

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLJİ MÜHENDİLİĞİ ANABİLİM DALI

**CEVİZDERE (ÜNYE, ORDU) YÖRESİ KİLLERİNİN KONSOLİDASYON
PARAMETRELERİNİN VE ŞİŞME ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammet Oğuz SÜNNETCİ

HAZİRAN 2015
TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**CEVİZDERE (ÜNYE, ORDU) YÖRESİ KİLLERİNİN KONSOLIDASYON
PARAMETRELERİNİN VE ŞİŞME ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Muhammet Oğuz SÜNNETCİ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
JEOLJİ YÜKSEK MÜHENDİSİ
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 08 / 05 / 2015

Tezin Savunma Tarihi : 02 / 06 / 2015

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Hakan ERSOY

Trabzon

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında
Muhammet Oğuz SÜNNETCİ Tarafından Hazırlanan**

**CEVİZDERE (ÜNYE, ORDU) YÖRESİ KİLLERİNİN KONSOLİDASYON
PARAMETRELERİNİN VE ŞİŞME ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 12 / 05 / 2015 gün ve 1602 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Fikri BULUT

Üye : Doç. Dr. Hakan ERSOY

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ayberk KAYA



Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Gerek bilgi birikimi gerekse yardımseverliği ve konuya olan hakimiyeti ile yol gösteren; daima araştırmaya ve öğrenmeye teşvik ederek danışmanı olduğu bu tezin hazırlanmasında en büyük yardımı gösteren Sayın Doç. Dr. Hakan ERSOY'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Arazi ve büro çalışmaları sırasında yardımcı olan Jeoloji Mühendisi Serhat ACAR ve Araştırma Görevlisi Bilgehan KUL YAHŞİ'ye şükranlarımı sunarım.

Laboratuvar çalışmaları esnasında yardımlarını esirgemeyen KTÜ İnşaat Mühendisliği Öğretim Üyesi Sayın Yrd. Doç. Dr. Zekai ANGIN'A ve Geoteknik Laboratuvarı çalışanlarına, bölümümüz teknik elemanlarından Makine Mühendisi Erdoğan TİMURKAYNAK'a ve TTS Mühendislik çalışanlarına teşekkür ederim.

Tez çalışması sırasında sevgi ve alakalarıyla moral vererek maddi, manevi hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan eşime, anneme, babama ve kardeşlerime en içten teşekkürlerimi sunarım.

Muhammet Oğuz SÜNNETCİ

Trabzon 2015

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Cevizdere (Ünye, Ordu) Yöresi Killерinin Konsolidasyon Parametrelerinin ve Şişme Özelliklerinin Belirlenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar Doç. Dr. Hakan ERSOY’un sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 05/05/2015

Muhammet Oğuz SÜNNETCİ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	3
1.3. Çalışma Alanının Genel Özellikleri	4
1.4. Killer.....	5
1.4.1. Kil Türleri.....	5
1.4.2. Killerin Kristal (Kafes) Yapıları.....	6
1.4.3. Killerin Şişme Potansiyeli	7
1.5. Killerin Konsolidasyonu.....	8
2. MATERYAL VE METOT.....	10
2.1. Su İçeriği Tayini	10
2.2. Tek Yönlü Konsolidasyon (Ödometre) Deneyi.....	11
2.3. Şişme Deneyi.....	15
2.4. Özgül Ağırlık (Piknometre) Deneyi	15
2.5. Atterberg Limitleri Tayini	18
2.5.1. Likit Limit Deneyi	18
2.5.2. Plastik Limit Deneyi.....	19
2.6. Elek Analizi	19
2.7. Hidrometre Deneyi	20
2.8. X-Ray Diffraction (XRD) Analizleri	244

3.	BULGULAR	26
3.1.	Bölgesel Jeoloji	26
3.2.	Çalışma Alanı ve Çevresinin Genel Jeolojisi	27
3.2.1.	Tirebolu Formasyonu	27
3.2.2.	Akveren Formasyonu	288
3.2.3.	Denizel Taraçalar ve Alüvyonlar	299
3.3.	Cevizdere Killерinin Mühendislik Özellikleri	299
3.3.1.	Çalışma Konusu Zeminlerin Granülometrisi (Dane Dağılımları).....	30
3.3.2.	Cevizdere Killерinin Mineralojik Özellikleri	34
3.3.3.	Cevizdere Killерinin Plastik ve İndeks Özellikleri	36
3.3.4.	Cevizdere Killерinin Konsolidasyon Özellikleri	38
3.3.5.	Cevizdere Killерinin Şişme Parametreleri	43
3.4.	Konsolidasyon Parametrelerinin İstatistiksel Olarak Belirlenmesi.....	45
4.	TARTIŞMA VE SONUÇLAR.....	49
5.	KAYNAKLAR.....	522
6.	EKLER	57
	ÖZGEÇMİŞ	

Yüksek Lisans

ÖZET

CEVİZDERE (ÜNYE, ORDU) YÖRESİ KİLLERİNİN KONSOLİDASYON
PARAMETRELERİNİN VE ŞİŞME ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Muhammet Oğuz SÜNNETCİ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Hakan ERSOY
2015, 69 Sayfa, 6 Sayfa Ek

Bu çalışmada, Cevizdere (Ünye, Ordu) yöresindeki killerin konsolidasyon özellikleri araştırılmıştır. Killerin konsolidasyon parametreleri ve plastiklik özellikleri arasındaki istatistiksel ilişkiler regresyon analizi yapılarak incelenmiştir. Bu amaçla çalışma alanından 19 adet örselenmiş ve örselenmemiş zemin örneği temin edilmiş ve örnekler üzerinde doğal su içeriği, özgül ağırlık, birim hacim ağırlık, likit limit, plastik limit, hidrometre, ıslak elek, şişme ve ödometre deneyleri ve XRD analizleri yapılmıştır. Yapılan ıslak elek ve hidrometre analizlerine göre çalışma konusu zeminlerin % 28 kum, % 38 silt ve % 34 kil boyutlu malzemedен oluştuğu ve aktivite katsayılarının 0.941 ile 2.206 arasında değiştiği belirlenmiştir. Örneklerin likit limitlerinin % 54 ile % 108 arasında, plastik limitlerinin % 21 ile % 34 arasında ve plastisite indislerinin ise % 32 ile % 75 arasında değiştiği belirlenmiştir. $W_{max24-72}$ yöntemiyle yapılan şişme basıncı deneyleri sonucunda örneklerin şişme basıncı (SW) değerlerinin 23.27 ile 75.95 N/cm² arasında, şişme yüzdesi (SP) değerlerinin ise 9.5 ile 29.29 arasında değiştiği belirlenmiştir. Tek boyutlu konsolidasyon (ödometre) deneyleri sonucunda örneklerin sıkışma indisi (Cc) değerlerinin 0.189 ile 0.625 arasında, yeniden sıkışma indisi (Cr) değerlerinin 0.011 ile 0.041 arasında, aşırı konsolidasyon oranı (OCR) değerlerinin ise 4.16 ile 95 arasında değiştiği belirlenmiştir. Çalışma konusu zeminlerin ön konsolidasyon gerilmesi ile likit limit değerleri arasında korelasyon katsayısına göre anlamlı istatistiksel ilişkiler belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Cevizdere, Konsolidasyon, Killi Zeminler, Şişme.

Master Thesis

SUMMARY

INVESTIGATING THE CONSOLIDATION AND SWELLING PARAMETERS OF THE CEVIZDERE (UNYE, ORDU) CLAY

Muhammet Oguz SUNNETCI

Karadeniz Technical University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Geological Engineering Graduate Program
Supervisor: Assc. Prof. Hakan ERSOY
2015, 69 Pages, 6 Pages Appendix

In this study, the consolidation parameters and swelling properties of the clays outcropping in Cevizdere (Ünye, Ordu) were determined. The statistical relations between the consolidation parameters and plastic properties were tested by regression analysis. For this purpose, 19 disturbed and undisturbed soil samples were obtained from the studied area, and tests such as natural water content, specific gravity, unit weight, liquid limit, plastic limit, hydrometer, wet sieve and oedemeter and XRD analysis were performed. The soil samples have 28% sand-sized, 38% silt-sized, and 34% clay-sized particles, and they have activity coefficient values between 0.941 and 2.206, according to the sieve analysis and hydrometer tests. According to the $W_{\max 24-72}$ swelling tests, the samples have swelling pressure (SW) values varying between 23.27 and 75.95 N/cm², and swelling percent (SP) values varying between 9.5 and 29.29. It is determined that the clay specimens have compression index (C_c) values varying between 0.189 and 0.625, re-compression index (C_r) values varying between 0.011 and 0.041, over-consolidation ratio (OCR) values varying between 4.16 and 95, and over-consolidation limit (σ'_m) values varying between 142 and 492 kPa. A relation between pre-consolidation, compression index and liquid limit values of the soil samples were determined.

Key Words: Cevizdere, Consolidation, Clayey soils, Swelling.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Çalışma alanına ait yer bulduru haritası.....	4
Şekil 1.2. Killerin farklı özelliklerine göre sınıflandırılması.....	6
Şekil 1.3. Kil tanelerini oluşturan levhalar.....	6
Şekil 1.4. Bazı kil minerallerinin levha yapısı ve molekül bağları.....	8
Şekil 1.5. a) Konsolidasyon sırasında toplam gerilme, boşluk suyu basıncı ve efektif gerilmedeki değişim ve (b) piston-yay benzeşimi.....	9
Şekil 2.1. Ödometre deney aletinin şematik gösterimi.....	11
Şekil 2.2. Ödometre deney aleti ve deneyin yapılışı.....	12
Şekil 2.3. Deney sonuçlarının grafiğe aktarılması.....	12
Şekil 2.4. Casagrande yöntemiyle ön konsolidasyon gerilmesinin bulunması (a) ve Schmertmann düzeltmesi (b).....	14
Şekil 2.5. Şişme deneyi düzeneği.....	15
Şekil 2.6. Piknometre deneyinin yapılışı.....	17
Şekil 2.7. Casagrande deney aletinin şematik gösterimi.....	18
Şekil 2.8. Elek takımı ve mekanik çalkalayıcı.....	20
Şekil 2.9. Hidrometre deney düzeneği.....	21
Şekil 2.10. Hidrometre düzeltme grafiği.....	22
Şekil 3.1. Çalışma alanının jeoloji haritası (Güven, 1993'ten değiştirilerek)	28
Şekil 3.2. Çalışma konusu killerin bulunduğu alanın mühendislik jeolojisi haritası.....	30
Şekil 3.3. Çalışma alanındaki heyelanın görüntüsü.....	31
Şekil 3.4. Çalışma alanındaki zeminlerin granülometri eğrisi.....	34
Şekil 3.5. Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemi ve örneklerin plastisite kartındaki konumları.....	35
Şekil 3.6. Zemin örneklerinin konsolidasyon grafikleri.....	39

Şekil 3.7.	Van der Merwe (1964)'ün şişme potansiyeli sınıflaması.....	44
Şekil 3.8.	Ön konsolidasyon gerilmesi - likit limit ilişkisini gösteren grafik..	46
Şekil 3.9.	Sıkışma katsayısı ve ön konsolidasyon gerilmesi arasındaki istatistiksel ilişki.....	47

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Bazı kil minerallerinin özgül yüzeyleri.....	7
Tablo 1.2. Bazı kil minerallerinin şişme potansiyelleri.....	8
Tablo 2.1. W_{max24} deneyinde kullanılan ampirik eşitlikler.....	16
Tablo 3.1. Örneklere ait ıslak elek analizi sonuçları.....	32
Tablo 3.2. Örneklere ait hidrometre deney sonuçları.....	33
Tablo 3.3. Cevizdere killerinin plastik ve indeks özellikleri.....	36
Tablo 3.4. IAEG (1976)'nin likit limite göre hazırladığı zemin sınıflaması.....	37
Tablo 3.5. Burmister (1951)'in plastisite sınıflaması.....	37
Tablo 3.6. Leonards (1962)'a göre plastisite sınıflaması.....	38
Tablo 3.7. IAEG (1976)'ya göre plastisite sınıflaması.....	38
Tablo 3.8. Örneklerin alındığı derinlikler, birim hacim ağırlıkları ve örtü yükleri	39
Tablo 3.9. Örneklerin sıkışma parametreleri.....	42
Tablo 3.10. Aşırı konsolidasyon sınırı sınıflaması.....	43
Tablo 3.11. Cevizdere killerinin şişme potansiyeli.....	43
Tablo 3.12. O'Neill ve Poormoayed (1980)'e göre şişme potansiyeli sınıflandırması.....	44
Tablo 3.13. Killi zeminlerin plastik ve sıkışma parametreleri arasındaki ilişkiler (Rani ve Rao, 2003'ten).....	46

SEMBOLLER DİZİNİ

ASTM	: Amerikan Deney ve Malzeme Birliđi
$W_{\max(24,72)}$: W_{\max} deneyiyle elde edilen % cinsinden su içeriği
σ_z	: Toplam gerilme
$\Delta\sigma_z$: Toplam gerilmedeki değişim
LL	: Likit limit
PL	: Plastik limit
PI	: Plastisite indeksi
σ'_z	: Efektif gerilme
U_h	: Boşluk suyu basıncı
U_e	: Aşırı boşluk suyu basıncı
Si^{4+}	: Silisyum iyonu
Al^{3+}	: Aluminyum iyonu
Mg^{2+}	: Magnezyum iyonu
Fe^{2+}, Fe^{3+}	: Demir iyonu
Li^+	: Lityum iyonu
γ	: Birim hacim ağırlık
H/h	: Kalınlık
H^-	: Hidrojen iyonu
K^+	: Potasyum iyonu
H_2O	: Su bileşięi
kPa	: Kilopaskal
t	: Zaman
e	: Boşluk oranı
e_0	: İlk boşluk oranı
ϵ_z	: Boyuna birim deformasyon
P, P ₁ , P ₂	: Yük
W _n	: Yüzde cinsinden doğal su içeriği
m ₁	: Kabın kütlesi (gr)
m ₂	: Kap + yaş örneğin kütlesi (gr)

m_s	: Kap + kuru örneğin kütlesi (gr)
km	: Kilometre
nm	: Nanometre
a, b, c ve d	: $e-\sigma'_z$ grafiğinde eğri üzerinde seçilmiş noktalar
σ'_c	: Ön konsolidasyon gerilmesi
OCR	: Aşırı konsolidasyon oranı
C_c	: Sıkışma indisi
C_r	: Yeniden sıkışma indisi
σ'_m	: Aşırı konsolidasyon sınırı (kPa)
σ'_{z0}	: Numune derinliğinde ilk düşey efektif gerilme
$G_{s(Tx)}$: Katı tanelerin özgül ağırlığı
W_s	: Kuru numune kütlesi (gr)
$W_{pw(Tx)}$: Piknometre + suyun T_x sıcaklığındaki kütlesi (gr)
$W_{psw(Tx)}$: Piknometre + numune + suyun T_x sıcaklığındaki kütlesi (gr)
$G_{w(Tx)}$: Suyun T_x sıcaklığındaki özgül ağırlığı
NACS	: Kuzey Amerika Stratigrafi Komisyonu
K. O.	: Konsolidasyon oranı
ODAK	: Orta derecede aşırı konsolide
İDAK	: İleri derecede aşırı konsolide
RMR	: Kaya kütlesi oranı
SW	: Şişme basıncı
SP	: Şişme yüzdesi
Ö. N.	: Örnek numarası

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

İnşaat mühendisliği malzemelerinin çoğu moleküler bağlar ile bir arada tutulan ve sürekli bir kütleden oluşan malzemelerdir. Bu gibi malzemelerin mekanik özellikleri kimyasal yapılarına ve bu bağların özelliklerine bağlıdır. Bunun aksine zemin farklı boyuttaki danelerin bir araya gelmesi ile oluşmuş doğal bir malzemedir ve bu nedenle zeminlerin mühendislik özellikleri büyük ölçüde daneler arası etkileşime bağlıdır. Zeminler kayaların fiziksel ve kimyasal ayrışması sonucunda oluşur. Silt, kum veya çakıldan oluşan zeminler genel olarak fiziksel ayrışma ve çok az oranda kimyasal ayrışmanın ürünü iken killer fiziksel ayrışmadan ziyade kimyasal ayrışma ürünüdür. Kaba taneli zeminler büyük oranda ana kaya özelliğini muhafaza ederken killer ana kayadan oldukça farklı bir malzemeye dönüşürler. Bu nedenle killerin mühendislik özellikleri ve davranışı diğer zeminlerden oldukça farklıdır.

Birkaç farklı kimyasal bozuşma süreci sonucunda kil mineralleri oluşmaktadır. Killerin oluşumunda en etkili kimyasal süreç sudaki H^+ ve OH^- iyonlarının etkisiyle kayada bozunmaya sebep olan hidroliz sürecidir. Genel olarak bu kimyasal ayrışma süreci çok ince taneli (<0.002 mm) levha benzeri kimyasal yapılar oluşturur. Küçük partikül çapı ve levha benzeri şekilleri nedeniyle killerin yüzey alanının kütleye oranı silt, kum ve çakıla oranla bir hayli büyüktür. Bu oran özgül yüzey olarak bilinir ve killerin büyük özgül yüzeyleri, partiküller arasında daha çok temas alanı sağlayarak yüzeysel çekim kuvvetini artırır. Bununla birlikte bu özellik, su moleküllerinin temas edeceği yüzey miktarını arttıracığı için killer su ile temas ettiklerinde diğer zeminlere göre çok farklı davranış gösterirler. Bazı killer birim ağırlıklarının birkaç katı kadar suyu kolayca bünyelerine çekebilirler. Su ile etkileşimde olan killerde karşılaşılan en önemli mühendislik problemleri ise şişme-büzülme ve oturma olarak iki ana başlıkta toplanabilir.

Yüksek plastisiteli killer su içeriklerinde artışa bağlı olarak şişme, su içeriğindeki azalmalara bağlı olarak büzülme eğilimi gösterirler. Bu zeminler üzerine inşa edilmiş yapılarda şişme sonucu ortaya çıkabilecek kabarma hareketleri hafif yapılarda, yol ve havaalanlarında, boru hatlarında önemli hasarlara neden olurlar ve bunlar için özel önlemlerin alınmasını gereklidir.

Zemin (özellikle killi), üzerine yük uygulandığı zaman, mevcut gerilme koşulları değişir ve zamanla ortamdaki suyun uzaklaşmasıyla efektif gerilme artar. Bu durumda zemin taneleri birbirine yaklaşır, boşluk oranı azalır ve zemin deformasyona uğrar. Genel olarak düşey yönde gelişen bu deformasyon zemin konsolidasyonu, konsolidasyon sonucunda zemin yüzeyinde veya varsa zemin üzerindeki yapıda meydana gelen seviye kaybı ise oturma olarak adlandırılır. Bu süreç zemin hacminde değişimlere ve buna bağlı olarak zemin üzerindeki yapılarda yapısal hasarlara sebep olur. Bu nedenle konsolidasyon sürecinin modellenmesi, jeoteknik projelerde önemli bir yer tutmaktadır.

Jeoteknik projelerde amaç, projeye yönelik detaylı oranda jeolojik veri elde etmek olmalıdır. Bu veriler, yapının sorunsuz bir şekilde zemine oturması ve ekonomik ömrü boyunca zeminle uyum içinde olması amacıyla toplanır. Zemin araştırmaları sonucunda; yapının güvenli bir şekilde inşa edileceği jeolojik birimler ve bu birimlerin mühendislik özellikleri tespit edilir. Elde edilen bu veriler, zemin taşıma gücü hesaplarında, oturma ve sıvılaşma analizlerinde, yer seçiminde ve stabilite analizlerinde birer girdi parametresi olarak kullanılır. Jeolojik ortamın mühendislik özelliklerini belirlemek için en çok tercih edilen yöntemler; yüzey arazi çalışmaları, araştırma çukurları, sondaj uygulamaları ve jeofizik ölçümlerdir. Bu çalışmalar sonucunda zeminin yatay ve düşey devamlılığı hakkında bilgi toplanabildiği gibi, yerinde deneyler yapılabilmekte ve laboratuvarında deney yapmak amacıyla örnekler temin edilebilmektedir. Bununla birlikte özellikle zeminlerin şişme- büzülme özellikleri ve konsolidasyon karakteristikleri bir dizi zaman alıcı ve zahmetli laboratuvar deneyi ile belirlenmekte, bu nedenle çoğu jeoteknik projede oturma ve şişme özelliklerinin yorumlanmasında sadece kabullere dayanan yöntemler kullanılmaktadır. Bu durum sonradan önüne geçilemeyen mühendislik problemlerini de beraberinde getirmektedir.

Konsolidasyon karakteristikleri gibi önemli parametrelerin belirlenebilmesi için pahalı ve zaman alıcı deneylerin yapılması gerekmektedir ve hatta bazı durumlarda örselenmemiş örneklerin temin edilmesi çok güç olmaktadır. Bu nedenle birçok araştırmacı zeminlerin konsolidasyon özelliklerini indeks ve plastik özelliklerini kullanarak istatistiksel olarak hesaplamaya çalışmışlardır.

Konu ile ilgili ilk çalışmalar 1940'lı yıllarda başlamıştır. Skempton (1944), Jumikis (1946, 1958), Rohan ve Graham (1948), Turnbull (1948) ve Davidson ve Gardiner (1949) yapmış oldukları çalışmalarda sıkışma indisi ve optimum su muhtevası ile plastisite özelliklerinin ilişkisini araştırmışlardır. Bu çalışmalarda zeminlerin dane dağılımları, özgül

ağırlık değerleri, likit limit, büzülme limitleri ve plastisite indisi değerleri kullanılarak çeşitli bağıntılar geliştirilmiştir.

Ring vd. (1962), Terzaghi ve Peck (1967), Ramiah vd. (1970), Nakase vd. (1988) ve Boltz vd. (1998) zeminlerin kompaksiyon özellikleri hakkında çalışmalar yapmışlar, tüm kil türleri için sıkışma karakteristikleri ile plastisite özellikleri arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır.

Benzer çalışmalar 2000'li yıllarda da devam etmiştir. Nagaraj (2000), Sridharan ve Nagaraj (2005), Gurtug ve Sridharan (2002, Sivrikaya vd. (2008), Di Matteo vd. (2009) ve Jesmani vd. (2012) yaptıkları çalışmalarda zeminlerin dane dağılımını, plastisite ve indeks özelliklerini ve konsolidasyon katsayısı değerlerini kullanarak bu zeminlerin sıkışma ve konsolidasyon özelliklerini belirlemeye çalışmışlardır.

Erol (1990), Garbulewski vd. (1994), Dolinar ve Skrabl (2013), Sivrikaya ve Hakbilir (2013) yaptıkları çalışmalarda ince taneli zeminlerin plastisite özelliklerini, kuru birim hacim ağırlıklarını ve emme basınçlarını kullanarak şişme potansiyellerini belirlemeye çalışmışlar ve çeşitli eşitlikler önermişlerdir.

Erguler ve Ulusay (2003) Ankara kilinin şişme potansiyelini $W_{\max 24-72}$ adını verdikleri yeni bir yöntemle bulmaya çalışmışlar ve dolaylı yoldan şişme basıncı ve şişme yüzdesini bulmaya yarayan birçok eşitlik önermişlerdir.

Yılmaz (2004) yaptığı çalışmada likit limit ve katyon değiştirme kapasitesinden yola çıkarak killi zeminlerin şişme potansiyellerini belirlemeye yarayan bir regresyon eşitliği önermiştir.

Işık (2009) regresyon eşitlikleri ve yapay sinir ağları yöntemlerini kullanarak ince taneli zeminlerin şişme özelliklerini belirlemeye çalışmış, yapay sinir ağlarının daha doğru sonuçlar verdiğini belirlemiştir.

