

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ

Journal of Geological Engineering

Cilt - Volume 36

Sayı - Number 1

ISSN 1016 - 9172

Haziran / June 2012



TMMOB JEOLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI
Chamber of Geological Engineers of Turkey

EDİTÖR

Tamer TOPAL

Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Jeoloji Mühendisliği Bölümü

06800, Ankara

Tel : 0 312 210 26 90

Faks: 0 312 210 57 50

E-Posta: topal@metu.edu.tr

TEKNİK EDİTÖR

Yavuz KAYA

Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Jeoloji Mühendisliği Bölümü**Yazışma Adresi**

TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası

Hatay Sokak No: 21 Kocatepe / Ankara

Tel : 0 312 434 36 01

Fax : 0 312 434 23 88

E-Posta : jmo@jmo.org.tr

Baskı : Afşaroğlu Matbaası

Kazım Karabekir Cad. Altıntop İşhanı

No: 87/7 İskitler / Ankara

Tel: 0 312 384 54 88

Yayın Kurulu / Editorial Board

Erhan ALTUNEL (Osman Gazi Üniversitesi)

Can AYDAY (Anadolu Üniversitesi)

Serdar BAYARI (Hacettepe Üniversitesi)

Zeki ÇAMUR (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)

Hasan ÇETİN (Çukurova Üniversitesi)

Vedat DOYURAN (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)

Mehmet EKMEKÇİ (Hacettepe Üniversitesi)

Nusret EMEKLİ (İller Bankası)

Yavuz ERGİNTAV (Karayolları Genel Müdürlüğü)

Candan GÖKÇEOĞLU (Hacettepe Üniversitesi)

Reyhan Kara GÜLBAY (Karadeniz Teknik Üniversitesi)

Nilgün GÜLEÇ (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)

Fikret KAÇAROĞLU (Muğla Üniversitesi)

Remzi KARAGÜZEL (İstanbul Teknik Üniversitesi)

Nurkan KARAHANOĞLU (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)

Muazzez Çelik KARAKAYA (Selçuk Üniversitesi)

K. Erçin KASAPOĞLU (Hacettepe Üniversitesi)

Recep KILIÇ (Ankara Üniversitesi)

Mehmet Yağın KOCA (Dokuz Eylül Üniversitesi)

Ayhan KOÇBAY (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü)

Halil KUMSAR (Pamukkale Üniversitesi)

İlkay KUŞÇU (Muğla Üniversitesi)

Mahmut MUTLUTÜRK (Süleyman Demirel Üniversitesi)

Cengiz SOYLU (Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı)

Mehmet Lütfi SÜZEN (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)

Şakir ŞİMŞEK (Hacettepe Üniversitesi)

Atiye TUĞRUL (İstanbul Üniversitesi)

Necdet TÜRK (Dokuz Eylül Üniversitesi)

Asuman TÜRKMEÑOĞLU (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)

Taner ÜNLÜ (Ankara Üniversitesi)

Namık YALÇIN (İstanbul Üniversitesi)

Ali Bahadır YAVUZ (Dokuz Eylül Üniversitesi)

Hasan YAZICIGİL (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)

Işık YILMAZ (Cumhuriyet Üniversitesi)

Erdoğan YÜZER (İstanbul Teknik Üniversitesi)

Jeoloji Mühendisliği Dergisi makale ve dizin özlery

SCOPUS, ULAKBİM, GeoREF, Geobase/Geo Abstracts ve EBSCO
uluslararası indeksleri tarafından taranmaktadır.*Journal of Geological Engineering is indexed and abstracted by***SCOPUS, ULAKBİM, GeoREF, Geobase/Geo Abstracts and EBSCO****Jeoloji Mühendisleri Odası***Chamber of Geological Engineers***Yönetim Kurulu / Executive Board**

DÜNDAR ÇAĞLAN

HÜSEYİN ALAN

HALİL İBRAHİM YİĞİT

FARUK İLGÜN

ARZU ÇAĞLAYAN

ÖZCAN DUMANLILAR

ÜMİT UZUNHASANOĞLU

Başkan / President

İkinci Başkan / Vice President

Sayman / Treasurer

Yazman / Secretary

Mesleki Uygulamalar Üyesi / Member of Professional Activities

Yayın Üyesi / Member of Publication

Sosyal İlişkiler Üyesi / Member of Social Affairs

Jeoloji Mühendisliği Dergisi JMO yayını olup para ile satılmaz.

İçindekiler / Contents

Araştırma Makaleleri / Research Articles

- 1- **Ali KAYABAŞI, Candan GÖKÇEOĞLU**
Taşıma Kapasitesi ve Oturma Miktarının Hesaplanmasında Yaygın Kullanılan Yöntemlerin Mersin Arıtma Tesisi Temeli Örneğinde Uygulanması
Application of the Methods Commonly Used for Bearing Capacity and Amount of Settlement on the Mersin City Sewerage Project Example
- 23- **Nihat DİPOVA**
Bir Tünel Güzergâhındaki Zayıf Kireçtaşlarının Aşınma ve Dayanım Özellikleri Arasındaki İlişkilerin Araştırılması
Investigation of the Relationships Between Abrasiveness and Strength Properties of Weak Limestones Along a Tunnel Route
- 35- **Serhat DAĞ, Fikri BULUT**
Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasına Bir Örnek: Çayeli (Rize, KD Türkiye)
An Example for Preparation of GIS-Based Landslide Susceptibility Maps: Çayeli (Rize, NE Türkiye)
- 63- **Ali Erden BABACAN, Hakan ERSOY, Kenan GELİŞLİ**
Kayaçların Fiziksel, Mekanik ve Elastik Özelliklerinin Ultrasonik Hız Tekniği ve Zaman-Frekans Analiziyle Belirlenmesi: Bej Kireçtaşları (KD Türkiye) Üzerine Örnek Bir Çalışma
Determination of Physical, Mechanical and Elastic Properties of the Rocks with Ultrasonic Velocity Technique and Time-Frequency Analysis: A Case Study on the Beige Limestones (NE Turkey)

Taşıma Kapasitesi ve Oturma Miktarının Hesaplanmasında Yaygın Kullanılan Yöntemlerin Mersin Arıtma Tesisi Temeli Örneğinde Uygulanması

Application of the Methods Commonly Used for Bearing Capacity and Amount of Settlement on the Mersin City Sewerage Project Example

Ali KAYABAŞI¹, Candan GÖKÇEOĞLU²

¹Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, ANKARA

²Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Beytepe, ANKARA

Geliş (received) : 3 Ocak (January) 2012
Düzeltilme (revised) : 27 Şubat (February) 2012
Kabul (accepted) : 28 Şubat (February) 2012

ÖZ

Bu çalışmada, Mersin İli Kanalizasyon Projesi çalışmaları kapsamında planlanan arıtma tesisinin yer alacağı temel alanında yüzeyleyen kil birimin taşıma kapasitesi ve oturma miktarının belirlenmesine yönelik hesaplamalar yapılmış ve bu amaçla yaygın biçimde kullanılan yöntemler karşılaştırılmıştır. 20 adet sondaj kuyusunun verileri kullanılmış ve bu kuyularda Standart Penetrasyon (SPT) ve Presiyometre deneylerinin (MPT) yanı sıra, sondajlardan alınan örselenmiş ve örselenmemiş örnekler üzerinde gerekli laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir. Temel alanının taşıma kapasitesi, Presiyometre, Terzaghi, Hansen, Meyeroff ve Skempton yöntemleri ile belirlenmiştir. Oturma miktarının belirlenmesinde Presiyometre Yöntemi'nin yanı sıra, anlık oturma ve konsolidasyon oturmaları hesaplanmıştır. Daha sonra, temel alanını oluşturan kil birimi için değişik yöntemlerle belirlenen taşıma kapasiteleri ve oturma miktarları karşılaştırılmıştır. Temelin taşıma kapasitesinde Presiyometre, Terzaghi, Hansen ve Meyerof yöntemleri nispeten birbirlerine yakın değerler verirken, sadece kohezyona bağlı hesaplama yapan Skempton Yöntemi ile en düşük değerler elde edilmiştir. Oturma hesaplamalarında ise Presiyometre Yöntemi en düşük değerleri vermiş olmakla beraber, âni oturma ve konsolidasyon oturması değerleri nispeten daha yüksek çıkmıştır. Oturma sürecinin uzun süreli olduğu zeminlerde konsolidasyon oturmasının hesaplanmasında, odeometre deneyinin tercih edilmesi, presiyometre ile oturma hesaplaması yönteminin kullanılmasında dikkatli davranılması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Oturma, Presiyometre, Taşıma kapasitesi, Temel, Mersin.

ABSTRACT

In this study, bearing capacity and settlement properties of the clay unit outcropping at foundation of Mersin City Sewerage Project site are calculated and the commonly used methods for the determination of bearing capacity and the settlement properties were correlated. The information was used from 20 boreholes opened in this context. Standart Penetration Tests (SPT) and Pressuremeter Tests (MPT) were accomplished in boreholes and a series of laboratory tests were carried out on disturbed and undisturbed samples. The bearing capacity of the foundation was determined with pressuremeter, Terzaghi, Hansen, Meyerof, and Skempton methods. Initial and consolidation settlements were calculated in addition to pressuremeter settlement calculations. Later, calculated bearing capacity and settlement values of clay units from different methods were correlated. The results of the bearing capacity calculations of foundation clays give closer results with Terzaghi, Hansen, Meyerof and Pressuremeter methods but Skempton method gives relatively low values due to the calculation with only cohesion parameters. Pressuremeter settlement values were the lowest results where initial and the consolidation settlement values were calculated relatively higher. Odeometer test is recommended for the litologic units which have long consolidation period. Care should be given for settlement calculations with the pressuremeter method.

Key Words: Settlement, Pressuremeter, Bearing capacity, Foundation, Mersin.

GİRİŞ

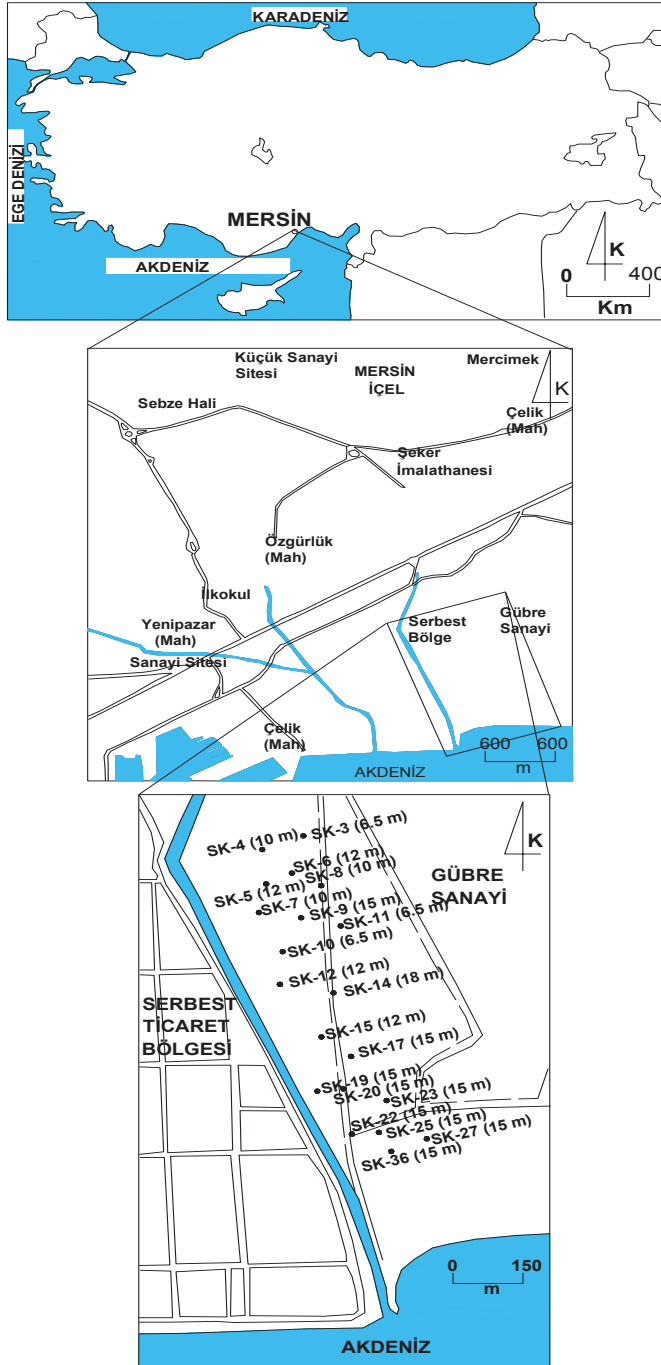
Bu çalışmada Mersin ili kanalizasyon projesi kapsamında planlanan arıtma tesisi temel alanında yapılan jeoteknik araştırmalara ait veriler kullanılmıştır (Gürsoy ve Kayabaşı, 1995). İnceleme alanı, Mersin ili 1/25 000 ölçekli Silifke O33a3 paftasında, Mersin ili doğusunda yer almaktadır (Şekil 1). Temel alanını oluşturan kil birimine ait verilerin değerlendirilmesi ve literatürde tanımlanmış başlıca taşıma ve oturma hesaplamalarının yapılması, sonuçların karşılaştırılması ve yorumlanması amaçlanmıştır.

İnceleme Alanında Yapılan çalışmalar

Arıtma tesisi temel alanında toplam uzunluğu 258.2 m olan, 20 adet sondaj kuyusu açılmıştır. Sondaj kuyularında 69 adet Presiyometre Deneyi, 115 adet Standart Penetrasyon Deneyi

(SPT), 6 adet Sabit Seviyeli Permeabilite Deneyi, gerçekleştirilmiş, ayrıca el penetrometresi ile 296 adet drenajsız basınç dayanımı tayini yapılmıştır.

Presiyometre Deneyi'ndeki temel ilke, zeminin gerilme-deformasyon ilişkilerini belirlemektir. Bu amaçla, zeminde açılan silindirik bir boşluk genişletilir. Bu düşünce ilk kez 1930'lu yıllarda Alman Koegler tarafından ortaya atılmıştır. 1950 ortalarında Fransız Louis Menard presiyometreyi tasarlayarak patentini almıştır (Baquelin vd., 1978). Gelişen teknolojiyle birlikte G, GA, GB, GC simgeleriyle temsil edilen presiyometre modellerinin yanı sıra, kendi sondaj kuyusunu da açabilen SBP (Self Boring Pressuremeter) de üretilmiştir. Tipik bir presiyometre cihazı kontrol ünitesi, sonda, iletim hortumları ve basınç tüpünden oluşur (Şekil 2). Presiyometre deneyleri sıkı zeminden (kuyu içinde dökülmeden kalabilen zeminler)



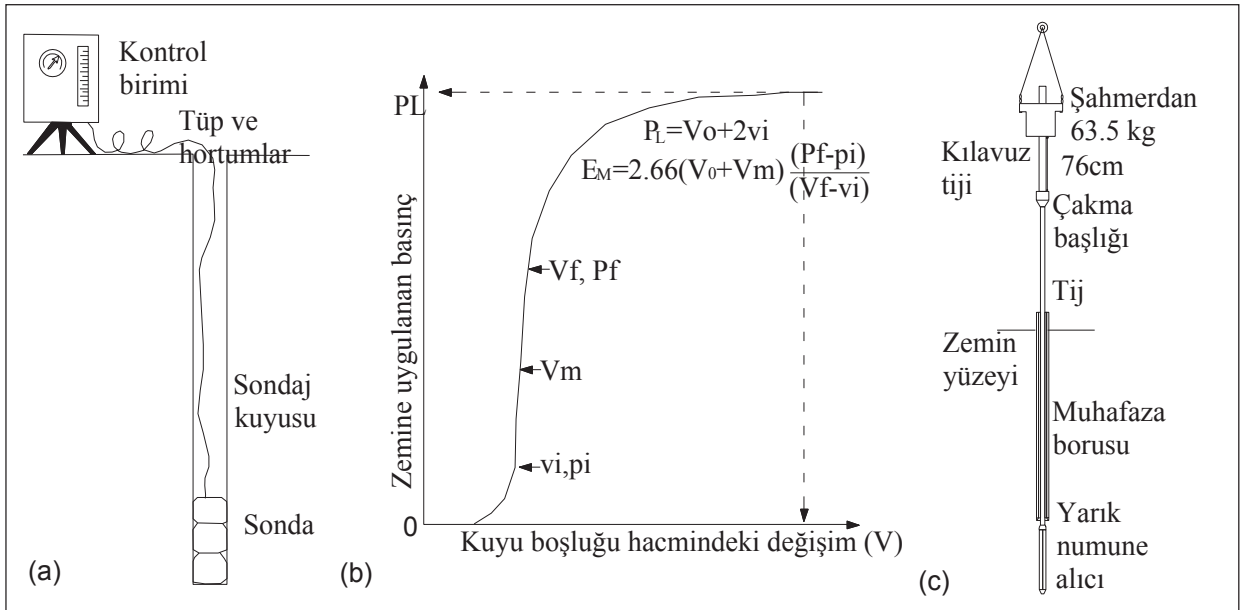
Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritası

Figure 1. The location map of the study area

zayıf kaya birimlerine kadar değişen litolojik birimlere uygulanabilir. ASTM, (1994;D4719–87), AFNOR NF P 94–110–1 (Apageo, 2006) ve TSENV (1997-3) presiometre ile ilgili kullanılan standartlardır.

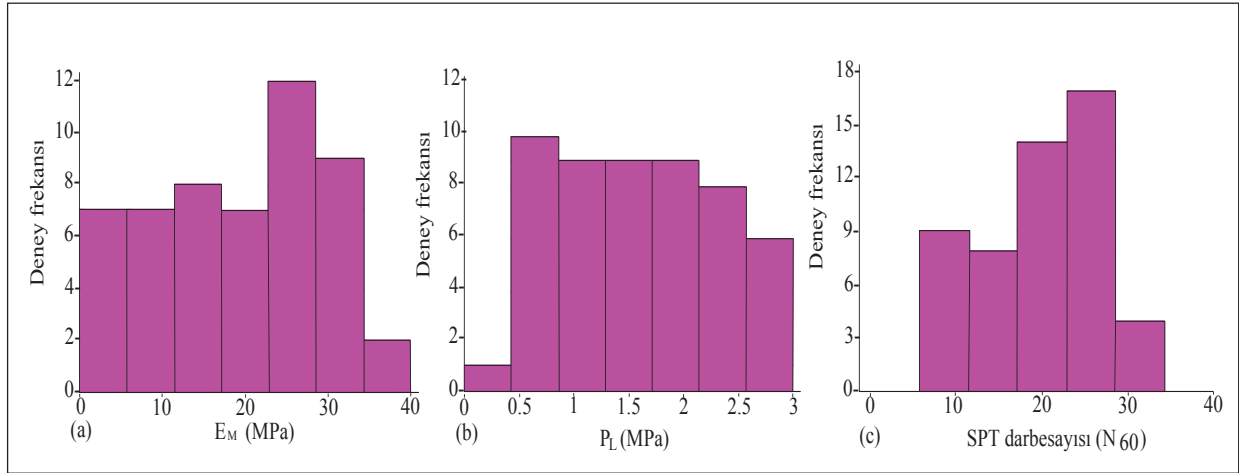
Temel alanı çalışmalarında kullanılan presiometre verileri, GA tipi Menard presiometresinden elde edilmiş olup, deneyin uygulandığı kuyular rotary yöntemle 66 mm çaplı olarak açılmıştır. Deneyler sırasında ise 58 mm çaplı presiometre sondası kullanılmıştır (Gürsoy ve Kayabaşı, 1995). Presiometre deneyi, kuyu içindeki deney zonuna yerleştirilen ve basınç uygulanarak şişirilen sondanın içerisine giden su hacminin veri olarak kaydedilmesi şeklinde uygulanır. Şekil 2’de görüldüğü gibi, deney verisi olan basınç-deformasyon kayıtları

ile oluşturulan grafikten Menard Deformasyon Modülü (E_M), Limit basınç (P_L) değerleri belirlenir. 58 mm çaplı presiometre sondasının orjinal hacmi 535 cm^3 ’tür ve eşitlikte V_0 olarak gösterilirken, V_m : eğrinin doğrusal kısmının orta noktası, V_f : sondanın kuyu duvarını deforme etmeye başladığı ilk basınca karşılık gelen hacim değeri, V_f : grafik eğrisinin doğrusal kısmının tamamlandığı noktadaki hacim değeridir. V_f noktasından sonra zemin davranışı, elastik davranıştan plastik davranışa geçer ve bu aşamadan sonra zeminde oluşan deformasyon kalıcıdır. Şekil 3’te E_M , P_L ve SPT değerlerinin dağılım histogramları verilmiştir. İstatiksel parametrelerin belirlenmesinde SPSS (2002) bilgisayar programı kullanılmıştır. Temel alanını oluşturan kil biriminin ortalama E_M değeri, 19.42 MPa olarak belirlenirken en yüksek E_M değeri



Şekil 2. (a) Menard presiometresi başlıca bölümleri, (b) Presiometre grafiği ve ilgili eşitlikler (c) Standart penetrasyon (SPT) deneyi takımı düzeneği.

Figure 2. (a) Menard pressuremeter main parts, (b) Pressuremeter graph and related equations (c) Standart penetration test (SPT) configuration.



Şekil 3. Yerde deney verilerinin histogram gösterimi (a) elastisite modülü (E_M), (b) limit basınç (P_L), (c) Düzeltilmiş SPT darbesi (N_{60})

Figure 3. Histograms of the in situ test data (a) elasticity modulus (E_M) (b) limit pressure (P_L) (c) corrected SPT blowcount (N_{60}).

Çizelge 1. Kilerde konsolidasyonun E_M/P_L oranı ile belirlenmesi ((Baquelin vd., 1978).

Table 1. Interpretation of consolidation of clay using E_M/P_L ratio (Baquelin et al., 1978).

Malzeme türü	Kil
	E_M/P_L
Aşırı konsolide	>16
Normal konsolide	9-16
Ayrılmış veya altere olmuş	7-9

37.8 MPa ve en düşük E_M değeri ise 2.45 MPa olarak Gürsoy ve Kayabaşı (1995) tarafından tespit edilmiştir. Benzer biçimde ortalama limit basınç (P_L) değeri 1.57 MPa ve değişim aralığı ise 0.42 MPa – 2.80 MPa'dır. Baquelin vd. (1978), E_M/P_L oranı ile konsolidasyon oranının tespit edilebileceğini belirtmiştir (Çizelge 1). Bu çalışmada E_M/P_L oranı 12 olarak belirlenmiş ve Çizelge 1'e göre arıtma tesisinin temelini oluşturan kil birimi, normal konsolide kil olarak belirlenmiştir. Clarke (1995), E_M/P_L oranının 10 - 20 arasında olmasını zeminin sıkı-çok sıkı, 8-10

arasında olmasını ise yumuşak-katı sıklığa sahip olması şeklinde ifade etmiştir. Bu sınıflandırmaya göre de üzerinde çalışılan zemin "sıkı kil" olarak sınıflandırılmıştır.

76 cm yükseklikten düşürülen 63.5 kg ağırlığındaki şahmerdanın 30 cm'lik ilerleme için gereken darbe adedinin belirlenmesi olarak özetlenebilen Standart Penetrasyon Deneyi'nin (SPT), Gürsoy ve Kayabaşı (1995) tarafından inceleme sahasında 1.5 m aralıklarla yapılması planlanmış ve buna uygun biçimde toplam 115 adet deney uygulanmıştır. SPT sonuçları üzerinde

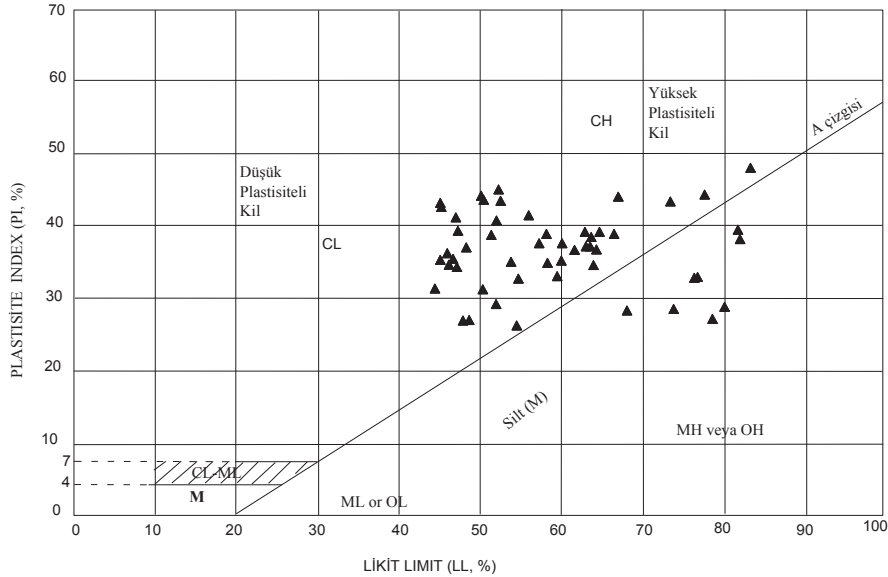
Çizelge 2. Laboratuvar deney adı ve sayısı

Table 2. Laboratory test names and numbers

Deney adı	Deney sayısı
Tane boyu analizi	43
Atterberg Limit tayini deneyi	42
Su içeriği	105
Doğal birim hacim ağırlığı	38
Direk kesme deneyi (CU)	12
Konsolidasyon deneyi	14
Üç eksenli sıkışma dayanımı (UU)	4
Sebest şişme	14

gerekli düzeltmeler (yeraltısuyu, tij enerji oranı, tij uzunluğu, iç tüp ve kuyu çapı düzeltmesi) yapılarak, N_{60} değerleri belirlenerek, Şekil 3'te dağılım histogramı verilmiştir. Buna göre, N_{60} değerleri 6 - 29 arasında değişirken, ortalama değer 19 ve standart sapma 7'dir. Terzaghi ve Peck (1968)'in SPT sınıflandırmasına göre çalışma alanını oluşturan killer, darbe sayısı

ortalama değerlerine göre “çok katı kil” olarak sınıflandırılabilir. Çalışma süresince 6 adet sondaj kuyusunda yeraltısuyu seviyesi ölçümü gerçekleştirilmiştir. Alınan kayıtlara göre temel alanının ortalama 1.5 m derinlikte yeraltısuyu seviyesine sahip olduğu belirlenmiştir (Gürsoy ve Kayabaşı, 1995).



Şekil 4. Temel alanı killerin plastisite abağında dağılımı.

Figure 4. Distribution of the foundation clay on plasticity chart.

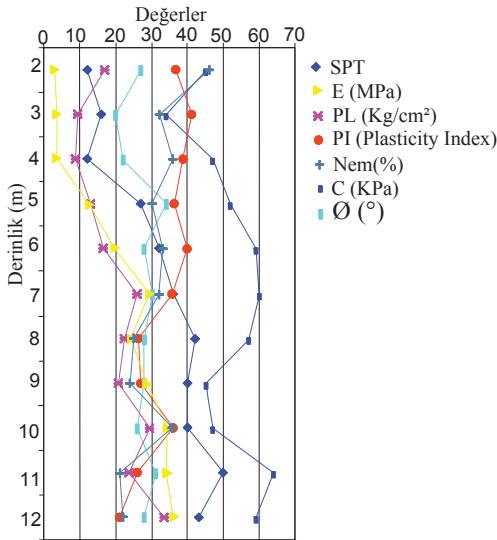
Çizelge 3. Arıtma tesisi temel alanını oluşturan kil biriminin index özellikleri. Parantez içindeki rakamlar ortalama değerlerdir.
Table 3. The index properties of sewerage facility foundation clays. The numbers in paranthesis are the average values.

Litolojik birim	Doğal birim hacim ağırlığı (kN/m ³)	Tane boyu dağılımı (%)		Su içeriği (%)	Atterberg limitleri (%)			Zemin sınıflandırması (USBR)
		4 nolu elek üstü (%)	200 nolu elek altı (%)		LL	PL	PI	
Kil	16.8-19.7 (18.22)	1-26(9)	53-96 (77)	17-55 (34)	35-94 (64)	16-33 (27)	24-62 (37)	CH

Laboratuvarda Yapılan Kaya ve Zemin Mekanik Deneyleri

Kaya ve zemin mekanik deneyleri için alınan örselenmiş (SPT çarık ağzı numuneleri-DS) ve örselenmemiş numuneler (UD) mümkün olduğunca kısa bir sürede laboratuvara taşınmıştır. Laboratuvar deneyleri ASTM (1994) tarafından önerilen standartlara uygun olarak yapılmıştır. Çizelge 2’de yapılan deneyler ve

sayıları verilmiştir. Tane boyu dağılım analizleri sonuçları Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemine (USBR, 1974) göre plastisiteli kil ile düşük plastisiteli kile kadar geniş bir dağılım sunmaktadır (Şekil 4). Temel alanını oluşturan birimin indeks özelliklerine ait ortalama değerler Çizelge 3’te verilmiştir. Plastisite indeksi ortalama değeri ise temel alanını oluşturan kil birimin plastik-çok plastik kil sınıfında olduğunu göstermektedir (Leonards,1962). Likit limit deney sonuçlarının çoğunun %50’den fazla olması montmorillonitik kil minerali içeriğinin bir göstergesidir (Means and Parcher, 1963). Kil biriminin ortalama aktivite değeri ise 1.46 olarak belirlenmiştir. Seed vd. (1964)’e göre killer, aktivitelere göre, “A > 1.25: Aktif kil”, “0.75 < A < 1.25: Normal aktif kil”, “A < 0.75: Aktif olmayan kil” şeklinde sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırmaya göre çalışılan kil birimi “aktif kil” olarak tanımlanmaktadır. Skempton (1951)’e göre ise çalışılan kil birimi için “Ca montmorillonit” tanımlaması yapılabilmektedir. Konsolidasyon deneyleri sırasında yapılan serbest şişme deneylerinden ortalama şişme oranı % 4 olarak belirlenmiştir.



Şekil 5. Deney sonuçları ortalama değerlerinin derinlikle değişimi.

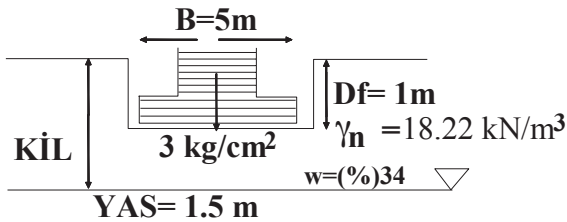
Figure 5. The average value of test results chagement with depth.

Şekil 5’te tüm deneylere ait sonuçların derinliğe bağlı değişimi incelenmiştir. SPT, E_M, PI, Kohezyon (c) ve İçsel sürtünme açısı

(θ) değerleri derinliğe bağlı benzer değişimleri göstermekte iken, Nem içeriği (w) ve Plastisite İndeksi (PI) değerleri diğer deney sonuçlarına göre ters değişim göstermektedir.

TAŞIMA KAPASİTESİNİN HESAPLANMASI

Proje alanında kısa kenarı (B) 5 m, uzun kenarı (L) 10 m ve temel kazı derinliği (Z) 1 m olan dinlendirme havuzlarının yer alması planlanmıştır. Havuzlardan temel birimini oluşturan kil zemin üzerine gelecek yük 3 kg/cm^2 olarak belirlenmiştir (Şekil 6). Sahada zemine gelecek en yüksek proje yükü, havuzlar tarafından oluşturulacaktır. Bu nedenle havuzların bulunduğu kesimdeki ASK4, ASK11, ASK15, ASK25, ASK27 ve ASK36 numaralı sondaj kuyularına ait yerinde deney ve laboratuvar deney sonuçları taşıma kapasitesinin hesaplanmasında kullanılmıştır (Şekil 7). Kil zemine ait taşıma kapasitesi hesaplamaları presiyometre, Baquelin vd. (1978), Terzaghi (1943), Skempton (1951), Meyeroff (1963) ve Hansen (1961) yöntemlerine göre yapılmıştır. Hesaplamalarda kil zemin için doğal birim hacim ağırlığı 18.22 kN/m^3 olarak dikkate alınmıştır. Taşıma kapasitesi hesaplamaları sırasında güvenlik katsayısı (GK)=3 olarak alınmıştır. Dikdörtgen tekil temel



Şekil 6. Temel zemini ve proje özellikleri.

Figure 6. Foundation soil and project specifications.

tipine göre projelendirilen havuzlarda 1 m'lik temel kazısından kaynaklı düşey kazı gerilmesi (σ_v) = 18.22 kPa (0.1822 kg/cm^2)'dir.

