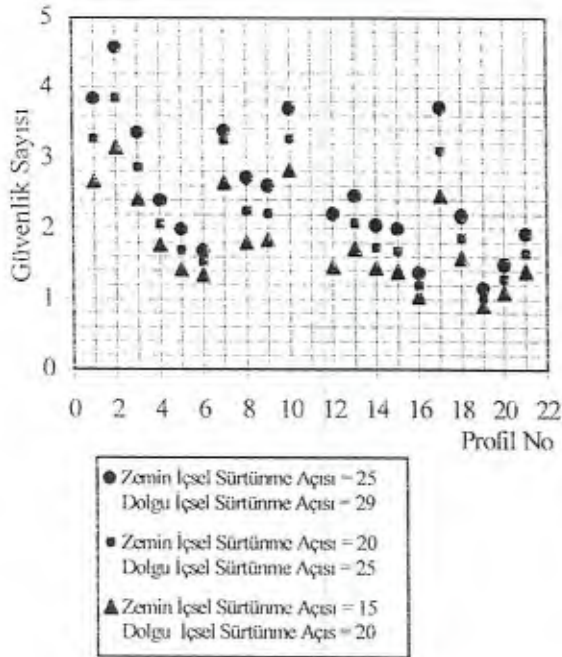
DURAYLILIK DEĞERLENDİRMESİ

Zemin şartlarının homojen olduğu yamaçlarda kaymaya karşı güvenlik sayısının 1,25-1,3'e kadar düşürülebileceği (Jhonson ve Graff 1994) ancak uzun süre dengede kalması istenen şevlerde bu sayının 1,5 olabileceği göz önüne alınarak, duraylılık analizlerinden elde edilen güvenlik katsayılarının profillere göre dağılım grafiği incelendiğinde (Şekil 4) doğal yamaçlarda duraysızlığın olmadığı anlaşılmaktadır. İçsel sürtünme açısı 20°'ye düşürüldüğünde 19 numaralı profilde, 15°'ye düşürüldüğünde ise 16 ve 19 numaralı yamaç profillerinde limit denge durumuna yaklaşılmaktadır. Bu veriler doğal yamaçların düzenlenmeden ve yüklenmeden önce duraylı olduklarını göstermektedir.

Düzenlenen yamaçlar üzerine inşa edilen yapılar- dan kaynaklanan ek yükler altındaki yamaç duraylılık analizlerinden elde edilen ve Çizelge 4'te verilen en düşük güvenlik sayıları incelendiğinde Modifiye Janbu (Janbu, 1954) yönteminden (kayma yüzeyi dairesel) hesaplanan güvenlik sayılarının daha düşük olduğu görülmektedir. Söz konusu bu düşük güvenlik sayılarının profillere göre çizilen grafiği (Şekil 5)



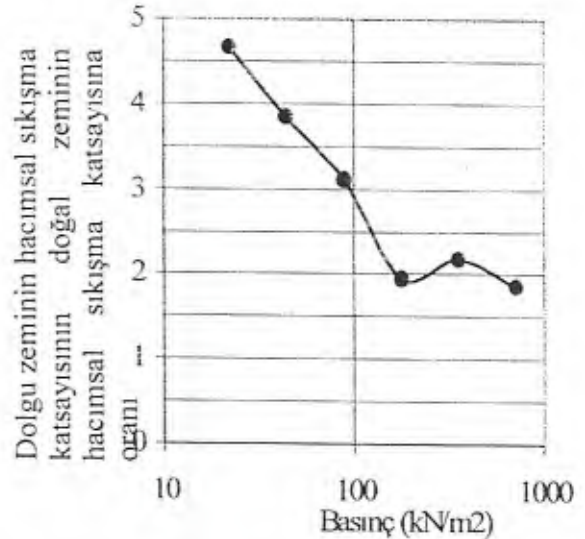
Şekil 4. Doğal yamaçlarda hesaplanan yamaç stabilite güvenlik sayıları



Şekil 5. Düzenlenmiş ve yüklenmiş yamaçlarda hesaplanan stabilite güvenlik sayıları.

incelendiğinde $\phi_{\text{doğal}}=25^\circ$, $\phi_{\text{dolgu}}=29^\circ$ olması durumunda sadece 19 numaralı şevde limit dengeye ulaşılmaktadır. 16 ve 19 numaralı şevlerde güvenlik sayısı 1,2-1,4 arasında, diğer şevlerde ise güvenlik sayıları genelde 1,5'den daha büyüktür. İçsel sürtünme açısı $\phi_{\text{doğal}}=20^\circ$, $\phi_{\text{dolgu}}=25^\circ$ alındığında ise 16, 19, 20 numaralı şevlerde limit denge durumuna ulaşılmakta, geriye kalan diğer şevlerde ise güvenlik sayısı 1,4'den büyük olmak üzere duraylı durumdadırlar. $\phi_{\text{doğal}}=15^\circ$, $\phi_{\text{dolgu}}=20^\circ$ 'ye düşürüldüğünde ise 16 ve 19 numaralı şevlerde duraysızlığın olduğunu gösteren güvenlik sayıları elde edilirken, diğer şevlerde ise duraylılık söz konusudur. Ancak, sadece yukarıda söz edilen duraysızlık veya limit denge durumuna ulaşmış profillerde değil diğer profillerin üzerinde bulunan yapılarda da çatlak oluşumları saptanmıştır. 16, 19, 20 numaralı şevler üzerinde bulunan yapılarda oluşan çatlaklarda kaymanın etkisi olabilir. Ancak diğer yapılarda oluşan çatlakları şev duraysızlıklarıyla açıklamak mümkün görülmemektedir. Arazi çalışmalarında da kayma izleri gözlenememiştir.

Diğer taraftan dolgu ve doğal zeminden alınan örnekler üzerinde yapılan sıkıştırma deneylerinden hesaplanan ortalama hacimsel sıkıştırma değerleri ile



Şekil 6. Doğal ve dolgu zeminlerin hacimsel sıkıştırma katsayılarının birbirine oranları-Basınç ilişkisi

dolgu ve doğal zeminlerin hacimsel sıkışma katsayılarının aynı basınç kademelerindeki oranları incelendiğinde (Çizelge 2, Şekil 6) $44,4 \text{ kN/m}^2$ basınç kademesinde dolgu ve doğal zemin hacimsel sıkışma katsayısı oranının yaklaşık $3,85 \cdot 10^{-7}$ dolayında olduğu görülmektedir. Bu durum; kısmen dolgu kısmen de doğal zemin üzerine oturan yapıların farklı oturmalarına maruz kalacağını göstermektedir. Örneğin 6 numaralı şevin aşağı seviyelerinde 4 m kalınlığında dolgu yapılmış olup üzerine inşa edilen 22 m uzunluğundaki yapının 12 m'si bu dolgu üzerinde diğer 10 m'si ise doğal zemin üzerindedir. 50 kN/m^2 basınçta dolgunun fazla olduğu alt kesimlerde oturma yaklaşık olarak 12,37 cm, yukarı kesimlerinde ise 3,18 cm'dir. 20 m genişliğindeki yapının iki ucu arasında oluşan oturma farkı 9,2 cm dir. 1/130 değerindeki bu açısal sapma ise binalarda çatlama oluşacağını (Mc Donald and Skempton, 1955) göstermektedir. Kızıltepe'de yapılan dolgu kalınlığının yer, yer 6-8 m'ye kadar çıktığı göz önüne alındığında farklı oturmaların daha da büyüyeceği aşikardır. Genel olarak yapısal zarar tehlikesinin 1/150 açısal distorsiyon limitinde (Bjerrum, 1963; Wahls, 1981) olduğu göz önüne alındığında Kızıltepe'de inşa edilen yapılarda oluşan çatlamalarda ve yapıların düşeyden saptmalarında farklı oturmaların asıl faktör olduğu söylenebilir. 12 numaralı profil üzerinde başlangıçta bitişik olarak inşa edilmiş olan 6 katlı ikiz apartmanın güney bloğu ile kuzey bloğu arasındaki açıklık 6. katta 9 cm olarak ölçülmüştür. Bunlardan güney blok 3 m kalınlığındaki dolgu üzerine, kuzey blok ise doğal zemin üzerine oturtulmuştur. 3 m kalınlıkta güney bloktaki oturma 22,63 cm, kuzey blokta ise 9,68 cm dir. 20 m de 13 cm'ye varan farklı oturma yaklaşık 20 m yüksekliğindeki 6 katlı apartmanın üst seviyelerinde 10-15 cm civarında açıklığın olmasını gerektirmektedir. Hesaplanan değer ile ikiz bloklar arasındaki açıklığın yaklaşık olması binadaki düşeyden saptmada farklı oturmaların asıl etken olduğunu göstermektedir. Kızıltepe'de inşa edilen yapılarda oluşan deformasyonların önüne geçilebilmesi için temel zemini enjeksiyonlarla iyileştirilmiş ilave olarak dre-

naj kanalları ve istinat duvarları inşa edilmiştir. 11 numaralı profil üzerindeki eğilen 6 katlı blok ise tamamen yıkılmıştır. Diğer taraftan onarılamayacak boyutta ve miktarda çatlakların olduğu villalardan da iki tanesi yıkılmıştır. Dolgu temel zemini elde edilmesi hususunda bilinen basit ve maliyeti düşük prensiplerin uygulanmaması sonucunda Kızıltepe'de inşa edilen yapılarda deformasyonlar oluşmuştur. Söz konusu deformasyonlardan dolayı yıkılan yapılar ile zemin iyileştirilmeleri için harcanan mali kaynak 1.300.000\$ mertebesindedir.

SONUÇLAR

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

1. Yapılan eğim analizlerinde: Kızıltepe yamaçlarının genelde az eğimli (eğim $<5\%$) olduğu, ancak güney ve batı orta kesimlerinde ise orta derecede eğimli (eğim $5-15\%$) simetrik yamaçların bulunduğu belirlenmiştir.
2. Kızıltepe'de zemin genelde siltli killi kum olduğu belirlenmiştir. Zeminin kalıcı kohezyonu 30 kN/m^2 , içsel sürtünme açısı ise 29° dir.
3. Yapılan duraylılık incelemelerinde, doğal yamaçların duraylı oldukları belirlenmiştir.
4. Düzenlenmiş ve yüklenmiş yamaçlarda yapılan stabilite analizlerinde iki profilde limit denge durumu saptanırken diğer yamaçlarda ise yamaç kayma güvenlik sayısının 1.5 dan daha büyük olduğu belirlenmiştir.
5. 44 kN/m^2 basınç altında, dolgu zemini hacimsel sıkışma sayısının doğal zemin hacimsel sıkışma sayısına oranı yaklaşık 4 olduğu belirlenmiştir.
6. Kızıltepe üzerine inşa edilen yapılarda oluşan deformasyonlarda yamaç kaymalarının asıl etken olmadığı, kısmen doğal kısmen de dolgu zemin üzerine oturtulan yapılarda oluşan deformasyonlar dolgu ve doğal zeminlerde oluşan farklı miktardaki oturmalarla kaynaklandığı ortaya konulmuştur.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Bishop, A. W. , 1955. The use of slip circles in stability analysis of earth slopes. *Geotechnique*, 5, 7-17 pp.
- Bjerrum, L., 1963. Allowable settlement of structures. Proceedings, European conference on soil mechanics and foundation engineering, Wiesbaden, Germany, Vol. III, 135-137 pp.
- Bowles E., J., 1982. *Foundation Analysis and Design*. McGraw-Hill Book Company, where814p.
- Eren, Y., 1993. Konya Kuzeybatısında Bozdağlar Masifinin otokton ve örtü birimlerinin stratigrafisi. *TJB*. 36-2 , 7 s.
- Janbu, N. , 1954. Application of composite slip circles for stability analysis, proc. European conf. on stability of Earth slopes, Stockholm, 4, 43-49 pp.
- Jhonson, R., B. and Graff J., V. , 1994. *Engineering Geology a Laboratory Manual*. Macmillan Publishing Company, New-York, 190 p.
- Kopperman, S. and J., R., Carpenter 1985. *PCSTABLE4 User's Manual*. Federal Highway Administration report FHWA-TS-85-229, Washington, D.C., 100 p.
- Mc Donald, D.,H., and A. W Skempton, 1955. A Survey of comparisons between calculated and observed settlements of structures on clay; conference on correlation of calculated and observed stresses and displacements. ICE, London, 318-337 pp.
- Özdemir, A., 1984. Sille-Meram (Konya) Sahası jeoloji ve zemin incelemesi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü., Konya, Yüksek Mühendislik Tezi, Konya, 155 s (yayınlanmamış).
- SMP (Soil Mechanics Piling) , 1996. Komvilev Villaları zemin araştırma sondaj logu. SMP Müh Ltd. Şti, Ankara, 10s, (yayınlanmamış).
- Wahls, H. E., 1981. Tolerable settlement of buildings. *Journal of the Geotechnical Engineering Division, American Society of civil Engineers*, 107, No. GT11, 1489- 1504 pp.

Nokta yükleme deneyi ile ilgili uygulamada karşılaşılan problemler

Problems faced in the applications of the point load index test

Tamer TOPAL

ÖZ

Nokta yükleme deneyi, iki konik uç arasına yerleştirilen kayaç örneğinin kırılması esasına dayanmaktadır. Yenilme yükü ve örnek boyutları kullanılarak bulunan nokta yükleme dayanım indeksi çeşitli amaçlarla mühendislik jeolojisi çalışmalarında kullanılmaktadır. Bu makalede, nokta yükleme deneyi ile ilgili uygulamada karşılaşılan aletsel ve kullanıcıyı ilgilendiren problemler tartışılmıştır. Yazarın uygulamada elde ettiği deneyimleri sonucu, standart deney formuna kayacın "D" boyutu, kırılma zamanı ve yüzde olarak yenilme yüzeyindeki sürek-sizliğin ve kayaç dokusunun kontrolü hakkındaki bilgilerin eklenmesi önerilmiştir. Tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_c) - nokta yükleme dayanım indeksi ($Is_{(50)}$) oranının (k) değişik kayaçlar için çok geniş bir aralıkta değişmesi nedeniyle, mühendislik projelerinde bu oran ayrıca belirlenmelidir. Bu çalışmada, tüfler için kullanılabilircek yüksek korelasyon katsayısı veren (σ_c)-($Is_{(50)}$) ilişkisi sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: k-değeri, Mühendislik jeolojisi, Nokta yükleme dayanım indeksi, Tek eksenli sıkışma dayanımı, Tüf

EXTENDED ABSTRACT

The point load index test is based on the principle that rock sample is broken between two conical platens. Failure load and specimen dimensions are used to calculate the point load strength index and this index is used in engineering geological studies. In this paper, the problems related to the point load testing device and the common mistakes of the users are discussed. Based on the experience of the author, a proposal for including "D" dimension of the rock, failure time, and textural and structural information of the failure surface of rock in the point load test form is given. k-value, defining the ratio between the uniaxial compressive strength ($s\sigma_c$) and the point load strength index ($Is_{(50)}$), varies significantly for different rocks. Therefore, k-values for different rocks should be assessed for engineering projects. In this study, a linear relationship with high correlation coefficient between (σ_c) and ($Is_{(50)}$) is given for tuffs.

Key words: Engineering geology, k-value, Point load strength Index, Tuff, Uniaxial compressive strength.

GİRİŞ

Nokta yükleme deneyi günümüzde mühendislik jeolojisi ile ilgili çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu deney ile iki konik uç (platen) arasında

sıkıştırılan kayaç örneğinin yenilme yükü ve boyutları kullanılarak nokta yükleme dayanım indeksinin hesaplanması amaçlanmaktadır. Elde edilen nokta yükleme dayanım indeksi, kayaçların tek eksenli sıkışma ve çekme dayanımlarının dolaylı olarak belir-

T. TOPAL: Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06531, Ankara

lenmesinde (Broch ve Franklin, 1972; Bieniawski, 1975; Al-Jassar ve Hawkins, 1979; Norbury, 1986; Wijk, 1980), kayaçların malzeme özelliği açısından dayanımlarına göre sınıflandırılmasında (Guidicini vd., 1973; Bieniawski, 1975), kayaç anizotropisinin saptanmasında (Greminger, 1982; Broch, 1983), RMR kaya kütlesi sınıflamasında (Bieniawski, 1989), tünel açma makinası hızının tahmininde (McFeat ve Tarkoy, 1979), kayaçların kazılabilirlik açısından sınıflamalarında (Pettifer ve Fookes, 1994), ve kayaçların dış etkilere karşı dayanıklılığı ile ilgili çalışmalarda (Fookes vd., 1988; Rodrigues ve Jeremias, 1990) kullanılmaktadır. Genelde kayaçlar için önerilen bu deney, beton üzerinde de uygulanmıştır (Robins, 1980).

Nokta yükleme aletinin hafif ve taşınabilir olması, deneylerin hem laboratuvarında, hem de arazi koşullarında yapılabilmesini sağlamaktadır. Ucuz bir deney olması ve hızlı sonuç alınması nedeniyle, bu yöntem jeoteknik karot loglamasında da kullanılmaktadır (BSI, 1981; Hawkins, 1986). Karot örneği üzerinde çapsal ve ekstenel olarak; laboratuvarında hazırlanmış düzgün blok ve düzensiz örnekler üzerinde, örnek boyutları dikkate alınarak, nokta yükleme deneyi yapılabilmektedir. İlk defa Broch ve Franklin (1972) tarafından önerilen bu deney, ISRM (1972) ve Anon (1972) tarafından da kabul görmüştür. Daha sonraki yıllarda yapılan çalışmalar çerçevesinde, günümüzde yaygın olarak kullanılan uluslararası yöntem (ISRM, 1985) oluşmuştur.

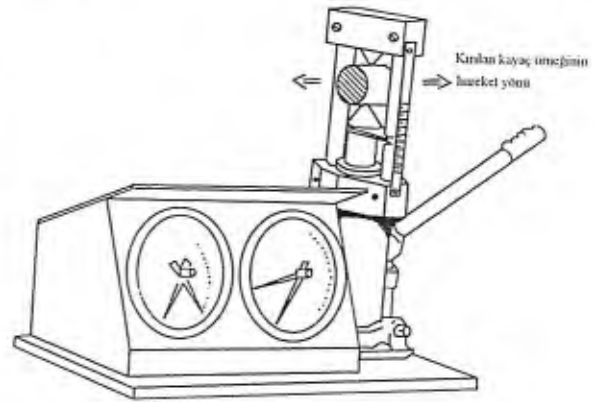
Bu yazının amacı, yazarın çeşitli mühendislik jeolojisi çalışmaları sırasında nokta yükleme deneyi ile ilgili elde ettiği deneyimlerin ve karşılaşılan problemlerin aktarılmasıdır.

NOKTA YÜKLEME DENEYİ

Bu bölümde Uluslararası Kaya Mekaniği Birliği'nin (ISRM, 1985) kabul ettiği ve günümüzde yaygın olarak kullanılan önerisi özetle verilmiştir. ISRM (1985) önerisi dikkate alınarak, Türkçe olarak yazılmış nokta yükleme deneyinin ayrıntıları Ulusay vd. (1997) ile Ünal ve Tutluoğlu (1986)'dan sağlanabilir.

Deney Düzenegi

Nokta yükleme deney aleti, yükleme sistemi (yükleme gövdesi, yükleme pompası, ve iki konik uç), yük göstergeleri (düşük ve yüksek basınç için), ve deney esnasında konik uçlar arasındaki uzaklığı ölçen ölçüm sisteminden oluşur (Şekil 1). Ayrıca, kayaç örneğinin boyutlarını ölçebilmek için ölçüm kumpası (tercihen 0.01 mm veya 0.1 mm hassasiyetinde) gereklidir.



Şekil 1. Nokta yükleme deney aleti (ELE, 1990).

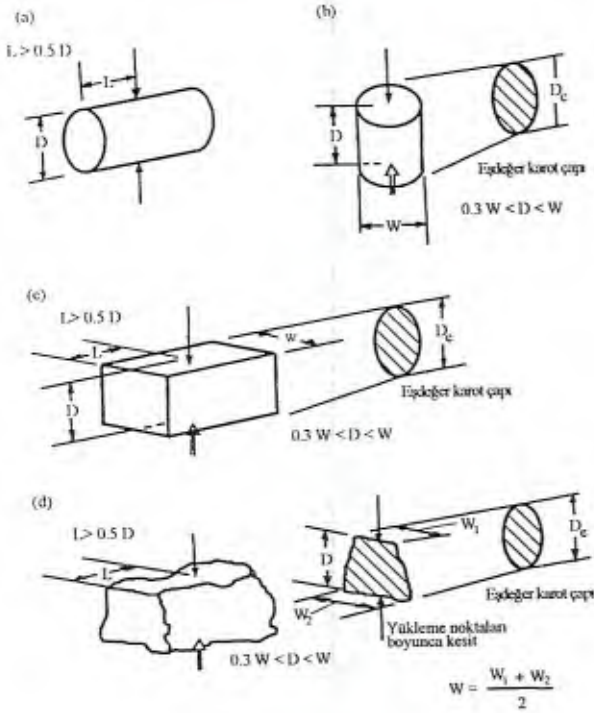
Deney Yöntemi

Nokta yükleme deneyinde karot örnekler (çapsal ve ekstenel deneyler için), kesilmiş blok örnekler veya düzensiz boyutlu örnekler kullanılabilir. Deney tiplerine göre gerekli olan örnek boyutları Şekil 2'de verilmiştir. Boyutları ölçülen ve konik uçlar arasına yerleştirilen kayaç örneği belirli bir süre içerisinde kırılır ve yenilme yükü, yük göstergesinden okunur.

Hesaplamalar

Nokta yükleme deneyinden elde edilen yük (P) ve örnek boyutları (D, W) kullanılarak, öncelikle düzeltilmemiş nokta yükleme dayanımı (Is) bulunur. Bunun için aşağıda verilen eşitlik kullanılır.

$$I_s = P/D_c^2 \quad (1)$$



Şekil 2. Nokta yükleme deneyi için gerekli (a) çapsal; (b) aksenal; (c) blok; ve (d) düzensiz örnek boyutları (ISRM, 1985).

Burada D_c eşdeğer karot çapıdır. Çapsal deneylerde;

$$D_c^2 = D^2, \quad (2)$$

aksenal deneyler ile blok veya düzensiz boyutlu örneklerde;

$$D_c^2 = 4A/\pi, \quad (A = W \cdot D) \quad (3)$$

ifadeleri kullanılır. Burada (A) değeri, konik uçların değme noktalarından geçen örnek düzleminin en küçük kesit alanıdır. Deney, değişik eşdeğer çaptaki (D_c) örnekler üzerinde yapılabilmektedir. Bu durum ise düzeltilmemiş nokta yükleme dayanımını (I_s) değiştirmektedir. Bu nedenle, standart bir nokta

yükleme dayanım indeksi (I_{s50}) bulabilmek için I_s değeri, 50 mm olarak belirlenmiş eşdeğer bir karot çapına ($D = 50$ mm) göre düzeltilmektedir. Bunun için literatürde çeşitli yöntemler önerilmiştir (Broch ve Franklin, 1972; Hassani vd., 1980; Brook, 1980 ve 1985; Türk ve Dearman, 1985 ve 1986; ISRM, 1985; Türk, 1988). Ancak, pratik olması nedeniyle aşağıda verilen formül ISRM (1985) tarafından önerilmiş ve yaygın bir şekilde kullanılmaktadır:

$$I_{s(50)} = F * I_s \quad (4)$$

Burada (F) düzeltme faktörü olup aşağıda verilen eşitlik yardımıyla bulunabilir.

$$F = (D_c/50)^{0.45} \quad (5)$$

Ortalama $I_{s(50)}$ değerini bulabilmek için bir kayaç üzerinde en az 10 adet geçerli deney yapılmalıdır. En düşük ve en yüksek ikişer değer gözardı edilerek geriye kalan değerlerin ortalaması alınır. Örnek sayısı 10'dan az ise, en yüksek ve en düşük değerler gözardı edilir ve geriye kalan değerlerin ortalaması alınır.

Nokta yükleme dayanımı anizotropi indeksini ($I_{a(50)}$) bulabilmek için, zayıflık düzlemine (tabaka, eklem, foliasyon, v.b.) dik ve paralel yönde ölçülen $I_{s(50)}$ değerlerinin oranı kullanılır. Kayacın izotropik olduğu durumlarda $I_{a(50)} = 1$; anizotropik olduğu durumlarda ise $I_{a(50)} > 1$ olur. ISRM (1985)'in önerdiği deney formu ve hesaplama yöntemine ait uygulama Ulusay vd. (1997) tarafından verilmiştir.

UYGULAMADA KARŞILAŞILAN PROBLEMLER

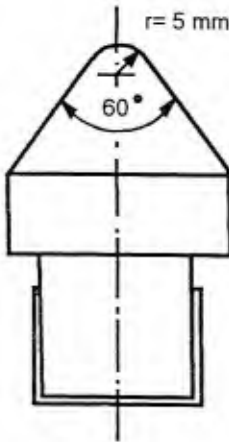
Bu bölümde, yazarın nokta yükleme deneyi ile ilgili çeşitli mühendislik projelerinde karşılaştığı problemler, deneyimleri aktarılmış ve örnekler verilmiştir. İlk kısımda dikkat edilmesi gereken aletsel prob-

lemler tartışılmış, daha sonra ise kullanıcıyı ilgilendiren hususlar üzerinde durulmuştur.

Aletsel Problemler

Nokta yükleme aleti boyutunun küçük ve basit çalışma prensibine sahip olması nedeniyle yerli ve yabancı firmalar tarafından imal edilebilmektedir. Bununla birlikte, zaman zaman ucuz ancak standartlara uygun olmayan aletlerde üretilebilmektedir. Deney sonuçlarını etkilemesi açısından bu aletlerle ilgili önemli görülen hususlar aşağıda belirtilmiştir:

Konik uçlar: ISRM (1985)'e göre konik uçlar 60° 'lik bir açıya sahip ve uç kısmının yarıçapı 5 mm olmalıdır (Şekil 3). Özellikle bazı deney aletlerinde konik uçlar 60° 'lik bir açıya sahip olmakla beraber, uçları keskin ve sivridir. Bu nedenle standartlara uymamaktadır. Bu hususun mutlaka kontrol edilmesi gerekmektedir. Diğer bir husus ise, konik uçların yeterince sertleştirilmemiş çelikten yapılmasıdır. Orta dayanımlı bir kayaç örneği kullanıldığında dahi 20-25 deney sonrası konik uçta kütleşme (düzleşme) meydana gelmekte, bu da yükün daha geniş alana uygulanması anlamına gelmektedir. Böylece olması gerekenden daha yüksek bir yenilme yükü elde edilmektedir. Uluslararası standarda göre üretilmiş aletlerle, yüksek-çok yüksek dayanımlı kayaçlar üzerinde yapılan deneyler sonrası dahi, zaman içinde standart konik uçta kütleşme meydana gelebilmektedir.



Şekil 3. Konik uç boyutları (ISRM, 1985).

Kumtaşı, dolerit, mermer ve kireçtaşlarında bu durum bizzat yazar tarafından gözlenmiştir. Bu nedenlerle yumuşak çelikten yapılmış konik uçlar kullanılmamalıdır. Kullanılan konik uçlar devamlı kontrol edilmeli ve uç kısımlarında kütleşme olmadığından emin olunmalıdır. Ayrıca, çok yüksek dayanımlı kayaçlarla çalışırken mümkünse NX (54 mm) boyutundan daha büyük örnekler kullanılmamalıdır. Böylece yenilme yükü nisbeten azalacak ve konik uçlardaki kütleşme daha uzun bir zaman aralığına yayılacaktır. Buna ek olarak, gerektiğinde kullanılmak üzere standartlara uygun yedek konik uç bulundurulmalıdır.

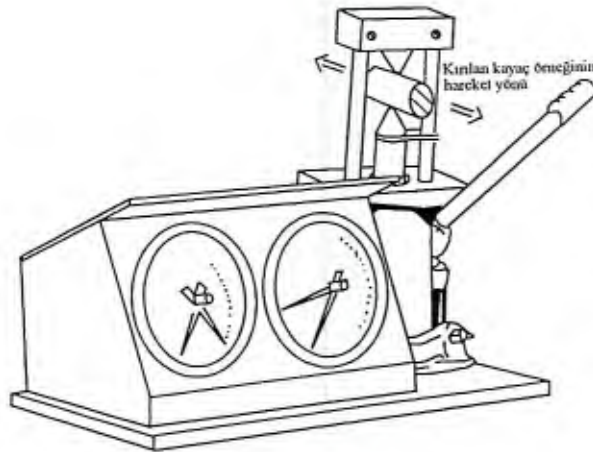
Yağ kaçırma: Nokta yükleme aleti, haznesindeki hidrolik yağ basıncını konik uçlara aktararak bu uçların hareketini sağlamaktadır. Alette zaman içinde meydana gelebilecek muhtemel yağ sızıntıları dikkatle incelenmelidir. Yağın eksilmesi, basıncın yanlış okunmasına neden olacaktır. Bu durumda yağ sızıntısı giderilmeli ve gerekli miktarda yağ hazneye eklenmelidir.

Gösterge hatası: Nokta yükleme aletinde küçük (0-5.5 kN kapasiteli, 0.1 kN hassasiyetli) ve büyük (0-55 kN kapasiteli, 1 kN hassasiyetli) yükleri okuyabilecek iki ayrı gösterge bulunmalıdır. Deney sırasında örnekler hızlı kırıldığından, yenilme yükünü gösteren "sabit çubuk" her iki gösterge içerisinde bulunmalıdır. Deney sırasında uygulanan kuvvetin yükselmesiyle küçük kuvvet göstergesi, bazı aletlerde olduğu gibi, el kumandalı bir sistem yerine, otomatik olarak devreden çıkmalıdır. El kumandalı sisteme sahip aletlerin kumanda kilidinde çok sık bozulmalar olmakta ve küçük kuvvet göstergesinin arızalanmasına neden olmaktadır. Deney aletini mutlaka mühendis veya çok tecrübeli bir teknisyen kullanmalıdır. Her deneyden sonra göstergeler incelenmeli ve göstergelerin sıfır değerine indiğinden emin olunmalıdır. Sıfır değerine inmemesi, göstergelerin bozulduğu anlamına gelir ve bu durumda yanlış okuma verir. Bu durumdaki göstergeler derhal değiştirilmelidir.

Yıllık bakım: Nokta yükleme aleti çok sık kullanılması nedeniyle yıllık bakımdan geçirilmelidir. Sadece göstergelerin doğru çalışıp çalışmadığı değil, konik uçlar arasındaki yük ile göstergede elde edilen yükler aynı değeri vermelidir.

Örnek kalınlığını belirten ölçek: Özellikle zayıf kayalarda yapılan deneyler sırasında, konik uçların kayaç örneğinin içine birkaç milimetre girmesi muhtemeldir. Gerçek " D_c " değerinin belirlenebilmesi için kırılma zamanındaki " D " mesafesi alet üzerindeki ölçü çubuğu yardımıyla kolaylıkla okunabilmektedir. Konik uçlar birbirine değerken, ölçü çubuğu sıfır değerini göstermelidir. Bu durum, belirli zaman aralıklarında kontrol edilmelidir.

Yanlış alet tasarımı: Nokta yükleme aletindeki örnek yerleştirme kısmının yönü son derece önemlidir. Son yıllarda üretilen aletlerin küçük boyutlu (kompakt) olması nedeniyle kullanıcı, kırılma bölgesine daha yakındır. Deney aletinin tasarımında, kırılan örnekler kullanıcıya zarar vermeden sağa ve sola gitmelidir. Ancak bazı deney aletlerinin gövde kısmında yapılan yanlış tasarım nedeniyle kırılan kayaç örneklerinin bazı parçaları kullanıcıya doğru gelmekte (Şekil 4) ve kullanıcının zarar görmesine neden olabilmektedir. Nokta yükleme aleti ile birlikte verilen plastik gözlükler bu problemi çözmekten uzaktır. Bu hususa, nokta yükleme aletinin satın alınmasında dikkat edilmesi gerekmektedir.



Şekil 4. Yanlış tasarımı nokta yükleme aleti.

KULLANICIYI İLGİLENDİREN HUSUSLAR

Kırılma süresi: ISRM (1985)'e göre nokta yükleme deneyi, yüklemeye başladıktan sonra 10-60 saniye içerisinde tamamlanmalıdır. Tek eksenli sıkışma ve dolaylı yoldan belirlenen çekme dayanımı (Brazilian deneyi) gibi deneyler hidrolik pres kullanılarak ve yükleme hızı ayarlanarak yapılabilmektedir. Ancak, günümüzde üretilen nokta yükleme deney aletlerinde yükleme hızı elle ayarlanmakta ve böylece düzgün olarak hızın ayarlanması kullanıcının dikkatini gerektirmektedir. Çok hızlı, ya da çok yavaş kırılma, olması gerekenden daha yüksek, ya da daha düşük bir yenilme yükü vermektedir. Yazar, değişik projelerde kullanıcıların nokta yükleme aletini kullanmalarını incelemiş ve kullanıcıların bu deneye yeterli önemi vermemeleri durumunda genelde yüklemenin çok hızlı olduğunu ve kayacın kırılmasının 3-6 saniye içerisinde gerçekleştiğini gözlemiştir. Bu durum, olması gerekenden daha yüksek bir yenilme yükünü vermektedir. Literatürde de (Bowden vd., 1998) benzer gözlemlere değinilmiştir. Bu nedenle, kayaç kırılmasının ISRM (1985) tarafından belirtildiği gibi, 10-60 saniye içerisinde gerçekleşmemesi durumunda bu deney geçersiz sayılmalıdır. Bu konudaki hassasiyet, elde edilen sonuçların daha sonraki çalışmalarda doğru bir şekilde karşılaştırılabilmesi açısından da önem taşımaktadır.

Konik uçlar arasındaki uzaklık: Yüksek dayanımlı kayaçlarla ilgili deney öncesi konik uç aralığı " D ", örnek üzerinde ölçülmektedir. Ancak, özellikle zayıf kayaçlara ait deneyler sırasında, konik uçların kayaç örneğinin içine birkaç milimetre girmesi muhtemeldir. Böylece, deney öncesi ölçülen " D " mesafesi " D' " olarak değişecektir. Zayıf kayaçlar için kırılma zamanındaki " D " mesafesini alet üzerindeki ölçek yardımıyla belirlemek daha uygun olacaktır. Bu nedenle hem D hem de D' ölçümleri gerekli olacaktır. Böyle bir durumda $D_c^{2'}$ 'nin hesaplanmasında aşağıdaki eşitlikler kullanılmalıdır:

$$D_c^{2'} = D * D' \text{ (karot örnekleri için-çapsal) (6)}$$

$$D_c^2 = 4 (W * D') / \pi \text{ (diğer örnekler için)} \quad (7)$$

Burada dikkat edilmesi gereken husus, özellikle çok kalın düzensiz boyutlu örnek kullanılmamasıdır. Böyle bir durumda düzensiz boyutlu örnek, ölçü çubuğunu zorlamakta ve çubuğunun eğrilmesine neden olabilmektedir. Bu da yanlış kalınlık ölçümüyle sonuçlanmaktadır.