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

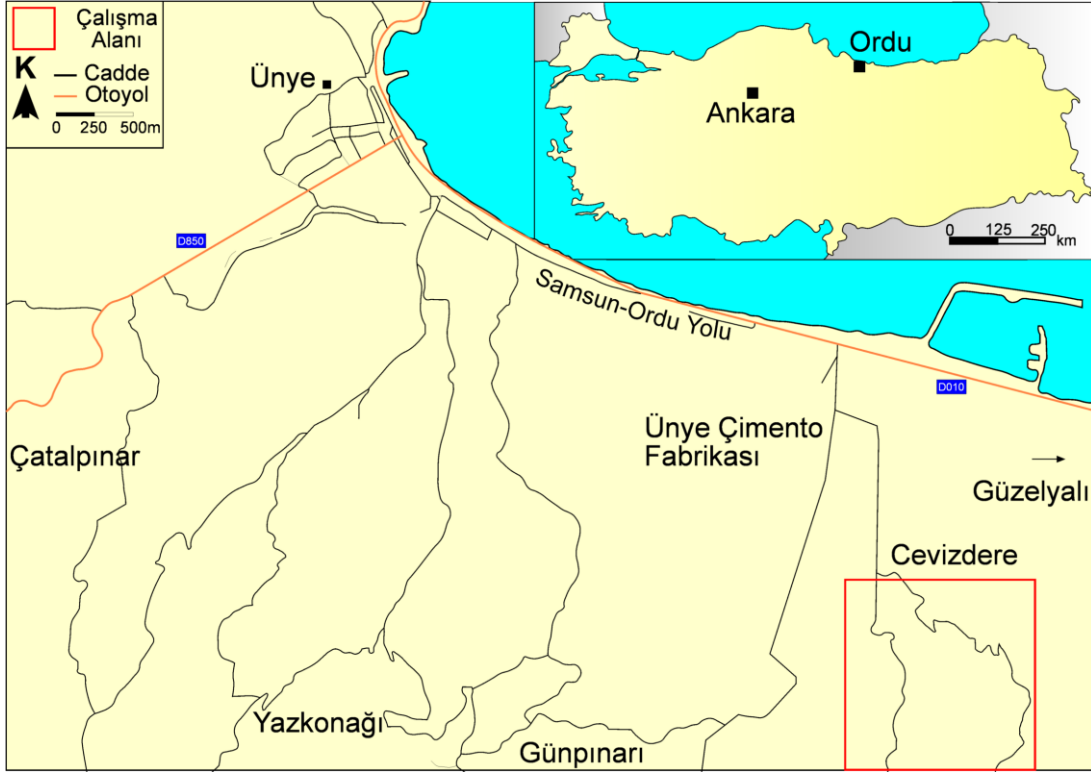
İnce taneli zeminler üzerine kurulacak yapıların stabilitesinin sağlanması ve söz konusu yapının inşasından sonra meydana gelebilecek oturmanın doğru şekilde tahmin edilebilmesi için zeminin konsolidasyon parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Ancak bu parametreleri belirlemek için uğraştırıcı ve zaman alıcı bir takım deneyler gerektiğinden, 1950'li yıllardan günümüze kadar birçok araştırmacı ince taneli zeminlerin konsolidasyon veya sıkışma parametrelerini bu zeminlerin plastik ve/veya indeks

özelliklerinden faydalanarak istatistiksel olarak belirleme yoluna gitmişlerdir.

Bu çalışmada ise, Cevizdere (Ünye, Ordu) yöresinden alınan 19 adet kil örneği üzerinde tek yönlü konsolidasyon (ödometre) deneyleri, plastik ve indeks özellik tayinleri, XRD (X-ray Diffraction) analizleri ve şişme deneyleri yapılmıştır. Elde edilen veriler kullanılarak çalışma konusu killerin plastik özellikleri ile oturma davranışları arasındaki olası bir ilişkiyi ortaya çıkarmak ve ayrıca bu killerin şişme potansiyellerini belirlemek amaçlanmıştır.

1.3. Çalışma Alanının Genel Özellikleri

Çalışma alanı Ünye'nin (Ordu) yaklaşık 6 km doğusunda bulunan Cevizdere mevki ve çevresinde yaklaşık 9 km²'lik bir alanı kapsamakta ve 1/25000 ölçekli Samsun F38-c4 paftası içerisinde yer almaktadır (Şekil 1.1). Çalışma alanının batısında Çatalpınar köyü ile Ünye ilçesi, doğusunda Güzelyalı köyü ve Fatsa ilçesi, güneyinde Günpınarı ve Yazkonağı mevkileri ve kuzeyinde Ordu – Samsun Sahil Karayolu (D010) ve Karadeniz bulunmaktadır.



Şekil 1.1. Çalışma alanına ait yer bulduru haritası

Bölge tipik Karadeniz kıyı morfolojisini göstermekte olup, kıyıya dik vadi ve dereler sık sık engebeler oluşturmaktadır. Çalışma alanında yükseklik deniz seviyesi ile 450 metre arasında değişmektedir. Topoğrafya neredeyse tamamen bitki örtüsüyle kapanmıştır. Sivri yapraklı ağaçlar, fındıklıklar ve çayırlar geniş yayılım gösterir.

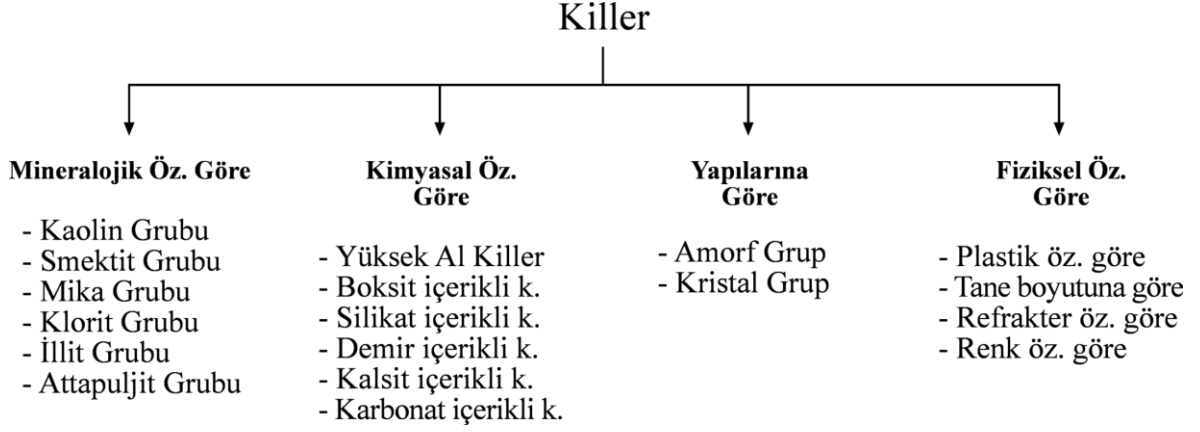
Bölgede Karadeniz iklimi hakim olup hava nemli, çoğu zaman yağışlıdır. Ortalama yıllık yağış miktarı 1050 mm'dir ve bulutlu gün sayısı fazladır. Dağların Karadeniz'e paralel olması yağışın güney kesimlere gidildikçe azalmasına neden olmaktadır ve bu nedenle güney kesimlerde yarı karasal iklim görülmektedir. Ordu ilinin en yüksek sıcaklık değerlerinin ortalaması yaklaşık 33°C, en düşük sıcaklık değerlerinin ortalaması ise yaklaşık 2°C'dir (URL-1, URL-2, 2015).

1.4. Killer

Kil terimi genellikle doğal yollardan oluşmuş, ince taneli, belirli bir su içeriğine kadar plastik davranış gösteren ancak kurutulduğunda veya fırımlandığında sertleşen malzemeler için kullanılır (Van Ranst, 1998). Ancak mineralojik ve kimyasal açıdan bakıldığında killer, sulu alüminyum, magnezyum ve demir silikatlardır. Birçok durumda killer, fiziksel ve kimyasal bozuşma süreçlerinin son ürünleridir. Diğer zemin türlerinin aksine killer çok fazla bozuşmaya maruz kalmış, türedikleri minerallerin özelliklerinin çoğunu kaybetmiş ve yeni fiziksel ve kimyasal özellikler kazanmışlardır. Tane boyutları çok küçüktür (<0,002 mm) ve elektron mikroskobu dışında gözlenmeleri çok zordur (Meunier, 2005). Bu küçük boyut, kil taneleri arasındaki çekim gücünün çok büyük olmasına ve taneler arasında çok miktarda su tutulabilmesine neden olur. Killerin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi bu yüzden önemlidir.

1.4.1. Kil Türleri

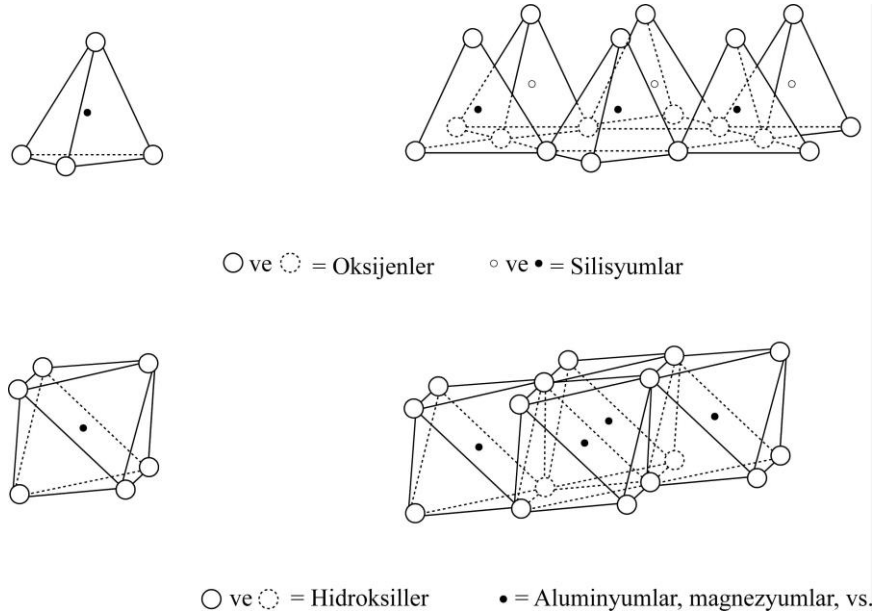
Killer çoğu zaman saf halde bulunmayıp değişik elementler ve mineraller içerirler ve çok farklı kristal şekillerine sahiptirler. Bu nedenle mineralojilerine, kimyasal özelliklerine, yapılarına ve fiziksel özelliklerine göre sınıflandırılabilirler (Van Ranst, 1998, Şekil 1.2). Mühendislik jeolojisinde ise en çok adı geçen kil grupları montmorillonit, illit ve kaolinit grubu killerdir.



Şekil 1.2. Killerin farklı özelliklerine göre sınıflandırılması

1.4.2. Killerin Kristal (Kafes) Yapıları

Kil mineralleri öncelikli olarak fillosilikat veya silikat minerallerinden oluşmuş katmanlardan meydana gelir. Bu katmanların temel bileşeni tetrahedral veya oktahedral yapılar şeklinde dizilmiş olan atomlardır (Van Ranst, 1998) (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. Kil tanelerini oluşturan levhalar

Tetrahedral levhalardaki baskın katyon Si^{4+} 'tür ancak sık sık Al^{3+} ile ve bazen de Fe^{3+} ile yer değiştirir. Bu silisyum, 4 oksijen tarafından sarılmıştır. Fillosilikatlarda

levhalar 6 adet birleşmiş tetrahedra halkalarından oluşur ve bu halkaların her biri ortamdaki 4 oksijenden 3'ünü paylaşır. Paylaşılmayan oksijenler aynı yönü (tabana dik olacak şekilde yukarı doğru) gösterirler (Van Ranst, 1998).





Oktahedral levhalar ise birbirine en yakın oksijen veya hidroksil iyonlarının birleşmesiyle oluşmuş 2 düzlemden ibarettir ve bu levhaların içerisinde katyonlar bulunmaktadır. Bu katyonlar genellikle Al^{3+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} veya Fe^{3+} ve bazen Li^{+} dir.

1.4.3. Killerin Şişme Potansiyeli

Su-zemin etkileşimi granüler zeminlerde pek önemli değildir. Örneğin kumlu bir zeminin taşıma gücü kuru veya ıslakken yaklaşık aynıdır. Ancak tane boyu çok küçük olan killerde bu etkileşimin tehlikeli sonuçları olabilir. Özellikle bazı kil mineralleri suyla temasa karşı daha duyarlıdır (Holtz ve Kovacs, 1981).

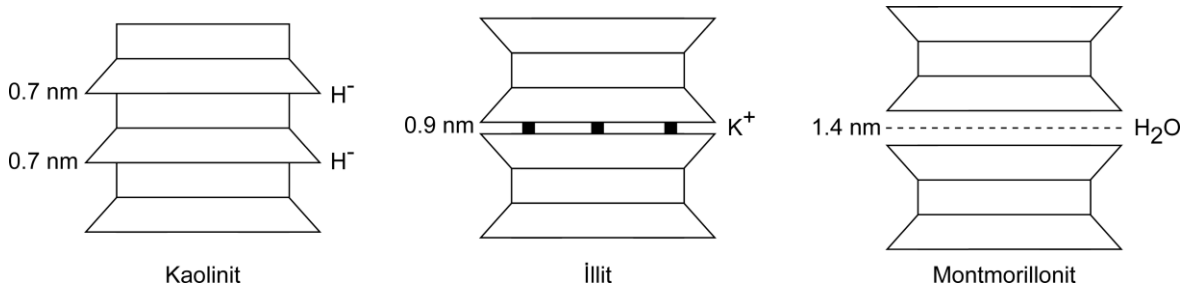
Killerin suya karşı olan bu hassasiyetlerinin sebeplerinden birisi özgül yüzeylerinin fazlalığıdır. Özgül yüzey kabaca, tanenin yüzey alanının kütesine oranı olarak tanımlanabilir. Bir tanenin boyutu ne kadar küçükse özgül yüzeyi o kadar fazladır (Tablo 1.1).

Tablo 1.1. Bazı kil minerallerinin şişme potansiyeli

Kenar Görünümü	Tipik Kalınlık (nm)	Tipik Çap (nm)	Spesifik Yüzey (km ² /kg)
 Montmorillonit	3	100-1000	0,8
 İllit	3	10000	0,08
 Klorit	30	10000	0,08
 Kaolinit	50-2000	300-4000	0,015

Kil minerallerinin şişme potansiyellerini belirleyen bir diğer faktör de moleküller arasındaki bağların kuvvetidir. Kaolinit çok güçlü hidrojen bağlarına sahiptir ve bu nedenle neredeyse hiç şişmez. İllit bir miktar şişmeye izin veren potasyum bağlarına sahiptir. Montmorillonit ise sadece zayıf bağlardan oluşmuştur ve çok yüksek şişme potansiyeline

sahiptir (Coduto, 2005) (Şekil 1.4 ve Tablo 1.2).



Şekil 1.4. Bazı kil minerallerinin levha yapısı ve molekül bağları

Tablo 1.2. Bazı kil minerallerinin şişme potansiyeli

Yük (kPa)	Şişme Potansiyeli (%)		
	Kaolinit	İllit	Montmorillonit
9.6	-	350	1500
19.1	-	150	350

1.5. Killerin Konsolidasyonu

Konsolidasyon, zeminlerin (özellikle killerin) statik yükler altında bünyelerindeki suyu dışarı atmasıyla meydana gelen bir sıkışma şeklidir. Sıkışma esnasında zeminin boşluklarındaki su dışarı atılacağından, konsolidasyon genellikle boşluk oranı ve boşluk suyu basıncıyla ilişkilidir (Rahn, 2006). Konsolidasyon genellikle zeminlerdeki oturma olayının en büyük nedenidir.

İnce taneli bir zemin üzerine geniş bir dolgu yapıldığında, bu dolgu düşey bir yük uygulayarak zemine etki eden toplam gerilmeyi arttıracaktır. Bu durumda dolgu altındaki düşey gerilme Eşitlik 1.1 kullanılarak hesaplanır (Coduto, 2005):

$$\Delta\sigma_z = \gamma_{\text{dolgu}} \times H_{\text{dolgu}} \quad (1.1)$$

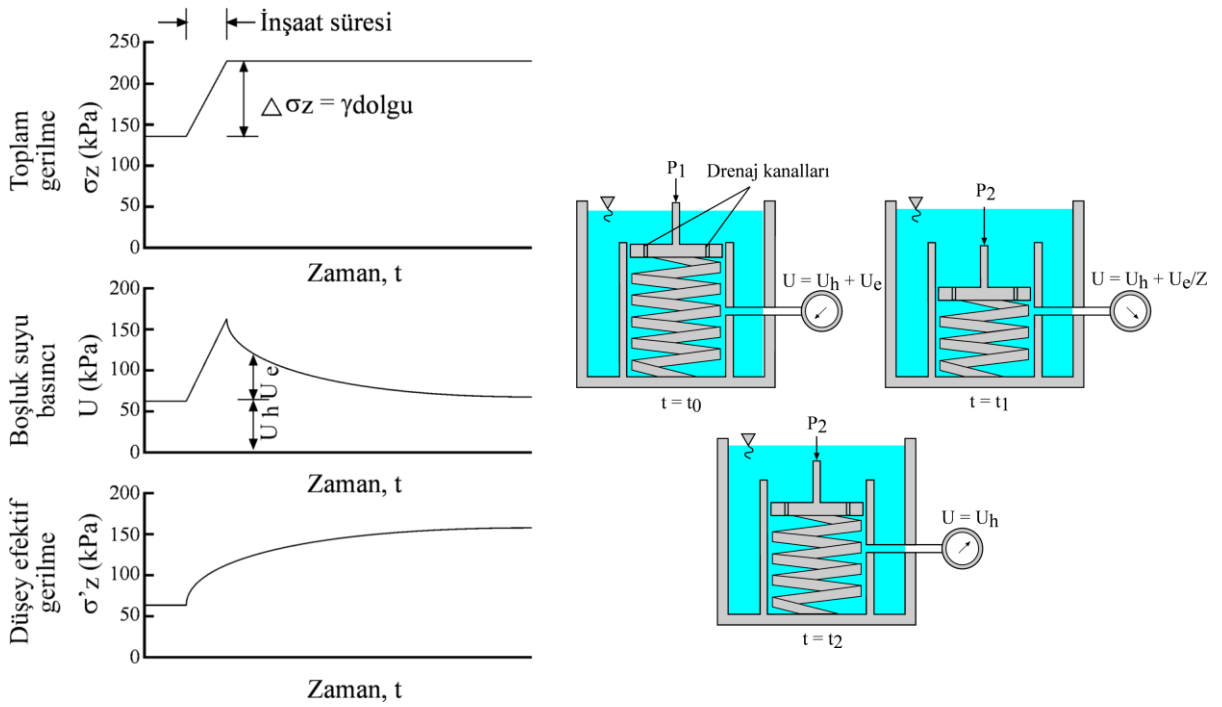
Burada;

$\Delta\sigma_z$: dolgunun altındaki zeminin düşey efektif gerilmesindeki değişim

γ_{dolgu} : dolgunun birim hacim ağırlığı

H_{dolgu} : dolgunun kalınlığıdır.

Dolgunun geniş olması durumunda toplam gerilme artmasına rağmen efektif gerilme (σ'_z) değişmeyecektir. Eğer zemin suya doygunsa, dolgu yükü ilk olarak boşluk suyu (U_h) tarafından karşılanır ve bu nedenle boşluk suyu basıncında bir artış meydana gelir. Aşırı boşluk suyu basıncının (U_e) oluşmasıyla zemin içerisinde bir hidrolik eğim oluşur ve boşluk suyu bu hidrolik eğim boyunca dışarıya atılır. Böylece boşluk suyu tarafından taşınan yük zamanla (t) zemin tanelerine geçer ve efektif gerilme artar (Şekil 1.5-a). Konsolidasyonun sebebi de efektif gerilmedeki bu artıştır. Bu olayı en güzel temsil eden örneklerden birisi piston ve yay örneğidir (Şekil 1.5-b).



Şekil 1.5. (a) Konsolidasyon sırasında toplam gerilme, boşluk suyu basıncı ve efektif gerilmedeki değişim ve (b) piston-yay benzeşimi (Coduto, 2005)

2. MATERYAL VE METOT

Çalışma konusu killerin konsolidasyon parametreleri ile indeks özellikleri arasında bir bağıntı kurabilmek ve bu killerin şişme özelliklerini belirleyebilmek için Cevizdere yöresindeki çalışma alanından 19 adet örselenmiş ve örselenmemiş kil örneği temin edilmiştir. Alınan örnekler üzerinde su içeriği tayini, tek yönlü konsolidasyon (ödometre) deneyi, şişme deneyi, özgül ağırlık (piknometre) deneyi, Atterberg limitleri tayini, hidrometre deneyi, ıslak elek analizi ve XRD deneyleri yapılmıştır.

2.1. Su İçeriği Tayini

Bu deneyle araziden alınan zemin örneklerinin doğal ortamındaki su içeriği tayin edilir. Deneye tabi tutulan zemin örneğinin doğal su içeriği yüzde olarak hesaplanır.

Deney ASTM D 6780-05 standardına uygun olarak yapılmıştır. Araziden alınan ve nemliliğini kaybetmeyecek şekilde muhafaza edilmiş (parafinlenmiş veya havayla temas etmeyecek şekilde geçirimsiz malzemeyle sarılmış) zemin örnekleri ağırlığı bilinen, paslanmaz bir kap içerisine koyularak 0.01 gr hassasiyetindeki terazi ile tartılır. Daha sonra örnek genellikle 105°C sıcaklığındaki bir etüvde 24 saat kurutulur. Kurutma ısı ve süresi zemin malzemesinin türüne göre değişiklik gösterebilir.

Kurutulan örnek desikatöre konularak örneğin soğuması sağlanır. Daha sonra örnek tekrar hassas terazi ile tartılır. Doğal su içeriği (W_n) Eşitlik 2.1 kullanılarak hesaplanır.

$$\omega_n = \frac{(m_2 - m_3)}{(m_3 - m_1)} \times 100 \quad (2.1)$$

Burada;

ω_n : su içeriği (%)

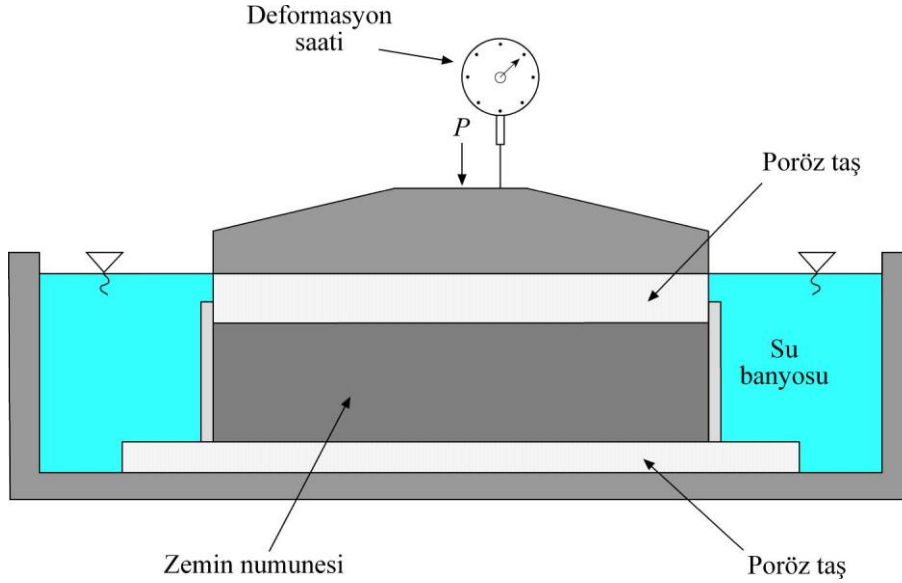
m_1 : kabın kütlesi (gr)

m_2 : kap + yaş örneğin kütlesi (gr)

m_3 : kap + kuru örneğin kütlesi (gr).

2.2. Tek Yönlü Konsolidasyon (Ödometre) Deneyi

Ödometre deneyinin amacı, suya doymuş zeminlerin düşey bir yük altında bünyelerindeki suyu dışarı atarak uğradığı düşey deformasyonu uzunluk cinsinden belirlemektir. Deney örselenmemiş zemin örnekleri üzerinde ödometre deney aleti kullanılarak yapılır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Ödometre deney aletinin şematik gösterimi

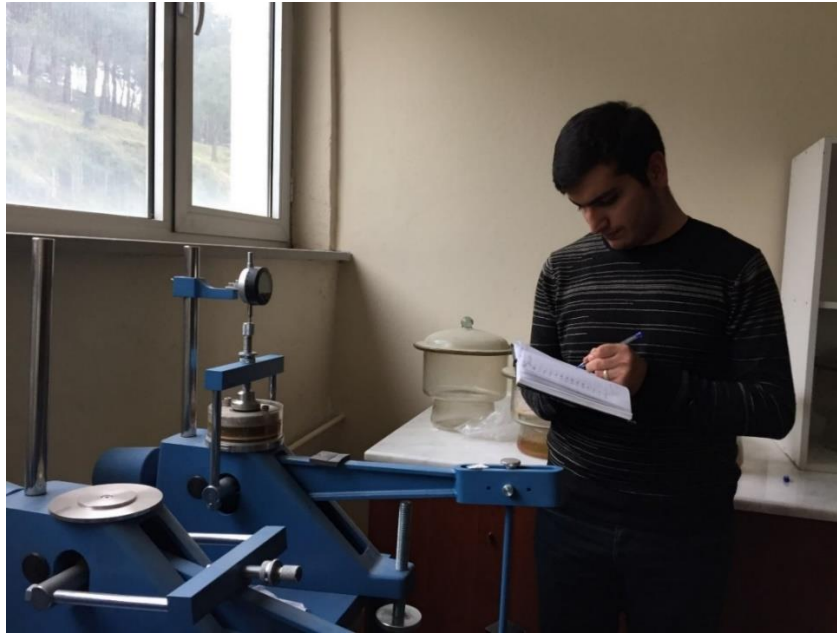
Araziden alınan örselenmemiş örnekler ödometre aletinin cinsine göre değişen çap ve yükseklikteki örnek halkalarına konularak alt ve üst kısımları düzgünce tıraşlanır. Örneğin bu haliyle tartılarak ağırlığı not edilir. Daha sonra halka içerisindeki örneğin altına ve üstüne filtre kağıtları ve poröz taşlar yerleştirilir. Bunun amacı deney boyunca örneğin suyla temas edebilmesini sağlamaktır.