Presiyometre Yöntemi İle Taşıma Gücü Hesaplamaları - Menard Yöntemi (Baquelin vd., 1978)

Presiyometre deneyinden elde edilen net limit basınçlarının (PI^*) geometrik ortalamasından eşdeğer limit basınç (PI^*e) değeri elde edilir. Bunun için, etki alanı olan temel kazı derinliğinden 1.5B kadar derinlikteki PI değerleri hesaplamalar sırasında dikkate alınır.

$$PI^*e = [(PI^*)_1 \times (PI^*)_2 \times \dots \times (PI^*)_n]^{1/n} \dots\dots\dots (1)$$

$$q_u = k \times (PI^*e) \dots\dots\dots (2)$$

burada; k taşıma kapasitesi katsayısı faktörü olup, bunun için hazırlanmış grafikler (Baquelin vd., 1978)'den elde edilebileceği gibi Çizelge 4'ten de elde edilebilir.

ASK4 numaralı kuyuda 1.5B derinliği'nde (7.5 m) yapılmış dört adet deneye ait PI değerlerini eşitlik 1'de yerine koyarak, PI^*e aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$PI^*e = [(29.4)_1 \times (11.7)_2 \times (14.6)_3 \times (16.6)]^{1/4} = 16.99 \text{ kg/cm}^2$$

Kil birimler için k taşıma faktörü:

$$k = 1.0 + 0.4(5/10) = 1.2 \text{ (boyutsuz)}$$

$$q_{ult} = 1.2 \times 16.94 = 20.33 \text{ kg/cm}^2$$

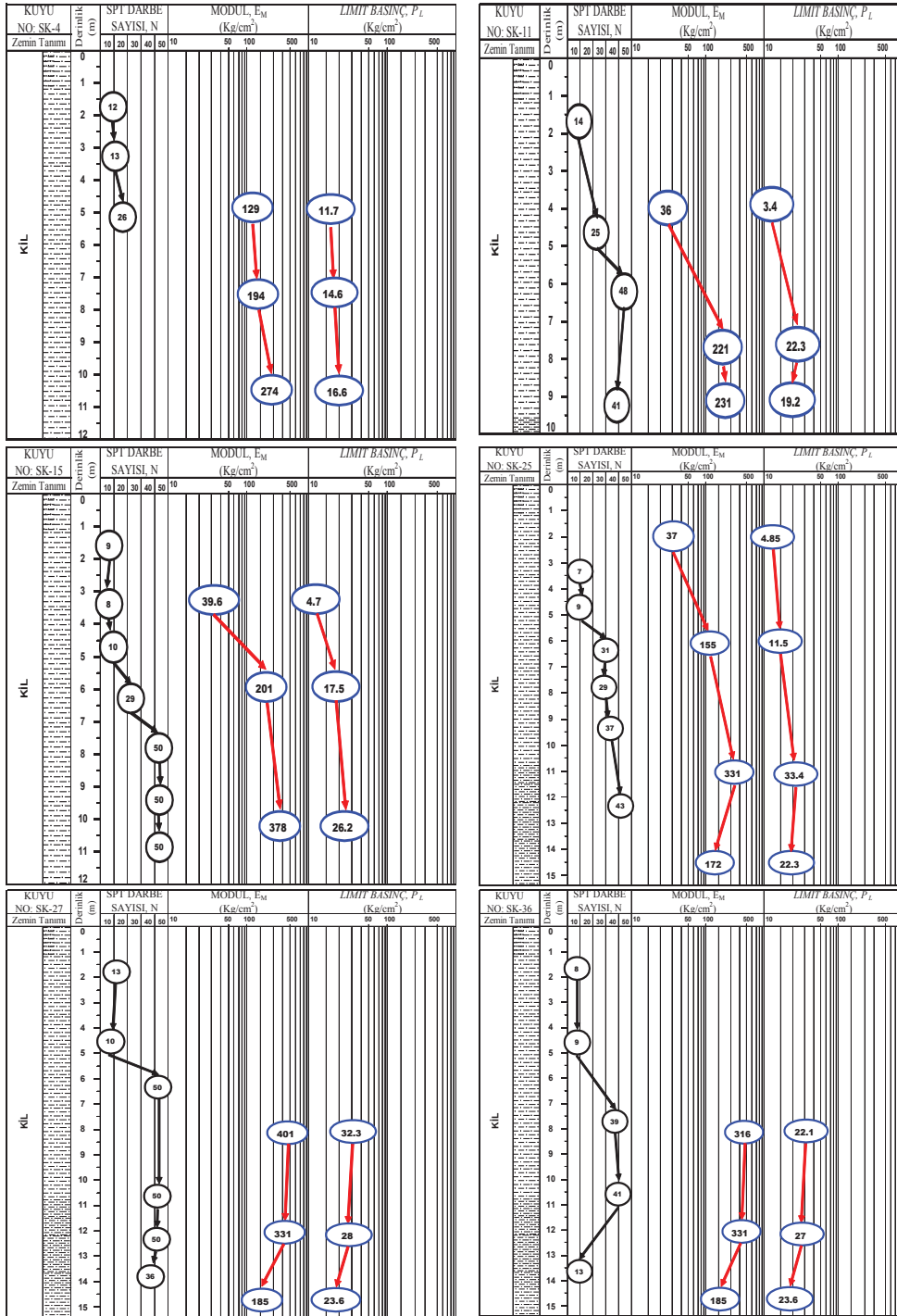
$$q_{net} = 20.33 - 0.1822 = 20.15 \text{ kg/cm}^2$$

GS = 3 alındığında,

$$q_{em} = 20.15/3 + 0.1822 = 6.89 \text{ kg/cm}^2$$

(Emniyetli taşıma kapasitesi)

diğer kuyular için yapılmış presiyometre taşıma kapasitesi hesaplamalarına ait sonuçlar Çizelge 5'te verilmiştir.



Şekil 7. Sondaj kuyularının şematik gösterimi.
Figure 7. Schematic illustration of boreholes.

Çizelge 4. Taşıma faktörü eşitlikleri
Table 4. Bearing capacity factor equations

Kohezyonlu zeminler	$k=(1.0+0.4(2R/L))$
Az kompakt taneli zeminler	$k=(1.1+0.45(2R/L))$
Kompakt taneli zeminler	$k=1.2+0.8(2R/L)$

$R=B/2'$ dir, B =Temel genişliği, L =Temel uzunluğu, D_f =Temel kazı derinliği

Terzaghi (1943) Yöntemi ile Taşıma Kapasitesi Hesaplamaları

Temel derinliği D_f olan, tabanı ile zemin arasında kohezyon ve sürtünme bulunan şerit bir temel için taşıma gücü:

$$q_{ult} = K_1 c N_c + \gamma_1 D_f N_q + K_2 \gamma_2 B/2 \cdot N_\gamma \dots \dots \dots (3)$$

Eşitlik 3'teki; N_c, N_q, N_γ = temel seviyesi altındaki zeminin, ϕ kayma direnci açısına bağlı taşıma gücü katsayılarıdır (Terzaghi, 1943). γ_1 = temel tabanı üstündeki zeminin doğal birim hacim ağırlığı, γ_2 = temel tabanı altındaki zeminin doğal birim hacim ağırlığıdır.

Temel alanında yeraltı suyu 1.5 m derinlikte olup, temel taban seviyesi yüzeyden itibaren 1m derinde olacaktır. Yeraltı suyu seviyesi, temel tabanı altından temel genişliği ($B = 5$ m) kadar derinlik içerisinde olduğu için $\gamma_1 = 17.40$, $\gamma_2 = 3.45$ olarak, laboratuvar deneylerinden belirlenen

doğal birim hacim ağırlığı ve su altındaki birim hacim ağırlık değerleri kullanılmıştır (Kumbasar ve Kip, 1992).

SK4 kuyusu UD1 örneğine ait üç eksenli sıkışma dayanımı deneyinde belirlenen kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısı (ϕ) değerleri sırasıyla 28 kPa ve 27° dir.

$$q_{ult} = 1.15 \cdot 28 \cdot 23.90 + 17.40 \cdot 1 \cdot 13.20 + 0.90 \cdot 3.45 \cdot 2.5 \cdot 11.20 = 1046.6 \text{ kPa}$$

$$\gamma D_f = 1 \cdot 17.40 = 17.40 \text{ kPa (Temel kazısı gerilmesi)}$$

$$q_{net} = 1046.6 - 17.40 = 1068.80 \text{ kPa (Net taşıma gücü)}$$

GS = 3 alınmasıyla,

$$q_{em} = q_{net}/3 + \gamma D_f = 1068.80/3 + 17.40 = 3.74 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Emniyetli taşıma gücü)}$$

Çizelge 5. Presiyometre deneyi sonuçlarından taşıma gücü hesaplamaları.
Table 5. Bearing capacity calculations from pressuremeter test results.

Kuyu no	$(Pl)_c$ (kg/cm ²)	k	q_{ult} (kg/cm ²)	q_{em} (kg/cm ²)
SK4	16.99	1.2	20.33	6.89
SK11	14.34	1.2	17.20	5.85
SK15	15.82	1.2	18.98	6.45
SK25	16.45	1.2	19.74	6.70
SK27	27.80	1.2	33.36	11.24
SK36	16.97	1.2	20.36	6.91

Çizelge 6. Taşıma kapasitesinin Terzaghi (1943) yöntemi ile hesaplanması.
Table 6. Calculation of bearing capacity with Terzaghi (1943) method.

Kuyu No	B (m)	L (m)	c (kPa)	Ø (°)	γ_n (kN/m ³)	Nc	Nq	N γ	K ₁	K ₂	γ_z (kN/m ³)	Q _u (kPa)	Kazı yükü (kN/m ²)	q _{net} (kPa)	qs (kPa)	qs (kg/cm ²)
ASK4-1	5.00	10.00	28.00	27.00	17.40	23.90	13.20	11.20	1.15	0.90	3.45	1086.20	17.40	1068.80	356.27	3.74
ASK4-2	5.00	10.00	51.00	28.00	18.50	25.80	14.70	13.10	1.15	0.90	5.45	1945.76	18.50	1927.26	642.42	6.61
ASK4-3	5.00	10.00	57.00	13.00	18.50	9.81	3.26	0.94	1.15	0.90	5.45	714.88	18.50	696.38	232.13	2.50
ASK4-4	5.00	10.00	55.00	16.00	18.50	11.60	4.34	1.72	1.15	0.90	5.45	835.08	18.50	816.58	272.19	2.90
ASK11	5.00	10.00	27.00	30.00	19.70	30.14	18.40	22.40	1.15	0.90	7.46	1674.31	19.70	1654.61	551.54	5.70
ASK15-1	5.00	10.00	37.00	26.00	16.80	11.85	12.54	0.53	1.15	0.90	3.12	718.61	16.80	701.81	233.94	2.52
ASK15-2	5.00	10.00	73.00	21.00	18.80	15.80	7.07	4.19	1.15	0.90	6.11	1516.93	18.80	1498.13	499.38	5.18
ASK15-3	5.00	10.00	75.00	26.00	17.80	22.30	11.90	9.53	1.15	0.90	4.39	2229.33	17.80	2211.53	737.18	7.55
ASK15-4	5.00	10.00	50.00	18.00	18.00	13.10	5.26	4.07	1.15	0.90	4.14	885.84	18.00	867.84	289.28	3.08
ASK25-1	5.00	10.00	73.00	26.00	18.70	22.30	11.90	9.53	1.15	0.90	5.74	2217.69	18.70	2198.99	733.00	7.51
ASK27-1	5.00	10.00	58.00	22.00	18.70	16.90	7.82	4.96	1.15	0.90	5.65	1336.52	18.70	1317.82	439.27	4.57
ASK27-2	5.00	10.00	23.00	35.00	18.60	46.10	33.30	48.03	1.15	0.90	5.64	2448.23	18.60	2429.63	809.88	8.28
ASK36	5.00	10.00	40.00	12.00	18.70	18.05	8.66	8.20	1.15	0.90	5.65	1096.48	18.70	1077.78	359.26	3.77

Terzaghi (1943) yöntemine göre diğer kuyular için yapılmış taşıma hesaplamaları sonuçları Çizelge 6'da verilmiştir.

Skempton (1951) Eşitliği İle Taşıma Gücü Hesaplamaları

Kil zeminler için önerilen bu eşitlikte $\phi = 0$ kabul edilir. Taşıma gücü faktörü N_c , $D_f/B < 2.5$ olması durumunda, aşağıdaki eşitlikle belirlenir (Skempton, 1951):

$$N_c = 5(1+0.2D_f/B)(1+0.2B/L) \dots \dots \dots (4)$$

$$q_{net} = c5(1+0.2D_f/B)(1+0.2B/L) \dots \dots \dots (5)$$

SK4 numaralı kuyuya ait 1 numaralı örneğin kohezyon değeri $c = 28 \text{ kN/m}^2$

$$q_{net} = 28*5(1+0.2*1/5)(1+0.2*5/10)$$

$$q_{net} = 160.16 \text{ kPa}$$

$$q_{em} = 160.16/3+18.22$$

$$q_{em} = 71.60$$

$$q_{em} = 0.72 \text{ kg/cm}^2$$

Skempton (1951) yöntemine göre diğer kuyular için yapılmış taşıma hesaplamaları sonuçları Çizelge 7'de verilmiştir.

Meyerof (1963) Eşitliği ile Taşıma Kapasitesi Hesaplamaları

Meyerof (1963), Terzaghi (1943) eşitliğine benzer, şekil (s), derinlik (d) ve eğim (i) parametrelerini dikkate alan yeni bir eşitlik önermiştir. Düşey yükler için Meyerof'un nihai taşıma kapasitesi eşitliği aşağıda verilmiştir (Meyerof, 1963):

Çizelge 7. Taşıma kapasitesinin Skempton (1951) yöntemi ile hesaplanması.

Table 7. Calculation of bearing capacity with Skempton (1951) method.

Kuyu no	B(m)	L(m)	Df(m)	Df/B	B/L	C kPa)	ϕ (°)	γ_n (kN/m ³)	N_c	q_{net} (kN/m ²)	q_{net} (kg/cm ²)
ASK4-1	5.00	10.00	1.00	0.20	0.50	28.00	27.00	17.40	5.72	160.16	0.72
ASK4-2	5.00	10.00	1.00	0.20	0.50	51.00	28.00	18.50	5.72	291.72	1.15
ASK4-3	5.00	10.00	1.00	0.20	0.50	57.00	13.00	18.50	5.72	326.04	1.27
ASK4-4	5.00	10.00	1.00	0.20	0.50	55.00	16.00	18.50	5.72	314.6	1.23
ASK11	5.00	10.00	1.00	0.20	0.50	27.00	30.00	19.70	5.72	154.44	0.70
ASK15-1	5.00	10.00	1.00	0.20	0.50	37.00	26.00	16.80	5.72	211.64	0.89
ASK15-2	5.00	10.00	1.00	0.20	0.50	73.00	21.00	18.80	5.72	417.56	1.57
ASK15-3	5.00	10.00	1.00	0.20	0.50	75.00	26.00	17.80	5.72	429.00	1.61
ASK15-4	5.00	10.00	1.00	0.20	0.50	50.00	18.00	18.00	5.72	286.00	1.14
ASK25-1	5.00	10.00	1.00	0.20	0.50	73.00	26.00	18.70	5.72	417.56	1.57
ASK27-1	5.00	10.00	1.00	0.20	0.50	58.00	22.00	18.70	5.72	331.76	1.29
ASK27-2	5.00	10.00	1.00	0.20	0.50	23.00	35.00	18.60	5.72	131.56	0.62
ASK36	5.00	10.00	1.00	0.20	0.50	40.00	23.00	18.70	5.72	228.80	0.94

$$q_u = cN_c S_c d_c + \gamma D_f N_q S_q d_q + 0.5 \gamma B N_\gamma S_\gamma d_\gamma \dots \dots \dots (6)$$

$$S_c = 1 + 0.2 K_p B / L \text{ (Şekil faktörü)}$$

$$d_c = 1 + 0.2 (K_p)^{1/2} D_f / B \text{ (Derinlik faktörü)}$$

$$S_q = S_\gamma = 1 + 0.1 K_p B / L \text{ (Şekil faktörü, } \theta > 10^\circ \text{ için)}$$

$$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1 (K_p)^{1/2} D_f / B \text{ (Şekil faktörü, } \theta > 10^\circ \text{ için)}$$

$$K_p = \tan^2(45 + \theta / 2)$$

SK4 kuyusundan alınan UD1 örneği üzerinde yapılan deneylerden elde edilen değerler eşitliklere konulduğunda:

$$K_p = \tan^2(45 + 27/2) = 2.66$$

$$S_c = 1 + 0.2 * 2.66 * 5 / 10 = 1.27$$

$$d_c = 1 + 0.2 * (2.66)^{1/2} * 1 / 5 = 1.07$$

$$S_q = S_\gamma = 1 + 0.1 * 2.66 * 5 / 10 = 1.13$$

$$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1 * (2.66)^{1/2} * 1 / 5 = 1.03$$

$$\theta = 27^\circ \text{ için Meyerof taşıma gücü faktörleri } N_c = 23.94, N_q = 13.20, N_\gamma = 9.46$$

(Genç, 2008).

$$q_u = 28 * 23.94 * 1.27 * 1.07 + 17.40 * 1 * 13.20 * 1.13 * 1.03 + 0.5 * 17.40 * 5 * 9.46 * 1.13 * 1.03$$

$$q_u = 1638.569 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{net} = 1638.569 - 18.22 = 1620.35 \text{ kPa}$$

$$q_{em} = 1620.35 / 3 + 18.22 = 558.34 \text{ kPa}$$

$$q_{em} = 5.58 \text{ kg/cm}^2$$

Meyerof yöntemine göre diğer kuyular için yapılmış taşıma kapasitesi hesaplamalarına ait sonuçlar Çizelge 8'de verilmiştir.

Hansen Eşitliği ile Taşıma Kapasitesi Hesaplamaları

Hansen (1961), şekil, eğim, derinlik, temel ve yüzey eğim faktörü gibi parametreler kullanarak

Yeni bir taşıma gücü eşitliği oluşturmuştur. Yatay bir temel için Hansen'in geliştirdiği eşitlik aşağıdaki gibidir (Hansen, 1961):

$$q_{ult} = -c \cot \theta + (\gamma D_f + c \cot \theta) N_q S_q d_q + 0.5 \gamma B N_\gamma S_\gamma d_\gamma \dots \dots \dots (7)$$

Eşitlikte:

$$S_q = 1 + \sin \theta (B/L) \text{ (Şekil faktörü),}$$

$$S_\gamma = 1 - 0.4 (B/L) \text{ (Şekil faktörü)}$$

$$d_q = 1 + 2 \tan \theta (1 - \sin \theta)^2 D / B \text{ (Derinlik faktörü, } D \leq B)$$

$$d_\gamma = (\text{derinlik faktörü, } D \leq B, \text{ yatay temelde} = 1)$$

I_q, i_γ = yük eğim faktörleri (düşey yük konumunda yük eğim faktörleri = 1)

b_q, b_γ = taban eğim faktörleri (taban eğimi (α) = 0 konumunda, taban eğim faktörleri = 1) dir.

SK4 kuyusu, UD1 örneğine ait laboratuvar deneyi sonuçları ve proje değerleri eşitliklere konularak q_{em} hesaplanır.

$$S_q = 1 + \sin 27(5/10) = 1.23$$

$$S_\gamma = 1 - 0.4(5/10) = 0.8$$

$$d_q = 1 + 2 \tan 27(1 - \sin 27)^2 * 5 / 10 = 1.06$$

$\theta = 27^\circ$ için Hansen taşıma gücü faktörleri:

$$N_c = 24.03, N_q = 13.29, N_\gamma = 9.44 \text{ (Genç, 2008)}$$

$$q_{ult} = -28 * \cot 27 + (17.40 * 1 + 28 \cot 27) * 13.29 * 1.23 * 1.06 + 0.5 * 17.40 * 5 * 9.44 * 0.8$$

$$q_{ult} = 1532.10 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{net} = 1532.10 - 18.22 = 1513.88 \text{ kPa}$$

$$q_{em} = 1513.88 / 3 + 18.22 = 523 \text{ kPa} = 5.23 \text{ kg/cm}^2$$

Hansen eşitliğine göre diğer kuyular için yapılmış taşıma hesaplamaları sonuçları Çizelge 9'da verilmiştir.

Kayabaşı ve Gökçeoğlu

Çizelge 8. Taşıma kapasitesinin Meyerof (1963) yöntemi ile hesaplanması.
Table 8. Calculation of bearing capacity with Meyerof (1963) method.

Kıyü No	UD No	C (kN/m ²)	Ø (°)	Df/B	B/L	γ_{r_3} (kN/m ³)	Nc	Nq	N _y	K _p	Sc	Sq=Sy	dc	dq	q _u (kPa)	q _{em} (kg/cm ²)
SK4	UD1	28	27	0.2	0.5	17.40	23.40	13.20	9.46	2.66	1.27	1.13	1.07	1.033	1638.569	5.58
SK4	UD2	51	28	0.2	0.5	18.50	25.80	14.72	11.19	2.76	1.28	1.14	1.07	1.033	2700.352	9.12
SK4	UD3	57	13	0.2	0.5	18.50	9.81	3.26	0.74	1.58	1.16	1.08	1.05	1.025	783.5311	2.73
SK4	UD4	55	16	0.2	0.5	18.50	11.63	4.34	1.37	1.76	1.18	1.09	1.05	1.027	950.5512	3.29
SK11	UD4	27	30	0.2	0.5	19.70	30.14	18.40	15.67	2.99	1.30	1.15	1.07	1.035	2448.843	8.28
SK15	UD1	37	26	0.2	0.5	16.80	22.25	11.85	8.00	2.56	1.26	1.13	1.06	1.032	1710.319	5.82
SK15	UD2	73	21	0.2	0.5	18.80	15.82	7.07	3.42	2.11	1.21	1.11	1.06	1.029	1809.11	6.15
SK15	UD3	75	26	0.2	0.5	17.80	22.25	11.85	8.00	2.56	1.26	1.13	1.06	1.032	2876.086	9.71
SK15	UD4	50	18	0.2	0.5	18.00	13.10	5.26	2.00	1.89	1.19	1.09	1.05	1.027	1026.66	3.54
SK25	UD4	73	26	0.2	0.5	18.70	22.25	11.85	8.00	2.56	1.26	1.13	1.06	1.032	2849.354	9.62
SK27	UD2	58	22	0.2	0.5	18.70	16.88	7.82	4.07	2.19	1.22	1.11	1.06	1.030	1642.706	5.60
SK27	UD5	23	35	0.2	0.5	18.60	46.12	33.30	37.16	3.68	1.37	1.18	1.08	1.038	4369.888	14.69
SK36	UD1	40	23	0.2	0.5	18.70	18.05	8.66	4.82	2.28	1.23	1.11	1.06	1.030	1376.787	4.71

Çizelge 9. Taşıma kapasitesinin Hansen (1961) yöntemi ile hesaplanması.
Table 9. Calculation of bearing capacity with Hansen (1961) method.

Kuyu No	UD No	C (kN/m ²)	Ø (°)	Df/B	B/L	γ_1 (kN/m ³)	Nc	Nq	N γ	sq	s γ	dq	q _u (kPa)	q _{em} (kg/cm ²)
SK4	UD1	28	27	0.2	0.5	17.40	24.03	13.29	9.44	1.23	0.8	1.06	15.32	5.23
SK4	UD2	51	28	0.2	0.5	18.50	25.80	14.72	10.94	1.24	0.8	1.06	25.27	8.54
SK4	UD3	57	13	0.2	0.5	18.50	9.83	3.28	0.80	1.11	0.8	1.06	8.06	2.81
SK4	UD4	55	16	0.2	0.5	18.50	11.63	4.34	1.43	1.14	0.8	1.06	9.64	3.33
SK11	UD4	27	30	0.2	0.5	19.70	30.14	18.40	15.07	1.26	0.8	1.06	21.76	7.37
SK15	UD1	37	26	0.2	0.5	16.80	22.25	11.85	7.94	1.22	0.8	1.06	16.19	5.52
SK15	UD2	73	21	0.2	0.5	18.80	15.86	7.11	3.54	1.18	0.8	1.06	18.11	6.16
SK15	UD3	75	26	0.2	0.5	17.80	22.25	11.85	7.94	1.22	0.8	1.06	27.74	9.37
SK15	UD4	50	18	0.2	0.5	18.00	13.10	5.26	2.08	1.16	0.8	1.06	10.32	3.56
SK25	UD4	73	26	0.2	0.5	18.70	22.25	11.85	7.94	1.22	0.8	1.06	27.43	9.26
SK27	UD2	58	22	0.2	0.5	18.70	16.88	7.82	4.13	1.19	0.8	1.06	16.18	5.51
SK27	UD5	23	35	0.2	0.5	18.60	46.38	41.90	34.41	1.30	0.8	1.05	41.95	14.10
SK36	UD1	40	23	0.2	0.5	18.70	18.10	8.71	4.94	1.20	0.8	1.06	13.45	4.61

TEMEL ALANINI OLUŞTURAN KİL BİRİMİNDE OLUŞACAK OTURMA MİKTARININ BELİRLENMESİ

Temele uygulanan yük nedeniyle temeli oluşturan litolojik birimde oluşacak sıkışmalar oturma olarak tanımlanır. Üç tür oturma vardır: A) Âni (drenajsız-elastik oturma), B) Birincil konsolidasyon oturması, C) İkincil konsolidasyon oturması (plastik oturma).

İkincil konsolidasyon oturması özellikle killi zeminlerin aşırı yüklenmesi halinde söz konusu olur. Temel zemininin aşırı yüklenmemesi nedeniyle ikincil konsolidasyon oturması hesaplanmamıştır (Kumbasar ve Kip, 1992).

Âni (Drenajsız) Oturma

Zeminde hacim değişmesi olmadan meydana gelen oturma olup, Harr (1966) tarafından aşağıdaki eşitlikle ifade edilmiştir:

$$S_i = qB(1-\mu_v/E_u)I_s \dots\dots\dots (8)$$

Eşitlikteki;

S_i = âni oturma, q = uygulanan üniform basınç (Temel alanımızda net proje yükü 282 kPa olarak verilmiştir), B = en küçük yanal boyut (Genişlik veya çap, temel alanımızda $B=5$ m'dir), μ = poisson oranı (Doygun kil zeminler için 0.3 - 0.5 arasında önerilir. Bu çalışmada $\mu = 0.4$ olarak alınmıştır), E_u = drenajsız elastisite (young) modülü (Bu çalışmada zemin izotrop olarak kabullenilmiştir ve presiyometre deneyinden aynı seviyelere eş gelen presiyometre deformasyon modülleri kullanılmıştır), I_s = temel alanı şekli ve rijitliğine bağlı rijitlik faktörü. ($B = 5$, $L = 10$ ve $L/B = 2$ olması ve dikdörtgen ve rijit bir temel için 1.12 olarak Kumbasar ve Kip, (1992)'den belirlenmiştir.

SK4 kuyusunun UD1 numaralı numunenin alındığı seviyedeki ani oturma:

$$S_i = 282*5*(1-0.4^2)/12900*1.12 = 0.109 \text{ m} = 10.28 \text{ cm anlık oturma oluşacaktır.}$$

Diğer âni oturma hesaplamaları sonuçları Çizelge 10'da verilmiştir.

Konsolidasyon Oturması Hesaplamaları

Konsolidasyon oturması âni oturmayı izleyen aşamada, yüklemekten hemen sonra önce taneler arasındaki boşluklardaki havanın sıkışması ve bundan sonra da suyun basıncının zamanla sönümlenmesi ile oluşan oturmadır (Genç, 2008). Bu çalışmada konsolidasyon oturmasının tayini için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır:

$$S_c = m_v \cdot H \cdot \Delta\sigma' \dots\dots\dots (9)$$

Eşitlikte; S_c tabakanın mutlak oturma miktarı, $\Delta\sigma'$ yüklemekten dolayı tabaka ortasında meydana gelen etkin gerilme artışı, m_v hacimsel sıkışabilirlik katsayısı (konsolidasyon deneyi ile belirlenir), H kil tabakasının kalınlığıdır.

$$A_v = de/dp = (e_1 - e_2)/(p_2 - p_1) \dots\dots\dots (10)$$

$$m_v = a_v/(1+e_1) \dots\dots\dots (11)$$

Etkin gerilme artışı ($\Delta\sigma'$) dikdörtgen şekilli temelin uygulayacağı 300 kPa düzeyindeki yük dikkate alınarak Boussinesq Yöntemi (Craig, 1974) ile hesaplanmış ve 33.36 kPa olarak elde edilmiştir (bu değer temele aktarılan yükün %10'a yani 28 kPa'ya kadar sönümlendiği derinliğin yaklaşık 14 m olduğunu ifade eder). Tabaka kalınlığımız (H): 14 m olacaktır. Tabaka kalınlığının orta noktasında ise k etki faktörü:

$$m = 2.5/7 = 0.36, n = 5/7 = 0.71 \text{ değerlerine göre etki faktörü, } k = 0.080$$

$$\Delta\sigma' = 0.080*300*4 = 96 \text{ kPa (yük artışı)}$$

Çizelge 10. Ani oturma hesaplama sonuçları
Table 10. The results of immediate settlement calculation

Kuyu no	UD no	B(m)	L(m)	L/B	E(kPa)	Is	μ	q(kPa)	Si(m)	Si(cm)
SK4-1	UD1	5.00	10.00	2	12900	1.12	0.4	282	0.102832	10.28
SK4-2	UD2	5.00	10.00	2	19400	1.12	0.4	282	0.068378	6.84
SK4-3	UD3	5.00	10.00	2	19420	1.12	0.4	282	0.068307	6.83
SK4-4	UD4	5.00	10.00	2	27400	1.12	0.4	282	0.048413	4.84
SK11	UD4	5.00	10.00	2	27500	1.12	0.4	282	0.048237	4.82
SK15-1	UD1	5.00	10.00	2	33360	1.12	0.4	282	0.039764	3.98
SK15-2	UD2	5.00	10.00	2	20100	1.12	0.4	282	0.065996	6.60
SK15-3	UD3	5.00	10.00	2	37800	1.12	0.4	282	0.035093	3.51
SK15-4	UD4	5.00	10.00	2	19420	1.12	0.4	282	0.068307	6.83
SK25-1	UD4	5.00	10.00	2	33700	1.12	0.4	282	0.039363	3.94
SK27-1	UD2	5.00	10.00	2	19420	1.12	0.4	282	0.068307	6.83
SK27-2	UD5	5.00	10.00	2	40100	1.12	0.4	282	0.03308	3.31
SK36	UD1	5.00	10.00	2	31600	1.12	0.4	282	0.041979	4.20

$\sigma'_0 = 17.34 \cdot 15 - 17.34 - 13.5 \cdot 9.81 = 110.325$ (P_1 basıncı)

$\sigma'_1 = \sigma'_0 + \Delta\sigma' = 110.35 + 96 = 206.325$ (P_2 basıncı)

SK4 numaralı kuyumuzda UD1 numaralı numunemize ait konsolidasyon deneyi eğrisinden P_1 ve P_2 basınçlarındaki karşılık gelen boşluk oranı (e) değerleri bulunur (Şekil 8).

$a_v = (0.893 - 0.855) / 96 = 0.000396$

$m_v = 0.000396 / (1 + 0.893) = 2 \cdot 10^{-4}$ (kPa^{-1})

$S_c = 2 \cdot 10^{-4} \cdot 96 \cdot 14 = 0.281$ m = 28.1 cm olarak bulunur.

Diğer konsolidasyon oturması hesaplamaları Çizelge 11'de verilmiştir.

Presiyometre Yöntemi ile Oturma Hesaplamaları

Menard vd. (1962) presiyometre deney sonuçlarından yararlanarak temel oturmalarının tahminine yönelik homojen zeminler için aşağıdaki eşitliği önermişlerdir:

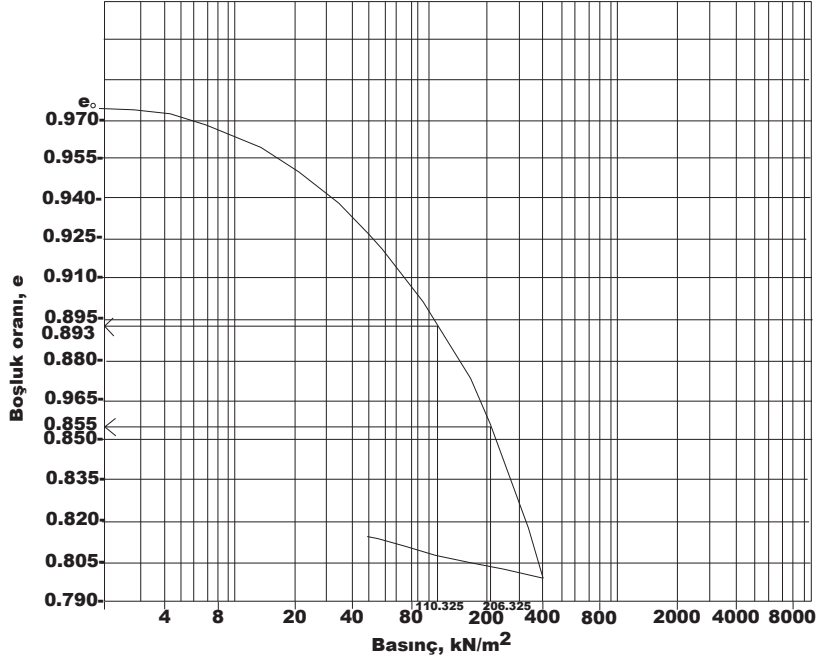
$$S = \frac{2}{(9 \cdot E_M)} \cdot q \cdot B_o \cdot (\lambda d \cdot B / B_o)^{\alpha} + \frac{\alpha}{(9 \cdot E_M)} \cdot q \cdot \lambda c \cdot B \dots \dots \dots (12)$$

Eşitlikteki;

S = toplam oturma (cm),

E_M = homojen kabul edilen zeminde yapılan deneylerden elde edilen presiyometre deformasyon modüllerinin harmonik ortalaması (kg/cm^2),

q = proje yükü (kg),



Şekil 8. SK4 nolu kuyudan alınan UD 1 numunesinden yapılan konsolidasyon deneyi Boşluk oranı (e)-basınç eğrisi (p).

