



**NANO PARTİKÜLLERİN
İNCE DANELİ ZEMİNLER
ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ**

Faruk ALTUN

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Geoteknik Bilim Dalı
Prof. Dr. A. Şahin Zaimoğlu
2018**

Her hakkı saklıdır

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**NANO PARTİKÜLLERİN İNCE DANELİ ZEMİNLER
ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Faruk ALTUN

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Geoteknik Bilim Dalı**

**ERZURUM
2018**

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü



TEZ ONAY FORMU

NANO PARTİKÜLLERİN İNCE DANELİ ZEMİNLER ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ

Prof. Dr. Ahmet Şahin ZAIMOĞLU danışmanlığında, Faruk ALTUN tarafından hazırlanan bu çalışma, 25/06/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Geoteknik Bilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Ahmet Şahin ZAIMOĞLU

İmza :

Üye : Doç. Dr. Zülküf KAYA

İmza :

Üye : Dr.Öğr.Üyesi R.Kağan AKBULUT

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu'nun ~~28.06/2018~~ tarih ve ...~~26~~.../.~~27~~..... nolu kararı ile onaylanmıştır.


Prof. Dr. Mehmet KARAKAN
Enstitü Müdürü

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

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

NANO PARTİKÜLLERİN İNCE DANELİ ZEMİNLER ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Faruk ALTUN

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Geoteknik Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. A. Şahin Zaimoğlu

Nano malzemelerin kullanım alanları her geçen gün artmaktadır. Spesifik mühendislik malzemelerinin üretilmesinde kullanılan kil zeminler aynı zamanda yapı elemanı olarak kullanılmaktadır. Düşük oranlardaki nano katkıları, kil özelliklerini önemli derecede etkilemektedir.

Polimer/kil nanoparçacıklarının üretiminde en iyi yöntemlerden biri çeşitli fonksiyonel monomerlerin interkalasyon (ko) polimerizasyon yöntemidir. Zemin iyileştirilmesi alanında nano TiO₂ ve nano CuO katkılı killerin kullanımı yeni bir konudur. Bu çalışma kapsamında literatürde sınırlı sayıda çalışma olan nano TiO₂ ve nano CuO katkılı kompozit malzemelerin bazı mühendislik özellikleri araştırılmıştır.

Çalışmada kullanılan yüksek plastisiteli kil(CH), bu alanda yeni kullanılan interkalasyon yöntemi ile %0.5, %1, %2 ve %3 oranlarında nano TiO₂ ve nano CuO ile katkılandırılmıştır. Üretilen numunelere kıvam limitleri deneyi, proktor deneyi, serbest basınç deneyi, elektriksel iletkenlik ve PH ölçüm deneyleri yapılmıştır. Katkı malzemelerinin kile ilave edildiği SEM ve EDAX yöntemleri kullanılarak gösterilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda üretilen katkılı killerde (kompozit malzeme) her iki nano partikülün düşük katkı oranlarında zemin kararlılığının, zemin dayanımının, elektriksel iletkenliğin ve bazikliğin yüksek oranda arttığı ve Nano Tio₂ ve Nano CuO katkılarının yeni bir yapı malzemesi olarak ve zeminin iyileştirilmesi için kullanılabileceği sonuçları bulunmuştur.

2018, 73 sayfa

Anahtar Kelimeler: TiO₂ ve CuO katkılı nanokil, araya girme metodu, zemin iyileştirilmesi, kıvam limitleri, serbest basınç deneyi, elektriksel konduktivite, PH analizi.

ABSTRACT

MS Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF NANO PARTICULARS ON THIN FILLED FLOORS

Faruk ALTUN

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

Supervisor: Prof. Dr. A. Şahin ZAIMOĞLU

The usage areas of nano materials are increasing day by day. The clay floors used in the production of specific engineering materials are also used as building elements. Nano-added clay materials at low concentrations are materials that affect the soil properties at high rates.

One of the best methods in the production of polymer / clay nanoparticles is intercalation (co) polymerization of various functional monomers. In this study, engineering properties of TiO₂ and CuO doped nanocomposite materials, which are limited in the literature, have been investigated.

The clay used in this study was added with 0.5%, 1%, 2%, 3% of nano TiO₂ and nano CuO by using the new interposition method and this sample was used as the control sample of the untreated clay and the sample consistency limit experiment, proctor test, experiment, electrical conductivity and PH measurement experiments were carried out and the addition of SEM and EDAX methods to the additive materials were demonstrated. It has been found that the soil stability, soil resistance, electrical conductivity and basicity increase at high rates in the low additive ratio of the additive.

The use of nano-TiO₂ and nano-CuO-added killer in the field of soil remediation is a new subject. Nano TiO₂ and Nano-CuO have found results that can be used as soil improvement method and new building material.

2018, 73 pages

Keywords: TiO₂ and CuO doped nanocluster, intercalation method, soil improvement, consistency limits, free pressure test, electrical conductivity, PH analysis.

TEŞEKKÜR

Çalışmam süresince her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen tez danışmanım Sayın Prof. Dr. A. Şahin ZAIMOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma kapsamındaki deneyler, Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarında, yapılan görüntüleme analizleri Doğu Anadolu Yüksek Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde yapılmıştır. Bu kapsamda; İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanlığı'na, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Rahim Kağan AKBULUTA'a ve Dr. Öğr. Üyesi Fatih IŞIK'a, yüksek lisans çalışmalarım süresince emeği geçen tüm hocalarıma teşekkürleri borç bilirim.

Her konuda beni yalnız bırakmayan ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili aileme ve çok değerli arkadaşlarıma şükranlarımı sunarım.

Faruk ALTUN

Mayıs, 2018

İÇİNDEKİLER

| | |
|---|-----------|
| ÖZET..... | i |
| ABSTRACT | ii |
| TEŞEKKÜR..... | iii |
| SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ | vii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | viii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | x |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 1.1. Amaç ve Kapsam..... | 1 |
| 1.2. Kaynak Özetleri..... | 2 |
| 2. KURAMSAL TEMELLER | 6 |
| 2.1. Nanoteknoloji ve Kullanım Alanları | 6 |
| 2.1.1. Nano teknolojinin kullanıldığı alanlar..... | 8 |
| 2.1.1.a. Malzeme ve imalat sektörü..... | 8 |
| 2.1.1.b. Nano-elektronik ve bilgisayar teknolojileri..... | 8 |
| 2.1.1.c. Tıp ve sağlık sektörü..... | 8 |
| 2.1.1.d. Havacılık ve uzay araştırmaları | 8 |
| 2.1.1.e. Çevre ve enerji..... | 9 |
| 2.1.1.e. Biyoteknoloji, ilaç ve tarım | 9 |
| 2.1.2. Nano malzemelerin inşaat mühendisliğinde kullanım alanları | 9 |
| 3. MATERYAL ve YÖNTEM | 11 |
| 3.1. Materyal..... | 11 |
| 3.1.1. Kil..... | 11 |
| 3.1.2. Bakır iki Oksit (CuO)..... | 12 |
| 3.1.3. Titanyum Dioksit (TiO ₂)..... | 13 |
| 3.2. Yöntem | 14 |
| 3.2.1. Çözelti ortamında araya girme metodu | 14 |
| 3.2.2. Kil + %1 nano CuO kompozit malzemenin elde edilmesi | 15 |
| 3.2.3. Kil + %1 nano TiO ₂ kompozit malzemenin elde edilmesi | 16 |
| 3.2.4. Kıvam limitleri | 18 |

| | |
|---|-----------|
| 3.2.4.a. Likit limit (LL) | 18 |
| 3.2.4.b. Plastik limit (PL) | 19 |
| 3.2.5. Plastisite indisi (PI) | 19 |
| 3.2.6. Standart kompaksiyon (Proktor) deneyi | 20 |
| 3.2.7. Tek eksenli serbest basınç deneyi | 21 |
| 3.2.8. Elektrik iletkenliği | 23 |
| 3.2.9. PH ölçümü (Power of Hydrogen) | 23 |
| 3.2.10. SEM (Taramalı elektron mikroskopi) | 24 |
| 4. ARAŞTIRMA BULGULARI..... | 26 |
| 4.1. Kıvam Limitleri Analizleri | 26 |
| 4.1.1. Katkısız CH kili | 26 |
| 4.1.2. Kil+ %0.5 nano titanyumdioksit Kompozit | 26 |
| 4.1.3. Kil+ %0.5 Nano bakırkioksit Kompozit | 27 |
| 4.1.4. Kil+ %1 nano titanyumdioksit Kompozit | 28 |
| 4.1.5. Kil+ %1 nano bakırkioksit Kompozit | 28 |
| 4.1.6. Kil+ %2 nano titanyumdioksit Kompozit | 29 |
| 4.1.7. Kil+ %2 nano bakırkioksit Kompozit | 29 |
| 4.1.8. Kil+ %3 nano titanyumdioksit Kompozit | 30 |
| 4.1.9. Kil+ %3 nano bakırkioksit Kompozit | 30 |
| 4.2. Kompaksiyon Deneyi | 31 |
| 4.3. Serbest Basınç Deneyi | 32 |
| 4.3.1. Katkısız CH K ile ait serbest basınç deneyi | 32 |
| 4.3.2. Kil + %0.5 nano titanyumdioksit kompozit serbest basınç deneyi | 33 |
| 4.3.3. Kil + %0.5 nano bakırkioksit kompozit serbest basınç deneyi | 33 |
| 4.3.4. Kil + %1 nano titanyumdioksit kompozit serbest basınç deneyi | 34 |
| 4.3.5. Kil + %1 nano bakırkioksit kompozit serbest basınç deneyi | 35 |
| 4.3.6. Kil + %2 nano titanyumdioksit kompozit serbest basınç deneyi | 35 |
| 4.3.7. Kil + %2 nano bakırkioksit kompozit serbest basınç deneyi | 36 |
| 4.3.8. Kil + %3 nano titanyumdioksit kompozit serbest basınç deneyi | 37 |
| 4.3.9. Kil + %3 nano bakırkioksit kompozit serbest basınç deneyi | 37 |
| 4.4. Kıvam Limitlerin Karşılaştırması | 38 |
| 4.5. Serbest Basınç Deneyine ait Sonuçların Karşılaştırması | 42 |

| | |
|---|-----------|
| 4.6. Elektriksel İletkenlik ve Ph Sonuçları | 45 |
| 4.7. SEM Analizleri | 49 |
| 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER | 54 |
| KAYNAKLAR..... | 57 |
| EKLER..... | 59 |
| EK 1..... | 59 |
| ÖZGEÇMİŞ | 74 |



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

| | |
|------------------|------------------------------|
| CuO | Bakırkioksit |
| EC | Elektriksel İletkenlik |
| EDAX | Enerji Dağıtım Analizi |
| LL | Likit Limit |
| Ph | Hidrojen kuvveti |
| PI | Plastisite İndisi |
| PL | plastik Limit |
| SEM | Taramalı Elektron Mikroskobu |
| TiO ₂ | Titantum dioksit |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | |
|--|----|
| Şekil 2.1. Nano boyutun çeşitli materyaller ile gösterilmesi | 6 |
| Şekil 3.1. Casagrande Plastisite Kartı | 11 |
| Şekil 3.2. CuO atomik gösterimi | 13 |
| Şekil 3.3. TiO ₂ 'in kristal formları | 14 |
| Şekil 3.4. Çözelti ortamında araya girme metodunun şekilsel gösterimi | 15 |
| Şekil 3.5. Kil + %1 nano CuO kompozit malzemenin hazırlanışı | 16 |
| Şekil 3.6. Kil + %1 Nano TiO ₂ Kompozit malzemenin hazırlanışı | 17 |
| Şekil 3.7. Kil + %1 Nano TiO ₂ Kompozit malzemenin magnetik karıştırıcıda karıştırılması | 17 |
| Şekil 3.8. Kil + %1 Nano TiO ₂ Kompozit malzemenin etüvde kurutulması | 18 |
| Şekil 3.9. Düşen koni penetrasyon deney aleti | 19 |
| Şekil 3.10. Kıvam limit deneyine ait numunelerin etüvde kurutma aşaması..... | 20 |
| Şekil 3.11. Proktor deneyi yapım aşaması | 21 |
| Şekil 3.12. Kompaksiyon eğrisi | 21 |
| Şekil 3.14. Serbest basınç deneyi uygulama aşamsı | 22 |
| Şekil 3.15. Kırılmış bazı numunelere ait görüntüler | 22 |
| Şekil 3.16. Elektriksel İletkenlik ve PH ölçüm cihazı | 23 |
| Şekil 3.17. Ph deneyi uygulama aşaması | 24 |
| Şekil 3.18. XPS cihazı | 25 |
| Şekil 4.1. Katkısız kile ait likit limit grafiği | 26 |
| Şekil 4.2. Su muhtevası- batma miktarı ilişkisi | 27 |
| Şekil 4.3. Su muhtevası- batma miktarı ilişkisi | 27 |
| Şekil 4.4. Su muhtevası- batma miktarı ilişkisi | 28 |
| Şekil 4.5. Su muhtevası- batma miktarı ilişkisi | 28 |
| Şekil 4.6. Su muhtevası- batma miktarı ilişkisi | 29 |
| Şekil 4.7. Su muhtevası- batma miktarı ilişkisi | 30 |
| Şekil 4.8. Su muhtevası- batma miktarı ilişkisi | 30 |
| Şekil 4.9. Su muhtevası- batma miktarı ilişkisi | 31 |
| Şekil 4.10. Su muhtevası-kuru birim hacim ağırlığı ilişkisi | 32 |

| | |
|--|----|
| Şekil 4.11. Deformasyon- gerilme ilişkisi | 33 |
| Şekil 4.12. Deformasyon- gerilme ilişkisi | 33 |
| Şekil 4.13. Deformasyon- gerilme ilişkisi | 34 |
| Şekil 4.14. Deformasyon- gerilme ilişkisi | 34 |
| Şekil 4.15. Deformasyon- gerilme ilişkisi | 35 |
| Şekil 4.16. Deformasyon- gerilme ilişkisi | 36 |
| Şekil 4.17. Deformasyon- gerilme ilişkisi | 36 |
| Şekil 4.18. Deformasyon- gerilme ilişkisi | 37 |
| Şekil 4.19. Deformasyon- gerilme ilişkisi | 38 |
| Şekil 4.20. Kıyım limit deney sonuçları..... | 38 |
| Şekil 4.21. Kıyım limit deney sonuçları..... | 39 |
| Şekil 4.22. Likit limit değerlerinin karşılaştırması | 40 |
| Şekil 4.23. Plastik limit değerlerinin karşılaştırması | 40 |
| Şekil 4.24. Plastisite indisi değerlerinin karşılaştırması | 41 |
| Şekil 4.25. Deformasyon- gerilme ilişkisi | 42 |
| Şekil 4.26. Maksimum serbest basınç değişimi | 43 |
| Şekil 4.27. Deformasyon- gerilme ilişkisi | 43 |
| Şekil 4.28. Maksimum serbest basınç değişimi | 44 |
| Şekil 4.29. Serbest basınç değişimi karşılaştırma grafiği | 45 |
| Şekil 4.30. Elektriksel iletkenlik değişimi | 46 |
| Şekil 4.31. Elektriksel iletkenlik değişimi | 47 |
| Şekil 4.32. PH Değişimi | 48 |
| Şekil 4.33. PH Değişimi | 48 |
| Şekil 4.34. Katkısız kile ait SEM görüntüsü..... | 49 |
| Şekil 4.35. TiO ₂ 'e ait SEM görüntüsü | 50 |
| Şekil 4.36. CuO 'e ait SEM görüntüsü | 50 |
| Şekil 4.37. SEM görüntüsü | 51 |
| Şekil 4.38. EDAX sonucu | 52 |
| Şekil 4.39. SEM görüntüsü | 52 |
| Şekil 4.40. EDAX sonucu | 53 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| | |
|---|----|
| Çizelge 3.1. Bakırkioksit'e ait veriler | 12 |
| Çizelge 3.2. Titanyumdioksite ait veriler | 14 |
| Çizelge 4.1. Elektriksel iletkenlik ve PH sonuçları | 46 |
| Çizelge 4.2. EDAX Verileri | 51 |
| Çizelge 4.3. EDAX verileri | 53 |



1. GİRİŞ

1.1. Amaç ve Kapsam

Nanoteknolojinin uygulama alanları gün geçtikçe artmaktadır. Geoteknik mühendisliğinde önemli bir yeri olan kil malzemeler nano malzeme üretiminde yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar. Nanoteknoloji sayesinde malzemeler atom, molekül ve makromolekül ölçeklerinde incelenebilmekte ve bu ölçeklerde malzemede değişiklikler yapılabilmektedir. Malzemeler nano boyuta indirildiğinde, makro boyutlarındaki fiziksel veya kimyasal özelliklerden çok farklı fizikokimyasal özellikler kazanmaktadırlar (Baykara 2008).

Günümüz teknolojisi, boyut olarak küçülmekle birlikte ağırlıkça hafifleşme eksenlerinde değişim göstermektedir. Bu gelişmeler malzeme özelliklerini iyileştirmeyi amaçlayan nanoteknolojiyle sağlanmaktadır. Nanoteknoloji, mikron boyutundan daha küçük boyutlardaki işleme teknolojisidir. Nanopartiküllerin katkı malzemesi olarak kullanılması sonucu nanokompozitler üretilmektedir. Böylece malzemelerin fizikokimyasal özellikleri de iyileştirilebilmektedir. Bu malzemelerin geliştirilmesi ile inşaat, tıp gibi birçok disiplinde ihtiyacımız olan malzemeler sağlanabilecektir (Aydın ve İnanç 2012).

Çalışma kapsamında Erzurum İli, Oltu-Narman Havzası'ndan alınan kil örneği kullanılmıştır. Alınan zemin etüvde kurutulduktan sonra öğütülmüş, 40 nolu elekten elenerek hazır hale getirilmiştir. Nanomalzeme, önceden belirlenen spesifik maksimum miktarda (200 ml'de CuO için 1,2620g; TiO₂ için 0,8314g) alınarak günlük deiyonize suda magnetik karıştırıcıda 50°C'de dispers oluncaya kadar karıştırılmıştır. Oluşan çözeltiliye azar azar kil ilave edilerek karıştırma kabının dibinde çökelti kalmayınca kadar karıştırma işlemine devam edilmiştir. Seramikleşme olmaması için 90°C'de 48 saat etüvde bekletilerek nanomalzeme-kil karışımı (kompozit) elde edilmiştir.

Katkı malzemesi olarak TiO₂ kullanılmasının amacı kilin doğal muhtevasında olmaması ve TiO₂'nin çelik ile aynı mukavemete sahip olmasına rağmen ağırlıkça yarı yarıya hafif olmasıdır. CuO kullanılma gerekçesi ise, kilin doğal yapısında Cu bulunmaması ve bakırın iyi bir iletken olmasıdır.

Çalışmada kil, %0.5, %1, ve %3 oranlarında nanomalzemeler ile katkılandırılarak kil zeminin kıvam limitleri, serbest basınç dayanımı, elektriksel iletkenlik ve PH üzerindeki etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır.

Katkısız kil numunesine ait SEM görüntüleri ve katkılı kil numunelerine ait SEM görüntülemesi ve EDAX analizi yapılarak katkılı malzemenin kile katkılandırıldığının gösterilmesi amaçlanmıştır.

1.2. Kaynak Özetleri

Lee *et al.* (2005) çalışmalarında katyonik bir yüzey aktif madde ile modifiye edilen montmorillonit killerin yapıları ile karakteristiklerini incelemişlerdir. Deneylede Wyoming Montmorillonit ve Arizona Montmorillonit olmak üzere iki farklı montmorillonit türü kullanılmıştır. Alkilamonyum katyonları ile katkı yapılmış olan montmorillonitin ara tabaka yapısı, tabaka yükünün yoğunluğu, değişim derecesi ve alkil zincirler arasındaki karşılıklı etkileşimden etkilendiği belirtilmiştir.