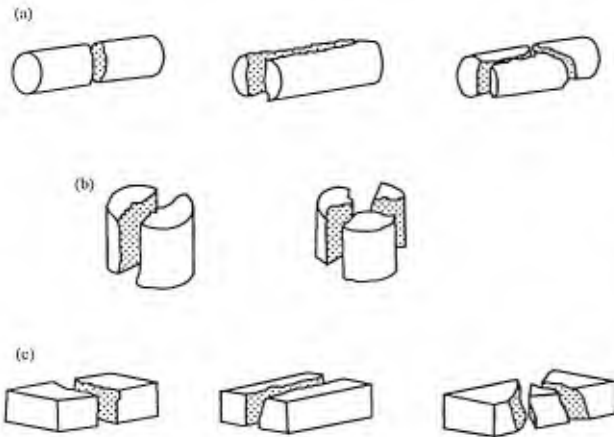
Deneylerin geçersizliği: Nokta yükleme deneyi, kayacın yenilme zamanı ve yenilme şekline göre geçerli, ya da geçersiz olabilmektedir. Hesaplamalarda sadece geçerli deney sonuçları kullanılmaktadır. Kayaç, yukarıda da belirtildiği gibi, zaman açısından 10-60 saniye içerisinde kırılmalıdır. Kayacın yenilme şekline göre geçerli ve geçersiz deney sonuçları Şekil 5'de gösterilmiştir. Bu şekilde dikkat edilmesi gereken husus, yenilme yüzeyinin her iki yükleme noktasından (konik uç) geçmesidir. Bu tür yenilme şekli deneyin geçerli olduğunu belirtir. Yenilme yüzeyinin tek yükleme noktasından geçmesi durumunda ise, deney geçersiz sayılmalıdır. ISRM(1985)'de açıkça belirtilmeyen, ancak uygulamada karşılaşılan bir başka durum ise, yenilme yüzeyinin hiçbir yükleme noktasından geçmemesidir. Özellikle kayaç içerisindeki süreksizliklerin (mikrofisürler) yükleme yö-

nü ile bir açı yapması, yenilme yüzeyinin her iki konik ucun uzağından geçmesine neden olmaktadır. Bu tür deneyler de geçersiz sayılmalıdır. Kullanıcı açısından önemli olan, geçerli deneylerin saptanmasıdır. Bu nedenle, kayaç içindeki yenilme şekli ne olursa olsun (düzgün, dalgalı veya zig zag), her iki konik uçtan geçen yenilme şekli geçerli olarak değerlendirilmelidir.

Örnek yok iken konik uçların yüklenmesi: Örnek yok iken konik uçların yüklenmesi, alette deformasyona ve yanlış okumalara neden olmaktadır. Bu durumla genelde sık karşılaşmamaktadır. Ancak, kullanıcıların bu hususu dikkate almaları gerekmektedir.

Deney örneği elde etme yöntemi: Nokta yükleme deneyinde kullanılacak örneğin nasıl alındığı deney sonucunu etkilemektedir. Patlatma ve/veya parçalama (crushing) yöntemleri ile elde edilen örneklerde, gözle görülemeyecek kadar küçük kılcal çatlaklar oluşabilmektedir. Bu durum, oldukça düşük nokta yükleme dayanımının elde edilmesine neden olacaktır. Bu tür örnekler deneylerde kullanılmamalıdır. Karot ve testere ile kesilmiş örnekler en sağlıklı sonucu vermektedir. Burada önemli olan, kayaç örneğinin herhangi bir tahribata uğramamasıdır.

Deney raporunda belirtilmesi gereken hususlar: Nokta yükleme deneyi ile ilgili gerekli bilgiler ISRM (1985)'de verilen deney formuna kaydedilmelidir. Bu bilgiler; deney tipini, örnek boyutlarını, ölçülen yenilme yükünü, eşdeğer karot çapını, I_s , F ve $I_{s(50)}$ değerleri ile $I_{s(50)}$ ortalama değerini içerir. Ayrıca, kayaç anizotropisi araştırılmışsa, $I_{a(50)}$ değeri de rapora eklenebilir. Burada belirtilen bilgiler dışında, deney aletinin kalibrasyon verisi (yıllık bakım bilgisi), örnek numarası, örnek alım yeri, eğer varsa süreksizlik tipi ve yönü, ve nem içeriği gibi bilgiler de eklenmelidir. ISRM (1985) tarafından belirtilmemiş, ancak yazarın önemli bulduğu ve raporda belirtilmesi gerekli hususların başında, yumuşak kayaçlar için "D"ye ek olarak "D'" değerinin de deney formuna yazılması gelmektedir. Ayrıca her deney için yenilme süresi rapora eklenmelidir. Bir diğer husus ise yenilme yüzeyinin tanımıdır. Kayacın yenilme yüzeyi



Şekil 5. Geçerli ve geçersiz deneyler için yenilme tipleri:
(a) geçerli çapsal deney; (b) geçerli eksensel deney; (c) geçerli blok deney;

şekli kayaç anizotropisiyle doğrudan ilişkilidir. Süreksizliklerin ve kayaç dokusunun etkisi, yenilme yüzeyinde gözle yapılacak inceleme ile saptanabilir. Örneğin; zig zag şeklinde kırılan ve yenilme yüzeyi iki süreksizlik düzleminde geçen kırılma olması gerekenden daha düşük bir yenilme yükünü verebilir. Aynı tip bir başka kayaç örneği ise tamamen sağlam kaya malzemesi boyunca kırılabilir. Yenilme yüzeyinin ne kadarının süreksizlik boyunca oluştuğunun (mümkünse yüzde olarak) belirtilmesi $I_{s(50)}$ değerindeki önemli farklılıkları açıklayacaktır. Buna ek olarak, süreksizliklerin tipi hakkında açıklama yapmak çok yararlı olacaktır. Yazarın tüfler üzerinde yaptığı çalışmalarda, tüfün yenilme yüzeyindeki pomza oranının tüfün dayanımını önemli ölçüde azalttığı belirlenmiştir. Bu tür çalışmalarda, yenilme yüzeyi boyunca pomza oranının (% olarak) tayini, elde edilecek dayanım farklılıklarını da açıklayacaktır. Yenilme yüzeyindeki süreksizliklerin ve kayaç dokusunun tanımı ile ilgili bu öneri ilk bakışta biraz zaman kaybı olarak değerlendirilebilir. Ancak mühendislik projelerinde önemli olan, her türlü gözlem ve deneyden en fazla veriyi toplamaktır. Yukarıda belirtilen hususlar dikkate alınarak hazırlanmış örnek deney formu Çizelge 1'de verilmiştir.

Tek eksenli sıkışma dayanımı-nokta yükleme dayanım indeksi oranı (k): Yazının giriş bölümünde de belirtildiği gibi, nokta yükleme dayanım indeksi kayaçların tek eksenli sıkışma ve çekme dayanımlarının dolaylı olarak belirlenmesinde sıkça kullanılmaktadır. Ancak yapılan bazı çalışmalarda (Broch ve Franklin, 1972; Bieniawski, 1975; Cavagnaro, 1980; Anıl vd., 1996; ISRM, 1985) ağırlıklı olarak tek eksenli sıkışma dayanımı ile nokta yükleme dayanım indeksi oranı (k) incelenmiş ve 22-24 arasında bir oran (k) kullanma eğilimi oluşmuştur. Buna karşın çok az sayıda çekme dayanımı-nokta yükleme dayanım indeksi oranı araştırılmış ve 0.8 oranı bulunmuştur (ISRM, 1985). Tek eksenli sıkışma dayanımı-nokta yükleme dayanım indeksi oranı incelendiğinde, elde edilen oranın literatürde 3-68 gibi çok geniş bir aralık içinde değiştiği ancak, genel kümelenmenin 10-30 arasında olduğu görülmektedir (Broch ve Franklin, 1972; Bieniawski, 1975; Wilson, 1976; Carter ve Sneddon, 1977; Al-Jassar ve Hawkins,

1979; Jenni ve Balissat, 1979; Cavagnaro, 1980; Hassani vd., 1980; Read vd., 1980; Beawis vd., 1982; Forster, 1983; Hagenaar vd., 1984; Abbs, 1985; Norbury, 1986; Hawkins ve Olver, 1986; Rao vd., 1987; Leung ve Radhakrishnan, 1990; Cargill ve Shakoore, 1990; Bell, 1992; Kahraman, 1996; Anıl vd., 1996; Wiesner ve Gillate, 1997; Bowden vd., 1998). Chau ve Wong (1996) yaptıkları teorik çalışmada bu oranın 24'ten daha küçük bir değerinde ve yaklaşık olarak 15 olması gerektiğini ileri sürmüşlerdir. Bazı araştırmacıların literatürde sunmuş oldukları oranlar (k-değerleri) Çizelge 2'de, yazarın tüfler üzerinde yapmış olduğu çalışmalarda elde ettiği k-değerleri ise Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 2 ve Çizelge 3 incelendiğinde, genel olarak zayıf kayaçlarda bu oranın 10-20 arasında değiştiği, yüksek dayanımlı kayaçlarda ise 20-30 arasında olduğu söylenebilir. Yazarın tüfler üzerinde yaptığı deneyler dikkate alınarak çizilen tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_c) - nokta yükleme dayanım indeksi ($I_{s(50)}$) grafiği Şekil 6'da verilmiştir. Bu grafikten de görüleceği gibi, tüfler için (σ_c)-($I_{s(50)}$) arasında $\sigma_c = 10.65I_{s(50)} + 2.47$ eşitliği ile ifade edilen ve yüksek determinasyon katsayısı veren doğrusal ($R^2 = 0.92$) bir ilişki bulunmaktadır.

Diğer önemli bir husus ise, tüflerin k-değerlerinin 20'nin altında, genelde 13-14 olmasıdır. Bu durum, literatürde zayıf kayaçlar için bulunan k-değeri (10-20) ile uyumludur. Bu nedenle, zayıf kayaçlar için, $k=22-24$ değeri kullanılmamalıdır. Öte yandan, $k=3-68$ oranının elde edildiği çalışmalar incelendiğinde, bu çalışmaların bazılarının (Broch ve Franklin, 1972; Bieniawski, 1975; Wilson, 1976; Carter ve Sneddon, 1977; Al-Jassar ve Hawkins, 1979; Cavagnaro, 1980; Hassani vd., 1980; Read vd., 1980; Beawis, 1982; Forster, 1983; Hagenaar vd., 1984) ISRM (1985)'ce önerilen deney yöntemlerinden önce yapıldığı anlaşılmaktadır. Daha önceki standartlardaki bazı farklılıklar nedeniyle, elde edilen sonuçların ISRM (1985)'den sonraki çalışmalar ile doğrudan ilişkilendirilmesi hatalı olacaktır. Ayrıca, birçok yayında deney sayısına, ve kayacın yapısı ile dokusuna ait bilgiler bulunmamaktadır. Bu nedenle, bu oranın incelenmesinde, eski çalışmaların

Çizelge 1. Önerilen nokta yükleme deney formu ve örnek veriler (ISRM standart deney formunda bulunan diğer bilgiler eklenmemiş ve örnek sayısı dik-kate alınmıştır).

Örnek No	Genişlik veya derinliği (m)	Çap D (mm)	Çap D' (mm)	Yenilme yükü P (kN)	Kırılma zamanı (saniye)	Eşdeğer karot çapı De2 (mm2)	Nokta yüklenme indeksi F	Düzeltilme faktörü F	Is(50) MPa	Kayaç tammı	Yenilme yüzeyi tanımlaması	
												W, L (mm)
1	e	13.00-13.06	60.00	44.45	44.45	7.2	40	1975.80	3.64	0.948	1.45	Kireçtaşı Tamamen sağlam kayalık boyunca
2	e	13.10-13.18	76.10	45.60	45.60	1.75	25	2079.36	0.84	0.959	0.81	Kireçtaşı Kısmen (%40) eklem boyunca
3	ç	22.00-22.05	46.95	28.15	28.15	8	52	1682.77	4.75	0.915	4.35	Mermer Tamamen sağlam kayalık boyunca
4	e	35.00-35.09	82.55	41.75	41.75	9	50	1743.06	5.16	0.922	4.76	Granit Tamamen sağlam kayalık boyunca
5	e	36.00-36.09	87.60	41.60	41.60	1.6	25	1730.56	0.92	0.921	0.85	Granit Genelde (%75) eklem boyunca
6	e	50.00-50.12	112.4	53.40	50.00	4	30	2670	1.49	1.016	1.52	Tüf Kısmen (%20) pomza boyunca
7	e	51.00-51.06	62	54.55	52.50	2	20	2863.88	0.70	1.03	0.72	Tüf Kısmen (%50) pomza boyunca

Örnek türü: e-eksenel; ç-çapsal

Çizelge 2. Tek eksenli sıkışma dayanımı ve nokta yükleme dayanım indeksi arasındaki ilişkiler için literatürde verilen k-değerleri.

Araştırmacı	Kayaç türü	k-değeri
Broch and Franklin (1972)	Kumtaşı, dolerit	24
Bieniawski (1975)	Kumtaşı ve mağmatik kayalar	24
Wilson (1976)	Çok zayıf çamurtaşı	8
Carter and Sneddon (1977)	Kireçtaşı	26-28.5
	Kumtaşı	24.5
Al-Jassar and Hawkins (1979)	Kireçtaşı/dolomit	8-27
	Kumtaşı	22
Jenni and Balissat (1979)	Kireçtaşı ve dolomit	12
	Breş (killi)	9
Cavagnaro (1980)	Kömürlü birim	25
Hassani et al. (1980)	Tortul kayalar	29
Read et al. (1980)	Bazalt	8-24
	Silttaşı ve kumtaşı	10-45
Beawis et al. (1982)	Şeyl	8
Forster (1983)	Dolerit	12-14
	Kumtaşı	15-18
Hugenaar et al. (1984)	Kalkarenit	3
	Mercanlı kayaç	4-5
	Kızıl deniz tortulları	3-12
Abbs (1985)	Kalkarenit, kalsisiltit	5-11
Norbury (1986)	Kumtaşı	8-30 (genelde 20-25)
	Silttaşı	15-35
	Çamurtaşı	18-35 (genelde 20)
	Sleyt	24
	Mağmatik ve metamorfik kayalar	27
	Kristalize kireçtaşı	24-54
	Taneli kireçtaşı	8
	Tebeşir	10-22
Hawkins and Olver (1986)	Kireçtaşı	26.5
	Kumtaşı	24.8
	Silttaşı	9.3
Rao et al. (1987)	Kumtaşı	9.5-15
Leung and Radhakrishnan (1990)	Ayrılmış tortul kayalar	6
Cargill and Shakoor (1990)	Kumtaşı	19-31 (genelde 21-27)
	Kireçtaşı ve dolomit	17-30
Bell (1992)	Kumtaşı	12-19 (kuru), 7-12 (ıslak)
	Kireçtaşı	20-30(kuru), 14-24 (ıslak)
	Tebeşir	68 (kuru), 31 (ıslak)
Kahraman (1996)	Kireçtaşı, dolomit, serpantin, marn, kumtaşı, doyorit	20-30
Anıl vd. (1996)	Mermer	24
Wiesner and Gillate (1997)	Kumtaşı ve bazalt	18.6
Hawkins (1998)	Tortul kayalar	10-24 (ıslak)
	Tortul ve mağmatik kayalar	15-25 (kuru)
Bowden et al. (1998)	Tebeşir	11-21 (genelde 14-17)
	Marn	11-22

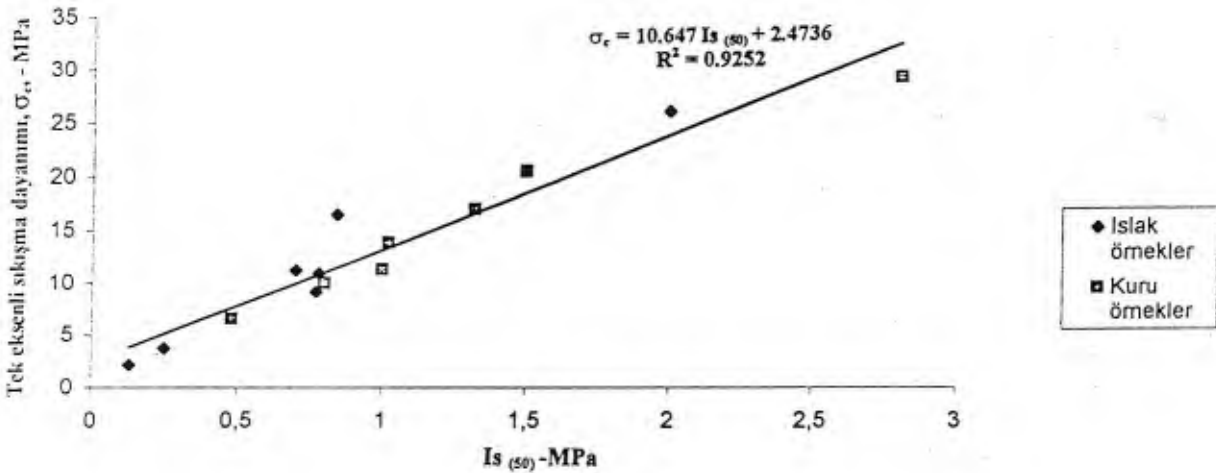
Çizelge 3. Bu çalışmada tüfler için belirlenen k-değerleri.

Kayaç Tanımı	Deney Koşulu	Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı*, σ_c -(MPa)		$Is_{(50)}$ * -(MPa)		k-değeri
		Ortalama \pm Standart sapma		Ortalama \pm Standart sapma		
Kavak tüfü**	ıslak	2.16 \pm 0.34	(10)	0.13 \pm 0.04	(20)	16.6
	kuru	6.53 \pm 0.67	(10)	0.48 \pm 0.10	(20)	13.6
Yazılıkaya beyaz tüf***	ıslak	3.76 \pm 0.53	(10)	0.25 \pm 0.07	(10)	15.0
	kuru	10.00 \pm 0.88	(10)	0.80 \pm 0.13	(10)	12.5
Yazılıkaya pembe tüf***	ıslak	10.89 \pm 1.82	(10)	0.78 \pm 0.10	(10)	14.0
	kuru	16.95 \pm 0.54	(10)	1.32 \pm 0.30	(10)	12.8
Tahar tüfü**	ıslak	16.44 \pm 0.44	(10)	0.84 \pm 0.10	(10)	19.6
	kuru	20.50 \pm 1.24	(10)	1.50 \pm 0.27	(10)	13.7
Kızılkaya tüfü-az kaynaklanmış**	ıslak	9.17 \pm 1.33	(5)	0.77 \pm 0.15	(10)	11.9
	kuru	11.29 \pm 1.20	(5)	1.00 \pm 0.13	(10)	11.3
Kızılkaya tüfü- orta derecede kaynaklanmış**	ıslak	11.20 \pm 1.68	(5)	0.70 \pm 0.15	(10)	16.0
	kuru	13.87 \pm 1.67	(5)	1.02 \pm 0.21	(10)	13.6
Kızılkaya tüfü- ileri derecede kaynaklanmış**	ıslak	26.00 \pm 0.98	(5)	2.00 \pm 0.62	(10)	13.0
	kuru	29.19 \pm 0.43	(5)	2.81 \pm 0.80	(10)	10.4

*Parantez içindeki değerler örnek sayısını belirtmektedir.

**Ürgüp yöresi tüfleri.

***Seyitgazi (Eskişehir) yöresi tüfleri

Şekil 6. σ_c - $Is_{(50)}$ ilişkisini gösteren grafik.

çok fazla geçerliliği olmayacaktır.

Bazı araştırmacılar, nokta yükleme deneyinin zayıf kayalarda (tek eksenli sıkışma dayanımı <25 MPa) kullanılmamasını önermişlerdir (Bieniawski, 1975; Hawkins, 1986). Ancak, gerek tebeşir üzerinde yapılan yeni çalışmalar (Bowden vd., 1998), gerekse yazarın özellikle tüfler üzerinde yaptığı çalışmalarda elde ettiği tutarlı sonuçlar, nokta yükleme deneyinin zayıf kayalar üzerinde de kullanılabilirliğini göstermiştir. Bu kapsamda örnek elde etmede problemlili olan bazı marn ve şeyl gibi kayalar hariç tutulabilir.

Mühendislik projelerinde nokta yükleme deneyi çok sayıda, tek eksenli sıkışma dayanımı deneyi ise daha az sayıda yapılabilir. Bulunan oran (k) sadece o projedeki kayaları temsil edecektir ve bu aşamada literatürdeki oranlar dikkate alınıp genelleştirme yapılmamalıdır. Benzer kayalar üzerinde elde edilen farklı nokta yükleme dayanım indeksleri nedeniyle mühendislik yapılarının tasarımlarında bu indeks doğrudan kullanılmamalıdır.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Mühendislik jeolojisi çalışmalarında yaygın olarak kullanılan nokta yükleme deneyi ile ilgili uygulamada çeşitli problemlerle karşılaşmaktadır. Bu problemler hem aletsel ve hem de kullanıcı ile ilgilidir. Aletsel problemler arasında konik uçlarda kütleleşme, yağ kaçırma, gösterge hataları, periyodik yıllık bakım yapılmaması, örnek kalınlığını belirten ölçekte deformasyon, ve hatalı alet tasarımı bulunmaktadır. Nokta yükleme aletinin kullanıcısı mutlaka mühendis veya çok deneyimli bir teknisyen olmalıdır. Uygun yöntemle elde edilen geçerli deneylere ait veriler hesaplamalarda dikkate alınmalıdır. Yumuşak kayalar için deney sonuçlarını belirten standart deney formuna; kayacın "D" boyutu, yenilme zamanı ve yüzde olarak yenilme yüzeyi ve kayacın dokusunun dayanım üzerine etkisi hakkındaki bilgiler eklenmelidir. k-oranı 3-68 gibi çok geniş bir aralıkta değişmektedir. Yazarın yaptığı deneylerde, tüfler için bu oran 10-20 arasında değişmektedir. Tüflerde yüksek

korelasyon katsayılı (σ_c)-(I_{s(50)}) ilişkisi bulunmuştur. Bu sonuçlar çerçevesinde, nokta yükleme deneyinin örnek hazırlamada problemlili olmayan tüf gibi zayıf kayalarda kullanılmasının mümkün olduğu söylenebilir. Değişik kayalar düşünüldüğünde ise, mühendislik projelerinde k-oranı ayrıca araştırılmalıdır. Tasarıma yönelik çalışmalarda, nokta yükleme deney sonuçları bu aşamada doğrudan kullanılmamalıdır. Gelecekte yapılacak araştırma ve uygulamalarda hem (σ_c) hemde (I_{s(50)}) belirlenerek değişik kayac türleri için ayrı ayrı kullanılabilir k-oranları bulunmalıdır.

KATKI BELİRTME

Yazar, makale üzerinde yaptığı kritik eleştiri ve önerilerden dolayı ODTÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden Prof. Dr. Vedat Doyuran'a teşekkür eder.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Abbs, F.A., 1985. The use of the point load index in weak carbonate rocks. ASTM Special Technical Pub. 883 (R.C., Chaney and K.R., Demars), Strength Testing of Marine Sediment, Laboratory and In-situ Measurements, 413-421pp.
- Al Jassar, S.H., and Hawkins, A.B., 1979. Geotechnical properties of the Carboniferous limestone of the Bristol area-the influence of petrography and chemistry. 4th. Conference on International Society for Rock Mechanics, Montreux, 1, 3-14pp.
- Anıl, M., Kılıç, A., Kahraman, S., Sandıkçı, M., ve Akyıldız, M., 1996. İncehisar (Afyon) mermerlerinin petrografik ve mekanik özellikleri. KTÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü 30. Yıl Sempozyumu, Cilt 1, 436-447s.
- Anon, 1972. The preparation of maps and plans in terms of engineering geology. Quarterly Journal of Engineering Geology, 5, 293-382pp.

- Beawis, F.C., Roberts, F.I., and Minskaya, L., 1982. Engineering aspects of weathering of low grade metapelites in an arid climatic zone. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 15, 29-45pp.
- Bell, F.G., 1992. Engineering properties of soils and rocks. Butterworth-Heinemann, Oxford, 345 p.
- Bieniawski, Z.T., 1975. The point-load test in geotechnical practice. *Engineering Geology*, 9, 1-11pp.
- Bieniawski, Z.T., 1989. Engineering rock mass classifications. Wiley, New York, 264 p.
- Bowden, A. J., Lamont-Black, J., and Ulliyott, S., 1998. Point load testing of weak rocks with particular reference to chalk. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 31, 95-103pp.
- Broch, E., 1983. Estimation of strength anisotropy using the point load test. *International Journal of Rock Mechanics, Mining Sciences and Geomechanical Abstracts*, 20, 181-187pp.
- Broch, E., and Franklin, J.A., 1972. The point load strength test. *International Journal of Rock Mechanics, Mining Sciences and Geomechanical Abstracts*, 9, 669-697pp.
- Brook, N., 1980. Size correction for point load testing (Technical Note). *International Journal of Rock Mechanics, Mining Sciences and Geomechanical Abstracts*, 17, 231-235pp.
- Brook, N., 1985. The equivalent core diameter method of size and shape correction in point load testing. *International Journal of Rock Mechanics, Mining Sciences and Geomechanical Abstracts*, 22, 61-70pp.
- BSI, 1981. Code of practice for site investigations-BS 5930. British Standards Institution, 147 p.
- Cargill, J.S., and Shakoor, A., 1990. Evaluation of empirical methods for measuring the uniaxial compressive strength of rock. *International Journal of Rock Mechanics, Mining Sciences and Geomechanical Abstracts*, 27, 495-503pp.
- Carter, P.G., and Sneddon, M., 1977. Comparison of Schmidt hammer, point load and unconfined compression tests in Carboniferous strata. *Proceeding Conference on Rock Engineering*, Newcastle, UK, 197-210pp.
- Cavagnaro, R.L., 1980. Geotechnical testing for Leigh Creek Coalfield. *Proceeding 3rd. Australian and New Zealand Conference on Geomechanics*, Wellington, 1, 237-242pp.
- Chau, K.T., and Wong, R.H.C., 1996. Uniaxial compressive strength and point load strength of rocks (Technical Note). *International Journal of Rock Mechanics, Mining Sciences and Geomechanical Abstracts*, 33, 183-188pp.
- ELE, 1990. Point load test apparatus, Operating Instructions, ELE International Ltd., 13 p.
- Fookes, P.G., Gourley, C.S., and Ohikere, C., 1988. Rock weathering in engineering time. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 21, 33-57pp.
- Forster, I.R., 1983. The influence of core sample geometry on the axial point-load test (Technical Note). *International Journal of Rock Mechanics, Mining Sciences and Geomechanical Abstracts*, 20, 291-295pp.
- Greminger, M., 1982. Experimental studies of the influence of rock anisotropy on size and shape effects in point-load testing (Technical Note). *International Journal of Rock Mechanics, Mining Sciences and Geomechanical Abstracts*, 19, 241-246pp.

- Guidicini, G., Nieble, C.M., and Cornides, A.T., 1973. Analysis of point load test as a method for preliminary geotechnical classification of rocks. *Bulletin of International Association of Engineering Geology*, 7, 37-52pp.
- Hagenaar, J., Sijtsma, H., and Wolsleger, A., 1984. Selection and use of piles for marine structures in coral formations and carbonate sediments. *Conference on Piling and Ground Treatment*. Institution of Civil Engineers. Thomas Telford. London, 77-86pp.
- Hassani, F.P., Scoble, M.J., and Whittaker, B.N., 1980. Application of the point load index test to strength determination of rock and proposals for a new size-correction chart. *The State of the Art in Rock Mechanics*. Proceedings 21th. US. Symposium on Rock Mechanics. 543-553pp.
- Hawkins, A.B., 1986. Rock descriptions. *Site Investigation Practice: Assessing BS 5930*, Special Publication No.2. 59-72pp.
- Hawkins, A.B., 1998. Aspects of rock strength. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 57(1), 17-30pp.
- Hawkins, A.B., and Olver, J.A.G., 1986. Point load tests: Correlation factors and contractual use. An example from the Corallian at Weymouth. *Site Investigation Practice: Assessing BS 5930*, Special Publication No.2, 269-271pp.
- ISRM, 1972. Suggested method for determining the point-load strength index. *ISRM Committee on Field Tests*, Document No. 1, 8-12pp.
- ISRM, 1985. Suggested method for determining point load strength. *International Journal of Rock Mechanics, Mining Sciences and Geomechanical Abstracts*, 22, 51-60pp.
- Jenni, J.P., and Balissat, M., 1979. Rock testing methods performed to predict the utilization possibilities of tunnel boring machine. *Proceedings of 4th. Int. Soc. Rock Mechanics*, Montreux, 2, 267-273pp.
- Kahraman, S., 1996. Basınç direnci tahmininde Schmidt ve nokta yük indeksi kullanmanın güvenilirliği, *KTÜ Jeoloji Müh. Bölümü 30.Yıl Sempozyumu*. Cilt 1, 362-369s.
- Leung, C.F., and Radhakrishnan, R., 1990. Geotechnical properties of weathered sedimentary rocks. *Geotechnical Engineering, Thailand*, 21, 29-48pp.
- McFeat, S., and Tarkoy, P.J., 1979. Assessment of tunnel boring machine performance. *Tunnels and Tunnelling*, 11 (10), 33-37pp.
- Norbury, D.R., 1986. The point load test. *Site Investigation Practice: Assessing BS 5930*, Special Publication No.2. 325-329pp.
- Pettifer, G.S., and Fookes, P.G., 1994. A revision of the graphical method for assessing the excavatability of rock. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 27, 145-164pp.
- Rao, K.S., Venkatappa Rao, G., and Ramamurthy, T., 1987. Strength of sandstone in saturated and partly saturated conditions. *Geotechnical Engineering, Thailand*, 18, 99-127pp.
- Read, J.R.L., Thornton, P.N., and Regan, W.M., 1980. A rational approach to the point load test. *Proceedings 3rd. Australian and New Zealand Conference on Geomechanics*, Wellington, 2, 35-39pp.
- Robins, P.J., 1980. The point-load strength test for concrete cores. *Magazine of Concrete Research*, 32, 101-111pp.
- Rodrigues, J.D., and Jeremias, F.T., 1990. Assessment of rock durability through index properties. *Proceedings 6th. International Congress IAEG*, 4, 3055-3060pp.

- Türk, N., 1988. Kayaçların nokta yükleme dayanımını bulmak için yeni bir yöntem. Mühendislik Jeolojisi Bülteni, 10, 25-31s.
- Türk, N., and Dearman, W.R., 1985. Improvements in the determination of point load strength. Bulletin of International Association of Engineering Geology, 31, 137-142s.
- Türk, N., and Dearman, W.R., 1986. A new procedure for determination of point load strength in site investigation. Site Investigation Practice:Assessing BS 5930, Special Publication No.2, 406-411s.
- Ulusay, R., Gökçeoğlu, C. ve Binal A., 1997. Kaya Mekanikliği Laboratuvar Deneyleri. Ders Notları 39, Hacettepe Üniversitesi Yayın No.3, 53 s.
- Ünal, E. ve Tutluoğlu, L., 1986. Kaya Mekanikliği İlkeleri, Seminer no.6, ODTÜ Maden Mühendisliği Bölümü, 223 s.
- Wiesner, E., and Gillate, S.J., 1997. An evaluation of the relationship between unconfined compressive strength and point load strength index. Bulletin of International Association of Engineering Geology, 56, 115-118pp.
- Wijk, G., 1980. The point load test for the tensile strength of rock. Geotechnical Testing Journal, 3, 49-54pp.
- Wilson, L.C., 1976. Tests of bored and driven piles in Cretaceous mudstone at Port Elizabeth, South Africa. Geotechnique, 26, 5-12pp.

Sivas batısındaki traverten oluşumlarının yapı ve yüzey kaplama taşı olarak kullanılabilirliklerinin incelenmesi

Investigation of the useability as cut and paving stone of the travertine occurences located west of Sivas, Turkey

Emrah AYAZ, Ergun KARACAN

ÖZ

Sivas yakınlarındaki, Sıcak Çermik, Sarıkaya ve Uyuz Çermik traverten yatakları, Türkiye'nin en önemli traverten yataklarındandır. Travertenler, mineral içeriği olarak safı yakın bileşimde kalsitten oluşmakta olup, tabaka ve damar tipi yataklanma şekilleri göstermektedirler. Tabaka tipi oluşumlarda, kabuksu/süngerimsi yapı ve genellikle mikritik doku, damar tipi oluşumlarda ise albatr yapı ve sparitik doku hakimdir.

Bu çalışmada, söz konusu traverten yataklarının; blok verme, renk ve desen, levhalar şeklinde kesilebilme, parlayabilme, mohs sertliği, suda dağılma dayanımı, schmidt sertliği, saydamlık, birim hacim kütlesi, özgül kütle, doluluk oranı, kütlece ve hacimce su emme, gözeneklilik, aşınma, tek eksenli basınç dayanımı, don sonu tek eksenli basınç dayanımı, eğilme dayanımı, darbe dayanımı, dona karşı dayanım, don kaybı, açık hava tesirlerine dayanım, paslanma ve asitlere karşı dayanım gibi endüstriyel özellikleri incelenmiş ve değerlendirilmeye çalışılmıştır.

İncelemeler ve değerlendirmeler sonucunda, tüm bu özelliklerin, travertenlerde aranan sınır değerler içinde olduğu ve yöredeki travertenlerin özellikle yüzey kaplama taşı olarak kullanılabilirliği iyi kaliteli travertenler oldukları belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Sıcak Çermik, Sivas, Traverten, Uyuz Çermik, Yapıtaşı, Yüzey kaplama taşı

ABSTRACT

Sıcak Çermik, Sarıkaya and Uyuz Çermik travertine deposits around Sivas are among the most important travertine deposits in Turkey. Travertine deposits consist of nearly pure calcite, and show stratiform and vein type depositional styles. Banded and spongy structure and micritic texture is dominated within the stratiform type travertines, while albatr structure and sparitic texture is dominant within the vein type travertine occurrences .

In this study; industrial characteristics such as; block size, color and ornament, sliding, polishing, mohs hardness, slake durability index, schmidt hardness, transparency, unit volume mass, specific mass, compactness ratio,

E. AYAZ: M.T.A. Orta Anadolu 1. Bölge Müdürlüğü, SIVAS

E. KARACAN: Cumhuriyet Üniversitesi Jeoloji Müh. Bölümü SIVAS

water suction relative to mass and volume, porosity, abrasion, uniaxial compressive strength, uniaxial compressive strength after the frost, bending strength, blowing strength, durability to the frost, frost lost durability to atmospheric influences, resistance to rusting and acids were investigated and evaluated.

The results of these investigations and evaluations show that all these characteristics of the travertines in these deposits range in the limites what should be in travertines and they are well qualified materials, suitable to use as facing stone.

Key Words: *Cut-stone, paving-stone, Sıcak çermik, Sivas, Travertine, Uyuz çermik*

ÖZET

Sivas yakınlardaki, Sıcak Çermik, Sarıkaya ve Uyuz Çermik traverten çökelleri, Türkiye'nin en önemli traverten yataklarındandır. Travertenler, mineral içeriği olarak safı yakın bileşimde kalsitten oluşmakta olup, tabaka ve damar tipi yataklanma şekilleri göstermektedirler. Tabaka tipi oluşumlarda, kabuksu/süngerimsi yapı ve genellikle mikritik doku, damar tipi oluşumlarda ise albatr yapı ve spartik doku hakimdir.

