

**ATIK MERMER TOZU KATKILI KİLLİ ZEMİNLERİN
KONSOLİDASYON VE PERMEABİLİTE ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İSMAİL MURATOĞLU

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. İsmail ZORLUER

YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Eylül 2010

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ATIK MERMER TOZU KATKILI KİLLİ ZEMİNLERİN
KONSOLİDASYON VE PERMEABİLİTE ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

İSMAİL MURATOĞLU

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. İsmail ZORLUER

YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

EYLÜL 2010

ONAY SAYFASI

Yrd. Doç. Dr. İsmail ZORLUER danışmanlığında,
İsmail MURATOĞLU tarafından hazırlanan
Atık Mermer Tozu Katkılı Killi Zeminlerin Konsolidasyon ve Permeabilite
Özelliklerinin Araştırılması
başlıklı bu çalışma lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri
uyarınca
06/09/2010
tarihindeki aşağıdaki jüri tarafından
Yapı Eğitimi Anabilim Dalında
Yüksek Lisans tezi olarak oybirliği ile kabul edilmiştir.

Ünvanı, Adı, SOYADI

İmza

Başkan Doç.Dr. Yılmaz İÇAĞA

Üye Yard.Doç.Dr. İsmail ZORLUER

Üye Yard.Doç.Dr. Ahmet YILDIZ

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. Rıdvan ÜNAL
Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
3. GENEL BİLGİLER	7
3.1. Kilin Önemi	7
3.2. Kil Mineralleri ve Yapıları	8
3.2.1. Kaolinit	11
3.2.2. Montmorillonit	13
3.2.3. İllit	15
3.2.4. Sepiyolit	16
3.3. Kil Minerallerinin Özellikleri	18
3.3.1. Spesifik (Özgül) Yüzey Alanı	18
3.3.2. Katyon Değiştirme Kapasitesi	19
3.3.3. Kil Minerallerinin Boyutları	20
3.3.4. Kil Minerallerinin Aktiviteleri	21
3.4. Kil Mühendislik Davranışlarını Etkileyen Faktörler	23
3.4.1. Kil-Su Etkileşimi	23
3.4.2. Kil Parçacıkları arasındaki Kuvvetler ve Flokulasyon	28
3.5. Kil Zeminlerde Doku ve Zeminlerin Mühendislik Özelliklerine Etkisi	32

3.6. Kil Minerallerinin Tanınması	37
3.6.1. X-Ray Difraksiyon Analizi (X-Rd)	38
3.6.2. Optik Mikroskopla Analiz	39
3.6.3. Atterberg Limitleri İle Analiz	39
3.7. Mermer Atıklarının Oluşumu	41
3.7.1. Mermer Fabrikalarında Oluşan Atıklar	41
3.7.1.1. Katrak, ST, Silme-Cilalama Ünitelerinde Oluşan Atıklar	41
3.7.1.2. Köprü Kesme, Monolam, ST Kesimi Sonrası Oluşan Atıklar	42
3.7.1.3. Baş Kesme ve Levha Ebetlama Makinelerinde Oluşan Atıklar	42
3.7.2. Mermer Fabrika Atık Sularının Arıtılması	42
3.7.2.1. Ardışık Havuz Yöntemi	43
3.7.2.2. Sedimentasyon (Flokfilasyon) Yöntemi	44
3.7.2.3. Hidrosiklonlar Ayırma-Sınıflandırma Yöntemi	45
3.7.3. Mermer Toz Atıklarının Temizlenmesi	46
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	47
4.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Killi Zeminler ve Özellikleri	47
4.2. Deneysel Çalışmada Kullanılan Mermer Tozu ve Özellikleri	47
4.3. Deneysel Program	48
4.3.1. Numunelerin İndeks ve Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi	48
4.3.1.1. Su Muhtevasının Belirlenmesi	48
4.3.1.2. Özgül Ağırlık Deneyi	49
4.3.1.3. Tane Boyu Dağılımının Belirlenmesi	50
4.3.1.4. Atterberg Limitlerinin Belirlenmesi	51
4.3.2. Numunelerin Mühendislik Özelliklerinin Belirlenmesi	53
4.3.2.1. Numune Hazırlama	53
4.3.2.2. Konsolidasyon Deneyi	53
4.3.2.3. Permeabilite Deneyi	56

5. BULGULAR	59
5.1. Tane Boyu Dağılımı Sonuçları	59
5.2. Kıvam (Atterberg) Limitleri Sonuçları	60
5.3.Konsolidasyon Deneyi Sonuçları	69
5.4.Permeabilite Deneyi Sonuçları	88
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	95
7. KAYNAKLAR	97
8. ÖZGEÇMİŞ	102

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ATIK MERMER TOZU KATKILI KİLLİ ZEMİNLERİN KONSOLİDASYON VE PERMEABİLİTE ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanan bu çalışmayla atık mermer tozu konsantrasyonları ile zeminlerin konsolidasyon ve permeabilite özelliklerinin nasıl değiştiği incelenmiştir.

Bu amaç doğrultusunda Afyon Kocatepe Üniversitesi ANS Kampüsü alanında 6 farklı kil zemin alınarak laboratuvar ortamında %5, %10, %15 oranında atık mermer tozu ilave edilmiş ve mermer tozu katkısı ile 25 farklı killi zemin numunesi oluşturulmuştur. Hazırlanan killi zeminler üzerinde tanımlama deneyleri yapılmıştır. Daha sonra hazırlanan numuneler üzerinde konsolidasyon ve permeabilite deneyleri yapılmıştır.

Deneylerden elde edilen veriler kullanılarak ödometre deneyinden boşluk oranı ve sıkışma katsayıları belirlenmiş, permeabilite deneyinden ise atık mermer tozu katkılı kil zeminlerin permeabilite katsayıları belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda kil zeminlere %10-15 oranında atık mermer tozu ilave edilebileceği sonucuna varılmıştır.

2010, 103 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Kil Zemin, Mermer Tozu, Konsolidasyon, Geçirimlilik

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF PERMEABILITY AND CONSOLIDATION PROPERTIES OF CLAYED SOIL MIXED WASTE MARBLE DUST

Afyon Kocatepe University

Institute of Science

In this study prepared as Master Thesis, how the grounds with waste marble dust concentrations has been changed was investigated with the properties of consolidation and permeability.

For this reason, 6 different clay soils were taken in the area of ANS Campus of Afyon Kocatepe University and waste marble dust was added in the properties of %5, %10, %15 in laboratory environment and 25 different clay soil samples were formed. Diagnostic experiments were conducted on prepared samples. Then, consolidation and permeability experiments were done on the prepared samples.

By using the data taken from the experiments, spacing rate and compression coefficient were defined from odometer test and permeability coefficient were defined from the clay soils cemented marble dust. In conclusion, it is concluded that mixed waste marble dust can be added to clayed soil in the rate of %10-15.

2010, 103 Sayfa

Key words: Clay Soil, Marble Dust, Consolidation, Permeability

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında bana yardımlarını ve bilgilerini esirgemeyen değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. İsmail ZORLUER' e vermiş olduğu desteklerden dolayı teşekkür ederim. Deneysel çalışmalarımı yaptığım Afyon Kocatepe Üniversitesi ve Fırat Üniversitesi Akademik personeline de şükranlarımı sunarım. Ayrıca bu tez çalışmasında maddi ve manevi desteklerinden dolayı sevgili eşim ve kızıma sonsuz teşekkürlerimi ve sevgilerimi sunuyorum.

İsmail MURATOĞLU

AFYONKARAHİSAR, Eylül 2010

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

1. Simgeler

A	: Enkesit alanı
A_s veya S	: Spesifik yüzey alanı (cm^2/gr)
a_v	: Konsolidasyon olayında sıkışma katsayısı
d	: Kristalde atom tabakaları arası mesafe
d_{50}	: Ortalama dane çapı (μm)
D_v	: Kil mineralleri arasındaki mesafe (nm)
e	: Boşluk oranı
E	: Yüklü yüzeyden x mesafede elektrik potansiyeli
F	: İki parçacık arasındaki elektrostatik kuvvet
F_g	: Yerçekimi kuvveti
F_{att}	: İki kil parçacığı arasındaki çekme kuvveti
F_{tot}	: İki kil parçacığı arasındaki toplam kuvvet
i	: Hidrolik eğim
K	: Boltzman sabiti
k	: Permeabilite katsayısı (cm/sn)
l	: Kil parçacıkları uzunlukları
m_v	: Konsolidasyon deneyinde hacimsel sıkışma katsayısı
m_p	: Piknometre + saf su aralığı
m_{pw}	: Piknometre + saf su ağırlığı
m_s	: Kuru zemin ağırlığı
m_{pws}	: Piknometre + saf su + kuru zemin ağırlığı
n_0	: İyon konsantrasyonu
O_2	: Oksijen Molekülü
P	: Eksenel kuvvet
P_{max}	: Kırılma anındaki eksenel kuvvet
W_{opt}	: Optimum su muhtevası
q	: Suyun debisi
r	: İki parçacık arasındaki mesafe
R	: Elektriksel itme kuvveti

T	: Mutlak sıcaklık (Kelvin)
T_h	: Diffüz çift tabaka kalınlığı
x	: Katyon ve anyonların yüklü yüzeye olan mesafesi
μ	: Mikron
Δh	: Numune boyunda meydana gelen değişim miktarı (mm)
$\mathcal{E}$	: Birim elektrik yükü
ϵ	: Boşluk sıvısı
ϵ_Z	: Birim deformasyonlar (%)
Φ	: (D_{10}/D_{30}) oranına karşılık bulunan bir katsayı
ϕ	: Zeminin içsel sürtünme açısı (0)
δ_{dmax}	: Maksimum kuru yoğunluk

2. Kısaltmalar

AKÜ	: Afyon kocatepe üniversitesi
Al	: Alüminyum
A_c	: Kilin aktivitesi
A_v	: Avagadro sayısı ($6,02 \times 10^{23}/\text{mol}$)
A_{MB}	: Bir metilen mavisi molekülü tarafından kaplanan alan
ASTM	: American Society for Testing Materials
B	: Brusit tabakası
BET- N_2	: Azot adsorbsiyon metodu
Ca	: Kalsiyum
C	: Zeminin kohezyonu (kPa)
c_u	: Drenajsız kohezyon
C_c	: Konsolidasyon deneyinde sıkışma indisi
C_s	: Konsolidasyon deneyinde şişme indisi
CEC	: Katyon değiştirme kapasitesi (meq/100 gr)
CH	: Yüksek plastisiteli kil
CL	: Düşük plastisiteli kil
D	: Dielektrik sabiti
E	: Elastisite modülü, MPa
EGME	: Etilen glikol monoetil

Fe	: Demir
G	: Gibbsit tabakası
G _s	: Özgöl ağırlık
I _p	: Plastisite indisi(PI)
I _r	: Işın şiddeti
K	: Potasyum
LL	: Likit limit değeri (%)
Mg	: Magnezyum
MM	: Metilen mavisi
Na	: Sodyum
NaPO ₃	: Sodyum hexametafosfat
OH	: Hidroksil iyonu
ÖYA	: Özgöl yüzey alan (Spesifik yüzey alan) (m ² /gr)
PI	: Plastise indisi (%)
pH	: Power of hydrogen
PL	: Plastik limit (%)
ST	: Mermer kesim yöntemi
TS	: Türk Standartları
USCS	: Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi
W	: Zeminin su muhtevası (%)
W ₁	: Dara
W ₂	: Dara + Numune ağırlığı
W ₃	: Etüvde kurutulmuş numune ağırlığı
X-Ray	: Difraksiyon analizi
X-Rd	: Yarıncel mineralojik analiz
%C	: Kil yüzdesi

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 3.1 Kil minerallerini oluşturan silis ünitesi	8
Şekil 3.2 Kil minerallerini oluşturan alüminyum ünitesi	9
Şekil 3.3 Kaolinitin yapısının şematik gösterimi	12
Şekil 3.4 Kaolinitin Atomik Yapısı	12
Şekil 3.5 Montmorillonit yapısının şematik diyagramı	13
Şekil 3.6 Montmorillonitin atomik yapısı	14
Şekil 3.7 İllitin şematik diyagramı	15
Şekil 3.8 a) Diffüz çift tabaka b) Kil yüzeyinde katyon konsantrasyonu	24
Şekil 3.9 a) Suyun dipolar karakteri b) Diffüz çift tabakada dipolar moleküllerin çekimi	25
Şekil 3.10 Tipik bit montmorillonit ve kaolinit parçacığı üzerinde adsorbe su ve çift tabaka suyu	26
Şekil 3.11 Negatif yüklü kil parçacıkların yüzeyinde elektriksel alan	29
Şekil 3.12 Çift tabakalar üzerinde sistem özelliklerindeki değişikliklerin etkileri	31
Şekil 3.13 a) Dispers yapı b) Floküle yapı	33
Şekil 3.14 Bir su-kil süspansiyonunda doku	35
Şekil 3.15 Zeminde Dokular	35
Şekil 3.16 Zeminlerde sıkça karşılaşılan minerallerin X-ışını grafikleri	38
Şekil 3.17 Casagrande'nin plastisite kartında yaygın kil minerallerinin lokasyonu	40
Şekil 4.1 24 saat sonunda hidrometre mezürü içinde çökelen tanelerin üstte ince altta kalın tabaka oluşturması	51
Şekil 4.2 Casagrande likit limit cihazı	52

Şekil 4.3 Konsolidasyon (ödometre) deneyinin şematik ve fotoğraf görüntüsü	54
Şekil 4.4 Konsolidasyon deneyleri sonucu elde edilen tipik basınç-boşluk oranı(σ -e) grafiği	55
Şekil 4.5 Darcy yasasının şematik gösterimi	57
Şekil 4.6 Düşen seviyeli permeabilite düzeneği ve Sıkıştırma kalıpları	58
Şekil 5.1 ANS Kampusu Killerinin tane boyu dağılım grafiği	60
Şekil 5.2 A numunesine ait killi zeminin Likit Limit (LL) değerinin bulunması	61
Şekil 5.3 Killi zeminlerin Casagrande Plastisite Diyagramındaki Yeri	62
Şekil 5.4 Casagrande'nin plastisite diyagramında yaygın kil minerallerinin lokasyonları	62
Şekil 5.5 B numunesine ait killi zeminin Likit Limit (LL) değerinin bulunması	64
Şekil 5.6 C numunesine ait killi zeminin Likit Limit (LL) değerinin bulunması	65
Şekil 5.7 D numunesine ait killi zeminin Likit Limit (LL) değerinin bulunması	66
Şekil 5.8 E numunesine ait killi zeminin Likit Limit (LL) değerinin bulunması	67
Şekil 5.9 F numunesine ait killi zeminin Likit Limit (LL) değerinin bulunması	67
Şekil 5.10 Tüm numunelerin farklı konsantrasyonları için normalize edilmiş Sıkışma İndisi Değerleri	72
Şekil 5.11 Tüm numunelerin farklı konsantrasyonları için normalize edilmiş Sıkışma İndisi Değerleri	72
Şekil 5.12 A numunesi ve değişik mermer tozu konsantrasyonları için konsolidasyon deneylerinden elde edilen e-logP grafikleri	81
Şekil 5.13 B numunesi ve değişik mermer tozu konsantrasyonları için konsolidasyon deneylerinden elde edilen e-logP grafikleri	82
Şekil 5.14 C numunesi ve değişik mermer tozu konsantrasyonları için konsolidasyon deneylerinden elde edilen e-logP grafikleri	82
Şekil 5.15 D numunesi ve değişik mermer tozu konsantrasyonları için konsolidasyon deneylerinden elde edilen e-logP grafikleri	83
Şekil 5.16 E numunesi ve değişik mermer tozu konsantrasyonları için	

konsolidasyon deneylerinden elde edilen e-logP grafikleri	83
Şekil 5.17 F numunesi ve değişik mermer tozu konsantrasyonları için	
konsolidasyon deneylerinden elde edilen e-logP grafikleri	84
Şekil 5.18 Katkısız killi zeminlerin konsolidasyon deneylerinden	
elde edilen e-logP grafikleri	84
Şekil 5.19 Killi zeminlerin %5 konsantrasyonları için konsolidasyon	
deneylerinden elde edilen e-logP grafikleri	85
Şekil 5.20 Killi zeminlerin %10 konsantrasyonları için konsolidasyon	
deneylerinden elde edilen e-logP grafikleri	85
Şekil 5.21 Killi zeminlerin %15 konsantrasyonları için konsolidasyon	
deneylerinden elde edilen e-logP grafikleri	86
Şekil 5.22 A Numunesi Standart proctor deneyi sonuçları	89
Şekil 5.23 B Numunesi Standart proctor deneyi sonuçları	89
Şekil 5.24 C Numunesi Standart proctor deneyi sonuçları	90
Şekil 5.25 D Numunesi Standart proctor deneyi sonuçları	90
Şekil 5.26 E Numunesi Standart proctor deneyi sonuçları	91
Şekil 5.27 F Numunesi Standart proctor deneyi sonuçları	91
Şekil 5.28 Zeminler için geçirgenlik çizelgesi	92
Şekil 5.29 Permeabilite Deney Sonuçları	94

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 3.1 Kil minerallerinin sınıflandırılması	11
Çizelge 3.2 İnce taneli zeminlerin başlıca kil minerali bileşenlerinin spesifik yüzey alanları	19
Çizelge 3.3 Tipik kil minerallerinin pH=7’de belirlenmiş CEC değerleri	20
Çizelge 3.4 Yaygın kil minerallerinin göreceli boyutları, kalınlıkları ve spesifik yüzey alanları	21
Çizelge 3.5 Değişik kil minerallerinin aktiviteleri	22
Çizelge 3.6 Ortalama yüzey yük Yoğunlukları	23
Çizelge 3.7 Mermer fabrika atık sularındaki boyut dağılımı	43
Çizelge 5.1 Deneylerde kullanılan killi zeminlerin granülometrik ve geotekniksel özellikleri	59
Çizelge 5.2 Plastisite derecesinin plastisite indisine göre belirlenmesi	61
Çizelge 5.3 Killi zeminler için casagrande yöntemiyle yapılan atterberg limitleri deney sonuçları	62
Çizelge 5.4 Numuneler üzerinde yapılan konsolidasyon deneylerinde elde edilen sıkışma indisi ve şişme indisi değerleri	70
Çizelge 5.5 Numuneler üzerinde yapılan konsolidasyon deneylerinde elde edilen normalize edilmiş sıkışma indisi ve şişme indisi değerleri	71
Çizelge 5.6 A numunelerine ait konsolidasyon deney sonuçları	75
Çizelge 5.7 B numunelerine ait konsolidasyon deney sonuçları	76
Çizelge 5.8 C numunelerine ait konsolidasyon deney sonuçları	77

Çizelge 5.9 D numunelerine ait konsolidasyon deney sonuçları	78
Çizelge 5.10 E numunelerine ait konsolidasyon deney sonuçları	79
Çizelge 5.11 F numunelerine ait konsolidasyon deney sonuçları	80
Çizelge 5.12 Standart proctor deneyi sonuçları	88
Çizelge 5.13 Numunelerin düşen seviyeli permeabilite deneyinden hesaplanan permeabilite katsayıları	92

1. GİRİŞ

Kil terimi iki farklı şekilde tanımlanabilir. Kil minerolojide kaolinit ve illit gibi spesifik bir mineral çeşidi iken geoteknik mühendisliğinde ise, kil terimi killi zemin olarak tarif edilir. Killi zeminden anlaşılan ise, bileşenleri kil mineralleri ile bir kısım diğer minerallerden oluşan, plastisiteli olan, kohezyonlu bir zemindir (Holtz and Kovacs, 1981).

Kil mineralleri çok küçük partiküller olup elektrokimyasal olarak çok aktiftirler. Bir zemin kütlesi içinde az miktarda dahi olsa kil minerallerinin varlığı o kütlenin mühendislik özelliklerini önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Kil miktarı arttıkça zeminin davranışı kilin özellikleri tarafından kontrol edilir. Kil içeriği yaklaşık %50 olduğu zaman, kum ve silt taneleri aslında bir hamur içinde yüzen taneler gibidirler ve mühendislik özellikleri üzerindeki etkileri de oldukça düşüktür (Holtz and Kovacs, 1981).

Killi zeminlerin mühendislik davranışı 3 faktör tarafından kontrol edilmektedir.

1. Kil minerallerinin yapısal karakteristikleri, negatif yüzey yük yoğunluğu, spesifik yüzey alanı ve parçacıkların uzunluk ve kalınlıkları.
2. Boşluk sıvısının yapısal karakteristikleri, dielektrik sabiti değişimleri veya elektrolit değeri ve konsantrasyonu.
3. Parçacıkların düzeni veya zemin dokusu.

Kil mineralleri kimyasal yapılarından dolayı yüzeylerinde negatif, kenarlarında ise pozitif yükler taşırlar. Kil mineralleri yüzeylerindeki negatif yükün etkisiyle zemin boşluklarında bulunan zemin suyu içerisindeki katyonlar kil yüzeyine doğru çekilirler. Bu katyonlar kil yüzeyine sıkıca yapışmazlar, boşluk sıvısının karakteri değiştiği zaman kolayca başka sıvılarla yer değiştirirler.

Killi zeminlerin davranışını etkileyen fiziko-kimyasal kuvvetler; diffüz çift tabaka itme kuvvetleri ve Van der Walls çekme kuvvetleridir. İki kil minerali yan yana geldiği zaman çift tabakadaki benzer yüklerden dolayı bir itme kuvveti aynı zamanda Van der Walls kuvvetlerinde dolayı bir çekme kuvveti oluşur. Bu her iki itme ve çekme kuvvetleri tanecikler arası mesafe azaldıkça değişen oranlarda artarlar. Kil tanecikleri arasındaki mesafe çok küçük olduğu zaman çekme kuvveti itme kuvvetinden fazla olmaktadır. İki kil taneciği birbirine çok yakınsa uçlardaki pozitif yükler ile yüzeydeki negatif yükler bir çekme oluştururlar.

Günümüze kadar özellikle ülkemizde killi zeminlere atık mermer tozu ilave edilerek mühendislik davranışları çok sınırlı sayıda incelenmiştir. Buna karşın her yıl ülkemizde geri kazanım yoluyla ekonomiye kazandırabilecek olan tonlarca atık mermer tozu oluşmaktadır.

Bu yüksek lisans çalışmasının amacı Afyonkarahisar bölgesinde bulunan atık mermer tozu atıklarının killi zeminlerin mühendislik davranışlarına etkisinin araştırılmasıdır. Bu konuda literatürde çok çalışma yapılmamış olup, yapılan çalışmalarda da konsolidasyon ve permeabilite özellikleri incelenmemiştir. Bu amaçla Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi ANS Kampüsünden 6 farklı noktadan killi zeminler alınmış, bu zeminlere laboratuvar ortamında atık mermer tozu karıştırılarak numuneler oluşturulmuştur. Hazırlanan numuneler üzerinde tanımlama deneyleri yapıldıktan sonra, mühendislik özelliklerini belirlemek üzere konsolidasyon ve permeabilite deneyleri gerçekleştirilmiştir. 25 farklı numune konsolidasyon ve permeabilite deneylerine tabi tutularak atık mermer tozu konsantrasyonlarının killi zeminlerin oturma ve geçirgenlik değerlerini nasıl değiştirdiği araştırılmıştır.

Tez çalışması 6 bölüm olup, ilk bölümü giriş son bölümü sonuçlar ve öneriler oluşturmaktadır. 2. Bölümde geçmişte diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmaların özeti verilmiştir. Bu özetlerde killi zeminlerle ilgili yapılan çalışmalar ve atık mermer tozu ile yapılan çalışmalar verilmiştir.

Tez çalışmasının 3. Bölümünde deneysel çalışmalara temel teşkil eden teorik bilgiler verilmiştir. Zeminlerde bulunan kil minerallerinin çeşitleri, davranışları ve özellikleri verilmiştir. Yine bu bölümde killi zeminlerin genel mühendislik özelliklerinden bahsedildikten sonra atık mermer tozu ve özellikleri hakkında genel bilgiler verilmiştir.

4. Bölümde deneysel çalışmada kullanılan killi zeminler ve atık mermer tozunun özellikleri verildikten sonra, deneysel çalışma için numunelerin hazırlanmasında laboratuarda kullanılan ödometre ve permeabilite cihazları anlatılmıştır. Daha sonra deneysel yöntemler detaylı olarak açıklanmıştır.

5. Bölümde deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar verilmiştir. İlk olarak tanımlama deneyleri yapılan numunelerin su muhtevası, granülometri ve özgül ağırlık değerleri verildikten sonra Casagrande yöntemi kullanılarak Atterberg limit sonuçları karşılaştırmalı olarak grafiklerle gösterilmiştir. Daha sonra ise, oturma ve permeabilite değerlerini belirlemek üzere ödometre ve düşen seviyeli permeabilite deneyi sonuçları kapsamlı olarak verilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar 3. Bölümde bahsedilen teorik sonuçlarla kıyas edilerek verilmiştir.

Tez çalışmasının 6. Bölümünde ise; deneysel çalışmalarla elde edilen sonuçlar kısım kısım değerlendirilerek sonuçlar tartışılmıştır. Bu bölümde deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar teorik olarak açıklanmış, literatürdeki çeşitli çalışmalarla karşılaştırmalar yapılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Çelik (1996), tarafından yapılan çalışmada mermerlerin özellikleri, kullanıldığı yerler Afyon bölgesinde oluşan mermer artıklarının miktarları ve bu artıkların değerlendirme alanları üzerinde durulmuştur.

Ceylan (2000), tarafından yapılan çalışmada dünyada mermer ve mermer üretimi, Türkiye mermerciliği, mermer atıklarının oluşumu mermer işletmecilerinin çevresel açıdan karşılaştıkları sorunlar, mermer fabrika atık sularının arıtılması ve mermer toz atıklarının elde edilmesi, temizlenmesi, mermer atıklarının kullanıldığı sektörleri hakkında bilgiler sunulmuştur. Bu yapılan çalışmada Isparta, Afyon ve Aydın illeri çalışma bölgesi olarak seçilmiştir. Yapılan bu tez çalışmasında mermer toz atıklarının derz dolgu malzemesi olarak kullanılabilir olup olmama noktası araştırılmıştır. Mermer tozlarının derz dolgu malzemesi üretiminde kullanılabilmesi için mümkün olduğunca beyaz mermer işleyen fabrikalardan numuneler alınmıştır. Deneysel çalışmalar mermer toz atıklarının kalsitin yerine kullanılabilirliğini araştırmak amacıyla yapılmıştır.

Usta ve Çelikaslan (2002), tarafından yapılan çalışmada Eskişehir meşelik killерinin mermer tozuyla iyileştirilmesi üzerinde durmuşlardır. Yapılan bu çalışmada zemin stabilizasyon yöntemleri, şişen zemin özellikleri ve belli oranlarda mermer tozu katılarak zeminlerin şişme potansiyeline etkisi ortaya konmuştur. Sonuç olarak %1 - 3 ve 5 mermer tozu katkılı numunelerde şişme yüzdelerinde azalma gözlenmiştir. %5 'ten daha fazla katkılarda şişme miktarlarında yeniden artış olmuştur.

Zorluer ve Usta (2003), yaptıkları çalışmada şişen zeminlerin atık mermer tozu ile iyileştirilmesi konusunda Eskişehir meşelik killерini kullanmışlar ve mermer tozu Afyon'daki bazı tesislerden elde edilmiştir. Belli oranlarda (%0- 1- 3- 5 ve 7) mermer tozu katılarak zemin üzerinde mermer tozunun şişme potansiyeline etkisi ortaya

ıkarılmıştır. Yapılan bu çalışmada mermer tozu katkısının şişme potansiyelini etkilediği ve katkı miktarının etkili olduğu oranın %5 olduğu görülmüştür.

Zorluer ve diğerleri (2006), Yaptıkları alışmada Atık mermer tozunun geçirimsiz kil tabakalarda donma-çözünmeye etkisini incelemişlerdir. Bu alışmada Atık depolama tabakalarında kullanılan afyon mermer tozlarının donma ve çözülme özelliğine karşı etkisi araştırılmıştır. Kil tabakası olarak %10 bentonit + %90 Kaolin karışımı kullanılmıştır. Bu kil karışımı üzerine %5, %10 ve %15 mermer tozu ilave edilmiştir. Alınan sonuçlara göre %10 ve %15 mermer tozu ilave edilen karışımın kayıp miktarında sırasıyla %13,5 ve %12,5 azalma görülmüştür. Sonuç olarak, geçirimsiz kil tabakalarda çevresel şartlara karşı %10 ve %15 mermer tozu ilavesi mukavemeti arttırmaktadır.

Taşpolat (2006), yaptığı “Afyon mermer tozlarının ve şırnak asfaltitlerinin atık depolama alanları tabakalarında kullanılması” isimli yaptığı tez çalışmasında, geçirimsiz kil tabakası olarak %10 bentonit + %90 Kaolin karışımı kullanılmıştır. Bu kil karışımı üzerine %5, %10 ve %15 mermer tozu ilave edilmiştir. Hazırlanan her bir karışım üzerinde geoteknik tanımlama deneyleri ve kimyasal deneyler uygulanmıştır. Deneylerdeki sonuçlar, literatür ve katı atık yönetmeliği ile karşılaştırılmış ve her iki malzemenin de geçirimsiz tabakalarda kullanılabileceğine karar verilmiştir.

Demir ve Başpınar (2003), yaptıkları çalışmada atık mermer tozlarının hafif yapı blokları üretiminde kullanılması araştırılmıştır. Çalışmada ana hammadde olarak havuz çökeltisi mermer tozu ve katkı olarak genleştirilmiş perlit kullanılmıştır. Perlit katkı ürünün birim hacim ağırlığını azaltmak ve gözenek oluşturmak amacıyla ağırlıkça %2,5-5 arasında mermer tozuna katılmıştır. Deney rnekleri üzerinde fiziksel ve kimyasal testler uygulanarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Sonuç olarak kendi grubuna giren hafif beton duvar malzemeleri ile karşılaştırıldığında ekonomik şartlarda ve yeterli mekanik özellikleri sağlayan hafif duvar elemanı retilabileceği belirlenmiştir.

Ünal ve Kibici (2001), yaptıkları çalışmada mermer tozu atıklarının beton üretiminde kullanılmasını araştırmışlardır. Çalışmada atık malzemelerin inşaat sektöründe değerlendirilmesi amacıyla deneysel bir çalışma yapılmış, üretilen beton karışımlarında ince malzeme olarak kumun yanında hacim olarak % 0-10-15-20 oranlarında mermer tozu katılmıştır. Maksimum agrega tane çapı 16 mm ve su/çimento oranı 0,65 olarak seçilen karışımlarda çimento dozajı 300 kg ve 350 kg kullanılmak üzere çeşitli betonlar üretilmiştir. Mermer tozu katkılı beton numuneler üzerinde basınç, ultra ses hızı ve su emme deneyleri yapılmıştır. Sonuçlar normal beton değerleriyle karşılaştırıldığında, mermer tozunun belli oranlarda karışıma katılması beton özelliklerine olumlu bir etki yaptığı gözlenmiştir.

Yıldız ve diğerleri (2008), yaptıkları çalışmada mermer atık çamurunun zemin stabilizasyon malzemesi olarak değerlendirilebilmesi için yol inşaatında teknik açıdan uygulanabilirliği incelenmiştir. Analiz için toprak numuneleri, Antalya, Burdur, Isparta ve Afyon il sınırları içerisinde bulunan yol güzergahından ve atık çamurları aynı gölgedeki mermer işletmelerinden toplanmıştır. Deney numuneleri, toprak örnekleri içerisinde %0-40 arasında değişen oranlarda doğal taş toz atıklarının çamur halinde ilavesi ile hazırlanmıştır. Yapılan analizler sonucunda; endüstride uygulanan işlemler nedeniyle kısmi kireç özelliği gösteren atıkların, yol zemini inşaatında kullanılan toprak malzemeleri önemli derecede iyileştirdiği gözlenmiştir.

3. GENEL BİLGİLER

Deneysel çalışmada kullanılan killi zeminlerin içerisinde bulunan farklı minerallere ait özelliklerin ve mermer tozu atıklarının killer üzerindeki etkilerinin daha iyi anlaşılabilmesi için bu bölümde killerle ve mermer tozu ile ilgili genel bilgiler bu bölümde verilmiştir.

3.1. Kilin Tanımı ve Önemi

Zemin mekaniğinde zeminler kaba taneli ve ince taneli olmak üzere iki grup altında incelenmektedir. Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemine (USCS) göre 75µm tane çapı sınırı kaba ve ince taneli zeminlerin sınırı olup, 200 Nolu (75µm) eleğin altına geçen kısım ince taneli zeminler olarak adlandırılmaktadır. İnce taneli zeminler ise; kil ve silt birimlerinden oluşmaktadır.

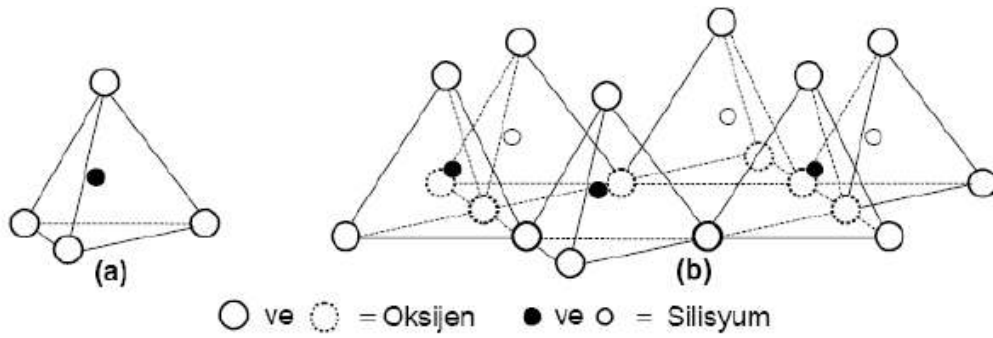
Bilimsel tarifiyle kil, hidratlı alüminyum ve magnezyum silikatlardan oluşan doğal bir ikincil mineraldir. Dane boyutu 2 mikron metre veya daha küçük olan kil mineralleri elektriksel kuvvetler dolayısıyla su ile olan etkileşimi sonucu geoteknik mühendisliği uygulamalarında diğer mineraller türlerine göre daha fazla önem arz etmektedir. Kil su ile karıştırıldığında hamur halinde şekil verebilecek kadar plastisiteye sahipken, pişirildiğinde büyük dayanım gösterebilen bir katıya dönüşür.

Killer sadece geoteknik mühendisinin ilgilendiği bir ortam olmayıp mühendislik yapılarında, tıpta, seramik endüstrisinde ve tarım alanlarında da bir malzeme olarak karşımıza çıkar. Killer dolgu barajlarda ve atık depolarında geçirimsizliğin sağlanması, göletlerin su tutması için ve kazıldığında kendini tutamayan zeminlere pelteleşebilir bulamaç halinde etkin destek sağlamak amacıyla kullanılır. İri malzemeye küçük oranda

katıldığında bağlayıcılık görevi yapar. Ancak genelde kilin varlığı zemin ortamında önemli mühendislik sorunları yarattığından zemin ortamında istenmeyen bir malzemedir.

