

**POLİMER KATKILI HİDROFOB KİLİN BAZI  
GEOTEKNİK VE DİNAMİK ÖZELLİKLERİNİN  
İNCELENMESİ**

**Payam MAJEDI**

**Y. Lisans Tezi**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Prof. Dr. Suat AKBULUT**

**2013**

**Her hakkı saklıdır**

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**POLİMER KATKILI HİDROFOB KİLİN BAZI GEOTEKNİK VE  
DİNAMİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Payam MAJEDI

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ERZURUM

2013

Her hakkı saklıdır



T.C.  
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

POLİMER KATKILI HİDROFOB KİLİN BAZI GEOTEKNİK VE DİNAMİK  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Prof. Dr. Suat AKBULUT danışmanlığında, Payam MAJEDI tarafından hazırlanan bu çalışma 18/01/2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak ~~oybirliği/oy çokluğu~~ (.../...) ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Suat AKBULUT

İmza :

Üye : Doç. Dr. Fatih SEVİM

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Semet ÇELİK

İmza :

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum

Prof. Dr. İhsan EFEOĞLU  
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

## ÖZET

Y. Lisans Tezi

### **POLİMER KATKILI HİDROFOB KİLİN BAZI GEOTEKNİK VE DİNAMİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Payam MAJEDI

Atatürk Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Suat AKBULUT

Kil zeminler, toprak dolgu barajlar, yol dolguları, atık depo alanı şilteleri, nükleer santraller gibi birçok mühendislik yapısında geçirimsizlik elemanı veya koruyucu tabaka olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak, bu zeminler zamanla su içeriklerindeki değişimlerden kaynaklanan şişme, oturma ve kabarma gibi problemler nedeniyle yapı elemanlarında kalıcı hasarlar oluşturabilmektedir. Bu problemleri çözebilmek için kil zeminlerin kimyasal katkılarla stabilizasyonu yaygın olarak araştırılan bir konudur.

Bu çalışma kapsamında, mineral özellikleri belirlenen hidrofob kil, lateks polimeri kullanılarak modifiye edilmiş ve elde edilen lateks katkılı hidrofob kil numunelerin mukavemet ve dinamik özellikleri araştırılmıştır. Bu amaçla kilin elektrokinetik özellikleri incelenmiştir. Lateks katkılı hidrofob kil numunelere, dane birim hacim ağırlık, kompaksiyon, serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Lateks katkılı hidrofob killere yapılan deney sonuçları, referans kabul edilen katkısız hidrofob kile ait sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Deney sonuçlarından, lateks katkılı hidrofob killerin dane birim hacim ağırlık değerleri ile serbest basınç mukavemetleri ve konsolidasyonsuz-drenajsız kohezyon değerlerinin azaldığı görülmüştür. Dinamik bir deney olan serbest titreşimle sönüm oranı tayini deneyi katkılı hidrofob kil numunelerinin sönüm oranlarının arttığını göstermiştir.

**2013, 68 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Hidrofob kil, polimer, elektrokinetik özellikler, mukavemet özellikler, dinamik özellikler

## **ABSTRACT**

MS Thesis

### **EXAMINATION OF SOME GEOTECHNICAL AND DYNAMIC PROPERTIES OF HYDROPHOBIC CLAY THAT MIXED BY POLYMER**

Payam MAJEDI

Ataturk University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Civil Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Suat AKBULUT

Clay soils are often used as an impermeable liner or a cover layer in some engineering structures such as earth dams, roadway backfill, waste disposal landfills and nuclear power station. However, these soils may be caused permanent damages on the structure elements due to their some problems like swelling, settlement and heaving based on water content change. In order to solve these problems, stabilization of clay grounds using chemical additions is a wide subject of research.

With this study, the hydrofobic clay of which mineral characteristics are determined is mixed by using a polymer (Latex) and the resistance and dynamic characteristic of this hydrofobic clay has been researched. For these purpose electrokinetic characteristics of hydrofobic clay has been researched. For this polymer modified hydrofobic clay, specific gravity, compaction, unconfined compression strength tests have been issued. Results of test on hidrofob clay that mixed by latex compared with test results of hidrofob clay that is used as reference sample.

Result of experiments show a decrease at latex mixed hydrofob clays specific gravity and unconfined compression strength and the unconsolidated-undrained cohesion. Also we can see an increase at the result of dynamic tests.

**2013, 68 pages**

**Keywords:** Hydrofobic clay, polymer, electrokinetic characteristics, unconfined compression strength, dynamic test

## TEŞEKKÜR

Çalışmam süresince her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Suat AKBULUT'a içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma kapsamındaki deneyler, Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarı, Makina Mühendisliği Bölümü Makine Teorisi ve Dinamiği Laboratuvarı ile Kazım Karabekir Eğitim Fakültesi Kimya Eğitimi Araştırma Laboratuvarı'nda yürütülmüştür. Bu kapsamda, İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanlığı'na ve yüksek lisans çalışmalarım süresince emeği geçen tüm hocalarıma, Geoteknik Anabilim Dalı'nda görev yapmakta olan hocalarıma özellikle çok değerli Sayın Arş. Gör. Zeynep Neşe KURT ALBAYRAK'a, teşekkürlerimi sunmak isterim. Makina Mühendisliği Bölümünden Sayın Yrd. Doç. Dr. Gürkan ŞAKAR'a, Sayın Ali İhsan GÜLDOĞAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her döneminde, her konuda sınırsız manevi destekleri ile yanımda olduklarını hissettiren ve bu destekle başarılarımı temellendiren sevgili annem ve değerli babama, teşekkürlerimi sunarım.

Payam MAJEDI

Ocak, 2013

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	x
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1. Amaç ve Kapsam.....	1
1.2. Kaynak Özetleri.....	2
<b>2. KURAMSAL TEMELLER .....</b>	<b>8</b>
2.1. Nanoteknoloji Anlamı ve Uygulama Alanları.....	8
2.1.1. Nanoyapıların özellikleri ve etkileri.....	9
2.1.2. Nanoteknolojinin uygulama alanları .....	10
2.2. Kil Mineralleri .....	10
2.2.1. Kil minerallerin oluşumu.....	11
2.2.2. Kil minerallerinin sınıflandırılması .....	12
2.2.3. Kil danesinin özellikleri .....	16
2.2.4. Killerin elektriksel özellikleri.....	17
2.4. Polimerler .....	18
2.3.1. Polimerlerin sınıflandırılması.....	18
2.3.2. Polimer kompozitleri .....	19
2.4. Kompozitler .....	20
2.4.1 Kompozitlerin sınıflandırılması.....	23
2.4.2. Kil kompozitleri.....	25
2.5. Dinamik Etki Altında Zemin Özellikleri.....	26
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM .....</b>	<b>29</b>
3.1. Materyal.....	29
3.1.1. Hidrofob kil .....	29
3.1.2. Lateks .....	30

3.1.3. Gliserin .....	32
3.2. Yöntem .....	33
3.2.1. Katkılı hidrofob kil numunelerin elde edilmesi.....	33
3.2.2. Zeta potansiyeli deneyi ve elektrik iletkenliği deneyi.....	36
3.2.3. Temas açısı deneyi .....	37
3.2.4. pH deneyi.....	39
3.2.5. Yüzey alanı deneyi (BET) .....	40
3.2.6. Dane birim hacim ağırlık deneyi .....	42
3.2.7. Kompaksiyon deneyi .....	42
3.2.8. Serbest basınç deneyi .....	42
3.2.9. Şişme basıncı deneyi .....	44
3.2.10. Dinamik özelliklerin belirlenmesi .....	45
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI .....</b>	<b>47</b>
4.1. Elektrik İletkenlik Deneyi .....	47
4.2. Zeta Potansiyeli Deneyi.....	48
4.3. Temas Açısı Deneyi .....	49
4.4. pH Deneyi.....	50
4.5. BET Yüzey Alanı Tayini.....	52
4.6. Dane Birim Hacim Ağırlığı Deneyi .....	53
4.7. Kompaksiyon Deneyi .....	54
4.8. Serbest Basınç Deneyi.....	57
4.9. Şişme Basıncı Deneyi:.....	59
4.10. Dinamik Özellikler .....	60
<b>5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....</b>	<b>64</b>
KAYNAKLAR .....	66
ÖZGEÇMİŞ .....	69

## SİMGELER DİZİNİ

BHA	Birim hacim ağırlık
$c$	Kohezyon
$c_{uu}$	Konsolidasyonsuz-Drenajsız kohezyon
DAMS	Dialkil amonyum metha sulfat
Eİ	Elektrik iletkenliği
$e_{min}$	Minimum boşluk oranı
MPT	Modifiye Proktor Deneyi
$q_u$	Serbest basınç mukavemeti
TA	Temas Açısı
$w_{opt}$	Optimum su muhtevası
$\gamma_k$	Kuru birim hacim ağırlığı
$\gamma_n$	Doğal birim hacim ağırlığı
$\gamma_s$	Dane birim hacim ağırlığı
$\tau_{max}$	Maksimum kayma gerilmesi
$\xi$	Zeta potansiyeli

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Nano, mikro ve makro boyutlar.....	8
Şekil 2.2. (a) Tek silika tetrahedronu (Grim 1953). (b) Silika levhası veya tetrahedralin izometrik görünümü (Grim 1953). (c) Silika levhasının şematik temsili (Lambe 1958). (d) Silika levhasının tepeden görünümü.....	12
Şekil 2.3. İyi kristallenmiş bir kaolinitin taramalı elektron mikrografı. ....	13
Şekil 2.4. Bir sodyum montmorillonitin taramalı elektron mikrografı .....	15
Şekil 2.5. Bir illitin taramalı elektron mikrografı .....	15
Şekil 2.6. Kil yüzeyinin su ve değişebilir katyonlarla ilişkisi.....	17
Şekil 2.7. Zeta potansiyeli.....	18
Şekil 2.8. Polimer molekülünün oluşumu.....	20
Şekil 2.9. Üç farklı polimer/silikat nanokompozitinin şematik gösterimi. ....	20
Şekil 2.10. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması .....	22
Şekil 2.11. Kompozit malzemelerin takviye elemanının şekline göre sınıflandırılması .....	24
Şekil 2.12. Kil taneciklerde takviye edilmiş polimerik kompozit yapı .....	26
Şekil 3.1. Yüzey aktif madde ile muamele edilerek elde edilmiş hidrofob kil.....	29
Şekil 3.2. Deneylerde kullanılan lateks .....	31
Şekil 3.3. Su geçirimsizlik ve yapışma sağlayan lateks.....	31
Şekil 3.4. Gliserinin açık yapısı.....	32
Şekil 3.5. Su, gliserin ve lateks karıştırılırken .....	34
Şekil 3.6. Hidrofob kil süspansiyona eklendikten sonra.....	34
Şekil 3.7. Hazırlanmış katkılı hidrofob numuneler.....	35
Şekil 3.8. Hazırlanmış katkılı hidrofob numuneler etüvde kurutulduktan sonra.....	35
Şekil 3.9. Zeta potansiyelinin stern düzlemi ve kayma yüzeyi boyunca değişimi .....	39
Şekil 3.10. Zeta-meter deney aleti .....	37
Şekil 3.11. Katı yüzeyindeki sıvı damlası ile temas açısının ıslanabilirlik karakteristiğinin şematik temsili .....	38
Şekil 3.12. Temas açısı deney aleti.....	39
Şekil 3.13. pH metre .....	40

<b>Şekil 3.14.</b> Yüzey alanı ölçme cihazı.....	41
<b>Şekil 3.15.</b> Helyum Piknometresi deney ölçüm cihazı .....	42
<b>Şekil 3.16.</b> Serbest basınç deneyi için çizilmiş olan Mohr Dairesi.....	44
<b>Şekil 3.17.</b> Şişme - konsolidasyon Eğrisi .....	45
<b>Şekil 3.18.</b> PULSE titreşim ölçüm sistemi.....	46
<b>Şekil 4.1.</b> Katkısız ve lateks katkılı hidrofob kil numunelerinin katkı yüzdesi ile elektrik iletkenliğinin değişimi .....	48
<b>Şekil 4.2.</b> Katkısız ve lateks katkılı hidrofob kil numunelerinin katkı yüzdesi ile zeta potansiyelinin değişimi.....	49
<b>Şekil 4.3.</b> Lateks katkılı hidrofob kil numunelerinden, N1 ve N4 numunesinin temas açısı görünümü .....	49
<b>Şekil 4.4.</b> Lateks katkılı hidrofob kil numunelerinin temas açısının, lateks yüzdesi ile değişimi .....	51
<b>Şekil 4.5.</b> Katkısız ve lateks katkılı hidrofob kil numunelerinin katkı yüzdesi ile pH'ın değişimi .....	51
<b>Şekil 4.6.</b> Katkısız ve lateks katkılı hidrofob kil numunelerinin katkı yüzdesi ile yüzey alanı'nın değişimi .....	52
<b>Şekil 4.7.</b> Katkısız ve lateks katkılı hidrofob kil numunelerinin katkı yüzdesi ile dane birim hacim ağırlıklarının değişimi .....	53
<b>Şekil 4.8.</b> MPT ile elde edilmiş optimum su muhtevası değerlerinin lateks yüzdesi ile değişimi .....	55
<b>Şekil 4.9.</b> MPT ile elde edilmiş maksimum kuru birim hacim ağırlık değerlerinin lateks yüzdesi ile değişimi .....	55
<b>Şekil 4.10.</b> Katkısız lateks katkılı hidrofob kil numunelerin minimum boşluk oranlarının katkı yüzdesi ile değişimi .....	56
<b>Şekil 4.11.</b> Katkısız lateks katkılı hidrofob kil numuneler için kompaksiyon deneyi sırasında bulunmuş olan birim hacim ağırlıkların katkı yüzdesi ile değişimi .....	57
<b>Şekil 4.12.</b> Lateks katkılı hidrofob kil numunelerinin serbest basınç deneyi sonucu kırılma düzlemleri.....	57
<b>Şekil 4.13.</b> Katkı yüzdesi ile serbest basınç mukavemeti değişimi .....	58
<b>Şekil 4.14.</b> Lateks katkılı MPT numunelerine yapılmış olan serbest basınç deneyi sonucu elde edilmiş birim deformasyon serbest basınç mukavemeti eğrileri.....	59

<b>Şekil 4.15.</b> Şişme basıncı deneyi için hazırlanmış olan numune .....	60
<b>Şekil 4.16.</b> Dinamik özelliklerin belirlemesi için hazırlanmış katkısız ve lateks katkılı hidrofor numuneler .....	61
<b>Şekil 4.17.</b> Dinamik özelliklerin belirlemesi için yapılan deneyin görünümü .....	61
<b>Şekil 4.18.</b> Lateks oranına bağlı, sönüm oranında değişim .....	62
<b>Şekil 4.19.</b> Lateks oranına bağlı, frekanslarda değişim .....	63

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b>Çizelge 2.1.</b> Killerin Sınıflandırılması .....	14
<b>Çizelge 3.1.</b> Gliserinin 20°C’deki fizikokimyasal özellikleri .....	32
<b>Çizelge 3.2.</b> Deneylerde kullanılan malzemelerin yüzdeleri .....	33
<b>Çizelge 4.1.</b> KatkıSIZ ve lateks katkılı hidrofob kil numunelerinin elektrik iletkenlik değerleri .....	47
<b>Çizelge 4.2.</b> Numunelerinin zeta potansiyeli değerleri .....	48
<b>Çizelge 4.3.</b> Lateks katkılı numunelerinin temas açısı değerleri .....	50
<b>Çizelge 4.4.</b> KatkıSIZ ve lateks katkılı hidrofob kil numunelerinin pH değerleri .....	51
<b>Çizelge 4.5.</b> KatkıSIZ ve lateks katkılı hidrofob kil numunelerinin yüzey alan değerleri	52
<b>Çizelge 4.6.</b> KatkıSIZ ve katkılı numunelerinin dane birim hacim ağırlığı değerleri .....	53
<b>Çizelge 4.7.</b> Farklı lateks yüzdelerinde hazırlanan katkılı hidrofob kil numunelere yapılan MPT deneyleri sonuçları .....	54
<b>Çizelge 4.8.</b> KatkıSIZ ve lateks katkılı hidrofob kil numunelerin kompaksiyon sonrasında elde edilen minimum boşluk oranları ve birim hacim ağırlıklarının katkı yüzdesi ile değişimi .....	56
<b>Çizelge 4.9.</b> KatkıSIZ ve lateks katkılı hidrofob kil ile üretilen numunelerin serbest basınç deneyi sonuçları .....	58
<b>Çizelge 4.10.</b> Şişme basıncı deneyi sonuçları .....	60
<b>Çizelge 4.11.</b> KatkıSIZ ve lateks katkılı hidrofob kil üzerinde yapılan dinamik deney sonuçları .....	62

## 1. GİRİŞ

### 1.1. Amaç ve Kapsam

Meydana gelen doğal afetler neticesinde birçok alt ve üst yapı elemanlarında kalıcı zararlar meydana gelmektedir. Bu hasarların büyük bir kısmı yapıların taşıyıcı sistemlerindeki uygulama veya proje hatalarının yanı sıra mühendislik yapılarına temel oluşturan yarı sonsuz zemin ortamlarının özelliklerinden kaynaklanmaktadır.

Kil zeminler, uygulamada toprak dolgu barajlar, atık depo alanı şilteleri, nükleer santraller için koruyucu tabaka ve yol dolguları gibi birçok mühendislik yapısında sıkça kullanılmaktadır. Kil zeminlerin, hacim değiştirme kapasitesine sahip olması düşey hacim değişimine neden olmakta ve yapısal hasarlara sebebiyet verebilmektedir. Karayolu, istinat duvarları ve elastik zemin üzerinde inşa edilen plak temeller gibi birçok inşaat mühendisliği uygulamalarında zeminin hacim değiştirme özelliğine sahip olması durumunda yapısal ve tasarım problemleri ile karşılaşılabilir. Hafif yüklenmiş yapılarda temel zemininin şişme özelliği gösteren kil minerallerine sahip şişen kil içermesi durumunda yapının aktardığı düşük düşey basınç nedeniyle yapı farklı oturmalara maruz kalmakta ve büyük hasarlar meydana gelebilmektedir.

Mühendislik yapılarında, killi zeminlerin su ile karşılaştıklarında oluşan zararları önlemek veya minimuma indirmek amacıyla, zemin stabilizasyonu kullanılmaktadır. Zemin ve altyapıda kullanılacak malzeme çeşidine göre etkin mekanik ve kimyasal stabilizasyon yöntemleri zemin parametreleri tespit edilerek kullanılmalıdır. Mekanik stabilizasyonun yeterli olmadığı yada kullanılmadığı durumlarda kimyasal stabilizasyon bir seçenek olarak kullanılabilir. Zeminlere farklı katkı maddeleri ilave edilerek fiziksel özellikleri değiştirilebilmekte ve bu şekilde zeminlerin belirli mühendislik özelliklerini iyileştirmek mümkün olmaktadır. Genel olarak, kimyasal stabilizasyonda kiler üzerinde inorganik, organik ve puzolanik maddeler ile stabilizasyon yapılır ve kil zeminlerdeki problemleri çözmek mümkün olabilir.

Bu yüksek lisans çalışmasında, organik katkı olan bir yüzey aktif madde (DAMS) adlandırılan yüzey aktif madde ile adsorbe edilen bir kil zemin, yaygın polimer türlerinden biri olan Lateks ile karıştırılıp ve oluşturduğu kompozitin sentezi incelenmiş ve bazı geoteknik ve dinamik özellikleri, deneysel olarak araştırılmıştır. Araştırma kapsamında, dane birim hacim ağırlığı, şişme basıncı, zeta potansiyeli, temas açısı, elektrik iletkenliği, pH, yüzey alanı, serbest basınç ve dinamik deneyleri yapılmıştır.

## 1.2. Kaynak Özetleri

Naeini *et al.* (2004) çalışmalarında ince tane miktarının, karıştırılmış ve tabakalınmış kum numunelerinin kararlı-haline ve direnç artışına etkilerini araştırmışlardır. Bir seri tek düze ve dinamik üç eksenli basınç testleri %0 dan %100 e değişen ince tane içerikleri ile iki tip deney numunesi üzerinde uygulanmıştır. Kum-kil karışımı birinci tip ile kum kil katmanı değişen ikinci tip bu numuneler doyurulmuş, Ardebil kumu kullanılarak oluşturulmuştur. Numuneler kompaksiyon ve su sedimantasyonu numune hazırlama metodu ile en gevşek halde hazırlanmıştır. Çalışmada her iki seri numunede silt miktarı %35 e kadar artmaktayken, kararlı hal çizgisinde aşağıya doğru bir hareket ve normalize edilmiş kayma direncinde azalma bulunmuştur. Bununla birlikte karıştırılmış numunelerle aynı silt miktarında tabakalı numunelerin kararlı hal çizgisinde aşağı yönlü hareketin daha büyük olduğu gözlenmiştir.

