



İSKENDERUN TEKNİK

ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK
LİSANS
TEZİ**

**NANOPARTİKÜLLER İLE
FONKSİYONELLEŞTİRİLMİŞ ÇOK
KATMANLI KARBON
NANOTÜPLERİN SU BAZLI
SONDAJ ÇAMURLARINA
ETKİSİ**

Nilay Hayriye ASKER

**PETROL VE DOĞALGAZ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**





**NANOPARTİKÜLLER İLE FONKSİYONELLEŞTİRİLMİŞ ÇOK
KATMANLI KARBON NANOTÜPLERİN SU BAZLI SONDAJ
ÇAMURLARINA ETKİSİ**

Nilay Hayriye ASKER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
PETROL VE DOĞALGAZ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2020

Nilay Hayriye ASKER tarafından hazırlanan “NANOPARTİKÜLLER İLE FONKSİYONELLEŞTİRİLMİŞ ÇOK KATMANLI KARBON NANOTÜPLERİN SU BAZLI SONDAJ ÇAMURLARINA ETKİSİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İskenderun Teknik Üniversitesi Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Abdullah ÖZKAN

Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....
.....

Başkan: Prof. Dr. Şana SUNGUR

Analitik Kimya Anabilim Dalı, Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....
.....

Üye: Prof. Dr. Mehmet Lütfi YOLA

Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....
.....

Tez Savunma Tarihi: 22/06/2020

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Tolga DEPCİ

Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Nilay Hayriye ASKER

22/06/2020

NANOPARTİKÜLLER İLE FONKSİYONELLEŞTİRİLMİŞ ÇOK KATMANLI
KARBON NANOTÜPLERİN SU BAZLI SONDAJ ÇAMURLARINA ETKİSİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Nilay Hayriye ASKER

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2020

ÖZET

Sondaj operasyonlarında sirkülasyon işleminin önemli bir parçası olan sondaj akışkanları diğer adıyla sondaj çamurları; sondaj işleminin maliyeti, verimi ve başarısı için kritik bir öneme sahiptir. Son zamanlarda araştırmacılar sondaj akışkanlarına çeşitli boyut ve konsantrasyonlarda katkı maddeleri ekleyerek sondaj akışkanlarının reolojik ve filtrasyon özelliklerini iyileştirmeyi hedeflemiştirler.

Bu tez çalışmasında; Al_2O_3 , TiO_2 ve ZnO nanopartikül (NP) maddeleri ile fonksiyonelleştirilmiş çok katmanlı karbon nanotüplerin (ÇKKNT), su bazlı sondaj çamuruna (Na-bentonit bazlı) farklı oranlarda (0,001-0,005-0,01 % k/h) ayrı ayrı eklenmesiyle, sondaj çamurunun reolojik ve filtrasyon özelliklerine olası etkisi incelenmiştir.

Kimyasal buhar biriktirme (CVD) yöntemi ile üretilen fonksiyonelleştirilmiş çok katmanlı karbon nanotüpler (Al_2O_3 NP/ÇKKNT, TiO_2 NP/ÇKKNT ve $ZnONP$ /ÇKKNT), taramalı elektron mikroskopu (SEM) ve X ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS) cihazı ile karakterize edilmiştir.

Al_2O_3 NP/ÇKKNT, TiO_2 NP/ÇKKNT ve $ZnONP$ /ÇKKNT'lerin 0,001-0,005-0,01 (% k/h) oranlarında ilave edilmesiyle hazırlanan su bazlı sondaj çamurlarının; plastik viskozite (PV), görünür viskozite (AV), kopma noktası (YP), jel mukavemeti (10 saniye ve 10 dakika) gibi reolojik analizleri FANN 35 viskozimetresiyle, sıvı (filtrasyon) kaybı ve sondaj çamuru kek kalınlığı analizleri de Amerikan Petrol Enstitüsü (API) sıvı kaybı test ekipmanları ile API standartlarına uygun şekilde yapılmıştır.