Bu çalışmada, söz konusu traverten yataklarının; blok verme, renk ve desen, levhalar şeklinde kesilebilme, parlayabilme, mohs sertliği, suda dağılma dayanımı, schmidt sertliği, saydamlık, birim hacim kütlesi, özgül kütle, doluluk oranı, kütlece ve hacimce su emme, gözeneklilik, aşınma, tek eksenli basınç dayanımı, don sonu tek eksenli basınç dayanımı, eğilme dayanımı, darbe dayanımı, dona karşı dayanım, don kaybı, açık hava tesirler Ayaz ve diğ., 1998). Yataklar çevresinin jeolojisi, travertenlerin yataklanma şekilleri, yapısal ve dokusal özellikleri, mineralojik ve kimyasal bileşimleri ile oluşumları belirtilen çalışmalardan yararlanılarak aşağıda özetlenmiştir. Bu çalışmada ise yöredeki yataklardan alınmış örnekler üzerinde gerçekleştirilmiş çeşitli testlerin ve jeomekanik deneylerin sonuçları tartışılmış, yapı taşı ve binaların dış yüzeylerinde kaplama taşı olarak kullanılabilirlikleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Yataklar çevresinde; Akdağ Metamorfite (Paleozoyik-Mesozoyik), Pazarcık Volkanitleri (Alt-Orta Eosen), Boğazköy Formasyonu (Alt-Orta Eosen),

Hafik Formasyonu (Orta - Üst Miyosen), İncesu Formasyonu (Üst Miyosen), Bayat Volkanitleri (Üst Pliyosen), travertenler ve alüvyonlar (Kuvaterner) şeklinde tanımlanmış birimler yüzeylenmektedir (Şekil 1).

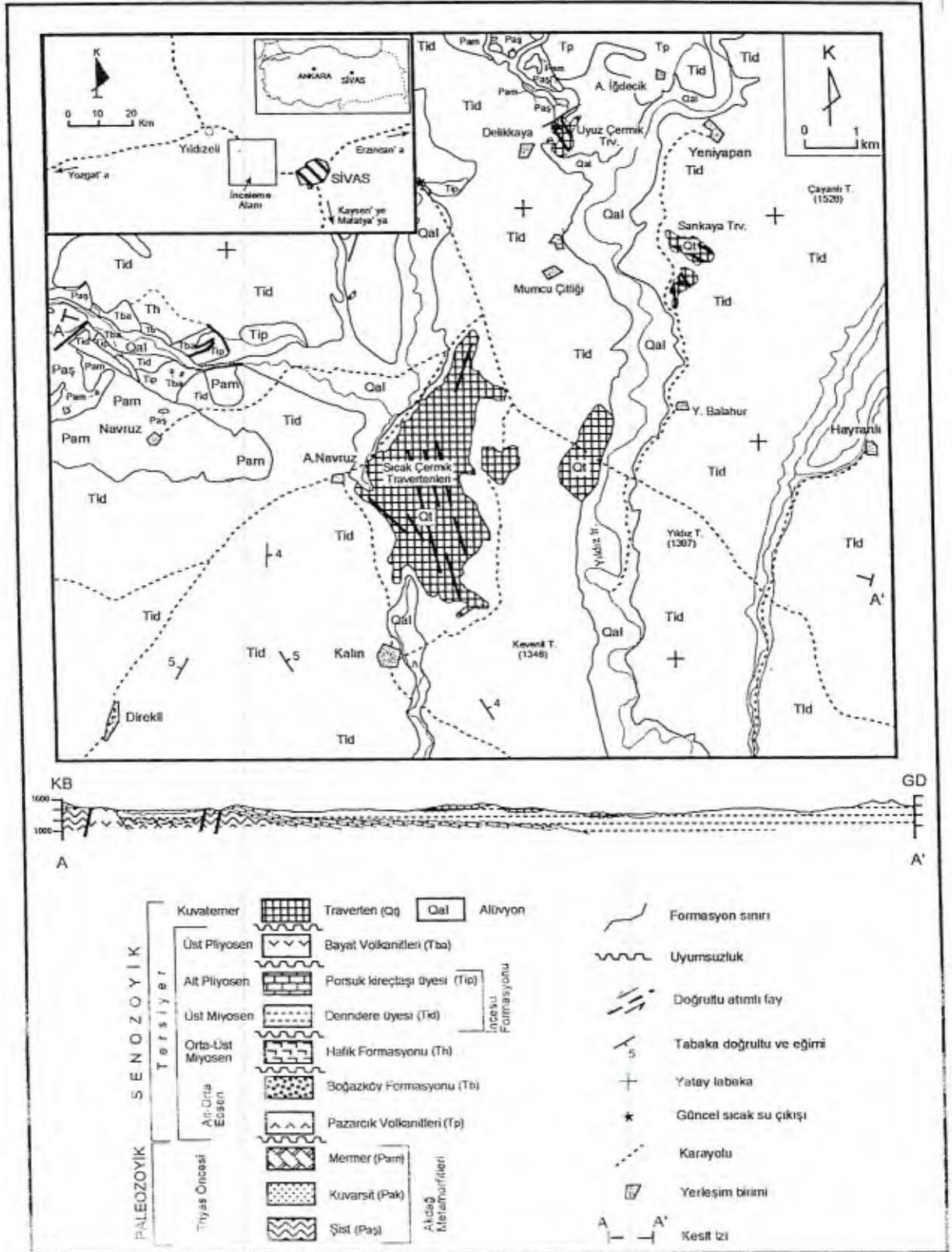
İncelenen traverten yatakları, benzer jeolojik özellikler göstermekte olup, bölgede geniş bir yayılım gösteren İncesu Formasyonu'na ait Derindere Üyesi üzerinde uyumsuz olarak oluşmuşlardır. İncesu Formasyonu'nun altında ise Akdağ Metamorfite'rine ait şistler ve mermerler yer almaktadır.

Yataklanma şekli olarak tabaka tipi ve damar tipi şeklinde iki farklı tip oluşum bulunmaktadır (Şekil 2). Damar tipi travertenler, sıcak suların ürünlerini açılma yarıkları içinde çökeltmeleri sonucu, tabaka tipi travertenler ise, sıcak suların ürünlerini yüzeye çıktıkları yerlerde akmaları sırasında çökeltmeleri sonucu oluşmuşlardır. İkinci tip oluşumlar daha yaygındır.

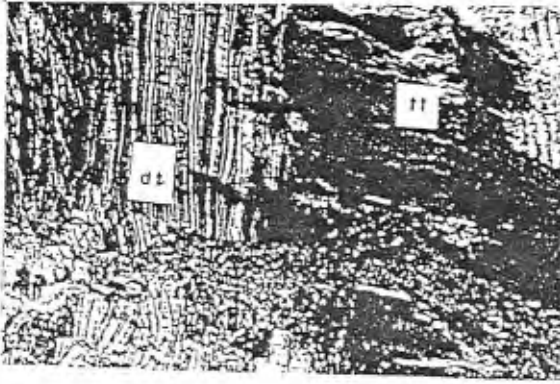
İç yapı olarak, damar tipi travertenlerde silisli oluşumdaki onix yapısına benzeyen albatr yapı, tabaka tipi oluşumlarda ise bantlı, kabuksu ve albatr yapılar gözlenmektedir.

Mikroskopik ve XRD yöntemleri ile yapılan incelemelerde, tüm oluşumlarda kalsit tek karbonat minerali olup, tabaka tipi oluşumlarda genellikle mikritik, ender olarak spartik, albatr tipi oluşumlarda ise spartik doku gözlenmektedir. Mikritik kesimlerde limonitleşmeler ve boşluk oluşumları yaygındır.

Tabaka tipi oluşumların bantlı ve kabuksu kesimleri, bloklar şeklinde (maksimum boyutlar 3 m kadar) çıkarılarak yüzey kaplama taşı (yalnızca bina dış



Şekil 1. İnceleme alanının coğrafik konumu ve jeolojisi haritası (Ayaz, 1998' den değiştirilerek)



Şekil 2. Tabaka ve damar tipi travertenlerin yataklanma ilişkisi (Karlıkaya açık ocağı)

yüzeylerindeki kullanımı kapsamakta olup, parke, basamak ve mutfak tezgahı gibi kullanımları kapsamamaktadır ve yapı taşı olarak, damar tipi ve tabaka tipi oluşumların albatr yapılı kesimleri ise küçük boyutlu bloklar (maksimum boyutlar 60 cm kadar) halinde çıkarılarak süs eşyası yapımında kullanılmaktadır.

Sıcak Çermik sahasında, 135 000 000 m³ kadar, Sarıkaya sahasında ise 5. 700 000 m³ olmak üzere, yörede toplam 141 000 000 m³ (görünür + muhtemel), bina dış yüzeyleri için kaplama taşı üretimine uygun özellikte, tabakalı tip traverten rezervi hesaplanmıştır. Bu rezervden, % 40'lık blok kazanma verimi ile 55 000 000 m³ kadar yüzey kaplama taşı üretilebilecektir. Albatr yapılı travertenlerin ise, yöredeki toplam rezervleri 200 000 m³ (gör.+muh.) kadar olup, % 70'lik bir verimle 140 000 m³ kadar süs eşyası yapımında kullanılabilir traverten üretilebilecektir.

YAPILAN TESTLER VE DEĞERLENDİRMELERLE İLGİLİ BULGULAR

YAPILAN İNCELEMELER

Bu çalışma kapsamında, inceleme alanındaki travertenlerin üst, orta ve alt seviyelerini temsil edecek şekilde birer adet ve orta seviyede kenar kesimlerini temsil edecek şekilde iki adet olmak üzere toplam beşer adet örnek alınarak; blok verme, renk ve desen,

levhalar şeklinde kesilebilme, parlayabilme, mohs sertliği, suda dağılma dayanımı, schmidt sertliği, saydamlık, birim hacim kütle, özgül kütle, doluluk oranı, kütlece ve hacimce su emme, gözeneklilik, aşınma, tek eksenli basınç dayanımı, don sonu tek eksenli basınç dayanımı, eğilme dayanımı, darbe dayanımı, dona karşı dayanım, don kaybı, açık hava tesirlerine dayanım, paslanma ve asitlere karşı dayanım gibi özellikleri incelenmiştir. İncelemelerde, MTA (1966), ISRM (1978, 1981), TS 699 (1987), TS 6809 (1989), gibi çalışmalarda önerilen yöntemler kullanılmış ve sonuçları, TS 2513 (1977)'de belirtilen kullanım kriterleri ve/veya sınırları dikkate alınarak yorumlanmıştır.

Yapılan testlerle saptanmış indeks ve jeomekanik özellikler Çizelge 1'de toplu halde sunulmuştur. Bu çizelgede test sonuçları; örnek sayısı, minimum ve maksimum değerleri ve aritmetik ortalamaları birlikte verilmiştir.

BLOK VERME ÖZELLİKLERİ

İnceleme alanındaki travertenlerin blok verme özellikleri; ana kırıklarla sınırlanmış doğal blok kütlelerinin ve ocaklardan çıkarılmış olan blokların boyutlarının ölçülmesi (i) ve hacimsel eklem sayısı ölçümleri (ii) olmak üzere iki farklı yöntemle belirlenmiştir.

Birinci yöntemle göre yapılan ölçümlerde; tabakalı (kabuksu) travertenlerin, Sıcak Çermik-Karlıkaya sahasında max. 2 x 3 x 3 m, Sıcak Çermik-Kandırsırtı sahasında max. 2 x 2.5 x 3 m, Sarıkaya sahasında max. 2 x 3 x 3 m, Uyuz Çermik sahasında max. 2 x 2 x 2.5 m boyutlarında, albatr travertenlerin ise tüm sahalarda max. 60 x 50 x 40 cm boyutlarında blok verme özelliklerine sahip oldukları saptanmıştır.

İkinci yöntemin uygulanmasında; ISRM (1978)'de belirtildiği gibi değişik yönlerde eklem sayıları ölçülerek hacimsel eklem sayıları hesaplanmıştır.

Ölçümler sırasında, her traverten sahası için dört farklı yönde ölçüm yapılmış, ölçüm yönleri ilk üç ölçümde mevcut eklem (kırık/çatlak) sistemlerine dik

Çizelge 1. İncelenmiş traverten yataklarının bazı indeks ve jeomekanik özellikleri

Saha Adı Özellikler	Karlıkaya Örn. Sav.	Kandilsırtı			Sarıkaya			Uyuz Çermik			Ort.	Min.	Max.	Ort.
		Min.	Max.	Ort.	Min.	Max.	Ort.	Min.	Max.	Ort.				
Birim kütle hacim (gr/cm ³)	5	2.27	2.44	2.36	2.30	2.37	2.34	2.45	2.72	2.56	2.63	2.72	2.66	
Özgül kütle (gr/cm ³)	5	2.55	2.61	2.58	2.55	2.63	2.58	2.57	2.86	2.69	2.67	2.75	2.71	
Doluluk oranı %	5	89.00	93.50	91.30	88.20	92.90	90.60	93.70	96.20	95.20	97.40	98.90	98.30	
Su emme Kütlece %	5	1.51	1.79	1.63	1.47	1.88	1.66	0.98	1.69	1.29	0.06	0.31	0.17	
Hacimce %	5	3.82	4.62	4.17	3.70	4.81	4.35	2.59	4.31	3.61	0.18	0.84	0.45	
Gözeneklilik %	5	6.50	11.00	8.70	7.10	11.80	9.40	3.80	6.30	4.80	1.10	2.60	1.70	
Suda dağılma dayanım indeksi%	10	98.00	99.00	98.00	98.00	99.00	98.00	98.00	98.00	98.00	99.00	99.00	99.00	
Mohs	5	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	
Sertlik: Schmidt Bnd.	10	20.00	38.00	31.00	22.00	38.00	30.00	23.00	47.00	30.00	35.00	42.00	38.00	
Bn.p	10	22.00	44.00	32.00	22.00	34.00	28.00	23.00	42.00	29.00	35.00	40.00	37.00	
Kalınlık:ca	5	0.15	0.25	0.20	0.18	0.31	0.23	0.09	0.22	0.14	0.09	0.20	0.13	
Aşınma kayıpları cm/50 cm ² Hacimce cm/50 cm ²	5	7.56	12.43	9.75	8.91	15.38	11.61	4.54	10.78	6.97	4.54	10.08	6.62	
Tek eksenli Don basıncı öncesi dayanımı (kgf/cm ²)	Bn.d	5	350.6	460.4	415.0	298.3	475.0	381.3	378.0	518.8	440.6	533.2	892.4	714.9
Bn.p	5	97.6	528.7	470.9	322.9	510.2	422.3	382.0	538.5	463.5	519.6	634.0	550.8	
Sonrası (kgf/cm ²)	Bn.d	5	309.6	419.0	364.5	204.5	382.0	316.2	323.4	472.8	391.7	529.7	850.9	681.8
Bn.p	5	341.0	471.0	410.2	266.1	463.3	371.0	350.0	391.1	471.8	468.1	598.2	510.0	
Don öncesi anizotr.(%)	Bn.d	5	-	-	11.9	-	-	9.7	-	-	4.9	-	-	23.3
Sonrası	5	-	-	11.1	-	-	14.8	-	-	6.3	-	-	25.2	
Eğilme dayanımı (kgf/cm ²)	Bn.d	5	30.1	34.6	32.0	29.3	35.3	32.0	29.6	36.8	33.3	32.0	40.8	37.8
Bn.p	5	28.1	35.9	31.3	27.7	34.4	30.4	30.8	35.8	33.5	31.1	41.1	36.9	
Darbe dayanımı (kgf/cm ²)	Bn.d	5	2.0	12.0	6.4	2.0	6.0	5.2	2.0	12.0	7.6	6.0	12.0	8.4
Bn.p	5	6.0	12.0	7.2	2.0	12.0	6.4	2.0	12.0	7.6	6.0	12.0	8.4	
Don kaybı (Na ₂ SO ₄)(%)	5 kg	-	-	2.4	-	-	2.64	-	-	2.2	-	-	1.9	

Açıklama: Bn.d.: bantlanmaya dik yöndeki uygulama, Bn.p.; bantlanmaya paralel yöndeki uygulama

yönlerde olacak şekilde, dördüncü ölçümde ise gelişigüzel olarak veya bazı yarmalarda düşey yönde olacak şekilde seçilmiştir. Ölçüm ve hesaplama sonuçları Çizelge 2'de verilmiş olup, ISRM (1978)'de belirtilen blok boyutları tanımlamalarına göre değerlendirildiklerinde: Sıcak Çermik ve Sarıkaya travertenlerinin büyük boyutlu bloklar sınıfında, Uyuz Çermik albatr travertenlerinin ise küçük boyutlu bloklar sınıfında yer aldıkları görülmektedir. Ancak, blok çıkarılmasında kullanılan darbeli yöntemler, yeni kırık ve çatlak oluşumlarına neden olduğundan blok boyutlarını olumsuz yönde etkilemekte ve küçültmektedir.

RENK VE DESEN ÖZELLİKLERİ

Yöredeki, kabuksu yapılı travertenler, genellikle sarı - krem renkli ve iri boşluklu olup, gözenekler çoğunlukla elipsoid şeklindedir (bkz.Şekil 1). Bunlarda, yer yer beyaz renkli kalsit damarları da gözlenmektedir. Demir içeriğine bağlı olarak yer yer farklı renkli bantlar oluşmakta ve görünümü güzelleştirmektedir. Ancak, renk değişikliğinin genellikle düzensiz olması görünümü olumsuz yönde etkilemektedir.

Albatr yapılı travertenler ise sarı - krem, kırmızı - kahve ve beyaz renkli ince bantlardan oluşmaktadır. Renk değişimi bu travertenlerin görünümünü ve kalitesini artırmakta ve süs eşyası yapımına uygun, estetik bir desen oluşturmaktadır. Bu travertenlerde boşluklar az sayıda ve küçük boyutludur.

Çizelge 2. İnceleme alanındaki travertenlerin hacimsel eklem sayısı (Jv) ölçümleri (I.S.R.M, (1978) sınıflamasına göre hacimsel eklem sayısı (Jv); <1 ise çok büyük, 1-3 ise büyük, 3-10 ise orta büyük, 10-30 ise küçük, 30-60 ise çok küçük bloklar ve >60 ise kırılmış kayaç şeklinde tanımlanmaktadır).

Saha / Ocak İsmi	Ölçüm Hatı	Ölçüm Mesafesi (m)	Eklem Sayısı (adet)	Hacimsel Eklem Sayısı [Jv] (eklem / m)
Socak Çermik	1	25	4	1.2
	2	20	5	
	3	10	4	
	4	7	3	
Socak Çermik	1	20	8	1.5
	2	25	12	
	3	25	7	
	4	10	3	
Sarıkaya	1	20	4	1.3
	2	20	6	
	3	10	5	
	4	10	3	
Uyuz Çermik	1	5	5	11
	2	5	14	
	3	5	15	
	4	3	16	

LEVHALAR ŞEKLİNDE KESİLEBİLME ÖZELLİKLERİ

İnceleme alanında bulunan kabuksu yapılı travertenler, 2-2.5 cm kalınlıkta levhalar halinde rahatlıkla kesilebilmektedir. Bu travertenler daha ince kesildiklerinde, yapılarındaki iri boşluklar delik oluşturmakta ve levhanın dayanımı azaltmaktadır. Ayrıca levha kalınlıkları inceltildiğinde, levhaların kenar köşe kesimleri sırasında kırılmaların arttığı gözlenmektedir.

Albatr yapılı travertenler, 1 cm veya daha ince kalınlıkta levhalar halinde rahatlıkla kesilebilmektedirler. Ancak, levhaların daha ince kesilmesi halinde kırılma arttığından, levha yüzey alanlarının da küçültülmesi gerekmektedir. Kenar ve köşe kesimleri olumlu sonuçlar veren albatr travertenlerin işleme sırasında yuvarlatılabilme ve oyulabilme gibi özellikleri de iyidir. Bu nedenle bunlar, süs eşyası yapımında kullanılabilirler.

PARLATILABİLME ÖZELLİKLERİ

Parlatılabilme özelliklerini inceleyebilmek için, inceleme alanında bulunan kabuksu ve albatr yapılı travertenlerden alınan örnekler levhalar şeklinde kesildikten sonra zımparalanarak yüzey pürüzleri giderilmiş ve parlatılmışlardır. Yapılan testlerde, kabuksu travertenlerin parlatılabilme özelliklerinin zayıf, albatr travertenlerin ise çok daha iyi olduğu gözlenmiştir. Bunun en önemli nedeni, kabuksu travertenlerin çoğunlukla mikritik dokulu, albatr travertenlerin ise sparitik dokulu olmalarıdır. Bunun yanında, albatr travertenlerin gözenekliliklerinin az olması da parlatılabilme özelliğini arttırmaktadır.

Parlatılmış kabuksu - travertenlerde meydana gelen değişimler üç yıl süreyle izlenerek incelenmiş olup; 1. yıl sonunda, açık hava etkilerine bağlı olarak demirce zengin kesimlerin oksitlenmesi nedeniyle matlaşma geliştiği, 2. yıl sonunda, matlaşmanın biraz daha arttığı, 3. yıl sonunda ise matlaşmanın daha fazla ilerlemediği gözlenmiştir. Süs eşyası yapımında kullanılan albatr travertenlerde ise zamanla matlaşma sorunu gözlenmemiştir.

BİRİM HACİM KÜTLESİ

İnceleme alanındaki travertenlerin birim hacim kütleleri, her saha için 5'er adet örnek üzerinde, boyutları yaklaşık 70 x 70 x 70 mm olan küp örnekler kullanılarak belirlenmiştir.

Test sonuçlarına göre, inceleme alanındaki travertenlerin ortalama birim hacim kütleleri; Karlıkaya travertenlerinde $2.36 \pm 0.06 \text{ gr/cm}^3$, Kandilsırtı travertenlerinde $2.34 \pm 0.03 \text{ gr/cm}^3$, Sarıkaya travertenlerinde $2.56 \pm 0.14 \text{ gr/cm}^3$ ve Uyuz Çermik albatr travertenlerinde $2.66 \pm 0.04 \text{ gr/cm}^3$ olarak belirlenmiştir (bkz. Çizelge 1).

Anon (1979) tarafından yapılan tanımlamalara göre; Karlıkaya ve Kandilsırtı travertenleri "orta", Sarıkaya travertenleri "orta-yüksek", Uyuz Çermik travertenleri ise "yüksek" birim hacim kütleli olarak tanımlanmışlardır.

ÖZGÜL KÜTLE

İnceleme alanındaki travertenlerin özgül kütleleri, her saha için 5'er adet öğütülmüş örnek üzerinde, TSE 699 (1987)'a göre test edilmiştir.

Yapılan testlerden; inceleme alanındaki travertenlerin ortalama özgül kütleleri; Karlıkaya travertenlerinde $2.58 \pm 0.02 \text{ gr/cm}^3$, Kandilsırtı travertenlerinde $2.58 \pm 0.03 \text{ gr/cm}^3$, Sarıkaya travertenlerinde $2.69 \pm 0.11 \text{ gr/cm}^3$ ve Uyuz Çermik albatr travertenlerinde $2.71 \pm 0.04 \text{ gr/cm}^3$ olarak belirlenmiştir (bkz. Çizelge 1).

TSE 2513 (1977)'ye göre, yüzey kaplama taşlarında özgül kütlelerin 2.55 'ten küçük olmaması gerekmektedir. İnceleme alanındaki travertenlerin özgül kütleleri bu değerlerden büyük olup, belirtilen standarta uygunluk göstermektedir.

DOLULUK ORANI

İnceleme alanındaki travertenlerin doluluk oranları, birim hacim kütleleri ve özgül kütle değerlerinden yararlanılarak, $k = [dh/do]$ bağıntısıyla hesaplanmıştır. Burada (k: doluluk oranı [%]; dh: birim hacim kütleleri [gr/cm^3]; do: özgül kütle [gr/cm^3]).

Yapılan hesaplama sonuçlarına göre; inceleme alanındaki travertenlerin ortalama doluluk oranları; Karlıkaya travertenlerinde $\% 91.3 \pm 1.71$, Kandilsırtı travertenlerinde $\% 90.6 \pm 1.75$, Sarıkaya travertenlerinde $\% 95.2 \pm 1.78$ ve Uyuz Çermik albatr travertenlerinde $\% 98.3 \pm 0.63$ olarak belirlenmiştir (bkz. Çizelge 1).

Bu değerlere göre, doluluk oranlarının Sıcak Çermik (Karlıkaya-Kandilsırtı yöresindeki kabuksu travertenlerde diğerlerine göre daha düşük, Sarıkaya yöresindeki kabuksu travertenlerde orta, Uyuz Çermik yöresindeki albatr travertenlerde ise çok yüksek olduğu söylenebilir.

SU EMME ORANI

İnceleme alanındaki travertenlerin su emme oranları, her saha için 5'er adet örnek üzerinde, boyutları yaklaşık $100 \times 100 \times 100 \text{ mm}$ olan küp şekilli örnekler kullanılarak test edilmiş ve aynı örneklerden hem kütlece, hem de hacimce su emme oranları hesaplanmıştır.

Yapılan test ve hesaplama sonuçlarına göre; inceleme alanındaki travertenlerin ortalama kütlece su emme oranları; Karlıkaya travertenlerinde $\% 1.63 \pm 0.11$, Kandilsırtı travertenlerinde $\% 1.66 \pm 0.17$, Sarıkaya travertenlerinde $\% 1.29 \pm 0.32$ ve Uyuz Çermik albatr travertenlerinde $\% 0.17 \pm 0.11$ olarak belirlenmiştir (bkz. Çizelge 1).

TSE 2513 (1977)'ye göre, yüzey kaplama taşlarında kütlece su emme oranının $\% 1.8$ 'den fazla olmaması gerekmektedir. İnceleme alanındaki travertenlerin kütlece su emme oranları, Kandilsırtı travertenlerinin üst seviyesine ait bir değer dışında, belirtilen standarta uygunluk göstermektedir.

Yapılan test ve hesaplama sonuçlarına göre; inceleme alanındaki travertenlerin ortalama hacimce su emme oranları ise, Karlıkaya travertenlerinde $\% 4.17 \pm 0.30$, Kandilsırtı travertenlerinde $\% 4.35 \pm 0.49$, Sarıkaya travertenlerinde $\% 3.61 \pm 0.67$ ve Uyuz Çermik albatr travertenlerinde $\% 0.45 \pm 0.29$ 'dur (bkz. Çizelge 1).

Bu değerlerden; ortalama hacimce su emme oranlarının, Karlıkaya, Kandilsırtı ve Sarıkaya yörelerindeki kabuksu travertenlerde, Uyuz Çermik yöresindeki albatr travertenlere göre daha fazla olduğu görülmektedir.

GÖZENEKLİLİK

İnceleme alanındaki travertenlerin gözeneklilikleri, 5'er adet örnek üzerinde, zahiri ve gerçek gözeneklilikler olmak üzere iki farklı şekilde hesaplanmıştır.

İnceleme alanındaki travertenlerin ortalama zahi-

ri gözeneklilikleri. Karlıkaya travertenlerinde % 4.17, Kandilsırtı travertenlerinde % 4.35, Sarıkaya travertenlerinde % 3.61 ve Uyuz Çermik albatr travertenlerinde % 0.45 olarak belirlenmiştir. Bu değerlerden, inceleme alanındaki travertenlerin zahiri gözenekliliklerinin, Karlıkaya, Kandilsırtı ve Sarıkaya yörelerindeki kabuksu travertenlerde daha fazla, Uyuz Çermik yöresindeki albatr travertenlerde ise daha az olduğu görülmektedir.

Travertenlerin ortalama gerçek gözeneklilikleri ise, Karlıkaya travertenlerinde % 8.7 ± 1.71 , Kandilsırtı travertenlerinde % 9.4 ± 1.75 , Sarıkaya travertenlerinde % 4.8 ± 0.97 ve Uyuz Çermik albatr travertenlerinde % 1.7 ± 0.63 olarak belirlenmiştir (bkz. Çizelge 1).

Anon (1979) tarafından kayaçların gerçek gözeneklilik değerlerine göre yapılan sınıflamada; Karlıkaya ve Kandilsırtı travertenleri ile Sarıkaya travertenlerinin üst seviyesi (1 değer) "orta", Sarıkaya travertenlerinin alt kesimleri ile Uyuz Çermik travertenleri ise "düşük" dereceli gözenekliliğe sahip travertenler olarak tanımlanmışlardır.

SUDA DAĞILMA DAYANIMI

Suda dağılma dayanımı testleri, travertenlerde ısınma - kuruma olayları etkisiyle meydana gelebilecek dağılmaları belirlemek amacıyla, ISRM (1981)'e göre yapılmış olup, inceleme alanındaki travertenlerin suda dağılma dayanım indeksleri, Karlıkaya, Kandilsırtı ve Sarıkaya travertenlerinde %98, Uyuz Çermik albatr travertenlerinde %99'dur. Gamble (1971) tarafından önerilen sınıflamaya göre, inceleme alanındaki travertenlerin suda dağılma dayanımları "çok yüksek" sınıfta yer almaktadır.

SERTLİK

İnceleme alanındaki travertenlerin sertlikleri; Mohs ve Schmidt sertlikleri olmak üzere iki farklı şekilde belirlenmiştir. İnceleme alanındaki travertenlerin Mohs sertlikleri TSE 6809 (1989)'a göre 3 olarak belirlenmiştir. İnceleme alanındaki travertenlerin

Schmidt sertlik testleri ise bantlanmaya dik ve paralel yönlerde ayrı ayrı olmak üzere yapılmış olup, sonuçlar Çizelge 1'de görülmektedir. İnceleme alanındaki travertenler, ISRM (1981) sınıflamasına göre az sert olarak tanımlanmışlardır.

SAYDAMLIK

İnceleme alanındaki travertenlerin saydamlık özellikleri, 2-3 mm kalınlığında kesilen traverten levhacıklarının, ışığı geçirebilme yeteneklerine göre belirlenmiştir. Yapılan testlere göre, inceleme alanındaki kabuksu travertenlerin saydamlığı çok düşük olup, albatr travertenlerin özellikle beyaz ve açık renkli kesimleri yarı saydam özellik göstermektedirler.

AŞINMA KAYBI

İnceleme alanındaki travertenlerin aşınma kayıpları, Böhme yöntemiyle (TSE 699; 1987) ağırlıkça ve hacimce olmak üzere iki ayrı şekilde test edilmiştir. Her iki tip kalınlıkça aşınma kaybı sonuçları Çizelge 1'de görülmekte olup, bu sonuçlar TSE 2513 (1977)'ye göre değerlendirildiklerinde (yer döşemesi ve merdiven basamağı gibi aşındırıcı etkiler altında kalan yüzey kaplama taşı kullanımlarında, sürtünmeden dolayı hacimce aşınma kaybının $15 \text{ cm}^3/50\text{cm}^2$ den, yol parkesi ve bordürü gibi kullanımlarda ise $10 \text{ cm}^3/50\text{cm}^2$ den fazla olmaması gerekmektedir), Kandilsırtı travertenlerinin üst seviyesindekiler dışında tüm travertenlerin yüzey kaplama taşı olarak kullanılabilme sınırları içerisinde oldukları belirlenmiştir.

TEK EKSENLİ BASINÇ DAYANIMI

METOD

Travertenlerden elde edilecek yüzey kaplama levhaları ve yapıtaşları, yapıarda köşeli levhalar şeklinde kullanılacağı için tek eksenli basınç dayanımı testleri, silindirik örnekler yerine kübik şekilli örnek-

ler üzerinde yapılmıştır. Ancak, bilindiği üzere kayalar üzerinde yapılan tek eksenli basınç dayanımı testlerinde, kübik şekilli örneklerin dayanımları, silindirik şekilli örneklerin dayanımlarından % 20 - 30 daha düşük çıkmaktadır. Bunun nedeni; yükleme sırasında kübik örneklerin köşelerinde oluşan gerilme birikimleridir.

DON ÖNCESİ TEK EKSENLİ BASINÇ DAYANIMI

İnceleme alanındaki travertenlerin, tek eksenli basınç dayanım deneyleri TSE 699 (1987)'a göre, bantlanmaya paralel ve dik yönlerde olmak üzere iki farklı şekilde yapılmış olup, tanımlamalar ise ISRM (1981) tarafından verilen sınıflamaya göre yapılmıştır.

İnceleme alanındaki travertenlerin, bantlanmaya dik yöndeki tek eksenli basınç dayanımı test sonuçları Çizelge 1'de görülmekte olup, Karlıkaya travertenlerinde 415.0 ± 46.9 kgf/cm², Kandilsırtı travertenlerinde 381.3 ± 64.1 kgf/cm², Sarıkaya travertenlerinde 440.6 ± 52.4 kgf/cm² ve Uyuz Çermik albatr travertenlerinde 714.9 ± 135.3 kgf/cm² olarak belirlenmiştir.

İnceleme alanındaki travertenlerin bantlanmaya dik yöndeki tek eksenli basınç dayanımları; ISRM (1981)'e göre, Karlıkaya, Kandilsırtı ve Sarıkaya travertenleri ile Uyuz Çermik albatr travertenlerinin alt seviyesi için orta dayanımlı olarak, Uyuz Çermik albatr travertenlerinin üst seviyeleri için ise yüksek dayanımlı olarak tanımlanmıştır.

Diğer yandan, TSE 2513 (1977)'ye göre, yüzey kaplama taşı olarak kullanılacak travertenlerin basınç dayanımları 350 kgf/cm²'den düşük olmamalıdır. Buna göre, inceleme alanındaki travertenlerin bantlanmaya dik yöndeki basınç dayanımları; Kandilsırtı travertenlerinin en üst seviyesi (1 değer) dışında, belirtilen standarta uygunluk göstermektedir. Kandilsırtı kabuksu travertenlerinde en düşük, Uyuz Çermik albatr travertenlerinde ise en yüksek değerler gözlenmiştir.

İnceleme alanındaki travertenlerin bantlanmaya paralel yöndeki don öncesi tek eksenli basınç daya-

nımları da, Çizelge 1'de görülmekte olup, Karlıkaya travertenlerinde 470.9 ± 47.7 kgf/cm², Kandilsırtı travertenlerinde 422.3 ± 90.5 kgf/cm², Sarıkaya travertenlerinde 463.5 ± 68.5 kgf/cm² ve Uyuz Çermik albatr travertenlerinde 550.8 ± 47.0 kgf/cm² olarak belirlenmiştir.

ISRM (1981)'e göre, inceleme alanındaki travertenlerin bantlanmaya paralel yöndeki tek eksenli basınç dayanımları; Karlıkaya, Kandilsırtı ve Sarıkaya travertenleri ile Uyuz Çermik albatr travertenlerinin 4. seviyesi dışında orta dayanımlı olarak, Uyuz Çermik albatr travertenlerinin 4. seviyesi ise yüksek dayanımlı olarak tanımlanmıştır.

TS 2513'te ise; travertenlerin yüzey kaplama taşı kullanımları için belirtilen, minimum 350 kgf/cm²'lik basınç dayanımı değerine göre, inceleme alanındaki travertenlerin bantlanmaya paralel yöndeki basınç dayanımları; Kandilsırtı travertenlerinin üst ve alt seviyelerinin dışında (2 değer), belirtilen standarta uygunluk göstermektedir. En düşük değerler, Kandilsırtı yöresindeki kabuksu travertenlerde, en yüksek değerler ise Uyuz Çermik yöresindeki albatr travertenlerde ölçülmüştür.

Yapılan testlerde, iri boşlukların gözlenmediği, masif yapılı albatr travertenlerde bantlanmaya dik yöndeki basınç dayanımları, bantlanmaya paralel yöndeki basınç dayanımlarından daha yüksek çıkmıştır. Ancak, beklenenin aksine kabuksu travertenlerde bunun tersi gözlenmiştir. Bunun nedeni olarak, kabuksu travertenlerde, bantlanmaya paralel yöndeki yük uygulamalarında, bantlanmaların yükü bir kolon işleviyle taşıması, bantlanmaya dik yöndeki uygulamalarda ise sık aralıklı olarak gözlenen gözenek hatlarının, yük basıncını yeteri kadar taşıyamadığı ve kırılmanın daha düşük basınçlarda olduğu düşünülebilir.