Lei *et al.* (2006) yaptıkları çalışmada, kil kimyasının kille yapılan nanokompozitlerin özellikleri ve prosesleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Polipropilene altı farklı kilin eritme işlemiyle muamele edilmiştir. Sonuç olarak, alkil onyum iyonu arakatkılı killerin, alkilamin ara katkılı killere oranla daha iyi termal durabiliteye sahip oldukları görülmüştür.

Liu (2007) çalışmasında, kil numunelerinin, polimerler ile fiziksel adsorbsiyonu ve kimyasal aşılama yolu ile modifikasyonundaki son gelişmeler incelenmiştir. Kil minerallerinin özellikle polimerlerle olan yüzey modifikasyonunun, killerin fiziksel ve

kimyasal özelliklerini belirgin şekilde düzeltebildiği, modifiye kil minerallerine kompozit malzemelerde katalizör, adsorban olarak başvurulabileceği belirtilmiştir. Organik polimerlerin, yapı ve performans tanımlaması ile yeni malzemeler üretilebileceği belirtilmiş, bu metotların çeşitleri ve kombinasyonlarının yeni özelliklere sahip, gerçekten ileri malzemeler hazırlamak için keşfedilmesi gerektiği ifade edilmiştir.

Liu *et al.* (2008) yaptıkları çalışmada Wyoming Sodyum montmorillonitin sıvı süspansiyonu içindeki sodyum iyonları için tek, çift ve üçlü alkil zincirleri içeren katyonik yüzey aktif maddelerin iyon değişimi ile elde edilebilen organokilleri üretmişlerdir. Kil minerallerinin tanımlanmasında X-ray difraksiyon analizi, transmisyon elektron mikroskobu ve TEM sonuçları kullanılmıştır. Smektitlerin yüksek katyon değişim kapasiteleri, şişme kapasitesi, yüksek yüzey alanı ve güçlü adsorbsiyon kapasitelerinin sonucu olarak sıkça kullanıldığını tespit edilmiştir. Katyonik yüzey aktif maddelerin ara katkısının yalnızca yüzey özelliklerini hidrofilikten hidrofobiğe çevirmediği, ara tabaka boşluklarını da artırdığı gösterilmiştir.

Paiva *et al.* (2008) yaptıkları çalışmada son yıllarda yüzey aktif maddelerin polimer nanokompozitlerin özellikleri, sentezleri ve uygulamaları hakkında yapılmış olan yayınlarla ilgili bir derleme yapmışlardır. Bu çalışma kapsamında; kil mineralleri arasında, smektitler, özellikle montmorillonit, büyük yüzey alanı, adsorbsiyon özellikleri, şişme davranışı, yüksek katyon değişim kapasitesi gibi özelliklerinden dolayı yaygın bir şekilde organokil hazırlamak için kullanıldığına değinilmiştir.

Lines (2008) yılında yaptığı çalışmada nano teknolojinin pek çok kullanışlı ve gerçekçi sonuçları olduğunu belirterek bunları; yeni özelliklere sahip ürünlerin ve malzemelerin üretilmesi, çevre problemlerinin çözümüne yardımcı olması, yeni uygulamaların ve var olan teknolojilerin gelişmesi, kullanışlı uygulamalar için ön şartların optimizasyonu şeklinde sıralamıştır. Nanomalzemelerin çok küçük boyutlara sahip olmalarına rağmen, dikkate değer özellikleri olduğunu belirtmiş, bu malzemelerin optiksel, mekanik, elektriksel, yapısal ve magnetik özelliklerinde önemli değişimler-iyileşmeler gözlemiştir. Bazı anahtar özelliklerini; boyutlarının 10^{-9} m ye kadar olması, oldukça

büyük özgül yüzey alanına sahip olmaları, etkileyici ve kullanışlı özellikler göstermeleri, yapısal ve yapısal olmayan uygulamalarının olması, güçlü ve daha esnek malzemeler olmaları, kimyasal olarak çok aktif malzemeler olmalarıdır.

Kananizadeh *et al.* (2011) yılında yaptıkları çalışmada nano katkılı kilin hidrolik iletkenlik üzerine etkisini araştırmışlardır. Nano katkılı dolgu malzemesinin geçirgenlik, basınç dayanımı, şişme, katyon değişim kapasitesi üzerine etkilerini araştırmışlardır. %4 nano katkılı dolgu malzemesinin geçirgenliği önemli ölçüde azalttığı sonucunu bulmuşlardır.

Taha ve Taha (2012) yılında yaptıkları çalışmalarda katkısız kile ağırlıkça yüzde 0.075, 0.3, 0.5 ve 0.7 oranlarında nanobakır ilave etmişlerdir. Yöntem olarak ağırlıkça hesap yapılarak kaba karıştırma yöntemi kullanılmışlar. Katkılı killerin katkısız killere göre büzülmesinin ve gerginliğinin arttığı sonucuna varmışlardır.

Lou *et al.* (2012) yılında yaptıkları çalışmalarda kil ve lağım atığı kullanmışlardır. Kil ve lağım atığına nano Al_2O_3 ağırlıkça %1, %2, %3 oranlarında ilave etmişlerdir. Yöntem olarak mekanik karıştırıcıda karıştırma yöntemini kullanmışlardır. Yeni oluşan malzemenin kıvam limitlerine ve şişme potansiyellerine bakmışlardır. Çalışma sonucunda katkılı killerin mukavemet özelliklerinin katkı oranlarına bağlı olarak arttığı, şişme potansiyelinin ve plastisite indisinde azalma olduğunu tespit etmişlerdir.

Arabani *et al.* (2015) yaptıkları çalışmalarında asfalt önemli bir parçası olan bitümün yapısına nano malzeme eklenerek sürtünmeye karşı dayanımı artmış asfalt elde etmeyi amaçlamışlardır. Çalışmada %5 SBS nano kil kompoziti kullanılmıştır. Nano malzeme eklendikten sonra sürtünme testleri yapılmıştır. Sonuç olarak nano kil kompozitlerin asfalt karışımının sürtünme durumunu değiştirdiğini bulmuşlardır.

Ghasabkolaei *et al.* (2017) yılında yaptıkları çalışmada nanopartiküller ile kum malzemeyi katkılandırmışlar, nano malzemenin zeminin geoteknik özelliklerini iyileştirmesi amaçlanmıştır. Yen bir sınıflandırma kullanmışlardır. Çalışma sonucunda

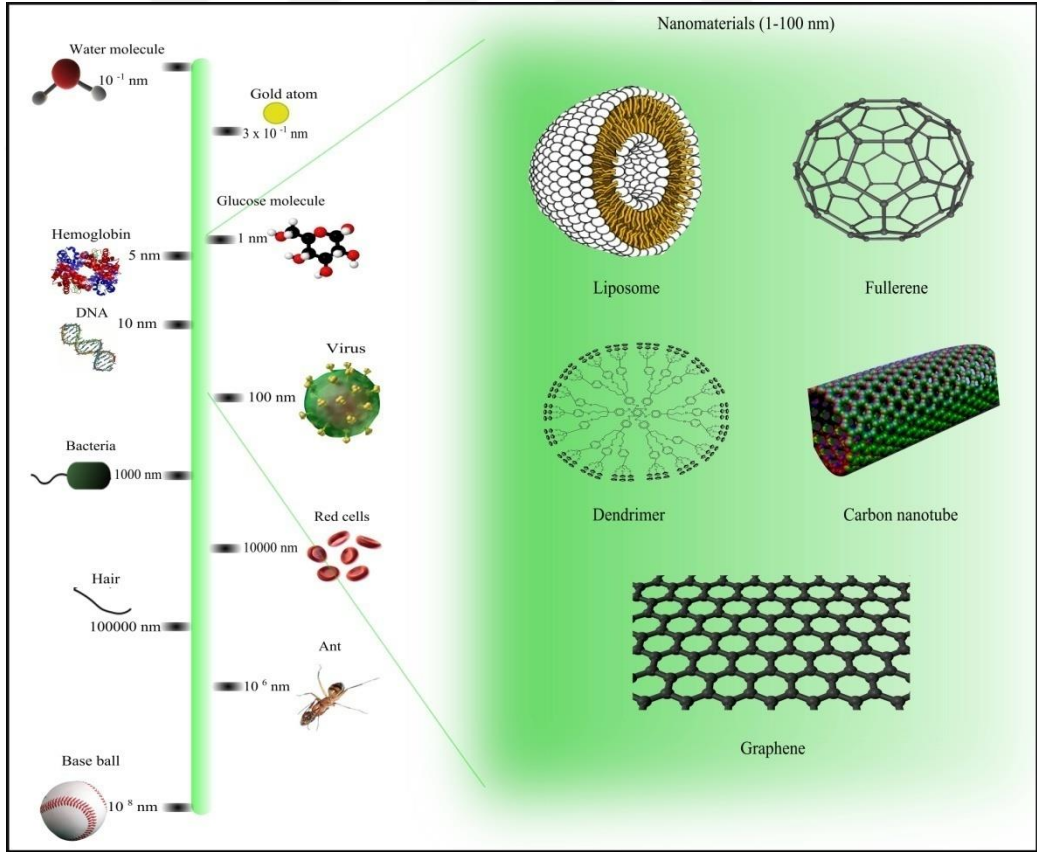
nanopartikül katkı kum zemininde oturma özelliklerindeki azalma olduğunu tespit etmişlerdir.



2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Nanoteknoloji ve Kullanım Alanları

Günümüz teknolojisi, boyut olarak küçülmekte ve ağırlıkça hafifleşme eksenlerinde değişim göstermektedir. Bu gelişmeler malzeme özelliklerini iyileştirmeyi amaçlayan nanoteknolojiyle sağlanmaktadır. Nanoteknoloji, mikron boyutundan daha küçük boyutlardaki işleme teknolojisidir (Akdoğan ve Küçükyıldırım 2006). Nano boyutun çeşitli materyaller ile gösterilmesi Şekil 2.1'de gösterilmiştir (Water molecule: su molekülü; bacteria:bakteri; hair: saç; base ball:bezbol topu; glucose molecule: glukoz molekülü; red cells : kan hücreleri; ant: karınca).



Şekil 2.1. Nano boyutun çeşitli materyaller ile gösterilmesi (Bayındır 2009)

Nanomalzemelerin en önemli ürünlerinden biri nanopartiküllerdir. Bütün nanomalzemelerde olduğu gibi boyutlarına göre sınıflandırılırlar. Kaba partiküller boyutu 2500 nm'den büyük olan malzemelerdir. Bunlar nanopartikül sınıfına sokulmamaktadırlar. İnce taneli partiküllerin boyutları 100-2500 nm arasındadır. Bunlar bile nanoteknolojinin sağladığı özellikleri tam olarak sağlayamazlar. Sadece malzeme boyutu 100 nm'nin altına olan partiküllerin mekanik, elektriksel gibi özelliklerinde değişimler görülmektedir (Aydın ve İnanç 2012).

Bakır, titanyumdioksit (TiO₂) benzeri malzemelerin boyutları küçültüldükçe fiziko-kimyasal özelliklerinin değiştiği bilinmektedir. Mukavemet özelliği, inşaat ve malzeme mühendisliğinin üzerinde durduğu en önemli parametrelerdendir. Nanomalzemelerde boyut azaldıkça yüzey enerjisi arttığı, elastiklik modülünün ve mukavemetin arttığı bilinmektedir (Akdoğan ve Küçükyıldırım 2006).

Nanopartiküllerin katkı malzemesi olarak kullanılması sonucu nanokompozitler üretilmektedir. Nanomalzeme üretimi temel olarak yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya olmak üzere iki yöntemle üretilir. Yukarıdan aşağıya yöntemleri mekanik aşındırma, elektro patlama, dağlama, ısıl yöntem, dönen soğuk yüzeyde karşılaştırma, gaz atomizörü, yüksek enerji, litografi ve aşağıdan yukarı yöntemleri asal gaz yoğunlaştırma, alev sentezi, kimyasal buhar yoğunlaştırma, moleküler hüzme, atom tabaka çökmesi, yanma, yaş kimyasal sentez, elektro patlama, lazer ablasyonu, sol-jel, ultrasonik sprey piroliz yöntemleri olarak sınıflandırılır (Bushan 2010). Bu çalışmada aşağıdan yukarıya üretim yöntemlerinden yaş kimyasal sentez yöntemi olan araya girme yöntemi kullanılmıştır.

Nano teknolojik ürünler şimdiden yaşamımıza girmiş durumdadırlar. Bu ürünlere kir tutmayan duvar boyaları, kirlenmeyen ıslanmayan kumaşlar, mikropları öldüren filtreler, tenis raketleri, el yüz kremleri, antifungal ve antibakteriyel çoraplar örnek olarak verilebilir (Algali G.,2003).

2.1.1. Nano teknolojinin kullanıldığı alanlar

2.1.1.a. Malzeme ve imalat sektörü

Malzemelerin atomik veya moleküler boyutlardan başlayarak aşağıdan yukarıya yöntemi kullanılarak üretilmesi ile daha sağlam ve daha hafif malzemelerin üretileceği düşünülmektedir. Üretilen bu malzemelerin hata seviyeleri daha az olduğu ve eşsiz dayanıklılık özellikleri bulunduğundan birçok sanayi için yenilikler getireceği söylenmektedir (Baykara T.,2008).

2.1.1.b. Nano-elektronik ve bilgisayar teknolojileri

Nanometre ölçeklerinde elektronik araçların üretilmesi ile sistemlerinin işlem güçleri ve kapasiteleri ciddi oranda artırılabilceği ve geliştirilmesi ile pentium bilgisayarlarla kıyaslanamayacak seviyelerde işlem gücüne sahip bilgisayarları elde etmenin mümkün olacağı düşünülmektedir (Algali G.,2003).

2.1.1.c. Tıp ve sağlık sektörü

Nanoteknoloji canlı sistemlerinde molekül boyutunda teşhis ve tedavi etme olanağı sağlayabileceği düşünülmektedir. Spesifik olarak hareket eden, hastalığın bulunduğu veya yayıldığı bölgelere saldıran, sadece bu bölgelere ilaç veren nano taşıyıcılar, vücut içinde hareket etme imkânı sağlayan teşhis araçları nanoteknolojinin sağlık alanındaki uygulamaları olarak gösterilebilir (Baykara T.,2008).

2.1.1.d. Havacılık ve uzay araştırmaları

Havacılık ve uzay araçlarının üretim maliyetleri yüksektir. Ayrıca maliyetten daha önemli olan bu malzemelerin imalatı sırasında kullanılan malzemelerin ağırlığıdır. Nano teknoloji ile bu malzemelerin ağırlıkları önemli ölçülerde azalmakla kalmayıp

maliyetlerde de büyük düşüşler sağlayabilir. Çelikten kat kat yüksek çekme direncine sahip nano tüplerin üretilmesi sayesinde dünya yüzeyinden atmosfere kadar yapılar inşa edilebileceği planlanmaktadır. Böylelikle uzay araştırmalarında büyük maliyetler meydana getiren fırlatma maliyetlerinin payı düşürülmüş olacaktır (Baykara T.,2008).

2.1.1.e. Çevre ve enerji

Nano kompozitler fosil yakıtların verimliliğini artırmaktadır. Nano kompozitlerin kullanılması ile daha yüksek verimliliğe sahip motorlar üretilebileceği böylece daha çevre dostu sistemlerinin kurulmasının mümkün olacağı düşünülmektedir. Özellikle içme ve kullanma sularının temizlenmesinde nano teknoloji ile büyük kolaylıklar getirileceği planlanmaktadır (Akdoğan ve Küçükıyıldırım 2006).

2.1.1.e. Biyoteknoloji, ilaç ve tarım

Tıp ve sağlık sektörlerinde uygulanacak teknolojilerin geliştirilmesi sonucu ilaç ve tarım sektöründe de biyoteknolojilerin uygulanabileceği söylenmektedir. Yeni üretilen ilaçlar ve gübreler ile daha besili hayvanlar ve hastalık direnci yüksek bitkiler yetiştirilebileceği düşünülmektedir (Bozoğlu A.,2010).

2.1.2. Nano malzemelerin inşaat mühendisliğinde kullanım alanları

Nanomalzemelerin inşaat mühendisliğinde kullanılmaya başlaması yeni olmasına rağmen pek çok uygulama alanı mevcuttur. Bunlara çok yüksek performanslı betonlar, geliştirilmiş beton, kendi kendini temizleyebilen yüzeyler, nano boyalar, seramik kaplamalar, nano alüminyum kompozit paneller, cephe korumaları, soğuk hava depoları, inşaat kalıpları, nanobetonlar, nanobetonkatkıları, betonun çelik donatılar dışında fiber donatılı polimer ile takviyesi, agregasındaki elyafı sayesinde ışık geçirme özelliği kazanan betonlar, agregasında grafit ve çelik lifler kullanarak üretilmiş elektrik akımı uygulandığı zaman ısınan beton veya radyo dalgalarını soğurma özelliği olan ferrit kullanarak üretilen radar ile görünmeyen betonlar uygulama alanlarına örnek

olarak verilebilir. Ayrıca U-V ışınlarına dayanıklı boyalar nanomalzemeler kullanılarak üretilmektedir. Bakteri tutmayan lavabo, kendi kendini temizleyen pencere ve banyo seramikleri, titanyum dioksit ile kaplı katalitik çimento ve hava kirliliğini engelleyici ve kir tutmayı önleyici beton ürünleri de nanoteknolojinin bir sonucudur (Akdoğan ve Küçükyıldırım 2006).

Günümüzde, karbon nanotüpler kullanılarak hafif inşaat malzemesi üretimi, betondan daha dayanıklı plastik binalar, çelikten yüz kat daha dayanıklı hafif ve esnek beton üretimi, asfalt yerine yüksek etkinlikli solar hücrelerden oluşan yollar, binalardaki betonarme kolon kesitlerinin küçültülüp elastik özellikler kazandırılması; bu sayede depremlerin binalarda daha az tahribata yol açması gibi bir çok uygulama için üzerinde çalışılmaktadır (Baykara T.,2008).

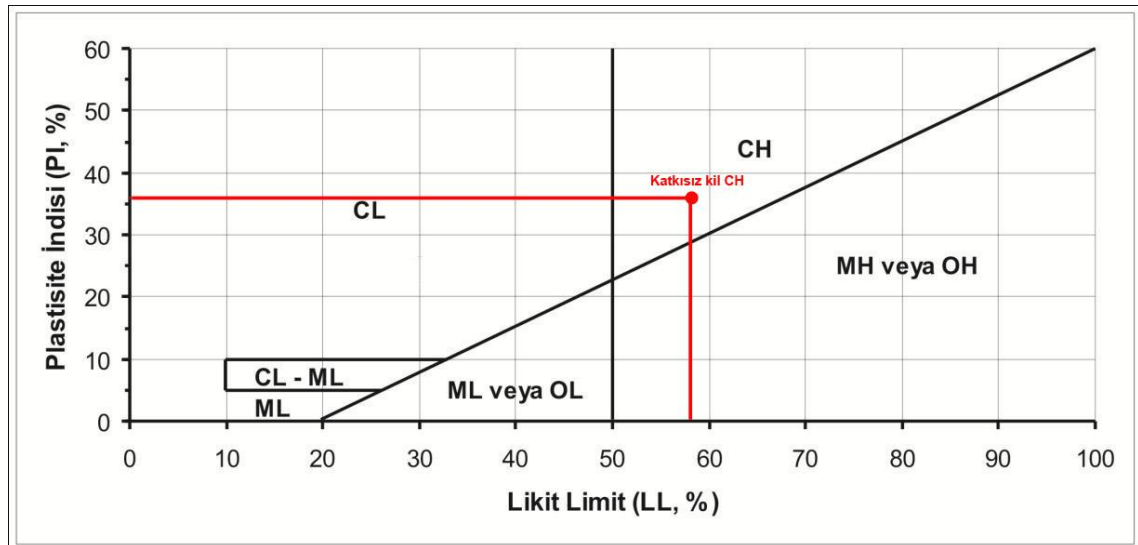
3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Kil

Bu çalışmada kullanılan kil Erzurum'un kuzey doğusunda yer alan Oltu-Narman Havzasında bulunan kil rezervinden alınmıştır. Laboratuara getirilen kil etüvde 105°C'de kurutulduktan sonra öğütülmüştür. Elde edilen kil numune 40 nolu elekten elenerek kıvam limit deneyi için uygun hale getirilmiştir.

