

# Trabzon-Taşönü Malzeme Ocağındaki Killerin Mühendislik Özellikleri

## The Engineering Properties of Clays in Trabzon Taşönü Quarry

Nurcihan CERYAN <sup>a,\*</sup>, Ayhan KESİMAL <sup>b</sup> ve Ali AYDIN <sup>c</sup>

<sup>a</sup>Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 29000, Gümüşhane

<sup>b</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

<sup>c</sup>Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 20017, Denizli

Geliş Tarihi/Received : 30.06.2009, Kabul Tarihi/Accepted : 31.08.2009

### ÖZET

Doğu Karadeniz Bölgesinin en büyük çimento hammadde ocağı olan Taşönü Kireçtaşı Ocağında (Araklı-Trabzon) 2005-2006 tarihleri arasında üç ayrı düzlemsel yenilme gelişmiştir. Değişik fasiyelerdeki kireçtaşlarından oluşan Kireçhane formasyonunda açılmış olan ocakta gelişen bu heyelanlar sonucunda malzeme alımı büyük miktarda azalmıştır. Heyelanların kayma düzlemleri kalınlığı 15-110 cm arasında değişen killi seviyelerdir. Bu nedenle söz konusu killerin jeomekanik ve jeofizik özellikleri incelenmiştir. Killi seviyelerden alınan örnekler yüksek plastisiteli kil (CH) grubuna girmektedir. Bu örneklerdeki kil minerallerinin yaklaşık % 85-90'ı montmorillonit ve % 10-15'i ise illitdir. Bu alandaki kil çeşitliliğini ortaya koymada yararlanılan hacim manyetik süseptibilite ölçüleri  $129-163 \times 10^{-6}$  cgs aralığında değişmektedir. Bu değerler kil içindeki ağır metal kirlilik oranları ile irdelenmiş ve özellikle demir oksit (% 3.6-6.8) oranlarının değişimine bağlı olduğu sonucuna varılmıştır. Bu çalışmada, killi seviyeler ve dolgu malzemesi için elde edilen indeks ve makaslama dayanım değerleri ocaktaki açılacak kazı şevlerinin duraylılığının araştırılmasında kullanılabilir.

**Anahtar Kelimeler :** *Trabzon, Kireçtaşı ocağı, Heyelan, Kil, Manyetik süseptibilite, İndeks özellikleri.*

### ABSTRACT

Taşönü limestone quarry located south of Araklı in Trabzon is the largest cement raw materials field in the Eastern Black Sea region. The quarry is run in the Kireçhane Formation composed of limestone with various facies. However, it has been encountered three separate planar failures occurred between 2005 and 2006. Due to the failures, the amount of raw material production from the quarry has been gradually decreased. These failures occurred on clayey layers varying between 15 and 110 centimeter thicknesses. Therefore, the relevant clayey layers were examined in terms of geomechanical and geophysical properties. The samples collected from the clayey layers are classified as high plasticity clay (CH) in accordance with the Unified Soil Classification System. Clay samples consist of 85 to 90 % montmorillonite and 10 to 15 % illite. The measurement of volumetric magnetic susceptibility used in the diversity of clay varies in the range  $129-163 \times 10^{-6}$  cgs. These values have been analyzed with respect to the heavy metal pollution ratio of the clay and especially iron oxide depending on 3.6 to 6.8 % rates was the result. In this study, index and shearing strength values obtained from clayey level and filling material may be use for the investigation of the stability of quarry slopes during excavation.

**Keywords :** *Trabzon, Limestone quarry, Landslides, Clay, Magnetic susceptibility, Index properties.*

\* Yazışılan yazar/Corresponding author. E-posta adresi/E-mail address : nceryan@ktu.edu.tr (N. Ceryan)

## 1. GİRİŞ

Karadeniz Bölgesinin en önemli çimento fabrikalarından biri Trabzon Çimento Fabrikasıdır. Bu fabrikanın kullanmış olduğu kireçtaşı hammaddenin yaklaşık % 80'ni Araklı İlçesi'nin (Trabzon) yaklaşık 5 km güney batısında yer alan Taşönü köyü'ndeki ocaktan sağlamaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Taşönü malzeme ocağı yer bulduru haritası.

Bu ocak sahasında 2005-2006 yılları arasında düzlemsel kayma türünde üç ayrı heyelan meydana gelmiştir (Şekil 2). Söz konusu heyelanların tetikleyici faktörleri yoğun yağış ve kazının patlatmayla yapılması olup kolaylaştıran nedenler ise kazı şevi yüksekliğinin ve eğiminin büyük olması ile şev dışına eğimli killi seviyelerin varlığıdır. Köy camisinin ve kuran kursu binasının yıkıldığı bu heyelanlar sonucunda

can kaybı olmamıştır. Ancak ocaktaki üretim durma noktasına gelmiştir. Bu heyelanlarda kayma düzlemleri kalınlığı 15-110 cm arasında değişen kırmızı renkli killi seviyelerdir. Söz konusu heyelanlardan sonra oluşan şevlerde çukme çatlakları gelişmiş olması bu killi seviyeler üzerinde yeni yenilmelerin olabileceğini göstermektedir. Ayrıca ocakta tabaka düzlemleri doğrultusuna yaklaşık paralel doğrultuda açılan kazı şevlerinde de kil dolgulu tabaka düzlemleri boyunca kayma türü yenilmelerin oluşabileceği belirlenmiştir.

Bu çalışmada, söz konusu killi seviyelerin ve tabaka düzlemlerindeki kil dolguların jeolojik ve jeofiziksel mühendislik özellikleri incelenmiştir. Killi tabakalar ve dolgulardan alınan zemin örneklerinin indeks özellikleri, tane boyu dağılımları ve kıvam limitleri bulunarak zemin sınıfı ve aktivite değeri belirlenmiş ve görgül eşitlikle şişme potansiyeli belirlenmeye çalışılmıştır. Söz konusu örneklerin laboratuvarda yapılan direk kesme deneyi ile konsolidasyonlu drenajlı ve drenajsız koşullardaki makaslama dayanımı parametreleri bulunmuştur. Ayrıca, jeofizik yöntemlerle belirlenen kilin manyetik özelliği ile killerin ana element oksit içeriği ve makaslama dayanımı arasındaki ilişki araştırılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen veri ve bilgiler, ocaktaki söz konusu heyelanların yenilme koşullarının belirlenmesinde ve olası kaymaların analizinde temel girdi parametreleri şeklinde değerlendirilebilir.