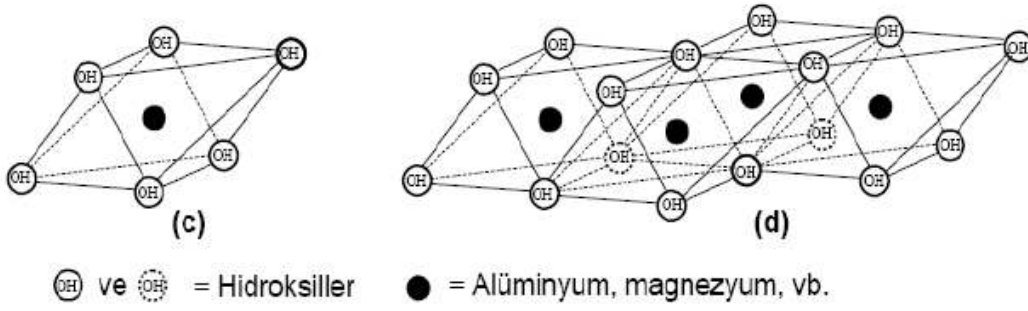
3.2. Kil Mineralleri ve Kristal Yapıları

Kil mineralleri, çok küçük boyutlu partiküllerden ibaret, kristalli minerallerdir. Pul veya çok küçük plaka şeklinde olan kil mineralleri, atomik yapıyı tekrarlayan birçok kristal yaprağından oluşurlar. Farklı tabaka yapıları içinde farklı metalik iyonlar (Mg, Ca, K, Na ve Fe) farklı kil mineralleri oluştururlar. Tüm kil mineralleri $2\mu\text{m}$ ' den küçük olmayıp aynı zamanda $2\mu\text{m}$ ' den küçük danelerin hepsi kil minerali değildir. Kil boyutlu daneler ve kil mineralleri farklı şeylerdir. Kil mineralleri tabakalardan meydana gelmektedirler. Kil minerallerini meydana getiren iki temel ünite Şekil 3.1.'de görüldüğü gibi dört düzlemli silis ünitesi (tetrahedron) ve Şekil 3.2.'de görüldüğü gibi sekiz düzlemli alüminyum ünitesidir (oktahedron) (Grim 1968).



Şekil 3.1 Kil minerallerini oluşturan silis ünitesi (tetrahedron) (Grim 1968).

a)Tetrahedron b)Tetrahedral tabaka



Şekil 3.2 Kil minerallerini oluşturan alüminyum ünitesi (oktahedran) (Grim 1959).

c)Oktahedran d)Oktahedral tabaka

Kil minerallerinin çoğunluğunda silis dört ayaklıları yan yana gelerek tabakalı bir yapı oluştururlar. Silis ünitesi bir silisyum atomunun çevresinin dört adet oksijen atomu ile çevrilmesiyle oluşmuştur (Lambe and Whitman, 1979). Bu yapı bir tetrahedral yapı olmaktadır. Oksijenler arası mesafe aynı olup $2,55 \text{ Å}$ ve tüm tabaka kalınlığı $4,63 \text{ Å}$ dır. Her tetrahedral yapının tabanındaki oksijen atomları diğer tabakalardakilerle bağlanarak taban düzleminde uçları aynı yöne bakan altıgen bir ağ meydana getirirler. Bu yapı sınırsız olarak tekrarlanabilir.

Sekiz düzlemlı alüminyum ünitesi, alüminyum veya magnezyum atomlarından birinin çevresinin altı tane oksijen atomu veya hidroksil iyonu ile çevrilmesiyle olmuştur. Oksijenler arası mesafe $2,6 \text{ Å}$, hidroksiller arası mesafe $2,94 \text{ Å}$ ve tüm tabaka kalınlığı $5,05 \text{ Å}$ dur. Bazı durumlarda Al ve Mg yerine iki değerlikli demir, mangan, nikel; üç değerlikli demir, krom veya dört değerlikli titan iyonları bulunabilir. Eğer katyon üç değerlikli ise mevcut boşlukların yalnızca üçte ikisi doldurulur ve yapı dioktahedral olarak isimlendirilir. Eğer kristal kafesi içindeki katyon iki değerlikli ise katyonlar tüm boşlukları doldurur ve yapı trioktahedral olarak isimlendirilir (Mitchell 1993). Eğer alüminyum iyonu kafes içinde bulunursa $\text{Al}_2(\text{OH})_6$ birleşimi söz konusudur ve kilde gibsit tabakası (G) şeklinde bilinen özel yapı oluşur. Eğer kafes içinde magnezyum bulunursa $\text{Mg}_3(\text{OH})_6$ birleşimi söz konusu olup brusit tabakası (B) oluşur (Yong and Warkentin 1975). Silikat, gibsit ve brusit tabakalarının çeşitli şekillerde farklı bağlarla

meydana getirdikleri daha büyük oluşumlar değişik kil mineralleri oluştururlar. Killerin sınıflandırılmasında esas alınan özellikler;

- a) Bir hücre veya tabakanın kalınlığı,
- b) Tabakanın di veya trioktahedral özelliği ve iyon içeriği,
- c) Tabakaların dizilişi ve diziliş düzenidir.

Konta (1995), ana yapısal tabaka yapraklarının miktarı ve oranına, oktahedronlar ve tetrahedronlardaki bir diğerinin yerini alan katyonların bulunmasına ve tabaka yükü durumlarına göre kristal haldeki kil minerallerini yedi grup altında sınıflandırmıştır (Çizelge 3.1).

Burada, temel olarak belirli bir katyonu içeren tetrahedral ve oktahedral levhaların değişik şekilde bir araya gelmeleriyle meydana gelmiş olan ve doğada yaygın olarak bulunan kil mineralleri kısaca açıklanmıştır.

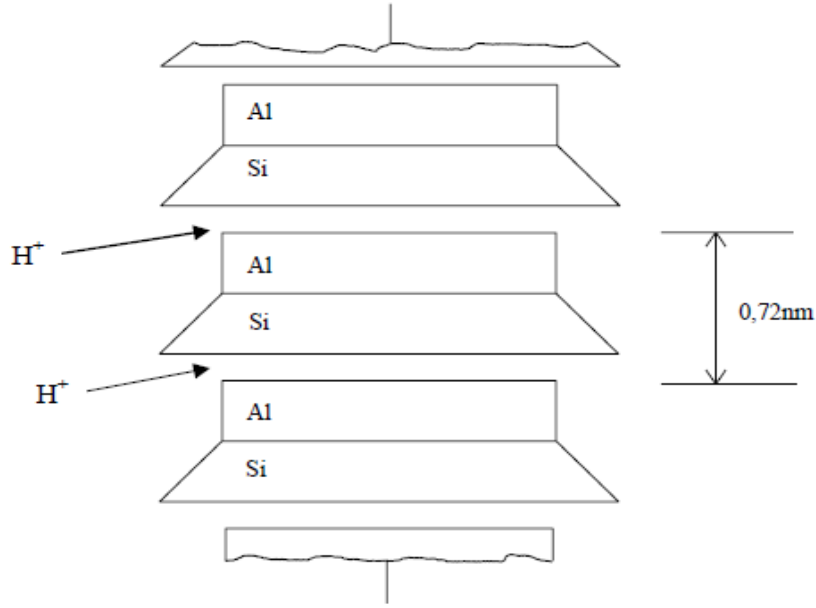
Çizelge 3.1 Kil minerallerinin sınıflandırılması (Konta 1995).

Grup İsmi	Mineraloji	İdeal Formülü
Kaolinit, Serpantinit	Kaolinit Halloysit	$Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8$ $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$
Mika	İllit	$K_{<2}Al_3[(Si_{>6}Al_{<2})O_{20}](OH)_4nH_2O$
Vermikülit	Trioktahedral vermikülit	$(Mg,Fe^{2+})[Si_{>Al}_8O_{20}](OH)_4nH_2O$
Simektit	Montmorillonit	$M^{+}_{x+y}(Al,Fe^{2+})_{4-y}[(Si_{8-x}Al_x)O_{20}](OH)_4NH_2O$
	Beidellit	$M_xAl_4[(Si_{8-x}Al_x)O_{20}](OH)_4nH_2O$
	Notronit	$M_xFe^{3+}_{4-y}[(Si_{8-x}Al_x)O_{20}](OH)_4NH_2O$
	Saponit	$(M^+_xMg_6)[(Si_{8-x}Al_x)O_{20}](OH)_4nH_2O$
Profillit ve Talk	Profillit	$Al_4[Si_8O_{20}](OH)_4$
	Talk	$Mg_6[Si_8O_{20}](OH)_4$
Klorit	Donbassit	$Al_4[Si_8O_{20}](OH)_4Al_4(OH)_{12}$
Paligorskit, Sepiyolit	Paligorskit	$Mg_5[Si_8O_{20}](OH)_2(OH_2)_4H_2O$
	Sepiyolit	$Mg_8[Si_{12}O_{30}](OH)_4(OH_2)_4nH_2O$

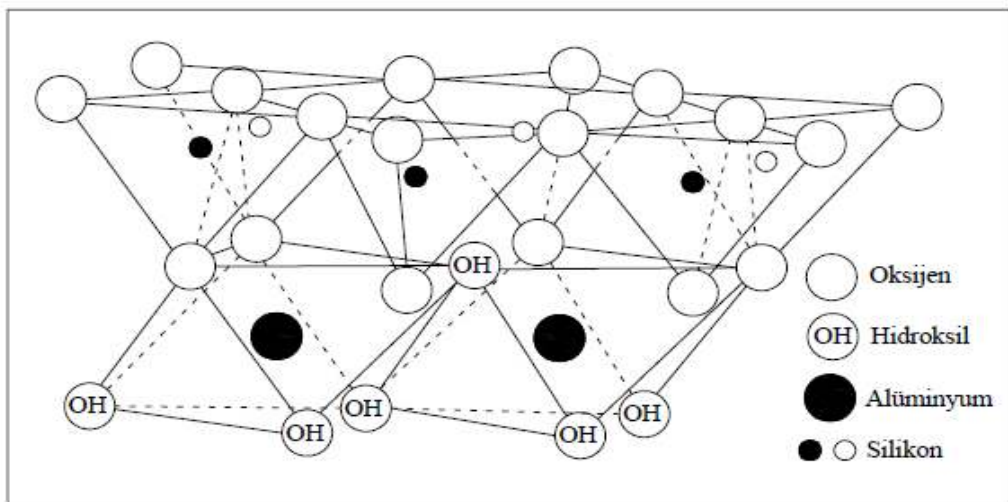
3.2.1. Kaolinit

Kaolinit mineralleri, 1:1 silis: alüminyum minerali olarak adlandırılır. Temel olarak bir tetrahedral (silis) ve bir oktahedral (alüminyum veya gibsit) levhasının tekrarlanan katmanlarından oluşmuştur. Bir katmanın iki levhanın birer tanesinden meydana gelmiş olmasından dolayı kaolinit 1:1 kil minerali şeklini alır. Bir katmanın yaklaşık olarak 0,72 nm olup uzanımı diğer iki yönde devam etmektedir. Kaolinit yapısının şematik diyagramı ve atomik yapısı Şekil 3.3. ve Şekil 3.4.'de verilmiştir. Birbirini izleyen bu temel katmanlar oktahedral levhanın hidroksilleri ile tetrahedral levhanın oksijenleri arasındaki hidrojen bağı ile bir arada tutulurlar. Hidrojen bağı çok güçlü bir bağ olduğundan hidrasyonu önler ve katmanları bir araya gelerek büyük bir kristal oluşturmasını sağlar. Tipik bir kaolin kristalinde 70 ile 100 arasında katman bulunmaktadır (Holtz ve Kovacs 1981).

Tabakalar arasında bulunan güçlü hidrojen bağından dolayı kaolinit şişen bir kil değildir. Bu kuvvetli bağlanma tabakalar arasına su adsorpsiyonunu sınırlamaktadır. Kaolinitin katyon değişirme kapasitesi (KDK)=3-15 meq/100 gr değerleri arasında olup, yanal boyutları 0,1-4 µm arasında ve tabaka kalınlığı 0,05-2 µm arasındadır. Kuru kil için spesifik yüzey alanı 10-20 m²/gr'dır. (Mitchell 1993).



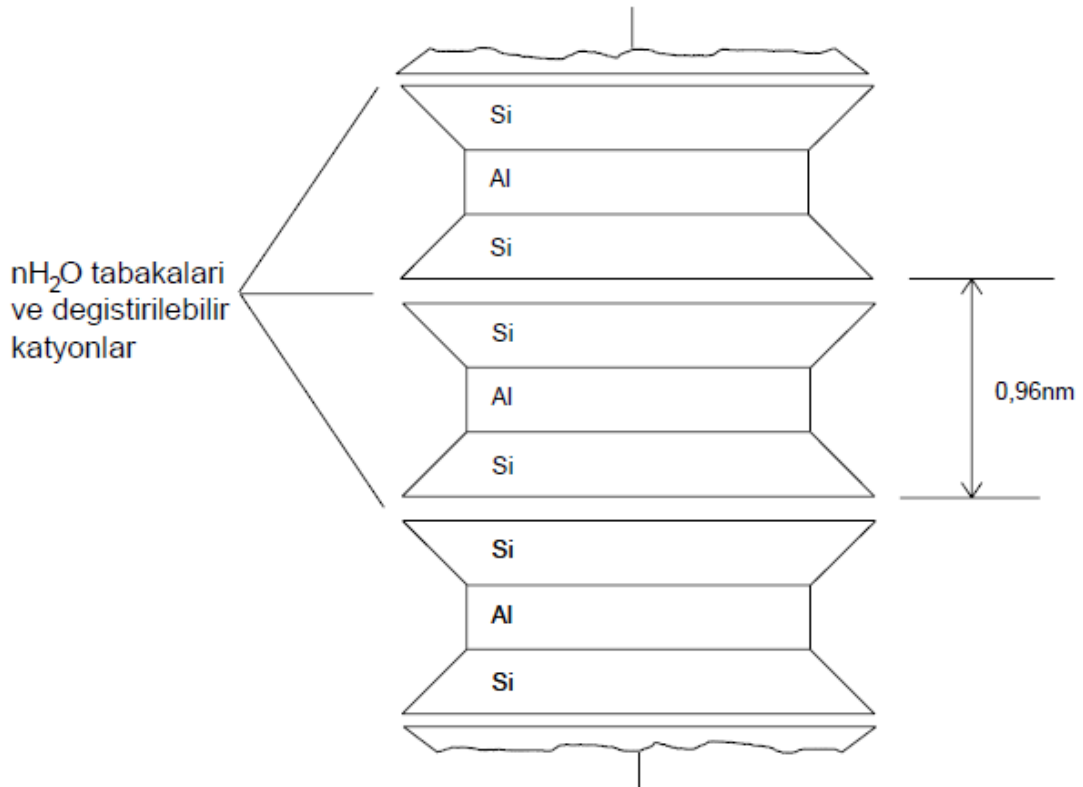
Şekil 3.3 Kaolinitin yapısının şematik gösterimi (Lambe 1953).



Şekil 3.4 Kaolinitin atomik yapısı (Mitchell 1993).

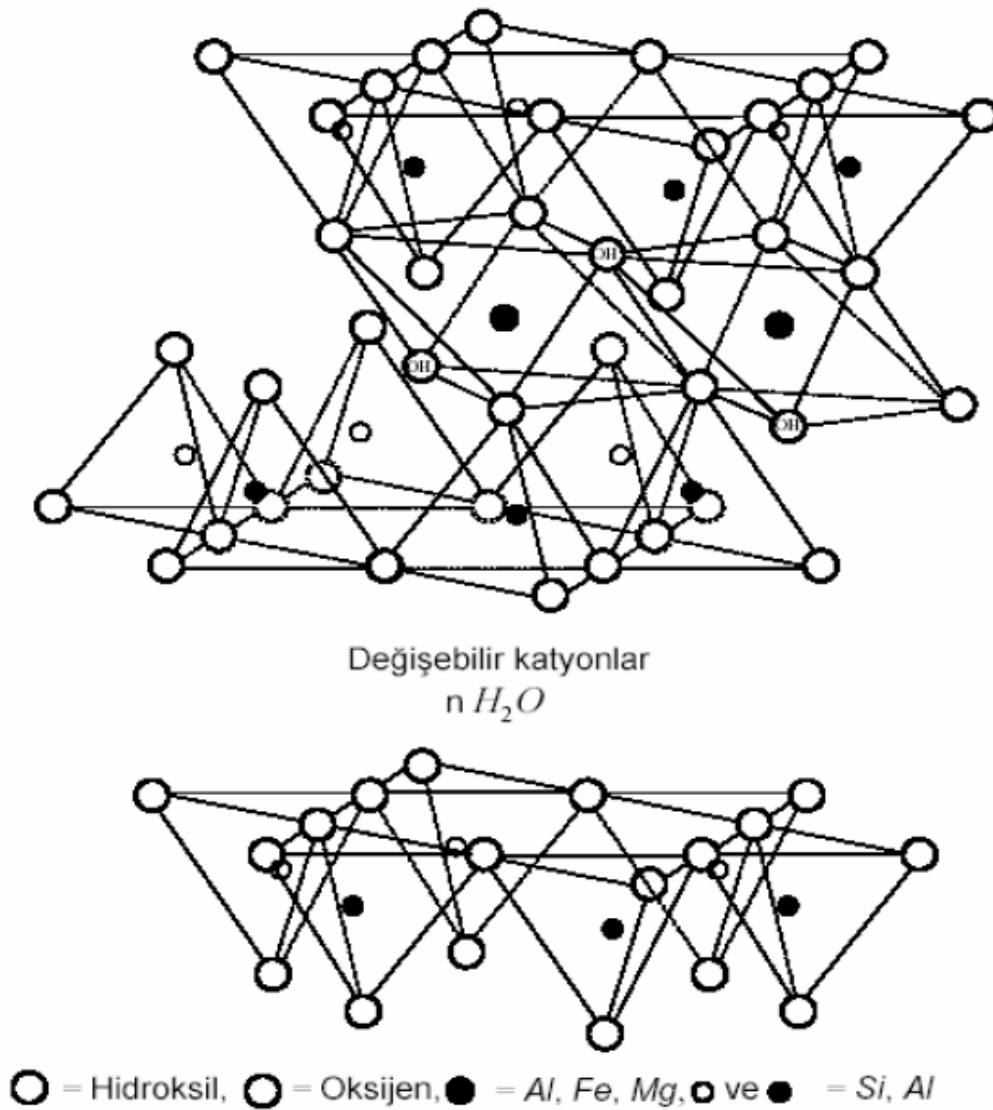
3.2.2. Montmorillonit

Montmorillonit bir 2:1 tabakalı mineral olup, oktahedral levhası iki silika levhası arasına gelerek bir katman oluşturmaktadır. Burada silika levhasındaki tetrahedronların uçları oktahedral levhanın hidroksilleri ile birleşmektedir. 2:1 katmanının yaklaşık olarak kalınlığı 0,96 nm olup kaolinitte olduğu gibi diğer iki yöndeki uzanımı belirsizdir. Montmorillonitin şematik diyagramı ve atomik yapısı Şekil 3.5. ve Şekil 3.6.'da verilmiştir. Tabakalar Van der Waals kuvvetleri tarafından bağlanmaktadır. Silis levhalarının tepesini bağlayan Van der Waals kuvvetlerinin zayıf olması ve oktahedral levhada da net bir negatif yük boşluğu olmasından dolayı, su, organik sıvılar ve değişebilir iyonlar katmanlar arasına girerek bunları ayırabilmektedir.



Şekil 3.5 Montmorillonit yapısının şematik diyagramı (Lambe 1953).

Bu nedenle montmorillonit çok küçük olsa da, aynı zamanda çok yüksek bir su çekim gücüne sahiptir ve yüksek plastisiteli bir kildir. Bu özelliğinden dolayı montmorillonit içeren zeminler özellikle artan su içeriklerinde şişmeye karşı son derece duyarlı olup gelişen şişme basınca hafif yapılara ve yol kaplamalarına zarar verebilmektedir. Montmorillonitin katyon değişme kapasitesi (KDK) yüksek olup 80-150 meq/100 gr'dır. Tabaka kalınlığı 10 Å'dan genişliğinin 1/100 ' üne kadar çıkabilir. Uzun aks boyunca boyutları genellikle 1-2 µm' den azdır ve spesifik yüzey alını 50-800 m²/gr'dır (Mitchell 1993).

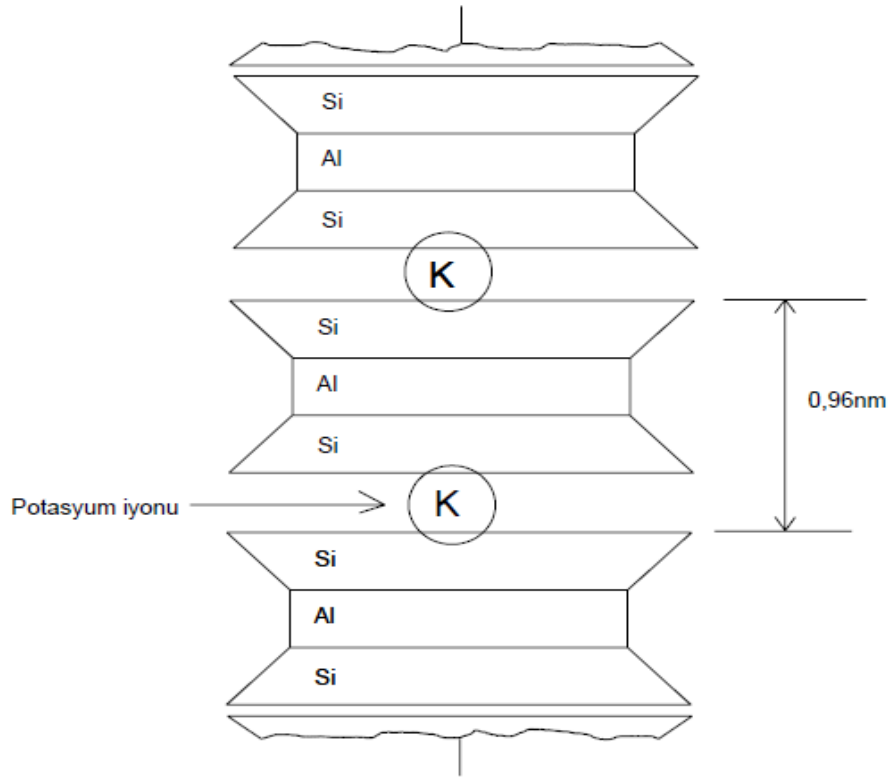


Şekil 3.6 Montmorillonitin atomik yapısı (Grim 1959).

3.2.3. İllit

İllit, montmorillonit gibi bir 2:1 tabakalı mineral olup, Illinois Üniversitesi profesörlerinden R.E. Grim tarafından keşfedilmiştir. Killi zeminlerde bol miktarda bulunan illitin katmanları arasında bağ potasyum iyonu ile sağlanmaktadır. Silis levhasında altıgen boşluğunun çapı tam tamına bir potasyum iyonu sığacak kadar olup buraya yerleşen potasyum iyonları (K^+) katmanları kuvvetli bir şekilde bir arada tutmaktadır. Ayrıca silika levhasındaki silisyumun alüminyum ile izomorf yer değiştirmesi de söz konusudur. İllitin tabaka kalınlığı 0,96 nm olup (Şekil 3.7), illit minerali kaolin ve montmorillonit arasında bir davranış ortaya koymaktadır.

İllitin kristal yapısı mika minerallerine benzese de daha az potasyum ve daha az izomorf yer değiştirme söz konusudur. Bu nedenle kimyasal olarak diğer mikalardan çok daha aktiftirler (Holtz ve Kovacs 1981).



Şekil 3.7 İllitin şematik diyagramı (Lambe 1953).

İllitin katyon değiştirme kapasitesi (KDK) simektitlerden daha az olup 10-40 meq/100 gr'dır. Uzun eksen boyunca boyutları 0.1 μm 'den birkaç mikrometreye kadar değişmekte olup tabaka kalınlığı 30 Å⁰ dolayındadır. İllitin spesifik yüzey alanı 65-100 m²/gr arasındadır (Mitchell 1993).

3.2.4. Sepiyolit

Sepiyolit-paligorskit grubuna ait, magnezyum hidrosilikatten ibaret doğal bir kil mineralidir. Tetrahedral ve oktahedral oksit tabakalarının istiflenmesi sonucu oluşan lifsi bir yapısı vardır ve lif boyunca devam eden kanal boşluklarına sahiptir (Vicente Rodriguez ve ark. 1994).

Sepiyolitın katyon değişim kapasitesi (KDK) ile ilgili literatür verileri oldukça değişkendir:

- Grim(1968)	3-15 meq/100 gr
- Otsuka ve ark. (1973)	31,6 meq/100 gr
- Galan (1979)	26,0 meq/100 gr
- Caillere ve ark. (1982)	20-30 meq/100 gr

Sedimanter tabakalar halinde çökelen sepiyolitler, genellikle toprağımsı, ince taneli ve kaygan görünümlüdür. Bu tip sepiyolitlerde, sepiyolit minerali, bileşimde %90'ı aşan oranlarda bulunur ve buna eşlik eden mineraller de; genelde dolomit ve simektit grubu killeri ile manyezit, paligorskit ve detritik minerallerdir. Dolomitli sepiyolitler çoğunlukla %50 ve daha fazla oranlarda sepiyolit içerirler.

Sepiyolit kendine has yapısı itibariyle son derece yüksek bir sorpsiyon özelliğine sahiptir ve kendi ağırlığının 200-250 katı kadar su tutabilir. Zeolitik su, yapısal zincirlerin kenarlarında magnezyum iyonlarına koordine olmuş su molekülleri ile hidrojen bağları oluşturur. Koordinasyon ve zeolitik su molekülleri, yüksek polariteli küçük moleküller ile yer değiştirebilir. Örneğin; kısa zincirli primer alkoller, kanalların içine yayılarak zeolitik su moleküllerinin ve hatta koordinasyon suyu moleküllerinin yerini alabilirler. Daha fazla zincir uzunluğuna sahip alkollerde ise sadece dış yüzeylerdeki açık kanallarda zeolitik su ile ve koordinasyon suyu molekülleri ile yer değiştirebilirler. Yine katyonik reaktifler grubuna giren uzun hidrokarbon zincirine sahip amin türü organik maddelerle yapılan adsorpsiyon çalışmaları, amin moleküllerinin sadece sepiyolit dış yüzeylerinde tutunmayıp aynı zamanda kanal boşluklarına da yerleştiğini ve adsorpsiyon olayının, primer aminlerde, amin moleküllerinin oktahedral tabakada yer alan bağl ve zeolitik su molekülleri arasında hidrojen bağı oluşturarak (Sabah ve ark. 1997), kuvarterner aminlerde ise Mg^{+2} iyonu ile amonyum arasındaki iyon değiştirmeden ve Van der Walls güdümlü zincir-zincir etkileşimlerinden kaynaklandığını göstermiştir (Sabah ve Çelik 1998; Kara ve ark. 1998).

Sepiyolit, genellikle su ve amonyum gibi polar moleküller ile polar olmayan bileşikler ve nispeten daha az miktarda metil ve etil alkollerini adsorplayabilmektedir. Ancak polar olmayan bileşiklerin adsorpsiyonu dış yüzeylerle sınırlı olup tutulan molekülün boyutuna ve şekline bağlıdır.

Sepiyolitın spesifik yüzey alanı, yaklaşık olarak 800-900 m²/gr'dır. Teorik olarak bunun 400 m²/gr'ı dış yüzey, 500 m²/gr'ı da iç yüzey alanıdır (Alvarez 1984; Serna ve Van Scoyoc 1978).

Elektron mikroskopunda yapılan incelemelerde, sepiyolitın iğne şeklindeki partiküllerinin aglomera yapıda olduğu ve bunların çalı-ot yığınlarına benzer geniş lif

kümeleri oluşturduğu gözlemlenmiştir. Bu lif yığınları, suda veya yüksek-düşük polariteli diğer çözücülerde kolayca dağılarak sıvıyı bünyelerine hapseder ve bu yolla süspansiyonun viskozitesini arttırırlar (Alvarez 1984).

3.3. Kıl Minerallerinin Özellikleri

3.3.1. Spesifik (Özgül) Yüzey Alanı

İnce daneli zeminler yüzeyindeki elektriksel ve kapiler kuvvetlerinin etkisindedir. Özgül yüzey alanı arttıkça, bu elektriksel ve kapiler kuvvet artmakta ve bu kuvvetler ince daneli zeminlerin mühendislik davranışlarını çok güçlü bir şekilde etkilemektedirler. Özgül yüzey alanı (ÖYA) birim ağırlıktaki zeminin yüzey alanı olarak tanımlamakta ve genellikle m^2/gr cinsinden ifade edilmektedir. Zemin davranışının yüzeysel kuvvetlerin etkisinde olabilmesi için sınır özgül yüzey alanı değeri $1 \text{ m}^2/\text{gr}$ olarak kabul edilmektedir. (Santamarina ve ark. 2002).

Spesifik yüzey alanı kilin türüne, mineralojisine, organik kompozisyonuna ve tane boyutuna bağlı olarak büyük farklılıklar göstermektedir. Yüzey alanı zemin danelerinin boyutuyla ters orantılıdır. Kıl daneleri genellikle 2 mikrondan daha küçük boyuttadır. Kaolinit, çapı 0,3 ile 4 μm kalınlığı 0,05 ile 2 μm arasında değişen tanelere sahiptir. Monmorillonit daneleri ise yaklaşık 0,003 μm kalınlığında 0,1 ile 1 μm aralığında değişen çapta çok ince plakalardır. Örneğin monmorillonit gibi şişme özelliği yüksek olan killerin spesifik yüzey alanı $850 \text{ m}^2/\text{gr}$ 'a kadar çıkabilmekte, bunun yanında şişme özelliği olmayan kaolinit gibi killerin spesifik yüzey alanı genellikle $10\text{-}40 \text{ m}^2/\text{gr}$ arasında değişmektedir. Başlıca kil minerallerinin özgül yüzey alanı Çizelge 3.2.'de gösterilmektedir.

İnce taneli zeminlerin mühendislik parametreleri ile yüzey alanları arasında güçlü bir ilişki bulunmaktadır. Farklı yüzey alanına sahip zeminler farklı mühendislik davranışları göstermekte ve mühendislik parametreleri de değişik olmaktadır. Spesifik yüzey alanı tayini için farklı metotlar mevcuttur. Bu metotların çoğu uzun zaman almakta ve yapılabilmesi için her laboratuarda bulunmayacak özellikte pahalı ve donanımlı aletlere ihtiyaç duyulmaktadır. Spesifik yüzey alanı belirlemede yaygın olarak kullanılan yöntemler; azot adsorpsiyonu (BET-N₂), metilen mavisi (MM) ve etilen glikol monoetil (EGME) metotlarıdır.

Çizelge 3.2 İnce taneli zeminlerin başlıca kil minerali bileşenlerinin spesifik yüzey alanları (Mitchell 1993).

Kil Minerali	Mineral Yapısı	Dış ÖYA (m ² /gr)	İç ÖYA (m ² /gr)
Halloysit	1:1	10-20	-
Kaolinit	1:1	35-70	-
Simektit (Montmorillonit)	2:1	50-120	700-850
İllit	2:1	65-100	-
Vermikülit	2:1	40-80	800-900
Klorit	2:1:1	10-40	-

3.3.2. Katyon Değişirme Kapasitesi (KDK)

İzomorf yer değiştirmeler başta olmak üzere, hidroksil iyonlarının kil yüzeyinden ayrılması, kristal kafesinde katyon eksikliği, yüzeye sonradan bağlanmış anyonlar ve organik molekül içeriği elektriksel yük dengesizliğine neden olmaktadır. Bu dengesizliğin sonucu, kilin su ortamdaki katyonlara aşırı isteği göstermesidir. Yük dengesizliğini gidermek için gerekli katyon miktarına kilin katyon değişirme kapasitesi

(KDK) denir ve 100 gr kuru kilde mili-eşdeğer türünden ifade edilir. Katyonlar yalnızca kristallerin dış ve iç yüzeylerine zayıf olarak bağlanmışlarsa değiştirebilirler.

Kasyon değiştirme kapasitesini belirlemek için farklı metotlar mevcuttur. Bu metotlar amonyum asetat metodu, strontium klorid metodu, kararsız yükler ve sürekli yükler metotlarıdır. Bütün metotlar standardı sağlayabilmek için pH=7 ortamında gerçekleştirebilmektedir. Karşımıza çıkan tipik kil mineral türleri için hesaplanan kasyon değiştirme kapasitesi değerleri (KDK) Çizelge 3.3.'de verilmiştir.

Çizelge 3.3 Tipik kil minerallerinin pH=7'de belirlenmiş KDK değerleri (Çokça 1993 ve Breck 1974).

Kil Mineralleri	KDK (meq/100gr)
Montmorillonit (Simektit)	80-150
Vermikülit	100-150
Zeolit	170-200
Sepiyolit-Attapulgit	20-30
Halloysit.2.H ₂ O	5-10
Halloysit.4H ₂ O	10-15
İllit	25-40
Klorit	10-40
Kaolinit	3-15

3.3.3. Kil Minerallerinin Boyutları

Kil minerallerinin spesifik yüzey alanı değerleriyle de bağlantılı olan mineraller boyutları, killerin dış çevreyle olan ilişkileri ve davranış özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. En büyük kil minerali olan kaolinitin kalınlığı veya kenar boyutu 1 µm

olup en küçük kil minerali olan montmorillonitin kalınlığı sadece birkaç nanometredir. Yaygın olarak bulunan dört kil mineralinin göreceli boyutları ve spesifik yüzey alanları Çizelge 3.4’te verilmektedir.

Çizelge 3.4 Yaygın kil minerallerinin göreceli boyutları, kalınlıkları ve spesifik yüzey alanları (Yong ve Warkentin 1975).

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

3.3.4. Kil Minerallerinin Aktiviteleri

Aktivite bir kilin plastisite indisinin, içerdiği kilin yüzdesine oranıdır (Eşitlik 3.1). Plastisite indisi ve kil yüzdesi arasında doğrusal bir bağıntı olduğu varsayımından çıkarak tanımlanan bu formülde A_C kilin aktivitesi, I_P plastisite indisi ve %C kil yüzdesidir. Aktivite ile kil mineralinin türü arasında oldukça iyi bir korelasyon vardır ve Çizelge 3.5.’de değişik kil minerallerinin aktiviteleri görülmektedir. Kil mineralinin aktivitesi dane boyutuna bağımlı olup Çizelge 3.5. ve Çizelge 3.4. ilişkilendirilirse bu daha net görülebilir. Kilin aktivitesi 1,25’ten büyükse kil aktif, 0,75 ile 1,25 arasında ise

normal aktif; 0,75'ten küçükse aktif olmayan kil olarak sınıflandırılır ve A_c büyüdükçe zeminin daha problemlili olacağı kabul edilir.

$$A_{c=\frac{Ip}{\%c}} \quad (3.1)$$

Çizelge 3.5 Değişik kil minerallerinin aktiviteleri (Skempton 1953 ve Mitchell 1976).