Katkısız kile ait yapılan kıvam limit deneyleri sonucunda kile ait likit limit değeri, LL=58 plastik limit değeri, PL=22, plastisite indisi değeri PI=36 olarak bulunmuştur. Bulunan değerler casagrande kartı üzerinde yerleştirildiğinde zeminin yüksek plastisiteli kil (CH) sınıfına ait olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Casagrande plastisite kartı (UCSC: Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemi)

3.1.2. Bakır (II) Oksit (CuO)

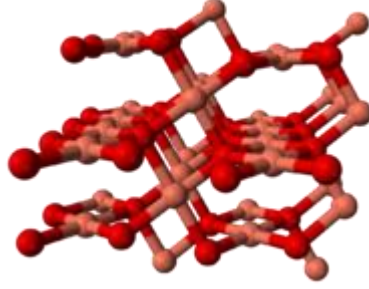
Bakır, periyodik cetvelde Cu simgesiyle gösterilen, iletken özelliğe sahip, bol bulunan bir elementtir. Kimya sanayi, inşaat, ulaşım gibi pekçok alanda kullanılmaktadır. Bakır ısıyı ve elektriği en iyi ileten aynı zamanda ucuz bir metal olduğu için kullanımı yaygındır. Paslanmaz özelliğe sahip olduğundan kaplama sanayide de kullanılmaktadır.

Bronz üretiminde ve kaynak yapım alanlarında bakır önemli bir yere sahiptir. Bakırın sıkça kullanılma nedenleri arasında sanayi ve hammadde sektörleri için kullanışlı bir malzeme olması gösterilmektedir. Ayrıca bakırın kolay işlenebilen bir metal olması eski çağlarda bile kullanılmasını sağlamıştır.

Bakır (II) oksit veya küprik oksit bakırın oksit formlarının yüksek olanlarından. Bakır II oksit bakırın çift değerlilik aldığı formudur. Bakır bileşiklerinin içerisinde siyah renkli formu CuO'dur. CuO bakırın nitratın kireçlenmesi veya yakılması yöntemleri ile elde edilmektedir (Yoon vd. 2000). Bakır (II) oksite ait bazı kimyasal özellikler Çizelge 3.1'de, atomik gösterimi Şekil 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Bakır(II)oksit'e ait veriler (Yoon vd. 2000).

| Formül | CuO |
|-----------------|------------------------|
| IUPACnumarası | Copper(II) oxide |
| Molarkütle | 79,545 g/mol |
| Erimenoktası | 1.326°C |
| Yoğunluk | 6,31 g/cm ³ |
| Kaynama noktası | 2.000°C |



Şekil 3.2. CuO atomik gösterimi (Yoon vd. 2000)

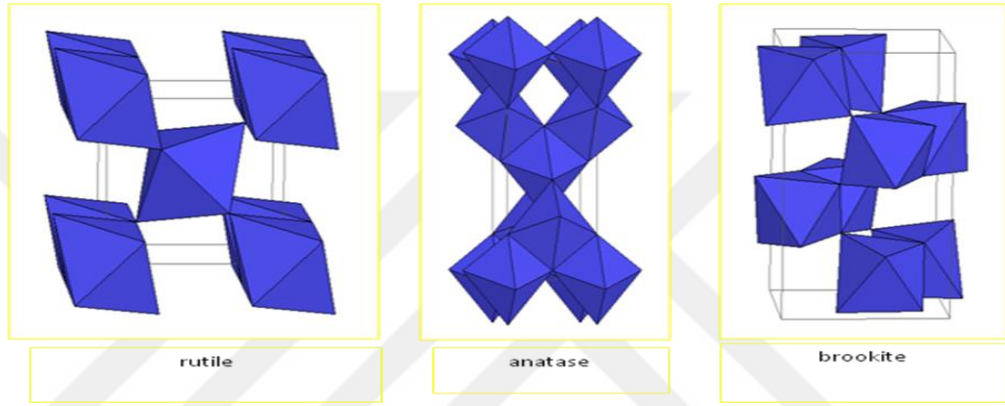
3.1.3. Titanyum Dioksit (TiO₂)

Titanyum periyodik cetvelde IVB grubunda bulunan, sembolü Ti olan, atom numarası 22 olan gümüş grisi renkte bulunan elementtir. Doğada rutil (TiO₂) minerali ve ilmenit (FeTiO₃) mineralleri şeklinde bulunur. Titan, klorüre dönüştürülüp magnezyumla indirgenerek elde edilmektedir. Uzay sanayisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. TiO₂ seramik ve boya yapımında beyaz pigment olarak kullanılmaktadır (Gökgöz 2010).

Titanyum, alüminyum, demir, vanadyum, molibden gibi çeşitli metaller ile alaşım yapabilen elementdir. Yaptığı bu alaşımlar, sağlamlık, hafiflik, ve ısıya dayanıklılığın önemli olduğu sanayide kullanılmaktadırlar. Titanyum çelik ile aynı dayanıma sahiptir ancak ağırlıkça ondan %45 oranında daha hafiftir. Alüminyum mineralinden ise %60 oranında daha ağırdır. Buna karşın iki kat daha yüksek dayanıma sahiptir. Asitlere karşı dirençli olması ve dayanıklılığı yüksek olması sebepleri ile, çeşitli alaşımların yapısında kullanılırlar. Deniz suyuna karşı dayanıklı olduğundan gemilerin tuzlu su ile temas eden parçalarının yapımında kullanılmaktadır. Kapatıcılık özelliği nedeniyle boyaların içeriğine katılmaktadır (Gökgöz 2010). Titanyumdioksite ait bazı kimyasal özellikler Çizelge 3.2’de, rutil,anatas,brokit kristal formları Şekil 3.3’te gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Titanyumdioksite ait veriler (Gökgöz 2010)

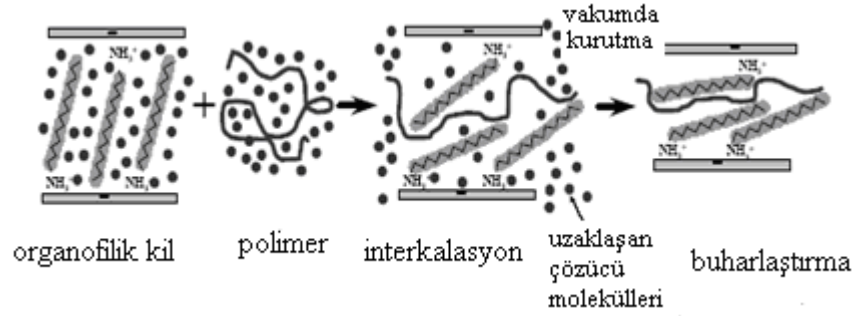
| | |
|--------------------------------|--------------------------------------|
| Simge | Ti |
| Cas numarası | 7440-32-6 |
| Erime noktası | 1.668°C |
| Elektron konfigürasyonu | [Ar] 3d ² 4s ² |
| Atom kütlesi | [Ar] 3d ² 4s ² |
| Atom numarası | 22 |

**Şekil 3.3.** TiO₂'in kristal formları (Gökgöz 2010)

3.2. Yöntem

3.2.1. Çözelti ortamında araya girme metodu

Bu yöntemde nanokil uygun bir çözelti içinde homojen olarak dağıtıldıktan sonra polimer üzerine eklenir. Killer arasındaki polimer zincirleri çözelti sayesinde oluşur. Bu işlem sırasında genellikle sıcaklık düşüktür. Hem kil hem de polimer çözültide çözülebilecek özellikte seçilmelidir. Şekil 3.4'te gösterildiği üzere polimerleşme sonunda çözelti, buharlaşma veya çökme yöntemi ile oluşan polimerden uzaklaştırılır. Böylece kompozit malzeme elde edilmiş olur (Toprak 2004).



Şekil 3.4. Çözelti ortamında araya girme metodunun şekilsel gösterimi (Kornmann and Lofton 2002)

3.2.2. Kil + %1 nano CuO kompozit malzemenin elde edilmesi

Kil malzeme 105°C’de 24 saat kurutulduktan sonra öğütülmüştür. Daha sonra 40 nolu elekten elenerek hazırlanan kil malzemesinden 500g tartılarak temiz cam behere alınmıştır. Nano CuO 5 g tartılarak cam petri kabına alınmıştır. Nano CuO’nin 200ml günlük deiyonize suda dispers olacak miktarı 1.2620g olduğundan 5g nanoCuO için 792.4ml günlük deiyonize su kullanılmıştır. Deiyonize su cam behere konulmuş üzerine nano CuO yavaş yavaş eklenerek magnetik karıştırıcıda 50°C’de, 250rpm’de tamamen dispers oluncaya kadar karıştırılmıştır (Şekil 3.5). Önceden hazırlanan CH kili karışımın içerisine yavaş yavaş ilave edilerek 750rpm’de, yaklaşık 1 saat karıştırılmıştır. Karışım içerisindeki kil ile CuO tamamen disper olduktan sonra karıştırma işlemi durdurulmuş ve daha sonra karışımdaki suyu tamamen uzaklaştırmak için 90°C’de etüvde 48 saat bekletilmiştir. Sonuç olarak kil+ %1 nano CuO kompozit malzeme elde edilmiştir. %0.5, %1, %2 ve %3 nano CuO katkılı kompozit malzemeler aynı yöntem kullanılarak elde edilmiştir.



Şekil 3.5. Kil + %1 nano CuO kompozit malzemenin hazırlanışı

3.2.3. Kil + %1 nano TiO₂ kompozit malzemenin elde edilmesi

Kil malzeme 105°C'de 24 saat kurutulduktan sonra öğütülmüştür. Daha sonra 40 nolu elekten elenerek hazırlanan kil malzemesinden 500g tartılarak temiz cam behere alınmıştır. Nano TiO₂ 5 g tartılarak cam petri kabına alınmıştır. Nano TiO₂'nin 200ml günlük deiyonize suda dispers olacak miktarı 0.8314g olduğundan 5g nano TiO₂ için 1202.8ml günlük deiyonize su kullanılmıştır. Deiyonize su cam behere konulmuş üzerine nano TiO₂ yavaş yavaş eklenerek magnetik karıştırıcıda 50°C'de, 250rpm'de tamamen dispers oluncaya kadar karıştırılmıştır (Şekil 3.6). Önceden hazırlanan CH kili karışımın içerisine yavaş yavaş ilave edilerek 750rpm'de, yaklaşık 1 saat karıştırılmıştır (Şekil 3.7). Karışım içerisindeki kil ile TiO₂ tamamen dispers olduktan sonra karıştırma işlemi durdurulmuş ve daha sonra karışımdaki suyu tamamen uzaklaştırmak için 90°C de etüvde 48 saat bekletilmiştir (Şekil 3.8). Sonuç olarak kil+ %1 nano TiO₂ kompozit malzeme elde edilmiştir. %0.5, %1, %2 ve %3 nano TiO₂ katkıkompozit malzemeler aynı yöntem kullanılarak elde edilmiştir.



Şekil 3.6. Kil + %1 Nano TiO₂ Kompozit malzemenin hazırlanışı



Şekil 3.7. Kil + %1 Nano TiO₂ Kompozit malzemenin magnetik karıştırıcıda karıştırılması



Şekil 3.8. Kil + %1 Nano TiO₂ Kompozit malzemenin etüvde kurutulması

3.2.4. Kıvam limitleri

3.2.4.a. Likit limit (LL)

Akma limiti olarak da adlandırılan likit limit (LL), kilin likit kıvamdan plastik kıvama geçtiği sınır su muhtevası olarak tanımlanır. Diğer bir deyişle, akıcı haldeki kilin plastik hale dönüştüğü andaki su muhtevasıdır. Zeminlerin likit limitleri genellikle düşen koni penetrasyon ve Cassagrande olmak üzere iki yöntem ile belirlenmektedir. Çalışmada düşen koni penetrasyon deney aleti kullanılmıştır (Şekil 3.9). Bu yöntemin esası, kap içerisine yerleştirilen zemin numunesine dokunma pozisyonuna getirilmiş 80 g ağırlığındaki konik ucun kendi kütle etkisiyle 5 saniye süre ile batması esasına dayanır. Batma miktarı alet üzerinde bulunan deformasyon saatinden okunarak kaydedilir. Bu işlem zeminin değişik su muhtevaları için tekrar edilir. Deney konisinin 20 mm batmasına karşılık gelen su içeriği likit limit olarak tanımlanır (Alp vd 1991). Likit limit deneyi ASTM D 4318, 2003 standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Çalışmada hazırlanan kompozit malzemelerin herbiri için bu deney dört kez tekrar edilerek ortalama likit limit değerleri belirlenmiştir.



Şekil 3.9. Düşen koni penetrasyon deney aleti

3.2.4.b. Plastik limit (PL)

Zeminlerin plastik kıvamdan yarı katı kıvama geçmesi için gerekli sınır su muhtevasına plastik limit denilmektedir. Bir miktar kil zemin su ile karıştırılarak çapı yaklaşık 3 mm, uzunluğu yaklaşık 10 cm olan silindir çubuk oluşturulur. Oluşturulan silindir çubuk üzerinde kılcal çatlaklar oluşmuş ise bu durumdaki su muhtevası plastik limit (PL) olarak isimlendirilir (Alp vd 1991). Plastik limit deneyi ASTM D 4318, 2003 standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Çalışmada deney 3 kez tekrar edilerek ortalaması alınmıştır.

3.2.5. Plastisite indisi (PI)

Plastisite indisi, zeminlerin plastik kıvamda bulunduğu aralığı gösteren hacim değiştirme ve kohezyon özelliklerini belirleyen parametredir. Zeminin su içeriği arttıkça kohezyonu azalır. Bu azalmanın gerekçesi kil tanelerinin etrafında bulunan suyun yağlama etkisi yapıyor gibi tanelerin birbirleri üzerinden kaymasına yol açmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

$$PI = LL - PL$$

PI : Plastisite İndisi (%)

LL : Likit Limit (%)

PL : Plastik Limit (%)



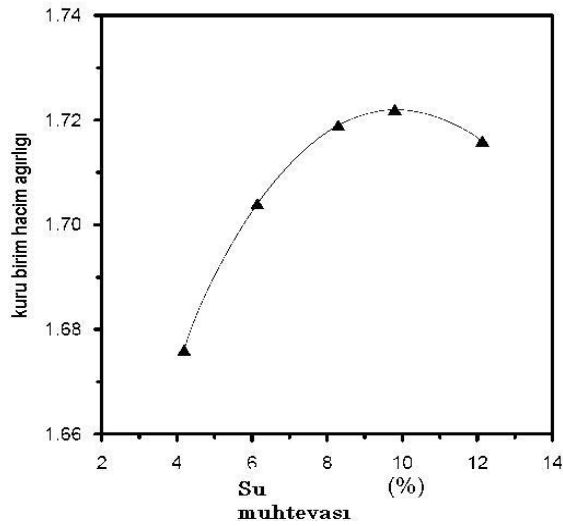
Şekil 3.10. Kıvam limit deneyine ait numunelerin etüvde kurutma aşaması

3.2.6. Standart kompaksiyon (Proktor) deneyi

Kompaksiyon zeminin bazı mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla mekanik araçlar kullanarak zemin içerisindeki su muhtevasının ve gradasyonun değiştirilmesi işlemidir. Kompaksiyon deneyleri, Standart Proktor ve Modifiye Proktor deneyleri olmak üzere iki şekilde yapılır. Zemin farklı su muhtevalarında standart enerjide sıkıştırılarak kuru birim hacim ağırlık-su muhtevası ilişkisi çizilir. Elde edilen eğrinin pik noktasından maksimum kuru birim hacim ağırlık-optimum su muhtevası belirlenir (Şekil 3.12). Çalışmada standart proktor deneyi ASTM D 698-00a (2003) standartına uygun olarak yapılmıştır. Sıkıştırılmış numunelere ait görseller Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Proktor deneyi yapım aşaması



Şekil3.12.Kompaksiyon eğrisi(Kuru BHA:kg/cm³; su muhtevası:Yüzde (Gündüz.,2015)

3.2.7. Tek eksenli serbest basınç deneyi

Serbest basınç deneyleri (ASTM) D 2166-00 (2003) standardına uygun olarak yapılmıştır. Kompozit malzemelerden hazırlanan 38mmx76mm boyutlarına sahip silindirik numuneler 0.8mm/dk hızla kırılmıştır. Deney esnasında meydana gelen düşey deformasyonlar ve bu deformasyonlara karşılık gelen gerilmeler belirli zaman

aralıklarında kaydedilmiştir. Deneyler her bir kompozit malzeme için 3 numune olacak şekilde yürütülmüştür. Deney sonunda elde edilen veriler kullanılarak gerilme-deformasyon ilişkisi çizilmiş ve yorumlanmıştır. Deneylerde kullanılan serbest basınç deney aleti Şekil 3.13’de, kırılmış bazı numunelere ait görüntüler Şekil 3.15’de gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Serbest basınç deneyi uygulama aşaması



Şekil 3.15. Kırılmış bazı numunelere ait görüntüler (Serbest Basınç Deneyi)

3.2.8. Elektrik iletkenliği

Elektrik iletkenliği, bir ortam içerisindeki elektrik yuklerinin bir noktadan başka bir noktaya taşınması olarak tanımlanmaktadır. İletkenliğin malzeme içerisinde yuk taşıyan atomik boyutlardaki elemanlar (charge carriers) tarafından gerçekleştirildiği duşunlmektedir. Bu taşıyıcı elemanlar elektronlardır. Elektronların yuk değerleri: $0.16 \times 10^{-18} \text{ C}$ 'tur. İletkenlik seviyeleri $10 \times 10^6 \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$ seviyelerindedir (Erat 2007). Periyodik olarak kalibre edilen EC deney cihazı Şekil 3.16'da gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Elektriksel iletkenlik ve PH lm cihazı

3.2.9. PH lm (Power of Hydrogen)

PH, bir ozeltinin bazlık veya asitlik derecesini tarif etmek için kullanılan ölçü birimidir. Kısaltma olarak power of hydrogen (Hidrojenin Gücü) kelimesinin baş harflerinden oluşan PH kısaltması ile gösterilir. Danimarkalı kimyager Soren Peder Lauritz Sorensen tarafından 1909 yılında Carlsberg Laboratuvarı'nda tanımlanmıştır. Bir maddenin pH değerı hidrojen iyonu $[H^+]$ ile hidroksit iyonunun $[OH^-]$ derişimlerinin oranı olarakta tanımlanabilir. Bu değer 0-14 değerı arasında değer almaktadır. 0 ařırđ asidik, 7 nötr, 14 ařırđ bazik olduğunu göstermektedir.

Eğer H^+ derişimi OH^- derişiminden fazla ise çözelti asidik; yani pH değeri 7'den düşüktür. Deneyde kullanılan PH ölçüm deney aleti Şekil 3.16'da gösterilmiştir.



