

**LABORATUARDA GELİŞTİRİLEN BİR
ORGANOKİLİN
MUKAVEMET ÖZELLİKLERİNİN
DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI**

Uğur HAMUTÇU

**Y. Lisans Tezi
İnşaat Anabilim Dalı
Doç. Dr. Suat AKBULUT
2010
Her hakkı saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**LABORATUARDA GELİŞTİRİLEN BİR ORGANOKİLİN
MUKAVEMET ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL OLARAK
ARAŞTIRILMASI**

Uğur HAMUTÇU

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ERZURUM
2010**

Her hakkı saklıdır

Doç. Dr. Suat AKBULUT danışmanlığında Uğur HAMUTÇU tarafından hazırlanan bu çalışma 18/01/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Ahmet GÜRSES

İmza: 

Üye : Doç. Dr. Suat AKBULUT

İmza: 

Üye : Yrd. Doç. Dr. Samet ÇELİK

İmza: 

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ömer AKBULUT

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

LABORATUARDA GELİŞTİRİLEN BİR ORGANOKİLİN MUKAVEMET ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

Uğur HAMUTÇU

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Suat AKBULUT

Günümüzde özel mühendislik malzemelerinin üretilmesinde kullanılan kil zeminler aynı zamanda geçirimsiz yapı elemanı olarak da katı atık depolama alanlarında ve barajlarda kullanılmaktadır. Killerin mühendislik özellikleri kilin mineral ve kimyasal yapısına bağlıdır. Killer su ile karşılaştıklarında bünyelerinde kabarma gibi hacim değişiklikleri meydana gelir ve mukavemet özellikleri değişebilir. Su karşısındaki davranış değişikliği nedeniyle killerin bünyelerine aldıkları su ile şişen kil zeminin taşıma gücü önemli derecede azalmaktadır. Bu problemleri çözebilmek için kil zeminlerin kimyasal katkılarla stabilizasyonu yaygın olarak araştırılan bir konudur. Killerin yüzey aktif madde ve polimer madde adsorpsiyonu ile iyileştirilmesi ve kullanılması ise son yıllarda araştırmacıların ilgisini çekmektedir.

Bu çalışma kapsamında, mineral özellikleri belirlenen kil, katyonik bir yüzey aktif madde ve polimer kullanılarak modifiye edilmiş ve bu killerin mukavemet özellikleri araştırılmıştır. Bu amaçla kilin elektrokinetik özellikleri incelenmiştir. Katkısız ve katkılı kil numunelere kıvam limitleri, dane birim hacim ağırlık, kompaksiyon, serbest basınç, kesme kutusu ve su emme deneyleri yapılmıştır. Katkılı killere yapılan deney sonuçları, referans kabul edilen katkısız kile ait sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Deney sonuçlarından, yüzey aktif madde katkılı killerin dane birim hacim ağırlık değerlerinde azalma, kompaksiyon sonucu bulunan boşluk oranlarında artma olduğu görülmüştür. Ayrıca yüzey aktif madde ile katkılı killerin mukavemet özelliklerinde bir azalma olduğu da görülmüştür. Bundan dolayı polimer yardımıyla iyileştirme yoluna gidilmiş ve mukavemet özelliklerinde artmalar olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca katkısız ve katkılı killerin, su emme değerlerinde azalma olduğu tespit edilmiştir.

2010, 77 sayfa

Anahtar Kelimeler: Kil zemin, yüzey aktif madde, elektrokinetik özellikler, polimer, kesme kutusu, dane birim hacim ağırlık, kompaksiyon.

ABSTRACT

Master Thesis

AN EXPERIMENTAL RESEARCH ON THE SPECIALITIES OF ORGANOCCLAY RESISTENCE THAT HAS BEEN DEVELOPED AT LABORATORY

Uğur HAMUTÇU

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

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Suat AKBULUT

Recently, clay soils are used not only in the production of specialized engineering equipment, but also in the fields of waste storage and dams. Engineering characteristics of clay mostly depends on its mineral and chemical, structure. The clay when it is mixed with water experiences volume changes itself and changes of resistance characteristics. Large amount of decrease is observed at the transfer capacity of widened clay grounds with the water consumed because of varieties in the characteristics confronted with water. In order to solve these problems, stabilization of clay grounds using chemical additions is a wide subject of research. Researchers are interested in usage and correction of clay via surface active matter and polymer matter adsorptions.

With this study, the clay of which mineral characteristics are determined is modified by using a cationic surface active matter and polymer and the resistance characteristic of this clay has been researched. For these purpose electro kinetics characteristics of clay has been researched. Raw and added clay samples limits of structure, specific gravity, compaction, free pressure, direct share test and water emission experiments have been issued. Results of experiments with clay that is not pure have been compared to the results of raw clay which is considered as reference.

Results of experiments show a decrease at, surface active matter mixed clays specific gravity and an increase at the scales of space by results of compaction. Besides, it is also observed that there has been a decrease surface active matter than and resistance characteristics of mixed clay. Therefore correction via polymer have been conducted and observed an increase at the resistance characteristics. However, decrease at mixed and pure clay variables is observed.

2010, 77 pages

Keywords: Clayey soil, surfactant, electrokinetic characteristics, polymer, direct share test, specific gravity, compaction.

TEŞEKKÜR

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

Bu çalışmanın bir kısmı, TÜBİTAK-107Y295 Nolu Bilimsel Araştırma Projesinden sağlanan destekle yürütülmüştür. Anılan destek ve katkı dolayısıyla, TÜBİTAK'a derin saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma kapsamındaki deneyler, Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarı, Kazım Karabekir Eğitim Fakültesi Kimya Eğitimi Araştırma Laboratuvarı'nda yürütülmüştür. Bu kapsamda özellikle, çalışmalarım da bana her türlü desteğini esirgemeyen, Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Anabilim Dalı'ndan çok değerli Sayın Arş. Gör. Seracettin ARASAN'a, özel teşekkürlerimi sunmak isterim. Ayrıca Eğitim Fakültesi Kimya Bölümünden Sayın Prof. Dr. Ahmet GÜRSES'e, Sayın Arş.Gör. Metin AÇIKYILDIZ'a Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümü Geoteknik Anabilim Dalı'ndan Sayın Arş. Gör. Z.Neşe KURT'a sonsuz teşekkürlerimi sunmak isterim.

Her zaman ve her konuda beni asla yalnız bırakmayan ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen saygıdeğer aileme ve sevgili eşime şükranlarımı sunarım.

Uğur HAMUTÇU

Ocak 2010

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	2
3. KURAMSAL TEMELLER.....	9
3.1. Killer	9
3.2. Killerin Minerolojik Özellikleri.....	12
3.3. Yüzey Aktif Maddeler	14
3.4. Polimerler	16
3.5. Kompozitler	18
3.6. Kil Kompozitler	20
4. MATERYAL ve YÖNTEM	22
4.1. Materyal	22
4.1.1. Katkısız Kil Numuneleri	22
4.1.2. Yüzey Aktif Madde.....	26
4.1.3. Polimerler	27
4.2. Yöntem	28
4.2.1. Organokil Numunelerin Elde Edilmesi.....	28
4.2.2. Elektrokinetik Özellikler.....	30
4.2.3. Dane Birim Hacim Ağırlık Deneyleri.....	34
4.2.4. Kıvam Limitleri	35
4.2.5. Kompaksiyon Deneyi.....	36
4.2.6. Mukavemet Deneyleri.....	36
4.2.7. Su Emme Deneyi	38
5. ARAŞTIRMA BULGULARI	40
5.1. Elektrokinetik Özellikler	40
5.2. Dane Birim Hacim Ağırlık Deneyi	45
5.3. Kıvam Limitleri Deneyi.....	46
5.4. Organokil Numunelere Yapılan Deneyler	47
5.4.1. Kompaksiyon Deneyi.....	47
5.4.2. Mukavemet Deneyleri.....	52
5.4. Su Emme Deneyi	58
5.5. Poliorganokillere Yapılan Deneyler	60
5.5.1. Kompaksiyon Deneyi.....	61
5.5.2. Mukavemet Deneyleri.....	61
5.5.3. Su Emme Deneyi	69
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	72
KAYNAKLAR	74
ÖZGEÇMİŞ	77

SİMGELER DİZİNİ

BHA	Birim hacim ağırlık
c	Kohezyon
CH	Yüksek plastisiteli inorganik kili
CL	Düşük ve orta plastisiteli inorganik kil
CTAB	Hegzadesiltrimetilamonyumbromit
CTMA ⁺	Cetiltrimetil Amonyum
DMA	Dinamik Mekanik Analiz
DSC	Diferansiyel Scannig Kalorimetre
Eİ	Elektrik iletkenliği
e _{min}	Minimum Boşluk Oranı
HDTMA	Hegzadesiltrimetilamonyum
I _p	Plastisite indisi
KDK	Katyon değişim kapasitesi
MH	İnce kumlu siltli zemin
ML	Çok az plastik siltli veya killi kum
MMT	Montmorillonit
MPT	Modifiye Proktor Deneyi
qu	Serbest Basınç Mukavemeti
SDS	Sodyum dodesil sülfat
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
SPT	Standart Proktor Deneyi
TA	Temas Açısı
TEM	Geçirimli elektron mikroskobu
TGA	Thermogravimetrik analiz
WAXD	Geniş açılı X ışını difraksiyonu
w _l	Likit limit
w _p	Plastik limit
w _{opt}	Optimum su muhtevası

XRD	X ışını difraksiyonu
XRF	X ışını fraksiyonu
γ_k	Kuru birim hacim ağırlığı
γ_n	Tabii birim hacim ağırlığı
γ_s	Dane birim hacim ağırlığı
τ_{max}	Maksimum Kayma Mukavemeti
ξ	Zeta Potansiyeli

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Değişik kil minerallerinin yapısı.....	11
Şekil 3.2. Kaolinitin yapısı	12
Şekil 3.3. 2:1 tabakalı silikat yapısı.....	13
Şekil 3.4. Farklı kil mineral yapılarının şekilsel gösterimi	14
Şekil 3.5. Temsili yüzey aktif madde	14
Şekil 3.6. Polimer molekülünün oluşumu.....	17
Şekil 3.7. Üç farklı polimer/silikat nanokompozitinin şematik gösterimi.....	18
Şekil 3.8. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması.....	20
Şekil 3.9. Kil taneciklerle takviye edilmiş polimerik kompozit yapı	21
Şekil 4.1. Narman havzasından temin edilmiş Sarı Kil numunesi.....	23
Şekil 4.2. Öğütülerek elde edilmiş (Doğal) Sarı Kil numunesi.....	23
Şekil 4.3. Çöktürmeye bırakılmış kil süspansiyonları.....	23
Şekil 4.4. Deneilerde kullanılan ham kilin granülometri eğrisi	24
Şekil 4.5. Katkısız kil numunelerin TG-DTA analizleri	26
Şekil 4.6. CTAB katkılı kil numunelerin XRD analizleri	26
Şekil 4.7. Adsorbsiyon sonrasında kil danelerinin damıtık su içerisinde alt kısmında birikimi.....	29
Şekil 4.8. CTAB–Kil süspansiyonunun hazırlanışı.....	29
Şekil 4.9. Organokil numunesi süzgeç kâğıdında toplanırken	30
Şekil 4.10. Zeta potansiyelinin stern düzlemi ve kayma yüzeyi boyunca değişimi... ..	32
Şekil 4.11. Temsili dane yüzeyindeki su damlasının temas açısı.....	33
Şekil 4.12. Katkısız kil numunesine kıvam limitleri deneyleri yapılırken.....	35
Şekil 4.13. Katkısız kil numunesine kompaksiyon yapılırken.....	36
Şekil 4.14. Serbest basınç deneyi için çizilmiş olan Mohr Dairesi.....	37
Şekil 4.15. Kesme kutusu deneyinin şematik görünümü.....	38
Şekil 4.16. Katkısız, organokil ve poliorganokil numunelere su emme deneyleri yapılırken.....	39
Şekil 5.1. Organokil numunelerin, CTAB katkı yüzdesi ile Katyon Değişim Kapasitesinin değişimi.....	41
Şekil 5.2. Organokil numunelerde, CTAB katkı yüzdesi ile ZP değişimleri.....	42
Şekil 5.3. Organokil numunelerin Eİ ($\mu\text{mhos/cm}$) değerinin, CTAB katkı yüzdesi ile değişimi.....	42
Şekil 5.4. Katkısız kil numunelerin Temas Açısı.....	43
Şekil 5.5. %5 CTAB katkılı kil numunelerin Temas Açısı.....	43
Şekil 5.6. %8 CTAB katkılı kil numunelerin Temas Açısı.....	43
Şekil 5.7. Organokil numunelerinin Temas Açısının, CTAB katkı yüzdesi ile değişimi.....	44
Şekil 5.8. Organokil numunelerde CTAB katkı yüzdesi ile pH değerlerinin değişimi.....	45

Şekil 5.9. Organokil numunelerin dane birim hacim ağırlık değerlerinin, CTAB katkı yüzdesi ile değişimi.....	45
Şekil 5.10. Katkısız ve organokil numunelerinin Kıvam Limitleri	46
Şekil 5.11. Katkısız ve organokil numunelerinin Plastisite Kartındaki Dağılımı.....	46
Şekil 5.12. Katkısız ve organokil numunelerinin standart kompaksiyon deney sonuçları.....	48
Şekil 5.13. Organokil numunelerin optimum su muhtevası değerlerinin, CTAB katkı yüzdesi ile değişimi.....	48
Şekil 5.14. Organokil numunelerin maksimum kuru birim hacim ağırlık değerlerinin, CTAB katkı yüzdesi ile değişimi	49
Şekil 5.15. Katkısız kil numunelerin doygunluk çizgileri.....	49
Şekil 5.16. %5 CTAB katkılı kil numunelerin doygunluk çizgileri.....	50
Şekil 5.17. %8 CTAB katkılı kil numunelerin doygunluk çizgileri.....	50
Şekil 5.18. CTAB katkı yüzdesine organokil numunelerin, doygunluk çizgileri değişimi.....	50
Şekil 5.19. Organokil numunelerin minimum boşluk oranlarının, CTAB katkı yüzdesi ile değişimi.....	52
Şekil 5.20. Organokil numuneler için doğal birim hacim ağırlıkların CTAB katkı yüzdesi ile değişimi.....	53
Şekil 5.21. Katkısız ve organokil numunelerin serbest basınç deneyi sonucu kırılma düzlemleri.....	53
Şekil 5.22. Katkısız kil numunelerin gerilme, birim deformasyon grafiği.....	53
Şekil 5.23. %5 CTAB katkılı kil numunelerin gerilme, birim deformasyon grafiği.	54
Şekil 5.24. %8 CTAB katkılı kil numunelerin gerilme, birim deformasyon grafiği	54
Şekil 5.25. CTAB katkı yüzdesi ile serbest basınç mukavemeti değişimi.....	54
Şekil 5.26. CTAB katkı yüzdesi ile konsolidasyonsuz, drenajsız kohezyon değişimi	55
Şekil 5.27. Katkısız ve organokillere ait kesme kutusu deneyi yapılmış deney numunesi.....	56
Şekil 5.28. Katkısız kil numunesine ait kayma gerilmesi, kayma yer değiştirmesi grafiği.....	56
Şekil 5.29. %5 CTAB katkılı kil numunesine ait kayma gerilmesi, kayma yer değiştirmesi grafiği.....	57
Şekil 5.30. %8 CTAB katkılı kil numunesine ait kayma gerilmesi, kayma yer değiştirmesi grafiği.....	57
Şekil 5.31. Katkısız ve organokil numunelerin kayma gerilmesi, yük değişimi grafiği.....	58
Şekil 5.32. Organokil numunelerin kayma mukavemeti açısı, CTAB katkı yüzdesi değişimi	58
Şekil 5.33. Organokil numunelerin konsolidasyonsuz drenajsız kohezyon, CTAB katkı yüzdesi değişimi.....	58
Şekil 5.34. Organokil numunelere ait su emme, CTAB katkı oranları değişimi.....	60
Şekil 5.35. Katkısız ve organokil numunelere ait su emme, zaman değişim grafiği	60

Şekil 5.36. Poliorganokil numunelerin (%5 CTAB + %15 Stiren) gerilme, birim deformasyon grafiği.....	61
Şekil 5.37. Poliorganokil numunelerin (%5 CTAB + %20 Stiren) gerilme, birim deformasyon grafiği	62
Şekil 5.38. Poliorganokil numunelerin (%8 CTAB + %15 Stiren) gerilme, birim deformasyon grafiği	62
Şekil 5.39. Poliorganokil numunelerin (%8 CTAB + %20 Stiren) gerilme, birim deformasyon grafiği	62
Şekil 5.40. Poliorganokil numunelerin Stiren katkı yüzdesi ile serbest basınç mukavemeti değişimi.....	63
Şekil 5.41. Poliorganokil numunelerin Stiren katkı yüzdesi ile konsolidasyonsuz drenajsız kohezyon değişimi.....	64
Şekil 5.42. %5 CTAB + %15 Stiren katkılı kil numunesine ait kayma gerilmesi, kayma yer değiştirmesi grafiği	65
Şekil 5.43. %5 CTAB + %20 Stiren katkılı kil numunesine ait kayma gerilmesi, kayma yer değiştirmesi grafiği	65
Şekil 5.44. %8 CTAB + %15 Stiren katkılı kil numunesine ait kayma gerilmesi, kayma yer değiştirmesi grafiği	66
Şekil 5.45. %8 CTAB + %20 Stiren katkılı kil numunesine ait kayma gerilmesi, kayma yer değiştirmesi grafiği	66
Şekil 5.46. Kayma gerilmesi, yük değişim grafiği (%15 Stiren).....	67
Şekil 5.47. Kayma gerilmesi, yük değişim grafiği (%20 Stiren).....	67
Şekil 5.48. Organokil ve poliorganokil numunelerin kayma mukavemeti açılarının, Stiren katkı yüzdesi ile değişimi.....	68
Şekil 5.49. Organokil ve poliorganokil numunelerin konsolidasyonsuz drenejsız kohezyonlarının, Stiren katkı yüzdesi ile değişimi.....	68
Şekil 5.50. Poliorganokil numunelerin su emme oranının, Stiren katkı yüzdesi ile değişimi.....	70
Şekil 5.51. Poliorganokil numunelerin su emme miktarının, zaman değişim grafiği (%15 Stiren).....	70
Şekil 5.52. Poliorganokil numunelerin su emme miktarının, zaman değişim grafiği (%20 Stiren).....	71

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Yaygın kil minerallerinin kalınlık, çap ve spesifik yüzey alanları...	10
Çizelge 3.2. Bazı kil minerallerinin ideal formülleri ve minerolojileri.....	11
Çizelge 4.1. Ham kile ait bazı geoteknik özellikler	24
Çizelge 4.2. Ham kil numuneye ait XRD yarı nicel mineralojik analiz sonuçları.....	25
Çizelge 4.3. Ham kil numunelerin kimyasal bileşimi	25
Çizelge 4.4. Deneyleerde kullanılan CTAB'ın özellikleri	27
Çizelge 4.5. Deneyleerde kullanılan Stiren'in özellikleri.....	27
Çizelge 4.6. Kil minerallerinin Katyon Değişim Kapasiteleri.....	31
Çizelge 5.1. Katkısız ve organokillerin Katyon Değişim Kapasitesi (KDK).....	40
Çizelge 5.2. Katkısız ve organokil numunelere yapılan standart kompaksiyon deneyleri sonuçları.....	48
Çizelge 5.3. Katkısız ve organokil numunelerin minimum boşluk oranları ve birim hacim ağırlıklarının katkı yüzdesi ile değişimi.....	51
Çizelge 5.4. Katkısız ve organokil numunelerin su emme değerleri	59
Çizelge 5.5. Katkısız, organokil ve poliorganokil numunelere yapılan serbest basınç deneyi sonuçları	63
Çizelge 5.6. Katkısız,organokil ve poliorganokil numunelere yapılmış olan kesme kutusu deney sonuçları	67
Çizelge 5.7. Stiren katkı oranları, su emme miktarı değişimi	70

1. GİRİŞ

Kil zeminler Geoteknik Mühendisliği alanında oldukça önemli bir yere sahiptir. Kil zeminler tabii malzeme olmaları ve özelliklerinin deneysel olarak belirlenmesi gerekmesinden dolayı, deneysel yöntemler bu çalışmanın ayrılmaz bir parçasını oluşturmaktadır.

Kil zeminler, uygulamada toprak dolgu barajlar, katı atık depo alanı şilteleri, nükleer santraller için koruyucu tabaka ve yol dolguları gibi birçok mühendislik yapısında sıkça kullanılmaktadır.

Yüzey aktif madde ile modifiye edilen killer organokil olarak nitelendirilmektedir. Organokilin üretimi ve kullanım alanları günümüz koşullarında artmaktadır. Ancak literatürde Geoteknik Mühendisliği alanında çalışmalar oldukça yenidir.

Çalışma kapsamında Erzurum yöresinden alınan bir kil kullanılmıştır. Yüzey aktif madde ile organokil numuneler elde edilmiş, daha sonra da organokil numuneler polimerle modifiye edilerek poliorganokil numuneler elde edilmiştir. Katkısız, organokil ve poliorganokil numuneler üzerinde bazı Geoteknik deneyler uygulanarak, Geoteknik özelliklerinin incelenmesi ve araştırılması amaçlanmıştır. Deneyler için numuneler farklı oranlar kullanılarak hazırlanmıştır. Yapılan deneylerden elde edilen katkısız, organokil ve poliorganokil numunelerin sonuçları birbiri ile karşılaştırılmış ve yorumlanmaya çalışılmıştır.

Katkısız ve organokillerin elektrokinetik ve kıvam limitleri özellikleride belirlenmiştir. Ayrıca katkısız, organokil ve poliorganokil numunelerin Geoteknik özellikleri ile beraber bazı mukavemet özellikleri de incelenmiş ve bu bağlamda serbest basınç, kesme kutusu ve su emme deneyleri yapılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Literatürde kil-yüzey aktif madde etkileşimini araştıran birçok çalışma bulunmaktadır. Fakat Geoteknik Mühendisliği alanında bu çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Yapılan literatür taramasında, nanokil-kompozit malzeme üretimi konusunda sınırlı sayıda yayının yer aldığı, Geoteknik Mühendisliği açısından incelendiğinde üretilen malzemelerin Geoteknik açıdan ziyade, belli başlı mekanik özelliklerinin, geçirimsizliğinin, mukavemet özelliklerinin iyileştirildiği görülmüştür. Aşağıdaki paragraflarda, bu çalışmalar kısaca özetlenmiş ve elde edilen sonuçlar açıklanmıştır.

LeBaron *et al.* (1999) çalışmalarında, polimer kil hibrit nano kompozitlerine, seçilen polimer matrisleri ile güçlendirme fazı olarak, smektit killeri ile alkilamonyum değişiminin kullanımı şartıyla bir gözden geçirme yapılmışlardır. Kil nano tabakaları elastomerik epoksi ile ve poliüreten matrisleri ile yüklenince, sistemlerin gerilme ve dayanıklılık özelliklerinin önemli derecede arttığı görülmüştür. Camsı epoksi nanokompozitleri akma dayanımı ve katsayısında, gerilme-deformasyon şartlarında önemli düzelmeler göstermiştir. İnce film formunda polyimit hibritleri kil yüklemesinde suyun %2 buharlaşmasına karşın geçirimsizlikte 10 kat azalma göstermiştir. Polidimetilsiloksan ve organokil karışımlarından üretilmiş polisiloksan nanokompozitleri gerilme özelliklerinde, termal stabilitede ve şişiren çözücülere dayanıma dirençte iyileşmeler gösterdiği bulunmuştur. Sonuç olarak; organik olarak modifiye edilmiş smektit killeri polimer-kil nanokompozit sentezinde güçlendirme etkenleri olarak etkindirler. Uzun zincir yüzey aktif maddeleri doğal kilin hidrofilik yapısına eklenirken, tabakalar arası yüzey mesafesi artar, kilin yüzey kimyası iyileştirilir. Yüzey aktif madde katyon değişimleri, özellikle protolondığı zaman polimerizasyon reaksiyonlarını katalizlemeye yardım eder.

Itakura *et al.* (2005) tarafından yapılan çalışmada tek eksenli basınç altında doğal kaolinin nano ölçekte yapısı incelenmiştir. Bu çalışmada, kullanılan zemin örnekleri Avustralya'da Yeni Galler şehir merkezinde ki tortul atıklar ve endüstriyel sıvı atıklarının içinde bulunan doğal kaolin zeminlerden alınmıştır. Suyu doygun 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 metotlarıyla, 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^2/g arasında 800 kPa'da ise 6 ile 80 m^2/g arasında tahmin edilmiştir.