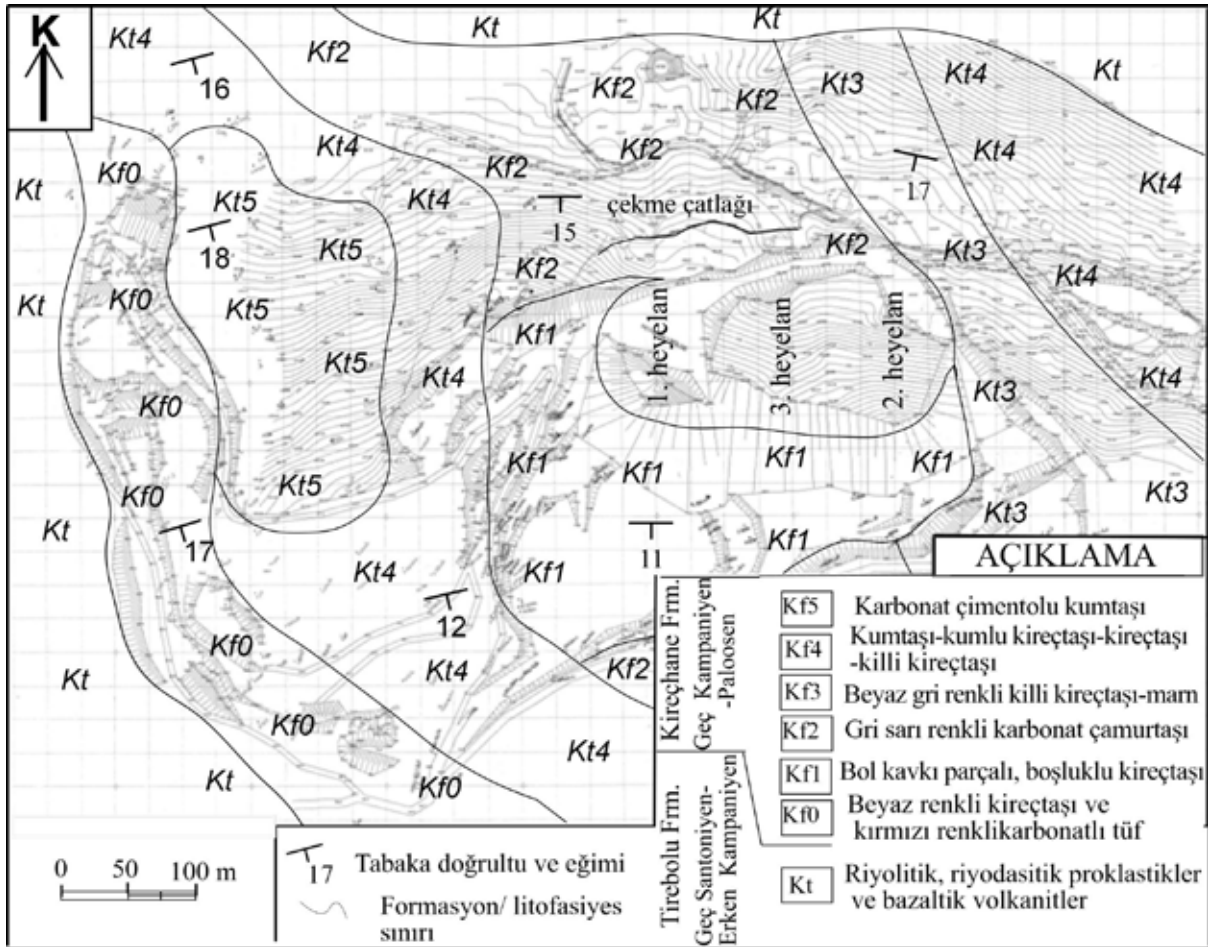


Şekil 2. Taşönü kireçtaşı ocağında 3 Ekim 2005; (1) 20 Mart 2006; (2) 19 Ekim 2006; (3) tarihlerinde meydana gelen heyelanlar.

## 2. TAŞÖNÜ KİREÇTAŞI OCAĞI'NIN (ARAKLI-TRABZON) JEOLJİSİ

İnceleme alanındaki en yaşlı birim Geç Santoniyen-Erken Kampaniyen yaşlı riyolitik, riyodasitik piroklastikleri ve bazaltik volkanitleri içeren Tirebolu formasyonudur (Güven, 1993, Kurt vd 2006). Bu formasyonun üzerine Geç Kampaniyen-Paleosen yaşlı Kireçhane formasyonu (Kurt vd 2006) uyumlu olarak gelmektedir (Şekil 3). Kireçhane formasyonu alttan üste doğru, beyaz

renkli kireçtaşı ve kırmızı renkli karbonatlı tuf aralanması (Kf0), bol kavkı parçalı, boşluklu kireçtaşı (Kf1), gri sarı renkli karbonat çamurtaşı (Kf2), beyaz gri renkli killi kireçtaşı-marn (Kf3), kumtaşı-kumlu kireçtaşı-kireçtaşı-killi kireçtaşı (Kf4) ve tabakalanmanın iyi gelişmediği beyaz-gri renkli karbonat çimentolu kumtaşlarından (Kf5) oluşmaktadır (Ceryan 2009). Kireçhane formasyonunda tabakaların kalınlığı 5-180 cm, doğrultusu K 20° B ile K300 D, eğimi ise 9-20 derece arasında değişmektedir (Ceryan 2009).



Şekil 3. Taşönü ocağının (Araklı-Trabzon) jeoloji haritası (Ceryan, 2009).

## 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Ocaktaki mevcut ve olası heyelanlarda kayma düzlemlerini oluşturan malzemeyi tanımlamak, sınıflandırmak ve makaslama dayanımını belirlemek amacıyla heyelan alanlarındaki kırmızı renkli killi seviyeden (H1 gurubu örnekler), aynı seviyenin (tabakanın) ocağın diğer alanındaki yüzeylenmelerinden (H2 gurubu örnekler) ve tabaka düzlemleri arasındaki kil dolgudan örnekler (P gurubu örnekler) alınmıştır (Şekil 4).