Mineral	Aktivite
Na-montmorillonit	4-7
Ca-montmorillonit	1.5
İllit	0,5-1,3
Kaolinit	0,3-0,5
Halloysit (Susuz)	0,5
Halloysit (Sulu)	0,1
Attapulgit	0,5-1,2
Allofan	0,5-1,2
Mika (Muskovit)	0,2
Kalsit	0,2
Kuvars	0

3.4. Killerin Mühendislik Davranışını Etkileyen Faktörler

3.4.1. Kil-Su Etkileşimi

Aralarındaki uzaklığa bağlı olarak, iki cisim arasında karşılıklı itme ve çekme kuvvetlerinin varlığı fiziğin temel kavramlarından biridir. Aynı kavramlar doğal olarak killer içinde geçerlidir. Ancak killerin yüzey alanı boyutu kütesine oranla öylesine büyüktür ki insanın günlük yaşamında cisimler arasında varlığını fark edemediği bu kuvvetler kil boyutuna inildiğinde, özellikle kilin su ortamında bulunması durumunda, dengeyi tümüyle etkileyebilmektedir. Su içinde bulunan ve özgül ağırlığı suyunkinin üç katına varan kil ve kolloidlerin çok uzun süre dibe çökmeden yüzebilmeleri bu özelliğin basit bir göstergesidir. Kil mineralleri kimyasal yapılarından dolayı yüzeylerinde negatif, kenarlarında ise pozitif yük taşırlar. Daha büyük negatif yükler daha büyük spesifik yüzeylerden dolayı meydana gelmektedir. Yüzeydeki negatif yüklerin karşılığı ortalama yüzey yoğunluğu olup, Çizelge 3,6.'da bazı kil minerallerinin ortalama yüzey yük ağırlığı verilmiştir.

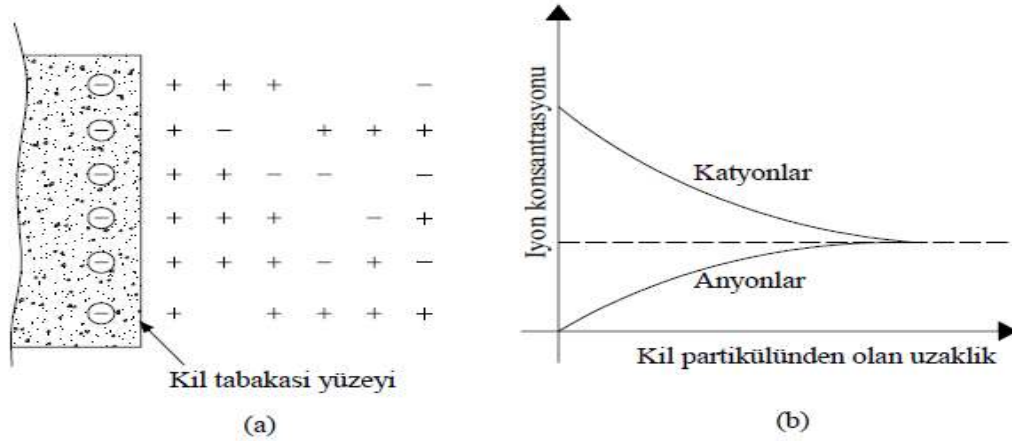
Çizelge 3.6 Ortalama yüzey yük yoğunlukları (Yong ve Warkentin 1975).

Kil Minerali	Ortalama Yüzey Yük Yoğunluğu (Å ² /elektron yükü)
Kaolinit	25
Mika	50
Montmorillonit	100
Vermikülit	75

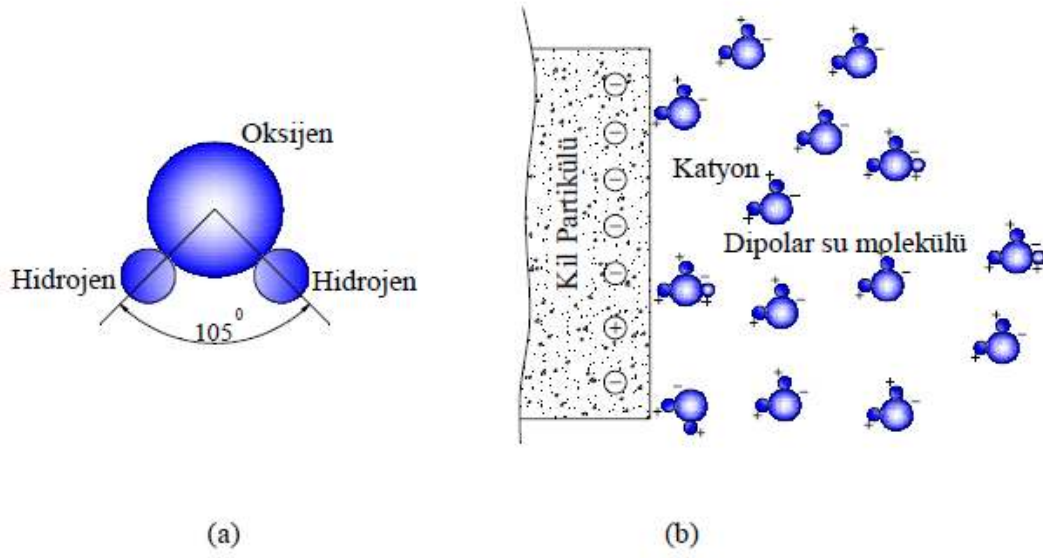
Kuru killerde negatif yük elektrostatik çekim kuvveti ile parçacıklar tarafından tutulan Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ ve K⁺ gibi değiştirilebilir katyonlar tarafından dengelenmektedir. Kile

bir miktar su eklendiğinde ise, bu katyonlar bir kaç tane anyon kil parçacıklarının etrafında yüzmektedirler. Kil zerrelere yüzeyindeki negatif yük tabakası ile katyonların meydana getirdiği pozitif yük tabakası birlikte diffüz çift tabaka diye adlandırılmaktadır (Şekil 3.8a). Katyon konsantrasyonu, kil parçacığının yüzeyine olan uzaklık arttıkça azalır, uzaklık azaldıkça artar (Şekil 3.8b).

Hidrojen atomları oksijen etrafında asimetrik olarak değil 105° bir açıyla bağlanmış durumda bulunmaktadır (Şekil 3.9a). Bunun sonucunda bir su molekülü bir yanında pozitif yük ve diğer yanında ise negatif yüke sahiptir. Bu durum dipol karakter olarak da tariflenir. Dipolar olan su molekülleri hem kil parçacıkları yüzeyindeki negatif hem de çift tabakadaki katyonlar tarafından çekilirler. Katyonlar zemin parçacıkları tarafından da çekilmektedir. Su tarafından oluşturulan üçüncü mekanizma ise kil parçacıklarının çekimiyle oluşturulan hidrojen bağıdır ki burada su içerisindeki hidrojen atomları kilin yüzeyinde bulunan oksijen atomları ile paylaşılır. Boşluk suyu içerisindeki kısmen hidratlı bazı katyonlar kil parçacıklarının yüzeyine çekilirler. Yine bu katyonlar çift kutuplu olan su moleküllerini çekerler (Şekil 3.9b).



Şekil 3.8 a) Diffüz çift tabaka b) Kil yüzeyinde katyon konsantrasyonu (Das 2002).



Şekil 3.9 a)Suyun dipolar karakteri b)Diffüz çift tabakada dipolar moleküllerin çekimi (Das 2002).

Su ile kil arasındaki çekim kuvveti kil parçacıkları yüzeyinden uzaklaştıkça azalır, yakınlıkla artar. Çekme kuvveti ile kil parçacıkları yüzeyinde tutulan tüm suya çift tabaka su adı verilir. Çift tabaka suyun en içteki tabakası kil tarafından daha sıkıca tutulur ki bu su tabakasına adsorbe su denir. Bu su serbest sudan daha viskoz bir yapıya sahiptir. Şekil 3.10 tipik bir montmorillonit ve kaolinit parçacığı üzerinde adsorbe ve çift tabaka suyunu göstermektedir. Kil parçacıkları çevresinde suyun durumunu kil zeminlerin plastiklik özelliklerini vermektedir.

Kil parçacıkları etrafında oluşan diffüz çift tabakanın kalınlığı Gouy-Chapman teorisine bağlı olarak ifade edilmektedir (Mitchell 1976).

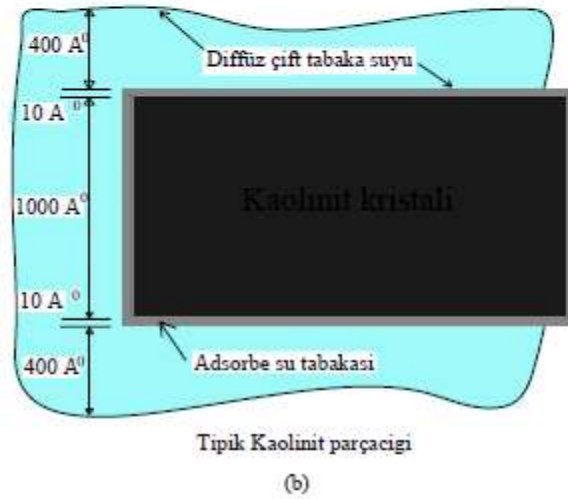
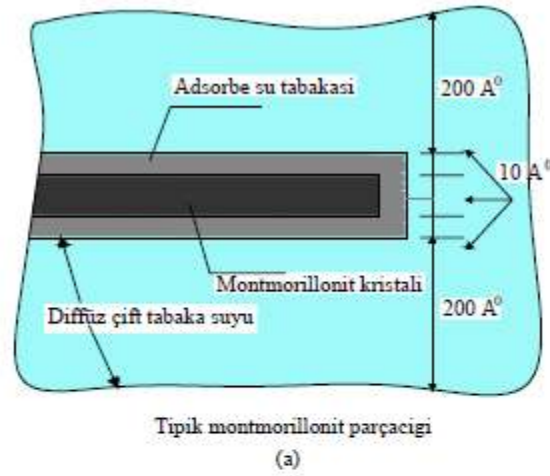
$$T_h = \sqrt{\frac{DKT}{8\pi n_0 \epsilon^2 v^2}} \quad (3.2)$$

Burada; T_h : Diffüz çift tabaka kalınlığı,

D :Dielektrik sabiti,

K :Boltzman sabiti,

T :Mutlak sıcaklık (Kelvin).



Şekil 3.10 Tipik bit montmorillonit ve kaolinit parçacığı üzerinde adsorbe su ve çift tabaka suyu (Lambe 1958).

n_0 : İyon konsantrasyonu,

$\mathcal{E}$: Birim elektrik yükü,

v : İyonun valansıdır.

Bu denkleme göre diffüz çift tabaka kalınlığı, iyonun valansı ve iyon konsantrasyonunun karekökü ile ters orantılıdır. Yine kalınlık, dielektrik sabiti ve sıcaklık ile doğru orantılıdır. Bu denklemin parametrik olarak incelenmesi şu sonuçları ortaya çıkarmaktadır (Mitchell 1976):

1. Kilin şişme davranışı kısmen çift tabaka içindeki elektrolit konsantrasyonuna bağlıdır.
2. Tek valanslı çift tabaka sistemine iki veya üç valanslı katyonların eklenmesi (az miktarda) fiziksel özellikleri önemli ölçüde etkileyebilmektedir.
3. Çift tabaka kalınlığı yumaklaşma eğilimini kontrol etmekte ve killerin şişme basıncını etkilemektedir
4. Çift tabaka kalınlığındaki bir azalma kilin büzülmesine yol açabilir. Bu, atık atılan sahalar için önem taşımaktadır, çünkü sızıntı sıvısının dielektrik sabiti suyunkinden farklı olacaktır.,
5. Isı değişiminin çift tabakaya yaptığı etkinin tahmin edilmesi zordur, çünkü dielektrik sabiti aynı zamanda sıcaklığda bağımlıdır. Su açısından 0°C ile 60°C arasındaki bir ısı değişikliği $D \times T$ değerinden fazla bir değişikliğe yol açmamaktadır; bu da bu aralıktaki sıcaklık değişikliğinin çift tabaka kalınlığını fazla etkilemeyeceğini göstermektedir.

Ancak Gouy-Chapman teorisi çift tabaka kalınlığı hesabında; ikincil enerji terimleri, elektrik alanı ve su yapısı gibi özellikleri göz önünde tutmamaktadır. Aynı zamanda kil zeminler farklı kil minerallerinden meydana gelmekte olup her bir kil minerali farklı çift tabaka kalınlıklarına sahiptir. Bu yüzden herhangi bir teori yardımıyla çift tabaka kalınlığını direkt olarak hesaplamak neredeyse imkansızdır. Çünkü mevcut fiziko-kimyasal teoriler yeterli değildir ve ayrıca zeminin dokusu ile diğer çevre etkilerinin göz önüne alınmasında zorluklar bulunmaktadır.

3.4.2. Kil Parçacıkları Arasındaki Kuvvetler ve Flokülasyon

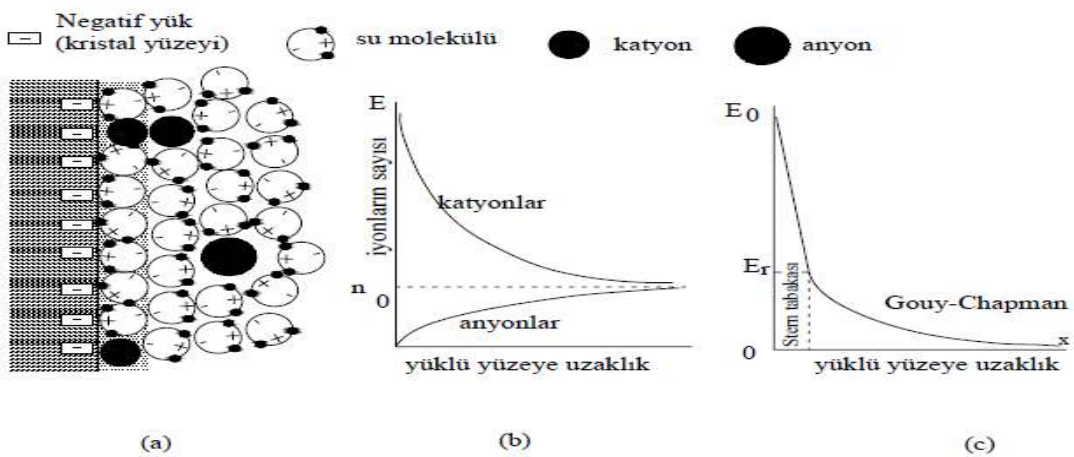
Kil minerallerinin birlikteliği ve adsorbladıkları su tabakası zemin yapısı için gerekli fiziksel temeli oluşturmaktadır. Münferit kil partikülleri adsorbladıkları su tabakası ile etkileşim halindedir. Killer suyun varlığında kimyasal değişiklere karşı oldukça hassastırlar. Örneğin, kil tanecikleri arasında bulunan boşluk sıvısı birleşiminin değişmesi killerin mikro yapısının değişmesi ve dolayısıyla mühendislik davranışının değişmesine yol açmaktadır.

Killer genellikle yassı ve levha şeklindedir. Killerin yüzeyi negatif yüklüdür ve bu negatif yüzeyler sistemindeki katyonlar tarafından nötrleştirilir. Bununla birlikte killerin çevresindeki değişikler killerin mikro yapısına direkt olarak etkilemektedir. Bu değişikler çevredeki şartlara bağlı olarak killerde meydana gelen yumaklanma ve dağılım olayıdır. Çevre şartlarına bağlı olarak bir kil tanesinin çevresinde uzaklıkta değişen itme ve çekme kuvvetleri oluşacaktır. Eğer iki kil tanesi arasında meydana gelen net kuvvet çekme ise; daneler birbirine yaklaşır ve yapışır. Bu olaya yumaklanma (flokulanma) denir. Eğer iki kil tanesi arasındaki net kuvvet itme ise, daneler bir birinden uzaklaşır; buna da dağılma (dispersiyon) denmektedir. İtici kuvvetler büyük ölçüde sistemin özelliklerine bağlı iken, yani çiftli tabakadan etkilenirken, çekme kuvvetleri maddenin özünden kaynaklandığından önemli bir değişim göstermezler. Flokulanma ve dispersiyon olayını etkileyen başlıca faktörler şöyledir:

1. Katyon konsantrasyonu: Boşluk sıvısındaki katyonların konsantrasyonu killerin elektriksel potansiyelini etkiler. Eğer katyon konsantrasyonu artarsa kilin elektriksel potansiyeli azalır. Bu şu anlama gelmektedir; katyon konsantrasyonunun artması flokulanmaya neden olmaktadır veya katyon konsantrasyonunu azalması kilin dispers bir yapıya girmesine neden olmaktadır.
2. Katyon adsorpsiyonu: Bazı katyonlar kil yüzeyindeki negatif yükler tarafından kuvvetlice çekilir ve kilin hemen kenarında katyonlarla dolu sıkı bir tabakanın oluşmasını sağlarlar. Bu sıkıştırılmış tabaka Stern (sert) tabaka olarak

adlandırılır (Şekil 3.11a). Bundan sonraki tabaka iyonları, kil parçacığının yüzeyinin dışında serbestçe dağınmak vaziyettedir. Daha öncede ifade edildiği gibi bu tabakalarının her ikisi birden elektriksel diffüz çift tabaka olarak adlandırılır. Coulomb teorisine göre bu iyon tabakalarının potansiyel enerjisi aralarındaki uzaklıkla ters orantılıdır. Bu nedenle, Stern tabakasındaki katyonlar diffüz tabakalarından daha kuvvetlice çekilirler. Eğer boşluk sıvısı içindeki katyonların konsantrasyonu artarsa, bütün adsorbe yüzeyleri katyonlarla dolana kadar Stern tabakadaki katyon miktarı da artacaktır. Bir süre sonra Stern tabakada artık daha fazla katyon tutulamayacaktır. Böylece katyon adsorpsiyonu artışından dolayı diffüz çift tabaka sıkışması meydana gelecek ve floklanmış (yumaklanma) bir yapı oluşacaktır.

3. Katyon değeri: Katyonların değeri de diffüz çift tabakanın kalınlığı üzerinde etkilidir. Eğer katyon değeri artarsa, katyonların potansiyel enerjisi artacak ve yine parçacıkların flokülasyonu ile sonuçlanacaktır. Üç değerlikli katyonlar kil yüzeyine iki değerlikli katyonlardan daha çok çekilecekler ve iki değerlikli katyonlar da kil yüzeyine tek değerlikli katyonlardan daha iyi çekileceklerdir. Bu da demektir ki eğer boşluk sıvısındaki katyonların değeri artarsa parçacıklar daha düşük değerlikli katyonların bulunduğu ortama göre diğer parçacıkları daha kuvvetlice çekeceklerdir. Bu da kil parçacıklarının floklanmasına neden olacaktır.



Şekil 3.11 Negatif yüklü kil parçacıklarının yüzeyinde elektriksel alan (Meunier 2005).

a) Stern tabakası (gölgeli alan) b) İyonların sayısı c) Stern potansiyeli

4. Dielektrik sabiti: Elektrikçe yüklü bir cismin başkası üzerine olan etkisini, bunların arasına girerek azaltma gücünün ölçüsüne dielektrik sabiti denir. Birbirlerinden r mesafede bulunan q1 ve q2 yükleri arasındaki elektrostatik kuvvet;

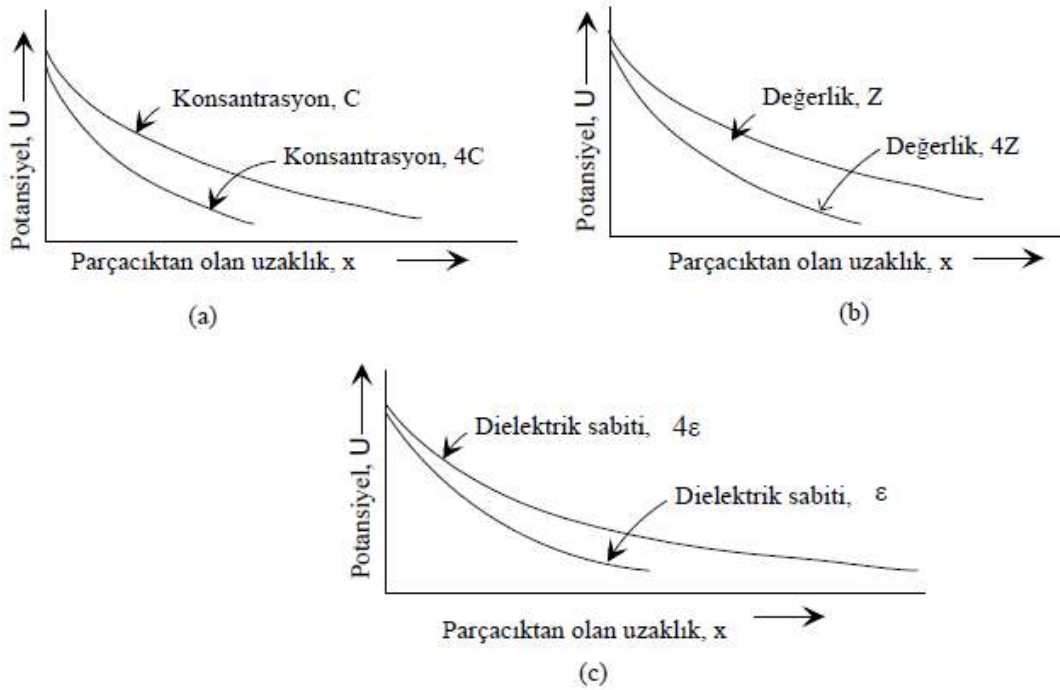
$$f = \frac{q1 \times q2}{\epsilon \times r^2} \quad (3.3)$$

Burada ϵ aradaki cisim veya sıvının dielektrik sabitidir. Dielektrik sabiti ne kadar büyük olursa o cisim elektrik kuvvetlerini o derece fazla azaltma özelliğine sahiptir demektir ve cisim veya sıvı o derece fazla polar moleküllerden teşekkül etmiş demektir. En kuvvetli elektrik kuvvetleri vakumda (dielektrik sabiti 1 birim) bulunan iki yüklü cisim arasındadır. Örneğin suyun dielektrik sabiti 81'dir demek iyonlar arasındaki çekme vakumdakinin 1/81'i kadar olacak demektir (Keskin 1967). Kil parçacıklarının arasındaki boşluk sıvısının dielektrik sabitinin azalması parçacıklar arasındaki çekim kuvvetini arttıracak ve böylece daha fazla floklanmış kil partikülleri oluşacaktır. Diğer taraftan boşluk sıvısının dielektrik sabitinin artması kil parçacıklarının dispers bir yapıda şekillenmesini sağlayacaktır. Zemin-sıvı sisteminin özelliklerinin değişiminin diffüz çift tabaka üzerindeki etkileri Şekil 3.12.'de gösterilmektedir. Burada kil parçacığından olan uzaklığa bağlı olarak farklı katyon konsantrasyonu, katyon değeri ve dielektrik sabiti için elektriksel potansiyel değerleri gösterilmiştir.

5. Hidratlanan iyon çapı: Hidratlanan iyon çapının diffüz çift tabaka üzerindeki etkisi iki ve üç değerlikli katyonlardan ziyade tek değerlikli katyonların iyon çapları üzerinde daha etkilidir. Gouy-Chapman modeline göre pozitif iyonlar kil parçacığının etrafındaki tabakanın içinde dağınık durumdadır. Stern modeline göre katyon kil yüzeyine yalnızca kendisinin yarıçapı kadar yaklaşabilmektedir (r) (Şekil 3.11c), böylece daha büyük çapa sahip iyonlar bulunması durumunda Stern tabaka içinde daha az miktarda hidratlanmış iyon bulunmaktadır. Hidratlanan iyonların yüklü

yüzeyler tarafından çekebildiği bu yarıçaptaki kritik potansiyel enerji Stern Potansiyel Enerjisi olarak adlandırılmaktadır (Menuier 2005). Hidratlanan iyon çapının küçük olması yüzeye daha fazla katyon çekilmesi ve kil tabakası etrafında daha fazla sıkışmış bir tabaka oluşması demektir.

6. pH değeri: Boşluk sıvısının pH değerinin azalması kil parçacıklarının floklanmasına neden olmaktadır. Boşluk sıvısının pH değerinin azalmasıyla hidrojen iyonları miktarı artmakta, kil parçacıkları yüzeylerine bu katyonları çekmektedir. Böylece kil parçacıkları floklanma özelliği eğilimine girmektedir.



Şekil 3.12 Çift tabakalar üzerinde sistem özelliklerindeki değişikliklerin etkileri (Lambe ve Whitman 1979). a) Katyon konsantrasyonu b) Katyon değeri c) Dielektrik sabiti

7. Anyon adsorpsiyonun artması da kil parçacıklarının davranışını değiştirmektedir. Kil üzerindeki negatif kuvvetler boşluk sıvısı içindeki anyonları itmektir. Bu durum flokülasyonu itici kuvvetler kontrol etmekte ve dispersiyon daha baskın duruma gelmektedir.

8. Boşluk sıvısının sıcaklığı da kilin mikro yapısı, dolayısıyla flokülasyon ve dispersiyon üzerinde etkilidir. Eğer sıcaklık artarsa kil parçacıkları arasında flokülasyon olayı meydana gelmektedir.

Kil minerallerinin mühendislik özellikleri üzerinde etkili olan faktörlerin değişimi aynı grup killerde dahi dane boyutu, kristallik derecesi, adsorbe katyon tipi, su içindeki serbest elektrolitin tipi ve miktarı gibi özelliklerden etkilenmektedir. Genel olarak bu faktörlerin etkisi şu sırayla azalmaktadır.

kaolinit<hidra mika (illit)<simektit (Mitchell 1976).

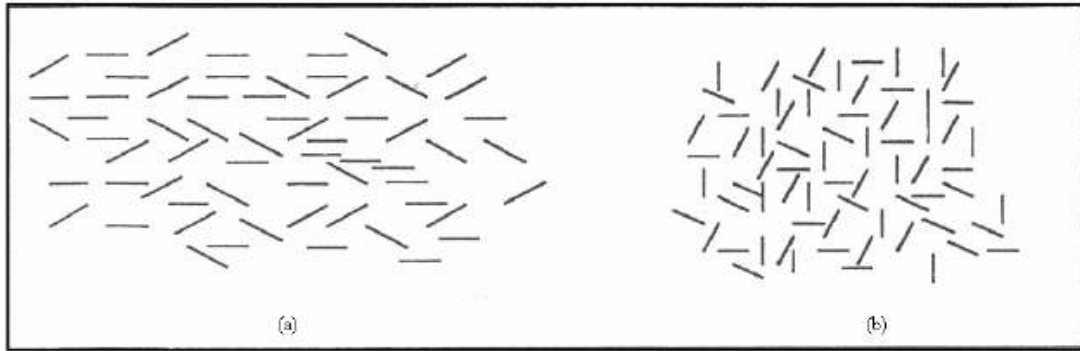
3.5. Killi Zeminlerde Doku ve Zeminlerin Mühendislik Özelliklerine Etkileri

Birçok zeminde genelde birden fazla kil minerali bulunmaktadır. Mineralojik kompozisyon esas olarak zemin danelerinin karakteristiklerini, boyutunu, şeklini ve yüzeyini etkilemektedir. Etkilenen bu özelliklerle beraber zeminin aktivite, plastisite, şişme, mukavemet ve hidrolik iletkenlik gibi davranışları da değişmektedir.

Tanelerin düzeni, tane grupları ve taneler arasındaki boşluklar dokuyu meydana getirirler. Çoğu zaman doku ile yapı birbirleri yerine kullanılırlar. Fakat yapı daha geniş bir anlama sahiptir. Yapı denince zemin dokusu, kimyasal yapı ve taneler arasındaki iç kuvvetler bir bütün olarak düşünülmelidir. Mikro doku optik mikroskoplar yardımıyla incelenen doku anlamında kullanılmaktadır. Makro doku ise çıplak gözle görülen tabakalanma, fissürlenme, boşluklar ve büyük boyutlu heterojenik gibi stabilite, oturma veya sızma analizlerinde kullanılan nitelikleri ifade etmek için kullanılmaktadır. Floküle ve ayrık yapı aynı anda olabilmektedir. Birçok çökeltide, tekil partiküllerin olması seyrek rastlanan bir durumdur, genelde kil plakaları toprak yapı şeklinde değişik doku formunda bir araya gelmektedir.

Kohezyonu zeminlerde dokuyu anlayabilmek için süspansiyon içerisindeki kil zerreciklerin arasında etkiyen kuvvetleri tanımlamak gerekir. Süspansiyon içerisindeki

iki kil zerreciği yan yana geldiği zaman double layerdeki benzer yüklerden dolayı bir itme kuvveti, aynı zamanda Van der Waals kuvvetlerinden dolayı bir çekme kuvveti oluşur. Her iki kuvvet de zerrecikler arasındaki mesafe azaldıkça değişen oranlarda artarlar. Kil zerrecikleri arasındaki mesafe çok küçük olduğu zaman çekme kuvveti itme kuvvetinden fazla olmaktadır. Kil zerreciklerinin yüzeyi negatif yüklü olmasına rağmen zerreciklerin uçları pozitif yüklerle yüklüdür. İki kil zerreciği birbirine çok yakın ise uçlardaki pozitif yükler ile yüzeydeki negatif yükler bir çekme oluştururlar. Kil süspansiyon içerisinde dağınık vaziyetteyken zerrecikler birbirinden uzakta olduğu için itme kuvveti çekme kuvvetinden fazla olacaktır. Her bir zerre üzerindeki yer çekimi kuvveti ihmal edebilecek kadar azdır, dolayısıyla her bir kil zerresi süspansiyon içerisinde çok yavaş ve geliş güzel bir şekilde çöker veya hareketsiz kalır. Aşağı yukarı bütün zerrecikler birbirine paralel bir şekilde çökelek oluşturdukları dokuyu yüzey-yüzey dispers doku adı verilmektedir. Dispers dokuda kil zerreciklerinin yüzeyleri aşağı yukarı birbirlerine paralel olmasına rağmen zerrecikler arasında bir bağ yoktur ve tamamıyla ayrık durumdadırlar (Şekil 3.13a).



Şekil 3.13 a) Dispers yapı b) Floküle yapı (Cernica 1995).

Süspansiyon içerisinde dağınık kil zerrecikleri gelişigüzel hareketlerle birbirlerine yaklaştıkları zaman kenar-yüzey teması oluşturarak kümelenme eğilimini gösterirler.

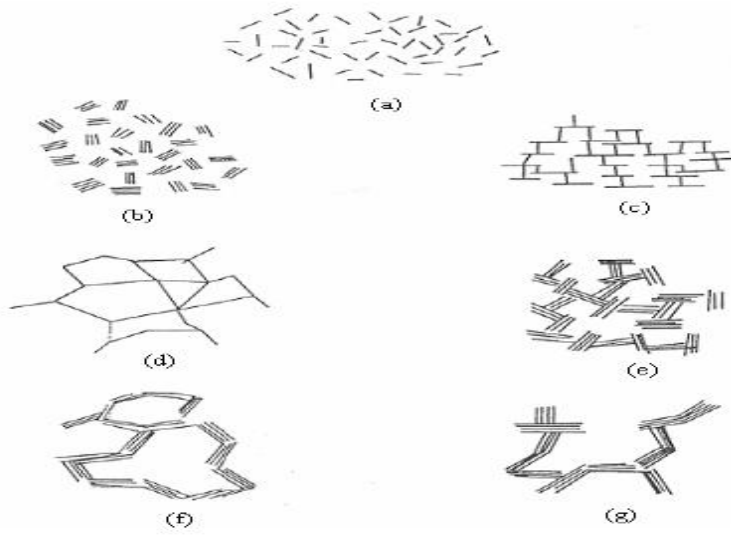
Bu sırada meydana gelen çekme kuvveti kümeleri bir arada tutar. Böylece meydana gelen dokuya kenar – kenar temaslı floküle doku adı verilir. Eğer kümeler büyürlerse yerçekimi kuvveti etkisi altında çöklerler. Süspansiyon içerisine bir miktar tuz katılınca

itme kuvveti azalarak kil zerrecikleri birbirlerini çekerek kümecikler oluşturup azda olsa bir paralellik oluşturacak şekilde çökerler. Bu şekilde meydana gelen dokuya kenar – yüzey temaslı floküle doku denir (Şekil 3.13b). Bu tür dokuya sahip killer daha hafif ve daha büyük bir boşluk oranına sahiptirler. Laboratuvar deneylerinde zemini ayrıştırmak için kullanılan sodyum hexametafosfat (NaPO_3) denilen kimyasal floküle dokuya dönüştürür. (Whitlow 1992).

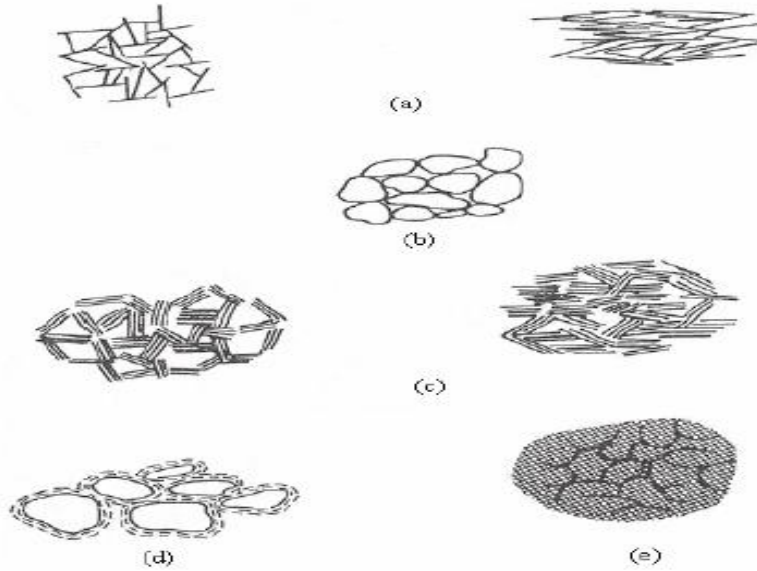
Kilin doku ve yapısı o kilin bir eriyik içerisinde (süspansiyon) veya çok daha düşük su muhtevasında olması (çamur) koşullarına bağlı olarak önemli farklılıklar gösterir. Bu nedenle kolloid kimyasında modellenmiş olan yapı kavramının örneğin, inşaat mühendisliği amaçları için kompaksiyonla sıkıştırılmış bir zeminin yapısından farklı olduğu anlaşılmıştır (Önalp 2007). Su-kil karışımlarında (süspansiyon) danelerin birbirleriyle ilişkileri başlıca dört şekilde tariflenmektedir:

1. Dağınık ve Ayrık yapı (Dispers) :Kil daneleri arasında yüz yüze dokunma yoktur.
2. Kümelenmiş Yapı (aggregated) : Birçok kil danesi arasında yüz yüze dokunma vardır.
3. Floküle Yapı (Flocculated) : Kil kümelerinde, danelerin kenarları diğer danelerin kenarlarına veya yüzeylerine temas edecek şekilde bulunmaktadır.
4. Ayrık, floküle olmayan yapı (Deflocculated): Daneler kümelenmiş, ancak kümeler arasında bağ yoktur.