Lee *et al.* (2005) tarafından yapılan çalışmada, katyonik yüzey aktif maddelerle geliştirilen montmorollinitlerin yapısal değişimi incelenmiştir. Bu çalışmada katyonik yüzey aktif madde olan hegzadesiltrimetilamonyum (HDTMA) ile geliştirilen montmorollinitlerin karakteristikleri adsorbsiyon izotermeleri ve mikro yapıları araştırılarak değerlendirilmiştir. Yüzey aktif madde ile modifiye edilen killerin, kirletilmiş zeminlerdeki kil bariyerler gibi ıslah sistemi olarak kullanılabileceği ifade edilmiştir. Yine kil minerallerinin, adsorpsiyon teorilerini (modellerini) denemek için daha uygun substratlar olduğu vurgulanmıştır. Bu çalışmada, geçirimli elektron mikroskobu (TEM), XRD ve adsorbsiyon izotermelerinden elde edilen ölçüm sonuçları, farklı montmorollinitler için farklı yollarla adsorblanan HDTMA'nın miktarı ile montmorollinitlerin ara tabaka yapısının değişiklik gösterdiğini ortaya koymuştur.

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_3 '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.

Lei *et al.* (2006) Hegzadesiltrimetilamonyumbromit (CTAB) varlığında kalsiyum karbonat partiküllerinin morfolojisine organik katkıların etkisini araştırmışlardır. Bu araştırmada, değişik morfolojideki kalsiyum karbonat partikülleri, 80°C'de su içerisindeki CTAB varlığında, organik çözücü eklenerek kalsiyum klorür ile karıştırılan çözeltilerden sodyum karbonatın çökmesinden kolayca elde edilmiştir. Hazırlanan numuneler taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve X ışını kırınımı ile karakterize edilmiştir. Sonuçlar glikol, gliserin, formaldehit, gliko metil eter gibi organik katkıların yüksek sıcaklıklardaki CTAB etkisindeki CaCO₃'ün morfolojisi ve şekli üzerinde büyük etkisinin olduğunu göstermiştir

Zhou *et al.* (2006) SC-15 epoksisi ile doyurulan montmorollonit kilinin karakterizasyonunu araştırmışlardır. Bu araştırmada, SC-15 epoksi reçinesi ve K-10 montmorollinit kilini ihtiva eden nanokompozitlerin yeni bir teknik ile üretilmesi konu edilmiştir. Epoksi reçinesi ileri kompozit uygulamalarında lifler ile güçlendirmede çok yaygın bir şekilde kullanılan polimer matrislerdir. Çalışmada nano-kil ve epoksi reçinesinin moleküler homojen karışımını elde etmek için yüksek yoğunluklu ultrasonik sıvı işlemci kullanılmıştır. %1, 2, 3 ve 4 seviyelerinde SC-15 epoksisi içeren killer üretilmiş ve bu üretilen kompozitlerin mekanik özellikleri ile termal seviyelerde yüklenme etkileri incelenmiştir. Ultrasonik aşınma metodu kullanılarak SC-15 epoksisi ile işlenen K-10 montmorollinit killeri üzerinde yapılan DMA (Dinamik Mekanik Analiz) sonuçları, %2 kil-epoksi sisteminin depolama modulünde %58'lik bir başarı elde edildiğini sergilemiştir. TGA (Termogravimetrik Analiz) sonuçları ise kil içeriğinin bozunma sıcaklığında herhangi bir etkisinin olmadığını göstermiştir. Bükülme (flexural) sonuçları ise %2 oranında epoksi reçine ile yüklenen kompozitin, hiç yükleme yapılmamış kile oranla bükülme (flexural) dayanımında yaklaşım %31,6'ya varan oranda yüksek bir iyileşme olduğunu göstermiştir

Sivudu *et al.* (2007) yaptıkları çalışmada, 4-vinilpridin (4pv) ile %2 divinilbenzeni (dvb) etkileşime sokarak, ara katkı süspansiyona polimerizasyonu ile polimer nano

kompozitleri sentezlemişlerdir. 90 meq/100g katyon değişim kapasitesi (KDK) ile sodyum montmorillonit (SMMT), CTAB'ın ara katkısı ile organik olarak modifiye edilmiştir. (OMMT). XRD numunelerinde montmorillonitdeki CTAB'ın ara katkısının, silikat tabakasının bazal boşluklarını 1,5 nm den 2 nm ye yaydığı tespit edilmiştir. Nano kompozitler, XRD,SEM ve TEM, termal gravimetrik analiz ((TGA) ve diferansiyel scannig kalorimetre (DSC) ile incelenmiştir. TGA ve DSC çalışmalarından nano kompozitlerin termal stabilitesinin, saf polimerle kıyaslanınca nispeten arttığı belirlenmiştir.

Liu (2007) yaptığı çalışmada, kil numunelerinin, polimerler ile fiziksel adsorbsiyonu ve kimyasal aşılama yolu ile modifikasyonundaki son gelişmeler gözden geçirilmiştir. Kil mineralinin özellikle polimerlerle olan yüzey modifikasyonunu, killerin yüzey fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirgin şekilde düzeltilebileceği, modifiye kil minerallerine kompozit malzemelerde katalizör, adsorbent vb olarak başvurabileceği belirtilmiştir. Organik polimerlerin, yapı ve performans tanımlaması ile yeni malzemelere bir yön vereceği vurgulanmış, bu metotların çeşitleri ve kombinasyonlarının yeni özelliklere sahip gerçekten ileri malzemeler hazırlamak için keşfedilmesi gerektiği ifade edilmiştir.

Tiwari *et al.* (2008) çalışmalarında üç farklı organik katyon kullanarak katyon değiştirme yolu ile Sodyum montmorilloniti modifiye etmiştir. X ışını difraksiyon analizi (WAXD) ve termogravimetrik analiz (TGA) teknikleri ile organomontmorillonit killerin bazal boşlukları, çapraz katmanlı yapıları ve termal stabiliteleri karakterize edilmiştir. WAXD sonuçları kil mineral tabakaları arasında organik katyonların ara katkısının ve ideal katyon değişimi için bazal boşluklarının teorik olarak hesaplanarak bulununla uyum içerisinde olduğunu göstermiştir. Organik modifiye edilmiş montmorillonitlerin polimer nanokompozit malzeme hazırlanmasında ve diğer uygulamalarda yarar sağlayacakları sonucuna varılmıştır. Ayrıca çalışmada polar polimerlerle hazırlanan nanokompozitlerin mekanik ve benzer özellikleri iyileştireceğini belirtmişlerdir.

Liu *et al.* (2008) tarafından yapılan çalışmada, Wyoming Sodyum montmorillonitin sıvı süspansiyonu içindeki sodyum iyonları için tek, çift ve üçlü alkil zincirleri içeren

katyonik yüzey aktif maddelerin iyon değişimi ile sentezlenen organokiller üretilmiştir. Fenol adsorbe edilmiş ve adsorbe edilmemiş organokillerin karakterizasyonu X-ray difraksiyon analizi (XRD), transmisyon elektron mikroskobu (TEM) ve termal analizleri (TG-DTA) ile tespit edilmiştir. Yüzey aktif madde olarak mono, di ve tri alkil zincirlerine sahip olan hegzadesiltrimetilamonyumbromit, dimetildioktadesilamonyum bromit, etiltrioktadesilamonyum bromit yüzey aktif maddeleri kullanılmıştır. Adsorbsiyon için değerli bir materyal olarak, bu değişebilir organokillerin fenol gibi organik kirleticilerden suyun temizlenmesi gibi pek çok çevresel uygulaması olduğunu belirtmişlerdir. Smektitlerin yüksek katyon değişim kapasiteleri şişme kapasitesi, yüksek yüzey alanı ve güçlü adsorbsiyon kapasitelerinin sonucu olarak sıkça kullanılmaktadır. Yüzey aktif madde ile montmorillonitin yüzeyini modifiye etmenin hidrofilik silikat yüzeyini organofilik yüzeye dönüştürdüğünü, organo montmorillonitlerin dörtlü amonyum bileşiklerinin iyon değişimi ile ara tabaka boşluklarına ara katkı yapılması gibi katyonik yüzey aktif maddelerin ara katkıları ile sentezlendiğini belirtmişlerdir. Kilin modifikasyonundan önceki ara tabaka mesafesinin küçük olduğunu ve ara galeri çevresinin hidrofilik olduğunu, katyonik yüzey aktif maddelerin ara katkısının yalnızca yüzey özelliklerini hidrofilikten hidrofobiğe çevirmediğini, tabakaların bazal boşluklarını da artırdığını vurgulamışlardır.

Lines (2008) yaptığı çalışmada, nanoteknolojinin; yeni özelliklere sahip ürünlerin ve malzemelerin üretilmesinde, çevre problemlerinin çözümüne yardımcı olmasında, yeni uygulamaların ve var olan teknolojilerin gelişmesinde, kullanışlı uygulamalar için ön şartların optimizasyonu gibi birçok kullanışlı ve gerçekçi sonuçları olduğunu belirtmiştir. Nano malzemelerin çok küçük boyutlara sahip olmalarına rağmen, dikkate değer özellikleri olduğunu belirtmiş, bu malzemelerin optik, mekanik, elektriksel, yapısal ve magnetik özelliklerinde önemli iyileşmeler gözlenmiştir. Bazı anahtar özelliklerini; boyutlarının 10^{-9} m ye kadar olması, oldukça büyük özgül yüzey alanına sahip olmaları, etkileyici ve kullanışlı özellikleri göstermeleri, yapısal ve yapısal olmayan uygulamalarının olması, güçlü, esnek malzeme olmaları, kimyasal olarak çok aktif malzeme olmaları olarak sıralamıştır.

Zhu *et al.* (2008) çalışmalarında benzer yapılarla yeni bir yüzey aktif madde-kil mineral kompleksi sentezlemek için hidrobiotit kullanmıştır. Cetiltrimetilamonyum katyonları (CTMA⁺), hidrobiotit ve kıyaslama için Montmorillonit içine ara katkı yapmışlardır. Yüzey aktif madde-kil mineral komplekslerinin yapıları Xışını difraksiyonu, FT-IR transform infrared spektroskopisi ve termogravik analizleri ile karakterize edilmiştir. Kil minerallerinin yük karakteristiklerindeki farklılıklardan dolayı CTMA⁺ katyonları hidrobiotit ve montmorillonit üzerindeki ara katkı prosesinde büyük farklılıklar olduğunu, montmorillonit üzerindeki inorganik katyonların CTMA⁺ ile kolayca değişebildiğini, bu nedenle CTMA⁺ montmorillonit üzerindeki farklı yükler üzerine kolayca difüze olabildiğini, ancak hidrobiotit üzerindeki inorganik katyonların kolayca yer değiştiremediğini vurgulamışlardır.

Cuevas *et al.* (2008) çalışmalarında Avrupa Birliği direktiflerinde belediyeye ait çöplerin depolama alanlarında hidrolik iletkenliği 1.10^{-9} m/sn olan en az 1m kalınlıkta bariyerler kullanılmasını istediklerini, jeolojik bariyerin bu şartı sağlamaması halinde 0,5m kalınlıkta suni bir bariyerin kullanılması gerektiğini belirtmişlerdir. Çalışmada depolama alanı bariyeri olarak bazı killerin uygunluğu kontrol edilmiştir. Kil minerallerinin küçük parçacık boyutları ve kompleks gözenekli yapıları, düşük permaabilite özellikleri ile doğal malzemeleri oluşturduğunu belirtmişlerdir. Çeşitli İspanyol seramik killeri 0,5m uzunluğunda kolonlara kompakte edilmiş ve mineralojik, fiziksel, kimyasal ve ağır metal iyonları için adsorbsiyon özellikleri incelemiştir. Üç farklı kil kullanmıştır. Sonuçta, anyonların ve alkali katyonlarının difüzyonunun kil materyallerindeki hidrolik iletkenlik için beklenenden daha hızlı gerçekleştiği görülmüştür. Özgül yüzey alanı kil-çözülebilir madde ara yüz bölgesi civarında azalmıştır ve ağır metal iyonları genellikle ilk 10 cm de tutulmuştur.

Akbulut vd (2008) çalışmalarında, Erzurum Oltu yöresinden alınan bir kil numunesini organik bir kimyasal katkı malzemesi olan hegzadesiltrimetilamonyum bromit ile 5 farklı yüzde etkileştirerek doğal ve katkılı kil numunelerin kıvam limitleri özelliklerini incelemiştir. Deney sonuçları, kimyasal katkının belirli bir oranına kadar kilin likit limitinin büyük miktarda azaldığını, bu değerden sonraki değişimin önemli derecede olmadığını, plastik limit değerinde katkı oranının artmasıyla bir miktar

artış meydana geldiğini göstermiştir. Ayrıca plastisite kartında yapılan zemin sınıflandırması sonucu yüksek plastisiteli kil (CH) olarak belirlenen doğal kilin sınıfının kimyasalla etkileşim sonucu düşük plastisiteli silt (MH) sınıfına girdiği görülmüştür.

Gürses vd (2009) çalışmalarında katyonik bir yüzey aktif madde olan Cetiltrimetilamonyum bromitin (CTAB), Erzurum yöresine ait smektit kili üzerine adsorbsiyon mekanizmasını iyonik şiddet, pH, sıcaklık, CTAB denkleştirme konsantrasyonu ve karıştırma hızının fonksiyonu olarak araştırmışlardır. Cetiltrimetilamonyum bromitin sıvı solüsyon olarak kil yüzeyine adsorbsiyonu araştırılmıştır. Yüzey aktif maddelerin katı-sıvı ara yüze adsorbsiyonu bazı nedenlerle güçlkle nüfus ettiği vurgulanarak, bu faktörlerin; katı yüzeyindeki yapı gruplarının doğası, adsorbent olan yüzey aktif maddenin moleküler yapısı, ve sıvı fazın pH'ı, elektrik iletkenlik, katılan kimyasal maddeler ve sıcaklık olduğu belirtilmiştir. X-Ray difraksiyon analizi, amonyum asetat metodu ile katyon değişim kapasitesi ölçümleri, zeta potansiyeli ölçümleri, elektrik iletkenliği ölçümleri, pH ölçümleri yapılmıştır. Sonuçta, kile adsorbe edilen CTAB yüzdesinin denge CTAB konsantrasyonun, sıcaklığın ve iyonik yükün artmasıyla arttığı, pH ve karıştırma hızından etkilenmediği gibi sonuçlara varılmıştır.

Kurt (2009) yaptığı çalışmada, mineral özellikleri belirlenen kil numunelerinin 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.

3. KURAMSAL TEMELLER

3.1. Killer

Killer, doğal olarak kayaların kimyasal ayrışmasından oluşmuş, tabiatta bol miktarda bulunan minerallerdendir. Genellikle 0,002 mm'den daha ince daneli olan killer, yalnızca elektron mikroskobu (SEM) yardımıyla görülebilir. Kilin içerisinde en çok silisyum oksit, alüminyum oksit bileşikleri bulunur. Geoteknik açıdan killer bazı özelliklerinden (oturma, şişme, vs.) dolayı sorunlu zeminler arasında yer alabilmektedir. Ancak, killer bu olumsuz yönlerinin yanında düşük geçirimsizlik katsayıları ve adsorbsiyon özelliklerinden dolayı da geçirimsizlik elemanı olarak birçok inşaat mühendisliği uygulamasında (dolgu barajlarda kil çekirdek, katı atık depolarında kil şilte, vb.) yaygın olarak kullanılırlar. Ayrıca, tuğla, kiremit ve seramik yapımı gibi birçok mühendislik alanında da sıklıkla kullanılmaktadırlar.

Çoğu kil mineralleri kayaçların fiziksel ve kimyasal olarak taşınması ve parçalanması yolu ile oluşmaktadır. Kaya ve zeminler, fiziksel ve kimyasal yollarla ayrılarak bozunur ve;

- Kaya mineralojisi
- Suyun kimyasal bileşimi
- Suyun kaya içerisindeki ilerleme miktarına bağlı olarak kil mineralleri oluşur.

Kil mineralleri;

1. Silikatlar
2. Metal oksitler - hidroksitler ve oksoksitler
3. Amorf ve alofanlar
4. Kristalli zincir silikatlar

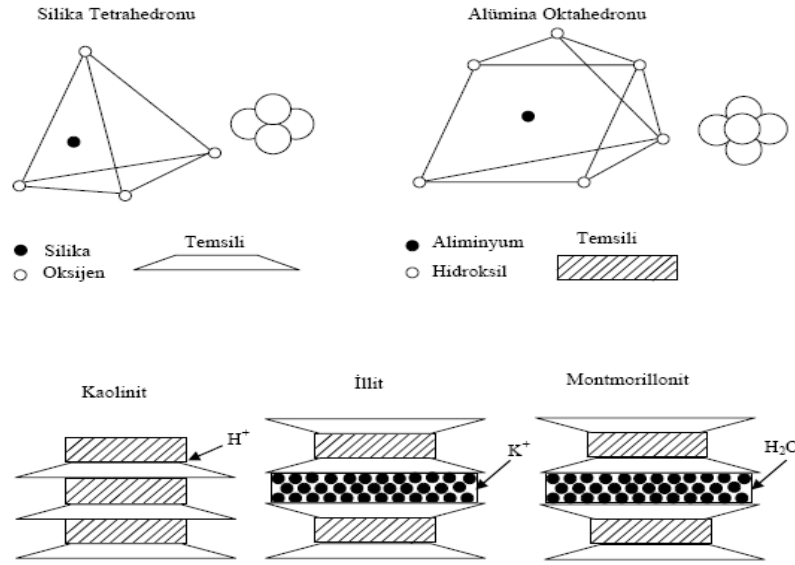
olmak üzere dört ana grupta toplanabilir (Anonymous 2008). Yaygın kil minerallerinin kalınlık, çap ve spesifik yüzey alanları Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Yaygın kil minerallerinin kalınlık, çap ve spesifik yüzey alanları (Holtz and Kovacs 1981)

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

Değişik kil minerallerinin yapıları şematik olarak Şekil 3.1’de, mineralojik yapıları itibariyle kimyasal formülleri ise Çizelge 3.2’de verilmiştir. Kaolinitler, 1 silika tabakası ve 1 gipsit tabakasından oluşan ve 1:1 tabaka türüne sahip bir kil mineralidir. Tabakalar arası bağlanma, Van der Waals çekim kuvvetleri ve hidrojen bağlarıyla sağlanır. Kaolinit düşük su tutma kapasitesine sahiptir ve dolayısıyla da şişme potansiyeli düşük bir mineraldir. Bu nedenle, ara tabakada su absorplanamaz. Kaolinit diğer kil minerallerine göre daha küçük bazal boşluğa sahiptir. Katyon değiştirme kapasitesi (KDK) 3-15 meq/100g gibi düşük aralıkta kalmaktadır (Guerra *et al.* 2008).

Smektitler genellikle volkanoklastik malzemelerin suda çözülmesinden sonra ayrışma ürünü olarak ortaya çıkar. Diğer sedimentler içerisinde ise mercerler biçiminde oluşurlar. Smektit grubu kil mineralleri bir kaç kil minerali içermektedir. Ancak bunların endüstriyel bakımdan en önemlileri sodyum ve kalsiyum montmorillonittir (Grim and Güven 1978). Si, Al ve diğer iyonlar arasındaki izomorfik yer değiştirme, şiddetlidir. Birim tabakalar arasında n.H₂O ve katyonlar mevcuttur. Tabakalar arası bağlanma Van der Waals kuvvetleri ve yük denkliliğine katkıda bulunan katyonlarla sağlanır. Tabakalar arası su tutma kapasitesi oldukça büyük olması mühendislik uygulamaları için önemlidir (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1. Değişik kil minerallerinin yapısı (Grim 1959)

İllit/Mika grubu kil mineralleri ise; smektit grubu killerden farklı olarak potasyum içerir. İllit, çoğu kayanın temel bileşenidir. Tetrahedral tabakada bazı Si^{+4} iyonlarının yerini Al^{+3} almış, Oktahedral yapıdaki bazı Al^{+3} iyonları ise Mg^{+2} ya da Fe^{+3} ile yer değiştirmiştir. Bu durum yük dengesine etki eden yer değiştirmelerdir ve denge, tabakalar arasındaki K^+ tarafından sağlanır. Kil mineralojisi üzerine birçok çalışma mevcuttur (Grim 1959).

Çizelge 3.2. Bazı kil minerallerinin ideal formülleri ve mineralojileri (Konta 1995)

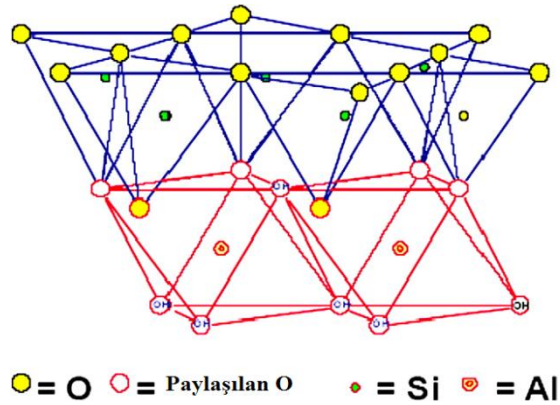
	Mineraloji	İdeal Formülü
Kaolinit,	Kaolinit	$\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}] (\text{OH})_8$
Serpantinit	Halloysit	$\text{Mg}_6[\text{Si}_4\text{O}_{10}] (\text{OH})_8$
Mika	İllit	$\text{K}_{<2}\text{Al}_3 [(\text{Si}_{>6}\text{Al}_{<2}) \text{O}_{20}] (\text{OH})_4 n\text{H}_2\text{O}$
Vermikülit	Trioktahedral Vermikülit	$(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}) [\text{Si}_{>}\text{Al}_8\text{O}_{20}] (\text{OH})_4 n\text{H}_2\text{O}$
Smektit	Montmorillonit	$\text{M}^{+X+Y}(\text{Al}, \text{Fe}^{2+})_4\text{-Y}[(\text{Si}_8\text{-X}$
	Beidellit	$\text{M}_X\text{Al}_4 [(\text{Si}_8\text{-X Al}_X) \text{O}_{20}] (\text{OH})_4 n\text{H}_2\text{O}$
	Nantronite	$\text{M}^{+X} \text{Fe}^{3+}_4\text{-Y} [(\text{Si}_8\text{-X Al}_X) \text{O}_{20}] (\text{OH})_4$
Profillit ve Talk	Saponit	$\text{M}^{+X}\text{Mg}_6 [(\text{Si}_8\text{-X Al}_X) \text{O}_{20}] (\text{OH})_4 n\text{H}_2\text{O}$
	Profillit	$\text{Al}_4[\text{Si}_8\text{O}_{20}] (\text{OH})_4$
Klorit	Talk	$\text{Mg}_6[\text{Si}_8\text{O}_{20}] (\text{OH})_4$
	Donbassit	$\text{Al}_4[\text{Si}_8\text{O}_{20}] (\text{OH})_4 \text{Al}_4 (\text{OH})_{12}$

3.2. Killerin Mineralojik Özellikleri

İnşaat Mühendisliği'nde genellikle kil zemin anlamında kullanılan kil, plastisitesi olan ve kohezif olup diğer mineral içeriklerinin yanında bazı kil minerallerini de içeren zeminlerdir. Kil zeminler için dane boyu dağılımının mühendislik davranışındaki etkisi oldukça az iken su, kilin davranışını oldukça etkiler. Kil mineralleri aktif elektrokimyasal olan partiküller olup dane boyutları 2 mikrondan küçüktür. Bu kilin zemin kütlelerinde oldukça az miktarda bulunması halinde bile zemin kitlesinin mühendislik özelliklerini etkileyeceği anlamına gelmektedir.

Kil mineralleri kaya formundaki minerallerin kimyasal ayrışmasından meydana gelen çok ince kristalimsi elementler olup yalnızca elektron mikroskobu ile görülebilirler. Birçok kil minerali vardır. Bunlardan başlıcaları; kaolinit, halloysit, montmorillonit, illit ve vermikülittir.

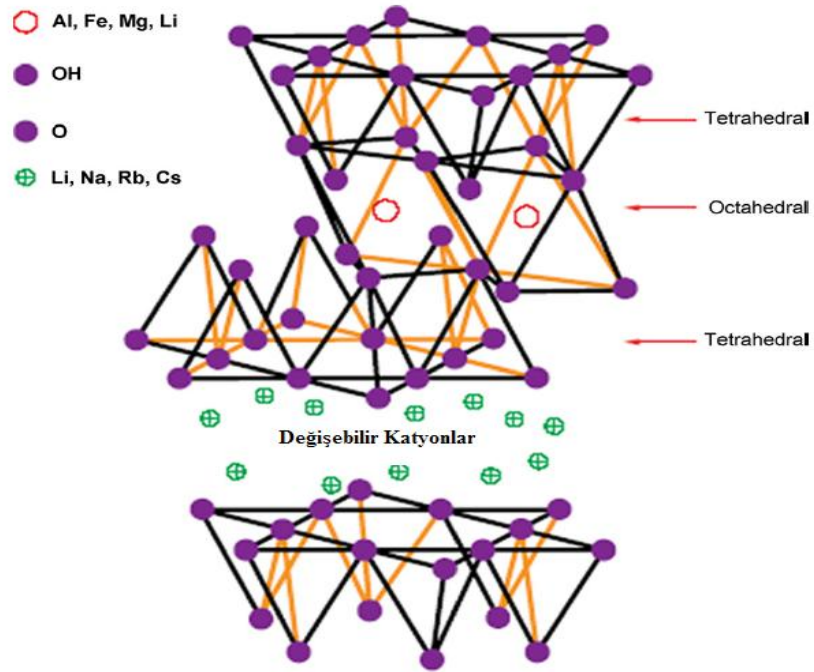
Kaolinit, 1 tetrahedral (silika) ve 1 oktahedralın (alümina veya gibsit) tekrarlı tabakalanmasında oluşan 1:1 kil mineralidir (Şekil 3.2). Kaolinite benzer diğer 1:1 tabakalı kil minerali Halloysittir.