Daha sonra örnek bu haliyle deney hücresine yerleştirilip hücre kapağı sıkı bir şekilde kapatılır ve kapak üzerindeki boşluklardan hücreye doluncaya kadar su konulur. Son olarak yükleme başlığı yerleştirilir ve deformasyon saati ayarlanır (Şekil 2.2).

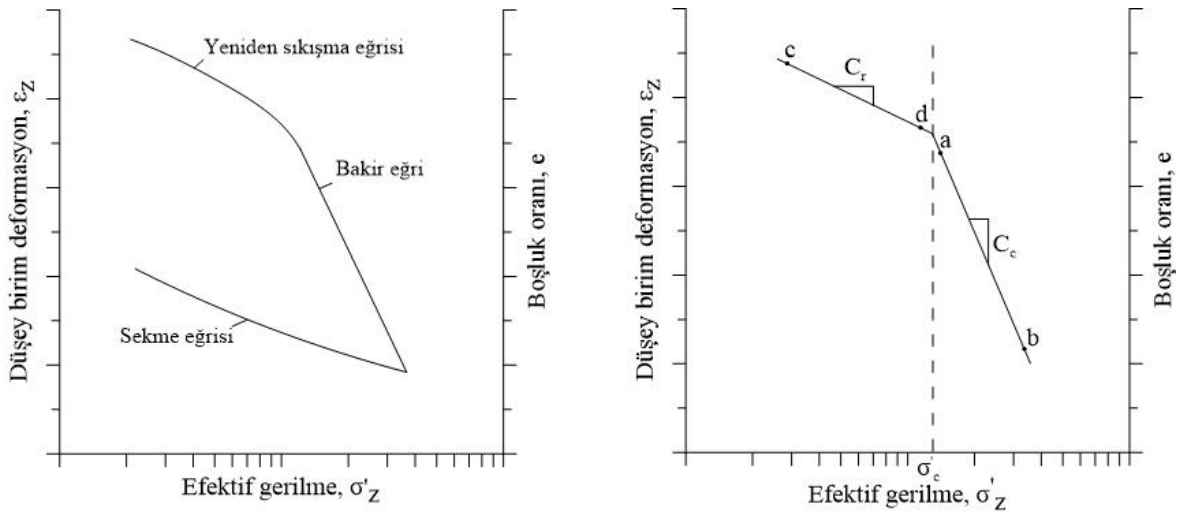
Deney süresince zemin örneğine belirli aralıklarla yükleme yapılır. Her yükleme sonunda meydana gelen yükseklik değişimi (yani düşey deformasyon) okuma saatinden okunup kaydedilir. ASTM D2435-03 standardına göre örneğe başlangıçta 2-3 kPa, daha sonra 24 saat aralıklarla 12, 25, 50, 100, 200 kPa ve istenirse katlamalı bir şekilde daha fazla yükler uygulanır. Her örneğe en az 6 kez yükleme yapılmalıdır.

Yükleme işlemi bittiğinde geri yükleme işlemine geçilir. Geri yüklemede örnek üzerindeki yük kademeli olarak azaltılır ve her kademede 24 saat beklenir. Geri yükleme sayısı, yükleme sayısının yarısından daha az olmamalıdır (en az 3). Her geri yükleme kademesinin sonunda deformasyon saatinden okuma yapılır.

Deney sonuçları yarı logaritmik bir grafiğe aktarılır. Bu grafikte dikey (aritmetik) eksen dikey birim deformasyon (ϵ_z) veya boşluk oranı (e) olabilirken yatay (logaritmik) eksen zemin örneğine uygulanan dikey gerilmedir (σ'_z) (Şekil 2.3).



Şekil 2.2. Ödometre deney aleti ve deneyin yapılışı



Şekil 2.3. Deney sonuçlarının grafiğe aktarılması

Zemin numunesinin sıkışma katsayısı (C_c), yeniden sıkışma katsayısı (C_r) ve aşırı konsolidasyon oranı (OCR) ve aşırı konsolidasyon sınırı değerleri (σ'_m) aşağıdaki bağıntılarla bulunur.

Deney sonuçlarının ($e-\sigma'_z$) cinsinden grafiğe aktarılması durumunda;

$$C_c = - \frac{e_a - e_b}{\log(\sigma'_{z_b}) - \log(\sigma'_{z_a})} \quad (2.2)$$

$$C_r = - \frac{e_c - e_d}{\log(\sigma'_{z_d}) - \log(\sigma'_{z_c})} \quad (2.3)$$

Deney sonuçlarının $\varepsilon_z - \sigma'_z$ cinsinden grafiğe aktarılması durumunda;

$$\frac{C_c}{1+e_0} = \frac{(\varepsilon_z)_b - (\varepsilon_z)_a}{\log(\sigma'_{z_b}) - \log(\sigma'_{z_a})} \quad (2.4)$$

$$\frac{C_r}{1+e_0} = \frac{(\varepsilon_z)_b - (\varepsilon_z)_a}{\log(\sigma'_{z_b}) - \log(\sigma'_{z_a})} \quad (2.5)$$

Yöntem fark etmeksizin aşırı konsolidasyon oranı ve aşırı konsolidasyon sınırı;

$$OCR = \frac{\sigma'_c}{\sigma'_{z0}} \quad (2.6)$$

$$\sigma'_m = \sigma'_c - \sigma'_{z0} \quad (2.7)$$

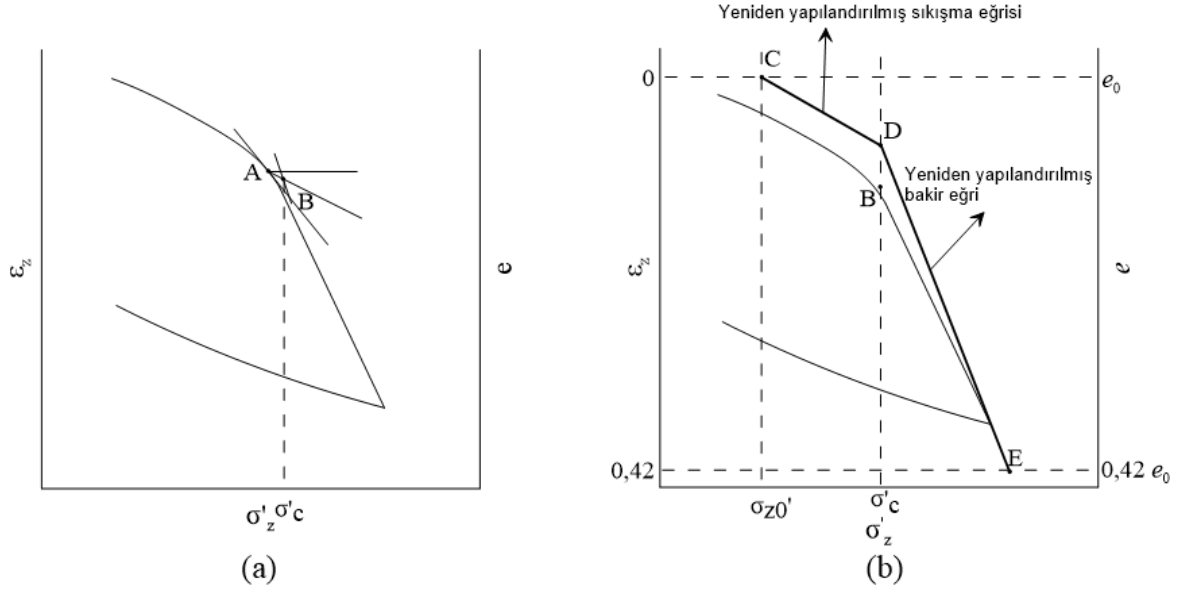
Burada;

- a, b, c ve d : $e-\sigma'_z$ grafiğinde eğri üzerinde seçilmiş noktalar,
 σ'_{z0} : örneğin doğal ortamında maruz kaldığı efektif gerilme,
 σ'_c : ön konsolidasyon gerilmesidir.

Ön konsolidasyon gerilmesi Casagrande yöntemiyle grafik üzerinden aşağıdaki adımlar izlenerek belirlenebilir (Şekil 2.4-a):

- 1) Konsolidasyon eğrisi üzerinde minimum yarıçap noktası bulunur (A noktası).
- 2) A noktasından yatay bir çizgi çizilir.
- 3) A noktasında laboratuvar eğrisine bir teğet çizilir.
- 4) 2. ve 3. adımlarda çizilen çizgiler arasındaki açının açıortay doğrusu çizilir.

5) Bakir eğrinin düz kısmı 4. adımda çizilen çizgiyi kesinceye kadar yukarı doğru uzatılır. Elde edilen nokta (B noktası) ön konsolidasyon gerilmesidir (Coduto, 2005).



Şekil 2.4. Casagrande yöntemiyle ön konsolidasyon gerilmesinin bulunması (a) ve Schmertmann düzeltmesi (b)

C_c ve C_r konsolidasyon eğrisi üzerinde belirlenirken örneklerin örselenme durumu ihmal edilmektedir. Her ne kadar deney örselenmemiş örnekler üzerinde yapılsa da örneklerin bir miktar örselenmeye maruz kalabilmesi ihtimal dahilindedir. Schmertmann prosedürü (düzeltmesi) konsolidasyon eğrisini örselenme etkisini en aza indirecek şekilde yeniden yapılandırmak için kullanılır (Şekil 2.4-b). Bu düzeltme şu şekilde yapılır:

- 1) Casagrande yöntemiyle ön konsolidasyon gerilmesi hesaplanır.
- 2) Numune derinliğinde ilk düşey efektif gerilme (σ'_{z0}) hesaplanır.
- 3) $e=e_0$ 'da veya $\epsilon_z=0$ 'da yatay bir çizgi çizilir. Daha sonra σ'_{z0} 'dan düşer bir çizgi çizilerek C noktası bulunur.
- 4) C noktasından başlanarak sekme eğrisine paralel bir eğri çizilir. σ'_c 'ye erişinceye kadar sağa doğru devam edilir. Böylece D noktası bulunur.
- 5) Bakir eğri $e=0,42e_0$ veya $\epsilon_z=0,42$ seviyesine kadar uzatılır. Böylece E noktası tanımlanır.
- 6) D ve E noktalarını birleştiren bir çizgi çizilir (Coduto, 2005).

2.3. Şişme Deneyi

Bu çalışmada Cevizdere yöresinden alınan killer üzerinde $W_{\max(24,72)}$ şişme deneyi yapılmıştır. Ergüler ve Ulusay (2002) tarafından önerilen bu deneyde 400 gram zemin örneği uygun bir behere konulur ve viskoz malzeme elde edilene kadar saf su koyularak karıştırılır (Şekil 2.5). Örnek bu şekilde 24 saat bekletildikten sonra malzemedan yaklaşık 40-50 gram örnek alınarak su içeriği belirlenir. Aynı işlem 72 saat sonra tekrarlanır. Daha sonra önerilen bağıntılar kullanılarak dolaylı yoldan örneğin şişme yüzdesi ve şişme basıncı yüksek bir regresyon oranıyla hesaplanabilmektedir (Tablo 2.1).



Şekil 2.5. Şişme deneyi düzeneği

2.4. Özgül Ağırlık (Piknometre) Deneyi

Piknometre deneyi ile zemin örneğinin katı tanelerinin özgül ağırlığı hesaplanır. Deneyde piknometre adı verilen ince boyunlu cam tüpler, etüv, hassas terazi ve vakum aleti kullanılır. Özgül ağırlık deneyi ASTM D 854-92 standardına göre yapılmıştır (Şekil 2.6).

Öncelikle piknometre temizlenir, kurutulur ve ağırlığı tartılır. Daha sonra kalibrasyon çizgisine kadar saf su konulur, içindeki hava kabarcıkları alınır ve tekrar tartılır.

Tablo 2.1. $W_{\max 24}$ deneyinde kullanılan ampirik eşitlikler

Eşitlik No	Ampirik Eşitlik	Korelayson Katsayısı, r
1	$SWR = - 166.03 + 3.5MBV + 44.09\gamma_d + 0.36LL + 1.24W_{\max 24}$	0.96
2	$SWR = - 108.42 + 0.29LL + 0.60Sm + 1.54 W_{\max 24}$	0.95
3	$SWR = - 105.46 + 0.17LL + 0.58Sm + 1.39W_{\max 24} + 2.25MBV$	0.95
4	$SWR = -104.39 + 1.64W_{\max 24} + 0.81Sm$	0.95
5	$SWR = - 105.46 + 2.25MBV + 0.17LL + 0.58Sm + 1.39W_{\max 24}$	0.95
6	$SWR = - 105.09 + 2.41MBV + 0.55LL + 1.30W_{\max 24}$	0.94
7	$SWR = - 90.66 + 3.95MBV + 1.42W_{\max 24}$	0.94
8	$SWR = - 108.25 + 0.69LL + 1.47W_{\max 24}$	0.94
9	$SWUD = - 175.55 + 0.77MBV + 74.81\gamma_d + 1.14W_{\max 24}$	0.93
10	$SWUD = - 174.10 + 73.99 \gamma_d + 1.21W_{\max 24}$	0.93
11	$SPUD = - 15.77 + 0.16LL - 0.06Sm + 0.24MBV + 0.25W_{\max 24}$	0.92
12	$SPUD = - 15.81 + 0.12LL + 0.22MBV + 0.26W_{\max 24}$	0.92
13	$SPUD = - 16.10 + 0.13LL + 0.27W_{\max 24}$	0.92
14	$SPUD = - 14.54 + 0.20MBV - 0.91 \gamma_d + 0.12LL + 0.26W_{\max 24}$	0.92
15	$SPUD = - 13.64 + 0.06Sm + 0.33W_{\max 24}$	0.91
16	$SPUD = - 13.93 + 0.57MBV + 0.86 \gamma_d + 0.28W_{\max 24}$	0.91
17	$SPR = - 33.87 + 0.34LL + 3.36 \gamma_d + 0.77 W_n$	0.89
18	$SPR = - 21.72 + 0.26LL - 0.0014Sm + 0.11MBV + 0.16W_{\max 24}$	0.89
19	$SPR = - 21.72 + 0.26LL + 0.11MBV + 0.16W_{\max 24}$	0.89
20	$SPR = - 21.72 + 1.11MBV + 0.26LL - 0.00014Sm + 0.16 W_{\max 24}$	0.89
21	$SPR = -9.69 + 0.88MBV + 0.26LL - 8.71 \gamma_d + 0.17W_{\max 24}$	0.89
22	$SPR = - 23.18 + 0.32LL + 0.01Sm + 0.24W_{\max 24}$	0.88
23	$SPR = - 23.17 + 0.32LL + 0.24W_{\max 24}$	0.88
24	$SWUD = - 63.82 - 0.23LL + 0.33Sm + 1.33W_{\max 24}$	0.87
25	$SPR = - 20.52 + 2.01MBV + 0.32LL$	0.87
26	$SWUD = - 67.01 + 1.25W_{\max 24} + 0.18Sm$	0.87
27	$SPUD = - 34.28 + 0.23LL + 9.45 \gamma_d + 0.62W_n$	0.86
28	$SPUD = - 13.90 + 1.66MBV + 0.22LL$	0.85
29	$SPR = - 18.78 + 0.23Sm + 0.35W_{\max 24}$	0.85
30	$SWR = - 227.27 + 2.14W_n + 1.54LL + 72.49 \gamma_d$	0.84

SWUD: Örselenmemiş örneğin şişme basıncı (N/cm^2); SWR: örselenmiş örneğin şişme basıncı (N/cm^2); SPUD: örselenmemiş örneğin şişme yüzdesi (%); SPR: örselenmiş örneğin şişme yüzdesi (%); MBV: metilen mavisi değeri ($g/100g$); LL: likit limit (%); $\omega_{\max 24}$: 24 saatteki su içeriği (%); Sm: smektit yüzdesi; γ_d : kuru yoğunluk (g/cm^3); ω_n : doğal su içeriği (%).

Sonrasında piknometrenin içinde çok az su kalacak şekilde boşaltılır. Önceden 200 no'lu elekten geçecek şekilde öğütülmüş ve kurutulmuş zemin örneğinden 1 gram tartılarak piknometre içerisine konulup piknometrenin kalibrasyon çizgisine kadar su ilave edilir. Tekrar piknometre içindeki hava kabarcıkları alınır. Piknometre, içerisindeki numune ve suyla birlikte tekrar tartılır. Deney boyunca, deneyin yapıldığı odanın ve

deneyde kullanılan saf suyun sıcaklığı not edilmeli bu sıcaklığın değişmemesi sağlanmalıdır.



Şekil 2.6. Piknometre deneyinin yapılışı

Katı tanelerin özgül ağırlığı aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır:

$$G_{s(T_x)} = \frac{W_s * G_w(T_x)}{W_s + W_{pw(T_x)} - W_{psw(T_x)}} \quad (2.8)$$

Burada;

$G_{s(T_x)}$: katı tanelerin özgül ağırlığı,

W_s : kuru numune kütlesi (gr)

$W_{pw(T_x)}$: piknometre + suyun T_x sıcaklığındaki kütlesi (gr)

$W_{psw(T_x)}$: piknometre + numune + suyun T_x sıcaklığındaki kütlesi (gr)

$G_w(T_x)$: suyun T_x sıcaklığındaki özgül ağırlığıdır.

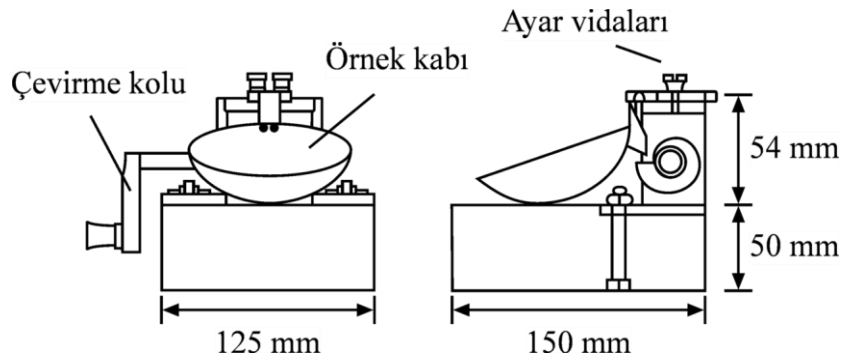
2.5. Atterberg Limitleri Tayini

Zemin örneğinin katı davranıştan plastik ve sıvı davranışa geçtiği su muhtevası değerlerine Atterberg (kıvam) limitleri denilmektedir. Doğal ortamında zeminler yeraltı ve yüzey sularına maruz kalabileceğinden; zeminin hangi su içeriğinde plastik davranış, hangi su içeriğinde ise sıvı davranış gösterdiğinin bilinmesi çok önemlidir.

2.5.1. Likit Limit Deneyi

Likit limit (LL), zeminin plastik davranıştan sıvı davranışa geçtiği anda sahip olduğu su muhtevasıdır ve % olarak ifade edilir. Casagrande deneyiyle belirlenir. Bu deney için 40 no'lu elekten geçmiş 200-300 gram zemin örneği, Casagrande deney düzeneği, ıspatula, cam bir plaka ve bir porselen kap gereklidir (Şekil 2.7).

Casagrande deneyine başlamadan önce zemin numunesinin 1 cm yükseklikten düşmesini sağlamak amacıyla pirinç kabın yüksekliği kontrol edilmelidir. Zemin numunesini ikiye bölmeye yarayan standart 1 cm enindeki oyuk açma bıçağı bu yüksekliği kontrol etmek amacıyla kullanılabilir. ASTM 4318-84 standardına göre deney yapılacak numune 40 no'lu elekten geçirilmelidir. Daha sonra bir kaba elekten geçmiş numuneden 200-300 gram alınarak saf su eklenir ve cam veya metal bir karıştırıcı ile karıştırılır. Bu malzemeden bir miktar alınıp pirinç kaba yerleştirilir ve kaba paralel olacak şekilde ıspatula ile düzeltilir. Daha sonra oyuk açma bıçağı ile zemin numunesi ikiye bölünür.



Şekil 2.7. Casagrande deney aletinin şematik gösterimi

Casagrande deney aletindeki çevirme kolu saat yönünün tersi yönünde saniyede 2 düşüm olacak şekilde çevrilerek deney numunesinin arasındaki boşluğun kapanması sağlanır. Boşluğun kapandığı andaki düşüş sayısı kaydedilir. Boşluğun kapandığı kısımdan

bir miktar örnek alınarak su içeriği belirlenir. Bu işlem en az 4 kere tekrarlanır. Düşüş sayılarının 10'dan az, 40'tan fazla olmamasına dikkat edilmelidir. Eğer bu şart sağlanamıyorsa, örneğe katılan saf su miktarı arttırılmalı veya azaltılmalıdır.

Elde edilen su içeriği ve düşme sayısı değerleri, düşme sayıları logaritmik ekseninde olacak şekilde yarı logaritmik bir grafiğe aktarılır. En çok noktayı temsil edecek şekilde bir doğru çizilir ve 25 darbeye karşılık gelen su muhtevası değeri bulunur. Bu değer zemin numunesinin likit limitidir.

2.5.2. Plastik Limit Deneyi

Plastik limit (PL), zeminin katı davranıştan plastik davranışa geçtiği su muhtevasını ifade eder. Bu değer, bir miktar zemin örneğinin 3 mm çapa kadar kopmadan inceltilebildiği su muhtevasıdır ve % olarak ifade edilir. ASTM D 4318-84 standardına göre 40 no'lu elekten geçen 20-30 gram numune üzerinde plastik limit deneyi yapılarak tayin edilir.

Elekten geçmiş numune uygun bir kapta saf su eklenerek viskoz malzeme elde edilene kadar karıştırılır. Elde edilen malzemedен misket büyüklüğünde bir parça alınıp yoğrulur ve cam bir levha üzerine konularak yuvarlanmaya başlanır. Numune 3 mm çapa gelinceye kadar yuvarlanır. Bu kalınlıkta örnekte kopmalar ve çatlaklar meydana geliyorsa zemin su muhtevasının ölçülmesi için uygun halde demektir. Yaklaşık 5 gram örnek alınarak uygun yöntemlerle su muhtevası belirlenir. Aynı işlem 3 veya daha fazla kez tekrarlanarak değerlerin ortalaması alınır.

2.6. Elek Analizi

Zeminleri oluşturan değişik boyuttaki tanelerin dağılımını belirlemek söz konusu zemini sınıflandırmak ve mühendislik parametrelerini belirlemek için çok önemlidir. Elek analizi herhangi bir zemin örneğinin tane dağılımını belirlemek için kullanılan en yaygın yöntemdir. Deney ASTM D 422-63 standardına uygun olarak yapılmıştır (Şekil 2.8).

Elek analizi deneyi için ASTM standardına uygun elek takımı, terazi, birkaç adet kova, tepsisi, fırça ve 1000-1500 gr zemin numunesi gereklidir. Numune etüve konularak 105°C'de 24 saat kurutulur ve kurutulan örnekten 500 gr alınarak bir kaba konulur. Daha sonra kap içerisine 2 gr sodyum hegzametasil fosfat koyulur ve 1 litre saf su eklenerek 24

saat ayrışmaya bırakılır. 24 saat sonunda örnek elek takımına konular ve temizleninceye kadar saf su ile yıkanır. Daha sonra örnek tekrar 105°C'deki etüve konularak 24 saat kurutulur. Kurutmadan sonra örneğin kuru ağırlığı bulunur. Kuru örnek elek takımına yerleştirilir ve mekanik çalkalayıcı ile birkaç dakika çalkalanır. Her eleğin üstünde kalan örnek ağırlığı tartılarak elek numarası ve açıklığı ile birlikte not edilir. Eleklerden geçen malzeme yüzdesi hesaplanır ve zemin örneğinin granülometri (tane boyu) eğrisi çizilir.