Figure 8. The consolidation test void ratio(e)-pressure (p) line of UD1 from borehole SK4.

Çizelge 11. Konsolidasyon oturması hesaplama sonuçları.

Table 11. The results of consolidation settlement calculation

Kuyu no	B(m)	L(m)	m	n	k	$\Delta\sigma'$	P1(kPa)	P2(kPa)	e1	e2	av	mv	sc(cm)
SK4-1	5.00	10.00	0.36	0.71	0.08	96.00	110.33	206.33	0.876	0.860	0.000167	8.88415E-05	11.94
SK4-2	5.00	10.00	0.36	0.71	0.08	96.00	110.33	206.33	0.823	0.802	0.000219	0.000119995	16.13
SK4-3	5.00	10.00	0.36	0.71	0.08	96.00	110.33	206.33	0.920	0.902	0.000188	9.76563E-05	13.13
SK4-4	5.00	10.00	0.36	0.71	0.08	96.00	110.33	206.33	0.908	0.887	0.000219	0.000114649	15.41
SK11	5.00	10.00	0.36	0.71	0.08	96.00	110.33	206.33	0.752	0.735	0.000177	0.000101075	13.58
SK15-1	5.00	10.00	0.36	0.71	0.08	96.00	110.33	206.33	1.077	1.036	0.000427	0.000205625	27.64
SK15-2	5.00	10.00	0.36	0.71	0.08	96.00	110.33	206.33	0.692	0.677	0.000156	9.23463E-05	12.41
SK15-3	5.00	10.00	0.36	0.71	0.08	96.00	110.33	206.33	0.996	0.981	0.000156	7.82816E-05	10.52
SK15-4	5.00	10.00	0.36	0.71	0.08	96.00	110.33	206.33	1.020	0.988	0.000333	0.000165017	22.18
SK25-1	5.00	10.00	0.36	0.71	0.08	96.00	110.33	206.33	0.723	0.690	0.000344	0.000199507	26.81
SK27-1	5.00	10.00	0.36	0.71	0.08	96.00	110.33	206.33	0.797	0.776	0.000219	0.000121731	16.36
SK27-2	5.00	10.00	0.36	0.71	0.08	96.00	110.33	206.33	0.812	0.783	0.000302	0.000166713	22.41
SK36	5.00	10.00	0.36	0.71	0.08	96.00	110.33	206.33	0.791	0.774	0.000177	9.8874E-05	13.29

Çizelge 12. Presiyometre deneyi ile oturma hesaplaması sonuçları.

Table 12. The results of settlement calculation with pressuremeter test.

Kuyu No	B (m)	L (m)	Df (m)	Bo (m)	L/B	α	λ_d	λ_c	q (kg/cm ²)	E_M (kg/cm ²)	Oturma artış oranı (%)	Oturma S (cm)
SK4	5	10	1	0.6	2	0.66	1.53	1.2	2.82	181.2	0.18	2.31
SK11	5	10	1	0.6	2	0.66	1.53	1.2	2.82	83.3	0.18	5.03
SK15	5	10	1	0.6	2	0.66	1.53	1.2	2.82	91.0	0.18	4.61
SK25	5	10	1	0.6	2	0.66	1.53	1.2	2.82	100.0	0.18	4.20
SK27	5	10	1	0.6	2	0.66	1.53	1.2	2.82	273	0.18	1.54
SK36	5	10	1	0.6	2	0.66	1.53	1.2	2.82	127	0.18	3.3

Bo = temel referans genişliği (genellikle 0.6 m alınır),

λ_d ve λ_c = temel şekli/biçim faktörü (Temel uzunluğunun temel genişliğine oranına (L/B) bağlı olarak çizelge ve/veya grafik değerleri kullanılarak elde edilir (Menard vd., 1962),

a = reolojik katsayı (E_M/P_1 oranına göre çizelgeden belirlenir (Menard vd., 1962).

B = temel genişliğidir (cm).

SK 4 numaralı kuyu içinde yapılan presiyometre deneylerinde elde edilen presiyometre deformasyon modülü (E_M) değerlerinin harmonik ortalaması:

$$n/E_M = 1/E_1 + 1/E_2 + 1/E_3 + \dots + 1/E_n \dots \dots \dots (13)$$

$$3/E_M = 1/129 + 1/194 + 1/274 = 181.2 \text{ kg/cm}^2$$

$$S = (2/(9 \cdot 181.2)) \cdot 2.82 \cdot 60 \cdot (1.53 \cdot (500/60))^{0.66} + (0.66/(9 \cdot 181.2)) \cdot 2.82 \cdot 1.2 \cdot 500$$

$$S = 1.97$$

Yüzey etkisi Df < B durumunda,

oturma değerinde D/B oranına göre artış yapılır (Menard ve Rouseau, 1962). D/B oranı 1/5'tir, yaklaşık %18 artışa neden olur.

Oturma artış oranı: % 18

$S_T = 2.31$ cm olarak bulunur.

Presiyometre yöntemine göre yapılan oturma hesaplamaları Çizelge 12'de verilmiştir.

Temel alanını oluşturan kil biriminde şişme sorunu

Çalışma alanında açılan sondajlardan alınan bozulmamış numunelerde yapılan serbest şişme deneylerinden kil biriminin ortalama % 4 şişme yüzdesine sahip olduğu tespit edilmiştir. Seed vd., (1962) tarafından yapılan şişme potansiyeli sınıflamasına göre temel alanını oluşturan kil birimi orta dereceli şişme potansiyeline sahiptir. Sridharan ve Gurdug (2004) ise şişme yüzdesi ile şişme basıncı arasında aşağıdaki eşitliği önermişlerdir.

$$P_s = 48.22 \cdot S \dots \dots \dots (14)$$

Eşitlikteki;

Ps: şişme basıncı (kPa)

S: şişme yüzdesi (%)

% 4 şişme yüzdesi $P_s = 1.93 \text{ kg/cm}^2$ şişme basıncı olarak temele etkiyecektir. Net proje

yükünün 2.82 kg/cm^2 olması durumunda şişme sorunu dengelenebilecekken 1.93 kg/cm^2 'den düşük proje yükü uygulandığında zeminde kabarma sorunu ortaya çıkacaktır.

SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

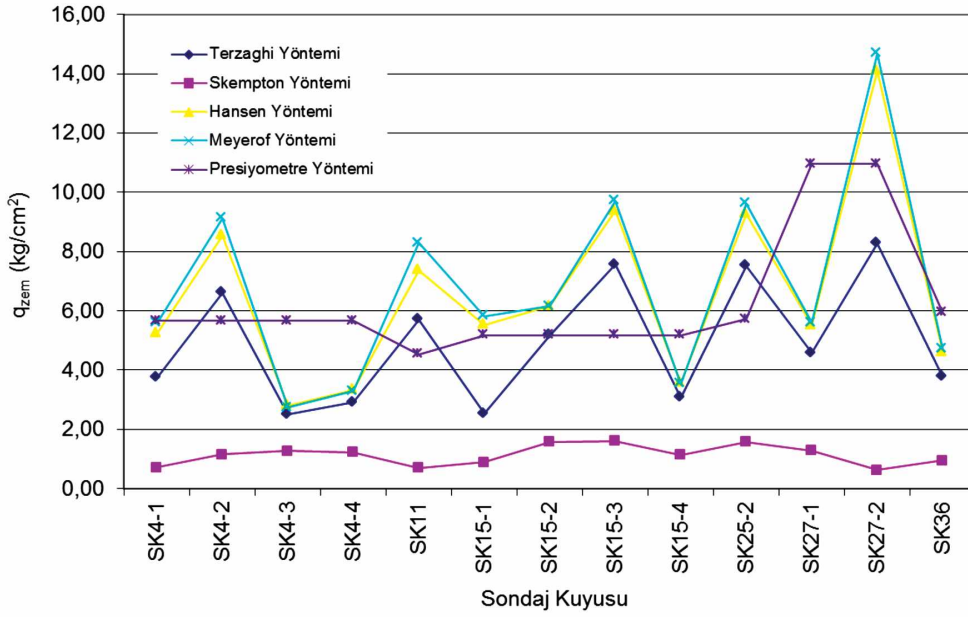
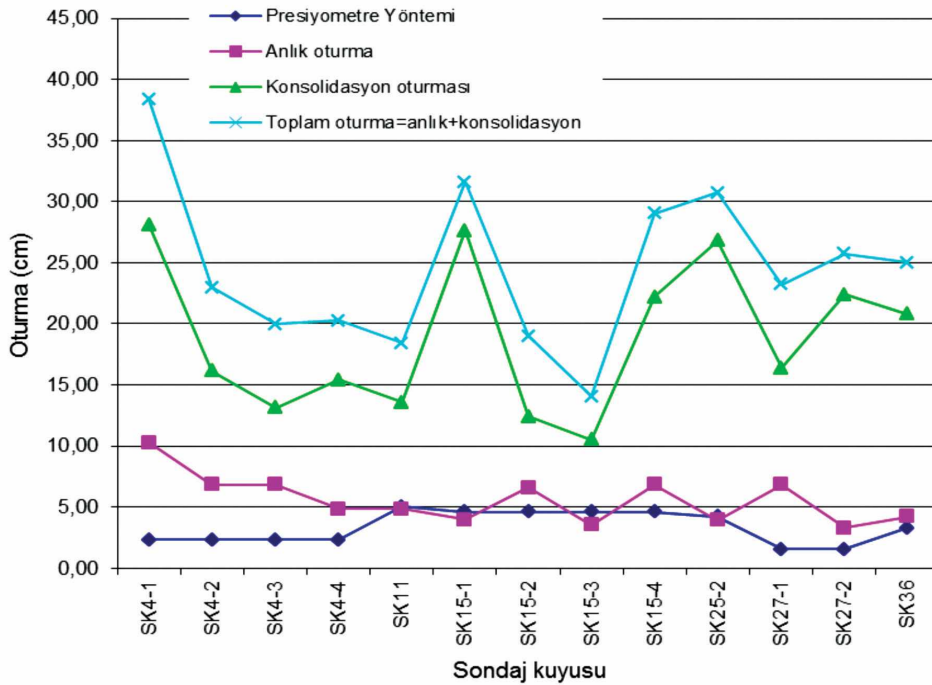
Bu çalışmada Mersin ili atık su arıtma projesi kapsamında inşa edilecek olan arıtma tesislerinin yerleştirileceği temel alanının zemin özellikleri belirlenmiş, temel birimi olan kil zeminin, proje yükü altında sergileyebileceği taşıma, oturma ve şişme davranışları kestirilmeye çalışılmıştır. Taşıma ve oturma hesaplamaları sonuçları kendi aralarında karşılaştırılmış ve farklılıkların nedenleri açıklanmıştır.

Terzaghi, Hansen, Meyerof ve Presiyometre yöntemleri ile belirlenen emniyetli taşıma gücü değerleri birbirine çok yakın değerler verirken, sadece kohezyon değeri ile zemin emniyet gerilmesi hesaplayan Skempton Yöntemi en düşük emniyetli taşıma gücü değerlerinin belirlenmesine neden olmuştur (Şekil 9). Tane boyu dağılım analizleri temel alanını oluşturan birimin çoğunlukla yüksek plastisiteli kil olduğunu göstermekle birlikte birkaç seviyeden alınan numunelerin düşük plastisiteli kil olduğu tespit edilmiştir. Genel kanı olarak killerin içsel sürtünme açısı olmadığı düşüncesi vardır. Doğada içsel sürtünme açısı olmayan kil bulunabilmesi özel özgün koşullara bağlıdır. Temel alanımızdaki kil birimi, gerek üç eksenli sıkışma deneylerinde gerekse de kesme deneylerinde içsel sürtünme açısı değeri vermektedir. Dolayısıyla sadece kohezyon değeri ile emniyetli taşıma gücünün hesaplandığı Skempton Yöntemi bu çalışma için yetersiz kalmış ve düşük zemin emniyet gerilmesi sonuçları vermiştir.

Temel alanını oluşturan kil birimde ani oturma, konsolidasyon oturması ve presiyometre

yöntemi ile oturma hesaplamaları yapılmıştır. En düşük oturma sonuçlarını presiyometre yöntemi vermiştir (Şekil 10). İnce taneli zeminlerde (kil-silt) drenajın zorluğundan kaynaklı olarak konsolidasyonun uzun sürmesi, temeldeki oturmanın da uzun süreli olmasına neden olmaktadır. Presiyometre deneyinin en az on basamaklı ve 1'er dakika beklemeli basınç-hacim değişimi kayıtları ile belirlenen deformasyon modül değerleri, ince taneli zeminlerin uzun süreli konsolidasyonunun tespitinde yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle ince taneli zeminlerde presiyometre ile tespit edilen oturma hesaplamalarında temkinli olunması ve mutlaka konsolidasyon deneyi de yapılarak konsolidasyon oturmasının da hesaplanması önerilmiştir. Önerilmiş olan bu düşünce Baquelin vd., (1978)'in The Pressuremeter And Foundation Engineering kitabında sayfa 291'de yapılan açıklamalarla desteklenmektedir.

Temel alanı için emniyetli taşıma gücü (q_{em}) değerleri Terzaghi, Meyerof, Hansen ve Presiyometre yöntemlerinin tamamında 2'den büyüktür ve güvenlidir. Bununla birlikte aynı güvenilirlik temelini oluşturacağı oturma açısından sağlanamayacaktır. Kil zeminlerde projelendirmeler için maksimum oturma sınırı tekil temellerde 60 mm, yayılı temellerde ise 100 mm'dir (Genç, 2008). Çalışma alanı için tespit edilen toplam oturma değeri en yüksek 39.04 cm ile SK4 numaralı kuyudan alınan UD1 numaralı örnekte, en düşük oturma değeri ise 14.25 cm ile SK15 numaralı kuyuda UD3 numaralı örnekte hesaplanmıştır. Tespit edilen oturma değerleri proje açısından risk teşkil etmektedir. Temel alanını oluşturan kil biriminde yüksek aktivite ve orta derecede şişme potansiyeli tespit edilmiştir. Net proje yükünün şişme basıncından

Şekil 9. Emniyetli taşıma gücü (q_{cm}) değerlerinin çizgi grafiği.Figure 9. The line graph of allowable bearing capacity (q_{al}).

Şekil 10. Hesaplanan oturma değerlerinin çizgi grafiği.

Figure 10. The line graph of calculated settlement values.

fazla olması gerekmektedir. İnşaat aşaması ve öncesinde bu konuların değerlendirilmesi ve gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- APAGEO., 2006. Menard Pressuremeter (G Type) operating instructions, 2006 edition.
- ASTM (American society for testing and materials), 1994. Annual book of ASTM Standards-Section 4, Construction, V. 0408 Soil and Rock; Building Stones. ASTM Publication, 978 p.
- Baquelin, F., Jezequel, J.F., Shields, D.H., 1978. The Pressuremeter and Foundation Engineering. Trans Tech Publications, Clausthal-Zellerfeld, Germany, 617 p.
- Clarke, B.G., 1995. Pressuremeters in Geotechnical Design (1. Edition). Chapman&Hall, 2-6 Boundary Row, London SE1 8HN. UK, 364 p.
- Craig, R.F., 1974. Soil Mechanics. Longman, England, 410 p.
- Genç, D., 2008. Zemin Mekaniği ve Temeller (1. Baskı). Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını, yayın no:100, Ankara, 848 s.
- Gürsoy, N., Kayabaşı, A., 1995. Mersin Belediyesi Kanalizasyon Projesi Arıtma Tesisleri Zemin Araştırma Sonuçları. EİEİ, yayın no:95-4. Ankara, 285 s.
- Hansen, J.B., 1961. The Bearing Capacity of Sand Tested by Loading Circular Plates. 5 th International Conference on Soil Mechanic Foundation. England:Vol.1, Paris.
- Harr, M.E., 1966. Fundamentals of Theoretical Soil Mechanics. McGraw-Hill, New York.
- Kumbasar, V., Kip, F., 1992. Zemin Mekaniği Problemleri (5. Baskı). Çağlayan Basımevi, İstanbul, 614 s.
- Leonards, G.A., 1962. Foundation Engineering. McGraw Hill, Tokyo, 113 p.
- Means, R.E., Pacher, J.W., 1963. Physical Properties of Soils. Charls E. Merril Publicatipn Company., Columbia, Ohio, 467 p.
- Menard, L., Rouseau, J., 1962. L'evaluation des tassements-Tendances nouvelles-Sols-Soils. Vol. I, No. 1 Juin, 13-29.
- Meyerof, G.G., 1963. Some recent research on the bearing capacity of foundations. Canadian Geotechnical Journal, Vol.1, No.1, 16-26.
- Seed, H., Woodward, R.J. and Lundgren, R., 1962. Prediction of swelling potential of compacted clay. Journal of Soil Mechanic and Foundation Division, A.S.C.E, 88 (3), 53-87.
- Seed, H.B., Woodward, R.J. and Lundgren, R., 1964. Fundamental aspects of the Atterberg Limits. Journal of Soil Mechanics and Foundations Division, A.S.C.E, Cilt.90, No. SM6, 75-105.
- Sridharan, A., Gurdug, Y., 2004. Swelling behavior of compacted fine-grained soils. Engineering Geology, 72 (1-2), 9-18.
- Skempton, A.W., 1951. The bearing capacity of clays. Proceedings, Building Research Congress, London.
- SPSS., 2002. Statistical Package for the Social Sciences (v.11.5). SPSS Inc., Chicago, IL.
- Terzaghi, K., 1943. Theoretical Soil Mechanics. John Wiley&Sons, New York.
- Terzaghi, K., Peck, R.B., 1968. Foundation Design and Construction. Pitman, London.
- Türk Standartları Enstitüsü (TSE), 1988. İnşaat mühendisliğinde temel zemini özelliklerinin yerinde ölçümü. TS 5744, 35 s.
- Türk Standartları Enstitüsü (TSE), 1997. Jeoteknik Tasarım Bölüm 3, Arazi Deneyleri Yardımıyla Tasarım (TS ENV 1997-3, Eurocode 7), (in Turkish).
- USBR (United States Dep. Int. Bur. Reclamation), 1974. Earth Manual. A water Reseources Technical Publication. Denver, Colo., 810 p.

Bir Tünel Güzergâhındaki Zayıf Kireçtaşlarının Aşınma ve Dayanım Özellikleri Arasındaki İlişkilerin Araştırılması

Investigation of the Relationships Between Abrasiveness and Strength Properties of Weak Limestones Along a Tunnel Route

Nihat DİPOVA

Akdeniz Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, ANTALYA

Geliş (received) : 3 Ocak (January) 2012

Düzeltilme (revised) : 16 Mart (March) 2012

Kabul (accepted) : 9 Nisan (April) 2012

ÖZ

Kayaçların aşındırıcılığının belirlenmesinde CERCHAR Aşınma İndeksi (CAI) verileri önemli bir yer tutmaktadır. Kayaçlarda aşınmayı etkileyen başlıca etmenler kayaçtaki kuvars gibi aşındırıcı minerallerin miktarı, kayacın yoğunluğu, çimentolanma derecesi ve dayanım özellikleridir. Bu çalışmada, Austin (Teksas - ABD) şehir içi geçiş tüneli kaya örnekleri test edilerek zayıf kireçtaşlarının CAI verileri ile dayanım özellikleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Kayacın aşınması ve aşındırıcılığı bir arada düşünülerek, aşınan çelik üzerindeki ve aynı anda kayada gerçekleşen oyulma (yarık) miktarları birlikte ölçülmüş ve ilişkilendirilmeye çalışılmıştır. Sert kayalarda kazıcı ömrünün tahmininde kullanılan CERCHAR yönteminin zayıf kayalar için dayanım özelliklerinin tahmininde kullanılabilirliğine dönük bir araştırma yürütülmüştür. Çalışma sonucunda kayaç örneklerine ait CAI değerlerinin 1.72'nin altında, çoğunluğunun ise 0.2 – 1.0 aralığında olduğu görülmüştür. İstatistiksel çalışmalar sonucunda CAI ile Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (UCS) ve Dolaylı Çekme Dayanımı (TS) değerleri arasında ilişki olduğu belirlenmiştir. CAI ile Yarık Derinliği (YD) arasında ve YD ile UCS ve TS değerleri arasında da ilişkilerin olduğu belirlenmiştir. Kayaçların aşındırıcılığının belirlenmesinde kullanılan CAI parametresinin ve bunu elde etmekte kullanılan CERCHAR Yöntemi'nin, yumuşak kayalar için geliştirilmesi önerilmektedir. CERCHAR deneyinde CAI değerlerine ek olarak yarık derinliğinin ölçülmesi ile kayanın diğer özelliklerinin tahmin edilmesinin mümkün olabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Aşındırıcılık, Aşınma, CERCHAR, Dayanım, Zayıf kireçtaşı.

ABSTRACT

CERCHAR Abrasiveness Index (CAI) plays an important role in determination of rock abrasivity. The main factors affecting the abrasiveness of rocks are amount of hard minerals such as quartz, rock density,

N.Dipova

E-Posta: ndipova@akdeniz.edu.tr

degree of cementation and strength characteristics. In this study, rock samples of Austin (Texas - USA) were tested, weak limestone samples were tested according to CERCHAR method and relationships between abrasiveness and the strength properties of the soft rocks were investigated. Considering abrasion of the rock and steel together, wear on the steel and indentation on the rock that occur at the same time were measured and tried to be correlated. Potential usage of CERCHAR method, which is currently used for estimation of life of excavation tools, was investigated for prediction of strength properties of weak rocks. As a result of the study, CAI values of the limestone samples were found less than 1.72, while the majority of the results was found in the range of 0.2 to 1. In this study a good relationship has been found among CAI and UCS and TS values, by the statistical analysis of the test results. Another good relationship was observed between CAI and indentation depth (ID). Similarly, ID has good correlation with the UCS and TS. . CAI parameter used in the determination of rock abrasivity and CERCHAR method used to obtain it have been suggested be improved for the soft rocks. It is concluded that, in addition to CAI values, by means of indentation depth measurements in CERCHAR tests, prediction of other rock properties will be possible.

Key Words: *Abrasiveness, Wear, CERCHAR, Strength, Weak limestone.*

GİRİŞ

Kayaçların aşındırıcılığının belirlenmesinde CERCHAR Aşınma Deneyi ve CERCHAR Aşınma İndeksi (CAI) değerlerinin ölçülmesi önemli bir yer tutmaktadır (Atkinson, 1993). Bu bağlamda, CERCHAR Aşınma Deneyi'nin amacı, kayaçların sertliklerinin ve buna bağlı olarak kayaçların kazılabilirliklerinin belirlenmesi olarak tanımlanabilir. Deney ilk olarak Fransa'da CERCHAR Araştırma Enstitüsü'nde (Research Institute CERCHAR of the Charbonnages de France) 1971 yılında geliştirilmiştir (Valantin, 1973). CERCHAR Aşınma Deneyi özellikle Batı Avrupa'daki kaya mekaniği laboratuvarlarında kayaçların aşındırıcılıklarının belirlenmesinde oldukça yaygın olarak kullanılan bir deney yöntemi haline gelmiştir (Plinninger vd., 2003). Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği (ISRM) toplantılarında, CERCHAR Aşınma İndeksi Deneyi'nin kayaçların kesilebilirliği, delinebilirliği ve kazılabilirliği konularında standart kaya mekaniği

deneyi olarak kullanılması önerilmesine rağmen (Fowell ve Abu Bakar, 2007) bu konuda henüz bir standart yayınlanmış değildir. Amerikan Test ve Malzeme Derneği (ASTM) 2010 yılında CERCHAR deneyini bir Standart hâline getirerek yayınlamıştır (ASTM D7625).

Kayaçalarda aşınmayı etkileyen başlıca etmenler kayaçtaki kuvars gibi aşındırıcı minerallerin miktarı ve kayacın çimentolanma derecesidir (Schimazek ve Knatz, 1976, Yaralı vd., 2008). CERCHAR aşınma indeksi ile delinen kaya mineral yapısı arasında güçlü bir ilişki vardır (Suana ve Peters, 1982). Bilgin (1989) ve West (1986) CERCHAR deneyi yardımıyla kayacın kuvars içeriğinin kestirilebileceğini belirlemiştir. Johnson ve Fowell (1986) CERCHAR Aşınma İndeksi ile kazı sırasında kesici tüketiminin tahmin edilebileceğini rapor etmiştir. Aşındırıcı mineraller ve çimentolanma özelliklerine ek olarak, dayanım özelliklerinin de CAI üzerinde etkisi olduğu belirtilmektedir (Al-Ameen ve Waller, 1994). Altındağ vd., (2009) kayacın

gevrekliği arttıkça CAI değerinin de arttığını ifade etmiştir.

Bu çalışmada, Austin (Teksas - ABD) şehir içi geçiş tüneli sondajlarından alınan sığ deniz çökeli düşük dayanımlı kireçtaşları test edilerek zayıf kayaların aşındırıcılığının CERCHAR yöntemi ile elde edilebilirliği ve aşındırıcılık ile kayacın diğer mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Kayacın aşınması ve aşındırıcılığı bir arada düşünülerek, aşınan metal üzerindeki değişim ile aynı anda gerçekleşen kayadaki aşınma miktarı birlikte ölçülerek ilişkilendirilmeye çalışılmıştır. Sert kayalarda kazıcı ömrünün tahmininde oldukça başarılı sonuçlar veren CERCHAR yönteminin yumuşak kayalar için aşınma ve buna bağlı kazılabilirlik özelliklerinin tahmini için kullanılabilirliğine dönük bir araştırmanın ilk aşamalarını oluşturacak bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

CERCHAR AŞINMA İNDEKSİ

Bu deneyde kaya örnekleri, uçları 90° konik ve çekme dayanımı 2000 MPa olan çiviler (çelik uç) kullanılarak 70 N kuvvetle, 1 mm/s hızla 10 mm uzunluğunda çizilir. Çizme işlemi tamamlandıktan sonra, çelik uçta meydana gelen aşınma düzlüğünün çapı mikroskop altında incelenir. Çivi ucunda meydana gelen 1/10 mm'lik bir aşınma yüzeyi bir birim CERCHAR Aşınma İndeksi olarak kabul edilir ve birimsiz olarak kullanılır.

$$CAI = 10 * (d/c) \dots\dots\dots (1)$$

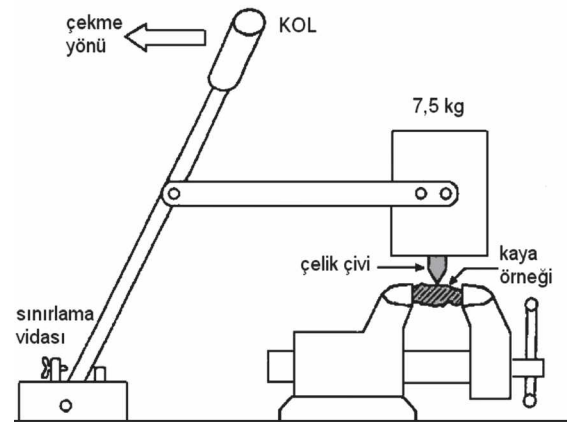
CAI: CERCHAR Aşınma İndeksi

d: Aşınma düzlüğünün çapı (mm)

c: Birim düzeltme faktörü (c =1 mm).

Kullanılan çeliğin sertliğinin CAI üzerinde etkisi olacağı açıktır. Uygulamada 40 - 55 arasında Rockwell HRC sertlik derecelerine sahip çelikler kullanılmaktadır. Michalakopoulos vd., (2005) farklı sertliklerdeki çelikler kullanılarak elde edilen CAI değerlerinin karşılaştırmasını yapmış ve birbirleri arasında dönüşüm amacıyla kullanılabilecek denklemler türetmiştir.

CERCHAR aşınma indeksi deney düzeneği en basit şekliyle Şekil 1'de gösterilmektedir. Prensipten aynı kalmakla birlikte daha kullanışlı ve hassas deney aletleri geliştirilmiştir.



Şekil 1. CERCHAR (1986)'ya göre aşınma deney düzeneği.

Figure 1. Abrasion test apparatus according to CERCHAR (1986).

CERCHAR aşınma indeksi değerleri kayadaki sert ve aşındırıcı minerallerden önemli oranda etkilenmektedir. Aşınma indeksi ile delinen/kazılan kayadaki toplam silisyum içeriği arasında güçlü bir ilişki bulunmaktadır. Suana ve Peters (1982)'ye göre bazı minerallerin ve tek mineralli kayaların CAI değerleri Çizelge

Dipova

1'deki gibi değişmektedir. CERCHAR Deneyi yardımıyla kayacın kuvars içeriğini kestirmek mümkündür ve kayaların CERCHAR Aşınma İndeksi ile delme hızı arasında ters bir ilişki vardır (Bilgin, 1989; West, 1986).

Kesici tüketiminin kayaların CERCHAR aşınma indeksi ile ilişkili olduğu görülmektedir (Johnson ve Fowell, 1986). Al-Ameen ve Waller (1994), aşındırıcı mineral içeriğine ek olarak çimentolaşmanın ve bununla ilişkili dayanım özelliklerinin, CERCHAR Aşındırıcılık İndeksi üzerinde etkisi olduğunu bildirmişlerdir. Çizelge 2'de CERCHAR Aşınma İndeksi'ne göre aşındırıcılık sınıflaması ve bu sınıflara uyan kayaç türleri verilmektedir.

Çizelge 1. Bazı mineral ve tek mineralli kayaçların CERCHAR Aşınma İndeksi değerleri (Suana ve Peters 1982).

Table 1. CERCHAR abrasive index values of some minerals and single mineral rocks (Suana and Peters 1982).

Kayaç veya Mineral	CERCHAR Aşınma İndeksi	Kuvarsa Göre Göreli CERCHAR Aşınma İndeksi
Kuvars, kuvarsit	5.6 – 6.0	% 100
Feldspat (K,Na, Ca), Anortosit	4.2 – 4.8	% 70 – 80
Olivin (Mg, Fe), Dunit	3.4 – 3.6	% 50 – 60
Piroksen, piroksenit	3.0 – 3.2	% 47 – 53
Amfibol	2.8 – 3.2	% 47 – 53
Serpantin	1.4 – 1.8	% 23 – 30
Kireçtaşı, Dolomit	1.0 – 2.0	% 17 – 34
Kiltaşı	0 - 2.5	% 0 – 41

Çizelge 2. CERCHAR Aşınma İndeksi değerlerine göre kayaçların sınıflandırılması (Atkinson vd., 1986).

Table 2. Classification of rocks according to CERCHAR abbrasive index values (Atkinson et al., 1986).

Sınıflama	CERCHAR İndeksi	Kayaç Tipi
Çok aşındırıcı	> 4.5	Hornblend, Gnays, Pegmatit, Granit
Oldukça aşındırıcı	4.25 – 4.5	Amfibolit, Granit
Aşındırıcı	4.0 – 4.25	Granit, Gnays, Şist, Piroksen, Kumtaşı
Orta aşındırıcı	3.5 – 4.0	Kumtaşı, Silttaşı
Biraz aşındırıcı	2.5 – 3.5	Dolomit
Az aşındırıcı	1.25 – 2.5	Portland Kumtaşı
Çok az aşındırıcı	< 1.2	Kireçtaşı

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Malzeme Özellikleri

Çalışma kapsamında incelenen kaya örnekleri, Austin (Teksas - ABD) şehir içinde GB-KD doğrultusunda uzanan bir şerit halinde yüzlek veren Buda Formasyonu'na aittir. Kretase yaşlı formasyon sığ deniz ortamı ürünü olup, çökeliminde gel-git ve fırtına sonucu yeniden çökelim (reworking) etkili olmuştur. İncelenen kireçtaşının karbonat bileşenleri 2 alt başlıkta incelenebilir: spar kumlu mikrit ve beyaz mikrit. Intraklastlar ise yine karbonat olmakla birlikte çökelim zamanı farklı olduğu için farklı gruplanmıştır. Buda Kireçtaşları 6 fasiyese ayrılarak tanımlanabilir Hixon (1959). Beş kireçtaşı fasiyesi aşağıda tanımlanmıştır. Kireçtaşları arasında ara katman olarak gözlenen

şeyl Hixon (1959) tarafından altıncı fasiyes olarak kabul edilmiştir.