Ishihara *et al.* (2005) çalışmalarında 1995 Kobe depremi sırasında sivilaşma olduğu iddia edilen ve iyi dokümantasyonu yapılmış olan 2 bölgenin incelenmesini yapmışlardır. Vertical Array (VA) ve Packing House (PH) isimli bölgeler alüvyon kil tabakası üzeri 18 metre dolgu tabakalaşması ile zemin yapısı olarak benzeşmektedir. Deprem öncesi bölgelerle ilgili şu veriler bulunmaktadır; VA bölgesinde herhangi bir zemin iyileştirme yöntemi uygulanmamış ve SPT değerleri 5 ile 10 arasındadır, PH bölgesinde dolgu tabakasına yüzeysel sıkıştırma (kompaksiyon) metodu ile iyileştirme yapılmış ve SPT olarak 20 ile 30 arası değerler elde edilmiştir. Özet olarak gevşek zemin ile sıkı zemin profillerinin deprem etkisi altında farklı davranışlar gösterip göstermediği incelenmiştir. Deprem sonrası iki bölge içinde zemin etütleri, laboratuvar

testleri ve analizleri yapılmış, şu sonuçlar elde edilmiştir. Gevşek dolgu zemin bölgesinde tamamen sıvılaşma görülmüş ve yeraltı su seviyesi altında %4 oranında maksimum kesme deformasyonu görülmüştür. Aynı zamanda 25-30 cm. zemin oturması olduğu hesaplanmıştır. Kompaksiyon uygulanmış arazide ise sadece derinliklerde sıvılaşma olduğu ve ancak %2 maksimum kesme deformasyonuna ulaşıldığı görülmüştür. Aynı zamanda 8cm. zemin oturması olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak zemin sıkılığının artırılması dolgularda sıvılaşma riskinin azaltılmasında etkili olduğu saptanmış ve yüzeysel derinlikler için deformasyon ve zemin oturmalarını azalttığı görülmüştür.

Osinov (2003) yaptığı çalışmasında basit kesme durumunda periyodik yükleme altındaki zeminde oluşan deformasyonlara matematiksel modellemesi üzerine çalışmıştır. Doygun zeminlerde efektif gerilme basıncı ve boşluk suyu basıncı dağılımına periyodik yükleme altında modelleme yapılarak nümerik çözüm verilmiştir. Modellemenin çözümü için sonlu farklar yöntemi ile bilgisayar programı yazılmıştır.

Dano *et al.* (2003) dinamik etkilere karşı zemin direncinin tespiti için bender element testi üzerine çalışmışlardır. Basınç dalgaları ve kesme dalgalarının gönderilebilmesi ve alınabilmesi için bender element aygıtı kullanılmış, isotropik ve deviator gerilme yönü boyunca küçük deformasyon alanlarında Young Modülünün ( $E_{max}$ ) ve kesme modülünün ( $G_{max}$ ) eşzamanlı tanımlanması yapılmıştır. Çalışmada Loire River kumu kullanılarak numunelerin isotropik gerilme yönünde  $E_{v,max}$  ve  $G_{vh,max}$  değişim grafikleri çizilmiştir.

Berry *et al.* (2003) çalışmalarında kesme dalga hızının zemin sıkılığı ile ilgili olduğu ve bununda bender element testi ile belirlenebileceği üzerine kaolin kili ile çalışmalar yapmışlardır. Bender element test sonuçları hem manüel metot kullanılarak hem de korelasyon metot kullanılarak grafiklere aktarılmış ve sonuçta her iki metodunda kesme dalga hızı belirlemede yakın sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Yapılan deneyler sonucu kesme dalga hızı ile zemin sıkılığı arasında doğrusal ilişki olduğu bulunmuştur. Fakat

alıcıların ancak düşük frekanslarda çalışmaları sebebiyle sonuçların yüksek frekanslar için anlam teşkil etmediği vurgulanmıştır.

Sridharan *et al.*(2003) çalışmalarında şişme basıncını, kilin su veya elektrolit adsorbe etmesine izin verilmesi halinde, kil - su sistemini istenen boşluk oranında tutmak için gerekli basınç olarak tanımlamışlardır.

Zhuang *et al.*(2005) çalışmalarında konsolidasyon için değişken sıkışabilirlik ve permeabilite durumunu göz önünde bulundurduğu yarı analitik bir çözüm önermiştir. Bu araştırmalarda konsolidasyon süreci boyunca, konsolidasyon katsayısı  $c_v$ 'nin değişimini dikkate almak için çalışmışlardır. Ancak onların çözümleri, zaman faktörü ile konsolidasyon derecesi arasındaki ilişkiyi vermektedir. Bu nedenle yaklaşımlarında  $c_v$ 'nin belirlenmesi ile ilgili sınırlamalar hala aynı kalmaktadır.

Abbasi *et al.*(2006) çalışmalarında lineer e-log  $\sigma'$  ve e-log k ilişkilerini kullanarak konsolidasyon için nonlinear bir kısmi diferansiyel eşitlik türetmişlerdir. Bu çalışmada zemin homojen varsaymıştır ve aynı zamanda, sünme ile zeminin kendi ağırlığı ihmal edilmiştir. Sadece normal konsolide yumuşak killere uygulanabilen teorinin çözümü için, sonlu farklar metodu kullanılmıştır ve konsolidasyon süreci boyunca hacimsel sıkışma katsayısı ve permabilitenin değişimini dikkate alınmıştır.

Yılmaz vd.(2002)' de kili zeminlerin ÖKB değerleri üzerinde kum ve zeolit etkisini araştırabilmek için bir dizi çalışma yapmışlardır. Bu çalışmalarında ön konsolidasyon basınç değerlerinin deformasyon oranı ve tek eksenli basınç değerleri ile ilişkili olduğunu ortaya koymuşlar ayrıca Casagrande ve Sridharan yöntemlerini karşılaştırarak elde edilen ÖKB değerlerinin yöntemlerle uyumlu olduğunu göstermişlerdir.

Ajaz and Parry (1975) çalışmalarında standart proktor enerjisi altında sıkıştırdıkları farklı su içeriklerine sahip (%0 su içeriğinden optimum su içeriğine kadar) değişik iki kil üzerinde serbest basınç ve direkt kesme deneyleri yürütmüşlerdir. Sonuç olarak, aynı su içeriğinde hazırlanan numunelerin serbest basınç dayanımlarının direkt kesme

dayanımlarından yüksek olduğunu, direkt kesme ve serbest basınçların başlangıç tanjant modüllerinin farklı olduğunu ortaya koymuşlardır.

Itakura *et al.* (2004) tarafından yapılan çalışmada tek eksenli basınç altında doğal kaolinin nano ölçekte yapısı incelenmiştir. Bu çalışmada, kullanılan zemin örnekleri Avustralya'da Yeni Galler şehir merkezindeki tortul atıklar ve endüstriyel sıvı atıklarının içinde bulunan doğal kaolin zeminlerden alınmıştır. Suya doymuş deney numuneleri katkılı kil, zemin ve su karışımlarından hazırlanmıştır. 400 kPa ile 800 kPa arasında iki farklı gerilme değerinde değişen tek eksenli basınç altındaki örneklerin nano ölçekte yapısal tepkisi, küçük veya çok küçük nötron saçılma metodlarıyla, saçılma vektörü  $5,10^{-5} \text{ \AA}^{-1}$  ile  $2,2.10^{-1} \text{ \AA}^{-1}$  arasında değişiklik göstermiştir. Saçılmış örnekler, rastgele dağılmış kil partiküllerinin uygulanan basınç altında yeniden asimetrik tabakalaşmış yapı olarak şekillendiğini göstermektedir. Yine bu çalışmada yapılan analizler, deney numuneleri arasında eliptiklik açısından küçük bir fark olduğunu göstermiştir. Nano ölçekli yapı üzerindeki basıncın etkisinin sınırlandırıldığı ve 400 kPa altındaki gerilmelerde birçok parçacığın yeniden dizilişinin değiştiğine dikkat çekilmiştir. Örneklerin yüzey alanı, 400 kPa'da 13 ve 250 m<sup>2</sup>/gr arasında 800 kPa'da ise 6 ile 80 m<sup>2</sup>/gr arasında tahmin edilmiştir.

Park *et al.*(2006) tarafından yapılan çalışmalarda, yüzey aktif maddelerin ve elektrolit solüsyonlarının kaolinit üzerindeki etkilerini, kompaksiyon, indeks özellikleri, hidrolik iletkenlikleri, gerilme ve adsorbsiyon karakteristiklerini araştırmışlardır. Kimyasalların uygulanmasının çoğunlukla zeminlerin orijinal geoteknik özelliklerini değiştirebildiklerini vurgulamışlardır. Sonuçta, sodyum dodesil sülfatın (SDS), ve NaPO<sub>3</sub> 'ün likit limit ve plastisite indisini düşürdüğünü, ve SDS ve bio yüzey aktif madde eklenen %30 kaolinit, %70 kum karışımları için yapılan kompaksiyon deneyleri ile maksimum kuru birim hacim ağırlıklarının arttığını, optimum su içeriğinin azaldığını belirtmişlerdir.

Ko *et al.* (1995) çalışmalarında yerinde bulunan şişen kil mineralleri, kristallerindeki serbest suyu emebilme koşullarında zeminleri ağırlaştırabildiklerini, yer altı su tablası seviyesi yükselmeksizin zeminlerin şişmesine neden olabildiklerini ve yapıların konumunu değiştirebildiklerini belirtmişlerdir.

Yıldırım (2002), tarafından sıkıştırılmış killi zeminlerin şişme basınçları ile emme kapasitelerini bazı zemin özelliklerinden yararlanarak belirlemeyi amaçlayan bir çalışma yapılmıştır. Bu amaçla plastisite indisleri farklı olan 6 grup kil numune kullanmıştır. Ödometre deneyi ile hesaplanmış olduğu şişme basıncı sonuçlarından, su muhtevası artışına karşılık şişme basıncının azaldığını, kuru birim hacim ağırlığı ve plastisite indisinin artmasıyla şişme basıncının arttığını belirlemiştir. Çalışma ile belirli bir plastisite indisine sahip kilin emme kapasitesinin artmasıyla şişme basıncının azaldığı da ortaya konulan grafiklerle ifade edilmiştir.

Azam *et al.* (2000) yaptıkları çalışmada çeşitli kalsiyum sülfat fazları arasında jipsin sınırsal, anhidritin ise yüksek şişme kapasitesine sahip olduğunu söylemişlerdir. Kalsiyum sülfat-kil karışımli zeminlerde kalsiyum sülfat miktarı artınca kilin şişme potansiyelinin azaldığını ve bu karışım eğer jips ise şişme potansiyelinin daha fazla azaldığını belirtmişlerdir.

Türköz vd. (2010), çalışmalarında magnezyum klorür solüsyonunun kil zeminlerin şişme potansiyeli ve dispersibilite karakteristikleri üzerindeki etkisi araştırmışlardır. Bu amaçla, Afyon'dan elde edilen üç değişik zemin numunesi üzerinde tanımlama ve kompaksiyon deneyleri öncelikli olarak yapılmıştır. Numunelerin şişme potansiyelinin belirlenmesinde şişme yüzdesi deneyleri, dispersibilite özelliklerinin değerlendirilmesinde de iğne deliği deneyi, dağılma deneyi, çifte hidometre deneyi ve kimyasal deneyler yapılmıştır. Dispersif özelliğe ve şişme potansiyeline sahip bu numunelerin magnezyum klorür solüsyonu kullanılarak iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Katkının etkisini değerlendirmek için standart proktor enerjisinde ve farklı magnezyum

klorür katkı oranlarında (%0, 1, 3, 5, 7, 10) hazırlanan numuneler üzerinde şişme ve dispersibilite deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda, problemlili kil zeminlerin iyileştirilmesinde magnezyum klorür solüsyonun kullanılabilceği ve özellikle %7 katkı oranından sonra etkin bir iyileştirme sağlandığı görülmüştür.

Kurt (2009) yaptığı çalışmada, mineral özellikleri belirlenen kil numunelerini katyonik bir yüzey aktif madde kullanarak modifiye etmiş ve kilin mukavemet özelliklerini araştırmıştır. Bu amaçla kilin elektrokinetik özellikleri incelenmiş ve katkılı, katkısız kil numunelerine X-ışını difraksiyon analizleri, katyon değişim kapasitesi, zeta potansiyeli, elektrik iletkenlik, pH, kıvam limitleri, dane birim hacim ağırlık, kompaksiyon, serbest basınç ve kesme kutusu deneyleri yapmıştır. Katkılı killerle yapılan deney sonuçları, referans kabul edilen katkısız kile ait sonuçlarla karşılaştırmıştır. Deney sonuçlarından katkılı killerin suya karşı ilgisinin azaldığı, numunelerin hidrofobik davranış sergilediği, konsolidasyonsuz-drenajsız kohezyonunda kısmi bir azalma olduğu ve kayma mukavemeti açısının ise önemli bir değişim göstermediği gözlemlenmiştir. Ayrıca katkı yüzdesinin artışı ile numunelerin serbest basınç ve kayma mukavemetinde de bir azalma olduğunu belirlemiştir.

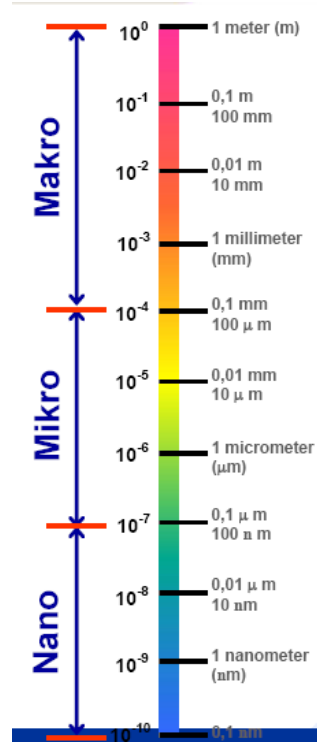
Hamutçu (2010) çalışmasında, yüzey aktif madde ve polimer modifikasyonu ile üretilen organokil ve poliorganokil numuneler üzerinde çeşitli mühendislik ve geoteknik deneyler yapmıştır. Bu çalışmada, Oltu-Narman Havzası'ndan getirilen katkısız kil ile %5 ve %8 mertebesinde yüzey aktif madde ve %15, %20 mertebesinde polimer ile modifiye edilmiş olan organokil ve poliorganokil numuneler üzerinde analizler yapılmıştır. Bu killerin elektrokinetik özellikleri incelenmiş ve kıvam limitleri deneyi, kompaksiyon deneyi, mukavemet özelliklerini belirlemek için serbest basınç ve kesme kutusu deneyleri ile su emme deneyleri yapılmıştır.

## 2. KURAMSAL TEMELLER

### 2.1. Nanoteknoloji Anlamı ve Uygulama Alanları

Nano Yunancadan alınmış bir sözcük olup son derece küçük, mikroskobik anlamına gelmektedir. Ölçme birimi olarak 1 nanometre (nm), metrenin milyarda biridir. Bu çok küçük bir boy olup atomlar, moleküller dünyasına uzanmaktadır. Nanoteknoloji (ve Nanobilim) nm boyutta maddenin özelliklerini, dinamiklerini inceleyen bilim ve teknolojisidir. Tanımı daha da sınırlandıracak olursak nanoteknoloji, boyutu 100 nm'den az olan madde ve sistemleri inceleyen bir disiplin ve bilim dalıdır (Kayır ve Baççıl 2010).

Nano, mikro ve makro boyutlar Şekil 2.1'de gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Nano, mikro ve makro boyutlar (Deal 2008)

“Nanobilim”, nanometre ölçeğinde madde ve enerjiyi inceleyen bilimdir. Nano ölçekteki malzemeler, kütleli malzemenin özelliklerinden ya da malzemenin moleküler haldeki özelliklerinden çok farklı olan yeni özelliklere sahiptirler. Yüzey davranışı, kütleli malzeme davranışlarını baskıladığı için, kompozit malzemelerde nano parçacıkların kullanımı bunların sertliğini arttırabilir ve/veya ağırlıklarını düşürebilir, kimyasal ve termal dayanıklılıklarını arttırabilir ve ışıkla diğer ışınlarla olan etkileşimlerini değiştirebilir. Nanoteknoloji, daha az hammadde ve enerji kullanarak fazla işlevi artırılmış maddeler üreten, daha hafif ve daha hızlı cihazların üretimlerinin önünü açmaktadır. Nano-boyuttaki bilimi, mühendisliği ve teknolojiyi kapsayan nanoteknoloji, maddenin bu boyut ölçeğinde görüntüleme tekniğini, ölçümünü, modellenmesini ve manipülasyonunu içermektedir. Nano-boyutta, malzemelerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri, tek tek atomların ve moleküllerin ya da kütleli haldeki malzemenin özelliklerinden temel olarak ve yararlı bir yönde farklı olmaktadır (Sharifzadeh 2006).

### 2.1.1. Nanoyapıların özellikleri ve etkileri

**Termal özellikler:** Homojen olarak yayıldıklarında, polimer sistemlere yönelik metal nanoparçacıkların termal özelliklerinde belli bir gelişme sağlanarak, işleme süresi küçültülebilir. Sinterleme ve erime sıcaklığı, azalan nanoparçacık boyutuyla küçülür. Tabakalar halindeki silikatların, genellikle termoplastik bileşiklerin ısı deformasyon sıcaklığını (belirli boyutlardaki bir cismin, belirlenmiş bir yük altında deforme olmaya başladığı sıcaklık) geliştirirler (Toprakezer 2009).

**Özgül yüzey alanı ( $m^2/gr$ ):** Nanoparçacıkların boyutları azaldıkça, yüzeylerinin hacimlerine oranı yükselir. Özgül yüzey alanı, yüzey alanının stabilizasyonu, nanopartiküllerin pürüzsüzlük ve destek malzemenin ara yüzey özellikleriyle ilgili olduğu gibi, asıl olarak katalitik reaktivite ve diğer benzer özelliklerle alakalıdır. Silikat nanoparçacıklarının, tabaka halindeki yapıya sahip oldukları ve polimerik malzemeye göre düşük miktarda silikat ilavesine rağmen oldukça büyük özgül alanı elde edilmesini sağladığından dolayı, camlar için bariyer görevi gören fiziksel bir yapı çıkmaktadır.

Ayrıca, molekülün metale nüfuz etmesi için kat etmesi gereken ortalama yolu büyük miktarda uzatarak, düşük molekül ağırlığına sahip olan maddelerin oluşturulmasını sağlar. Bu özellik, otomotiv yakıt sistemlerinde ve yüzey filmlerde, gıda ve kimyasal ambalajlama işlemlerinde kullanılabilirdiği gibi, alev geciktirici uygulamalar için de kullanılması uygundur (Willenberg *et al.* 2005).

### **2.1.2. Nanoteknolojinin uygulama alanları**

Nanoteknolojinin gelişmekte olan pek çok potansiyel uygulama alanı vardır. Bunlar arasında; küçük, hızlı, akıllı ve çoklu analiz yapabilen sensörler; küçük, yüksek yoğunluklu ve hızlı özelliklere sahip elektronikler ve optikler; daha iyi kontrol ve daha iyi salınım yapabilen terapi; yüksek dayanıklılık, kararlılık ve optiklik özelliklerinden dolayı kompozit yapımı; elektrik, yüksek yoğunluk depolaması gibi özelliklerinden dolayı enerji; yumuşak iyileştirme filmleri, oto-lens gibi sistemlerde kullanılabilen akıllı sistemler; istenen ürün üzerinde çalışan nanofabrikalar sayılabilir. Bu potansiyel uygulama alanlarına sahip nanoteknolojinin alt dalları ise;

- Nanomateryaller
- Nanoelektronikler
- Nanobiyoteknoloji
- Nanomakinalar

olarak sayılabilir (Öztürk 2006).

### **2.2. Kil Mineralleri**

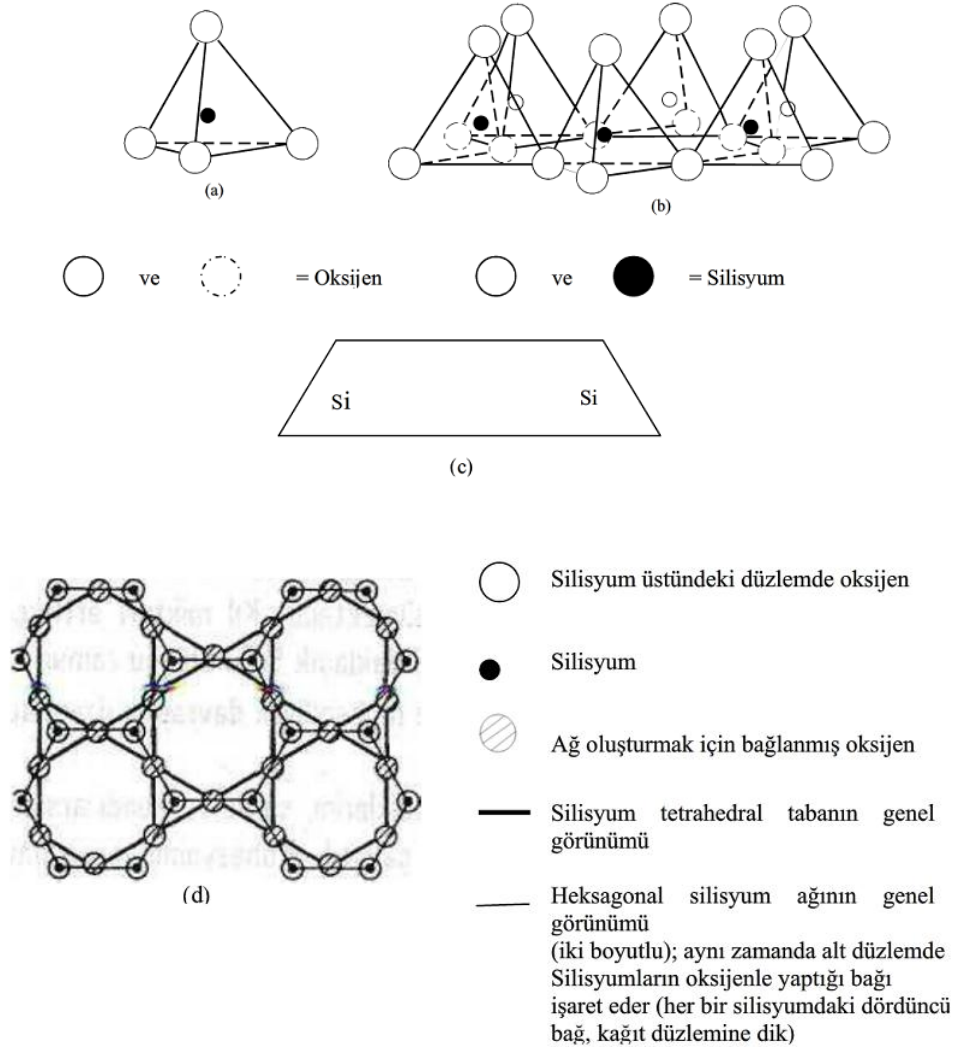
Kil mineralleri, bazı kaya yapıcı minerallerin kimyasal ayrışmaları sonucunda oluşan çok küçük, kristalsi maddelerdir. Kimyasal anlamda sulu alüminosilikatlar ile diğer metalik iyonlardan oluşmuşlardır. Tüm kil mineralleri çok küçük boyda (çapların 1 µm'den küçük) olup sadece elektron mikroskopu ile görünmektedir. Münferit kristaller

küçük katmanlardan çıkmaktadır. X ışını kırınım (XRD) çalışmaları bu kristallerin, atomik yapısının tekrarlanan çok sayıda kristal levhalarından meydana geldiğini göstermiştir. Aslında, tetrahedral veya silika ile oktahedral alümina olmak üzere sadece iki çeşit kristal levhası bulunmaktadır. Bu levhaların değişik bağlarla ve farklı metalik iyonlarla birbirine bağlanmasıyla değişik kil mineralleri oluşmaktadır (Yüksel 2007).