Şekil 3.14’de bir su-kil süspansiyonunda doku ve taneciklerin birbirlerine ilişkisi gösterilmiştir (Van Olphen 1977).



Şekil 3.14 Bir su-kil süspansiyonunda doku (Van Olphen 1977). a)Dağınık ve ayrık yapı b)Ayrık ve kümelenmiş yapı c)Kenar-yüz floklanmış ve dağınık yapı d)Kenar-kenara floklanmış ve dağınık yapı e)Kenar-yüz floklanmış ve kümelenmiş yapı f)Kenar-kenar floklanmış ve kümelenmiş yapı g)Kenar-yüz ve kenar-kenar floklanmış ve kümelenmiş yapı



Şekil 3.15 Zeminde Dokular (Collins ve McGrown 1974). a)Münferit kil levhacığı etkileşimi b)Münferit silt veya kum partikülü etkileşimi c)Kil levhacıklarının grup etkileşimi d)Kille kaplanmış silt ve kum dizilim

Sistemde su miktarının askı oluşturacak düzeyde olmadığı durum ve ortamlarda ve iri danelerin varlığında dane dizilimleri Şekil 3.14’de verilen modelden farklı olmaktadır. Şekil 3.15’de su oranının plastik limit, likit limit gibi olağan düzeylere indiği durumlarda görülebilecek ideal doku geometrileri verilmiştir. Aradaki fark, azalan su muhtevısından kaynaklanmaktadır. Zemin dokusunda dane dizilimleri, dane kümelenmeleri ve boşluklar olarak üç öge tanımlanmaktadır. Su muhtevası yeterince düştüğünde dağınık ve yumaklı yapı süspansiyonda olduğu gibi açıkça görülmezse de zeminin özelliklerinde bunu gösteren değişimler ölçülmektedir.

Killi zeminlerde doku ile bu dokunun zeminlerin bazı mühendislik özellikleri arasındaki ilişkisini maddeler halinde şu şekilde sıralayabiliriz;

1. Belirli bir konsolidasyon basıncı altında floküle yapı, floküle olmayan yapıdan daha az yoğundur (Mitchell 1976).
1. Aynı boşluk oranında floküle, yapıdaki gelişigüzel dizilmiş daneler ve dane grupları, floküle yapıdan daha rijittir.
2. Ön konsolidasyon basıncından daha büyük basınçta, küçük bir artışla floküle yapıdaki danelerin yeniden dizilimi, floküle olmayan yapıdan daha fazladır.
3. Floküle olmayan yapı veya yoğrulmuş zemindeki ortalama boşluk çapı ve boşluk boyutu aralığı, floküle yapı veya örselenmemiş zeminlerdekinden daha küçüktür.
4. Anizotropik konsolidasyon gerilmeleri, plaka şekilli dane ve dane gruplarını; kendi büyük eksenleri ve büyük asal düzlem boyunca düzenlenmeye eğilimlidir.
5. Gerilmeler genelde tüm tane ve tane grupları arasında eşit dağılmaz. Fabrik elemanların kemerlenmesi sonucu bazı tane ve tane grupları gerilme almazlar.
6. Yapıdaki bir değişim nedeniyle, drenajın engellendiği suya dolgun bir zemin dilatasyonu başlarsa, negatif boşluk suyu basıncı oluşur ve efektif gerilme artar.
7. Yapıdaki bir değişim nedeniyle, drenajın engellendiği suya doymuş bir zemin, sıkışmaya başlarsa, pozitif boşluksuyu basıncı oluşur ve efektif gerilme azalır.
8. Floküle dokudaki zeminler daha az sıkışma özelliğine sahiptirler (Cernica 1995)
9. Hafif örselemeler altında floküle dokulu zeminler eşit yoğunlukta ve aynı su muhtevasında dispers dokulu zeminlere göre daha yüksek mukavemet, daha

büyük permeabilite gösterirken daha düşük şişme ve büzülme gösterirler. İleri derecelerde meydana gelen örselemelerde dispers doku zeminin yüksek yoğunluğu altında kazanmış olduğu mukavemeti önlemektedir. Buda aşırı derecede sıkışmış bazı zeminlerin mukavemet kaybetmelerinin sebebidir (Hausmann 1990).

3.6. Kil Minerallerinin Tanımlanması

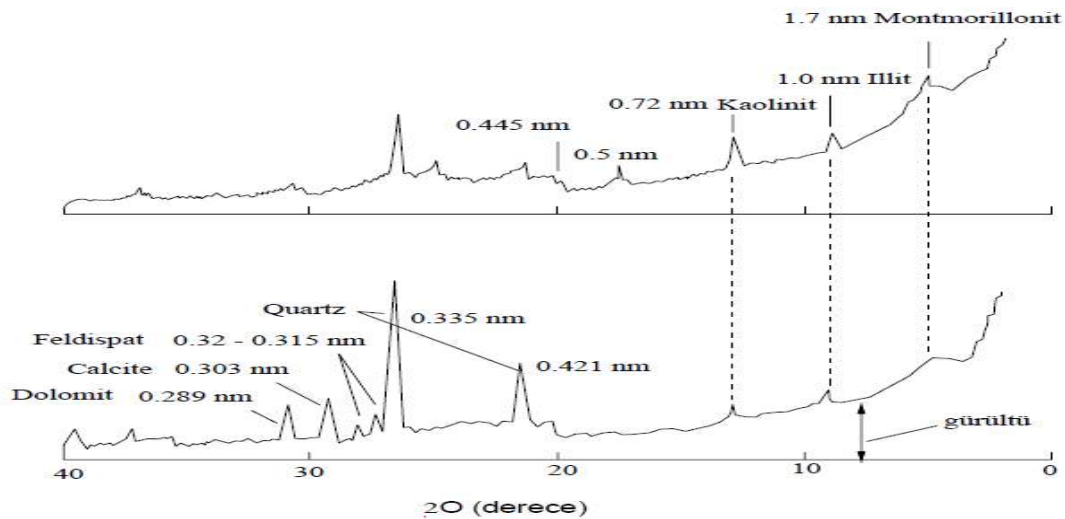
Herhangi bir zeminin özelliklerini zeminin fabrik yapısına, tane düzenine, çevre faktörlerine, mineralojik ve kimyasal bileşimine bağlıdır. Geoteknik mühendisliğinde bir kilin içerdiği minerallerin türü ve bunların oranlarının bulunması mekanik davranışının anlaşılması açısından önem taşımaktadır. Zemin birleşiminin ve zemin tanelerinin araştırılmasında kullanılan yöntemler ve teknikler şöyledir:

1. Tane dağılımı ve danelerin sınıflandırılması
2. Mineralojik analizler öncesi ön davranış incelenmesi,
3. Serbest oksijen, hidroksit, amorf bileşenler ve organik malzemelerin belirlenmesi için kimyasal analizler,
4. Silt ve kum danelerinin petrografik mikroskopla analizi,
5. Kil fazının elektron mikroskopla analizi,
6. Kristalli minerallerin X-ray analizi ile tanımlanması,
7. Bileşenlerinin termal analizlerle belirlenmesi,
8. Spesifik yüzey alanının belirlenmesi,
9. Katyon değişim kapasitesi, pH ve çözülebilir tuz için analizlerin yapılması.

3.6.1. X-Işını Difraktometre (X-RD) Analizi

X-Işını difraktometre (X-RD) analizi, ince taneli zemin mineralleri ve minerallerin kristal yapılarının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan ve insanları parmak izlerinden tanıma işlemine benzeyen bir metottur. Bu analiz yönteminde; kristaldeki atom tabakalarının arasındaki uzaklık (d) ve bu tabakalardan yansıyan ışınların şiddeti (I_r) belirlenmektedir. Zemin içindeki kil olmayan diğer minerallerde X-RD analizi ile belirlenebilmektedir. Minerallerin tanıma eldeki numune verilerinin standart olarak bilinen değerlerle karşılaştırılmasıyla yapılır. Zeminin içerisinde çoğunlukta birden fazla mineral bulunduğundan tanımda çıkacak sorunları en aza indirmek için numuneler üzerine ayrıntılı ön hazırlık işlemlerinin yapılması gerekmektedir.

X dalgaları normal ışığın yansıyıp kırılmasına benzer olarak çarptıkları kristalde emilip yok olmadan kristal yüzeyinden içeriye birkaç atom tabakasını geçerler. Bu sırada atom tabakaları titreşerek ışınları her yöne saçar. Belirli yöntemlerdeki ışınım uygun fazla olursa bunların çakışmasıyla beliren ışın, fotoğraf filmi üzerine düşürülür veya Geiger-Müller sayacıyla sayılarak şiddetli ve yönü saptanabilir. Şekil 3.16'da zeminlerde sıkça karşılaşılan minerallerin X-ışını grafikleri verilmiştir (Önalp 2007).



Şekil 3.16 Zeminlerde sıkça karşılaşılan minerallerin X-ışını grafikleri.

3.6.2. Optik Mikroskopla Analiz

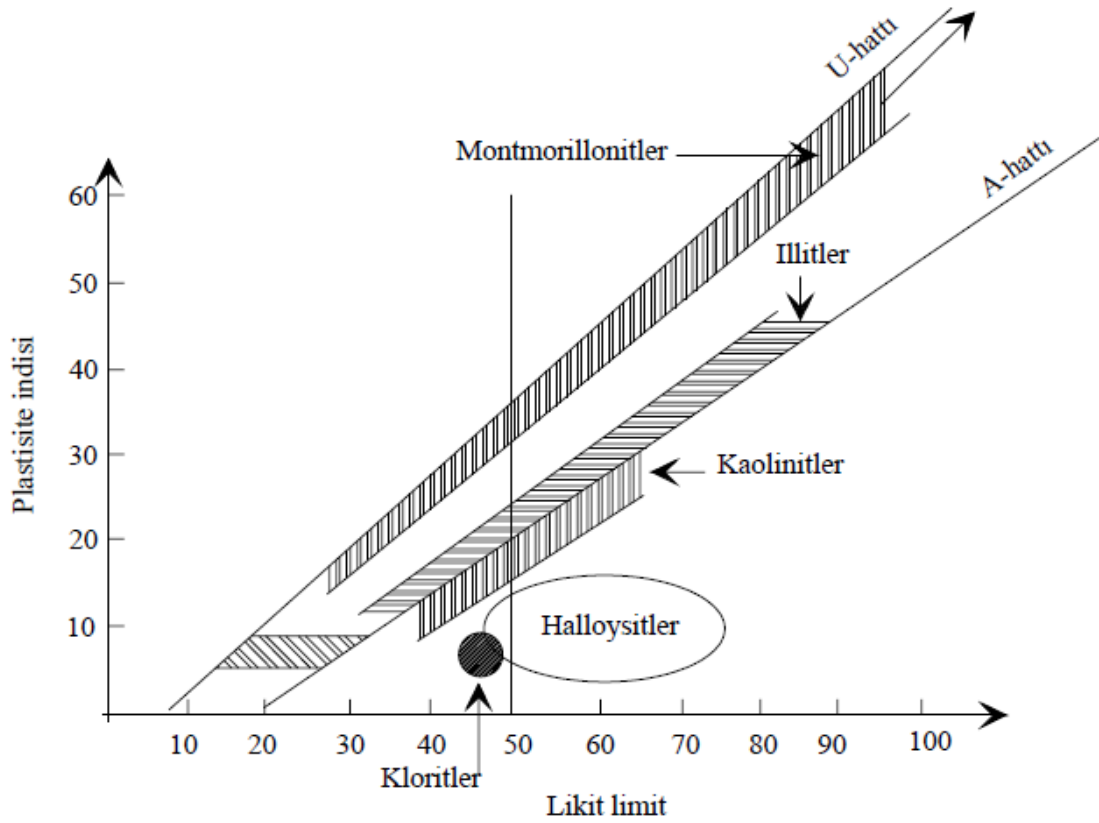
Mikroskop, çıplak gözle görülmeyecek kadar küçük cisimlerin birkaç mercek yardımıyla büyütür ve görüntüsünün incelenmesini sağlayan bir alet olup, öncelikle isminden de anlaşıldığı üzere; mikro, yani çok küçük hücrelerin incelenmesinin yanı sıra, sanayi, metalürji, genetik, jeoloji, arkeoloji ve adli bilimler (kriminoloji) alanında da büyük hizmetler görmektedir. Mikroskoplar çoğu zaman optik mikroskop olarak da ifade edilirler ve parlatılmış düzgün yüzeylerin veya kesitlerin 1000 kata kadar olan büyütme oranlarında mikro yapılarının incelenmesi için kullanılırlar. Optik mikroskoplarında çeşitleri olup doku incelenmesinde kullanılan, ince kesilmiş bir dokudan ışık geçirmek suretiyle dokuyu inceleyen, parlatılmış yüzey üzerinden yansıyan ışıkla görüntü alan, ışığın polarizasyon ile yüzey ve dokuda farklı özellikleri görmeye yarayan optik mikroskop gibi çeşitleri vardır. Bunların genel özellikleri çözünürlüklerinin düşük olması ve pratik çalışma limitleri için büyütme ile sınırlı olmalarıdır.

Optik mikroskopla kil minerallerinin incelenmesi belirli miktardaki kilin seyreltik süspansiyon oluşturacak şekilde sıvı içerisine karıştırılmasıyla, kil parçacıklarının dispers ve floküle yapıda şekillenmelerinin gözlenebilmesi için yapılmaktadır. Süspansiyon şeklinde hazırlanan numuneden 1-2 damla kaygan bir cam üzerine damlatılarak fotoğrafları çekilmekte ve kil daneciklerin topraklanma-dağılma hareketleri gözlenmektedir.

3.6.3. Atterberg Limitleri İle Analiz

Casagrande (1948) tarafından önerilen basit bir yaklaşım Atterberg limitlerinin kullanılmasıdır. Casagrande'nin plastise kartının kullanımı en azından mühendislik bakış açısından gelişmiş difraksiyon yöntemlerinin verdiği kadar bilgi verebilir.

Bu prosedürde Şekil 3.17.'de gösterilen Casagrande Plastisite kartında PI-LL değerlerine göre kilin yerini tespit etmek ve lokasyonunu bilinen minerallerinki ile karşılaştırmaktır. Kilin plastisite diyagramında A hattının çok üstünde ve U hattına yakın bir yere düşmesi numune içerisinde montmorillonit gibi çok miktarda aktif mineral bulunduğunu işaret eder. Zemin sınıfı CL çıksa dahi(mesela kumlu kil gibi) U hattına yakın yere düşüyorsa zeminin kil bileşeni egemen olarak montmorillonitten oluşmaktadır anlamına gelmektedir. ABD ve Kanada'da Göller Bölgesi'nde buzul gölü killeri ve İskandinavya'nın denizel killeri ve çoğunlukla illit türünde olup A hattının hemen üzerine düşerler. Nispeten aktif olmayan kaolinitler A hattının hemen altına düşerler. Teknin olarak kil olsalar da MI-MH malzemeleri gibi davranırlar (Holtz ve Kovacs 1981).



Şekil 3.17 Casagrande'nin plastisite kartında yaygın kil minerallerinin lokasyonu (Casagrande 1948'den geliştirilmiş; verilen Mitchell 1976).

3.7. Mermer Atıklarının Oluşumu

Mermerin ocaktan blok olarak çıkarılması ve fabrikalarda işlenmesi esnasında, çeşitli boyutlarda parça ve toz atık oluşumu meydana gelmektedir. Blokların işlenmesi aşamasında, üretilmek istenen ürüne göre, değişik ünitelerden çeşitli boyutta atıklar oluşmaktadır.

3.7.1. Mermer Fabrikalarında Oluşan Atıklar

3.7.1.1. Katrak, ST, Silme-Cilalama Ünitelerinde Oluşan Atıklar

Katraklarda blok kesimi, elmas soketlerin mermer yüzeyine sürtünmesi ve aşındırması esasına dayanmaktadır. Kesilen mermerin mineralojik yapısına bağlı olarak toz atık olarak nitelendirilebilecek boyutta, genellikle 1 mm. altında tanecikler oluşmaktadır (Büyüksağış, 1995).

ST’lerde ise kesme işlemi elmas soketlerin mermer yüzeyine çarparak tanecikleri yüzeyden koparması esasına dayandığından tanecik boyutu katrak atıklarına göre daha büyük olmaktadır. Toz atık olarak nitelendirilebilecek bu atıkların boyutu, mermerin mineralojik yapısı ve kesme şekline bağlı olarak değişmekle birlikte genellikle 2 mm'nin altındadır (Büyüksağış, 1995).

Silme-cilalama işlemi, mermer yüzeyini aşındırarak parlatma esasına dayandığından, oluşan tanecik boyutu, katrak ve ST’lere göre daha küçük olmaktadır. Mermer fabrikalarında en küçük boyutlu atıkların olduğu üniteler, silme-cilalama üniteleridir. Mermerin mineralojik yapısına bağlı olarak değişmekle birlikte, genellikle 500 mikronun altındaki toz atıklar oluşmaktadır (Büyüksağış, 1995).

Toz atık olarak nitelendirilen ve boyutları 2 mm'nin altında olan atıklar en çok bu üç işlem sırasında oluşmaktadır.

3.7.1.2. Köprü Kesme, Monolam, ST Kesimi Sonrası Alt ve Yan Kısımlarda Oluşan Atıklar

Bu işlemlerde parça atık olarak nitelendirilen genellikle mozaik, karo vb. amaçlı kullanılabilecek nitelikte atıklar oluşmaktadır.

3.7.1.3. Baş Kesme ve Levha Ebatlama makinelerinde Oluşan Atıklar

Mermer fabrikalarında oluşabilen iri boyutlu parça atıklardır. Bu ünitelerde yer döşemesi vb. amaçlı kullanılabilecek nitelik ve boyutta atıklar oluşmaktadır.

3.7.2. Mermer Fabrika Atık Sularının Arıtılması

Mermer fabrikalarının kesim ve parlatma ünitelerinde oluşan mermer tanecikleri, bu işlemler esnasında kullanılan su ile birlikte kanallardan geçerek çökertme havuzlarında ya da tanklarda birikmektedir. Atık suyun kanallardan geçişi esnasında, iri boyutlu tanecikler kanallarda çökerken askıda kalabilen küçük boyutlu tanecikler çökeltme havuzuna ya da tanklara gelmektedir. Bir mermer fabrikasının atık sularının havuza geldiği noktadan alınan numunede yapılan tanecik boyut analizi Çizelge 3.7'de görülmektedir.

Çizelge 3.7 Mermer fabrika atık sularındaki tane boyut dağılımı (Büyüksağış, 1995).

Tane Boyutu (μ)	Boyut Aralığı	Elek Altı (%)	Kümülatif Elek Altı (%)
118.4	-	-	100.0
54.9	118.4-54.9	2.8	97.2
33.7	54.9-33.7	7.6	89.6
23.7	33.7-23.7	10.6	79.0
17.7	23.7-17.7	10.4	68.6
13.6	17.7-13.6	8.8	59.8
10.5	13.6-10.5	9.7	50.1
8.2	10.5-8.2	9.4	40.7
6.4	8.2-6.4	8.3	32.4
5.0	6.4-5.0	8.0	24.3
3.9	5.0-3.9	7.0	17.3
3.0	3.9-3.0	5.1	12.2
2.4	3.0-2.4	4.2	8.0
1.9	2.4-1.9	2.5	5.4
1.5	1.9-1.5	1.3	4.1
1.2	1.5-1.2	0.9	3.2

Çizelge 3.7'de tanecik boyut dağılımı görülen bu atık suların taneciklerden arındırılması gerekmektedir. Fabrikalarda tekrar kullanılan bu su, arıtmadan kullanıldığında özellikle parlatma işleminde problem yaratmaktadır. Atık su içerisinde bulunan 10μ 'dan büyük silikatlı taneler parlatılan mermer yüzeyini çizerek olumsuzluk yaratmaktadırlar. Bu nedenle arıtma işleminde, maksimum 10μ boyutlu, içinde silikatlı tanecik bulunmayan temiz su eldesi amaçlanır (Büyüksağış, 1995).

3.7.2.1. Ardışık Havuz Yöntemi

Bu yöntemde fabrika sahasına, ardışık ve birbirine bağlantılı olarak yapılan havuzlardan yararlanılmaktadır. Havuzların derinlik ve boyutları fabrikada kullanılan suyun miktarına göre belirlenir. Havuz sayısı ise genellikle 4-6 ve üstüdür. İlk iki havuz diğerlerine göre daha küçük olmalıdır. İlk havuza verilen fabrika atık suyunun iri taneleri, graviteye bağlı olarak havuz dibine çökmekte, havuz yüzeyindeki su, taşma yoluyla ikinci havuza geçmektedir. Bu işlem bütün havuzlarda aynı şekilde gerçekleşerek son havuzda ince taneli, nispeten arıtılmış su

elde edilmektedir. Bu su, son havuzdan tekrar kullanılmak üzere pompa aracılığıyla fabrikaya verilmektedir.

Bu yöntemle elde edilen duyun içerisindeki mermer tozu tane boyutu 20 μ civarındadır ve teorik ayırma verimliliği %30 olarak hesaplanmıştır (Büyüksağış, 1995).

Bu yöntem tam bir arıtma sağlamadığı için özellikle cila ünitelerinde problem oluşturmaktadır. Fabrika atık sularında mermer taneciklerinin yanı sıra, kesme ve parlatma ünitelerinde oluşan aşındırıcı taneler de bulunmaktadır. Bu aşındırıcı taneler ardışık havuz sistemiyle tam olarak ayırlanamamaktadır. Fabrikaya tekrar verilen bu nitelikteki su, cilalama esnasında mermer yüzeyini çizmekte ve parlatma verimini olumsuz etkilemektedir. Bu durum ürün kalitesinin düşmesine neden olmaktadır.

Bu yöntemi küçük ve orta ölçekli fabrikalar, maliyeti düşük ve işletme giderlerinin az olması nedeniyle yaygın olarak kullanmaktadır.

3.7.2.2. Sedimentasyon (Flokülasyon) Yöntemi

Bu yöntemde fabrikadan çıkan atık su, pompa vasıtasıyla bir tanka verilmekte ve çöktürme işlemine tabi tutulmaktadır. Bu yöntemde, atık suyun içerisindeki katı tanecikler yerçekimi etkisiyle tankın dibine çökerek birikir. Ayrıca çökmeyi arttırmak ve hızlandırmak amacıyla çöktürücü reaktifler (flokülanlar) de kullanılır. Daha sonra çöken kısım çamur presine verilmek üzere pnömatik bir vana vasıtasıyla ayrı bir havuza alınır. Buradan pompa vasıtasıyla çamur presine verilerek susuzlaştırılmış kek elde edilir. Böylelikle fabrikadan gelen atık su artırılarak içindeki taneciklerden arındırılmış olur. Elde edilen temiz su tekrar üretimde kullanılmak üzere fabrikaya verilir. Bu işlemler dizisi, sürekli olarak devam eder.

Bu yöntemde, çöktürücü olarak daha çok sentetik, makromoleküler özelliğe sahip polimerler kullanılmakta ve su ile belirli oranlarda karıştırılarak çözelti halinde, belirli dozajlarda, otomatik olarak devamlı, atık su tankına verilmektedir (Büyüksağış, 1995). Bu işlemlerde çöktürücü seçimi, miktarı ve katı oranı önem arz etmektedir. Bazı durumlarda işlenen mermer türü ve çöktürücü etkileşimi nedeniyle ortamın pH'ı değişmektedir. Bu nedenle çöktürücü seçiminde mermer türü de göz önünde bulundurulmalıdır.

Sedimentasyon yönteminde elde edilen arıtılmış su içerisindeki mermer tozu boyutu ortalama 7.5μ 'dur ve teorik ayırma verimliliği, % 64 olarak hesaplanmıştır (Büyüksağış, 1995).

Bu yöntemin ilk yatırım maliyeti, işletme ve enerji giderleri, diğer yöntemlere göre daha fazladır. Ancak cilalama üniteleri ve fayans hatları bulunan tesislerin kaliteli ürün elde edebilmesi açısından tercih etmesi gereken yöntemlerden biridir.

3.7.2.3. Hidrosiklonlarla Ayırma - Sınıflandırma Yöntemi

Hidrosiklonlar, özellikle ince tane boyutlarındaki ayırma işlemlerinde çok verimli çalışan ve genel olarak sınıflandırma, kıvamlaştırma ve zenginleştirme işlemlerinde kullanılan sistemlerdir. Mermer fabrikalarının atık sularında bulunan ince taneciklerin ayrılmasında da verimli bir şekilde kullanılırlar. Bu yöntemde, atık su, basınç altında hidrosiklona beslenerek bir dönme hareketi kazanır. Bu dönme hareketi, bir merkezkaç kuvvet oluşturarak suyun içindeki taneciklerin çökerek ebat ve özgül ağırlıklarına göre ayrılmasına neden olur (İpekoğlu ve Tanrıverdi, 1997). Bu yöntemde, teknolojik gelişmeler sonucu alt ayırma sınıfı, 2μ 'a kadar inmiştir. Teorik ayırma verimliliği ise % 88'dir (Büyüksağış, 1995).

Hidrosiklon yönteminin sedimentasyon yöntemine göre hem ilk yatırım maliyeti düşük, hem de işletme ve enerji giderleri daha azdır. Bu nedenle en ekonomik ve en verimli yöntemdir.

3.7.3. Mermer Toz Atıkların Temizlenmesi

Mermer fabrika atık sularından arıtım yoluyla elde edilen toz atıkların içerisinde değişik oranlarda, istenmeyen parçacıklar bulunmaktadır. Bu parçacıklar, mermerin kesimi ve parlatılması aşamasında kesme ve parlatma ekipmanlarındaki aşınmadan meydana gelmekte ve mermer tozuna karışmaktadır. Mermer tozlarının içerisinde bulunan bu parçacıklar endüstriyel kullanım alanını sınırlamaktadır. Bu parçacıklar dışında, mermerin kimyasal bileşiminden gelen demir oksit vb. safsızlıklar da endüstriyel kullanım alanını sınırlayarak istenmeyen bir durum oluşturmaktadır. Bu nedenle tüm bu istenmeyen parçacıkların mermer tozundan ayrılması gerekmektedir.

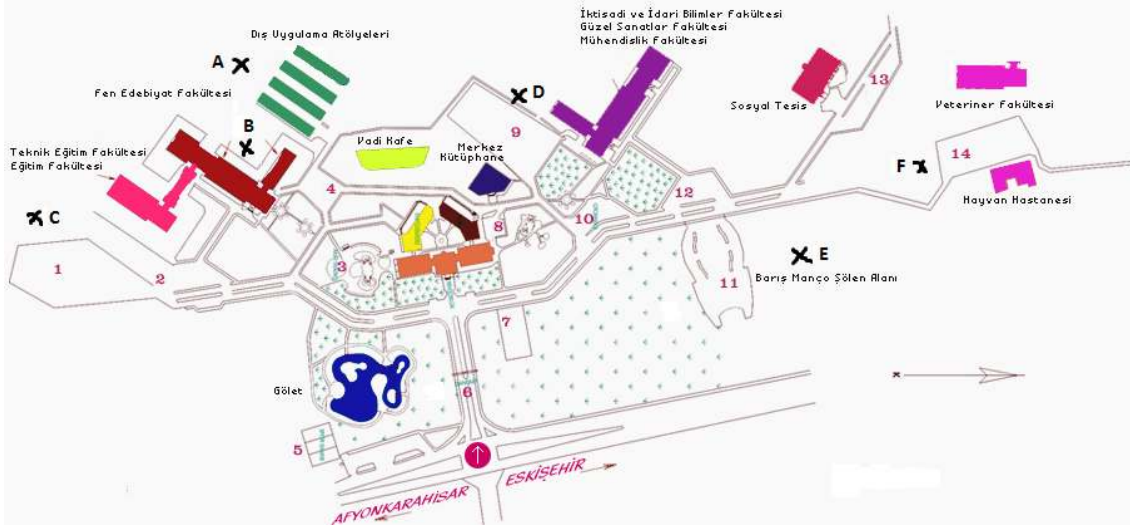
Mermer toz atıklarının temizlenmesinde, fabrikadan çıkan atık suyun, çöktürme işlemine tabi tutulmadan, doğrudan temizleme işlemine tabi tutulması uygundur. Böylelikle atık su arıtımı ve toz atıkların temizlenmesi işlemi bir arada yapılmış olur. Tane boyutu 5-100 μ arasında olan toz atıkların temizlenebilmesi için pratik olarak, eleme-sınıflandırma, flotasyon ve manyetik zenginleştirme yöntemleri uygundur. Bu yöntemlerden en ekonomik olanı flotasyondur. Mermer tozları, kalsit flotasyonuna tabi tutularak bünyesindeki demir oksitlerden ve silislerden temizlenebilmektedir. Tane boyutu 100 μ 'un üzerindeki toz atıklarda aşındırıcı parçacık miktarı oldukça fazladır. Bu boyuttaki atıklar, doğrudan yoğunluğa göre ayırım işlemine tabi tutulurlar. Bu işlemden, aşındırıcı taneciklerin elde edilmesi mümkün olmaktadır (Tosun, 1996).

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Deneyisel Çalışmada Kullanılan Killi Zeminler ve Özellikleri

Deneyisel çalışmada Afyon Kocatepe Üniversitesi ANS Kampüs alanının farklı noktalarından alınan numuneler kullanılmıştır.

Deneyisel çalışmada kullanılan kil numuneleri Afyonkarahisar iline yaklaşık 7 km mesafede Bulunan Afyon Kocatepe Üniversitesi ANS Kampus alanının 6 farklı noktasından alınmış ve çalışma içerisinde A, B, C, D, E, F numuneleri olarak isimlendirilmiştir. Tüm numuneler bitkisel tabaka geçilerek zemin yüzeyinden 50 cm derinlikten alınmıştır. Kampüs alanı içerisinde farklı bölgelerden numune almaya uygun zeminler tercih edilmiştir. Sahadan doğal olarak alınıp laboratuara getirilen numuneler 105 °C’ de kurutulmuş ve daha sonra öğütülerek kullanıma hazır hale getirilmiştir.



Resim 4.1 Kampüs alanından alınan örneklerin harita üzerinde gösterimi

4.2. Deneysel Çalışmada Kullanılan Mermer Tozu ve Özellikleri

Deneysel çalışmada katkı maddesi olarak atık mermer tozu kullanılmıştır. Atık mermer tozu Afyon – Ankara karayolu üzerindeki büyük bir mermer tesisinden elde edilmiştir. Atık mermer tozu mermerin işlenmesi sırasında ortaya çıkmaktadır. Çalışmada 200 no'lu elekten elenerek geçen mermer tozu kullanılmıştır. Zeminin kuru ağırlığının belirli bir yüzdesi oranında hazırlanan numunelere katkı maddesi olarak karıştırılmıştır. Bu karışım, literatürdeki benzer malzemelerle yapılan çalışmalardaki oranlar dikkate alınarak %5-10-15 olmak üzere oluşturulmuştur. Bu yüzdelerden elde edilerek hazırlanan deney serileri üzerinde deneyler gerçekleştirilerek numunelerde meydana gelen değişimler ölçülmüştür.

4.3. Deneysel Program

4.3.1. Numunelerin İndeks ve Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

Deneysel çalışmanın ilk aşamasında kullanılan ANS killeriine ait birtakım fiziksel ve indeks özelliklerini belirlemek için çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan bir kısmı A.K.Ü. Geoteknik laboratuvarlarında yapılırken, bir kısım analiz ve deneyler Fırat Üniversitesi Geoteknik laboratuvarlarında yapılmıştır. Laboratuvar ortamında yapılan ve sonuçları çizelge 4.1'de verilen Zeminlerin indeks ve fiziksel özelliklerini belirlemeye yönelik çalışmalar aşağıda açıklanmıştır.

4.3.1.1. Su Muhtevasının Belirlenmesi

Bu deney zemin numunelerinin su muhtevasının belirlenmesi amacıyla yapılmaktadır. Zemin laboratuvar deneyleri içinde en sık kullanılan ve belirlenmesi en kolay olan su muhtevası; bir zemin numunesinin içerdiği su ağırlığının, aynı numunenin kuru

ağırlığına oranı olarak tanımlanır ve yüzde olarak ifade edilir. Yapılan deney yönteminde TS 1900 'de belirtilen hususlar dikkate alınmıştır.

Önceden numara verilmiş numune kapları 0.01 gr hassaslığındaki bir terazide tartılır. Bu ağırlıklar dara ağırlıkları olarak kaydedilir (dara = W_1). Islak zeminden bir parça alınarak kaba koyulur ve su muhtevasının değişmemesi için hemen tartılır. Ağırlık W_2 olarak kaydedilir. Sonra kap ve ıslak zemin etüve konularak sabit ağırlığa gelinceye kadar bekletilir. Bu süre genellikle 12 - 24 saat arasında değişebilir. Sabit ağırlığa gelen zemin etüvden alınarak hemen tartılır, ağırlığı W_3 olarak kaydedilir. Daha sonra formülde yerine konarak zeminin su muhtevası belirlenmiş olur (Akbulut vd. 2003).

4.3.1.2. Özgül Ağırlık Deneyi

Bir zeminin özgül yoğunluğu, belli hacimdeki zemin tanelerinin havadaki ağırlığının, aynı sıcaklıkta ve eşit hacimdeki saf suyun havadaki ağırlığına eşit oluşu olarak tanımlanır. Killerin özgül ağırlığı TS 1900'e uygun olarak belirlenmiştir. Özgül ağırlığın belirlenmesi için 250 ml'lik piknometreler kullanılmıştır. İlk olarak piknometrenin darası belirlenmiştir (m_p). Daha sonra piknometre üzerindeki işaretli kısma kadar saf suyla doldurularak tartılmıştır (m_{pw}). Daha sonra piknometrenin içinden bir miktar su boşaltılıp 50 gr kurutulmuş zeminden (m_s) konularak üzeri, piknometre üzerinde bulunan seviye işaretine kadar doldurulmuştur. Zemin-su karışımı içerisindeki hava vakumla çıkarılmıştır. Hava kabarcıkları çıkarma esnasında azalan su seviyesi işaretli kısma kadar doldurulmuştur. Son aşamada ise; piknometre + su + zemin tartılmıştır (m_{pws}). Elde edilen sonuçlara göre özgül ağırlık değeri aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$GS = \frac{m_s}{m_s - m_{pws} + m_{pw}} \quad (4.1)$$

4.3.1.3. Tane Boyu Dağılımının Belirlenmesi

Zemini oluşturan tanelerin boyutu gözle görülemeyecek boyuttan iri blok büyüklüğüne kadar değişiklik gösterir. İri taneli (çakıl ve kum) zeminlerde tane boyu dağılımı önceden saptanmış elek serileri ile elek analizi yapılarak tespit edilir. İnce taneli (silt ve kil) zeminlerde ise tane boyu dağılımı hidrometre yöntemi kullanılarak bulunur.