Spar: Spar çimentolu kireçtaşları türbülânslı ve göreceli olarak daha sığ deniz ortamında gelişmiştir. Tüm formasyon içinde azınlıkta kalmaktadır.

Kumlu Mikrit: Bölgesel olarak kuzeyden taşınan yarı yuvarlak kuvars taneleri karbonat hamur içinde kumlu mikrit halini almıştır. Kuvars taneleri yarı yuvarlak olup, aralarında ekinoid parçaları içerirler.

Beyaz Mikrit: Buda kireçtaşı içinde egemen fasiyestir. Bu fasiyesin hâkim olduğu kaya malzemeleri göreceli olarak daha uniform ve dayanımlı özellik sunarlar.

Intraklast: Deniz seviyesinin düşmesi ve erozyon sonucu kireçtaşı aşınarak yine kendi kütlesi içinde çökeldiğinde tanecikler intraklast adını almaktadır. Intraklast seviyelerinde aşınma yapılarına da bolca rastlanmaktadır.

Siyah Mikrit: Siyah renk karbonat taneciklerinin organik malzeme ile kaplanması sonucu oluşmuştur.

Laboratuvar Deneyleri

Deneysel çalışmalar Austin (Teksas - ABD) şehir içi geçiş tüneli sondajlarından alınan kaya örnekleri üzerinde yapılmıştır. İnceleme kapsamında 47 adet karot örnek üzerinde fasiyes ayrımı yapılmadan, tek eksenli sıkışma deneyi, nokta yükleme, Brezilya dolaylı çekme deneyleri ASTM standartlarına göre gerçekleştirilmiştir. Kayanın aşındırıcılık etkilerinin belirlenmesi amacı ile aynı örnek üzerinde CERCHAR Aşındırma İndeksi Deneyi yapılmıştır. CERCHAR deney sonuçları ile diğer kaya mekaniği parametreleri arasında ilişkilendirmeler yapılmıştır. Deneylere ait ayrıntılar aşağıda açıklanmış, deney sonuçları ise çizelge 3'te özetlenmiştir.

Çizelge 3. Deney sonuçlarının en düşük, ortalama ve en büyük değerleri.

Table 3. Minimum, mean and maximum values of test results.

	Tek eksenli sıkışma dayanımı UCS (MPa)	Nokta yükü indeksi $I_{S(s_0)}$ (MPa)	Brezilya dolaylı çekme dayanımı TS (MPa)	CERCHAR	
				CAI	YD (mm)
En düşük	12.14	0.40	1.75	0.05	0.19
Ortalama	48.88	3.09	4.84	0.49	0.58
En yüksek	116.20	6.52	10.22	1.72	1.18

Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı Deneyi: Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (UCS) Deneyleri GCT Servo Controll cihazı kullanılarak, ASTM D 2938 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Deney örnekleri boy/çap oranı 2 olacak şekilde hazırlanmış ve örneklerin alt ve üst yüzeylerinin paralelliğinin sağlanması

amacıyla yatay freze ile tesviye edilmiştir (Şekil 2). Numuneler farklı fasiyeslerde sığ deniz ortamı çökelleri olduğundan, deney sonucunda 12 – 110 MPa gibi geniş bir aralıkta UCS değerleri elde edilmiştir. Benzer bir şekilde diğer deney sonuçları da geniş dağılım içinde bulunmaktadır.



Şekil 2. Tek eksenli sıkışma deneyi örneği
Figure 2. Uniaxial compressive strength test sample

Dolaylı Çekme (Brezilya) Deneyi: ASTM D 3967 standardına uygun olarak, 50 mm çapında ve 30 mm kalınlığında disk numuneler üzerinde yapılan Brezilya deneylerinde 1 MPa - 7 MPa gibi geniş aralıkta değerler belirlenmiştir. Aynı örnek üzerinde CERCHAR deneyi yapılması için örneklerin yüzeyleri tesviye edilmiştir (Şekil 3).



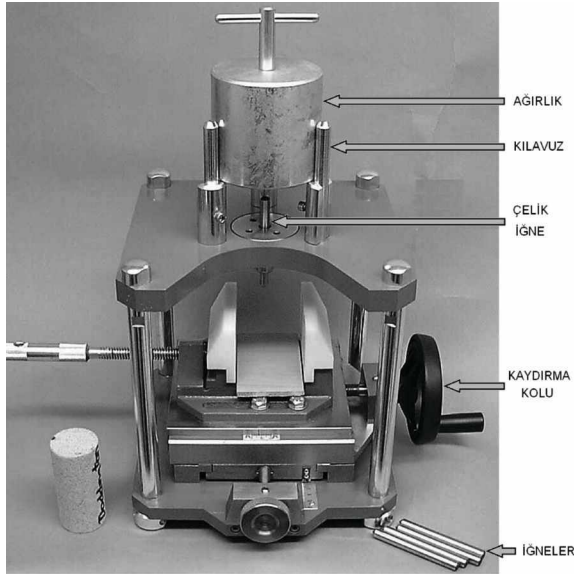
Şekil 3. Brezilya Dolaylı Çekme Deneyi sonunda yenilmiş örnek (örnek yüzeyinde aşınma deneyi izleri de görülmektedir).

Figure 3. Failed sample after the Brazilian indirect tensile test (abrasion traces can be seen on the sample face).

Nokta Yükleme Deneyi: Nokta Yükleme Deneyi ASTM D 5731 standardına göre eksenel ve çapsal olarak iki doğrultuda da yapılabilmektedir. Bu çalışma kapsamında yapılan deneyler yüzeyi tesviye edilmiş numunelerde ve eksenel doğrultuda gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları 50 mm karot eşdeğer boyutu için düzeltmeye tabi tutularak $I_{s(50)}$ değerleri elde edilmiştir.

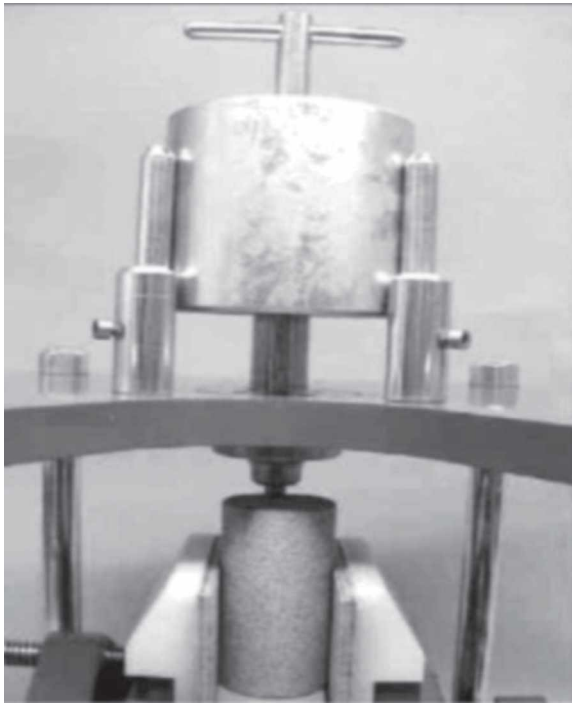
Aşındırıcılık (CERCHAR) Deneyi: CERCHAR aşındırıcılık indeks değerleri, 90° tepe açılı konik bir çelik uçun 70 N bastırma kuvveti ile kaya numunesi yüzeyi üzerinde 1 cm boyunca çekilmesi ve ucun tepesinde oluşan aşınma yüzeyi boyutlarının ölçülmesi ile bulunmuştur. Kullanılan çelik uçun sertliği Rockwell HRC 43'tür. Deneylerde kullanılan ve "West Düzeneği" (West, 1989) olarak bilinen aygıtın ayrıntısı Şekil 4'te gösterilmektedir. Aşınma ölçümleri tesviye edilmiş veya düzensiz kırılmış yüzeylerde yapılabilirken, bu çalışmada dayanım parametreleri ile korelasyonlar yapılacağından, deneylerin tamamı tesviye edilmiş düz yüzeyler üzerinde yapılmıştır (Şekil 5).

Aşınma ölçümleri için ProScope HR dijital mikroskop ve 50X büyütme lensi kullanılmıştır. Sayısal görüntüler elde edildikten sonra kalibre edilmiş bir dijital kumpas bilgisayar programı (Iconico Screen Caliper v.4) aracılığıyla ölçümler gerçekleştirilmiştir (Şekil 6). Yapılan deneylerde çelik uçta aşınma oluşurken aynı zamanda kayada da aşınmanın gerçekleştiği gözlenmiştir. Çizgi uzunluğu boyunca (1 cm) çelikteki aşınma çapı artmakta, buna paralel olarak ortaya çıkan yarığın da derinliği artmaktadır. Bu nedenle CERCHAR deney yönteminde öngörülen konik uç üzerindeki aşınma ölçümlerinden başka, konik ucun (çelik iğne) kaya üzerinde açtığı yarığın derinliği de ölçülmüştür.

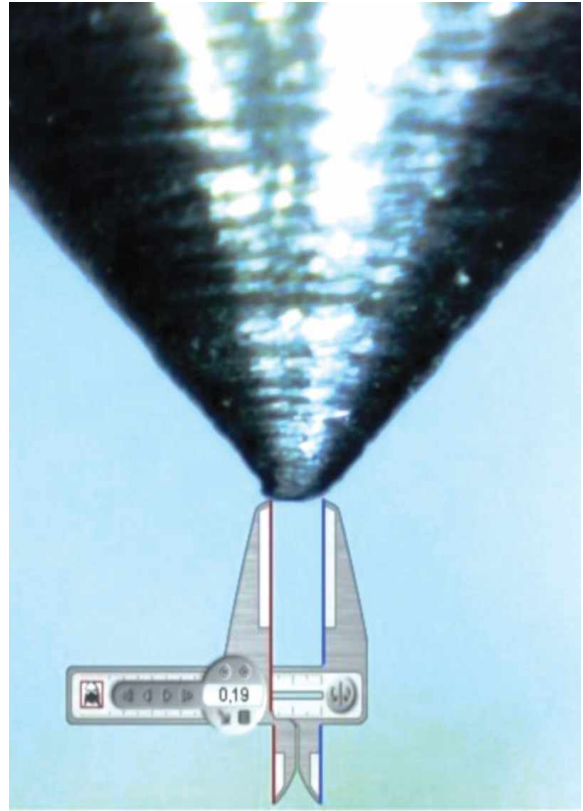


Şekil 4. Aşındırma deneylerinde kullanılan CERCHAR düzeneği (West Düzeneği).

Figure 4. CERCHAR device used in abbrassion tests (West apparatus).



Şekil 5. Silindir karot örnek üzerinde deneyin uygulanışı.
Figure 5. Application of test on a cylindrical core sample.



Şekil 6. Dijital mikroskop ve ekran kumpası bilgisayar programı yardımı ile çelik uç üzerindeki aşınmanın ölçümü

Figure 6. Measurement of wear on a steel pin by means of a digital microscope and screen caliper software.

Çelik uçtaki aşınma çizgi işleminin sonundaki değer olarak ölçüldüğünden, yarıktaki çizginin sonundaki en büyük derinlik ölçülmüştür. Ölçümler yarık ile kenarındaki düz alan arasındaki kot farkının, ucunda iğne bulunan özel bir elektronik komparatör kullanılarak ölçülmesi ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 7). Yarık derinliğinin hassas ölçülebilmesi için numune alt ve üst yüzelerinin tesviye edilmiş ve kusursuz paralel olması gerekir. Ölçme işlemi numune pürüzlülüğü ve paralellliğini kontrol için kullanılan bir sehpa üzerinde yapılabilir.



Şekil 7. İğne uçlu komparatör ile kaya üzerindeki aşınma derinliğinin ölçümü.

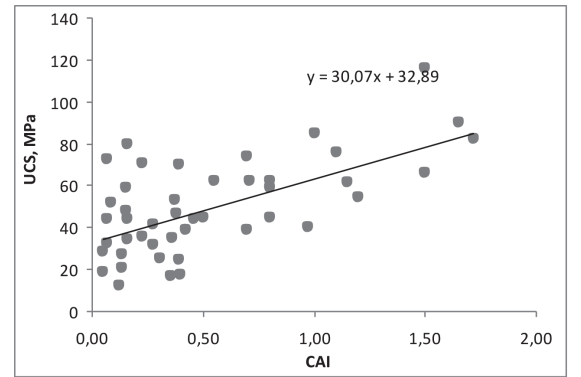
Figure 7. Measurement of depth of indentation using sharp ended gauge.

BULGULAR

Bu bölümde deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar grafikler halinde sunulmakta ve parametreler arasındaki ilişkiler verilmektedir. Çalışma sonucunda tüm kaya örnekleri için CAI değerleri 1.72'nin altında, çoğunluğun ise 0.2 - 1 aralığında olduğu belirlenmiştir. Çizelge 2'de verildiği gibi literatürde kireçtaşları için CAI değeri en fazla 1.2 civarında rapor edilmiştir. Bu çalışmada test edilen örneklerin bazıları mikritik yapıda ve buna bağlı olarak yoğun olduğundan, yoğunluğa bağlı olarak aşındırıcılık kazandığı düşünülmektedir.

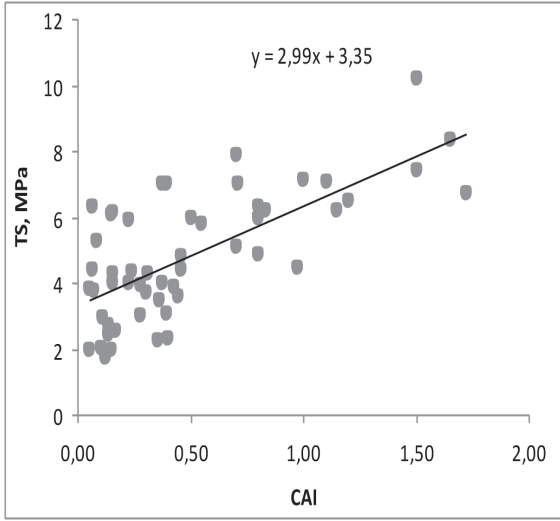
CERCHAR Aşındırıcılık İndeksi (CAI) ile Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (UCS) ve Brezilya Dolaylı Çekme Dayanımı (TS) değerleri arasında ilişki araştırılmıştır. Bu amaçla parametreler iki boyutlu regresyon analizine tabi tutulmuştur. Şekil 8'de ve 9'da görüldüğü gibi değişkenler arasında doğrusal bir ilişki belirlenmiştir. CAI ile düzeltilmiş Nokta Yükü Dayanım İndeksi ($Is_{(50)}$) arasında ise anlamlı bir ilişki gözlenmemiştir (Şekil 10).

CERCHAR Aşındırıcılık İndeksi (CAI) ile Yarık Derinliği (YD) arasında ters orantılı üstel bir ilişki belirlenmiştir (Şekil 11). İlişkinin regresyon katsayısı 0.85 gibi yüksek bir değer almıştır. Test edilen kayacın aşındırıcı mineraller bulunmadığı dikkate alınarak, aşınmayı ve aşındırıcılığı, yoğunluk ve çimentolanmanın kontrol ettiği düşünülmektedir. Yarık Derinliği ile Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı ve Brezilya Dolaylı Çekme Dayanımı değerleri arasında ters orantılı bir ilişki olduğu belirlenmiştir (Şekil 12 ve 13). Yarık Derinliği ile Nokta Yükü Dayanım İndeksi ($Is_{(50)}$) arasındaki ilişkinin ise çok zayıf bir ilişki olduğu gözlenmektedir (Şekil 14).



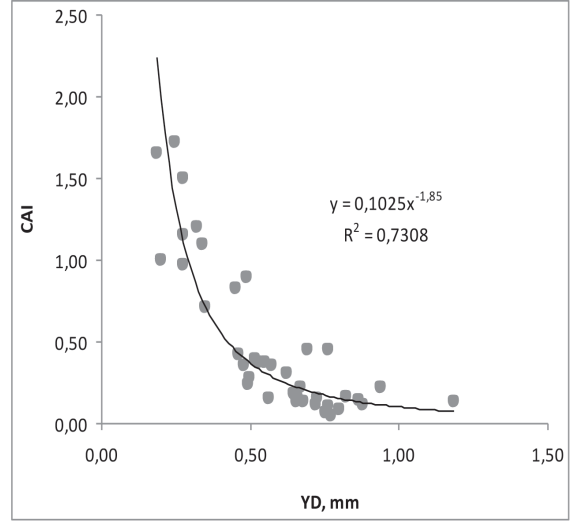
Şekil 8. CERCHAR Aşınma İndeksi (CAI) ve Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (UCS) ilişkisi ($R = 0.61$).

Figure 8. CERCHAR Abrasive Index (CAI) and uniaxial compressive strength (UCS) relationship ($R = 0.61$).



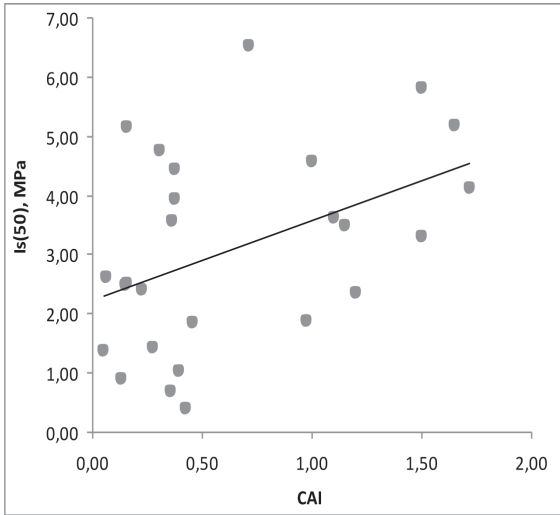
Şekil 9. CERCHAR Aşınma İndeksi (CAI) ve Dolaylı Çekme Dayanımı (TS) ilişkisi ($R = 0.70$).

Figure 9. CERCHAR Abrassive Index (CAI) and indirect tensile strength (TS) relationship ($R = 0.70$).



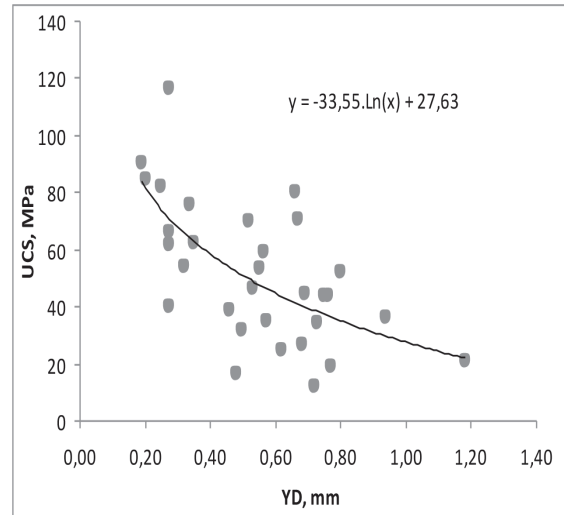
Şekil 11. CERCHAR Aşınma İndeksi (CAI) ve CERCHAR Yark Derinliği (YD) ilişkisi ($R = 0.85$).

Figure 11. CERCHAR Abrassive Index (CAI) and CERCHAR depth of indentation (YD) relationship ($R = 0.85$).



Şekil 10. CERCHAR Aşınma İndeksi (CAI) ve düzeltilmiş Nokta Yüğü Dayanım İndeksi ($I_{s(50)}$) ilişkisi ($R = 0.43$).

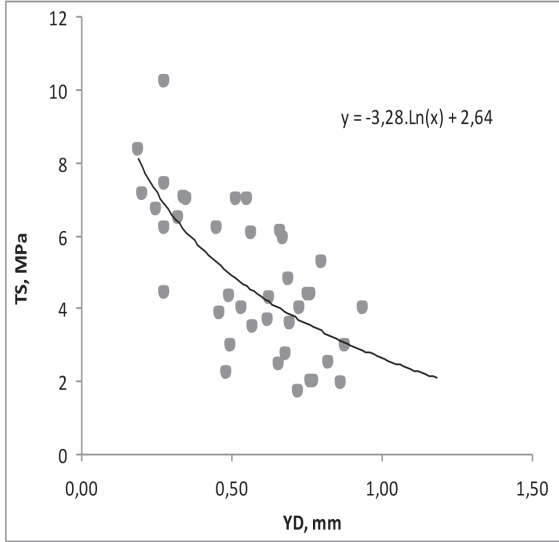
Figure 10. CERCHAR Abrassive Index (CAI) and corrected point load index ($I_{s(50)}$) relationship ($R = 0.43$).



Şekil 12. CERCHAR Yark Derinliği (YD) ve Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (UCS) ilişkisi ($R = 0.65$).

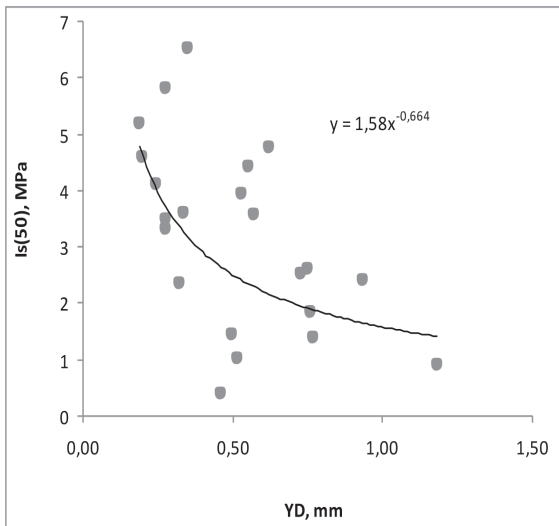
Figure 12. CERCHAR depth of indentation (YD) and uniaxial compressive strength (UCS) relationship ($R = 0.65$).

Dipova



Şekil 13. CERCHAR Yarınc Derinliği (YD) ve Brezilya Dolaylı Çekme Dayanımı (TS) ilişkisi (R = 0.70).

Figure 13. CERCHAR depth of indentation (YD) and Brazilian indirect tensile strength (TS) relationship (R = 0.70).



Şekil 14. CERCHAR Yarınc Derinliği (YD) ve Düzeltilmiş Nokta Yüğü Dayanım İndeksi ($I_{s(50)}$) ilişkisi (R = 0.49).

Figure 14. CERCHAR depth of indentation (YD) and corrected point load index ($I_{s(50)}$) relationship (R = 0.49).

Aşınma deneyi sonuçları ile UCS ve TS değerleri arasında ilişki çoklu regresyon analizi yolu ile test edilmiştir. Çoklu regresyon analizlerinde DataFitX v.2 bilgisayar programı kullanılmıştır. Analizler sonucunda tekli regresyonlarda elde edilen regresyon katsayılarına göre R değerlerinde artış gözlenmiştir. CAI ve YD değerlerinin UCS (MPa) ve TS (MPa) ile ilişkilendirilmesi Eşitlik 2 ve 3'te verilmektedir.

$$UCS = 30.39 + 23.25*CAI - 10.88*\ln(YD) \quad (2)$$

$$R = 0.69$$

$$TS \text{ (MPa)} = 2.96 + 2.26*CAI - 1.02*\ln(YD) \quad (3)$$

$$R = 0.74$$

SONUÇLAR

Test edilen kaya örnekleri için CAI değerleri 1.72'nin altında, çoğunluğu ise 0.2 – 1.0 aralığında çıkmıştır. Örneklerin bazıları mikritik yapıda ve yoğun olduğundan, yoğunluk ve çimentolanmaya bağlı olarak aşındırıcılık kazandığı düşünülmektedir.

Yapılan deneysel ve istatistiksel çalışmalar sonucunda CERCHAR Aşındırıcılık İndeksi (CAI) ile Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (UCS) ve Brezilya Dolaylı Çekme Dayanımı (TS) değerleri arasında ilişki olduğu belirlenmiştir. Nokta Yüğü Dayanım İndeksi ile CAI arasında ise anlamlı bir ilişki gözlenmemiştir.

CERCHAR deneyinde çelik uçtaki aşınmaya ek olarak kaya üzerinde oluşan yarığın derinliği de ölçülmüş ve diğer parametrelerle ilişkisi araştırılmıştır. CAI ile Yarınc Derinliği arasında 0.85 korelasyon katsayısı ile bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Yarınc Derinliği (YD) ile Brezilya Dolaylı Çekme Dayanımı (TS) değerleri arasında da ilişki olduğu gözlenmiştir.

Böylece CERCHAR deneyinde CAI indeksine ek olarak yarık derinliğinin ölçülmesi ile kayanın diğer özelliklerinin tahmin edilmesinin mümkün olabileceği sonucuna varılmıştır. Yarık Derinliği ile Nokta Yüğü Dayanım İndeksi ($I_{s(50)}$) arasında bir ilişki gözlenmemiştir.

Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (UCS) ve Dolaylı Çekme Dayanımı'nın (TS) tahmininde CERCHAR Aşındırıcılık İndeksi (CAI) ve Yarık Derinliği'nin (YD) birlikte analiz edilmesi sonucu korelasyon katsayılarının yükseldiği görülmüştür.

Kayaçların aşındırıcılığının belirlenmesinde kullanılan CAI parametresi ve bunu elde etmekte kullanılan CERCHAR yöntemi, yumuşak kaya malzemeleri için geliştirilmelidir. Deneyin, farklı sertlikteki konik ucun sertliği ve/veya farklı uygulanan normal yük altında uygulanması önerilir. CERCHAR Aşınma Deneyi yapılırken çizme sırasında oluşan yarığın derinliğinin de ölçülmesi önerilmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada sunulan deneyler Austin (Teksas - ABD) şehir içi geçiş tüneli sondajlarından alınan kaya örnekleri üzerinde, Teksas Üniversitesi (Austin - ABD) İnşaat Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Yazar desteklerinden ötürü bölüm yetkililerine teşekkürü bir borç bilir.

KAYNAKLAR

Al-Ameen, S.L., Waller, M.D., 1994. The influence of rock strength and abrasive mineral content on the CERCHAR abrasive index. *Engineering Geology*, 36, 293-301.

Altındağ, R., Şengün, N., Saraç, S., Mutlutürk, M., Güney, A., 2009. Evaluating the relations between brittleness and cerchar abrasion index of rocks. Eurock 2009, ISRM Regional Symposium, Croatia, 195-200.

ASTM D 2938, Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Intact Rock Core Specimens. ASTM International, West Conshohocken, PA.

ASTM D 3967, Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Intact Rock Core Specimens. ASTM International, West Conshohocken, PA.

ASTM D 5731, Standard Test Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock. ASTM International, West Conshohocken, PA.

ASTM D7625, Standard Test Method for Laboratory Determination of Abrasiveness of Rock Using the CERCHAR Method. ASTM International, West Conshohocken, PA.

Atkinson, R.H., 1993. Hardness Tests for Rock Characterization. In: Hudson, J. (ed) *Comprehensive rock engineering. Principles, practice and projects*, vol 3. Pergamon- Oxford Press, 105-117.

Atkinson, T., Cassapi, V.B., Singh, R.N., 1986. Assessment of abrasive wear resistance potential in rock excavation machinery. *International Journal of Mining and Geological Engineering*, 3, 151-163.

Bilgin, N., 1989. İnşaat ve Maden Mühendisleri için Uygulamalı Kazı Mekaniği. Birsen Yayınevi, İstanbul, 192 s..

CERCHAR, 1986. The CERCHAR abrasiveness index. Centre d'Études et des Recherches des Charbonages de France. Verneuil.

DataFitX v.2 Curve Fitting (nonlinear regression) and Data Plotting Software, Oakdale, PA-USA (<http://www.oakdaleengr.com/>)

- Fowell, R.J., Abu Bakar, M.Z., 2007. A review of the Cerchar and LCPC rock abrasivity measurement methods. 11th Congress of the International Society for Rock Mechanics, Second half century for rock mechanics, Vol. 1, 155-160.
- Hixon, S.B., 1959. Facies and petrography of the cretaceous Buda limestone of Texas and Northern Mexico. University of Texas, USA, MA Thesis, 152 p, (yayımlanmamış).
- Iconico Screen Calipers, Iconico Inc., New York, NY-USA (<http://www.iconico.com/caliper/>).
- Johnson, S.T., Fowell, R.J., 1986. Compressive strength is not enough (Assessing Pick Wear for Drag Tool-Equipped Machines). In: Proceedings of the 27th US Symp Rock Mechanics, Tuscaloosa, Alabama, USA, 840-845.
- Michalakopoulos, T.N., Anagnostou, V.G., Bassanou, M.E., Panagiotou, G.N., 2005. The influence of steel styli hardness on the Cerchar abrasiveness index value. International Journal of Rock Mechanics Mining Sciences and Geomechanical Abstracts, 43, 321-327.
- Plinninger, R., Kasling, H., Thuro, K., Spaun, G., 2003. Technical note – Testing conditions and geomechanical properties influencing the CERCHAR abrasiveness index (CAI) value. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 40 (2), 259-263.
- Schimazek, J., Knatz, H., 1976. Die beurteilung der bearbeitbarkeit von gesteinen durch schneid - und rollenbohrwerkzeuge. Erzmetall, 29 (3), 113-119.
- Suana, M., Peters, T., 1982. The CERCHAR abrasivity index and its relation to rock mineralogy and petrography. Rock Mechanics and Rock Engineering, 15, 1-7.
- Valantin, A., 1973. Test CERCHAR pour la mesure de la dureté et de l'abrasivité des roches. Annexe de l'exposée présentée aux Journées d'Information « Techniques de creusement » Novembre 1973, Luxembourg.
- West, G., 1986. Relation between abrasiveness and quartz content for some coal measures sediments. International Journal of Mining and Geological Engineering, 4, 73-78.
- West, G., 1989. Technical Note – rock brasiveness testing for tunnelling, in International Journal of Rock Mechanics, Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, 26 (2), 151-160.
- Yaralı, O., Yaşar, E., Bacak, G., Ranjith, P.G., 2008. A study of rock abrasivity and tool wear in coal measures Rocks. International Journal of Coal Geology, 74, 53-66.

Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasına Bir Örnek: Çayeli (Rize, KD Türkiye)

An Example for Preparation of GIS-Based Landslide Susceptibility Maps: Çayeli (Rize, NE Türkiye)

Serhat DAĞ¹, Fikri BULUT²

¹Gümüşhane Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, GÜMÜŞHANE

²Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, TRABZON

Geliş (received) : 16 Mayıs (May) 2011
Düzeltilme (revised) : 27 Şubat (February) 2012
Kabul (accepted) : 11 Nisan (April) 2012

ÖZ

Ülkemizin en fazla yağış alan ve engebeli bölgelerinden biri olan Karadeniz Bölgesi'nde ve özellikle de Doğu Karadeniz Bölümü'nde meydana gelen doğal afetlerin başında heyelanlar gelmektedir. Bölge açısından heyelanların oluşturduğu hasar, uzun vadede dikkate alındığında, depremden daha fazladır. Bu çalışmada, Çayeli yöresinde 2002 yılı temmuz ayındaki sağanak yağış sonucunda meydana gelen heyelanlar araştırılmış ve inceleme alanının heyelan duyarlılık haritası hazırlanmıştır. İlk olarak heyelan envanter haritası oluşturulmuş ve toplam 149 adet heyelan haritalanmıştır. Arazi incelemeleri sonucunda litoloji-ayırışma, yamaç eğimi, yamaç eğim yönü, arazi örtüsü, yükseklik, akarsuya yakınlık faktörleri, heyelana neden olan parametreler olarak değerlendirilmiştir. İnceleme alanına ait topoğrafik ve tematik haritalar kullanılarak Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanında parametre haritaları üretilmiştir. Haritalar mevcut heyelanlarla ilişkilendirilerek frekans oranı değerleri belirlenmiştir. Bu değerlendirmelere göre, tamamen ayrıışmış dasit ve piroklastitleri ile tamamen ayrıışmış andezit-bazalt ve piroklastitlerinin heyelan oluşumunda etkili olduğu düşünülmektedir. Yine eğim sınıflarından 0° - 20° arası, yamaç eğim yönü sınıflarından kuzey-kuzeydoğuya bakan yamaçlar, topoğrafik yükseklik sınıflarından 0 - 200 m arasındaki yükseklik sınıfları elde edilen değerlere göre önemli görülmüştür. Benzer şekilde tarımsal alan ve yerleşim alanlarından oluşan arazi sınıfları ile 0 - 100 m arasındaki akarsuya yakınlık sınıfları da ikili karşılaştırmalarda önemli olarak değerlendirilen parametre sınıflarıdır. Daha sonra ağırlık değerleri hesaplanmış ve bu değerler dikkate alınarak heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Son olarak üretilen haritanın performansını analiz etmek için mevcut heyelanlarla duyarlılık haritası karşılaştırılmış ve mevcut heyelanların % 81'inin duyarlı, yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlarda bulunduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: CBS, Çayeli, Duyarlılık haritası, Frekans oranı, Heyelan.