Şekil 3.17. PH deneyi uygulama aşaması

3.2.10. SEM (Taramalı elektron mikroskoku)

SEM (Taramalı elektron mikroskoku) numune yüzeyini elektron demetiyle tarayarak görüntü elde eden görüntüleme analiz yöntemidir. Gönderilen elektronlar numune atomları ile etkileşerek numune kompozisyonu ve numune topografisi hakkında bilgi içeren sinyaller üretirler (McMullan 2006).

Gönderilen elektron demeti yüzeyi raster tarama düzeniyle tarar. Gönderilen elektron demetinin konumu ile algılanan sinyaller karşılaştırılarak görüntü oluşumu sağlanmaktadır. SEM yöntemi ile bir nanometreden daha yüksek çözünürlüğe ulaşabilmektedir. Standart SEM cihazları kuru ve iletken yüzeyleri yüksek vakumda incelemek için uygundur. Buna mukabil nemli koşullarda (çevresel taramalı elektron mikroskobu), düşük vakumda ve düşük sıcaklıklardan yüksek sıcaklıklara kadar değişen koşullarda da çalışabilen özel cihazlar da bulunmaktadır (McMullan 2006).

SEM’de elde edilen görüntülerin çoğunluğu gönderilen elektron demeti ile uyarılmış numune atomları tarafından yayılan ikincil elektronlar (SE) kullanılarak oluşturulur. İncelenecek numunenin değişik bölgelerinden kopan sekonder elektronların sayısındaki değişim yüzey topografisine bağlıdır. Geri saçılan elektronlar (BSE), numune akımı, karakteristik X-ışınları ve aktarılan elektronlarla kullanılarak numuneden sinyaller elde edilerek daha iyi topografik görüntü ve numune içerik analizleri yapılabilme­k mümkündür. Numunelere ait SEM görüntüleri ile EDAX analizleri Atatürk Üniversitesi Doğu Anadolu İleri teknoloji Araştırma Merkezi (DAYTAM) da yapılmıştır. Şekil 3.18’de Sem cihazı gösterilmiştir (McMullan 2006).



Şekil 3.18. XPS cihazı (McMullan 2006)

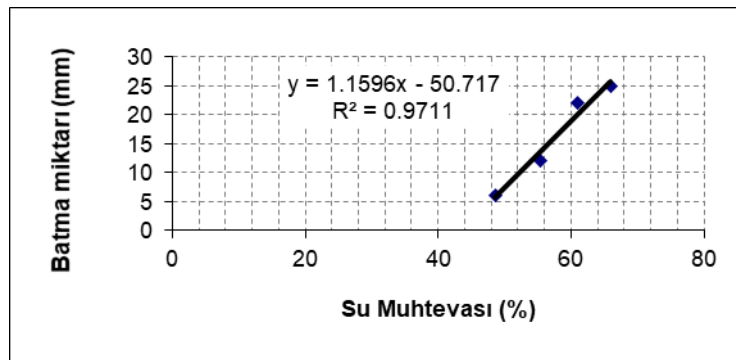
4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu bölümde katkısız CH kili, kil + %0.5 nano TiO₂, kil + %1 nano TiO₂, kil + %2 nano TiO₂, kil + %3 nano TiO₂ ile kil + %0.5 nano CuO, kil + %1 nano CuO, kil + %2 nano CuO, kil + %3 nano CuO, kompozit numunelerine ait kıvam limitleri, proktor, serbest basınç, elektriksel iletkenlik, PH, ve SEM analizlerinin sonuçları verilmiştir. Deney sonuçları karşılaştırılmış ve sonuçlar tartışılmıştır.

4.1. Kıvam Limitleri Analizleri

4.1.1. Katkısız CH kili

Düşen koni penetrasyon deney sonuçlarından elde edilen veriler kullanılarak çizilen su muhtevası-batma miktarı ilişkisi Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Şekilden katkısız kile ait likit limit değeri 61 olarak elde edilmiştir. Aynı zemine ait yapılan plastik limit deney sonuçlarından Plastik limit değeri 24, plastisite indisi 37 olarak belirlenmiştir. Casagrande plastisite kartı kullanılarak kilin sınıfı CH olarak belirlenmiştir.

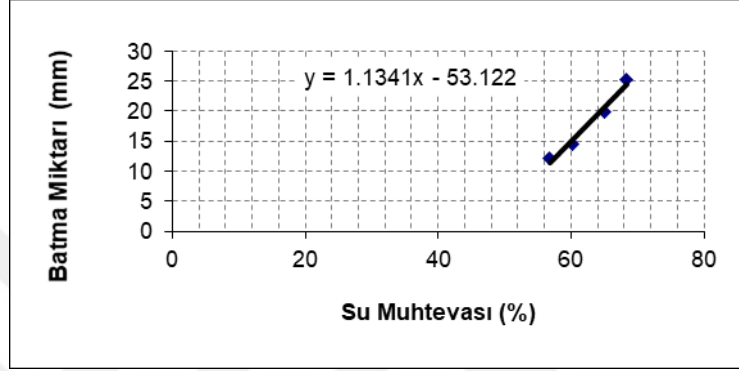


Şekil 4.1. Katkısız kile ait likit limit grafiği

4.1.2. Kil+ %0.5 nano titanyumdioksit katkılı kil

Düşen koni penetrasyon deney sonuçlarından elde edilen veriler kullanılarak çizilen su

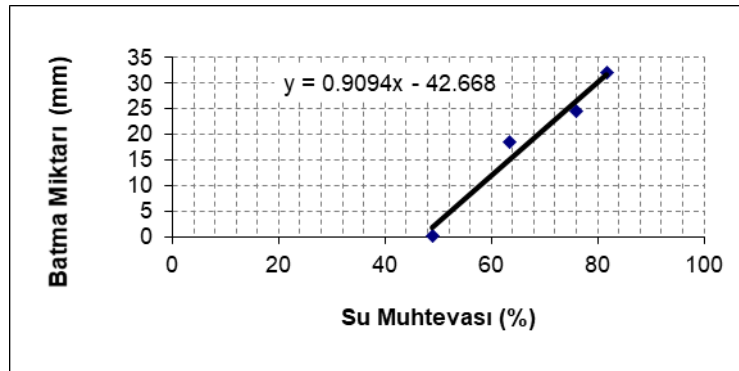
muhtevası-batma miktarı ilişkisi Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Şekilden katkısız kile ait likit limit değeri 65 olarak elde edilmiştir. Aynı zemine ait yapılan plastik limit deney sonuçlarından Plastik limit değeri 18, plastisite indisi 47 olarak belirlenmiştir. Cassagrande plastisite kartı kullanılarak kilin sınıfı CH olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.2. Su muhtevası- batma miktarı ilişkisi (Kil + %0.5 nano TiO₂)

4.1.3. Kil+ %0.5 Nano bakırkioksit katkılı kil

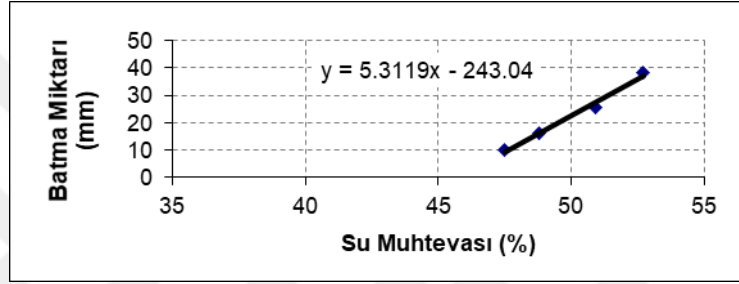
Düşen koni penetrasyon deney sonuçlarından elde edilen veriler kullanılarak çizilen su muhtevası-batma miktarı ilişkisi Şekil 4.3’de gösterilmiştir. Şekilden katkısız kile ait likit limit değeri 69 olarak elde edilmiştir. Aynı zemine ait yapılan plastik limit deney sonuçlarından Plastik limit değeri 23, plastisite indisi 46 olarak belirlenmiştir. Casagrande plastisite kartı kullanılarak kilin sınıfı CH olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.3. Su muhtevası- batma miktarı ilişkisi (Kil + %0.5 nano CuO)

4.1.4. Kil+ %1 nano titanyumdioksit katkılı kil

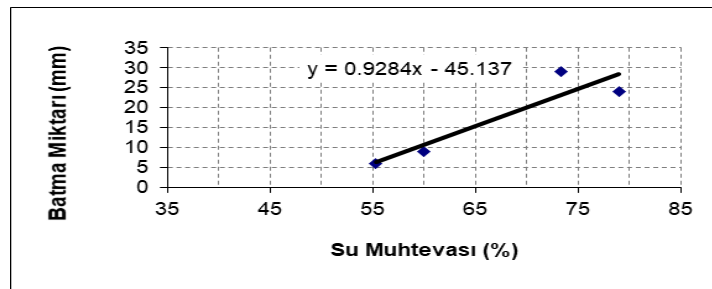
Düşen koni penetrasyon deney sonuçlarından elde edilen veriler kullanılarak çizilen su muhtevası-batma miktarı ilişkisi Şekil 4.4'de gösterilmiştir. Şekilden katkısız kile ait likit limit değeri 50 olarak elde edilmiştir. Aynı zemine ait yapılan plastik limit deney sonuçlarından Plastik limit değeri 26 plastisite indisi 24 olarak belirlenmiştir. Casagrande plastisite kartı kullanılarak kilin sınıfı CH olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.4. Su muhtevası- batma miktarı ilişkisi (Kil + %1 nano TiO₂)

4.1.5. Kil+ %1 nano bakırkioksit katkılı kil

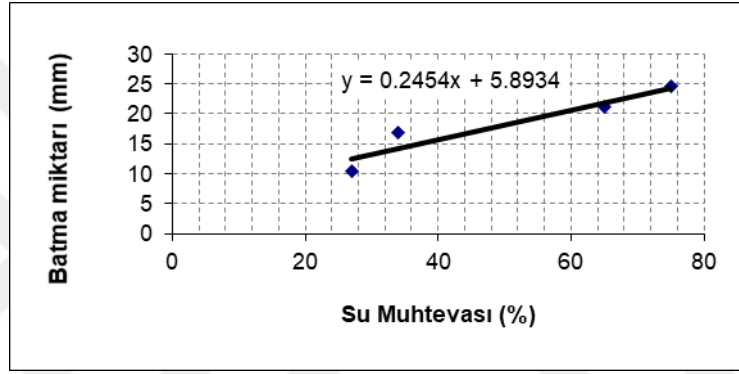
Düşen koni penetrasyon deney sonuçlarından elde edilen veriler kullanılarak çizilen su muhtevası-batma miktarı ilişkisi Şekil 4.5'de gösterilmiştir. Şekilden katkısız kile ait likit limit değeri 70 olarak elde edilmiştir. Aynı zemine ait yapılan plastik limit deney sonuçlarından Plastik limit değeri 21, plastisite indisi 49 olarak belirlenmiştir. Casagrande plastisite kartı kullanılarak kilin sınıfı CH olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.5. Su muhtevası- batma miktarı ilişkisi (Kil + %1 nano CuO)

4.1.6. Kil+ %2 nano titanyumdioksit katkılı kil

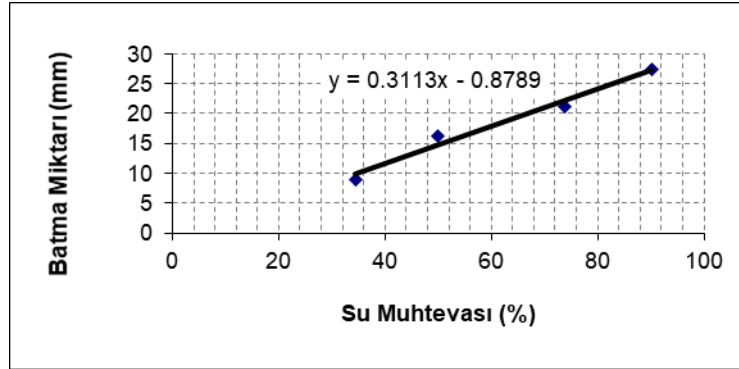
Düşen koni penetrasyon deney sonuçlarından elde edilen veriler kullanılarak çizilen su muhtevası-batma miktarı ilişkisi Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Şekilden katkısız kile ait likit limit değeri 58 olarak elde edilmiştir. Aynı zemine ait yapılan plastik limit deney sonuçlarından Plastik limit değeri 24, plastisite indisi 34 olarak belirlenmiştir. Casagrande plastisite kartı kullanılarak kilin sınıfı CH olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.6. Su muhtevası- batma miktarı ilişkisi (Kil + %2 nano TiO₂)

4.1.7. Kil+ %2 nano bakırkioksit katkılı kil

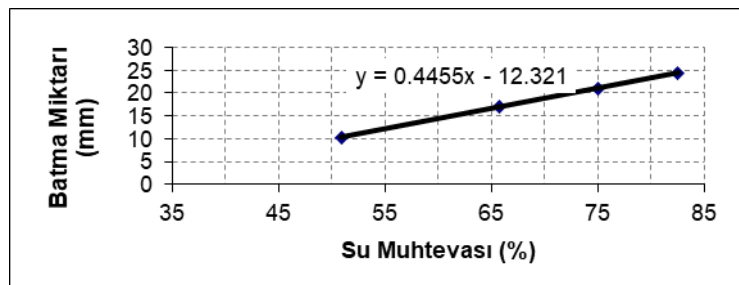
Düşen koni penetrasyon deney sonuçlarından elde edilen veriler kullanılarak çizilen su muhtevası-batma miktarı ilişkisi Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Şekilden katkısız kile ait likit limit değeri 60 olarak elde edilmiştir. Aynı zemine ait yapılan plastik limit deney sonuçlarından Plastik limit değeri 20, plastisite indisi 40 olarak belirlenmiştir. Casagrande plastisite kartı kullanılarak kilin sınıfı CH olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.7. Su muhtevası- batma miktarı ilişkisi (Kil + %2 nano CuO)

4.1.8. Kil+ %3 nano titanyumdioksit katkılı kil

Düşen koni penetrasyon deney sonuçlarından elde edilen veriler kullanılarak çizilen su muhtevası-batma miktarı ilişkisi Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Şekilden katkısız kile ait likit limit değeri 73 olarak elde edilmiştir. Aynı zemine ait yapılan plastik limit deney sonuçlarından Plastik limit değeri 22, plastisite indisi 51 olarak belirlenmiştir. Casagrande plastisite kartı kullanılarak kilin sınıfı CH olarak belirlenmiştir.

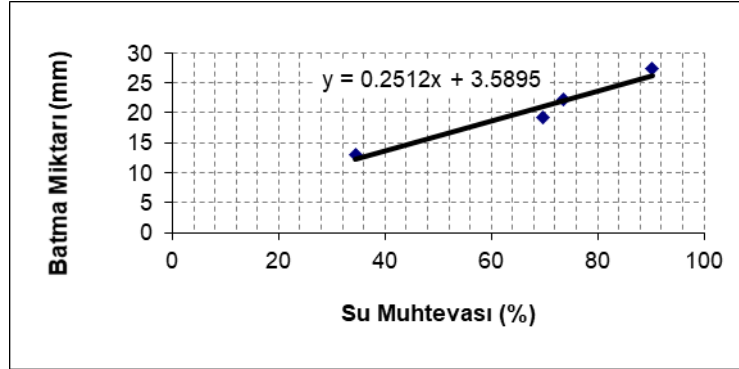


Şekil 4.8. Su muhtevası- batma miktarı ilişkisi (Kil + %3 nano TiO2)

4.1.9. Kil+ %3 nano bakırkioksit katkılı kil

Düşen koni penetrasyon deney sonuçlarından elde edilen veriler kullanılarak çizilen su muhtevası-batma miktarı ilişkisi Şekil 4.9’da gösterilmiştir. Şekilden katkısız kile ait likit limit değeri 65 olarak elde edilmiştir. Aynı zemine ait yapılan plastik limit deney sonuçlarından Plastik limit değeri 22, plastisite indisi 43 olarak belirlenmiştir.

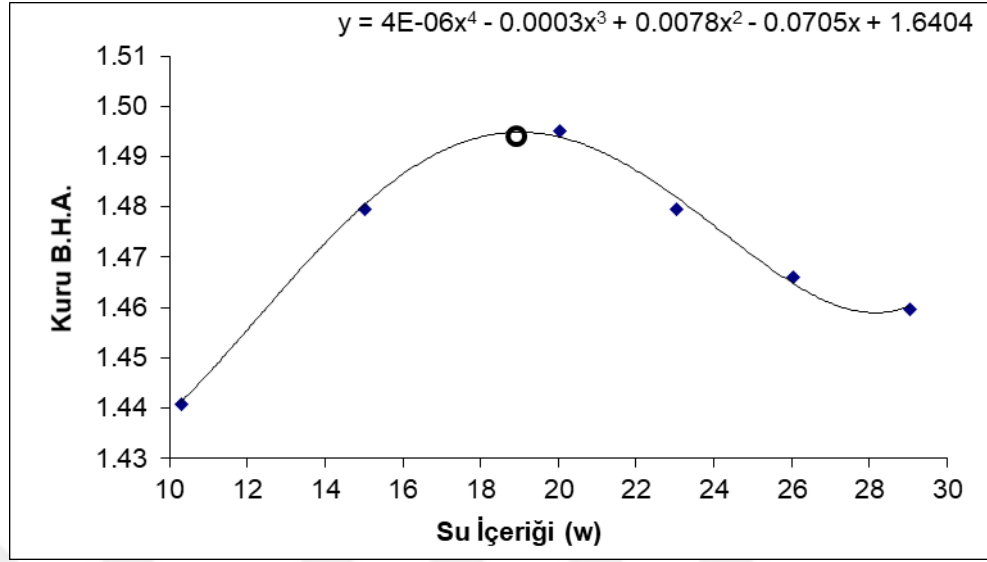
Casagrande plastisite kartı kullanılarak kilin sınıfı CH olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.9. Su muhtevası- batma miktarı ilişkisi (Kil + 3 nano CuO)

4.2. Kompaksiyon Deneyi

CH kiline ait kompaksiyon deney sonuçlarından elde edilen değerler kullanılarak su muhtevası-kuru birim hacim ağırlığı ilişkisi çizilmiştir (Şekil 4.8). Elde edilen eğriden CH kiline ait optimum su muhtevası % 19 ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı 14.95 kN/m^3 olarak bulunmuştur. Nano TiO_2 ve nano CuO katkıları düşük oranlarda ilave edildiği için optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı (BHA) değiştirmeyeceğinden elde edilen kompozit malzemelerin tümünde bu değerler kullanılmıştır.