### **2.2.1. Kil minerallerin oluşumu**

Kil mineralleri, kayaçları oluşturan birincil minerallerin ayrışmasıyla oluşurlar. Bu nedenle de ikincil silikatlar olarak tanımlanırlar. Killer, oluşumu yıpranan ana kayaçtan kopup taşınan parçaların bir başka ortamda çökmesi ya da ana kayacın ayrışma ürünü ile aynı ortamda kalması sonucunda oluşur. Birincil minerallerin ayrışma yeteneği belirli bir sıraya göre değişir. Genel bulgu, yüksek silisyum/alüminyum oranına sahip minerallerin  $Si^{++++}$  iyonunu kaybeden minerallere oranla daha dayanıklı olduğudur. Ayrıca Na plajiyoklazınun (albit), K-Feldispatha oranla daha kolay ayrışmaktadır. Birincil mineralin türü (ana kayaç), içinde bulunduğu ortamın iyon içeriğinin, sıcaklık ve pH'n, kil minerallerinin oluşumunda önemli etkileri mevcuttur. Bu minerallerin karakteristikleri hidrotermal koşullarda çok farklı gerçekleşmektedir (Yüksel 2007).

Killer, tabakalı silikatlar grubuna dahildir. Aynı grupta gösterilen mikalar, klorit, serpantin, pirofillit gibi mineraller de çoğunlukla kil minerali olarak gösterilsede, bunlar gerçek kil minerali değildir. Filosilikatların yapısı iki ana yapı elemanının çeşitli biçimlerde bir araya gelmesiyle oluşur. Birinci yapı bloğu silikon iyonunun dört yandan oksijen atomlarına bağlanarak oluşturduğu silika dört ayaklısı (tetrahedron); ikinci kristal bloğu ise sekiz yandan oksijen ve hidroksil iyonlarıyla koordine alüminyum ve magnezyum iyonunun meydana getirdiği sekiz köşelidir (oktahedron). Bu yapı bloklarının ayrıntısı Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



**Şekil 2.2.** (a) Tek silika tetrahedronu (Grim 1953). (b) Silika levhası veya tetrahedralin izometrik görünümü (Grim 1953). (c) Silika levhasının şematik temsili (Lambe 1958). (d) Silika levhasının tepeden görünümü (Warshaw and Roy 1961).

### 2.2.2. Kil minerallerinin sınıflandırılması

Kil mineralleri çözeltiden kristalleşmeyle, kayaçlar başta olmak üzere silikat içeren birincil minerallerin ayrışmasıyla, yine bu minerallerin hidrotermal ortamda değişimiyle, diyajenez ve yeniden yapılanmasıyla, hatta laboratuvar koşullarında oluşabilir. Bu minerallerin kristal yapısı çok karmaşık olduğundan bir sınıflandırma sistemi belirlenememiştir. Killer sınıflandırılırken esas alınan özellikler;



**Çizelge 2.1.** Killerin Sınıflandırılması (Yüksel 2007)

TABAKA YAPISI	GRUP VE BİRİM YÜK x	ALT GRUP	KİLİN TÜRÜ
1:1	KAOLİNİT	Kaolinit	Kaolinit, dickit, lizardit
	SERPANTİNİT $x \approx 0$	Serpantin	Halloysit
2:1	PROFİLLİT – TALK $x \approx 0$	Profillitler	Profillit
	SİMEKTİT $x \approx 0.2 - 0.6$	Talkler	Talker
2:1	VERMİKÜLİT $x \approx 0.6 - 0.9$	Dioktahedral Simektit	Montmorillonit
	MİKA $x \approx 1$	Trioktahedral simektit	Beidellit
2:1	GEVREK MİKA $x \approx 2$	Dioktahedral vermikülit	Saponit
		Trioktahedral vermikülit	Hektorit
2:1:1	KLORİT $x = \text{değişken}$	Dioktahedral klorit	dioktahedral vermikülit
		Di/tri-oktahedral klorit	Trioktahedral vermikülit
2:1:1		Trioktahedral klorit	Muskovit
			Biyotit
2:1:1			Margarit
			klitonit
2:1:1			Donbasit
			Sudoit
2:1:1			Klinoklor

**Montmorillonit (Smektit):** Montmorillonit minerali, iki tetrahedral tabaka ile bir oktahedral tabakadan oluşmaktadır. Tabakalar arasında H<sub>2</sub>O adsorbe edildiğinden şişmeye yatkındır ve doğal su muhtevası çok değişebilir. Genelde daneler eşit boyutlu pul şeklindedir ve boyutları 10 µm 'ye kadar çıkabilir. Yüksek pH ve elektrolit muhtevası Na<sup>+</sup> ve K<sup>+</sup> 'a nazaran daha yüksek Mg<sup>2+</sup> ve Ca<sup>2+</sup> ihtiva eder. Yıkınmanın zayıf olduğu kurak ve yarı kurak alanlarda smektitler yağıştan daha fazla buharlaşmanın

olduğu iklim koşullarında oluşmuşlardır (şekil 2.4).



**şekil 2.4.** Bir sodyum montmorillonitin taramalı elektron mikrografi

\* (Beyaz çizginin uzunluğu 5μm) (Holtz and Kovacs 1981)

**Halloysit:** 1:1 silika, alümina mineralidir ve kaolinden düz şekli ile ayrılırlar.

**İllit (Hidro mika):** 2:1 tabakalı illit kil minerali birçok killi zeminde bulunmaktadır. Muskovit mikasına benzer bir yapısı vardır ve “hidro mika” olarak adlandırılırlar. Pul şeklindeki danelerin boyutları 10 μm ‘ye kadar çıkabilir (şekil 2.5).



**şekil 2.5.** Bir illitin taramalı elektron mikrografi

\* (Beyaz çizginin uzunluğu 5μm) (Holtz and Kovacs 1981)

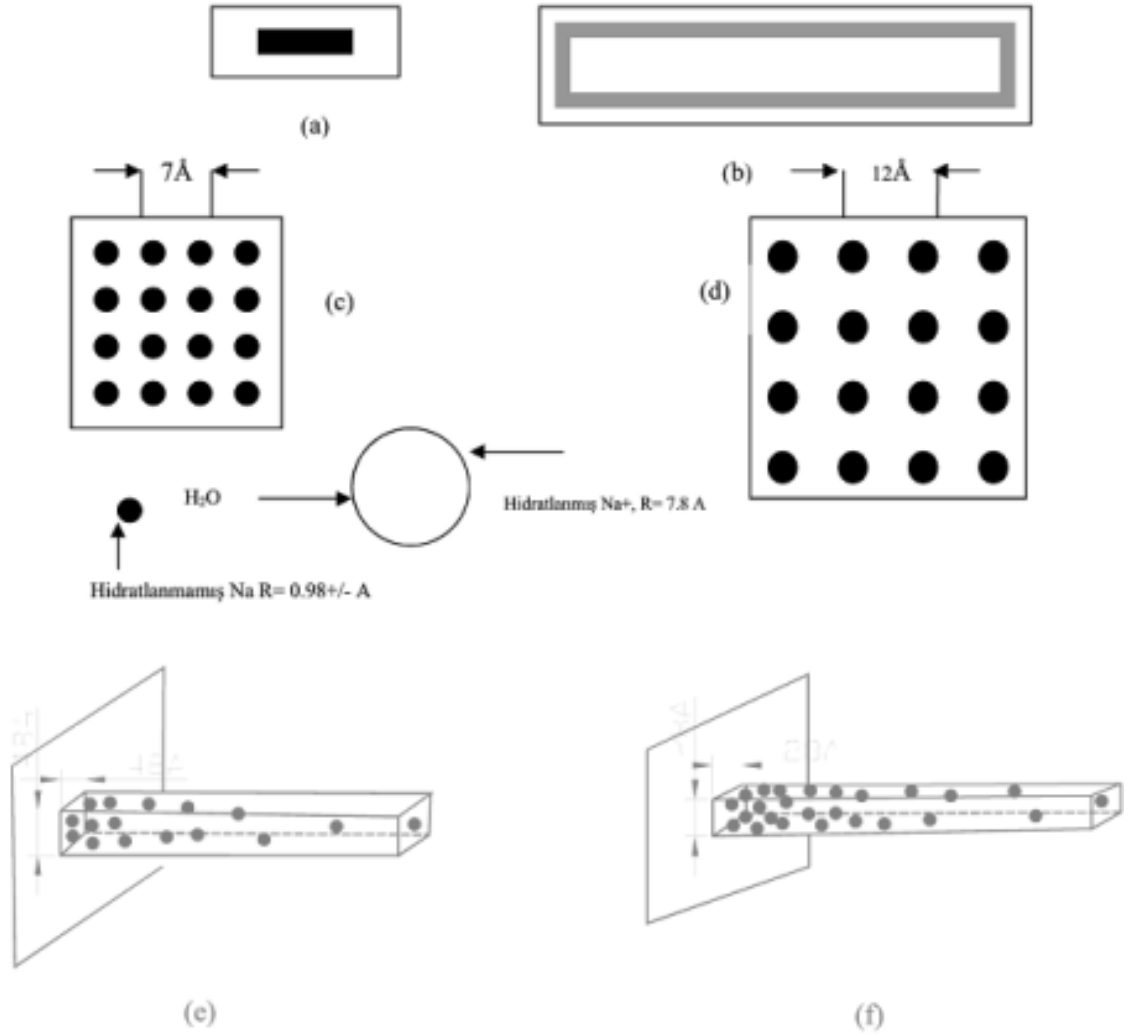
**Klorit:** 2:1:1 minerali olarak adlandırılır smektitin alterasyonu, yeterli  $Mg^{2+}$  kristalli

brusit tabakasının ara su tabakasıyla yer değiştirmesine sebep olur. Klorit tabakası düşük orta seviyedeki metamorfik kayaların formudur ve kayadan türeyen birçok zeminin ana mineralidir. Genellikle şişmeye karşı hassastırlar, ancak montmorillonitten daha az aktiftirler, boyutu 1 µm 'ye kadar çıkabilir.

Birçok zeminde genelde birden fazla kil minerali bulunmaktadır. Mineralojik kompozisyon esas olarak zemin danelerinin karakteristiklerini, boyutunu, şeklini ve yüzeyini etkilemektedir. Sıvı fazlı içsel etkileşimli bu özellikler, aktiviteyi, plastiteyi, şişmeyi, mukavemeti ve hidrolik iletkenlik davranışını etkilemektedir (Yüksel 2007).

### **2.2.3. Kil danesinin özellikleri**

Kil danesi, küçük pulsu lif veya boru şekilli, kristal kenarlarında negatif, yüzünde ise pozitif net elektrik yükü taşıdığında mıknatısa benzetilebilir. Katyonların izomorf yer değiştirmesi, hidroksil iyonlarının yüzeyden ayrılması, kristal kafesinde katyonların eksikliği, yüzeye bağlanmış anyonlar ve dane çevresindeki organik malzemeler bu yükün kaynağını oluşturur. Şekil 2.8 a ve b de boyutu 10x1000Å olan sodyum montmorillonitle 1000x10000Å olan sodyum kaolinit daneleri saf suda hidratlandıktan sonra şematik olarak gösterilmektedir. Bu danelerin elektriksel dengesizliğini gidermek için montmorillonite 14,000 kaolinitte 4,000,000 değişik tür tek değerlikli iyon kuru kil pulcuğu yüzeyinde tutulmaktadır (c,d). Kil yüzeyinin suya isteğine ek olarak, yüzeyine tutunan sodyum katyonu hidratlandığında sistem ek su tutma yeteneği kazanmaktadır (e). Ana katyon kalsiyum olduğunda ise aynı özellik gözlenmez. Yer değiştirebilir katyonların üç boyutta konumu ise Şekil 2.6. f ve g'de gösterilmektedir. Bu şekilden farklı mineraller çevresinde hidratlanmış anyonların yaklaşık aralıkları çiftli tabakaya yönelik olarak görülebilir (Önalp 2007).

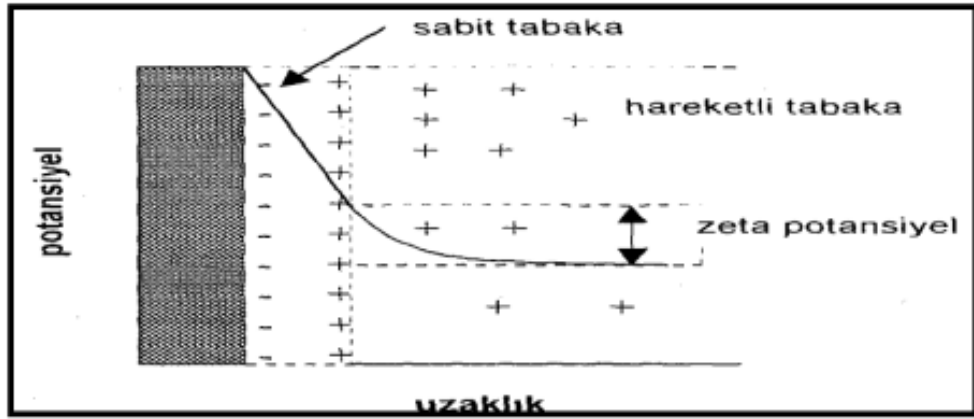


Şekil 2.6. Kil yüzeyinin su ve değişebilir katyonlarla ilişkisi (Önalp 2007)

#### 2.2.4. Killerin elektriksel özellikleri

Kil partiküllerinin yüzeyleri birim hücrelerin içlerindeki katyonların izomorf yer değiştirmeleri sonucu negatif elektrik yüklüdür. Kenarları ise kırılmalar nedeni ile pozitif yüklüdür. Hidroksil gruplarının çözünmesinden dolayı pH bağımlılıkları vardır. Bir sıvı çözelti içerisine özellikle elektrolit çözeltisi içerisine atılan killerin yüzeyleri ve kenarları sıvı içerisindeki zıt yükler ile çevrelenir. Aynı zamanda kili çevreleyen bu yükler yüzeyden difüze olma eğilimindedirler. Böylece aynı anda çekme ve itme kuvvetleri ortaya çıkar. Birbirlerine zıt yüklerden meydana gelen bu katı-sıvı yüzeyine, bu yüklerin düzenine elektriksel çift tabaka denir.

Elektriksel çift tabaka sabit ve hareketli olmak üzere iki tabakadan oluşur. Yüzeydeki çekme kuvvetinin etkisiyle yüzeyde iyon konsantrasyonu daha yüksek olur. Difüze olma eğiliminde olan iyonlar daha az sayıdadır. Bu iki çekim arasında kalan bölgedeki ara yüzey potansiyeli zeta potansiyeli olarak adlandırılır (Şekil 2.7). Zeta potansiyelinin miktarı parçacıklar arası etkileşmelerinin ölçüsüdür (Toprakezer 2009).



Şekil 2.7. Zeta potansiyeli (Toprakezer 2009)

### 2.3. Polimerler

Monomer; birbirlerine kovalent bağlarla bağlanarak büyük moleküller oluşturabilen küçük mol kütleli kimyasal maddelerdir. Polimerler ise çok sayıda monomerin kovalent bağlarla birbirine bağlanarak oluşturduğu iri moleküllerdir.

#### 2.3.1. Polimerlerin sınıflandırılması

Polimerler aşağıda sıralandığı gibi farklı şekillerde sınıflandırılabilir (Saçak 2004).

- Kaynaklarına göre: Doğal, yarı sentetik ve sentetik polimerler
- Polimerin ana zincirlerini oluşturan atomların türü açısından: Organik ve anorganik polimerler
- Zincir yapısına göre: Homopolimer, kopolimer

- Polimerler zincirlerinin fiziksel biçimlerine bakılarak: Doğrusal, dallanmış ve çapraz bağlı polimerler
- Sentez tepkimelerinin mekanizmasına göre: Basamaklı ve katılma polimerler
- Mol kütlelerinin büyüklüğüne göre: Yüksek ve düşük polimerler
- Isı karşısındaki davranışlarına göre: Termoplastik ve termosetler.

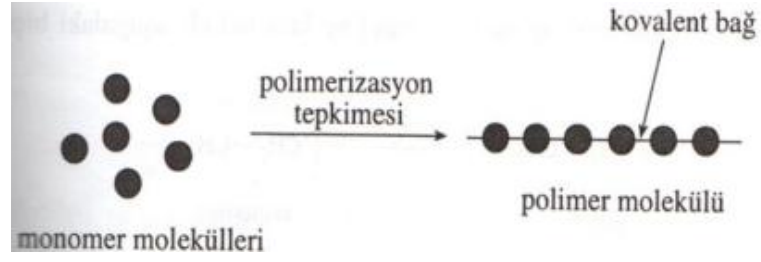
### 2.3.2. Polimer kompozitleri

Polimer nanokompozitleri, nanometre boyutunda nanopartiküllerden meydana gelen kompozit malzemelerdir. Polimer kompozitleri hazırlama yöntemleri üç çeşittir. Bunlar doğrudan karıştırma, solüsyon karıştırma ve yerinde polimerizasyondur.

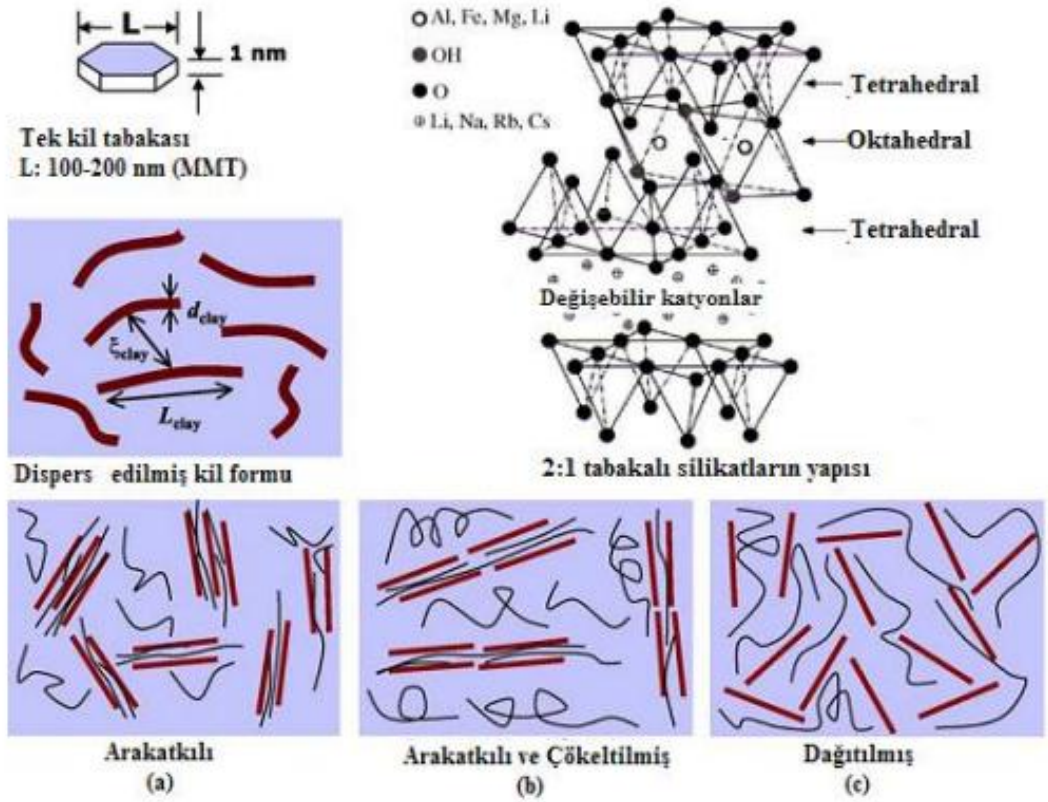
**Doğrudan karıştırma:** Polimer ve nano partikülü farklı fazlarda veya solüsyon içinde doğrudan karıştırma yoluyla malzeme elde edilmesidir. Geleneksel çözelti-karışım metodu uygulanabilirse, yeni ürünler üretmek için en hızlı yöntem doğrudan karıştırma metodudur.

**Solüsyon karıştırma:** Polimer ve nano partikülün her ikisinin de solüsyon içerisinde çözülmesi ve dağıtılması yoluyla hazırlanan malzeme hazırlama metodudur.