Çalışmada kullanılan killerin tane boyu dağılımını belirlemek için ıslak elek analizi ve hidrometre yöntemi uygulanmıştır. Elek analizi TS 1900’de belirtildiği şekilde yapılmıştır. Elek analizi için numunelerden belli bir miktar alınarak kurutulmuş (105 °C) ve tartılarak Sodyum hexametafosfat (NaPO_3)₆ çözeltisi içinde bekletilerek tanelerin dağılması sağlanmıştır. Daha sonra numuneler 200 No’lu (75µm) elekten yıkanmış ve üstte kalan kısım kurutularak eleme işlemine tabi tutulmuştur. Hidrometre deneyi için de 200 nolu elekten geçen malzemeden 50 gr alınarak TS 1900’de belirtildiği şekilde hidrometre analizi yapılmıştır.

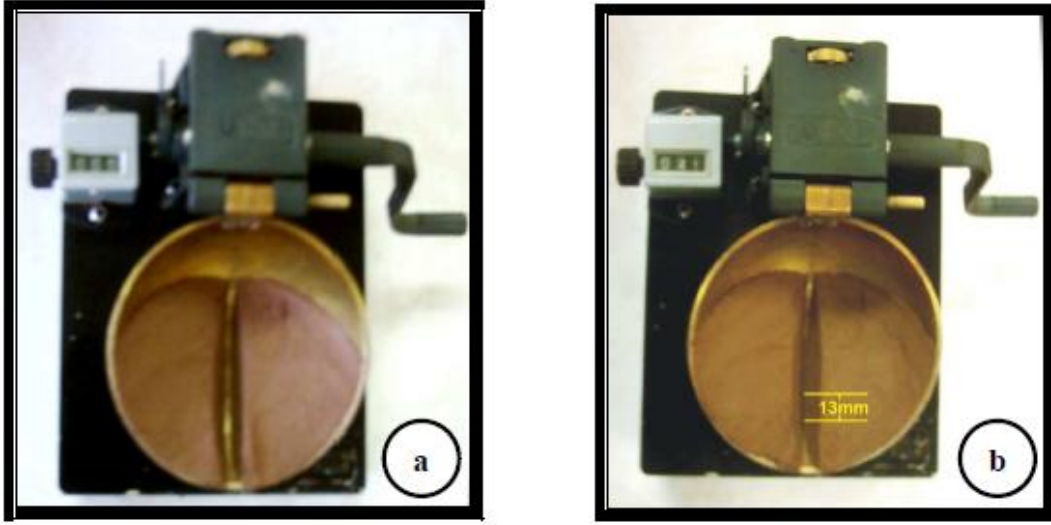


Şekil 4.1 24 saat sonunda hidrometre mezürü içinde çökelen tanelerin üstte ince altta kalın tabaka oluşturması.

4.3.1.4. Atterberg Limitlerinin Belirlenmesi

Atterberg (Kıvam) limitleri, zemin davranışında belirli limitlerdeki ve kritik aşamalardaki su içeriğini ifade eder. İnce daneli zeminlerin tanımlanmasında Atterberg limitleri doğal su içeriği ile beraber en önemli kavramları teşkil etmektedir. Bir zeminin plastik özelliğinin düşük veya yüksek oluşu ile killerin yağlı veya yağsız oluşu atterberg limitleri ile belirlenebilir. Ayrıca, tane boyu değerleri ile birlikte zemin sınıflandırılmasında da kullanılır.

Deneyisel çalışmada Atterberg limitleri Casagrande yöntemiyle belirlenmiştir. Deneyler TS 1900’de belirtildiği şekilde yapılmıştır.



Şekil 4.2 Casagrande likit limit cihazı; a) Cihaza serilen numunenin tam ortasına derinliği 1 cm olan yarığın açılması b) yarığın vuruşlardan sonra yaklaşık 13 mm kapanması

Likit limit (LL) deneyi için 40 nolu elekten elenmiş malzeme porselen bir kap içerisine konulup, üzerine çok az saf su ilave edilerek spatula ile karıştırılmıştır. Karışım casagrande likit limit cihazına yüzeyi düzgün olacak şekilde yerleştirilir. Daha sonra oluk açma bıçağı ile ortasından yarık açılır. Daha sonra likit limit aletindeki kol saniyede 2 devirlik bir hızla çevrilerek, ortadaki yarığın 13 mm boyunda birleşmesini sağlayacak vuruş sayısı kaydedilmiştir. Daha sonra karışıma biraz daha su ilave edilerek aynı işlem tekrarlanmıştır. Bu işlem vuruş sayısı 25 vuruşun altına düşene kadar devam ettirilmiştir. Karışımın su içeriğinin belirlenmesi için her tekrarda numune alınıp su muhtevası hesaplanmıştır. Son olarak grafik üzerinde 25 vuruşa karşılık gelen su içeriği değeri tespit edilmiştir.

Plastik Limit (PL) deneyi de 40 nolu elekten geçirilen numuneye bir miktar su ilave edilerek spatula ile karıştırılmıştır. Daha sonra numune cam plaka üzerine konarak avuç içi 3 mm çapında silindirik parçalar elde edinceye kadar yuvarlanır. Bu yuvarlama

işlemine 3 mm çapındaki numunenin üzerinde çatlamlar oluşuncaya kadar devam edilmiştir. Daha sonra üzerinde çatlaklar oluşan numune hemen bir kaba konarak tartılmış ve etüvde kuruduktan sonra su içeriği belirlenmiştir. Bu işlem en az 3 defa tekrar ettirilerek numunenin plastik limit değeri hesaplanmıştır.

4.3.2. Numunelerin Mühendislik Özelliklerinin Belirlenmesi

4.3.2.1. Numune Hazırlama

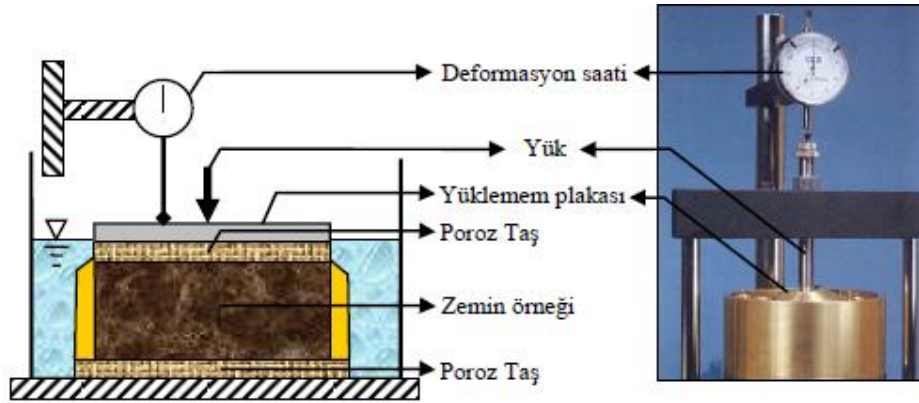
Numuneler mermer tozu karıştırılmadan etüvde kurutulduktan sonra kompaksiyon hücrelerine sıkıştırılarak, δ_{dmax} ve W_{opt} değerleri elde edilmiş ve her bir karışım için bu değerler kullanılmıştır. Konsolidasyon deneyi için kompaksiyon kalıbına δ_{dmax} ve W_{opt} değerlerinde sıkıştırılan numunenin alt kısmından ringler yardımıyla numune alınmıştır. Permeabilite deneyi için de numuneler permeabilite hücresine, optimum su muhtevası ve maksimum kuru yoğunluk değerlerinde sıkıştırılarak deneyler gerçekleştirilmiştir.

4.3.2.2. Konsolidasyon Deneyi

Konsolidasyon, tamamen doygün zeminlerde gözenek suyunun bir kısmının drenajından dolayı zemin hacminde meydana gelen azalmadır. Konsolidasyon, gözeneklerdeki suyun zamanla ortamı terk etmesi ile oluşturulduğundan permeabilitenin konsolidasyon üzerinde oldukça fazla etkisi vardır.

Deneyisel çalışmada Konsolidasyon deneyleri ASTM D-2435’de belirtildiği şekilde yapılmıştır. Konsolidasyon numuneleri Standart proctor Deneyinde belirlenen optimum

su muhtevası değeriinde sıkıştırılmış zeminden alınmış ve iç çapı 50 mm yüksekliği 20 mm olan ringler kullanılmıştır. Ringlere alınan numuneler deney başlangıcında ölçümü yapıldıktan sonra konsolidasyon aletine yerleştirilmesiyle başlamıştır (şekil 4.3). Deney sırasında zemin içerisindeki suyun dışarı çıkışını sağlamak için alt ve üst yüzeye poroz taşlar ve filtre kağıdı konulmuştur. Yükleme halkası poroz taşın üzerine yerleştirildikten sonra poroz taş ile konsolidasyon halkası arasında bir sürtünmenin olup olmadığı kontrol edilmiş, sonraki aşamada hücre tamamen damıtık suyla doldurularak daha önceden belirlenen ilk yük, yükleme kolu su terazisiyle yatay olacak şekilde dengelendikten sonra uygulanmıştır. İlk yük uygulandıktan sonra nihai oturmanın tamamlanması için 24 saat süreyle beklenmiş ve ödometre cihazına monte edilen komparatör saatinden numunede meydana gelen boy kısalması kaydedilmiştir. Aynı işlem tüm yük kademeleri için uygulanmıştır.

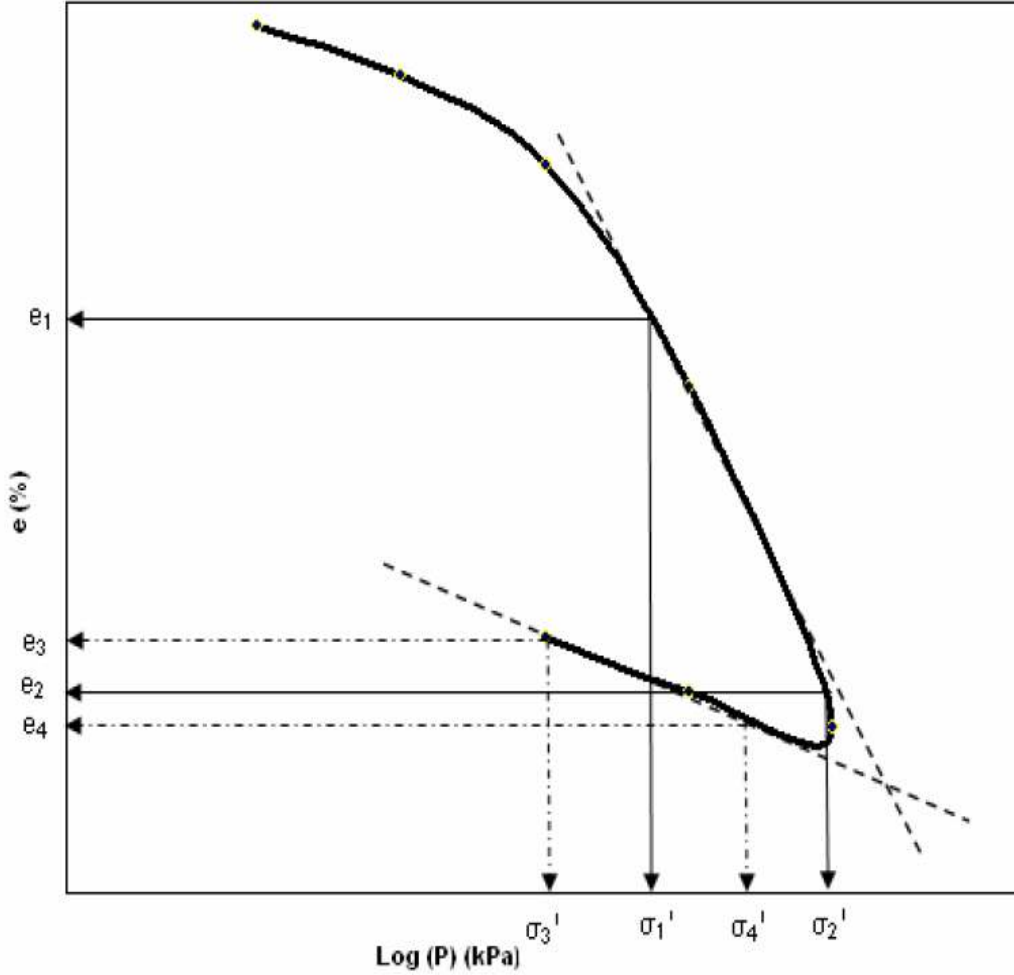


Şekil 4.3 Konsolidasyon (ödometre) deneyinin şematik ve fotoğraf görüntüsü.

Konsolidasyon deneyleri sonucunda çoğunlukla zeminlere ait basınç-boşluk oranı(σ - e) eğrileri çizilmekte (Şekil 4.4), sıkışma indisi (C_c) ve şişme indisi (C_s) değerleri hesaplanmaktadır (eşitlik 4.2 ve eşitlik 4.3).

$$C_c = \frac{e_1 - e_2}{\log(\sigma_2' - \sigma_1')} \quad (4.2)$$

$$C_s = \frac{e_3 - e_4}{\log(\sigma_4^1 / \sigma_3^1)} \quad (4.3)$$



Şekil 4.4 Konsolidasyon deneyleri sonucu elde edilen tipik basınç-boşluk oranı(σ - e) grafiği.

Bu eşitliklerde e_1 ve e_3 yükleme kademesi başı, e_2 ve e_4 yükleme kademesi sonu boşluk oranlarını, σ_1^1 ve σ_3^1 yükleme kademesi başı, σ_2^1 ve σ_4^1 yükleme kademesi sonundaki efektif gerilmeleri ifade etmektedir.

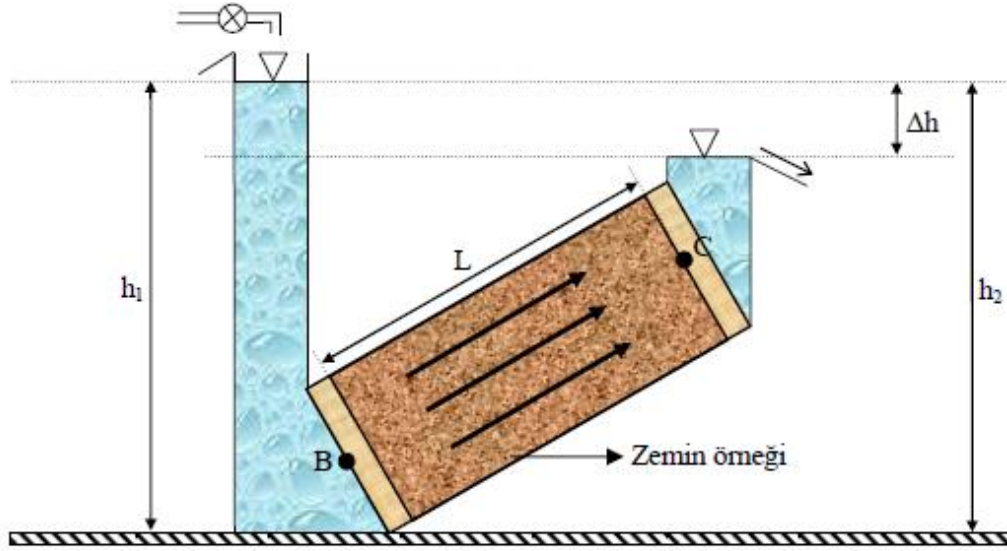
4.3.2.3. Permeabilite Deneyi

Zemin birbirine bağılı boşluklardan oluşan bir yapıya sahiptir. Bu yüzden su zeminin sahip olduğu bu boşluklarda hareketsiz konumda bulunabileceği gibi bazen de boşluklardan akabilir. Permeabilite (Hidrolik İletkenlik Katsayısı) ise, doymuş bir zeminin belli bir kesitinden belli bir süreyle suyun geçiş hızı olarak tanımlanır. Her ne kadar killi zeminlerin boşluk oranları kumlu zeminlere göre daha fazlaysa da kil gibi ince taneli zeminlerde taneler suyun geçiş yolunu kapatarak suyun geçişine direnç gösterirler ve bu yüzden killi zeminlerin permeabilite katsayıları kumlu ve daha iri taneli zeminlere göre oldukça düşüktür (Day, 2001). Terzaghi ve Peck (1967) zeminleri permeabilite katsayılarına göre aşağıdaki gibi sınıflandırmışlardır.

- Yüksek dereceli permeabilite (10^{-1} cm/sn $< k$ cm/sn)
- Orta dereceli permeabilite (10^{-3} cm/sn $< k < 10^{-1}$ cm/sn)
- Düşük dereceli permeabilite ($1 * 10^{-7}$ cm/sn $< k < 10^{-3}$ cm/sn)
- Çok düşük permeabilite ($1 * 10^{-7}$ cm/sn $< k < 1 * 10^{-7}$ cm/sn)

Her ne kadar doymuş zeminlerin permeabilite katsayılarını belirlemede tane boyutu birinci derecede rol oynarsa da, bunun yanı sıra boşluk oranı, tane boyu dağılımı (derecelenme, boylanma) zemin yapısı, zemin tabakalanması ve zemin kusurları gibi bir çok önemli faktörde zeminin permeabilite katsayısında etkili olmaktadır.

Darcy (1856)'da yaptığı çalışmada laminar akım koşullarında suyun doymuş bir zemin ortamında hızın hidrolik eğim ile orantılı olduğunu belirlemiş ve L uzunluklu, A en kesit alanlı bir zemin örneğinin h_1-h_2 su düzey farkına maruz bırakıldığında (şekil 4.5) suyun debisine eşitlik 4.4'deki gibi belirlenmiştir.



Şekil 4.5 Darcy yasasının şematik gösterimi.

$$q=A \times K \times i \quad (4.4)$$

Burada ;

q: suyun debisi olup, birim zamanda herhangi bir kesitten geçen su miktarını belirtir (m^3/sn , cm^3/sn),

A: Enkesit alanı olup, her noktada aynıymış gibi düşünülür (cm^2),

k: permeabilite katsayısı (cm/sn, m/sn),

i: hidrolik eğimdir.

Deneysel çalışmada kullanılan tüm numuneler ince taneli olduğu için çalışmada Düşen Seviyeli Permeabilite uygulanmıştır (Şekil 4.6). Numuneler 102 mm çaplarındaki sıkıştırma kaplarına 3 tabaka halinde hazırlanmıştır. Numuneler Daniel ve Benson'un (1990) önerdiği şekilde, su muhtevasının ıslak tarafında hazırlanmıştır. Sıkıştırma optimum su muhtevasının %2 üzerinde seçilmiştir. Numuneler suya doymun hale gelmesi için kaplarda bulunan alt vanadan su verilerek üstten çıkması sağlanmıştır. Numunelerin içindeki mermer tozu oranına göre doymun hale gelme süreleri farklılık göstermiştir. Ayrıca numunelerin hem alt hem de üst tarafına filtre kağıdı yerleştirilmiştir. Doymun hale getirilen numuneler daha sonra düşen seviyeli

permeabilite düzeneğine bağlanarak, düzenekteki cam boru 100 cm düzeyinde su ile sabitlenmiştir. Daha sonra kalıplardaki alt vana açılarak suyun doygun haldeki numunelerden geçiş süreleri belirlenmiştir.



Şekil 4.6 Düşen seviyeli permeabilite düzeneği ve sıkıştırma kalıpları.

5. BULGULAR

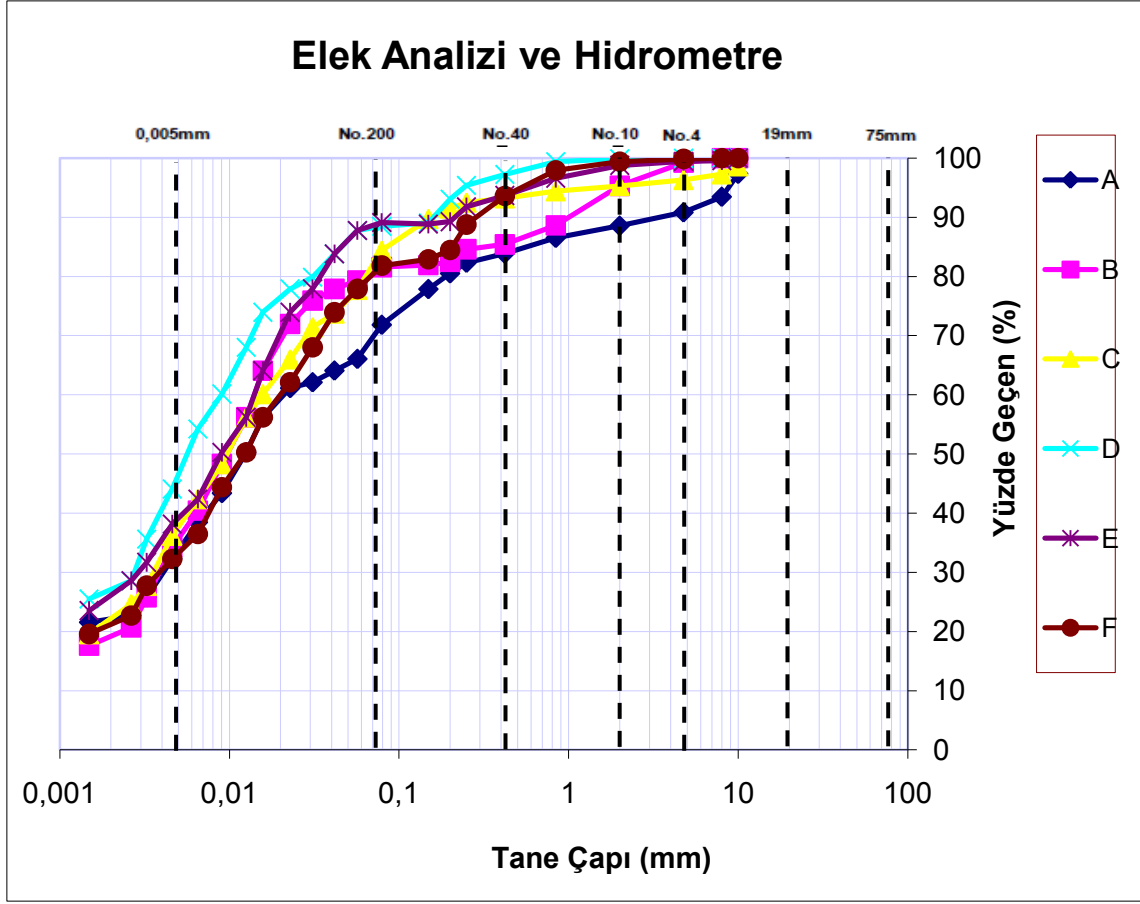
Afyon Kocatepe Üniversitesi ANS Kampüs alanından alınan killi zeminlere %5-10-15 oranında atık mermer tozu karıştırılmıştır. 6 farklı noktadan alınan örnekler A, B, C, D, E, F ile isimlendirilmiştir. Numunelerin konsolidasyon ve permeabilite değerlerini incelemek için öncelikle su muhtevası, özgül ağırlık, ıslak elek analizi ve hidrometre deneyi, atterberg limitleri deneyleri yapılmıştır. Yapılan tanımlama deneylerinden sonra konsolidasyon ve permeabilite ile ölçümler yapılmıştır. Yapılan çalışmaların sonuçları bu bölümde gösterilmiştir.

5.1. Tane Boyu Dağılımı Sonuçları

Çalışmada kullanılan killi zeminlere ait tane boyutunu belirlemek amacıyla TS 1900'e uygun olarak tane boyu analizli yapılmıştır. Bu standart gereği % kil ve silt oranları hidrometre ile % kum ve çakıl oranları ise, ıslak elek analizi sonucu bulunmuştur. Daha sonra örneklerle ait tane boyu dağılımı eğrisi bu iki analiz birleştirilerek elde edilmiştir (Şekil 5.1). Çizelge 5.1'de tane boyu analizine göre kil, silt, kum ve çakıl oranları ile bazı geoteknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 5.1 Deneylerde kullanılan killi zeminlerin granülometrik ve geotekniksel özellikleri.

	Tane Çapı Dağılımı				Su Muhtevası (%)	Özgül Ağırlık	Zemin
	Çakıl (%)	Kum (%)	Silt (%)	Kil (%)			Sınıfı
A	11	18	35	36	12,9	2,65	CH
B	5	14	44	37	14,9	2,67	CH
C	5	10	44	41	12,9	2,59	CL-CH
D	1	12	43	44	15,6	2,63	CL
E	2	10	50	38	11,50	2,72	CL
F	1	1	65	35	16,5	2,76	CL-ML

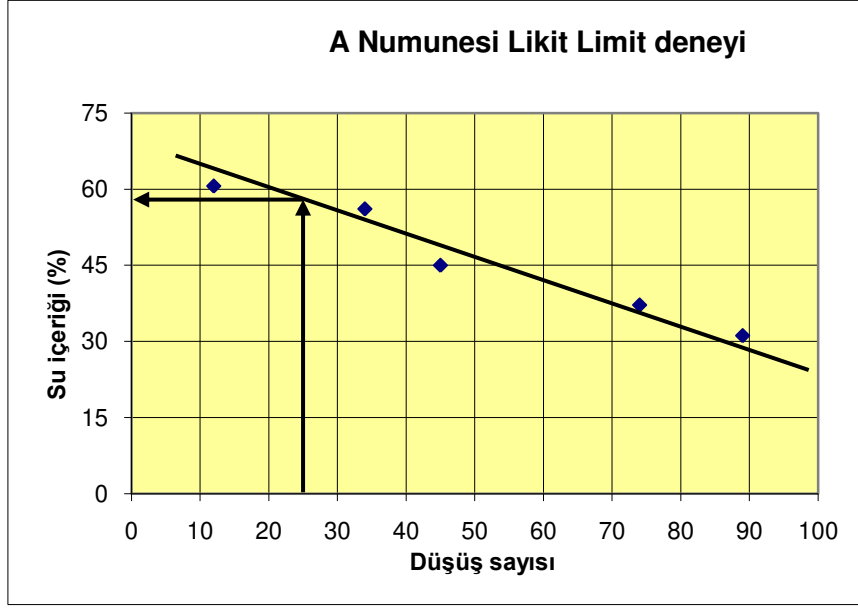


Şekil 5.1 ANS kampüsü kil zeminlerinin tane boyu dağılım grafiği.

5.2. Kıvam (Atterberg) Limitleri Sonuçları

Yapılan çalışmada kil zeminlerin kıvam limitleri TS 1900'e göre yapılmış, ve USCS Zemin sınıflamasına göre sınıflandırılmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda bulunan kıvam limitleri çizelge 5.3'te gösterilmiştir. Bulunan değerler plastisite kartı üzerinde işaretlenerek USCS zemin sınıfına göre sınıflandırmalar yapılmıştır.

Buna göre A numunesine ait kil zeminin likit limit değeri (LL) %59,5 ve plastik limit değeri %25,6 olarak bulunmuştur (Şekil 5.2). Bu değerlerden de plastisite özelliği (PI) %33,9 bulunarak zeminin plastik özelliğe sahip olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 5.2).



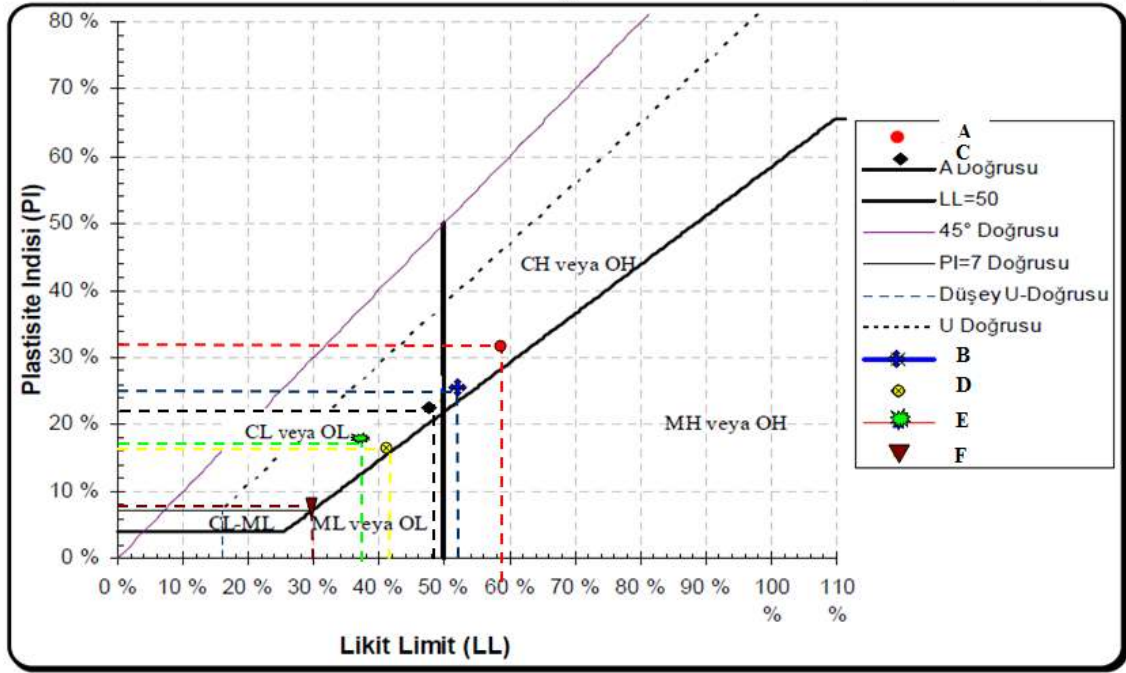
Şekil 5.2 A numunesine ait kil zeminin likit limit (LL) değerinin bulunması.

Çizelge 5.2 Plastisite derecesinin plastisite indisine göre belirlenmesi (Leonards, 1962).

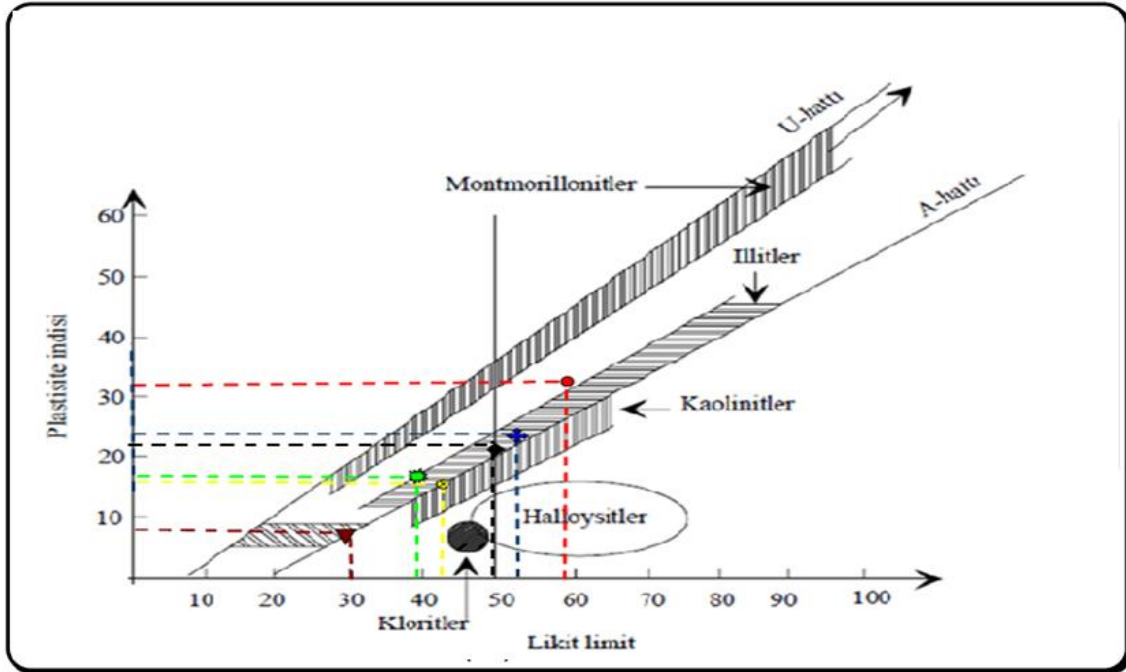
Plastisite İndisi (PI) %	Plastisite Derecesi	Kuru Dayanım
0-5	Plastik değil	Çok düşük
5-15	Az plastik	Düşük
15-40	Plastik	Orta yüksek
>40	Çok plastik	Yüksek

Casagrande plastisite kartı (Şekil 5.3) kullanılarak zemin sınıfı CH (Yüksek Plastisiteli İnorganik Kil) olarak bulunmuştur. Kullanılan kil zeminlerin hangi minerali içerdiğini tahmini olarak belirleyebilmek için, Casagrande tarafından önerilen plastisite diyagramı (Casagrande, 1948) kullanılmıştır. Casagrande bu diyagram üzerinde kil minerallerinin yerlerini yaklaşık olarak sınırlandırmıştır. Bizim numunelerimiz bu sınırlar üzerinde hangi

bölgeye geliyorsa, numunemizin kil minerali o bölgeyi ifade eden minerali içerdiğini söyleyebiliriz. Buna göre A numunesi şekil 5.4'te görüldüğü gibi illit bölgesindedir.



Şekil 5.3 Killi zeminlerin Casagrande Plastisite diyagramındaki yeri.