S. Dağ

E-Posta: serhatdag@gumushane.edu.tr

ABSTRACT

Landslides are leading natural disasters occurring in the Black Sea Region, which is one of the regions receiving a great deal of rain and which is the roughest one in our country, particularly the Eastern Black Sea. In the region, the damage caused by landslides is greater than that caused by earthquakes in the long term. In this study, the landslides that occurred in Çayeli in July 2002 as a result of heavy rain were investigated and the landslide susceptibility map was prepared for the study area. Initially, a landslide inventory map was created and 149 landslides in total were mapped. Based on field investigations, the factors of lithology-weathering, slope angle, slope aspect, landcover, elevation and proximity to river were evaluated as the parameters causing the landslides. Using topographical and thematic maps, the parameter maps were created in Geographical Information Systems (GIS) environment,. Associating the maps with the current landslides, their frequency ratio values were determined. In the light of these evaluations, it is thought that completely weathered dacite and pyroclastics, and completely weathered andesite-basalt and pyroclastics are effective in the landslide occurrence. The slope classes between 0° and 20°, northward-northeastward slopes and the elevation classes between 0 and 200 m were regarded as significant according to the obtained values. Similarly, landcover classes from agricultural and settlement area, and proximity to river classes between 0 - 100 m are parameter classes considered significant in paired comparisons. Then, weighted values were calculated and by taking these values into account, a landslide susceptibility map was created. Finally, to analyse the performance of the map, the current landslides and the susceptibility map were compared and 81% of current landslides were determined to be situated in susceptible, highly susceptible and very highly susceptible areas.

Key Words: GIS, Çayeli, Susceptibility Map, Frequency ratio, Landslide

GİRİŞ

Literatürde farklı tanımlamaları yapılan heyelanlar, genel anlamda yerel jeolojik, hidrolojik, jeomorfolojik koşulların ürünü olarak bitki örtüsü, arazi kullanımı, insan aktiviteleri tarafından etkilenen, yağış ve sismik olayların sıklığı ve şiddeti tarafından kontrol edilen yapay ve doğal şev duraysızlıklarıdır (Souters ve Van Westen, 1996). Ani ve şiddetli yağışların ve depremlerin yanı sıra, gerekli jeoteknik çalışmalar yapılmadan yerleşime açılan yamaçlardaki yapı inşaatı, değişik amaçlı patlatma ve kazı

çalışmaları, doğal bitki örtüsünün tahrip edilmesi gibi nedenler herhangi bir alanda meydana gelen heyelanları tetiklemektedir.

İnsan yaşamını doğrudan ya da dolaylı olarak olumsuz yönde etkilemesi, konuya olan hassasiyeti gün geçtikçe artırmaktadır. Daha önceleri yerel duraysızlıkların incelenmesine yönelik olarak yapılan çalışmalar, günümüzde daha geniş alanlara yönelik bölgesel değerlendirmeler yönünde artmıştır (Gökçeoğlu ve Aksoy, 1996; Baeza ve Corominas, 2001; Lee vd. 2001; Donati ve Turruni, 2002; Ercanoğlu

ve Gökçeoğlu, 2002; Yeşilnacar ve Topal, 2005; Çan vd., 2005; Dağ vd. 2006; Dağ, 2007; Akgün ve Bulut, 2007; Yalçın ve Bulut, 2007; Akgün vd. 2008; Nefeslioğlu vd., 2008; Yalçın, 2008; Yılmaz, 2009; Akgün ve Türk, 2010a,b).

Bugün dünyada heyelanlardan dolayı yüzlerce insan hayatını kaybetmekte ve bu heyelanlar ülke ekonomilerine büyük zararlar vermektedir. Japonya'da doğal afetlerden dolayı meydana gelen can kayıplarının hemen hemen yarısı heyelanlardan kaynaklanmaktadır (Dağ, 2007). Ülkemiz açısından değerlendirildiği zaman, durum çok farklı değildir. Özellikle Karadeniz Bölgesi'nde uzun zaman aralıklarında heyelanların meydana getirdiği can ve mal kaybı, depremden daha fazladır. Sarp topoğrafyası nedeni ile yerleşim alanlarının sınırlı olduğu bölgede, artan nüfus yoğunluğundan dolayı heyelan alanlarında gerçekleştirilen plansız yapılaşma, heyelan nedeniyle meydana gelebilecek zararları artırmaktadır.

Sahanın fiziki yapısı dikkate alınmadan artan plansız ve dikkatsiz yapılaşma ve projelendirmeler sonucu, heyelan açısından riskli alanlar hem yerleşim alanı hem de mühendislik yapı alanları (yol, baraj, köprü vb.) olarak kullanılmaktadır. Sonuçta bu alanlar, meydana gelen heyelanlar nedeni ile kullanılamaz hâle gelmekte ve beraberinde getirdiği büyük sosyal ve ekonomik kayıplarla terk edilmek zorunda kalmaktadır. Soruna çözüm olması bakımından riskli alanların belirlenmesi kaçınılmaz bir gerçektir.

Heyelan zararlarının azaltılması yönünde yapılan çalışmaların önemli ve başlangıç aşamasını, çalışılan bölgenin heyelan envanteri ve bunun değerlendirilmesi ile oluşturulan duyarlılık haritasının hazırlanması oluşturmaktadır.

Bu çalışma kapsamında Rize ili Çayeli ilçesi ve çevresinin, heyelan duyarlılık haritasının hazırlanması amaçlanmıştır.

Doğu Karadeniz Bölümü'nde yer alan Çayeli ilçesi ve çevresinde 23 Temmuz 2002 tarihinde sağanak şeklinde yağın şiddetli yağış sonucunda çok sayıda heyelan meydana gelmiştir. Bu çalışmada öncelikle, bu tarihte yağışların tetiklediği heyelan alanları uzun süreli arazi çalışmaları ile belirlenmiş ve heyelan envanteri oluşturulmuştur. Üretilen parametre haritaları mevcut heyelanlarla ilişkilendirilerek frekans oranı değerleri belirlenmiştir. Daha sonra ağırlık değerleri hesaplanmış ve bu değerler dikkate alınarak heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir.

İNCELEME ALANI VE JEOLJİ

İnceleme alanı, Doğu Karadeniz Bölümü'nde Rize iline bağlı Çayeli ilçesi ve çevresinde yaklaşık 160 km²'lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1). Karadeniz Bölgesi'ne özgü, ılıman ve her mevsim bol yağışın hüküm sürdüğü inceleme alanında 1975 - 2006 yılları arasında ölçülen yıllık ortalama yağış miktarı 2238 mm'dir (MİGM, 2007).

Yörede sahil kesiminden itibaren iç kesimlere doğru gidildikçe âni yükselen yamaçlar yer almaktadır. Bu yamaçların ortalama eğimleri 0° - 20° arasında değişmektedir. Bölgenin morfolojik yapısına uygun olarak çok sayıda düzenli ve düzensiz akış rejimine sahip akarsu mevcut olup, bunlar dentritik bir drenaj ağı oluşturmaktadır. Çalışma alanı içerisindeki dereler, 8 - 10 km'lik akış mesafelerinde yaklaşık 1000 m'ye ulaşan kot farkına sahip eğimli vadiler içerisinde akmaktadır.



Şekil 1. İnceleme alanının yerbulduru haritası.
Figure 1. Location map of the study area.

Bu durum akış hızını artırmakta ve daha fazla miktarda malzemenin taşınmasına neden olmaktadır. Hemen hemen her mevsim bol yağışlı bir iklimin hüküm sürmesi, yörede bitki örtüsünün gür ve çeşitli olmasına neden olmuştur.

Rize ilinin de içerisinde yer aldığı Doğu Karadeniz Bölümü, çok geniş anlamda Alpin dağ oluşumuna bağlı olarak Jura - Pliyosen zaman aralığında gelişmiş adayayı dizisinin bir parçasıdır (Korkmaz ve Gedik, 1988). Jeolojik evrime bağlı olarak, yörede volkanik kayalar egemendir. Sedimanter kökenli kayalar çok az ve genellikle arakatki şeklinde gelişmiştir.

İnceleme alanında yüzeyleyen en yaşlı birimi Santoniyen - Maastrichtiyen yaşlı

Hemşindere Formasyonu oluşturmaktadır (Şekil 2). Formasyon, yer yer kırmızı renkli kireçtaşı, kumtaşı ve marn arakatıkları içeren dasit, andezit - bazalt ve piroklastitlerinden oluşmuştur. Bu birime ait kayalar, yoğun bir şekilde hidrotermal ve yüzeysel ayrışmaya uğramıştır. Asidik karakterli olan intrüzif kayalar inceleme alanında Hemşindere Formasyonu'nu keserek yerleşmişlerdir (Korkmaz ve Gedik, 1988).

İnceleme alanındaki Hemşindere Formasyonu'nun üzerine uyumsuz olarak Melyat Formasyonu gelmektedir (Korkmaz ve Gedik, 1988). Formasyon, masif ve kötü katmanlanma gösteren andezit - bazalt ve piroklastitlerinden (tüf, volkanik breş ve aglomeralardan) oluşmaktadır. Birim içerisinde boyutları birkaç

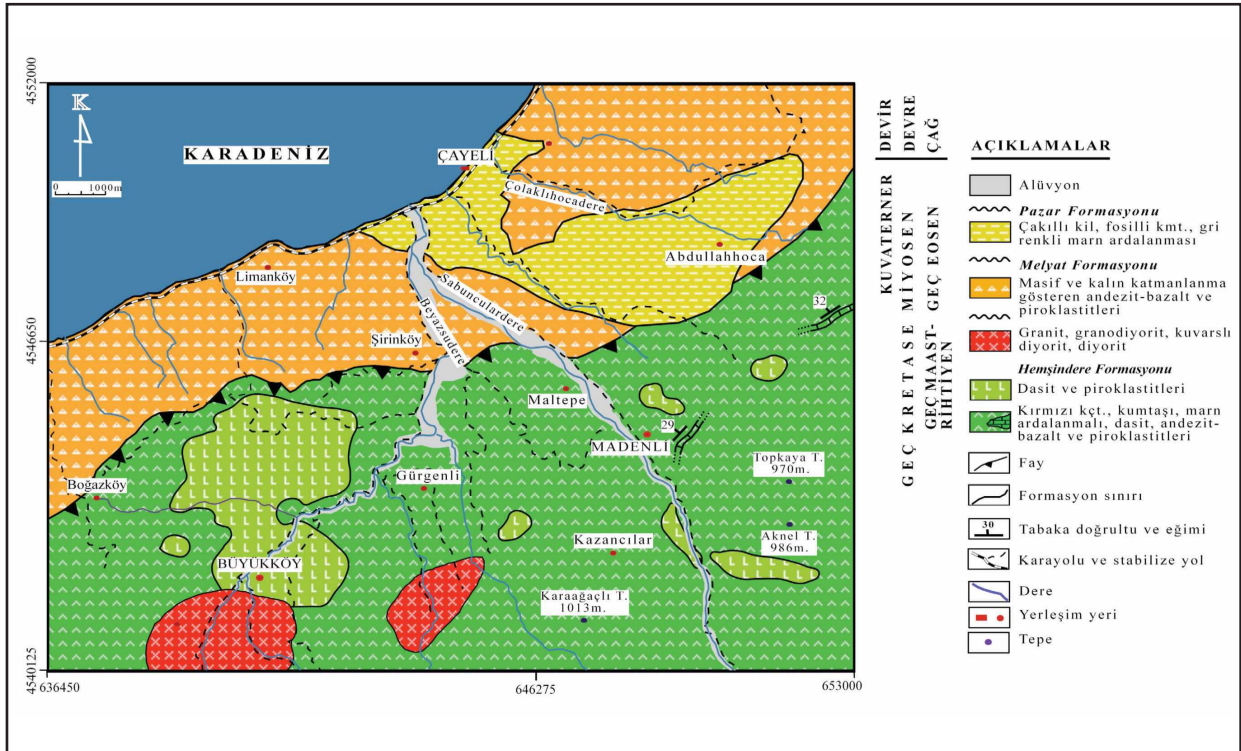
cm'den bir metreye kadar değişen volkanik kökenli bloklar yer almaktadır. Bu formasyona ait andezit ve bazaltlar Geç Kretase yaşlı volkanik kayalara oranla daha sağlamdır.

Melyat Formasyonu üzerine açılal uyumsuzlukla Sarmasiyen yaşlı Pazar Formasyonu gelmektedir. Pazar Formasyonu, tabanda yer yer çakıltaşları ile başlayıp üste doğru kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve kireçtaşı arakatıkları içeren gri renkli marn ardalanmasıyla devam etmektedir.

Jeolojik olarak en genç birimleri taraça ve alüvyonlar oluşturmaktadır. Taraça ve alüvyonlar daha çok büyük dere yatakları ve denize yakın

kesimlerde görülmektedir. Bunlar alttaki yaşlı birimlerden türeyen değişik boyuttaki volkanik kökenli kum ve çakıllardan oluşmuş, kötü boylanmalı güncel oluşuklardır. Yine inceleme alanındaki kuru derelerin içerisinde ve yamaçların eteklerinde yamaç molozları gözlenmektedir. Yamaç molozları, blok boyutundan ince taneli malzeme boyutuna kadar değişen çaplardaki malzemelerin karışımından oluşmuştur.

Bu birimlerin inceleme alanı içerisindeki dağılım ve ilişkileri 1:25000 ölçekli jeoloji haritasında gösterilmiştir (Şekil 2). Ayrıca kaya birimleri ve özellikleri genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesitte verilmiştir (Şekil 3).



Şekil 2. İnceleme alanına ait jeoloji haritası (Korkmaz ve Gedik 1988'den değiştirilerek).

Figure 2. Geological map of the study area (modified from Korkmaz and Gedik, 1988).

ZAMAN DEVİR	DEVRE	ÇAĞ	FORMASYON	KALINLIK	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
SENOZOYİK	TERSİYER	MIYOSEN	PAZAR	30-100 m		Alüvyon
	EOSEN	IPRESİYEN LÜTESİYEN	MELYAT	500 m		Masif ve tabakalanma gösteren andezit-bazalt ve piroklastitleri
MESOZOYİK	KRETASE	GEÇ KRETASE	SANTONİYEN-ERKEN MAASTRİHTİYEN	HEMŞİNERE	3500-5000 m	Andezit-bazalt ve piroklastitleri
						Kumtaşı, marn ve kırmızı kireçtaşı
						Dasit
						Andezit-bazalt ve piroklastitleri
						Kırmızı kireçtaşı
						Granit, granodiyorit, kuvarslı diyorit, diyorit, mikrogranit ve gabro
						Dasit ve dasitik tuf
						Andezit-bazalt ve piroklastitleri

Ölçeksizdir

Şekil 3. İnceleme alanına ait geliştirilmiş stratigrafik kolon kesit (Korkmaz ve Gedik, 1988).

Figure 3. Generalized stratigraphical columnar section of the study area (Korkmaz and Gedik, 1988).

HEYELAN DUYARLILIK ANALİZİNDE KULLANILAN PARAMETRELER

Heyelan Envanteri

Heyelan envanter haritaları, arazideki mevcut heyelanların alansal dağılımını gösteren

haritalardır. Bu tür haritalarda heyelanların türleri, yerleri ve biliniyorsa oluşma zamanları belirtilmektedir. Çalışma alanı içerisinde tespit edilen heyelanlar, daha ziyade akma ve dairesel kayma şeklinde olup hareket eden malzeme yüzeyden itibaren fazla derinliğe sahip değildir



Şekil 4. Çalışma alanındaki heyelanların görüntüsü.

Figure 4. A view of landslides in study area.

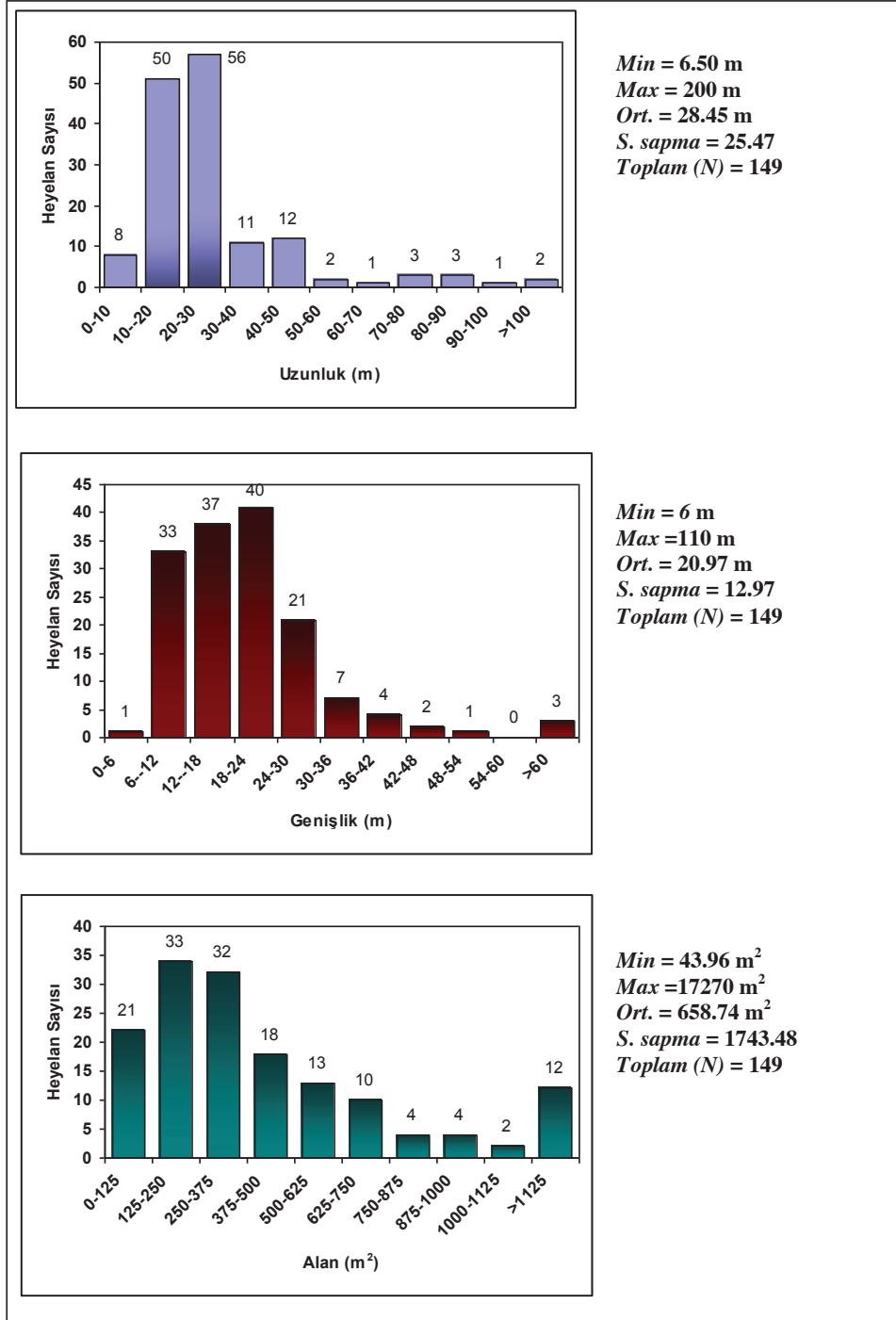
(Şekil 4). Birçoğu çaylık alanlar içerisinde gelişen bu heyelanlar, çay bitkisinin kısa sürelerde yetişmesi nedeni ile çabuk kapanmaktadır. Gerek mevcut heyelanlara ait alanların küçük olması gerekse bu alanların çabuk kapanmasından dolayı heyelan envanter haritasının hazırlanmasında doğrudan arazi çalışmalarından yararlanılmıştır.

İnceleme alanında yapılan saha çalışmaları sonucunda 149 adet heyelan belirlenmiştir. Mevcut heyelanların boyutsal değişimleri hazırlanan histogramlarda verilmiştir (Şekil 5).

Heyelanlara ilişkin ölçülen değerler dikkate alındığında, ortalama uzunlukları 28.45

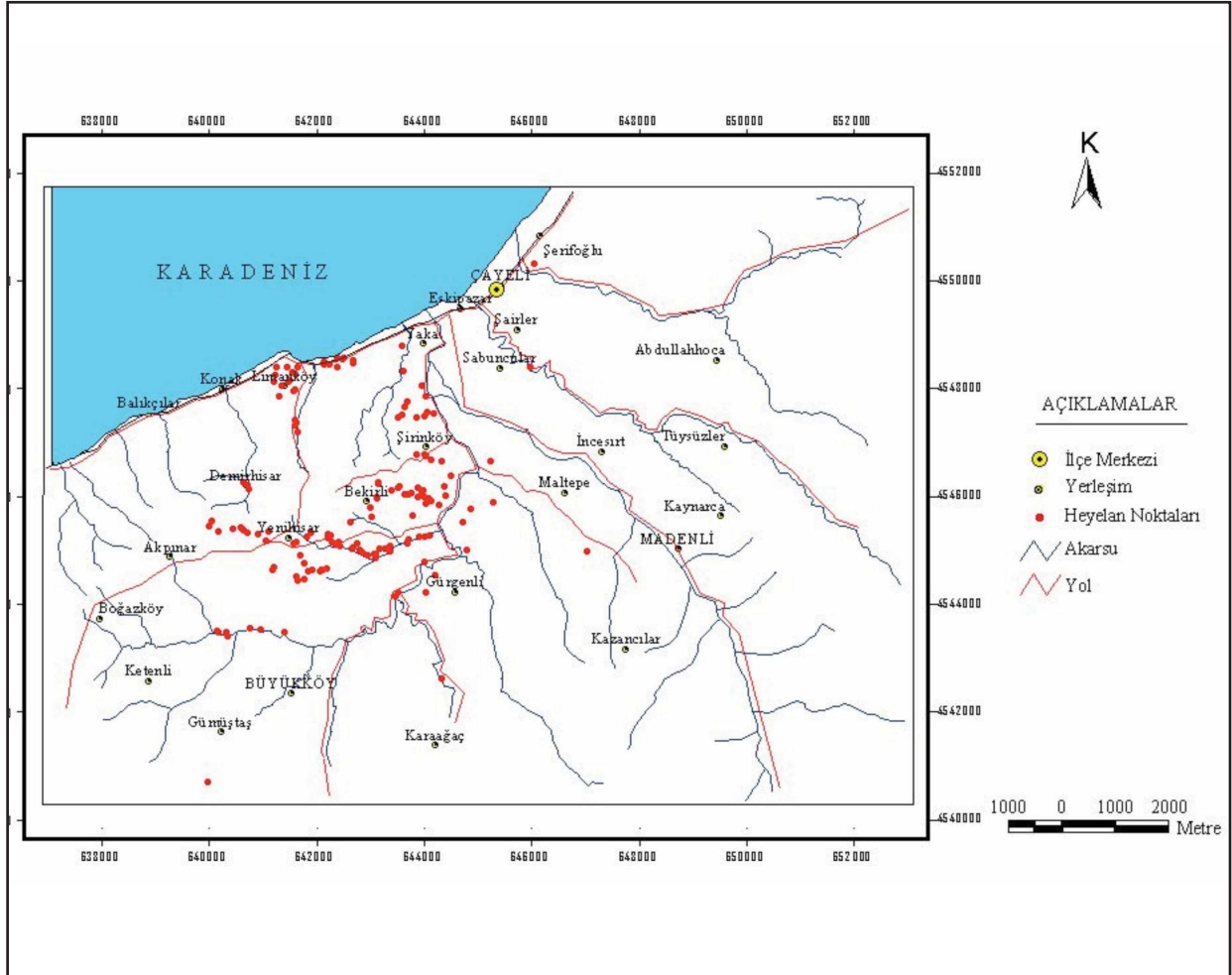
m ve ortalama genişlikleri 20.97 m olarak hesaplanmıştır. Çalışma alanındaki 149 adet heyelanın alansal ortalamaları 658.74 m² ve toplam alanları 98,151 m² olarak belirlenmiştir.

İnceleme alanındaki heyelanların boyutları, 1:25000 ölçekli topoğrafik haritada gösterilemeyecek kadar küçüktür. Bu nedenle mevcut heyelanlar, envanter haritasında ölçek göz önüne alınmaksızın, el GPS aleti ile ölçülen, heyelan başlangıç bölgesine ait koordinat değerleri dikkate alınarak haritaya işaretlenmiştir (Şekil 6).



Şekil 5. Heyelanların uzunluk, genişlik ve alanlarına ilişkin histogramlar.

Figure 5. Histograms regarding the lengths, widths and areas of landslides.



Şekil 6. İnceleme alanının heyelan envanter haritası.

Figure 6. Landslide inventory map of the study area.

Litoloji-Ayrışma

Heyelanların oluşabileceği zemin veya kaya ortamının fiziko-mekanik özellikleri, duraysızlık modellerini doğrudan etkilemektedir. Çünkü farklı litolojik birimlerin kayma dayanımı parametreleri ve su iletme özellikleri birbirinden farklıdır. Dolayısıyla bu birimlerin kaymaya karşı olan duyarlılığı da farklı olmaktadır.

Litolojik anlamda dikkate alınan önemli bir unsur da kayaların ayrışmasıdır. Mineral ve kayalarda sonradan oluşan fiziksel ve kimyasal değişimleri ifade eden ayrışma, kaymayı etkileyen önemli faktörlerden biridir. Aynı litolojiye sahip birimler ayrışma derecelerindeki değişimlere göre farklı duraylılık özelliklerine sahiptir. Bu durum yapılan saha çalışmalarında

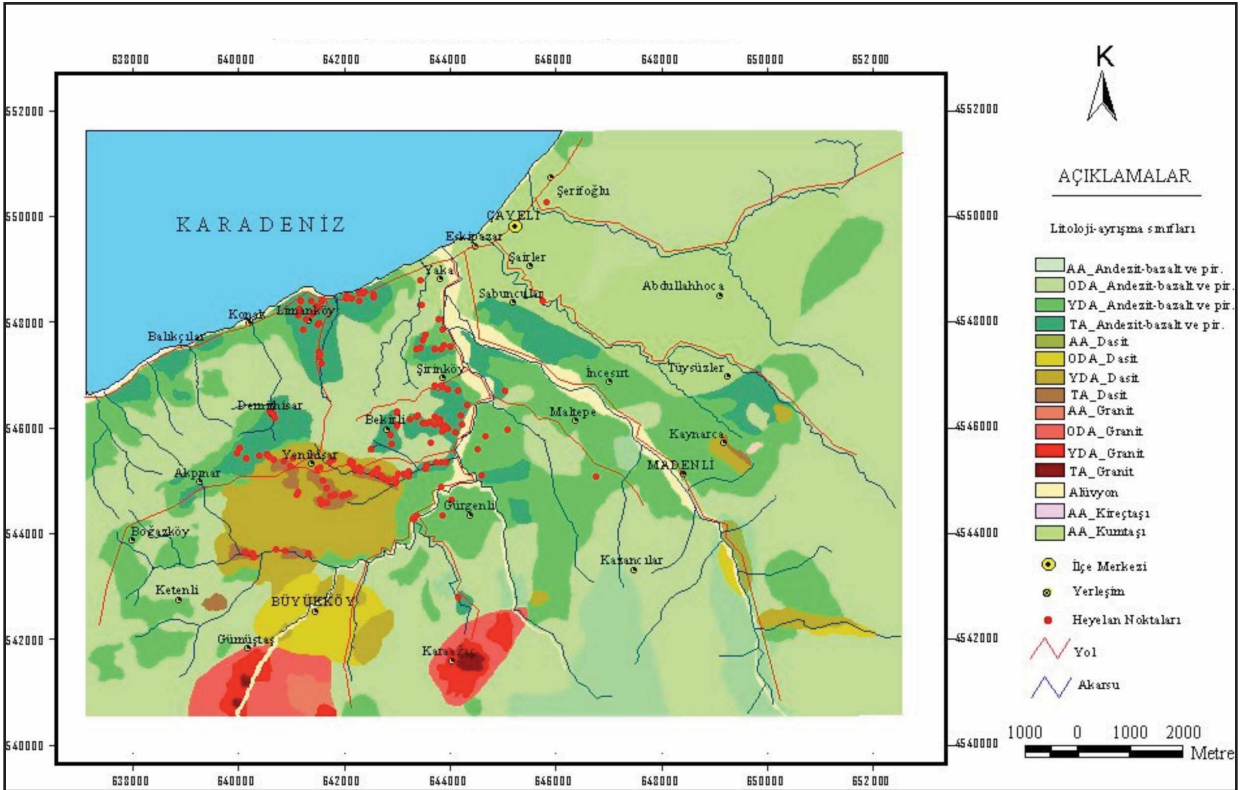
Dağ ve Bulut

da açıkça görülmüştür. Arazide litolojik birimler, çoğunlukla farklı ayrışma derecesinde, duraylılık açısından farklılıklar sunmaktadır. Özellikle tamamen ayrıışmış ve kalıntı zemin özelliğindeki malzemelerde heyelan sayısı, az veya orta derecede ayrıışmış litolojilere oranla çok daha fazladır.

Gerek litoloji gerekse litoloji-ayrışma parametresi, araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasına yönelik pek çok çalışmada kullanılmıştır (Ercanoğlu ve Gökçeoğlu, 2002; Çevik ve Topal, 2003, Yeşilnacar ve Topal, 2005; Çan vd., 2005; Dağ vd., 2006; Dağ, 2007; Akgün

ve Bulut, 2007; Akgün vd. 2008; Nefeslioğlu vd., 2008; Yalçın, 2008; Yılmaz, 2009; Akgün ve Türk, 2010a,b).

İnceleme alanında yüzeyleyen kayaçlar, fiziksel ve özellikle kimyasal faktörlerin etkisiyle değişik derecelerde ayrıışmışlardır. Arazide yapılan detaylı incelemeler ve gözlemsel çalışmalarla kayaçların ayrışma dereceleri, ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlama ölçütlerine göre sınıflandırılmış ve ayrışma haritası üretilmiştir. Hazırlanan litoloji-ayrışma haritası üzerine arazide belirlenen heyelanlar işaretlenmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. İnceleme alanının litoloji-ayrışma haritası

Figure 7. Lithology-weathering map of the study area

Çalışma alanında yer alan farklı ayrışma derecesine sahip birimlerin ve bu ayrışma derecelerine ait parametre sınıflarındaki

heyelanların kapladığı toplam alanların % dağılımı hesaplanmıştır. (Çizelge 1).

Çizelge 1. Litoloji-ayrışma sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler.

Table 1. Relations between lithology-weathering classes and landslides.

Litoloji Ayrışma	Piksel		Heyelanlı		Frekans Oranı
	Sayısı (A)	%A	Piksel (B)	%B	%B/A
1	13101	5.15	0	0.00	0.0000
2	114157	44.84	4	2.68	0.0035
3	44941	17.65	10	6.71	0.0223
4	15291	6.01	81	54.36	0.5297
5	675	0.27	0	0.00	0.0000
6	4708	1.85	0	0.00	0.0000
7	13508	5.31	15	10.07	0.1110
8	2008	0.79	32	21.48	1.5936
9	891	0.35	0	0.00	0.0000
10	4880	1.92	0	0.00	0.0000
11	2357	0.93	1	0.67	0.0424
12	395	0.16	0	0.00	0.0000
13	7521	2.95	3	2.01	0.0399
14	76	0.03	0	0.00	0.0000
15	30101	11.82	3	2.01	0.0100
Toplam	254610	100	149	100	2.3524

Çizelge 1'deki litoloji-ayrışma sınıfları; 1- Az ayrışmış andezit-bazalt ve piroklastitleri, 2- Orta derecede ayrışmış andezit-bazalt ve piroklastitleri, 3- Yüksek derecede ayrışmış andezit-bazalt ve piroklastitleri, 4- Tamamen ayrışmış andezit-bazalt ve piroklastitleri, 5- Az ayrışmış dasit ve piroklastitleri, 6- Orta derecede ayrışmış dasit ve piroklastitleri, 7- Yüksek derecede ayrışmış dasit ve piroklastitleri, 8- Tamamen ayrışmış dasit ve piroklastitleri, 9- Az ayrışmış granit, 10- Orta derecede ayrışmış granit, 11- Yüksek derecede

ayrışmış granit, 12- Tamamen ayrışmış granit, 13- Alüvyon, 14- Az ayrışmış kireçtaşı, 15- Az ayrışmış kumtaşı

Frekans oranı hesaplanırken, önce parametre sınıfı içerisindeki heyelanlı pikseller (B) aynı parametre sınıfındaki piksel sayısına (A) bölünmüştür. Sonra bu iki değer birbirine oranlanarak % B/A değerleri belirlenmiştir. Benzer işlemler duyarlılık haritasının üretilmesinde kullanılacak olan tüm parametreler için gerçekleştirilmiştir.