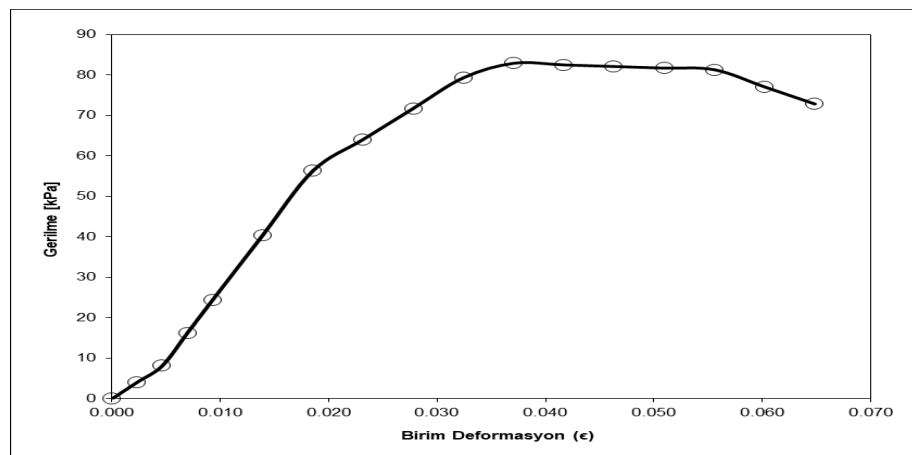


Şekil 4.10. Su muhtevası-kuru birim hacim ağırlık ilişkisi (Katkısız CH Kil KBHA:g/cm³)

4.3. Serbest Basınç Deneyi

4.3.1. Katkısız CH Kilinee ait serbest basınç deneyi

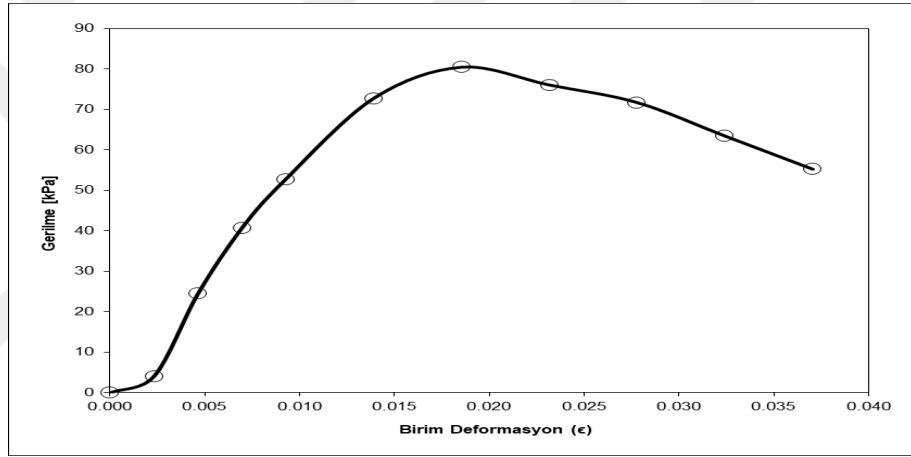
CH kiline ait serbest basınç dayanımı deney sonuçlarından elde edilen değerler kullanılarak çizilen şekil değiştirme (deformasyon) – gerilme ilişkisi Şekil 4.11’de gösterilmiştir. Şekilden CH kiline ait maksimum serbet basınç dayanımının 82.94 kPa olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.11. Deformasyon- gerilme ilişkisi (CH Kili)

4.3.2. Kil + %0.5 nano titanyumdioksit kompozite ait serbest basınç deneyi

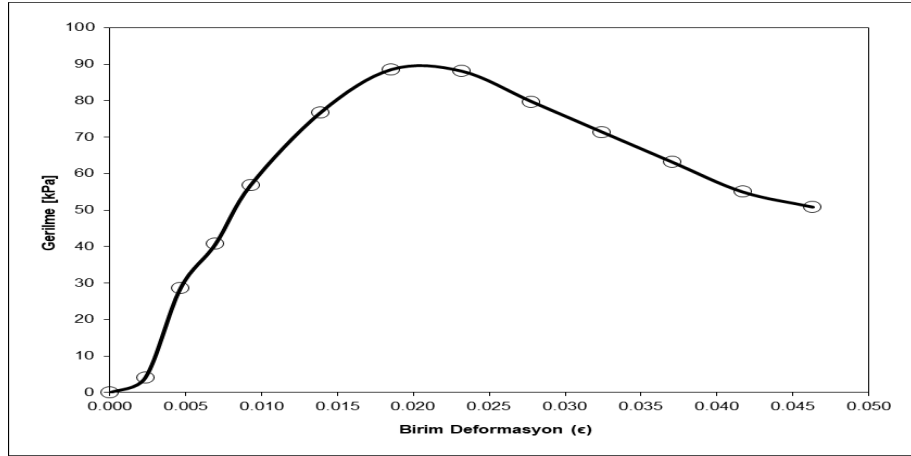
CH kiline ait serbest basınç dayanımı deney sonuçlarından elde edilen değerler kullanılarak çizilen şekil değiştirme (deformasyon) – gerilme ilişkisi Şekil 4.12’de gösterilmiştir. Şekilden CH kiline ait maksimum serbest basınç dayanımının 80.5 kPa olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.12. Deformasyon- gerilme ilişkisi (Kil+ %0.5 nanoTiO₂)

4.3.3. Kil + %0.5 nano bakirikioksit kompozite ait serbest basınç deneyi

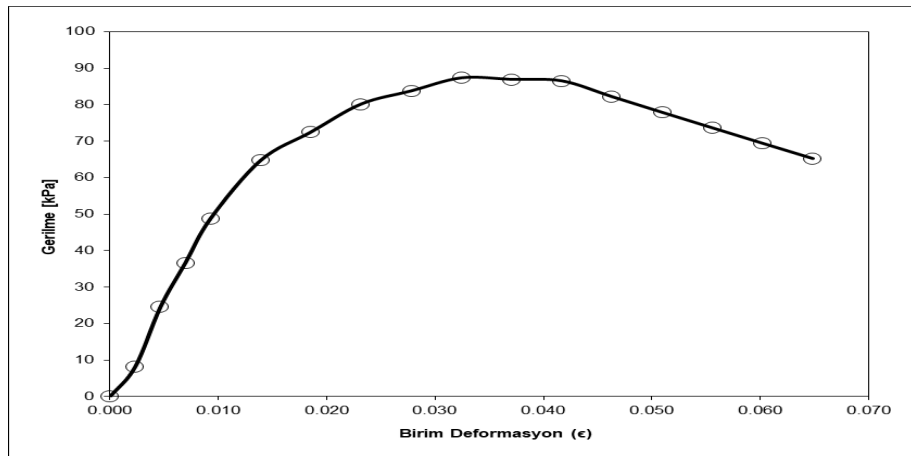
CH kiline ait serbest basınç dayanımı deney sonuçlarından elde edilen değerler kullanılarak çizilen şekil değiştirme (deformasyon) – gerilme ilişkisi Şekil 4.13’de gösterilmiştir. Şekilden CH kiline ait maksimum serbest basınç dayanımının 88.56 kPa olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.13. Deformasyon- gerilme ilişkisi (Kil+ %0.5 nano CuO)

4.3.4. Kil + %1 nano titanyumdioksit kompozite ait serbest basınç deneyi

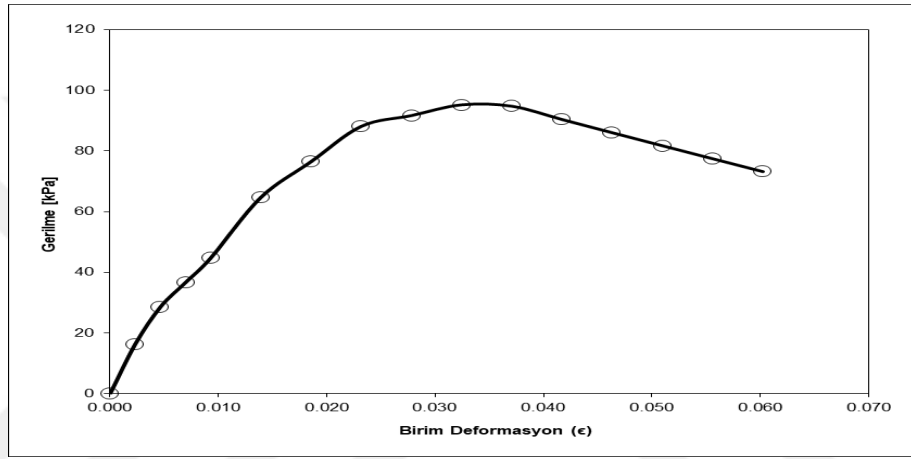
CH kiline ait serbest basınç dayanımı deney sonuçlarından elde edilen değerler kullanılarak çizilen şekil değiştirme (deformasyon) – gerilme ilişkisi Şekil 4.14’de gösterilmiştir. Şekilden CH kiline ait maksimum serbest basınç dayanımının 86.89 kPa olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.14. Deformasyon- gerilme ilişkisi (Kil+ %1 nanoTiO2)

4.3.5. Kil + %1 nano bakirikioksit kompozite ait serbest basınç deneyi

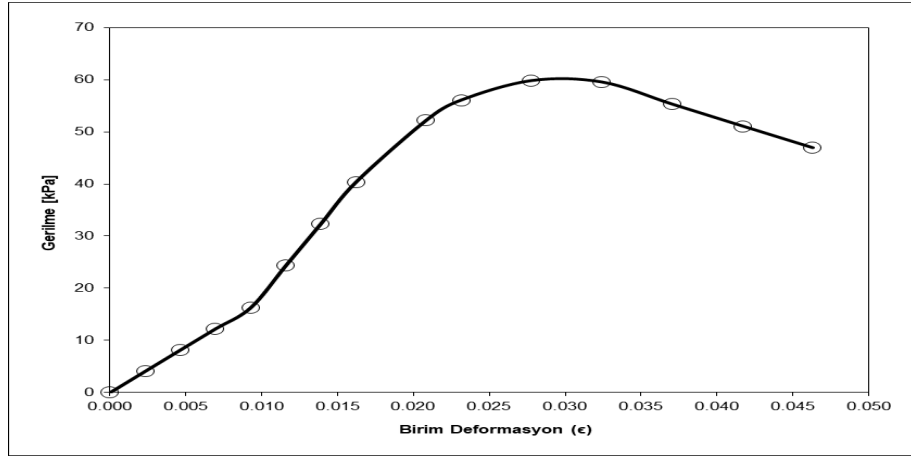
CH kiline ait serbest basınç dayanımı deney sonuçlarından elde edilen değerler kullanılarak çizilen şekil değiştirme (deformasyon) – gerilme ilişkisi Şekil 4.15’de gösterilmiştir. Şekilden CH kiline ait maksimum serbest basınç dayanımının 95.24 kPa olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.15. Deformasyon- gerilme ilişkisi (Kil+ %1 nano CuO)

4.3.6. Kil + %2 nano titanyumdioksit kompozite ait serbest basınç deneyi

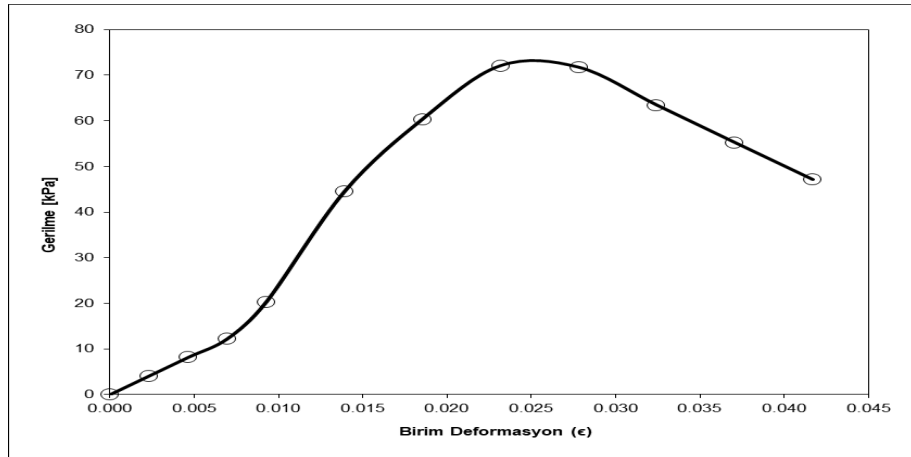
CH kiline ait serbest basınç dayanımı deney sonuçlarından elde edilen değerler kullanılarak çizilen şekil değiştirme (deformasyon) – gerilme ilişkisi Şekil 4.16’da gösterilmiştir. Şekilden CH kiline ait maksimum serbet basınç dayanımının 59.81 kPa olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.16. Deformasyon- gerilme ilişkisi (Kil+ %2 nanoTiO₂)

4.3.7. Kil + %2 nano bakırkioksit kompozite ait serbest basınç deneyi

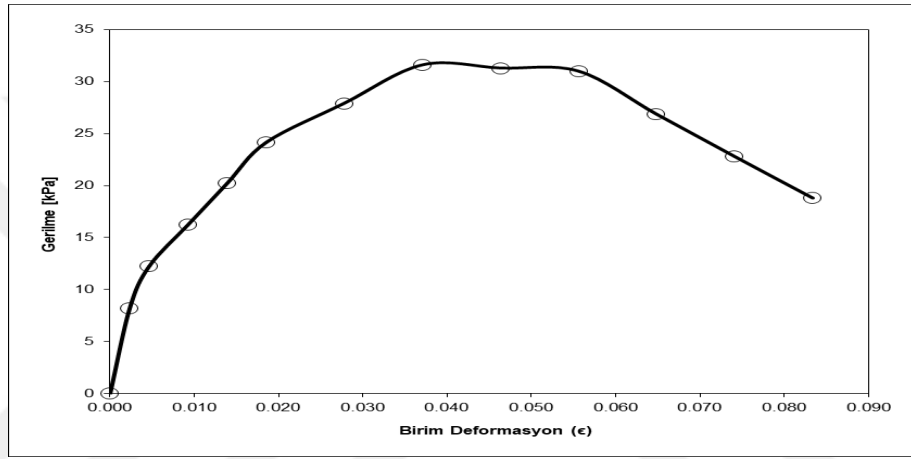
CH kiline ait serbest basınç dayanımı deney sonuçlarından elde edilen değerler kullanılarak çizilen şekil değiştirme (deformasyon) – gerilme ilişkisi Şekil 4.17’de gösterilmiştir. Şekilden CH kiline ait maksimum serbest basınç dayanımının 72.12 kPa olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.17. Deformasyon- gerilme ilişkisi (Kil+ %2 nano CuO)

4.3.8. Kil + %3 nano titanyumdioksit kompozite ait serbest basınç deneyi

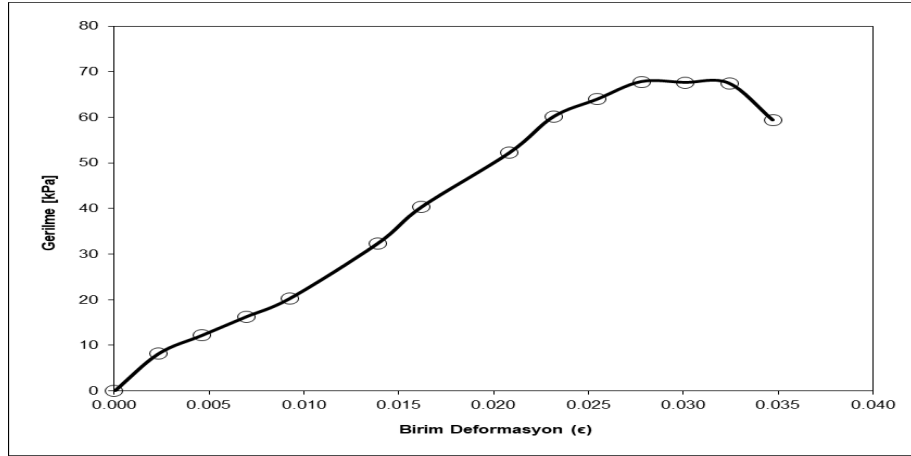
CH kiline ait serbest basınç dayanımı deney sonuçlarından elde edilen değerler kullanılarak çizilen şekil değiştirme (deformasyon) – gerilme ilişkisi Şekil 4.18’de gösterilmiştir. Şekilden CH kiline ait maksimum serbest basınç dayanımının 31.5 kPa olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.18. Deformasyon- gerilme ilişkisi (Kil+ %3 nanoTiO₂)

4.3.9. Kil + %3 nano bakırkioksit kompozite ait serbest basınç deneyi

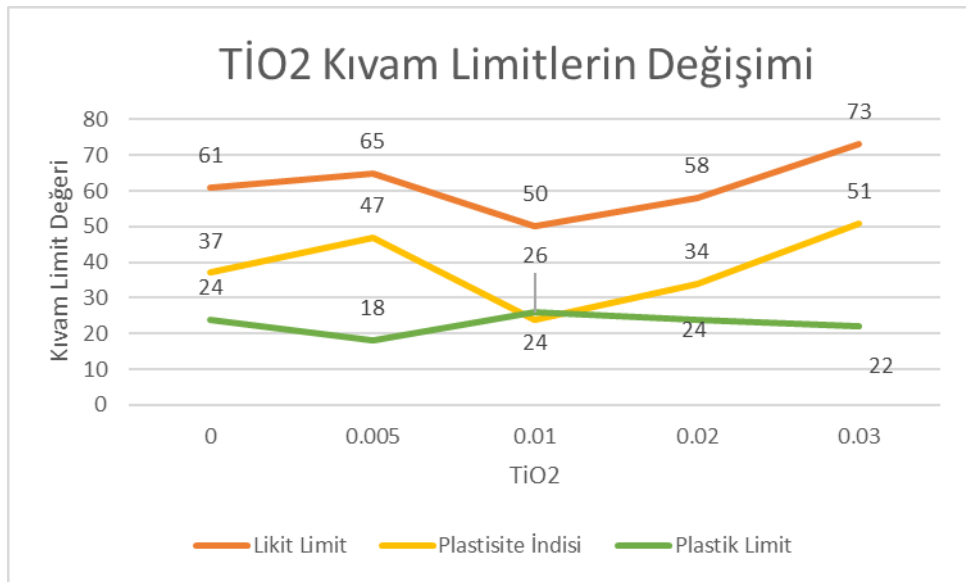
CH kiline ait serbest basınç dayanımı deney sonuçlarından elde edilen değerler kullanılarak çizilen şekil değiştirme (deformasyon) – gerilme ilişkisi Şekil 4.19’da gösterilmiştir. Şekilden CH kiline ait maksimum serbest basınç dayanımının 67.79 kPa olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.19. Deformasyon- gerilme ilişkisi (Kil+ %3 nano CuO)

4.4. Kıvam Limitlerin Karşılaştırması

Kıvam Limit Deneysel Sonuçları verileri kullanarak kil ve kil+nano TiO₂ kompozit numunelerine ait kıvam limit değerleri Şekil 4.20’de toplu olarak gösterilmiştir.

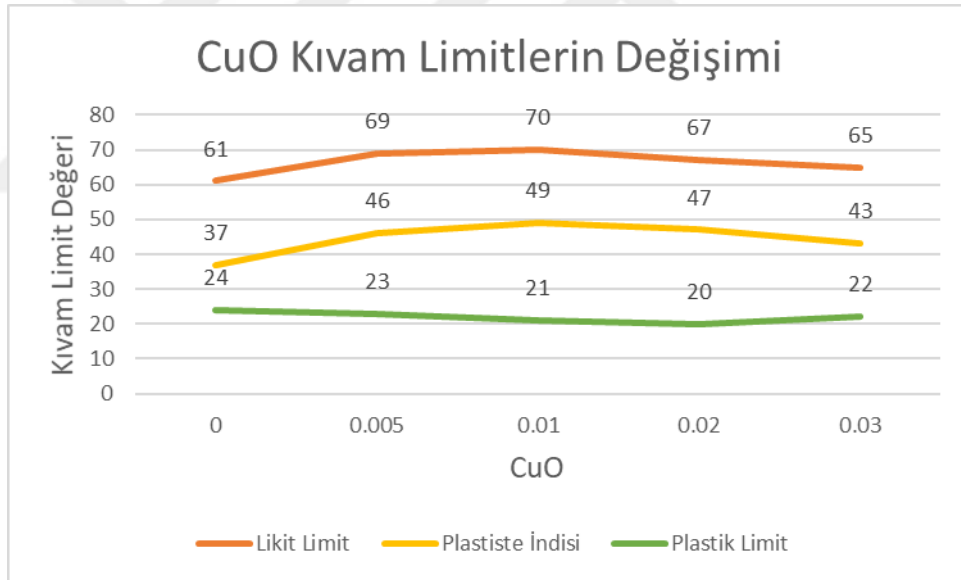


Şekil 4.20. Kıvam limit deney sonuçları (Kil, kil+nano TiO₂ kompozitler)

Şekil 4.20 incelendiğinde elde edilen kompozit nalmemelerin en yüksek likit limit değerine kil+ %3 nano TiO₂ kompozit numunesinde meydana geldiği, en düşük değere

kil+ %1 nano TiO₂ kompozit numunesinde ulaştığı görülmektedir. Plastik limit değeri kil+ %3 nano TiO₂ kompozit numunesinde en yüksek, kil+ %0.5 nano TiO₂ kompozit numunesinde en düşük değere ulaştığı görülmektedir. İşlenebilirliğin göstergesi olan ve bu değerlerin farkından elde edilen PI en düşük değeri kil+ %1 nano TiO₂ kompozit numunesinde, en yüksek değeri kil+ %3 nano TiO₂ kompozit numunesinde elde edilmiştir. Kil+ %3 nano TiO₂ kompozit numunesinde likit limit değeri katkısız kile göre yaklaşık %20 artış göstermiştir. Kil + %1 nano TiO₂ kompozit numunesi katkısız kile göre PI değerinde %35 azalma göstermiştir.