DON SONU TEK EKSENLİ BASINÇ DAYANIMI

İnceleme alanındaki travertenlerin, don sonu tek eksenli basınç dayanımları bantlanmaya dik ve paralel yönlerde olmak üzere iki farklı şekilde belirlenmiş olup sonuçlar Çizelge 1'de görülmektedir.

İnceleme alanındaki travertenlerin, bantlanmaya dik yöndeki don sonu tek eksenli basınç dayanımları, Karlıkaya travertenlerinde 364.5 ± 39.1 kgf/cm², Kandilsırtı travertenlerinde 316.2 ± 69.7 kgf/cm², Sarıkaya travertenlerinde 391.7 ± 55.0 kgf/cm² ve Uyuz Çermik albatr travertenlerinde 681.8 ± 127.9 kgf/cm² olarak belirlenmiştir.

Travertenlerin bantlanmaya paralel yöndeki don sonu tek eksenli basınç dayanımları ise, Karlıkaya travertenlerinde 410.2 ± 47.2 kgf/cm², Kandilsırtı travertenlerinde 371.0 ± 81.4 kgf/cm², Sarıkaya travertenlerinde 417.8 ± 61.6 kgf/cm² ve Uyuz Çermik albatr travertenlerinde 510.0 ± 51.1 kgf/cm² olarak belirlenmiştir.

Bu değerler, TS 2513 (1977)'de, travertenlerin yüzey kaplama taşı kullanımları için belirtilen, minimum 350 kgf/cm²lık basınç dayanımı değeri ile karşılaştırıldıklarında birkaç örnek dışında daha yüksektir. En düşük değerler, Kandilsırtı kabuksu travertenlerinde, en yüksek değerler ise, Uyuz Çermik albatr travertenlerinde gözlenmiştir.

DAYANIM ANİZOTROPİSİ ÖZELLİKLERİ

İnceleme alanındaki travertenlerin dayanım anizotropisi özellikleri; don öncesi ve don sonrası tek eksenli basınç dayanımı sonuçları kullanılarak hesaplanmış olup, Karlıkaya travertenlerinde % 11.9 - 11.1, Kandilsırtı travertenlerinde % 9.7 - 14.8, Sarıkaya travertenlerinde % 4.9 - 6.3 ve Uyuz Çermik yöresindeki albatr travertenlerde ise % 23.3 - 25.2 arasında değişmektedir (Çizelge 1).

Yüzey kaplama taşı, yapıtaşı ve süs eşyası yapımında kullanılacak olan kayaların dayanım anizotropilerinin az olması tercih edilmekte olup, kırılmadan kolay işlenebilme yeteneği sağlamaktadır. Uyuz Çermik yöresindeki albatr travertenlerin dayanım anizotropisi bir miktar yüksek çıkmıştır. Ancak, bunların tek eksenli basınç dayanımlarının yüksek olması nedeniyle, işleme esnasında herhangi bir sorun çıkmamaktadır.

EĞİLME DAYANIMI

İnceleme alanındaki travertenlerin eğilme dayanımları bantlanmaya dik ve paralel yönlerde olmak üzere iki farklı şekilde yapılmış olup, sonuçlar Çizelge 1'de verilmiştir.

İnceleme alanındaki travertenlerin, bantlanmaya dik yöndeki eğilme dayanımı değerleri; Karlıkaya travertenlerinde 32.0 ± 1.7 kgf/cm², Kandilsırtı travertenlerinde 32.0 ± 2.4 kgf/cm², Sarıkaya travertenlerinde 33.3 ± 2.6 kgf/cm² ve Uyuz Çermik albatr travertenlerinde 37.8 ± 3.9 kgf/cm², bantlanmaya paralel yöndeki eğilme dayanım değerleri ise Karlıkaya travertenlerinde 31.3 ± 2.9 kgf/cm², Kandilsırtı travertenlerinde 30.4 ± 2.4 kgf/cm², Sarıkaya travertenlerinde 33.5 ± 1.6 kgf/cm² ve Uyuz Çermik albatr travertenlerinde 36.9 ± 4.7 kgf/cm² olarak belirlenmiştir.

ITS 2513'e göre, yüzey kaplama taşı olarak kullanılacak travertenlerin, eğilme dayanımlarının 30 kgf/cm²den düşük olmaması gerekmektedir. İnceleme alanındaki travertenlerin bantlanmaya dik ve paralel yönlerdeki eğilme dayanımlar genellikle bu değerden daha yüksektir.

DARBE DAYANIMI

İnceleme alanındaki travertenlerin darbe dayanımları, bantlanmaya dik ve paralel yönlerde olmak üzere iki farklı şekilde yapılmış olup, sonuçlar Çizelge 1'de görülmektedir.

Bantlanmaya dik yöndeki darbe dayanımı değerleri, Karlıkaya travertenlerinde 6.4 ± 3.6 kgf/cm², Kandilsırtı travertenlerinde 5.2 ± 1.8 kgf/cm², Sarıkaya travertenlerinde 7.6 ± 4.3 kgf/cm² ve Uyuz Çermik albatr travertenlerinde 8.4 ± 3.3 kgf/cm², bantlanmaya paralel yöndeki darbe dayanımları ise, Karlıkaya travertenlerinde 7.2 ± 2.7 kgf/cm², Kandilsırtı travertenlerinde 6.4 ± 3.6 kgf/cm², Sarıkaya travertenlerinde 7.6 ± 4.3 kgf/cm² ve Uyuz Çermik albatr travertenlerinde 8.4 ± 3.3 kgf/cm² olarak bulunmuştur. Travertenlerin, yer yer 1.5 cm genişliğinde iri boşluklar içermesi nedeniyle, standart sapmalar yüksek çıkmıştır.

TSE 2513(1977)'ye göre, yüzey kaplama taşı olarak kullanılacak travertenlerin, darbe dayanımı değerlerinin 6 kgf/cm^2 'ten düşük olmaması gerekmektedir. Elde edilen sonuçlara göre, inceleme alanındaki travertenlerin bantlanmaya dik ve paralel yönlerdeki darbe dayanımları genellikle bu değere yakın veya kısmen daha yüksektir.

DONA KARŞI DAYANIM

İnceleme alanındaki travertenlerin dona karşı dayanımı özelliği, don kaybı ve don etkisiyle oluşan basınç dayanımı azalması olarak, iki şekilde belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlarla travertenlerde, donma-çözünme süreçleri sonrasında meydana gelebilecek değişimler ve bu değişimlerin yüzey kaplama taşı olarak kullanımlara olan etkisi irdelenmiştir.

İnceleme alanındaki travertenlerin don kaybı testi sonuçları ve don tesiriyle basınç dayanımlarında meydana gelen azalmalar Çizelge 1'de verilmiş olup, Karlıkaya travertenlerinde % 2.4, Kandilsırtı travertenlerinde % 2.6, Sarıkaya travertenlerinde % 2.2 ve Uyuz Çermik travertenlerinde % 1.9 olarak belirlenmiştir. TSE 2513 (1977)'ye göre, yüzey kaplama taşı kullanımları için don kaybının % 5'ten fazla olmaması gerekmektedir. Buna göre, inceleme alanındaki travertenlerin don kayıpları, yüzey kaplama taşı olarak kullanılabilme sınırları içindedir.

AÇIK HAVA TESİRLERİNE DAYANIM

Travertenlerin açık hava tesirlerine dayanım testleri, levha örneklerin parlak yüzeyleri üzerinde, TSE 699 (1987)'de belirtildiği şekilde yapılmıştır.

Yapılan açık hava tesirlerine dayanım testlerinde, inceleme alanındaki kabuksu travertenlerin zamanla matlaştıkları gözlenirken, albatr travertenlerin ise fazla etkilenmedikleri gözlenmiştir. Daha önce de belirtildiği gibi, kabuksu travertenlerin dış yüzey kaplaması kullanımlarının, üç yıllık bir zaman süreci boyunca yapılan gözlemlerinde de matlaşmalar gözlenmiştir. Ancak kabuksu travertenlerin göze hoş gözüken renk ve desen özelliği, matlaşmalara rağmen estetik görünümünü muhafaza etmektedir.

ASİTLERE KARŞI DAYANIM

Asitlere karşı dayanım testleriyle havadaki nem ve baca gazlarının (ve/veya diğer zararlı gazların) oluşturduğu asitlerin, travertenler üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla, TSE 699 (1987)'de belirtildiği şekilde yapılmıştır.

İnceleme alanındaki kabuksu ve albatr yapılı travertenlerin parlak yüzeylerinde matlaşmalar ve albatr travertenlerdeki beyaz renkli bantlarda sararmalar gözlenmiştir. Lavabo ve mutfak tezgahı yapımında kullanılabilmeleri bakımından önem taşıyan bu testin sonuçlarına göre; inceleme alanındaki travertenler, asitlere karşı yeterli dayanımı göstermemekte olup, lavabo ve mutfak tezgahı yapımı için uygun malzemeler değillerdir.

RENK DEĞİŞİMİ (PASLANMA) ÖZELLİKLERİ

Renk değişimi (paslanma) testleri, travertenlerde su ve hava etkisine bağlı olarak meydana gelebilecek renk değişimlerini belirleyebilmek amacıyla, TSE 699 (1987)'ye göre yapılmış olup, yapılan deneyler sonucunda, kabuksu travertenlerde önemli bir değişiklik gözlenmezken, albatr travertenlerde, özellikle kırmızı-kahverengi renkli bantlardan beyaz renkli bantlara doğru bir renk kayması (pas atma özelliği) gözlenmiştir. Ancak, süs eşyası yapımında kullanılan bu albatr travertenler suyla fazla temas etmeyecekleri için paslanma olayından fazla etkilenmeyeceklerdir.

SONUÇLAR

İnceleme alanındaki travertenlerin TSE 699 (1987), TSE 6809 (1989), ISRM (1978, 1981) ve MTA, (1966)'ya göre yapılmış test sonuçlarının, TSE 2513 (1977)'de belirtilen değerler ile karşılaştırılması sonucu ortaya çıkan endüstriyel özellikleri, aşağıda özetlenmiştir.

Blok verme özelliği bakımından, inceleme alanındaki travertenlerin II. zon olarak tanımlanan alt kesimlerinden farklı boyutlarda blok çıkarılabilir. Kabuksu travertenlerden büyük boyutlu (Karlıkaya mevkiinde max. $2 \times 3 \times 3 \text{ m}$, Kandilsırtı mevkiinde

max. 2 x 2,5 x 3 m, Sarıkaya yöresinde max. 2 x 3 x 3 m, Uyuz Çermik sahasında albatr travertenlerden ise küçük boyutlu (max. 60 x 50 x 40 cm) blokların çıkarılabileceği belirlenmiştir.

Kabuksu ve albatr travertenlerin her ikisi de levhalar şeklinde kesilebilme ve cilalanıp parlayabilme özelliğine sahiptirler. Yuvarlatılabilmeye ve oyulabilme özelliğine de sahip olan albatr travertenlerin cilanma ve parlayabilme özellikleri daha iyidir.

Kabuksu travertenler, yüzey kaplaması için uygun renk ve desen özelliği gösterirken, albatr travertenler ise süs eşyası yapımı için uygun renk ve desen özelliği göstermektedir.

İnceleme alanındaki travertenlerin birim hacim kütleleri, özgül kütle, doluluk oranı, kütlece ve hacimce su emme oranları, zahiri ve gerçek gözeneklilikler, suda dağılma dayanımı, Mohs ve Schmidt sertlikleri, saydamlık, kalınlıkça ve hacimce aşınma kayıpları, bantlanmaya dik ve paralel yönlerdeki tek eksenli basınç dayanımları, bantlanmaya dik ve paralel yönlerdeki don sonu tek eksenli basınç dayanımları, bantlanmaya dik ve paralel yönlerdeki eğilme dayanımları, bantlanmaya dik ve paralel yönlerdeki darbe dayanımları, dona karşı dayanım, don kaybı, açık hava tesirlerine dayanım, paslanma ve asitlere karşı dayanım özellikleri, belirtilen standartlara uygunluk göstermekte olup, yüzey kaplama taşı olarak rahatlıkla kullanılacak özelliktedirler. Ancak, Kandilsırtı travertenlerinin basınç dayanımlarının ve darbe dayanımlarının biraz zayıf oldukları anlaşılmıştır. Ayrıca, kabuksu travertenlerin görünümünün zamanla matlaştığı, ancak göze hoş gözüken renk ve desen özelliğinden dolayı, estetik görünümünü muhafaza ettikleri gözlenmiştir.

İnceleme alanında yayılım gösteren kabuksu travertenlerin, endüstriyel alandaki en uygun kullanım alanlarının yüzey kaplama taşı sektörü, albatr travertenlerin de süs eşyası yapımı sektörü olduğu söylenebilir. Ayrıca, kabuksu travertenler, hafiflik ve kısmi izolasyon görevi gören gözeneklilik özelliğinden dolayı, ideal bir doğal yapıtaşı malzemesi durumundadır.

KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Saha incelemeleri sırasında MTA Orta Anadolu I. Bölge Müdürlüğü'nün araçlarından, örneklerin deneylere hazırlanmasında Aşkın Mermer Sanayi (Sivas) atölyelerinden, deneylerin yapımı sırasında ise C.Ü. Jeoloji Müh. Bölümü, MTA Genel Müdürlüğü ve Karayolları Genel Müdürlüğü laboratuvarlarından yararlanılmıştır. Bu kurum ve kuruluşların yetkilileri ile çalışanlarına ve makalenin ilk yazımını okuyarak değerli önerileri ile katkıda bulunan Jeoloji Mühendisliği Dergimizin ismini bilmediğimiz iki değerli hakemine teşekkürü borç biliriz.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Anon. 1979, Classification of rocks and soils for engineering geological mapping, Part-1, rock and soil materials; Report of the Commission of Engineering Geological Mapping, Bulletin of the International Association of Engineering Geology, No: 19, 364-371pp.
- ASTM, 1966, Testing techniques for rock mechanics; Amer. Soc. Test. Matr, Philadelphia, S.T.P. No: 402p.
- Ayaz, M.E., 1998. Sıcak Çermik (Yıldızeli - Sivas) yöresindeki traverten sahalarının jeolojisi ve travertenlerin endüstriyel özellikleri. C.Ü. Fen Bil. Enst. Doktora Tezi (yayınlanmamış), 157s.
- Ayaz, M.E. ve Gökçe, A., 1998. Sivas batısındaki Sıcak Çermik, Sarıkaya ve Uyuz Çermik traverten yataklarının jeolojisi ve oluşumu. Cumhuriyet Üniv., Mühendislik Fak. Dergisi, Seri A: Yerbilimleri, Sivas, 15/1,1-12s
- Gamble, J. C., 1971, Durability-plasticity classification of shales and other argillaceous rocks; Ph. D., thesis, University of Illinois, 380 p.

- ISRM, 1978, Suggested method for the quantitative description of discontinuities in rock mass; Geo. 10th Standart of Lab. and Field Test., Int. J. Rock Mec. Min. Sci. Geomec, Abs. Tr. V. 15, 319-368pp.
- ISRM, 1981, Basic geotechnical description of rock masses; International Society of Rock Mechanics Commission on the Classification of Rock and Rock Masses, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanical Abstract. 18, 85-110pp.
- MTA., 1966. Türkiye mermer envanteri. MTA yayını, MTA yayın no: Ankara, 35 s.
- TSE, 1977, TS 2513 - Doğal yapı taşları; Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TSE, 1987, TS 699 - Tabii yapı taşları - muayene ve deney metodları; Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TSE, 1989, TS 6809 - Mohs sertlik cetveline göre sertlik tayini; Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.



SEM studies on micro structure of fired kaoline - illite - quartz bodies

Kaolinit - illit - kuvars bünyelerde mikro-yapının SEM ile incelenmesi

Aydın ARAS

ABSTRACT

SEM observations were undertaken from the etched fresh surfaces of kaolinite-illite-quartz bodies after coating with Jeol JSM 6400 scanning electron microscope equipped with link energy dispersive spectrometer. The fractured fresh surfaces were treated with a hot and cold HF. Scanning electron micrographs and the chemical compositions of the selected areas and points on the fresh etched surfaces show that primary mullite arises mainly from clay zones while growth of secondary mullite occurs essentially within the feldspathic glassy zones or, relict feldspar grains. SEM micrographs also show actual pore sizes developed in the fired bodies. The bodies have three kinds of pore sizes. But according to the spatial distribution of the porosity observed in the micrographs, porosity can be divided into intragranular and intergranular porosities.

- The intragranular pores refer to the pores within the original grains; they are small and are produced by bubbling and blistering. They can be divided into two groups ranging from 5-10 μ to 1 μ .

- The intergranular porosity consists of elongated shrinkage pores; they are large and are formed between the grains and their size change between 20 -50 μ .

Key Words : Amorphous/ glassy phase, Porosity, Primary mullite, Secondary mullite, Smullite

ÖZ

Kaolinit-illit-kuvars bünyelerden kırılmış taze yüzeyler altınla kaplandıktan sonra Jeol-JSM-6400 taramalı elektron mikroskopuyla gözlenmiştir. Taze kırılmış yüzeyler sıcak ve soğuk hidroflorik asitle dağlanmış. SEM görüntüleri ve örnek yüzeylerinden yapılan kimyasal analiz sonuçları; birincil müllitlerin kil alanlarından (kil taneleri), ikincil müllitlerin ise feldispatlı cam alanları ve kalıntı feldispat tanelerinin içinde büyüdüklarini göstermiştir. Bu görüntüler aynı zamanda gerçek gözenek boyutlarını da göstermektedir. Bünyelerde üç çeşit büyüklükte gözenek bulunmaktadır. Gözenekler, görüntülerdeki uzaysal dağılımlarına göre tane içi ve tanelerarası şeklinde ikiye ayrılabilir.

- *Tane içi gözenekler, orijinal tanelerin içindekiler; bu gözeneklerden küçük ve gaz çıkışları ile oluşan kabarcıklardır, boyutları iki grupta, 1 μ ve 5 μ -10 μ arasında değişmektedir.*

- *Tanelerarasında uzunlamasına büzülme ve küçülme ile oluşmuş gözenekler; taneler arasında 20 μ - 50 μ boyutlarında büyük gözeneklerdir.*

Anahtar kelimeler: Amorf/camsı faz, Birincil müllit, Gözeneklilik, İkincil müllit

A. ARAS: MTA, MAT Department, Mineralogy and Petrography Lab., Ankara, Türkiye.

INTRODUCTION

X-Ray diffraction, petrographic microscopy and SEM analysis are used together to obtain qualitative and quantitative information on the microstructure of kaolinite-illite-quartz bodies. The petrographic microscope is used to analyse of the microstructure and mineralogy of the fired products. But the results have not been entirely satisfactory because of the inability to detect crystalline particles of submicrometer mullite, cristobalite and pores. The body consists of mullite cristobalite and quartz (crystalline phases) in a composite structure where crystals and porosity are embedded in the matrix of amorphous/glassy phase. Both glass and amorphous phases appear in more or less significant amounts in all the studied fired clay bodies. The presence of quartz, detrital mica and Ca-Na feldspar indicate bodies being usually fired under nonequilibrium conditions and that many chemical reactions do not go to completion because of the lack of sufficient heat treatment and of intimate contact of the constituents. If the reactions were allowed to go to completion this would result in a large glassy phase that would endanger the desirable properties of the clay based ceramic bodies.

MATERIALS AND METHOD

The changes in the crystalline and glassy phases were studied with the aid of SEM micrographs obtained from the fired bodies of kaolinite rich HB, mixed HK (%50HB+%50KW), illite rich KW and the ir feldspar mixed bodies on which tests of XRD, as well as thin section studies and physical properties had been made. SEM observations were undertaken on etched fresh broken surfaces of the above mentioned bodies after coating with gold. They were examined at 20-30 kV accelerating voltage with a Jeol JSM 6400 equipped with a Link energy dispersive spectrometer for qualitative analysis of chemical composition of the selected points or areas. The peak heights for the same element of different spectrums were used as a measure for the individual element concentration.

The fractured fresh surfaces were treated during 1,2 minute or 3 minute with hot and cold HF. Figure 1-a, b, c, d, e and f were taken from a fractured surface of wet mixed HK body fired at 1200°C. The specimen was etched with hot HF for 1 min and coated with gold. Treatment with hot HF produces much more solution cavities and pits in amorphous/glassy phase. These small rounded and tiny elongated etch pits tended to develop in size and depth with increasing leaching time. The micrographs of Figure 2 was taken from kaolinite rich (d, e, f) and feldspar mixed bodies (a, b, c). HF treatment also resulted in the formation of new crystalline phases that were precipitated from leaching solutions (Figure 3-a, b, c, d, e, f). The immediate washing with water after etching eliminated the new formed crystals on etched surfaces. They are all fired also at 1200°C.

RESULTS OF SEM OBSERVATIONS

As shown in Figure 1 a, b and c the quartz grains have been rounded by partial dissolution. The crack patterns are severe and numerous around the larger quartz grains as well as within the glassy matrix. In the microphotograph a, it is difficult to differentiate the porosity and the solution pits of the glassy phase. This dissolution pattern shows that the amorphous/glassy phase has not a homogeneous composition and structure. The difference between the etched amorphous/glassy surface, the original quartz and the fresh cracked surface are clearly seen on the micrographs of Figure 1 b. As shown in the same micrograph, the new formed crystal on the fresh cracked surface of quartz confirmed the curved structure on the original quartz surface (Figure c) which is not produced by HF treatment. This curved structure may indicate cristobalite formation. Tuttle and Cook (1949) have confirmed its presence by X Ray identification.

SEM micrographs also show actual pore sizes developed in the fired bodies. In Figures 1- d, e it is seen that at 1250°C, the bodies have three kinds of pore size dimensions. But according to the spatial distribution of porosity observed in SEM, the poro-

sity in the fired body can be divided into intragranular and intergranular.

-The intragranular pores refer to pores within the original grains; they are small and produced by bubbling and blistering. They can be subdivided into 5-10 μ m and 1 μ m- $<$ 1 μ m. (Figure 1-d)

-The intergranular porosity consists of elongated shrinkage pores; they are large and formed among the grains (quartz and clay grains) and its size changes between 20-50 μ m (Figure 1-e).

In the Figures 1 e, f coarser grains of K feldspar have glass in which the best development of mullite occurred but nearby grains that contain more bubbles and blebs have not mullite. The long needles of mullite were more developed in the less viscous K-feldspar glass than in the more viscous K-feldspar glass. Therefore the absence of mullite in some of the K-feldspar-glass was assumed to be indicative of relatively higher viscosity than that of nearby grains, filled with mullite. The presence of blebs in this mullite-free feldspar glass supported this assumption the gas was retained by grains of higher viscosity but escaped easily from those of lower viscosity. Local impurities in feldspar may have caused differences in viscosity of the individual grains. On the other hand, many authors pointed out that the amount of mullite, formed in the feldspar glass, should depend not only on the viscosity but also on the time afforded for molecular diffusion from the clay glass. Bubbling and blistering in the glassy phase depends not only on the viscosity but also on the heating rate. Bubbles in the feldspar glass are caused by the evolution of dissolved gases. The gradual escape of some of these gases during a slow temperature rise accounted for the scarcity of bubbles. In rapidly heated specimen, insufficient time for the gradual escape of gas resulted in the production of numerous bubbles.

Primary mullite arises mainly from the clay areas, while growth of secondary mullite occurs essentially within the feldspathic glassy zone or relict feldspar grains (Figures. 2 a, b, c). During firing, the K-feldspar grains start to melt above 1000°C. There is no change in the shape, because of the high viscosity.

Smaller grains disappear by reaction with the surrounding clay and the larger ones interact with the clay (alkali diffuse out of the feldspar and mullite crystals are formed in a glass). Therefore, the outlines of glass-mullite areas correspond with the original feldspar grains (Figures 2- b, c). The lath-shaped mullite crystals have well-defined outlines and their dimensions are rather constant (thickness less than 1 μ m and length larger than 2 μ m) in the relicts of feldspar (Figure 2 c). The primary mullite developed in clay has dimensions in the magnitude of nanometer and the outlines of crystals are not well defined because of a diffuse image at higher magnification (Figure 2 f). The crystals have continuous development in the clay/amorphous matrix. Therefore mullite is the crystalline phase in both the original feldspar/glassy grains and in the clay amorphous/glassy matrix. (Figure 2- d, e, f) The crystal size and development are quite different larger mullite needles growing into the feldspar relicts from the surface as the composition changes by alkali diffusion. The formation of mullite within the clay would not be observed on the thin sections even not at 1250°C firing. But SEM studies provide important contributions to the understanding of the differences in primary and secondary mullite formations.

Energy dispersive X Ray analysis (EDX)

The presence of phases determined by X-Ray diffraction analysis is confirmed by means of energy dispersive X-Ray analysis (EDX). The phases are:

- primary and secondary mullite,
- clay and feldspar amorphous/glassy phase,
- Fe and Ti rich impurities

and there is a new formation of calcium or potassium aluminosilicate crystals which are formed with different morphology on etched surfaces. EDX data were also obtained from this new formation.

In general EDX data were obtained in

- scan mode with the beam rastered over areas as

large as $3000\text{\AA} \times 4000\text{\AA}$ (corresponding higher magnification ($\times 300000$)) and

-stationary point beam analysis mode.

The scan mode analysis for primary and secondary mullite analysis include also glassy materials, because the above-mentioned minimum area is larger than the observed mullite crystal size. The stationary point mode analysis diagram (Figure 4 a, b) is obtained on the secondary mullite crystal and the matrix, displays only a strong peak of Al and a relatively small peak of Si. On the amorphous glassy matrix the reverse is observed a with strong peak of Si and relatively small peak of Al (Figure 4 c). But the scan mode analysis diagram of the same secondary mullite displays Al, Si and weak K, Ca, Ti and Fe peaks because the analyzed area is not homogenous. The obtained image of primary mullite at higher the magnification measured in nanometer is not used for point analysis because the detector position or the low working distance (7,6 mm) hindered EDX analysis. For this reason EDX diagrams of selected areas with primary mullite include amorphous/glassy phase resulting in lower Al/Si ratio and higher K, Ca, Ti, Fe peaks.

The HF etching developed new crystals on the leached surfaces of the SEM samples. The EDX spectrum of this new crystals displayed strong K and Ca and relatively weak of Si and Al indicating that these aluminosilicates were rich in K and Ca (Figure 4 e, f). It is widely accepted that dissolution of glasses is incongruent. The chemical composition of new crystals indicate selective leaching of alkali ions from the amorphous/glassy matrix; therefore leaching also produces a dealcalized layer. In Figure 3 A, B the etching developed as gel-like grains exhibiting spherical humps on the surface of Ca-Na feldspar mixed bodies. The EDX diagram of this material displays a strong peak of Ca and relatively small peaks of Si and Al (Figure 4- e). The SEM microphotograph of figure 3 d, e, f show the different K and Na-rich crystals appearing as hexagonal platy, lath and cubic-shaped and twinned crystals. The EDX spectrum of the hexagonal platy crystals shows strong K and Si and

small peaks of Al, Ti and Na (Figure 4 d). The EDX diagram of the twinned crystals show strong Si and relatively low Na and Al (Figure 4 f). The EDX diagrams of lath and small cubic shaped crystals are given in the same chemical composition. The variation in chemical composition of these new crystals precipitated from leaching solutions of glasses indicate different chemical composition and incongruent leaching of amorphous/glassy phase.

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

-The characteristic needle-like habit of mullite crystals is not observed in the amorphous/glassy matrix under the optical microscope since the primary mullite crystals, developed directly from amorphous clay are not large enough; however they are identified by the SEM studies.

-K-feldspar relicts consist of glass and mullite ($<1\mu$ thickness, $10-5\mu$ length). The outlines of glass-mullite areas correspond to the original feldspar grains and the unresolved matrix correspond to the amorphous/glassy grains of clay.

-SEM observations show the difference of the primary and secondary mullite formations. The larger mullite needles grow in the K feldspar relicts (thickness less than $1\mu\text{m}$ and length larger than $2\mu\text{m}$) (crystallized in the melt) but the elliptic shaped primary mullite in the clay amorphous/glassy phase has dimensions in the magnitude of nanometers (formed by a reaction in the solid state)

-A study of the amorphous and glassy phase remains one of the most important problems in the consideration of the fired bodies. Finally two types of amorphous material may exist together, i.e. a phase where the crystal structure has been destroyed, (so that no characteristic X Ray peaks can be observed). The composition and structure of the amorphous and glassy phase are constantly undergoing changes during the heat treatment and the glassy component increases. On the other hand the transformation in the crystalline state takes place very gradually and under high viscosity conditions so that the true glassy state

is not immediately established because equilibrium conditions are not attained during the firing time at 1150-1250°C. Amorphous material and glass are not determined qualitatively because of the ambiguity in distinguishing different phases in samples fired 1150-1250°C. Inclusions, blebs and bubbles in the glassy grains and their shapes helped in the process of identification of the glasses.

Microscopical examination of thin sections and SEM observations show only

-shrinkage pores at the peripheries of segregated clay aggregates (Intergranular)

-flaw patterns in the peripheries and inside of the quartz (Intergranular)

-sealed pores in the amorphous/glassy matrix (Intragranular)

During firing at 1150°C, elongated shrinkage pores firstly become maximal, then are partly healed, and the amount of sealed porosity increases. The quartz flaws occur at cooling. The initial small micropores disappeared, and the larger shrinkage pores grew. All these observations showed that as the porosity decreases, the distribution of the pore size shifted to a larger size with increasing temperature.

REFERENCE

- Tuttle, M.A., Cook, R.L., 1949 Fundamental study of crystalline and glassy phases in whiteware bodies J.Amer.Ceram. Soc. 32. 9 279-294

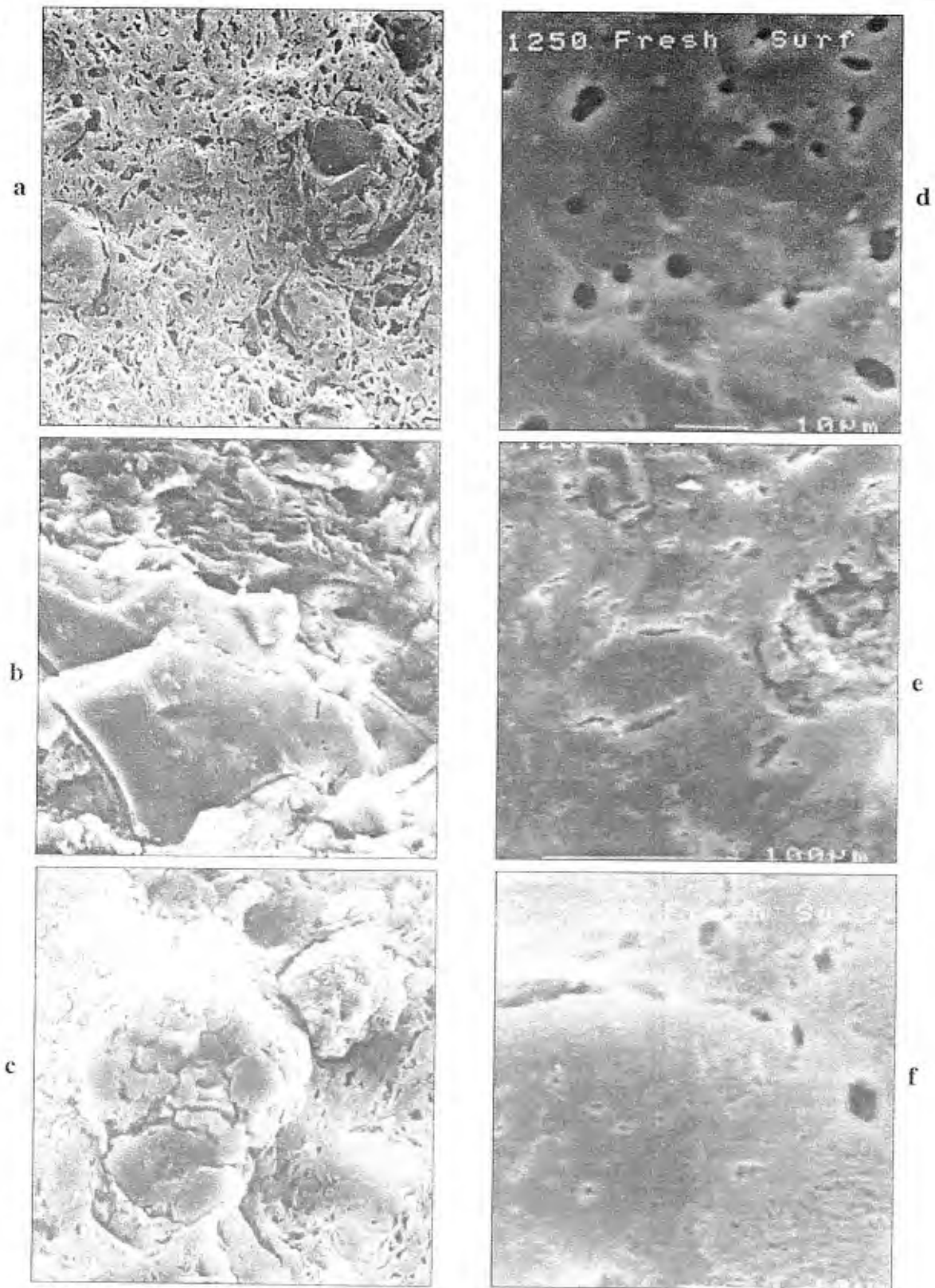


Figure 1. Scanning electron micrographs of etched fresh surface of kaolinite-illite-quartz bodies fired at 1250°C illustrate the overall microstructure, solution rim of quartz grains (a, b, c), K feldspar grains and porosity (d, e, f). Scale bar a, b, c = 10µm, d, e, f = 10µm, 100µm, 10µm