İndeks ve mekanik özellikler KTÜ Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği ve Jeoloji Mühendisliği laboratuvarlarında incelenmiştir. Tane boyu dağılımı için ASTM D 422-63 (2003), özgül ağırlık için ASTM 5550-00 (2003), likit limit ve plastik limit için ASTM D 4318-00 (2003) standardı esas alınmıştır. Konsolidasyonlu drenajlı ve drenajsız kesme kutusu deneyleri ASTM D 3080-98 (2003)'e göre

gerçekleştirilmiştir. Kil türünü belirlemek için örneklerin 200 nolu elekten geçen kısmı üzerinde, diferansiyel ısı analiz (DTA) ve X-ışını difraktometre analizleri (XRD) yapılmıştır. Hacim manyetik süseptibilite ölçümleri PAÜ, jeofizik mühendisliği laboratuvarlarında 10 cm<sup>3</sup> kaplar içindeki kil numuneleri Bartington Instruments© MS-2 Süseptibilite ölçüm sistemine ait MS2B çift frekans sensörü (460Hz and 4600 Hz) kullanılarak alınmıştır. Alçak frekans, ( $\chi_{LF}$ , 0.46 kHz) ve yüksek frekans ( $\chi_{HF}$ , 4.6 kHz) ölçümleri 0.1 ölçüm aralığında alınmıştır. Frekans bağlı süseptibilite ( $\chi_{FD}$  %) değerleri  $\chi_{FD}\% = (\chi_{LF} - \chi_{HF}) / \chi_{LF} \times 100$  formülü ile hesaplandı.  $\chi_{FD}$  % parametresi süper paramanyetik tanelerin belirlenmesinde etkin kullanılan değer olduğu gösterilmiştir (Yamazaki and Ioka, 1997; Bloemendal v.d.,1985).



a)



b)



c)

**Şekil 4. a) Zemin örneklerinin alındığı kayma düzlemi, b) heyelan alanı dışındaki kazı şevlerinde görülen killi seviye ve c) tabaka düzlemi üzerindeki kil dolgular. dana gelen heyelanlar.**

#### 4. KİLLİ SEVİYELERİN VE KİL DOLGULARININ MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ

##### 4. 1. Tane Dağılımı, Kıvam Limitleri ve Zemin Türü

Ocağındaki heyelanların kayma düzleminin oluşturduğu kırmızı renkli killi seviyeden alınan H1 nolu örneklerin % 33-44'ü kum, % 5-9.5'i si silt ve % 51-60.4'ü kildir (Şekil 5, Tablo 1). Bu tabakanın ocağın diğer alanındaki yüzeylenmelerinden alınan H2 nolu örneklerin % 12.3-38.1'i kum, % 4-6.9'u i silt ve %50.8-82.8'i kilden oluşmaktadır (Şekil 5, Tablo 1). Tabaka düzlemleri arasındaki dolgularından alınan P gurubu örneklerde ise kum oranı % 7.2-13.8, silt oranı % 5.8-9.5 ve kil oranı %79-87 arasında değişmektedir (Şekil 5, Tablo 1)

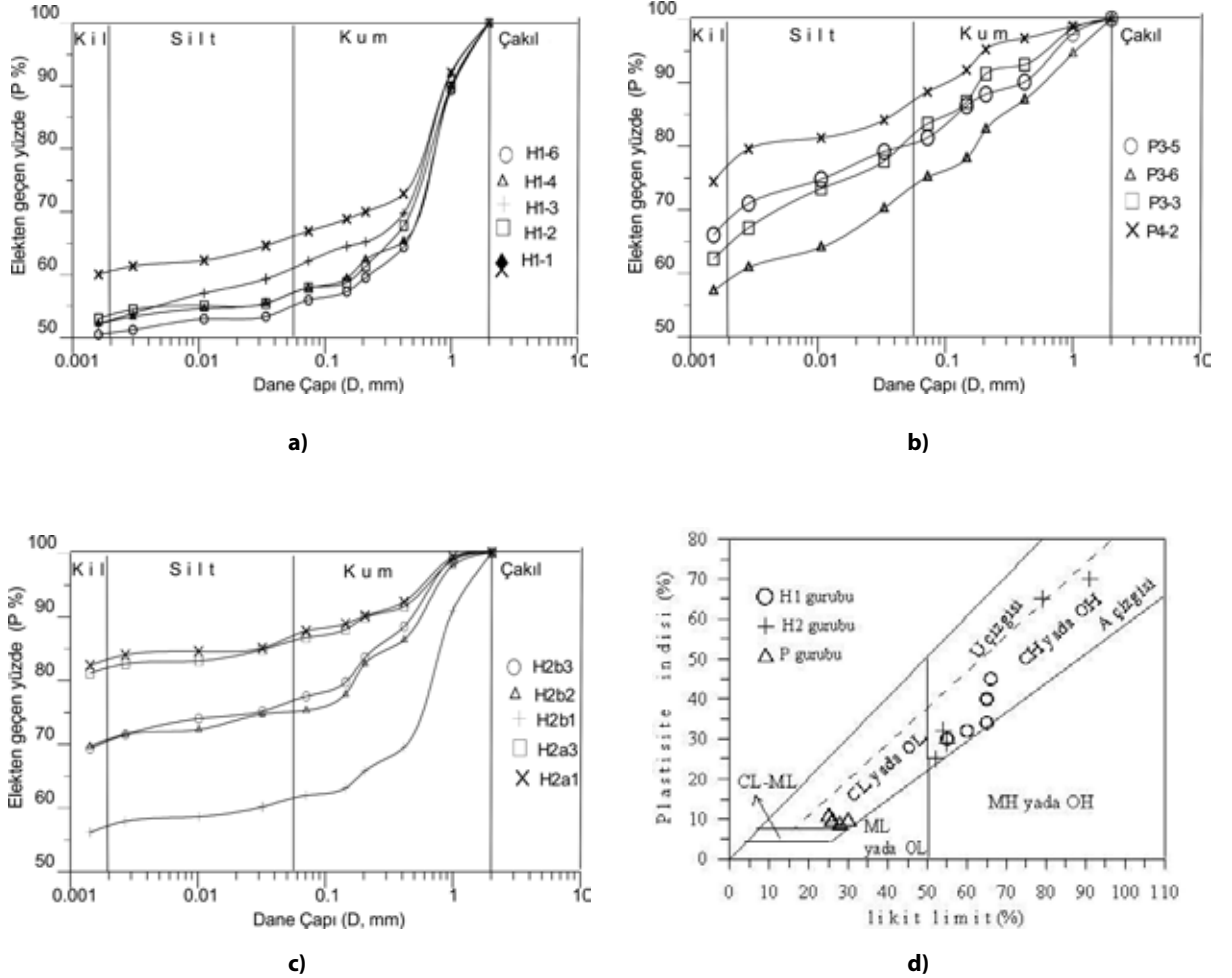
H1 gurubu ve H2 gurubu örneklerde likit limit sırasıyla % 55-66 ve %52-91, plastisite indisi %30-45 ve %25-70, arasında değişmektedir. P gurubu örneklerde ise likit limit % 22-24, plastisite indisi %10-11 arasındadır (Tablo 1).