Kıvam Limit Deney Sonuçları verileri kullanarak kil ve kil+nano CuO kompozit numunelerine ait kıvam limit değerleri Şekil 4.21’de toplu olarak gösterilmiştir.



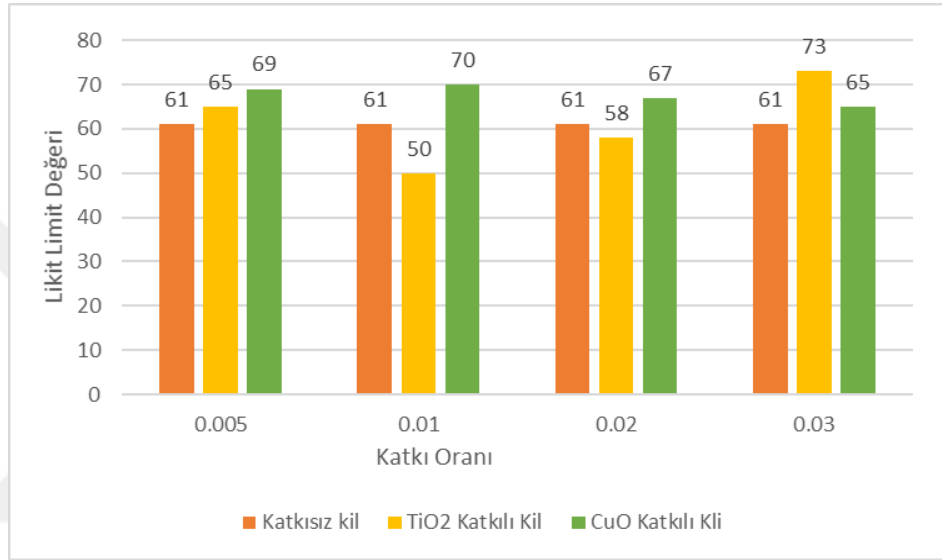
Şekil 4.21. Kıvam limit deney sonuçları (Kil, kil+nano CuO kompozitler)

Şekil 4.21’e göre kil+ %1 nano CuO kompozit numunesinde likit limit maksimum değer olan 70’e ulaşmış, katkısız kile göre yaklaşık %15 artış meydana gelmiştir.

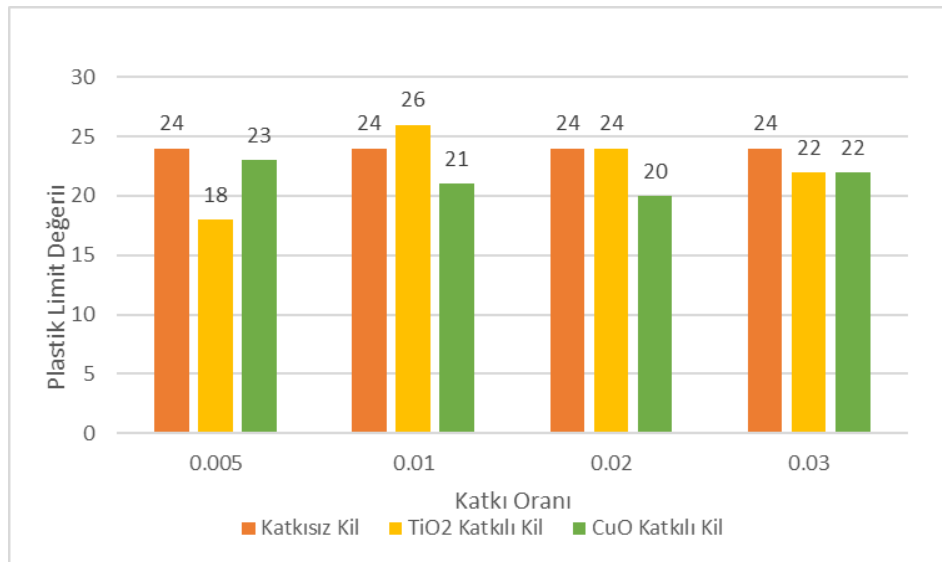
Plastik limit değerinde en düşük değer 20 ile kil+ %2 nano CuO kompozit numunesinde, katkısız kile göre yaklaşık %17 azalma olduğu belirlenmiştir. İşlenebilirliğin göstergesi olan plastisite indisi en yüksek kil+ %1 nano CuO kompozit

numunesinde 49 olarak bulunmuş, katkısız kile göre %32 artış olduğu tespit edilmiştir.

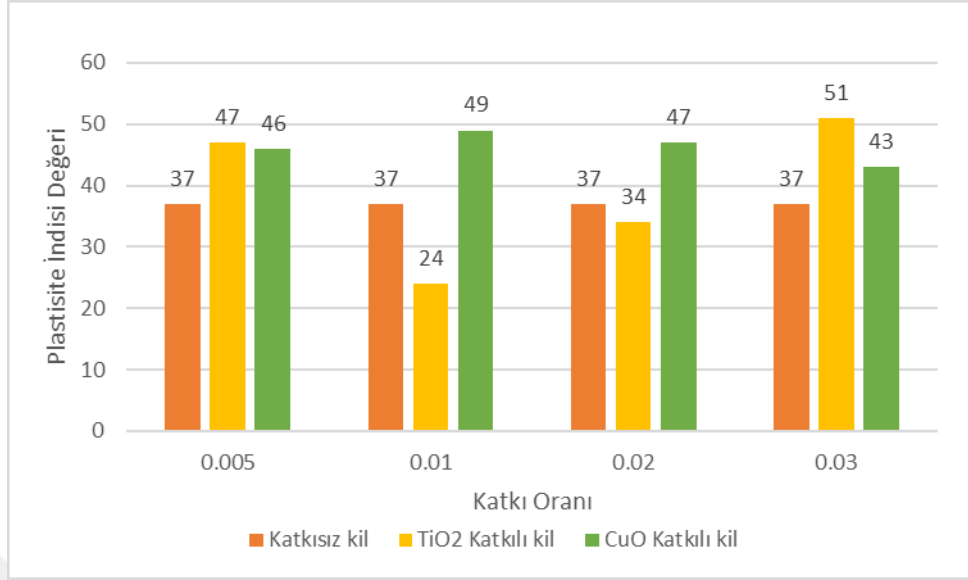
Kil, Kil+nano TiO₂ ve kil+ nano CuO kompozit numunelerine ait likit limit, plastik limit, plastisite indisi değişim grafikleri sırası ile Şekil 4.22, Şekil 4.23 ve Şekil 4.24’de gösterilmiştir.



Şekil 4.22. Likit limit değerlerinin karşılaştırması



Şekil 4.23. Plastik limit değerlerinin karşılaştırması



Şekil 4.24. Plastisite indisi değerlerinin karşılaştırması

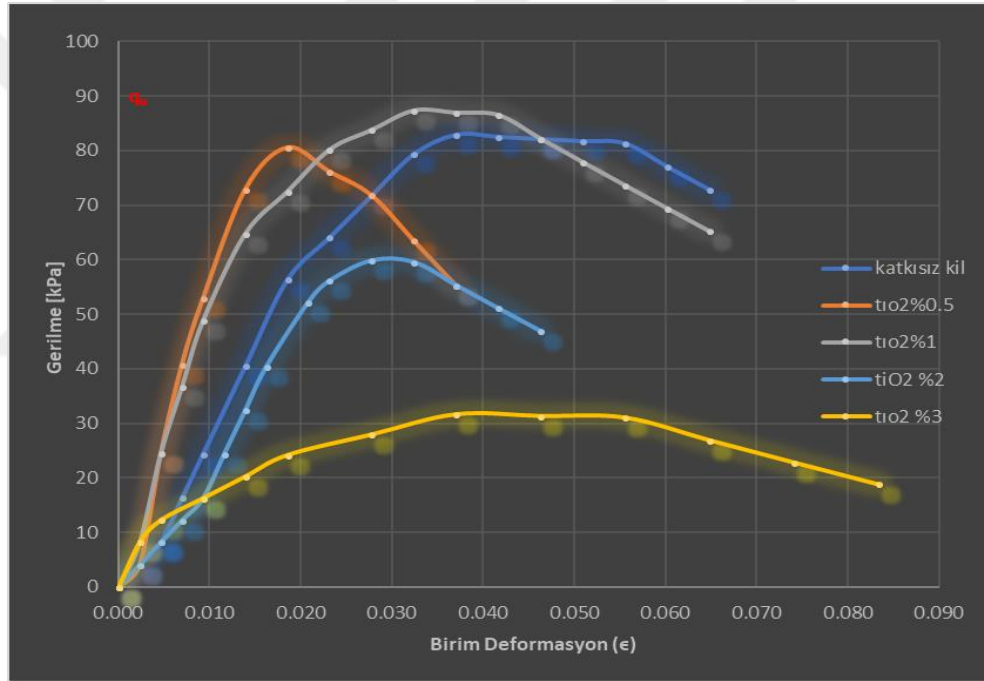
Şekil 4.22'e göre %0.5, %1, %2 oranlarında hazırlanan kil+ nano CuO kompozit numunelerin likit limit değerlerinin aynı oranlarda hazırlanan kil+nano TiO2 kompozit numunelerin likit limit değerlerinden fazla olduğu buna karşın %3 oranında hazırlanan kil+nano TiO2 kompozit numunesinin likit limit değerinin aynı oranda hazırlanan kil+nano CuO katkıli kompozit numunesinden fazla olduğu görülmektedir.

%1, %2, oranlarında kil+ nano TiO2 katkıli kompozit numunelerin plastik limit değerlerinin aynı oranlarda hazırlanan kil+CuO nano kompozit numunelerinin plastik limit değerlerinden fazla olduğu buna karşın %0.5 oranında hazırlanan kil+nano TiO2 kompozit numunelerinin plastik limit değerinin aynı oranda hazırlanan kil+ nano CuO katkıli kompozit numunesinden az olduğu Şekil 4.23'de görülmektedir.

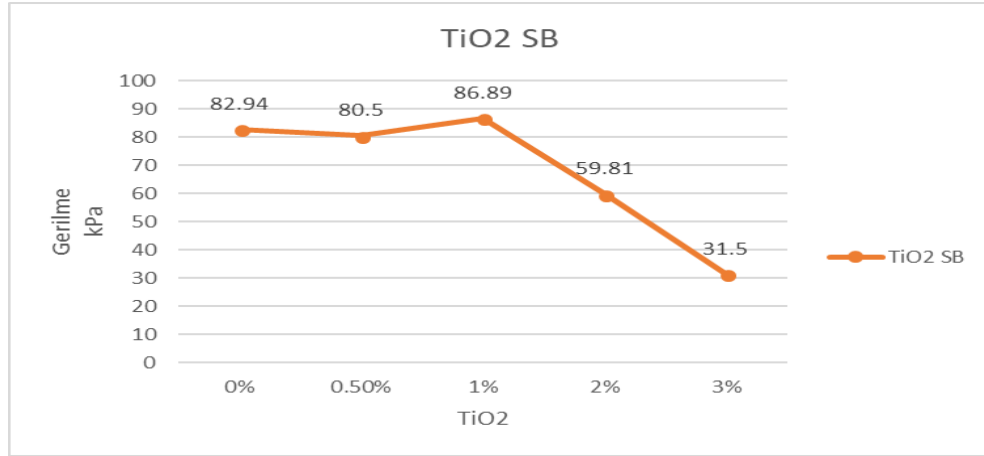
Şekil 4.24'e göre platisite indisi en uygun değerininin kil+ nano CuO katkıli kompozit numunelerin olduğu görülmektedir.

4.5. Serbest Basınç Deneyine ait Sonuçların Karşılaştırması

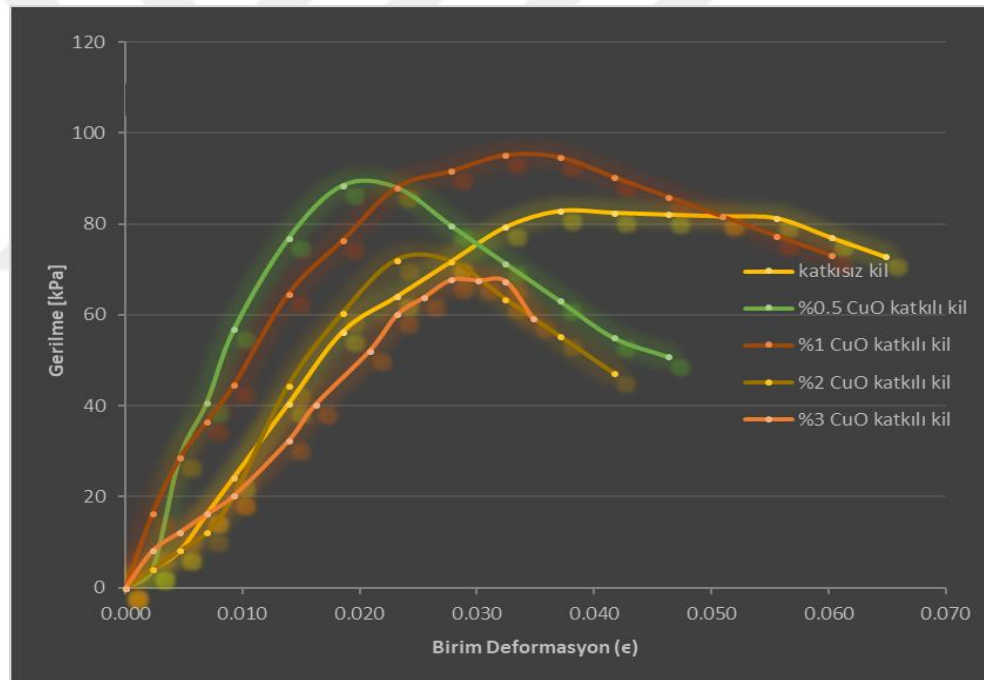
Kil ve %0.5, %1, %2 ve %3 oranlarında hazırlanan kil+nano TiO₂ kompozit numunelerine ait gerilme –şekil değiştirme ile maksimum serbest basınç değerlerini gösteren grafikler sırası ile Şekil 4.25 ve Şekil 4.26’da, aynı oranlarda hazırlanan kil+nano CuO kompozit numunelerine ait maksimum serbest basınç değerlerini gerilme –şekil değiştirme grafikleri ve maksimum serbest basınç değerlerini gösteren grafikler sırasıyla Şekil 4.27ve Şekil 4.28’de gösterilmiştir.



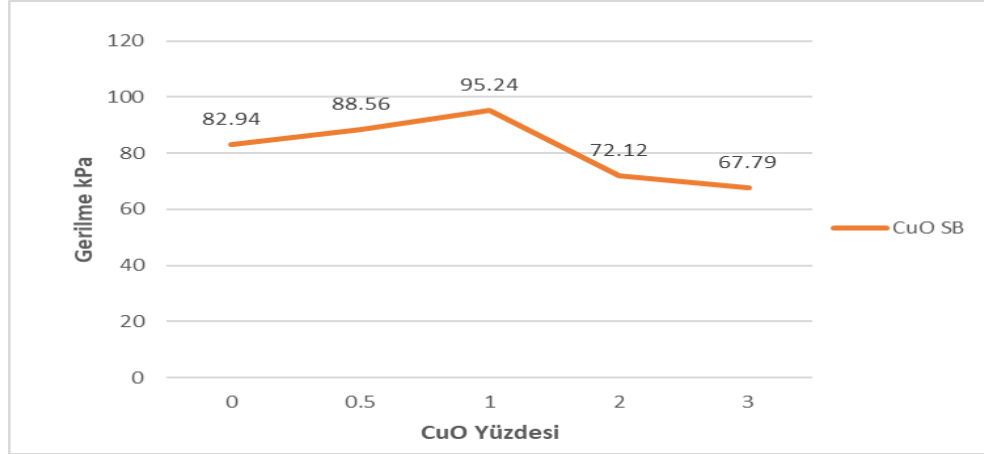
Şekil 4.25. Deformasyon- gerilme ilişkisi (Kil, kil+nano TiO₂ kompozitleri)



Şekil 4.26. Maksimum serbest basınç değişimi (Kil, kil+nano TiO₂ kompozitleri)



Şekil 4.27. Deformasyon- gerilme ilişkisi (Kil,kil+nano CuO kompozitleri)

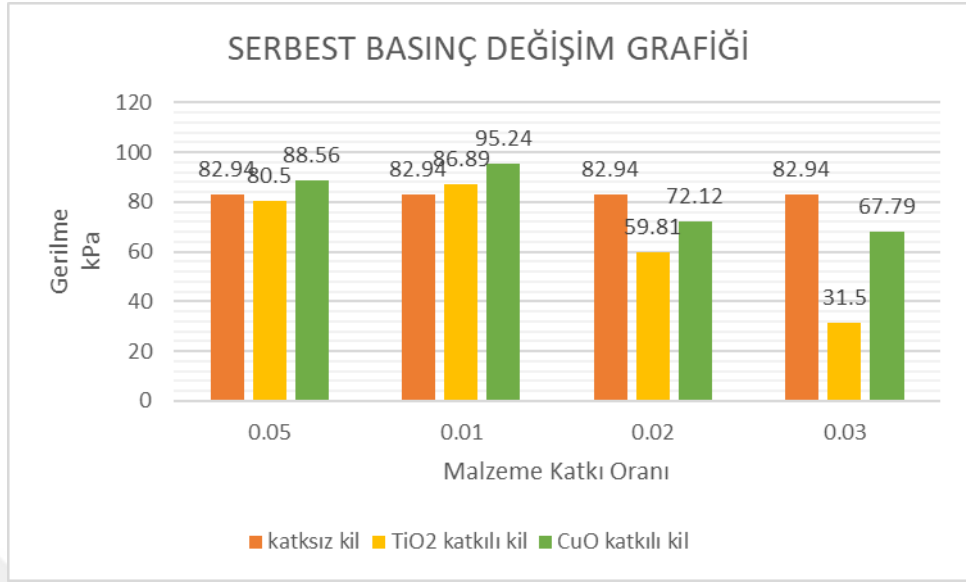


Şekil 4.28. Maksimum serbest basınç değişimi (Kil, kil+nano CuO kompozitleri)

Şekil 4.25 incelendiğinde kil numunesinin kil+%0.5 nano TiO₂ ve kil+ %1 nano TiO₂ kompozit numunelerine göre daha sünek davrandığı gözlenmektedir. Kil+%2 nano TiO₂ ve kil+ %3 nano TiO₂ kompozit numunelerinin katkısız kile göre daha sünek davranış sergilediği görülmektedir. Genel olarak %1 nano TiO₂ oranına kadar (kil+ %1 nano TiO₂) maksimum serbest basınç değerinin arttığı bu orandan sonra azaldığı Şekil 4.26'da görülmektedir. En yüksek serbest basınç değeri kil+ %1 nano TiO₂ kompozitinde 86.89 kPa olarak elde edilmiş olup bu değer katkısız kile göre yaklaşık %5 artış gösterdiği Şekil 4.26'da görülmektedir.