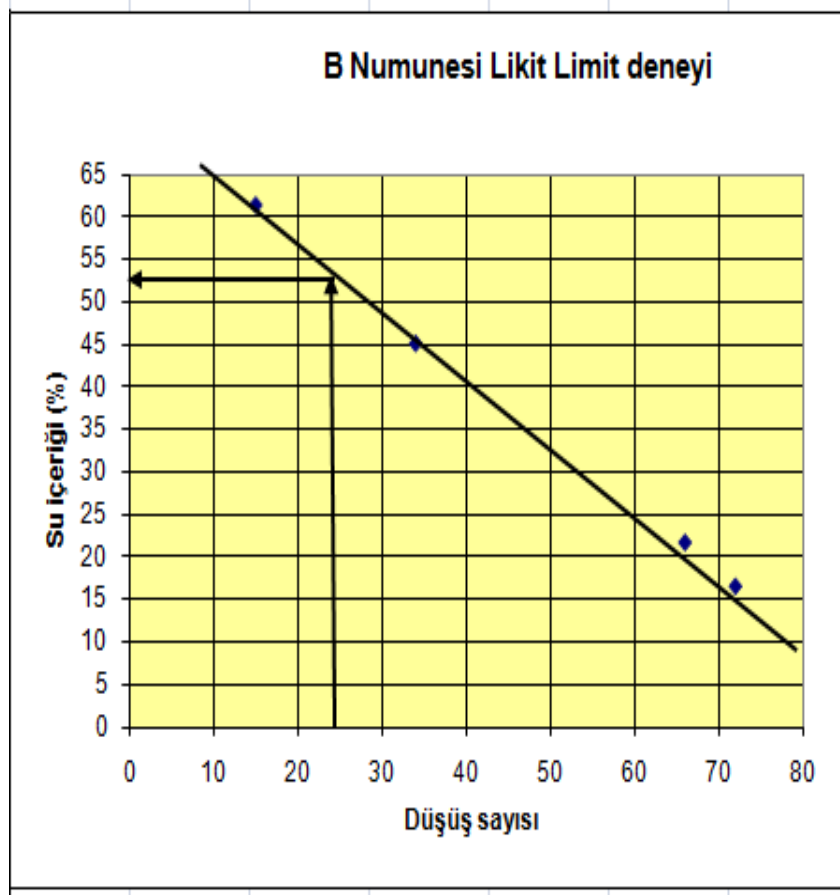


Şekil 5.4 Casagrande'nin plastisite diyagramında yaygın kil minerallerinin lokasyonları.

Çizelge 5.3 Killi zeminler için Casagrande yöntemiyle yapılan Atterberg limitleri deney sonuçları.

Örnek Kodu	Atterber Limitleri Likit Limit (LL) Plastik Limit (PL) Plastisite İndisi (PI)	Değerler
A	LL	59,5
	PL	25,6
	PI	33,9
B	LL	52,7
	PL	27,5
	PI	25,2
C	LL	49,1
	PL	26,6
	PI	22,5
D	LL	42,3
	PL	26,1
	PI	16,1
E	LL	37,2
	PL	20,4
	PI	16,8
F	LL	29,4
	PL	21,6
	PI	7,8

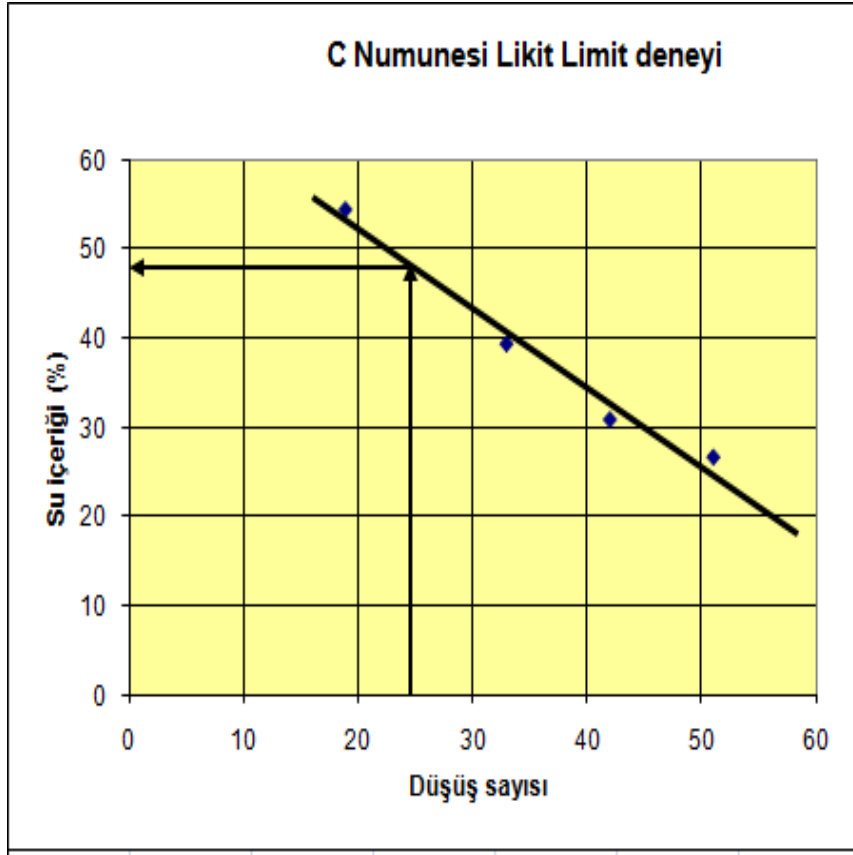
B numunesine ait kil zeminin likit limit değeri (LL) %52,7 ve plastik limit değeri %27,5 olarak bulunmuştur (Şekil 5.5). Bu değerlerden de plastisite özelliği (PI) %25,2 bulunarak zeminin plastik özelliğe sahip olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 5.2).



Şekil 5.5 B numunesine ait killi zeminin likit limit (LL) değerinin bulunması.

Casagrande plastisite kartı (Şekil 5.3) kullanılarak zemin sınıfı CH (Yüksek Plastisiteli İnorganik Kil) olarak bulunmuştur. Casagrande'nin yaygın kil mineralleri lokasyonuna baktığımızda kil zeminin mineral bölgesi illit minerali ağırlıktadır. (Şekil 5.4).

C numunesine ait killi zeminin likit limit değeri (LL) %49,1 ve plastik limit değeri %26,6 olarak bulunmuştur (Şekil 5.6). Bu değerlerden de plastisite özelliği (PI) %22,5 bulunarak zeminin plastik özelliğe sahip olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 5.2).

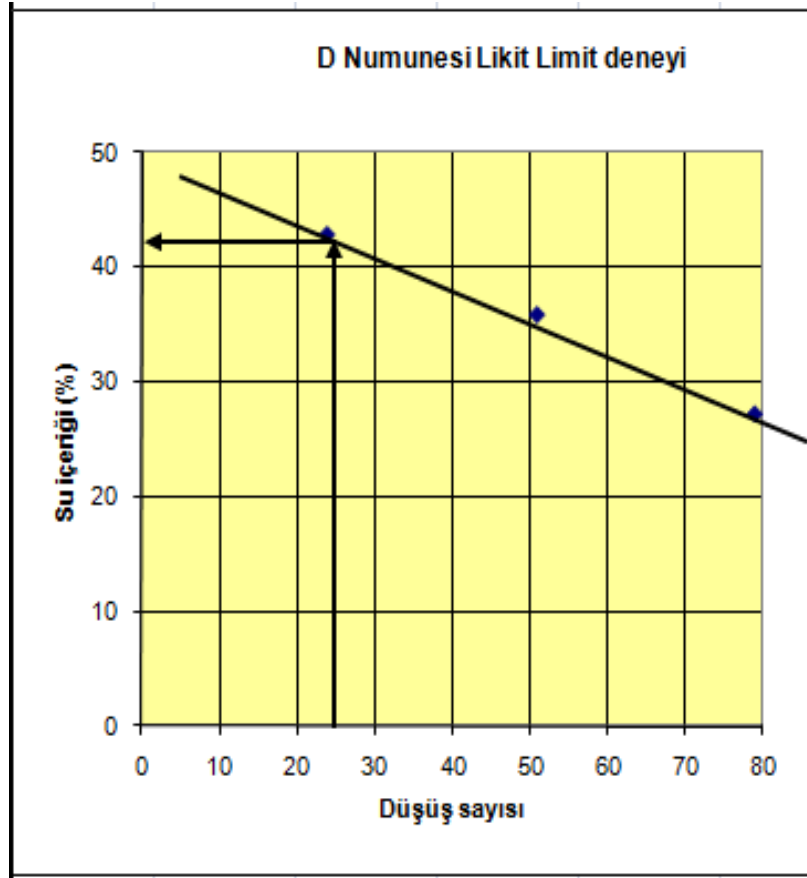


Şekil 5.6 C numunesine ait killi zeminin likit limit (LL) değerinin bulunması.

Casagrande plastisite kartı (Şekil 5.3) kullanılarak zemin sınıfı CL-CH (Orta Plastisiteli İnorganik Kil) olarak bulunmuştur. Casagrande'nin yaygın kil mineralleri bölgelerini gösteren kartına göre kaolinit minerali bölgesindedir (Şekil 5.4).

D numunesine ait killi zeminin atterberg limitleri analizi sonucu, Likit limit değeri (LL) %42,3 ve plastik limit değeri %26,2 olarak bulunmuştur (Şekil 5.7). bu değerlerden de

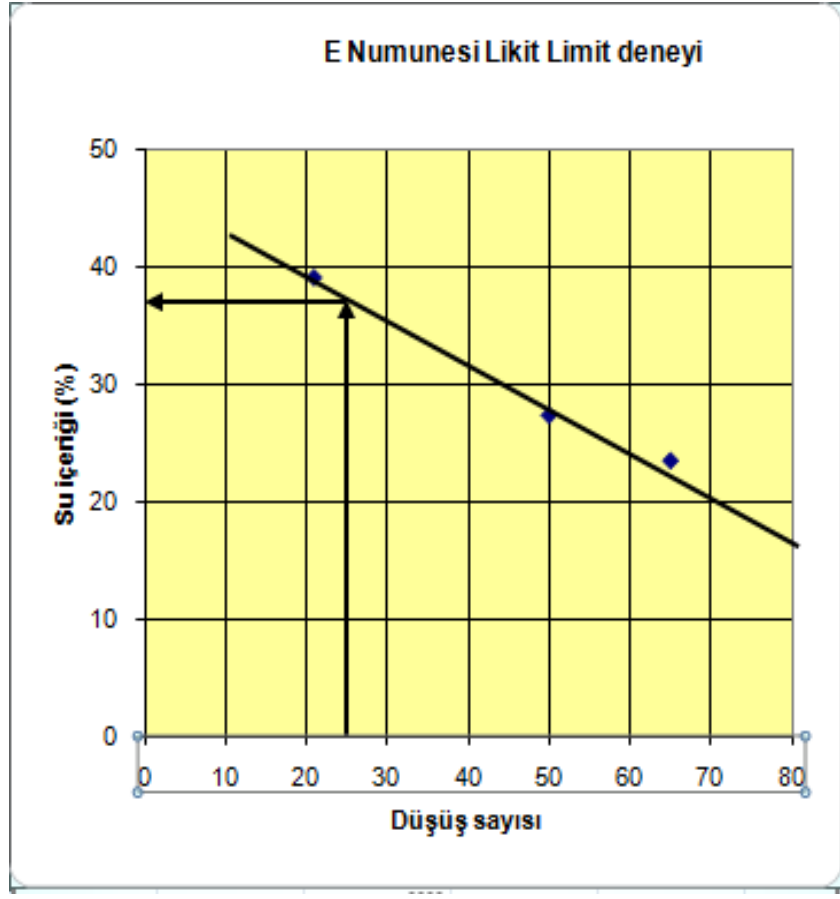
plastisite özelliği (PI) %16,2 bulunarak zeminin plastik özelliğe sahip olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 5.2).



Şekil 5.7 D numunesine ait killi zeminin likit limit (LL) değerinin bulunması.

Casagrande plastisite kartı (Şekil 5.3) kullanılarak Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırması (USCS)'na göre zemin sınıfı CL (Düşük Plastisiteli İnorganik Kil) olarak bulunmuştur. Casagrande'nin yaygın kil mineralleri lokasyonuna baktığımızda kil zemindeki mineraller, yaklaşık olarak kaolinit mineralidir (şekil 5.4).

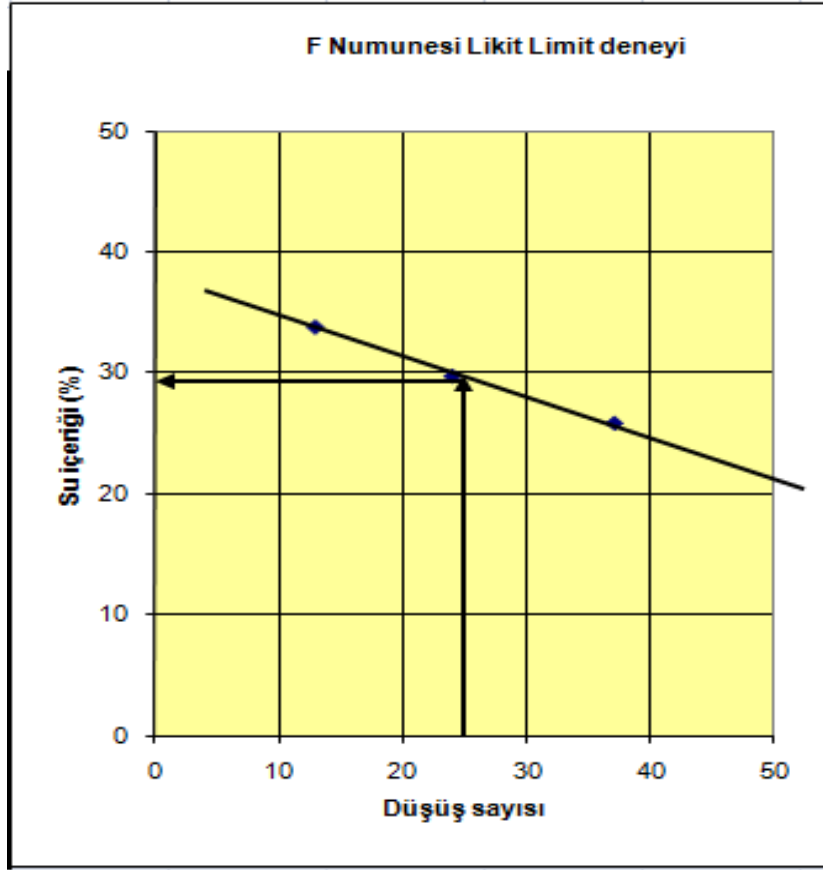
E numunesine ait killi zeminin Atterberg limitleri analizi sonucu, Likit limit değeri (LL) %37,2 ve plastik limit değeri %20,2 olarak bulunmuştur (Şekil 5.8). bu değerlerden de plastisite özelliği (PI) %16,8 bulunarak zeminin plastik özelliğe sahip olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 5.2).



Şekil 5.8 E numunesine ait killi zeminin likit limit (LL) değerinin bulunması.

Casagrande plastisite kartı (Şekil 5.3) kullanılarak Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırması (USCS)'na göre zemin sınıfı CL (Düşük Plastisiteli İnorganik Kil) olarak bulunmuştur. Casagrande'nin yaygın kil mineralleri lokasyonuna baktığımızda killi zemindeki killer, yaklaşık olarak illit minerali ağırlıklıdır. (Şekil 5.4).

F numunesine ait killi zeminin Atterberg limitleri analizi sonucu, Likit limit değeri (LL) %29,4 ve plastik Limit değeri %21,6 olarak bulunmuştur (Şekil 5.9). Bu değerlerden de plastisite özelliği (PI) %7, 8 bulunarak zeminin az plastik bir özelliğe sahip olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 5.2).



Şekil 5.9 F numunesine ait killi zeminin likit limit (LL) değerinin bulunması.

Casagrande plastisite kartı (Şekil 5.3) kullanılarak Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırması (USCS)'na göre zemin sınıfı CL-ML (Düşük Plastisiteli Siltli Kil) olarak bulunmuştur. Casagrande'nin yaygın kil mineralleri lokasyonuna baktığımızda kil zemindeki mineraller, yaklaşık olarak illit minerali ağırlıklıdır. (Şekil 5.4).

5.3. Konsolidasyon Deneyi Sonuçları

Killi zeminlerin konsolidasyon değeri üzerinde boşluk oranının önemli bir etkisi vardır. Bu etkilerin belirlenebilmesi için mermer tozu katkılı killi zemizlerde yapılan konsolidasyon deneylerinde konsolidasyon parametreleri ve boşluk oranı değişimleri

belirlenmiştir. Konsolidasyon parametreleri ve boşluk oranlarında meydana gelen değişiklikler tanecikler arasındaki fiziko-kimyasal değişikliklere bağlı olarak açıklanmıştır. Kil tanecikleri arasındaki boşluk sıvısında meydana gelen değişiklikler kil matrisinin davranışında çok önemli değişime neden olmaktadır (Tuncan 1993).

Konsolidasyon deneyleri, ANS kampüsünden 6 farklı noktadan alınan killi zeminler ve bu zeminlere %5-10-15 oranında atık mermer tozu karıştırılarak hazırlanan numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Konsolidasyon deneylerinin sonuçları her bir zemin türü için ayrı ayrı gösterilmiştir.

Numunelerin isimlendirilmeleri katkı oranına göre yapılmıştır. Buna göre katkısız numune A, %5 mermer tozu katkılı A5, %10 mermer tozu katkılı A10, %15 mermer tozu katkılı A15 olarak belirtilmiştir. Aynı şekilde B, C, D, E, F numuneleri için de aynı yöntemle isimlendirme yapılmıştır. Konsolidasyon deneyleri sonucunda elde edilen sıkışma indisi (C_c) ve şişme indisi (C_s) değerleri çizelge 5.4'te verilmiştir. Çizelgede verilen değerler bir bütün olarak değerlendirildiğinde tüm numunelerde artan mermer tozu oranı ile birlikte sıkışma indisi değerlerinde belirgin şekilde bir azalma görülmektedir. Yalnız B numunesindeki değişim diğer numunelere göre daha az gerçekleşmiştir.

Çizelge 5.4 Numuneler üzerinde yapılan konsolidasyon deneylerinde elde edilen sıkışma indisi ve şişme indisi değerleri.

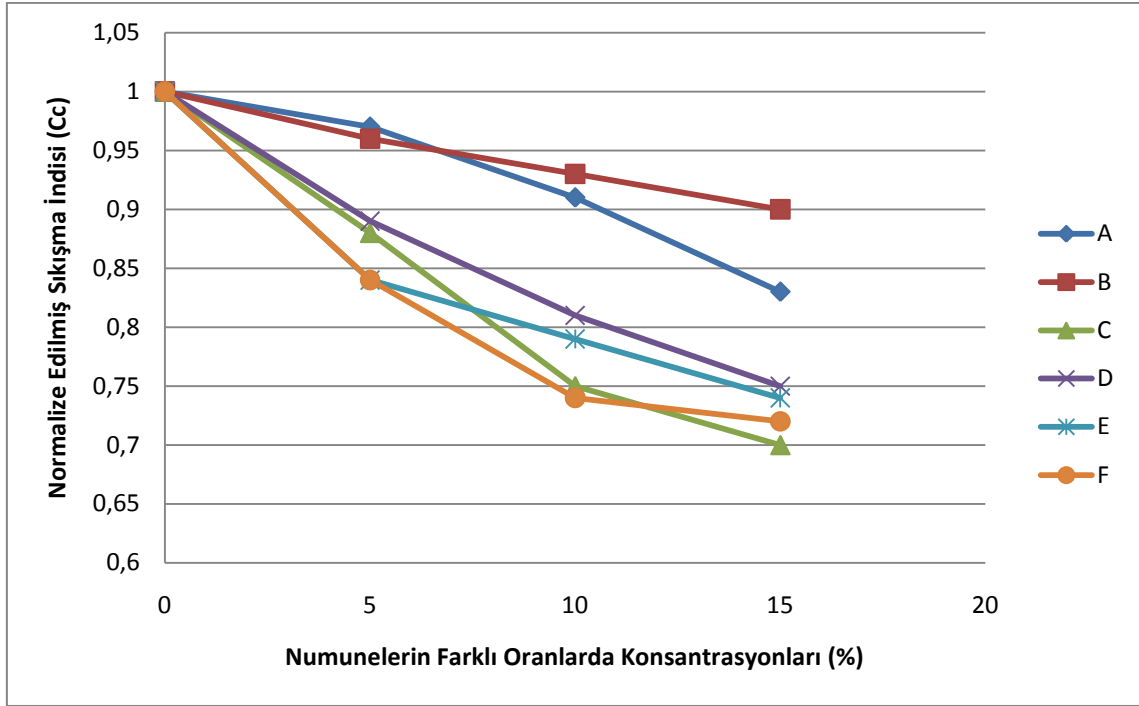
Numune	Sıkışma İndisi Şişme İndisi (c_c) ve (C_s)	Katkısız	% 5 Katkı	%10 Katkı	%15 Katkı
A	Cc	0,302	0,294	0,276	0,250
	Cs	0,049	0,040	0,038	0,036
B	Cc	0,326	0,314	0,302	0,294
	Cs	0,053	0,046	0,042	0,039
C	Cc	0,329	0,291	0,248	0,231
	Cs	0,068	0,061	0,049	0,043
D	Cc	0,283	0,251	0,230	0,211
	Cs	0,065	0,061	0,054	0,052
E	Cc	0,289	0,244	0,227	0,214
	Cs	0,057	0,049	0,042	0,041
F	Cc	0,304	0,259	0,226	0,220
	Cs	0,054	0,051	0,049	0,040

Deney sonuçlarının birbirleriyle daha net bir şekilde karşılaştırılabilmeleri için normalize edilmiş sıkışma indisi ve normalize edilmiş şişme indisi değerleri oluşturulmuştur. Her numunedeki mermer tozu kullanılmadan elde edilen sıkışma indisi ve şişme indisi değerleri 1 kabul edilmiştir. Mermer tozlarının değişik konsantrasyonları için elde edilen sıkışma ve şişme indisi değerleri ise; mermer tozu katkılı numunelerin sıkışma ve şişme indisi değerlerinin, katkısız numuneler için elde edilen değerlere oranlanmasıdır. Örnek olarak A numunesinde sıkışma indisi değeri 0,302'dir. %5 mermer tozu karıştırılmış olan A5 numunesinin sıkışma indisi değeri 0,294'tür. Normalize edilmiş değeri ise $0,294/0,302=0,97$ 'dir.

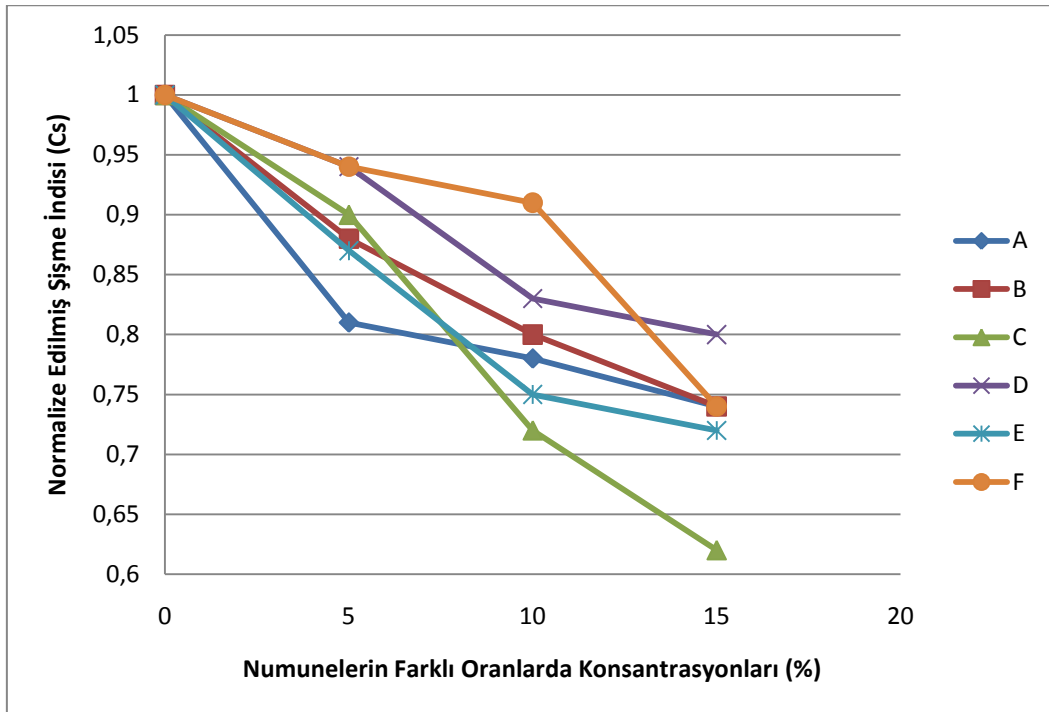
Çizelge 5.5'te verilen normalize edilmiş sıkışma indisi ve şişme indisi değerleri, şekil 5.10 ve şekil 5.11'de grafiklerle gösterilmiştir. Grafikler mermer tozu katkısına bağlı olarak Cc ve Cs değerlerinin değişimini göstermektedir.

Çizelge 5.5 Numuneler üzerinde yapılan konsolidasyon deneylerinde elde edilen normalize edilmiş sıkışma indisi ve şişme indisi değerleri

Karışımlar	Sıkışma İndisi (Cc)	Normalize Edilmiş Sıkışma İndisi (Cc)	Şişme İndisi (Cs)	Normalize edilmiş şişme indisi (Cs)
A	0,302	1	0,049	1
A5	0,294	0,97	0,040	0,81
A10	0,276	0,91	0,038	0,78
A15	0,250	0,83	0,036	0,74
B	0,326	1	0,053	1
B5	0,314	0,96	0,046	0,88
B10	0,302	0,93	0,042	0,80
B15	0,294	0,90	0,039	0,74
C	0,329	1	0,068	1
C5	0,291	0,88	0,061	0,80
C10	0,248	0,75	0,049	0,70
C15	0,231	0,70	0,043	0,63
D	0,283	1	0,065	1
D5	0,251	0,89	0,061	0,94
D10	0,230	0,81	0,054	0,83
D15	0,211	0,75	0,052	0,80
E	0,289	1	0,057	1
E5	0,244	0,84	0,049	0,87
E10	0,227	0,79	0,042	0,75
E15	0,214	0,74	0,041	0,72
F	0,304	1	0,054	1
F5	0,259	0,85	0,051	0,94
F10	0,226	0,74	0,049	0,91
F15	0,220	0,72	0,040	0,74



Şekil 5.10 Tüm numunelerin farklı konsantrasyonları için normalize edilmiş sıkışma indisi değerleri.



Şekil 5.11 Tüm numunelerin farklı konsantrasyonları için normalize edilmiş şişme indisi değerleri.

Şekil 5.10 incelendiğinde kil numunelerine ilave edilen mermer tozlarının killi zeminlerin sıkışma indisi değerlerini düşürdüğü görülmüştür. B numunesinde bu düşüş diğer numunelere göre daha az gerçekleşmiştir. En çok azalma %15 katkıda C numunesinde görülmüştür. %10 katkı için C ve F değerleri hemen hemen aynıdır.

Şekil 5.11 incelendiğinde artan mermer tozu konsatrasyonu ile birlikte normalize edilmiş şişme indisi değerleri azalmaktadır. F numunesinde diğer örneklere göre daha büyük şişme indisi değerleri görülmektedir. Bütün numuneler içinde en düşük şişme indisi değerleri C numunesinde elde edilmektedir. Mermer tozlarının tane yapısının killerin boşluk oranını önemli ölçüde etkilediği görülmektedir.

Bir zemindeki deformasyonlar; zemin parçacıklarının sıkışması ve ezilmesi, temas yüzeylerindeki kesme deplasmanları, kil parçacıklarını çevreleyen adsorbe su tabakalarının sıkışması ve zemin parçacıklarının bükülmesinden kaynaklanmaktadır. Şişme genellikle parçacıkların eski haline dönme eğilimi ve çift tabakadaki şişme eğilimine bağlıdır. Böylece sıkışabilirlik mekaniksel ve fiziko-kimyasal faktörler tarafından kontrol edilmektedir. Mekaniksel faktörler geometrik şekil ve boyut, yüzey sürtünmesi ve zemin yapısı gibi mineral parçacıklarının özelliklerini kapsamaktadır. Fiziko-kimyasal faktörler ise, tanecikler arasındaki çift tabaka itme kuvveti ve Van der Walls çekme kuvvetidir.

Kil tanecikleri arasındaki fiziko-kimyasal kuvvetlerden Van der Walls çekme kuvveti etkileşim halinde olan molekül ve atom çiftleri arasında rol oynayan genel bir kuvvettir. Zeminlerdeki çekme kuvveti kil minerallerinin tipi, yapısı geometrik şekli taneciklerin birbirine göre bulunduğu pozisyon, parçacıklar arasındaki mesafe ve boşluk sıvısının özelliklerine bağlı olarak değişim göstermektedir.

Zeminlerde uygulanan bir üst tabaka gerilmesi ile meydana gelen konsolidasyon miktarının hesaplanmasında kullanılan bir diğer parametre de hacimsel sıkışma katsayısıdır (m_v). Literatürde konsolidasyon olayı incelenirken daha ziyade sıkışma indisi parametresi dikkate alınmasına rağmen burada deneylerde elde edilen sıkışma katsayısı (a_v) ve hacimsel sıkışma katsayısı değerleri de her bir gerilme kademesi için verilmiştir (Çizelge 5.6). Çizelgede her bir gerilme kademesi için boşluk oranı değişimi değerleri ve toplam boşluk oranı değişimi de verilmiştir. Her bir numune ve mermer tozu konsantrasyonlarının sonuçları Çizelge 5.6, 5.7, 5.8, 5.9, 5.10 ve 5.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.6 A numunelerine ait konsolidasyon deney sonuçları.

	Basınç kPa	Boşluk Oranı (e)	Sıkışma Katsayısı a_v (cm ² /kg)	Hac. Sıkş. Kats. m_v (cm ² /kg)
A	0	1,194	0,000	0,000
	25	1,138	0,223	0,114
	50	1,108	0,163	0,085
	100	1,028	0,139	0,075
	200	0,929	0,099	0,056
	400	0,832	0,049	0,029
	200	0,844	0,006	0,004
	100	0,866	0,020	0,012
		$\Sigma e=0,328$		
A5	0	1,176	0,000	0,000
	25	1,135	0,166	0,085
	50	1,096	0,162	0,085
	100	1,019	0,138	0,074
	200	0,927	0,096	0,054
	400	0,835	0,047	0,028
	200	0,843	0,007	0,004
	100	0,567	0,020	0,012
		$\Sigma e=0,609$		
A10	0	1,154	0,000	0,000
	25	1,117	0,148	0,076
	50	1,083	0,138	0,073
	100	1,020	0,125	0,067
	200	0,933	0,087	0,049
	400	0,836	0,047	0,028
	200	0,841	0,004	0,003
	100	0,863	0,016	0,090
		$\Sigma e=0,291$		
A15	0	1,122	0,000	0,000
	25	1,087	0,157	0,082
	50	1,062	0,103	0,055
	100	0,993	0,122	0,067
	200	0,915	0,084	0,048
	400	0,825	0,047	0,028
	200	0,843	0,011	0,007
	100	0,851	0,008	0,005
		$\Sigma e=0,271$		

Çizelge 5.7 B numunelerine ait konsolidasyon deney sonuçları.

	Basınç kPa	Boşluk Oranı (e)	Sıkışma Katsayısı a_v (cm ² /kg	Hac. Sıkş. Kats. m_v (cm ² /kg)
B	0	1,177	0,000	0,000
	25	1,119	0,249	0,128
	50	1,073	0,189	0,100
	100	1,022	0,103	0,056
	200	0,953	0,068	0,038
	400	0,855	0,049	0,029
	200	0,865	0,005	0,003
	100	0,873	0,015	0,009
		$\Sigma e=0,904$		
B5	0	1,164	0,000	0,000
	25	1,118	0,179	0,097
	50	1,079	0,159	0,084
	100	1,035	0,087	0,047
	200	0,972	0,063	0,035
	400	0,880	0,046	0,027
	200	0,890	0,005	0,003
	100	0,905	0,015	0,009
		$\Sigma e=0,259$		
B10	0	1,158	0,000	0,000
	25	1,120	0,153	0,079
	50	1,090	0,121	0,064
	100	1,038	0,104	0,056
	200	0,981	0,057	0,031
	400	0,905	0,037	0,022
	200	0,914	0,004	0,003
	100	0,926	0,011	0,007
		$\Sigma e=0,232$		
B15	0	1,139	0,000	0,000
	25	1,121	0,149	0,077
	50	1,084	0,148	0,078
	100	1,036	0,100	0,054
	200	0,977	0,056	0,032
	400	0,907	0,035	0,020
	200	0,916	0,004	0,003
	100	0,928	0,011	0,007
		$\Sigma e=0,211$		

Çizelge 5.8 C numunelerine ait konsolidasyon deney sonuçları.

	Basınç kPa	Boşluk Oranı (e)	Sıkışma Katsayısı a_v (cm ² /kg	Hac. Sıkş. Kats. m_v (cm ² /kg)
C	0	1,291	0,000	0,000
	25	1,225	0,266	0,136
	50	1,186	0,156	0,082
	100	1,131	0,109	0,059
	200	1,055	0,076	0,042
	400	0,961	0,047	0,028
	200	0,972	0,006	0,004
	100	0,991	0,019	0,011
		$\Sigma e=0,300$		
C5	0	1,278	0,000	0,000
	25	1,244	0,131	0,067
	50	1,209	0,143	0,750
	100	1,166	0,085	0,045
	200	1,091	0,076	0,041
	400	0,996	0,047	0,027
	200	1,007	0,006	0,003
	100	1,017	0,009	0,006
		$\Sigma e=0,261$		
C10	0	1,265	0,000	0,000
	25	1,228	0,127	0,065
	50	1,204	0,114	0,059
	100	1,160	0,089	0,048
	200	1,096	0,064	0,035
	400	1,016	0,040	0,023
	200	1,024	0,004	0,002
	100	1,037	0,013	0,008
		$\Sigma e=0,228$		
C15	0	1,262	0,000	0,000
	25	1,232	0,121	0,062
	50	1,211	0,085	0,044
	100	1,162	0,097	0,052
	200	1,055	0,063	0,034
	400	1,027	0,036	0,021
	200	1,036	0,005	0,003
	100	1,051	0,002	0,009
		$\Sigma e=0,211$		

Çizelge 5.9 D numunelerine ait konsolidasyon deney sonuçları.