Likit limit ve plastisite indisi birlikte değerlendirildiğinde; H1 ve H2 nolu örnekler CH (yüksek plastisiteli kil), P nolu örnekler ise CL (düşük plastisiteli kil) olarak tanımlanmaktadır (Şekil 5). TS 1500 ( T.S.E. 2000) esas alınarak yapılan sınıflandırmada, H1 nolu örneklerin "kumlu yağlı kil", H2 nolu örnekler "yağlı kil ve az kum"- "yağlı kil ", P nolu örneklerin ise "düşük plastisiteli kil" olarak tanımlanmıştır (Tablo 1).

**Tablo 1. Zemin örneklerinin kum, silt ve kil yüzdeleri, kıvam limitleri ve TS1500'e göre grubu ve tanımlaması.**

Örnek No	Dane dağılımı (%)			Kıvam limitleri (%)				Zemin grubu	TS1500' e göre sınıflama
	kum	silt	kil	w <sub>n</sub>	w <sub>L</sub>	w <sub>p</sub>	I <sub>p</sub>		
H1-1	33.09	6.51	60.4	15	55	25	30	CH	Kumlu yağlı kil
H1-2	42.07	4.13	53.8	21	65	25	40	CH	Kumlu yağlı kil
H1-3	37.84	9.46	52.7	25	60	28	32	CH	Kumlu yağlı kil
H1-4	42.09	5.31	52.6	22	65	31	34	CH	Kumlu yağlı kil
H1-6	44.03	5.17	50.8	16	66	21	45	CH	Kumlu yağlı kil
H2a1	12.3	4.9	82.8	13	52	27	25	CH	Yağlı Kil
H2a2	13.7	-	-	12	54	22	32	CH	Yağlı Kil
H2a3	13.32	5.08	81.6	13	55	26	29	CH	Yağlı Kil
H2b1	38.11	5.19	56.7	9	79	24	55	CH	Kumlu yağlı kil
H2b2	24.77	5.03	70.2	10	76	22	54	CH	Yağlı kil ve az kum
H2b3	22.56	6.94	70.5	10	91	21	70	CH	Yağlı kil ve az kum
P2(4)	5.72	5.78	88.5	23	30	20	10	CL	Düşük plastisiteli kil
P3(3)	8.22	9.48	82.3	24	28	17	11	CL	Düşük plastisiteli kil
P3(5)	9.33	6.67	84	22	26	16	10	CL	Düşük plastisiteli kil
P3(6)	12.42	8.28	79.3	23	25	14	11	CL	Düşük plastisiteli kil

(w<sub>n</sub>: Doğal su içeriği; w<sub>L</sub>: Likit limit; w<sub>p</sub>: Plastik limit; I<sub>p</sub> plastisite indisi).

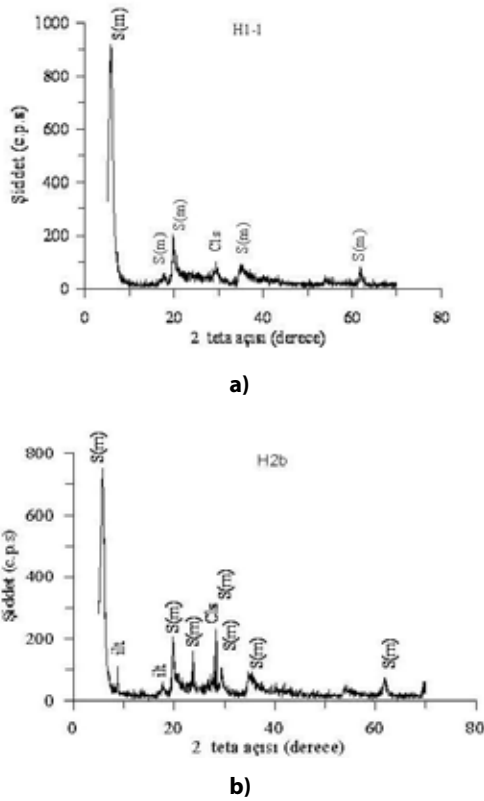


**Şekil 5. Zemin örneklerinin tane boyu dağılımı eğrileri (a,b ve c) ve Casagrande plastisite kartına (ASTM D 24-87-98) göre tanımlanması (d).**

## 4. 2. Kil Mineralojisi

Arazi gözlemleri, mineralojik ve kimyasal analizler zemin örneklerinin alındığı kırmızı renkli killerin karbonat çimentolu, biyotit, feldspat ve çok az miktarda kuvars mineral parçaları ile az miktarda kayaç parçaları içeren tüflerin ayrışmasıyla oluştuğunu göstermektedir.

DTA ve XRD analizleri sonucunda H1 nolu örneklerdeki killerin yaklaşık % 95'inin montmorillonit, % 5'inin illit türünde olduğu, H2 nolu örneklerde kil mineralleri içeriğinin H1 nolu örneklerle benzer olduğu, ancak H2'nolu örneklerde daha fazla miktarda illit bulunduğu görülmüştür (Şekil 6). H2 nolu örneklerdeki killerin yaklaşık % 85'i montmorillonit % 15'i illit türündedir. Süreksizlik dolgusundan alınan örneklerdeki killer ise kaolinit türündedir.



Şekil 6. H1-1 ve H2b nolu örneklerin XRD analizi (S(m): simektit (montmorillonit), Cls: kalsit, illt: illit).

## 4. 3. Fiziksel Özellikler, Aktivite ve Şişme Potansiyeli

Kil numunelerinin doğal birim hacim ağırlık H1'nolu örneklerde 15.3-16.3 Mg/m<sup>3</sup>, H2'nolu örneklerde 16.3-17.9 Mg/m<sup>3</sup>, P'nolu örneklerde 14.6-16.0 Mg/m<sup>3</sup>, porozite H1 nolu örneklerde % 47-52 H2 nolu örneklerde %37-43, P nolu

örneklerde %51-55 arasında değişmektedir (Tablo 2).