Şekil 4.27 incelendiğinde kil numunesinin kil+%0.5 nano CuO, kil+ %1 nano CuO, kil+ %2 nano CuO ve kil+ %3 nano CuO kompozit numunelerine göre daha sünek davrandığı gözlenmektedir. Genel olarak %1 nano CuO oranına kadar (kil+ %1 nano CuO) maksimum serbest basınç değerinin arttığı bu orandan sonra azaldığı Şekil 4.28'de görülmektedir. En yüksek serbest basınç değeri kil+ %1 nano CuO kompozitinde 95.24 kPa olarak elde edilmiş olup bu değer katkısız kile göre yaklaşık %15 artış gösterdiği Şekil 4.28'de görülmektedir.

Kil, kil+nano TiO₂ ve kil+nano CuO kompozitlerine ait maksimum serbest basınç değişim grafiği toplu olarak Şekil 4.29'da gösterilmiştir.



Şekil 4.29. Serbest basınç değişimi karşılaştırma grafiği

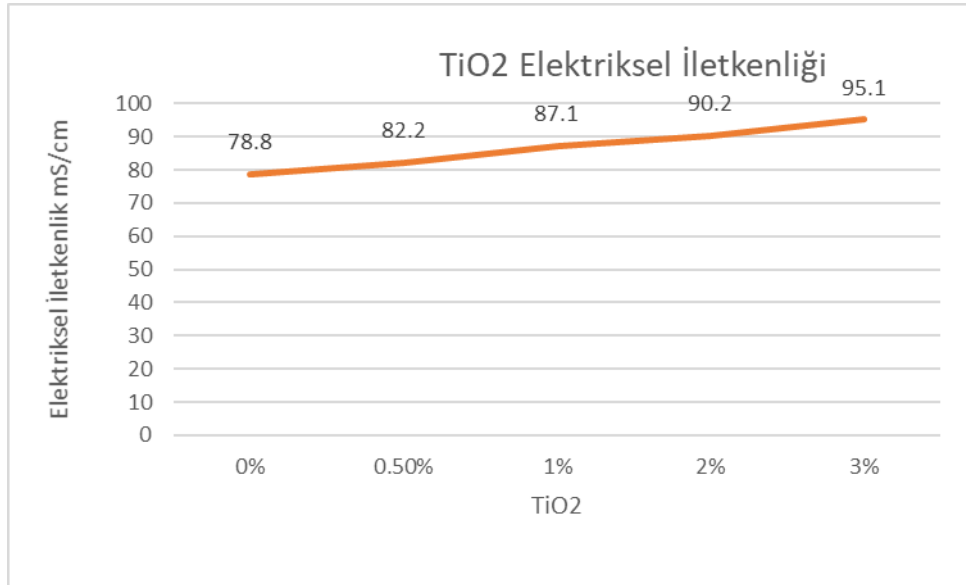
Şekil 4.29’da genel olarak nano TiO₂ ile hazırlanan kompozit numunelerine ait serbest basınç değerlerinin nano CuO ile aynı oranda hazırlanan kompozit numunelerinin serbest basınç değerlerine göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bu duruma CuO ile hazırlanan kompozit numunelerinde nano CuO partiküllerinin zemin içerisindeki boşlukları daha iyi doldurduğunun (kil daneleri arasında köprü oluşturduğu) sebep olduğu düşünülmektedir.

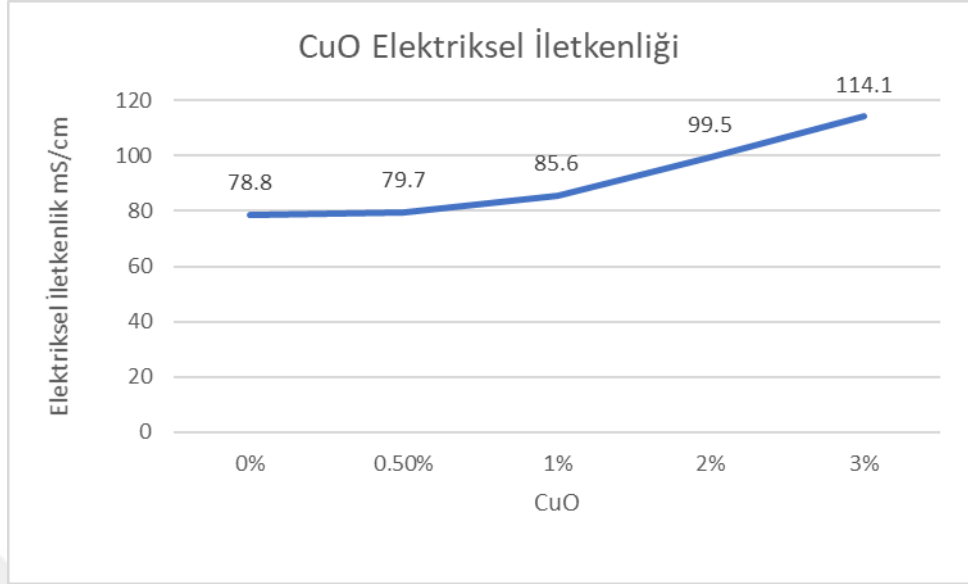
4.6. Elektriksel İletkenlik ve PH Sonuçları

Kil ve %0.5,%1,%2 ve %3 oranlarında hazırlanan kil+nano TiO₂ ve kil+nano CuO kompozit numunelerine ait elektrikliksel iletkenlik, PH sonuçları, nano TiO₂ ve nano CuO’ a ait elektrikliksel iletkenlik ve PH sonuçları tablo halinde Çizelge 4.16’da verilmiş, aynı zamanda Şekil 4.30 ve Şekil 4.31 ‘de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Elektriksel iletkenlik ve PH sonuçları

| Malzeme | C (ms/cm) | Ph |
|--------------|-----------|------|
| Katkısız Kil | -78.8 | 8.37 |
| CuO %0.5 | -79.7 | 7.87 |
| CuO %1 | -85.6 | 8.40 |
| CuO %2 | -99.5 | 8.70 |
| CuO %3 | -114.1 | 9.00 |
| TiO2 %0.5 | -82.2 | 9.33 |
| TiO2 %1 | -87.1 | 8.89 |
| TiO2 %2 | -90.2 | 8.85 |
| Ti O2 %3 | -95.1 | 8.80 |

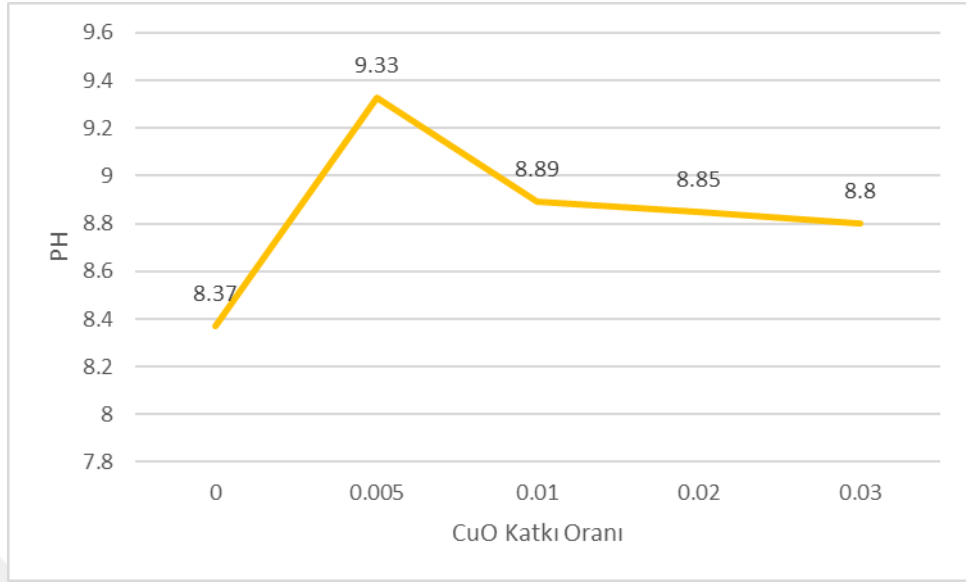
**Şekil 4.30.** Elektriksel iletkenlik değişimi (Kil, kil+nano TiO2 kompozitleri)



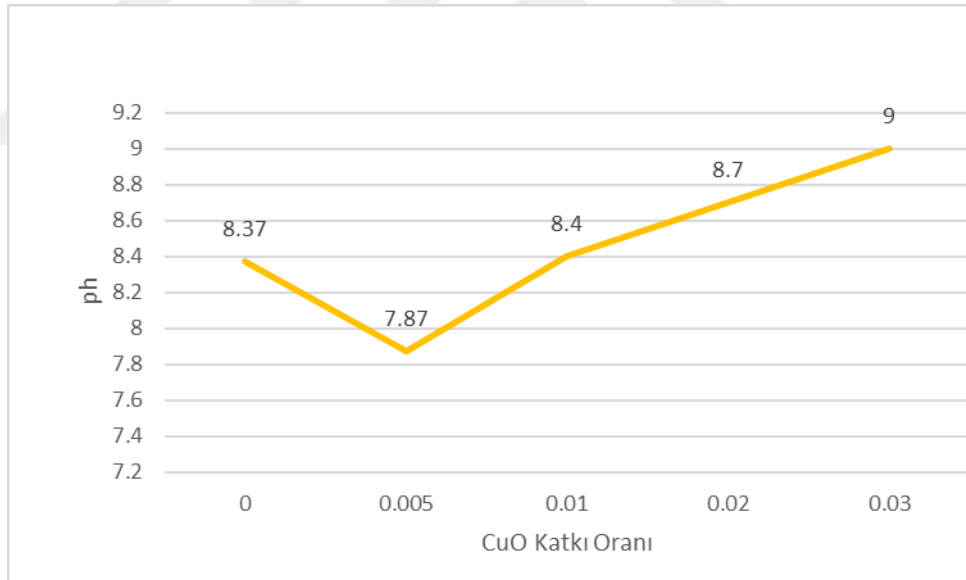
Şekil 4.31. Elektriksel iletkenlik değişimi (Kil, kil+nano CuO kompozitleri)

Şekil 4.30 ve Şekil 4.31’de görüldüğü üzere elektriksel iletkenliğin hem TiO₂ katkısı hem de CuO katkısının artması ile genel olarak artış gösterdiği görülmektedir. Bu artışın CuO katkısında daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durum CuO ile hazırlanan kompozit numunelerine ait serbest basınç değerlerinin büyük olma nedeni açıklamaktadır.

Kil ve %0.5, %1, %2 ve %3 oranlarında hazırlanan kil+nano TiO₂ ve kil+nano CuO kompozit numunelerine ait PH sonuçları Şekil 4.32 ve Şekil 4.33’de gösterilmiştir.



Şekil 4.32. Ph Değişimi (Kil, kil+nano TiO₂ kompozitleri)



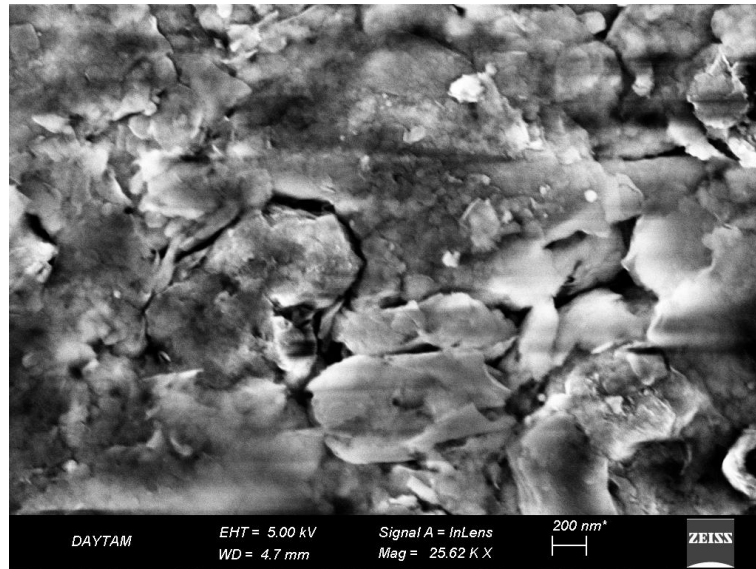
Şekil 4.33. Ph Değişimi (Kil, kil+nano CuO kompozitleri)

Şekil 4.32’de katısız kilin bazik yapıda olduğu, %0.5 oranında bazikliğin 9.33 ile en yüksek değere sahip olduğu ve genel olarak nano TiO₂ katkı oranının artması ile bazikliğin arttığı görülmektedir. Buna karşın %0.5 nano CuO katılı numunede bazikliğin katısız kile göre azaldığı fakat bu değerden sonra artış gösterdiği görülmektedir.

Ünver E., 2015.Yüksek lisans tezinde, düşük PH değerinin toprakta flokülasyonu ve gevşek zemini ifade ettiğini, yüksek PH değerinin ise dispersiyonu ve sıkı zemini belirttiğini ifade etmektedir. Ayrıca PH değernin kil danelerinin adsorpsiyon karakterlerini etkilediğini ve asit durumunda adsorpsiyonun arttığını, kil danelerinin köşelerinin pozitif yükle yüklendiğini, PH değerinin düşük olmasının kil dane yüzeyinin elektriksel potansiyelini azalttığını ifade etmektedir. Benzer etkinin nano TiO₂ ve nano CuO ile hazırlanan kompozit numunelerde olabileceği ve bunun sonucu olarak serbest basınç değerlerinin olumlu yönde etkilendiği düşünülmektedir.

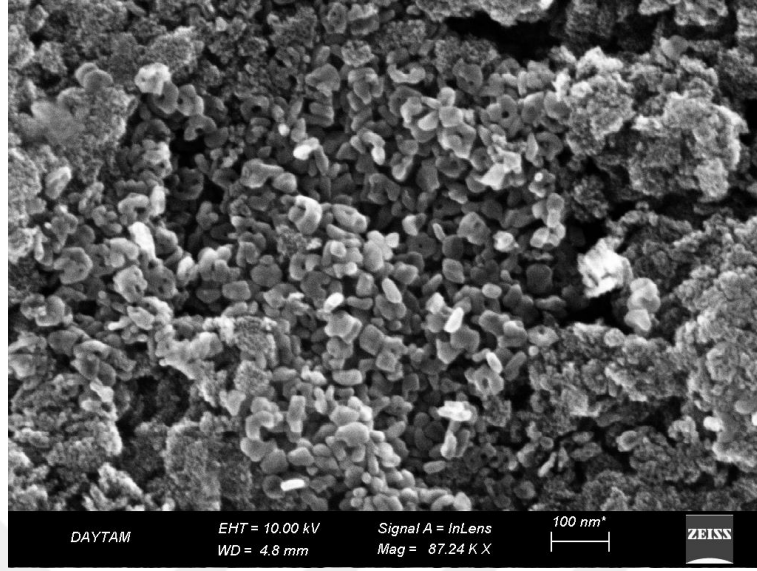
4.7. SEM Analizleri

Katkısız kil, TiO₂, CuO, en yüksek serbest dayanımını veren kil+%1 nano TiO₂ ve kil+%1 nano CuO kompozit numunelerine ait Sem analizleri ile bu kompozit numunelere ait EDAX analizleri DAYTAM'da yaptırılmıştır. Elde Edilen sonuçlar Şekil 4.34, Şekil 4.35, Şekil 4.36, Şekil 4.37, Çizelge 4.2, Şekil 4.38, Şekil 4.39, Çizelge 4.3 ve Şekil 4.40' ta verilmiştir.



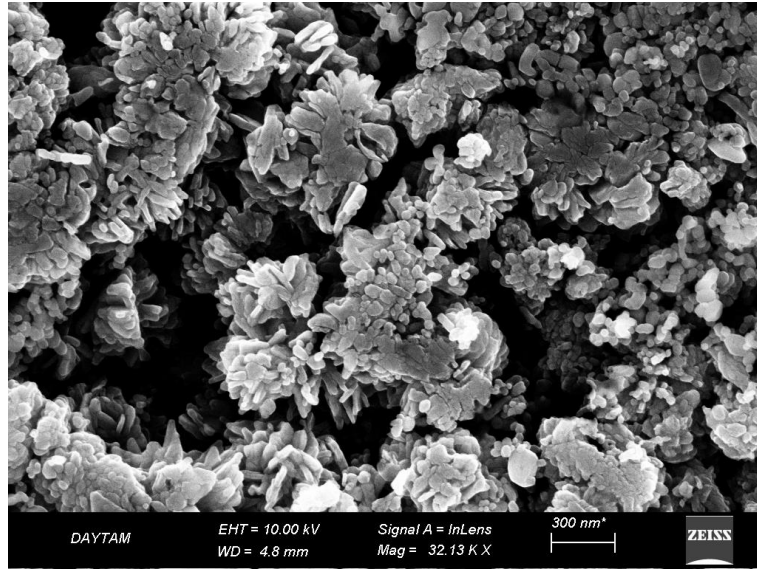
Şekil 4.34. Katkısız kile ait SEM görüntüsü

Şekil 4.34'de katkısız kilin tabakalı yapıda olduğu görülmektedir.



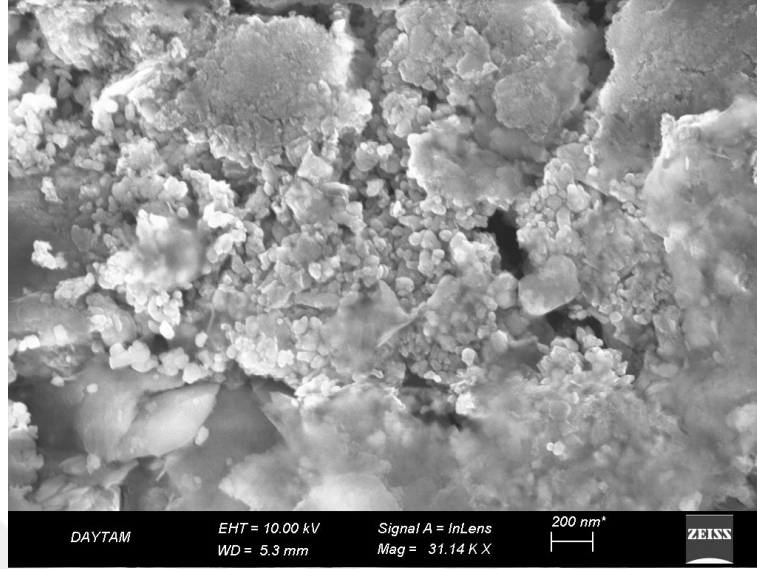
Şekil 4.35. TiO₂'e ait SEM görüntüsü

Nano TiO₂ partiküllerinin 100nm'den daha küçük, delikli ve yuvarlak şekle sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 4.36. CuO'e ait SEM görüntüsü

Nano CuO malzemenin salkım şeklinde olduğu görülmektedir.