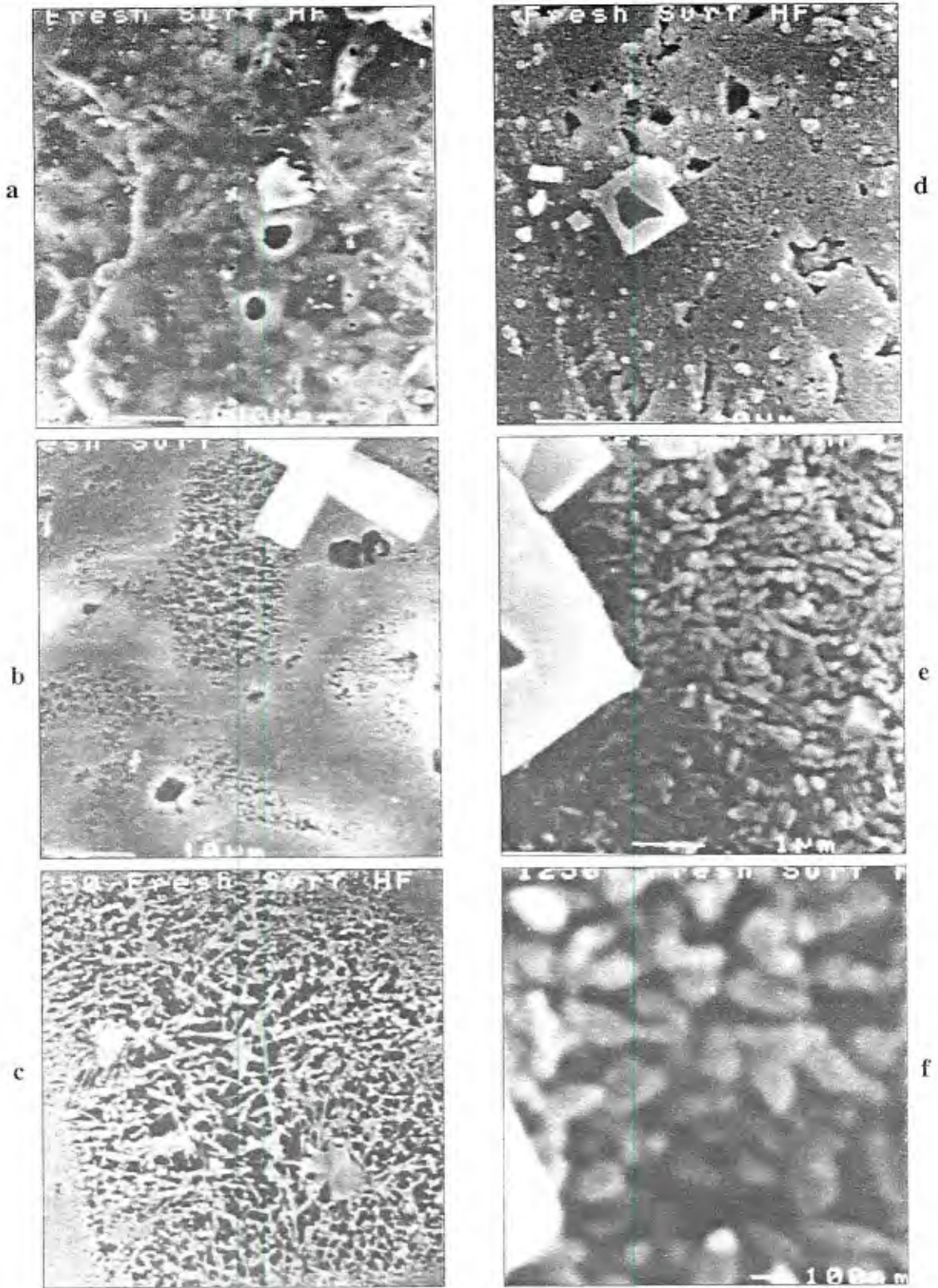


Figure 2. Scanning electron micrographs of etched fresh surface of kaolinite-illite-quartz bodies fired at 1250°C. Illustrate the existence of primary (a, b, c) and secondary (d, e, f) mullite within amorphous /glassy matrix. Scale bar a, b, c = 100µm, 10µm, 10µm, d, e, f = 10µm, 1µm, 100nm

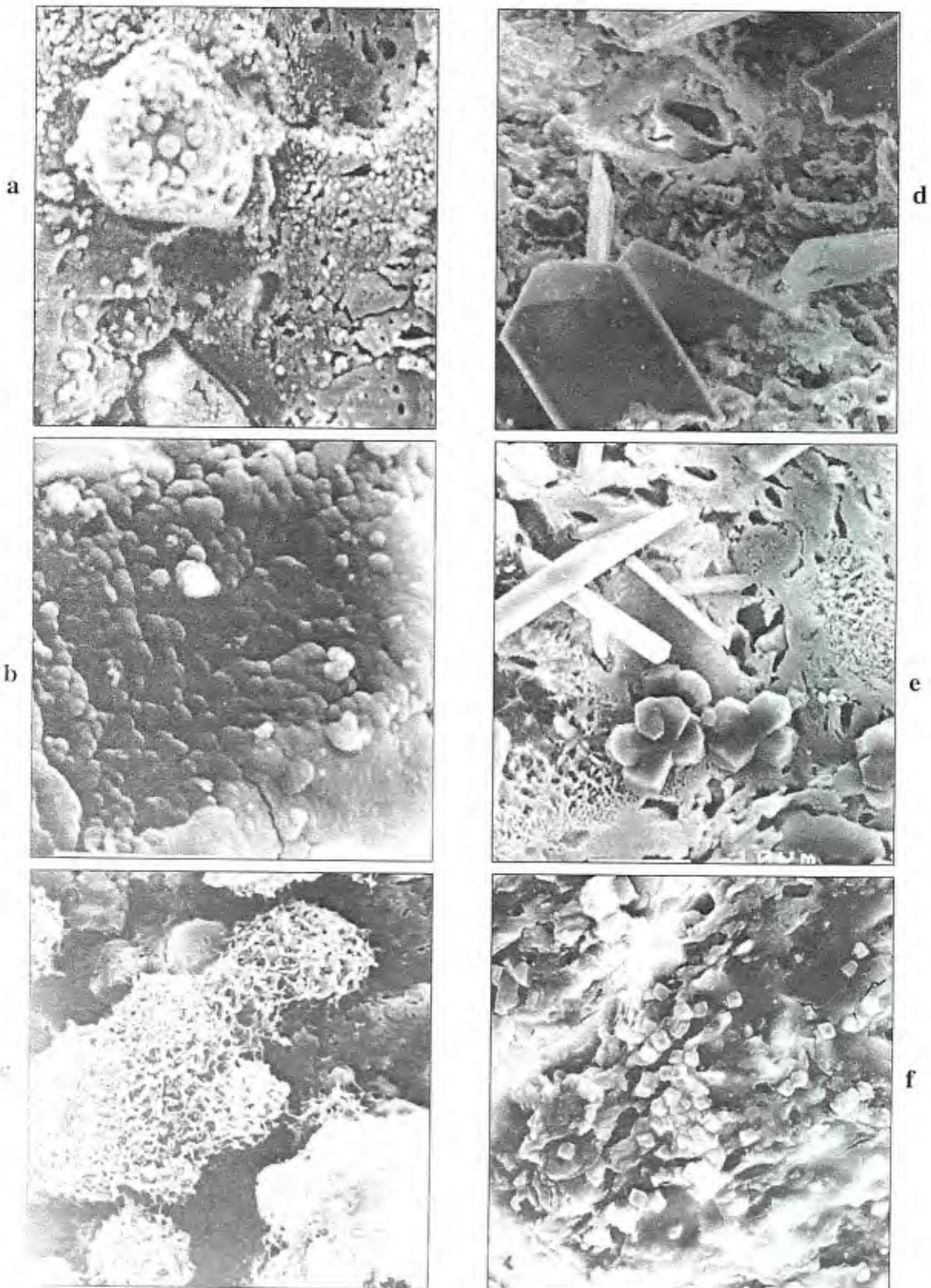


Figure 3. Scanning electron micrographs of etched fresh surface of Ca-Na and K feldspar bodies fired at 1250°C illustrate the existence of Ca rich spherical humps (a, b, c) and K rich crystals of newformation (d, e, f). Scale bar a, b, c = 10µm, d, e, f = 10µm

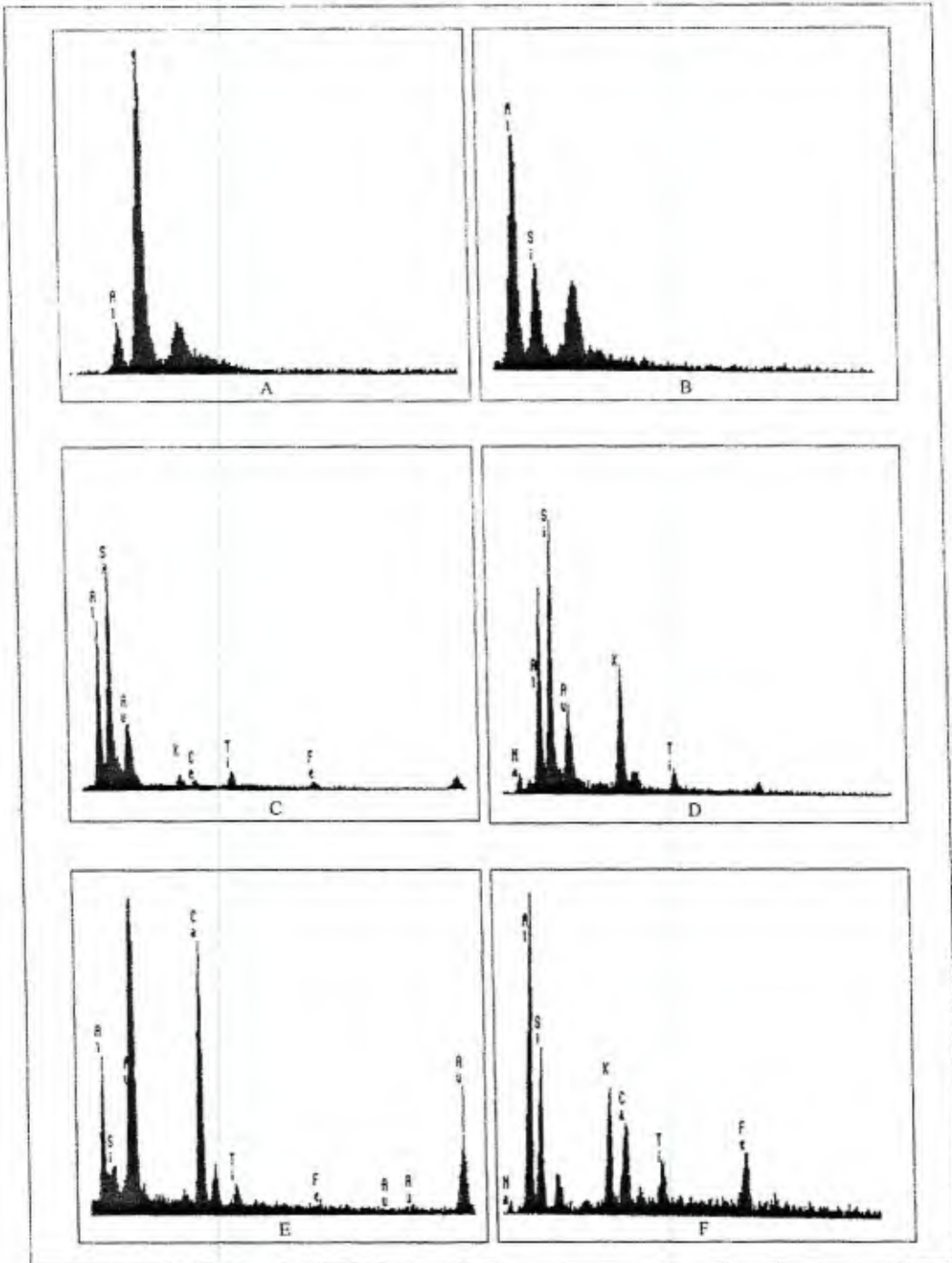


Figure 4. Scanning and stationary beam mode of EDX analysis spectras of secondary mullite primary mullite, amorphous /glassy phase and new formation crystals

Altın madenciliğinde siyanür kullanımı

Cyanide usage at gold mining

Vedat OYGÜR

ÖZ

Altın madenciliğinde uygulanan teknikler, diğer metal madenlerde uygulananlardan farklı değildir. Madenden kazı işlemleriyle çıkarılan cevher, serbestleştirmeden sonra içindeki altın metalinin alınması işlemlerine tabi tutulur. Bu aşamada, altının mineralojik özelliklerine göre siyanürleme, flotasyon veya gravitasyon uygulanır. Siyanürleme yöntemi, günümüzde, dünya altın üretiminde % 83'lük bir paya sahiptir. Sanayileşmiş batı ülkeleri, dünya altın üretiminin % 70'ini karşılamaktadır.

Siyanür (CN), günlük hayatta sürekli olarak karşılaştığımız karbon ve azotun basit bir bileşiğidir. Çeşitli bitkiler tarafından üretilen siyanür doğal ortamda da bulunmaktadır. Siyanür, çevre açısından tehlike arz eden diğer pek çok kimyasallara benzemeyen bir biçimde canlı organizmalarda birikmeyen, mutajen ya da kanserojen olmadığı bilinen bir maddedir. Güneş ışığı, bakteriler ve bitkiler tarafından doğal olarak bozundurulur ve bileşenlerine ayrılır.

Çeşitli siyanür bileşikleri metal işleme ve kaplama, galvaniz, madencilik, plastik, boya, elektronik, tarım kimyasalları ve ilaç imalinde kullanılmaktadır. Madencilik sektöründe kullanılan sodyum siyanür miktarı toplam siyanür talebinin % 20'sinden daha azdır. Ülkemizde, sanayi sektörlerinde kullanılmak üzere son yıllarda 2500 ton siyanür ithal edilmektedir.

Madencilik faaliyetleri sırasında ve sonrasında alınan önlemlerle siyanürün çevreye zarar vermesi başarıyla önlenmektedir. Kimyasal bozundurma yöntemiyle çözeltildeki siyanür derişimi, atık depolama standartlarına uygun olarak 1 ppm (1mg/l) seviyesine düşürülmektedir. Bu malzeme daha sonra, atık havuzlarına yayılarak güneş ışınlarının etkisiyle tümüyle bozundurulmaktadır. Atık havuzu, taban ve yanlardan çevreye sızmayı önleyecek biçimde kil ve jeomembran (özel plastik örtü) ile takviye edilmektedir. Pratikte, bu iki malzemenin üstüste serilmesi halinde "sıfır geçirimsizlik" sağlandığı kabul edilmektedir. Yapılan araştırmalarda, atık havuzuna verilen proses suyunun, siyanür derişimine bağlı olarak 5 ile 12 ay arasında tümüyle bozunduğu görülmüştür. Çeşitli yayınlarda, altın madenciliğinde siyanür kullanımına bağlı olarak ölümle sonuçlanan bir kaza olmadığı açıkça belirtilmektedir.

Anahtar kelimeler: Altın madenciliği, Siyanür,

EXTENDED ABSTRACT

The techniques used in the gold mining are not different from the ones used in the other metallic ores. Following the liberalisation, the ore excavated from the mine is subjected to the extraction process for the gold. According to the mineralogy of the ore, cyanidation, floatation or gravitation is applied at this stage. Cyanidation has a share of 83 % in the world gold production at present. Developed countries provide 70 % of the world gold production.

Cyanide (CN), is a simple compound of carbon and nitrogen continuously met through the daily life. Cyanide produced by the different plants is present in the natural environment as well. Cyanide, not resembling to the other chemicals dangerous for the environment, is known as a material not accumulating in the living organisms and non-carcinogenic or -mutagenic. It is naturally degraded and decomposes to its elements by sunlight, bacteria and plants.

Various cyanide complexes are used in the metal processing and electroplating, mining, plastics, paint, electronics, agricultural chemicals and medicines. Sodium cyanide used in the mining sector is less than 20 % of the total demand for cyanide. The cyanide import of Turkey is 2500 tons in the previous year to use in the industry.

Sodium cyanide has been used safely and effectively in the gold mining for 100 years. But it is a dangerous chemical that must always be used with caution. The adverse effect of cyanide to the environment is successfully prevented by the measures taken during and after the mining activities. Cyanide concentration of the solution is lowered by the chemical destruction method to 1 ppm (1 mg/l) level fitting with the standards for the waste deposition. Then, this material spreading at the tailings pond is destructed completely by the effect of sunlight. Tailings pond is reinforced from the bottom and the flanks with clay and geomembrane in order to prevent the leakage into the environment. Practically, it is accepted that lining these two materials in succession provides the "zero permeability". It is known from the researches that the process water discharged to the tailings pond is completely destructed between 5 and 12 months according to the cyanide concentration. It is clearly indicated in the various publications that due to the cyanide use in the gold mining there has been any accident resulted in death till today.

Key words: Gold mining, Cyanide

ALTIN MADENCİLİĞİNİN GELİŞİMİ

Yüksek altın kurlarının üretimi zorlamasıyla birlikte, düşük tenörlü epidermal tip cevherlerin işlenmesine olanak veren siyanürlenme yönteminin katkısıyla, 70'li yıllardan itibaren altın madenciliği hızlı bir yükselme dönemine girdi. Bunun sonucunda Amerika, Avustralya ve Pasifik'teki çok sayıda altın madeni üretime geçmiştir. Son 20 yılda dünya altın üretimi, 1189 tondan 2304 tona, iki katına yakın artmıştır (World Metal Statistics, 1999). Güney Afrika ve Rusya gibi geleneksel altın üreticisi ülkelerin dünya altın üretimindeki payları düşerken, diğerlerinin ki hızla artmıştır. Dünya altın üretiminin % 60'ı dört sanayileşmiş ülke ABD, Kanada, Avustralya ve Güney Afrika tarafından yapılmaktadır. Diğer sanayi-

leşmiş batı ülkeleri dikkate alındığında, bu oran % 70'e yükselmektedir (Wellmer, 1995). Bu dört ülkenin ardından Çin, BDT, Endonezya, Rusya Federasyonu, Brezilya ve Papua Yeni Gine gelmektedir. Çin ve Endonezya, büyük bir gelişme göstererek, son on yılda üretimlerini sıfırdan, sırasıyla, 160 ve 109 tona çıkartmışlardır.

Avrupa Birliği üyesi ülkelerden Fransa, İspanya, Yunanistan ve İtalya'da siyanürlenme yöntemiyle altın üretilmektedir (Mining Jour.Res.Service,1994; Mining Jour., 1997a). Avrupa Birliği dışındaki ülkelere İsveç, Finlandiya ve Yugoslavya'da da altın üretimi yapılmaktadır. Ayrıca Romanya ve Bulgaristan'da kayıtlara geçmemiş üretim vardır.

Son yıllarda madencilik sektöründe büyük bir durgunluk yaşanırken, yakın geçmişteki bu olumlu gelişmeler sonucunda gerek projeler ve gerekse yatırımlar bazında altın madenciliğine hızlı bir yönelim olmuştur. Diğer metallere oranla altın madenciliğinin yatırımlar bazındaki payı 1975'te % 4' ten 1985'te % 12'ye ve geliştirme projeleri bazındaysa, yine aynı dönemler için, % 12'den % 48'e yükselmiştir (Boisson, 1987). 1996 yılında dünya çapındaki arama bütçelerinin (toplam 3.52 milyar dolar) % 60.9'u altın madenciliğine ayrılmıştır (Metals Economics Group, 1996). 1994 yılı içinse aynı oran % 56.4 (toplam arama bütçesi 2.05 milyar dolar) ve 1995'de % 58.5'dur (toplam arama bütçesi 2.69 milyar dolar) (Metals Economics Group, 1995). Ocak 1995 ile Eylül 1996 tarihleri arasında geliştirilen projelere göre, 63 tane si K. Amerika ve 12 tane si Avrupa'da olmak üzere 1996-1999 döneminde 208 adet yeni altın madeninin işletmeye alınması planlanmıştır (Madencilik Bül., 1997).

Cevherin çıkarılmasında ve işlenmesinde yeni teknolojilerin kullanılması ve tekniklerin iyileştirilmesi maliyetleri düşürmüştür ve böylece düşük tenörlü cevherlerin de değerlendirilebilmesi yolunu açmıştır. Ayrıca, bazı metallere uzun süredir görülen durgunluk, büyük madencilik şirketlerinin altın aramacılığına yönelmelerine neden olmuştur. Altın madenciliğinin gözde oluşunun bir başka nedeni de diğer metallere oranla yarattığı yüksek katma değerdir. Ocak ağzında altının yarattığı katma değer % 98-99 iken, diğer metallere ocak ağzındaki katma değer alüminyum için % 7, krom % 34, çinko % 49, kurşun % 56 ve bakır için % 68'dir (Wellmer, 1995).

CEVHERDEN ALTININ KAZANILMASI TEKNİKLERİ

Altın madenciliğinde uygulanan teknikler, diğer metal madenlerde uygulananlardan farklı değildir. Yer kabuğundan açık ocak veya yeraltı kazılarıyla çıkarılan cevher, serbestleştirmeden sonra içindeki altın metalinin alınması işlemlerine tabi tutulur.

Cevherden metalin kazanılmasında uygulanan teknikler, altının tane boyuna ve cevherin mineralo-

jik bileşimine göre belirlenmektedir (Çizelge 1). Yani, altının kazanılması için uygulanacak tekniği seçme şansımız yoktur.

Çizelge 1. Altının metal olarak elde edilmesi yöntemleri

Yöntem	Uygulanan cevher tipi	Dünya altın üretiminde payı
Siyanürleme	Altın tane si 10 mikrondan küçük ise	% 83
Gravitasyon	Altın tane si iri ve serbest ise	% 10
Flotasyon	Cevher bakır ve piritli ise	% 4
Diğerleri	Refrakter cevherler	% 3

Kaynak: Marsden ve House, 1993

Gravitasyon

Dere kumu ve çakılları arasındaki serbest altının kazanılması, tüm mineral işlenmesi süreçlerinin en eskisidir. Bu yöntemin uygulanmasında, cevheri oluşturan altın ve gang mineralleri arasındaki yoğunluk farkından yararlanır. Günümüzdeki uygulamada, suya ince ferrosilikon karıştırılarak bir ağır ortam (yaklaşık 2.9 gr/litre) hazırlanır. Bu sıvıdan ağır olan taneler dibeye çökerken hafifler yüzer. Ortamdaki akışkanlığa bağlı olarak, tane boyunun 6 mm ile 0.5 mm arasında olması gerektiğinden sadece kaba taneli altın için uygulanabilir.

Flotasyon

Sülfürlü minerallerle birlikte bulunan altın için uygulanır. Sülfürlü minerallerin ince öğütülmesi ve bazı kimyasalların ilavesiyle, çözeltide oluşan kabarcıklar sülfürlü mineralleri tutar ve suyun yüzeyinde toplanırlar. Sülfürlü minerallerle birlikte bulunan altın, flotasyon yoluyla gangından ayrılır. Ancak, altının kazanılması için altın sülfid konsantresinin daha sonra siyanürlemeye tabi tutulması gerekir.

Siyanürleme

Siyanür çözeltisi içerisinde altının çözünürlüğü uzun zamandır bilinmektedir. Madencilik dünyası bu yöntemle ilk kez 1867'de altın ve gümüşlü cevherlerin işlenmesi için ABD'de alınan bir patent aracılığıyla tanışmıştır (Eveleth, 1978). Bu yöntem , ancak,

1891 yılında Güney Afrika'daki bir altın madeninde uygulamaya sokulmuş ve maliyetinin yüksek oluşu nedeniyle uygulanamayacağına karar verilmiştir. 1950 yılında, U.S. Bureau of Mines yayımladığı bir raporla, aktif karbona soğurma (adsorbsiyon) tekniğiyle siyanürlemenin düşük tenörlü altın cevherlerinde ekonomik olarak uygulanabileceğini belirtmiştir (Zadra, 1950). 1970'lerin sonlarında, yığın yıkama (heap leaching) tekniğinin geliştirilmesiyle birlikte siyanürleme yöntemi etkin bir biçimde düşük tenörlü epitermal altın cevherlerinde kullanılmaya başlanmıştır.

Siyanür liçi yöntemi, düşük tenörlü ve ince taneli altın cevherlerinden altın kazanımı için teknik ve ekonomik olarak uygulanabilecek tek prodestir. Bu nedenle siyanürleme yöntemi bütün dünyada yaygın biçimde kullanılmaktadır. Bu teknik, altının içinde bulunduğu tüm kayacın kütleli olarak işlenmesine olanak tanıdığından işletme rezervi son derece büyürken, işletme tenörü de düşmektedir.

Siyanürleme yöntemi her cevher türünde başarılı olmamaktadır. İyi bir sonuç alınması için cevherin şu özellikleri taşıması gerekir (Eveleth, 1978; Stewart, 1989):

* 80 mikrondan büyük taneciklerin siyanür çözeltisi içinde yavaş çözünmeleri nedeniyle altın atığa geçtiğinden tane boyunun küçük olması

* Altın ve gümüşü tutan karbonlu malzeme içermemesi

* Bakır, arsenik ve antimuan sülfürleri gibi fazla miktarda siyanür tüketen bileşenlere sahip olmaması

* Kireç tüketimine neden olacak asit yapıcı bileşenlere sahip olmaması

* Altın tanelerini sararak siyanürün etkilemesine engel olan demir oksit oluşumuna elverişli malzeme ve killi malzeme içermemesi

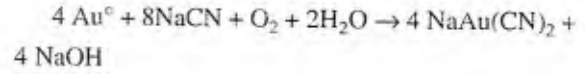
Siyanürlemeyle altının kazanılmasında başlıca iki teknik uygulanır: Yığın liçi ve karıştırmalı liçi.

Yığın liçi, düşük tenörlü cevherlere uygulanır. Cevherli malzeme, geçirgenliğine bağlı olarak iri bir

boyuta (-25 mm) kırılarak geçirimsizliği sağlanmış bir zemin üzerine yığılır. Seyreltilmiş alkalin siyanür çözeltisi (genelde sodyum siyanür) bu yığının üzerinden fiskelemeyle püskürtülür. Tepkimenin süresi ve verimi, siyanür çözeltisinin içerisinden süzülmesine izin verecek biçimde yığının geçirgenliğine bağlıdır.

Karıştırmalı liç, günümüzde en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. İnce öğütülmüş cevher (4 mm'nin altında), çevreden yalıtılmış çelik tanklar içerisinde mekanik karıştırıcılarla siyanürlü çözeltiyle karıştırılır.

Altın ve gümüş, oksijen varlığında, siyanür çözeltisi içerisinde Elsner denklemine göre çözünür (Heinen ve diğ., 1978):



Kullanılan NaCN çözeltisinin derişimi cevher tipine göre değişim göstermekle birlikte % 0.01 - 0.1 arasındadır. Siyanür tüketimiye, yine cevherin mineralojik ve kimyasal yapısına göre ton başına 1 -10 kg dolayındadır. Altının çözünme hızı NaCN derişimine ve en uygun pH'nın 10.3 olduğu çözeltinin asitlik derecesine bağlıdır.

Diğer Yöntemler

Altının kazanılması için birçok başka yöntemler de denenmekte, fakat bunlar henüz sanayi boyutunda uygulanamamaktadır. Bakteri liçi (biyo-oksidasyon), pirit ve arsenopiritle içiçe geçmiş refrakter cevherlerdeki altının liç sürecine daha iyi maruz kalabilmesi için sülfürlerin yok edilmesi amacıyla bakterileri kullanmaktadır (Stewart, 1984). Kuzey Amerika'da, refrakter cevherlerin işlenmesi için basınçlı oksidasyon veya kavurma tercih edilmektedir (Mining Mag., 1996).

Tiyöüre liçi, asit koşullarda altını çözer. Bakır, arsenik veya antimona karşı duyarlı olmadığından bu mineralleri içeren cevherlerde siyanürlemeye tercih edilebilir (Stewart, 1984). Siyanür ve tiyöüre liçi yöntemlerini karşılaştırmak üzere İzmir Dokuz Eylül

Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümünde bir araştırma yürütülmüştür (Ipekoğlu ve diğ., 1996). Yöntemin bazı dezavantajları vardır (Bayraktar, 1996):

1. Çok düşük ve dar pH (1.4-1.6) aralığında çalıştırdığından sürekli asidik ortam oluşmaktadır.
2. Asidik ortamda çözülecek olan ağır metaller çözültüye geçerek çevre açısından problem teşkil etmektedir.
3. Liç ortamında tiyoürenin oksitlenmesini engellemek için yardımcı kimyasal maddelere gerek vardır.
4. Nitrite dönüşümü mümkün olduğundan kanserojen olma riski vardır.

SIYANÜR

Doğada Bulunuşu

Siyanür, günlük hayatta sürekli karşılaştığımız karbon (C) ve azotun (N) basit bir bileşimidir. Stratosferde ve kuzey yarım kürenin troposferinde 150 ile 170 ppb ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) düzeyinde mevcuttur (US EPA, 1990).

En çok rastlanılan siyanür üreten doğal kaynaklardan birisi bitkilerdir (Fuller, 1988). 70 ile 80 kadar bitki ailesine ait 800'den fazla tür siyanojenik glikosidleri sentezler. Manyok, keten, süpürge darısı, yonca, şeftali, badem ve baklagiller, siyanojeniz süreci sonucunda hidrojen siyanür salarak önemli miktarda siyanojenik bileşenler üretirler (Rouse, 1990). Siyanürler, mantarları, bakterileri, aktinomisitleri ve algleri kapsayan çok sayıdaki toprak mikro organizmaları tarafından da üretilirler.

Çeşitli ülkelerden Almanya'ya ithal edilen acı bademlerin işlenmemiş durumdaki 100 gramında 290 ile 310 mg arasında HCN mevcuttur ve Türkiye'den gelen bademlerde bu değer 296.8-301.3 düzeyindedir (Strum ve Hanssen, 1967). 60 adet acı badem, vücut ağırlığı göz önüne alınmaksızın öldürücü olarak nitelendirilmektedir.

Meyva, sebze ve hububatlarında görülen ota, mantara ve böceklere karşı tarım sektöründe yoğun biçimde kullanılan haşere ilaçları (pestisidler) siyanür kökleri içermektedir (Fuller, 1988). Tarımda geniş alanlar üzerinde düzenli bir biçimde kullanılmasına rağmen siyanürler toprakta birikmez. Toprakta 200 ppm'e kadar bulunan siyanür, biyolojik olarak bozunur ve zararsız maddelere dönüşür (Fuller ve diğ., 1950).

ABD Sağlık, Eğitim ve Refah Dairesi'nin raporuna göre, toplumun maruz kaldığı siyanürün en önemli günlük kaynağı sigaradır. Yapılan bir deneyde, sigara dumanının on nefesi bir litre artırmış suya verilmiş ve analizler sonucunda 0.1 mg/l toplam siyanür içerdiği belirlenmiştir (Rouse, 1990). ABD'de çevreye bırakılan siyanür miktarları incelendiğinde (Mudder ve Smith, 1994; Hagelstein ve Mudder, 1997), madencilik faaliyetlerinden kaynaklanan siyanür miktarının ihmal edilecek oranda olduğu görülmektedir (Çizelge 2). ABD'deki tehlikeli atıkların bulunduğu yerlerle ilgili Ulusal Öncelikler Listesi'nde 1416 tehlikeli atık yeri tesbit edilmiştir (Mudder ve Smith, 1994). Bu listedeki toplam sayının 53 tanesi madencilik faaliyetiyle ve bunlardan ise sadece 3 tanesi siyanürle ilgilidir.

Kimyasal Özellikleri

Siyanürler, kimyasal bileşimleri bakımından dört ana grupta sınıflandırılırlar (Huiatt ve diğ., 1983; Fuller, 1988).

1. Serbest siyanürler: Moleküler hidrojen siyanür (HCN) ve siyanür iyonunun (CN⁻) toplamıdır. Hidrosiyanik asit, siyanidik asit veya siyanür gazı olarak da bilinen HCN zayıf bir asittir. Sulu çözeltilerdeki serbest siyanür, 200C'de asit ortamda hidrolize uğradığında HCN gazı biçiminde atmosfere karışır. Ancak, bu tepkime ortamın pH'sına bağlıdır (Huiatt ve diğ., 1983); CN ve HCN, pH 9.31 iken dengededir.

Serbest siyanüre doğada çok ender rastlanmaktadır (Huiatt ve diğ., 1983). Siyanidler ortamda ya diğer bileşiklerle birleşir ya da eser metallerle güçlü bi-

Çizelge 2. ABD'de Çevreye Bırakılan Siyanür

ÇEVRESEL ORTAM	TOPLAM SİYANÜR (ton/yıl)	HCN (ton/yıl)	KAYNAK	ÖLÇÜLEN SİYANÜR SEVİYELERİ
HAVA	22.000	1.060	- % 90'ı (20.000 t) otomobil eksoz gazları - Demir-çelik üretimi, kömür yakma petrol rafinerisi, katı atık yakma tesisleri, plastiklerin yanması, sigara dumanı, tarım ilaçları	- Eksoz gazı 7-9 mg/km - Yangın emisyonu 2.8 ppm - Sigara dumanı 0.3 ppm
YÜZEY SUYU	15.000 (1.000) 2-20	2	- % 90'ı belediyelere ait atıksu arıtma tesisleri - Yollara dökülen tuzlar - Madencilik faaliyetleri	
TOPRAK			- Toprak dolgu biçimindeki atıklarda siyanür konsantrasyonu	- 0.005 – 14 mg/l

leşikler yaparak tutulur. Ortama salınan çok az miktardaki siyanür de çeşitli sülfür biçimleriyle tepkimeye girerek zehirsiz bir tür olan tiyosiyanat yapar:

2. Basit Siyanürler: Bir baz (sodyum, potasyum, amonyum) veya metal ile siyanür iyonundan oluşur. Alkali siyanürler, siyanür iyonları salarak çözünürler (Huiatt ve diğ., 1983). Basit siyanürlerin çözünürlüğü de pH ve sıcaklık ile doğrudan ilişkilidir.

3. Kompleks Siyanürler: Bünyesinde, baz ve metali bir arada barındıran bileşiklerdir. Kompleks siyanürler, CN iyonları değil de kök veya kompleks metal iyonu vererek çözünürler. Kompleks metal iyonları, orijinal bileşenden daha duraylıdır ve dolaşısıyla daha sonraki çözünme oldukça az miktardadır (Huiatt ve diğ., 1983).

Bir metalosiyandır kompleksi, başka metal iyonları içeren bir çözelti içerisine girdiğinde metaller arasında yer değiştirme meydana gelir (Huiatt ve diğ., 1983). Bu olay sonunda kompleks metal, çözünmez siyanür, hidroksit veya karbonat olarak çöker. Bu tepkimelerden yararlanarak, nikel ve bakır iyonları kullanarak atıklardaki serbest veya kompleks siyanürler bertaraf edilmektedir (Huiatt ve diğ., 1983).

Atıklardaki CN kompleksleri, bileşen minerallerin yüzeyine sıkıca bağlanarak sabit hale gelirler (US

EPA, 1976). Bu nedenle, kompleks siyanürler, özellikle flotasyon atıklarına bağlı olanlar, serbest siyanürden daha az zehirlidirler ve bazen zehirsiz olarak kabul edilirler (Huiatt ve diğ., 1983; Fuller, 1988).

Çinko, kadmiyum, gümüş ve nikel gibi güçsüz bağlara sahip bileşikler suda çözünerek kolayca serbest siyanür iyonları oluştururlar. Bunlar da, kimyasal bozundurma yoluyla bertaraf edilirler. Demir ve bakır gibi güçlü bileşikler ise serbest siyanür iyonu salıvermediklerinden sulu atıklar için önemli bir sorun oluşturmazlar (Huiatt ve diğ., 1983).

4. Organik Siyanürler: Siyanojenik (nitriller) glikosidler ile temsil edilirler. Glikosidler, seyreltik mineral asitleriyle veya enzimlerle hidrolize olduğunda bir (veya daha çok) şeker ve bir (veya daha çok) başka bileşen (örn. Aglikon) ve HCN verirler (Fuller, 1988).

Canlılara Etkisi

Siyanürün, kısa süreli öldürücü doz (LD 50) açısından güçlü bir zehir olması nedeniyle siyanürleme yöntemi tepki çekmektedir. Ancak, alınacak önlemlerle siyanürün etkisi denetim altına alınabilmektedir. ABD Milli Parklar Dairesi, ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) ve Mineral Policy Center adına ha-

zırlanan raporlarda belirtildiği gibi siyanür, organizmalarda birikmeyen, maruz kalındığında o anlık öldürücü etkisi olan bir zehirdir (Stanton ve diğ., 1985; US EPA, 1990; Hocker, 1989). Kanserojen etkisi yoktur, kanserojen olmayan D Grubu bileşenleri arasındadır (Özdemir, 1994). Güneş ışığı, bitkiler ve bakteriler tarafından doğal olarak bozundurulur ve bileşenlerine ayrılır (US EPA, 1990; Hocker, 1989).

Tek ve kısa süreli bir siyanür dozunun, yaşam ve sağlık için tehlike sınırı 60 mg/m^3 ; sürekli olarak siyanürle ilişkili bir işte çalışanlar için 8 saatlik işgünü boyunca deriye doğrudan temas veya soluma sınırı 11 mg/m^3 tür (US EPA, 1990). Yetişkin bir insan için ağızdan alınan serbest siyanürün RfD (etkisi gözlenmeyen referans doz) değeri 0.05 mg/kg vücut ağırlığı/gündür (ATSDR, 1997).