Şekil 3.2. Kaolinitin yapısı (Bhattacharyya and Gupta 2008).

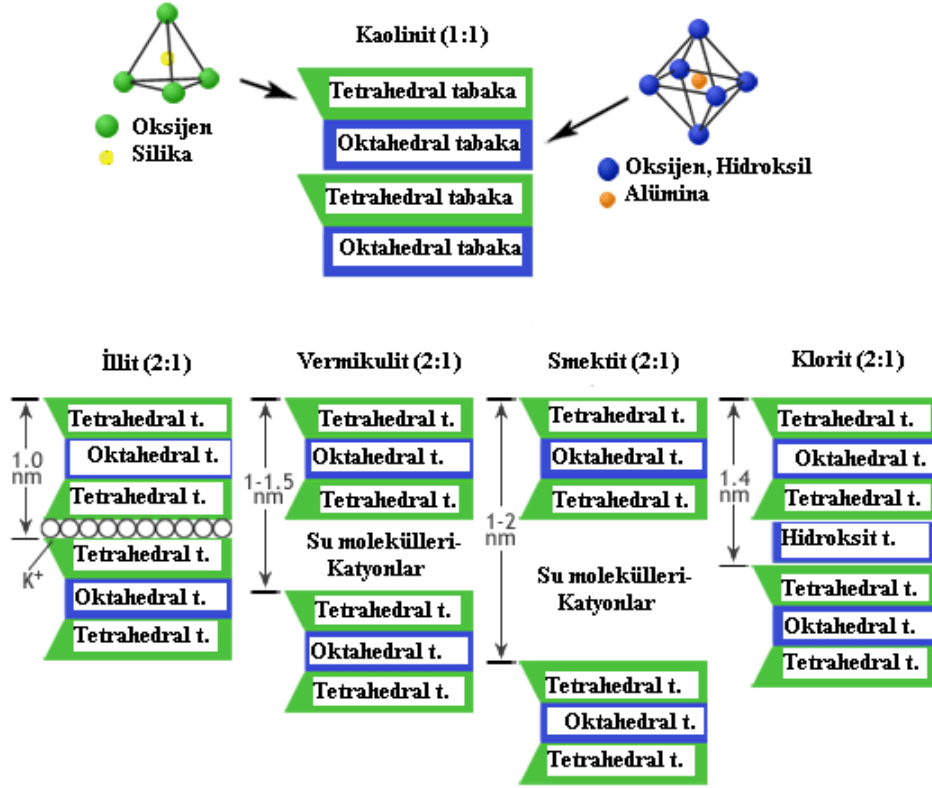
Çoğunlukla Smektit olarak isimlendirilen Montmorillonit 2:1 tabakalı olup, 2 silika ve 1 alüminanın birleşiminden meydana gelmektedir (Şekil 3.3). Silika tabakalarının üzerindeki Van der Waals kuvvetleri zayıftır ve oktahedral tabakada net bir yük açıklığı vardır. Tabaka aralarına su ve değişebilir iyonlar girebilir ve tabakaları ayırabilir.

Oldukça küçük olan montmorillonit minerallerinin suyla güçlü bir etkileşimleri vardır. Montmorillonit içeren zeminler şişmeye müsaittir. İllit minerali de montmorillonite benzer 2:1 tabaka yapısındadır. Ara tabakada potasyum iyonları yer alır.



Şekil 3.3. 2:1 tabakalı silikat yapısı (Beyer 2002)

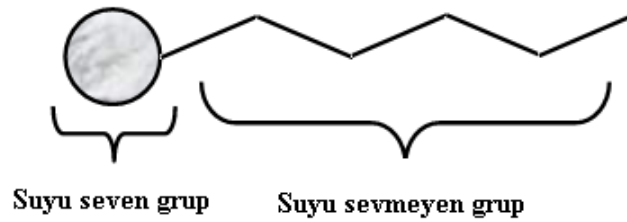
Klorit minerali 2:1:1 tabakasında olup, silika tabakası, alümina tabakası, diğer bir silika tabakası ve gipsit (Al) veya brusid (Mg) tabakasından oluşur. Klorit minerali şişmeye müsait olup, montmorillonite göre daha az aktiftir (Holtz and Kovacs 1981). Şekil 3.4'de farklı kil mineral yapıları gösterilmektedir (Lory 2009).



Şekil 3.4. Farklı kil mineral yapılarının şekilsel gösterimi

3.3. Yüzey aktif maddeler

Yüzey gerilimini artıran veya azaltan maddelere yüzey aktif maddeler denir (Skoog *et al.* 1991). Yüzey aktif maddelerin pek çoğu Şekil 3.5’de gösterildiği gibi, molekülün bir ucunda suyu seven (hidrofilik) ve diğer ucunda suyu sevmeyen (hidrofobik) bir grup bulundurulur.



Şekil 3.5. Temsili yüzey aktif madde

Yüzey Aktif Maddeler, endüstri de çok yaygın olarak kullanılan ürünler arasındadır.

Günlük yaşantıda:

- Otomobillerdeki motor yağlarında,
- İlaç yapımı ve biyoteknoloji alanında
- Çamaşır ve ev temizliğindeki deterjanlarda,
- Cevher zenginleştirmeye yönelik olarak,
- Elektronik baskı,
- Manyetik kaydetme,

ve benzeri birçok alanda kullanılmaktadır. Yüzey aktif maddeler anyonik, katyonik, noniyonik ve amfoterik olmak üzere dört gruba ayrılır.

1. Anyonik Yüzey Aktif Maddeler: Bir lipofilik (yağ seven) hidrokarbon grubu, bir veya iki hidrofil (suyu seven) grupla bağlantılı olan yüzey aktif maddelerdir. Çözelti içinde bir negatif iyon bir de pozitif yüklü iyon verecek tarzda ayrışmaya uğrarlar. Anyonik kısım yüzey aktif özellik gösterir.

2. Katyonik Yüzey Aktif Maddeler: Bir lipofilik hidrokarbon grubu, bir veya birden fazla hidrofilik grup ihtiva ederken, çözelti içinde anyon ve katyonik halde çözünürler. Katyonik kısım yüzey aktif özellik gösterir.

3. Noniyonik Yüzey Aktif Maddeler: İyonik olmayan bu moleküllerin iyon olamayan grubunda çoğunlukla çok sayıda oksijen, azot veya kükürt atomları vardır. Çözelti içinde iyonlarına ayrışmazlar.

4. Amfoterik Yüzey Aktif Maddeler: Çözelti içinde aynı molekülün aktif grubu hem pozitif hem de negatif yükünü ihtiva ederler. Yapılarına ve ortam şartlarına göre anyonik veya katyonik özelliklere sahip olabilirler.

3.4. 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.

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.

Polimer kompozitleri

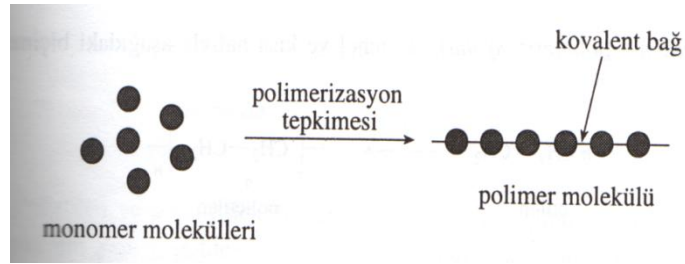
Polimer nanokompozitleri, nanometre boyutunda nanopartiküllerden meydana gelen kompozit malzemelerdir. Polimer kompozitleri hazırlama yöntemleri üç çeşittir. Bunlar doğrudan karıştırma, solüsyon karıştırma ve yerinde polimerizasyondur.

1. Doğrudan karıştırma: Polimer ve nano partikülü farklı fazlarda veya solüsyon içinde doğrudan karıştırma yoluyla malzeme elde edilmesidir. Geleneksel çözelti-

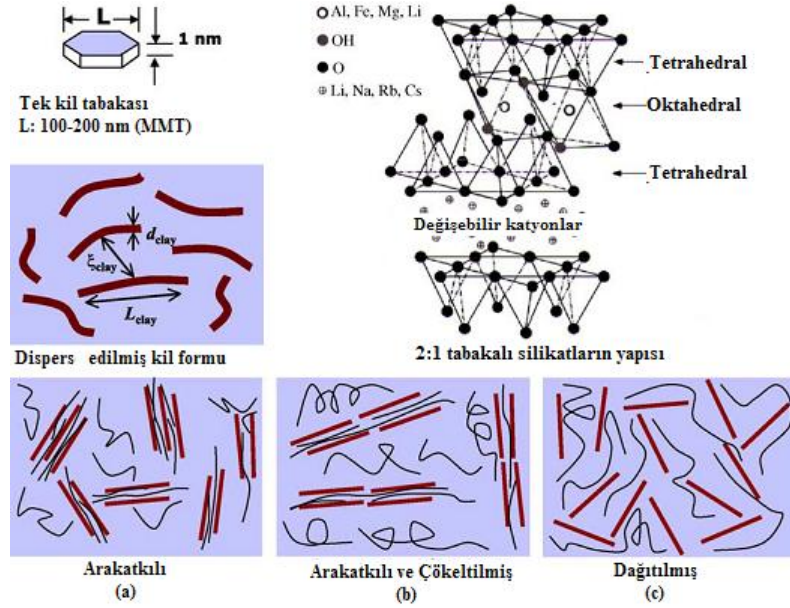
karışım metodu uygulanabilirse, yeni ürünler üretmek için en hızlı yöntem doğrudan karıştırma metodudur.

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

3. 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 3.6'de, üç farklı silikat tabakalı nanokompozite ait şematik gösterim Şekil 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.6. Polimer molekülünün oluşumu (Saçak 2004).



Şekil 3.7. Üç farklı polimer/silikat nanokompozitinin şematik gösterimi.
 *(a) arakatkılı, (b) arakatkılı ve çökeltilmiş, (c) pul pul dağıtılmış (Ray and Okamoto 2003)

3.5. Kompozitler

İki veya daha fazla sayıdaki aynı veya farklı gruptaki malzemelerin, en iyi özelliklerini bir araya toplamak ya da ortaya yeni bir özellik çıkarmak amacıyla, bu malzemelerin makro seviyede birleştirilmesiyle oluşan malzemelere kompozit malzemeler denir. Başka bir deyişle birbirlerinin zayıf yönlerini düzelterek üstün özellikler elde etmek amacı ile bir araya getirilmiş değişik tür malzemelerden veya fazlardan oluşan malzemeler olarak da adlandırılabilir. Nano boyuttaki dolgu maddesinin polimer matrisi içerisinde dağıtılmasıyla ortaya çıkan kompozit malzemeler ise nanokompozit malzemelerdir. Kompozit malzemeler; polimer kompozitler, metal kompozitler, seramik kompozitler ve nano kompozitlerden oluşur.

1. Polimer Kompozitler

Liflerle pekiştirilmiş kompozitlerdir. Polimer kompozitlerde kullanılan en önemli bağlayıcı malzeme polyester ve epoksidir. Pekiştirici liflerin miktarı arttıkça kompozitin mukavemeti yükselir. Polimer kompozitlerin en önemli özellikleri yüksek özgül

mukavemet (mukavemet/ özgül ağırlık) ve özgül elastisite modülüdür. Dolayısıyla bu özelliklerden dolayı diğer malzemelere üstün durumdadırlar.

2. Metal Kompozitler

Bir metalik fazın bazı takviye malzemeleri ile eritme, sıcak presleme gibi ileri teknikler uygulanmasıyla üretilen malzemelerdir.

3. Seramik Kompozitler

Yaygın olarak Al_2O_3 , SiC, Si_3N_4 gibi bileşiklerin amaca göre bir yada bir kaçının beraber kullanılmasıyla elde edilen kompozitlerdir. Yüksek sıcaklıklara karşı çok iyi dayanım göstermekle beraber rijit ve gevrek bir yapıya sahiptirler. Ayrıca elektriksel olarak çok iyi bir yalıtkanlık özelliği gösterirler (Anonim 2009).

4. Kompozitlerin Yapısı

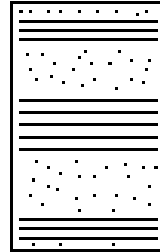
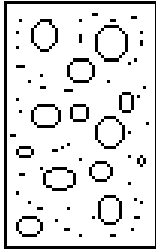
Kompozitler temelde bir sürekli ve bir de süreksiz olmak üzere iki fazdan oluşurlar. Sürekli faz; matris, süreksiz faz ise; güçlendirici olarak adlandırılır. Güçlendirici faz lif ya da parçacık halinde olabilir. Lif türünün en yaygın örnekleri cam, karbon veya polimer lifleridir. Parçacık türü için mika ve talk örnek olarak verilebilir. Matris ise çoğunlukla epoksi reçine, poliester/stiren sistemleri veya poliimid türü bir polimerdir. Kompozit malzemelerin matris elemanı, takviye elemanı ve katkı maddeleri olmak üzere üç ana elemanı bulunmaktadır.

1.Matris Elemanı: Kompozit malzemeyi oluşturan ana malzemedir.

2.Takviye Elemanı: Matris malzeme içinde yer alır ve kompozit yapının temel mukavemet elemanıdır.

3.Katkı Maddeleri: Matrise özelliklerin geliştirilmesi amacıyla ilave edilen, dolgular, kimyasallar ve diğer katkılarıdır. Malzemelerin şekline göre aşağıda sıralandığı şekilde sınıflandırılabilir. Ayrıca sınıflandırılma Şekil 3.8'de gösterilmiştir.(Anonim 2009).

- Elyafli kompozitler,
- Parçacıklı kompozitler,
- Tabakalı kompozitler,
- Karma kompozitler (Deniz2007) şeklinde sınıflandırılabilir.



(a)Daneli kompozitler (b)Lifli kompozitler (c)Tabakalı kompozitler

Şekil 3.8. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması (Ünal 2002)

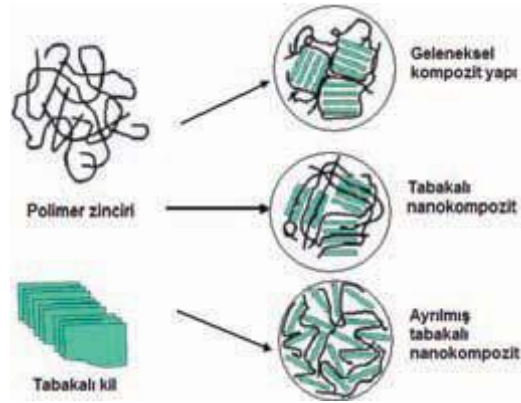
Kompozit malzemeler çok sayıda fayda sağlamaktadır. Bunlar; yüksek mukavemet, hafiflik, tasarım esnekliği, korozyon dayanımı, kalıplama kolaylığı, şeffaflık özelliği, yanmazlık özelliği, sıcaklıktan etkilenmeme, ahşap, beton ve demir yüzeylere uygulanma imkânı olarak sıralanabilir (Anonim 2009e).

Kompozit malzemelerin bu avantajlarının yanında birtakım dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlar; kompozit malzemelerin değişik doğrultularda değişik mekanik özellikler göstermesi ve aynı kompozit malzeme için çekme, basınç, kesme ve eğilme mukavemet değerlerinin farklılıklar göstermesi olarak sıralanabilir. Kompozit malzemelerin dezavantajlı yanlarını ortadan kaldırmaya yönelik teorik çalışmalar yapılmakta olup, bu çalışmaların olumlu sonuçlanması halinde kompozit malzemelerin metalik malzemelerin yerini alabileceği düşünülmektedir.

3.6. Kil Kompozitler

Kil taneciklerle takviye edilmiş polimerik kompozit yapılar kil kompozit olarak adlandırılırlar. Şekil 3.9'da 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 ısı iletkenliğe sahip olmaları istenmektedir, bu yüzden ısı iletken olan polimerler üzerine çalışmalar yapılmaktadır.

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 nanokompozit malzemenin mekanik özellikleri kil miktarındaki artışa bağlı olarak önemli miktarlarda artış göstermektedir.



Şekil 3.9. Kil taneciklerle takviye edilmiş polimerik kompozit yapı (Polimerik Nanokompozitler Şen 2009)

4. MATERYAL ve YÖNTEM

4.1. Materyal

4.1.1. Katkısız Kil Numuneleri

Bu çalışmada, kullanılan kil numune Erzurum (Oltu-Narman Havzası) çevresinden alınmıştır. Araziden alınarak laboratuara getirilen killer etüvde (105°C) kurutulduktan sonra Los Angeles aşınma cihazında öğütülmüştür. Her malzeme üretimi için öğütülmüş 700 g kil alınmış, 2 litre damıtık suyla mekanik karıştırıcıda 1000 dev/dakikada yaklaşık yarım saat karıştırılarak kil-su süspansiyonu elde edilmiştir (Şekil 4.3.). Süspansiyon 2 litrelik mezüre boşaltılarak, 20 dakika bekletilerek, silt boyutundaki malzemenin dibe çökmesi sağlanmıştır.

$$D^2 = He/900t \quad (\text{mm cinsinden}) \quad (4.1.)$$

bağıntısından yararlanılarak süspansiyondaki malzemenin boyutu mikron cinsinden hesaplandığında, malzeme boyutunun 20 mikronun altında olduğu görülmüştür (Uzuner 2005). 20 mikrondan büyük olup dibe çöken malzeme uzaklaştırılmış, üstte kalan kil-su süspansiyonu laboratuvar ortamında kurutularak deneylerde kullanılacak katkısız kil numuneleri elde edilmiştir. Katkılı kil üretimi için kil-su süspansiyon yoğunluğundan faydalanılarak;

$$\rho = M/V \quad (4.2.)$$

eşitliğinde, M kullanılacak kil numunesinin ağırlığı, ρ süspansiyon yoğunluğu olmak üzere, kullanılması gerekli kil miktarı hesaplanmış ve yeterli miktar süspansiyon (V, hacim olarak) alınarak organokil numunelerin elde edilmesinde kullanılmıştır.



Şekil 4.1. Narman havzasından temin edilmiş Sarı Kil numunesi

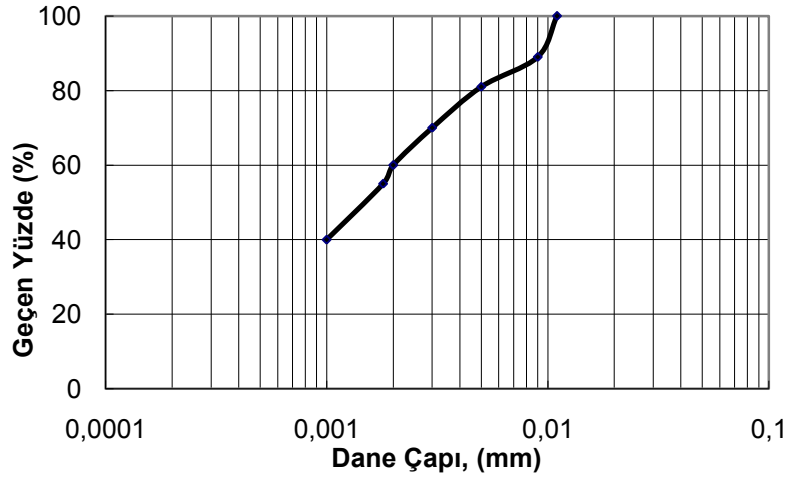


Şekil 4.2 Öğütülerek elde edilmiş (Doğal) Sarı Kil numunesi



Şekil 4.3. Çöktürmeye bırakılmış kil süspansiyonları

Kile ait bazı geoteknik özellikler, Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Zemin Mekaniği Laboratuvarı'nda yapılan deneylerle belirlenmiştir. ASTM D 422'ye göre yapılan hidrometre analizi sonucu elde edilen dane çapı dağılım eğrisi Şekil 4.4'te verilmiştir. Bu eğriden 0,002 mm den küçük dane miktarı %60 olarak bulunmuştur. Kile ait bazı geoteknik özellikler ise Çizelge 4.1'de gösterilmektedir.



Şekil 4.4. Deneysel olarak kullanılan ham kilin granülometri eğrisi

Çizelge 4.1. Ham kile ait bazı geoteknik özellikler

Geoteknik Özellikler	Doğal Kil
< 0,002 mm, (%)	60
Dane birim hacim ağırlığı, (gr/cm ³)	2,55
Likit limit, (%)	90
Plastik limit, (%)	40
Plastisite indisi, (%)	50
Zemin Sınıfı, (USCS)	CH

Ham kile ait XRD yarı nicel mineralojik analizleri Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Araştırma ve Uygulama Enstitüsü'nde yaptırılmıştır. Çizelge 4,2'de verilen sonuçlara bakıldığında malzemenin %93 oranında kil minerali ve %7 oranında kil olmayan minerallerden oluştuğu görülmüştür. Kil mineralinin ise %60 Smektit, %37 Kaolin, %3 İllit minerali içerdiği belirlenmiştir. Ayrıca yine analizleri Hacettepe Üniversitesi

Yer bilimleri Araştırma ve Uygulama Enstitüsü'nde yaptırılan XRF analizi sonucu elde edilen verilere göre belirlenen, ham kil numunesine ait kimyasal bileşim Çizelge 4.3'te verilmiştir. Çizelge 4.3. incelendiğinde, Alüminyum, Magnezyum, Kalsiyum ve Demirli bileşiklerin diğer bileşiklere oranla daha fazla bulunduğu görülmüştür. Bu katkısız kil numunesinin Smektit içeriğinin fazla olduğunun göstergesidir.

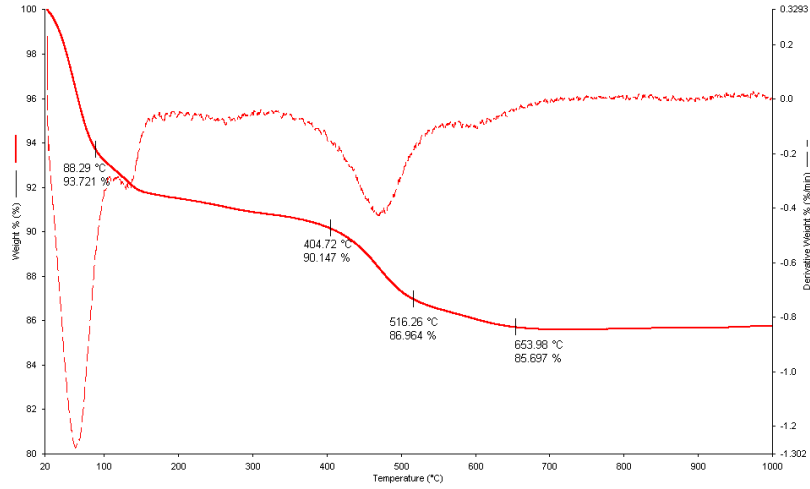
Çizelge 4.2. Ham kil numuneye ait XRD yarı nicel mineralojik analiz sonuçları

	Tüm Kayaç	(%)	Kil Fraksiyonu	(%)
Doğal Kil	Kil	93	Smektit	60
	Feldispat	3	Kaolin	37
	Kuvars	4	İllit	3
			Klorit	0

Çizelge 4.3.. Ham kil numunelerin kimyasal bileşimi

Sembol	Sarı Kil (%)
Na ₂ O	0,02
MgO	2,82
Al ₂ O ₃	20,67
SiO ₂	53,28
K ₂ O	0,82
CaO	1,71
TiO ₂	0,63
Fe ₂ O ₃	6,13
LOI	14
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	2,57
SiO ₂ /Fe ₂ O ₃	8,69
SiO ₂ /MgO	18,89
SiO ₂ /CaO	31,15

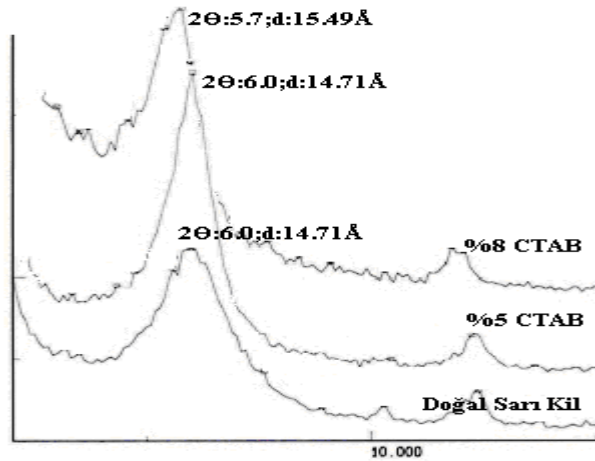
Ham kile ait XRD analizleri (Optik yöntemler ile malzemelerin nitel ve nicel özelliklerini belirleme.) Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde yaptırılmıştır. Katkısız kil numunelerin TG-DTA analizleri (Minerallerin veya malzemelerin ısı artışı karşısındaki özelliklerini belirlemek için yapılan çalışmalardır.) Şekil 4.5'de verilmiştir.