İncelenen zemin örneklerinin arazideki kıvam durumunun belirlenmesinde Kıvam İndeksinden (I<sub>c</sub>) yararlanılmıştır. Das (1998) tarafından kıvam indeksine göre verilen sınıflama esas alındığında H1 ve H2 nolu örnekler "çok katı veya sert", P nolu örnekler ise "plastik" kıvamda olduğu görülmektedir.

Tablo 2'de verilen değerler dikkate alındığında, kırmızı renkli killi seviyelerin "normal aktif killer", tabaka düzlemlerindeki kil örneklerin ise "düşük aktiviteli killer" olduğu görülmektedir.

Şişme, düşük geçirgenliğe sahip zeminlerde konsolidasyon sıkışmasının tersi yönünde gelişerek, zeminin hacminin artmasıyla sonuçlanan bir davranış şeklidir. Seed v.d.,(1962) şişme potansiyeli için aşağıdaki bağıntıyı önermişlerdir,

$$S=(3,6 \cdot 10^{-5}) A^{2,44} C^{3,44} \quad (1)$$

Burada, S Şişme potansiyeli (%), A aktivite sayısı ve C incelenen zeminde ağırlıkça kil yüzdesidir.

Das (1998)'de verilen şişme potansiyeline göre sınıflama dikkate alındığında H1 nolu örnekler şişme potansiyeli "orta-yüksek", H2 gurubu örnekler "yüksek-çok yüksek" P nolu örnekler ise "düşük" şişme potansiyeline sahip zemin olarak tanımlanmaktadır (Tablo 2).

## 4. 4. Makaslama Dayanımı

Taşönü kireçtaşı ocağındaki kaya şevlerinde olası yenilmelerin Kireçhane formasyonundaki killi seviyeler ve kalın kil dolgulı tabaka yüzeylerine bağlı olarak gelişeceği düşünülmektedir. Kazı şevlerinin duraylılık analizlerinin yapılabilmesi ve mevcut heyelanların geriye yönelik analizlerinin değerlendirilebilmesi için söz konusu killi seviyelerinin ve kil dolgularının makaslama dayanımı araştırılmıştır. Bu amaçla 16 adet örnek üzerinde konsolidasyonlu-drenajlı ve drenajsız koşullarda yapılan kesme kutusu deney sonuçlarından elde edilen makaslama dayanımı yer değiştirme ilişkisi Şekil 7'de gösterilmiştir. Heyelanların kayma düzleminde alınan örnekler ve tabaka düzlemlerindeki kil dolgularından alınan örneklerde (H1'nolu ve P'nolu örneklerde) en büyük (tepe) makaslama dayanımı aşıldıktan sonra makaslama dayanımı sabit kalırken makaslama yer değiştirme artmaktadır (Şekil 7a, b, e ve f). Heyelan alanı

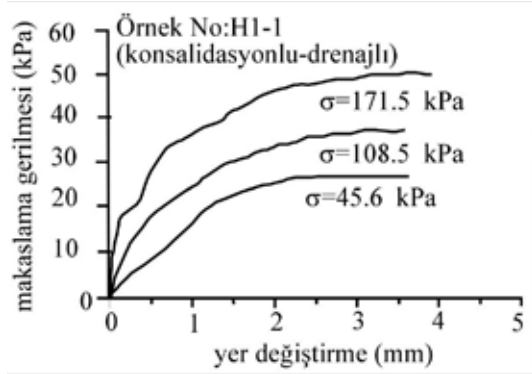
dışındaki kazı şevlerinde yüzeylenen killi seviyelerden alınan H2'nolu örneklerde ise makaslama dayanımı en büyük değere ulaşıktan sonra

sabit kalmamakta, yer değiştirme artarken kalıcı değere doğru azalmaktadır (Şekil 7c ve d).

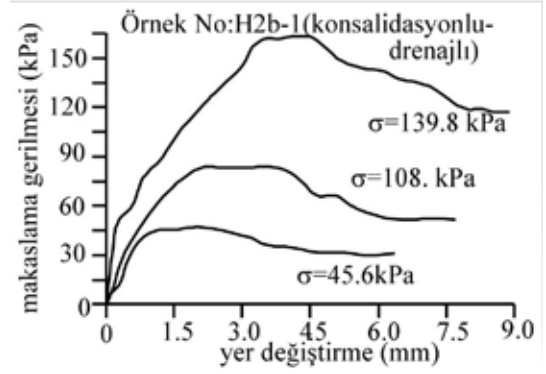
**Tablo 2. Zemin örneklerinin özgül ağırlığı, birim hacim ağırlıkları, gözenekliliği, kıvam indisi, aktivite ve şişme potansiyeli.**

Örnek No	G	$\gamma_n$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_k$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	n (%)	I <sub>c</sub>	A	S (%)	Şişme potansiyeline göre sınıflandırma
H1-1	2.611	15.34	13.30	18.33	0.489	1.33	0.50	8.88	yüksek
H1-2	2.611	15.67	12.96	18.20	0.504	1.10	0.74	15.53	yüksek
H1-3	2.611	15.70	12.55	17.74	0.519	1.09	0.61	9.02	yüksek
H1-4	2.611	16.28	13.32	18.25	0.489	1.26	0.65	10.47	yüksek
H1-6	2.611	15.93	13.74	18.47	0.474	1.11	0.89	19.99	yüksek
H2a1	2.586	17.50	15.49	19.54	0.401	1.56	0.32	7.55	yüksek
H2a2	2.586	16.54	14.76	19.15	0.429	1.31	-	-	-
H2a3	2.586	17.91	15.84	19.70	0.387	1.45	0.36	11.22	yüksek
H2b1	2.534	16.32	14.97	11.60	0.409	1.27	0.97	36.00	çok yüksek
H2b2	2.534	17.53	15.93	19.64	0.371	1.22	0.77	42.71	çok yüksek
H2b3	2.534	17.14	15.57	19.41	0.385	1.16	0.99	80.06	çok yüksek
P2(4)	2.655	15.97	12.98	18.12	0.511	0.70	0.11	0.82	düşük
P3(3)	2.655	16.03	12.93	18.11	0.513	0.36	0.13	0.96	düşük
P3(5)	2.655	14.74	12.07	17.59	0.545	0.40	0.12	0.85	düşük
P3(6)	2.655	14.60	11.85	17.48	0.553	0.18	0.14	1.04	düşük