	Basınç kPa	Boşluk Oranı (e)	Sıkışma Katsayısı a_v (cm ² /kg	Hac. Sıkş. Kats. m_v (cm ² /kg)
D	0	1,482	0,000	0,000
	25	1,416	0,265	0,136
	50	1,377	0,155	0,082
	100	1,322	0,110	0,059
	200	1,247	0,076	0,042
	400	1,149	0,049	0,029
	200	1,161	0,006	0,004
	100	1,180	0,019	0,011
		$\Sigma e=0,302$		
D5	0	1,475	0,000	0,000
	25	1,450	0,099	0,051
	50	1,421	0,117	0,060
	100	1,364	0,114	0,060
	200	1,292	0,072	0,039
	400	1,205	0,044	0,025
	200	1,216	0,006	0,003
	100	1,235	0,018	0,011
		$\Sigma e=0,240$		
D10	0	1,460	0,000	0,000
	25	1,430	0,118	0,061
	50	1,401	0,116	0,061
	100	1,350	0,103	0,055
	200	1,290	0,060	0,033
	400	1,216	0,037	0,021
	200	1,228	0,006	0,003
	100	1,246	0,018	0,010
		$\Sigma e=0,214$		
D15	0	1,453	0,000	0,000
	25	1,421	0,129	0,067
	50	1,395	0,106	0,055
	100	1,358	0,074	0,040
	200	1,300	0,057	0,032
	400	1,224	0,038	0,022
	200	1,232	0,004	0,002
	100	1,244	0,013	0,007
		$\Sigma e=0,209$		

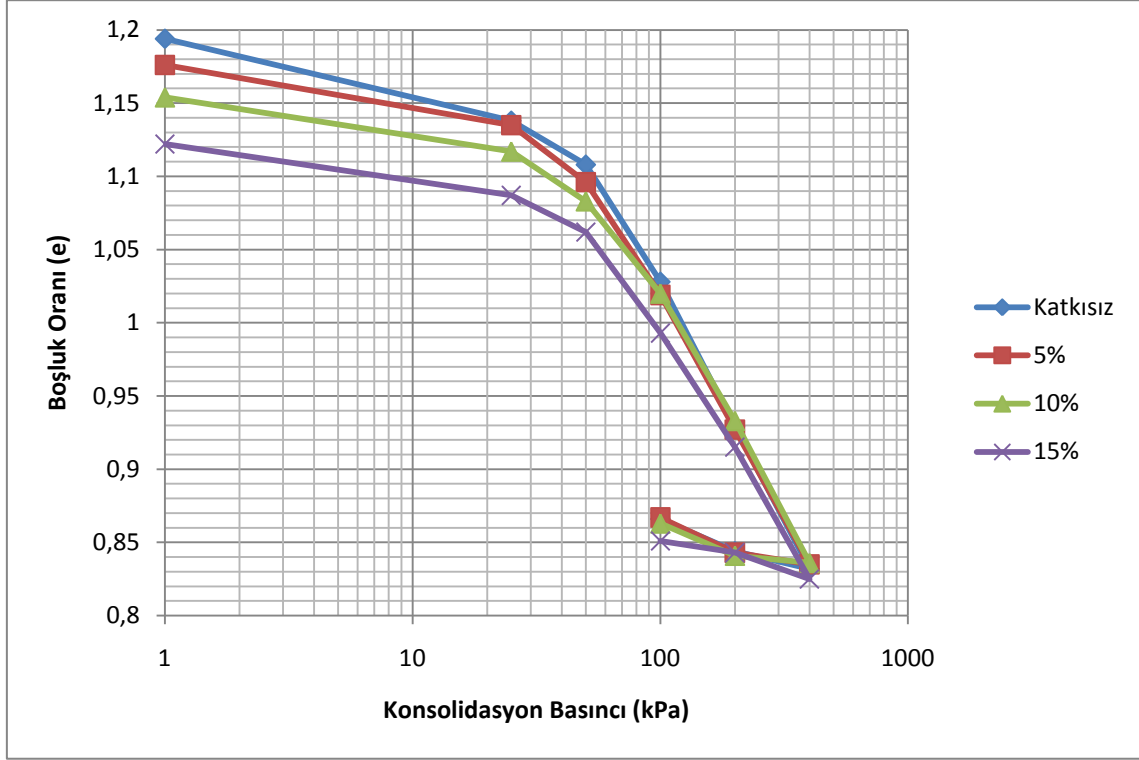
Çizelge 5.10 E numunelerine ait konsolidasyon deney sonuçları.

	Basınç kPa	Boşluk Oranı (e)	Sıkışma Katsayısı a_v (cm ² /kg	Hac. Sıkş. Kats. m_v (cm ² /kg)
E	0	1,763	0,000	0,000
	25	1,732	0,125	0,040
	50	1,656	0,305	0,098
	100	1,505	0,301	0,101
	200	1,203	0,302	0,110
	400	0,882	0,162	0,066
	200	0,899	0,009	0,004
	100	0,940	0,041	0,018
		$\Sigma e=0,823$		
E5	0	1,585	0,000	0,000
	25	1,550	0,139	0,047
	50	1,504	0,184	0,063
	100	1,423	0,163	0,057
	200	1,175	0,248	0,092
	400	0,920	0,127	0,052
	200	0,938	0,009	0,004
	100	0,950	0,012	0,005
		$\Sigma e=0,635$		
E10	0	1,219	0,000	0,000
	25	1,207	0,046	0,018
	50	1,171	0,144	0,055
	100	1,083	0,177	0,070
	200	0,906	0,177	0,074
	400	0,707	0,100	0,045
	200	0,726	0,010	0,004
	100	0,764	0,031	0,015
		$\Sigma e=0,455$		
E15	0	1,126	0,000	0,000
	25	1,093	0,133	0,055
	50	1,053	0,162	0,068
	100	0,981	0,143	0,062
	200	0,858	0,123	0,055
	400	0,706	0,076	0,036
	200	0,715	0,004	0,002
	100	0,726	0,011	0,005
		$\Sigma e=0,400$		

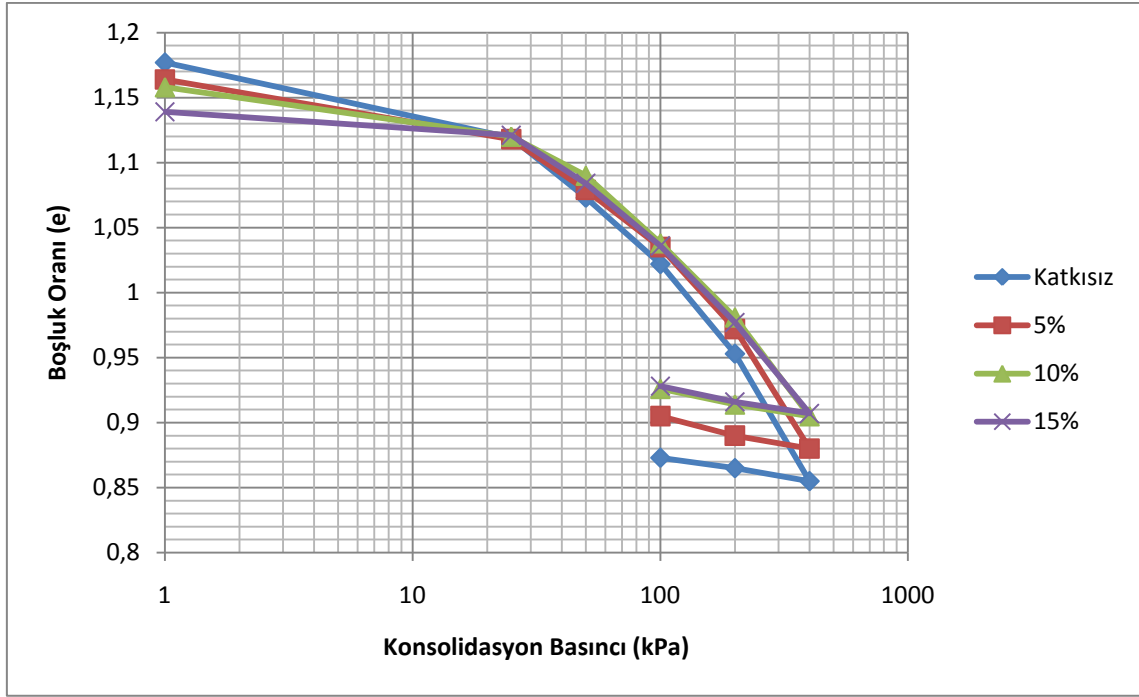
Çizelge 5.11 F numunelerine ait konsolidasyon deney sonuçları.

	Basınç kPa	Boşluk Oranı (e)	Sıkışma Katsayısı a_v (cm ² /kg	Hac. Sıkş. Kats. m_v (cm ² /kg)
F	0	2,127	0,000	0,000
	25	2,096	0,123	0,040
	50	2,021	0,301	0,098
	100	1,872	0,298	0,101
	200	1,592	0,280	0,102
	400	1,295	0,149	0,061
	200	1,312	0,009	0,004
	100	1,353	0,041	0,017
		$\Sigma e=0,774$		
F5	0	1,820	0,000	0,000
	25	1,799	0,085	0,030
	50	1,768	0,125	0,045
	100	1,682	0,171	0,063
	200	1,466	0,216	0,084
	400	1,235	0,116	0,049
	200	1,245	0,005	0,002
	100	1,274	0,029	0,013
		$\Sigma e=0,546$		
F10	0	1,424	0,000	0,000
	25	1,403	0,082	0,034
	50	1,379	0,097	0,041
	100	1,333	0,092	0,039
	200	1,221	0,113	0,049
	400	1,077	0,072	0,033
	200	1,094	0,008	0,004
	100	1,125	0,031	0,015
		$\Sigma e=0,299$		
F15	0	1,410	0,000	0,000
	25	1,390	0,082	0,034
	50	1,365	0,097	0,041
	100	1,320	0,091	0,039
	200	1,216	0,104	0,046
	400	1,091	0,062	0,029
	200	1,108	0,008	0,004
	100	1,139	0,031	0,015
		$\Sigma e=0,271$		

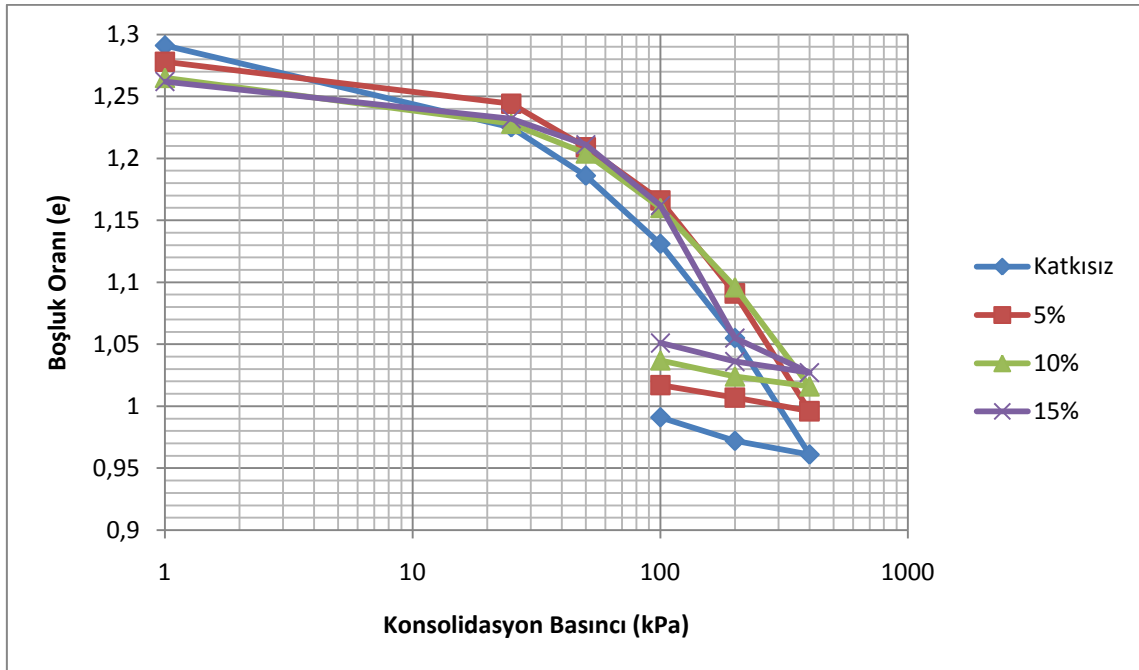
Kil zeminlerde konsolidasyon olayını yorumlamanın bir diğer şekli, sonuçların konsolidasyon parametrelerinin hesaplanmasında kullanılan boşluk oranı değişimi değerlerine göre belirtilmesidir. Bu amaçla tüm numunelerin boşluk oranı-konsolidasyon basıncı değişim grafikleri her bir numune için ayrı ayrı Şekil 5.12 ile 5.17 arasında gösterilmiştir. Her bir karışım oranındaki boşluk oranı-konsolidasyon basıncı değişimi grafikleri de ayrı ayrı Şekil 5.18 ile 5.21 arasında gösterilmiştir.



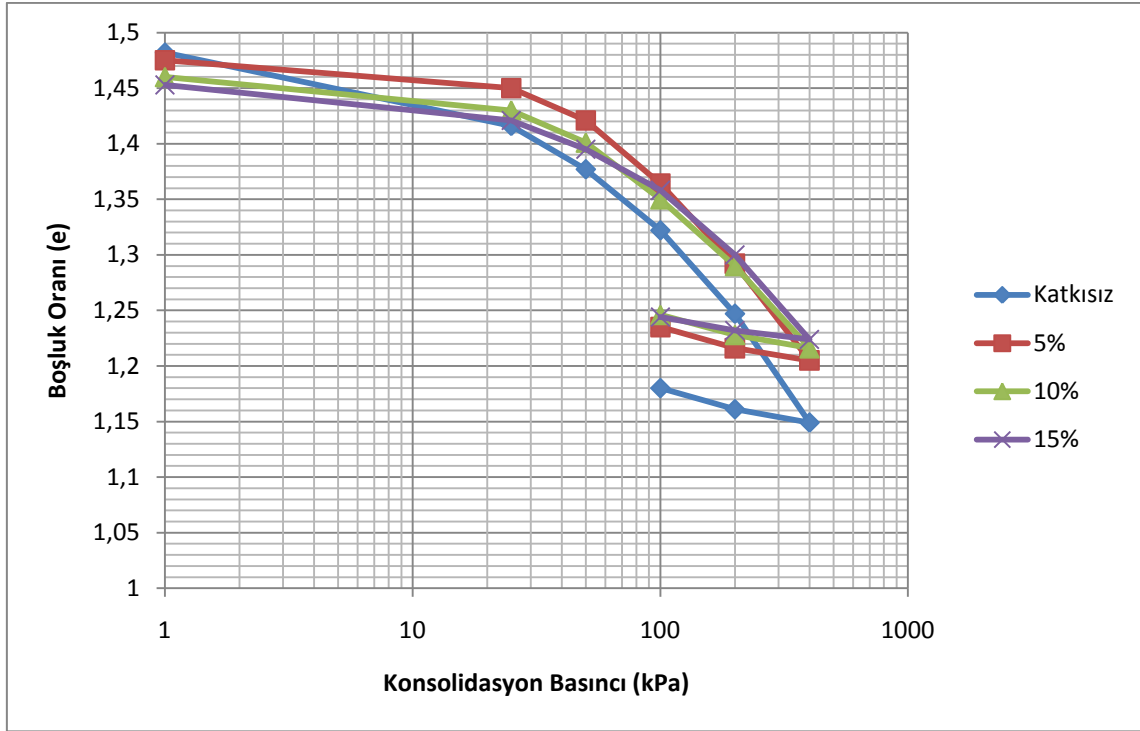
Şekil 5.12 A numunesi ve değişik mermer tozu konsantrasyonları için konsolidasyon deneylerinden elde edilen e-logP grafikleri.



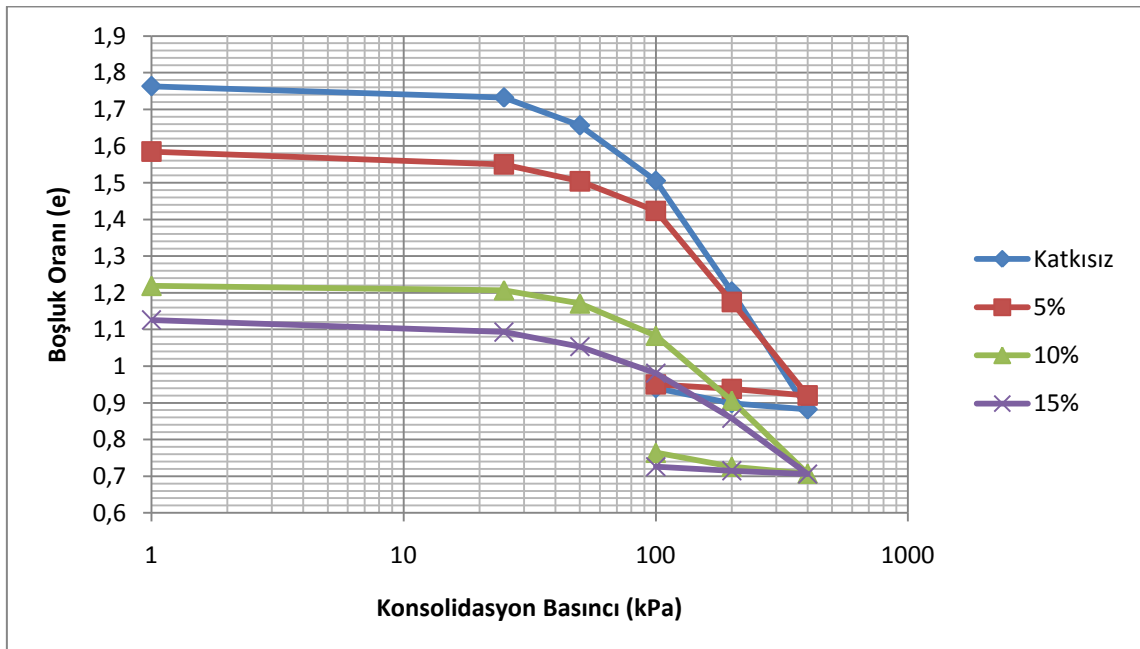
Şekil 5.13 B numunesi ve değişik mermer tozu konsantrasyonları için konsolidasyon deneylerinden elde edilen e-logP grafikleri.



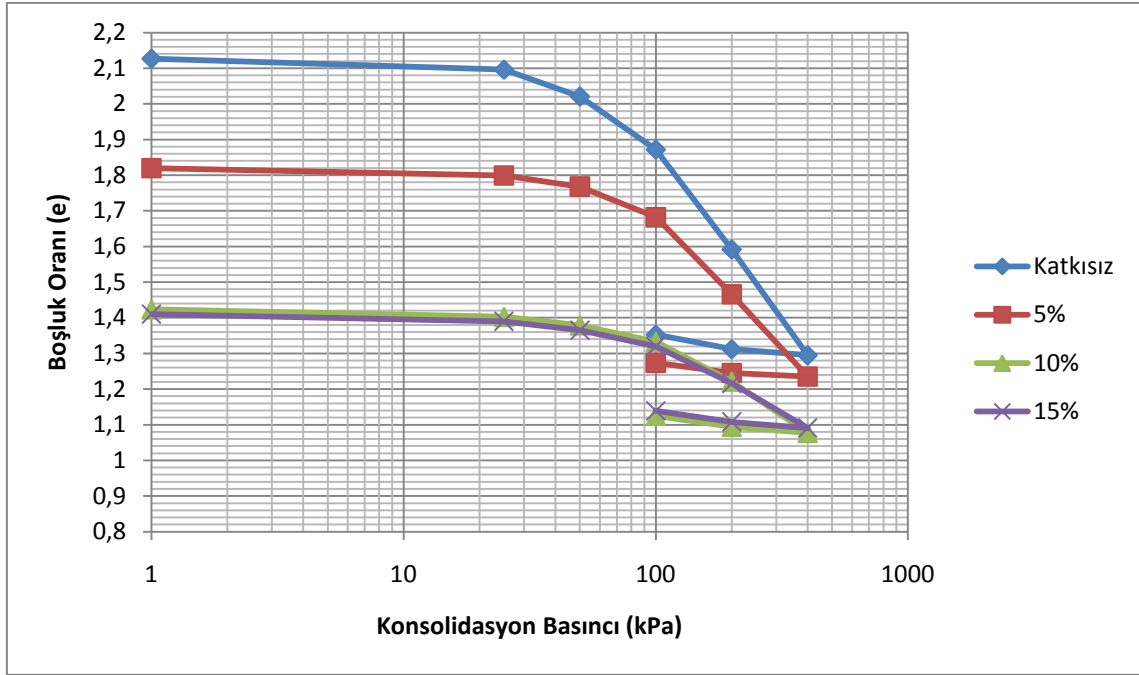
Şekil 5.14 C numunesi ve değişik mermer tozu konsantrasyonları için konsolidasyon deneylerinden elde edilen e-logP grafikleri.



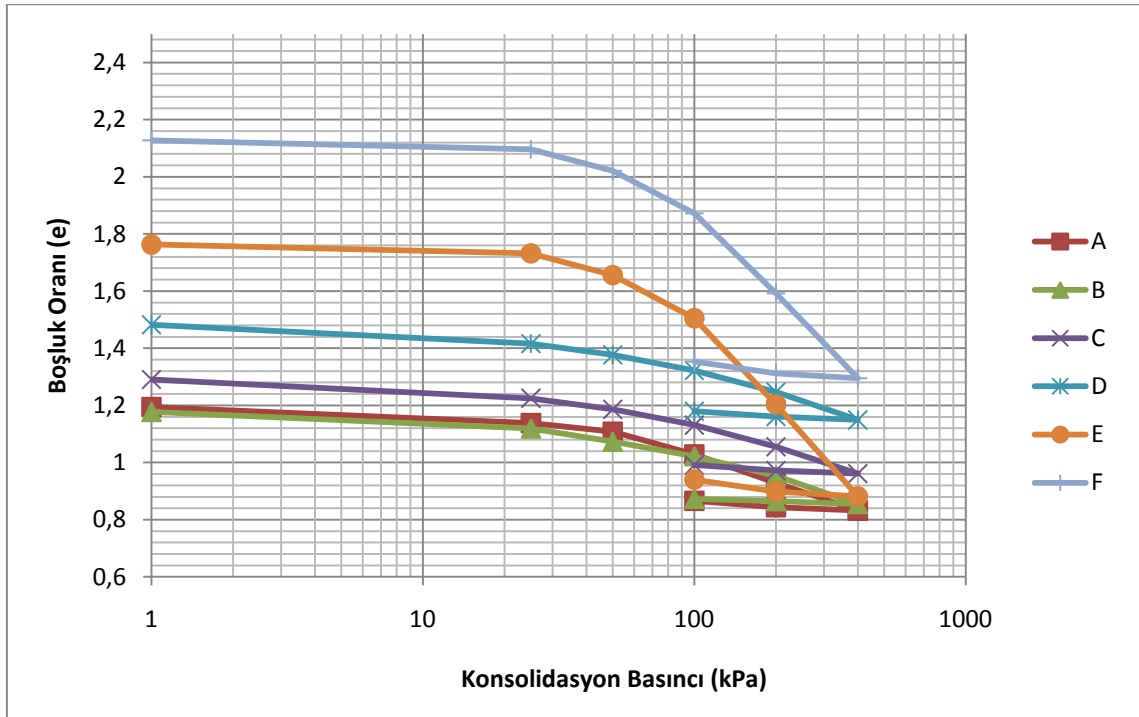
Şekil 5.15 D numunesi ve değişik mermer tozu konsantrasyonları için konsolidasyon deneylerinden elde edilen e-logP grafikleri.



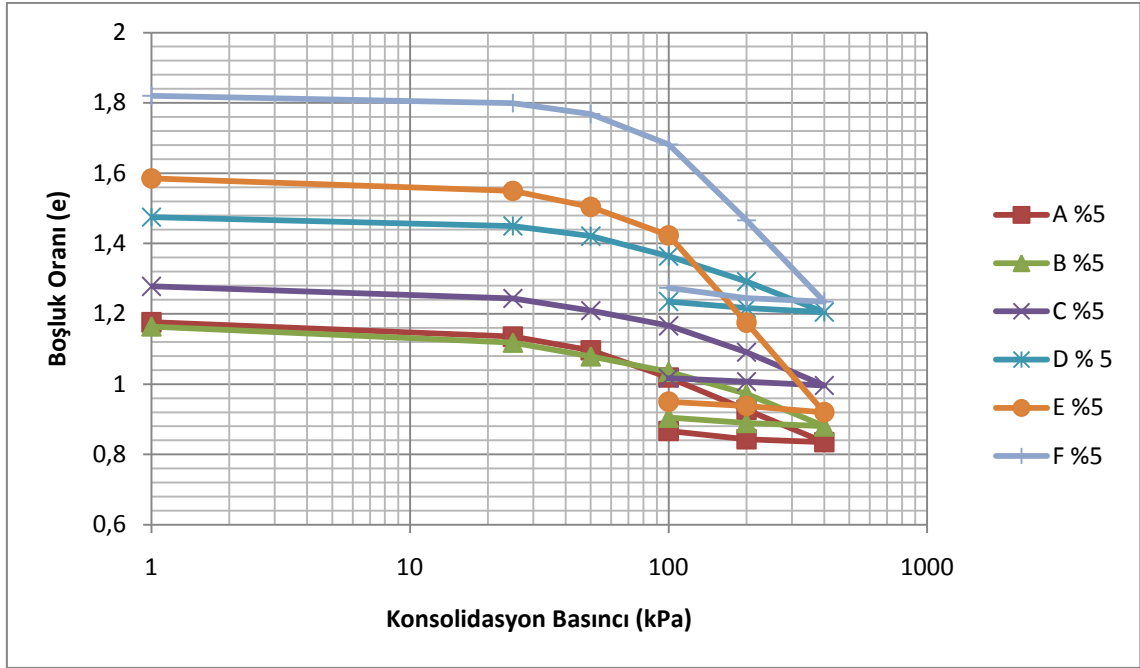
Şekil 5.16 E numunesi ve değişik mermer tozu konsantrasyonları için konsolidasyon deneylerinden elde edilen e-logP grafikleri.



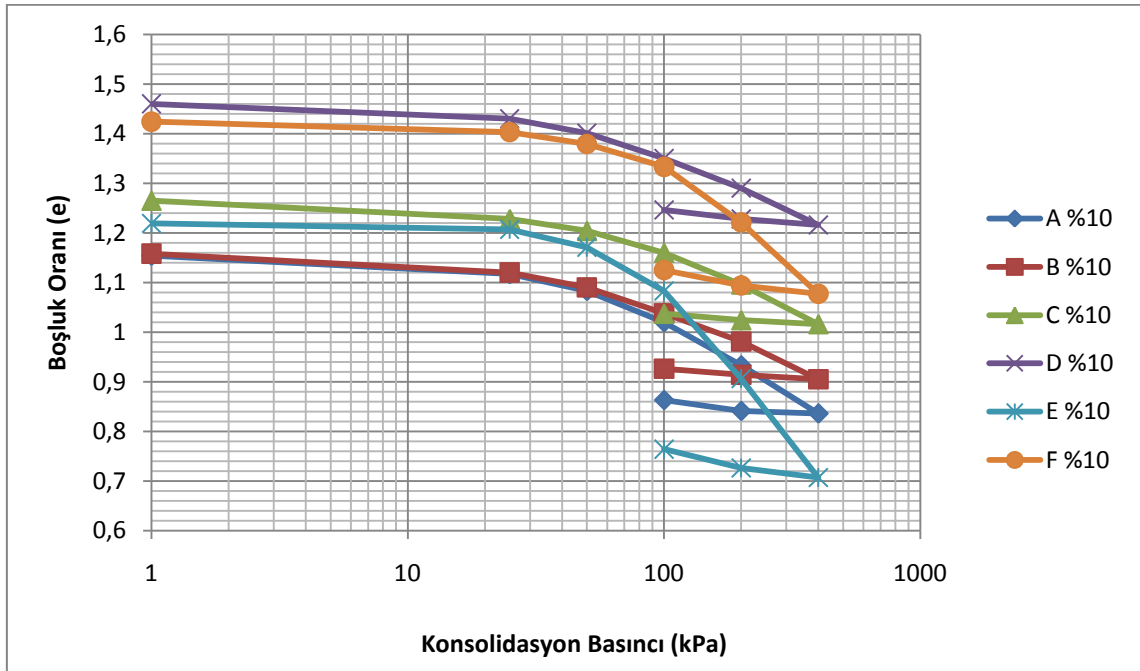
Şekil 5.17 F numunesi ve değişik mermer tozu konsantrasyonları için konsolidasyon deneylerinden elde edilen e-logP grafikleri.



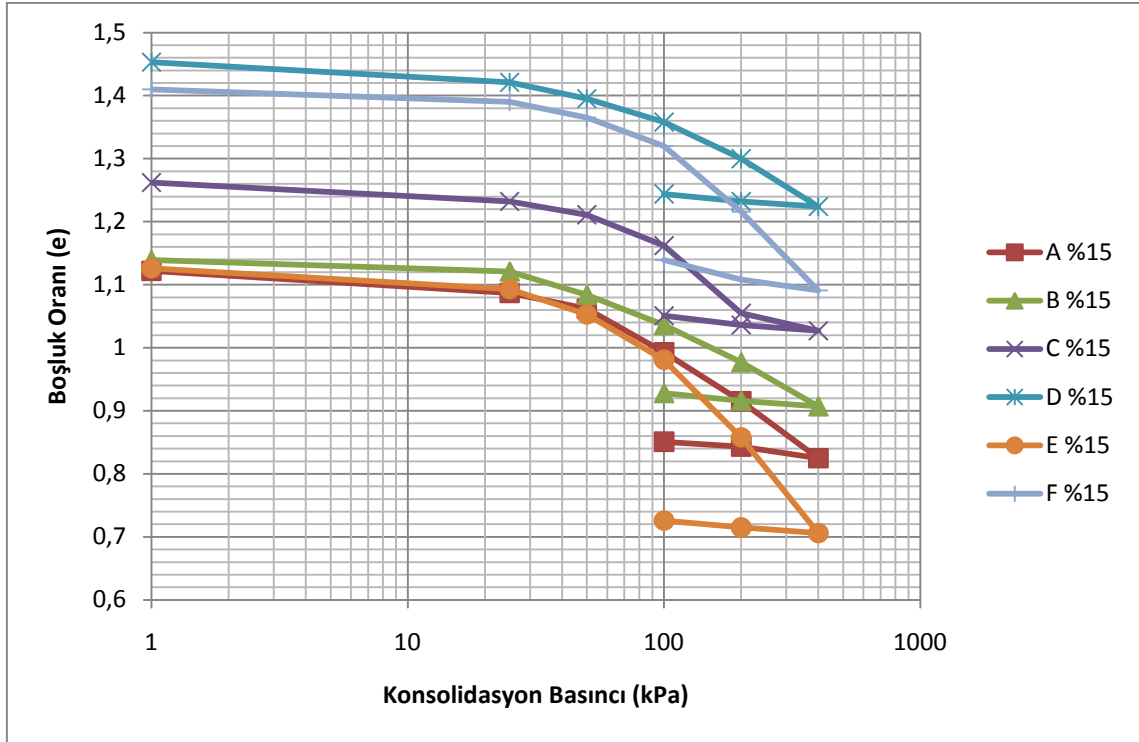
Şekil 5.18 Katkısız killi zeminlerin konsolidasyon deneylerinden elde edilen e-logP grafikleri.



Şekil 5.19 Killi zeminlerin %5 konsantrasyonları için konsolidasyon deneylerinden elde edilen e-logP grafikleri.



Şekil 5.20 Killi zeminlerin %10 konsantrasyonları için konsolidasyon deneylerinden elde edilen e-logP grafikleri.



Şekil 5.21 Killi zeminlerin %15 konsantrasyonları için konsolidasyon deneylerinden elde edilen e-logP grafikleri.

Şekil 5.12'de görüldüğü gibi A Numunesine ait kil zemin ve mermer tozu konsantrasyonlarında en fazla boşluk oranı değişimi A5 nolu numunededir. B numunelerine ait grafikte (şekil 5.13) de görüldüğü gibi boşluk oranı en fazla B numunesinde olup, sıkışma olayı sonrası en küçük boşluk oranı değeri de B15 numunesi için elde edilmiştir. Tüm numunelerin başlangıç boşluk oranlarının yüksek olması başlangıç su muhtevası ile ilgilidir. Her bir numunenin su muhtevası farklı olduğu için başlangıç boşluk oranları da her birinde farklılık göstermektedir. Aynı zemin sınıfına sahip olan A, B, ve C numunelerindeki boşluk oranı değişimi eğrileri birbirlerine çok yakındır. Artan mermer tozu konsantrasyonlarıyla boşluk oranındaki düşüş de birbirlerine benzemektedir. Düşük plastisiteli zemin sınıfına sahip olan numunelerde mermer tozu oranı arttıkça oturmaları ciddi oranda azalttığı gözlenmiş, boşluk oranları değişimi CL sınıfındaki killerin CH sınıfındaki killere yaklaştığı görülmüştür.

A, B, C ve D numunelerinin e-logP grafikleri (Şekil 5.12, 5.13, 5.14, 5.15) incelendiğinde mermer tozu konsantrasyonlarında, artan yük kademelerine bağlı olarak

boşluk oranlarının azaldığı görülmüştür. E numunesinde %10-15 oranları birbirlerine yakın bir eğri oluşturmaktadırlar. Yine E numunelerinde başlangıç boşluk oranının mermer tozu konsantrasyonun %5'ten %10'a çıkarıldığında önemli oranda azaldığı görülmektedir. F Numunesinde de E numunesine benzer bi durum gözlenmiştir. F numunesi mermer tozu konsantrasyonlarında %10 ile %15 aralığında hiçbir değişim olmamaktadır.

Mermer tozu konsantrasyonları kendi içinde değerlendirildiğinde, şekil 5.19'da görüldüğü gibi %5 konsantrasyonunda boşluk oranında meydana gelen en fazla değişiklik D ve E numunelerinde gözlenmektedir. A ve B numuneleri benzer bir boşluk oranı değişimi göstermiştir. Grafikte (şekil 5.18) de görüldüğü gibi aynı zemin sınıfında olan numuneler birbirlerine yakın sonuçlar vermiştir. Buradan hangi zemin sınıfında hangi oranlarda mermer tozu konsantrasyonu uygulanabilecek görülebilecektir.

Şekil 5.20'deki %10 mermer tozu konsantrasyonlarındaki numuneler incelendiğinde; En fazla değişimin A numunesinde ve en az değişimin ise D numunesinde olduğu görülmektedir. Şekil 5.21'deki %15 mermer tozu konsantrasyonları grafiğine baktığımızda tüm numunelerin eşdeğer doğrultuda hareket ettikleri, genelde boşluk oranı değişimlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Kademeli yükler altında en az değişim D numunesinde görülmektedir.