Şekil 4.5. Katkısız kil numunelerin TG-DTA analizleri

4.1.2. Yüzey aktif madde

Bu çalışmada kimyasal katkı olarak organik yüzey aktif madde olan CTAB kullanılmıştır. CTAB (Hegzadesil trimetil amonyum bromit) ‘‘CTAB’’ $[(C_{16}H_{33})N(CH_3)_3Br]$ ‘ın üretici firma katalogundan temin edilen bazı kimyasal özellikleri Çizelge 4.4’de gösterilmiştir. CTAB katkılı kil numunelerine ait XRD analizleri Şekil 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.6. CTAB katkılı kil numunelerin XRD analizler

Çizelge 4.4. Deneyleerde kullanılan CTAB'ın özellikleri

Kimyasal Adı	Hegzadesil trimetil amonyum bromit
Formülü	$C_{19}H_{42}BrN$ ($C_{16}H_{33}$) $N(CH_3)_3Br$
Mol Kütlesi	364,48 g/mol
Kritik Misel Konsantrasyonu (CMC)	$9 \cdot 10^{-4}$ mol/L, 328 ppm

4.1.3. Polimer

Bu çalışmada polimer malzeme olarak kullanılan kimyasal katkı ise Akrilonitril bütadien stiren veya kısaltılmış ismi ile ABS'dir. Kimyasal formülü ($C_8H_8 \cdot C_4H_6 \cdot C_3H_3N$) x kalıp yolu ile üretilen ürünlerde çok yaygın olarak kullanılan hafif ve sert bir polimerdir. Borular, otomotiv parçaları, koruyucu kasklar ve oyuncaklar kullanım alanlarında birkaçıdır.

Bu malzeme polibütadien içinde stiren ve akrilonitrilin polimerizasyonu ile elde edilen bir kopolimerdir. İçerdiği madde oranları 15% - 35% arası akrilonitril, 5% - 30% arası bütadien ve 40% - 60% arası Stiren olarak değişiklik gösterebilir. Sonuç olarak, Poli(stiren ve akrilonitrilin) kısa zincirleri ile polibütadienin uzun zincirlerinin çapraz bağlanmasıdır. Komşu zincirlerden nitril grupları, kutupsal olarak diğer zincirleri çekip bağlayarak, saf polistirenden daha dayanıklı olan, ABS oluştururlar. Stiren plastiğe parlaklık ve düzgün yüzey verir. Bütadien, kauçuk özelliklerini, düşük sıcaklıkta esnek olabilmeyi sağlar. ABS, -25 °C ve 60 °C arasında kullanılabilir. 1 kg ABS üretimi için, hammadde olarak 2 kg petrol ve enerjiye ihtiyaç vardır (Anonim 2007).

Çizelge 4.5. Deneyleerde kullanılan ABS'nin özellikleri

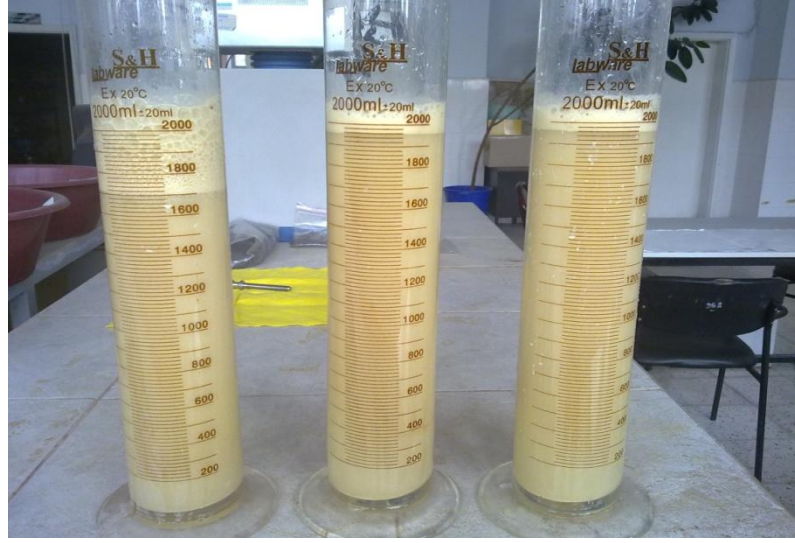
Diğer İsimleri	Akrilonitril bütadien stiren (ABS)
Formülü	($C_8H_8 \cdot C_4H_6 \cdot C_3H_3N$) x
Mol Kütlesi	104 g/mol
pH	6-9

4.2. Yöntem

Bu kısımda çalışma kapsamında yapılan deneyler hakkında bilgi verilmiştir. Öncelikle katkılı kil numunelerin elde edilmesi anlatılmış, ardından sırasıyla elektrokinetik deneyler, zeta potansiyeli, kıvam limitleri, dane birim hacim ağırlık deneyi, kompaksiyon, mukavemet ve su emme deneyleri açıklanmıştır.

4.2.1. Organokil Numunelerin Elde Edilmesi

Katkısız kile adsorbe edilecek katkı yüzdesinin belirlenmesinde Atatürk Üniversitesi Eğitim Fakültesi Kimya Eğitimi Araştırma Laboratuvarı'nda yapılmış olan adsorbsiyon deneyleri dikkate alınmıştır. Elde edilen doğal kil numuneleri süspansiyondan hacim olarak alınmış, organokil numunelerin elde edilmesinde süspansiyon kıvamındaki killer kullanılmıştır. Organokil numunelerin hazırlanmasında %5 CTAB ve %8 CTAB konsantrasyonlar kullanılmıştır. Adsorbsiyon deneyleri sonucunda belirlenen oranlara göre, CTAB tartılarak, manyetik karıştırıcıda yarım saat süre ile karıştırılarak çözülmesi sağlandıktan sonra 4 lt saf suya ilave edilmiştir. Saf su, katkılı kil kimyasal karışımı mekanik karıştırıcıda ortalama 1200dev/dakikada 30 dakika karıştırılmıştır. Araziden getirilmiş ve öğütülmüş olan kil, Stokes Yasası'ndan faydalanılarak süspansiyon halinde elenerek elde edilen 20 mikronun altındaki kısım içerisinde 40 g kil barındıracak hacimde bölünmüş, süspansiyon halinde karışmakta olan saf su-kimyasal karışımına eklenerek 20 dakika (adsorbsiyon gerçekleşinceye kadar) karıştırılmıştır (Şekil 4.8.). Karışım süzgeç kâğıdından süzülerek, CTAB ve kilden oluşan malzemenin süzgeç kâğıdı üzerinde toplanması sağlanmıştır (Şekil 4.9.). Numune kuruduktan sonra süzgeç kâğıdından alınmış böylece katkılı kil numuneler elde edilmiştir.



Şekil 4.7. Adsorbsiyon sonrasında kil danelerinin damıtık su içerisinde alt kısımda birikimi



Şekil 4.8. CTAB–Kil süspansiyonunun hazırlanışı



Şekil 4.9. Organokil numunesi süzgeç kâğıdında toplanırken

4.2.2. Elektro Kinetik Özellikler

1.Katyon Değişim Kapasitesi (KDK) Deneyi

Bir katyonun aynı değerlikteki başka bir katyonla veya orijinal katyonun değerliğinin yarısı değerlikte olan iki katyon ile yer değiştirmesine değişebilir katyon denmektedir. Potasyum ve sodyuma nazaran kalsiyum ve magnezyum zeminlerdeki en baskın değişebilir katyonlardır. Katyonların değişme kolaylığı başta katyon değerliği olmak üzere birçok faktöre bağlıdır. Yüksek değerlikli katyonlar daha düşük değerlikli katyonların yerini daha kolay almaktadır. Aynı değerlikteki katyonlar için hidratlı katyonların boyutu önem kazanmaktadır (Holtz and Kovacs 1981).

Katyon değişimi için, 0,5 mm elekten elenmiş 5 gr. numune alınarak pH'ı 8,2 olan sodyum asetat (NaCH_3COO) ve pH'ı 7 olan amonyum asetat ($\text{NH}_4\text{CH}_3\text{COO}$) çözeltiler hazırlanmıştır. Deneyin amacı, kil ara yüzeylerini ve dış yüzeylerini sodyum ile doyurmak daha sonra etil alkolle yıkayarak numunelerdeki tuzları ortamdan uzaklaştırarak numuneleri amonyum asetat çözeltisi ile işleyerek sodyuma göre daha aktif olan amonyumun sodyumla yer değiştirmesini sağlamak ve atomik adsorbsiyon cihazında sodyum ile amonyumun ne oranda yer değiştirdiğini bulmaktır. Bu amaçla numuneler önce 33 ml sodyum asetat çözeltisi ile muamele edilip 210 rpm'de 5dakika

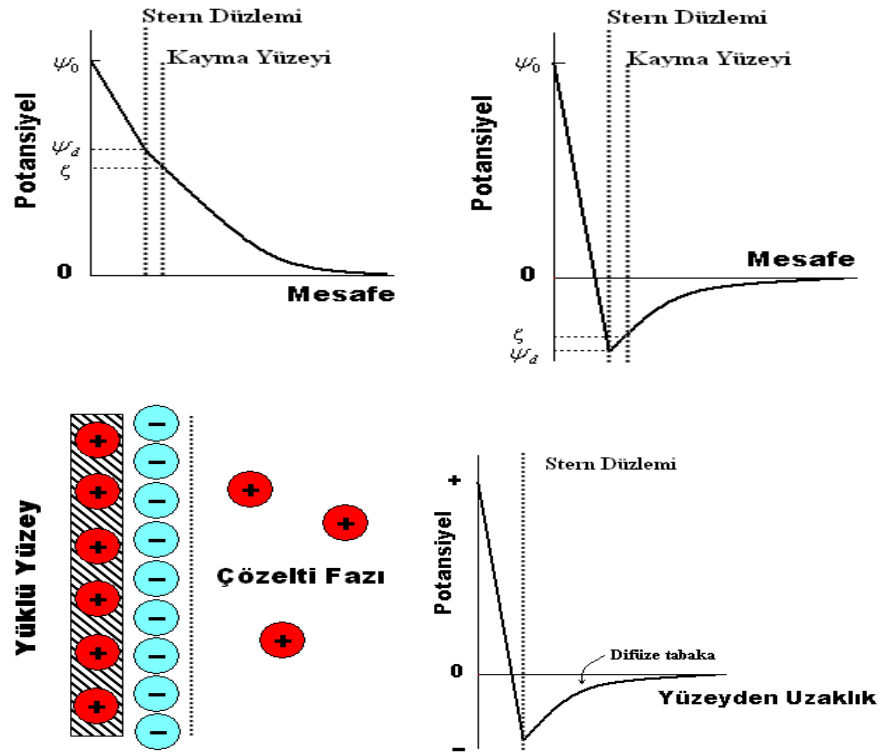
çalkalanır ve sonrasında 4200 rpm'de 5dakika boyunca santrifüj edilir ve bu işlemler 3 kez tekrarlanır. Aynı işlemler önce etil alkol ve daha sonra ise amonyum asetat çözeltisi ile 3'er kez tekrarlanır ve son amonyum asetat çözeltisi 100 mililitreye tamamlanarak atomik adsorbsiyon cihazında amonyum asetat çözeltisi içinde sodyum analizi yapılarak sonuca ulaşılır (Akbulut ve diğerleri 2008). Bu deneyler Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü'nde yaptırılmıştır.

Çizelge 4.6. Kil minerallerinin Katyon Değişim Kapasiteleri (Mitchell 1993)

Kil Minerali	CEC (meq/100g)
Kaolinit	10-20(3-15)
Montmorillonit	80-150
Klorit	10-40
İllit	10-40

2.Zeta Potansiyel Deneyi

Elektriksel çift tabaka (electrial double layer-DDL) ile ilgili önemli bir kavram olan zeta potansiyeli (ζ), 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 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.



Şekil 4.10. Zeta potansiyelinin stern düzlemi ve kayma yüzeyi boyunca değişimi (Rosen 1989)

Hazırlanan CTAB-Kil süspansiyonlarındaki partiküllerin zeta potansiyelleri, Atatürk Üniversitesi Kazım Karabekir Eğitim Fakültesi Kimya Eğitimi Anabilimdalı araştırma laboratuvarında Zeta Metre 3,0+ (Zeta-Meter, Inc., Staunton, VA, USA) cihazı kullanılarak, cihazın kullanma kılavuzunda belirtilen yönergeler doğrultusunda, süspansiyonların doğal pH'larında ölçülmüştür. 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. Ölçülen zeta potansiyel değerleri için sıcaklık farkıyla ilgili düzeltmeler;

$$\zeta_d(\text{mV}) = C_T \zeta_0 \quad (4.3.)$$

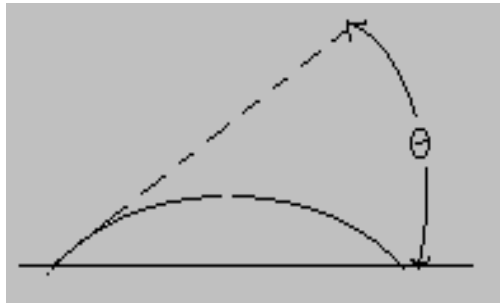
bağıntısı kullanılarak yapılmıştır. Bu eşitlikte ζ_d , C_T , ζ_0 sırasıyla düzeltilmiş zeta potansiyeli değerini, sıcaklıkla ilgili düzeltme faktörü ve ölçülmüş zeta potansiyel değerini göstermektedir.

3.Elektrik İletkenliği Deneyi

Bu deney de 0,2 g elenmiş numune 100 ml damıtık su ile çalkalayıcıda 30 dakika süre çalkalanarak süspansiyonlar hazırlanmış, süspansiyonların elektriksel iletkenlikleri, Atatürk Üniversitesi Kazım Karabekir Eğitim Fakültesi Kimya Eğitimi bilimsel araştırma laboratuarında bulunan WTW LF 521 Karl Kolb Kondüktometre kullanılarak (WTW Inc., Weilheim, Germany) ölçülmüştür. Süspansiyonların dengeye gelmesi için çalkalanma her 30 dakikada bir okumalar alındıktan sonra 4x30 dakikalık sürede tekrarlanmıştır.

4.Temas Açısı Ölçümü

Çalışmada, katyonik yüzey aktif madde olan CTAB'la modifiye edilmiş kil örneklerinin temas açısı ölçümleri Atatürk Üniversitesi Kazım Karabekir Eğitim Fakültesi Kimya Eğitimi bilimsel araştırma laboratuarında bulunan CAM 101 (KSV Instruments, Finland.) cihazı kullanılarak yapılmıştır. 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 μL hacmindeki bir sıvı (su) damlası bırakılır. 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 4.11. Temsili dane yüzeyindeki su damlasının temas açısı

5.pH Analizi

pH bir çözeltinin asitlik veya bazlık derecesini tarif eden ölçü birimidir. 0'dan 14'e kadar olan bir skalada ölçülür. pH tanımı H^+ aktivitesinin eksi logaritması olarak verilebilir. Diğer bir ifadeyle, $pH = -\log [H^+].\gamma_H$ 'dır. pH teriminde p, eksi logaritmanın matematiksel sembolünden ve H ise Hidrojenin kimyasal formülünden türetilmişlerdir (Harris 1994). Kil zeminlerin çoğu mühendislik özelliği pH değeri ile önemli ölçüde değiştiğinden katkılı ve katkısız numunelerin sulu çözeltilerinin pH'larının bilinmesi önem arz etmektedir. Ayrıca pH'ın yüksek olması zemin bünyesindeki $(OH)^-$ hidroksitinde bulunan H^+ kationunun zemin suyuna geçişini artırır. Bunun sonucunda da danelerin negatif yükü artar (Mitchell 1993). Sulu çözeltilerin pH değerleri genelde pH-metre adı verilen cihazlar yardımı ile ölçülür. Bu ölçüm Atatürk Üniversitesi Kazım Karabekir Eğitim Fakültesi Kimya Eğitimi bilimsel araştırma laboratuvarında yürütülmüştür. Deneyde hazırlanan süspansiyonların denge pH'ı belli aralıklarla yapılan pH ölçümlerinden belirlenmiştir. Süspansiyonlar 30 dk süreyle sıcaklık kontrollü bir çalkalayıcıda çalkalanmış ve süre sonunda pH ölçümleri yapılmıştır. Ölçülen pH değerleri sabitleninceye kadar ölçüme devam edilmiştir. Sabit kalan pH değerleri denge pH değerleri olarak alınmıştır.

4.2.3. Dane Birim Hacim Ağırlık Deneyi

Katkısız ve organokil numunelerin dane birim hacim ağırlıkları ASTM D 4892-89 esas alınarak İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü'nde Helyum piknometresi yöntemi ile yaptırılmıştır. 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. 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).

4.2.4. Kıvam Limitleri

Kıvam limiti deneylerinden likit limit BS 1377, Part 2, 1990'a göre yapılmıştır. Numunelere ait likit limit, düşen koni yöntemi ile belirlenmiştir. 40 no'lu elekten elenen zemin numunesine su ilave edilerek yoğrulmuş numune, penetrasyon kalıbına yerleştirilerek, yüzeyi düzlendikten sonra koni düşürülerek 5 saniye sonundaki batma miktarı tespit edilmiştir. Bu işlem su muhtevası artırılmak suretiyle farklı su içeriklerinde tekrarlanmıştır. Deney sonunda her bir batma için elde edilen su muhtevası değerleri bulunmuş, 20 mm lik batmaya karşılık gelen su muhtevası değeri likit limit değeri olarak kaydedilmiştir. Plastik limiti belirlemek için TS 1900 ve ASTM D 4318 esas alınmıştır. Hazırlanmış zemin numunesine bir miktar su karıştırılarak yoğrulmuş, yoğrulan zemin numunesinden bir miktar alınmış, cam bir yüzey üzerinde 3 mm çapında üzerinde kopmaların meydana geldiği çubuk elde edilinceye kadar elle yuvarlatılmıştır. Elde edilen çubuğun su muhtevası değeri belirlenmiş, plastik limit değeri olarak alınmıştır.



Şekil 4.12. Katkısız kil numunesine kıvam limitleri deneyleri yapılırken

4.2.5. Kompaksiyon Deneyi

Kompaksiyon deneyleri, standart kompaksiyon deneyi ile yapılmıştır. Deneylerde ASTM D 698 esas alınmıştır (Şekil 4.13.). Numunelere ait kompaksiyon parametreleri, optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değerleri, standart kompaksiyon deneyi ile belirlenmiştir. Kil numunesine su ilave edilerek yoğrulmuş, 10,2 cm yüksekliğinde ve 11,7 cm çapında metal silindir kompaksiyon kalıbı içerisine her tabakaya 25'er vuruş yapılmak suretiyle, standart kompaksiyon deneyinde üç tabaka halinde uygulanmıştır. Deney sonucunda yatay ekseninde su muhtevaları, düşey ekseninde kuru birim hacim ağırlıkları yer almak suretiyle çizilen kompaksiyon eğrilerinden numunelerin maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su muhtevası değerleri belirlenmiştir.



Şekil 4.13. Katkısız kil numunesine kompaksiyon yapılırken

4.2.6. Mukavemet Deneyleri

1.Serbest Basınç Deneyi

Yapılan serbest basınç deneylerinde ASTM D 2166 esas alınmıştır. Numunelerin serbest basınç mukavemeti değerleri optimum su muhtevasında hazırlanmış olan

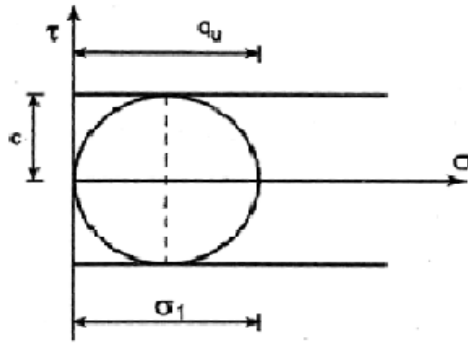
kompaksiyon numunelerinden, 35 mm çapında, 70 mm yüksekliğindeki silindir metal tüpler içerisine alınan örnekler üzerinde yapılan serbest basınç deneyleriyle belirlenmiştir. Silindir tüplerden çıkartılan numuneler serbest basınç deney aletindeki yatay plakalar arasına yerleştirilmiş, numunelere düşey yönde basınç uygulanmış, kırılma anındaki en yüksek basınç değerleri yük halkasından okunmuştur.

$$q_u = P_{\max} / A_f \quad (4.5.)$$

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 4.14'de serbest basınç deneyi için tipik bir Mohr Dairesi verilmiş olup, kohezyon (c);

$$c = q_u / 2 \quad (4.6.)$$

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



Şekil 4.14. Serbest basınç deneyi için çizilmiş olan Mohr Dairesi (Uzuner 2005).

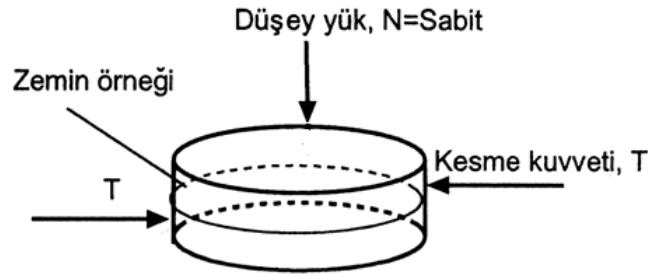
2.Kesme Kutusu Deneyi

Numunelerin kayma mukavemeti parametreleri olan içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerleri ASTM D 3080'e göre, optimum su muhtevasında hazırlanmış olan

kompaksiyon numunelerinden, 6,5 mm çapında, 13 mm yüksekliğindeki silindir metal tüpler içerisine alınan örnekler üzerinde yapılan kesme kutusu deneyleriyle belirlenmiştir. Silindir tüplerden çıkartılan numuneler çapı 6 cm olan kesme kutusu içerisine yerleştirildikten sonra 50,100,200 kPa olmak üzere 3 farklı yük kademesinde yüklenerek basınç değerleri yük halkası üzerindeki deformasyon saatinden okunmuştur. Kırılma anındaki en yüksek basınç değeri kaydedilmiş, numunelerin kohezyon ve içsel sürtünme açısı olan kayma mukavemeti parametreleri bulunmuştur (Bağıntı 4.7.). Şekil 4.15'de kesme kutusu deneyinin şematik görünümü verilmiştir.

$$\tau = c + \sigma \tan\phi \quad (4.7.)$$

eşitliğinden bulunmuştur.

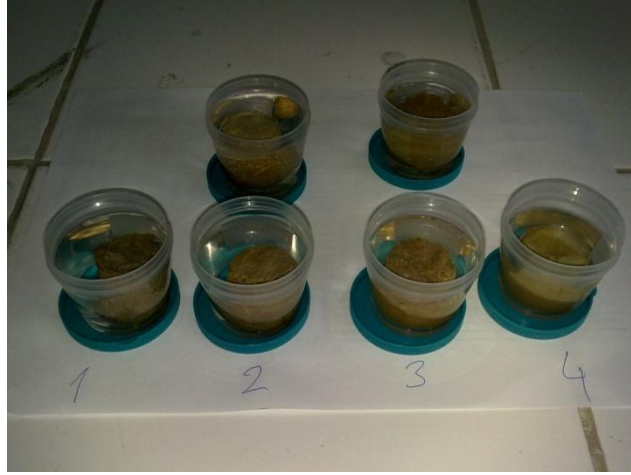


Şekil 4.15. Kesme kutusu deneyinin şematik görünümü (Uzuner 2005).

4.2.7. Su Emme Deneyi

Su emme deneyi TS-699 standardına göre yapılmıştır. ASTM D 3080'e göre optimum su muhtevasında hazırlanmış olan katkısız, organokil ve poliorganokil numuneler 24 saat süreyle 105 °C sıcaklıkta etüvde kurutulmuş ve kurutulduktan sonra 30 dakika oda sıcaklığında bekletilmiştir. Daha sonra kurutulmuş numuneler, içinde 20±5 °C sıcaklıkta damıtık su bulunan bir kaptaki yaklaşık ¼'ü kadar suya daldırılır. Sonra kaba 1 saat arayla su ilave edilerek kabın tamamının su ile dolması sağlanır. Sonra numuneler tamamen su altında kaldıktan 24 saat sonra sudan çıkarılır. Üzerindeki su damlaları bir bez parçası ile silinip alındıktan sonra süratle numuneler tartılarak tekrar su içine konulur. Bundan

sonra bu tartma işlemi 24 saat aralıklarla tekrarlanır. Tamamen su altında bırakılan numuneye bu şekilde su emdirmeye devam edilir ve 24 saat ara ile yapılan tartımlarla bulunacak ağırlık artışı bir evvelki tartının %0,05'inden fazla değil ise son tartım suya doymuş değişmez ağırlık olarak tespit edilir.