**Yerinde polimerizasyon:** Nano ölçekli partiküller monomer veya monomer solüsyonu içerisinde dağıtılır ve sonuç karışımı standart polimerizasyon metotları ile polimerize edilir. Bu metodun en faydalı kısmı polimerin partikül yüzeyine aşılmasını sağlamasıdır. Yerinde polimerizasyonla birçok nano kompozit çeşidi sentezlenebilir (Ajayan et al. 2003). Polimer molekülünün oluşumuna ait gösterim Şekil 2.8'de, üç farklı silikat tabakalı nanokompozite ait şematik gösterim Şekil 2.9'da verilmiştir.



Şekil 2.8. Polimer molekülünün oluşumu (Saçak 2004)



Şekil 2.9. Üç farklı polimer/silikat nanokompozitinin şematik gösterimi.

\* (a) arakatkılı, (b) arakatkılı ve çökeltilmiş, (c) pul pul dağıtılmış (Ray and Okamoto 2003)

## 2.4. Kompozitler

Kullanılabilir cisimler yapmak amacı ile doğal ya da yapay olarak üretilmiş maddelere kompozit malzeme denir. Günümüzde birçok malzeme çeşidi bulunmaktadır. Malzemeler cinsine göre; seramik, metalik, polimer, kompozit, elastomer ve cam

malzemeler olarak sınıflandırılabilir. Kompozit aslında karışım anlamına gelmekle birlikte çözünen ve çözen bileşenlerden oluşmaz. Kompozit malzemelerde bileşenler arasında atom alışverişi bulunmamaktadır. Geleneksel malzemelerde mevcut olmayan ya da sınırlı olan bazı özellikleri geliştirmek amacıyla birbiri içerisinde çözünemeyen farklı özelliklere sahip en az iki bileşenden oluşan malzemelere kompozit malzemeler denir. Kompozit bileşenleri kimyasal olarak birbirlerini etkilemezler ve özellikle insan tarafından dizayn edilerek üretilirler. Kompozit bileşenlerinin atom boyutu 300 nano altında ise bu tür kompozitlere nano kompozit denir. Malzemeler birbiri içerisinde çözünürse bu tür malzemeler kompozit değil alaşım olur. Kompozit malzemelerde yapıyı oluşturan bileşenler birbiri içinde çözünmeleri istenmez, özellikle metalik sistemlerde bir miktar çözünme bileşenler arasında güçlü bağlanımların oluşmasına katkı sağlar.

Kompozit malzemelerde çeşitli form ve oranlarda takviye fazı ile bu malzemenin çevresinde hacimsel olarak çoğunluğu oluşturan matris malzeme bulunmaktadır. Bu iki malzeme grubundan, takviye malzemesi kompozit malzemenin mukavemet ve yük taşıma özelliğini, matris malzeme ise plastik deformasyona geçişte oluşabilecek çatlak ilerlemelerini önleyici rol oynamakta ve kompozit malzemenin kopmasını geciktirmektedir.

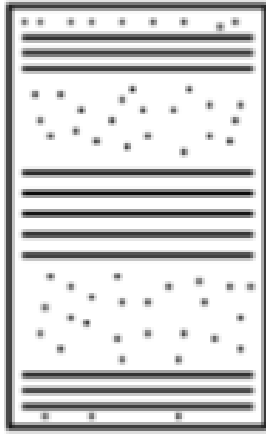
Matris olarak kullanılan malzemenin bir amacı da fiber malzemeleri yük altında bir arada tutabilmek ve yükü lifler arasında homojen olarak dağıtmaktır. Böylece fiber malzemelerde plastik deformasyon gerçekleştiğinde ortaya çıkacak çatlak ilerlemesi olayının önüne geçilmiş olur. Kompozit malzemelerin üretimi ile aşağıdaki özelliklerin bir yada birkaçının geliştirilmesi amaçlanır:

- Yüksek mukavemet
- Aşınma dayanımı
- Yorulma dayanımı
- Kırılma tokluğu
- Korozyon dayanımı

- Yüksek sıcaklık performansı
- Isıl ve akustik iletkenlik
- Maliyet
- Estetik görünüm
- İmalat kolaylığı

Şekil 2.10’da görüldüğü gibi kompozit malzemeler donatılı veya pekiştirilmiş türüne göre üç gruba ayrılır:

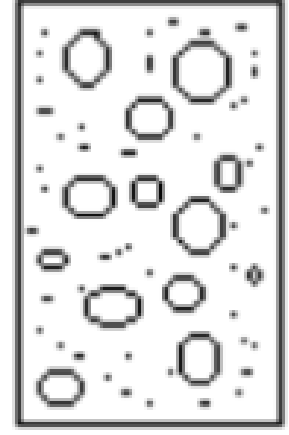
- Daneli Kompozitler
- Lifli Kompozitler
- Tabakalı Kompozitler



(a)Daneli kompozitler



(b)Lifli kompozitler



(c)Tabakalı kompozitler

**Şekil 2.10.** Kompozit malzemelerin sınıflandırılması (Ünal 2002)

#### 2.4.1 Kompozitlerin sınıflandırılması

Kompozit malzemeler kullanılan takviye elemanının şekline göre beş sınıfa ayrılabilir. Bunlar partikül takviyeli, fiber takviyeli, levhasal, tabakalı ve doldurulmuş kompozit malzemelerdir (Şekil 2.11).

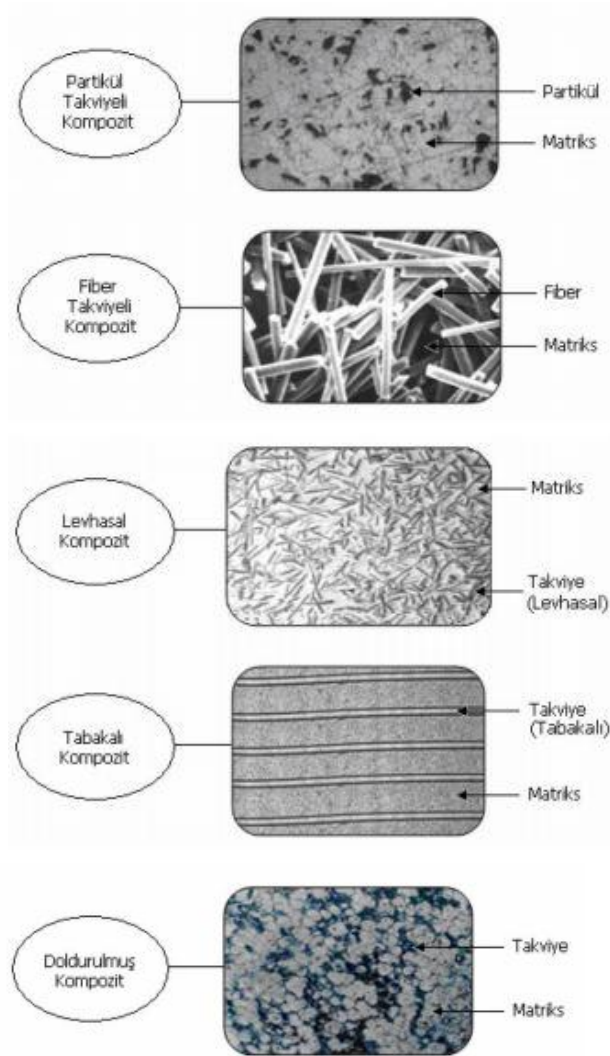
**Partikül takviyeli kompozitler:** Bu tip kompozitler, makroskobik veya mikroskobik partiküllerin matris ile oluşturdukları malzemelerdir. Ortalama gömülen parçacık boyutu 1mm' den büyük ve takviye hacim oranı genelde %50'den fazla kullanılmamaktadır.

**Fiber takviyeli kompozitler:** Bu tür malzemelerde, matris kompozit gelen yükü fibere iletir, yükün çoğu fiber tarafından taşınır ve özellikleri anizotropiktir. Fiber formları; örgülü, şerit fitil veya tabakalar halinde yönlü olarak kullanılır.

**Levhasal kompozitler:** Matris fazı içindeki levha şekilli takviye elemanlarından oluşan kompozitlerdir. Al-grafit sistemi levhalar; pullar, cam, mika ve metal olabilir.

**Tabakalı kompozitler:** Bu tür kompozitler farklı bileşenli plakaların sandviç (üst üste) şeklinde birleştirilmesiyle elde edilir. Bu kompozitler, matris içerisine rasgele yönelmiş, tek yönlü veya çift yönlü fiber takviyeli tabakalardan oluşmaktadır.

**Doldurulmuş kompozitler:** Sürekli bir iskelet yapıya sahip takviye malzemesi formunun matris bir malzeme ile doldurulmasından üretilen kompozitlerdir. Matris malzemesinin daha önceden hazırlanmış preform (köpük) yapıya basınçlı, basınçsız ya da döküm yoluyla emdirilmesi ile elde edilir (Soy 2011).



**Şekil 2.11.** Kompozit Malzemelerin Takviye Elemanının Şekline Göre Sınıflandırılması (Soy 2011)

Ayrıca kompozit malzemeler, kullanılan matris malzemesinin cinsine göre beş ana sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar polimer matris, metal matris, seramik matris, karbon/karbon ve nano kompozit malzemelerdir (Soy 2011).

**Metal matris kompozitler:** Bu malzemeler ana yapıyı matris metalin oluşturduğu ve takviye elemanı olarak da genellikle seramik bir takviye fazının kullanıldığı kompozitlerdir.

**Seramik matris kompozitler:** Seramik malzemeler çok sert ve kırılındırlar. Ayrıca yüksek sıcaklık dayanımlarına ve göreceli düşük yoğunluk özelliklere sahiptirler. Seramik malzemeler ısıl şok direnci ve tokluğu düşük malzemelerdir.

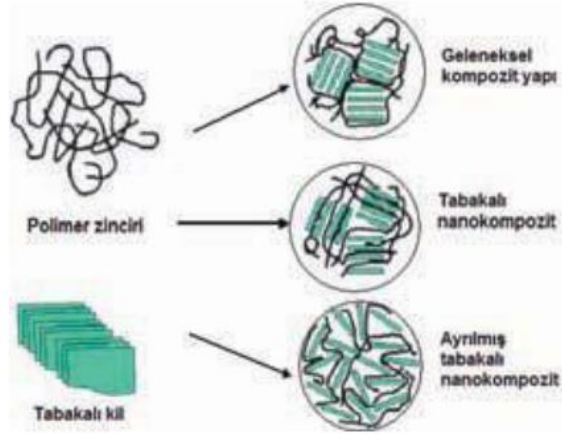
**Polimer matris kompozitler:** Sürekli fiber takviyeli olarak yaygın olarak kullanılan polimer matrisler termoset ve termoplastikler olarak iki gruba ayrılır. Bu kompozitlerin sürekli fiberlerle takviye edilmiş polyester ve epoksi reçine matrisli olanları en önemlileridir. Kullanılan takviye malzemelerinin başlıcaları ise, cam fiber, kevlar fiber, bor fiber ve karbon fiberlerdir.

**Karbon-karbon kompozitler:** Karbon - karbon kompozitleri, saf karbon partiküllerinin (primer karbon bileşeni olarak tanımlanır) karbon esaslı bağlayıcı (bu malzeme karbonizasyon işlemi esnasında sekonder karbon bileşenini oluşturur) ile J karışımından elde edilir. Neticede, malzemenin tümü karbon olup karbonlar iki farklı şekilde bulunur.

**Nano Kompozitler:** Nano kompozitler mineral nano dolgulu ve %10'dan daha az miktarda nano boyutlu mineral içeren kompozit malzemelerdir. Kullanılan nano boyutlu parçacıkların boy-en oranı ve yüzey alanının çok yüksek olmasından dolayı kompozitlerin mekanik, yanmazlık, ısıl ve bariyer özellikleri çok iyi yönde geliştirilebilmektedir.

#### **2.4.2. Kil kompozitleri**

Kil taneciklerle takviye edilmiş polimerik kompozit yapılar kil kompozit olarak adlandırılırlar. Şekil 2.12'de bir kil kompozit yapının oluşma şekli görülmektedir. Polimerik kil kompozitler daha çok elektronik elemanlar, otomotiv sanayi, uçak sanayi alanlarında kullanılmaktadır. Örneğin, elektronik elemanlarda kullanılan polimerlerin yüksek ısıl iletkenliğe sahip olmaları istenmektedir, bu yüzden ısıl iletken olan polimerler üzerine çalışmalar yapılmaktadır.



**Şekil 2.12.** Kil taneciklerde takviye edilmiş polimerik kompozit yapı (Şen 2009)

Polimerik nano kompozitlerde takviye malzemesi olarak kullanılan malzemelerden birisi kildir. Kil, tabakalı yapısı, doğada bol miktarda ve ucuz olarak bulunabilmesi gibi avantajlarından dolayı çok tercih edilmektedir. Bayhan (2006) tarafından yapılan çalışmada da nano kompozit üretimi için kil tercih edilmiştir. Polimer içerisinde artan kil miktarının polimerik nano kompozitin çekme dayanımı ve elastiklik modülü üzerindeki önemli etkisi olduğunu kanıtlamıştır. Yine polimerik nano kompozit malzemenin mekanik özellikleri kil miktarındaki artışa bağlı olarak önemli miktarlarda artış göstermektedir.

## 2.5. Dinamik Etki Altında Zemin Özellikleri

Dinamik etkilere maruz kalan bir zeminin verebileceği tepkileri önceden yorumlayabilmek için dinamik zemin özelliklerinin belirlenmesi gereklidir. Bu amaçla çeşitli arazi, laboratuvar ve model deneyleri geliştirilmiştir. Dinamik zemin özelliklerini belirlemek için bir inceleme yapılırken zeminlerin kendine has yapıları, anizotropi şartları, ekipman kısıtlamaları, deneysel ve yorumlama hataları göz ardı edilmeden bu tip etkiler minimuma indirilmeye çalışılmalıdır (Kayabalı 2003).

**Arazi deneyleri:** Arazi deneyleri zemin özelliklerinin mevcut doğal koşullarda ölçülebilmesi amacıyla geliştirilmiştir ve herhangi bir numune alınması söz konusu

olmadan mevcut şartların tanımlanabilmesinde kolaylıklar sağladığı için tercih edilmektedir. Arazi deneyleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

**Düşük Deformasyon Deneyleri:** Bu tip deneyler zeminler üzerine %0.001 ve altındaki kayma birim deformasyonları düzeyinde uygulanır. Dalga yayılma teorisine bağlı olarak düşük birim deformasyon modülleri ile cisim dalgası hızı ilişkilendirilmesi yapılır. Sismik jeofizik deneyleri ile sığ derinliklerde patlatma, düşey çarpma ve yatay çarpma gibi metotlarla P ve S dalgaları oluşturulmaya çalışılır (Kayabalı 2003).

**Yüksek Deformasyon Deneyleri:** Bu tip deneyler geoteknik mühendisliğinde çok kullanılan standart penetrasyon deneyi, konik penetrasyon deneyi, dilatometre deneyi ve presiyomere deneyidir. Bu deneyler zemin dayanımı gibi yüksek deformasyon özelliklerini ölçmeye yönelik olarak kullanılmakta ve deney sonuçları düşük deformasyon karakteristikleri ile karşılaştırılarak çeşitli çıkarımlar yapılmaktadır (Kayabalı 2003).

**Laboratuvar Deneyleri:** Laboratuvar deneyleri zemin numunelerine uygulanan çeşitli testlerle temsil ettiği zemin kütlelerinin dinamik özelliklerini belirlemek amacıyla geliştirilmiştir. Numuneler uniform başlangıç gerilmelerine maruz, uniform gerilme ve birim deformasyon şartlarında elemanlar olarak deneylere tabi tutulmaktadır (Kayabalı 2003).

Laboratuvar deneyleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

**Düşük Deformasyon Eleman Deneyleri:** Zemin özelliklerini düşük deformasyon düzeyinde tanımlayan bu deneyler; rezonant kolon deneyi, ultrasonik pulse deneyi ve piyezoelektrik bender element deneyidir.

**Yüksek Deformasyon Eleman Deneyleri:** Yüksek kayma birim deformasyonu genliklerinde zeminlerde hacim değişimi görülmektedir. Drenajlı yükleme koşullarında hacimsel birim deformasyon gözlenirken, drenajsız yükleme şartlarında boşluk suyu

basınçlarında ve efektif gerilmelerde değişimler olmaktadır. Bu deneyler; tekrarlı üç eksenli deneyi, tekrarlı doğrudan basit kesme ve tekrarlı burulmalı deneyleridir.

**Model Deneyleri:** Model deneyleri bir prototip üzerine uygulanan tekrarlı yükleme sonuçlarının genel konu üzerine yorumlanmasına dayanmaktadır. Zemin davranışı gerilme düzeyine karşı hassastır, yüksek gerilmeler altında büzülme davranışı gösteren zeminler düşük gerilme seviyelerinde genişleme davranışı gösterebilirler. Bu sebeple model deneylerinde gerilmeye karşı hassaslığı arazi şartlarında olan prototiplerin geliştirilmesi gereklidir. Model deneyleri içerisinde, sarsma tablası deneyleri ile santrifüj deneyleri en sık kullanılan deney sistemleridir. Her iki deney sistemi içinde sınır koşulları etkilerinin arazi koşullarını yansıtıp yansıtmadığına dikkat edilmelidir.

Dinamik zemin özellikleri yoğunluk ve gerilme şartlarına ek olarak zemin yapısı, yaş, gerilme deformasyon tarihçesi ve çimentolanma gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Zemin rijitliğinin tekrarlı birim deformasyon genliği, boşluk oranı, ortalama asal efektif gerilme, plastisite indisi, aşırı konsolidasyon oranı ve tekrarlı yük sayısı gibi faktörlere bağlı olduğu laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçlarla ortaya konmuştur. Ancak tekrarlı yükler altında zemin davranışının daha iyi açıklanabilmesi amacıyla üç model geliştirilmiştir. Bu modeller; eşdeğer doğrusal modeller, tekrarlı doğrusal olmayan modeller ve ileri yapıcı modellerdir. Zeminin özel elastik partiküllerden oluştuğu varsayımı ile düşük deformasyon zemin davranışları açıklanabilmektedir. Zemin partikülleri arasındaki etkileşimlerin analizi ile mikro mekanik modeller geliştirilmektedir (Kayabalı 2003).

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

Bu çalışmada, 3 tür malzeme kullanılmıştır:

- Hidrofob kil
- Lateks
- Gliserin

##### 3.1.1. Hidrofob kil

Çalışmada kullanılan hidrofob kil, Kurt 2009 ve Akbulut vd. 2011' de anlatıldığı şekilde üretilmiştir. Hidrofob kilin üretmesinde kırmızı nanokil, %5 oranında yüzey aktif madde (DAMS) ile adsorbe edilmiştir. Şekil 3.1' de hidrofob kil numunesi görülmektedir.



**Şekil 3.1.** Yüzey aktif madde ile muamele edilerek elde edilmiş hidrofob kil

Kurt 2009' da yaptığı çalışmada katyonik bir yüzey aktif madde olan DAMS ile katkısız kırmızı kili muamele ederek elde ettiği hidrofob organokilin bazı özelliklerini (elektrokinetik, geoteknik) belirlemiş ve katkısız kırmızı kilin özellikleri ile karşılaştırmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- XRD analizleri, hidrofob kil mineralinin tabaka kalınlığının arttığı göstermiştir.
- Elektrokinetik özelliklere bakıldığında, hidrofob kilin katyon değişim kapasitesinde azalma, zeta potansiyeli ve temas açısında artma, elektrik iletkenlikte ve pH'ta kısmi bir azalma görülmüştür.
- Katkılı kil numunesi, hidrofob bir yapıya kavuştuğu için kıvam limiti deneyleri yapılamamıştır. Kompaksiyon deneyi sonucu hidrofob kil numunesinin optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değerlerinin azaldığı görülmüştür.
- Mukavemet deneyleri sonuçlarından, hidrofob kilde konsolidasyonsuz-drenajsız kohezyonun azaldığı, serbest basınç mukavemetinin azaldığı ve kayma mukavemeti açısının önemli bir değişim göstermediği görülmüştür.

### **3.1.2. Lateks**

Lateks, katı, disperse organik polimer moleküllerinin sıvı sürfaktan içinde ağırlık olarak %45-50 oranında dağılı halde bulunmasıyla oluşan, süt kıvamında beyaz renkli bir maddedir (Şekil 3.2). Ayrıca doğal kauçuğun ham maddesidir. Yapısında %60 su, %35 kauçuk ve %5 protein ihtiva eder. Lateks kuruması esnasında, bu katı partiküller birbirine yapışarak sürekli bir film tabakası oluşturulmasını sağlar. Lateksler, tekrar çözülebilen ve tekrar çözülemeyen lateksler olarak ikiye ayrılır.

Tekrar çözülebilen latekslerin suyla teması sonucunda tekrar çözülmesi söz konusudur. Bu yüzden suya maruz kalmayacak şekilde projelendirilmelidir. Deneylerde su, geçirimsizlik ve yapışma sağlayan lateks katkısı kullanılmıştır (Şekil 3.3). Beyaz renkli ve akışkan bir malzemedir. Kimyasal yapısı stiren butadien emülsiyondur. Yoğunluğu  $1,015 \pm 0,01$  kg/l (+20°C'de) dir. pH değeri 8-12 arasında değişir (Çataltaş 1985).



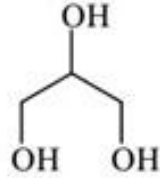
**Şekil 3.2.** Deneylerde kullanılan lateks



**Şekil 3.3.** Su geçirimsizlik ve yapışma sağlayan lateks

### 3.1.3. Gliserin

Gliserin veya Gliserol, yapısında üç adet hidroksil grubu bulunduran, suda tamamen çözünen, oldukça kıvamlı, hidroskopik bir maddedir (Şekil 3.4). Köken bakımından biyokimyasal bir bileşiktir; çünkü bitkisel ve hayvansal yağların bileşiminde bulunur. Birçok kullanım alanı bulunduğu için endüstriyel açıdan önemli bir bileşiktir (Pagliaro 2008). Gliserinin 20°C'deki fizikokimyasal özellikleri çizelge 3.1 verilmektedir.