Çalışma sonucunda elde edilen verilere göre Al_2O_3 NP/ÇKKNT, TiO_2 NP/ÇKKNT ve $ZnONP$ /ÇKKNT ilavesinin su bazlı sondaj çamurunun reolojik özelliklerini olumlu yönde etkilediği görülmüştür. Ayrıca katkısız (spud) su bazlı sondaj çamuru ile kıyaslandığında; Al_2O_3 NP/ÇKKNT, TiO_2 NP/ÇKKNT ve $ZnONP$ /ÇKKNT ilavesinin sondaj çamurlarının PV değerini sırasıyla %85,7; %71,4; %42,8 oranında arttırdığı, AV değerini sırasıyla %41,8; %41,8; %31,6 oranında arttırdığı, YP değerini sırasıyla %20; %28; %28 oranında arttırdığı, 10 saniye değerini sırasıyla %16,6; %8,3; %25 oranında arttırdığı, 10 dakika değerini sırasıyla %11; %5,6; %38,9 oranında arttırdığı, filtrasyon kaybı değerini sırasıyla %13,8; %8,6; %13,8 oranında azalttığı, aynı zamanda kek kalınlığı değerini de sırasıyla %18,5; %11; %22 oranında arttırdığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler : Su bazlı sondaj çamuru, nanopartikül madde, fonksiyonelleştirilmiş çok katmanlı karbon nanotüp, reolojik ve filtrasyon özellikler

Sayfa Adedi : 56

Danışman : Doç. Dr. Abdullah ÖZKAN

EFFECT OF MULTI-WALLED CARBON NANOTUBES FUNCTIONALIZED WITH
NANO-PARTICLES ON THE WATER BASED DRILLING FLUID
(M. Sc. Thesis)

Nilay Hayriye ASKER

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY
ENGINEERING AND SCIENCE INSTITUTE

June 2020

ABSTRACT

Drilling fluids also known as drilling muds, which are an important part of the circulation process in drilling operations: are critical for the cost, efficiency and success of the drilling process. Recently, researchers have aimed to improve the rheological and filtration properties of drilling fluids by adding additives of various sizes and concentrations to the drilling fluids.

In this thesis study; The possible effect of the drilling mud on the rheological and filtration properties was investigated by adding separately multi-walled carbon nanotubes (MWCNT) functionalized with nanoparticle materials such as Al_2O_3 , TiO_2 and ZnO to the water-based drilling mud (Na-bentonite based) in different proportions (0.001-0.005-0.01 % w/v).

Functionalized multi-walled carbon nanotubes (Al_2O_3 NP/MWCNT, TiO_2 NP/MWCNT and $ZnONP$ /MWCNT) produced by chemical vapor deposition (CVD) method are characterized with scanning electron microscope (SEM) and X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) device.

Water-based drilling muds prepared by adding Al_2O_3 NP/MWCNT, TiO_2 NP/MWCNT and $ZnONP$ /MWCNT at the rates of 0.001 – 0.005 – 0.01 (% w/v); rheological analyzes such as plastic viscosity (PV), apparent viscosity (AV), breaking point (YP), gel strength (10 seconds and 10 minutes) with the FANN 35 viscosimeter, fluid (filtration) loss and drilling mud cake thickness analyzes were performed in accordance with API standards with American Petroleum Institute (API) fluid loss test equipments.

According to the data obtained as a result of the study, the addition of Al_2O_3 NP/MWCNT, TiO_2 NP/MWCNT and $ZnONP$ /MWCNT positively affected the rheological properties of the water-based drilling mud. In addition, when compared water-based drilling mud without additives; the PV values of the drilling muds with the addition of Al_2O_3 NP/MWCNT, TiO_2 NP/MWCNT and $ZnONP$ /MWCNT increased by respectively 85.7%; 71.4%; 42.8%, increased AV value by respectively 41.8%; 41.8%; 31.6%, increased the YP value by respectively 20%; 28%; 28%, increased the value of 10 seconds by respectively 16.6%; 8.3%; 25%, increased the value of 10 minutes by respectively 11%; 5.6%; 38.9%, decreased the filtration loss value by respectively 13.8%; 8.6%; 13.8%, at the same time, the cake thickness value increased by respectively 18.5%; 11%; 22%.