Şekil 4.17. Katkısız, organokil ve poliorganokil numunelere su emme deneyleri yapılırken

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

Aşağıdaki alt başlıklarda, katkısız kil numuneleri ile bu killere belirlenen oranlarda CTAB ve Stiren katılarak hazırlanan numuneler üzerinde yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar, çizelge ve grafiklerle gösterilmiştir. Sonuçların güvenilirliği açısından her bir deney (analiz veya ölçüm) en az 3 kez tekrarlanmıştır. Katkısız kil numuneler için bulunan değerler katkılı kil numunelerinininki ile karşılaştırılıp yorumlanmaya çalışılmıştır.

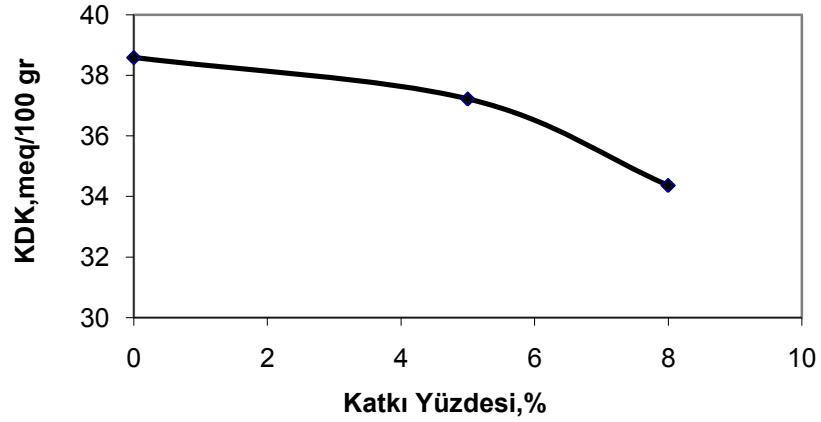
5.1. Elektrokinetik Özellikler

1.Katyon Değişim Kapasitesi (KDK)

Katkısız ve organokil numuneler üzerinde yapılan ölçümlerden elde edilen katyon değişim kapasitesi (KDK) değerleri Çizelge 5.1’de, katyon değişim kapasitesi-katkı oranı ilişkisi ise Şekil 5.1’de verilmiştir. Verilen değerlerden de görüleceği gibi gerek katkısız ve gerekse katkılı numuneler için katkı oranının artışı ile KDK değerlerinde kısmi bir azalma gözlenmiştir. Katkısız ve organokil numunelerinin KDK değerleri yaklaşık 34-39 meq/100gr aralığında değişmiştir. Burada artan CTAB yüzdesinin KDK değerlerini azalttığı deney sonuçlarından görülebilir.

Çizelge 5.1. Katkısız ve organokillerin Katyon Değişim Kapasitesi (KDK)

Katkı (%)	KDK, meq/100g
Katkısız	38.59
%5 CTAB	37.22
%8 CTAB	34.36

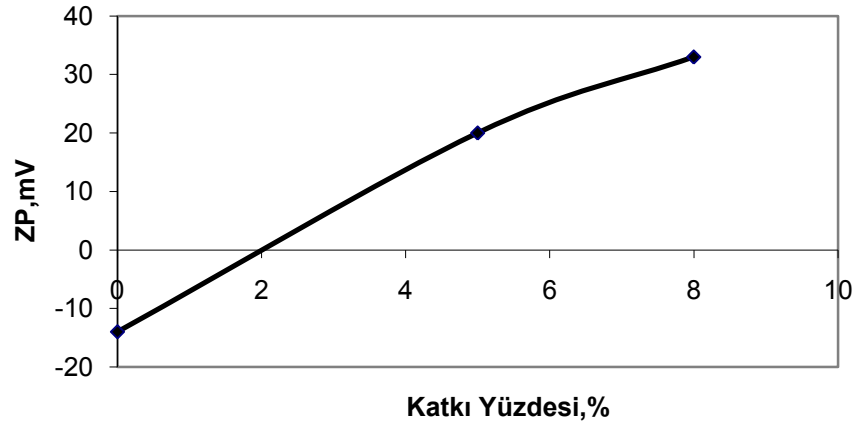


Şekil 5.1. Organokil numunelerin, CTAB katkı yüzdesi ile Katyon Değişim Kapasitesinin değişimi

5.1.2. Zeta Potansiyeli

Bu çalışmada seçilen katkı oranlarında hazırlanan numunelerin zeta potansiyel değerleri ve katkı oranı-zeta potansiyel ilişkisi ise Şekil 5.2’de gösterilmiştir. Şekil ve çizelgeden de görüleceği üzere katkı oranının artmasıyla zeta potansiyel de negatiften pozitif doğru tedrici olarak artış göstermiştir. Şöyle ki zeta potansiyel, katkısız doğal numunede -14 mV iken %5 katkı oranındaki numunede yaklaşık +20 mV değerine yükselmiştir. %8 katkı oranında ise yaklaşık +33 mV değerine yükselmiştir. Diğer bir ifadeyle, katkısız kil için negatif olan yüzey yükü, katyonik bir yüzey aktif madde olan CTAB ile kademeli olarak pozitif yüke çevrilmiştir.

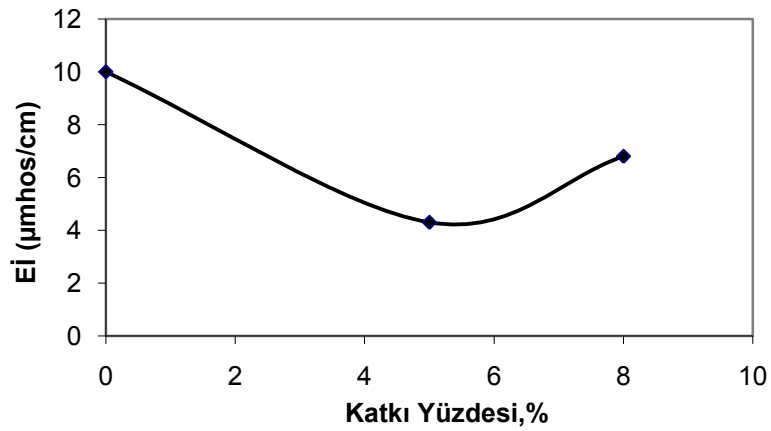
Şekil 5.2’den da görüldüğü gibi katkı oranı arttıkça, adsorplanan CTAB miktarına bağlı olarak taneciklerin zeta potansiyel değerleri negatif değerlerden pozitif değerlere doğru değişmektedir. Bu durum CTAB’ın, kil tanelerinin negatif yüklü merkezleriyle elektrostatik olarak etkileşimini ve adsorpsiyonunu açıkça göstermektedir. Katyonik bir yüzey aktif madde olan katkı maddesiyle negatif yüzey yüküne sahip doğal kil numunelerinin zeta potansiyelleri değerlerindeki bu değişim beklenen bir sonuçtur. Özellikle her iki örnekte yükün sıfır noktasına kadar baskın adsorpsiyon mekanizmasının iyon değişimi ve iyon çiftleşmesi (paylaşımı) olduğu söylenebilir.



Şekil 5.2. Organokil numunelerde, CTAB katkı yüzdesi ile ZP değişimleri

3.Elektrik İletkenliği

Elektrik İletkenliği (Eİ) deneylerinden katkısız ve organokil numuneleri için elde edilen Eİ değerleri Şekil 5.3'de verilmiştir. Katkı oranının artmasıyla Eİ değerleri katkısız numunelere göre azalmıştır. Ancak bu azalım katkı oranının yaklaşık %5,0 değerine kadar daha belirgindir. Katkı oranının bu değerinden sonra ise Eİ değerleri bir miktar artış göstermiştir. Katkısız kil numunelerinin Eİ değerleri yaklaşık 10,0 umhos/cm iken katkılı kil numunelerinin 4,3 ve 6,8 umhos/cm dolaylarında kalmıştır.



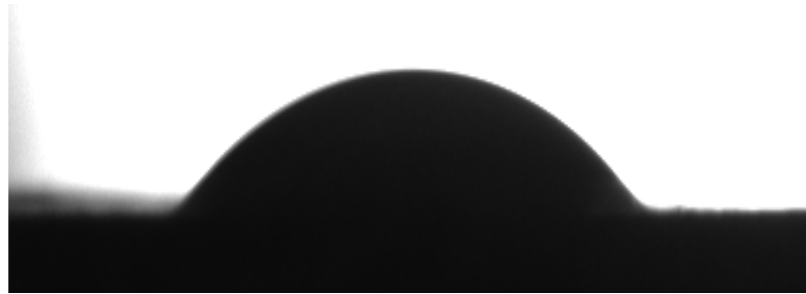
Şekil 5.3. Organokil numunelerin Eİ (umhos/cm) değerinin CTAB katkı yüzdesi ile değişimi

4. Temas Açısı

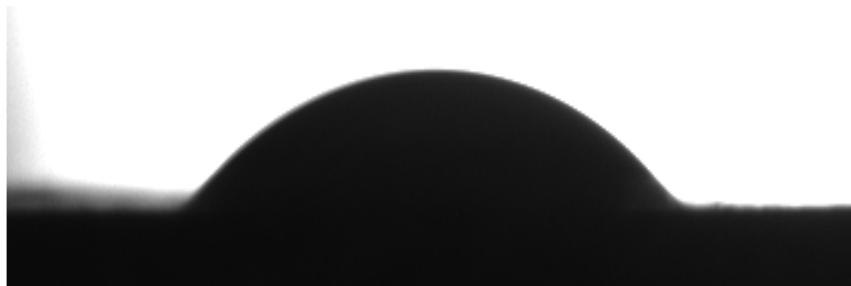
Katkısız ve organokil numuneleri üzerinde yapılan temas açısı ölçüm deneylerinden elde edilen tipik temas açısı görüntüleri Şekil 5.4, 5.5. ve 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.4. Katkısız kil numunelerin Temas Açısı (35°)

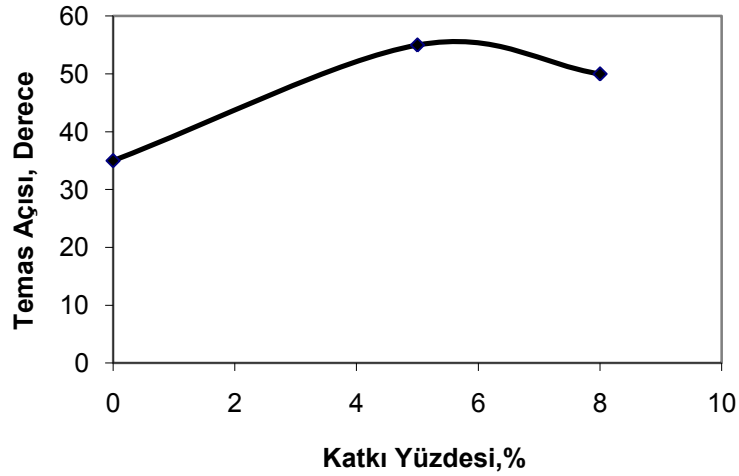


Şekil 5.5. %5 CTAB katkılı kil numunelerin Temas Açısı (55°)



Şekil 5.6. %8 CTAB katkılı kil numunelerin Temas Açısı (50°)

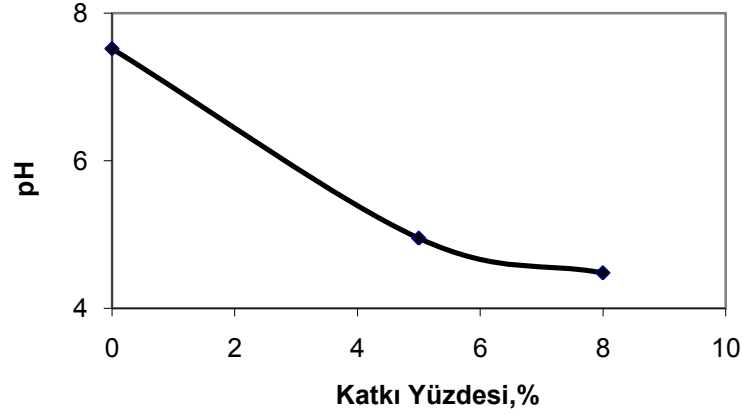
Katkısız kil numuneleri için yaklaşık %5,0 katkı oranı değerine kadar, temas açısı katkı oranının artışıyla önemli mertebede artış göstermiştir. Katkısız numunede temas açısı yaklaşık 35° bulunurken %5,0 katkı oranındaki numunede temas açısı 55° civarına yükselmiştir. %8,0 katkı oranındaki numunede temas açısı 50° civarına yükselmiştir. Sarı kil numunelerinin Temas Açısının CTAB yüzdesi ile değişimini gösteren grafik Şekil 5.7'de verilmiştir. Deneyler esnasında katkısız kil numunelerinde su damlasının kısa bir süre içerisinde zemin numunesi içerisine sızdığı görülmüştür. Buna karşılık katkılı numunelerde ise su zerresi zemin yüzeyinde kalışını sürdürmüştür.



Şekil 5.7. Organokil numunelerinin Temas Açısının, CTAB katkı yüzdesi ile değişimi

5.pH Analizi

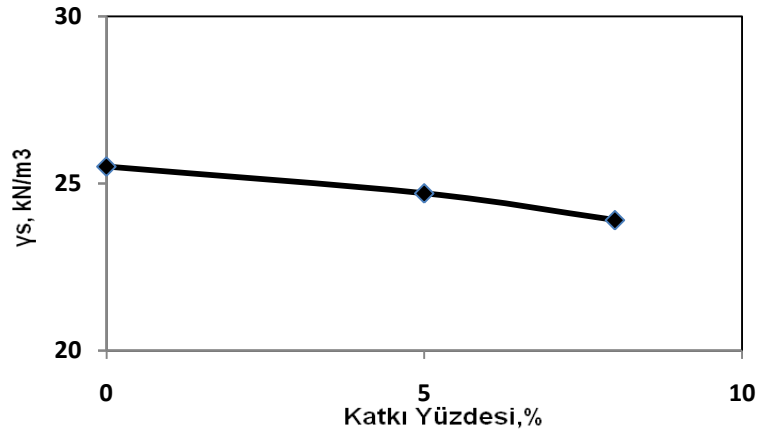
Bu çalışmada yapılan ölçümler sonucunda katkısız ve organokil numuneler için elde edilen pH değerleri Şekil 5.8'de verilmiştir. Tüm katkısız ve organokil numuneler üzerinde yapılan pH deney sonuçları katkı miktarının artması ile pH değerlerinde kısmen azalmalar olduğu görülmüştür. Çizelgeden de görüleceği gibi katkısız kil numunelerinin pH değeri yaklaşık 7,52 (bazik) olup, katkılı kil numunelerinde ise bu değer 5,0 (asidik) civarında seyretmiştir. Dolayısıyla, gerek katkısız ve gerekse organokil süspansiyonlarının ortam pH değerleri bazik tarafta kalmıştır. Numunelerin pH değerlerinde meydana gelen azalmanın malzeme bünyesindeki kompleks kimyasal etkilerin sonucu olarak CTAB'ın katkısız kilin pH değerlerini düşürdüğü görülmüştür.



Şekil 5.8. Organokil numunelerde CTAB katkı yüzdesi ile pH değerlerinin değişimi

5.2. Dane Birim Hacim Ağırlık Deneyi

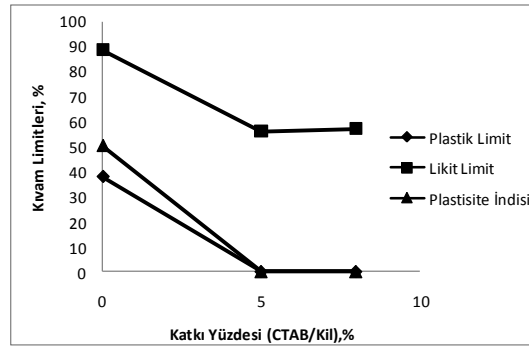
Katkısız ve organokil numuneleri üzerinde yapılan piknometre deneylerinden bulunan. dane birim hacim ağırlığının katkı oranıyla değişimi de Şekil 5.9'da gösterilmiştir. Katkısız kil numunelerinin dane birim hacim ağırlığı $25,5 \text{ kN/m}^3$ bulunmuştur. Diğer taraftan %5 CTAB katkılı kil numunelerinin dane birim hacim ağırlığı $24,7 \text{ kN/m}^3$ ve %8 CTAB katkılı kil numunelerin dane birim hacim ağırlığı $23,9 \text{ kN/m}^3$ bulunmuştur. Katkı oranının artmasıyla, dane birim hacim ağırlıkları da azalım göstermiştir. Dane birim hacim ağırlığındaki bu azalımın, katkının su ile temas etmesi halinde büyük hacim artışları göstermesinden ve dolayısıyla kil yüzeyinde tutulan katkının zeminin dane hacmini adeta artırmasından kaynaklandığı söylenebilir.



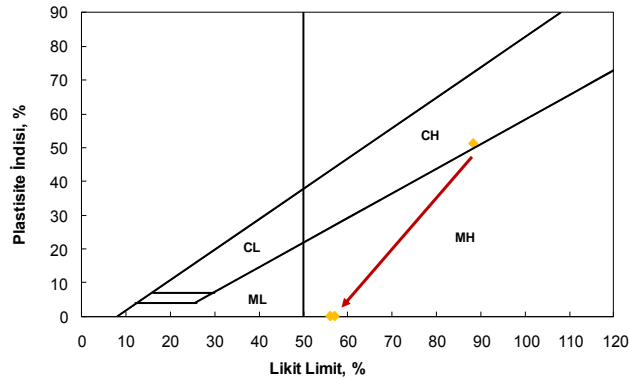
Şekil 5.9. Organokil numunelerin dane birim hacim ağırlık değerlerinin, CTAB katkı yüzdesi ile değişimi

5.3. Kıvam Limitleri Deneyi

Katkısız ve organokil numuneleri üzerinde yapılan kıvam limitleri deneylerinin sonuçları Şekil 5.10'da gösterilmiştir. Buradan katkısız kilin CH, yüksek plastisiteli kil olduğu görülmektedir. Adsorbsiyon deneyleri ile elde edilen temas açısı ölçümleri, zeta potansiyeli ve diğer analizler hidrofob özelliği desteklemektedir. Katkısız kilde ise su, kil ile tamamen bir etkileşim içerisinde. Katkısız kil numunesinin likit limiti yaklaşık %90 iken organokil numunelerinde likit limit %55 civarında bulunmuştur. Plastik limit deneyleri ASTM D 4318 standardına uygun olarak yapılmıştır. Plastik limitin katkı oranı ile değişimi ise Şekil 5.11'de gösterilmiştir. Katkısız kil numunelerinde plastik limit değeri %40 iken, organokil numunelerinde plastik limit bulunamamıştır. Katkısız ve katkılı kil numuneler için plastisite indisinin katkı oranı ile değişimi Şekil 5.10'de gösterilmiştir. Katkısız kil numunelerinde plastisite indisi %50 iken, katkılı kil numunelerinde %5 CTAB ve %8 CTAB durumlarında plastik limit bulunamamıştır.



Şekil 5.10. Katkısız ve organokil numunelerinin Kıvam Limitleri



Şekil 5.11. Katkısız ve organokil numunelerinin Plastisite Kartındaki Dağılımı

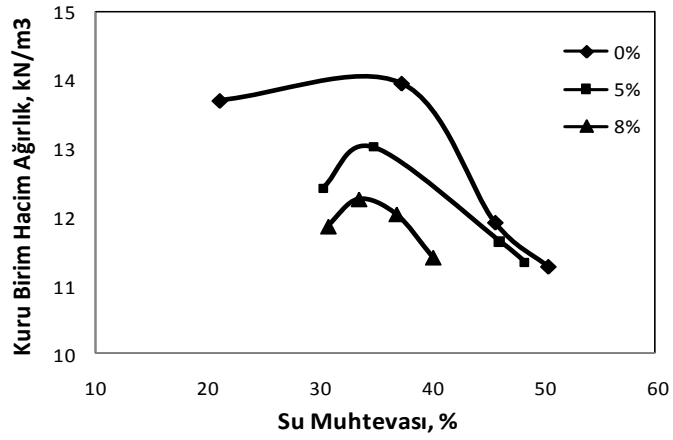
5.4. Organokil Numunelere Yapılan Deneyler

Yüzey aktif madde ile modifiye edilen killer organokil olarak nitelendirilmektedir. Burada katkısız kil numunelerine yüzey aktif madde olarak CTAB kimyasal katkısı %5 ve %8 oranlarında katılarak CTAB katkılı kil numuneler elde edilmiştir. Ve bu numunelere kompaksiyon, serbest basınç, kesme kutusu ve su emme deneyleri yapılmıştır. %5 ve %8 oranları Atatürk Üniversitesi K.K. Eğitim Fakültesi Kimya Bölümünde yapılan bir takım ön deneyler sonucu belirlenmiş ve deneylerde kullanılmıştır. Bu oranların hesaplanmasında dikkate alınan nokta CTAB ve katkısız killerin en iyi yüzde de karışım oranları olmasıdır.

5.4.1 Kompaksiyon Deneyi

Katkısız ve organokil numuneler üzerinde standart kompaksiyon deneyi (ASTM D 698) yapılmıştır. Katkısız kil numunesine ait kompaksiyon deneyi sonucunda optimum su muhtevası %35, maksimum kuru birim hacim ağırlık $14,0 \text{ kN/m}^3$ olarak bulunmuştur. Organokil numunelerde kompaksiyon deneyi sonucunda, %5 CTAB katkılı kil numunelerde optimum su muhtevası %34 maksimum kuru birim hacim ağırlık $12,8 \text{ kN/m}^3$, %8 CTAB katkılı kil numunelerde ise optimum su muhtevası %33, maksimum kuru birim hacim ağırlık $12,2 \text{ kN/m}^3$ olarak bulunmuştur.

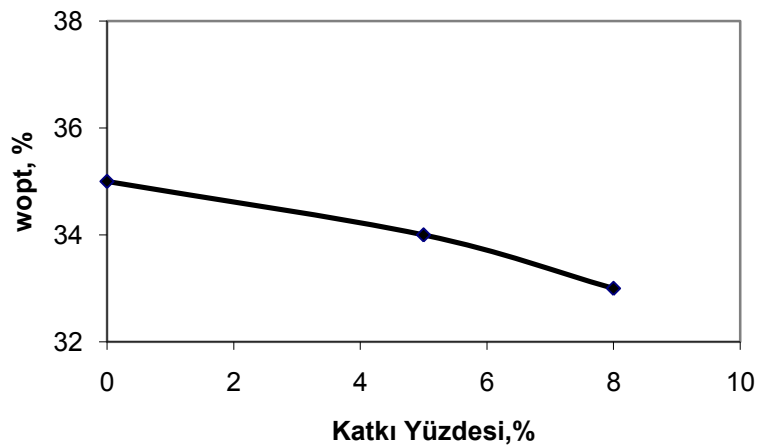
Katkı yüzdesi arttıkça optimum su muhtevasında meydana gelen azalma malzemeye kazandırılan hidrofob özelliğin bir sonucudur. Katkılı malzemeler daha az su kullanarak sıkıştırılabilmektedir. Buna paralel olarak katkı oranının artmasıyla maksimum kuru birim hacim ağırlıklarının azalması yüzey aktif maddenin malzemeye daha hafif bir yapı kazandırılmasının sonucudur. Dane birim hacim ağırlıklarında meydana gelen azalma bunu desteklemektedir.