Şekil 2.8. Elek takımı ve mekanik çalkalayıcı

2.7. Hidrometre Deneyi

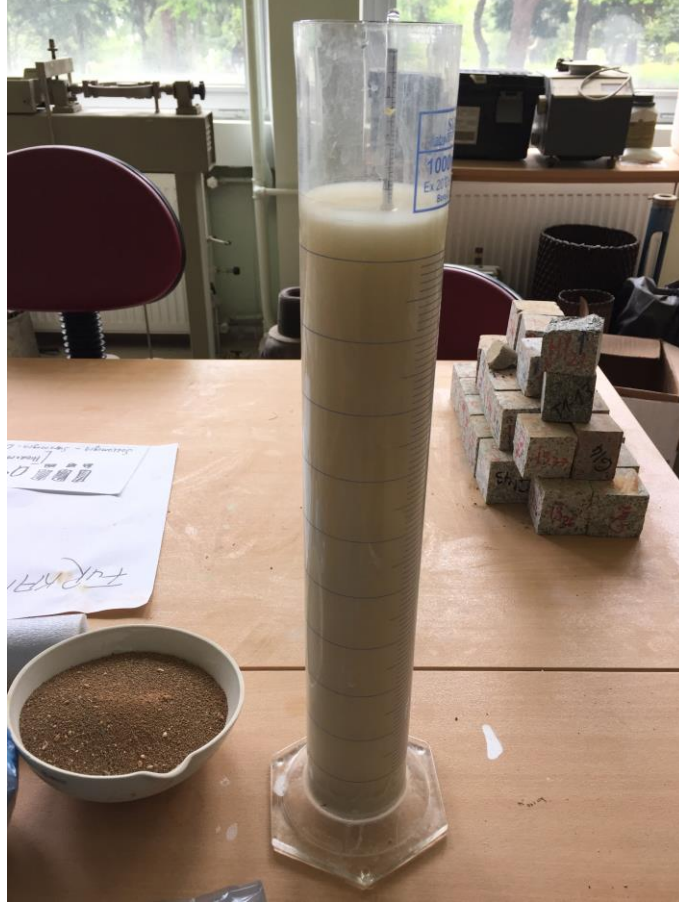
Hidrometre deneyi 200 no'lu elekten geçen ince taneli zeminlerin dane dağılımını belirlemek için yapılır. Deney ASTM D 422-63 standardına uygun olarak yapılmıştır.

Hidrometre deneyi için desikatör, etüv, buharlaşma kabı, fırça, karıştırıcı, kronometre, hidrometre, terazi, termometre, piset, sodyum hegzametasilik fosfat (ayırıştırıcı), 2 adet mezür, ıspatula ve saf su gereklidir.

Karıştırıcı, dakikadaki devir sayısı en az 10.000 olan bir elektrik motoru ile dönen düşey bir shaft ucunda metalden yapılmış, sökülüp takılabilen pervaneler ile ayırıştırma kabından oluşur. Silindirik çökme mezürleri 1.000 cm³ hacminde ve yaklaşık 45 cm yüksekliğinde 6-6.5 cm çapında camlardan oluşmaktadır (Şekil 2.9).

Killi zeminler için 50 gr, kumlu zeminler için ise 100 gr etüvde kurutulmuş numune

alınır. Numunenin üstünü örtecek kadar saf su eklenir, karıştırılır ve numune bu şekilde 24 saat bekletilir ve daha sonra saf su ile karıştırıcıya aktarılır. Karıştırıcı kabına sodyum hegzametapofosfat eklenir. Bu karışım üzerine saf su eklenerek 10 dakika karıştırılır. Yine saf su vasıtasıyla karışım mezüre aktarılır ve mezürün 1.000 ml çizgisine kadar saf su eklenir.



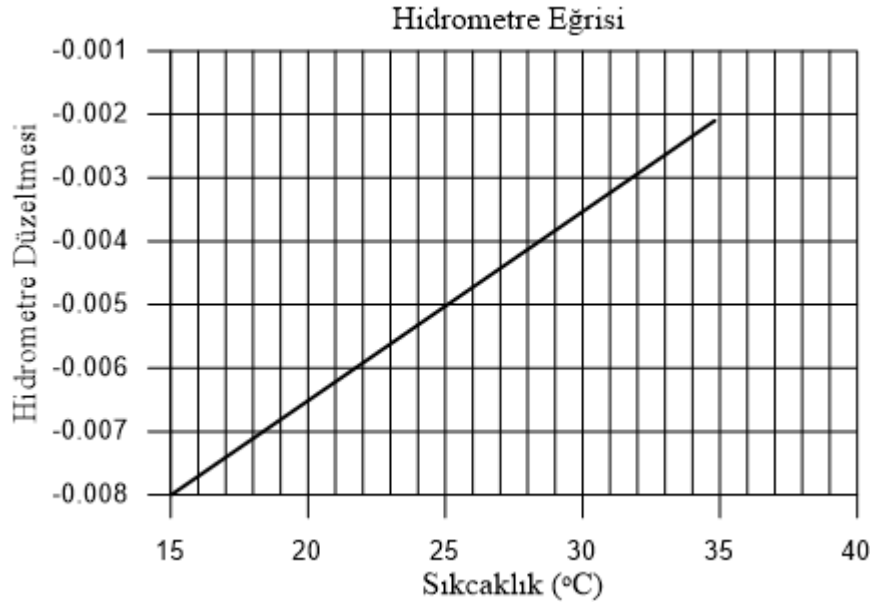
Şekil 2.9. Hidrometre deney düzeneği

Süspansiyonun bulunduğu mezürün açık ağzı avuç içiyle kapatılarak birkaç kez baş aşağı getirilir ve böylece karışımın homojen hale gelmesi sağlanır. 1 dakika boyunca bu işlem yapılır ve 0.25, 0.5, 1 ve 2 dakikalarda hidrometre süspansiyondan çıkarılmadan okumalar alınır. Daha sonra hidrometre süspansiyondan çıkarılarak karışım yukarıda belirtildiği şekilde tekrar çalkalanır ve 2 dakika boyunca yine okumalar yapılır. Aynı zaman dilimleri için birbirine yakın son iki okuma dizileri alınmaya kadar bu işlem sürdürülür. Karışımın sıcaklığı ölçülür.

Daha sonra süspansiyon tekrar karıştırılır ve ilk 2 dakika için okuma alınmadan sonraki aşamalarda 5, 10, 20 ve 30. Dakikalarda ve bunu takip eden 1, 2, 4, 8 ve 24.

saatlerde hidrometre ve sıcaklık ölçümleri yapılır.

Deney sırasında kaydedilen hidrometre okumaları için düzeltme yapmak gerekmektedir. Hidrometreler belli bir sıcaklıkta kalibre edilirler. Düzeltme için deney süresince her bir hidrometre okumasının alınması sırasında mezürün içindeki suyun ölçülen sıcaklığı baz alınır. Daha sonra Şekil 2.10'dan bu sıcaklığa karşılık gelen düzeltme katsayısı belirlenir ve alınan hidrometre okumalarından düzeltme katsayısının çıkarılması ile düzeltilmiş hidrometre okuması elde edilir.



Şekil 2.10. Hidrometre düzeltme grafiği

$$r = r_a - d \quad (2.9)$$

Burada,

r : süspansiyondaki düzeltilmiş hidrometre okuması

r_a : deney sırasında süspansiyondaki hidrometre okuması

d : hidrometre düzeltme değeridir.

Sıcaklık düzeltmesinin ardından higroskopik nem düzeltmesi yapılmalıdır. Örnek önce oda sıcaklığında kurutulur ve tartılır. Daha sonra etüvde kurutularak tekrar tartılır. Etüvde kurutulan örneğin kütlesinin oda sıcaklığında kurutulan örneğin kütlesine oranı higroskopik düzeltme değeridir. Bu değer 1'den küçük bir değerdir.

Elde edilen ölçüm değerleriyle tane çapı hesabı iki şekilde yapılır. Bunlardan biri, ilk 2 dakikadaki ölçümler için tane çapı hesabı, diğer ise 2. dakikadan sonraki ölçümleri için

tane çapının hesabıdır.

Stokes kanununa göre sıvı içindeki serbest düşen bir kürenin hızı Eşitlik 2.10 ile ifade edilir:

$$V = \frac{(\gamma_s - \gamma_w) \times 980}{30 \times \mu} \times D^2 \quad D = \sqrt{\frac{30 \times \mu}{(\gamma_s - \gamma_w) \times 980}} \times \sqrt{\frac{Z_r}{t}} \quad (2.10)$$

2 dakikadan sonraki ölçümler için tane çapı:

$$D = \sqrt{\frac{30 \times \mu}{(\gamma_s - \gamma_w) \times 980}} \times \sqrt{\frac{Z_r - \left(\frac{H_v}{2 \times A_j}\right)}{t}} \quad (2.11)$$

Burada;

- D : tane boyu (mm)
 μ : deney sıcaklığındaki suyun viskozitesi
 γ_s : tane birim hacim ağırlığı (gr/cm³)
 γ_w : deney sıcaklığındaki suyun birim hacim ağırlığı (gr/cm³)
 Z_r : süspansiyonun yüzeyinden hidrometre hacim merkezine olan uzaklık (cm)
 H_v : hidrometre hacmi (cm³) (67 cm³)
 A_j : mezürün kesit alanı (cm²) (27.17 cm²)
t : toplam geçen zamandır (dk).

Geçen yüzde hesabı, herhangi bir hidrometre okumasına karşılık bulunan D tane çapından daha küçük tanelerin yüzdesi aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$N = \frac{G_s}{G_s - 1} \times \left(\frac{V_{sp}}{W_s}\right) \times (r - r_s) \times 100 \quad (2.12)$$

Burada;

- N : D tane çapından küçük tanelerin yüzdesi (%)
 G_s : numunenin özgül ağırlığı
 V_{sp} : süspansiyonun hacmi (cm³)
 W_s : kuru zeminin kütlesi (gr)
r : süspansiyondaki düzeltilmiş hidrometre okuması
 r_s : sudaki hidrometre okumasıdır (Kul, 2012).

2.8. X-Ray Diffraction (XRD) Analizleri

Kil fraksiyonu çalışmalarında kullanılacak olan örnekler yaklaşık bir ay oda sıcaklığında kurutulduktan sonra plastik çekiç yardımıyla 3-5 cm'lik parçalara bölünmüş ve bu parçalar ahşap plakalar arasında ezilerek ufalanmıştır. Ufalama işleminden sonra, örnekler 200 no'lu elekten elenmiştir.

Kil fraksiyonunun tüm kayaç içerisindeki diğer minerallerden ayrılmasını sağlamak amacıyla kimyasal çözme, santrifüjleme-boşaltma-yıkama ve sedimantasyon-sifonlama-santrifüjleme işlemleri 6 adet örnek üzerinde uygulanmıştır. Aşağıda uygulama aşamaları sırasıyla açıklanmıştır.

Kimyasal çözme: Kil ayırma işlemi uygulanırken kil olmayan minerallerin kimyasal çözme ile atılması işlemine denir. 1-10 gr arasında öğütülmüş örnek 100 ml'lik beherlere konur ve karbonat minerallerinin atılması için bunların üzerine 40 ml 1 N'lik asetik asit eklenir. 30 dakikalık bekleme işleminden sonra örnek santrifüj tüplerine alınır ve 2000 devirde 5 dakika süre ile santrifüjlenir. Bu durumda sıvı ile örnek ayrılmış olur. Bu işleme karbonatlar atılıncaya yani CO₂ gaz çıkışı duruncaya kadar devam edilir. Organik maddenin atılması hidrojen peroksit (H₂O₂) ile oksidasyona uğraması ile gerçekleşir. Karbonatların atılması işlemi uygulanmış ve minimum miktardaki saf su ile 100 ml'lik behere alınmış olan örnek üzerine % 30'luk H₂O₂'den 5 ml eklenir ve zaman zaman karıştırılarak örnek bekletilir. Bu işleme örnekteki organik maddeden kaynaklanan koyu renk giderilene kadar devam edilir. Örnek santrifüj tüpüne alınır ve 2000 devirde 5-10 dakika süre ile santrifüjlenerek örnek ile asidin ayrılması sağlanır ve asitli sıvı atılır (Jackson, 1956, Kunze, 1965).

Kararlı süspansiyon elde edilmesi: Kilin süspansiyonda kalmasını sağlayan bazı özellikleri vardır. Bunlar, yer çekimi etkisi, suyun kaldırma kuvveti, kilin (-) yüklü olması ile birbirini itmesi ve bu sebeple serbest kalarak çökmemesidir. Asitleme işleminden sonra çözüldü kalan katyonlar (-) yüklü iyonlarla birleşerek kili nötr hale getirirler ve onların çökmesine neden olurlar. Bu nedenle asitleme işleminden sonra ortamdaki yabancı anyon ve katyonların uzaklaştırılması için örneğe santrifüjleme-boşaltma ve saf su ile yıkama işlemi uygulanır. Bu işleme 2500 devir/dakika hızla santrifüjleme sonucunda bile çökmeyen kararlı bir süspansiyon elde edilinceye kadar devam edilir (Gündoğdu ve Yılmaz, 1983).

Kil fraksiyonunun kazanılması: Elde edilen kararlı süspansiyon 3 saat 40 dakika süre

ile dinlenmeye bırakılır. Sedimentasyon süreci sonucunda süspansiyonun üstteki 4 cm'lik kısmı alınır. Stokes yasasına göre kil boyutlu partiküllerden oluşan çözelti, 3600 devir/dakika hızla 30-40 dakika santrifüjlenerek kil çamuru elde edilir (Gündoğdu ve Yılmaz, 1983).

XRD kil fraksiyonu (KF) çözümlenmeleri için her örneğe yukarıdaki işlemler uygulanmış, kil çamurundan 2 adet cam lam üzerine örnekler sıvanmış ve hazırlanan bu örneklerin normal (N) ve etilen glikollü (ET) difraktogramları çekilmiştir. Normal çekimler direkt lamla yapılan çekimlerdir. Etilen glikollü çekimlerde ise kil minerallerinin şişmesi sağlanır. Bu amaçla lama sıvanmış örnek etilen glikol buharı bulunan desikatörde 12 saat süre ile bekletildikten sonra XRD çekimi yapılır.

3. BULGULAR

3.1. Bölgesel Jeoloji

Çalışma alanının içinde bulunduğu Ordu ili, Doğu Karadeniz Dağları olarak adlandırılan ve Türkiye'nin kuzey-kuzeydoğusu boyunca uzanan bir levha kenarı içerisinde yer almaktadır. Alpin dağ oluşum sisteminin bir uzantısı olan Doğu Pontidler; Gedikoğlu vd. (1979) ve Özsayar vd. (1981) tarafından kuzey ve güney zon olarak ikiye ayrılmış, son olarak ise Bektaş vd. (1995) tarafından litolojik farklılıklarına göre Kuzey Zon, Eksen Zonu ve Güney Zon olarak üç kısma ayrılmıştır. Kuzey Zonda genellikle Eosen yaşlı volkanik ve volkanotortul kayaçlar çoğunlukta iken, Güney Zonda metamorfik, Eksen Zonunda ise mafik ve ultramafik kayaçlar karakteristiktir (Bektaş vd. 1995).

Bölgedeki jeolojik istifin temelinde metamorfik kayaçlardan oluşan Paleozoik yaşlı Pulur masifi (Korkmaz ve Baki, 1984) ve onu kesen Gümüşhane Graniti (Yılmaz, 1972) bulunmaktadır. Bu birimler volkanotortul kayaçlardan oluşan Liyas-Dogger yaşlı Hamurkesen Formasyonu (Ağar, 1977) tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir. Pelin (1977) tarafından tanımlanan, kurşuni-gri renkli platform karbonatlarıyla karakteristik, Malm-Erken Kretase yaşlı Berdiga Formasyonu, Hamurkesen Formasyonu üzerine uyumlu olarak gelmektedir.

Tokel (1972) tarafından tanımlanan ve kırmızı renkli kireçtaşı, sarı renkli kumlu-killi kireçtaşları ve flişlerden oluşan Geç Kretase yaşlı Kermutdere Formasyonu açısız uyumsuzlukla Berdiga Formasyonunu örtmektedir. Kermutdere Formasyonu Ordu yöresinde ise Terlemez ve Yılmaz (1980) tarafından Mesudiye Formasyonu olarak tanımlanmıştır. Bu bölgede birimin tortul seviyeleri andezit, bazalt ve piroklastik kayaçların ara seviyeleri konumundadır.

Andezit, trakiandezit, riyodasit, dasitik tüflerden oluşan Tirebolu Formasyonu (Güven, 1993), Mesudiye Formasyonu üzerine uyumlu olarak gelmektedir. Badgley (1959), Ketin ve Gümüş (1963), Gedik ve Korkmaz (1984), Yoldaş vd. (1985), Hakyemez vd. (1988) ve Keskin vd. (1998) araştırmacılar tarafından birçok kez tanımlanan Akveren Formasyonu, kireçtaşı, kumlu kireçtaşı, marn, silttaşı, kumtaşı aralanmasından oluşmaktadır ve Tirebolu Formasyonunu uyumlu olarak örtmektedir. Birimin yaşı en son Kaya ve Özer (2009) tarafından Kampaniyen-Selandaniyen olarak verilmiştir.

Keskin vd. (1998) tarafından tanımlanan Orta Eosen yaşlı Kumru Formasyonu kumtaşı, kumlu kireçtaşı, marn, silttaşı ve karbonatlı kumtaşı ardalanmasından oluşmakta ve Akveren Formasyonu üzerine aşıl uyumsuzlukla gelmektedir. Bu birim üzerine geçişli olarak gelen Tekkeköy Formasyonu ilk kez Yoldaş vd. (1985) tarafından adlandırılmıştır. Andezit, bazalt ve piroklastik kayalar ile silttaşı, kumtaşı, marn ara seviyelerinden oluşan birim Gedik ve Korkmaz (1984) tarafından Yenikonak Formasyonunun Sürmeli Üyesi olarak da adlanmıştır. Aynı birim Gümüşhane yöresinde Eren (1983) tarafından Alibaba Formasyonu olarak tanımlanmıştır (Keskin vd., 1998).

Canik Volkanitleri, yeşil, koyu yeşil ve siyah renkli bazaltlar ile tüflerden oluşmaktadır ve Tekkeköy Formasyonunu aşıl uyumsuzlukla örtmektedir. Birimin yaşı Tersiyer kabul edilmektedir (Keskin vd., 1998).

3.2. Çalışma Alanı ve Çevresinin Genel Jeolojisi

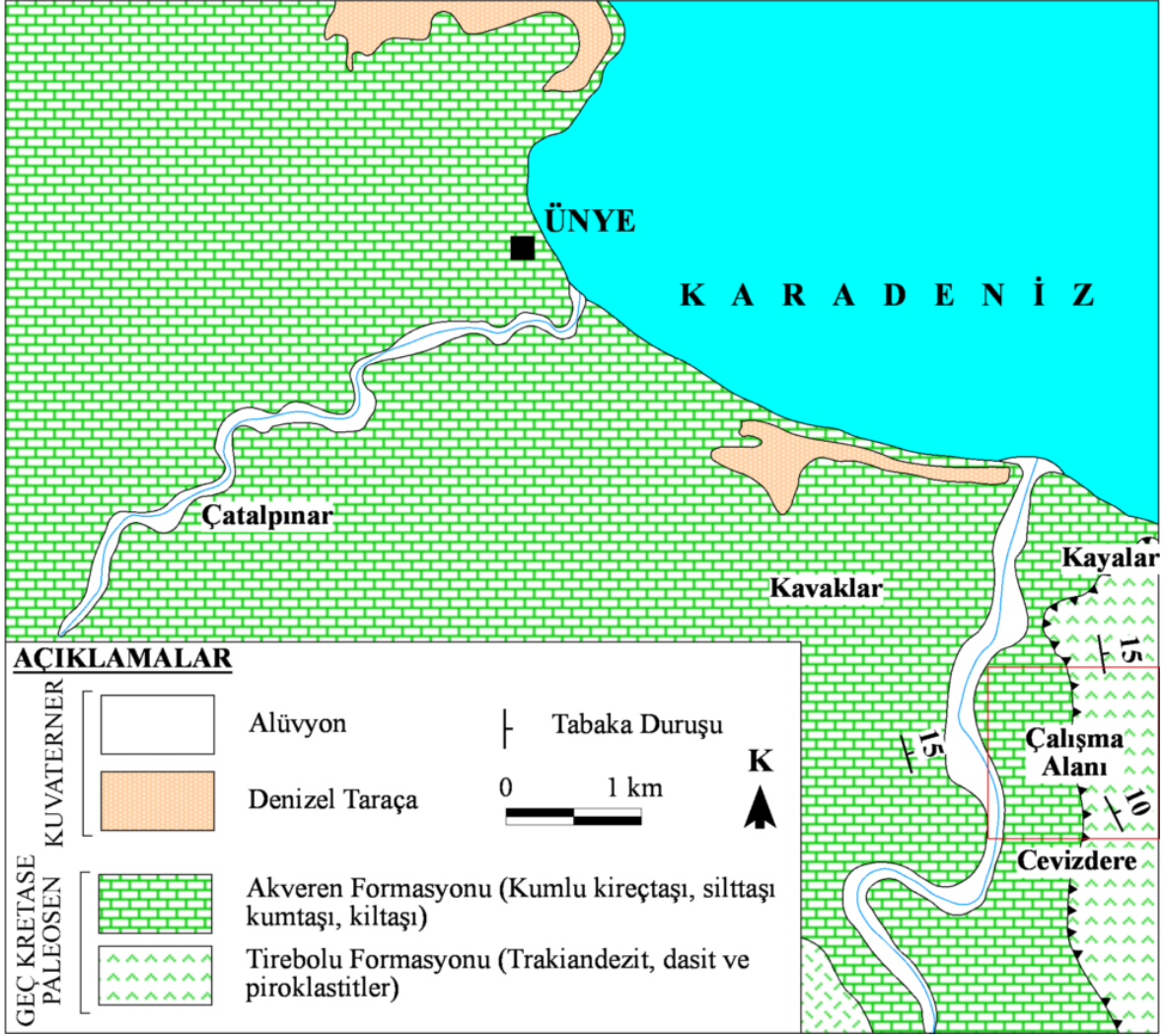
Çalışma alanında ve çevresinde bulunan kayalar litostratigrafik sınıflama ve adlama kuralları (NACS, 1983) gereğince tanımlanmıştır. İnceleme alanında yaşlıdan gence doğru Santoniyen-Kampaniyen yaşlı Tirebolu Formasyonu, Kampaniyen-Selandiyen yaşlı Akveren Formasyonu ve Kuvaterner yaşlı denizel taraça ve alüvyonlar tespit edilmiştir (Şekil 3.1).

3.2.1. Tirebolu Formasyonu

Andezit, trakiandezit, riyodasit, dasitik tuf ve bentonitlerden oluşan birim ilk olarak Çınar vd. (1988) tarafından trakiandezit ve piroklastitleri olarak, Güven (1993) tarafından ise Tirebolu Formasyonu olarak tanımlanmıştır ve çalışma alanındaki taban birimi oluşturmaktadır. Birim Ünye dolayında Kavaklar Mahallesi ve Cevizdere yörelerinde yüzeylenmektedir.

Trakitler ve trakiandezitler arazide sarp kenarlı, koni şekilli sivri tepeler oluştururlar. Renkleri alterasyondan dolayı kahverengi, gri-beyaz, yeşilimsi, pembemsi olabilmektedir. Yer yer kolon debisi sunarlar.

Tüfler ve kristal tüfler, Kavaklar ve Cevizdere civarında gözlenmektedir. Açık yeşilimsi ve sarımsı renklerde olan tüfler volkanik kayalar içerisindedirler ve yoğun bir şekilde killeşmişlerdir.



Şekil 3.1. Çalışma alanının jeoloji haritası (Güven, 1993'ten değiştirilerek)

Birimde alterasyon yaygın bir şekilde gözlenmektedir. Killeşme, daha az oranda silisleşme ve hematitleşme görülen başlıca alterasyonlardır. Kavaklar Mahallesi civarında bulunan bentonit yatağı yöredeki en büyük ve önemli kil oluşuğudur. Bu killer makroskopik olarak beyaz, pembe renklere, sabunumsu ve camsı parlaklıktadırlar.

Birimin Santoniyen-Kampaniyen yaş aralığında olduğu ve 350-500 metre arasında bir kalınlık gösterdiği bilinmektedir (Abdioğlu, 2002).