Şekil 3.4. Gliserinin açık yapısı

Çizelge 3.1. Gliserinin 20°C'deki fizikokimyasal özellikleri (Gürel 2009)

Kimyasal Formülü	$C_3H_3(OH)_3$
Molekül Kütlesi	$92.09382 \text{ g mol}^{-1}$
Yoğunluk	$1,261 \text{ g cm}^{-3}$
Viskozite	1,5 Pa.s
Erime Noktası	18,2 °C
Kaynama Noktası	290 °C
Gıda Enerjisi	$4,32 \text{ kcal g}^{-1}$
Parlama Noktası	160°C

### 3.2. Yöntem

Bu kısımda çalışma kapsamında yapılan deneyler hakkında bilgi verilmiştir. Öncelikle hidrofob kil ve diğer katkılarla numunelerin elde edilmesi anlatılmış, ardından sırasıyla zeta potansiyeli, elektrik iletkenlik, temas açısı, pH, yüzey alanı, dane birim hacim

ağırlık, serbest basınç, şişme basıncı, ve serbest titreşimle sönüm oranı deneyleri açıklanmıştır.

### 3.2.1. Katkılı hidrofob kil numunelerin elde edilmesi

Numunelerin üretmesinde, hidrofob kil, gliserin ve farklı yüzdelerde lateks kullanılıp, farklı 4 numune hazırlanmıştır. Malzemelerin bileşimi detaylı olarak Çizelge 3.2' de gösterilmiştir. Kodu N0 olan numune, sadece hidrofob kil ile üretilmiş numunedir. Bu numunenin üretiminde kırmızı kil ve %5 oranında yüzey aktif madde (DAMS) kullanılmıştır. N1, N2, N3 ve N4 numuneleri de DAMS yüzey aktif maddesi kullanılarak üretilmiş hidrofob kile katkı ilavesiyle elde edilmiştir.

**Çizelge 3.2.** Deneylerde kullanılan malzemelerin yüzdeleri

<b>Numune Kodu</b>	<b>Gliserin Yüzdesi (%)</b>	<b>Lateks Yüzdesi (%)</b>
N0	0	0
N1	10	5
N2	10	10
N3	10	15
N4	10	20

Her numunenin hazırlaması için 3 kg hidrofob kil, 300 gr gliserin ve lateks oranına göre sırayla 150, 300, 450 ve 600 gr lateks kullanılarak 4 farklı numune hazırlanmıştır. Ayrıca, her numunenin hazırlanmasında, 2500 gr su kullanılmıştır. Numuneler hazırlanırken, belirlenen miktarlarda su, gliserin ve lateks mekanik karıştırıcıda 6000 dev/dakikada 10 dakika karıştırılmıştır (Şekil 3.5). Süspansiyonlar hazırlandıktan sonra hidrofob kil eklenerek mekanik karıştırıcıda 6000 dev/dakikada 45 dakika daha karıştırılmaya devam edilmiştir (Şekil 3.6).



**Şekil 3.5.** Su, gliserin ve lateks karıştırılırken

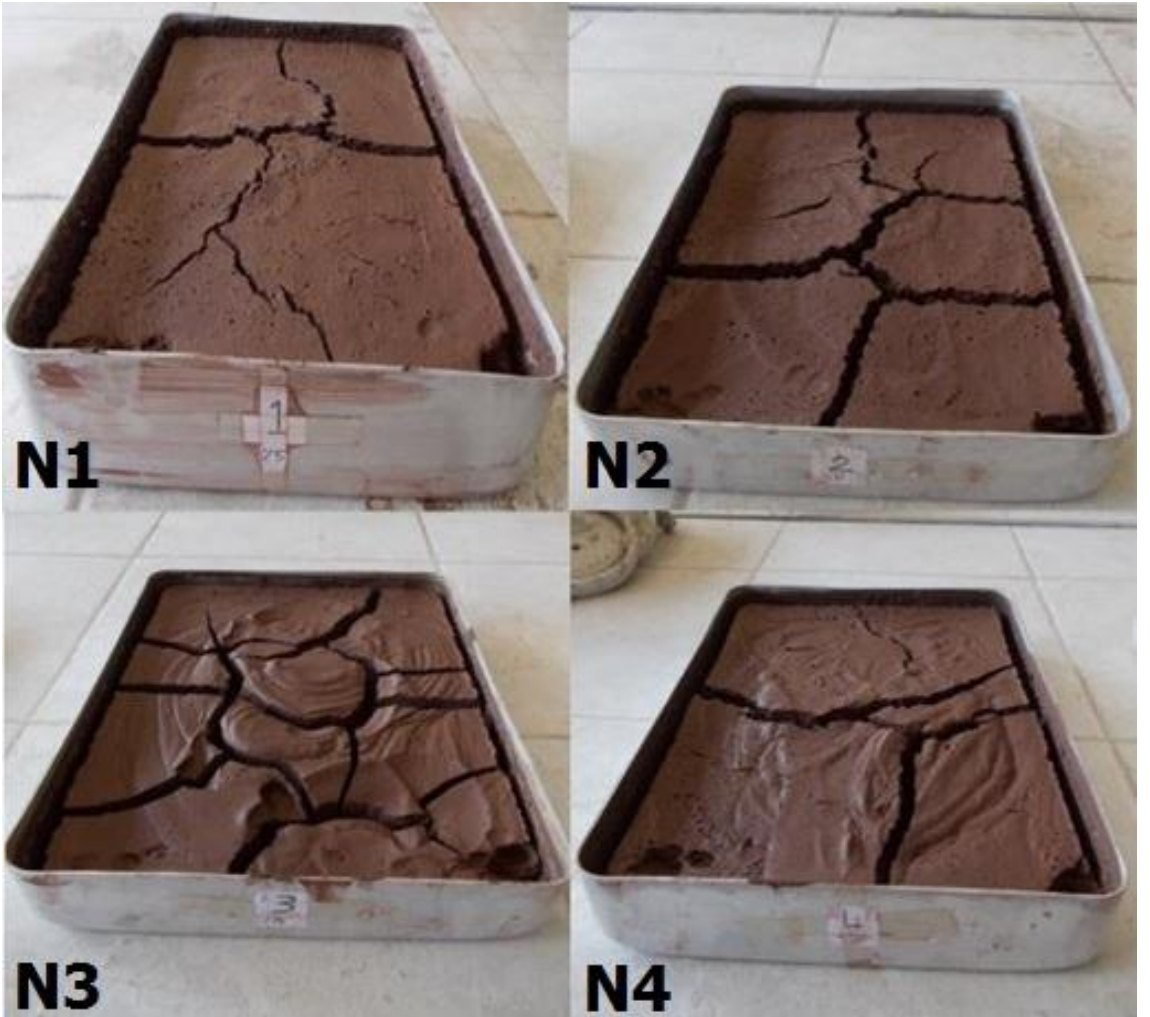


**Şekil 3.6.** Hidrofob kil süspansiyona eklendikten sonra

Numuneler hazırlandıktan sonra tepsilere dökülerek (Şekil 3.7) 80°C sıcaklığa ayarlanan etüv'de 72 saat bekletilmiş ve deney yapmak için hazırlanmıştır (Şekil 3.8).



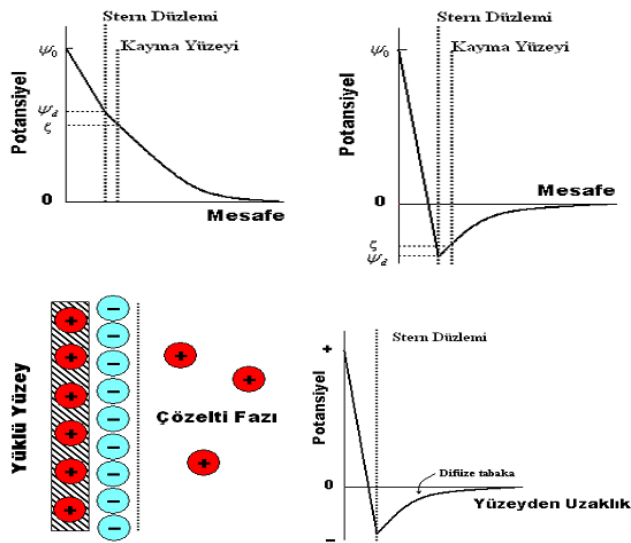
Şekil 3.7. Hazırlanmış lateks katkılı hidrofob numuneler



Şekil 3.8. Hazırlanmış lateks katkılı hidrofob numuneler etüvde kurutulduktan sonra

### 3.2.2. Zeta potansiyeli deneyi ve elektrik iletkenliği deneyi

Elektriksel çift tabaka (diffusion double layer-DDL) ile ilgili önemli bir kavram olan zeta potansiyeli ( $\zeta$ ), yüklü taneciğin elektrokinetik olaylardan hesaplanmış potansiyelidir. Diğer bir ifadeyle, zeta potansiyeli, tanecik ve çözelti birbirlerine göre hareket ettikçe, tanecik ve onu çevreleyen çözelti arasındaki kayma (shear) düzlemindeki yüklü yüzeyin potansiyelidir. Zeta potansiyeli ölçümleri, stern tabakasının (Şekil 3.9) çözelti tarafındaki kayma düzleminde yapılır. Zeta potansiyelinin tayininde en yaygın olarak kullanılan metot, elektroforetik hareket hızı ölçümleridir. Zeta potansiyeli stern tabakasının çözelti tarafındaki potansiyelle tanımlansa da, kayma düzlemi gerektiği kadar stern tabakasının çözelti tarafında değil; difüze kısmın daha dış tarafında, tam olarak tanımlanamayan bir noktadır. Çünkü yüklü tanecikle bağlı su yada çözelti hareket ettiğinde, taneciğe tutunmuş olan su da hareket eder. Bu yüzden zeta potansiyeli stern potansiyelinden daha küçüktür fakat ne kadar küçük olduğu tam olarak bilinmemektedir. Partiküllerin zeta potansiyelleri, Atatürk Üniversitesi Kazım Karabekir Eğitim Fakültesi Kimya Eğitimi Anabilimdalı araştırma laboratuvarında Şekil 3.10'da gösterilen Zeta Metre 3,0+ cihazı kullanılarak, cihazın kullanma kılavuzunda belirtilen yönergeler doğrultusunda, süspansiyonların doğal pH'larında ölçülmüştür.



**Şekil 3.9.** Zeta potansiyelinin stern düzlemi ve kayma yüzeyi boyunca değişimi (Rosen 1989)



**Şekil 3.10.** Zeta-meter deney aleti

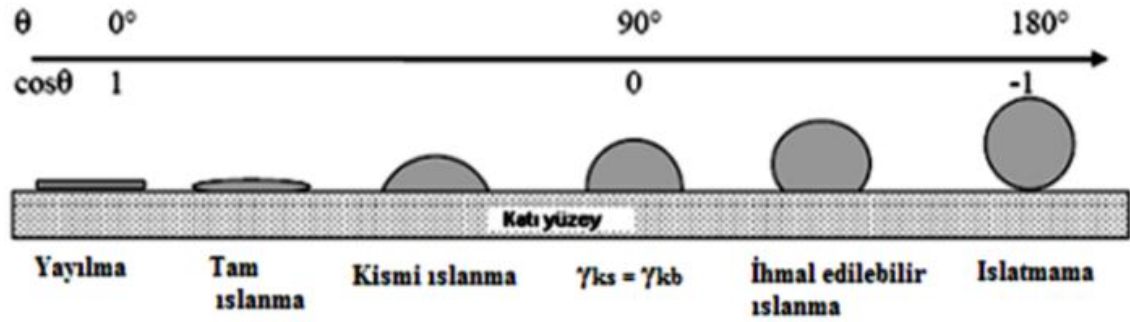
Deneyde 0,2 gr numune alınmış, 100 ml saf su ile karıştırılarak süspansiyon haline getirilmiştir. Zeta-metre deney düzeneğinde 200 volt elektrik akımı verilerek mikroskop altında danenin hareket hızından yola çıkılarak gerekli hesaplamalarla zeta potansiyelleri elde edilmiştir. Hazırlanan her bir süspansiyon için en az 10 ölçüm yapılmış ve bu ölçümlerin ortalama değerleri (standart sapması  $<3$  olacak şekilde) kullanılmıştır. Ölçümler öncesi cihaz Min-U-Sil standart süspansiyonu kullanılarak kalibre edilmiştir.

Elektrik iletkenlik ölçümü için 0,2 gr elenmiş numune 100 ml damıtık su ile çalkalayıcıda 30 dakika süre çalkalanarak süspansiyonlar hazırlanmıştır. Süspansiyonların elektriksel iletkenlikleri, Atatürk Üniversitesi Kazım Karabekir Eğitim Fakültesi Kimya Eğitimi Bilimsel Araştırma Laboratuvarı'nda bulunan Zeta Metre 3,0+ cihazı ile zeta potansiyeli ölçümleri ile eş zamanlı olarak ölçülmüştür. Süspansiyonların dengeye gelmesi için çalkalanma, her 30 dakikada bir okumalar alındıktan sonra 4x30 dakikalık sürede tekrarlanmıştır.

### 3.2.3. Temas açısı deneyi

Katıların yüzey gerilimi henüz bağımsız olarak ölçülememiş olduğundan katı maddelerin yüzeylerinin karakterizasyonunda en hassas yöntemlerden biri katı-sıvı-gaz

faz sınırındaki temas açısının tayinidir. Bir katı faz ile temastaki bir sıvı faz bir ara yüzey ve değişebilen bir açı oluşturur. Temas açısı adı verilen bu açının büyüklüğü, sıvının kendi molekülleri arasındaki çekim kuvvetleri (kohezyon kuvvetleri) ile sıvı katı arası çekim kuvvetlerinin (adhezyon kuvvetleri) göreceli büyüklüğüne bağlıdır. Kohezyon kuvvetlerinin büyüklüğü, adhezyon kuvvetlerinin büyüklüğünden ne kadar fazla ise, sıvı katı arasındaki temas açısı da o kadar büyük olur (Doğancı 2007). Şekil 3.11'de  $\theta$  açısı, temas açısı olarak adlandırılır ve sıvının ıslatma özelliğinin bir ölçüsü olarak kullanılır. Eğer  $\theta < 90^\circ$  ise sıvının katı yüzeyi ıslattığı,  $\theta > 90^\circ$  ise ıslatmadığı söylenebilir.



**Şekil 3.11.** Katı yüzeyindeki sıvı damlası ile temas açısının ıslanabilirlik karakteristiğinin şematik temsili (Doğancı 2007).

Çalışmada, hazırlanmış numunelerin temas açısı ölçümleri Atatürk Üniversitesi Kazım Karabekir Eğitim Fakültesi Kimya Eğitimi bilimsel araştırma laboratuvarından bulunan CAM 101 (KSV Instruments, Finland.) cihazı kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3.12). Ortalama 1,2 ton basınçla sıkıştırılan 0,6 gr deney numuneleri pelet haline getirilmiştir. Hazırlanan peletler cihazın tablasına yerleştirilerek sabit bir düşüm yüksekliğinden ortalama 3  $\mu\text{L}$  hacmindeki bir sıvı (su) damlası bırakılmıştır. Kullanılan yazılım yardımıyla, 1 sn. aralıkla yüksek hızda kayıt yapabilen kamera ile pelet-sıvı temas yüzeyinden alınan 5 görüntü analiz edilerek ortalama temas açıları ölçülmüştür.



**Şekil 3.12.** Temas açısı deney aleti

#### 3.2.4. pH deneyi

pH bir çözeltinin asitlik veya bazlık derecesini tarif eden ölçü birimidir. 0'dan 14'e kadar olan bir skalada ölçülür. pH teriminde p; eksi logaritmanın matematiksel sembolünden ve H ise Hidrojenin kimyasal formülünden türetilmişlerdir. pH tanımı Hidrojen konsantrasyonunun eksi logaritması olarak verilebilir (Harris 1994).

Sulu ortamlarda asitlik ve bazikliğin bir ölçüsü olarak pH'ın kullanımı, bütün bilim dallarında potansiyometrik pH ölçümünü belki de en yaygın analitik teknik haline getirmiştir (Skoog *et al.* 1991). Kil ile katkıların muameleleri sonrasında katkılı ve katkısız numunelerin sulu çözeltilerinin pH'larının bilinmesi kil özelliklerinin değişik pH değerlerinde değişik değerler aldıklarından dolayı önem arz etmektedir. Ayrıca pH'ın yüksek olması zemin bünyesindeki (OH)<sup>-</sup> hidroksitinde bulunan H<sup>+</sup> kationunun zemin suyuna geçişini artırır. Bunun sonucunda da danelerin negatif yükü artar (Mitchell 1976). Atatürk Üniversitesi Kazım Karabekir Eğitim Fakültesi Kimya Eğitimi Bilimsel Araştırma Laboratuvarı'nda yapılan pH deneyi, pH metre adı verilen bir cihazla ölçülmüştür (Şekil 3.13). Deneyde 0,2 g elenmiş numune 100 ml damıtık su ile çalkalayıcıda 30 dakika süre çalkalanarak süspansiyonlar hazırlanmış, daha sonra pH metre deney aleti ile okumalar alınmıştır. Ölçülen pH değerleri sabitleninceye kadar ölçüme devam edilmiştir. Sabit kalan pH değerleri denge pH değerleri olarak alınmıştır.



**Şekil 3.13.** pH metre

### 3.2.5. Yüzey alanı deneyi (BET)

Yüzey alanı ince daneli zeminlerin, özellikle killerin mühendislik davranışlarını etkileyen en önemli özelliklerden biridir. İri daneli zeminler kendi ağırlıkları ve iskelet sistemi kuvvetlerinin etkisindeyken, ince daneli zeminler yüzeylerindeki elektriksel ve kapiler kuvvetlerin etkisindedirler. Yüzey alanı arttıkça, bu elektriksel ve kapiler kuvvetler artmakta ve bu kuvvetler ince daneli zeminlerin mühendislik davranışlarını çok güçlü bir şekilde etkilemektedir. Yüzey alanı birim ağırlıktaki zeminin yüzey alanı olarak tanımlanmakta ve genellikle  $m^2/g$  cinsinden ifade edilmektedir. Zemin davranışının yüzeysel kuvvetlerin etkisinde olabilmesi için sınır yüzey alan değeri  $1 m^2/g$  olarak kabul edilmektedir (Santamarina *et al.* 2002).

Özgül yüzey alanı zeminden zemine, mineralojiye, organik kompozisyona ve dane boyutuna bağlı olarak büyük farklılıklar göstermektedir. Yüzey alanı, zemin danelerinin boyutuyla ters orantılıdır. Kil daneleri genellikle 2 mikrondan daha küçük boyuttadır. Kaolinit, çapı 0.3 ile 4  $\mu m$ , kalınlığı 0.05 ile 2  $\mu m$  arasında değişen danelere sahiptir. Montmorillonit daneleri ise yaklaşık 0,003  $\mu m$  kalınlığında ve 0,1 ile 1  $\mu m$  aralığında değişen çapta çok ince plakalardır. Montmorillonit gibi şişme özelliği yüksek olan killerin özgül yüzey alanı  $850 m^2/g$ 'a kadar çıkabilmekte, bunun yanında şişme

özelliği olmayan kaolin gibi killerin özgül yüzey alanı genellikle 10-40 m<sup>2</sup>/g arasında değişmektedir. İnce daneli zeminlerin mühendislik parametreleri ile yüzey alanı arasında güçlü bir ilişki bulunmaktadır. Büyük ya da küçük yüzey alanına sahip zeminler farklı mühendislik davranışları göstermekte ve mühendislik parametreleri de birbirinden farklı olmaktadır.

Yüzey alanı, kuru koşullarda gaz adsorpsiyonu yöntem ile belirlenebilmektedir. Gaz adsorpsiyonu metodunda uygulanan basınç ile numunenin içine nüfuz eden gazın hacmi arasındaki ilişkiden yararlanarak bulunur. Bu çalışmada Micromeritics marka Gemini 2360 model (Şekil 3.14) bilgisayar donanımlı bu cihaz ile -198°C deki sıvı azot ortamında azot (N<sub>2</sub>) gazı adsorpsiyonu tekniğine dayalı olarak katıların m<sup>2</sup>/g olarak yüzey alanları ölçülebilmektedir. Özellikle katı maddelerin kendi aralarındaki kristal yapı farklılıklarının ve aynı bir maddenin farklı sıcaklıklarda ısıl işlem görmesi veya asit vb. kimyasallarla muamelesi sonucunda mikroyapılarında meydana gelen değişikliklerin incelenmesini sağlar. Minimum 0.01 m<sup>2</sup>/g değerine kadar ölçüm yapabilmektedir. Sonuçlar bilgisayar monitöründen multi-point BET yüzey alanı, single-point BET yüzey alanı ve multipoint Langmuir yüzeyalanı değerleri şeklinde alınabilmektedir.