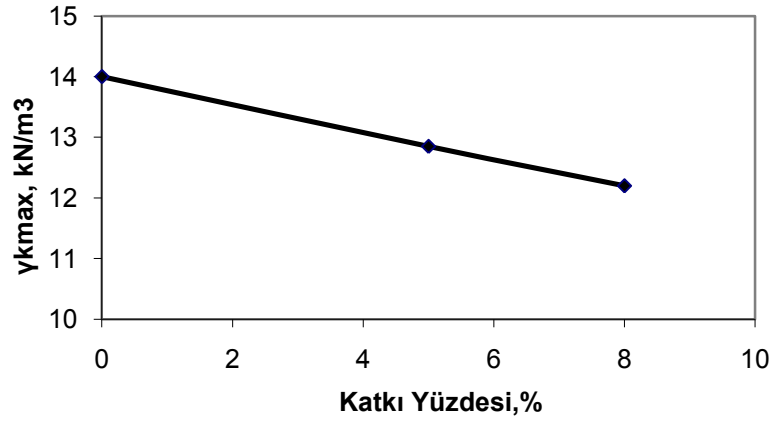
Şekil 5.12. Katkısız ve organokil numunelerinin standart kompaksiyon deney sonuçları

Çizelge 5.2. Katkısız ve organokil numunelere yapılan standart kompaksiyon deneyi sonuçları

Katkı Oranı, %	w_{opt} , %	γ_{kmax} , kN/m ³
0	35	14,0
5	34	12,8
8	33	12,2



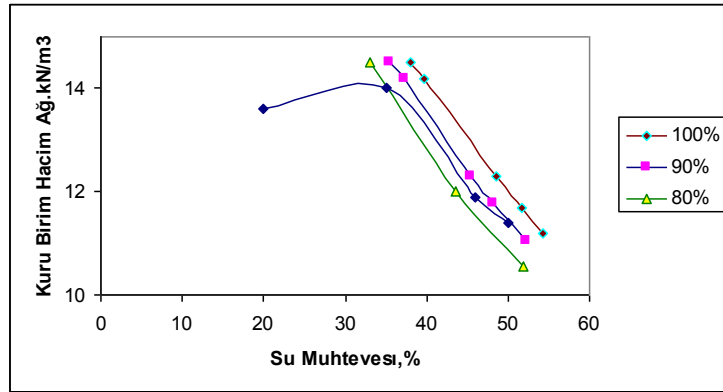
Şekil 5.13. Organokil numunelerin optimum su muhtevası değerlerinin, CTAB katkı yüzdesi ile değişimi



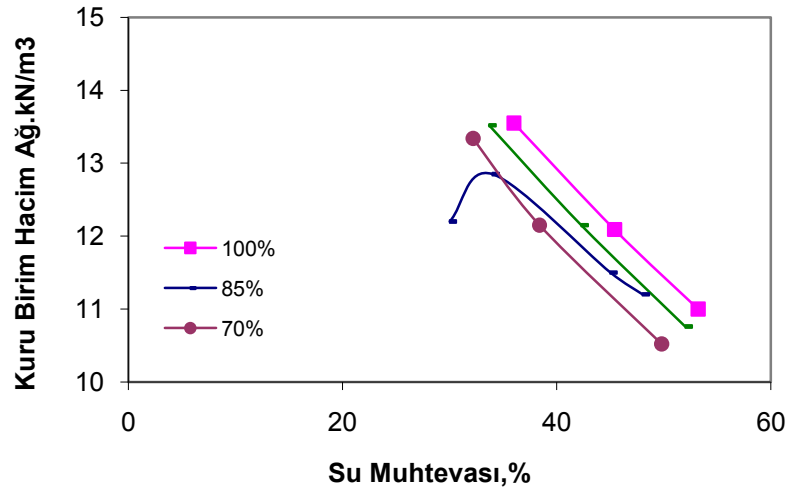
Şekil 5.14. Organokil numunelerin maksimum kuru birim hacim ağırlık değerlerinin, CTAB katkı yüzdesi ile değişimi

Kompaksiyon sonucu kil numuneler için doygunluk çizgileri

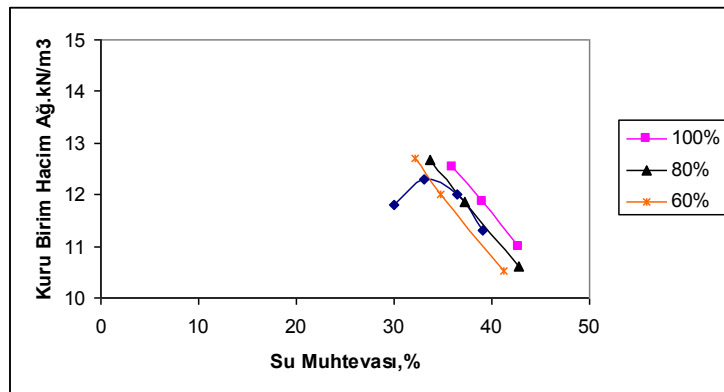
Şekil 5.15, 5.16. ve 5.17’de sırasıyla katkısız ve organokil numunelerine ait standart kompaksiyon deneyi sonucu çizilmiş olan doygunluk çizgileri verilmiştir. Şekiller incelendiğinde katkısız kil numunelerin optimum sıkışmasının yaklaşık %80 doygunluk çizgisi civarında olduğu görülmektedir. Aynı şekilde %5 CTAB katkı oranına sahip numunenin optimum sıkışması yaklaşık %70 doygunluk çizgisi üzerinde iken %8 CTAB katkı oranına sahip numunenin optimum sıkışması yaklaşık %60 doygunluk çizgisi üzerindedir. Artan katkı yüzdesi ile numuneler daha su sevmez yapı kazandığından numuneler daha az su ile sıkıştırılmıştır. Bu durum artan katkı yüzdesi ile optimum su muhtevasının düşmesine neden olmuştur. Şekil 5.18’de doygunluk çizgilerine göre optimum su muhtevasında numunelerin boşluk oranları verilmiştir.



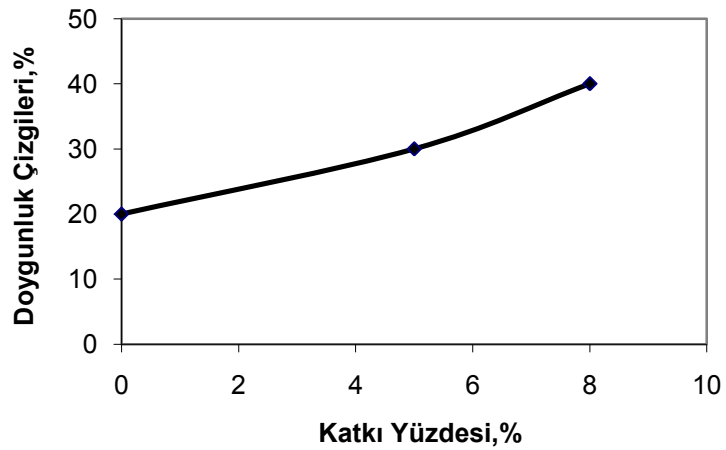
Şekil 5.15. Katkısız kil numunelerin doygunluk çizgileri



Şekil 5.16. %5 CTAB katkıli kil numunelerin doygunluk çizgileri



Şekil 5.17. %8 CTAB katkıli kil numunelerin doygunluk çizgileri



Şekil 5.18. CTAB katkı yüzdesine göre organokil numunelerin, doygunluk çizgileri değişimi

Kompaksiyon sonucu bulunan boşluk oranı ve birim hacim ağırlıklar

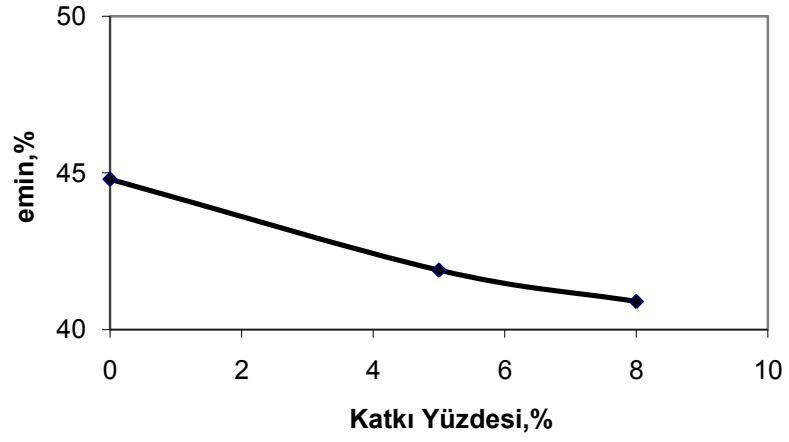
Katkısız ve organokil numunelerin kompaksiyon deneyleri sonucu bulunmuş olan maksimum kuru birim hacim ağırlık ve dane birim hacim ağırlıklarından faydalanarak;

$$\gamma_s = \gamma_{kmax} \times (1 + e_{min}) \quad (5.1.)$$

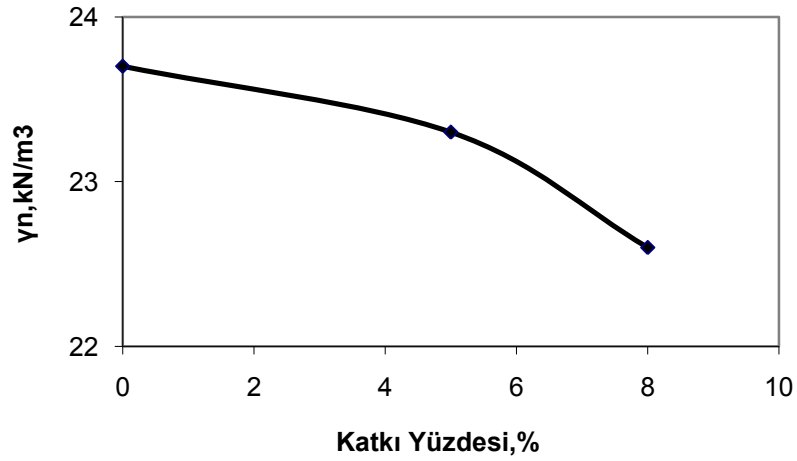
formülünden minimum boşluk oranları hesaplanarak Çizelge 5.3’de sunulmuştur. Katkısız ve organokil numunelerin minimum boşluk oranlarının katkı yüzdesi ile değişimi Şekil 5.19’da verilmektedir. Şekil 5.20’de kompaksiyon deney sonuçlarından hesaplanmış olan $[\gamma_n = \gamma_s \times (1+w) / (1+e)]$ doğal birim hacim ağırlıklarının katkı yüzdesi ile değişimi sunulmuştur. Kompaksiyon deneyi sonucu elde edilen kompaksiyon eğrilerine bakıldığında, katkı yüzdesinin artmasıyla maksimum kuru birim hacim ağırlıkların azalma nedeninin boşluk oranlarının azalması ve sıkıştırma sonrasında elde edilen birim hacim ağırlıkların azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 5.3. Katkısız ve organokil numunelerin, minimum boşluk oranları ve birim hacim ağırlıklarının katkı yüzdesi ile değişimi

Katkı Yüzdesi, %	Minimum Boşluk oranı, e_{min} , %	Kompaksiyon sonrası doğal birim hacim ağırlık, γ_n , kN/m ³
0	44,80	23,7
5	41,90	23,3
8	40,90	22,6



Şekil 5.19. Organokil numunelerin minimum boşluk oranlarının, CTAB katkı yüzdesi ile değişimi



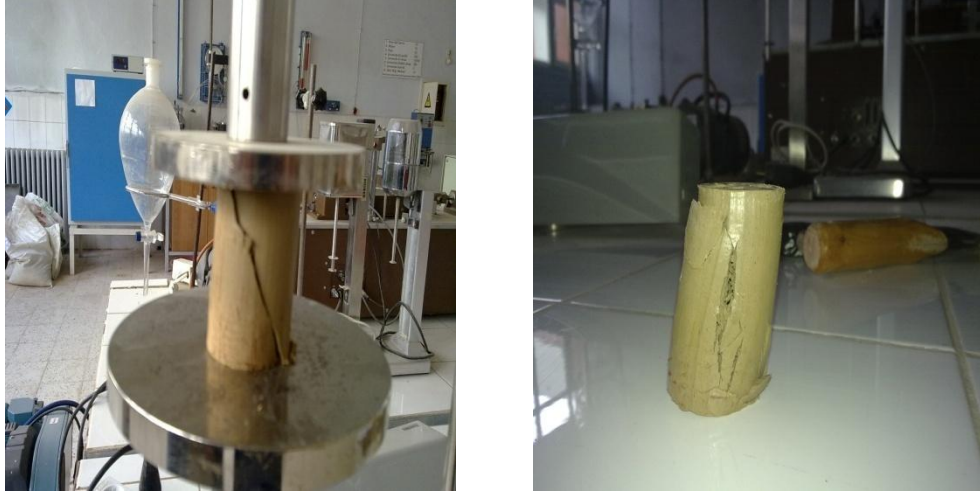
Şekil 5.20. Organokil numuneler için doğal birim hacim ağırlıklarının, CTAB katkı yüzdesi ile değişimi

5.4.2. Mukavemet Deneyleri

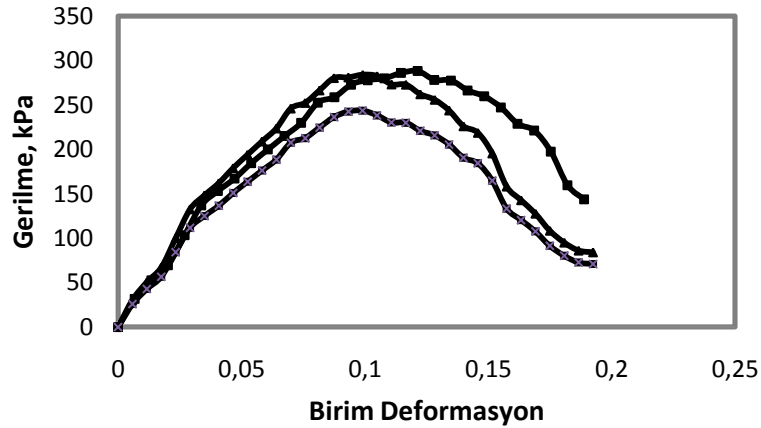
1.Serbest Basınç Deneyi

Katkısız ve organokil numuneler üzerinde ASTM D 2166'ya göre serbest basınç deneyi yapılmıştır. Standart kompaksiyon deneyine göre optimum su muhtevalarında sıkıştırılan katkısız kil ve organokil numunelerine yapılan serbest basınç deneyi sonucu katkısız kilin maksimum serbest basınç mukavemeti 286 kPa, %5 CTAB katkılı kilin

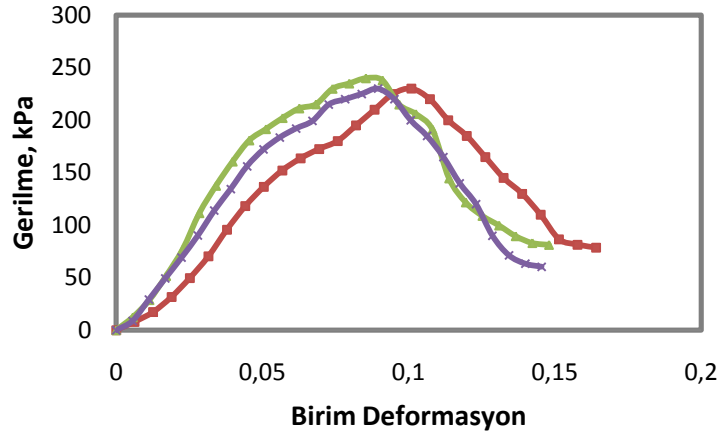
240 kPa ve %8 CTAB katkıli kilin 225 kPa bulunmuştur. Katkisız ve organokil numunelerin serbest basınç deneyi sonucu kırılma düzlemleri Şekil 5.22, 5.23, 5.24'de gösterilmektedir. Bu sonuçlara bakıldığında CTAB katkı yüzdesinin artmasıyla zeminin serbest basınç mukavemetinde azalma meydana geldiği görülmektedir (Şekil 5.25.). Katkılı kil numuneler silte yakın bir davranış sergilemektedir. Ancak, kırılma düzlemleri ve birim deformasyon, serbest basınç mukavemeti eğrileri incelendiğinde katkıli numunelerin yine kil gibi davrandığı, sünek bir kırılma gösterdiği numunelerin başlangıç rijitliklerinin kısmen aynı olduğu söylenebilmektedir. Bu, elde edilen yeni malzemenin bir özelliği olarak düşünülmektedir.



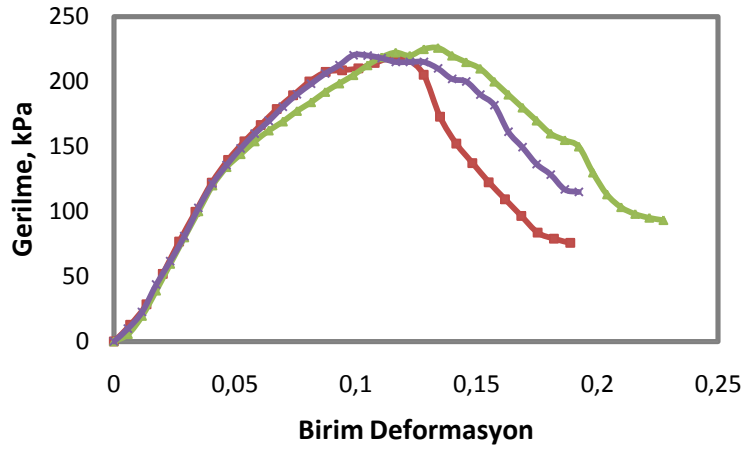
Şekil 5.21. Katkisız ve organokil numunelerin serbest basınç deneyi sonucu kırılma düzlemleri



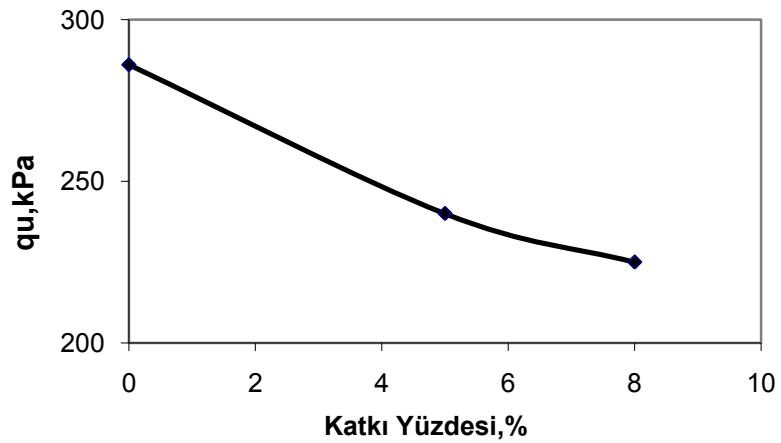
Şekil 5.22. Katkisız kil numunelerin gerilme, birim deformasyon grafiği



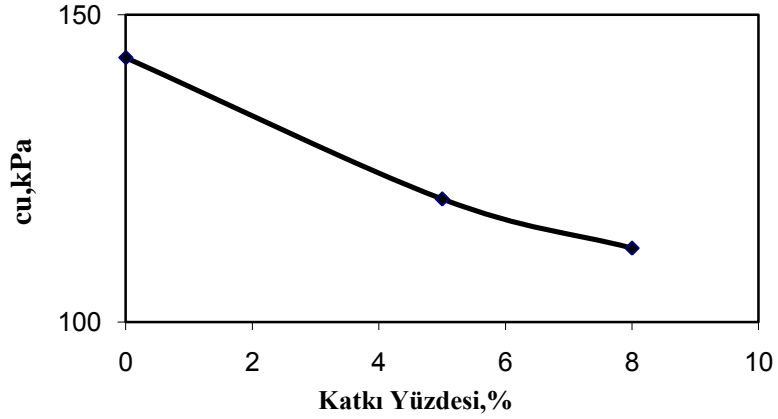
Şekil 5.23. %5 CTAB katkılı kil numunelerin gerilme, birim deformasyon grafiği



Şekil 5.24. %8 CTAB katkılı kil numunelerin gerilme, birim deformasyon grafiği



Şekil 5.25. CTAB katkı yüzdesi ile numunelerin serbest basınç mukavemeti değişimi



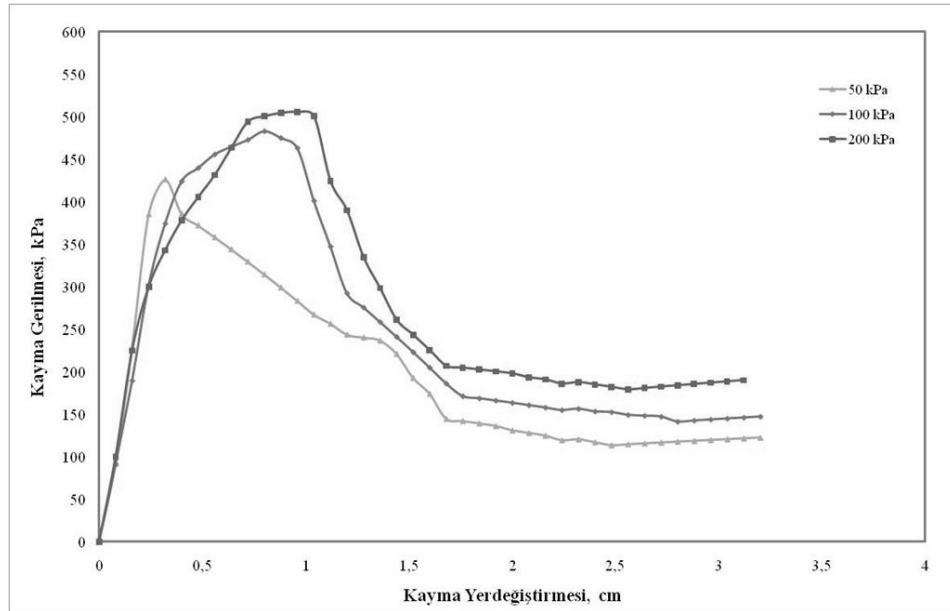
Şekil 5.26. CTAB katkı yüzdesi ile konsolidasyonsuz, drenajsız kohezyon değişimi

2. Kesme Kutusu Deneyi

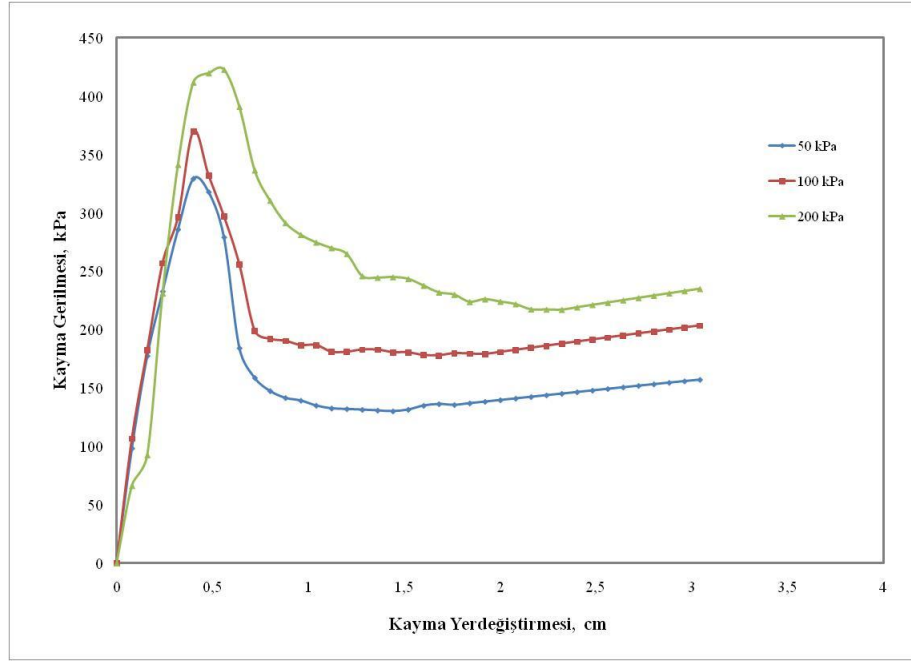
Katkısız ve organokil numunelere ASTM D 3080'e göre kesme kutusu deneyi yapılmıştır. Standart kompaksiyon deneyi sonucunda bulunan optimum su muhtevasında sıkıştırılan katkısız kil numunesine yapılan kesme kutusu deneyi sonucu katkısız kilin konsolidasyonsuz drenajsız kohezyonu 414,5 kPa, %5 CTAB'lı organokilin 302,5 kPa, %8 CTAB'lı organokilin 279,5 kPa bulunmuştur. Kayma mukavemeti açıları ise katkısız kilin $26,10^\circ$, %5 CTAB'lı organokilin $31,50^\circ$, %8 CTAB'lı organokilin $34,71^\circ$ olarak bulunmuştur. Katkısız ve organokil numunelere ait kesme kutusu numunesi Şekil 5.27'de görülmektedir. Katkısız kile yapılan kesme kutusu deneyi sonucunda çizilen kayma yer değiştirmesi, kayma gerilmesi grafiği Şekil 5.28'de verilmiştir. Organokillere ait kayma yer değiştirmesi, kayma gerilmesi grafikleri Şekil 5.29., 5.30'da verilmiştir. Ayrıca Şekil 5.31'de $\tau=c+\sigma.\tan\phi$ bağıntısından bulunan 50,100 ve 200 kPa yük değerlerine ait kayma gerilmesi, yük değişimi grafiği verilmiştir.