3.2.2. Akveren Formasyonu

Blumenthal (1950) tarafından ilk kez tanımlanan birim daha sonra Akveren Formasyonu olarak Badgley ve Gayle (1959) tarafından tanımlanmıştır. Ketin ve Gümüş (1963), Gedik ve Korkmaz (1984), Yoldaş vd. (1985), Hakyemez vd. (1988) ve Keskin vd.

(1998) tarafından yeniden tanımlanıp yaşlandırılmıştır.

Birim Cevizdere vadisinde, Gölcüğez, Ünye güneyinde ve Kavaklar Mahallesi batısında yüzeyleme verir. Beyaz-krem renkli kireçtaşı, türbiditik kireçtaşı, ince taneli kumtaşı, kiltası, marn ve tüffit aralanmasından oluşan birim oldukça bol fosillidir. Genel olarak tabaka kalınlıkları 5-90 cm arasında değişmektedir. Kavaklar Mahallesi civarındaki kireçtaşları kırıntılıdır ve içlerinde kavkı parçaları bulunabilmektedir. Arazideki kalınlığı 150-200 m civarındadır. Kireçtaşlarının genel olarak KD eğimli oldukları belirlenmiştir. Ayrıca küçük ölçekli antiklinal ve senklinaller belirlenmiş, bu yapıların kıvrım eksenlerinin hakim doğrultusunun KD-GB olduğu saptanmıştır.

Tüffitler açık gri, sarımsı gri renklerde olup, alterasyondan oldukça etkilenmişlerdir. Birim içerisinde ara seviyeler halinde yer almaktadırlar (Abdioğlu, 2002).

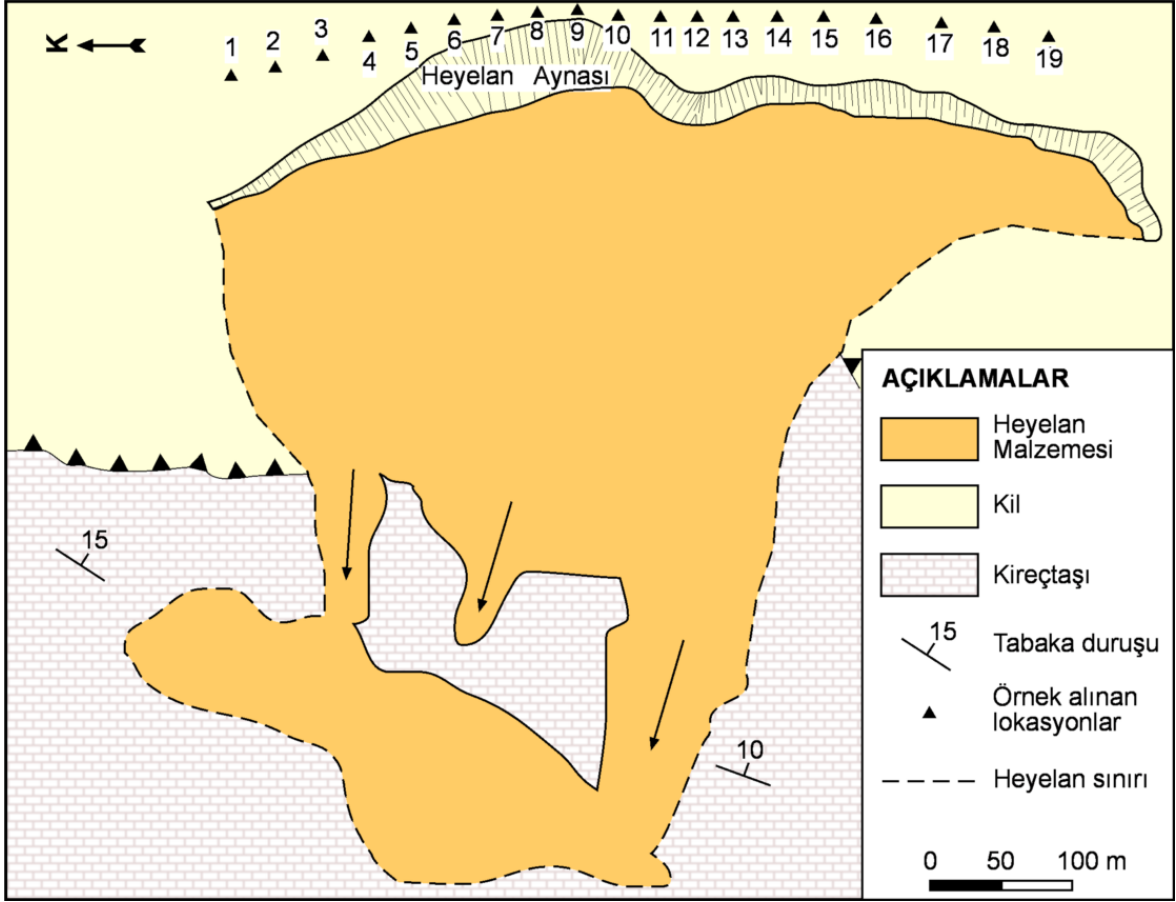
Birimin yaşı Kaya-Özer ve Toker (2009) tarafından yapılan detaylı planktonik foraminifer ve nanoplankton biyostratigrafisi çalışmalarıyla Kampaniyen-Selandiyen olarak belirlenmiştir.

3.2.3. Denizel Taraçalar ve Alüvyonlar

Çalışma alanının içerisinde geçen Cevizdere deresinin yatağını takip eden Kuvaterner yaşlı alüvyonlar ve Karadeniz sahili boyunca yüzeyleyen denizel taraçalar diğer birimleri uyumsuz bir şekilde örtmektedir.

3.3. Cevizdere Killerinin Mühendislik Özellikleri

Killi zeminler mühendislik projeleri açısından diğer zemin türlerine göre daha problemlidir. Başta oturma ve şişme – büzülme olmak üzere birçok problem killi zeminlerin mineralojisinin, plastik ve indeks özelliklerinin, dayanım ve oturma parametrelerinin detaylı analizlerini gerektirmektedir. Bu bağlamda çalışma alanından değişik derinliklerden 19 adet örselenmiş ve 19 adet örselenmemiş örnek alınmış, örneklerin yerleri ve derinlikleri not edilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Çalışma konusu killerin bulunduğu alanın mühendislik jeolojisi haritası

3.3.1. Çalışma Konusu Zeminlerin Granülometrisi (Dane Dağılımları)

Zeminlerin mühendislik özelliklerini belirleyen en önemli parametrelerinden birisi içerdiği tanelerin boyutudur. Bu nedenle zeminleri sınıflandırmanın en basit ve temel yolu dane dağılımlarını belirlemektir. Bu bağlamda çalışma konusu zeminlerin dane dağılımlarını belirlemek için ıslak elek ve hidrometre deneyleri yapılmıştır. Islak elek analizine ait sonuçlar Tablo 3.1’de ve hidrometre deneylerine ait sonuçlar Tablo 3.2’de verilmiştir. Elde edilen verilerle örneklerin birleştirilmiş granülometri eğrisi çizilmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.3. Çalışma alanındaki heyelanın görüntüsü

Tablo 3.1. Örneklere ait ıslak elek analizi sonuçları

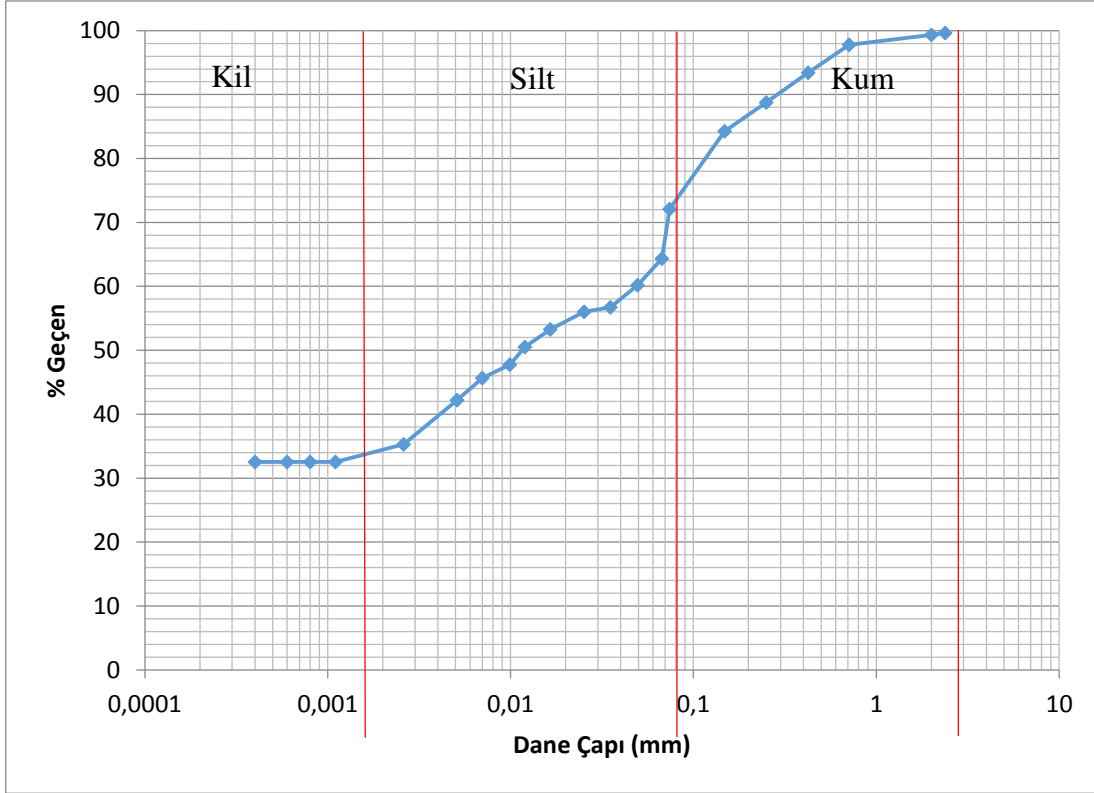
Elek No	Elek Açıklığı (mm)	Elek Üzerinde Kalan (gr)	Elek Üzerinde Kalan (%)	Elekten Geçen (%)
No 8	2,38	1,87	0,37	99,63
No 10	2	3,37	0,67	99,33
No 25	0,71	10,98	2,20	97,80
No 40	0,425	32,90	6,58	93,42
No 60	0,25	56,15	11,23	88,77
No 100	0,148	78,77	15,75	84,25
No 200	0,074	139,52	27,90	72,10
TOPLAM		500,00		

Yapılan deneyler sonucunda örneklerin %28 kum, %38 silt ve %34 kil boyutlu malzemedен oluştuğu belirlenmiştir. 200 no'lu elekten geçen toplam malzeme miktarı ise %72'dir.

Çalışma alanından alınan zemin örnekleri USCS'ye (Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi) göre sınıflandırılmıştır. Örneklerin, likit limiti %50'den fazla olan ince taneli zemin kategorisine girdiği tespit edilmiş daha sonra plastisite kartına yerleştirilerek zemin sınıfı belirlenmiştir (Şekil 3.5). Bu sonuçlara göre örneklerin CH yani "Yüksek plastisiteli inorganik yağlı killer" sınıfında olduğu belirlenmiştir.

Tablo 3.2. Örneklere ait hidrometre deney sonuçları

Geçen süre (dak)	Hidrometre okuması	Hidrometre okuma düzeltmesi	Düzeltilmiş hidrometre okuması	Su sıcaklığı	Efektif derinlik (cm)	Sıcaklığa göre suyun viskozitesi (m)	Suyun özgül ağırlığı (g _w)	Zeminin özgül ağırlığı (g _s)	A	Tane çapı (d)	Geçen yüzde (%p')	%p
0.25	46	0.5	46.5	20	9.4	0.01009	0.998203	2.230	1.007500	0.0971	93.69	64.33
0.5	43	0.5	43.5	20	9.5	0.01009	0.998203	2.230	1.007500	0.0690	87.65	60.18
1	40.5	0.5	41	20	9.65	0.01009	0.998203	2.230	1.007500	0.0492	82.61	56.72
2	40	0.5	40.5	20	9.7	0.01009	0.998203	2.230	1.007500	0.0349	81.60	56.03
5	38	0.5	38.5	20	10.1	0.01009	0.998203	2.230	1.007500	0.0225	77.57	53.26
10	36	0.5	36.5	20	10.4	0.01009	0.998203	2.230	1.007500	0.0161	73.54	50.49
15	34	0.5	34.5	20	10.7	0.01009	0.998203	2.230	1.007500	0.0134	69.51	47.73
30	32.5	0.5	33	20	11	0.01009	0.998203	2.230	1.007500	0.0096	66.49	45.65
60	30	0.5	30.5	20	11.4	0.01009	0.998203	2.230	1.007500	0.0069	61.45	42.19
240	25	0.5	25.5	20	12.2	0.01009	0.998203	2.230	1.007500	0.0036	51.38	35.28
1440	23	0.5	23.5	20	12.5	0.01009	0.998203	2.230	1.007500	0.0015	47.35	32.51
2880	23	0.5	23.5	20	12.5	0.01009	0.998203	2.230	1.007500	0.0010	47.35	32.51
5760	23	0.5	23.5	20	12.5	0.01009	0.998203	2.230	1.007500	0.0007	47.35	32.51
10080	23	0.5	23.5	20	12.5	0.01009	0.998203	2.230	1.007500	0.0006	47.35	32.51



Şekil 3.4. Çalışma alanındaki zeminlerin granülometri eğrisi

3.3.2. Cevzdere Killerinin Mineralojik Özellikleri

Çalışma alanı ve çevresindeki killere üzerinde daha önce birçok mineralojik ve petrografik çalışma yapılmıştır.

Er vd. (1985), Sayaca ve Akoluk illit sahalarında detaylı çalışmalar yapmışlar ve bu yatakların hidrotermal ergiyiklerin etkisiyle dasitik tüflerden itibaren oluştuğunu saptamışlardır.

Abdioğlu (2002) yılında yaptığı çalışmada Fatsa ve Ünye yörelerindeki volkanitlerin ve bunlardan itibaren türeyen killerin mineralojik, petrografik ve petrolojik özelliklerini incelemiştir.

Abdioğlu ve Arslan (2005) Ordu'daki birkaç bentonit yatağından aldığı killere üzerinde yaptığı incelemelerde bu killerin Geç Kretase yaşlı trakitik ve trakiandezitik kayalardan itibaren oluştuğunu belirlemiştir. Killerin nadir toprak elementlerinden Eu anomalisi göstermesinin bunların değişik türdeki piroklastik kayalardan oluştuğunu gösterdiğini vurgulamıştır.

Yavuz (2010) Arpalık-Fatsa (Ordu) yöresindeki bentonitlerin mineralojik ve

İLK SINIFLANDIRMA			Grup Sembolü	TİP İSİM	Laboratuvar Sınıflandırma Kriterleri	
75 cm'den iri malzeme hariç tutulmuştur						
İRİ TANELİ ZEMİNLER Malzemenin %50'sinden fazlası 200 no'lu elek ebadından büyüktür	ÇAKIL İri malzemenin %50'sinden fazlası 4 no'lu elekten büyüktür	Temiz Çakıl	GW	İyi derecelenmiş çakıl, kum-çakıl karışımları, ince taneleri az veya hiç olmayan malzemedir.	Granülometri eğrisinden çakıl ve kum yüzdeleri bulunur. 200 no'lu elekten geçen malzeme miktarına göre iri taneli zeminler şöyle sınıflandırılır: %5'ten az ise GW-GP-SW-SP %12'den fazla ise GM-GC-SM-SC %5-12 sınırdadır. İki sembol beraber kullanılır.	
			GP	Kötü derecelenmiş çakıl, kum-çakıl karışımları, ince taneleri az veya hiç olmayan malzemedir.		
		Çakıl İnce malzeme	GM	Siltli çakıllar, kötü derecelenmiş çakıl-kum, silt karışımları		Cu≥4 ve 1≤Cc≤3
			GC	Killi çakıllar, kötü derecelenmiş çakıl-kum, kil karışımları		GW'nin granülometri eğri şartlarını karşılamayanlar
	KUM İri malzemenin %50'sinden fazlası 4 no'lu elekten küçüktür	Temiz Kum	SW	İyi derecelenmiş kumlar ve çakıllı kumlar, ince taneleri az veya hiç olmayan malzemeler		Atterberg limitleri A hattının altında veya PI<4
			SP	Kötü derecelenmiş kumlar ve çakıllı kumlar, ince taneleri az veya hiç olmayan malzemeler		A hattının üstünde ve PI = 4-7 ise sınırdadır. Her iki sembol beraber kullanılır.
		Kum İnce malzeme	SM	Siltli kumlar, kötü derecelenmiş kum-silt karışımları		Cu≥6 ve 1≤Cc≤3
			SC	Killi kumlar, kötü derecelenmiş kum-kil karışımları		SW'nin granülometri eğri şartlarını karşılamayanlar
İNCE TANELİ ZEMİNLER Malzemenin %50'sinden fazlası 200 no'lu elek ebadından küçüktür	Silt ve Kil Likit limit ≤50	ML	İnorganik silt ve çok ince kumlar, taş unu, az plastik silti veya killi ince kumlar			
		CL	Alçaktan orta dereceye doğru plastisitede inorganik killer, çakıllı kumlu killer, siltli killer, yağsız killer			
		OL	Organik siltler ve düşük plastisitede organik silt, kil karışımları			
	Silt ve Kil Likit limit >50	MH	İnorganik siltler, diatomeli veya ince mikalı kumlu veya siltli topraklar, elastik siltler			
		CH	Yüksek plastisiteli inorganik yağlı killer			
		OH	Ortadan yükseğe plastisiteli organik killer			
		PT	Turba ve organik topraklar			
Yüksek derecede organik topraklar			PT	Turba ve organik topraklar		
1) İnce Malzeme: 200 no'lu elekten geçen (Tane büyüklüğü 0,074 mm'den küçük malzeme)			PLASTİSİTE KARTI			
2) Plastisite İndisi: Likit limit ile plastik limitin farkıdır (PI= LL-PL)			İnce taneli zeminlerin laboratuvar tanımlaması için			

Şekil 3.5. Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemi ve örneklerin plastisite kartındaki konumları

kimyasal özelliklerini incelediği çalışmasında, bu bentonitlerde ana mineralin montmorillonit olduğunu, bununla beraber az miktarda kuvars, feldispat ve illitin bulunduğunu belirtmiştir. Sahadaki bentonitlerin kağıt, yağ, döküm, sondaj ve seramik sanayiinde kullanılabilir olduğu sonucuna varmıştır.

Cevizdere killerin mineralojik özelliklerini belirlemek amacıyla çalışma alanından alınan kil örneklerinden, örneklerin tümünü temsil edecek şekilde değişik plastisite değerlerine sahip olan 6 örnek seçilmiş ve bu örnekler İstanbul Teknik Üniversitesi Partikül Malzemeler Laboratuvarında X-Ray Diffraction (XRD) yöntemiyle analiz edilmiştir. Örneklere ait XRD difraktogramları Ekler bölümünde verilmiştir.

XRD analizi sonuçlarına göre Cevizdere killerin montmorillonit türü killerden oluştuğu görülmektedir. Ayrıca montmorillonit ile birlikte albit, kalsit, kuvars, kristobalit ve gipsit de bulunmaktadır.

3.3.3. Cevizdere Killerin Plastik ve İndeks Özellikleri

Çalışma alanından alınan kil örneklerinin plastik özellikleri ASTM D 4318 standardına göre yapılan likit limit ve plastik limit deneyleriyle bulunmuştur. Ayrıca piknometre deneyi ile örneklerin özgül ağırlıkları hesaplanmış ve doğal su içerikleri tayin edilmiştir (Tablo 3.3).

Yapılan deneyler sonucunda kil örneklerinin likit limitlerinin %54 ile %108 arasında, plastik limitlerinin %21 ile %34 arasında, plastisite indislerinin %32 ile %75 arasında, özgül ağırlıklarının 2,129 ile 2,489 arasında, doğal su içeriklerinin ise %26,75 ile %44,29 arasında değiştiği belirlenmiştir.

Tablo 3.3. Cevizdere killerin plastik ve indeks özellikleri

Örnek No	LL (%)	PL (%)	PI (%)	Özgül Ağırlık	W _n (%)	Örnek No	LL (%)	PL (%)	PI (%)	Özgül Ağırlık	W _n (%)
1	71	28	43	2,236	41,63	11	63	24	39	2,225	38,14
2	72	31	41	2,224	39,06	12	65	25	40	2,230	34,54
3	68	33	35	2,192	44,29	13	72	30	42	2,192	43,28
4	65	29	36	2,248	38,41	14	69	31	38	2,148	32,89
5	71	32	39	2,199	36,89	15	68	33	35	2,175	40,54
6	54	21	33	2,328	38,58	16	58	26	32	2,231	24,88
7	108	33	75	2,237	39,19	17	66	31	35	2,195	32,54
8	68	29	39	2,251	35,96	18	76	34	42	2,129	35,95
9	67	29	38	2,175	41,62	19	66	28	38	2,489	38,13
10	71	26	45	2,200	26,75						

Zemin örnekleri likit limit ve plastik limit değerleri göz önünde bulundurularak sınıflandırılmış ve sonuçlar Tablo 3.4, 3.5, 3.6 ve 3.7’de verilmiştir.

Tablo 3.4. IAEG (1976)’nin likit limite göre hazırladığı zemin sınıflamasına göre çalışma konusu zeminlerin tanımları

Plastisite Özelliği	Likit Limit (%)	Cevizdere Killeri (Örnek No)
Düşük plastisiteli	<35	
Orta plastisiteli	35-50	
Yüksek plastisiteli	50-70	3, 4, 6, 8, 9, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 19
Çok yüksek plastisiteli	70-90	1, 2, 5, 10, 13, 18
Çok daha yüksek plastisiteli	>90	7

İncelenen örneklerin IAEG (1976)’nin likit limite bağlı plastisite sınıflamasına göre yüksek - çok daha yüksek plastisiteli zemin sınıflarında oldukları belirlenmiştir.

Tablo 3.5. Çalışma konusu killerin Burmister (1951) plastisite sınıflamasına göre tanımları

Plastisite İndisi (%)	Plastisite Derecesi	Tanım	Cevizdere Killeri (Örnek No)
0	Plastik değil	SİLT	
0-5	Önemsiz derecede	KİLLİ SİLT	
5-10	Düşük	SİLT VE KİL	
10-20	Orta	KİL VE SİLT	
20-40	Yüksek	SİTLİ KİL	3, 4, 5, 6, 8, 9, 11, 14, 15, 16, 17, 19
>40	Çok yüksek plastisiteli	KİL	1, 2, 7, 10, 12, 13, 18

Burmister (1951)’e göre incelenen killer yüksek - çok yüksek plastisiteli kil – siltli kil sınıflarındadır.

Tablo 3.6. Leonards (1962)'a göre plastisite sınıflaması

Plastisite İndisi (%)	Plastisite Derecesi	Cevizdere Killeri (Örnek No)
0	Plastik değil	
5 -15	Az plastik	
15 - 40	Plastik	3, 4, 5, 6, 8, 9, 11, 14, 15, 16, 17, 19
>40	Çok plastik	1, 2, 7, 10, 12, 13, 18

Çalışmaya konu olan killer Leonards (1962)'ye göre plastik – çok plastik zemin sınıflarındadır.

Tablo 3.7. IAEG (1976)'ya göre plastisite sınıflaması

Plastisite Özelliği	Plastisite İndisi (%)	Cevizdere Killeri
Plastik olmayan	<1	
Az plastisiteli	1-7	
Orta plastisiteli	7-17	
Yüksek plastisiteli	17-35	3, 6, 15, 16, 17
Çok yüksek plastisiteli	>35	1, 2, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 18, 19

IAEG (1976)'nin plastisite sınıflandırmasına göre Cevizdere killeri yüksek ve çok yüksek plastisiteli kil sınıflarındadır.

3.3.4. Cevizdere Killerinin Konsolidasyon Özellikleri

Kaba taneli (kum, siltli kum) zeminler üzerine bir yük konulduğunda, zemin ani bir şekilde sıkışarak boşluklardaki su (varsa) hızlı bir şekilde dışarı atılır ve zemin içerisindeki boşluklar kısa bir sürede kapanır. Bu nedenle kaba taneli zeminlerde uzun vadede bir oturma gerçekleşmesi söz konusu değildir. Ancak ince taneli zeminlerde suyun dışarı atılıp boşlukların kapanması süreci yıllar sürebilmekte, bu da zemin üzerine kurulan yapıya zarar verebilmektedir. Bu nedenle ince taneli zeminlerin konsolidasyon sabitlerinin belirlenmesi çok önemlidir.