**Şekil 3.14.** Yüzey alanı ölçme cihazı

### 3.2.6. Dane birim hacim ağırlık deneyi

Hazırlanmış numunelerin dane birim hacim ağırlıkları ASTM D 4892-89 esas alınarak ODTÜ Merkez Laboratuvarı AR-GE Eğitim ve Ölçme Merkezi'nde helyum piknometresi deney yöntemi ile yaptırılmıştır (Şekil 3.15). Gerçek yoğunluk malzemenin içyapı karakteristiği olup, kimyasal doğasına, kristal yapısına ve malzemenin boşluksuz hacmine bağlıdır. Helyum piknometresinde %99,995 saflıkta helyum kullanılır ve numunenin hacmi, kalibre edilmiş hacimde helyumun basınç değişimi ölçülerek bulunur (Ast *et al.* 2007). Bu prensip, Boyle-Mariotte yasasına dayanır. Piknometrede kullanılan gazın helyum olması, helyumun ideal gaz davranışı sergilemesi ve analiz edilecek numunenin en küçük gözeneklerine dahi girebilen tesirsiz bir gaz oluşu sebebiyle tercih edilmektedir. Numune ağırlığı belli ise yoğunluk doğrudan hesaplanabilir. Helyum piknometre yönteminin tercih edilme nedeni, kolay ve tekrarlanabilir bir deney oluşu ve en önemlisi tamamen otomatik cihazlar yardımıyla yapılacağı için sonuçların güvenilir oluşudur (Viana *et al.* 2002).



Şekil 3.15. Helyum Piknometresi deney ölçüm cihazı

### 3.2.7. Kompaksiyon deneyi

Numunelere ait kompaksiyon parametreleri, optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değerleri, ASTM D 1557'ye göre yapılan Modifiye proktor deneyleri ile belirlenmeye çalışılmıştır. Hazırlanmış katkılı hidrofob kil numuneleri, 10,2 cm yüksekliğinde ve 11,7 cm çapında metal silindir kompaksiyon kalıbı içerisine her

tabakaya 25'er vuruş yapılmak suretiyle, Modifiye proktor deneyinde beş tabaka halinde sıkıştırma yapılmıştır. ASTM D 1557' ye göre bu işlem kil numunesine su ilave edilerek farklı su içeriklerinde tekrarlanması suretiyle gerçekleştirilmektedir. Ancak hidrofob kil su ile karışmadığından kompaksiyon deneyi gerçekleştirilememiş, numuneler yeterince kurutulduktan sonra optimum su muhtevası değerine ulaştıkları anda sıkıştırma yapılmıştır. Deney sonucunda numunenin sahip olduğu su muhtevası değeri optimum su muhtevası, kuru birim hacim ağırlık değeri ise maksimum kuru birim hacim ağırlık değeri olarak alınmıştır.

### 3.2.8. Serbest basınç deneyi

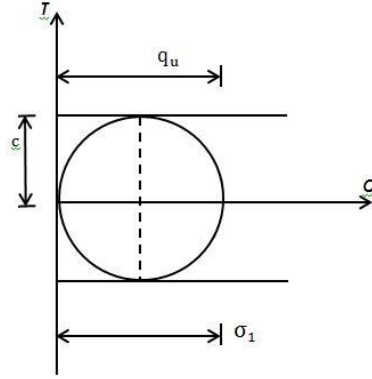
Serbest basınç deneyi üç eksenli kesme deneyinin özel bir halidir. Genellikle doymuş kil zeminlerde ( $f=0$ ) kayma direncinin belirlenmesinde kullanılır. Serbest basınç deneyi gerilme kontrollü ya da birim boy kısalması kontrollü olarak iki biçimde yapılmaktadır. Birim boy kısalması kontrollü deney basit olduğu için yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapılan serbest basınç deneylerinde ASTM D 2166 esas alınmıştır. Numunelerin serbest basınç mukavemeti değerleri optimum su muhtevasında hazırlanmış olan kompaksiyon numunelerinden, 35 mm çapında, 70 mm yüksekliğindeki silindir metal tüpler içerisine alınan örnekler üzerinde yapılan serbest basınç deneyleriyle belirlenmiştir. Silindir tüplerden çıkartılan numuneler serbest basınç deney aletindeki yatay plakalar arasına yerleştirilmiş, numunelere düşey yönde basınç uygulanmış, kırılma anındaki en yüksek basınç değerleri yük halkasından okunmuştur.

$$q_u = P_{max} / A_f \quad (3.1)$$

Bağıntısında,  $P_{max}$ , okunmuş olan en yüksek basınç değerleri,  $A_f$ , zemin numunelerinin kırılma anında sahip oldukları en kesit alanını ifade etmekte olup, bu bağıntıdan numunelerin serbest basınç mukavemeti değerleri bulunmuştur. Şekil 3.16'da serbest basınç deneyi için tipik bir Mohr Dairesi verilmiş olup, kohezyon (c);

$$c = q_u / 2 \quad (3.2)$$

serbest basınç mukavemetinin yarısına eşittir. Birim deformasyon-serbest basınç mukavemeti eğrilerinin çiziminde hesaplanan serbest basınç mukavemetlerinde düzeltilmiş alanlar kullanılmıştır.



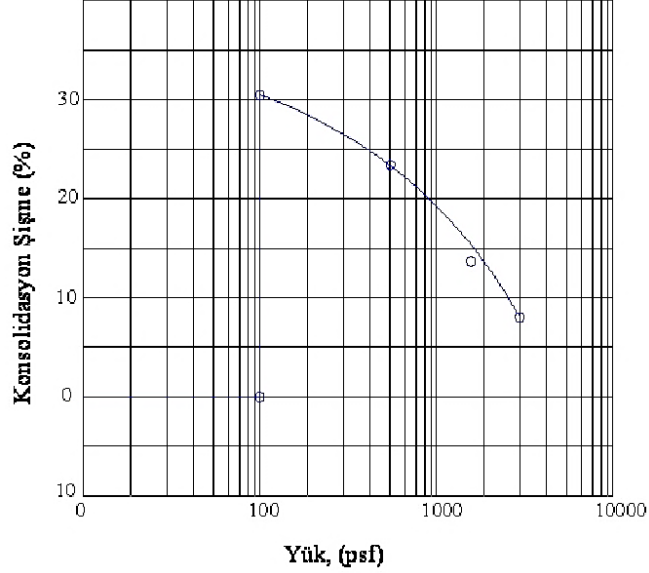
**Şekil 3.16.** Serbest basınç deneyi için çizilmiş olan Mohr Dairesi (Uzuner 2005)

### 3.2.9. Şişme basıncı deneyi

Şişme potansiyeline sahip olan killi bir zeminin, su muhtevasının artması durumunda meydana gelecek hacim değişikliğine engel olabilecek basınç şişme basıncıdır. Buna zeminin başlangıç hacmini koruyabileceği basınç da denilebilir. Şişme basıncı, belli bir zemin için sabittir ve başlangıçtaki kuru birim hacim ağırlığına bağlıdır. ASTM şişme basıncını, şişme olmasına izin vermeyecek şekilde yük arttırılarak şişmenin oluşmadığı durumda ulaşılan basınç veya şişmeye izin verildikten sonra numunenin başlangıç halindeki duruma (boşluk oranı, yükseklik) dönebilmesi için gerekli basınç olarak tanımlamaktadır.

Şişme basıncının belirlenmesi için birçok araştırmacı farklı deney metotları kullanmıştır. Bunlardan en çok bilinen ikisi konsolidasyon deneyi ve sabit hacim metodudur. Birincisinde başlangıç koşulları (birim hacim ağırlık, su muhtevası, yükseklik) belli bir zemin, ödometre aletinde belirli bir sürşarj yük altında su verilerek şişmeye bırakılır. Şişme tamamlandıktan sonra konsolidasyon deneyi uygulanarak

şişme-logP eğrisi elde edilir (Genç 2009) . Numunenin başlangıç koşullarındaki durumuna sıkışması için gerekli basınç bu eğriden belirlenir (Şekil 3.17).



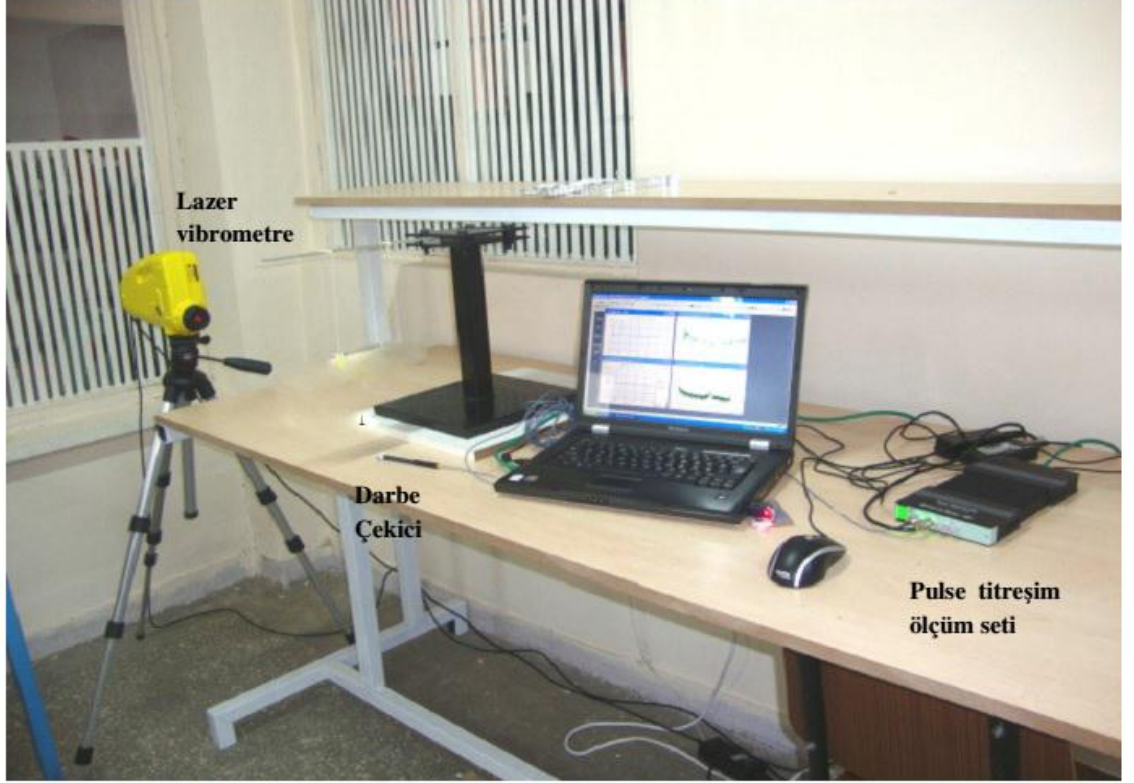
**Şekil 3.17.** Şişme - konsolidasyon Eğrisi (Chen 1975)

Sabit hacim deneyi ise ASTM D 4546'nın C metoduna göre yapılmaktadır. Bu deneyi yapmak için zemin ödometre aletine yerleştirildikten sonra numuneye su verilir. Küçük yük artımları ile numunenin şişmesine izin verilmez. Burada amaç ne şişmenin ne de sıkışmanın olmadığı, numuneyi başlangıç hacminde muhafaza edecek basınca ulaşmaktır. Bu çalışmada ikinci yöntem kullanılmıştır.

### 3.2.10. Dinamik özelliklerin belirlenmesi

**Serbest titreşim ile sönüm oranı tayini:** Deney numunelerinin dinamik özellikleri olan sönüm oranı ve frekansları Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Makine Teorisi ve Dinamiği Laboratuvarı'nda bulunan bilgisayar tabanlı çok kanallı bir analiz sistemi Olan PULSE titreşim ölçüm sistemi ile yapılmıştır (Şekil 3.18). Bu sistem çeşitli veri toplama üniteleri ve yazılım opsiyonlarından oluşan modüler bir yapıya sahiptir (Şakar vd 2010). Bu çalışmada, hazırlanmış numuneler üzerinde belirli noktalardan darbe çekici ile tahrik kuvveti

uygulanmış ve malzemenin titreşim cevabı ölçülerek aradaki transfer fonksiyonu PULSE analiz yardımıyla elde edilmiştir.



**Şekil 3.18.** PULSE titreşim ölçüm sistemi

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

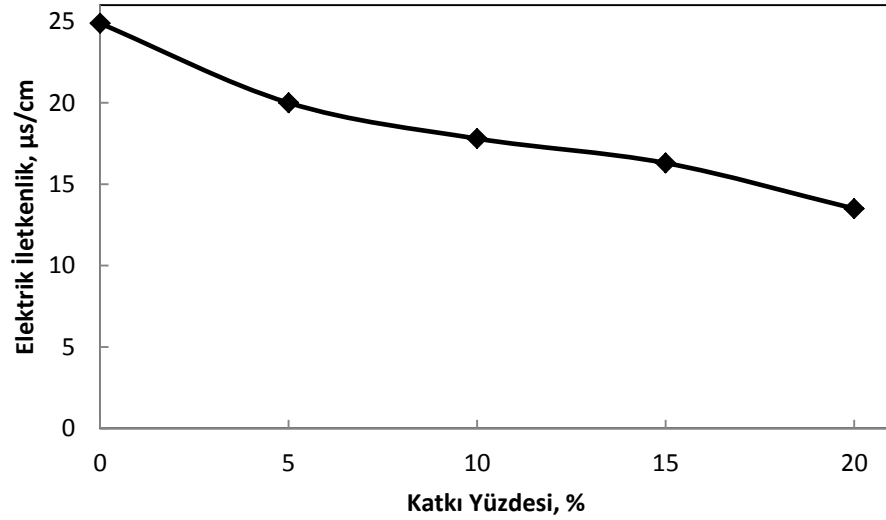
Bu bölümde farklı lateks oranlarında hazırlanan katkılı hidrofob kil numuneler üzerinde yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Sonuçların güvenilirliği açısından her bir deney (analiz veya ölçüm) en az 3 kez tekrarlanmıştır.

### 4.1. Elektrik İletkenlik Deneyi

Katkısız ve lateks katkılı hidrofob kil numunelerine ait elektrik iletkenlik ölçümleri sonucu elde edilen veriler Çizelge 4.1' de, elektrik iletkenliğin katkı yüzdesi ile değişimi ise Şekil 4.1'de verilmiştir. Katkısız kil numunesine adsorbe edilen kimyasal katkılar sonucu elektrik iletkenlikte kısmi bir düşüş gözlenmiştir. Bu adsorbsiyondan dolayı kil yüzeyinden bazı iyonların uzaklaştığını gösterirken, katkı yüzdesinin artmasıyla elektrik iletkenlikte kayda değer bir değişim gerçekleşmediği görülmektedir. Benzer şekilde Kurt 2009' da bu şekilde bir sonuç elde etmiştir.

**Çizelge 4.1.** Katkısız ve lateks katkılı hidrofob kil numunelerinin elektrik iletkenlik değerleri

Numune Kodu	Elektrik İletkenlik ( $\mu\text{s/cm}$ )
N0	24,88
N1	20
N2	17,8
N3	16,3
N4	13,5



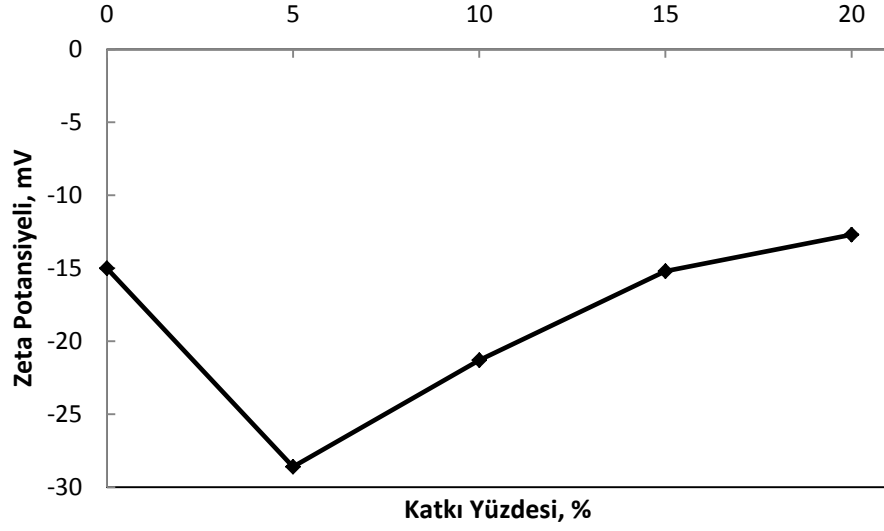
**Şekil 4.1.** Katkısız ve lateks katkılı hidrofob kil numunelerinin katkı yüzdesi ile elektrik iletkenliği değişimi

#### 4.2. Zeta Potansiyeli Deneyi

Katkısız ve lateks katkılı hidrofob kil numunelerine ait Zeta Potansiyeli ölçümleri sonucu elde edilen veriler Çizelge 4.2’de, zeta potansiyelinin katkı yüzdesi ile değişimi ise Şekil 4.2’de verilmiştir. Grafikten görüleceği üzere katkısız hidrofob kilde zeta potansiyeli değeri sıfır değerinde iken, lateks yüzdesi %5 olduğu zaman -28,6 olmuş ve lateks yüzdesi arttıkça zeta potansiyeli artmıştır.

**Çizelge 4.2.** Numunelerinin zeta potansiyeli değerleri

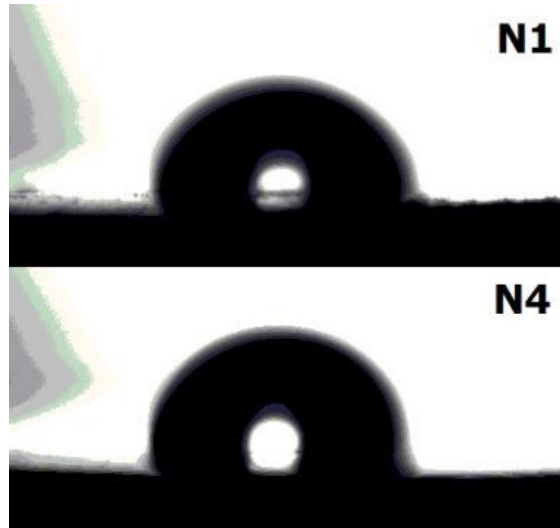
Numune Kodu	Zeta Potansiyeli (mV)
N0	-15
N1	-28,6
N2	-21,3
N3	-15,2
N4	-12,7



**Şekil 4.2.** Katkısız ve lateks katkılı hidrofob kil numunelerinin katkı yüzdesi ile zeta potansiyelinin değişimi

#### 4.3. Temas Açısı Deneyi

Lateks katkılı hidrofob kil numuneleri üzerinde yapılan temas açısı ölçüm deneylerinden elde edilen tipik temas açısı görüntüleri Şekil 4.3’de verilmiştir.

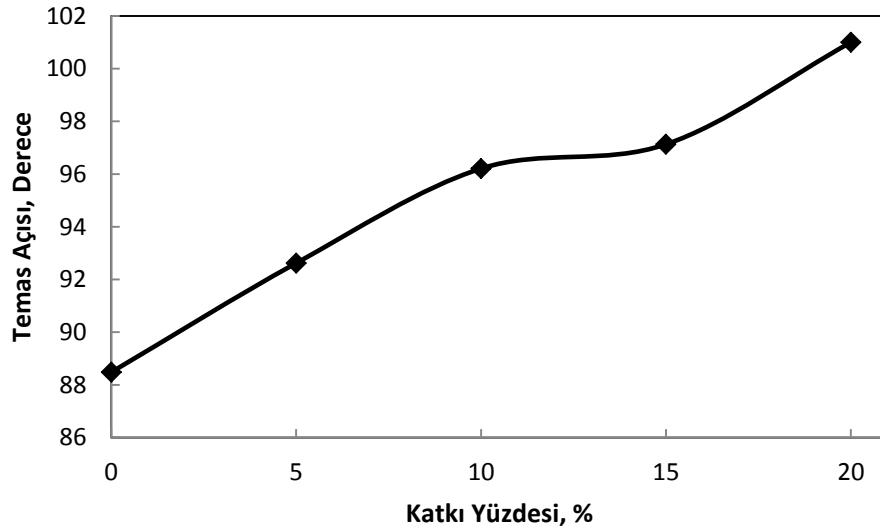


**Şekil 4.3.** Lateks katkılı hidrofob kil numunelerinden, N1 ve N4 numunesinin temas açısı görünümü

Akbulut vd. 2011’de yaptıkları çalışmada katkısız hidrofob kil için temas açısının 88.48° olarak belirlemiştir. Lateks katkılı hidrofob kilden üretilen numunelerin üzerinde yapılan temas açısı deneyi sonucu çizelge 4.3’de verilmiştir. Sonuçlara göre lateks oranı arttıkça numunelerin temas açısı değerlerinde artış görülmüştür (Şekil 4.4).

**Çizelge 4.3.** Lateks katkılı numunelerinin temas açısı değerleri

Numune Kodu	Temas açısı °
N0	88,48
N1	92,62
N2	96,21
N3	97,13
N4	101



**Şekil 4.4.** Lateks katkılı hidrofob kil numunelerinin temas açısının, lateks yüzdesi ile değişimi

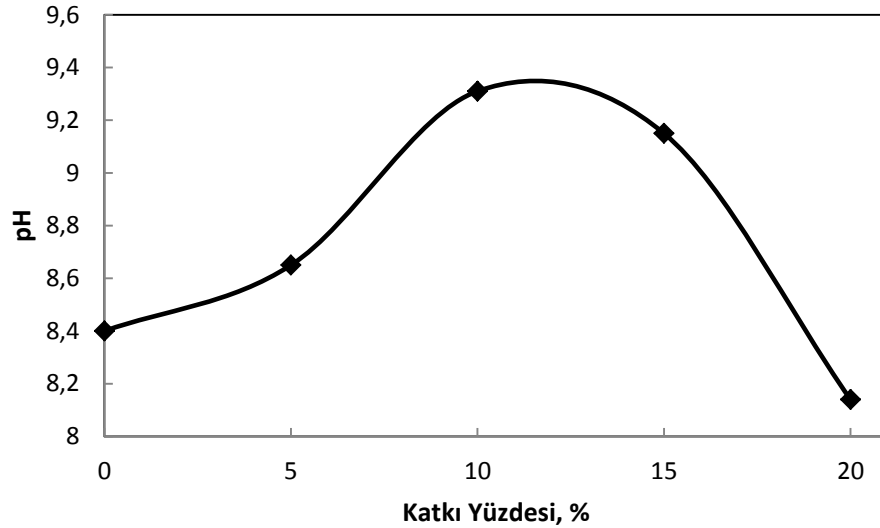
#### 4.4. pH Deneyi

Katkısız ve Lateks katkılı hidrofob kil numunelerine ait pH ölçümleri sonucu elde edilen veriler Çizelge 4.4’de, pH’ın katkı yüzdesi ile değişimi ise Şekil 4.5’ da verilmiştir. Sonuçlara bakıldığında katkısız kilin pH değerinin 8,4 olarak ölçüldüğü, %5 ve %10 oranında katkı ilavesiyle arttığı görülmüştür. Ancak katkı yüzdesi %15 değerine

çıkıldığında pH değerlerinde kısmi bir azalma meydana gelmiştir. Kil yüzey aktif madde adsorbsiyonunda pH önemli bir parametre olup farklı pH larda kil farklı özellikler sergilemektedir. pH'ın artması, zemin bünyesinde var olan (OH)<sup>-</sup> hidroksitinde yer alan hidrojenlerin zemin suyuna geçmesi, dolayısıyla zemindeki negatif yüklerin artması anlamına gelir. Katkısız kil numunesiyle katkılı kil numunelerinin pH değerleri karşılaştırıldığında pH değerinin kısmi bir azalma göstermesi kil numunesinin katyonlarla doyurulduğunu göstermektedir (Kurt 2009).