Dünya Sağlık Örgütü ile Avrupa Birliği içme suyu standardı 0.05 mg/lt siyanürdür. Ülkemizde de Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre 1. sınıf içme suyu 0.01 mg/lt , 2. sınıf ise 0.05 mg/lt ve kullanma suyu 0.1 mg/lt siyanür içerebilir. Çevre Bakanlığı tarafından yayımlanmış olan Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliğine göre siyanürlü atıkların düzenli depolanma kriteri 1 mg/lt dir.

Siyanürün Kullanıldığı Yerler

Çeşitli siyanür bileşikleri metal işleme ve kaplama, galvaniz, sentetik polimerlerin (ipekli, pamuklu, poliüretan, poliyester, vb.) imali, değerli metal madenciliği, mücevhercilik, fotoğrafçılık, tarım kimyasalları, ilaç, boya ve elektronik olmak üzere sanayide yaygın biçimde kullanılmaktadır (Encyclopedia of Chemical Technology, 1992). Hatta, bazı demirli siyanür bileşikleri yiyecek katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. ABD Yiyecek ve İçecek İdaresi (U.S. Food and Drug Administration) tuz tabletinde 13 mg/lt demirli sodyum siyanür bulunabileceğini belirtir (Huiatt ve diğ., 1983). Tıpta kullanılan acı badem suyu (Aqua amygdalarum amararum) 0.1 mg/l HCN içermektedir (Strum ve Hanssen, 1967).

Siyanürün dünyadaki üretimi HCN ve NaCN biçimindedir (Smith ve Mudder, 1995). HCN üretimi-

nin yaklaşık % 80'i plastiklerin imalinde ve NaCN üretiminin % 85'i madencilikte kullanılmaktadır. Madencilik sanayisinde kullanılan siyanürün miktarı toplam siyanür talebinin % 20'si kadardır. Dünya HCN üretimi 1.5 milyon ton civarındadır (Mudder ve Smith, 1994). Bu HCN'in 300 bin tonu, 625 bin ton sodyum siyanür üretiminde kullanılmaktadır.

Ülkemizde de siyanür bileşikleri, benzer sanayi alanlarında kullanılmaktadır. Dış Ticaret Müsteşarlığı İthalat Genel Müdürlüğü ve DİE verilerine göre, 1994 yılında 1911 ton olan çeşitli siyanür bileşikleri ithalatı 1996 yılında 2441 ton ve 1997 yılında 2588 ton olmuştur. 1998 yılı geçici rakamlarına göre 1882 tondur. Sodyum siyanür ve oksisyanür, ithalatta büyük bölümü oluşturmaktadır. İthalatın yaklaşık 1200 tonu, sodyum siyanür olarak Etibank'ın Kütahya Gümüşköy'deki 100. Yıl Gümüş İşletmesi'nde kullanılmaktadır.

İthalat, büyüklük sırasına göre, Güney Kore, Almanya, İngiltere, Hollanda, Çin, Bulgaristan, İtalya ve ABD'den yapılmıştır.

Kullanım yerleri açısından önem taşıması nedeniyle ithalatçı firmalar arasında Etibank, Aselsan, tarım-veteriner ilaçları üreticisi, metal sanayicileri, tekstilciler, kauçuk sanayicileri, kimyasal madde üreticileri, elektronik sanayicileri, ilaç-ecza üreticileri yer almaktadır.

SIYANÜRLEME PROSESİNİN DENETİMİ

Siyanürün Denetim Altına Alınması

Siyanürleme prosesi sırasında siyanürlü çözeltinin yeraltına sızarak veya barajdan taşarak toprağı ve yeraltısuyla ile yüzey suyunu kirletmesi veya buharlaşma yoluyla HCN biçiminde atmosfere karışması çevre ve insan sağlığı açısından bir risk oluşturmaktadır. Ancak, madencilik faaliyetleri sırasında ve sonrasında alınan önlemlerle siyanürün çevreye zarar vermesi engellenebilmektedir. Atıklardaki siyanürün bertaraf edilmesi amacıyla üç temel bozundurma işlemi uygulanmaktadır: Doğal, kimyasal ve biyolojik bozundurma yöntemleri Siyanürün neden olabileceği

tehlikeler doğrudan faaliyetin yapıldığı yerin iklimine bağlı olduğundan ABD, Kanada, Avustralya ve G. Afrika gibi gerek altın madenciliğinde önde gelen, gerekse sanayileşmiş ülkelerde konuyla ilgili kamu kurumları siyanürün hangi yolla bertaraf edileceğini iklime göre belirlemektedir (Smith ve diğ., 1985; Stanton ve diğ., 1985; Sparrow ve Woodcock, 1988; Kilborn Inc., 1991).

Doğal Bozundurma. Siyanürün güneş ışınlarının ultraviyole etkisiyle bozularak kolayca karbon ve azota ayrışmasından yola çıkarak buharlaşmanın yağıştan yüksek olduğu iklime sahip olan ABD'de 100. meridyenin batısındaki bölgede, Avustralya ve G. Afrika'da doğal bozundurma yöntemi uygulanır. Bu yöntemde malzeme, atık havuzlarına yayılarak güneş ışınlarının etkisiyle bozunmaya terk edilir. Atık havuzu, tabanı ve yanlarından çevreye sızmayı önleyecek şekilde kil ve jeomembran ile takviye edilir. Mutlak bir güvenlik için, kil tabakası üzerine jeomembran serilmektedir. Sıkıştırılmış kilin geçirimsizlik katsayısı 10-8 cm/sn ve jeomembranın 10-10 cm/sn seviyesindedir (Vick, 1990). Bu değerler, pratikte, çevreye hiçbir sızma olmadığı anlamına gelmektedir.

Kanada'da Atıksu Teknoloji Merkezi'nde (Wastewater Technology Center) çeşitli altın madenlerindeki atık havuzlarındaki siyanürün doğal parçalanmasını incelemek üzere bir dizi araştırma yürütülmüştür (Çizelge 3) (Smith ve Mudder, 1991; Higgs, 1995). Ontario'daki Dome madeni atık havuzundaki

siyanür derişimi 15 haftada 68.7 mg/litreden 0.008 mg/litreye düşmüştür. Atıksuyun toplam derişimi 0.05 mg/l olduğunda yakındaki dereye boşaltılmaktadır. Keewatin'deki Cullaton madeninde, Mayıs'tan Eylül ayına kadar geçen sürede atık havuzunun ortalama siyanür derişimi 0.1 mg/l düzeyinin altına inmiştir. Bir üçüncü araştırma, Yellowknife yakınındaki Lupin madeninde yürütülmüştür. Ortalama siyanür derişimi 223 mg/l olan atıklar 1985 sonbaharının sonlarında havuza verilmeye başlanmış ve 1986'da serbest bırakılan atıksudaki siyanür derişimi 0.22 mg/l olmuştur.

Avustralya'da yapılan araştırmalarda başlangıç derişimi 100 ppm siyanür olan proses suyu atık havuzuna verilmiş ve % 85'i 18 ay sonra, tamamı 4 yıl sonra tümüyle bozunmuştur (Sparrow ve Woodcock, 1988). Bu atıkdaki siyanürün % 90'ı ilk 4 metrede birikmiş, dördüncü metreden sonra siyanür derişimi 5 ppm'in altına düşmüş ve 16. metrede sıfır olmuştur.

Güney Afrika'da Witwatersrand havzasında siyanür içeren atık barajlarında yürütülen bir çalışmada atıklar, yüzey suları ve yeraltuları örneklenmiştir (Smith ve diğ., 1985). Tesislerden 20 mg/l ve üzerinde siyanür içeren proses suyu atıklara verildiği halde, siyanür düzeyi atıklardaki boşluk suyunda 1 mg/l ve yüzeye yakın yeraltusuyunda 0.03 mg/l olarak ölçülmüştür (Çizelge 4). Siyanürün tümü, güneş ışınlarının UV radyasyonu etkisiyle bozunmuştur.

Ülkemizde, MTA Genel Müdürlüğü'ndeki al-

Çizelge 3. Doğal bozundurma sistemlerini kullanan Kanada'daki altın madenlerinin sıvı atık niteliği

Maden	Yeri	Tesis Giriş (mg/l)		Nihai Sıvı Atık (mg/l)	
		CN _T *	CN _W **	CN _T *	CN _W **
Dome madeni	Porcupine, Ontario	100	98.6 (1983)	0.04	0.02 (1983)
Lupin madeni	Contwoyto, NWT	223	186	0.2	0.02 (Eylül/84)
Cullaton Gölü (iki havuz)	Keewatin	800	140 (1982)	-	<0.1 (Eylül/84)

*CN_T - Toplam siyanür; serbest CN, CN_W ve Fe-kompleksleri içerisindeki siyanür içerir.

**CN_W - WAD siyanür (zayıf asitte çözünür siyanür); serbest CN ve Zn, Ni, Cu-kompleksleri içerisindeki siyanür içerir.

Kaynak: Smith ve Mudder, 1991

Çizelge 4., Witwatersrand havzasında (G.Afrika) atıklarda-ki ve yeraltısulandaki siyanür düzeyleri (ng/l)

Barajın. Özelliği.	Atık	Yeraltısuyu...
1. Çalışan (5 yaşında)	0,25	<0,01
2. Çalışan (10 yaşında)	<0,01	<0,01
3. Yeni durmuş (20 yaşında)	1,3	0,08
4. Terk edilmiş (> 20 yaş) ¹	0,1	0,04

Kaynak: Smith ve diğ., 1985

fin pilot tesisinde, proses atıklarında siyanürün doğal bozunma, kimyasal bozundurma ve yeniden kazanımı süreçlerini incelemek üzere bir dizi araştırma yürütülmüştür (Gönen ve diğ., 1996). Altın pilot tesisinden alınan 392.2 ppm siyanür içeren 400 litre artık pulp örneğinin siyanür derişimi 2 aylık doğal bozunma süreci sonunda 10 ppm düzeyine düşmüştür. Toplam siyanür miktarı, pH'nın 11.6-10.3 seviyesinde tutulmasıyla 76 günde % 99.8 ve pH'nın 12.1-11.6 olması durumunda 97 günde % 99. i oranında azalmıştır.. Aynı kapsamda yapılan kimyasal bozundurma sürecine ilişkin ilk çalışmada 4,50 ppm siyanür içeren pulp örneğinin siyanür derişimi, sodyum hipoklorit (NaOCI) kullanılarak 20 saat sonunda 2.6 ppm düzeyinin (MTA Laboratuvarı deteksiyon limiti) altına inmiştir.. İkinci çalışmada,, 270 ppm siyanür içeren örnek, hidrojen peroksit (H₂O₂) kullanılarak 2,5 saat sonunda 2.6 ppm siyanür düzeyine düşmüştür (Şekil 1).

Kimyasal Bozundurma. Yağışın buharlaşmadan yüksek olduğu iklimlerde,, ABD'de 100. meridyenin doğusundaki bölgede ve Kanada'da kimyasal bozundurma yöntemi uygulanır. Siyanürlü çözelti, çevreden yalıtılmış bir kapalı ortamda çeşitli kimyasal maddelerle muamele edilerek bozundurulur. Başlıca kimyasal bozundurma çeşitleri hidrojen, peroksit (H₂O₂), INCO (SO₂- Hava) ve alkali klorlamadır (Smith ve Mudder, 1991; Higgs, 1995; Cambazoğlu, 1996). Böylece, arıtma tesisinde siyanür 1 ppm (1 ng/l) seviyesine indirildikten sonra alıcı ortama, deşarj edilir. Ülkemizdeki tek örnek olan Ovacık Altın Madeni'nde ise kimyasal bozundurma sonrasında, atık çözelti deşarj edilmemekte ve sızdırmazlığı sağlanmış atık havuzunda depolanmaktadır.

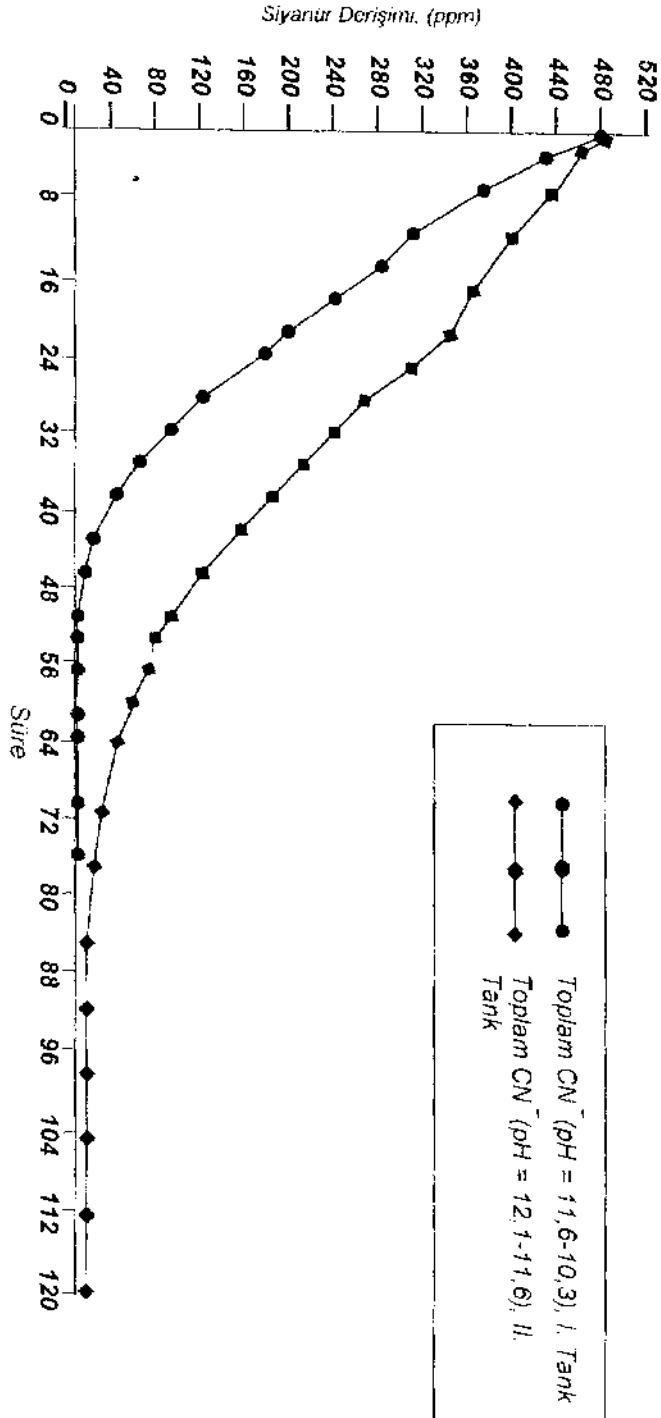
Kimyasal bozundurma yöntemlerinden alkali klorlama'da, serbest siyanür hızla -oksitlenir ve karbondioksit, ile azot vererek bozunur. Çözeltideki serbest. CN miktarı 1 ppm'in altına düşer, Yüksek reaktif tüketimi nedeniyle bulamaç halindeki atıklara uygulanamaz Bu yöntem sonucunda, zehirli, kloro-organik bileşikler oluşmaktadır.. Ayrıca demir siyanür bileşikleri uzaklaştırılmaz ve atık çamurundaki siyanür parçalanmamaktadır. Hidrojen peroksit yöntemi,, karbonat ve amonyak üreterek serbest siyanürü oksitler, En önemli avantajlarından birisi, proses sırasında ortama diğer kimyasalların ilave edilmemesi ve zehirli ara ürünlerin oluşmamasıdır. Serbest siyanür düzeyi 1 ppm'in altına düşer. Kükürt dioksit ve hava (INCO) yöntemiyle serbest siyanür hızla yok edilir. Bu proses sırasında metal siyanür kompleksleri zehirsiz olan siyanatlara dönüştürülür., Bir saatlik uygulama sonunda çözeltideki serbest, siyanür miktarı 0.1-1 ppm'e düşürülür..

Biyolojik Bozundurma. İlave bir ısı kaynağı temin edildiği takdirde düşük siyanür derişimlerine uygulanır. (Higgs, 1995). Sadece metal taşımayan, proses suyunun ve atık havuzu, tahliye suyunun temizlenmesinde etkili olmaktadır (Smith ve Mudder, 1991).. Homestake Madencilik, Güney Dakota'daki (ABD) Lead, madeninde,, iki aşamalı biyolojik bozundurma prosesi uygulayarak atık havuzundaki tortu üzerinde biriken suyu ve madendeki suyu işlemekten, geçirmektedir.

Siyanürleme işlemiyle İlgili Kazalar

Altın madencilğinde siyanür kullanımına bağlı olarak,, bugüne kadar, ölümle sonuçlanan bir kaza olmadığı, belirtilmektedir (Hocker,, 1989; Korte ve Colston, 1995).. Buna rağmen,, konuyla ilgili tartışmalarda sıkça gündeme^ gelen ve çevreye sınırlı ölçüde de olsa. zarar veren Omai, Ok Tedi, Summitville ve Lefke'deki kazaları ve ülkemizde siyanür kullanan Eübank-Günmişköy madenini incelemek yararlı olacaktır.,

Omai 19 Ağustos 1995 tarihinde Guyana'da (G.Amerika) Omai altın madenindeki atık barajı ka-



Şekil 1. MTA altın pilot tesisi çukurluklarında doğal bozulumlarda siyanür derişiminin pH ve zamana göre değişimi (Çöken ve diğ., 1996)

zası madencilik çevresini derinden sarstı (Mining Journal, 1995; Ipekoğlu,1995). Omai'de altın üretimi 1896 yılından beri yapılmaktadır. 1993'den beri 13000 t/gün cevher işlenmekte ve 70-100 ppmı serbest siyanür içeren sulu atıklar barajda depolanmaktadır. Atık barajı gövdesinde, oluşan sızıntı hızla büyüyerek, yaklaşık 100 saat boyunca 25-30 mg/l CN içeren 2.9 .milyon m³ çamur¹ ömai deresine karıştı., Kazanın meydana gelmesiyle birlikte, yoğun çabalar sonucunda 1.3 milyon m³ atık açık ocağa depolandı. Hükümet, bölgeyi bir çevresel felaket sahası olarak ilan etti ve uluslararası yardım çağırdı, Kazanın nedenlerini araştırmak üzere hükümet tarafından kurulan bağımsız uzmanlar kurulunun raporuna göre,, çevre veya insan sağlığı için tehlikeli olabilecek boyutta herhangi bir ölçülebilir etkisi görülmemiştir (Vick, 1996),. Derenin yaklaşık 2 km uzağındaki Essequibo ırmağıyla birleştiği yerde yapılan ölçümlerde siyanür konsantrasyonunun 0.15 mg/litreyi aşmadığı görülmüştür.. Derede ölen balıkların ise. zehirlenmeden değil de çamurun solungaçlarını tıkamasından ileri geldiği rapor edilmiştir. Kazaya uğrayan ömai atık barajı,, yeniden faaliyete geçmek üzere. onanılmamıştır. Madenin güvenli bir biçimde kapatılması için geride kalan atıklar İslah edilerek yeşillendirme çalışmaları yapılacaktır., Guyana hükümetinin, madenin yeniden, açılması hususundaki önerilerinin kabulü ve yeni atık havuzlarının ilk kademesinin inşasını takiben Omai-madeni 1996 Şubat ayının başında, yeniden faaliyete geçti. (Mining Environmental Management, 1996). Hükümet tarafından atanan inceleme komisyonu, yeni atık barajının inşasında uyulması gerekli çok sayıda çevresel koruma tedbirleri ve nehre verilmeden önce atık suyun arıtılmasını istedi., Kazanın yol açtığı maliyetin 11.3 milyon ABD doları olduğu, tahmin edilmektedir.

Ök TedL Papua Yeni Gine'de bulunan Ok Tedi bakır-altın madeni çok çetin bir doğal ortamda, yer almaktadır; yıllık ortalama yağış 8000 mm, dağ yamaçları dik,, heyelanlar olağan, maden sahasındaki akarsular hızlı ve bölge sismik olarak etkindir' (Mining Journal, 1990). Bu faktörler,, cevher atıkları ve paşanın işlenmesi ve depolanması için seçenekleri ciddi biçimde sınırlandırmaktadır. Ök Tedi Maden Şirketi ve PYG hükümeti arasında, çevresel yönetim

ve izleme programı hakkında uzun süreli bir anlaşma imzalanmıştır.. Ok Tedi'de sistemli çevresel izleme, 1000 km'lik bir mesafe boyunca 1981 yılında başlamıştır. Program nehirlerin 'hidrolojisini ve sediman proseslerini, su kimyası ve sediman jeokimyasını,, poptilasyon. karakteristikleri, ve suda yaşayan türlerin dağılımını izlemeyi kapsamaktadır. Cevher atıklarını biriktirmek, üzere, Ok Tedi ırmağının bir kolu üzerinde baraj projelendirilmiştir, inşa çalışmaları başladıktan sonra, 1984 yılı başında vuku bulan büyük, bir heyelan nedeniyle tesis temeli zarar görmüş ve inşaat terk edilmiştir. Şirket, ve hükümet arasındaki görüşmeler sonucunda bir geçici atık. planı uygulanması kabul edilmiştir;. Bu plan,, kimyasal, olarak arıtıldıktan sonra atıkların Ok Tedi ırmağına verilmesini, içermektedir. Bu geçici, atık. sistemiyle, madencilik ve cevher¹ işleme faaliyetleri 1984 yılında başlamıştır. 1986'da, atıklardan dolayı akar sulardaki gerçek etkileri kaydetmek üzere daha büyük bir çevresel inceleme anlaşması yapılmıştır. Üç yıl boyunca süren kapsamlı çalışma K. Amerika,, Avrupa ve. Avustralya'dan gelen, uluslararası danışmanlar tarafından yürütülmüştür., Bulgular, 1988 Aralık ayında hükümete takdim edilmiştir., Bu çalışma ve başka yaklaşımlar esas alınarak hükümet, balık ve diğer suda. yaşayan türleri korumak üzere, çevresel koşulları dikkate alan Kabul Edilebilir **Partikül** Düzeyi'ni kabul etti. Bu kabul. Ok Tedi.'deki faaliyetlerin bazı çevresel etkileri olacağı fakat bunların kabul edilebilir bir seviyeye sınırlı kalacağını kabul etmektedir. 1990 başında, yörede yaşayan halkın, yararına olmak üzere daha ileri bir program başlatılmıştır;. Ok Tedi projesinin, yörenin gelişimini etkilediği kabul edilerek, yöre halkının projeden, fayda sağlaması için Ok Tedi/Fly Irmağı Gelişim Emaneti kurulmuştur.. Şirket tarafından finanse edilen emanet, çok sayıda toplumsal (su temini ve taşıma tesisleri gibi) ve iş sahası geliştirme projelerini başlatmıştır.

Stummitvüe. ABD Colorado'daki Summitville altın madeni, madencilik faaliyetleri, sırasında olagelen çevresel, sorunlar nedeniyle 1992-1993 yıllarında kamuoyunun dikkatini çekmiştir (Plumlee, 1995). Maden,, 1984 yılında, yığın siyanür liçi yöntemiyle yıllar sonra yeniden işletilmeye başlanmıştır'.. Madenin işletmeye alınmasıyla birlikte, siyanür proses çö-

zekilerinin yığın liçi örtüsünün altına ve taşıma borularından sızması sonucunda çevresel sorunlar meydana gelmiştir. Yapılan araştırmalara göre çevresel sorunların, maden sahasını akaçlayan Alamosa ırmağında sudaki canlı yaşamını, çevredeki tarımsal üretimi ve yaban yaşamını tehdit ettiği rapor edilmiştir. Jeoloji Dairesi'nin (U.S. Geological Survey) incelemeleri, sülfürlü minerallerden ileri gelen asidik maden sularının siyanür sızıntısından daha önemli olduğunu ortaya koymuştur (Gray ve dig., 1994). Maden işletmesinin durdurulmasıyla birlikte 1986-1992 döneminde, şirket, liç örtüsü altına sızan suları zaptetmiş ve anımiştir. EPA'nın incelemeleri sonucunda, sorunların ortadan kaldırılmasının maliyetinin 1.20 .milyon dolar olduğu ortaya çıkmış ve bunun üzerine, 1992 yılında işletmeci şirket iflasını istemiştir. EPA, Acil Durum Sorumluluk Fonu otoritesi olarak maden sahasını üzerine almış ve sorunlara çare bulma çalışmalarını hızlandırmıştır. Bu kapsamda olmak üzere, sızan suları izlemeye, kontrol altında tutmaya ve arıtmaya olduğu kadar örtü üzerinde kalan siyanürü de etkisizleştirmeye devanı etmektedir. Bunun yanı sıra EPA. galerileri tıkayarak madende en büyük, sorunu oluşturan asidik suları bertaraf etmiştir. öte yandan, asidik suların bir bölümünü üreten pasa yığınları da açık ocak içerisine gömülmüştür.

Lefke, Siyanürleme yönteminin neden, olduğu çevre sorunlarını incelerken Kıbrıs Lefke'deki çevre felaketinden de söz etmek yerinde olacaktır. Resmi raporlara göre, Lefke'deki maden bakır için işletilmiştir (Bear, 1963; Fide, 1995), 1919 yılında üretime başlayan şirket, 1974 yılındaki Banş Harekatı nedeniyle madeni terk etmiştir. Bakırın elde edilmesinde, bütün dünyada flotasyon yöntemi uygulanır ve bu proste, piriti bastırmak için siyanür kullanılır. Dünya piyasalarında bakır fiyatlarının düşmesi üzerine bu madende J 933-1942 yıllarında altın üretimi de yapılmıştır. Maden "bugüne kadar korunmaya alınmadığı için harabe- haline gelmiş ve çevreye döküntüleri yayılmıştır. Maden işletmesinin neden olduğu çevre sorunlarını ele alan rapora göre, maden sahası üzerine bir gölet kurulması çevre kirliliğine neden olmuştur (Fide., 1995). Madendeki sülfürlü mineraller suyla temasa geçerek sülfürik asit drenajı oluşturmuşlardır. Söz konusu raporda açıkça ortaya konduğu gibi

maden işletmesinin neden olduğu çevre sorunu siyanürden ileri gelmemiş,, Gemikonağı göleti rezerv alanında meydan gelen asit drenajı ve metal, kirliliği çevreyi tehdit eder hale gelmiştir.,

Gümüşköy. Etibank'ın Kütahya, Gümüşköy'deki gümüş madeni, ülkemizde- halen faaliyette bulunan siyanürleme yöntemiyle değerli metal üretilen tek maden işletmesidir. 1986 yılında faaliyete geçen tesiste, cevher karıştırmalı liç yöntemiyle doğal ortamdan yalıtılmış çelik tanklar içerisinde siyanürle muamele edilmekte ve çözelti içerisinde gümüş sıyırıldıktan soera. siyanürlü atıklar havuzlara yayılarak doğal bozunmaya terk edilmektedir., DSİ tarafından açılmış olan. 2 adet sondaj kuyusundan yeraltı suyu drenajından ve baraj suyundan numuneler alınarak haftada bir p.H. ve siyanür analizi., yapılmaktadır. Havuz üstü atmosferinde siyanür gazı ölçümleri yapılmaktadır. Tesiste bugüne kadar, siyanürle ilgili hiç bir olumsuzlukla karşılaşmamıştır (Çiçek, 1994)., Anadolu. Üniversitesi Tıp Fakültesi Göğüs Hastalıkları Anabilini Dalı'nın 1993 yılında Kütahya İl Sağlık Müdürlüğüne verdiği rapora (Anadolu Üniv.Tıp Fak., 1993) atıfta, bulunularak, Gümüşköy tesislerinde kullanılan siyanür nedeniyle Dulkadir köyünde kanser olaylarının arttığı haberleri yazılmıştır. Halbuki,, biliyoruz ki çevre ve sağlık örgütleri, tarafından siyanür; kanserojen etkisi olduğu kabul, edilmeyen D grubu bileşen, olarak nitelendirilmektedir (Hocker, 1989; EPA, 1990). Ayrıca, söz konusu raporda böyle bir iddia olmadığı gibi, evlerin duvarlarında kullanılan sıvada. tesbit edilen kuvars kristallerinin kansere yol açmış olabileceği belirtilmiştir. Bunun dışında, köyün. 10 km uzağından getirilen ve doğal kaynak, olduğu belirtilen içme suyunun kaynağında güvenli eşikten yüksek miktarda (0.67 mg/l) .arsenik bulunduğu ve suya karışım nedeninin, belirlenmesi, gerektiği rapor edilmiştir. Bunun, üzerine,, Etibank, köye bir başka, kaynaktan su getirmiştir..

Ülkemizde' Faaliyetin Denetimi

Türkiye'de madencilik, çevresel etkisine; ilişkin mevzuat, Çevre Bakanlığı tarafından yürütülür ve denetlenir., Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönet-

neliğine göre, çevreye muhtemel etkisi olabilecek bir faaliyeti gerçekleştirmeyi planlayan gerçek ve tüzel kişiler her türlü teşvik, onay, izin ve ruhsat almadan önce ÇED Raporu hazırlayarak Çevre Bakanlığı'na vermekle yükümlüdür.. Bakanlıktan söz konusu proje hattında, olumlu görüş alınmadıkça bu faaliyete geçilemez, ÇED Raporunu incelemek ve değerlendirmek üzere Bakanlık tarafından bir İnceleme-Değerlendirme Komisyonu, oluşturulur. Komisyon, Bakanlıktan bir yetkilinin başkanlığında, faaliyetin, yapılacağı yerin özellikleri dikkate alınarak merkezi ve yerel kurum ve kuruluş temsilcileri,, faaliyet sahibi ile raporu hazırlayan kuruluş temsilcilerinden oluşur. Komisyon çalışmalarına üniversite, enstitü, araştırma ve ihtisas kuruluşları ve meslek odaları, temsilcileri ile gerçek ve tüzel kişiler de üye olarak çağrılabilir.. Komisyon, raporu 60 işgünü içerisinde inceler ve değerlendirir, görüşünü Bakanlığa bildirir,

İnceleme-Değerlendirme Komisyonu'nun ilk toplantısının ardından,, halkı proje hakkında bilgilendirmek, görüş ve önerilerini almak üzere ÇED sürecine halkın katılımını sağlayacak bir toplantı düzenlenir. Ayrıca,, ÇED raporunu incelemek isteyenler, inceleme ve değerlendirme dönemi içerisinde raporu inceleyerek faaliyet hakkında Bakanlığa yazılı görüş bildirebilirler. Görüşler,, Komisyon tarafından dikkate alınır. Faaliyet sahibi, faaliyet sırasında, komisyon tarafından kabul edilen ÇED Raporu ve eklerinde belirtilen hususlara uyacağını belirten taahhüt yazısı ile son şekli • verilen ÇED Raporunu ve işletme sonrasında maden sahasında yapmakla yükümlü olduğu rehabilitasyon çalışmalarını karşılayacak miktarda banka teminatını Bakanlığa verir. Bakanlık, Komisyon raporundaki kararını esas alarak ÇED olumlu görüşü ya da olumsuz görüşü verir.. Çevre Bakanlığı, taahhüt edilen hususların yerine getirilip getirilmediğini izleme ve denetleme görevini yerine getirirken gerekli gördüğü takdirde kamu ve özel kuruluşlar, ilgili meslek odaları, merkezi ve yerel yönetimlerle işbirliği yapar. Bu görevin yürütülmesi için faaliyetin yapıldığı ilde valinin başkanlığında,, bakanlıkların il ve bölge .müdürlükleri ile üniversite yetkililerinden, oluşan bir Mahalli İzleme- ve Denetleme Komisyonu kurulur.

Çevre Kanunu, gereğince, ayrıca,, her ilde valinin başkanlığında, bakanlıkların il temsilcileri, büyükşehir belediye başkanı, belediye başkanı, sanayi ve ziraat odaları başkanları ve Çevre Bakanlığı temsilcisinden oluşan. Mahalli Çevre Kurulları bulunur. O ilde bulunan tesis ve işletmelerin çevre kirliliği açısından yapılan denetlemelerine- ait raporları incelemek, değerlendirmek ve gerekli önlemleri almak bu Kurulun görevleri arasındadır;. Yönetmelik kapsamındaki faaliyetlerin, ÇED olumlu belgesini veya çevresel etkileri önemsizdir kararını belirten, belgeyi almadan başladığı belirlenirse faaliyet, mahallin en büyük, mülki idare .amiri tarafından durdurulur,

ÇED olumlu belgesi alınarak faaliyete başlamış olan tesiste Bakanlığa verilen beyan ve taahhütnameye uyulmadığının tespiti halinde, mahallin en büyük mülki idare amiri taahhüt sahibine taahhütlerini yerine getirmesi için bir defaya mahsus olmak üzere 30 günlük bir süre verir,. Verilen süre sonunda da yükümlülüğün yerine getirilmemesi, halinde faaliyetin, yürütülmesi durdurulur

ÇEVRE VE SİYANÜR

Sanayide,, yanlış veya kontrolsüz kullanıldığı takdirde tehlikesi olmayan hiçbir madde veya süreç yoktur.. Ama esas olan, kullanım sırasında önlemler alarak ve çok sıkı denetimler yaparak olayların kontrol altında tutulmasıdır. Herhangi bir yatırımın projesi, sağlık ve çevre açısından risk taşıyorsa o projeyi red etmekten başka yol yok mudur? Çevre konusuna siyah-beyaz yaklaşım, yerine, uluslararası standartlar ve kriterler içerisinde kalmak şartıyla sanayi sektöründe üretim yapılması sürdürülebilir kalkınmanın temel ilkesidir.. Bu bağlamda,, Çevre Kanunu'nun 1 inci maddesinde " çevrenin korunması amacıyla alınacak önlemler, ekonomik ve sosyal kalkınma hedefleri ile uyumlu olarak belirlenir" ibaresine yer verilmiştir. Aynı Kanununun 3 üncü maddesinde de "arazi ve kaynak kullanım kararlarını veren, ve proje değerlendirmesi yapan yetkili kuruluşlar, kalkınma çabalarını olumsuz yönde etkilememeyi dikkate alarak çevrenin korunması ve kirlenmemesi hedefini gözetirler" denmiştir..

önlemleri alınarak siyanürün dikkatli bir biçimde kullanılması "sürdürülebilir kalkınma" felsefesiyle uyumludur. Sürdürülebilir kalkınma, bazı çevrelerin ileri sürdüğü gibi dokunulmaması gereken doğa ve ekosistemler değildir (Tilton, 1996). Brundtland Komisyonu olarak da adlandırılan Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu'nun 1987 tarihli "Ortak Geleceğimiz" raporunda da belirttiği gibi-sürdürülebilir kalkınma, gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılamalarını tehlikeye sokmadan bugünün ihtiyaçlarını karşılayan kalkınmadır (W.C.E.D., 1987). Yani, günümüzdeki tüketimin, gelecek nesillerin en az bugünkü kadar refah, içinde yaşamalarını engellememesi anlamını taşımaktadır, insanın yaşadığı çevrenin korunması ve iyileştirilmesi, insanlığın geleceği düşünüldüğünde önem kazanmaktadır. Ancak, insanın yaşamını kolaylaştırılması ve refahının sürmesi için de sanayileşmeden vaz geçilemez, Şu halde, ne her ne pahasına olursa olsun sanayi, ne de her şeye rağmen çevre söylemi yerine çevre ve sanayiye akılcı bir yaklaşımla dengeleyerek çocuklarımız ve onların çocuklarına, yaşantımızın temeli olan ekonomik büyümeyi sağladığımız güvenli,, sağlıklı ve yaşanabilir bir dünyayı nasıl bırakacağımızı düşünmeliyiz..