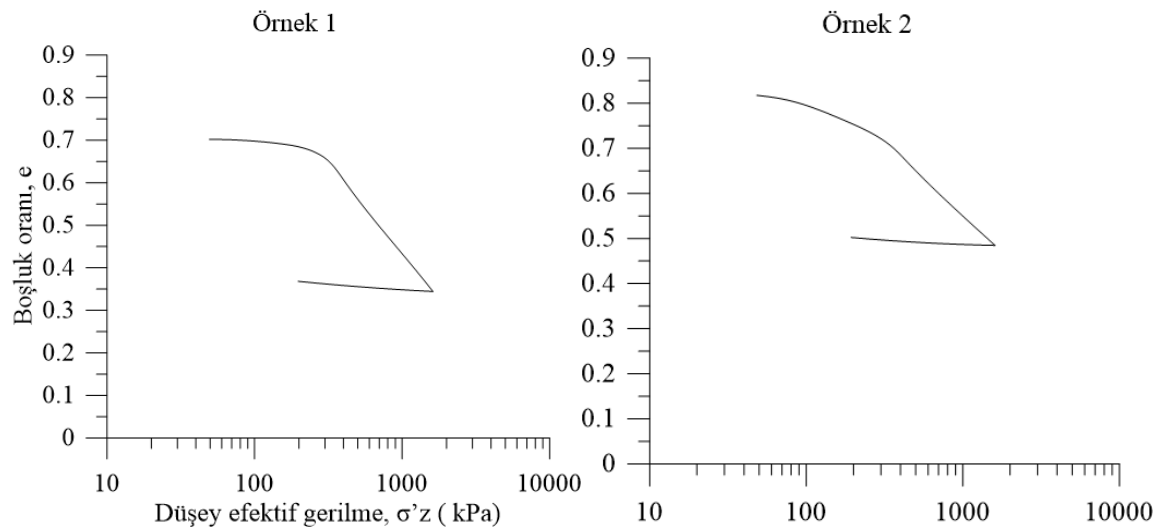
Cevizdere yöresinden alınan kil örneklerinin konsolidasyon parametrelerinin

belirlenmesi için örnekler üzerinde ASTM D 2435-03 standardına uygun olarak tek yönlü konsolidasyon (ödometre) deneyi yapılmıştır. Örneklerin alındığı derinlikler, birim hacim ağırlıkları ve örtü yükleri Tablo 3.8’de; konsolidasyon deney grafikleri ise Şekil 3.13’te verilmiştir.

Tablo 3.8. Örneklerin alındığı derinlikler, birim hacim ağırlıkları ve örtü yükleri

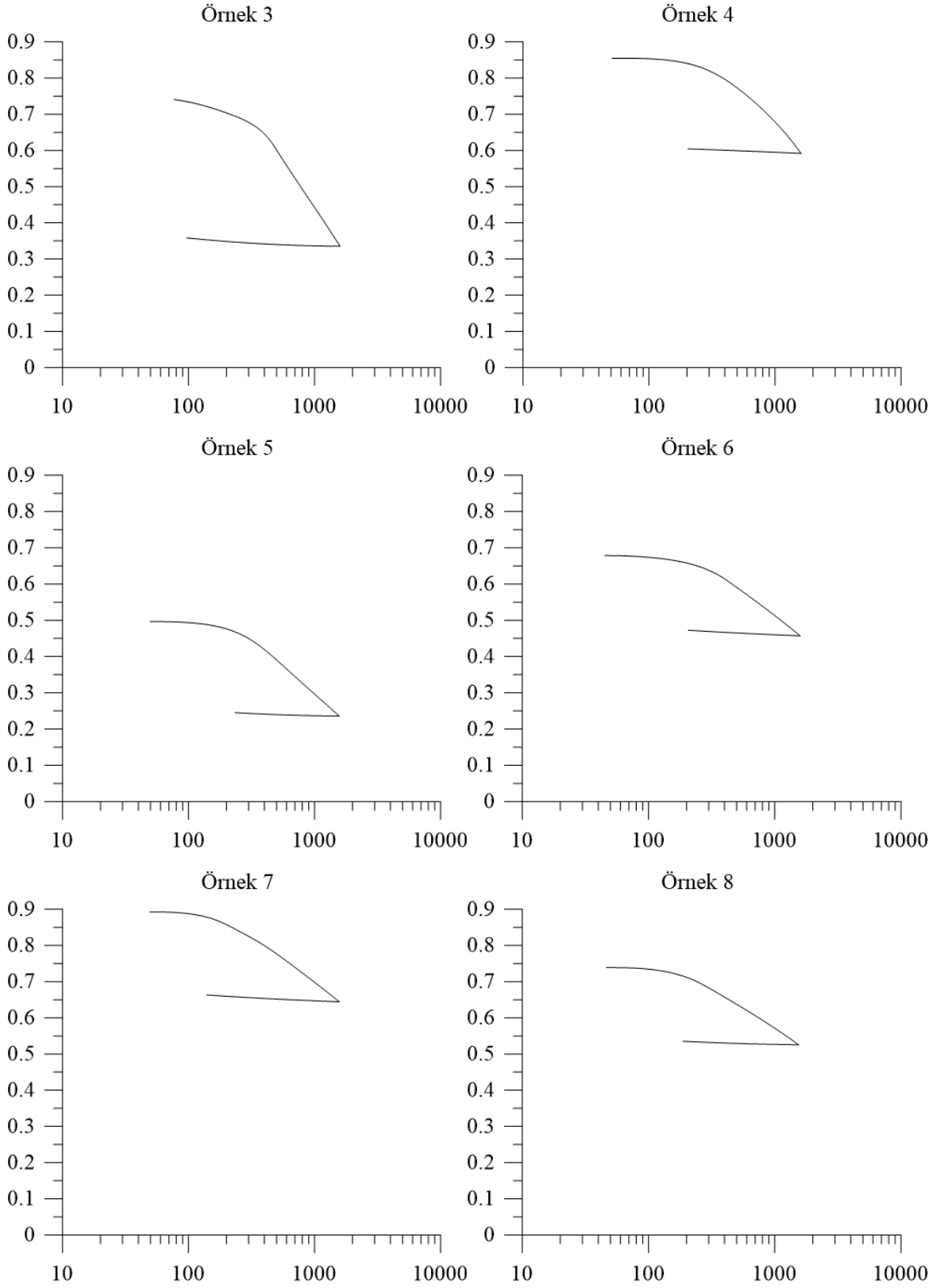
Örnek No	Alındığı Derinlik (m)	Birim hacim ağırlık (kN/m^3)	Örtü Yükü (kPa)	Örnek No	Alındığı Derinlik (m)	Birim hacim ağırlık (kN/m^3)	Örtü Yükü (kPa)
1	1	17.53	17.53	11	3	17.38	52.13
2	2	16.44	32.87	12	1	17.16	17.16
3	2	16.6	33.2	13	1.5	16.59	24.89
4	0.3	16.94	5.08	14	1	19.76	19.76
5	0.3	17.24	5.17	15	2	16.99	33.99
6	1.5	18.74	28.11	16	3	21.44	64.32
7	1.5	16.25	24.37	17	1.5	16.77	25.15
8	1.8	17.67	31.81	18	1	16.88	16.88
9	1.5	18.25	27.34	19	1	18.07	18.07
10	2.5	18.13	45.33				

Yapılan ödometre deneyleri sonucunda örneklerin sıkışma indisi (C_c) değerlerinin 0,189 ile 0,625 arasında, yeniden sıkışma indisi (C_r) değerlerinin 0,011 ile 0,041 arasında, aşırı konsolidasyon oranı (OCR) değerlerinin 4,16 ile 95 arasında, aşırı konsolidasyon sınırı (σ'_m) değerlerinin ise 142 ile 492 kPa arasında değiştiği belirlenmiştir.

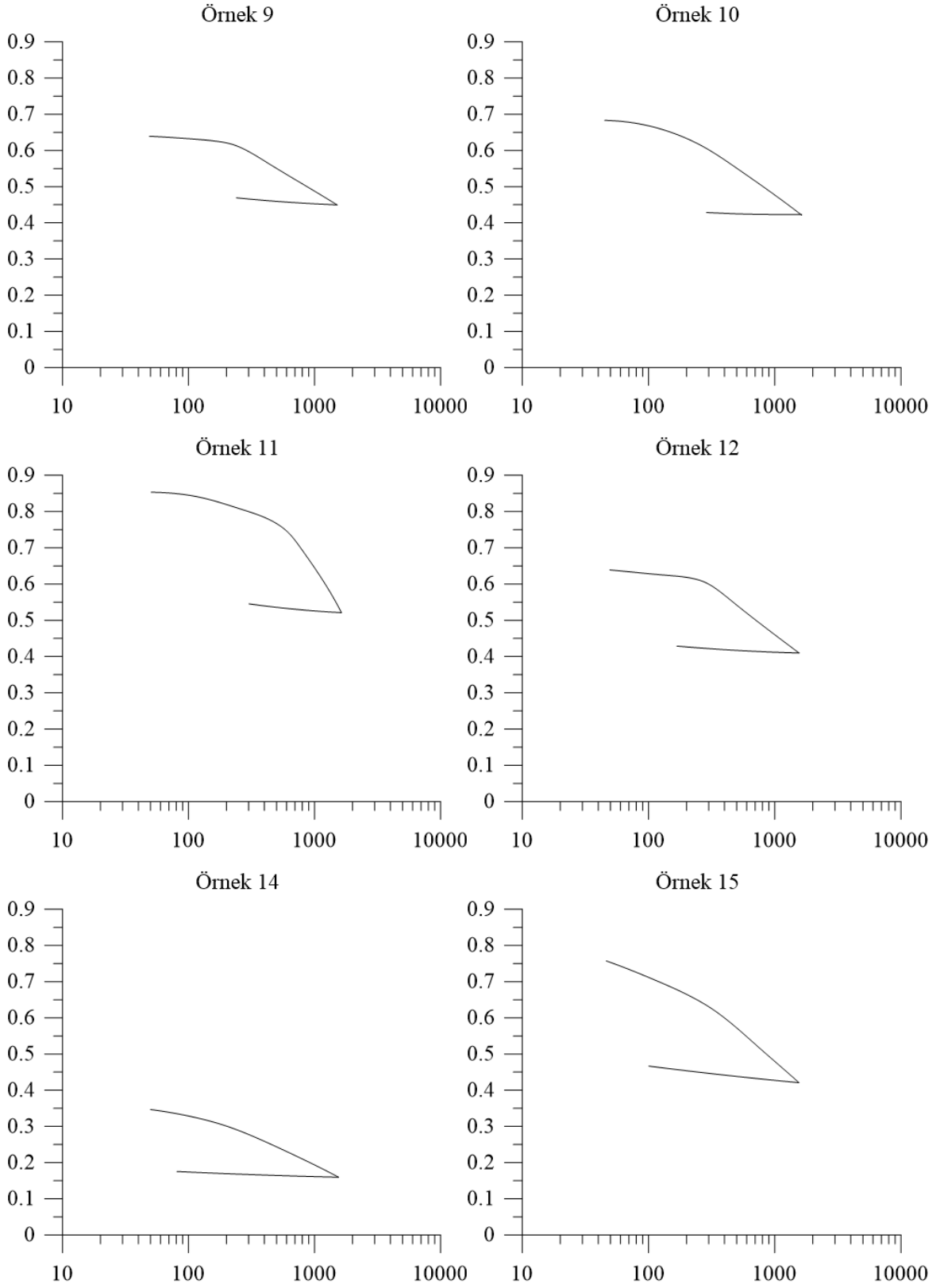


Şekil 3.6. Zemin örneklerinin konsolidasyon grafikleri

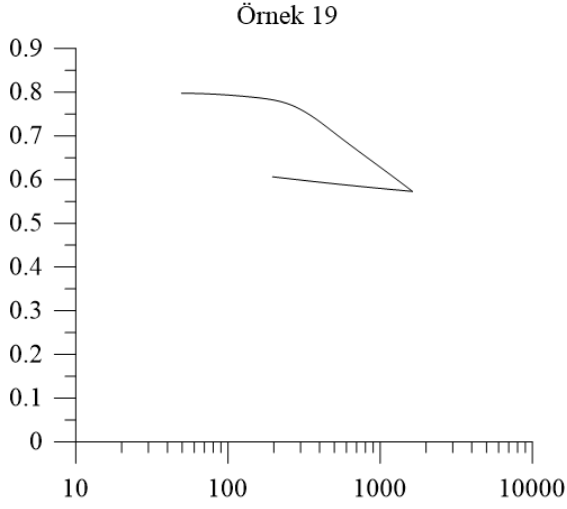
Şekil 3.6'nın devamı



Şekil 3.6'nın devamı



Şekil 3.6'nın devamı



Örneklere ait konsolidasyon verileri boşluk oranı – efektif gerilme cinsinden grafiğe aktarılmıştır. Konsolidasyon grafikleri üzerinde Schmertmann düzeltmesi uygulanmış ve Casagrande yöntemiyle örneklerin sıkışma parametreleri belirlenmiştir (Tablo 3.9). Aşırı konsolidasyon sınırına göre yapılan sınıflama Tablo 3.10'da verilmiştir.

Tablo 3.9. Örneklerin sıkışma parametreleri

Örnek No	C_c	C_r	OCR	σ'_m (kPa)
1	0,46	0,022	16,57	272,5
2	0,342	0,02	6,24	172,13
3	0,625	0,018	11,75	356,81
4	0,441	0,016	95	470
5	0,374	0,017	56,1	284,83
6	0,269	0,021	10,54	267
7	0,273	0,017	10	216
8	0,227	0,014	6,6	178,19
9	0,201	0,023	8,52	203
10	0,266	0,011	4,16	142
11	0,613	0,026	15,9	492
12	0,276	0,017	16,59	265
13	0,267	0,039	13,75	306
14	0,202	0,014	11,84	206
15	0,379	0,041	8,82	266
16	0,189	0,028	5,16	266
17	0,258	0,023	12,8	295
18	0,26	0,014	14,15	224
19	0,264	0,012	15	252

Tablo 3.10. Aşırı konsolidasyon sınırı sınıflaması

Aşırı konsolidasyon sınırı σ'_m (kPa)	Tanım
0-100	Hafifçe aşırı konsolide
100-400	Orta derecede aşırı konsolide
>400	İleri derecede aşırı konsolide

Tablo 3.10’da verilen sınıflamaya göre çalışma alanından alınan örneklerden 4 ve 11 no’lu örneklerin ileri derecede, diğer örneklerin ise orta derecede aşırı konsolide oldukları belirlenmiştir.

3.3.5. Cevzdere Killerinin Şişme Parametreleri

Şişme deneyleri Erguler ve Ulusay (2002) tarafından önerilen $W_{max24-72}$ yöntemiyle yapılmıştır. Bu deneyle killi zeminlerin şişme parametreleri hızlı ve pratik bir şekilde belirlenebilmektedir. Deney sonucunda bulunan $W_{max24-72}$ değerleri aynı çalışmada önerilen ve Tablo 2.1’de verilen “ $SWR = - 108,25 + 0,69LL + 1,47W_{max24}$ ” ve “ $SPR = - 23,17 + 0,32LL + 0,24W_{max24}$ ” regresyon eşitliklerine yerleştirilerek örneklerin şişme yüzdesi (SP) ve şişme basıncı (SW) değerleri belirlenmiştir (Tablo 3.10).

Yapılan şişme deneyleri sonucunda kil örneklerinin şişme basıncı (SW) değerlerinin 23,27 ile 75,95 N/cm^2 arasında, şişme yüzdesi (SP) değerlerinin ise 9,5 ile 29,29 arasında değiştiği belirlenmiştir.

Tablo 3.11. Cevzdere killerinin şişme potansiyeli

Örnek No	W_{max} (%)	LL (%)	SW (N/cm^2)	SP (%)	Örnek No	W_{max} (%)	LL (%)	SW (N/cm^2)	SP (%)
1	83,24	71	63,11	19,53	11	83,83	63	58,45	17,11
2	79,84	72	58,79	19,03	12	81,38	65	56,23	17,16
3	80,02	68	56,29	17,79	13	86,13	72	68,04	20,54
4	82,98	65	58,58	17,55	14	81,88	68	59,03	18,24
5	80,00	71	58,35	18,75	15	94,80	65	75,95	20,38
6	64,12	54	23,27	9,50	16	74,95	55	39,88	12,42
7	74,58	108	75,91	29,29	17	82,64	66	58,77	17,78
8	82,43	68	59,85	18,37	18	74,39	76	53,54	19,00
9	82,23	67	58,85	18,00	19	88,42	66	67,27	19,17
10	88,35	71	70,61	20,75					

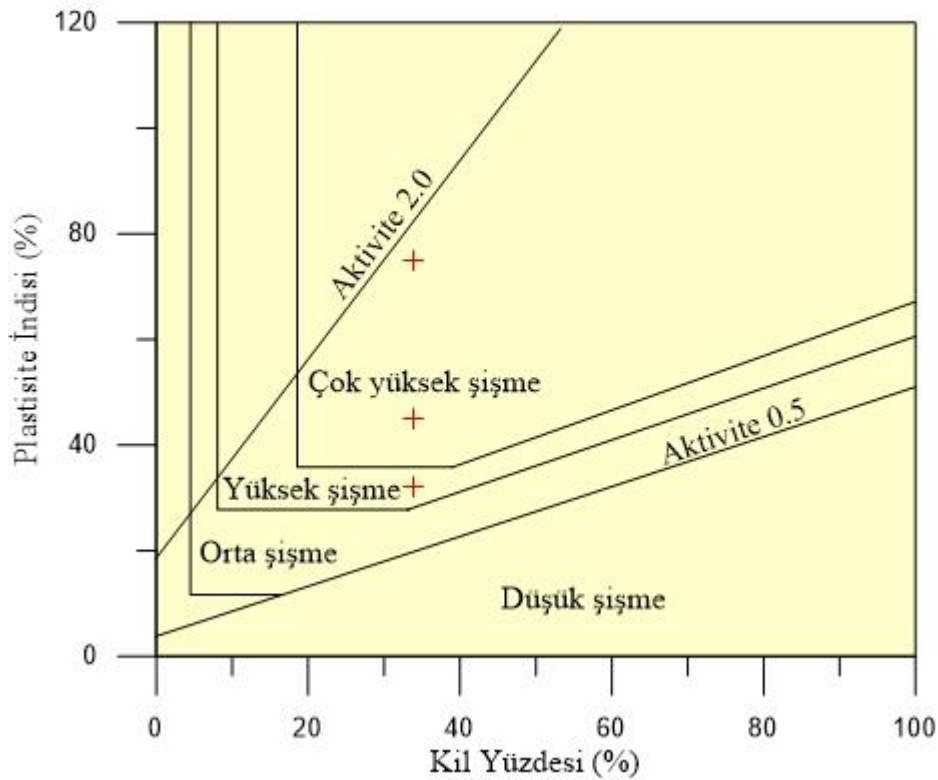
O’Neill ve Poormoayed (1980)’e göre çalışılan zeminlerin likit limit ve plastisite

indislerinden yola çıkarak şişme potansiyelleri belirlenmiştir (Tablo 3.11). Buna göre örneklerin orta-yüksek şişme potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir.

Van der Merwe (1964)'ün önerdiği plastisite indisi ve kil yüzdesinden yola çıkarak şişme potansiyelinin belirlendiği sınıflandırma grafiği Şekil 3.7'de verilmiştir. Buna göre çalışılan zemin örneklerinin çok yüksek – yüksek şişme potansiyellerine sahip olduğu belirlenmiştir.

Tablo 3.12. O'Neill ve Poormoayed (1980)'e göre şişme potansiyeli sınıflandırması

Şişme potansiyeli tanımlama ölçütleri (O'Neill ve Poormoayed, 1980)			Çalışılan Zeminler (Örnek No)	
Likit Limit (%)	Plastisite İndeksi (%)	Şişme Potansiyeli	Sınıflama	
< 50	< 25	< 0.5	Düşük	
50-60	25-35	0.5-1.5	Orta	6, 16
> 60	> 35	> 1.5	Yüksek	1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19



Şekil 3.7. Van der Merwe (1964)'ün şişme potansiyeli sınıflaması

3.4. Konsolidasyon Parametrelerinin İstatistiksel Olarak Belirlenmesi

Jeoteknik projelerde uygulanan arazi deneyleri ve bu deneyler sonucunda yapılan zemin sınıflandırmalarında zeminin aşırı konsolidasyon oranı önemli bir rol oynamaktadır. Örneğin konik penetrasyon deneyi aşırı konsolide killerde farklı sonuçlar verebilmekte ve deney sonuçlarında düzeltme yapılması gerekebilmektedir. Bu nedenle deneye tabi tutulacak örneklerin konsolidasyon durumunun bilinmesi gerekmekte hatta aşırı konsolidasyon oranının, yapılacak düzeltmeler için bir girdi parametresi olarak kullanılması gerekmektedir.

Ayrıca bazı durumlarda, incelenen zemin örneğinin belirli bir efektif gerilme altında ne kadar birim deformasyona uğrayacağı tahmin edilmesi, dolayısıyla sıkışma katsayısının bilinmesi gerekebilir. Ancak konsolidasyon deneyi, bilindiği gibi, çok zahmetli ve zaman alıcı bir deneydir. Böyle bir durumda zeminin konsolidasyon durumu hakkında yol gösterebilecek başka yöntemler faydalı olabilir. Skempton (1944), sıkışma indisiiyle likit limit arasında ampirik bir eşitlik önermiştir. Ya da, yapılmakta olan bir mühendislik projesinin stabilitesinin belirlenmesinde önemli bir olan bir parametre, zeminin konsolidasyon parametreleriyle ilişkili olabilir. Mayne ve Kulhawy (1982), zeminin yanal basınç katsayısının (K_0), zeminin aşırı konsolidasyon oranıyla ilişkili olduğunu belirlemişlerdir. Ancak böyle bir durumda ödometre deneyi yapmak zamansal ve ekonomik açıdan kaçınılmaz bir kayba sebep olacaktır. Böyle bir durumda bu çalışmada önerilen eşitliklerden yola çıkarak aşırı konsolidasyon oranını belirlemek daha pratik olacaktır. Burada amaç, plastik veya indeks özellikler kullanılarak zeminin sıkışma indisinin belirlenmesi değil, arazi deneyleri ya da jeoteknik uygulamalara geçmeden önce zeminin sıkışma davranışı hakkında bir fikir sahibi olmaktır. Dolayısıyla, buradan elde edilen verilerle, uygun arazi deneylerinin seçimi için ön değerlendirme yapılmış olacaktır. Bu yaklaşımla ilgili çalışmaların özeti Tablo 3.12’de verilmiştir.

Bu çalışmada Cevizdere yöresinden alınan kil örneklerinin konsolidasyon parametreleri ile plastik özellikleri arasında istatistiksel bir ilişkinin olup olmadığı araştırılmış ve ön konsolidasyon gerilmesi ile likit limit arasında anlamlı bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir.

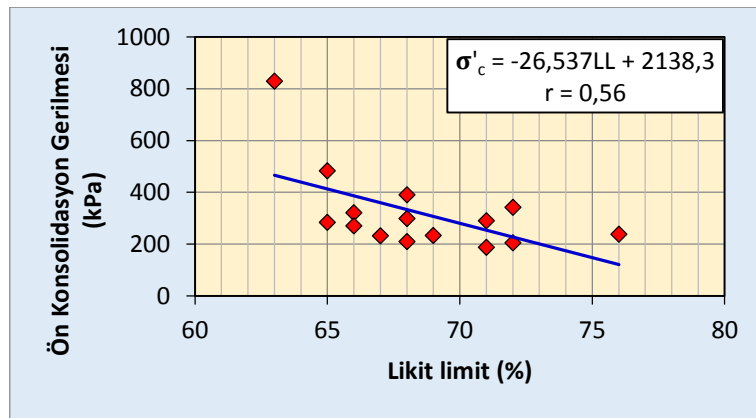
Ön konsolidasyon gerilmesi, zeminin geçmişte maruz kaldığı en büyük efektif gerilmeyi temsil etmektedir. Normal konsolide zeminlerde ön konsolidasyon gerilmesi zeminin şu anda maruz kaldığı efektif gerilmeden daha azken, aşırı konsolide zeminlerde daha fazladır. Bu nedenle zeminin aşırı konsolide olup olmadığının belirlenebilmesi için ön

konsolidasyon gerilmesinin bilinmesi gerekmektedir.