**Çizelge 4.4.** Katkısız ve lateks katkılı hidrofob kil numunelerinin pH değerleri

Numune Kodu	pH
N0	8,4
N1	8,65
N2	9,31
N3	9,15
N4	8,14



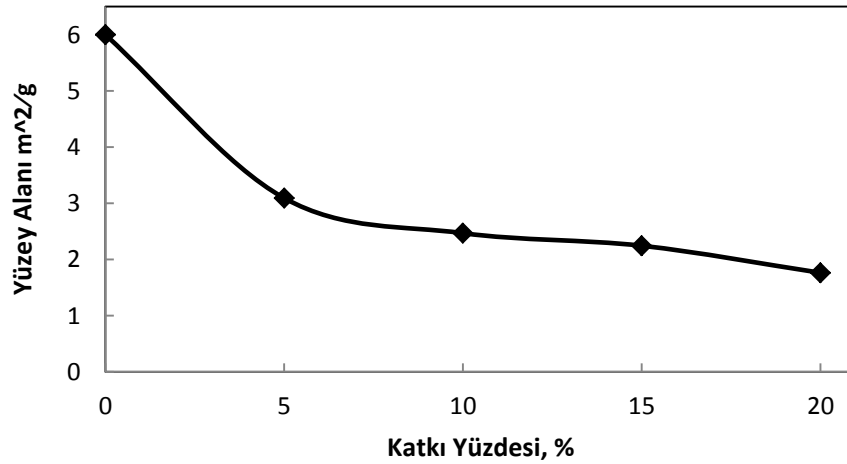
**Şekil 4.5.** Katkısız ve lateks katkılı hidrofob kil numunelerinin katkı yüzdesi ile pH'ın değişimi

#### 4.5. BET Yüzey Alanı Tayini

Akbulut vd. 2011' de yaptıkları çalışmada katkısız hidrofob kil için yüzey alanı 5,71 m<sup>2</sup>/g olarak bulmuştur. Lateks katkılı hidrofob kil için İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Malzeme Araştırma Merkezi'nde yaptırılan BET Yüzey Alanı deney sonuçları Çizelge 4.5'te verilmiştir. Şekil 4.6'da yüzey alanlarının katkı yüzdesi ile değişimi gösterilmektedir. Yüzey alanının azalmasının malzeme yapısında meydana gelen topaklaşmanın etkisi nedeniyle olduğu düşünülmektedir (Akbulut vd. 2011).

**Çizelge 4.5.** Katkısız ve lateks katkılı hidrofob kil numunelerinin yüzey alanı değerleri

Numune Kodu	Yüzey Alanı (m <sup>2</sup> /g)
N0	5,71
N1	3,092
N2	2,468
N3	2,244
N4	1,763



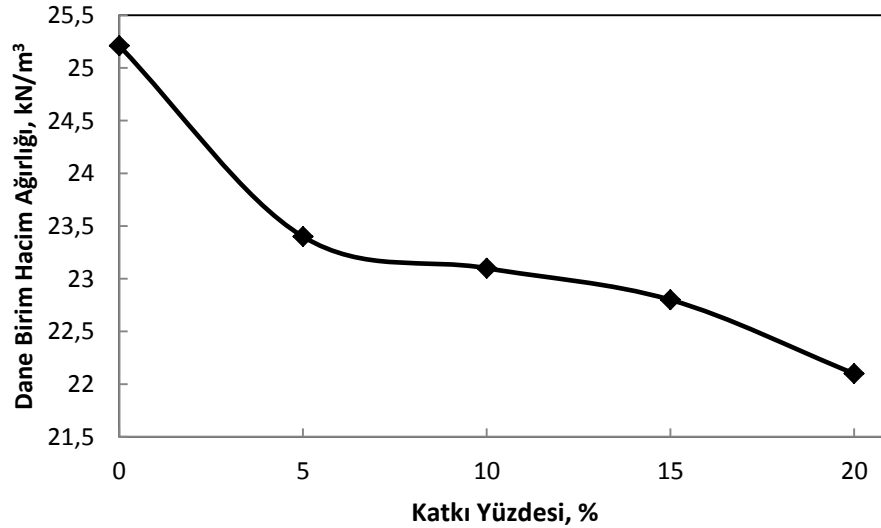
**Şekil 4.6.** Katkısız ve lateks katkılı hidrofob kil numunelerinin katkı yüzdesi ile yüzey alanı'nın değişimi

#### 4.6. Dane Birim Hacim Ağırlığı Deneyi

Katkısız ve lateks katkıli hidrofob kil numuneler üzerinde helyum piknometresi ile yapılmış olan dane birim hacim ağırlık deneylerine ait sonuçlar Çizelge 4.5'te verilmiştir. Şekil 4.7'de dane birim hacim ağırlıklarının katkı yüzdesi ile değişimi gösterilmektedir. Şekil 4.7 incelendiğinde  $25,21 \text{ kN/m}^3$  olan katkısız hidrofob kilin dane birim hacim ağırlığı, lateks katkısı %5 olan katkıli hidrofob kil'de  $23,4 \text{ kN/m}^3$  düşmüş ve lateks oranı arttıkça, dane birim hacmin değerinde azalma görülmüştür.

Çizelge 4.6. Katkısız ve katkıli numunelerinin dane birim hacim ağırlığı değerleri

Numune Kodu	Dane Birim Hacim Ağırlığı, $\text{kN/m}^3$
N0	25,21
N1	23,4
N2	23,3
N3	23,1
N4	22,1



Şekil 4.7. Katkısız ve lateks katkıli hidrofob kil numunelerinin katkı yüzdesi ile dane birim hacim ağırlıklarının değişimi

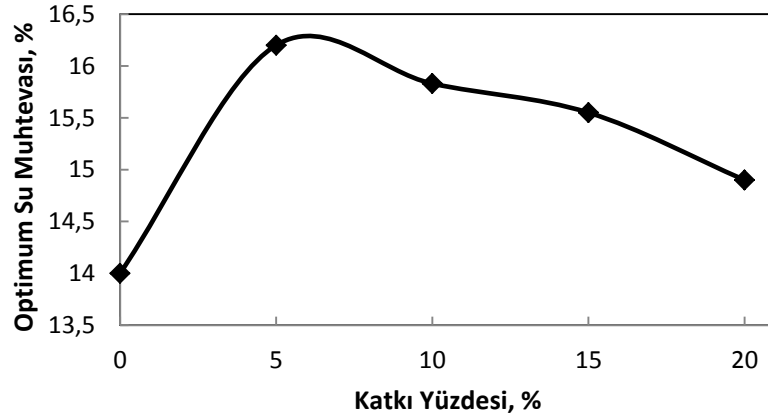
#### 4.7. Kompaksiyon Deneyi

Hidrofob kil su ile karışmadığından kompaksiyon deneyi gerçekleştirilememiş, numuneler yeterince kurutulduktan sonra optimum su muhtevası değerine ulaştıkları anda sıkıştırma yapılmıştır. Deney sonucunda numunenin sahip olduğu su muhtevası değeri optimum su muhtevası kuru birim hacim ağırlık değeri ise maksimum kuru birim hacim ağırlık değeri olarak alınmıştır. Kurt 2009'da katkısız hidrofob kil üzerinde Modifiye kompaksiyon deneyi yapmış, optimum su muhtevası değerini %14 ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değerini  $16,67\text{kN/m}^3$  bulmuştur. Lateks katkılı hidrofob kil için bulunan sonuçlar Çizelge 4.7'de verilmiştir. MPT ile elde edilmiş optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlıklarının değerlerinin değişimleri, lateks yüzdesine bağlı olarak Şekil 4.8'de ve Şekil 4.9'da verilmiştir.

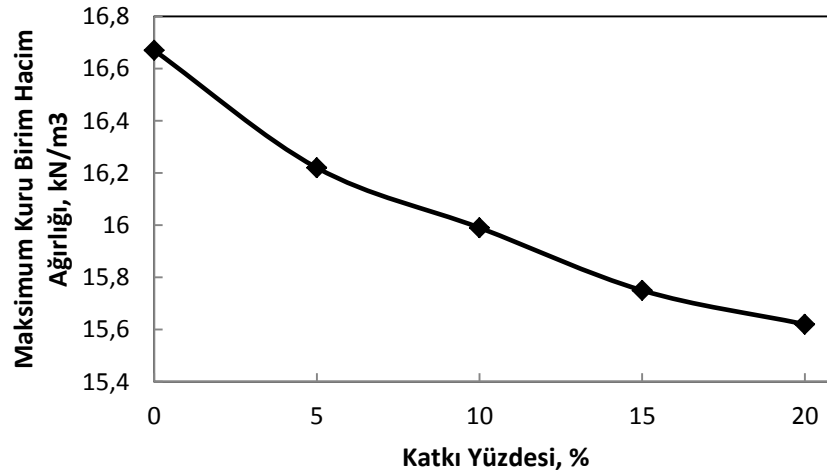
Elde edilen sonuçlara göre katkı yüzdesi arttıkça optimum su muhtevasında hidrofob kile göre artış meydana gelirken lateks katkı yüzdesinin artmasıyla optimum su muhtevalarında bir miktar azalma meydana gelmiştir. Katkı oranının artmasıyla maksimum kuru birim hacim ağırlıklarında azalma görülmüştür. Bunun lateks maddesinin malzemeye daha hafif bir yapı kazandırılmasının sonucu olduğu düşünülmektedir (Kurt 2009; Akbulut vd. 2011). Dane birim hacim ağırlıklarında meydana gelen azalma bunu desteklemektedir.

**Çizelge 4.7.** Farklı lateks yüzdelерinde hazırlanan katkılı hidrofob kil numunelere yapılan MPT deneyleri sonuçları

Numune Kodu	Optimum su muhtevası, $w_{opt}$ , %	Maksimum kuru birim hacim ağırlık, $\gamma_{kmax}$ , $\text{kN/m}^3$
N0	14	16,67
N1	16,20	16,22
N2	15,83	15,99
N3	15,55	15,75
N4	14,90	15,62



**Şekil 4.8.** MPT ile elde edilmiş optimum su muhtevası değerlerinin lateks yüzdesi ile değişimi



**Şekil 4.9.** MPT ile elde edilmiş maksimum kuru birim hacim ağırlık değerlerinin lateks yüzdesi ile değişimi

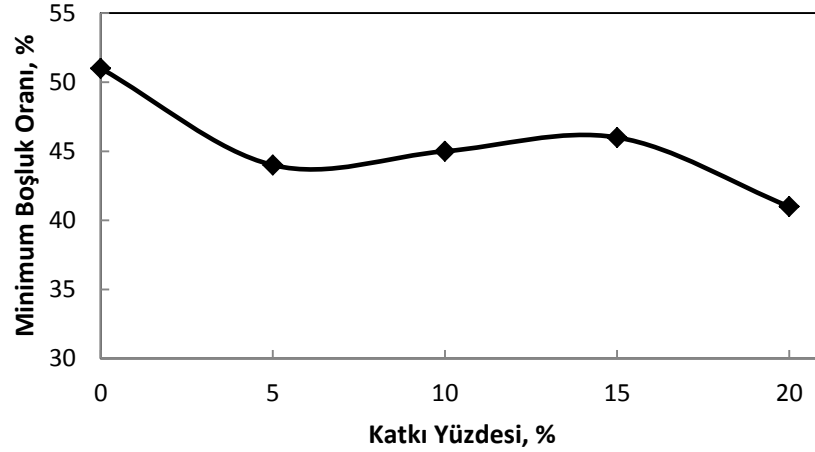
**Kompaksiyon sonucu bulunan boşluk oranı ve birim hacim ağırlıklar:** Katkısız ve lateks katkılı hidrofob kil numunelerin kompaksiyon deneyleri sonucu bulunmuş olan maksimum kuru birim hacim ağırlık ve dane birim hacim ağırlıklarından faydalanarak;

$$\gamma_s = (\gamma_{kmax})(1 + e_{min}) \quad (4.1.)$$

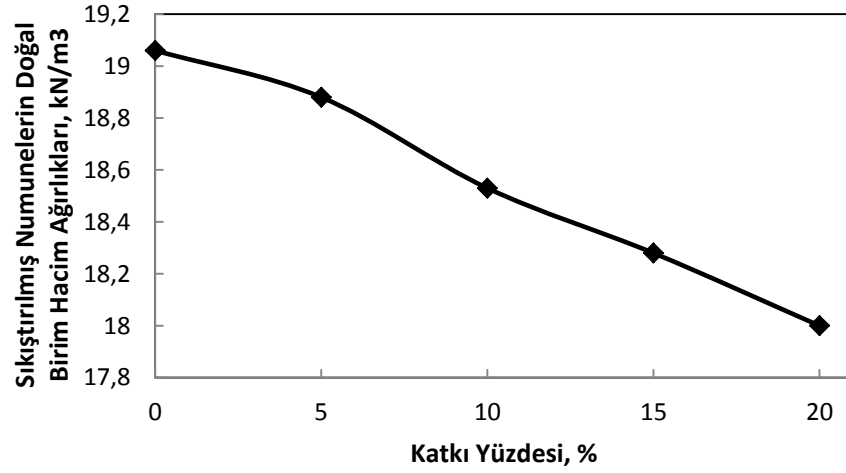
formülünden minimum boşluk oranları hesaplanarak Çizelge 4.8’de sunulmuştur. Katkısız ve lateks katkılı hidrofob kil numunelerin minimum boşluk oranlarının katkı yüzdesi ile değişimi Şekil 4.10’da verilmektedir. Ayrıca Şekil 4.11’de kompaksiyon deney sonuçlarından hesaplanmış olan doğal birim hacim ağırlıklarının katkı yüzdesi ile değişimi sunulmuştur. Numunelerin minimum boşluk oranlarının ve birim hacim ağırlıklarının katkı yüzdesiyle azaldığı görülmüştür.

**Çizelge 4.8.** Katkısız ve lateks katkılı hidrofob kil numunelerin kompaksiyon sonrasında elde edilen minimum boşluk oranları ve birim hacim ağırlıklarının katkı yüzdesi ile değişimi

Numune Kodu	Minimum Boşluk oranı, $e_{min}$ , %	MPT
		Kompaksiyon sonrası birim hacim ağırlık, $\gamma_n$ , $\text{kN/m}^3$
N0	51	19,06
N1	44	18,88
N2	45	18,53
N3	46	18,28
N4	41	18,00



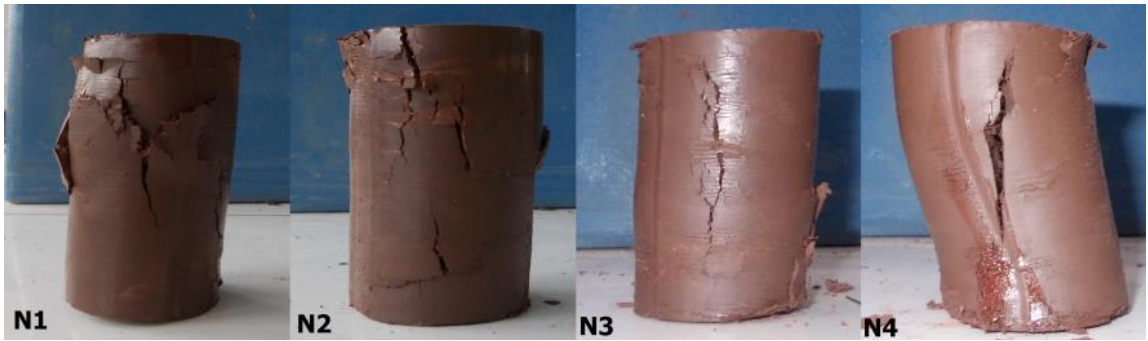
**Şekil 4.10.** Katkısız lateks katkılı hidrofob kil numunelerin minimum boşluk oranlarının katkı yüzdesi ile değişimi



**Şekil 4.11.** Katkisız lateks katkıli hidrofob kil numuneler için kompaksiyon deneyi sırasında bulunmuş olan birim hacim ağırlıkların katkı yüzdesi ile değişimi

#### 4.8. Serbest Basınç Deneyi

Katkısız ve lateks katkıli hidrofob kil numuneler üzerinde ASTM D 2166'ya göre serbest basınç deneyi yapılmış ve deney sonucu kırılma düzlemleri Şekil 4.12'de gösterilmiştir.



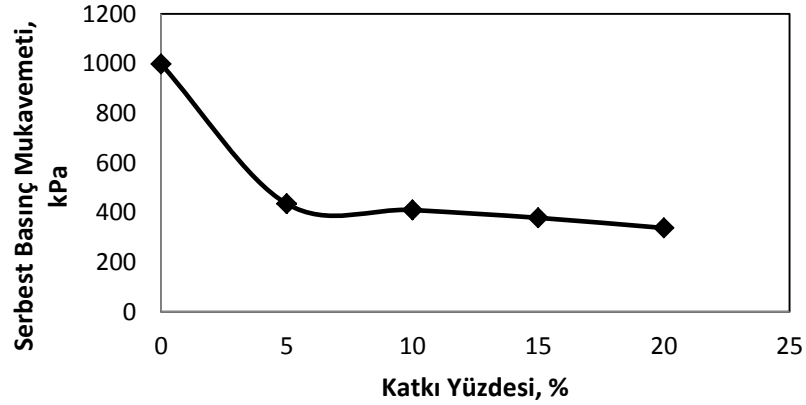
**Şekil 4.12.** Lateks katkıli hidrofob kil numunelerinin serbest basınç deneyi sonucu kırılma düzlemleri

MPT deneyine göre optimum su muhtevalarında sıkıştırılan katkisız ve lateks katkıli hidrofob kil numunelerine yapılan serbest basınç deneyi sonucu katkisız hidrofob kilin serbest basınç mukavemeti 998 kPa (Kurt 2009) ve %5 lateks olan numunenin serbest basınç mukavemeti 435,21 kPa, %10 lateks olan numunenin serbest basınç mukavemeti

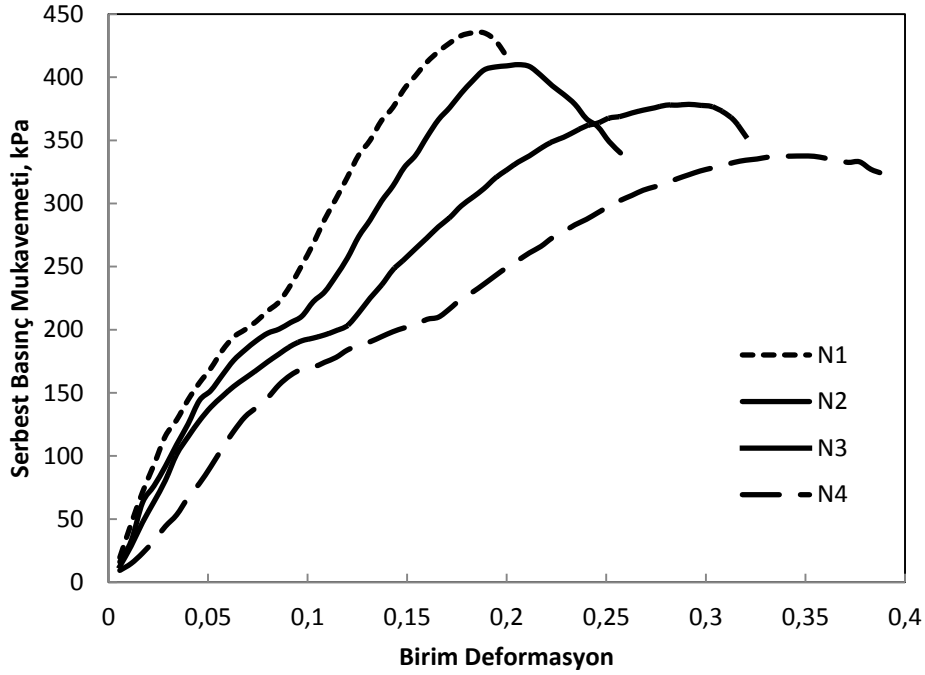
409,98 kPa, %15 lateks olan numunenin serbest basınç mukavemeti 378,52 kPa ve %20 lateks olan numunenin serbest basınç mukavemeti 337,62 kPa bulunmuş (Çizelge 4.9), lateks yüzdesi ile serbest basınç mukavemeti değişimi Şekil 4.13'te sunulmuştur. Farklı yüzdelerde lateks katkıli hidrofob kil numunelerin serbest basınç deneyi sonucu elde edilmiş birim deformasyon serbest basınç mukavemeti eğrileri Şekil 4.14'de gösterilmektedir. Numunelerin serbest basınç mukavemetlerinin ve konsolidasyonsuz-drenajsız kohezyonlarının azaldığı görülmüştür.