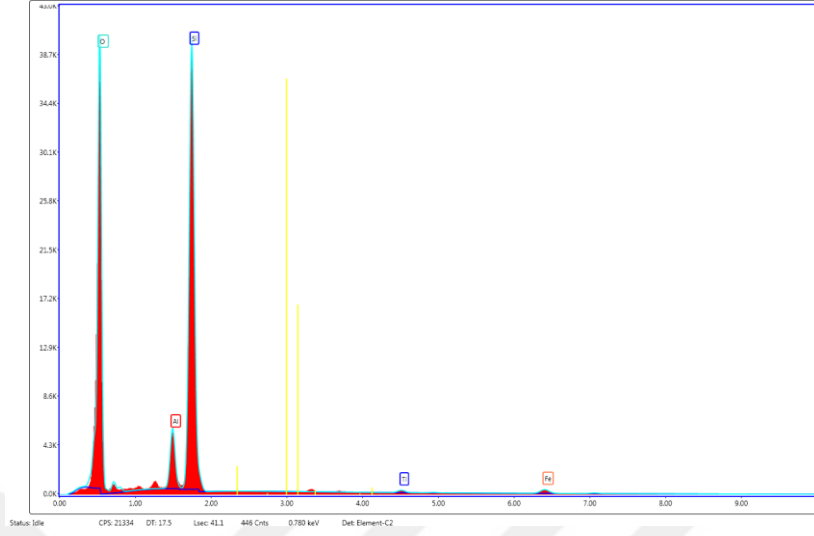


Şekil 4.37. Kil+%1 nano TiO₂'e ait SEM görüntüsü

Nano TiO₂ partiküllerinin kil tabakalarının arasındaki boşlukları doldurduğu ve köprü vazifesi yaptığı görülmektedir.

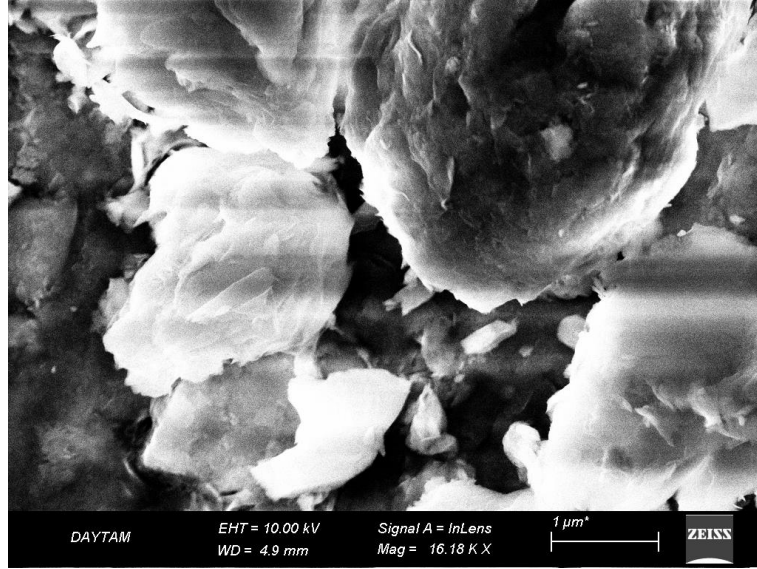
Çizelge 4.2. Kil+%1 nano TiO₂'e ait EDAX Verileri

| Element | Weight% (Ağırlık) | Atomic% (Atomik) | Error % (Sapma) |
|-------------|----------------------|---------------------|--------------------|
| O K | 58.3 | 71.4 | 7.1 |
| Al K | 4.8 | 3.5 | 4.9 |
| Si K | 34.8 | 24.3 | 3.7 |
| Ti K | 0.5 | 0.2 | 14.6 |
| Fe K | 1.6 | 0.6 | 6.7 |



Şekil 4.38. Kil+%1 nano TiO₂'e ait EDAX Sonucu

Çizelge 4.2 ve Şekil 4.38'de kil+ %1 nano TiO₂ katkılı kompozit numunesinde Ti olduğu ispat edilmektedir. Yani Şekil 4.37'de kil danelerin arasındaki partiküllerin titanyum olduğu anlaşılmaktadır.

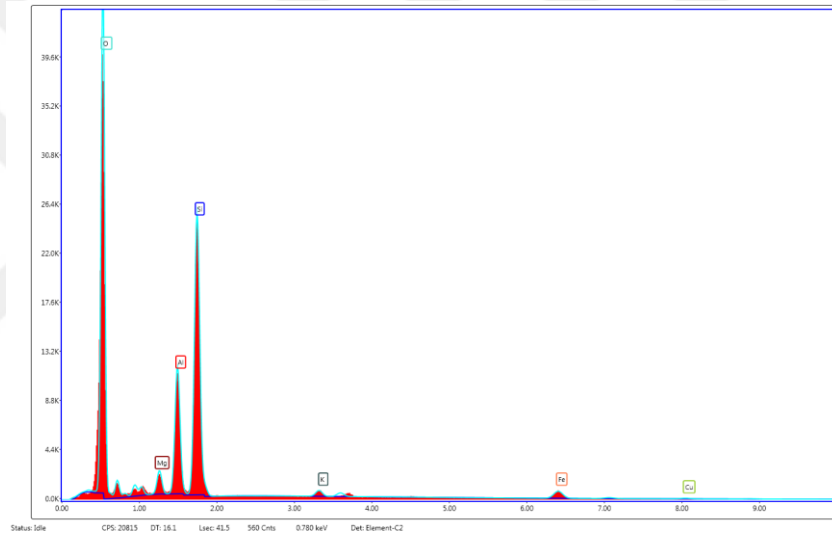


Şekil 4.39. Kil+%1 nano CuO'e ait SEM görüntüsü

Şekil 4.39'da büyük parçaların kil tabakalarını gösterdiği, aralardaki küçük yapıların ise nano CuO olduğu görülmektedir

Çizelge 4.3. Kil+%1 nano CuO'e ait EDAX verileri

| Element | Weight% (Ağırlık) | Atomic % (Atomic) | Error % (Sapma) |
|-------------|----------------------|----------------------|--------------------|
| O K | 58.1 | 71.4 | 6.9 |
| Mg K | 2.2 | 1.8 | 7.1 |
| Al K | 10.8 | 7.9 | |
| Si K | 24.6 | 17.3 | 4.5 |
| K K | 0.8 | 0.4 | 5.3 |
| Fe K | 3 | 1.1 | 4.7 |
| Cu K | 0.4 | 0.1 | 27.6 |



Şekil 4.40. Kil+%1 nano CuO'e ait EDAX sonucu

Çizelge 4.3 ve Şekil 4.40'da kil+ %1 nano CuO katkılı kompozit numunesinde Cu olduğu görülmektedir. Yani Şekil 4.39'da kil danelerin arasındaki partiküllerin bakır olduğu anlaşılmaktadır.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında, nano TiO₂ ve nano CuO partiküllerinin CH kilinin bazı mühendislik özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmak üzere laboratuvar ortamında kıvam limitleri, kompaksiyon, serbest basınç, elektriksel iletkenlik, PH analiz deneyleri ile SEM ve EDAX görüntüleme yöntemleri kullanılarak içerik analizleri yapılmıştır.

Çalışma kapsamında, Oltu-Narman Havzası'ndan getirilen katkısız kile çeşitli oranlarda nano TiO ve nano CuO ilave edilmesi sonucu üretilen kompozit numuneler üzerinde yapılan deneyler ve içerik analizlerinden elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- 1-. Elde edilen kompozit malzemelerin en yüksek likit limit değerine kil+ %3 nano TiO₂ kompozit numunesinde meydana geldiği, en düşük değere kil+ %1 nano TiO₂ kompozit numunesinde ulaştığı, kil+ %3 nano TiO₂ kompozit numunesinde likit limit değeri katkısız kile göre yaklaşık %20 artış gösterdiği bulunmuştur.
- 2- Plastik limit değeri kil+ %3 nano TiO₂ kompozit numunesinde en yüksek, kil+%0.5 nano TiO₂ kompozit numunesinde en düşük değere ulaştığı, kil + %0.5 nano TiO₂ kompozit numunesi katkısız kile göre PL değerinde %25 azalma olduğu görülmüştür.
- 3- İşlenebilirliğin göstergesi olan ve bu değerlerin farkından elde edilen PI değeri en düşük kil+ %1 nano TiO₂ kompozit numunesinde, en yüksek değeri kil+ %3 nano TiO₂ kompozit numunesinde elde edilmiştir. Kil + %1 nano TiO₂ kompozit numunesi katkısız kile göre PI değerinde %35 azalma göstermiştir.
- 4- Kil+ %1 nano CuO kompozit numunesinde likit limit maksimum değer olan 70'e ulaşmış, katkısız kile göre yaklaşık %15 artış meydana gelmiştir.
- 5- Plastik limit değeri en düşük değer 20 ile kil+ %2 nano CuO kompozit numunesinde elde edilmiş olup katkısız kile göre yaklaşık %17 azalma olduğu belirlenmiştir.
- 6-. İşlenebilirliğin göstergesi olan plastisite indisi en yüksek kil+ %1 nano CuO kompozit numunesinde 49 olarak bulunmuş olup katkısız kile göre %32 artış olduğu tespit edilmiştir.
- 7- %1, %2, oranlarında kil+ nano TiO₂ katkılı kompozit numunelerin plastik limit

değerlerinin aynı oranlarda hazırlanan kil+ nano CuO kompozit numunelerinin plastik limit değerlerinden fazla olduğu buna karşın %0.5 oranında hazırlanan kil+nano TiO₂ kompozit numunelerinin plastik limit değerinin aynı oranda hazırlanan kil+ nano CuO katkıli kompozit numunesinden az olduğu görülmektedir.

8- %0.5, %1, %2 oranlarında hazırlanan kil+ nano CuO kompozit numunelerin likit limit değerlerinin aynı oranlarda hazırlanan kil+nano TiO₂ kompozit numunelerin likit limit değerlerinden fazla olduğu buna karşın %3 oranında hazırlanan kil+nano TiO₂ kompozit numunesinin likit limit değerinin aynı oranda hazırlanan kil+ nano CuO katkıli kompozit numunesinden fazla olduğu görülmektedir.

9- Elde edilen kompaksiyon eğrisinden CH kiline ait optimum su muhtevası %19 ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı 14.95 kN/m³ olarak bulunmuştur.

10- Nano TiO₂ katkıli numunelere ait serbest basınç deney sonucunda %0.5, %1, %2 oranlarında nano TiO₂ içeren zeminin sünek kırılma, %3 katkıli zeminin ise gevrek kırılma göstermiştir.

11- Nano TiO₂ katkıli numunelere ait serbest basınç deney sonucunda en yüksek serbest basınç dayanımının %1 nano TiO₂ katkıli kilde bulunduğu ve dayanımın katkısiz kile göre yaklaşık %5 arttığı gösterilmiştir.

12- Nano CuO katkıli numunelere ait serbest basınç deney sonucunda %0.5, %1, %2, %3 nano CuO katkıli tüm numunelerin katkısiz kile göre sünek davrandığı, katkı oranı %1'e kadar dayanım arttığı, en yüksek dayanımın %1 oranında elde edildiği, bu oran arttıkça dayanımın düştüğü gösterilmiştir.

13- Nano CuO katkıli numunelere ait serbest basınç deney sonucunda %0.5 nano CuO katkı ile zemin dayanımının yaklaşık %7 arttığı, %1 nano CuO katkı oranda katkı oranı ile zemin dayanımının yaklaşık %15 arttığı sonuçları bulunmuştur.

14-Nano TiO₂ ile hazırlanan kompozit numunelerine ait serbest basınç değerlerinin nano CuO ile aynı oranda hazırlanan kompozit numunelerinin serbest basınç değerlerine göre daha düşük olduğu gösterilmiştir.

15- Elektriksel iletkenliğin hem nanoTiO₂ katkısı hem de nano CuO katkısının artması ile genel olarak artış gösterdiği görülmektedir. Bu artışın nano CuO katkısında daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durum CuO ile hazırlanan kompozit numunelerine ait serbest basınç değerlerinin büyük olma nedeni açıklamaktadır.

16- Katkısız kilin bazik yapıda olduğu, %0.5 nano TiO₂ katkı oranında bazikliğinin 9.33

ile en yüksek değere sahip olduğu ve genel olarak nano TiO₂ katkı oranının artması ile bazikliğin arttığı görülmektedir. Buna karşın %0.5 nano CuO katkılı numunede bazikliğin katkısız kile göre azaldığı fakat bu değerden sonra artış gösterdiği görülmektedir. Bunun sonucu olarak serbest basınç değerlerinin olumlu yönde etkilendiği düşünülmektedir.

17- SEM analizleri sonuçlarına göre nano TiO₂ ve nano CuO katkısız kile başarı ile katkılılandırıldığı, oluşan yüzey kristal görüntüleri ile gösterilmiştir. Bu sonuç nano TiO₂ ve nano CuO kompozitlerin üretildiğini göstermektedir.

18-EDAX sonuçlarına göre kile nano TiO₂ ve nano CuO'ün ile katkılılandırıldığı Ti ve Cu varlığı ile ispatlanmıştır.

Literatürde nano TiO₂ ve nano CuO katkılı killere ait araştırmalar yeni bir konudur. Bu sebeple farklı nano partiküller farklı zemin çeşitleri farklı oranlar kullanılarak yeni çalışmalar yapılabilir.

Yapılan çalışma sonucunda maliyet ve malzeme katkı oranlarına göre mühendislik özelliklerinde iyileşme sağlandığından, geoteknik mühendisliği açısından yeni bir nano kompozit malzeme üretildiği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Akdoğan A., Küçükyıldırım B.O., “Nanomalzemeler ve Uygulamaları,” MakinaTek, sayı 99, 2006, s.114-1
- Algali, G., 2003, Synthesis-Structure-Processing-Property Relationships in Polymer Nanocomposites.
- ASTM D 4318, 2003. Standart Test Methods for Liquid Limite, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. Annual Book of ASTM Standards; 04.08, West Conshohocken, pp. 582-595
- ASTM D 698-00a, 2003. Standard Test Method for Laboratorycompaction Characteristics of Soil Using Standard Effort. AnnualBook of ASTM Standards. American Society For Testing and Materials, 04.08,West Conshohocken, pp. 78–87.
- Avcı A.,2011 Gümüş nanopartiküllerin Sentezlenmesi ve Karakterizasyonu. Selçuk Üniversitesi Mimarlık-Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Konya.
- Aydın C. ve İnanç E., 2012 Nano Teknoloji ve Nano Gümüş,Yüksek lisans semineri,Selçuk üniversitesi,Konya.
- Baykara, T., 2008. Malzeme Enstitüsü Nano-malzeme Araştırmaları, Nano teknolojide Ürüne Dönüştürülebilir Araştırma ve Ticarileştirme Konferansı ve Proje Pazarı,
- Bilgehan H., Temel Mikrobiyoloji ve Bağışıklık Bilimi, Barış Yayınları, Fakülteler Kitabevi, İzmir, 1989.
- Bozoğlu, A., 2010, Türkiye’de Çıkan Doğal Zeolitin Bebek Bezlerinde Antimikrobiyal Madde olarak Kullanılması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Buffat, Ph., Borel J.-P., “Size effect on the melting temperature of gold particles” PhysicalReview,A 13 (6),1976,s.2287
- Bushan B.,2010 Handbook of Nanotechnology, Third Edition, ISBN: 978-3-642-02524-2.
- Cammarano, S., 2010, Study of Annealing and Orientation Effects on Physical Properties of PLA Based Nanocomposite Films
- Crainic, N., Marques, A.T., 2002. Nano-composites: a state of the art review. Key
- Erat, S. “Kimyasal Depolama Yöntemiyle Elde Edilen CdSe İnce Filmlerinin Optik Özellikleri ve Karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Mersin, 104s, (2007).
- Gökgöz, E.E. 2010. Renklendirilmiş organik-TiO₂ ile kaplanmış camların yapısal, optik ve elektriksel özelliklerinin incelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta
- Grim, R.E., 1968. Clay Mineralogy. McGraw-Hill Book Company, USA.
- H.-L. Lou, D.-H. Hsiao, C.-K. Lin, Cohesive soil stabilized using sewage sludge ash/cement and nano aluminum oxide, International Journal of Transportation Science and Technology 1 (1) (2012) 83–100.
- Kaniyor R. I. Jafri and Ramapraphu S., “Nanostructured Pt decorated graphene and multi walled carbon nanotube based room temperature hydrogen gas sensor,” Nanoscale, vol. 1, no. 3, pp. 382–386,2009.
- Konta, J., 1995. Clay and man: Clay raw materials in the service of man, Applied Clay Science, 10, 275

- Kornmann, X., 2001, Synthesis and Characterization of Thermoset-Clay Nanocomposites, Division of Polymer Engineering, Lulea University of Technology.
- 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.
- Lofton, L., 2002, Clay/ Polymer Nanocomposites for Pressure Sensitive Adhesives, Rohm and Hass Company, PA.
- M.R. Taha and T. Ying, 2010. Effects of carbon nanotube on kaolinite: basic geotechnical behavior, in: ICCE-18, Anchorage, Alaska, USA.
- M.R. Taha, O.M.E. Taha, Influence of nanomaterial on the expansive and shrinkage soil behavior, *Journal of Nanoparticle Research* 14 (1190) (2012).
- McMullan, D. (2006). "SCANNING ELECTRON MICROSCOPY 1928-1965". *Scanning* 17 (3): 175-185. doi:10.1002/sca.4950170309.
- Neş, Z. N., 2009. Yüzey aktif madde ile muamele edilmiş kilin bazı mukavemet özelliklerinin araştırılması, Y. lisans tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
- Önalp, A., 2002. Geoteknik Bilgisi I, Çözümlü Problemlerle Zeminler ve Mekanığı Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Postgate, J 1998. Nitrogen Fixation (3rd bas.). Cambridge University Press. ISBN 978-0521640473.
- Rai, M., Yadav, A., Gade, A., 2009, Silver Nanoparticles as a New Generation of Antimicrobials, *Biotechnology Advances*, 27, p. 76-83.
- Ryan, KJ; Ray, CG, ed. 2004 Sherris Medical Microbiology (4th bas.). McGraw Hill. ISBN 0-8385-8529-9.
- Shin S. -H, Ye M.-K., 2011, The effect of nano-silver on the activation of nasal polyp epithelial cells by Alternaria, Der P1 and staphylococcal enterotoxin B, *International Immunopharmacology*, 11 (11), s. 1691-1696
- Toprak, P. 2004, A New Route to The Synthesis of Nanocomposites By Using An Unsaturated polyester Matrix, Yüksek Lisans Tezi, OTDÜ-Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Uğur, F., A., 2005. Kil Minerallerinin Radyoaktif Maddeleri Tutma Özelliklerinin, Kilin Yapısına Ve İşlem Koşullarına Bağlılığının İncelenmesi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Ünver, E., 2015, Problemlerle Kil Zeminlerin Uçucu Kül İle İyileştirilmesi, Yüksek lisans tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 15s.
- Uzuner, B.A., 2005. Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekanığı. Derya Kitabevi, Trabzon.
- Yoon, K.H., Choi, W.J., Kang, D.H., 2000. Photoelectrochemical properties of copper oxide thin films coated on an n-Si substrate, *Thin Solid Films* 372, 250-256

ÖZGEÇMİŞ

Erzurum Oltu'da doğdu. İlkokulu Kazım Karabekir İlkokulu'nda, ortaokul ve liseyi Erzurum Anadolu Lisesi'nde okudu. Eczacılık eğitimine 2002 yılında Atatürk Üniversitesi Eczacılık Fakültesi'nde başladı. 2006 yılında buradan mezun oldu ve serbest eczacılık yapmaya başladı. Aynı yıl Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Bölümü'nde lisans eğitimi aldı. 2010 yılında buradan mezun oldu. 2017 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Nanobilim ve Nanomühendislik Anabilim Dalı, Nanomalzeme Bilim Dalı'nda tezli yüksek lisansını tamamladı.