Tablo 3.8. Killi zeminlerin plastisite ve sıkışma parametreleri arasındaki istatistiksel ilişkiler (Rani and Rao, 2013'ten)

Eşitlik	Referans	Uygulanma koşulu
$C_c = 0,0115 W_n$	Bowles (1979)	Organik silt ve killer
$C_c = 0,0046 (W_L-9)$	Bowles (1979)	Brezilya Killeri
$C_c = 0,156 e_0 + 0,0107$	Bowles (1979)	Tüm killer
$C_c = 0,208 (e_0 - 0,0083)$	Bowles (1979)	Şikago Killeri
$C_c = 0,75(e_0-0,5)$	Bowles (1979)	Düşük plastisiteli killer
$C_c = 0,007(W_L-7)$	Skempton (1944)	Örselenmiş killer
$C_c = 0,009(W_L-10)$	Terzaghi ve Peck (1967)	Normal konsolide, orta hassasiyette killer
$C_c = 0,01 W_n$	Koppula (1981)	Şikago ve Alberta Killeri
$C_c = 0,30(e_0-0,27)$	Hough (1957)	İnorganik siltli kum - siltli killer
$C_c = 1,15(e_0-0,35)$	Nishida (1956)	Tüm killer
$C_c = 0,5(\gamma_w/\gamma_d)^{1,2}$	Oswald (1980)	Tüm karmaşıklıkta ve tipteki zeminler
$C_c = (-0,629 + (0,0027*W_L) + (0,007*mc) + (0,031*\gamma_d) + (0,002*PI)$	Mallikarjuna vd, (2006)/ Rani(2007)	Tüm çimentolanmış zeminler

Ön konsolidasyon gerilmesi ile likit limit arasındaki istatistiksel ilişkiyi gösteren grafik ve bağıntı Şekil 3.14'te verilmiştir.



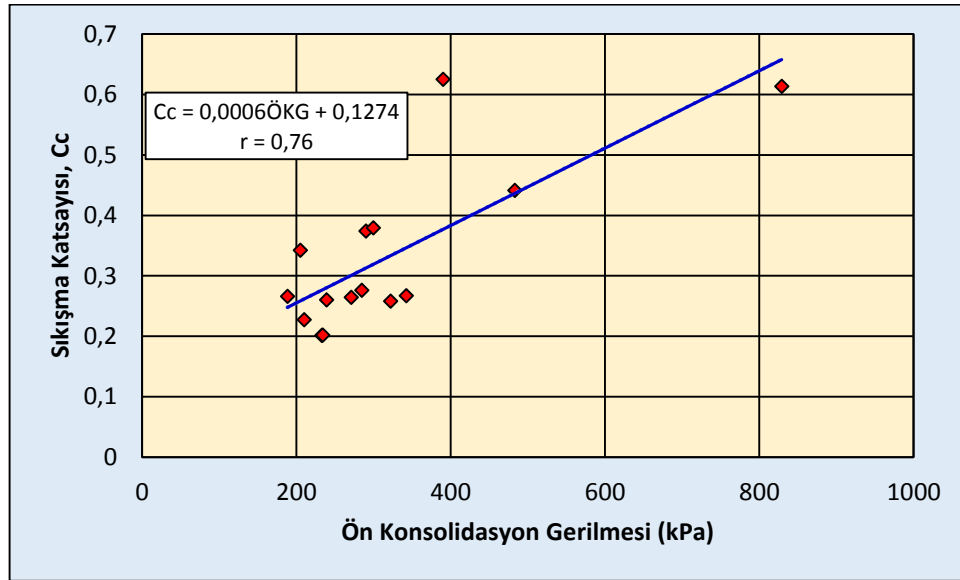
Şekil 3.9. Ön konsolidasyon gerilmesi - likit limit ilişkisini gösteren grafik

Yapılan istatistiksel incelemede ön konsolidasyon gerilmesi ile likit limit arasında

ters orantılı doğrusal bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir. Ön konsolidasyon gerilmesinin bu grafik ve bağıntı kullanılarak yaklaşık olarak belirlenmesi, zeminin aşırı konsolidasyon oranının kolay bir şekilde tahmin edilebilmesini sağlayabilir ve böylece bu zeminin belirli bir jeoteknik inceleme veya deney için uygun olup olmadığı anlaşılabilir.

Sıkışma indisi (C_c), konsolidasyon eğrisi üzerindeki bakir kısmın eğimidir ve efektif gerilmedeki herhangi bir artışa karşılık gelen düşey birim deformasyonu göstermektedir. Sıkışma indisi aynı zamanda zamanda zeminlerin sıkışabilirliği belirlenirken boşluk oranıyla birlikte bir girdi parametresi olarak kullanılır

Sıkışma indisi ile ön konsolidasyon gerilmesi arasındaki istatistiksel ilişkiyi gösteren grafik ve bağıntı Şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.10. Sıkışma katsayısı ve ön konsolidasyon gerilmesi arasındaki istatistiksel ilişki

Şekil 3.10'dan görülebileceği üzere, sıkışma indisi ile ön konsolidasyon gerilmesi arasında istatistiksel olarak doğru orantılı doğrusal bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Grafik üzerindeki eşitlik kullanılarak, ön konsolidasyon gerilmesi bilinen bir örneğin sıkışma indisi yüksek bir doğrulukla hesaplanabilmekte, böylece zemin örneğinin sıkışabilirliği konusunda fikir sahibi olunabilmektedir.

Literatürdeki benzer çalışmalar incelendiğinde, killi zeminlerin plastik özellikleriyle konsolidasyon parametreleri arasındaki ilişkinin daha belirgin olduğu ve hesaplanan bağıntıların korelasyon katsayılarının daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumunun, literatürdeki çalışmaların çoğunlukla endüstriyel anlamda saf killer üzerinde yapılmış

olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Cevizdere yöresinden alınan zemin örneklerinin kil içeriklerinin yaklaşık % 34 olduğu göz önüne alındığında, korelasyon katsayısı daha düşük olan bağıntılar elde edilmesinin normal olabileceği düşünülmektedir.

4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışmada Cevizdere (Ünye) yöresinden alınan killi zeminler üzerinde oturma ve şişme deneyleri ile indeks ve plastik özellik tayinleri yapılmış, böylece bu zemin örneklerinin şişme potansiyelleri belirlenmiş ve oturma davranışları ile plastik özellikleri arasındaki ilişkiler ortaya konulmaya çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- Önceki genel jeoloji ve bölgesel jeoloji çalışmalarından faydalanılarak çalışma alanındaki stratigrafik birimler tanımlanmıştır. Buna göre çalışma alanında yaşlıdan gence doğru Üst Kretase yaşlı Mesudiye Formasyonu ile Tirebolu Formasyonu, Paleosen yaşlı Akveren Formasyonu ve Kuvaterner yaşlı denizel taraçalar ve alüvyonlar ayırt edilmiştir.

- Çalışma alanındaki killi zeminlerden 19 adet örselenmiş ve örselenmemiş örnek temin edilmiş ve bu örnekler üzerinde doğal su içeriği, özgül ağırlık, birim hacim ağırlık, likit limit, plastik limit, hidrometre, ıslak elek, şişme ve ödometre deneyleri ve XRD analizleri yapılmıştır.

- Örneklerin doğal su içeriklerinin %25 ile %44 arasında, özgül ağırlıklarının 2,129 ile 2,489 arasında, birim hacim ağırlıklarının 16,245 ile 21,439 kN/m³ arasında, likit limitlerinin %54 ile %108 arasında, plastik limitlerinin %21 ile %34 arasında ve plastisite indislerinin ise %32 ile %75 arasında değiştiği belirlenmiştir.

- Kil örneklerinin aktivite katsayılarının 0,941 ile 2,206 arasında değiştiği, bu nedenle normal – yüksek aktivitede oldukları belirlenmiştir.

- Alınan kil örneklerinin IAEG (1976)'nin likit limite bağlı plastisite sınıflamasına göre yüksek - çok daha yüksek plastisiteli zemin, Burmister (1951)'e göre yüksek - çok yüksek plastisiteli kil – siltli kil, Leonards (1962)'ye göre plastik – çok plastik zemin, IAEG (1976)'nin plastisite sınıflandırmasına göre ise yüksek ve çok yüksek plastisiteli kil sınıflarında olduğu belirlenmiştir.

- Yapılan ıslak elek ve hidrometre analizlerine göre çalışma konusu zeminlerin %28 kum, %38 silt ve %34 kil boyutlu malzemedен oluştuğu belirlenmiştir. Ayrıca örnekler birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemine göre “CH: Yüksek plastisiteli inorganik yağlı kil” sınıfındadır.

- $W_{max24-72}$ yöntemiyle yapılan şişme basıncı deneyleri sonucunda örneklerin şişme basıncı (SW) değerlerinin 23,27 ile 75,95 N/cm² arasında, şişme yüzdesi (SP) değerlerinin ise %9,5 ile %29,29 arasında değiştiği belirlenmiştir.

- Van der Merwe (1964)'ün önerdiği ve plastisite indisi ve kil yüzdesinden yola çıkarak şişme potansiyelinin belirlendiği sınıflandırmaya göre çalışılan zemin örneklerinin çok yüksek – yüksek şişme potansiyellerine sahip olduğu belirlenmiştir.

- O'Neill ve Poormoayed (1980)'e göre çalışılan zeminlerin likit limit ve plastisite indislerinden yola çıkarak şişme potansiyelleri belirlenmiştir. Buna göre örneklerin orta-yüksek şişme potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir.

- Tek boyutlu konsolidasyon (ödometre) deneyleri sonucunda örneklerin sıkışma indisi (Cc) değerlerinin 0,189 ile 0,625 arasında, yeniden sıkışma indisi (Cr) değerlerinin 0,011 ile 0,041 arasında, aşırı konsolidasyon oranı (OCR) değerlerinin 4,16 ile 95 arasında, aşırı konsolidasyon sınırı (σ'_m) değerlerinin ise 142 ile 492 kPa arasında değiştiği belirlenmiştir.

- Örneklerin plastisite açısından tamamını temsil edecek şekilde seçilmiş 6 örnek üzerinde yapılan XRD analizlerine göre incelenen zeminler içerisindeki killerin mineralojik olarak montmorillonit olduğu belirlenmiştir.

- Çalışma konusu zeminlerin plastik özellikleri ile oturma davranışları arasında istatistiksel olarak bir ilişki kurulmaya çalışılmıştır. Bunun için örneklerin Cc, Cr, OCR, σ'_{z0} gibi konsolidasyon parametreleri ile LL ve PI gibi plastisite parametreleri arasında korelasyonlar yapılmıştır. Bu korelasyonlar sonucunda ön konsolidasyon gerilmesi ile likit limit arasında “ $\text{ÖKG} = -26,537\text{LL} + 2138,3$ ” eşitliği ve ön konsolidasyon gerilmesi ile sıkışma indisi arasında “ $\text{Cc} = 0,0006\text{ÖKG} + 0,1274$ ” eşitliği tespit edilmiştir.

- Bazı durumlarda, yapılmakta olan mühendislik projesinin stabilitesinin belirlenmesinde kullanılması gereken önemli bir parametre, zeminin konsolidasyon parametreleriyle ilişkili olabilir. Örneğin; Mayne ve Kulhawy (1982), zeminin yanal basınç katsayısının (K_0) aşırı konsolidasyon oranıyla ilişkili olduğunu belirlemişlerdir. Böyle bir durumda zeminin aşırı konsolidasyon oranını belirlemek için ödometre deneyi yapmak çok zaman kaybına sebep olacaktır. Bu nedenle, bu çalışmada önerilen eşitliklerden yola çıkarak aşırı konsolidasyon oranını belirlemek hem ekonomik hem de zamansal olarak avantaj sağlayacaktır.

- Bununla birlikte, bu çalışmada önerilen istatistiksel bağıntılar geleneksel deneylerin yerini almaktan ziyade, incelenen zemin numunesinin yapılmak istenen herhangi bir deneye uygun olup olmadığının belirlenmesinde kullanılmalı; mühendislik projeleri için oturma hesapları yapılırken mutlaka geleneksel yöntemler tercih edilmelidir.

- Literatürde killi zeminlerin Cc ve Cr değerlerinin plastisite indisi ile istatistiksel olarak bir bağlantısının olduğunu gösteren çalışmalar bulunmasına rağmen bu çalışmada bu değerler arasında doğrudan bir ilişki saptanamamıştır. Bu durumun çalışılan zeminin kil

içeriğinin düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

5. KAYNAKLAR

- Abdioğlu, E., 2002. Kavaklar (Ünye-Fatsa, Ordu) Yöresindeki Kil Oluşuklarının Mineralojik, Jeokimyasal ve Kökensel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Abdioğlu, E., Arslan., M., 2005. Mineralogy, Geochemistry and Genesis of Benotnites of the Ordu Area, NE Turkey, Clay Minerals, 40, 131-151.
- Ağar, Ü., 1977. Demirözü (Bayburt) ve Köse (Kelkit) Bölgesinin Jeolojisi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi, 59.
- ASTM (American Society for Testing and Materials), 2010. D4318-10e1, Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM (American Society for Testing and Materials), 2003. ASTM D2435-03, Standard Test Method for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM (American Society for Testing and Materials), 1991. Annual Book of ASTM Standards, D4318 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils, 18.
- ASTM (American Society for Testing and Materials), 2007.D422-63(2007)e2, Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM (American Society for Testing and Materials), 1991. Annual Book of ASTM Standards, D4718-87 (Reapproved 2001) Standard Practice for Correction of Unit Weight and Water Content for Soils Containing Oversize Particles, 3.
- Badgley, P.C., 1959. Sinop havzasının petrol olanakları. Petrol İşleri Genel Müdürlüğü Arşivi.
- Bektaş, O., Yılmaz, C., Taslı, K., Akdađ, K. ve Özgür, S., 1995. Cretaceous Rifting of the Eastern Pontide Carbonate Platform (NE Turkey): The Formation of Carbonate Breccias and Turbidites as Evidence of a Drowned Platform, Giornale di Geologia, 57.
- Blumenthal, M., 1950. Orta ve Aşağı Yeşilirmak Bölgelerinin (Tokat, Amasya, Havza, Erbaa, Niksar) Jeolojisi Hakkında Rapor. MTA Yayınları, D serisi, No: 4, Ankara.
- Boltz, L. R., Benson, H.C. ve Boutwell, P. G., 1998. Estimating Optimum Water Content and Maximum Dry Unit Weight for Compacted Clays. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 124, 9, 907-912.

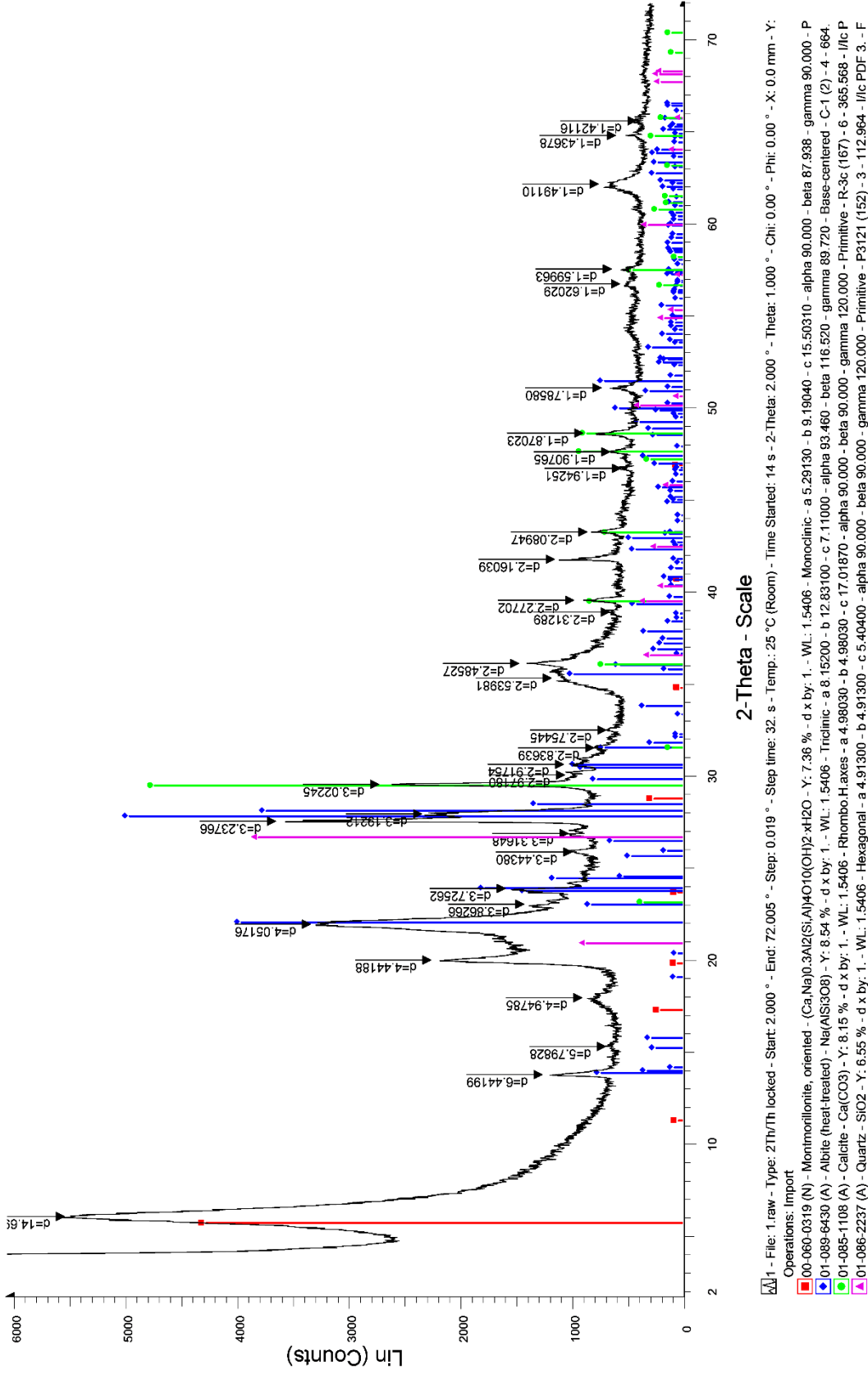
- Bowles, J. W., 1979. *Physical and Geotechnical Properties of Soil*, McGraw Hill, New York.
- Burmister, D.M., 1951. *Identification and Classification of Soil an Appraisal and Statement of Principles*. ASTM STP 113, Amer. Soc. for Test and Mat, Philadelphia.
- Casagrande, A., 1948. *Classification and Identification of Soils*, Transactions ASCE, 113, 901-930.
- Coduto, D. P, 2005. *Temel Tasarımı*. Gazi Kitabevi, Ankara.
- Coduto, D. P, 2011. *Geoteknik Mühendisliği*. Gazi Kitabevi, Ankara.
- Davidson, D. T. ve Gardiner, W. F., 1949. *Calculation of Standard Proctor Density and Optimum Moisture Content from Mechanical Analysis, Shrinkage Factors, and Plasticity Index*, Proceedings of the HRB 29, 447-481.
- Di Matteo, L., Bigotti, F., Ricco, R., 2009. *Best-Fit Models to Modified Proctor Properties of Compacted Soil*, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 135, 7, 992-996.
- Dolar, B. ve Skrabl, S., 2013. *Atterberg Limits in Relation to Other Properties of Fine-Grained Soils*, Acta Geotechnica Slovenica, 10, 2, 4-13.
- Çınar, S., Çekiç, Y., Akıncı, S., Türkmen, İ., Boğuşlu, M. ve Özdoğan, K., 1988. *Ordu-Fatsa-Ünye-Tekiraz-Cilader Yörelerinin Jeolojisi ve Maden Zuhurlarına İlişkin Jeoloji Raporu*, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Er, M., Dursun, Ö., Yılmaz, Z., Saraloğlu, A. ve Kansız, H., 1985. *Sayaca (Ulubey-Ordu) Yöresindeki Ar.22290 No'lu Alüminyum (İllit) Ruhsat Sahasının Maden Jeolojisi Raporu*, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara (Yayınlanmamış).
- Eren, M., 1983. *Gümüşhane-Kale Arasının Jeolojisi ve Mikrofasiyes İncelemesi*, Yüksek Lisans Tezi, K. T. Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon (Yayımlanmamış).
- Ergüler, Z.A., and Ulusay, R., 2002, *A simple test and predicting models for assessing swell potential of Ankara (Turkey) Clay*. Engineering Geology, 67, 331-352.
- Erol, O., 1990. *Determination of Swell Value by Suction Pressure Method*, Chamber of Civil Engineers, Technical Journal, IMO, 1, 99-106.
- Garbulewski, K., Zakowicz, S. ve Al-Helo, I. K., 1994. *Expansion Potential of Compacted Fine-Grained Soils Using Suction Measurements*, Geotechnical Testing Journal, 17, 4, 505-510.
- Gedik, A. ve Korkmaz, S., 1984. *Sinop Havzasının Jeolojisi ve Petrol Olanakları*. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara.
- Gedikoğlu, A., Pelin, S. ve Özsayar, T., 1979. *Application of Geotectonic Development of Eastern Pontids in the Mesozoic Era: Geocome 1*, 551-581.

- Gurtug, Y. ve Sridharan, A., 2002. Prediction of Compaction Characteristics of Fine Grained Soils, *Geotechnique*, 54, 10, 761-763.
- Gündoğdu, M.N. ve Yılmaz, O., 1983. Kil Mineralojisi Yöntemleri I. Ulusal Kil Sempozyumu, Çukurova Üniversitesi, Eylül, Adana, Bildiriler Kitabı, 319-330.
- Güven, İ. H., 1993. Doğu Pontidler'in 1/25000 Ölçekli Kompilasyonu. MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Holtz, R. D. ve Kovacs, W. D., 1981. *An Introduction to Geotechnical Engineering*, Prentice – Hall Inc., USA.
- Hough, B. K., 1957. *Basic Soil Engineering*, Ronald Press, New York.
- Hakyemez, Y., Yetkin F., Erkal, T., Karabıyıkloğlu., M. ve Mengi, H., 1988. Çarşamba (Samsun) Dolayının Jeolojisi. MTA, No: 8895, Ankara.
- IAEG., 1976, *Engineering Geology Maps a Guide to Their Preparation*, 1, Unesco Pres, Paris.
- Işık, N. S., 2009. Estimation of Swell Index of Fine Grained Soils Using Regression Equations and Artificial Neural Networks, *Scientific Research and Essay*, 4, 10, 1047-1056.
- Jesmani, M., Vaezi, R. ve Kamalzare, M., 2012. Correlation Between C_c alpha/ C_c Ratio and Index Parameters of Soil, *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 45, 2, 207-220.
- Jumikis, A. R., 1946. Geology and Soils of the Newark (N. J.) Metropolitan Area, *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE* 93 /SM2), 71-95.
- Kaya-Özer, C. ve Toker, V., 2009. Akveren Formasyonu'nun Kampaniyen-Maastrichtiyen Planktonik Foraminifer Biyostratigrafisi (Bartın, Batı Karadeniz), *Yerbilimleri Dergisi*, 30, 3, 213-233.
- Koppula, S. D., 1981. Statistical Estimation of Compression Index, *Geotechnical Testing Journal, GTJODJ*, 4, 2, S. 68-73.
- Korkmaz, S. ve Baki, Z., 1984. Demirözü (Bayburt) Güneyinin Stratigrafisi, *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, 5, 107-115.
- Keskin, İ., Yergök, F. A., Kara, H., Dönmez, M. ve Arslan, M., 1998. Ünye-Fatsa-Kumru-Korgan (Ordu) Dolayının Jeolojisi. MTA, No: 10182, Ankara.
- Ketin, İ. ve Gümüş, A., 1963. Sinop-Ayancık arasında III bölgeye dahil sahaların jeolojisi. TPAO Rapor No: 288., Ankara.
- Leonards, G.A., 1962. *Foundation Engineering*, Mc. Graw Hill Book Company.
- Mayne, P.W. and Kulhawy, F.H., 1982. "K₀-OCR relationships in soil". *Journal of Geotechnical Engineering*, 108, 851-872.