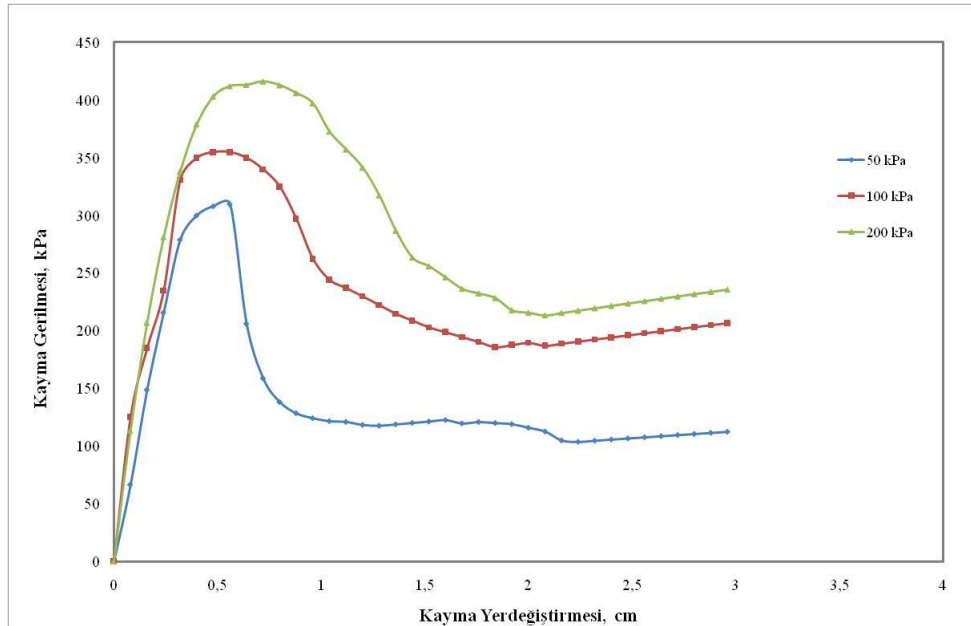
Şekil 5.27. Katkısız ve organokillere ait kesme kutusu deneyi yapılmış numuneler



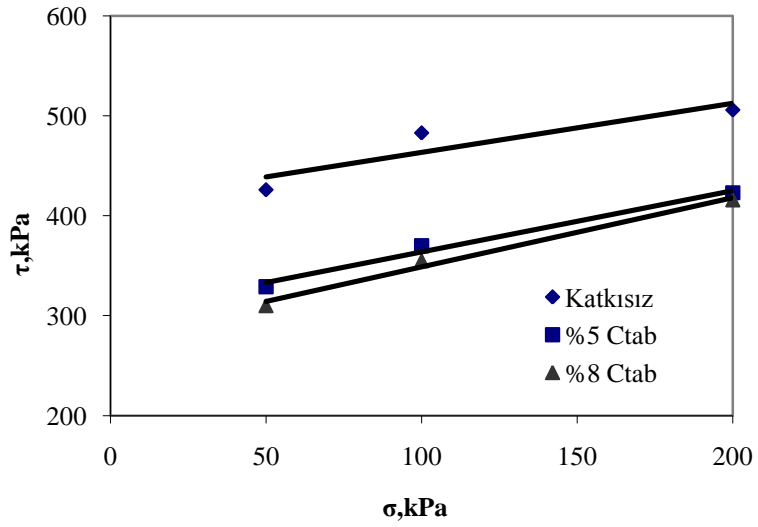
Şekil 5.28. Katkısız kil numunesine ait kayma gerilmesi, kayma yer değiştirmesi grafiği



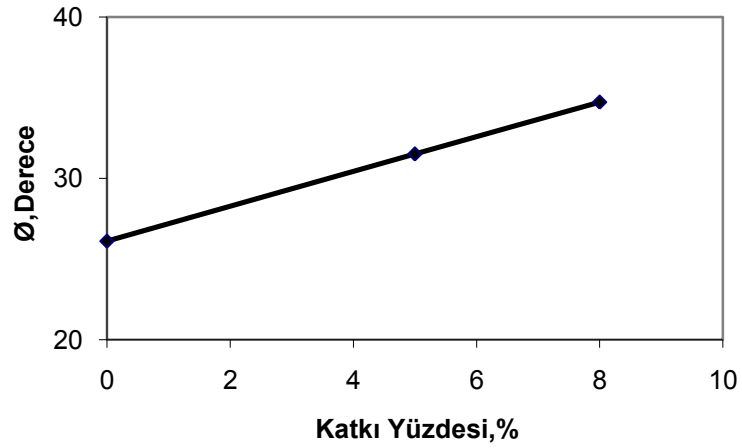
Şekil 5.29. %5 CTAB katkılı kil numunesine ait kayma gerilmesi, kayma yer değiştirmesi grafiği



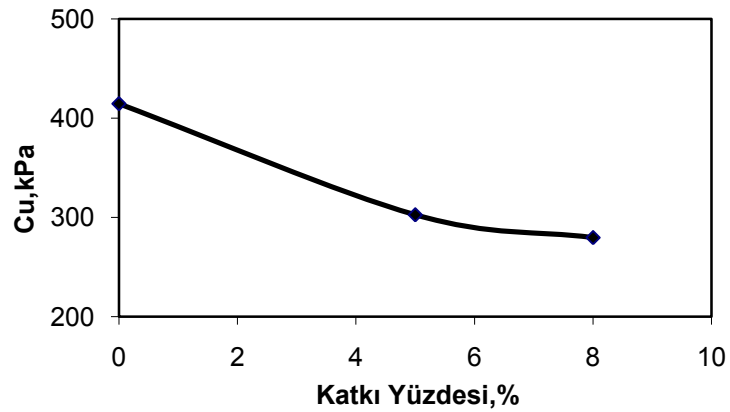
Şekil 5.30. %8 CTAB katkılı kil numunesine ait kayma gerilmesi, kayma yer değiştirmesi grafiği



Şekil 5.31. Katkısız ve organokil numunelerin kayma gerilmesi, yük değişim grafiği



Şekil 5.32 Organokil numunelerin kayma mukavemeti açısı, CTAB katkı yüzdesi değişimi



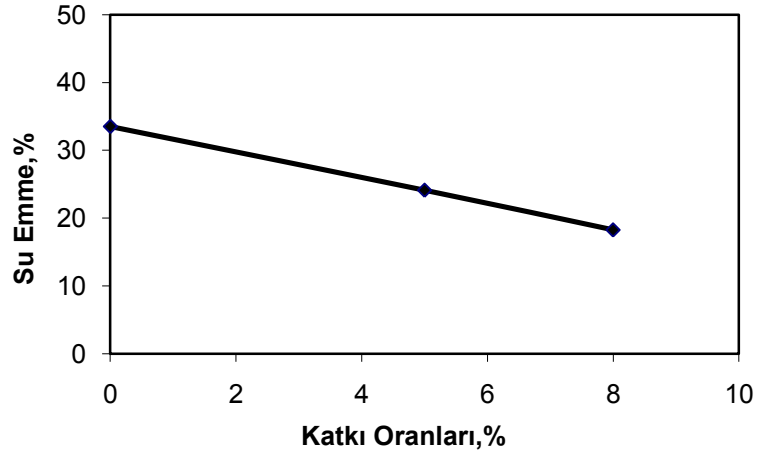
Şekil 5.33. Organokil numunelerin konsolidasyonsuz drenajsız kohezyon, CTAB katkı yüzdesi değişimi

5.4.3. Su Emme Deneyi

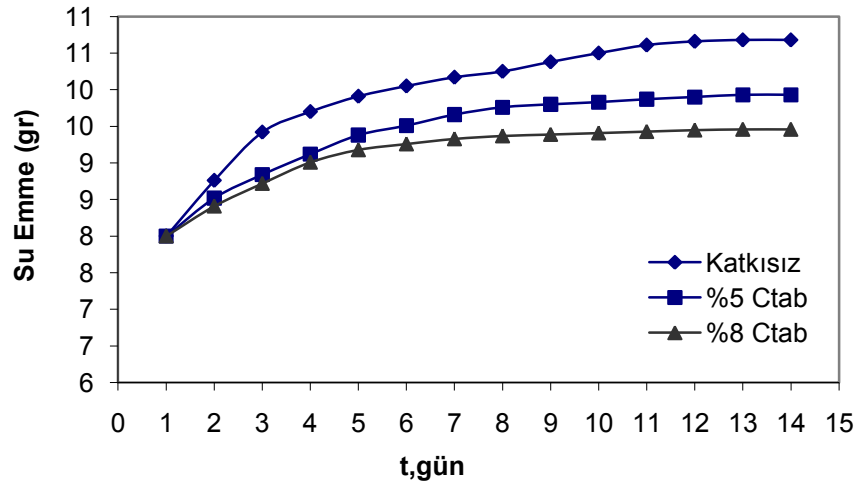
Katkısız ve organokil numunelerine yapılan su emme deneyleri başlangıcında ve bitişinde bulunan değerler ve bu değerlerin CTAB katkı yüzdesi ile değişimi Çizelge 5.4'de ve bu değerlerin CTAB katkı oranları ile değişimini gösteren grafik Şekil 5.34'de verilmiştir. Sonuçlardan da görüleceği gibi CTAB yüzey aktif maddesi numunelerin su emme oranlarını düşürmektedir. Ayrıca Şekil 5.35'de katkısız ve organokillere ait su emme, zaman değişimi gösterilmektedir. Numuneler ortalama 14. günde su emme miktarlarını tamamlamışlardır.

Çizelge 5.4. Katkısız ve organokil numunelerin su emme değerleri

Süre	Katkısız(gr)	%5 CTAB(gr)	%8 CTAB(gr)
1.gün	8,00	8,00	8,00
2.gün	8,76	8,52	8,41
3.gün	9,42	8,84	8,72
4.gün	9,70	9,12	9,01
5.gün	9,91	9,38	9,18
6.gün	10,05	9,51	9,26
7.gün	10,17	9,66	9,33
8.gün	10,25	9,76	9,37
9.gün	10,38	9,80	9,39
10.gün	10,50	9,83	9,41
11.gün	10,61	9,87	9,43
12.gün	10,66	9,90	9,45
13.gün	10,68	9,93	9,46
14.gün	10,68	9,93	9,46
Değişim(%)	33,50	24,11	18,25



Şekil 5.34. Organokil numunelere ait su emme, CTAB katkı oranları değişimi



Şekil 5.35. Katkısız ve organokil numunelere ait su emme, zaman değişim grafiği

5.4. Poliorganokil Numunelere Yapılan Deneyler

Organokillerin polimerlerle modifiye edilmesiyle elde edilen ürünlere poliorganokil denir. Bu çalışmada katkısız killere CTAB yüzey aktif maddesinin katılmasıyla elde edilen organokillere Stiren polimerinin katılmasıyla poliorganokiller elde edilmiştir. Ve organokillere yapılan kompaksiyon, serbest basınç, kesme kutusu ve su emme deneyleri poliorganokillere de yapılmıştır.

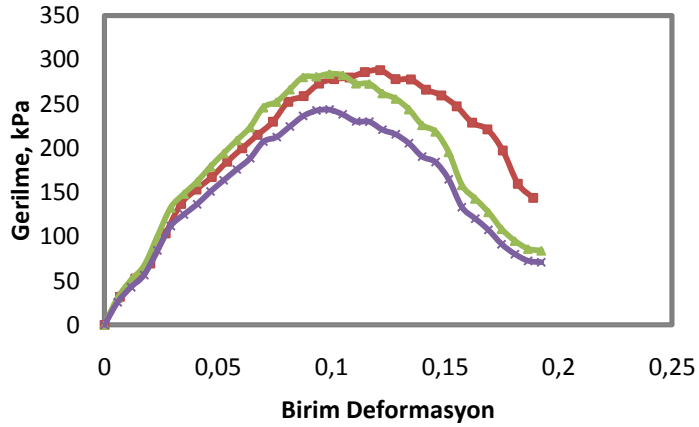
5.4.1 Kompaksiyon Deneyi

Poliorganokil numunelere sıcaklık ve sıkışma problemlerinden dolayı kompaksiyon deneyi yapılamamıştır.

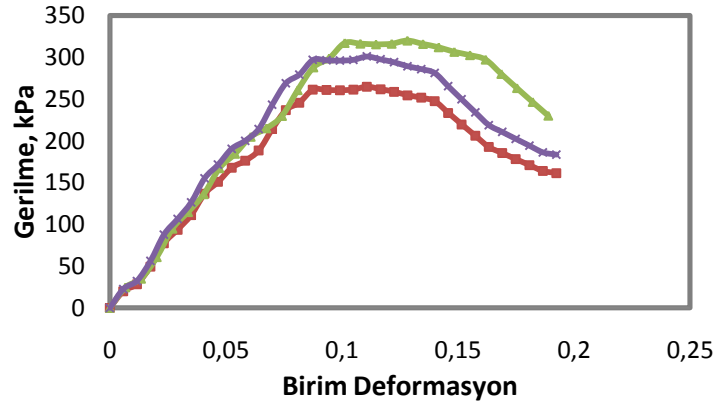
5.4.2. Mukavemet Deneysel Sonuçları

1. Serbest Basınç Deneyi

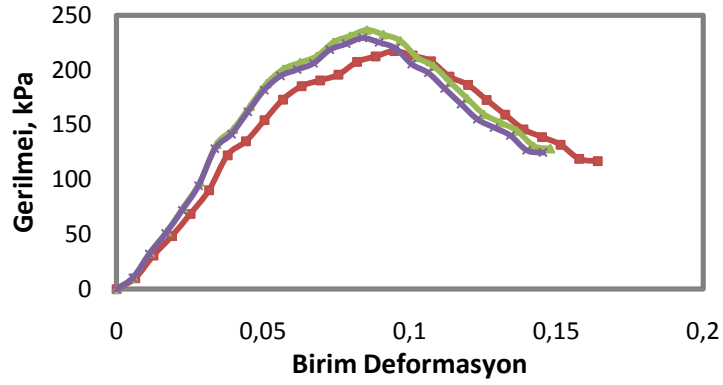
Organokil numunelerin serbest basınç değerlerinin düşmesi nedeni ile numuneler, polimer (Stiren) katkısı ile modifiye edilerek poliorganokiller elde edilmiş ve yapılan serbest basınç deneylerinin sonuçlarında numunelerin serbest basınç mukavemeti değerlerinde artış olmuştur. Stiren oranı olarak Atatürk Üniversitesi K.K. Eğitim Fakültesi Kimya Bölümünde yapılan ön deneyler sonucu %15 ve %20 oranlarında belirlenmiş ve deneylerde kullanılmıştır.



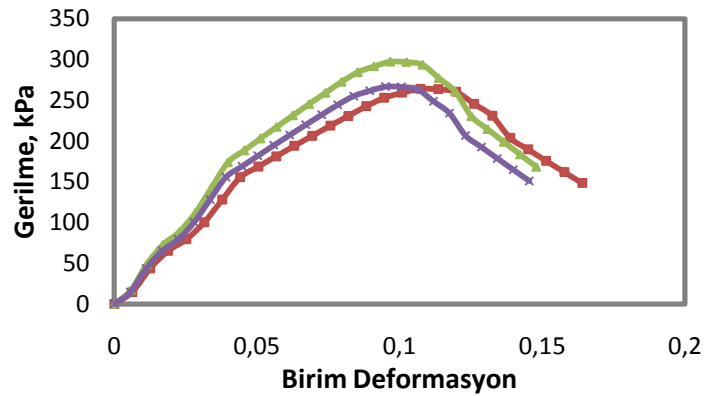
Şekil 5.36. Poliorganokil numunelerin (%5 CTAB + %15 Stiren) gerilme, birim deformasyon grafiği



Şekil 5.37. Poliorganokil numunelerin (%5 CTAB + %20 Stiren) gerilme, birim deformasyon grafiği



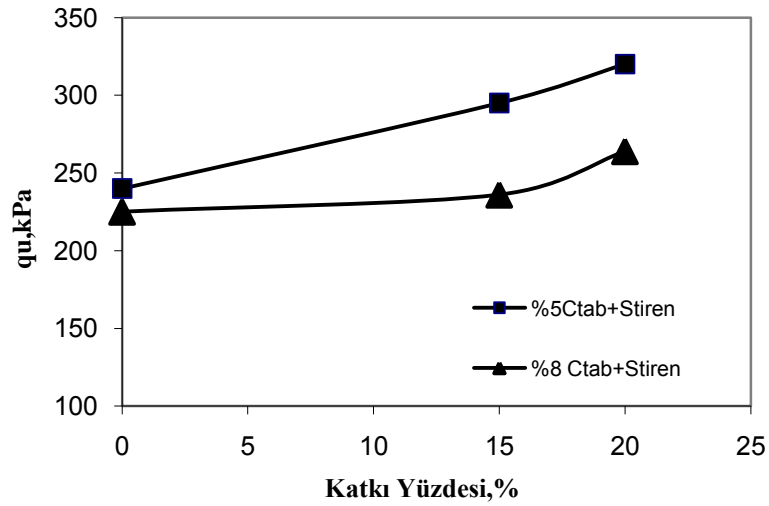
Şekil 5.38. Poliorganokil numunelerin (%8 CTAB + %15 Stiren) gerilme, birim deformasyon grafiği



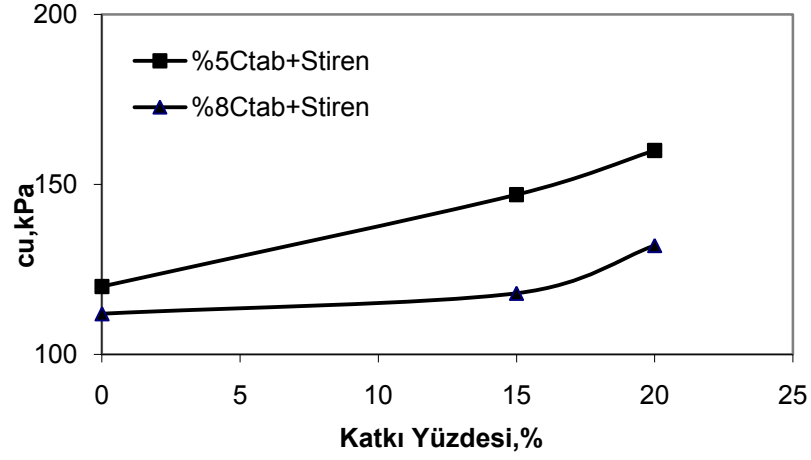
Şekil 5.39. Poliorganokil numunelerin (%8 CTAB + %20 stiren) gerilme, birim deformasyon grafiği

Çizelge 5.5. Organokil ve poliorganokil numunelere yapılan serbest basınç deneyi sonuçları

Numuneler	Serbest Basınç Mukavemeti, q_u ,kPa	Konsolidasyonsuz, Drenajsız Kohezyon,(c_u ,kPa)
%5 CTAB	240	120
%5 CTAB + %15 Stiren	295	147
%5 CTAB + %20 Stiren	320	160
%8 CTAB	225	112
%8 CTAB + %15 Stiren	236	118
%8 CTAB + %20 Stiren	264	132



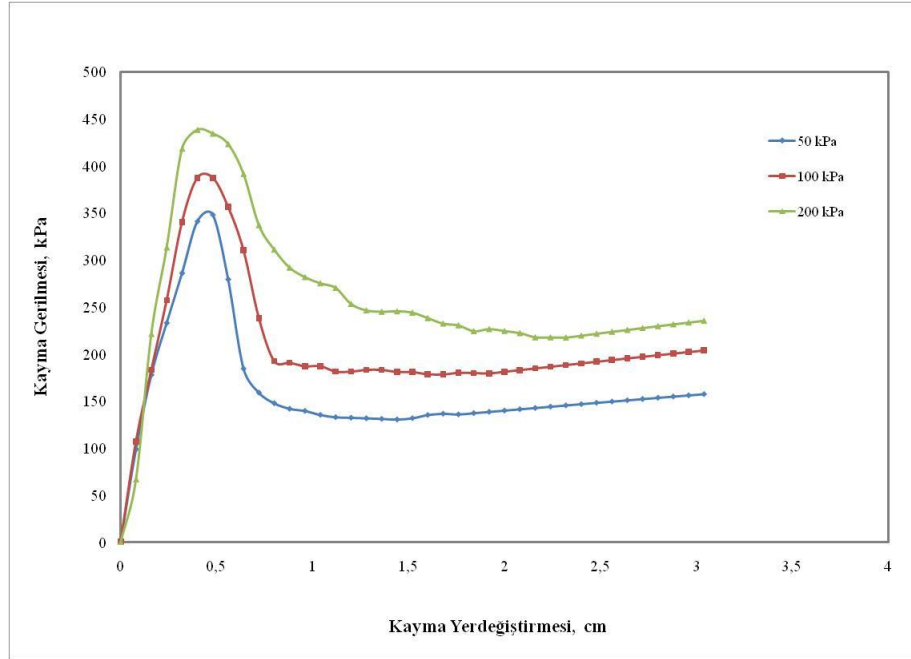
Şekil 5.40. Poliorganokil numunelerin Stiren katkı yüzdesi ile serbest basınç mukavemeti değişimi



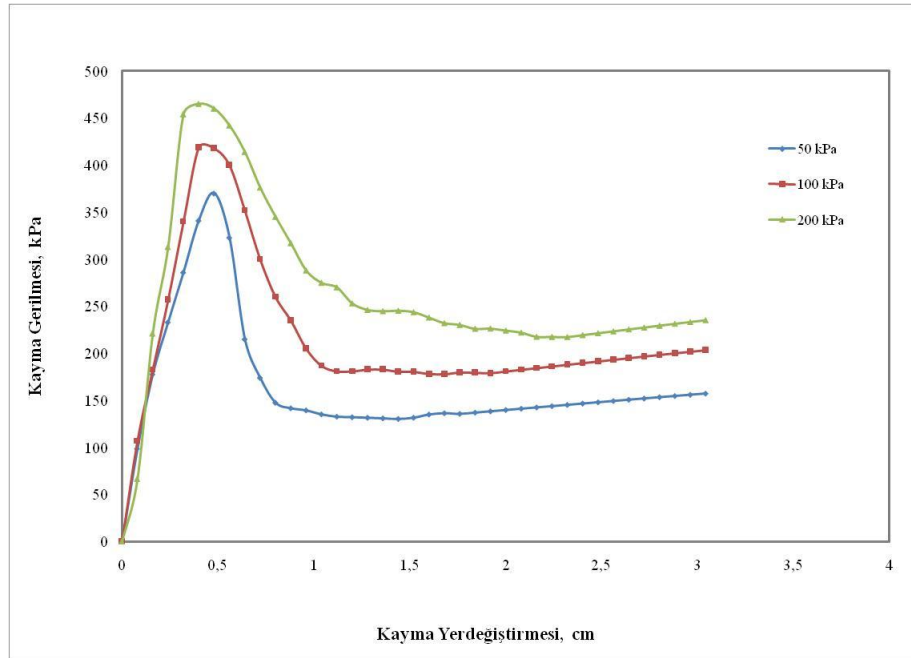
Şekil 5.41. Poliorganokillerin Stiren katkı yüzdesi ile konsolidasyonsuz drenajsız kohezyon değişimi

2.Kesme Kutusu Deneyi

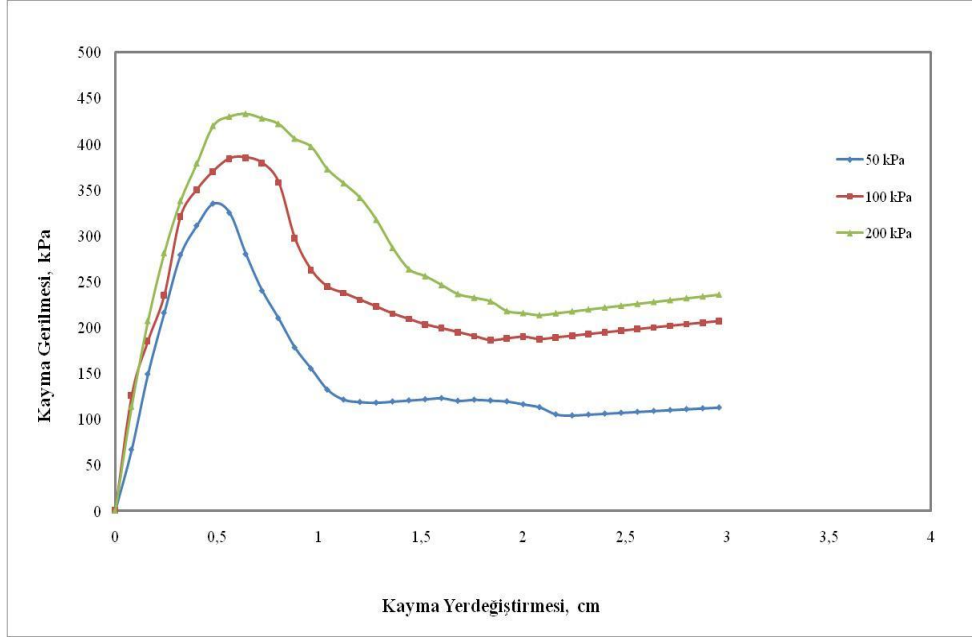
CTAB katkı maddesi numunelerin kayma gerilmesi değerini düşürdüğünden dolayı Stiren polimeri eklenmiş ve yapılan kesme kutusu deneylerinin sonuçlarında numunelerin kayma gerilmesi mukavemeti değerlerinde artış olduğu gözlemlenmiştir. Stiren oranı olarak Atatürk Üniversitesi K.K. Eğitim Fakültesi Kimya Bölümünde yapılan ön deneyler sonucu %15 ve %20 oranları belirlenmiş ve deneylerde kullanılmıştır. Kayma gerilmesi, yük değişimi grafikleri Şekil 5.46 ve Şekil 5.47’de çizilmiş buradan da bulunan konsolidasyonsuz-drenajsız kohezyon ve kayma mukavemeti açısı değerleri pik değerler olup Çizelge 5.6’da sunulmuştur. Kayma mukavemeti açılarının, Stiren katkı yüzdesi ile değişimi Şekil 5.48’de, konsolidasyonsuz drenajsız kohezyonun Stiren katkı yüzdesi ile değişimi Şekil 5.49’da gösterilmektedir. Grafikler incelendiğinde kayma mukavemeti açısı önemli bir değişim göstermemiştir. Konsolidasyonsuz-drenajsız kohezyonda ise azalma meydana gelmiştir. Konsolidasyonsuz-drenajsız kohezyonda meydana gelen azalma, yüzey aktif madde ile çevrelenen kil partiküllerinin birbirini tutma özelliğinin azalarak, silte benzer bir davranış sergilediğini göstermektedir.