Çalışma alanı içerisinde en fazla alana (% 44.84) orta derecede ayrılmış andezit-bazalt ve piroklastitleri sahiptir. Tamamen ayrılmış andezit-bazalt ve piroklastitleri % 54.36 ile en fazla heyelanlı alana sahip sınıf özelliğindedir. Bu sınıfı % 21.48 ile tamamen ayrılmış dasit ve piroklastitleri izlemektedir. Frekans oranı değerleri dikkate alındığında toplam alan içerisindeki dağılımları diğer birimlere oranla daha az olmasına rağmen mevcut alansal dağılım içerisindeki heyelanlı alanları fazla olduğu için tamamen ayrılmış dasit ve piroklastitleri en yüksek frekans oranı değerine sahiptir (Çizelge 1). Bu değer aynı zamanda birimin heyelana olan duyarlılığının da bir göstergesidir.

Yamaç Eğimi

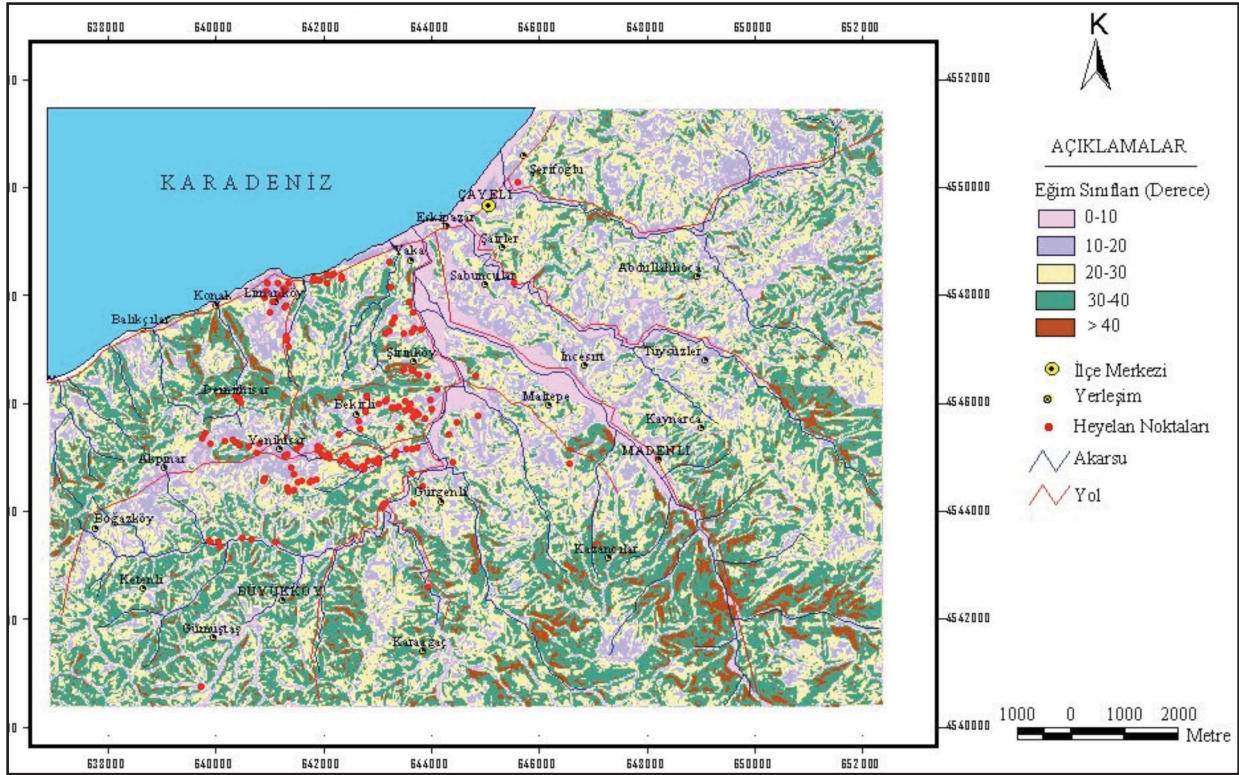
Yamaç ya da şevlerin eğimi, heyelanların oluşumunda doğrudan etkilidir. Duyarlılık çalışmalarında çok yaygın olarak kullanılan bu parametre üzerinde araştırmacılar arasındaki genel eğilim, yamaç eğiminin artmasıyla heyelana karşı duyarlılığın da artacağı yönündedir. (Santacana vd., 2003; Ohlmacher ve Davis, 2003; Ayalew vd., 2004; Lee, 2005; Fell vd., 2008). Buna karşın düşük eğim değerindeki yamaçlarda da heyelanların oluştuğunu gösteren çalışmalar mevcuttur. Örneğin Temesgen vd. (2001) ve Ayalew ve Yamagishi (2005) tarafından yapılan çalışmalarda heyelanların çoğunlukla 20°nin altında, düşük eğime sahip yamaçlarda gerçekleştiği belirtilmektedir.

Araştırmada topoğrafik özellikler belirlenirken öncelikle inceleme alanını

kapsayan 1:25000 ölçekli topoğrafik paftalar taranarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. CBS yazılımları ArcView3.2 ve bunlara ait modüller kullanılmıştır. Daha sonra bilgisayar ortamında eşyükseklik eğrileri 10 m aralıkla sayısallaştırılmıştır. Resim koordinatlarında elde edilen vektörel veriler, afin dönüşümü ile UTM (*Universal Transverse Mercator*) koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Daha sonra bu eğrilere yükseklik değerleri girilerek düzensiz üçgen ağları (TIN; *Triangulated Irregular Network*) veri yapısında çalışma alanının üç boyutlu sayısal yükseklik modeli elde edilmiştir. Sayısal yükseklik modelinin oluşturulmasında piksel boyutu 25 m olarak seçilmiştir. Yapılan analizlerde de 25x25m'lik grid ağı temel alınmıştır. Bu seçimin yapılmasında kaynak veri ölçeği dikkate alınarak, harita çözünürlüğü belirlenmiştir (Wilson ve Gallant, 2000). Ayrıca heyelan alanlarının küçüklüğü göz önüne alındığında, mevcut heyelanları temsil edecek en iyi piksel boyutunun 25x25 m olacağı düşünülmüştür.

Daha sonra sayısal yükseklik modelinden hareketle çalışma alanında topoğrafik parametrelere (yamaç eğimi, yamaç eğim yönü, yükseklik) ilişkin haritalar üretilmiştir.

İnceleme alanına ait sayısal yükseklik modelinden eğim haritası üretilmiştir (Şekil 8). Eğim haritası farklı sınıflara ayrılarak farklı eğim aralıkları belirlenmiştir. Çalışma alanında belirlenen ve haritalanan heyelanlar eğim haritası ile çakıştırılarak eğim değerleri ile heyelan oluşumu arasındaki ilişki belirlenmiştir (Çizelge 2).



Şekil 8. İnceleme alanına ait eğim haritası.

Figure 8. Slope map of the study area.

Çizelge 2. Eğim sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler
Table 2. Relations between slope classes and landslides

Eğim Sınıfları (°)	Piksel Sayısı (A)	Heyelanlı		Frekans Oranı	
		%A	Piksel (B)	%B	%B/A
0-10	18698	7.34	19	12.75	0.1016
10-20	49073	19.27	38	25.50	0.0774
20-30	93998	36.92	60	40.27	0.0638
30-40	81779	32.12	29	19.46	0.0355
> 40	11062	4.34	3	2.01	0.0271
Toplam	254610	100	149	100	0.3054

İnceleme alanındaki eğim değerleri 20° ile 40° arasında yoğunlaşmaktadır. Bu aralığa karşılık gelen eğim değerlerinin toplam alan içerisindeki oranı yaklaşık olarak % 70 civarındadır. Buna karşılık heyelanlı alanlar dikkate alındığında mevcut heyelanların % 66'sının 10°-30° arasında değişen eğim değerlerine sahip yamaçlarda geliştiği görülmektedir (Çizelge 2).

İnceleme alanında özellikle düşük eğim değerine sahip yamaçlarda frekans oranı değeri yüksek çıkmıştır. Bu durum çalışma alanında bu eğim aralığının heyelan oluşumunda önemli olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda bu eğim aralığı yerleşim alanı ve tarımsal alanlara karşılık

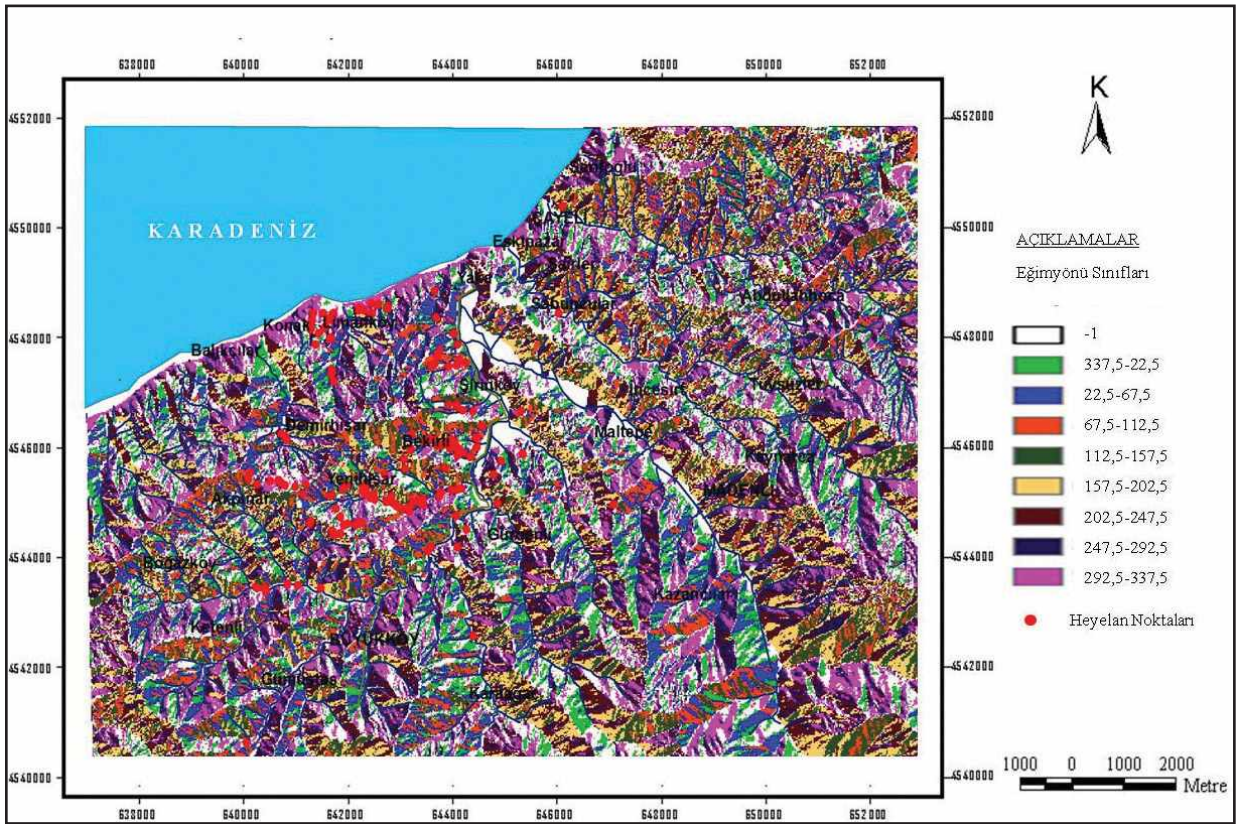
gelmekte ve dolayısıyla da bu sınıf aralıklarında heyelan değerleri yüksek çıkmaktadır.

Yamaç Eğim Yönü (Bakı)

Birçok çalışmada araştırmacılar yaptıkları istatistiksel değerlendirmelerde heyelanların belli yönelimlere sahip yamaçlarda yoğunlaştığını ifade etmiştir. Bu araştırmacıardan Gökçeoğlu ve Aksoy, (1996), Dai vd., (2001) ve Lee vd., (2001) heyelanların belirli yönelimlerde yoğunlaşmasının nedenini ağırlıklı olarak yağışla

ilişkilendirirken, Pachauri ve Pant (1992) ile Ayalew ve Yamagishi (2005) bu durumu sahanın genel morfolojik eğilimi ile ilişkilendirmektedir. Heyelanların belli yönelimlere sahip yamaçlarda yoğunlaşmasında özellikle bölgenin genel yağış yönü, sahanın genel morfolojik yapısı, güneş ışığını daha fazla alması gibi meteorolojik olaylar etkili olmaktadır.

Bu çalışmada yamaç eğim yönü ile heyelanlar arasındaki ilişkiyi incelemek için inceleme alanına ait sayısal yükseklik modelinden eğim yönü haritası üretilmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. İnceleme alanına ait eğim yönü haritası.

Figure 9. Slope aspect map of the study area.

Üretilen eğim yönü haritası, farklı yamaç eğim yönleri dikkate alınarak 9 sınıfa ayrılmıştır. Daha sonra CBS yazılımları ArcView3.2 ve bunlara ait modüller kullanılarak

çalışma alanındaki eğim yönü sınıflarının ve heyelanların toplam alan içerisindeki dağılımları hesaplanmıştır (Çizelge 3).

Çizelge 3. Yamaç eğim yönü ile heyelanlar arasındaki ilişkiler.
Table 3. Relations between slope aspect and landslides.

	Eğim yönü Sınıfları	Piksel		Heyelanlı		Frekans Oranı
		Sayısı (A)	%A	Piksel (B)	%B	%B/A
1	Düz	4107	1.61	1	0.67	0.0243
2	Kuzey	30132	11.83	25	16.78	0.0830
3	Kuzeydoğu	26336	10.34	23	15.44	0.0873
4	Doğu	24042	9.44	13	8.72	0.0540
5	Güneydoğu	28986	11.39	19	12.75	0.0655
6	Güney	31673	12.44	21	14.09	0.0663
7	Güneybatı	34594	13.59	21	14.09	0.0607
8	Batı	35040	13.76	12	8.06	0.0342
9	Kuzeybatı	39700	15.60	14	9.40	0.0352
	Toplam	254610	100	149	100	0.5105

Çizelge 3 incelendiğinde; heyelanlı alanların oranı kuzeye bakan yamaçlarda (% 16.78) diğerlerine oranla fazladır. Çalışma alanı içerisindeki çoğu heyelan (% 32.22), kuzey-kuzeydoğu yönde gelişen yamaçlarda meydana gelmiştir. Frekans oranı değeri de bu yönlerdeki yamaçlarda diğer yönlerle oranla daha yüksektir. Ancak bu fark çok belirgin olmayıp göreceli bir değerdir.

Yükseklik

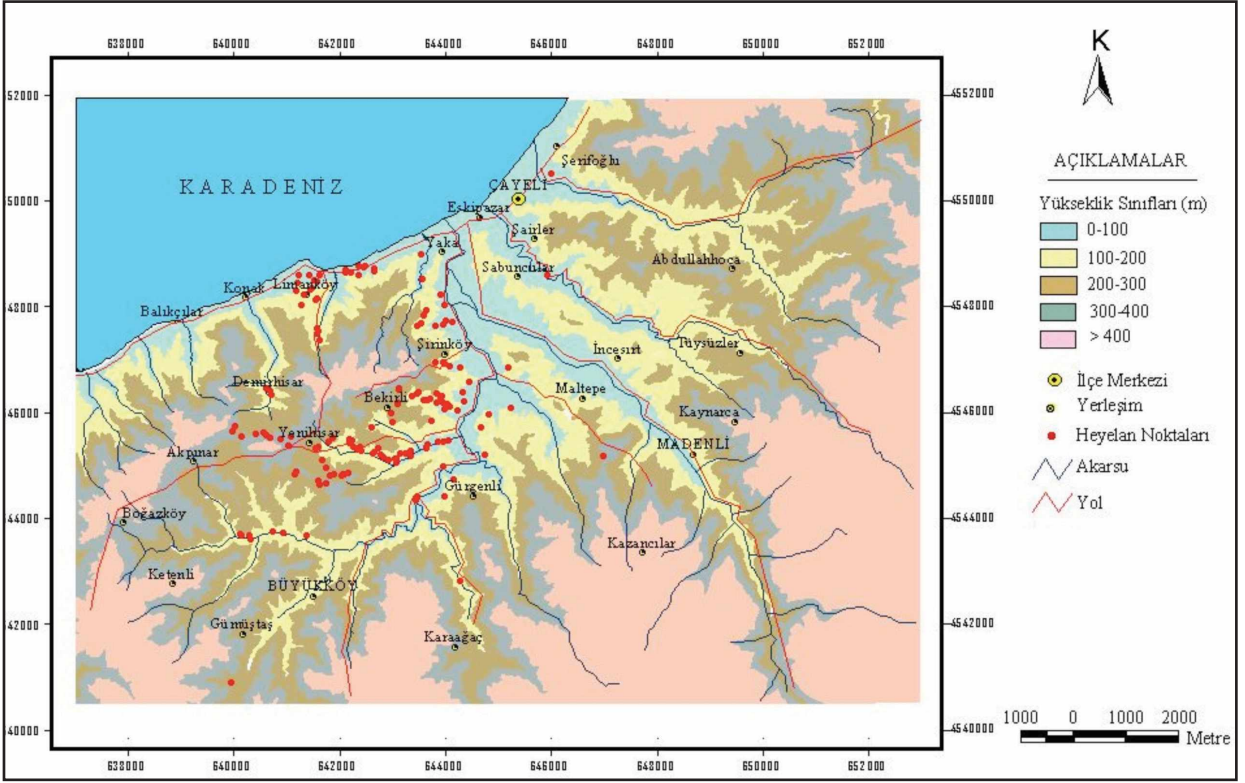
Heyelan duyarlılık analizlerine yönelik çalışmalarda, deniz seviyesinden olan yüksekliği temel alan topoğrafik yükseklik parametresi sıkça kullanılmaktadır.

Bu çalışmada inceleme alanına ait yükseklik haritası sayısal yükseklik modelinden üretilmiş

ve 5 farklı sınıfa ayrılmıştır (Şekil 10). Daha sonra bu yükseklik değerleri heyelan alanları ile karşılaştırılarak yükseklik ile heyelanlar arasındaki ilişki belirlenmiştir (Çizelge 4).

Çizelge 4 incelendiğinde; çalışma alanının yaklaşık % 70'lik bir kesiminin yüksekliği 100 - 400 m arasında değişmektedir. İnceleme alanında 400 m'nin üzerindeki yükseklikler ise toplam alanın % 30'unu oluşturmaktadır. Heyelanlı alanların sınıflar arasındaki % dağılımları incelendiği zaman, mevcut heyelanların yaklaşık % 78'inin 0 - 200 m yükseklikleri arasında olduğu anlaşılmaktadır. Frekans oranı değeri de 0 - 200 m yükseklikleri arasında daha fazladır. Bu durumun yörede düşük kotlarda gerçekleştirilen çay tarımından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Dağ ve Bulut



Şekil 10. İnceleme alanına ait yükseklik haritası.

Figure 10. Elevation map of the study area.

Çizelge 4. Yükseklik değerleri ile heyelanların ilişkisi.

Table 4. Relations between elevations and landslides.

Yükseklik Sınıfları (m)	Piksel		Heyelanlı		Frekans Oranı
	Sayısı (A)	%A	Piksel (B)	%B	
0-100	25607	10.06	46	30.87	0.1796
100-200	46441	18.24	70	46.98	0.1507
200-300	57345	22.52	23	15.44	0.0401
300-400	47342	18.59	10	6.71	0.0211
> 400	77875	30.59	0	0.00	0.0000
Toplam	254610	100	149	100	0.3915

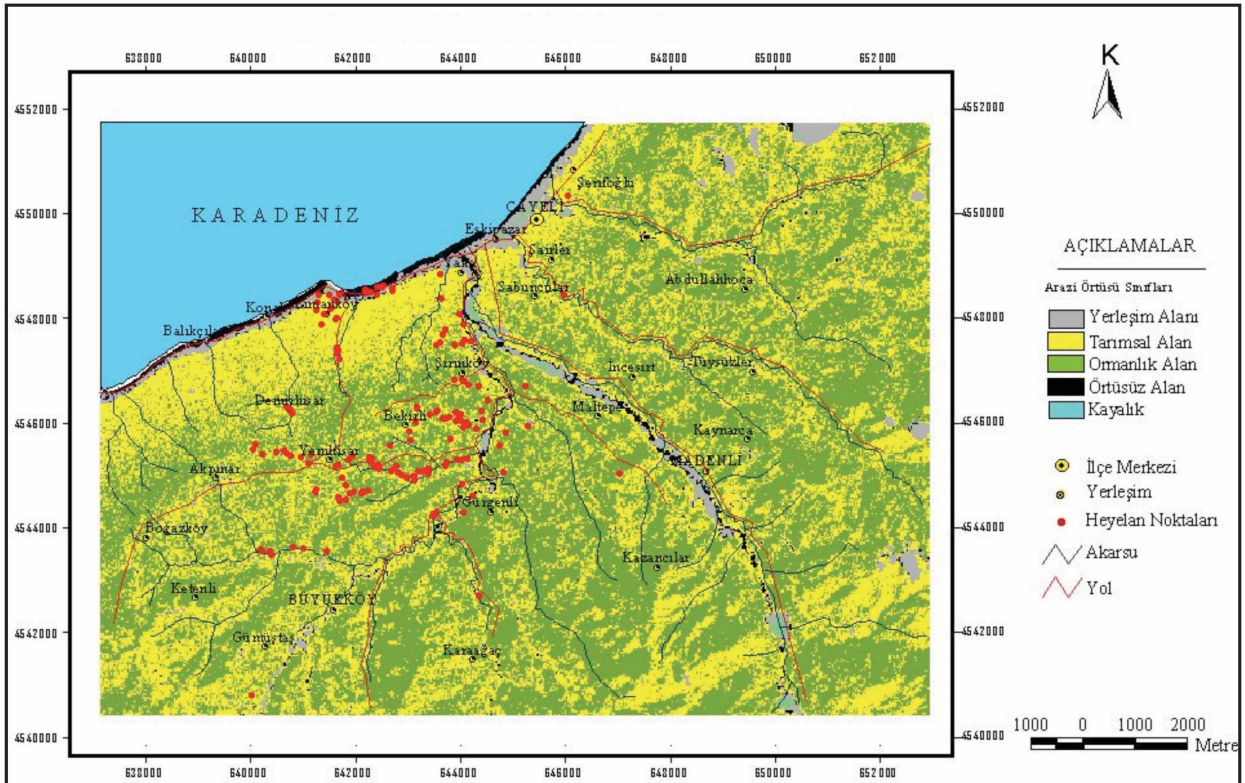
Arazi Örtüsü

Bitkilerin bir yamacın duraylılığı üzerinde olumlu ve olumsuz etkileri vardır. Özellikle güçlü ve büyük kök sistemleri ile bitki örtüsünün yoğun olduğu alanlar yamaç duraylılığını olumlu etkilemektedir. Ancak, kök ve gövdeler zemin yüzeyinin geçirgenliğini artırarak, yüzey sularının zemin içerisine doğru girmesini kolaylaştırmaktadır. Genel olarak, bitki örtüsünün yoğun olduğu ormanlık alanlar, seyrek bitki örtüsüne sahip alanlara ya da tarım ve yerleşim alanlarına oranla heyelanlardan daha az etkilenmektedir (Dağ, 2007).

Çalışma alanına ait arazi örtüsü haritasının hazırlanmasında, 12 Temmuz 2004 tarihli, 15x15 m çözünürlüklü ASTER L3A uydu görüntüsünden

yararlanılarak, kontrollü sınıflandırma gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırma yöntemi olarak En Yüksek Olabilirlik (Maksimum Likelihood) Algoritması kullanılmıştır. Arazi çalışmaları ile elde edilen verilerin, görüntü üzerindeki spektral karakteristikleri, görüntünün tamamının sınıflandırılması için kullanılmıştır. Daha sonra sınıflar arasında en iyi ayrımı sağlayacak bantlar seçilmiş ve çalışma alanına ait arazi örtüsü haritası oluşturulmuştur (Şekil 11).

Daha sonra, çalışma alanındaki arazi sınıflarının ve heyelanların toplam alan içerisindeki % dağılımları ve frekans oranı değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 5).



Şekil 11. İnceleme alanına ait arazi örtüsü haritası

Figure 11. Land cover map of the study area

Dağ ve Bulut

Çizelge 5. Arazi örtüsü sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler.

Table 5. Relations between land cover classes and landslides.

Arazi Sınıfları	Piksel Sayısı (A)	%A	Heyelanlı Piksel (B)	%B	Frekans Oranı %B/A
Yerleşim Alanı	10057	3.95	5	3.36	0.0497
Tarımsal Alan	102437	40.23	78	52.35	0.0761
Ormanlık Alan	137261	53.91	65	43.62	0.0474
Örtüsüz Arazi	4157	1.63	1	0.67	0.0241
Kayalık	698	0.27	0	0.00	0.0000
Toplam	254610	100	149	100	0.1973

Frekans oranı değeri en fazla tarımsal alanlarda gözlenirken, yerleşim alanları heyelan açısından 2. derecede önemli arazi örtüsü sınıfını oluşturmaktadır. Ormanlık alanlar toplam alanın % 53.91'ine sahiptir. Buna rağmen bu alanlarda frekans oranı değeri daha düşüktür. Bu durum tarımsal ve yerleşim alanlarının heyelana karşı daha duyarlı, ormanlık alanların ise heyelan açısından daha güvenilir olduğunu göstermektedir

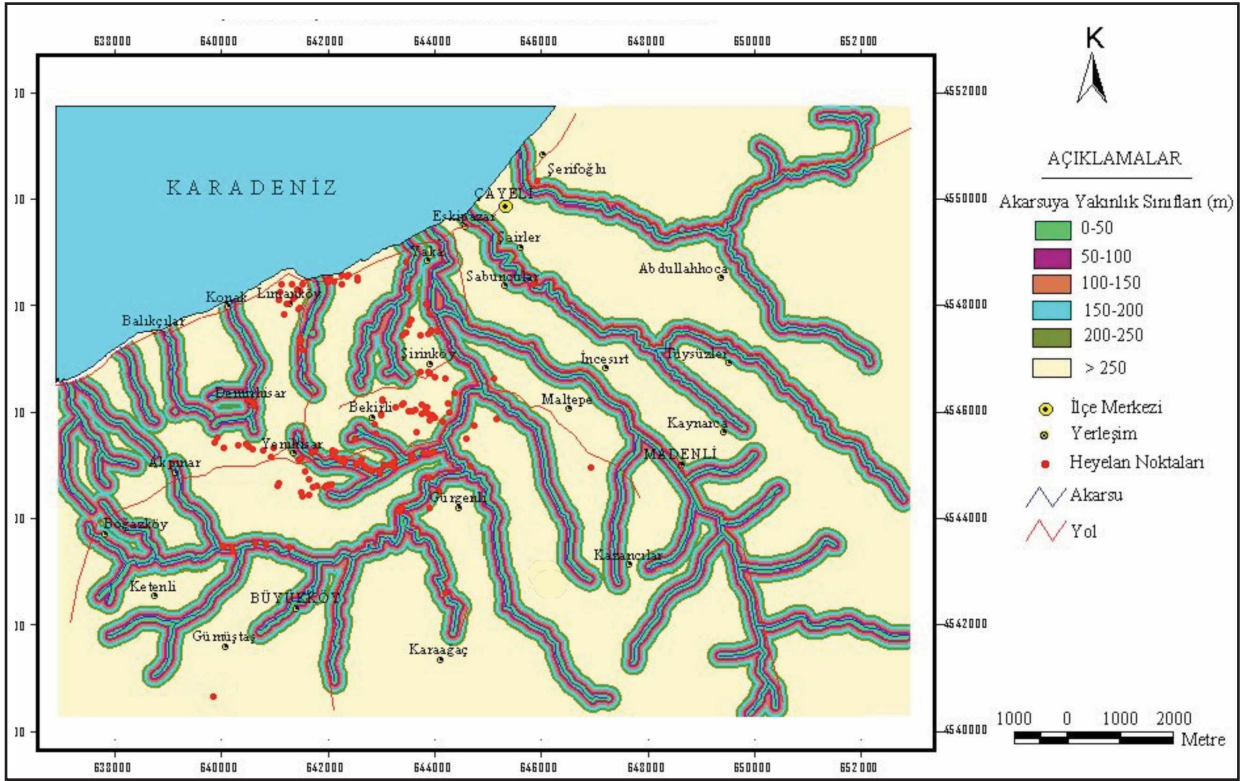
Akarsuya Yakınlık

Yamaçların drenaj ağına yakınlığı duraylılık açısından önemli bir faktördür. Çünkü akarsular, yamaç topuğunu erozyona uğratarak ya da yamacı oluşturan malzemenin akarsu seviyesinin altındaki kesimini suya doygun hale getirerek, yamaçların duraylılığını bozmaktadır. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasına yönelik birçok çalışmada araştırmacılar saha gözlemlerinden yararlanarak akarsuya yakınlığı, heyelan değerlendirmelerinde bir parametre

olarak kullanmışlardır (Choubey vd., 1992; Guillande vd., 1993; Mejia-Nevarro ve Wohl, 1994; Fernandez vd., 1999; Luzi ve Pergalani, 1999; Nagarajan vd., 2000; Peloquin ve Gwyn, 2000; Baeza ve Corominas, 2001; Barnard vd., 2001; Dai ve Lee, 2001; Çevik ve Topal, 2003, Lee vd., 2003, Nefeslioğlu vd., 2008; Akgün vd., 2008; Pradhan ve Lee, 2010).

Çalışma alanında, akarsuya yakınlık parametresinin heyelan oluşumuna etkisini belirlemek için 50 metre aralıklı 6 farklı tampon bölge oluşturulmuş ve akarsuya yakınlık haritası üretilmiştir (Şekil 12).

Yapılan analiz ile oluşturulan 6 farklı tampon bölgede, inceleme alanında akarsuya yakınlık sınıfları ve heyelanların kapladığı alanlar ile frekans oranı değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 6) İnceleme alanında oluşturulan tampon bölgelerin toplam alanları benzer dağılımlar göstermektedir. Heyelanlı alanlar ise 0 - 50 m arasında % 21.48 değeri ile önemli bir orandadır.



Şekil 12. İnceleme alanının akarsuya yakınlık haritası.

Figure 12. Proximity to stream map of the study area.

Çizelge 6. Akarsuya yakınlık sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişki.

Table 6. Relations between proximity to stream classes and landslides.

Akarsuya yakınlık	Piksel		Heyelanlı		Frekans Oranı
Sınıfları (m)	Sayısı (A)	%A	Piksel (B)	%B	%B/A
0-50	21270	8.35	32	21.48	0.1504
50-100	20747	8.15	14	9.40	0.0675
100-150	20363	8.00	9	6.04	0.0442
150-200	19711	7.74	11	7.38	0.0558
200-250	18823	7.39	9	6.04	0.0478
> 250	153696	60.37	74	49.66	0.0481
Toplam	254610	100	149	100	0.4138

Frekans oranı değerleri dikkate alındığında akarsuya yakın olan sınıflarda, bu değerlerin yüksek olduğu açıktır. Özellikle 0 – 50 m mesafede bu değerlerin büyüklüğü görülmektedir. Buradan hareketle, akarsulardan uzaklaştıkça yamaç duraysızlığı üzerinde suyun meydana getirebileceği etkinin azalacağı söylenebilir.

HEYELAN DUYARLILIK HARİTASININ ÜRETİLMESİ VE PERFORMANSI

Sayısal yöntemlerle heyelan duyarlılık haritaları üretilirken öncelikle, yamaçların duraylılığını kontrol eden ya da heyelanlara neden olabilecek bir takım parametrelerin ve bunların ağırlık değerlerinin (heyelana olan etkilerinin) belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için heyelanların alansal dağılımları ile heyelana neden olabilecek faktörler arasındaki ilişkiler belirlenmektedir.

Bu çalışmada coğrafi bilgi sistemleri (CBS) tabanında frekans oranı değerleri dikkate alınarak, parametrelerin ağırlık değerleri belirlenmiş ve çalışma alanına ait heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir.

Bu yöntemin temelini, analiz için kullanılan ve heyelan oluşumunda etkili olduğu düşünülen her bir faktörün, heyelan envanter haritası ile karşılaştırılması oluşturmaktadır. CBS ortamında raster formatındaki her bir parametre haritası, frekans oranı değerinin hesaplanması için, heyelan envanter haritası ile karşılaştırılmaktadır.

Çalışmada heyelan oluşumunda etkili olduğu düşünülen ve değerlendirmeye alınan

parametrelerin ağırlık değerleri ise aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır (Süzen, 2002):

$$W = 1000 \frac{B}{A} - 1000 \frac{\sum B}{\sum A}$$

Bu eşitlikte;

W: Parametre ağırlık değeri

B: Parametre sınıfındaki heyelanlı piksel sayısı

A: Parametre sınıfındaki piksel sayısını vermektedir.