Ülkemizin sadece zengin maden, kaynaklarına sahip olması yeterli değildir.. Bu madenlerin zaman geçirilmeksizin etkin bir biçimde işletilmesiyle yaratılan katma değerın ekonomiye kazandırılması gerekmektedir. Nitekim, gelişmiş ülkelerin bugünkü konumlarına gelmeleri,, sahip oldukları maden kaynaklarını işletmeleriyle mümkün olmuştur. Ülke ekonomisine kaynak sağlayacak olan maden üretiminin artırılmasında en önemli unsurlardan birisi de altın madenciliğidir.. Siyanürün güçlü bir zehir olması nedeniyle, kamuoyu haklı olarak bir tedirginlik içerisindedir. Ancak, aynı yöntem,, yüz yıldır bütün dünyada yaygın ve başarılı bir biçimde uygulanmaktadır. Bu uygulamalardan, kazanılmış tecrübelerle göre, alınacak önlemlerle siyanürün tehlikeli etkisi kontrol altına alınabilmektedir.

Siyanürleme yöntemi kontrol, altında tutulduğunda çevreye ve insan sağlığına zarar vermediği bilindiğinden, altın madenciliği sadece ıssız çöllerde veya geri kalmış yörelerde- değil,, yerleşim, yerlerinin yakınlarında da yapılmaktadır.. Fransa'da Rouez kentindeki S art he madeni ve- Limoges kenti Lechard kasabasındaki LeBourneix madeni,, İspanya'da Sevilla kentindeki Rio Tinto madeni, Yeni Zelanda'da Waihi kasabasındaki Martha Hill madeni,, Kanada'nın Ontario eyaletinde Kirkland kentindeki Macassa, Malartic kentindeki East Malartic ve- Les Terrains. Aurifers, Virginiatown'daki Kerr Addison ile Quebec eyaletinde Val D'Or kentindeki Sigma altın madenleri, özellikle gelişmiş ülkelerdeki yerleşim yerlerinin içerisinde veya hemen, yakınındaki (1 km'den daha az) sayısız örneklerden bazılarıdır.

Madencilik diğer sanayi sektörlerine- benzemeyen bir özelliği vardır. Bir fabrikayı,, en uygun yeri seçerek kurabilirsiniz-. Ancak, madencilikte böyle bir durum yoktur,, Maden işletmesini, ekonomik ve teknik nedenlerle cevherin bulunduğu yerde yapmak, zorunluğu vardır,, Tarım arazisi veya orman içindeyse ya da bir yerleşim yeri yakınıdaysa madeni, başka bir yere taşıma seçeneği yoktur,. Dünyanın birçok yöresinde örneğini gördüğümüz gibi işletmeyi çevreyle bütünleştirerek madencilik çalışmalarını denetimli bir biçimde yapmak yeterli olacaktır,. Bu nedenle, madencilik tarım arazileri, dışında yapılmasını önermek yerine, maden tesislerinin çalışma koşullarını ve getirilecek, sınırlamaları gerçekçi bir biçimde belirlemek ülke ekonomisi açısından daha yararlıdır.

Özetle söylemek, gerekirse,, sanayimiz için gerekli, hammaddelerin temini ve ekonomimiz için gerekli katma değerın yaratılması amacıyla madencilik faaliyetlerinin yoğun bir biçimde sürdürülmesi gerekmektedir, Ancak, bu faaliyetler sırasında çevrenin ve yöre halkının zarar görmemesi için bütün tedbirlerin alınması ile çalışmaların adım adım izleneceği ve gerekli müdahalelerin anında yapılacağı bir organizasyonun kurulması önem kazanmaktadır.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Anadolu Üniversitesi Tıp Fakültesi, 1993, **Dulkadir Köyü** sağlık taraması sonuçları; Göğüs Hastalıkları **Anabilim Dalı**, Rapor No **93-59**.
- ATSDR, 1997, Minimal Risk Levels (MRLs), Cyanide, CAS **000143-33-9**, US **DepL of Helath** and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Release,.
- Bayraktar, I., 1996, Çevre ve altın lıretimı; 21, Yüzyıla Girerken **Türkiye Madenciligi...**, **TMMOB Maden Mühendisleri Odası**, s.63-79.
- Bear, L.M., 1963, The mineral resources and mining industry of Cyprus; Rep., of Cyprus, **Geology Dept. Bull. Nol.**
- Boisson, P., 1987, Rôle croissant de For sur le marché des matières premières minérales; **Chron. Rech. Mio...**, No 488, s.,75-79.
- Çiçek,, F., 1994, **Gümüşköy'de** siyanür liçi ile gümüş üretimi; **Altın Madenciligi Semineri**, Yurt Madenciligini Geliştirme Vakfi,, s.60-65.
- Encyclopedia of Chemical technology (Rirk-Othmer), 1992, v.7, s. 765, 773,776, 779, 4,Baskı, Wiley, New York,.
- Eveleth**, R.W., 1978,, New methods of **working an old mine**; The **Future of Small-Scale Mining**, UNITAR, **Mexico**, s.333-339.
- Fide, E., 1995,, Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyetinde maden **işletmeciliğinin** yarattığı çevre sorunları; Türkçe Konuşan Ülkeler 2. Yer-bilimleri ve Madencilik Konferansı,, MTA Gen. Miid., Ankara, s.264-268.
- Fuller» W.,, 1988,, Cyanides, and the environment **with particular attention to the soil**; D. van Zyl (ed.), Cyanide and. The Environment, **2.Baskı,v.1**, s. 19-44..
- Fuller, W., Caster,, A.B.. ve **McGeorge**, W.T, 1950, Behavior of **nitrogenous** fertilizers in alkaline calcareous soils; Univ. Arizona Tech. **Bull.**, no 120; s.451-467.
- Gönen,, N,,, Demir, E. ve **Özdü**, G., 1996,, Altın üretim prosesi artıklarında **siyanürün doğal bozunma**, kimyasal **bozundurma ve** geri kazanımı süreçlerinin **incelenmesi**; MTA Gen., Müd., Derleme Rapor No 9875, Ankara.
- Gray, **J.E.**, **Coolbaugh**, M.F., Plunlee, G.S. ve Atkinson, W.W.,, 1994,, Environmental geology of the **Summitville** mine, Colorado; **Econ. geol.**, v.89, S..2006-2014.
- Heinen**, HJ., Peterson, D.G.. ve **Linstrom**, R..E., 1978, Processing gold ores **using** heap lech- carbon **adsorption** methods; **U.S. Bureau of Mines**, Information. **Circular** 8770.
- Higgs**, T., 199,5, Technical Guide for the Environmental Management of Cyanide in Mining, British Columbia Technical, and Research **Committee on Reclamation - Cyanide Sub-** Committee, s. **I/I-17**.
- Hocker,, P.M.,, **1989**, Heaps of gold, pools of poison - **Cyanide** spring; Clementine, Autumn, s.6-11.
- Hoiatt, J,L.,, **Kerriga**, E., Olson,, F.A. ve Potter,, G.L., **1983**, Cyanide from mineral processing; Proceed... of Cyanide Workshop,, U.S. National Science Foundation and U.S. Bureau of Mines,, **Salt Lake City**, Utah.
- Ipekoglu**, G., 1995, Omai altın madeni baraj kazası **üzerine görüşler**; **Madencilik Bült**, Mo 44, s. 14-15.
- İpekoğlu, **G^ Çelik**, H. ve **Tükel**, Ç., 1996, **Ovacık altın** cevherinin **karşılaştırmalı** siyanür ve tiyoiire **liçi**; Madencilik,, v. XXXV, no 4, s.43-51.

- KiJboro Inc., 1991. Besi available pollution control technology; Ontario Ministry of The Environment, Metal Mining Sector.
- Korte, F. ve Collision, F., 1995, From single-substance to ecological process concept: The dilemma of processing gold with cyanide; Ecotoxicology and Environmental Sanity, v.32, s.96-101.
- Madencilik Bülteni, 1997, Dünyada altın madenciliği, No 53, s3-2L,
- Marsden, J. ve House, L., 1993,, The Chemistry of Gold extraction, Ellis Horward, London..
- Metals Economics Group, 1995, Analysis of worldwide exploration expenditures; Strategic Report, v.8, no 5, 8,1-5.
- Metals Economics Group, 1996, Overview of worldwide exploration, expenditures; Strategic Report, V.9, no 5,, s.1-5.
- Mining Environmental. Management, 1996, Oniai reopens., March 1996, s.26.
- Mining: Journal, 1990, Ok Tedl monitoring; Mininnng Jour. Special Supplement, v..315, no 8085, s.23-24.
- Mining Journal, 1995, Dam failure at Omai; v.325, no8311,s.129.
- Mininig Journal, 1997a, Sardinian gold pour; September 26,, v.329, no 8448..
- Mining- Journal Research Service, 1994,, The use of cyanide technology in processing gold ores., European operations and regulations.
- Mining' Magazine, 1996, Refractory gold, technology, April, s. 213-234.
- Mudder, T. ve Smith,, A., 1994, An environmental, perspective on cyanide,; Mining' World News, v. 6, no 9.
- Özdemir, I,1994, Toksikoloji - Akut Zehirlenmelerde Tanı ve Tedavi; Nobel Tıp Kitapları, 2. Baskı, 357 s.
- Plumlee, G.S., 1995,, The Summitville mine and its downstream effects; U.S. Geological Survey, Open File Report 95-23.
- Rouse, J.V., 1990, Cyanide and The Environment; Mining Jour., Special, Supplement, v.315, no 8085, s. 18-19.
- Smith, A., Dehnnann, A, ve Puilen, R., 198.5, The effects of cyanide-bearing gold tailings on water quality in the Witwatersrand, S. Africa; Cyanide- and The Environment, D. van Zyl (ed.). Proceed, of Conference, Tucson, Arizona,, Publ. Colorado State Univ.,, s.221-229.
- Smith, A. ve Mudder, T., 1991, The Chemistry and Treatment of Cyanidation Wastes,, Mining Journal Books Ltd.,, London, 345 s.
- Smith, A. ve Mudder, T., 1995, Cyanide - Dispelling the myths; Mining Environmental. Management, June 1,995, s.4-5..
- Sparrow, G., ve Woodcock, XX, 1988, Cyanide concentrations,, degradation,, and destruction in. mineral processing plants and effluents; CSIRO, Division of Mineral Products, Australia, MPC/M-035.
- Stanton, MB., Colbert, T.A. ve Trenholme, R.B., 1985, Environmental handbook for cyanide leaching projects; U.S. BepL. of Interior, National Park Service.
- Stewart,, A.L., 1984, Gold ore processing today - Part I; Intern. Mining, April, s.21-31.
- Stewart, A.L., 1989, Developments in gold processing; Intern. Mining, July, s.8-11...
- Strum, W., ve Hanssen, E.,, 1967, Über Cyanwassertoff in Prunoideen Samen und. Einigen Anderen Lebensnittel; Zeitschrift für Lebensmittel-Unterschung und. -Forschung, v.,135,no6, s.2498-259.
- Tilton, J.E., 1996, .Exhaustible resources and sustainable development; Res. Policy, v.22, s.91-97.

- US Environmental Protection Agency, 1976, The manufacture and use of selected inorganic cyanides; EPA/560/6-76-012.
- US Environmental Protection Agency, 1990, Summary review of health effects associated with hydrogen cyanide; EPA/600/8-90-002F.
- Vick, S.G., 1990, Planning, Design and Analysis of Tailings Dams; BiTech Pub. Ltd., Vancouver, 369s.
- Vick, S.G., 1996, Tailings dam failure at Omai in Guyana; *Mining Engng.*, v.48, no 11, s.34- 37.
- Wellmer, F.-W., 1995, Why gold ? *Natural Resources and Development*, v.41, s.36-49.
- World Commission on Environment and Development, 1987, *Our Common Future*; Oxford Univ. Press, Oxford.
- World Metal Statistics, 1999. *World Mine Production: Gold*, July, s. 79.
- Zadra, J.B., 1950, A process for the recovery of gold from activated carbon by leaching and electrolysis; U.S. Bureau of Mines, Rept. Investigation 4672.

Apreliminary study on an English - Turkish - Hungarian karst terminology

Bir İngilizce - Türkçe - Macarca karst terimleri öncül çalışması

Onur ÖZBEK, Yános HIR

FOREWORD

Although karst features of Turkey are rich, the studies regarding karstology and speleology have not began long ago. By the beginning of 1940's following the pioneering works of some Turkish, German and French scholars, researchers often found themselves in difficulty when writing on these sciences as they had to find an equivalent for each specific word. Researchers like Alagöz (1944), Aygen (1959) and İzbirak (1976) have long ago pointed out the need for such studies in their works. They used some translation words for some new terms as well as the words used by local people. The first and most detailed study of a karst terminology with Turkish equivalents was published by FAO in 1972 including 194 entries. Although, no consistent terminology or glossary study has been made about Turkish karst since then, we know that a more detailed study will be on the way by other researchers, soon. If we consider the technical terms used by Turkish scientists in general, we will notice that they are generally taken from French, English and Serbo-Croatian. Also some important French and Serbo-Croatian karst terms are included in this list of 300 words. The presented work is an attempt to remedy this need though authors are conscious that this attempt falls short of the needs of engineering sciences. As the collaboration of Turkish and Hungarian speleologists in the past few years invoked the need of such attempts, we strongly hope and wish the intensive communication of the researchers of these countries in the future. We also believe that to abet the scientific communication between different languages, the local terminologies of each country must not be forgotten in these studies.

Keywords : Karstology, Karst-terminology, Speleology

BEVEZETÉS

Noha Törökország elég gazdag karszt-jelenségekben a karsztológiai és barlangtani kutatások csak a közel-múltban kezdődtek. Az 1940-es években megindult kezdetektől török, német és francia szakemberek első úttörő kutatásai óta gyakran okoz nehézséget a szakszavak egyértelmű fordítása, párhuzamosítása. Alagöz (1944), Aygen (1959) és İzbirak (1976) munkáikban már régóta rámutattak egy terminológiai tanulmány szükségességére. Ezekben az írásokban lefordított szakkifejezéseket használtak, valamint a helyi lakosság által használt szavakat is. Az első és legrészletesebb karszt-nevezéktan tanulmányt a FAO publikálta 1972-ben 194 cikkkel. Tudomásunk szerint mind a mai napig nincs következetesen használt nevezéktan ill. nevezéktan tanulmány a török karszt-kutatásban. Tudomásunk szerint egy részletesebb tanulmány megjelenése a közeljövőben várható.

Ö. ONUR : Institut Français D'Etudes Anatoliennes, Palais de France, Beyoğlu, İstanbul, Turkey.
Y. HIR: Pászti Múzeum, 3080 Pásztó, Pf. 15, Hungary.

Ha tekintetbe vesszük a török kutatók által használt szakkifejezéseket általában, tapasztalhatjuk, hogy azok a francia, angol és szerbhorvát nyelvből átvett kifejezések. Néhány fontos eredeti francia és szerbhorvát szót is felvettünk ebbe a 300 cikkelyt tartalmazó listába. Jelen munka megkísérli orvosolni a helyzetet, noha a szerzők tisztában vannak azzal, hogy kísérletük szerény mértékű a műszaki tudományok jelenlegi igényeihez képest. Mint együttműködő török és magyar kutatók közvetlenül éreztük egy ilyen munka szükségességét. Reméljük és kívánjuk, hogy a jövőben intenzív párbeszéd induljon a két ország szakemberei között. Hisszük, hogy a különböző nyelvek közötti tudományos kommunikáció elősegítésével a két ország helyi terminológiai sem merülhetnek feledésbe.

ÖNSÖZ

Türkiye karstik yapılar açısından zengin olmasına rağmen, karst ve speleoloji konusundaki çalışmaların geçmişi henüz yenidir. 1940'lerden başlamak üzere Türk, Alman ve Fransız bilim adamlarının öncü çalışmalarından ardından bu bilimlerle ilgili yazılar yazan araştırmacılar her terimin karşılığını bulmak zorunda olduklarından genellikle zorluklarla karşılaşmışlardır. Alagöz (1944), Aygen (1959) ve Izbırak (1976) gibi araştırmacılar yayınlarında terimlerin önemi konusunda yer vermişler ve bazı çeviriler yanında "halk ağzı" karst deyimlerine de değinmişlerdir. Türkçe'de karst konusunda bugüne kadar sadece bir terminoloji çalışmasında diğer dillerdeki 194 terimin karşılığı verilmeye çalışılmıştır (FAO 1972). Ancak bu konuda daha kapsamlı bir çalışma yapılmamıştır. İlk olarak Türk araştırmacılar tarafından kullanılan terimler genelde Fransızca, İngilizce, Sırpça ve Hırvatça'dan alınmıştır. Konusunda yapılan bu ikinci çalışmada ise 300 kelimelelik listede önemli bazı Fransızca, Sırpça ve Hırvatça terimlere de yer verilmeye çalışılmıştır. Bu konudaki boşluğu biraz olsun dolduracağı düşünülen bu denemenin güncel mühendislik bilimlerinin ihtiyacını karşılayamayacağı açıktır. Geçmiş yıllarda Türk ve Macar speleologların başlattığı iletişim gelecekte Türk ve Macar karst araştırmacılarının daha yoğun bir iletişimi içinde olabilmelerinin göstergesi olarak değerlendirilmelidir. Değişik dünya dilleri arasındaki bilimsel iletişime katkıda bulunabilmek için, çalışmalarda bu ülkelerin yerel terminolojilerine de yer vermenin büyük bir önemi bulunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Karst bilimi, Karst terminolojisi, Mağara bilimi

TERMINOLOGY

Abbreviations : (Cor.): Corsican, (Cr.): Serbo-Croatian, (Fr.): French, (Sp.) Spanish

English—Turkish—Hungarian

abyss—uçurum—karsztakna, karsztszakadék
accelerated corrosion—ivmeli aşınım—felgyorsult oldás
active cave—aktif mağara—aktiv barlang, patakos barlang
activity index of karst (FAO, 1972)—karst çözünme derecesi—karsztaktivitási index

aerated zone—havalanma zonu—szellözött szakasz

aggressive water—çözücü su, *also* agresif su—oldóképes víz

air pocket—hava bölmesi—vízszint és föte közötti zárt levegős tér

aisle—dar geçit—szük, magas barlangfolyosó; hasadék

allochthonous—dışarıdan taşınmış—allochton; áthalmozott (más területről származó)

allogene stream—karst dışı akarsu (FAO, 1972)—allogén vízfolyás; külső eredetű vízfolyás; memkarsztos területekről jövő vízfolyás.

alluvial corrosion—alüvyal aşım—allüviális korrozió

alveolisation—çukurlaşma (FAO, 1972)—üregesedés

anastomosis—ağzlaşma, *also* anastomoz—anasztomozis; labirintus

aquifer—su veren, *also* akifer—vıztartó

authohtonous—yerli malzeme, iç malzeme—helyben keletkezett; authohton

aven—obruk, *also* düden—1. kis átmérőjü aknabarlang; 2. barlangban felfelé nyúló vakkürtö

bare karst—çıplak karst—nyílt, fedetlen karst

base of karstification—karstlaşma tabanı (FAO, 1972)—karsztos erózióbázis

basin of drainage—akaçlama teknesi (Izbirak, 1971)—vızgyüjtő medence

bedding cave—tabakalanma mağarası (FAO, 1972)—réteglap mentén kialakult barlang

bell hole—*see* ceiling pocket—mennyezetü

blind valley—kör vadi—vakvölgy; víznyelövel végződö völgy

blowhole—rüzgar çıkan delik—széllyuk

blowing cave—rüzgar çıkan mağara—szeles barlang

blue hole—mavi delik—1. tavat alkóto forrás; 2. beszakadt mennyezetü barlangı tó

bogaz (Cr.)—boğaz—bogaz, tagolt, karrosodott mészköfelszin

boulder choke—çöküntü bölgesi—omladékhalom; törmelékhalom

breakdown—çöküntü—letörés

breathing hole—soluyan delik (or soluyan mağara)—szeles barlang

bridge—köprü (oluşum)—híd

buried karst—gömülü karst—eltemetett karszt; fedett karszt

calc tufa—kalker tüfü (Izbirak, 1976)—mész tufa; edesvizi mészkö; travertin

calcite raft—kalsit salı—vız felszinén keletkezö kalcitlemez

canyon—boğaz, *also* kapız—szurdok

capilarity—kılcallık, *also* kapilarite—kapillaritás; hajsızalsövesség

cascade—çağlayan oluşum—vizesés; zuhatag

cause (Fr)—kireçtaşı platosu—mésköfennsik; mésköplató (tipusa: causses, Franciaország)

cave coral—mağara mercanı—barlangı korall

cave onyx—mağara mermeri—ättetszö, szines kalcit

cave pearl—mağara incisi—pizolit; barlangı gyöngy

cave system—mağara sistemi—barlangrendszer

cave-in—1. çökme, göçme, 2. göçme bölgesi—beomlás; beomlásos barlang

cavern—küçük mağara, *also* in—köfülke

caver—mağaracı—barlangász (nem tudományos)

cave—mağara, *also* in—barlang

caving—mağaracılık—barlangkutatás (nem tudományos)

chalk—tebeşir—1. frókréta; 2. általában puha mészkö

chamber—oda—barlangterem

chasm—derin yarık—szakadék

chimney—baca—kürtö

clasto karst—klastik karst (FAO, 1972)—klastokarszt (törmelékes karbonátközetek karsztja)

clint—kireçtaşı aşınım yüzeyi—1. abrázios partfal; 2. mészköplátó pereme

cluse—(Fr.) kısık (Alagöz, 1944)—karszturdok

cockpit karst—düdenli karst (FAO, 1972), *also* kokpit karsti—kokpit karszt (trópusi karsztípus)

column—sütun—cseppköoszlop

conduit—çözünme kanalı—vízvezető járat

cone karst—konik karst—kúpkarszt (trópusi karsztípus)

constructive waterfall—düşüm—völgyzárógát

coral cave—mercan mağarası—korallbarlang

corrasion—fiziksel aşınım—fizikai lepusztulás

corridor—boğaz *see* kanyon—folyosó

corrosion cave—aşınım mağarası—korróziós barlang

corrosion—kémiasal aşınım—korrózió (kémiai oldódás vizben)

covered karren—örtülű lapya—fedett karr

covered karst—örtülű karst—fedett karszt

crawl, crawlway—sürünme pasaji—mászás; mászóút

crevice karst—çatlak karsti—mély oldásos szakadékokkal jellemzett trópusi karszt

cryokarst—don karsti, *also* termokarst—termokarszt

current—akıntı, akım—turbulens vizáramlás

curtain—perde—cseppköfüggöny

dead cave—fosil mağara—inaktív barlang

decalcification—karbonatını giderme (FAO, 1972)—dekalifikáció; mésztelenedés

decoration—oluwumlar (eg. sarkıt, dıkıt, perde)cseppkódısızıtés

degree of karstification—karstlaşma derecesi—a karsztosodás fejlettsége

dendritic—dallanma, dallanmış *also* dallantı—elágazó

denuded karst—dışavurmuş karst—lepusztult karszt

depression—çöküntü, *also* depresyon—mélyedés

diffuse circulation—yaygın dolaşım—diffúz cirkuláció; diffúziós vízmozgás

dip—klinometre eğimi, eğim—rétegdölés

doline karst (Cr.)—dolin karsti—töbrös karszt; dolinás karszt

doline lake—obruk gölü—*also* dolin gölü—dolinató

doline (Cr.)—tava, koyak, *also* dolin—töbör, dolina

dolomite—dolomit—dolomit

dome pit (USA)—dev shaft (yukarıdan bakıldığında)—dóm boltozatú felül zart kürtö, vakkürtö

dome—dev shaft—felül zart kürtö, vakkürtö

drainage—akaçlama, *also* drenaj—vízgyűjtő; vízhálózat

drapery—perde oluwum, *also* perde—cseppköfüggöny

driphole—damla deliği—csepegö víz hatására keletkezett mélyedés

dripstone—damlataş—cseppkö

drowned spring—batmış kaynak—vízszint alatti forrás

dry cave—kuru mağara—száraz barlang

dry valley—kuru vadi—száraz völgy

dye test—boya deneyi—vízfestés

ebb-and-flow spring—gel-gıt kaynağı—idöszakos forrás

emergence—çıkış—nagy karsztforrás (földalatti folyó, felszínre törése)

endogenic cave—içsel mağara (Özbek, 1993)—endogén barlang;mélységi hatásokra keletkezett barlang

endogenic karst—içsel karst (Özbek, 1993)—endogén karszt; mélységi hatásokra fejlődő karszt

epirogenic karst—epirojenik karst—epirogén karszt, epirogenetikus karszt; platformkarszt; kiemelkedéssel létrejött/gyűrődést nem szenvedett/táblás karsztsikság, v. fennsík

estavelle (Fr.)—alıcı-verici düden, *also* su batar çıkarı (FAO, 1972)—katavotra; váltóforrás

exhumed karst—açık karst, *also* açığa çıkmış karst—exhumált karszt; kitakart karszt

exogenic karst—dışsal karst (Özbek, 1993)exogén karszt; külső hatásokra fejlődő karszt exogenic—dışsal (Özbek, 1993)—külső/pl.klimatikus, hidrölögiai/hatás

exposed karst—*see* denuded karst

exurgence—yüzeye çıkma, ismeretlen vízgyüjtö területtü folyó felszínre törése

fault cave—fay mağarası—tektonikus barlang

fault—fay—vetö

feeding tube—akak galerisi, beslenme oluğu—patakos barlangjârat

fissure cave—çatlak mağarası—hasadéklarlang

fissure—çatlak—hasadék, repedés

fluviokarst—1. akarkarst, 2. akarsu karstı—fluviokarszt

flowstone—akmataş—âsványi kivâlas barlangfalon

flute (USA)—oyum—ovâlis bemélyedés barlangfalon

formation—oluşum—formâciö; alakzat

gallery—galeri—nagyméretü jârat

glacier cave—buzul mağarası—gleccserbarlang

glacio karst—buzul karstı—glacio-karszt (glaciâlis és karsztos formâkat együttesen tartalmazö karszttipus/elolvadt jégtaakarö helyén fejlődö karszt)

gorge—*see* canyon

grotto (I.)—1. mağaracılık kulübü, 2. küçük mağara—1. barlangkutató csoport (USA); 2. kis barlang; 3. gazdagon diszitett barlangterem

groove—oluk, deniz mağarası ya da oyuntusu—kannelura

gryke—lapyâ—hasadékkarr

gushing spring—*see* vauculian spring

gypsum karst—alıçı taşı, jıbs karstı—gipszkarszt

gypsum—alıçıtası *also* pur (Alagöz, 1944; 1967), jıbs—gipsz

helictite—heliktit—heliktit; görbecseppkö; görbe sztalaktit

holokarst—bütünsel karst—dınâri tipusü nyilt karszt,tipusos karsztformâkkal (ellentete:merokarszt)

horizontal development—yatay gelişim—horizontâlis kifejlödés

hum (Cr.)—karstik adatepe (Alagöz, 1944), *also* hum tepesi—hum (szigetthey poljéban)

ice cave—buz mağarası—jégbarlang

incrustation—kabuklaşma—bekérgezödés

intermittent river—mevsimsel akarsu, kesintili akarsu (FAO, 1972)—idöszakos folyö

intermittent spring—mevsimsel kaynak, kesintili kaynak (FAO, 1972)—idöszakos forrás

interrupted river—batan nehir—búvópatak

interstradal karst—tabakaarası karstı—rejtett karszt

- isotop tracer**—izotop izleyicisi—nyomjelző izotóp
- jama**—baca, *also* aven—aknabarlang; barlang
- juvenile-karst**—genç karst—juvenilis karszt (a karsztlejődés korai szakasza)
- kamenica**—*see* solution pan
- karren field**—lapyá alanı, çözünme oluğu alanı—karmezö; ördögszántás
- karren**—lapyá, çapır, çözünme oluğu—karr
- karst aquifer**—karst akiferi, karst su vereni—karsztos víztartó
- karst barré**—setli karst (FAO, 1972)—nem karsztos közetek közè zárt karsztos tömb
- karst corrosion**—karst aşınımı—karsztkorrózió
- karst depression**—karst depresyonu (çöküntüsü)—karsztos mélyedés
- karst fen**—karst bataklığı (karst bataklık gölü)—karsztmocsár
- karst hydrology**—karst hidrolojisi—karszthidrológiá
- karst lake**—karst gölü—karszttó
- karst pit**—karst çukuru—akna, szomboly
- karst plain**—karst ovası—karsztos síkság; síksági karszt
- karst plateau**—karst platosu—karsztfennsík
- karst seep**—karst szıntısı—karsztvíz szivárgás
- karst shaft**—karst bacası, *also* karstik shaft
- karst spring**—karst su kaynağı—karsztforrás
- karst terrain**—karst arazisi—karsztterület
- karst water spring**—karst su kaynağı—karsztforrás
- karst water table**—karst su tablası—karsztvízszínt
- karst water**—karst suyu—karsztvíz
- karst window**—karst penceresi—karsztablak; átjáró
- karstification**—karstlaşma—karsztosodás
- karst**—karst—karszt
- lapies**—*see* karren
- lava karst**—lav karstı—lávakarst
- lava-tube cave**—lav tüneli mağarası—lávacsatorna-barlang
- light through cave**—tünelimsi mağara (ışık geçişli mağara)—átjáróbarlang; átmenö barlang
- limestone pavement**—kireçtaşı döşemesi (FAO, 1972)—mészköaljzat
- limestone**—kireçtaşı—mészkö
- lithification**—taşlaşma, litifikasyon—diagenezis; közettè válás
- localised circulation**—yerel dolaşım—helyi circulaçió
- lost river**—batık nehir—búvópatak
- macrokarst**—makrokarst—makrokarszt; matus karszt
- marginal polje**—gölova, *also* kenar gölova (Alagöz, 1944)—peremi polje
- massive limestone**—masif kalker, kütle kireçtaşı—massziv mészkö; tömeges mészkö; vastagpados mészkö
- maze cave**—labirentimsi mağara—labirintusbarlang
- merokarst**—yarı karst (FAO 1972)—litológiai okokból tökéletlen karszt (ellentèt: holokarszt)
- mogote** (Sp.)—konik kireçtaşı tepesi (FAO, 1972)—mogote; trópusi mészköszigetthegy
- mud stalagmite**—çamur dikit—agyagsztalagmit
- naked karren**—çıplak lapyá—nyílt karmezö
- nappe**—nap—takaró

natural bridge—doğal köprü—karsztív; átjáró; természetes híd

niche—*also* tafone, *also* tafoni (Cor.)(Penck, 1894)—niş—egyesszám; gyanánt ismer (Radai, 1980).

nip—dalga yarığı çizgisi—abráziós színölö

ore karst—cevher karstı—ércesedett karszt

paleo current—paleo akıntı—ösfolyó

palaeohydrology (Vita-Finzi, 1970)—paleohidroloji, eski hidroloji—paleohidrolojia

paleo karst—paleokarst, eski karst—paleokarszt; öskarszt

passage—geçit, *also* pasaj—járat

peak forest plain—doruk katı—sıksági szigetehy-karszt (trópusi karsztítípüs (Balázs, 1989))

peak forest plateau—doruk platosu—fennsíki szigetehy-karszt(trópusi karsztítípüs (Balázs, 1989))

peak forest valley—doruk vadisi—völgyi szigetehy-karszt, trópusi karsztítípüs (Balázs, 1989)

penplain—yontukdüz (İzbirak, 1976), *also* penplen—tönkfelszín

pepino hill (Sp.)—*see* hum, *also* hum tepesi—trópusi karsztiszigetehy

periodic spring—dönemsel kaynak—idöszakos forrás

permafrost karst—don alanı karstı, *also* donmuş toprak karstı—állandóan fagyott karszt

permafrost—don alanı—talajfagy

phreatic cave—sualtı mağarası, *also* freatik mağara—freatikus barlang

phreatic—suya doygun, *also* freatik—freatikus/karsztvízszínt alatti

pillar—*see* column

píping—karstik yeraltı suyu kazıması (FAO, 1972)—szuffózió; alagosodás

pít, pitch—uçurum, *also* çukur, *also* dikey boşluk—aknabarlang; zomboly

plain—ova—síkság

plane—düzlük—síkság

plateau—plato—plató, fennsík

polje—gölova (Alagös, 1944), *also* polye—polje

ponor (Cr.)—su yutan, *also* ponor—ponor, víznyelő

popcorn—yumrucuklu oluşum— "pattogattot kukarica"/ borsökö tipus

potholer—dikey mağaracı, mağaracı (İngiltere)—barlangász

pothole—dikey mağara, mağara (İngiltere)—aknabarlang; zomboly

pressure flow tube—basınçlı su mecrası—nyomás alatt levő vízzel telt járat

pseudo karst—yalancı karst—pszeudokarszt; ál-karszt

pyramid karst—piramid karstı—piramis karszt (trópusi karsztítípüs)

rainpit—yağmur çukuru—esölyuk; gyüszükarr

resurgence—su çıkan—nagy forrás

rill—yiv, *also* oluk, küçük dere—oldásos vájat, kannelura

rimstone dam—kenartaşı seti—mésztufagát; tetarata

rimstone pool—kenartaşı havuzu—mésztufagát mögötti tó

rimstone—kenartaşı—mésztufa-kiválás; tetarata

rise—yükselme—forrás

rising—yükselen—forrás

- rock shelter**—kaya altı sığınağı—sziklaeresz; köfülke
- room**—oda—barlangterem
- rounded karren**—yuvarlanmış lapa—kerek karr
- sand stalagmite**—kum dikiti—"homoksztalagmit"/mészzel cementált homokköoszlop
- saturated water**—doygun su—telített víz
- scallop**—akıntı izi, *see* flute—alveola, ovális mélyedés
- scar**—dik kireçtaşı yar—mészköréteg éles letörése
- sea cave**—deniz mağarası—abráziós barlang
- sea estavelle**—deniz alıcı-verici düdeni—tengeri váltóforrás
- sea mill**—deniz değirmeni (Yunanistan)—tengeri vízimalom / tıpusa: Görögország, Kefalonia
- sea ponor**—deniz su yutani—tengeri víznyelő
- shaft, (karst pit)**—şaft, karstik çukur, dikey boşluk—aknabarlang; zomboly
- shield**—kalkan—korong alakú cseppkőképzet
- silt**—mil—aleurit; közetliszt
- sink, sinkhole**—su-yutan (Izbirak, 1976), kokurdan (Alagöz, 1944), çözünme boşluğu—vıznyelö
- sinkhole plain**—su-yutan ovası—töbrös karszfelszın
- sinkhole pond**—su-yutan gölcüğü—dolinató
- sinter**—çökerti (Izbirak, 1976)—ásványkiválás forrásvızből; mésztufa
- siphon**—sifon—szifon
- solution cave**—çözünme mağarası—oldásos barlang
- solution flutes**—*See* groove—çözünme oluğu—kannelura
- solution pan**—çözünme tavası—madáritató; kame-nica
- solution subsidence**—çözünme çöküntüsü—oldásos sülyedés
- speleology**—speleoloji, mağarabilim—szpeleológia; barlangtan
- speleothem**—speleotem, mağara çökeli—barlangi képzödmény általában
- spelunker**—mağaracı (A.B.D.)—barlangász (sportszerü)
- spelunking**—mağaracılık (A.B.D.)—barlangkutatás (sportszerüen)
- spongework**—karmaşık boşluklu yapı—labirintus
- spore tracer**—spor izleyici—spor víznyomjelző
- spring**—kaynak—forrás
- squeeze**—dar geçit, sıkışık geçit—szük kúszójárat
- stalactite**—sarkıt—függöcseppkö
- stalacto-stalagmite**—*Also* column—sarkıt-dikit—cseppköoszlop
- stalagmite**—dikit—állócseppkö
- steam hole**—buhar deliği—páralyuk (páras levegöt kibocsátó barlangnyílás)
- stone forest**—kaya ormanı—köerdö
- straw stalagmite**—çöp sarkıt—szalmacseppkö
- stream tube**—yeraltısuyu galerisi—vızvel kitöltött szakasz
- sub-permafrost karst**—donmuş toprak altı karstı—talajfagy alatti karszt
- sub-soil karst**—toprak altı karstı—talajjal fedett karszt
- subjacent**—gizli karst, *also* yüzey altı karstı—mély-karszt
- sublacustrine spring**—gölaltı kaynağı—tófenéki forrás
- subterranean river**—yeraltı nehri—barlangi folyó

- suffosion**—*see* pipping
- sump**—sifon (U.S.A.)—szifon
- supra-perma frost karst**—donmuş toprak yüzey karstı—talajfagy feletti karszt
- swallet, swallow hole**—su-yutan—vıznyelö
- syngenetic karst**—eşzamanlı oluşum karstı—szin-genetikus karszt (a karsztosodó közet diagenезisével egyidejü karsztosodás)
- table of corrosion**—aşındırma tablası—karrasztal
- talus cone**—etek döküntüsü (İzbirak, 1976), *also* **kayşat**—törmelékkúp
- talus**—döküntü, *also* **kayşat**—törmelék
- tecto karst**—tektonik karst—tektonikus karszt
- tectonic polje**—tektonik oluşumlu polye, *also* tektonik oluşumlu gölova—tektonikus polje
- terra rossa**—kırmızı toprak—vörösföld
- thalweg, valley line**—bıçık, çatak (İzbirak, 1976), *also* **talveg**—völgyvonal (a völgy legalacsonyabb pontjai mentén húzott vonal) völgyprofil; esésgörbe
- threshold**—eşik, mağara giriş bölümü—bejárati szakasz
- tidewell**—gel-git kuyusu—intermittáló forrás
- tower karst**—kule karstı—toronykarszt (trópusi karszt-típus)
- tracer**—izleyici—vıznyomjelző anyag
- trap, water trap**—sifon—szifon
- travertine terrace**—traverten taraçası—mésztufa terasz
- travertine**—traverten—èdesvizi mészkö, forrás-mészkö; mésztufa
- troglobite**—troglobit—troglobiont, barlanglakó (állat)
- troglydote**—mağara sakini—barlanglakó (állat)
- troglophile**—troglofil—barlangkedvelö (állat)
- trogloxene**—trogloksen—barlangi vendég (állat)
- tropical karst**—tropik karst—trópusi karszt
- tube**—geçit, tüp—csöfolyosó
- tufa**—pamuktaş—tufa
- underground divide**—yeraltı su bölümlemesi—felszin alatti vızválasztó
- underground lake**—yeraltı gölü—földalatti tó; barlangi tó
- underground river**—yeraltı nehri—földalatti folyó; barlangi folyó
- uvala**—koyak—uvala
- vadose**—vadoz—vadózus, karsztvızszínt feletti
- vadose zone**—havalandırma zonu, vadoz zon—vadózus zóna (karsztvızszínt feletti zóna)
- valley sink**—batuk vadi—dolinasor; töbörsor
- valley**—vadi—völgy
- vauculian spring**—basınçlı kaynak—vauclus—tipusú forrás; bövizü karsztforrás
- vug**—mikro oyuk—kis közetüreg
- water table**—su tablası—karsztvızszínt
- water tracing methods**—su izleme yöntemleri—vızfestési eljárások
- water tracing**—su izleme—vızfestés; vıznyomjelzés
- well**—kuyu—kút
- zone of karstification**—karstlaşma kuşağı—karsztosodási zóna

ACKNOWLEDGEMENT

The authors here wish to thank Dr. Dénes Balázs, Dr. László Jakucs and Dr. Mehmet Ekmekci for their critical reviewing of this manuscript and also for their encouragement.