**Çizelge 4.9.** Katkısız ve lateks katkıli hidrofob kil ile üretilen numunelerin serbest basınç deneyi sonuçları

Numune Kodu	Serbest Basınç Mukavemeti $q_u$ , kPa	Konsolidasyonsuz-Drenajsız Kohezyon $c_{uu}$ , kPa
N0	998	499
N1	435,21	217,60
N2	409,98	204,99
N3	378,52	189,26
N4	337,62	168,81



**Şekil 4.13.** Katkı yüzdesi ile serbest basınç mukavemeti değişimi



**Şekil 4.14.** Lateks katkıli MPT numunelerine yapılmış olan serbest basınç deneyi sonucu elde edilmiş birim deformasyon serbest basınç mukavemeti eğrileri

#### 4.9. Şişme Basıncı Deneyi:

Şişme basıncı deneyi ASTM D 4546 C metoduna göre yapılmıştır. Bu deneyin amacı, numuneyi başlangıç hacminde muhafaza edecek basınca ulaşmaktır. Farklı lateks yüzdelinde hazırlanmış katkıli hidrofob kil numuneler, optimum su muhtevasında modifiye proktor yöntemi ile sıkıştırılmış ve deneyin yapması için her numuneden 2 örnek alınmıştır (Şekil 4.15). Şişme basıncı deneyi optimum su muhtevasına sahip numuneler ve etüvde kurutulmuş numuneler üzerinde olmak üzere iki kez gerçekleştirilmiştir. Deney yapılırken (Çizelge 4.10), optimum su muhtevasındaki numunelerin hacimlerini sabit tutmak için konsolidasyon cihazı yükleme düzeneğine bir miktar ağırlık yerleştirilmesi gerekmiştir.



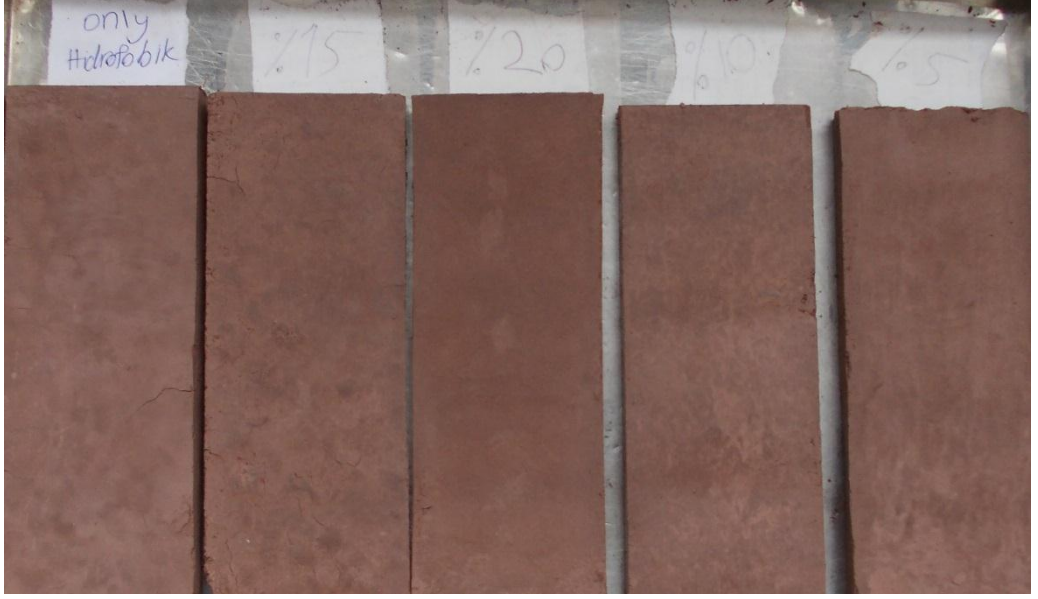
**Şekil 4.15.** Şişme basıncı deneyi için hazırlanmış olan numune

**Çizelge 4.10.** Şişme basıncı deneyi sonuçları

Numune kodu	Optimum su muhtevastaki numune		Kuru numune	
	Ağırlık (gr)	Şişme basıncı (kN/m <sup>2</sup> )	Ağırlık (gr)	Şişme basıncı (kN/m <sup>2</sup> )
N1	27.92	1.39	0	0
N2	29.61	1.47	0	0
N3	36.39	1.81	0	0
N4	45.30	2.26	0	0

#### 4.10. Dinamik Özellikler

**Serbest titreşimle sönüm oranı tayini:** Katkısız hidrofob kil ve farklı lateks yüzdelerinde hazırlanmış katkılı hidrofob kil numuneler, optimum su muhtevastında modifiye proktor enerjisinde sıkıştırılmış ve deneyin yapılması için her numuneden 2 örnek alınmıştır (Şekil 4.16). Deneyi yapmak için numuneler dikdörtgen şeklinde ve 7,5x21 cm boyutlarında hazırlanmıştır. Serbest titreşimle sönüm oranı tayini optimum su muhtevastına sahip numuneler ve etüvde kurutulmuş numuneler üzerinde olmak üzere iki kez gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 4.16.** Dinamik özelliklerin belirlenmesi için hazırlanmış katkısız ve lateks katkıli hidrofob numuneler

Bu çalışmada, hazırlanmış numuneler üzerinde belirli noktalardan darbe çekici ile tahrik kuvveti uygulanmış ve malzemenin titreşim cevabı ölçülerek aradaki transfer fonksiyonu PULSE analiz yardımıyla elde edilmiştir (Şekil 4.17). Katkısız va lateks katkıli hidrofob kil için bulunan sonuçlar Çizelge 4.11’de verilmiştir. Sonuçlarda lateks yüzdesi arttıkça sönüm oranının arttığı görülmüştür.

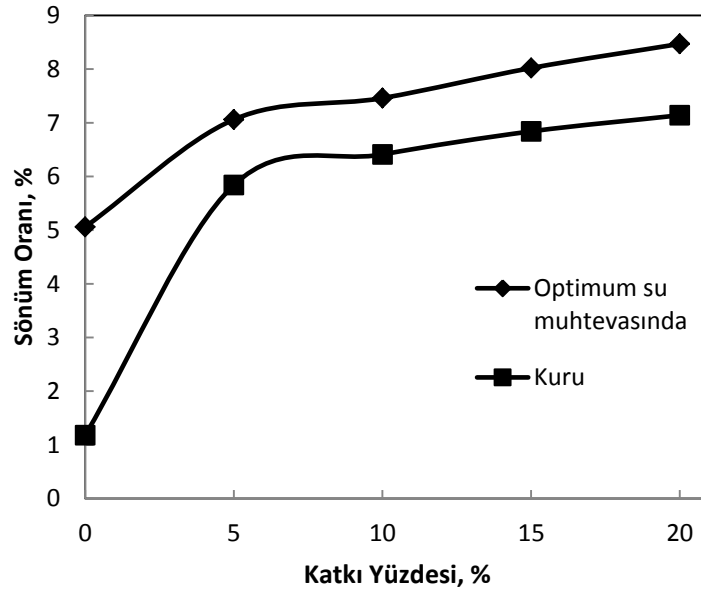


**Şekil 4.17.** Dinamik özelliklerin belirlenmesi için yapılan deneyin görünümü

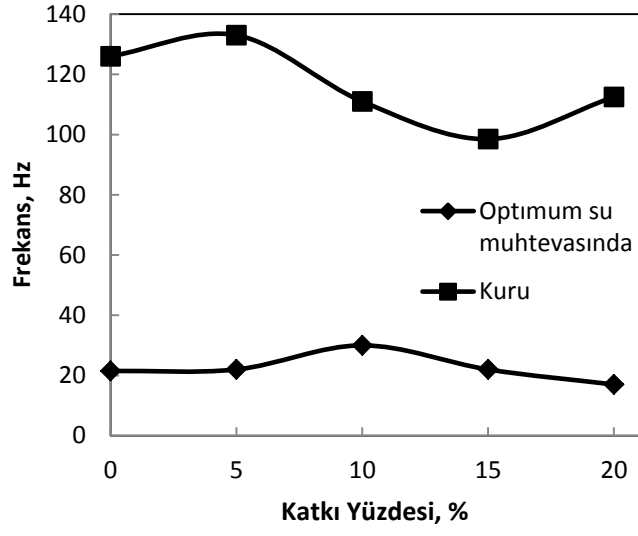
**Çizelge 4.11.** Katkısız ve lateks katkılı hidrofob kil üzerinde yapılan dinamik deney sonuçları

Numune kodu	Optimum su muhtevastaki numune			Kuru numune		
	Sönüm oranı (%)	Frekans (Hz)	Sönüm oranında artış (%)	Sönüm oranı (%)	Frekans (Hz)	Sönüm oranında artış (%)
N0	5,06	21,5	-	1,8	126	-
N1	7,06	22	39,52	5,84	133	224,44
N2	7,46	30	47,43	6,41	111	256,11
N3	8,02	22	58,49	6,84	98,50	280
N4	8,47	17	67,39	7,14	112,5	296,67

Yapılmış deneylerin sonucuna göre, lateks katkı yüzdesine göre sönüm oranlarında meydana gelen değişim Şekil 4.18’de verilmiştir. Lateks katkı yüzdesine göre frekanslarda meydana gelen değişim ise Şekil 4.19’de verilmiştir.



**Şekil 4.18.** Lateks oranına bağlı, sönüm oranında değişim



Şekil 4.19. Lateks oranına bağlı, frekanslarda değişim

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Çalışma kapsamında, hidrofob bir kil %5, %10, %15 ve %20 oranlarında lateks polimeri ile muamele edilmiş ve bu numuneler üzerinde bazı elektrokinetik deneyler ile çeşitli mühendislik ve geoteknik ve dinamik deneyler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmaktadır;

- Elektrokinetik özelliklere ait sonuçlar incelendiğinde, lateks yüzdesi arttıkça, elektrik iletkenlik değerlerinde azalma olduğu görülmüştür. Hidrofob kilde negatif bir değer olan zeta potansiyeli değeri negatif değerler almaya devam etmiştir. Lateks katkılı hidrofob killerin temas açısı değerleri artmıştır. pH değerleri ise katkısız hidrofob kile göre artmış ancak yüksek lateks yüzdesinde (%15) düşüş göstermiştir.
- BET yüzey alanının lateks katkı yüzdesinde meydana gelen artışla azaldığı görülmüştür. Lateks katkılı hidrofob kil numuneler suyla etkileşime girmediklerinden kompaksiyon deneyleri yapılamamış, numuneler optimum su muhtevasına kavuştukları anda sıkıştırma yapılarak optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değerleri belirlenmiştir. Lateks katkı yüzdesinde meydana gelen artışla numunelerin optimum su muhtevaları azalırken, maksimum kuru birim hacim ağırlıklarının da azaldığı görülmüştür.
- Lateks katkılı hidrofob kil numunelerin dane birim hacim ağırlıkları lateks yüzdesinin artışı ile azalmıştır. Kompaksiyon sonuçlarından bulunan boşluk oranlarının ve doğal birim hacim ağırlık değerinin de azaldığı görülmüştür.
- Serbest basınç deney sonuçları, lateks katkı yüzdesinin artmasıyla, serbest basınç mukavemetlerinin ve konsolidasyonsuz-drenajsız kohezyonun azaldığı görülmüştür.
- Yapılmış olan şişme basıncı deney sonuçları lateks katkı yüzdesinin artmasıyla numunelerin şişme basınçlarının kısmen arttığını göstermiştir. Etüvde kurutulmuş numuneler üzerinde gerçekleştirilen şişme basıncı deneyleri ise numunelerin hiç şişmediğini göstermiştir.
- Lateks katkılı hidrofob kil numuneler üzerinde yapılan dinamik bir deney olan serbest titreşimle sönüm oranı tayini deneyi optimum su muhtevasına sahip numuneler

üzerinde ve kuru numuneler üzerinde olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilmiştir. Sönüm oranları katkı yüzdesinin artmasıyla artmıştır. Frekans değerleri ise optimum su muhtevastaki numuneler için kayda değer bir değişim sergilemezken kuru numunelerin frekans değerlerinde azalma meydana gelmiştir.

Bu sonuçlara bakılarak; elde edilen katkılı hidrofob kil numunelerin su sevmez yapılarını koruduğu, katkılı numunelerin mukavemet özelliklerinde azalma meydana gelirken, sönüm oranlarının arttığı söylenebilir.

Tüm bunların yanında nanokil kompozitlerinin dinamik özelliklerinin daha detaylı araştırılması için yeni çalışmalara ihtiyaç vardır.

## KAYNAKLAR

- Akbulut, S., 2011. TÜBİTAK 107Y295 No'lu Proje, Erzurum
- ASTM D 1557-00, 2000. Standard Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort.. ASTM West Conshohocken, PA.
- ASTM D 2166-00, 2000. Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil. ASTM West Conshohocken, PA.
- ASTM D 4546-96, 2000. Standard Test Methods for One-Dimensional Swell or Settlement Potential of Cohesive Soils
- Abbasi, N. Rahimi, H. Javadi, A.A. and Fakher, A., 2007. Finite Difference Approach for Consolidation with Variable Compressibility and Permeability. *Computers and Geotechnics*, 34, 41-52.
- Ajaz, A. Parry, R. H. G., 1975. Stress-strain behaviour of two compacted clays in tension and compression. *Géotechnique*, 25(3), 495 –512.
- Ast, O. Perez, M. Carlet, S., 2007. PuAl alloys measurements using gas pycnometer: First results. *Journal of Alloys and Compounds*, 444-445: 226-229.
- Azam, S. Abduljawad, S.N., 2000. Influence of Gypsification on Engineering Behavior of Expansive clay, *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 126(6), 538-542.
- Bayhan, A., 2006, Maleik anhidritle graflanmış oligomerlerin ve i-pp/silikat nanokompozitlerin tepkimeli ekstrüzyon yöntemiyle sentezi ve karakterizasyonu. Y.Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hacettepe Üniversitesi.
- Berry, Y. Taka, D., 2003. Measurement of Soil Stiffness Using Bender Element Test in the Triaxial Apparatus. [www.noar.technion.ac.il/civil\\_eng2.pdf](http://www.noar.technion.ac.il/civil_eng2.pdf) (10.12.2012).
- Chen, F.H., 1975. *Foundation on Expansive Soils*, New York: Elsevier Publications.
- Dano, C. Hareb, H. Hicher, P., 2003. Characterization of Loire river sand in the small strain domain using new bender-extender elements. 16th ASCE Engineering Mechanics Conference, USA.
- Deal, M., 2008. Nanotechnology. Stanford, <http://snf.stanford.edu/Education/Nanotechnology.SNF.web.pdf> (03/12/12)
- Doğancı, E., 2007. Cyclic Olefin Kopolimerden Süperhidrofobik Yüzey sentezi ve karakterizasyonu. Y.Lisans Tezi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, İstanbul.
- Genç, S., 2009. Şişen Zeminler ve Bentonit-Kaolin Karışımlarının Şişme Özellikleri. Y.Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Grim, R.E., 1953. *Clay Mineralogy*. McGraw-Hill Book, New-York.
- Gürel, G., 2009. Gliserinin Kıymetli Ürünlere Dönüştürülmesi. Y.Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Hamutçu, U., 2010. Laboratuvarda Geliştirilm Bir Organokilin Mukavemet Özelliklerinin Deneysel Olarak Araştırılması. Y.Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- Harris, C.D., 1994. *Analitik Kimya*. Çeviri (Güler Somer Editör), Gazi Büro Kitabevi, Ankara.
- Holtz, R. D. and Kovacs, W. D., 1981. *An Introduction to Geotechnical Engineering*, Prentice-Hall, Inc., New Jersey.

- Ishihara, K., Cubrinovski, M., 2005. Characteristics Of Ground Motion In Liquefied Deposits During Earthquakes. *Journal of Earthquake Engineering*, 9, 1-16.
- Itakura, T. Willem, K. Bertram, R., 2004. The nanoscale structural response of a natural kaolinitic clayey soil subjected to uniaxial compression. Australian Nuclear Science and Technology Organisation.
- Kayabalı, K., 2003. Geoteknik deprem mühendisliğine giriş. Gazi kitab evi, Ankara.
- Kayır, Y.Z. Baççıl, E. G., 2010. Nanoteknoloji nedir?. 15. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, Ankara.
- Ko, S. Olgaard, D.L. Briegel, U., 1995. The Transition from Weakening To Strengthening in Dehydrating Gypsum. *Evolution of Excess Pore Pressure, Geophysical Research Letters*, 22(9), 1009-1012.
- Kurt, Z.N., 2009. Yüzey aktif malzeme ile muamele edilmiş kilin mukavemet özelliklerinin araştırılması. Y.Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- Lambe, T.W., 1958. The Structure of Compacted Clay. *JSMFD, ASCE*, vol 84 SM 2, Proc. No: 1964.
- Mitchell, J.K., 1976. *Fundamentals of Soil Behavior*. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Naeini, S.A., Baziar, M.H., 2004. Effect of fines content on steady-state strength of mixed and layered samples of sand. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24, 181-193.
- Osinov, V.A., 2003. Cyclic shearing and liquefaction of soil under irregular loading: an incremental model for the dynamic earthquake-induced deformations. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 23, 535-551.
- Önalp, A., 2007. *Geoteknik Bilgisi I, Çözümlü Problemlerle Zeminler ve Mekanik*. Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Öztürk, Ö. Yılmaz, G., Koyuncu, H., 2002. Zeminlerin Ön Konsolidasyon Basıncı Üzerine Kum ve Zeolitin Etkisi. *Zemin Mekanik ve Temel Mühendisliği Dokuzuncu Ulusal Kongresi, Anadolu Üniversitesi. Eskişehir*, 207 – 219.
- Pagliari, M., Rossi, M., 2008. The Future of Glycerol New Uses of a Versatile Raw Material, p.55.
- Park, J., Vipulanandan, C., Kim, J.W., Oh, M.H., 2006. Effects of surfactants and electrolyte solutions on the properties of soil. *Eviron Geol.* 49, 977-989.
- Ray, S.S., Okamoto, M., 2003. Polymer/layered silicate nanocomposites: a review from preparation to processing. *Progress in Polymer Science*, 28, 1539-1641.
- Rosen, M.Y., 1989. *Surfactants and Interfacial Phenomena*, Wiley, New York
- Saçak, M., 2004. *Polimer Kimyası*, Gazi Kitabevi, Ankara.
- Santamarina, J. C., Klein, K. A., Wang, Y.H., Prencke, E. 2002. Specific surface: determination and relevance. *Canadian Geotechnical Journal*, 39, 233-241.
- Sridharan, A. Choudhury, D., 2002. Swelling pressure of sodium montmorillonites. *GEOTECHNIQUE*, 52(6), 459-462.
- Sharifzadeh, M., 2006. Nanotechnology sector report, cronus capital markets
- Soy, U., 2011. Metal Matris Kompozitlerin Üretim Yöntemleri. *Metal Dünyası Dergisi* 212, 116-119.
- Skoog, D.A., West M.D., Holler, J.F., 1991. *Fundamentals Of Analytical Chemistry*, Seventh Edition. 496p, USA.

- Şakar, G. Yaman, M. Bolat, F.Ç., 2010. Bal Peteği Sandviç Kompozit Yapıların Dinamik Analizi. 2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi, Balıkesir.
- Şen,A., 2009. Polimerik Nanokompozitler Bileşim Dergisi
- Toprakezer, F., 2009. Nanokompozit Sentezinde Kullanılacak Na-Bentonit Kilinin Saflaştırılması. Y.Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Uzuner, B.A., 2005. Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği. Derya Kitabevi, Trabzon
- Ünal, O.,2002. Kompozit Malzemeler. Yapı Malzemesi Ders Notları, Afyon Kocatepe Üniversitesi [http://www.teknolojikarastirmalar.com/egitim/yapi\\_malzemesi/icerik/kompozit.htm#KOMPOZIT%20MALZEME%20TURLERİ](http://www.teknolojikarastirmalar.com/egitim/yapi_malzemesi/icerik/kompozit.htm#KOMPOZIT%20MALZEME%20TURLERİ) (04/12/12)
- Viana, M., Jouannin, P., Pontier, C., Chulia, D., 2002. About pycnometric density measurements, *Talanta*, 57,583-593.
- Wansnaw, I.Rov, R.,1961. Crystal chemistry of rare earth sesquioxides, aluminates, and silicates *Progress in the Science and Technology of the Rare Earths*. Pergamon Press, New York,203-221
- Willinberg, V.D., Willems, D., 2005. Nanoroadmap project, roadmap reporton nanoparticles.
- Yılmaz, G., Koyuncu, H., Öztürk, Ö., 2002. Zeminlerin Ön Konsolidasyon Basıncı Üzerine Kum ve Zeolitin Etkisi. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dokuzuncu Ulusal Kongresi Sempozyum Kitabı*. Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 207 – 219.
- Yüksel, B., 2007. Konsolidasyon Süresince Kil Yapısındaki Değişiminin Araştırılması. Y.Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Zhuang, Y.C., Xie, K.H., Lİ, X.B., 2005. Non-Linear Analysis of Consolidation with Variable Compressibility and Permeability. *Journal of Zhejiang University (Engineering Science)*, 6A(3), 181-187.

## **ÖZGEÇMİŞ**

1983 yılında İran'da doğdu. İlk, orta ve lise tahsilini Maraghe'de tamamladı. 2001 yılında girdiği İslami Azad Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2005 yılında mezun oldu. 2010 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans öğrenimine başladı.