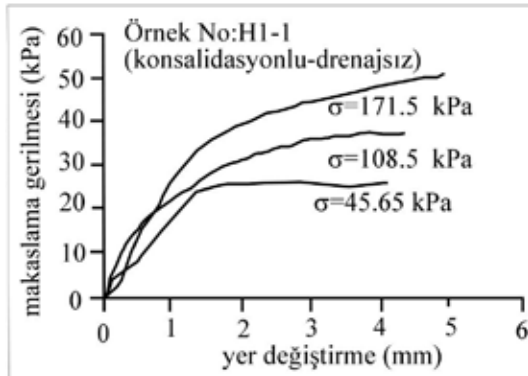
G: özgül ağırlık  $\gamma_n$ : doğal birim hacim ağırlık,  $\gamma_k$ : kuru birim hacim Ağırlık,  $\gamma_d$ : doygun birim hacim ağırlık, n: prozite I<sub>c</sub>: Kıvam indisi, A: Aktivite, S: Şişme potansiyeli.



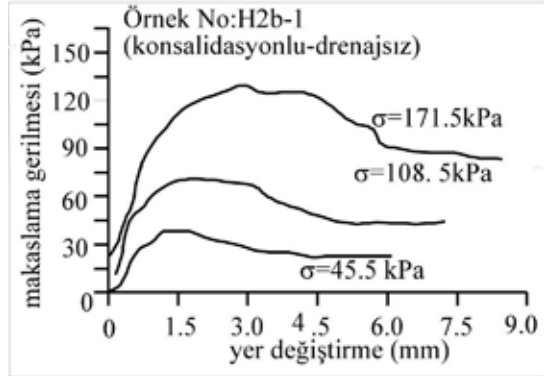
a)



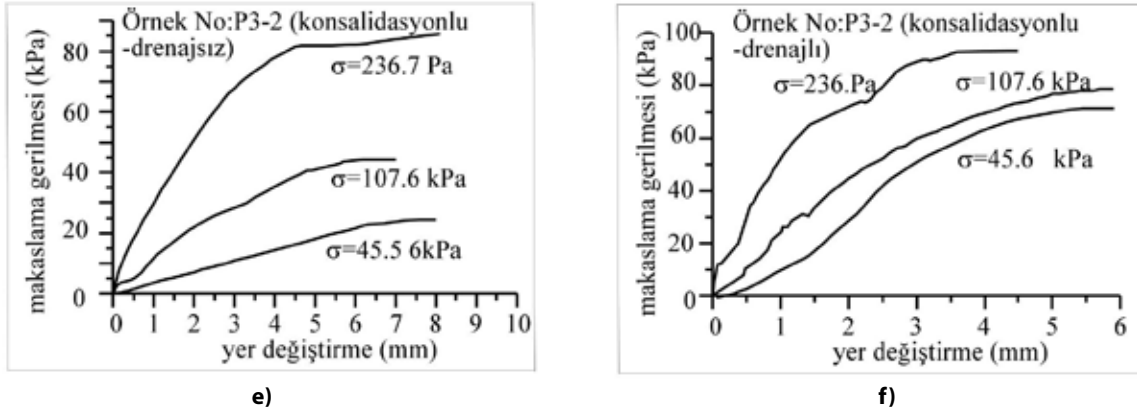
c)



b)



d)



Şekil 7. Konsolidasyonlu drenajlı ve drenajsız direkt kesme deneylerinde ölçülen makaslama gerilmesi-yer değiştirme grafikleri.

Makaslama gerilmesi-makaslama yer değiştirmesi davranışı açısından H1 nolu ve H2 nolu örnekler arasındaki farklılığın ayrışma miktarı ve örselenme farklılığından ileri geldiği düşünülmektedir. Ayrışma derecesi dikkate alındığında H1 nolu örnekler “kalıntı toprak”, H2 nolu örnekler ise “tamamen ayrılmış” olarak tanımlanabilir. H1 nolu örneklerde tüflerin yapısı tamamen kaybolmuş iken, H2 nolu örneklerde ise bu yapının kısmen korunduğu söylenebilir. Ayrıca heyelan kayma düzleminde alınan H1 nolu örneklerde, ötelenme hareketi sırasında örselendiği düşünülmektedir. H2’olu örnekler heyelandan etkilenen alan dışındaki şevlerden alınmıştır.

Ocaktaki heyelanların kayma düzlemlerinden alınan H1 nolu örneklerin konsolidasyonlu-

drenajsız koşullardaki kohezyonu 10-21 kPa, içsel sürtünme açısı ise 9-18 derece arasında değişmektedir. Aynı örneklerin drenajlı koşullardaki kohezyon ve içsel sürtünme açısı, sırasıyla 7-13 kPa ve 14-23 derece arasında değişmektedir (Tablo 3). Heyelan alanı dışındaki kazı şevlerinde yüzeylenen kırmızı renkli kili seviyelerden alınan H2’olu örneklerin konsolidasyonlu-drenajsız koşullardaki kohezyon ve içsel sürtünme açısının tepe değerleri sırasıyla, 14-33 kPa, 27-31 derece, kalıcı değerleri ise 3-11 kPa ve 16-23 derece arasında değişmektedir. Bu örneklerin drenajlı koşullardaki kohezyon ve içsel sürtünme açısının tepe değerleri 20-48 kPa ve 17-25 derece arasında değişirken kalıcı değerleri 5-8 kPa ve 12-18 derece arasında değişmektedir (Tablo 3).

Tablo 3. Kil örneklerin % ağırlık olarak SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerikleri, manyetik süseptibilite ve makaslama dayanımları.