Key Words : Water based drilling mud, nanoparticle substance, functionalized multi-walled carbon nanotubes, rheological and filtration properties

Page Number : 56

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Abdullah ÖZKAN

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin başından sonuna kadar gerekli çalışma ve laboratuvar ortamını sağlayan, destek ve yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Abdullah ÖZKAN'a "İskenderun Teknik Üniversitesi", deneysel çalışmalarımda benden yardımını esirgemeyen Prof. Dr. Mehmet Lütfi YOLA'ya "İskenderun Teknik Üniversitesi" ve motivasyonları için Arş. Gör. Dr. Vildan ÖZKAN'a "İskenderun Teknik Üniversitesi" teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca çalışmalarım süresince bana göstermiş olduğu sabır ve anlayıştan dolayı sevgili ailemin her bir üyesine teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE	7
2.1. Sondaj Akışkanları	7
2.2. Sondaj Akışkanlarının Sınıflandırılması	7
2.3. Sondaj Akışkanlarının Görevleri	9
2.4. Sondaj Akışkanlarının Reolojik Özellikleri	11
2.5. Sondaj Akışkan Testleri	17
2.6. Karbon Nanotüp	21
2.6.1. Karbon nanotüpün sınıflandırılması	23
2.6.2. Karbon nanotüpün özellikleri.....	23
2.6.3. Karbon nanotüpün kullanım alanları	25
2.7. Sondaj Akışkanları Karakterizasyon Yöntemleri.....	25
2.7.1. X-Işını floresans spektrometresi (XRF).....	25
2.7.2. X-Işını fotoelektron spektroskopisi (XPS).....	26
2.7.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)	26
2.7.4. Geçirimli elektron mikroskobu (TEM)	27
3. MATERYAL VE METOD	28
3.1. Çok Katmanlı Karbon Nanotüp (ÇKKNT) Üretimi.....	28
3.2. Al ₂ O ₃ Nanopartiküllerin Üretimi	29
3.3. TiO ₂ Nanopartiküllerin Üretimi	29

	Sayfa
3.4. ZnO Nanopartiküllerin Üretimi	29
3.5. Nanopartiküller ile Fonksiyonelleştirilmiş Çok Katmanlı Karbon Nanotüplerin Üretimi	29
3.6. Sondaj Çamurlarının Hazırlanması ve Analizi	30
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	32
4.1. X Işını Fotoelektron Spektroskopisi (XPS) Analizi.....	32
4.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi	34
4.3. Fonksiyonelleştirilmiş Çok Katmanlı Karbon Nanotüp İlaveli Su Bazlı Sondaj Çamurlarının Reolojik Özellikleri	35
4.4. Fonksiyonelleştirilmiş Çok Katmanlı Karbon Nanotüp İlaveli Su Bazlı Sondaj Çamurlarının Filtrasyon Kaybı Ve Kek Kalınlığı Özellikleri.....	42
4.5. Sondaj Çamuru Yoğunluk Testi.....	43
4.6. Sondaj Çamurunun pH Testi.....	44
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	46
KAYNAKLAR	48
ÖZGEÇMİŞ	54
DİZİN	56

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Hazırlanan çamur bileşimleri.....	31
Çizelge 3.2. Na-Bentonitin elementel kompozisyonu	31



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Newtoniyen akışkanların akış eğrileri	13
Şekil 2.2. 1-Viskoplastik, 2-Bingham, 3-Pseudoplastik, 4-Newtoniyen, 5-Dilatant akışkanların akış eğrileri	14
Şekil 2.3. Pseudoplastik akışkanların akış eğrileri.....	14
Şekil 2.4. Bingham akışkanların akış eğrileri	15
Şekil 2.5. Dilatant akışkanların akış eğrileri	15
Şekil 2.6. Tikotropik akışkanların akış eğrileri	16
Şekil 2.7. Reopektik akışkanların akış eğrileri	16
Şekil 2.8. Newtoniyen olmayan akışkanlarda sabit kayma gerilmesi hızı altında kayma gerilmesinin değişimi.....	16
Şekil 2.9. a) Elmas, b) Grafit c) Fulleren d) Karbon nanotüp.....	22
Şekil 2.10. Grafen levhasının rulo olmasıyla oluşan ÇKKNT ve TKKNT	22
Şekil 4.1. Al ₂ O ₃ NP/ÇKKNT katkılı çamurun PV, AV ve YP değerleri.....	36
Şekil 4.2. TiO ₂ NP/ÇKKNT katkılı çamurun PV, AV ve YP değerleri	36
Şekil 4.3. ZnONP/ÇKKNT katkılı çamurun PV, AV ve YP değerleri.....	37
Şekil 4.4. Fonksiyonelleştirilmiş ÇKKNT ilavesinin sondaj çamurlarının PV değerlerine etkisi	37
Şekil 4.5. Fonksiyonelleştirilmiş ÇKKNT ilavesinin sondaj çamurlarının AV değerlerine etkisi.....	38
Şekil 4.6. Fonksiyonelleştirilmiş ÇKKNT ilavesinin sondaj çamurlarının YP değerlerine etkisi.....	38
Şekil 4.7. Al ₂ O ₃ NP/ÇKKNT katkılı çamurun jel mukavemeti değerleri.....	40
Şekil 4.8. TiO ₂ NP/ÇKKNT katkılı çamurun jel mukavemeti değerleri	40
Şekil 4.9. ZnONP/ÇKKNT katkılı çamurun jel mukavemeti değerleri.....	40
Şekil 4.10. Fonksiyonelleştirilmiş ÇKKNT ilaveli su bazlı sondaj çamurlarının 10 saniye jel mukavemeti değerleri	41