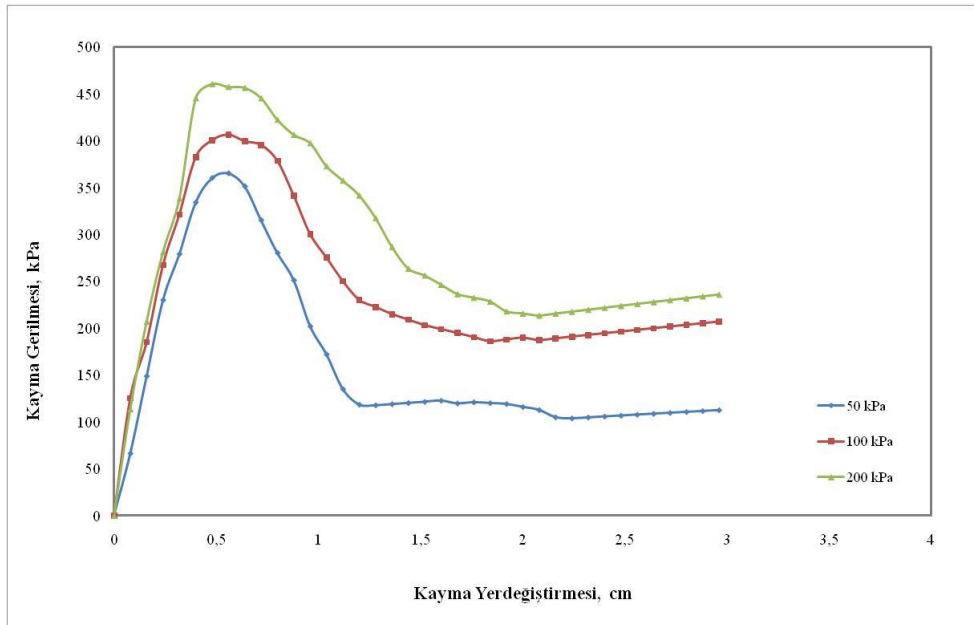
Şekil 5.42. %5 CTAB + %15 Stiren katkıli kil numunesine ait kayma gerilmesi, kayma yer değıştirmesi grafiğı



Şekil 5.43. %5 CTAB + %20 Stiren katkıli kil numunesine ait kayma gerilmesi, kayma yer değıştirmesi grafiğı



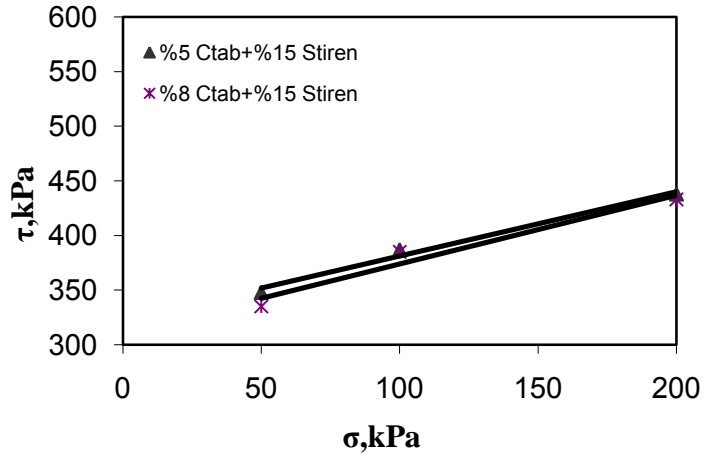
Şekil 5.44. %8 CTAB + %15 Stiren katkıli kil numunesine ait kayma gerilmesi, kayma yer değiştirmesi grafiği



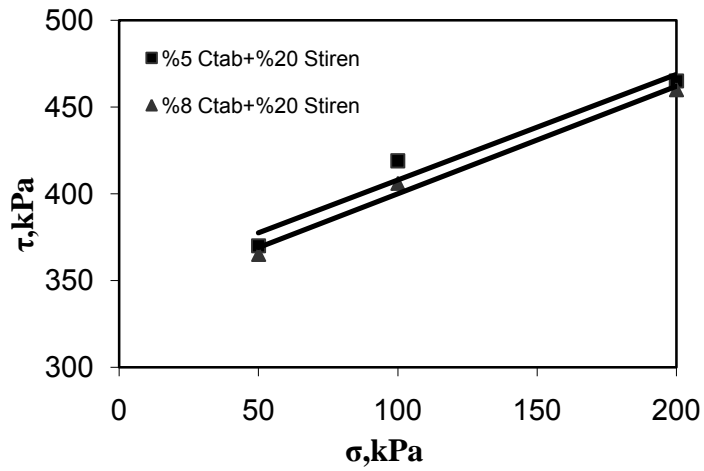
Şekil 5.45. %8 CTAB + %20 Stiren katkıli kil numunesine ait kayma gerilmesi, kayma yer değiştirmesi grafiği

Çizelge 5.6. Organokil ve poliorganokil numunelere yapılmış olan kesme kutusu deney sonuçları

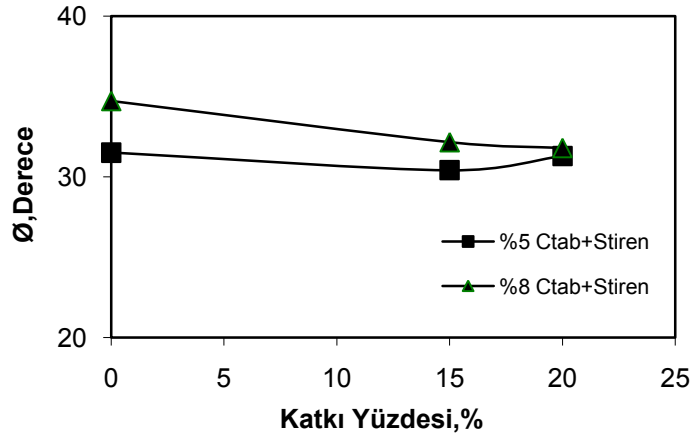
Numuneler	Kayma Mukavemeti Açısı(ρ ik),Derece	Konsolidasyonsuz, Drenejsiz Kohezyon,(cu,kPa)
%5 CTAB	31,50	302,5
%5 CTAB + %15 Stiren	30,41	322,5
%5 CTAB + %20 Stiren	31,32	347
%8 CTAB	34,71	279,5
%8 CTAB + %15 Stiren	32,15	311
%8 CTAB + %20 Stiren	31,79	338



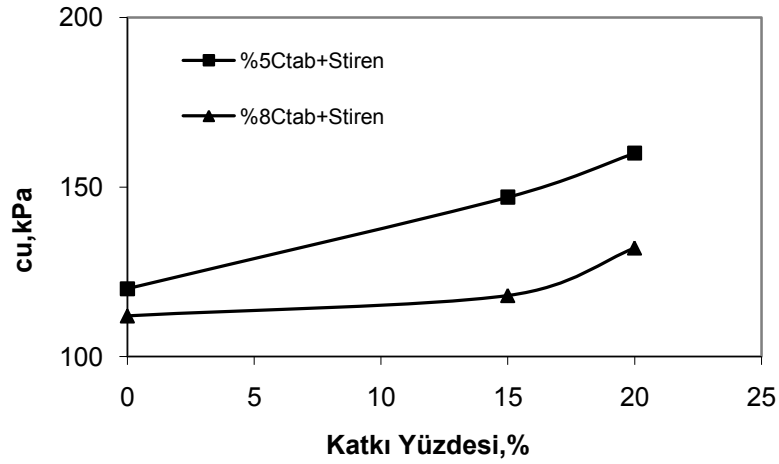
Şekil 5.46. Kayma gerilmesi, yük değişim grafiği (%15 Stiren)



Şekil 5.47. Kayma gerilmesi, yük değişim grafiği (%20 Stiren)



Şekil 5.48. Organokil ve poliorganokil numunelerin kayma mukavemeti açılarının, Stiren katkı yüzdesi ile değişimi



Şekil 5.49. Organokil ve poliorganokil numunelerin konsolidasyonsuz drenajsız kohezyonlarının, Stiren katkı yüzdesi ile değişimi

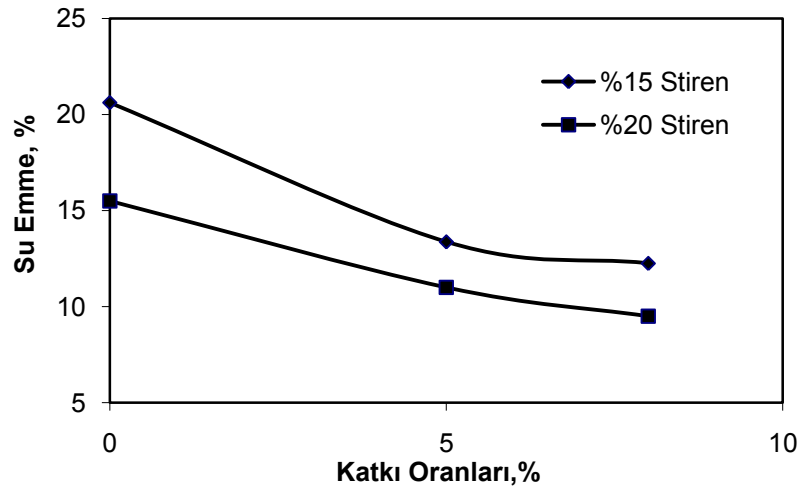
5.5.3. Su Emme Deneyi

Organokil numunelere yapılan su emme deneyleri sonucunda numunelerin su emme oranı değerlerinin katkısız numunelere göre azaldığı yukarıdaki sonuçlardan görülmüştü. Burada da poliorganokil numunelere yapılan deneyler ve bunların değişimleri görülmektedir (Çizelge 5.7.). Poliorganokil numunelerin su emme oranı değerleri de organokil numunelere göre daha da azalmaktadır (Şekil 5.50.).

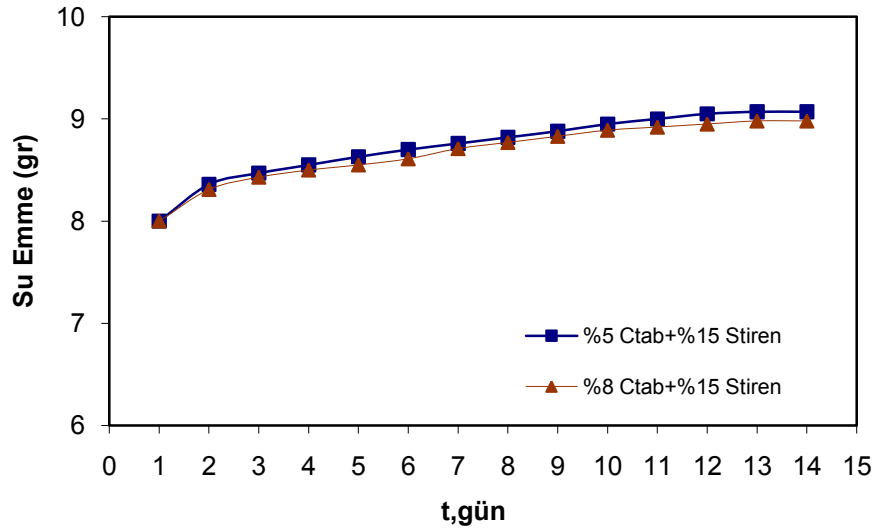
Çizelge 5.7. Stiren katkı oranları, su emme miktarı değişimi

Süre	%5 Ctab+%15 Stiren (gr)	%8 Ctab+%15 Stiren (gr)
1.gün	8,00	8,00
2.gün	8,36	8,31
3.gün	8,47	8,43
4.gün	8,55	8,50
5.gün	8,63	8,55
6.gün	8,70	8,61
7.gün	8,76	8,71
8.gün	8,82	8,77
9.gün	8,88	8,83
10.gün	8,95	8,89
11.gün	9,00	8,92
12.gün	9,05	8,95
13.gün	9,07	8,98
14.gün	9,07	8,98
Değişim(%)	13,37	12,25

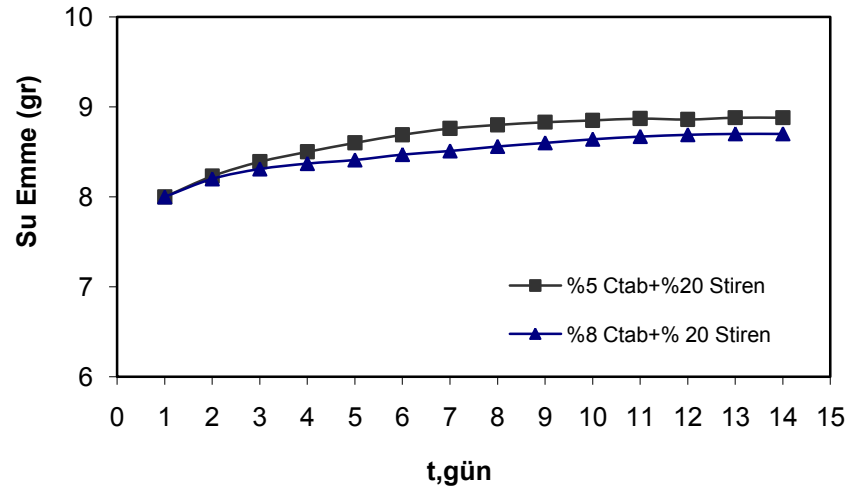
Süre	%5 Ctab+%20 Stiren (gr)	%8 Ctab+%20 Stiren (gr)
1.gün	8,00	8,00
2.gün	8,23	8,20
3.gün	8,39	8,31
4.gün	8,50	8,37
5.gün	8,60	8,41
6.gün	8,69	8,47
7.gün	8,76	8,51
8.gün	8,80	8,56
9.gün	8,83	8,60
10.gün	8,85	8,64
11.gün	8,87	8,67
12.gün	8,86	8,69
13.gün	8,88	8,70
14.gün	8,88	8,70
Değişim(%)	11,00	9,50



Şekil 5.50. Poliorganokil numunelerin su emme oranının, Stiren katkı yüzdesi ile değişimi



Şekil 5.51. Poliorganokil numunelerin su emme miktarının, zaman değişim grafiği (%15 Stiren)



Şekil 5.52. Poliorganokil numunelerin su emme miktarının, zaman değişim grafiği (%20 stiren)

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Çalışma kapsamında, yüzey aktif madde ve polimer modifikasyonu ile üretilen organokil ve poliorganokil numuneler üzerinde çeşitli mühendislik ve geoteknik deneyler yapılmıştır. Yüzey aktif madde kil adsorpsiyonu literatürde sıklıkla yer alan bir konudur. Yüzey aktif madde ve polimer ile muamele edilen zeminlerin mukavemet özelliklerinin araştırılması oldukça yeni bir konudur.

Çalışma kapsamında, 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. Elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmaktadır;

-Elektrokinetik özelliklere bakıldığında, katkı yüzdesi arttıkça, katyon değişim kapasitelerinde %5 oranında azalma, zeta potansiyelinde +47 mV değerinde artma temas açısında 15 ° civarında artma, elektrik iletkenliğinde %35 oranında azalma ve pH'ta kısmi bir azalma gözlenmiştir.

-Katkısız ve organokil numuneler üzerinde kıvam limiti deneyleri sonucu likit limit değerlerinde azalma olurken, organokil numuneler üzerinde plastik limit ve plastisite indisi bulunamamıştır.

-Kompaksiyon deneyleri sonucu numunelerin optimum su muhtevaları azalırken, maksimum kuru birim hacim ağırlıkları da azalmıştır.

-Organokil numunelerin dane birim hacim ağırlıkları katkı yüzdesi artışı ile azalmış, kompaksiyon sonuçlarından bulunan boşluk oranları artmış, doğal birim hacim ağırlık ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değerinde azalma görülmüştür.

-Mukavemet deneyleri sonuçlarından organokillerin katkı yüzdesi arttıkça, konsolidasyonsuz-drenajsız kohezyonun azaldığı, serbest basınç mukavemetlerinin azaldığı, kayma gerilmesinin azaldığı görülmüştür. Bu sonuçlar ışığında, organokil numunelerin mukavemet özelliklerinde artan katkı yüzdesi ile azalma meydana geldiği tespit edilmiştir. Daha sonra organokiller polimerle etkileştirilmiş, serbest basınç ve kayma gerilmesi gibi mukavemet değerlerinde artışlar olduğu görülmüştür.

- Organokil ve poliorganokil numuneler üzerinde yapılan su emme deneyleri sonucu katkısız numunelere göre azalmalar görülmüştür.

Katkılı kil numunelerin geçirimsiz şilte olarak kullanılabilirliğinin ortaya konması için organokil ve poliorganokil numunelerin hidrolik iletkenlik ve konsolidasyon özelliklerinin de araştırılması ayrıca önemlidir.

KAYNAKLAR

- Ajayan, P.M., Schadler, L.S., Braun, P.V., 2003. Nanocomposite Science and Technology, Pages:112-113.
- Akbulut, R.K., 2008. Yüzey aktif madde ile muamele edilen kilin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri, Y.lisans tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Akbulut, R.K., Akbulut, S., Yetimoğlu, T., 2008. Kimyasal katkılarla muamele edilen kil zeminlerin kıvam limitleri. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onikinci Ulusal Kongresi, Konya.
- Anonim 2009.The Royal Society&The Royal Academy of Engineering, 2004. Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties,London, <http://www.nanotec.org.uk/report/Nano%20report%202004%20fin.pdf>(2009)
- Anonymous, 2008. <http://www.iihw.org/clay.html>. (06/06/08).
- ASTM D 422-63, 1998. Standard Test Method for Particle Analysis of Soils. ASTM West Conshohocken, PA.
- ASTM D 698-00, 2000. Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort. ASTM West Conshohocken, PA.
- 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 3080-98, 1999. Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions. ASTM West Conshohocken, PA.
- ASTM D 4318-00, 2000. Standard Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. ASTM West Conshohocken, PA.
- ASTM D 4892-89, 2004. Standard Test Method for Density of Solid Pitch (Helium Pycnometer Method). ASTM West Conshohocken, PA.
- Ast, O., Perez, M., Carlet, S., 2007. PuAl alloys measurements using gas pycnometer: First results. *Journal of Alloys and Compounds*, 444-445: 226-229.
- Bayhan A.2006. Maleik anhidritle graflnmiş oligomerlerin ve i-pp/silikat nanokompozitlerin tepkimeli ekstrüzyon yöntemiyle sentezi ve karakterizasyonu, Hacettepe Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Bhattacharyya, K.G., Gupta, S.S., 2008. Adsorption of a few heavy metals on natural and modified kaolinite and montmorillonite: A review. *Advances in Colloid and Interface Science*. 140: 114-131.
- Beyer G., 2002. Nanocomposites: a new class of flame retardants for polymers. *Plast Addit Compound*. 4 (10): 22-7.(Pavlidou, S., Papaspyrides, C.D., 2008. A review on polymer-layered silicate nanocomposites. *Progress in Polymer Science*. 33: 1119-1198).
- Cuevas, J., Leguey, S., Garralon, A., Rastrero, M.R., Procopio, J.R., Sevilla, M.T., Jimenes, N.S., Abad, R.R., Garrido, A., 2008. Behavior of kaolinite and illite-based clays as landfill barriers. *Applied Clay Science* 42: 497-509.
- Deniz, M.E., 2007. Kompozit Malzemeler. http://eng.harran.edu.tr/~emin/kompozit_malzemeler.htm (29/07/09)
- Grim, R.E., 1968. *Clay Mineralogy*. McGraw-Hill Book Company, USA.
- Grim, R. E., and Güven, N., 1978. Bentonites, geology, mineralogy, properties and uses (*Devel. Sedimentol.*, 24), Elsevier, Amsterdam, 256.
- Guerra D.L., Airolti, C., Sousa, S.K., 2008. Adsorption and thermodynamic studies of Cu(II) and Zn(II) on organofunctionalized-kaolinite. *Applied Surface Science*. 254, 5157–5163.

- Gürses, A., Karaca, S., Açikyıldız, M., Ejder (Korucu), M., 2009. Thermodynamics and mechanism of cetyltrimethylammonium adsorption onto clayey soil from aqueous solutions. *Chemical Engineering Journal*. 147: 194-201.
- Hackman, I., Holloway, L., 2005. Epoxy-layered silicate nanocomposites in civil engineering. *Composites: Part A* 37 :1161–1170.
- Harris, C.D., *Analitik Kimya. Çeviri (Güler Somer)*. Gazi Büro Kitabevi. Ankara 1994.
- Holtz, R. D. and Kovacs, W. D., 1981. *An Introduction to Geotechnical Engineering*, Prentice-Hall, Inc., New Jersey.
- Itakura, T., Bertram, K.W., Knott, B.R., 2005. The nanoscale structural response of a natural kaolinitic clayey soil subjected to uniaxial compression. *Applied Clay Science* 29: 1-14.
- Konta, J., 1995. Clay and man: Clay raw materials in the service of man, *Applied Clay Science*, 10, 275.
- Kurt, Z.N. 2009 Yüzey aktif malzeme ile muamele edilmiş kilin mukavemet özelliklerinin araştırılması Y.Lisans Tezi Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Erzurum
- LeBaron, C.P., Wang, Z., Pinnavaia, J.T., 1999. Polymer-layered silicate nanocomposites: an overview. *Applied Clay Science* 15: 11-29.
- Lee, S.Y., Cho, J.W., Hahn, P.S., Lee, M., Lee, B.Y., Kim, J.K., 2005. Microstructural changes of reference montmorillonites by cationic surfactants. *Applied Clay Science* 30: 174-180.
- Lei, S.G., Hoa, S.V., Ton-That, M.,-T., 2006. Effect of clay types on the processing and properties of polypropylene nanocomposites. *Composites Science and Technology*. 66: 1274-1279.
- Lines, M.G., 2008. Nanomaterials for practical functional uses. *Journal of Alloys and Compounds*. 444: 242-245.
- Liu, P., 2007. Polymer modifies clay minerals: A review *Applied Clay Science* 38: 65-76
- Liu, R., Frost, R.L., Martens, W.N., Yuan, Y., 2008. Synthesis, characterization of mono, di and tri alkyl surfactant intercalated Wyoming montmorillonite for the removal of phenol from aqueous systems. *Journal of Colloid and Interface Science*. 327: 287-294.
- Lory, J., *Structure of Clays*, <http://soils.missouri.edu/tutorial/page8.asp> (29/07/09)
- Mitchell, J. K., 1976. *Fundamentals of soil behavior*. John Wiley and Sons Inc., New York, 422 pp.
- Park, J., Vipulanandan, C., Kim, J.W., Oh, M.H., 2006. Effects of surfactants and electrolyte solutions on the properties of soil. *Environ 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.
- Şaçak, M., 2004. *Polimer Kimyası*, Gazi Kitabevi, Ankara.
- Sivudu, K.S., Thomas, S., Shailaja, D., 2007. Synthesis and characterization of poly (4pv-co-dvb)/montmorillonite nanocomposites by in situ intercalative polymerization. *Applied Clay Science*. 37: 185-192.
- Skoog, D.A., West M.D., Holler, J.F., 1991. *Fundamentals Of Analytical Chemistry*, Seventh Edition. 496p., USA.
- Şen, A. 2009 *Polimerik Nanokompozitler Bileşim Dergisi* (bilesim.com.tr)
- Tiwari, R.R., Khilar, K.C., Natajara, U., 2008. Synthesis and characterization of novel organo-montmorillonites. *Applied Clay Science* 38: 203–208.
- TS 1900, 1987. *İnşaat Müh. Zemin Deneyleri*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Uzuner, B.A., 2005. *Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği*. Derya Kitabevi, Trabzon.
- Ünal, O., 2002. *Kompozit Malzemeler. Yapı Malzemesi Ders Notları*, Kocatepe Üniversitesi

- Viana, M., Jouannin, P., Pontier, C., Chulia, D., 2002. About pycnometric density measurements, *Talanta*, 57: 583-593.
- Zhou, Y., Pervin, F., Biswas, A.M., Rangari, K.V., Jeelani, S., 2006. Fabrication and characterization of montmorillonite clay-filled SC-15 epoxy. *Materials Letters* 60: 869-873.
- Zhu, R., Zhu, L., Zhu, J., Xu, L., 2008. Structure of cetyltrimethylammonium intercalated hydrobiotite. *Applied Clay Science* 42: 224-231.

ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında Erzurum'da doğdu. İlkokulu Alparslan İlkokulu'nda, Ortaokulu Gazi Ahmet Muhtar Paşa Ortaokulunda ve Liseyi Aziziye Erkek Lisesi'nde okudu. Lisans eğitimine 1997 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde başladı. Üniversiteden 2001 yılında mezun oldu. 2006 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans öğrenimine başladı.

2002 yılında başladığı iş hayatında, şu anda Erzurum Devlet Su İşleri 8.Bölge Müdürlüğünde İnşaat Mühendisi olarak görev yapmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.