Örnek	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	κ(10 <sup>-6</sup> cgs)	Konsolidasyonlu drenajlı		Konsolidasyonlu drenajsız	
					$\tau = \sigma \cdot r + c$	r <sup>2</sup>	$\tau = \sigma \cdot r + c$	r <sup>2</sup>
H1-1	62.3	11.5	4.9	128	$\tau = \sigma \cdot 0.18 + 18.16$	r <sup>2</sup> =0.99	$\tau = \sigma \cdot 0.12 + 23.01$	r <sup>2</sup> =0.99
H1-2	56.4	11.5	5.9	146	$\tau = \sigma \cdot 0.32 + 11.95$	r <sup>2</sup> =0.93	$\tau = \sigma \cdot 0.13 + 21.35$	r <sup>2</sup> =0.93
H1-3	55.2	10	6.8	152	$\tau = \sigma \cdot 0.38 + 14.20$	r <sup>2</sup> =0.98	$\tau = \sigma \cdot 0.23 + 21.3$	r <sup>2</sup> =0.98
H1-4	61.7	12.2	4.7	141	$\tau = \sigma \cdot 0.31 + 9.15$	r <sup>2</sup> =0.91	$\tau = \sigma \cdot 0.12 + 18.2$	r <sup>2</sup> =0.91
H1-6	49.7	12	5.4	148	$\tau = \sigma \cdot 0.38 + 9.66$	r <sup>2</sup> =0.99	$\tau = \sigma \cdot 0.14 + 14.43$	r <sup>2</sup> =0.99
H2a1	61.1	12.8	5.7	148	$\tau_p = \sigma \cdot 0.56 + 33.0$	r <sup>2</sup> =0.99	$\tau_p = \sigma \cdot 0.39 + 46.7$	r <sup>2</sup> =0.99
H2a2	55.1	10	5.1	144	$\tau_f = \sigma \cdot 0.32 + 11.2$	r <sup>2</sup> =0.99	$\tau_f = \sigma \cdot 0.27 + 7.9$	r <sup>2</sup> =0.99
					$\tau_p = \sigma \cdot 0.52 + 21.92$	r <sup>2</sup> =0.96		
H2a3	60.5	9.2	5.2	141	$\tau_p = \sigma \cdot 0.33 + 6.74$	r <sup>2</sup> =0.96	$\tau_p = \sigma \cdot 0.40 + 39.3$	r <sup>2</sup> =0.98
					$\tau_f = \sigma \cdot 0.51 + 30.2$	r <sup>2</sup> =0.98	$\tau_f = \sigma \cdot 0.28 + 6.2$	r <sup>2</sup> =0.98
H2b1	60.2	10.1	3.6	130	$\tau_p = \sigma \cdot 0.29 + 8.31$	r <sup>2</sup> =0.98		
					$\tau_f = \sigma \cdot 0.60 + 19.5$	r <sup>2</sup> =0.99		
H2b2	54.3	9.7	5.8	145	$\tau_f = \sigma \cdot 0.42 + 6.59$	r <sup>2</sup> =0.99		
					$\tau_p = \sigma \cdot 0.42 + 6.59$	r <sup>2</sup> =0.99		
H2b3	53.4	10.7	6.4	163	$\tau_p = \sigma \cdot 0.63 + 14.2$	r <sup>2</sup> =0.98		
					$\tau_f = \sigma \cdot 0.42 + 3.20$	r <sup>2</sup> =0.98		
P2-4	54.8	10	6.4	151	$\tau_p = \sigma \cdot 0.58 + 15.21$	r <sup>2</sup> =0.97	$\tau_p = \sigma \cdot 0.456 + 20.6$	r <sup>2</sup> =0.98
					$\tau_f = \sigma \cdot 0.43 + 4.83$	r <sup>2</sup> =0.97	$\tau_f = \sigma \cdot 0.32 + 4.7$	r <sup>2</sup> =0.99
P3-2	55.3	10.5	4.9	135	$\tau = \sigma \cdot 0.42 + 5.60$	r <sup>2</sup> =0.95	$\tau = \sigma \cdot 0.39 + 26.7$	r <sup>2</sup> =0.98
P3-5	60.4	10	4.8	135	$\tau = \sigma \cdot 0.32 + 10$	r <sup>2</sup> =0.96	$\tau = \sigma \cdot 0.11 + 67$	r <sup>2</sup> =0.96
P3-6	58.2	10	4.7	139	$\tau = \sigma \cdot 0.37 + 1.46$	r <sup>2</sup> =0.98	$\tau = \sigma \cdot 0.16 + 7.17$	r <sup>2</sup> =0.98
	61.7	10.1	4.4	131	$\tau = \sigma \cdot 0.29 + 7.9$	r <sup>2</sup> =0.98	$\tau = \sigma \cdot 0.13 + 37.9$	r <sup>2</sup> =0.97

K: manyetik süseptibiliteyi,  $\tau$  yenilme anındaki makaslama gerilmesini,  $\sigma$ : normal gerilmeyi, r<sup>2</sup>: determinasyon katsayısını, p ve r: indisleri ise sırasıyla tepe ve kalıcı dayanımı göstermektedir.



Kireçhane formasyonu tabaka düzlemlerinde ve süreksizliklerde kalınlığı genellikle yüzey pürüzlülüğünden büyük olan kil dolguları bulunmaktadır (Şekil 3c). Bu kil dolgulardan alınan P nolu örneklerin konsolidasyonlu-drenajsız koşullardaki kohezyonu 7-67 kPa, içsel sürtünme açısı ise 6-21 derece arasında değişmektedir. Bu örneklerin drenajlı koşullardaki kohezyonu 1.4-14 kPa ve içsel sürtünme açısı 16-24 derece arasında değişmektedir (Tablo 3).

#### 4. 5. Killerin Hacim Manyetik Süseptibilitesi

Manyetik süseptibilite ( $\kappa$ ) kil örnekleri içinde mineral taneleri boyutları hakkında direkt bilgiyi vermesi (Doh et al., 1988) ve aldığı değer yönüyle de manyetit miktarı konusunda da yorumlara gidilebilmektedir (Dunlop and Ozdemir, 1997). Manyetiklik bakımından duraysız olan killer duraylı killere göre daha geniş değişim aralığına sahip  $\kappa$  değerler alırlar. Çalışma alanına ait killerden elde edilen  $\kappa$  değerleri duraysız killerin çok kısa aralıkta yer aldığını göstermiştir ve de daha çok manyetit minerali içeren bu örneklerdeki bu değer yüksek manyetik viskoziteye sahiptir. Yapılan manyetik süseptibilite ölçümleri sonucu bu çalışmadaki killer manyetik duraylılık göstermektedir. Manyetit içeriği kaya malzemesi ve süreksizlik yüzey malzemesinin alterasyonunu kolaylaştırmakta ve böylece şevleri duraysız hale gelmektedir (Dunlop and Ozdemir, 1997).