Şekil	Sayfa
Şekil 4.11. Fonksiyonelleştirilmiş ÇKKNT ilave su bazlı sondaj çamurlarının 10 dakika jel mukavemeti değerleri	41
Şekil 4.12. Fonksiyonelleştirilmiş ÇKKNT ilaveli su bazlı sondaj çamurlarının sıvı kaybı değerleri.....	42
Şekil 4.13. Fonksiyonelleştirilmiş ÇKKNT ilaveli su bazlı sondaj çamurlarının kek kalınlığı değerleri	43
Şekil 4.14. Fonksiyonelleştirilmiş ÇKKNT ilaveli su bazlı sondaj çamurlarının yoğunluk değerleri	44
Şekil 4.15. Fonksiyonelleştirilmiş ÇKKNT ilaveli su bazlı sondaj çamurlarının pH değerleri	44

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Akış modeli.....	12
Resim 2.2. Çamur terazisi.....	17
Resim 2.3. FANN model 8 hızlı döner viskozimetre	18
Resim 2.4. API filtre press	21
Resim 3.1. Kimyasal buhar biriktirme reaktörü.....	28
Resim 4.1. Sentezlenen Al ₂ O ₃ NP/ÇKKNT'e ait XPS görüntüsü.....	32
Resim 4.2. Sentezlenen TiO ₂ NP/ÇKKNT'e ait XPS görüntüsü.....	33
Resim 4.3. Sentezlenen ZnONP/ÇKKNT'e ait XPS görüntüsü	33
Resim 4.4. Spud çamurunun SEM görüntüsü	34
Resim 4.5. Al ₂ O ₃ NP/ÇKKNT katkılı sondaj çamurunun SEM görüntüsü	34
Resim 4.6. TiO ₂ NP/ÇKKNT katkılı sondaj çamurunun SEM görüntüsü	35
Resim 4.7. ZnONP/ÇKKNT katkılı sondaj çamurunun SEM görüntüsü	35

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

nm	Nanometre
cP	Santi poise
sn	Saniye
μ	Viskozite
γ	Kayma hızı
τ	Kayma gerilmesi
A	Alan
F	Kuvvet
$^{\circ}\text{F}$	Fahrenheit
GHz	Giga hertz
eV	Elektron volt
keV	Kilo elektron volt
MPa	Megapaskal

Kısaltmalar

Açıklamalar

API	Amerikan Petrol Enstitüsü
ASTM	Amerikan Test ve Materyaller Topluluğu
AV	Görünür viskozite
ÇKKNT	Çok katmanlı karbon nanotüp
HPHT	Yüksek basınç yüksek sıcaklık
PV	Plastik viskozite
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
TKKNT	Tek katmanlı karbon nanotüp
YP	Kopma noktası
XPS	X-Işını fotoelektron spektroskopisi

1. GİRİŞ

Petrol ve gaz kaynaklarının gelecekteki yeterliliğine dair artan endişeler, kara ve denizde bulunan petrol ve gaz rezervuarlarının çıkarılması için sondaj teknoloji uzmanlarını mevcut yöntem ve teknolojinin ötesine geçmeye zorlamaktadır. Hidrokarbon kaynaklarına ulaşmak için derinlere inildiğinde karşılaşılan yüksek basınç ve sıcaklıkta yapılması gereken sondaj işlemleri, temel bilimler ve mühendislik alanlarında yeni keşiflerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu keşifler sondaj işlemlerinin başarısının büyük ölçüde sondaj sıvısına bağlı olduğunu göstermiştir [1].