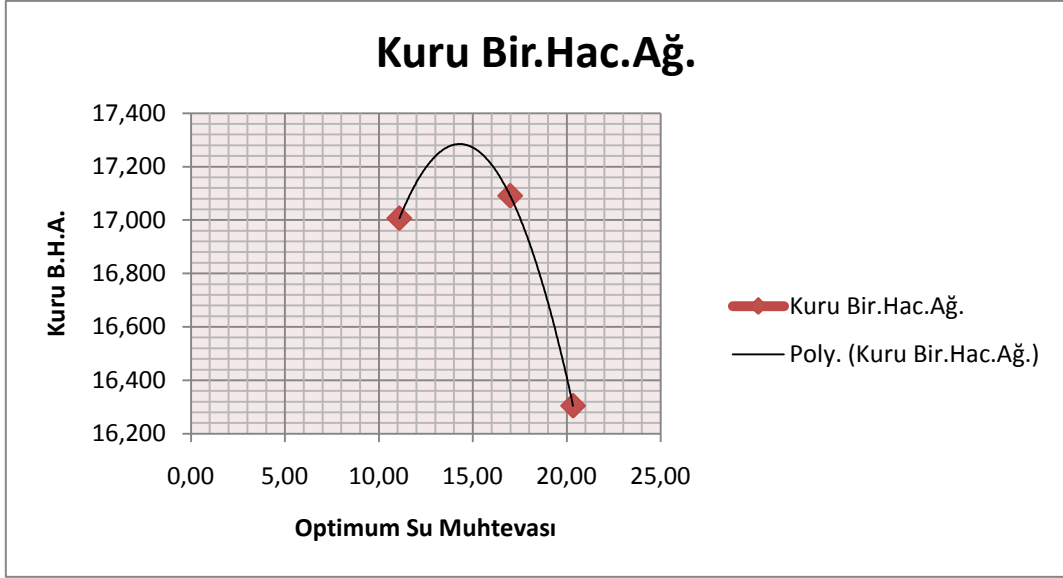
Tüm numunelerde mermer tozu katılmadan önceki boşluk oranında meydana gelen toplam değişim, %5 oranında mermer tozu katıldıktan sonra meydana gelen toplam değişimin 1,35 katıdır. %10 oranında mermer tozu katıldıktan sonra meydana gelen toplam değişimin 1,99 katıdır. B, C ve D numunelerine mermer tozu ilave edildikten sonra %10 konsantrasyonlarına kadar toplam boşluk oranlarında kademeli olarak bir azalma meydana gelmekte ve %15 konsantrasyonlarında toplam boşluk oranlarında meydana gelen değişim hemen hemen eşitlenmektedir. Tüm grafikler incelendiğinde en fazla başlangıç boşluk oranı F numunesinde görülmekte ve artan mermer tozu oranıyla boşluk oranı azalmaktadır.

5.4. Permeabilite Deneyi Sonuçları

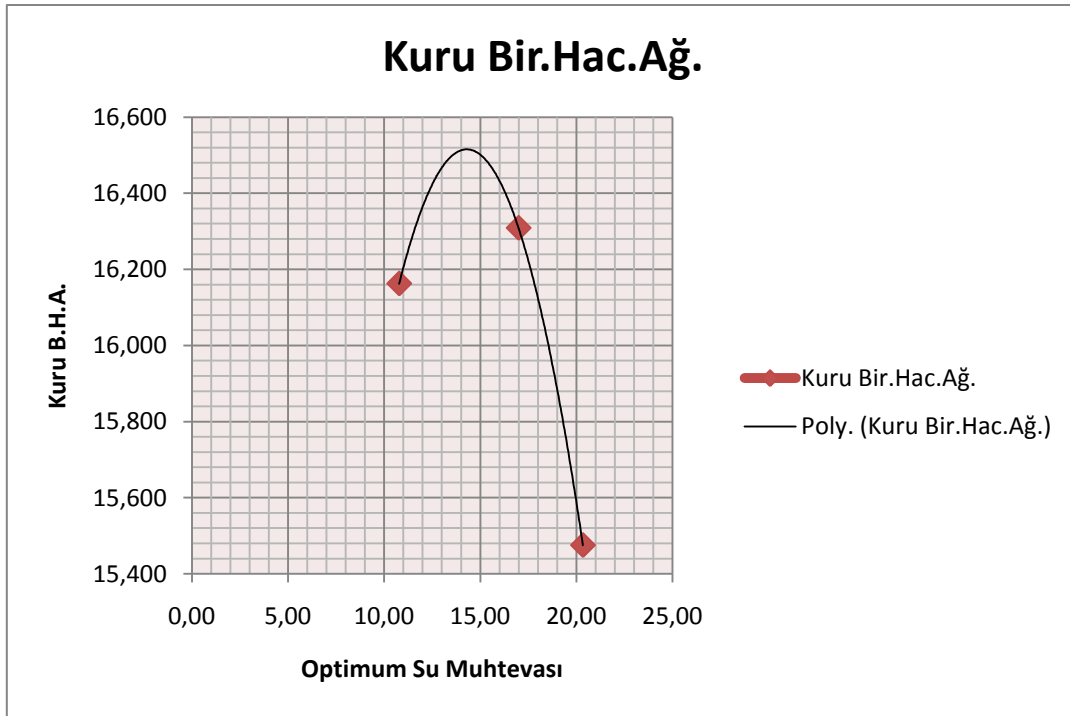
Permeabilite deneyi için hazırlanan numuneler standart proctor testinde maksimum kuru birim hacim ağırlık değerini verecek şekilde hazırlanmıştır. Permeabilite kalıbına sıkıştırılacak numunelerin optimum su muhtevasında sıkıştırılması amacıyla tüm numunelere mermer tozu konsantrasyonları ilave edilmeden önce standart proctor deneyi yapılmıştır. Standart proctor deneyi sonuçları Çizelge 5.12’de ve grafikleri Şekil 5.22 ile 5.27 arasında verilmiştir. Optimum su muhtevasında kalıba sıkıştırılan numuneler düşen seviyeli permeabilite deneyi sırasında çeşitli zamanlarda okumalar alınmış ve permeabilite katsayıları hesaplanmıştır. Çizelge 5.13’de gösterilen permeabilite katsayıları farklı dakikalardaki okumalar sonucu bulunan permeabilite katsayılarının ortalamasıdır.

Çizelge 5.12 Standart proctor deneyi sonuçları.

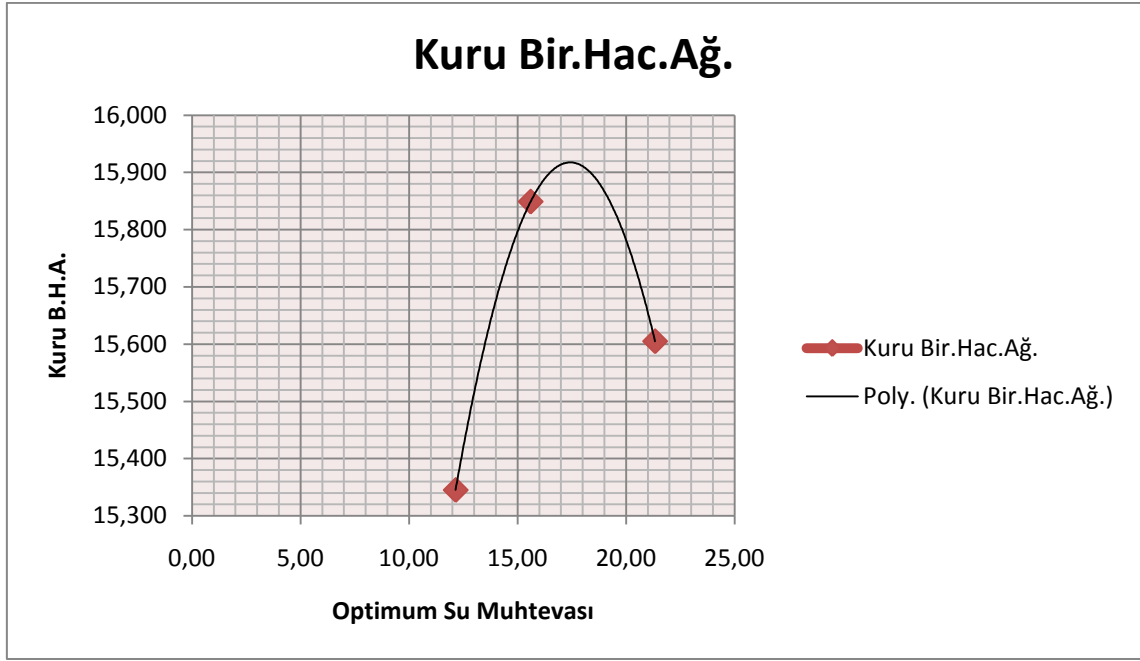
Örnek Kodu	Optimum Su Muhtevası (%)	Maksimum Kuru BHA (kN/m ³)
A	14	17,3
B	14,2	16,5
C	14,5	15,92
D	14	16,5
E	17	15,82
F	22	15,7



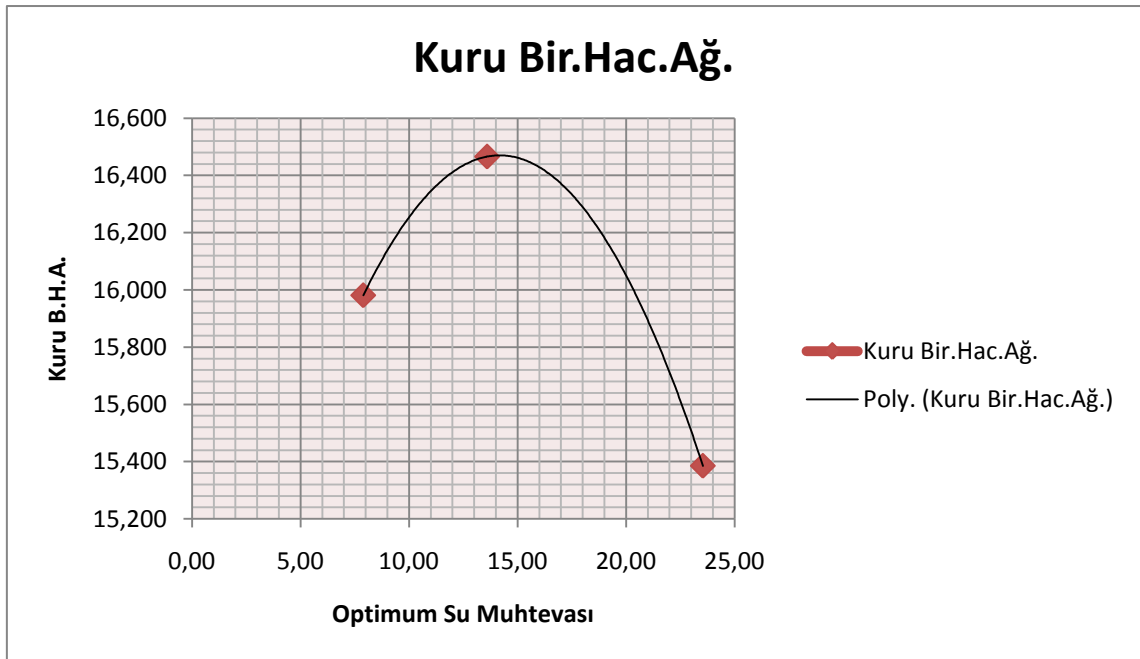
Şekil 5.22 A numunesi standart proctor deneyi sonuçları.



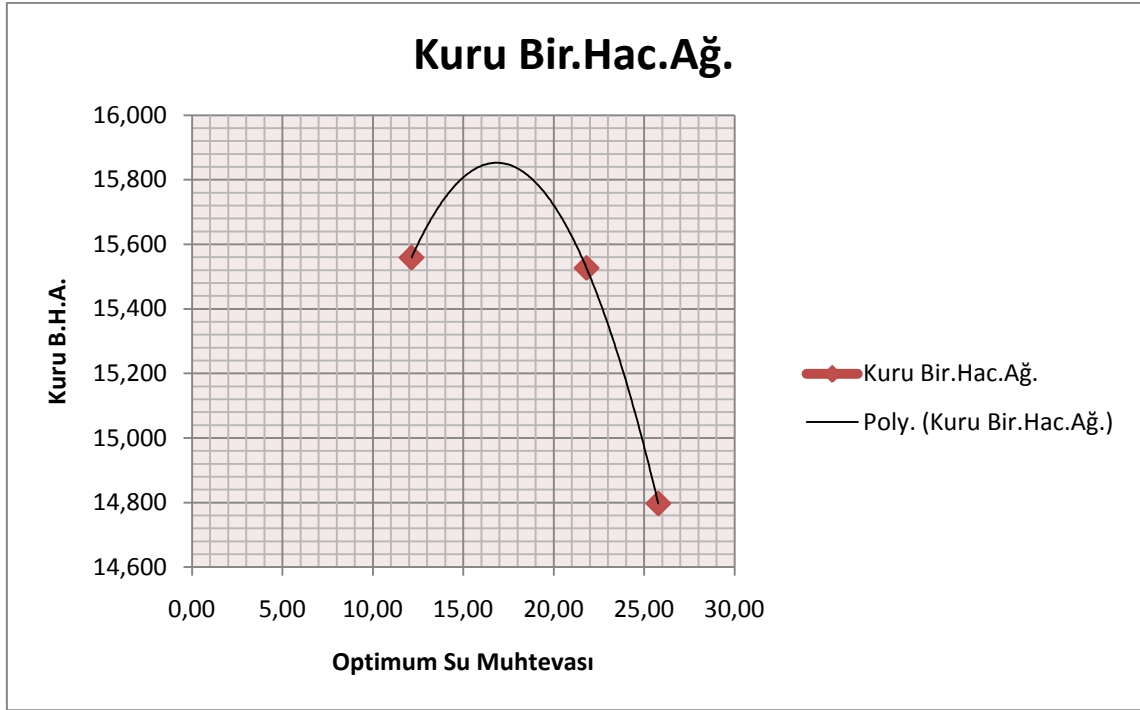
Şekil 5.23 B numunesi standart proctor deneyi sonuçları.



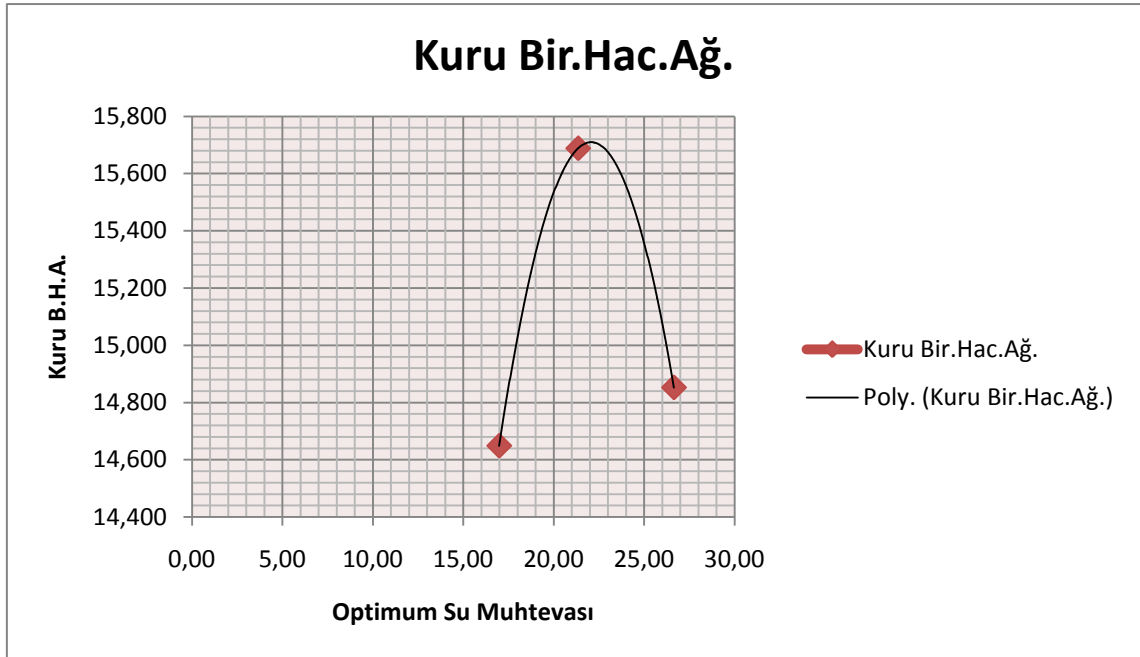
Şekil 5.24 C numunesi standart proctor deneyi sonuçları.



Şekil 5.25 D numunesi standart proctor deneyi sonuçları.



Şekil 5.26 E numunesi standart proctor deneyi sonuçları.



Şekil 5.27 F numunesi standart proctor deneyi sonuçları.

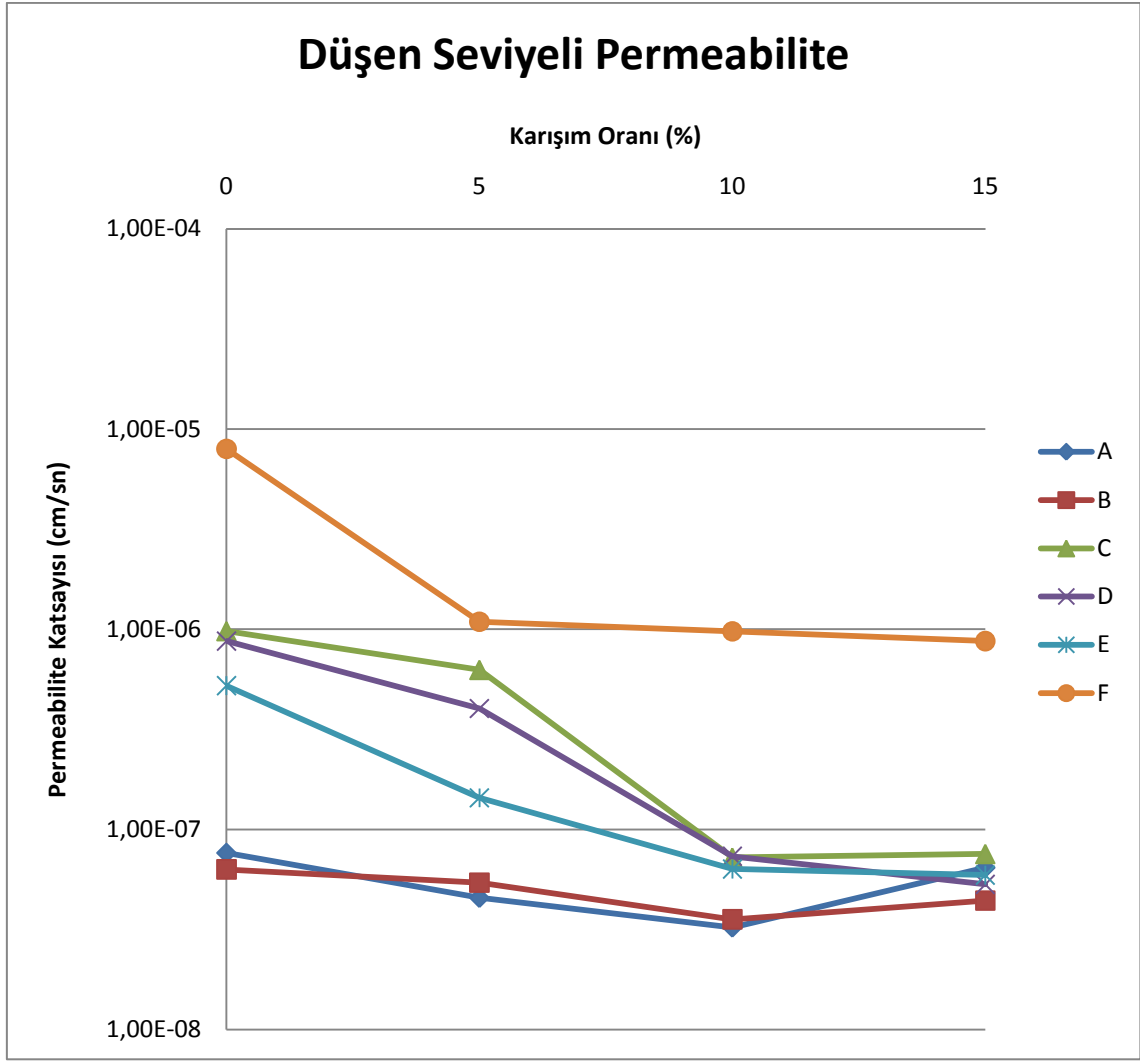
Çizelge 5.13 Numunelerin düşen seviyeli permeabilite deneyinden hesaplanan permeabilite katsayıları.

	Katkısız	%5 Katkılı	%10 Katkılı	%15 Katkılı
A	7,65E-08	4,56E-08	3,24E-08	6,45E-08
B	6,32E-08	5,43E-08	3,56E-08	4,42E-08
C	9,79E-07	6,27E-07	7,25E-08	7,56E-08
D	8,73E-07	4,02E-07	7,35E-08	5,32E-08
E	5,23E-07	1,44E-07	6,35E-08	5,92E-08
F	7,96E-06	1,09E-06	9,76E-07	8,73E-07

k (cm/sn)	Geçirgenlik Katsayısı											
	10 ⁻²	10 ⁻¹	10 ⁰	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹
Drenaj Özelliği	Çok İyi Drenaj		İyi Drenaj				Zayıf Drenaj			Pratik Olarak Geçirimsiz		

Şekil 5.28 Zeminler için geçirgenlik çizelgesi (Gillot,1968).

Tüm numuneler incelendiğinde tüm numunelerde de mermer tozu konsantrasyonu artışı ile birlikte permeabilite katsayısının azaldığı gözlenmiştir. En düşük permeabilite katsayısı A numunesinde gözlenmiştir ($3,24E-08$). A numunesi artan mermer tozu konsantrasyonu ile birlikte permeabilite katsayısı azalmış ve geçirimsizliği artmıştır. %10 mermer tozu ilavesinde maksimum geçirimsiz olmaktadır. Kil oranını azaltıp mermer tozu oranını %15 çıkardığımızda permeabilite katsayısının Katkısız duruma yaklaştığı görülmektedir. A, B ve C numuneleri aynı zemin sınıfına sahip numunelerdir ve bu numunelerin permeabilite katsayıları da birbirlerine yakın olmaktadır. En Yüksek permeabilite katsayısı F numunesinde görülmektedir ($7,96E-06$). F numunesine mermer tozu ilavesi ile birlikte permeabilite katsayısı azalmış ve geçirgenlik durumu zayıf drenaj iken, pratik olarak geçirimsiz hale gelmiştir. Tüm numuneler geçirgenlik çizelgesinde mermer tozu konsantrasyonu ile birlikte geçirgenlik durumu “pratik olarak geçirimsiz” olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.29 Permeabilite deney sonuçları.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan deneysel çalışmalara göre bulunan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Konsolidasyon deneyi sonuçlarına göre; artan mermer tozu konsantrasyonu ile birlikte sıkışma ve şişme indisi değerleri azalmaktadır. Bu azalma en çok D, E ve F numunelerinde görülmektedir. mermer tozu katkılı numunelerde yapılan konsolidasyon deneylerinde numuneler üzerinde meydana gelen toplam boşluk oranı değişim miktarları artan mermer tozu konsantrasyonu ile birlikte düşmektedir. Numunelerin toplam boşluk oranlarında meydana gelen değişim miktarı sıkışma indisi değerlerinde meydana gelen azalma miktarları ile örtüşmektedir. Başlangıç boşluk oranları, mermer tozu ilavesine doğru orantılı olarak azaldığı görülmektedir. Bu durum mermer tozu artışı ile (katkısız kompaksiyon değerleri) aynı kompaksiyon hacmi için malzeme artışından dolayı daha sıkı bir yapı oluşmaktadır. Bu durum boşluk oranını düşürmektedir.

Permeabilite deneyi sonuçlarına göre; artan mermer tozu konsantrasyonu ile birlikte permeabilite katsayısında azalma meydana gelmekte ve kil zeminlerin geçirimsizliklerinde küçük miktarlarda artışlar görülmektedir. Ancak mermer tozu 200 no'lu elek altında kullanılmasına rağmen kil boyu tane miktarı %8'in altındadır. Dolayısıyla mermer tozunun çoğunluğu silt boyutundadır. Mermer tozu karışım miktarının artışı permeabilite katsayısını artırması beklenir. Deney sonuçlarında görülen azalma, katkısız kompaksiyon sonuçlarına göre numune hazırlanmasından kaynaklanmaktadır. Çünkü, aynı hacimde sıkıştırılan malzeme miktarı artmaktadır.

Mermer tozunun kil zeminlerde konsolidasyon ve permeabilite özelliklerine etki yaptığı görülmektedir. Sıkışma ve şişme indislerinde oluşan azalma, konsolidasyon oturmasının azaltılması veya kontrolünde stabilizasyon malzemesi olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Etkili katkı oranının %10-15 arasında olduğu grafiklere bakıldığında

anlaşılmaktadır. Daha önce yapılan çalışmalarda da benzer oranlar elde edildiği bilinmektedir. Ancak, mermer tozunun her katkı miktarı için ayrı ayrı kompaksiyon karakteristikleri (δ_{dmax} ve W_{opt}) belirlenmeli ve konsolidasyon numuneleri bu değerlere göre hazırlanmalıdır.

Permeabilite sonuçlarına gelince, benzer ifadeler bu deney içinde geçerlidir. Çünkü, mermer tozu tanelerinin daha boşluklu yapı oluşturması beklenirken, oluşan daha sıkı yapı permeabilite katsayısını düşürmüş olabilir. Bu nedenlerden dolayı aynı konuda daha sonra yapılacak çalışmalarda ifade edilen durumun dikkate alınması önerilir.

7. KAYNAKLAR

- Akbulut, H., Ünal, O., İçağa, Y., Demir, İ., Zorluer, İ., Ergün, A., 2003, “ İnşaat Laboratuvar Deneyleri”, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon.
- Alvarez, A., 1984, “Sepiolite: Properties and Uses”, Palygorskite - Sepiolite, Occurrences, Genesis and Uses Developments in Sedimentology, Vol. 37, Amsterdam.
- ASTM D 2435 – 96, 2003, Standart Test Method for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils”, Annual Book of ASTM Standarts, Volume: 04.08, West Conshohocken, pp. 238-247.
- Breck, D.W., 1974, “Zeolite Molecular Sieves”, Wiley-Interscience, New York.
- Büyüksağış, İ.S., 1995, “Mermer İşleme Tesisleri Atık Sularının Arıtım Yöntemleri ve Ekonomikliklerinin Değerlendirilmesi”, Türkiye I. Mermer Sempozyumu, Ankara, sayfa 69-76.
- Casagrande, A., 1948, “Classification and Identification of Soils”, Transactions, ASCE, Vol. 113, page 901-930.
- Cernica, J., 1995, “Geotechnical Engineering: Soil Mechanics”, Wiley, New York.
- Ceylan, H., 2000, “Mermer Fabrikalarındaki Mermer Toz Atıklarının Ekonomik Olarak Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, SDÜ., Fen Bil. Ens., Isparta.
- Collins, K., and McGrown, A., 1974, “ The Form and Section of Microfabric Features in a Variety of Natural Soils”, Geotechnique, Vol. V, No. 2, page 223-254.
- Croft, J.B., 1987, “Soils Stabilized with Cementitious Agents”, Engineering Geology, Elsevier, Amsterdam.
- Çelik, M.Y., 1996, “ Mermer Artıklarının (Parça-Tozların) Değerlendirilmesi”, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon.

- Çokça, E., 1993, “Metilen Mavisi Deneyi ile Killerin Katyon Değişim Kapasitelerinin Tespiti”, VI. Ulusal Kil Sempozyumu, 335-344
- Darcy, H., 1856, “Les Fontaines Publiques de la Ville de Dijon”, Dalmant, Paris, page 674.
- Das, B.M., 2002, “Principles of Geotechnical Engineering”, Fifth Edition, USA.
- Day, W.R., 2001, “Soil Testing Manual: Procedures, Classification Data, and Sampling Practices”, USA., page 619.
- Demir, İ., Başpınar, S., 2003, “Mermer Tozu Artıklarının Hafif Yapı Blokları Üretiminde Kullanılması” IV. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı, sayfa 213-220.
- Fener, M., 2006, “Zemin Gronülometrisinin Ön Konsolidasyon Basıncı ve Zemin Hafızasına Etkisi”, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Gillot, E.J., 1968, “Clay in Engineering Geology”, Elsevier Publishing Company, New York.
- Grim, R.E., 1959, “Physico-Chemical Properties of Soils: Clay Minerals”, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol.85, page 1-17.
- Grim, R.E., 1968, “ Clay Mineralogy”, McGraw-Hill, New York, page 596.
- Hausmann, M.R., 1990, “Engineering Principles of Ground Modification ”, McGraw-Hill Publishing Company, New York.
- Holtz, R.D. and Kovacs, W.D., 1981, “An Introduction to Geotechnical Engineering”, Prentice-Hall, Eaglewood Cliffs, NJ.
- Holtz, R.D. and Kovacs, W.D., 1981, (Çeviri: Kayabalı, K., 2002) “Geoteknik Mühendisliğine Giriş”, Gazi Kitabevi, Ankara, sayfa 723.

- Kara, M., Sabah, E., Yüzer, H. And Çelik, M.S., 1998, "Sepiolite as an Adsorbent for Elimination of Mine Wastes", Proceedings of the 5th International Symposium on Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production, Ankara, page 717-721.
- Kayhan B., 2006, "Adana Bölgesindeki Killi Zeminlerin hassasiyet özelliği", Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Konta, J., 1995, "Clay and Man: Clay Raw materials in the Service of Man", Applied Clay Science 10, page, 275-353
- Lambe, T.W., 1953, "The Structure of Inorganic Soil", Proceedings, ASCE, Vol.79, Seperate No. 315, page 49.
- Lambe, T.W., Withman R.W., 1979, "Soil Mechanics", John Wiley-Sons, Inc. New York.
- Leonards, G.A., 1962, "Foundation Engineering", Mcgraw Hill Company, Inc.
- Meunier, A., 2005, "Clays", Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.
- Mitchell, J.K., 1976, "Fundamentals of Soil Behavior", 1st Edition, John Wiley-Sons, Inc., New York, page 422.
- Mitchell, J.K., 1993, "Fundamentals of Soil Behavior", Third Edition, University of California, Berkeley, USA, Page 437.
- Olgun, M., 2008, "Farklı Konsantrasyonlardaki Kimyasallarla Konsolide Edilmiş Kil Zeminlerin Kayma Mukavemeti ve Konsolidasyon Davranışlarının İncelenmesi", Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Önalp, A., 2007, "Geoteknik Bilgisi I Zeminler ve Mekanığı", Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Özkan, C., 1996, "Mermer Tozu Atıklarından Kaliteli Yapı Malzemesi Üretiminin Araştırılması", Yüksek Lisans tezi, AKÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.

- Santamarina, J.C., Klein K.A., Wang, Y.H. and Prencke, E., 2002, “Specific Surface: Determination and Relevance”, Canadian Geotechnical Journal, 39, page 233-241.
- Skempton, A.W., 1953, “The Colloidal Activity of Clays”, Proceedings of the 3th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Val 1. Page 57-61
- Taşpolat, L.T., 2006, “Afyon Atık Mermer Tozlarının ve Şırnak Asfaltitlerinin Atık Depolama Alanları tabakalarında Kullanılması”, Yüksek Lisans Tezi, AKÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Terzaghi, K. and Peck, R.B., 1967, “Soil Mechanics in Engineering Practice”, 2nd John Wiley-Sons, Inc., New York, page 729.
- Tohumcu, P., 2001, “Dolgu Altındaki Killi Zeminlerin Permeabilite Karakteristiklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tosun, İ.Y., 1996, “Mermer Toz Atıklarının Temizlenmesi”, Doğal Yapı ve Kaplama Taşı Mermer Teknolojisi Dergisi, Sayı:1, sayfa 15-18.
- TS 1900, 2006, “İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri”, TSE, Ankara.
- Tuncan, A., Tuncan, M., Özmen E., 1993, “Petrol Hidrokarbonlarının Kaolen Kilinin Geoteknik Özelliklerine Etkisi”, Altıncı Ulusal Kil Sempozyumu, 197-207.
- Sabah, E., Çelik, M.S., “Sepiyolit: Oluşumu, Özellikleri, Kullanım Alanları”, Afyon, sayfa 153.
- Usta, M., Çelikaslan, B., 2002, “Şişen Killerin Mermer Tozu Katkısı ile Stabilizasyonu”, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon.
- Ünal O., Kibici Y., 2001, “Mermer Tozu Atıklarının Beton Üretiminde Kullanılmasının Araştırılması, III. Mermer Sempozyumu, Afyon, sayfa 317-325.
- Van Olphen, H., 1977, “An Introduction to Clay Colloid Chemistry”, Wiley Interscience, New York.

- Vicente Rodriguez, M.A., Lopez Gonzales, J.D., and Banares Munoz, M.A., 1994, “Acid Activation of a Spanish Sepiolite, Pyhsicochemical Characterizatio, Free Silica Content and Surface Area of the Solids Obtained”, Clay Minerals, 29, page 361-367.
- Whitlow, R.F., 1992, “Basic Soil Mechanics”, 2nd Ed., Longman Scientific and Technical.
- Yıldız, A.H., Karaşahin, M., Çavuş U.Ş., Taciroğlu, M., 2008, “Mermer Endüstrisi Atık Çamurlarının Yol İnşaatında Stabilizasyon Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi”, VI. Mermer ve Doğaltaş Sempozyumu, Afyon, sayfa 97-107
- Yong, R.N. and Warkentin, B.P., 1975, “Soil Properties and Behaviour”, Elsevier Scientific Publishing Co, New York, page 449.
- Yükselen, Y., Kaya, A., 2006, “Farklı Minerolojideki Killerin Özgöl Yüzey Alanının Belirlenmesi”, Kil Bilimi ve Teknoloji Dergisi, sayfa 35-42.
- Zorluer, İ., 1996, “Petrol Hidrokarbonlarının Normal Konsolide Kaolinit Kil Zeminin Geoteknik Özelliklerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Eskişehir.
- Zorluer, İ., Usta, M., 2003, “Zeminlerin Atık Mermer Tozu İle İyileştirilmesi”, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu, Afyonkarahisar, sayfa 305-312.
- Zorluer İ., Taşpolat L.T., Koyuncu H., 2006, “Atık Mermer Tozunun Geçirimsiz Kil Tabakalarda Donma-Çözünmeye Etkisi”, Yapı Teknoloji Elektronik Dergisi, sayfa 11-16.

8. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : İsmail MURATOĞLU

Doğum Yeri : Korkuteli

Doğum Tarihi : 25/04/1984

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Korkuteli İmam Hatip Lisesi, 2000

Üniversite : Afyon Kocatepe Üniversitesi, 2007

Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, 2010

Yayınları

Zorluer İ., Muratoglu İ., 2010, “Effect of Marble Dust on Consolidation Characteristics of Clay Soils”, ISSD ’10, Page 514-518.

Diğer Konular

AKÜ-BAP Projesi, “Afyon Kocatepe Üniversitesi ANS Kampüsünün Coğrafi Bilgi Sistemi (GIS) Tabanlı Zemin Etüd Bilgi Sisteminin Oluşturulması”, Araştırmacı, 2008.

AB-Leonardo da Vinci Mobility, “Bilişim ve Ticaret Buluşmasında İnsan Kaynaklarının Avrupa Eğitimi”, Koordinatör, 2009.

AB-Leonardo da Vinci Mobility, “Bölgesel Kalkınmada e-ticaretin Yaygınlaştırılması”, Yürütücü, 2009-2010

AB-Leonardo da Vinci Partnership, “Integration of Vocational School Graduates into Job Market”, Ortak, 2010-2012.