Parametre haritalarına ilişkin ağırlık değerlerinin pozitif olması ilgili parametrenin heyelan oluşumunda etkisinin olduğunu, negatif olması ise etkisinin göreceli olarak daha az olduğunu göstermektedir (Van Westen, 1993; Rautella ve Lakhara, 2000)

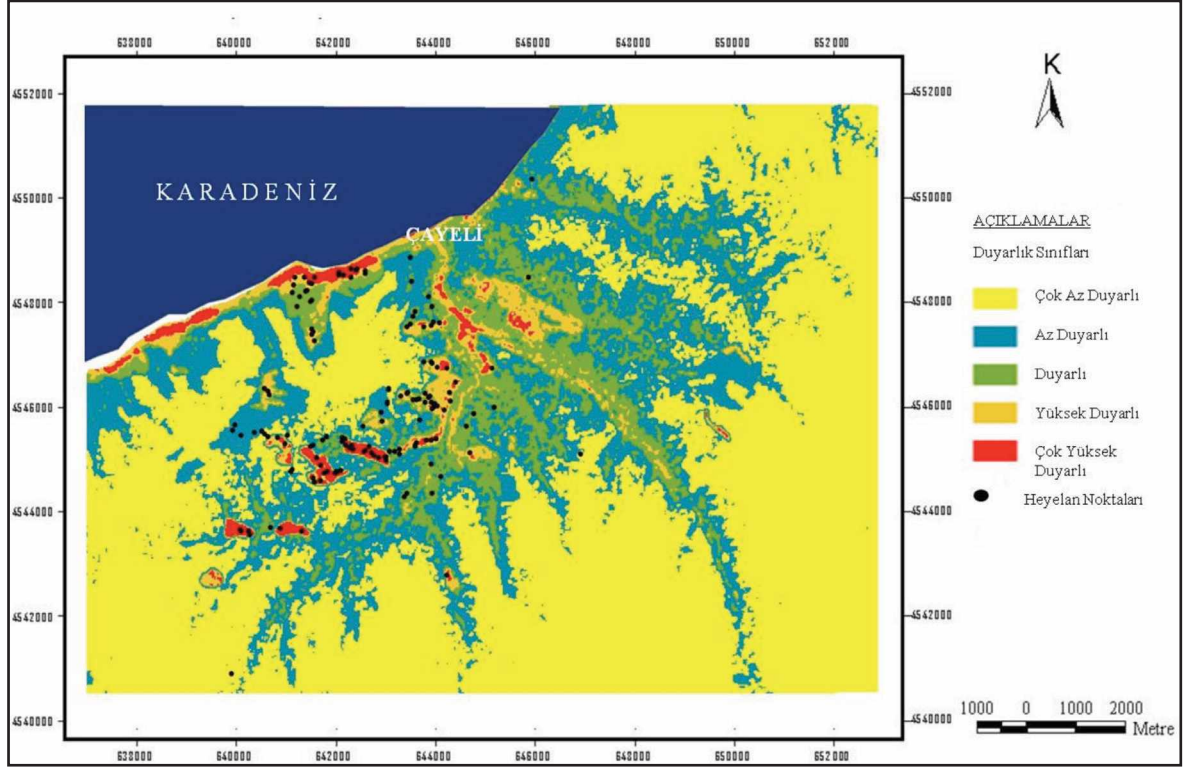
Daha sonra, hesaplanan bu değerler dikkate alınarak, çalışma alanına ait heyelan duyarlılık haritası hazırlanmıştır. Oluşturulan harita “çok az duyarlı”, “az duyarlı”, “duyarlı”, “yüksek duyarlı” ve “çok yüksek duyarlı” olmak üzere 5 farklı duyarlılık sınıfına ayrılmıştır (Şekil 13).

Üretilen haritanın performansını analiz etmek için, duyarlılık haritası, heyelan envanter haritası ile karşılaştırılarak duyarlılık sınıflarına ait toplam alanlar ve her bir sınıfa karşılık gelen heyelan yüzdeleri hesaplanmıştır (Şekil 14). Duyarlılık haritalarında yüksek ya da çok yüksek duyarlı alanların çalışma alanı içerisinde kapladıkları alanların en az olması istenirken, bu sınıflardaki heyelan yüzdelerinin yüksek olması gerekmektedir. Mevcut heyelanlarla duyarlılık haritası karşılaştırıldığında mevcut heyelanların % 81’inin duyarlı, yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlara karşılık geldiği belirlenmiştir (Şekil 14).

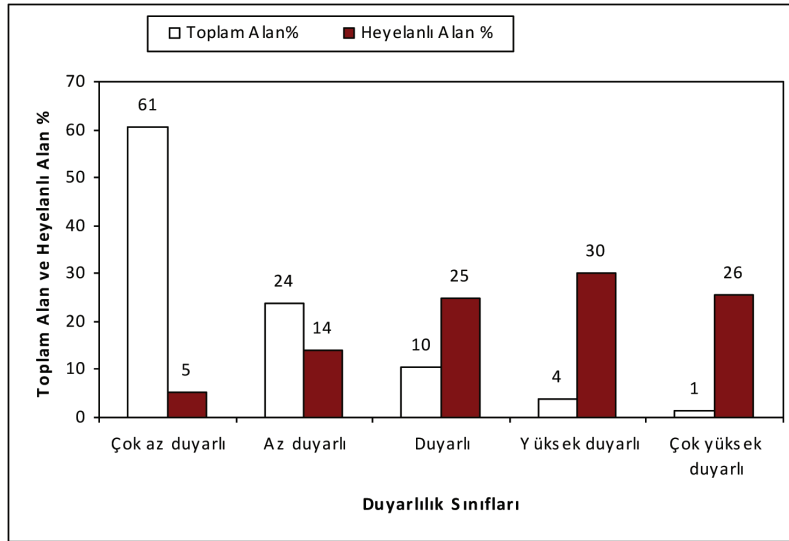
Çizelge 7. Parametre sınıfları ve ağırlık değerleri.

Table 7. Parameter classes and weighted values.

PARAMETRE SINIFLARI	Piksel Sayısı (A)	Heyelanlı Piksel (B)	Ağırlık Değerleri (1000x(B/A)) - (1000x(SB/SA))
Litoloji-Ayrışma			
1	13101	0	-0.59
2	114157	4	-0.55
3	44941	10	-0.36
4	15291	81	4.71
5	675	0	-0.59
6	4708	0	-0.59
7	13508	15	0.53
8	2008	32	15.35
9	891	0	-0.59
10	4880	0	-0.59
11	2357	1	-0.16
12	395	0	-0.59
13	7521	3	-0.19
14	76	0	-0.59
15	30101	3	-0.49
Toplam	254610	149	14.75
Eğim			
0-10	18698	19	0.43
10-20	49073	38	0.19
20-30	93998	60	0.05
30-40	81779	29	-0.23
> 40	11062	3	-0.31
Toplam	254610	149	0.13
Eğim Yönü			
Düz	4107	1	-0.34
Kuzey	30132	25	0.24
Kuzeydoğu	23336	23	0.40
Doğu	24042	13	-0.04
Güneydoğu	28986	19	0.07
Güney	31673	21	0.08
Güneybatı	34594	23	0.08
Batı	35040	10	-0.30
Kuzeybatı	39700	14	-0.23
Toplam	254610	149	-0.04
Yükseklik			
0-100	25607	46	1.21
100-200	46441	70	0.92
200-300	57345	23	-0.18
300-400	47342	10	-0.37
> 400	77875	0	-0.59
Toplam	254610	149	0.99
Arazi Örtüsü			
Yerleşim Alanı	10057	5	-0.09
Tarımsal Alan	102437	78	0.18
Ormanlık Alan	137261	65	-0.11
Örtüsüz Arazi	4157	1	-0.34
Kayalık	698	0	-0.59
Toplam	254610	149	-0.95
Akarsu Yakınlık			
0-50	21270	32	0.92
50-100	20747	14	0.09
100-150	20363	9	-0.14
150-200	19711	11	-0.03
200-250	18823	9	-0.11
> 250	153696	74	-0.10
Toplam	254610	149	0.63



Şekil 13. Çalışma alanının heyelan duyarlılık haritası
Figure 13. Landslide susceptibility map of the study area



Şekil 14. Duyarlılık sınıfları ve mevcut heyelanlar arasındaki ilişkiler.
Figure 14. Relations between susceptibility classes and existing landslides.

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, Çayeli yöresinde 2002 yılı temmuz ayındaki sağanak yağış sonucunda meydana gelen heyelanlar araştırılmış ve inceleme alanının heyelan duyarlılık haritası hazırlanmıştır. Bu nedenle su toplama havzalarının kullanıldığı doğal sınır yerine inceleme alanının tamamı dikkate alınmıştır.

Heyelan duyarlılık haritasının üretiminde, heyelan envanter haritası temel altlığı oluşturmuştur. Heyelana neden olabilecek faktörlerin seçiminde ise öncelikle çalışma alanına ait koşullar göz önüne alınmış ve arazi çalışmalarında yapılan gözlem ve incelemelerden yararlanılmıştır. Çalışmada, jeolojik parametre olarak litoloji-ayırışma, topoğrafik parametrelerden yamaç eğimi, yamaç eğim yönü (bakı), topoğrafik yükseklik ve akarsuya yakınlık ile çevresel parametrelerden arazi örtüsü kullanılmıştır.

Çalışmada, topoğrafik parametrelerin üretilmesinde 1:25000 ölçekli topoğrafik haritalardan yararlanılmıştır. Sayısal yükseklik modelinin oluşturulmasında piksel boyutu 25 m olarak seçilmiştir. Yapılan analizlerde de 25x25 m'lik grid ağı temel alınmıştır. Bunun gerekçeleri şöyle açıklanmaktadır:

- İnceleme alanı için heyelan alanlarına ilişkin ortalama değer 658.74 m² olarak belirlenmiştir. Yapılan analizlerde heyelanların nokta olarak belirtildiği ve her bir heyelanın da bir pikselle ifade edildiği göz önüne alındığında, mevcut heyelanları en iyi temsil edecek piksel boyutunun 25x25 m olacağı düşünülmüştür.
- Literatürde benzer çalışmalarda çalışma ölçeği dikkate alındığında piksel boyutu bu

şekilde seçilmiştir (Ercanoğlu, 2003; Süzen, 2002).

- Ayrıca USGS tarafından yapılan çalışmalarda 1:24000 ölçekli kaynak verilerden üretilen haritalar için 30 m çözünürlüğün kullanımının uygun olduğu belirtilmektedir (Wilson ve Gallant, 2000).

Envanter haritasının hazırlanmasında arazi çalışmalarından yararlanılmıştır. Arazi çalışmasının tercih edilmesinin değişik nedenleri vardır. Çalışma alanı yoğun bitki örtüsü ile kaplıdır. Arazi örtüsünün büyük bir kısmını (yaklaşık olarak % 94) tarımsal ve ormanlık alanlar oluşturmaktadır. Bu alanlar birbirleri ile iç içe olup ayırt edilmeleri son derece güçtür. Tarımsal faaliyetler yörede çoğunlukla çay tarımına yönelik olup, çay bitkisi kısa sürede yetişmektedir. Bu durumlar dikkate alındığında çoğu çaylık alanlar içerisinde gerçekleşen bu tür heyelan alanları hem boyutlarının küçük olması hem de çay bitkisinin kısa sürede yetişmesi gibi nedenlerden dolayı kapanmakta ve mevcut heyelanların gözlenmesi zorlaşmaktadır. Bu nedenlerden dolayı envanter haritasının hazırlanmasında arazi çalışmaları tercih edilmiştir.

Arazide gözlenen mevcut heyelanlar çoğunlukla aynı litolojik birimlerin farklı ayırışma derecelerine ait sınıflarında farklılık sunmuştur. Özellikle tamamen ayırışmış ve kalıntı zemin özelliğindeki malzemelerdeki frekans oranı değerlerinin, az veya orta derecede ayırışmış litolojilere oranla çok fazla olduğu gözlenmiştir. Arazi inceleme ve gözlemlerine dayanarak litoloji parametresi tek başına değerlendirilmemiş, ayırışma derecesi de belirlenerek heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında

litoloji-ayırışma durumu bir parametre olarak kullanılmıştır. Arazide gerçekleştirilen ayırışma çalışmaları esnasında arazi detaylı bir şekilde incelenmiş ve farklı ayırışma derecesi gösteren alanların sınırları hassas bir şekilde takip edilmiştir. Nitekim belirlenen bu sınırlarda heyelanların dağılımları da farklı ayırışma derecelerinin önemini göstermektedir.

Çalışmada arazi örtüsü haritasının hazırlanmasında ASTER L3A uydu görüntüsü kullanılarak kontrollü sınıflandırma yönteminden yararlanılmıştır. Bölgede arazi örtüsü sınıfları karmaşık bir yapıda olup, adeta birbiri ile iç içedir. Her ne kadar sahil kesimleri toplu yerleşim alanlarını içerse de, daha iç kesimlerde dağınık yerleşim alanları bulunmaktadır. Tarımsal alanlar içerisinde yer alan bu alanların ayrı ayrı yerleşim alanı olarak belirlenmesinde zorluklar yaşanmakta ve bu durum oluşturulan arazi sınıflandırmalarına da yansımaktadır. Daha da önemli bir sorun ise tarımsal ve ormanlık alanların sınırlarının görüntü ile iyi ayrılabilmesidir. Bunun nedeni yöredeki tarımsal alanlar çoğunlukla çay bitkisinden oluşmaktadır. Özellikle görüntünün alındığı aylarda (temmuz), bu tür alanların yansıma değerleri geniş yapraklı ağaçlardan oluşan ormanlık alanların yansıma değerleri ile çok benzer, hemen hemen aynıdır. Genel olarak hem bölge arazisinin kapalı olması, hem de ormanlık bölge içerisindeki alanların kısmen tahrip edilmesi ve tarımsal alana dönüştürülmesi bu iki sınıfın ayrımını zorlaştırmıştır. Bu tür olumsuzluklar genel sınıflandırma doğruluğunun arzu edilen düzeyde olmamasına neden olmuştur.

Çayeli (Rize) ilçesi ve çevresinde 23 Temmuz 2002 ve takip eden birkaç günlük süredeki meteorolojik anomaliye bağlı olarak

oluşan heyelanlara ait envanter ve duyarlılık haritasının hazırlanmasına yönelik olarak gerçekleştirilen çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur:

- 1- Çalışma alanında yapılan arazi çalışmaları sonucunda 149 adet heyelan belirlenmiş ve heyelan envanteri oluşturulmuştur. Çalışma alanındaki heyelanların dairesel kayma ve toprak akması şeklinde geliştiği belirlenmiştir.
- 2- İnceleme alanındaki heyelanların meydana gelmesini tetikleyen ana unsur aşırı ve şiddetli yağıştır. Heyelana neden olan diğer faktörler ise özellikle litolojik açıdan kayaların önemli oranda ayırışması, insanlar tarafından arazinin dikkatsiz kullanılarak ormanlık alanların tahrip edilmesi ve tarımsal alana çevrilmesi, yol ve kazı çalışmaları nedeni ile yamaç eğimlerinin değiştirilmesidir.
- 3- İnceleme alanına ait frekans oranı değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerlere göre; tamamen ayırışmış dasit ve piroklastitlerinin, tamamen ayırışmış andezit-bazalt ve piroklastitlerinin, yüksek derecede ayırışmış dasit ve piroklastitlerinin, 0 - 20 derece arasındaki eğim sınıflarının, kuzey-kuzeybatıya bakan yamaçların, 0 – 200 m arasındaki yükseklik sınıflarının, yerleşim alanı ve tarımsal alanların ve 0 – 100 m arası akarsuya yakınlık sınıflarının heyelan oluşumunda etkili oldukları tespit edilmiştir.
- 4- Heyelan duyarlılık haritasının hazırlanmasında, parametre sınıflarının ağırlık değerleri, heyelan alanları ve sınıf aralıklarına karşılık gelen toplam alanlardan yararlanarak belirlenmiştir.

Buna göre; litoloji-ayırışma parametresinin 14.75, eğimin 0.13, eğim yönünün -0.04, yüksekliğin 0.99, arazi örtüsünün -0.95 ve akarsuya yakınlık parametresinin 0.63 ağırlık değerine sahip olduğu belirlenmiştir.

- 5- Ağırlık değerleri dikkate alınarak, çalışma alanına ait heyelan duyarlılık haritası hazırlanmıştır. Oluşturulan harita “çok az duyarlı”, “az duyarlı”, “duyarlı”, “yüksek duyarlı” ve “çok yüksek duyarlı” olmak üzere 5 farklı duyarlılık sınıfına ayrılmıştır.
- 6- Üretilen haritanın performansını analiz etmek için mevcut heyelanlarla duyarlılık haritası karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda mevcut heyelanların % 81’inin duyarlı, yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlara karşılık geldiği görülmüştür. Elde edilen bu sonuç, üretilen haritanın kullanılabilirliğini göstermektedir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Rektörlüğü, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 2004.118.002.01 kod numaralı proje ile desteklenmiştir. Yazarlar, arazi örtüsü haritasının hazırlanmasında katkılarından dolayı MTA Genel Müdürlüğü personeli Dr. Hakan A. Nefeslioğlu’na teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Akgün, A., Bulut, F., 2007. GIS-based landslide susceptibility for Arsin-Yomra (Trabzon, North Turkey) region. *Environmental Geology*, 51, 1377-1387.
- Akgün, A., Dağ, S., Bulut, F., 2008. Landslide susceptibility mapping for a landslide-prone area (Findikli, NE of Turkey) by likelihood-frequency ratio and weighted linear combination models. *Environmental Geology*, 54, 1127-1143.
- Akgün, A., Türk, N., 2010a. Landslide susceptibility mapping for Ayvalık (Western Turkey) and its vicinity by multicriteria decision analysis. *Environmental Earth Science*, 61, 595-611.
- Akgün, A., Türk, N., 2010b. İki ve çok değişkenli istatistik ve sezgisel tabanlı heyelan duyarlılık modellerinin karşılaştırılması: Ayvalık (Balıkesir, Kuzeybatı Türkiye) örneği. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 34 (2), 85-112.
- Ayalew, L., Yamagishi, H., Ugawa, N., 2004. Landslide susceptibility mapping using GIS-based weighted linear combination, The case in Tsugawa area of Agano River, Niigata prefecture, Japan. *Landslides*, 1, 73-81.
- Ayalew, L., Yamagishi, H., 2005. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko mountains, Central Japan. *Geomorphology*, 65 (1-2), 15-31.
- Baeza, C., Corominas, J., 2001. Assessment of shallow landslide susceptibility by means of multivariate statistical techniques. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26, 1251-1263.
- Barnard, P.L., Owen, L.A., Sharma, M.C., Finkel, R.C., 2001. Natural and human-induced landsliding in the Garhwal Himalaya of Northern India. *Geomorphology*, 40, 21-35.
- Choubey, V.D., Chaudhari, S., Litoria, P.K., 1992. Landslide hazard zonation in Uttarkashi and Tehri Districts P. Himalaya, India. *Proceeding 6th International Symposium on Landslides*, Christchurch, 911-917.
- Çan, T., Nefeslioğlu, H.A., Gökçeoğlu, C., Sönmez, H., Duman, T.Y., 2005. Susceptibility assessments of

- shallow earthflows triggered by heavy rainfall at three catchments by logistic regression analyses. *Geomorphology*, 72, 250-271.
- Çevik, E., Topal, T., 2003. GIS-Based Landslide Susceptibility Mapping for a Problematic Segment of the Natural Gas Pipeline, Hendek (Turkey). *Environmental Geology*, 44, 949-962.
- Dağ, S., Bulut, F., Akgün, A., 2006. İki değişkenli istatistiksel analiz yöntemi ile Çayeli (Rize) ve çevresindeki heyelanların değerlendirilmesi. 1. Heyelan Sempozyumu, Trabzon, Bildiriler Kitabı, 84.
- Dağ, S., 2007. Çayeli (Rize) ve çevresinin istatistiksel yöntemlerle heyelan duyarlılık analizi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Doktora Tezi, 241 s (yayımlanmamış).
- Dai, F.C., Lee, C.F., Xu, Z.W., 2001. Assessment of Landslide Susceptibility on the Natural Terrain of Lantau Island, Hong Kong. *Environmental Geology*, 40 (3), 381-391.
- Dai, F.C., Lee, C.F., 2001. Terrain-based mapping of landslide susceptibility using a geographical information system: A case study. *Canadian Geotechnical Journal*, 38, 911-923.
- Donati, L., Turrini, M.C., 2002. An objective method to rank the importance of the factors predisposing to landslides with the GIS methodology: Application to an area of the Apennines (Valnerina; Perugia, Italy). *Engineering Geology*, 63, 277-289.
- Ercanoğlu, M., Gökçeoğlu, C., 2002. Assessment of Landslide Susceptibility for a Landslide-Prone Area (North of Yenice, NW Turkey) by Fuzzy Approach. *Environmental Geology*, 41, 720-730.
- Ercanoğlu, M., 2003. Bulanık Mantık ve İstatistiksel Yöntemlerle Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesi: Batı Karadeniz Bölgesi (Kumluca Güneyi - Yenice Kuzeyi)" Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 203 s. (yayımlanmamış).
- Environmental Systems Research Institute, 1996, Using ArcView GIS, United States of America.
- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., Savage, W.Z., 2008. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. *Engineering Geology*, 102, 85-98.
- Fernandez, C.I., Del Castillo, T.F., El Hamdouni, R., Montero, J.C., 1999. Verification of landslide susceptibility mapping: A case study. *Earth Surface Process and Landforms*, 24, 537-544.
- Guillande, R., Gelugne, P., Bardintzeff, J.M., Brousse, R., Chorowich, J., Deffontaines, B., Parrot, J.F., 1993. Cartographie automatique de zones a aleas de mouvement de terrain sur l'île de Tahiti a partir de donnees digitales. *Bulletin de la Societe Geologique de France*, 164 (4), 577-583.
- Gökçeoğlu, C., Aksoy, H., 1996. Landslide susceptibility mapping of the slopes in the residual soils of the Mengen Region (Turkey) by deterministic stability analyses and image processing techniques. *Engineering Geology*, 44, 147-161.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1981. ISRM Suggested Methods; Rock Characterization, Testing and Monitoring. Pergamon Press, London, 211 p.
- Korkmaz, S., Gedik, A., 1988. Rize-Fındıklı-Çamlıhemşin arasında kalan bölgenin jeolojisi ve petrol oluşumları. *Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını*, 32-33, 5-15.
- Lee, C.F., Ye, H., Yeung, M.R., Shan, X., Chen, G., 2001. A GIS-Based Methodology for Natural Terrain Landslide Susceptibility Mapping in Hong Kong. *Episodes*, 24 (3), 150-159.

- Lee, S., Chwae, U., Min, K., 2003. Landslide susceptibility mapping by correlation between topography and geological structure: The Janghung Area, Korea. *Geomorphology*, 46, 9-162.
- Lee, S., 2005. Application of logistic regression model and its validation for landslide susceptibility mapping using GIS and remote sensing data. *International Journal of Remote Sensing*, 26 (7), 1477-1491.
- Luzi, L., Pergalani, F., 1999. Slope instability in static and dynamic conditions for urban planning: The "Oltre Po Pavese" case history (Region Lombardia-Italy). *Natural Hazards*, 20, 57-82.
- Mejia-Navarro, M., Wohl, E.E., 1994. Geological hazard and risk evaluation using GIS: Methodology and model applied to modellin, Colombia. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 31 (4), 459-481.
- MİGM (Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü), 2007, Ankara, 4s.
- Nagarajan, R., Roy, A., Vinod Kumar, R., Mukherjee, A., Khire, M.V., 2000. Landslide hazard susceptibility mapping based on terrain and climatic factors for tropical monsoon regions. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 58, 275-287.
- Nefeslioğlu, H.A., Gökçeoğlu C., Sönmez H., 2008. An assessment on the use of logistic regression and artificial neural networks with different sampling strategies for the preparation of landslide susceptibility maps. *Engineering Geology*, 97, 171-191.
- Ohlmacher, G.C., Davis, J.C., 2003. Using multiple logistic regression and GIS technology to predict landslide hazard in Northeast Kansas, USA. *Engineering Geology*, 69, 331-343.
- Pachauri, A.K., Pant, M., 1992. Landslide Hazard Mapping Based on Geological Attributes. *Engineering Geology*, 32, 81-100.
- Peloquin, S., Gwyn, Q.H.J., 2000. Using remote sensing, GIS and artificial intelligence to evaluate landslide susceptibility levels: Application in the Bolivian Andes. 4th International Conference On Integrated GIS Environment Modules, Canada, 26-37.
- Pradhan, S., Lee, B., 2010. Regional landslide susceptibility analysis using back-propagation neural network model at Cameron Highland, Malaysia. *Landslides*, 7, 13-30.
- Rautella, P., Lakhera, R.C., 2000. Landslide risk analysis between giri and ton rivers in Himachal Himalaya (India). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2 (3-4), 153-160.
- Santacana, N., Baeza, B., Corominas, J., Paz, A.D., Marturia, J., 2003. A GIS-based multivariate statistical analysis for shallow landslide susceptibility mapping in La Pobla de Lillet area (Eastern Pyrenees, Spain). *Natural Hazards*, 30, 281-295.
- Süzen, M.L., 2002. Data Driven Landslide Hazard Assessment Using Geographical Information System and Remote Sensing. Middle East Technical University Graduate School of Natural and Applied Sciences Geological Engineering Department, PhD. Thesis, Ankara, 196 p. (unpublished).
- Soeters, R.S., Van Westen, C.J., 1996. Slope Instability Recognition, Analysis and Zonation. In *Landslides: Investigation and Mitigation* A.K. Turner and R.L. Schuster (eds.). Transportation Research Board, National Research Council, Special Report-247, National Academy Press, Washington DC, 129-177.
- Temesgen, B., Mohammed, M.U., Korme, T., 2001. Natural hazard assessment using gis and remote

- sensing methods, with particular reference to the landslides in the Wondogenet Area, Ethiophia. *Physics and Chemistry of the Earth*, 26 (9), 665-675.
- Van Westen, C.J., 1993. Remote Sensing and Geographic Information Systems for Geological Hazard Mitigation. The Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation Journal, 4, 393-399.
- Wilson, J.P., Gallant, J.C., 2000. *Terrain Analysis Principles and Application*, John Wiley & Sons, Canada, 479 p.
- Yalçın, A., Bulut, F., 2007. Landslide susceptibility mapping using GIS and digital photogrametric techniques; a case study from Ardeşen (NE-Turkey). *Natural Hazard*, 41, 201-226.
- Yalçın, A., 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations. *Catena*, 72, 1-12.
- Yeşilnacar, E., Topal, T., 2005. Landslide susceptibility mapping: A comparison of logistic regression and neural networks methods in a medium scale study, Hendek Region (Turkey). *Engineering Geology*, 79, 251-266.
- Yılmaz, I., 2009. A case study from Koyulhisar (Sivas-Turkey) for landslide susceptibility mapping by Artificial Neural Networks. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 68 (3), 297-306.

Kayaçların Fiziksel, Mekanik ve Elastik Özelliklerinin Ultrasonik Hız Tekniği ve Zaman-Frekans Analiziyle Belirlenmesi: Bej Kireçtaşları (KD Türkiye) Üzerine Örnek Bir Çalışma

Determination of Physical, Mechanical and Elastic Properties of the Rocks with Ultrasonic Velocity Technique and Time-Frequency Analysis: A Case Study on the Beige Limestones (NE Turkey)

Ali Erden BABACAN¹, Hakan ERSOY², Kenan GELİŞLİ¹

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, TRABZON

²Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, TRABZON

Geliş (received) : 5 Mart (March) 2012

Düzeltilme (revised) : 24 Nisan (April) 2012

Kabul (accepted) : 10 Mayıs (May) 2012

ÖZ

Kaya mekaniği ve mühendislik jeolojisi uygulamalarının çoğunda, Tek Eksenli Basınç Dayanımı ve Elastisite Modülü yaygın olarak kullanılan parametrelerdir. Fakat bazı durumlarda bu deney için numune hazırlanması ve deneyin yapılması pahalı ve zaman alıcıdır. Bir alternatif olarak, kayaçların önemli mühendislik özelliklerinin tahmininde çeşitli mekanik ve fiziksel özellikler arasındaki analitik ve ampirik ilişkiler kullanılabilir. Bu nedenle ultrasonik hız gibi basit deney yönteminin tek eksenli basınç dayanımını ve elastisite modülünü kestirmek amacıyla kullanımı oldukça yaygındır. Bu basit deney yöntemleri hızlı, kolay, taşınabilir ve ucuzdur. Ayrıca numune hazırlama işlemi de gerektirmeyebilirler. Bu çalışmada ise Doğu Pontidler (KD Türkiye) güney zonunda yüzeyleyen bej kireçtaşlarına ait örnekler üzerinde basit deney yöntemleri ve tek eksenli basınç dayanım deneyleri uygulanmış, kayacın tek eksenli basınç dayanımı ve elastisite modülü sonuçları ile basit deney sonuçları arasında istatistiksel ilişkiler kurulmuştur. Çalışmalar sonucunda doğrudan ve dolaylı yöntemlerle belirlenen kayaç özellikleri arasında anlamlı istatistiksel ilişkiler belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fiziksel özellik, Kireçtaşı, Mekanik özellik, Sonik hız.

ABSTRACT

In the most of engineering geological and rock engineering applications, uniaxial compressive strength (UCS) and elasticity modulus (E) of the intact rocks are the most widely used parameters.

However, in some cases it can be quite difficult, time consuming and expensive to prepare specimens and to conduct this test. As an alternative, the empirical or analytical relationships between various physical and mechanical strength properties of materials can be used to estimate the required engineering properties of rocks. For these reasons, simple test method such as ultrasonic sonic velocity test is used widely. This simple test has been world widely used to estimate the UCS and E of the rock materials, because of their rapidity, simplicity, portability, low cost, non-destructiveness and easiness in both specimen preparation and test conduction. In this study, simple test methods and UCS tests were conducted on the samples obtained from the beige limestones outcropping in the southern zone of the eastern Pontides and some statistical correlations were established between results of simple tests and UCS test results. Regarding the test results obtained by the direct and indirect methods, meaningful statistical relations between the rock properties are obtained.

Key Words: *Physical properties, Limestone, Mechanical properties, Ultrasonic velocity.*

GİRİŞ

Ultrasonik teknikler uzun yıllardır madencilik alanında ve jeoteknik uygulamalarda kullanılmaktadır. Bunlar, jeofizik çalışma alanlarında ve kayaçların dinamik özelliklerinin laboratuvarlarda belirlenmesinde kullanılabilir. Bu teknikler, uygulanmasının kolaylığı ve zararsız olmasından dolayı, jeoteknik mühendisliğinde artarak kullanılmaya başlanmıştır. Bilindiği gibi kayaçlar farklı fiziksel özelliklere sahiptir ve herhangi bir etki karşısında farklı tepki vermektedirler (Altıntaş, 1996). Zararsız, düşük maliyetli ve kolay uygulanabilen ölçüm tekniklerinden biri olan ultrasonik yöntemler, araziden toplanan kaya numunelerinin ultrasonik hızlarının laboratuvar ortamında belirlenmesinde uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. Akustiğin bir kolu olan ultrasonik insan kulağının işitmeyeceği kadar yüksek frekanslı (>20Khz) ses dalgalarına verilen addır. Ultrasonik P (boyuna) ve S (enine) dalga hızları, ölçümü yapılan numunenin

yoğunluğuna ve dokusal özelliklerine bağlı olarak değişim göstermektedir. Ultrasonik hızlar homojen ve heterojen malzemelerde doğal olarak farklılık gösterir. Kayaçlara ait fiziksel ve mekanik özelliklerin tespiti için, ultrasonik dalga hızları birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır (Kahraman, 2001; Karakuş vd., 2005; Singh ve Sharma, 2008; Ersoy vd., 2009; Babacan vd., 2009).

Son yıllarda, ultrasonik ölçümlerin sinyal analizi, ilgilenilen fiziksel bilginin belirlenmesinde çok önemli bir yöntem olmaya başlamıştır (Malinaric ve Kostial, 1998). Zaman-frekans analizi, ultrasonik sinyalin analizi için kullanılan veri-işlem yöntemlerinden birisidir. Ultrasonik puls yöntemiyle elde edilen sinyaller, zaman-frekans analizi ile değerlendirilmektedir. Her bir numune için elde edilecek olan sinyallerin Fourier spektrumları alınarak, zaman ortamındaki veriler frekans ortamına

aktarılır ve zaman ortamında göremediğimiz bazı özellikler belirlenebilir. Materyaller içerisindeki süreksizliklerden yansıyan sinyaller, süreksizliğin boyutu ve yeri hakkında bilgi sağlamaktadır (Saka vd., 1989).