REFERENCES

- Aktar M. and B. Kara, 1992. Türkiye Speleoloji Kaynakçası. Proceedings of the 1st National Speleological Symposium, Bosphorus University, Istanbul, 82-87. (abstract in English)
- Alagöz, C. A., 1944. Türkiye Karst Olayları. Türk Coğrafya Kurumu Yayınları: I, Ankara. (with summary in French).
- Alagöz, C. A., 1967. Sivas Çevresi ve Doğusunda Jips Karstı Olayları. Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih - Coğrafya Fakültesi Yayınları: 175, Ankara Üniversitesi Basımevi. (with summary in French)
- Aygen, T., 1959. Speleoloji Mağaralar ve Yeraltı İrmakları. Ankara: D.S.İ. Neşriyatı, 88.
- Aygen, T., 1984. Türkiye Mağaraları. İstanbul: Türkiye Turing ve Otomobil Kurumu Yayınları.
- Aygen, T., 1992. Son yıllarda speleoloji alanında yapılan önemli çalışmalar: Akdeniz'de yüksek dağ karstı ve Uzak Doğu Pasifik Adalarındaki dev karst sistemleri. Proceedings of the 1st National Speleological Symposium, Bosphorus University, Istanbul, 25-27. (abstract in English)
- Balázs, D., 1989. Magyar-angol-kinai karsztalógiai mojegyzék, Hungarian-English-Chinese glossary of Karstology. Karszt és Barlang, 1989 (I-II), 47-48.
- Balázs, D., 1990. A Karsztológiában és Szpeleológiában Használt Fontosabb Idegen Szakki-fejezések Szótára. Karszt és Barlang, 1990. éfv. II. füzet, 127-136.
- Bayan, C. S. and O. Ozbek, 1995. An Inventory of Karstic Caves in the Taurus Mountain Range (Southern Turkey): Preliminary Evaluation of Geographic and Hydrologic Features. Cave and Karst Science (Transactions of the British Cave Research Association), 21 (3), 81-91.
- Bocker, T., 1976. Dynamics of Subterranean Karstic Water Flow. Karszt-Es Barlangkutató (Official Organ of the Hungarian Speleological Society) Magyar Karszt - Es Barlangkutató Társulat, 1973-1974, Budapest, 107-145. (with summary in French, Russian, Romanian)
- Bogli, A., 1980. Karst Hydrology and Physical Speleology. Ed. Springer, Berlin.
- Bretz J. H., 1942. Vadose and phreatic features of limestone caverns. Journal of Geology, 50, 675-811.
- Castany, G. and Margat, J., 1977. Dictionnaire Français d'hydrologie. Ed. B.R.G.M., Orléans.
- Castany, G., 1982. Principes et Methodes de l'hydrogéologie. Ed. Dunod, Paris.
- Choppy, J., 1986. Dictionnaire de Spéléologie physique et karstologie. Ed. J. Choppy, Paris.
- Collignon, B., 1998. Speleologie : approches scientifiques. Edisud, Aix-en-Provence.
- Egemeier, S., 1981. Cavern Development by thermal waters. National Speleological Society Bulletin, 31, 31-51.
- Erol, O., 1963. Asi Nehri Deltasının Jeomorfolojisi ve Dördüncü Zaman Deniz-Akarsu Sekileri. A.Ü.D.T.C.F.Yayınları, A.Ü. Basımevi, 148.
- Erol, O., 1971. Alanya-Damlataş Mağarasının Gelişme Safhaları Hakkında Gözlemler. Jeomorfoloji Dergisi, 3 (3), 14-32.

- Erol, O., 1979. Dördüncü Çağ (Kuvaterner) Jeoloji ve Jeomorfolojisinin ana çizgileri. A.Ü. D.T.C.F. Yayınları 289, Coğrafya Araştırmaları Enstitüsü Yayınları, 22.
- FAO, 1972. Glossary and Multilingual Equivalents of Karst Terms. First edition, Rome, Italy.
- Fènelon, P., 1968. Vocabulaire Français des phénomènes karstiques. Mémoires et Documents du Centre Documentaire Cartographique et Géographique. 4, 193-282.
- Ford, D. C. and P. W. Williams, 1989. Karst Geomorphology and Hydrology, London: Unwin Hyman, University Press, Cambridge.
- Ford, D. T., 1976. The Geology of Caves. The Science of Speleology. T.D. Ford-C.H.D. Cullingford (Eds.) Academic Press, London.
- Foucault, A. and J. F. Raoult, 1995. Dictionnaire de Géologie. 4th Edition, Masson, Paris.
- Güldalı, N., 1971. Karstik Araştırmaların Türkiye için Önemi-(Die allgemeine Bedeutung der karstmorphologischen Untersuchungen für die Türkei). Jeomorfoloji Dergisi, Yıl: 3 (3), 54-61.
- Herak, M., 1972. Karst of Yugoslavia. Karst, Important Karst Regions of the Northern Hemisphere. M. Herak ve V.T.Stringfield (Eds.), Amsterdam: Elsevier Publishing Company, 37.
- Hevesi, A., 1986. Hidegvizek léttrehozta Karsztok osztályozása, Classification of cold water karsts. Földrajzi Ertesítő. Geographical Bulletin, 35 (3-4), 231-254.
- Hill, C.A., 1976. Cave Minerals. National Speleological Society, Huntsville.
- Hir, J. and O. Ozbek, 1994. Review of Karst Research in Western Taurus (Turkey). Folia Historica Naturalia Musei Matraensis. 19, 7-21. Hungary. (abstract in Hungarian)
- İlhan, E., 1976. Türkiye Jeolojisi. O.D.T.Ü., Ankara: Mühendislik Fak. Yayınları, 51.
- İzbrak, R., 1976. Coğrafya Terimleri Sözlüğü. Ankara: İktisat Matbaacılık.
- İzbrak, R., 1979. Jeomorfoloji. D.T.C.F. Ankara: Basımevi.
- Jakucs, L., 1977. Morphogenetics of Karst Regions-Variants of Karst Evolution. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Ka'zme'r M., 1985. Angol-Magyar és Magyar-Angol Geológiai Kiszótár, Geological Vocabulary English-Hungarian and Hungarian-English. Tankönyvkiadó, 1-386.
- Monroe, W.H., 1970. A Glossary of Karst Terminology. U.S. Geological Survey Water Supply Paper-1899, Washington.
- Moore, G.W. and Sullivan, G.N., 1978. Speleology : The study of Caves (Revised 2nd edition) Cave Books, St. Louis, MO : 41-72.
- Nazik, L., 1989. Mağara morfolojisinin belirlediği jeolojik-jeomorfolojik ve ekolojik özellikler. Jeomorfoloji Dergisi, 17, 53-62. (abstract in English)
- Ozbek, O., 1993. Prehistorik İskan Açısından Türkiye Mağaraları ve Hatay Mağaralarının İncelenmesi. M.A. thesis, Hacettepe University. (abstract in English).
- Penck, A., 1894. Morphologie der Erdoberfläche. 1 Bd. Stuttgart.
- Rádai, O., 1980. Tafone ("Niche") Formations in Carbonate Rocks in North Spain. Karszt-Es Barlangkutató (Official Organ of the Hungarian Speleological Society) Magyar Karszt - Es Barlangkutató Társulat. 1975-1980, Budapest, 93-106. (in English and Hungarian with summary in German, Russian, Romanian)

- Schmid, E., 1970. Cave sediments and prehistory. Science in Archaeology : A survey of Progress and Research. (Revised and enlarged edition) (Eds) Brothwell D. and E. Higgs, Praeger Publishers, New York, 151-166.
- Sür, Ö., 1981. Stratigrafi. D.T.C.F. Basımevi, Ankara.
- Sür, Ö., 1986. Strüktürel Jeomorfoloji. D.T.C.F. Basımevi, Ankara
- Sweeting, M. M., 1973. Karst Landforms. New York: Columbia University Press.
- Şengör, A.M.C., 1986. Outlines of the Turkish Karst. 2nd edition. Boğaziçi University, Istanbul.
- Trimmel, K.H., 1965. Speleologisches Fachwerterbuch. Third International Speleological Congress, C.
- Vita-Finzi, C., 1970. Fluvial Geology. Science in Archaeology : A survey of Progress and Research. (Revised and enlarged edition) (Eds) Brothwell D. and E. Higgs, Praeger Publishers, New York, 144.
- White, W. B., 1976. Cave Minerals and Speleotems. The Science of Speleology. T. D. Ford and C. H. D. Cullingford (Eds.), Academic Press, London
- White, W. B., 1988. Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains. : Oxford University Press, New York.

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ YAYIM AMAÇLARI VE KURALLARI, YAYINA KABUL İLKELERİ

AMAÇ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ

- İnsan ile Yerküre arasındaki etkileşimlere ilişkin bilgi ve deneyimleri daha güvenli ve daha rahat bir yaşam ortamı sağlamak doğrultusunda, doğal çevreyi gözeterek insanın hizmetine sunmayı amaçlayan Jeoloji Mühendisliği mesleğinin günlük yaşamdaki yerini ve önemini daha etkin bir şekilde yansıtmak,
- Bu alanda ulusal ve uluslararası gelişmeleri Jeoloji Mühendislerinin bilgisine sunmak,
- Konu ile doğrudan/dolaylı etkinliklerde bulunan bilimadamları, araştırmacılar, mühendisler ve diğer uygulayıcılar arasındaki bilgi ve deneyim iletişimini güçlendirecek ve hızlandıracak kolay erişilebilen, geniş katımlı bir tartışma ortamı sağlamak ve yayma olanağı yaratmak
- Türkiye'nin sosyal ve ekonomik kalkınmasını yakından ilgilendiren jeolojiye ilişkin sorunların daha etkin çözümünü sağlamak açısından büyük önem taşıyan kurumlararası işbirliğinin başlatılmasına katkıda bulunmak,
- Türkçenin jeoloji mühendisliği alanında bilim dili olarak geliştirilmesini ve yabancı sözcüklerden arındırılmasını özendirmek

gibi amaçlara sahiptir.

KAPSAM VE NİTELİK

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ, ulusal ve uluslararası platformda yerbilimlerinin uygulamaya dönük alanları ile ilgili çalışmalar yapan herkesin katkılarına açıktır. Bu çerçevede

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

ile ilgili kuramsal ve uygulamalı çalışmaları kapsayan ürünler, Yayın Kurulunun değerlendirmesinden geçtikten sonra Jeoloji Mühendisliği Dergisinde yayınlanır.

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

- 1- **ELEŞTİREL İNCELEME (Review Paper):** Editörlerin daveti üzerine veya bilgisi dahilinde hazırlanan, jeoloji mühendisliğinin herhangi bir alanında halen kullanılmakta olan teknik, yöntem ve yaklaşımların günümüz teknolojik gelişmeleri ve kendi deneyimleri ışığında inceleyen, bu açıdan öneriler geliştiren yazılardır. Yazı uzunluğu konuya bağlı olarak değişebilir. Yayın Kurulu incelemesi zorunluluğu yoktur.
- 2- **ARAŞTIRMA MAKALESİ (Research Article):** Özgün bir çalışmanın sunulduğu yazıdır. Kurumsal temel, yeterli miktar ve nitelikte veriye dayalı bulgu ve sonuçların ayrıntılarıyla değerlendirildiği bölümleri içermelidir. Yazının toplam uzunluğu 6000 sözcük eşdeğerini (10 JMD sayfası) aşmamalıdır. En az iki yayın kurulu üyesi tarafından incelendikten sonra yayınlanır.
- 3- **TEKNİK NOT (Technical Note):** Herhangi bir süreç veya tekniği, kuramsal temel, yeterli veri, ve ayrıntılı değerlendirmeye dayanmadan sunan ve amacı bu süreç veya teknikleri kullanabilecek yerbilimcilere duyurmak olan özgün yazıdır. Yazının uzunluğu 5000 sözcük eşdeğerini (5 JMD sayfası) aşmamalıdır. En az iki yayın kurulu üyesi tarafından incelendikten sonra yayınlanır.

- 4- **ARAŞTIRMA NOTU (Research Note):** Henüz tamamlanmamış, eksik veri, ve bulgularla yüzeysel değerlendirmelere dayalı kendi içinde tutarlı, özgün deneysel, uygulamalı veya kuramsal araştırmaların ön sonuçlarının veya bulgularının sunulduğu yazıdır. Amaç, okuyucuya güncel bir konuya ilişkin bir çalışmanın ön bulgu ve sonuçlarını duyurarak konu üzerinde tartışma ortamı yaratmak, konunun gelişmesine başka araştırmacıların katkılarını sağlamaktır. Yazı uzunluğu 5000 sözcük eşdeğerini (5 JMD sayfası) aşmamalıdır. En az iki yayın kurulu üyesi tarafından incelendikten sonra yayınlanır.
- 5- **GÖRÜŞ-YORUM ve YANITLAR (View, Comment and Reply):** Dergide yayınlanan yazılar hakkında her türlü görüş, yorum ve bunlara ilişkin yanıtları içerir. Editörlerin uygun gördüğü uzunlukta yayınlanır.

YAZILARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE YAYINA KABUL İLKELERİ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ Editörlüğüne 2 satır arayla 12 punto harflerle yazılmış ve 3 nüsha halinde ulaşan yazılar, öncelikle içerik, sunum, yayım kuralları, vd. yönlerden Editörlük tarafından incelenir ve daha sonra değerlendirilmek üzere en az iki Yayın Kurulu üyesine gönderilir. Yayın Kurulu üyelerinden gelecek görüşler doğrultusunda yazının doğrudan, az veya önemli ölçüde düzeltilmesi koşuluyla yayımlanmasına veya reddine Editörlükçe karar verilir ve sonuç yazarlara bildirilir.

Yayın Kurulu üyelerinin birbiriyle çelişen görüş bildirmeleri durumunda Editörlüğün bir karara varabilmesi için yazı, üçüncü bir Yayın Kurulu üyesine gönderilir. Yayın Kurulu üyeleri gerekli görürlerse yazıları düzeltilmiş haliyle tekrar görüş değerlendirebilirler.

Yazarlar, Yayın Kurulu Üyelerinin ve Editörlüğün yaptığı eleştiri, öneri ve düzeltmeler arasında katılmadıkları hususlar olduğunda bunları ayrı bir sayfada gerekçeleriyle birlikte açıklamalıdır.

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

YAZIM DİLİ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ 'nde yayım dili olarak "Türkçe" ve "İngilizce" kullanılmaktadır. Derginin oldukça geniş bir yurt dışı aboneliği ve sürümü olduğu için, Türkçe makalelerin, kabülden sonra "Genişletilmiş bir İngilizce Özet" nin yazılması gerekmektedir. Dergide; ayrıca yazıların başlıkları, özetleri ve tüm çizelge ve resimlemelerin açıklamaları Türkçe ve İngilizce olarak iki dilde birlikte verilmelidir.

YAZIM KURALLARI

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

Metin Bölümü

1. *Metin*; A4 boyutunda (29.7 x 21 cm) kağıtların üzerine bilgisayarda, 1.5 satır aralıkla ve 10 punto ve Times New Roman (ya da benzer bir karakterle) yazı karakteri ile yazılmalıdır. Sayfa kenarlarında 3'er cm boşluk bırakılmalı ve sayfalar numaralandırılmalıdır. Bilgisayar çıktılarının silik olmamasına özen gösterilmelidir.
2. *Başlık*; konuyu en iyi şekilde belirtir ve 12 kelimeyi geçmeyecek şekilde kısa seçilmeli ve Türkçe başlığın (tamamı büyük harfle ve koyu yazılmış) yanısıra, İngilizcesi (İtalik ve normal büyük harflerle) de yazılmalıdır. Eğer yazı İngilizce yazılmış ise önce İngilizce sonra Türkçe başlık verilmelidir.
3. *Öz*; yazının başlangıcında en fazla 200 kelimeyi geçmeyecek şekilde hazırlanmış, Türkçe öz (abstract) ve kabülden sonra İngilizce Genişletilmiş Özet (extended summary) bulunmalıdır. Bu bölüm, yayının diğer bölümlerinden ayrı olarak yayımlanabilecek düzende yazılmış, yazının tümünü en kısa, ancak öz biçimde yansıtarak nitelikte (özellikle çalışmanın amacını ve sonuçlarını yansıtarak) olmalıdır. Yazı Türkçe yazılmışsa Extended summary'nin, İngilizce yazılmışsa Öz'ün başlığı ve metin kısmı italik karakterle yazılmalıdır. İngilizce Genişletilmiş Özet içinde; yararlanılan kaynaklara, şekil,

çizelge ve eşitlik numaralarına değinilmelidir. Ayrıca, öz ve extended summary bölümlerinin altında bir satır boşluk bırakılarak *Anahtar kelimeler* ve *Key words* (en az 2, en çok 6 kelime –alfabetik sıraya göre) verilmelidir. Eğer yazı İngilizce hazırlanmış ise, extended summary bölümü yerine abstract yazılmalı ve önce abstract sonra öz verilmelidir.

4. Yazının genel olarak aşağıda belirtilen düzene göre sunulmasına özen gösterilmelidir.
 - a) Başlık (Türkçe ve İngilizce)
 - b) Yazar ad(lar)ı ve adres(ler)i (yazar adları koyu karakterle ve soyadları tamamen büyük harfle, adresler normal İtalik karakterlerle)
 - c) Öz (anahtar kelimeler eklenerek)
 - d) Extended summary (key words eklenerek)
 - e) Giriş (amaç, kapsam, çalışma yöntemleri, vd.)
 - f) Metin bölümü (yöntemler, kullanılan malzeme, saha tanımlamaları, vd.)
 - g) Sonuçlar ve Tartışmalar (Sonuçların tartışılması gerektiği durumlarda, tartışmalar sonuçlarla birlikte verilmelidir. Bu durumda "Sonuçlar" başlığı yerine "Tartışma ve Sonuçlar" başlığı kullanılmalıdır.
 - h) Katkı belirtme (gerekliyse)
 - i) Kaynaklar
 - j) Ek açıklamalar
5. Metin içinde ana bölüm başlıkları dışında en fazla üç alt başlık oluşturulmalı ve başlıklara numara verilmemelidir. Bunların yazım şekli aşağıdaki gibi olmalıdır.

ÖZ

EXTENDED SUMMARY

GİRİŞ

ANA BAŞLIK

Birinci Derece Alt Başlık

İkinci derece alt başlık

Üçüncü derece alt başlık

SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

KATKI BELİRTME

DEĞİNİLEN BELGELER

6. Metrik sistem veya SI birimleri (kPa, kN/m³ vb.) kullanılmalıdır.
7. Gerek metin içinde ve çizelgelerde, gerekse resimlemelerde rakamların ondalık bölümlerinin ayrılması için nokta kullanılmalıdır (3.1 gibi).

Kaynaklar

- a) Metin içinde kaynaklara değinme yapılırken aşağıdaki örneklerde olduğu gibi, bibliyografya araştırmacı soyadı ve tarih sırasıyla verilir.
..... Ford (1986) tarafından
- bazı araştırmacılar (Williams, 1987; Gunn, 1990; Saraç ve Tarcan, 1995)
- b) Birden fazla sayıda yazarlı yayınlara metin içinde değinilirken ilk yazarın adı belirtilmeli diğerleri için vd. ibaresi kullanılmalıdır.
..... Doyuran vd. (1995)
..... Smart vd. (1971)
- c) Ulaşılamayan bir yayına metin içinde değinme yapılırken bu kaynakla birlikte alıntının yapıldığı kaynak da aşağıdaki şekilde belirtilmelidir. Ancak Kaynaklar Dizisinde sadece alıntının yapıldığı kaynak belirtilmelidir.
..... Dreybrodt (1981; Schuster ve White, 1971)
- d) Kişisel görüşmelere metin içinde soyadı ve tarih belirtilerek değinilmeli, ayrıca Kaynaklar Dizisinde de belirtilmelidir (Soyadı, Adı, Tarih. Kişisel görüşme. Görüşülen kişi(ler)in adresi)
- e) Kaynaklar, yazar soyadları esas alınarak alfabetik sırayla verilmeli ve metin içinde değinilen tüm kaynaklar Kaynaklar Dizisinde eksiksiz olarak belirtilmelidir. Kaynakların yazılmasında aşağıdaki örneklerde belirtilen düzen esas alınmalıdır.

● *Sürekli yayınlar ve bildirimler:*

Drew, D.P., 1996. Agriculturally induced changes in the Burren karst, western Ireland. *Environmental Geology*, 28(2), 137 - 144.

[Yazar ad(lar)ı, Tarih. Makalenin başlığı. Sürekli Yayının Adı (kısaltılmamış), Cilt No. (Sayı No.), sayfa no.]

Ünal, E., Özkan, I. ve Ulusay, R., 1992. Characterization of weak, stratified and clay bearing rock masses. ISRM Symposium: Eurock'92 - Rock Characterization, Chester, U.K., 14-17 September 1992, J.A.Hudson (ed.), British Geotechnical Society, London, 330-335.

[Yazar ad(lar)ı, Tarih. Bildirinin başlığı. Sempozyum veya Kongrenin Adı, Editör(ler), Basımevi, Cilt No. (birden fazla ciltten oluşuyorsa), Düzenlendiği Yerin Adı, sayfa no.]

● *Kitaplar için:*

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

Ketin, I. ve Cantez, N., 1972. Yapısal Jeoloji. İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu, Sayı:869, 520 s.

[Yazar ad(lar)ı, Tarih. Kitabın Adı (ilk harfleri büyük). Yayınevi, Basıldığı Şehrin Adı, sayfa sayısı.]

● *Raporlar ve Tezler:*

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

Sönmez, H., 1996. T.K.İ.-E.L.İ. Soma Linyitleri açık işletmelerinde eklemli kaya kütlesi içindeki şevlerin duraylılığının değerlendirilmesi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü., Ankara, Yüksek Mühendislik Tezi, 99s (yayımlanmamış).

[Yazar ad(lar)ı, Tarih. Raporun veya tezin başlığı. Kuruluşun veya Üniversitenin Adı, Arşiv No. (varsa), sayfa sayısı (yayımlanıp,yayımlanmadığı)]

NOT: Tüm kaynaklarda ilk satırdan sonraki satırlar 1.5 cm içeriden başlanarak yazılmalıdır.

Eşitlikler ve Formüller

- Eşitlikler elle yazılmamalı ve bilgisayardan yararlanılmalıdır. Eşitliklerde, yaygın olarak kullanılan uluslararası simgelere yer verilmesine özen gösterilmelidir.
- Her eşitliğe sırayla numara verilmeli, numaralar parantez içinde eşitliğin hizasında ve sayfanın sağ kenarında belirtilmelidir.
- Eşitliklerde kullanılacak alt ve üst indisler belgin şekilde ve daha küçük karakterlerle yazılmalıdır (I_d , x^2 gibi).
- Eşitliklerdeki sembollerin açıklamaları eşitliğin hemen altındaki ilk paragrafta verilmelidir.
- Karekök işareti yerine parantezle birlikte üst indis olarak 0.5 kullanılmalıdır ($S_{c_{mass}}=S_c s^{0.5}$ gibi).
- Bölme işareti olarak yatay çizgi yerine "/" simgesi kullanılmalıdır. Çarpma işareti olarak genellikle herhangi bir işaret kullanılmamalı, ancak zorunlu hallerde "*" işareti tercih edilmelidir ($Y=5*10^{-3}X$ gibi).
- Kimyasal formüllerde iyonların gösterilmesi amacıyla Ca^{++} veya CO_3^{--} gibi ifadeler yerine Ca^{2+} ve CO_3^{2-} kullanılmalıdır.
- İzotop numaraları, örneğin ^{18}O şeklinde verilmelidir.

Çizelgeler

- Yazarlar, Derginin boyutlarını dikkate alarak, çizelgeleri sınırlamalı ve gerekiyorsa metinde kullanılana oranla çizelgeleri daha küçük karakterlerle yazmalıdır. Bu amaçla çizelgeler tek sütüne (7.5 cm) veya çift sütüne (16 cm) yerleştirilebilecek şekilde düzenlenmesine özen gösterilmelidir. Tam sayfaya yerleştirilmesi zorunlu olan büyük çizelgelerin en fazla (16 x 21) cm boyutlarında olması gereklidir. Bu boyutlardan daha büyük ve katlanacak çizelgeler kabul edilmez.
- Çizelgelerin hemen altında gerekli durumlarda açıklayıcı dip notlarına veya kısaltmalara ilişkin açıklamalara yer verilmelidir.
- Çizelgelerin başlıkları, kısa ve öz olarak seçilerek, hem Türkçe (normal karakterle ve ilk harfi büyük diğerleri küçük harfle) hem de İngilizce (ilk harfi büyük diğerleri küçük İtalik harflerle) "Çizelgeler Dizini" başlığı altında ayrı bir sayfaya yazılmalıdır. İngilizce olarak hazırlanmış yazılarda önce İngilizce sonra Türkçe çizelge başlığı verilmelidir.
- Çizelgelerde kolonsal ayrımı gösteren düşey çizgiler yer almamalı, sadece çizelgenin üst ve alt sınırları ve gerek görülen diğer bölümleri için yatay çizgiler kullanılmalıdır.
- Her çizelge ayrı bir sayfaya bastırılarak ve sıraya dizilerek Çizelgeler Dizini sayfasıyla birlikte metnin arkasına konulmalıdır. Çizelge başlıkları çizelgenin üzerine yazılmamalıdır. Çizelge numaralarının kurşun kalemle her çizelgenin sağ üst köşesinde belirtilmesi yeterlidir.

Resimlemeler (Çizim, fotoğraf ve levhalar)

- Değerlendirme aşamasında şekillerin orjinallerinin gönderilmesine gerek yoktur. Bu aşamada çizimlerin teknik çizim normlarına uygun olarak çini mürekkeple aydıngere çizilmiş veya bilgisayar çıktısı olarak alınmış ve harf, rakam ve sembeleri kolaylıkla okunabilen orjinallerinin kaliteli kopyaları gönderilmelidir.
- Tüm çizim ve fotoğraflar şekil olarak değerlendirilip numaralandırılmalıdır. Şekil altı yazıları "Şekiller Dizini" başlığı altında hem Türkçe (normal karakterle ve ilk harfi büyük diğerleri küçük harflerle) hem de İngilizce (ilk harfi büyük diğerleri küçük İtalik harflerle) ayrı bir sayfada verilmelidir. Yazı İngilizce olarak hazırlanmışsa şekil altı yazıları önce İngilizce sonra Türkçe verilmelidir.
- Her şekil, ayrı bir sayfada yer alacak biçimde sıraya dizilerek Şekiller Dizini sayfasıyla birlikte çizelgelerden sonra sunulmalıdır. Şekil altı yazılarının ayrıca şekil sayfalarına da yazılmasına gerek olmayıp, şekil numaralarının kurşun kalemle her şeklin sağ üst köşesinde belirtilmesi yeterlidir.
- Şekillerin boyutları ya tek sütüne (7.5 cm), ya da çift sütüne (en fazla 16 cm) yerleştirilebilecek nitelikte hazırlanmalıdır. Tam sayfaya yerleştirilmesi zorunlu olan büyük şekillerin, şekil altı açıklamalarına da yer kalacak biçimde, en fazla (16x21 cm) boyutlarında olması gereklidir. Belirtilen bu boyutlardan daha büyük ve katlanacak boyuttaki şekiller kabul edilmez.
- Harita, kesit ve planlarda sayısal ölçek yerine çubuk (bar) türü ölçek kullanılmalıdır.
- Şekiller yukarıda belirtilen boyutlarda hazırlanırken şekil üzerindeki açıklamaların (karakterlerin) okunabilir boyutlarda olmasına özen gösterilmelidir.
- Fotoğraflar şekiller için yukarıda belirtilen boyutlarda, parlak kağıda, kontrastlı ve siyah-beyaz basılmış olmalıdır. Fotoğrafların üzerinde gösterilebilecek olan sembeler için çini mürekkebi veya letreset kullanılmalıdır. Özellikle koyu tonların egemen olduğu bölgelerde sembelerin beyaz letresetle gösterilmesi önerilir. Yaygın olarak kullanılan uluslararası sembelerin kullanılmasına özen gösterilmelidir.
- Mikroskopta çekilmiş ince kesit fotoğrafları (paleontolojik veya minerolojik), levha (plate) olarak değerlendirilir ve parlak siyah-beyaz kağıda basılı olmaları gereklidir. Levha sayısı üçten çok olmamalıdır.

Ek Açıklamalar ve Dipnotlar

- Ana metnin içine alınması, okuyucunun dikkatinin dağılmasına yol açabilecek ve hatırlatma niteliğindeki bilgiler, yazının sonunda "Ek Açıklamalar" başlığı altında konulabilir (İstatistik bilgilerin verilisinde, formüllerin çıkarılmasının gösterilmesinde, bilgisayar programlarının verilmesinde, vb. konularda bu yol izlenebilir.)
- Dipnotlar, yerleştirme ve yazılma açısından güçlükler neden olduğundan, çok gerekli durumlar dışında kullanılmamalıdır. Eğer dipnot kullanılırsa, yıldız (*) işareti ile gösterilmeli ve mümkün olduğunca kısa tutulmalıdır. Dipnotta eğer değinme yapılsa bibliyografik bilgiler dipnotta değil, Kaynaklar Dizisinde verilmelidir.

YAZILARIN GÖNDERİLMESİ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ'nin "Yayın Amaç ve Kuralları" nda belirtilen ilkelere uygun olarak hazırlanmış yazılar, biri orijinal diğer ikisi fotokopi olmak üzere aşağıdaki yazışma adresine üç nüsha gönderilmelidir. **Orijinal resimler**, yazının yayına kabul edilmesi durumunda kullanılmak üzere yazarlar tarafından muhafaza edilmelidir.

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ EDITÖRLÜĞÜ

T.M.M.O.B.

Jeoloji Mühendisleri Odası

PK 464, Yenışehir

06444, Ankara

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

Faks : (312) 434 23 88

E-posta : ekmekci@hacettepe.edu.traras@mta.org.tr**AYRI BASKILAR**

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

Araştırma Makaleleri/Research Articles

- 1 **Ulusay R., Sönmez H.**
Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüne ilişkin değişiklik önerileri ve bunların uygulanabilirliği
- 23 **Abu-Rukah, Y.H., Nabil, S.A.**
Water quality analysis of the Hummer and Nau'r aquifer springs in the Suf area, North Jordan
- 37 **Gökçeoğlu C., Ercanoğlu M., Sönmez H.**
Kama türü yenilmelerin olasılıklı risk haritasının hazırlanmasına bir örnek: Altındağ (Ankara)
- 51 **Saraç C., Koçer S., Yurdagül A.G.**
Maden yataklarının değerlendirilmesinde geliştirilmiş yöntemler: halka ayrışım yöntemi ve uygulaması
- 61 **Özdemir A.**
Kızıltepe (Sille, Konya) zemin deformasyonlarının incelenmesi

Teknik Not/Technical Note

- 73 **Topal I.**
Nokta yükleme deneyi ile ilgili uygulamada karşılaşılan problemler

Araştırma Notu/Research Note

- 87 **Ayaz E., Karacan E.**
Sivas batısındaki traverten oluşumlarının yapı ve yüzey kaplama taşı olarak kullanılabilirliklerinin incelenmesi
- 101 **Aras A.**
SEM studies on microstructure of fired kaoline - illite - quartz bodies

Görüş Notu/Views

- 111 **Oygür V.**
Altın madenciliğinde siyanür kullanımı

Sözlük Çalışması/Terminology-Glossary

- 129 **Özbek O., Yános H.**
A preliminary study on an English-Turkish-Hungarian Karst Terminology