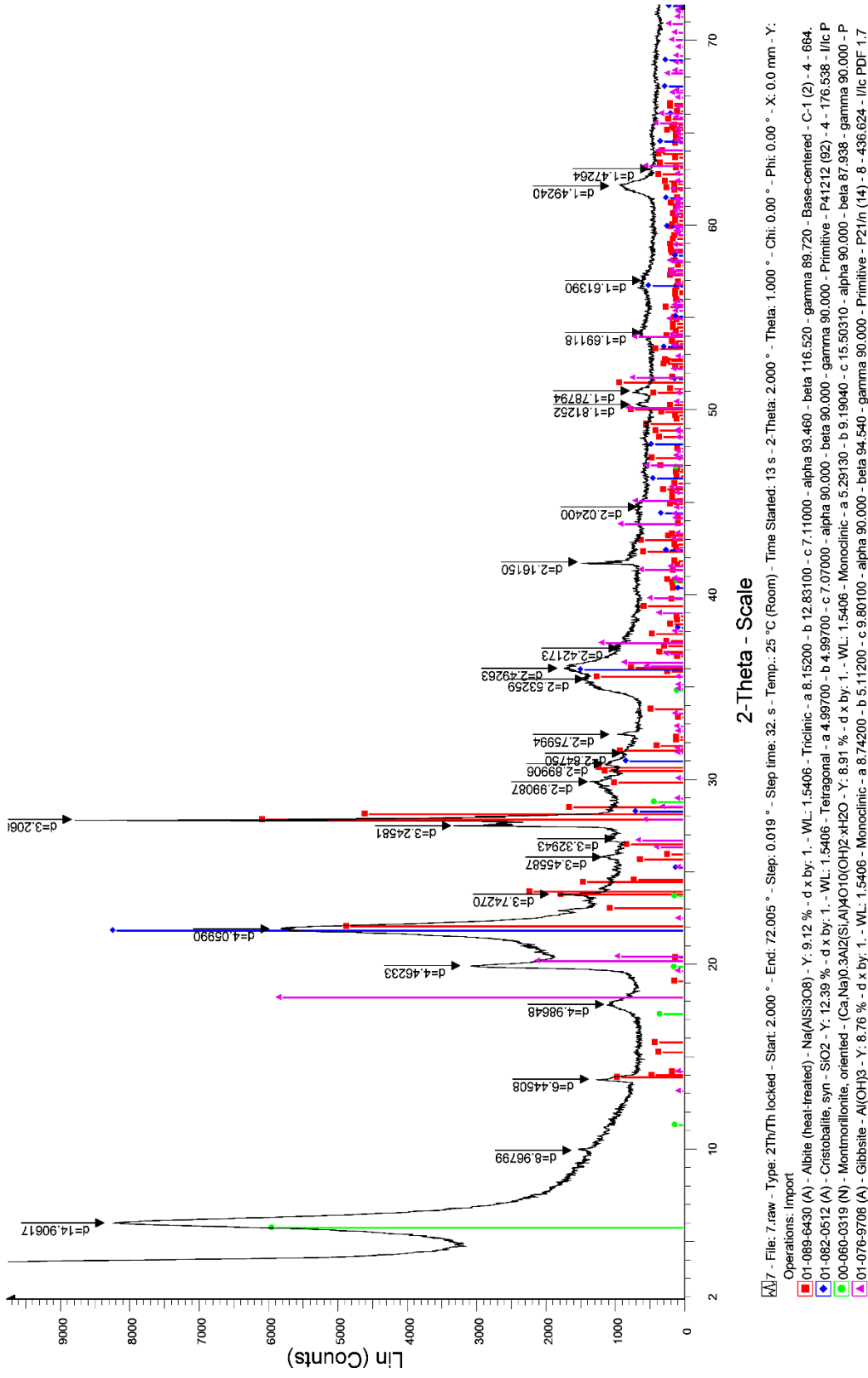
- Meunier, An., 2005. Clays, Springer Science and Business Media, Germany.
- NACS (North American Commission on Stratigraphy), 1983. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 67, 5, 841, 875.
- Nagaraj, H. B., 2000. Prediction of Engineering Properties of Fine-Grained Soil From Their Index Properties, PhD. Thesis, Faculty of Engineering, Indian Institute of Science, Bangalore, India.
- Nishida, Y., 1956. A Brief Note one Compression Index of Soil, Journal of the Soil Mechanics and Foundation Engineering Proceedings of The American Society of Civil Engineers. 82, SM3, 1027-1 – 1027-14.
- O'Neill, M. W. ve Poormoayed, N., 1980. Methodology for Foundations on Expansive Clays, Journal of the Geotechnical Engineering Division, 106, 1345-1367.
- Oswald, R. H., 1980. Universal Compression Index Equation, Journal Geotechnical, Engineering Div. Am. Soc. Civil Engineering, 106, 1179-1199.
- Özsayar, T., Pelin, S. ve Gedikoğlu, A., 1981. Doğu Pontid'lerde Kretase. K. T. Ü. Yer Bilimleri Dergisi, Jeoloji 1, 2, 65-114.
- Pelin, S., 1977. Alucra (Giresun) Güneydoğu Yöresinin Petrol Olanakları Bakımından Jeolojik İncelenmesi: K.T.Ü. NO: 87, 103, Trabzon.
- Rahn, P. H, 2006. Mühendislik Jeolojisi. Gazi Kitabevi, Ankara.
- Ramiah, B. K., Viswanath, V. ve Krishnamurthy, H. V., 1970. Interrelationship of Compaction and Index Properties. In: Proceedings of the Second Southeast Asian Conference on Soil Engineering, Singapore, 577-587.
- Rani, Ch. S., 2007. A Knowledge Based System for Soil Identification and Assessment of Volume Change Characteristics of Clayey Soils. PhD. Thesis, Sri Venkateswara University, Tirupati, India.
- Ring, G. W., Sallgerb, J. R. ve Collins, W. H., 1962. Correlation of Compaction and Classification Test Data, HRB Bulletin, 325, 55-75.
- Rohan, H. W. ve Graham, W. W., 1948. Proper Compaction Eliminates Curing Period in Constuction Fills, Civil Engineering, 18, 450-451.
- Sivrikaya, O., Togrol, E. ve Kayadelen, C., 2008. Estimating Compaction Behavior of Fine-Grained Soils Based on Energy, Canadian Geotechnical Journal, 45, 877-887.
- Sivrikaya, O. ve Hakbilir, S., 2013. Comparison of Fine-Grained Soils of the Kolsuz and Araplı Areas in the Central Anatolia (Niğde, Turkey) in Terms of Geotechnical Properties, Eurasian Soil Science, 10, 1134.
- Skempton, A. W., 1944. Notes on the Compressibility of Clays, Quarterly Journal of the Geological Society of London, 100, 119-135.

- Sridharan, A. ve Nagaraj, H. B., 2005. Plastic Limit and Compaction Characteristics of Fine Grained Soils, *Ground Improvements*, 9, 1, 17-22.
- Terlemez, İ. ve Yılmaz, A.i 1980. Ünye-Ordu-Koyulhisar-Reşadiye Arasında Kalan Yörenin Stratigrafisi, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 23, 2, 179-191.
- Terzaghi, K. ve Peck, R. B., 1967. *Soil Mechanics in Engineering Practice*, John Wiley and Sons, New York.
- Turnbull, J. M., 1948. Computation of the Optimum Moisture Content in the Moisture-Density Relationship of Soils, *Proceedings of the Second International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Rotterdam, Holland, IV, 256-262.
- Türkiye Stratigrafi Komitesi, 1986. *Stratigrafi Sınıflama ve Adlama Kuralları*. M.T.A., Ankara.
- Tokel, S., 1972. *Stratigraphical and Volcanic History of the Gümüşhane Region (NE Turkey)*, PhD. Thesis, Univ. Coll., London.
- URL-1, <http://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ORDU>, 11.10.2014
- URL-2, <http://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/yillik-toplam-yagis-verileri.aspx?m=ORDU>, 11.10.2014
- Van Der Merwe, D. H., 1964. The Prediction of Heave From the Plasticity Index and Percentage Clay Fraction of Soil, *Trans. S. Afr. Instr. Civ. Engrs.*, 6: 103-107.
- Yavuz, H., 2010. *Fatsa-Arpalık Köyü (Ordu, Kuzeydoğu Türkiye) Yöresi Bentonit Oluşumlarının Mineralojik ve Jeokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi, Kullanım Alanlarının Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Yılmaz, I., 2004. Relationships between liquid limit, cation exchange capacity, and swelling potentials of clayey soils. *Eurasian Soil Science*, 37, 5, 506-512.
- Yılmaz, Y., 1972. *Petrology and Structure of the Gümüşhane Granite and Surrounding Rocks, North-Eastern Anatolia*. PhD Thesis, University of London, 260.
- Yoldaş, R., Keskin, V., Korkmaz, S., Digik, S., Granit, S., Ağrıdağ, D. S. ve Besbelli, B., 1985. *Kızılırmak-Yeşilirmak (Samsun) Arasının Jeolojisi ve Petrol Olanakları*. MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.

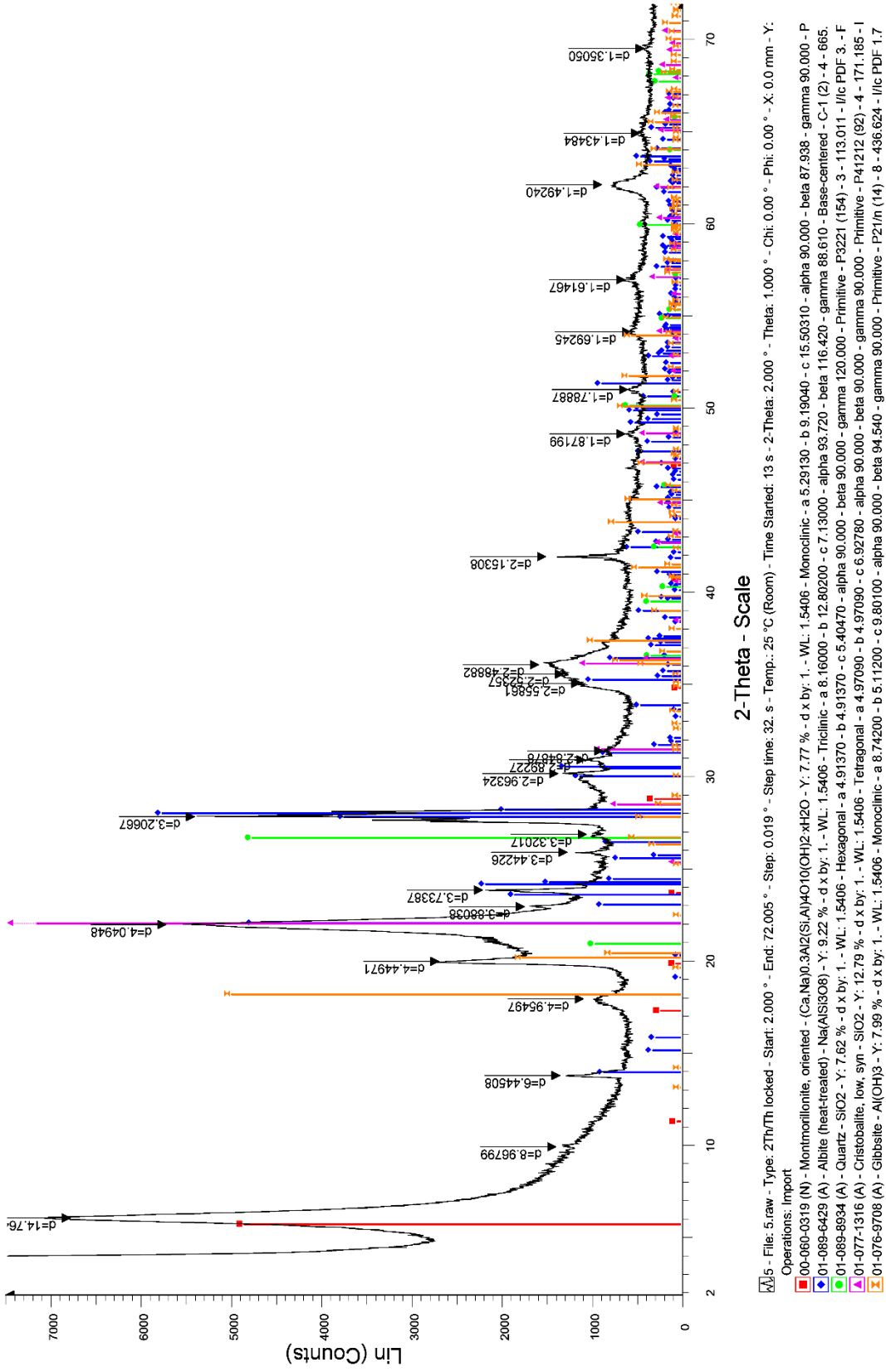
6. EKLER



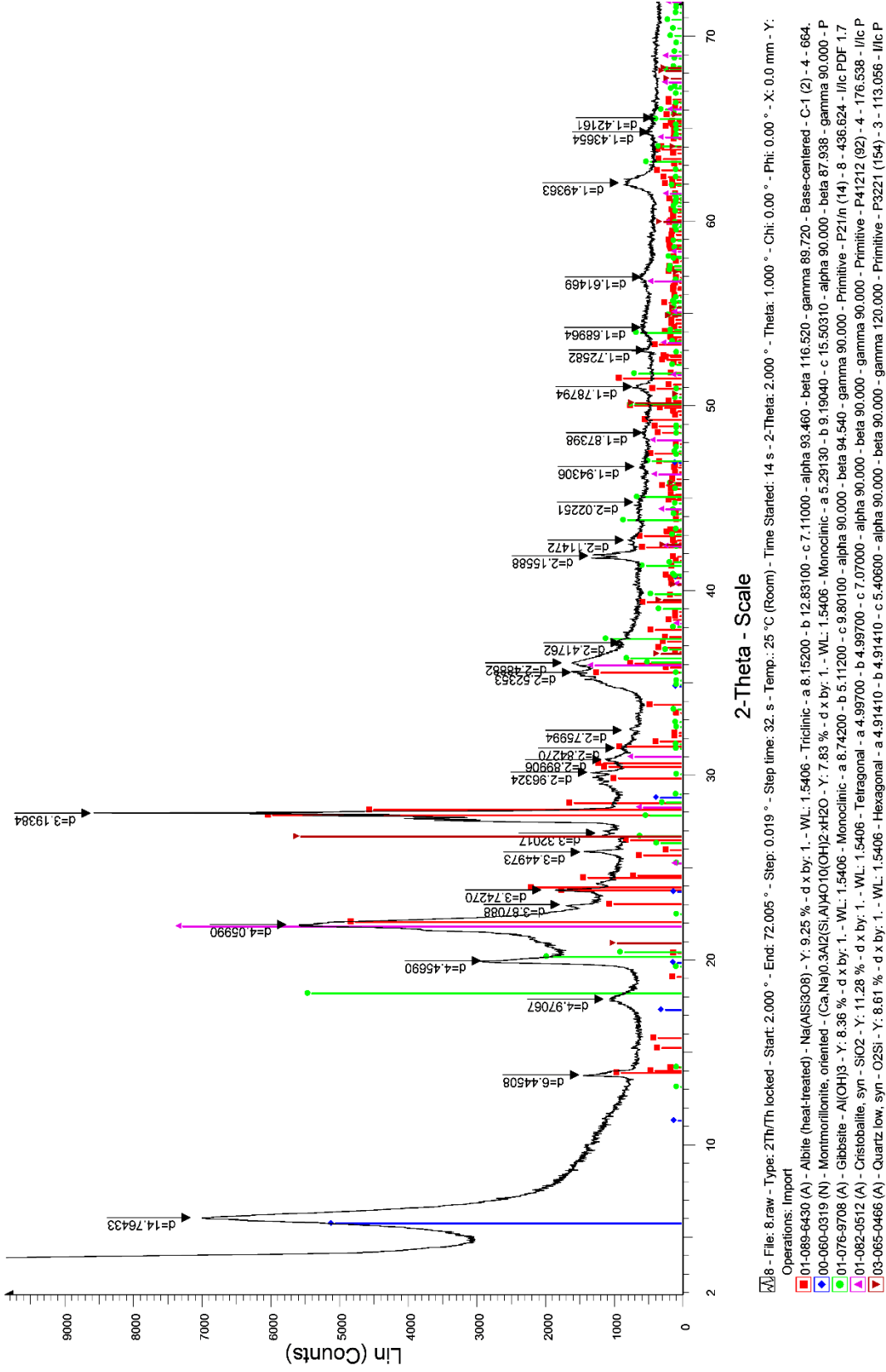
Ek Şekil 1. 1 no'lu örneğe ait XRD difraktogramı



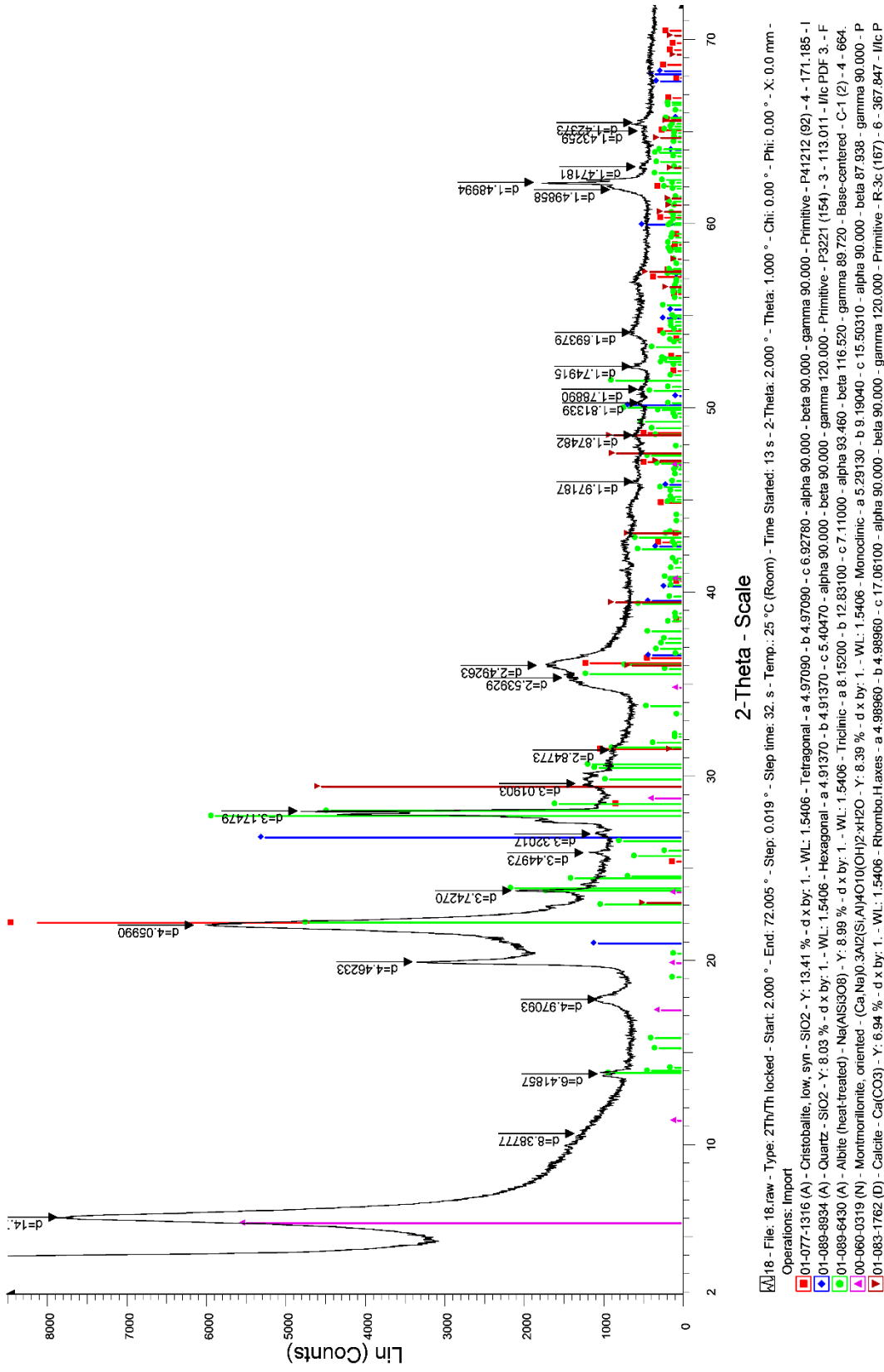
Ek Şekil 2. 5 no'lu örneğe ait XRD difraktogramı



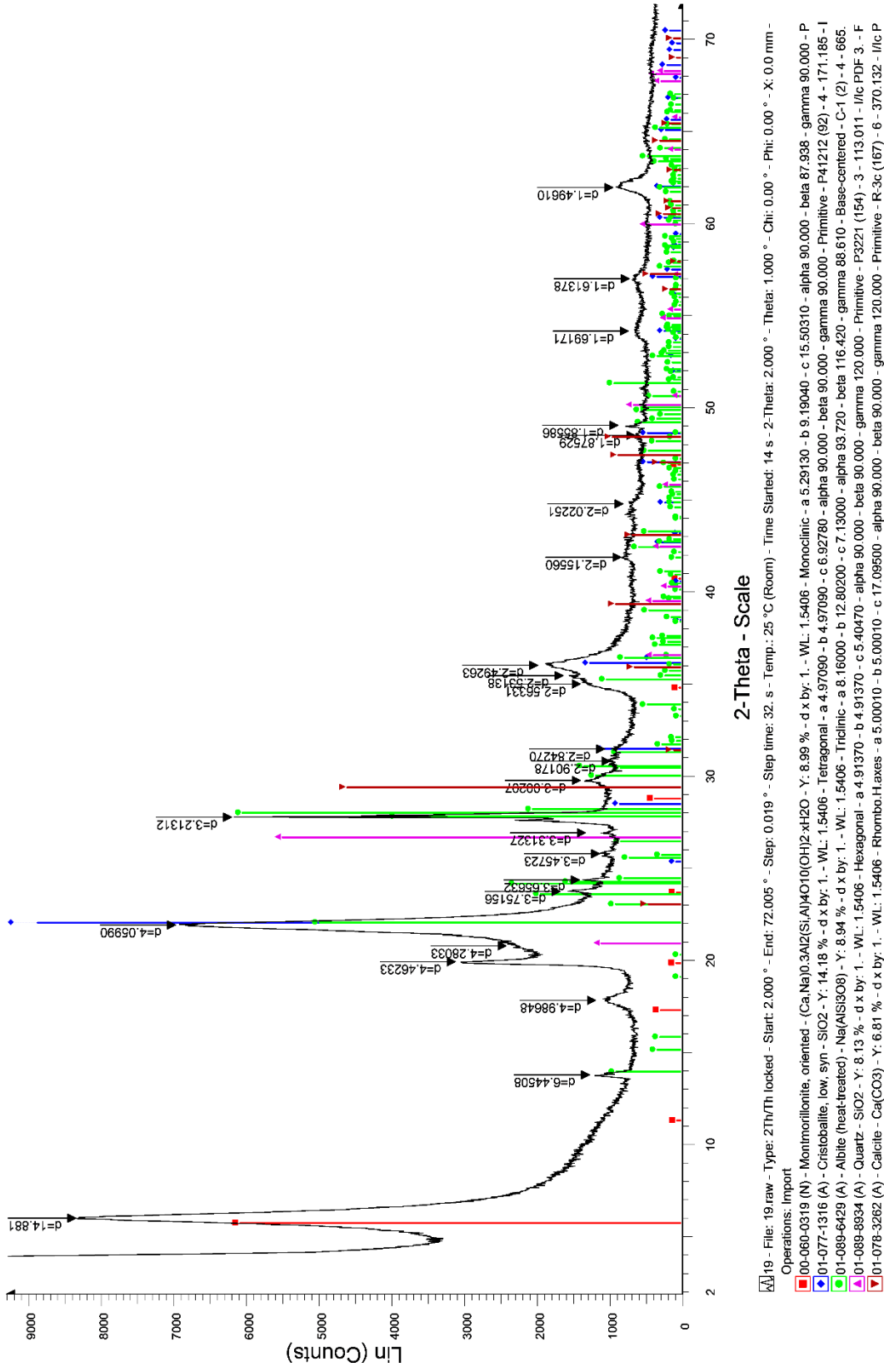
Ek Şekil 3. 7 no'lu örneğe ait XRD difraktogramı



Ek Şekil 4. 8 no'lu örneğe ait XRD difraktogramı



Ek Şekil 5. 18 no'lu örneğe ait XRD difraktogramı



Ek Şekil 6. 19 no'lu örneğe ait XRD difraktogramı

ÖZGEÇMİŞ

Muhammet Oğuz Sünnetci 07.09.1989 tarihinde İstanbul'da doğdu. İlköğrenimini İstanbul Karacoğlan İlköğretim Okulunda ve Hasan Kağnıcı İlköğretim Okulunda, ortaöğrenimini ise Bağcılar Lisesi'nde tamamladı. 2006-2007 eğitim öğretim yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünü kazandı. 2012 yılında KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı ve aynı tarihte Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisansa başladı. Trabzon'da yaşayan yazar evlidir ve iyi derecede İngilizce bilmektedir.