Bu çalışmada, Doğu Pontidler (KD Türkiye) güney zonunda geniş yayılımlar gösteren Alt Kretase-Malm yaşlı Berdiga Formasyonu'na ait bej kireçtaşlarından alınan bloklardan karot örnekleri temin edilmiş, daha sonra laboratuvarında kayaçların boyuna ve enine dalga hızları ölçülmüştür. Elde edilen hızlardan dinamik-elastik parametreler ampirik olarak hesaplanmıştır. Bunun yanı sıra, direk laboratuvar yöntemleri ile kayaç örneklerinin porozite, su içeriği, tek eksenli basınç dayanımı değerleri belirlenmiş, gerilme-deformasyon ilişkisinden elastisite modülü değerleri hesaplanmıştır. Bu veriler birbirleriyle istatistiksel olarak ilişkilendirilmiş, kireçtaşlarının mühendislik özellikleri dolaylı yollardan belirlenmeye çalışılmıştır.

MATERYAL VE METOT

Ultrasonik Hız Ölçümü

Ultrasonik hız ölçümlerinde Puntid Plus marka ultrasonik hız ölçüm cihazı kullanılmıştır. Puntid Plus ile kaya numunelerinde duyarlı ölçümler yapılabilmektedir. Boyuna dalga hızlarını belirlemek için 54 kHz'lik piezoelektriksel özellikte alıcı-verici problar kullanılırken, enine dalga hızlarını belirlemek için ise 1 Mhz'lik alıcı-verici kullanılmıştır. Verici probtan üretilen elektriksel sinyal mekanik titreşime dönüştürülerek kaya numunesine gönderilir, numune içinden geçen sinyal karşı taraftaki alıcı tarafından

kaydedilir. Hız ölçümü yapılırken, alıcı ve verici başlıklar ile numune arasına bir jel sürülmesi ve numune ile alıcı-verici başlıklara belli bir kuvvet uygulanarak başlıkların numuneye iyi temas ettirilmesi çok önemlidir. Sinyalin kaya numunesi içindeki yayılım süresinden hız belirlenir. Kayaçların hızları direk, yarı direk ve indirek yöntemler olmak üzere 3 farklı yöntem ile belirlenebilmektedir. Bu çalışmada ultrasonik ölçüm tekniklerinden biri olan puls iletim (direk ölçüm) tekniği kullanılmıştır. Puls iletim tekniği direk iletim ölçümüdür. Bu uygulamada materyallerin puls hızı; alınan kayaç numunesinin paralel yüzeyleri üzerine alıcı ve vericileri yerleştirilerek geçiş zamanı ölçülerek belirlenir. Ultrasonik sinyalleri elde etmek için duyarlı bir osiloskop, ölçüm cihazına bağlanır ve elde edilen sinyaller sayısal olarak kaydedilir. Daha sonra kaydedilen sinyallerin spektral analizi yapılır. Ultrasonik test kullanılarak elde edilen sinyallerin, analizleri ile ölçüm yapılan materyaller içerisindeki süreksizlikler ve yerleri oldukça hassas bir şekilde belirlenebilmektedir.

Zaman-Frekans (Sinyal) Analizi

Materyaller içerisindeki süreksizlikler, mikro çatlaklar, boşluklar gibi heterojen yapılar ultrasonik sinyallerin analizi ile belirlenebilmektedir. Sinyalin Fourier dönüşümünü almak suretiyle zaman ortamındaki veri frekans ortamına aktarılır. Fakat verinin sadece frekans ortamındaki içeriğini incelemek yetmeyebilir. Verinin hem frekans hem de zamanla değişimine bakmak gereklidir. Bunun için zaman frekans analiz yöntemleri uygulanarak verinin frekans içeriğinin zamanla değişimi incelenmektedir. Değişik zaman-frekans analiz yöntemleri vardır.

Bunların en yaygın olanlarından bir tanesi kısa zamanlı Fourier dönüşümüdür (KFZD). Sismogram gibi durağan olmayan sinyaller için, frekans içeriği zamanla değişim göstermektedir.

Sinyalin genlik spektrumu farklı frekansların varlığını ortaya çıkarsa da, bu frekansların zaman içerisindeki değişimlerini göstermez. Sinyalin kısa bir zaman penceresi boyunca sabit olduğunu kabul edersek, Fourier dönüşümü belli bir zaman süresi içinde sinyalin frekans içeriği ile ilgili bilgi verir. Bu zaman penceresi uygun olarak seçilirse, sinyalin frekans içeriği ortaya çıkartılır. Bu iki boyutlu gösterim kısa zaman Fourier dönüşümü (KZFD) olarak adlandırılır. Matematiksel olarak ifade edilirse; w , frekans, T ise anlık zamanı göstermek üzere KZFD aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$KZFD_{(T, w)} = \int f(t)g(t-T)e^{-j\omega t} \quad (1)$$

Burada, $f(t)$ zaman ortamında sinyal, $g(t)$ pencere fonksiyonu, $e^{-j\omega t}$ ise Fourier dönüşüm operatörüdür.

$f(t)$ sinyali, pencere fonksiyonu $g(t)$ ile çarpılarak belirli aralıklarda parçalara bölünür. Daha sonra, bu pencerelenmiş sinyalin Fourier dönüşümü hesaplanır. Bu işlem $g(t-T)$ fonksiyonu kullanılarak zaman içinde seçilen pencerelere tekrar uygulanır. Frekans-zaman düzlemi içindeki her bir düşey dikdörtgen, pencerelenmiş sinyalin Fourier dönüşümüdür.

KZFD yönteminde pencere fonksiyonunun seçimi oldukça önemlidir. Eğer bu fonksiyon uzun bir zaman aralığına sahipse, frekans ortamında bant genişliği dar bir bant geçişli

filtre gibi olur. Bu durum frekans ekseninin iyi örneklendiğini gösterir. Ancak, uzun zaman aralığı, zaman ortamındaki küçük değişimlerde belirsizliklere de neden olabilir (Chakraborty ve Okaya, 1995).

Deneysel Laboratuvar Çalışmaları

Bu çalışmada, su içeriği, porozite ve sonik hız değeri gibi indeks özellikler, tek eksenli sıkışma dayanımı gibi dayanım özellikleri ve elastisite modülü, poisson oranı gibi elastik özellikler ve bu deneylerde kullanılacak karot örneklerinin hazırlanması ISRM (1981) ve CANMET (1997a ve b) standartları göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Deneyler uygun yüzleklerden seçilerek laboratuvara getirilen blok örneklerden alınan karotlar üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Tek eksenli basınç direnci deneyi, silindirik bir şekle sahip kayaç malzemesi örneklerinin dayanım ve kaya kütlesi sınıflamalarında ve tasarımlarda yaygın biçimde kullanılan sıkışma dayanımının tahmini amacıyla yapılır. Bu çalışmada, kayaçların tek eksenli sıkışma dayanımları belirlenirken, ISRM (1981) tarafından önerilen standartlar kullanılmıştır. Örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_c) aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır.

$$\sigma_c = F/A \quad (2)$$

Burada, F : yenilme anında kaydedilen yük, A : silindirik örneğin en kesit alanıdır.

Çalışmada, tek eksenli basınç deneyi yapılırken, kayaçların Elastisite modülü (Young Modülü) ve Poisson Oranı da tayin edilmiş,

deneylerde ISRM (1981) tarafından önerilen standartlar kullanılmıştır.

Çalışmada eksenel ve çapsal birim deformasyonlar (ϵ_a ve ϵ_d) aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır:

$$\epsilon_a = \Delta L / L_0 \quad (3)$$

$$\epsilon_d = \Delta D / D_0 \quad (4)$$

Burada; ΔL : örneğin eksen boyunca uzunluktaki değişim, L_0 : deney öncesi örneğin orijinal eksenel boyu, ΔD : çaptaki değişim, D_0 : örneğin deney öncesindeki çapıdır

Sismik yöntemlerde kaya kütleline ait poisson oranı, kesme modülü, bulk modülü ve elastisite modülü aşağıda verilen eşitlikler (Telford vd., 1993) yardımıyla belirlenmiştir.

$$\rho = 0.31 * V_p^{0.25} \text{ (gr/cm}^3\text{)} \quad (5)$$

$$\nu = [0.5 (V_p/V_s)^2 - 1] / [(V_p/V_s)^2 - 1] \quad (6)$$

$$G = \rho * V_s^2 \quad (7)$$

$$k = \rho [V_p^2 - (4V_s^2/3)] \quad (8)$$

$$E_m = \rho * V_s^2 [(3V_p^2 - 4V_s^2) / (V_p^2 - V_s^2)] \quad (9)$$

Burada, V_p : boyuna dalga hızı (m/sn), V_s : enine dalga hızı (m/sn), ρ : yoğunluk (gr/cm³), ν : poisson oranı, G : kesme modülü (MPa), k : bulk modülü (MPa) ve E_m ise elastisite modülüdür (MPa).

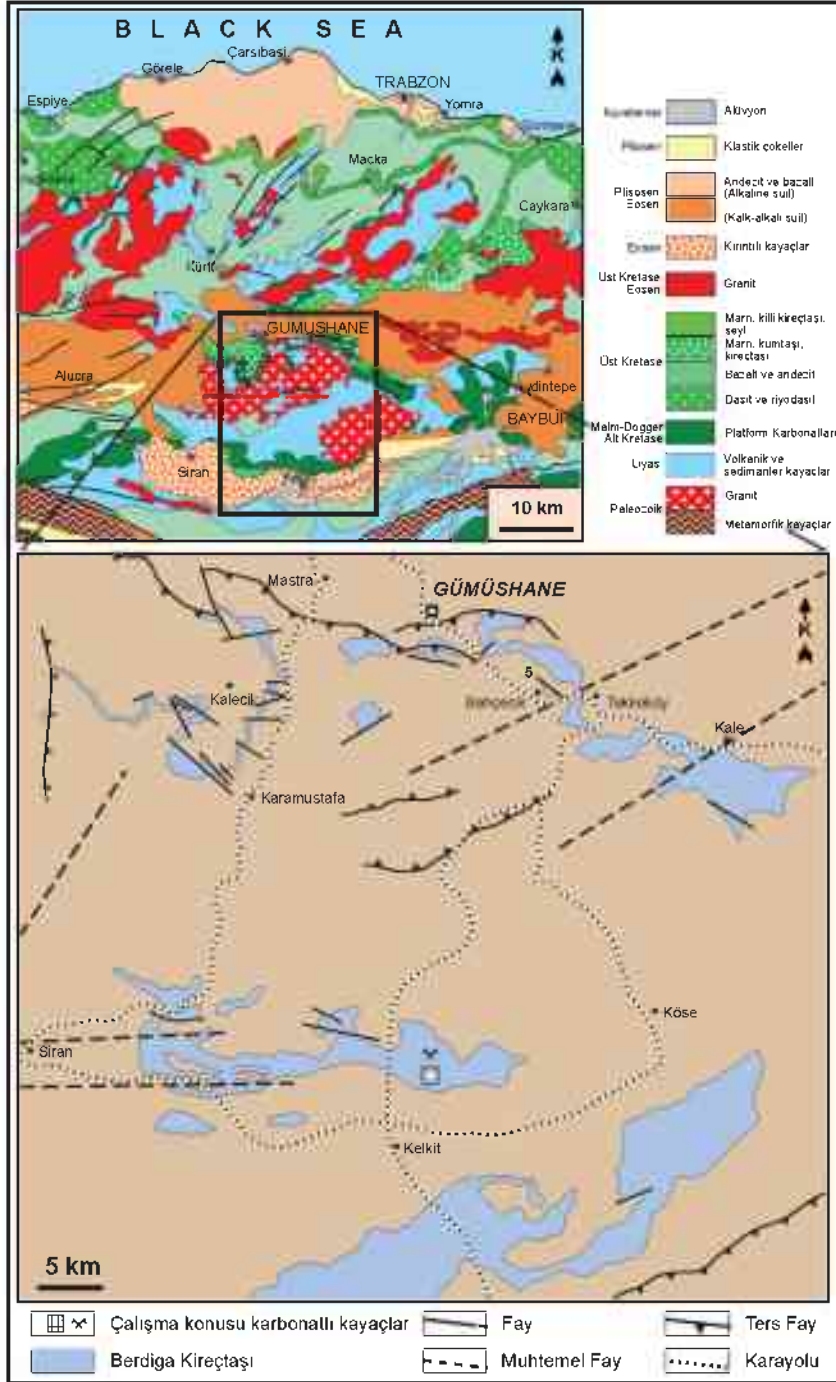
BULGULAR

Çalışma Alanının ve Çevresinin Jeolojisi

Türkiye'nin tektonik ve jeolojik birlikteliklerinden biri olan Doğu Pontidler, yapısal ve litolojik özellikler göz önünde

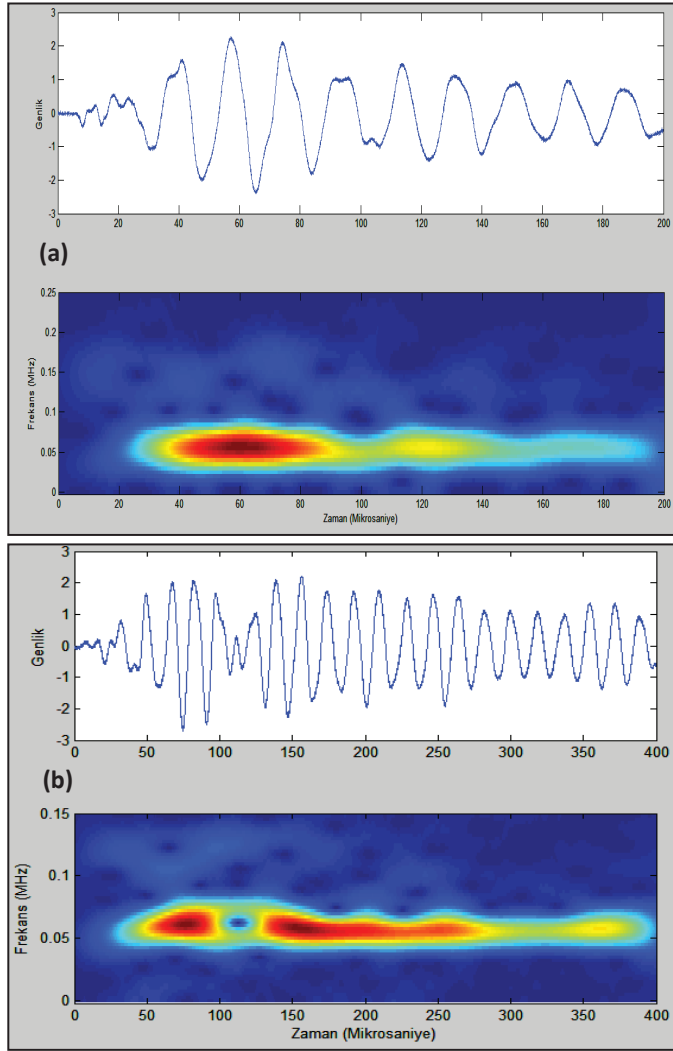
bulundurularak Kuzey ve Güney Zon olarak tanımlanan iki ayrı bölgeye ayrılmıştır (Ketin 1966; Okay ve Şahintürk, 1997). Kuzey Zon Üst Kretase ve Orta Miyosen volkanik ve piroklastik kayalarla karakteristik iken, Güney Zon ise Üst Kretase öncesi tortul birimler ile karakteristiktir. Çalışma konusunu oluşturan bej kireçtaşları, Doğu Pontidler'in güney zonunda yer alan ve platform karbonatları olarak da bilinen Alt Kretase-Malm yaşlı Berdiga Formasyonu'na aittir. Bu birim ilk kez, litostratigrafi adlama kurallarına uygun olarak Pelin (1977) tarafından Alucra (Giresun) yöresinde yayılım gösteren masif kireçtaşları için Berdiga Formasyonu adı ile tanımlanmıştır. Çoğunlukla gri, grimsi beyaz renklerde olan birim, çok çatlaklı ve tabakasız bir yapı göstermektedir. Çalışma alanı ve çevresinde yaygın olarak yüzeylenen birim, dolomitik kireçtaşı ve kristalize kireçtaşlarından oluşmaktadır. Sarp kayalıklar şeklinde gözlenmesi ile çevre kayalardan kolayca ayırt edilebilmektedir. Şekil 1a'da Doğu Karadeniz Bölgesi'nin jeoloji haritası, Şekil 1b'de ise bej kireçtaşlarının bölgedeki yayılımı görülmektedir.

Tüm Doğu Pontidler'de olduğu gibi inceleme alanında da geniş yüzleklere sahip bol fosilli, sığ denizel kireçtaşları ve dolomitik kireçtaşları tipik bir karbonat platformu ürünüdürler. Tümüyle karbonatlı kayalardan oluşan birim homojen bir yapı sunar ve genel olarak zengin mikro fosil (özellikle küçük bentik foraminifer) içerir. Birim, üst seviyeleri çört yumru ve bantlı ve tabandan tavana karbonatlı fasiyeste gelişmiş özelliklere sahiptir. Bununla birlikte ideal bir karbonat platformunda izlenen yaygın mikrofasiyes tiplerinin tümü izlenebilir özelliktedir.



Şekil 1. Doğu Pontidlere ait genelleştirilmiş jeoloji haritası (a) ve çalışma konusu bej kireçtaşlarının Doğu Pontid Güney Zonundaki dağılımı (b) (Güven, 1993'ten değiştirilerek)

Figure 1. Generalized geological map of the Eastern Pontides (a) and the locations of the studied limestones in the southern zone of the Eastern Pontide (b) (modified from Güven, 1993)



Şekil 2. Mikroçatlak içermeyen (a) ve mikroçatlak içeren kireçtaşlarına (b) ait zaman-frekans dağılımı.

Figure 2. Time-frequency graphs of the limestones having (a) no micro-cracks and (b) micro-cracks.

Kireçtaşlarına Ait Zaman-Frekans (Sinyal) Analizi

Çalışmada ilk olarak ultrasonik yöntemler kullanılarak örnekler üzerinde sinyal analizleri yapılmış, çalışma konusu kireçtaşlarından alınan kaya malzemesinin deney standartlarına uygunluğu araştırılmıştır. Ultrasonik ölçüm

cihazına bağlanan bir osiloskop yardımıyla bej kireçtaşı örneklerinden elde edilen sinyallere bazı veri-işlem teknikleri uygulanarak bu kayaçların içyapıları analiz edilmiş, deney sonuçlarını olumsuz etkileyecek mikrofisür içeren kayaç örnekleri belirlenmiştir. Yoğun mikrofisür içeren örnekler çalışmaya dahil edilmemiştir (toplam 15 örneğin 5 tanesi). Şekil 2a'da fisür içermeyen

Tablo 1. Kireçtaşlarının dolaylı ve direk yöntemlerle belirlenen bazı fiziksel, mekanik ve elastik özellikleri
 Table 1. Some physical, mechanical and elastic properties of the limestones measured by using direct and indirect methods.

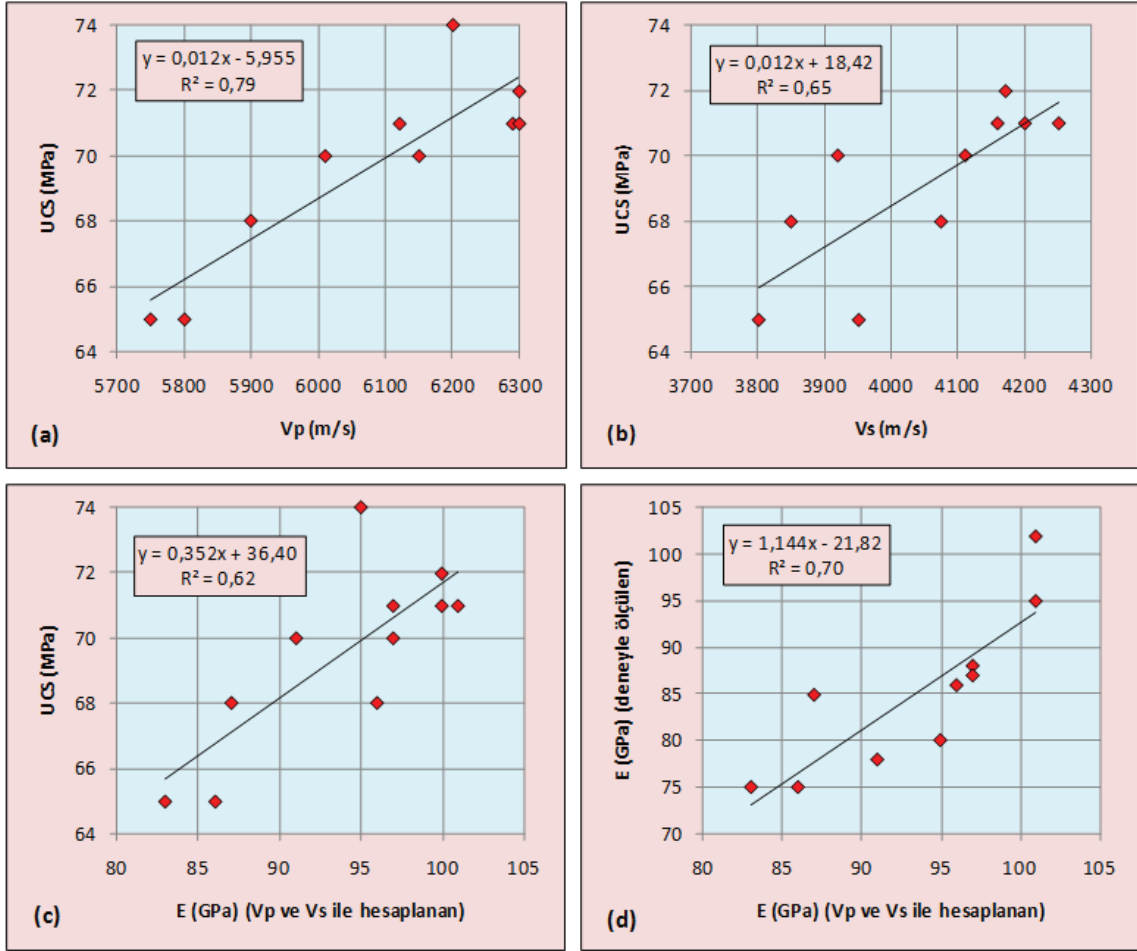
Örnek	Dolaylı Yöntemler				Direk Yöntemler			
	Vp (m/sn)	Vs (m/sn)	μ	E (GPa)	UCS (MPa)	n (%)	w (%)	E (GPa)
1	6300	4170	0.11	100	72	0.77	0.059	81
2	6200	4025	0.14	95	74	0.77	0.039	80
3	6150	4110	0.10	97	70	0.52	0.045	88
4	6100	4000	0.12	93	86	0.88	0.045	104
5	6150	4115	0.10	96	64	1.08	0.048	80
6	6120	4160	0.07	97	71	0.96	0.030	87
7	5900	3850	0.13	87	68	1.01	0.040	85
8	6010	3920	0.13	91	70	1.14	0.056	78
9	6320	4220	0.10	101	80	1.09	0.021	102
10	6200	4000	0.14	95	61	1.15	0.045	74
11	5750	3800	0.11	83	65	1.15	0.034	80
12	6150	4075	0.10	96	68	0.80	0.049	79
13	6290	4250	0.08	101	71	1.07	0.036	95
14	6300	4200	0.10	100	71	1.02	0.045	78
15	5800	3950	0.07	86	65	1.27	0.061	75
Ort.	6145	4040	0.11	94	70	0.98	0.043	85
Std. Sp.	179	137	0.02	6	6	0,2	0,01	9

Açıklama: Vp ve Vs: Boyuna ve enine dalga hızı, μ : poisson oranı, E: Elastisite modülü, UCS: tek eksenli sıkışma dayanımı, n: görünür porozite, w: su içeriği

ve homojen ortam özelliğinde olan bir örneğe ait, Şekil 2b'de ise fisür içeren ve bu nedenle heterojen özellik sunan bir örneğe ait zaman-frekans (sinyal) analiz sonuçları verilmiştir. Şekil 2'de fisür içermeyen kayalara ait sinyal analiz grafiğindeki eğrinin dalga boyu homojen olarak azalırken, fisür içeren kayada ise bir kesiklik görülmektedir.

Kireçtaşlarının Fiziksel, Mekanik ve Elastik Özellikleri

Ultrasonik teknikler uzun yıllardır jeoteknik uygulamaların çözümünde kullanılmıştır. Birçok araştırmacı kaya özellikleri ve ses hızı arasındaki ilişki üzerinde çalışmış ve ses hızının kaya özellikleriyle oldukça ilişkili olduğunu belirlemiştir.



Şekil 3. Kireçtaşların fiziksel, mekanik ve elastik özelliklerinin istatistiksel olarak karşılaştırılması (a: boyuna dalga hızı-tek eksenli sıkışma dayanımı, b: enine dalga hızı- tek eksenli sıkışma dayanımı, c: dolaylı yöntemle belirlenen elastisite modülü-tek eksenli sıkışma dayanımı, d: dolaylı yöntemle belirlenen elastisite modülü-deneyle hesaplanan elastisite modülü grafikleri)

Figure 3. The statistical comparison of the physical, mechanical and elastic properties of the limestones (a: P wave velocity-uniaxial compressive strength, b: S wave velocity-uniaxial compressive strength, c: indirect elasticity modulus-uniaxial compressive strength, d: indirect elasticity modulus- direct elasticity modulus).

Bu nedenle bu çalışmada, hem doğrudan, hem de dolaylı yöntemler uygulanmış; Doğu Karadeniz Bölgesi Gümüşhane ili Kelkit ilçesi kuzeyinde yüzeylenme veren Berdiga Formasyonu'na ait kireçtaşlarından alınan bloklardan elde edilen 15 adet karot örneği üzerinde laboratuvar deney-

leri gerçekleştirilmiş, ultrasonik hız (Vp boyuna ve Vs enine), porozite, su içeriği ve tek eksenli basınç dayanımları ölçülüp, gerilme-deformasyon ilişkisinden elastisite modülü değerleri belirlenmiştir. Ayrıca, akustik hızlar kullanılarak geliştirilmiş olan deneysel bağıntılar yardımıyla,

kayma modülü, elastisite modülü, bulk modülü ve poisson oranı değerleri hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 1’de verilmiştir.

Regresyon analizi, değişkenler arasındaki neden-sonuç ilişkisinin bulunmasına imkân veren bir analiz yöntemidir. Korelasyon analizinde ise iki değişken arasındaki ilişkinin yönü ve şiddeti hesaplanır. Fakat bu ilişki bir neden-sonuç ilişkisi olmak zorunda değildir. İkili regresyonda, bağımsız değişken (X) hakkında sahip olunan bilgilerden hareketle bağımlı değişken (Y) tahmin edilmeye çalışılır.

Çalışmada, Doğu Karadeniz Bölümü’nde bulunan bej kireçtaşları üzerinde yapılan deneylerden elde edilen veriler üzerinde basit doğrusal regresyon analizleri yapılmış ve sonuçlar Şekil 3’te verilmiştir.

Şekillerden de anlaşılacağı gibi, tek eksenli basınç değeri ile boyuna ve enine dalga hızları arasında anlamlı pozitif lineer ilişki bulunmaktadır. Bununla birlikte dolaylı yöntemlerle bulunan elastisite modülü ile tek eksenli basınç direnci arasında da benzer ilişki görülmektedir. Dolaylı yöntemlerle bulunan elastisite modülü ile doğrudan laboratuvar deneyleri ile belirlenen elastisite modülü arasında ise 0.70 regresyon katsayı değeriyle ifade edilen pozitif lineer ilişkiler belirlenmiştir.

SONUÇLAR

Bu çalışmada, Doğu Karadeniz Bölgesi’nde yer alan Malm-Dogger-Alt Kretase yaşlı Berdiga Formasyonu’na ait bej renkli kireçtaşlarının (Kelkit, Gümüşhane), akustik hızları laboratuvarında belirlenmiştir. Bu hızlar yardımıyla kayaçlarının kalitesi hakkında

bilgi veren dinamik-elastik parametreler hesaplanmıştır. Jeoteknik çalışmalar ile de porozite, su içeriği, tek eksenli basınç dayanımı hesaplanmış, gerilme-deformasyon ilişkisinden elastisite modülü değerleri belirlenmiştir.

Kayaçların fiziko-mekanik özelliklerinin, özellikle tek eksenli basınç direncinin belirlenmesinde numunelerin deneye uygun hale getirilmesi zaman almaktadır. Bu nedenle bu çalışmada mekanik deneyler sonucunda elde edilen verilerle sismik hızlar arasında anlamlı bir ilişki olup olmadığı test edilmiş ve elde edilen sonuçlardan da anlaşılacağı gibi örneklerin tek eksenli basınç dirençleriyle ultrasonik V_p hızları arasında anlamlı bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir. Ayrıca ölçülen elastisite modülü ile hesaplanan elastisite modülü ve V_p hızları karşılaştırılıp bunların arasında da anlamlı bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir.

Kireçtaşlarının görünür porozitesi ve su içeriği oranı değerleri oldukça düşük çıkmıştır. Bu durum yüksek hız değerleriyle doğrudan ilişkilidir. Porozite düştükçe hız değeri artmaktadır. Kireçtaşlarının hem hızlarının hem de ölçülen ve hesaplanan elastisite modüllerinin çok yüksek olması bunların oldukça sağlam bir yapıya sahip olduklarını göstermektedir. Ortaya konulan korelasyonlar numune sayısı arttıkça daha da belirginleşecektir. Genel olarak kireçtaşlarının zaman-frekans kesitlerine bakıldığında da ultrasonik sinyal formlarının fazla bozulmamış olması, genliklerinin yüksek olması, bunların oldukça homojen bir yapıya sahip olduklarını, içerisinde mikro çatlak, boşluk gibi süreksizliklerinin çok az miktarda olduğunu göstermektedir.

KAYNAKLAR

- Altıntaş, M., 1996. Sismik parametreler ile bazı kaya mekaniği parametreleri arasındaki ilişkiler. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara 96 s (yayınlanmamış)
- Babacan, A.E., Ersoy, H., Gelisli, K., 2009. Determination of physical and mechanic properties of rocks with direct and indirect methods: A case study on the beige limestones in the Eastern Pontides. Proceedings of The 21st International Mining Congress and Exhibition of Turkey, Antalya, 123-130
- CANMET, 1997a. Laboratory Classification Tests. In Pit Slope Manual of CANMET, Supplement 3-1, Canada Centre for Mineral and Energy Technology Report 77-25, 31 p.
- CANMET, 1997b. Laboratory Classification Tests, In Pit Slope Manual of CANMET, Supplement 3-1, Canada Centre for Mineral and Energy Technology Report 77-26, 74 p.
- Chakraborty, A., Okaya, D., 1995. Frequency-time decomposition of seismic data using wavelet-based methods. Geophysics, Vol. 60, 6: 1906–1916.
- Ersoy, H., Özdemir, A., Yalçınalp, B., 2009. Geology and geotechnical properties of kalecik (Gümüşhane) travertines. Proceedings of The 21st International Mining Congress and Exhibition of Turkey, Antalya, 639-648.
- Güven, İ.H., 1993. Doğu Pontidlerin Jeolojisi ve 1/250.000 Ölçekli Kompilasyonu. MTA Yayınları, Ankara, 65 s.
- ISRM., 1981. Rock Characterisation Testing and Monitoring ISRM Suggested Methods. Brown, E.T., (Editor), Pergamon Press, 211 p.
- Kahraman, S., 2001. Evaluation of simple methods for assessing the uniaxial compressive strength of rock. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Volume 38, 7, 981-994
- Karakuş, M., Kumral, M., Kılıç, O., 2005. Predicting elastic properties of intact rocks from index tests using multiple regression modelling, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 42, 2, 323-330
- Ketin, I., 1966. Anadolu'nun Tektonik Birliktelikleri. Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 66, 23-34.
- Malinaric, S., Kostial, P., 1998. Contribution to the Signal Processing of Ultrasonic Pulses. Journal of Physics, Volume 31, 8, 970–977.
- Okay, A.I., Şahintürk, O., 1997. Geology of the eastern Pontides. A.A.P.M Report of Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region, 68, 291– 311.
- Pelin, S., 1977. Alucra (Giresun) Güneydoğu yöresinin jeolojisi ve petrol olanakları bakımından incelenmesi. KTÜ Yayını, Trabzon, 87 s.
- Saka, M., Schneider, E., Holder, P.A., 1989. A new approach to detect and size closed cracks by ultrasonic. Research in Nondestructive Evaluation, Volume 1, 2, 65-75
- Singh, T.N., Sharma, P.K., 2008. A correlation between P-wave velocity, impact strength index, slake durability index and uniaxial compressive strength. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Volume 67, 1, 17-22.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Scheriff, R.E., 1993. Applied Geophysics. Cambridge University Press, London, 225 p.