Bu çalışmada kullanılan kil numuneleri için element oksit miktarlarının manyetik süseptibilite ile olan değişimi incelenmiş, aynı zamanda normal gerilme 108 kPa alınarak yenilme miktarlarıyla manyetik süseptibilite değerlerinin değişimleri gözlenmiştir. SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oksit oranlarıyla, ölçülen manyetik süseptibilitenin gerilme oranlarına bağlı değişimi Tablo 3'te verilmiştir. Alınan hacim manyetik süseptibilite ölçümleri 129-163x10<sup>-6</sup> cgs aralığında değişmektedir. Bu parametreye bağlı olarak demir oksit oranı %3.6-6.8 aralığında değişmektedir. Bu oranlar normal gerilme sabit tutulduğunda yenilme anındaki gerilmelerle orantılı olduğu görülmüştür.

#### 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ocaktaki düzlemsel kaymalarının kayma dü-

zlemini oluşturan killi seviyeler Geç Kampaniyen-Paleosen yaşlı Kireçhane formasyonunda ara seviyeler halinde bulunan kırmızı renkli tüflerin ayrışmasıyla oluşmuştur. XRD analizleri sonucunda söz konusu kırmızı renkli killi seviyeden alınan örneklerdeki kil minerallerinin büyük çoğunlukla (%85-90'ı) montmorillonit az miktarda (%10-15'i) illit türünde oldukları belirlenmiştir. Tabaka düzlemlerindeki kil dolgularındaki killer ise kaolinitir. Kırmızı renkli killi seviyeden alınan örnekler "yüksek plastisiteli kil", tabaka düzlemlerindeki kil dolgularından alınan örnekler ise "düşük plastisiteli kil" grubundadır.

Taşönü ocağında 2005-2006 yıllarında meydana gelen heyelanların kayma düzlemlerinden alınan konsolidasyonlu-drenajsız koşullardaki kohezyonu 10-21 kPa, içsel sürtünme açısı ise 9-18 derece arasında değişmektedir. Aynı örneklerin drenajlı koşullardaki kohezyon ve içsel sürtünme açısı, sırasıyla 7-13 kPa ve 14-23 derece arasında değişmektedir. Söz konusu kayma düzlemlerini oluşturan killi seviyelerin heyelan alanı dışındaki kazı şevlerindeki, yüzeylenmelerinden alınan örneklerin konsolidasyonlu-drenajsız koşullardaki kohezyon ve içsel sürtünme açısının tepe değerleri sırasıyla, 14-33 kPa, 27-31 derece, kalıcı değerleri ise 3-11 kPa ve 16-23 derece arasında değişmektedir. Bu örneklerin drenajlı koşullardaki kohezyon ve içsel sürtünme açısının tepe değerleri 20-48 kPa ve 17-25 derece arasında değişirken kalıcı değerleri 5-8 kPa ve 12-18 derece arasında değişmektedir.

İncelenen heyelanlarda kayma düzlemini oluşturan killi seviyelerin heyelan alanından örneklerle diğer alanlardan alınan örnekler makaslama gerilmesi-makaslama yer değiştirmesi davranışı açısından farklılık göstermektedir. Drenajlı ve drenajsız koşullarda yapılan kesme deneylerinin her ikisi içinde görülen bu farklılık ayrışma miktarı farklılığından ve örselenmeden ileri geldiği düşünülmektedir.

Manyetik süseptibilite (129-163x10<sup>-6</sup> cgs) değerleri demir oksit (%3.6-6.8) oranları ile doğru orantılı değişmektedir. Yenilme anındaki makaslama gerilmesi de benzer olarak her iki değerlerle orantılı olarak değişmektedir. Kil minerallerine rengi özellikle demir oksitlerden kaynaklanmaktadır. Bu oksitlerin kil içindeki oranları en kolay olarak manyetik süseptibil-

ite ile belirlenmesinin mümkün olduğu ve bu yöntemin çok pratik uygulanabilirliği ortaya konulmuştur.

Bu çalışmanın devamında, kırmızı kil seviyeleri için laboratuvarında yapılan direk kesme deneyi ile elde edilen makaslama dayanımları ocaktaki heyelanların geriye yönelik analizleriyle bulunacak makaslama dayanımları ile karşılaştırılarak kayma düzlemlerindeki etkin makaslama dayanımları elde edilecektir.

## 6. TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı destekleyen Karadeniz Teknik Üniversitesi BAP yönetim birimi başkanlığına, manyetik süseptibilite ölçüm sistemlerinin alındığı projeyi (2006MHF006) destekleyen Pamukkale Üniversitesi BAP yönetim kurulu başkanlığına, çalışma süresince olanaklarından yararlandığımız Aşkale Çimento AŞ'ne (Trabzon), XRD analizlerini yorumlayan Prof. Dr. Fazlı ÇOBAN'a (BAÜ) teşekkür ederiz. Çok değerli katkılarından dolayı hakemlere ve dergi editörüne teşekkür ederiz.

---

## KAYNAKLAR

---

ASTM D 422- 63. 2003. "Standart Test Method for Particulate Size Analysis". Annual Book of ASTM Standards; 04.08. West Conshohocken. pp. 10-17.

ASTM D 3080-98. 2003. "Standart Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions". Annual Book of ASTM Standards; 04.08. West Conshohocken. pp. 347-352.

ASTM D 4318. 2003. "Standart Test Methods for Liquid Limite. Plastic Limit. and Plasticity Index of Soils". Annual Book of ASTM Standards; 04.08. West Conshohocken. pp. 582-595.

ASTM 5550 – 00. 2003. "Standart Test Method for Specific Gravity of Soil Solids by Gas Pycnometer". Annual Book of ASTM Standards; 04.08. West Conshohocken. pp. 1381-1384.

Bloemendal, J., Barton, C. E. and Radhakrishnamurthy, C. 1985. Correlation between Rayleigh loops and frequency dependent and quadrature susceptibility; Applications to magnetic granulometry of rocks. J. Geophys. Res. (90), 8789-8792.

Ceryan, N. 2009. "Taşönü Kalker Ocağı'ndaki (Trabzon) Kaya Şevleri Duraylılığının Olasılık Yöntemle Analizi ve Kazılabilirlik", Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. s. 200.Trabzon.

Das, B. M. 1998. "Principles of Geotechnical Engineering". 4th Edition. PWS Publishing Company. Boston . United States. 712 pp.

Doh, S. J., King, J. W. and Leinen, M. 1988. A rock magnetic study of giant piston Core LL44-GPC3 from the central North Pacific and its paleoceanographic implication. Paleoceanography. (3), 89-111.