Petrol ve doğal gaz üretimi için sondaj işlemi birkaç önemli adımdan oluşmaktadır. Bunlar: delme, sirkülasyon, kaplama, kuyu tamamlama, üretim ve son olarak kuyunun kullanım ömrü tamamlandıktan sonra kapatma işlemidir. Sirkülasyon işleminde kullanılan sondaj akışkanı; kesintilerinin kuyudan yüzeye çıkarılması, çalışma sıcaklıklarının ve basınçlarının korunması dahil olmak üzere çeşitli işlevleri yerine getirmek için kullanılmaktadır [2]. Genellikle sondaj işlemleri maliyeti oldukça yüksek operasyonlardır. Bu sebeple sondaj akışkanlarının performansı önemlidir [3]. Sondaj akışkanlarının performansını etkileyen önemli faktörlerden bazıları şunlardır: akışkan reolojisi [4], sondaj akışkanının viskozitesinin değişimi, sondaj akışkanının yoğunluğundaki değişiklik, çamur pH'ındaki değişim, matkap yüzeyinin korozyonu veya yorgunluğu [5], sondaj akışkanının termal kararlılığı [6] ve sondaj borusunun formasyon yüzeyine yapışmasıdır [7].

Sondaj akışkanları, kolloidal sistemler içermesi ve kimyasal-reolojik özellikleri bakımından karmaşık bir yapıya sahip olmasından dolayı sondaj çamuru olarak da adlandırılır. Sondaj sıvıları (çamur) verimli sondaj ve sondaj basıncını kontrol etmek, sondaj sırasında sondaj kuyusunu stabilize etmek ve sıvı kayıplarını kontrol etmek için kullanılan gelişmiş teknolojilerdendir [8]. Sondaj işleminde genellikle seçilen akışkan türünü maliyet, teknik performans ve çevresel etki belirler. Sondaj akışkanları pnömatik, yağ bazlı ve su bazlı olarak 3 farklı tipte sınıflandırılır. En çok tercih edilen çamur sistemi daha ucuz ve çevre dostu özelliğinden dolayı su bazlı sondaj akışkanlarıdır. Sondaj işleminde kullanılan sondaj akışkanları sondaj yapılacak formasyonun yapısına göre farklı katkı maddeleri içermektedir. Su bazlı sondaj çamurlarında yaygın olarak kullanılan katkı maddeleri ise şu şeklide sınıflandırılır [9]:

- Viskozite Arttırıcı (Bentonit, Çeşitli Polimerler)
- Kabarma Önleyici (Tuz, Kireç, Alçıtaşı)
- Viskozite Düşürücü (Lignosülfonatlar, Fosfatlar, Tannat)
- Emülsiyonlaştırıcı (Lignosülfonat, Linyit, deterjan)
- Sıvı Kaybı Katkı Maddeleri (Nişasta, Karboksimetil Selüloz, Sentetik Polimerler)
- Sirkülasyon Kaybı Maddeleri (Granüller, Fiber, Flake)
- Ağırıştırıcılar (Barit, Hematit, Çözülmüş Tuzlar, Karbonat)
- Özel Katkı Maddeleri (Flokülanlar, Köpük Gidericiler, pH Düzenleyiciler)

Katkı maddelerinin türü ve miktarı, sondaj gerekliliklerine ve delinecek rezervuarın türüne bağlıdır ve sondaj akışkanı için belirli özellikler ve reolojik davranışlar getirir [10].

Son zamanlarda benzersiz fiziksel ve kimyasal özellikleri sayesinde nanopartiküller, özellikle yüksek basınç ve yüksek sıcaklık (HPHT) şartlarında sondaj akışkanının filtrasyonunu ve reolojik özelliklerini ayarlamak için kullanılan önemli katkı maddeleri haline gelmeye başlamıştır [11]. Aynı zamanda sondaj operasyonlarında çimentolama işlemlerinde de katkı maddesi olarak kullanılan nanopartiküller çimentonun yoğunluk, dayanıklılık ve mukavemetini geliştirmede etkilidir [12]. Buna ek olarak nanopartiküller, sondaj sıvısı masrafını azaltarak sondaj işleminin maliyetini de azaltabilmektedir [13]. Petrol ve gaz endüstrisine potansiyel yenilikçi çözümler sunan nanoteknolojik malzemeler olan nanopartiküller bu nedenle gelecekteki enerji talebi için hayati bir önem taşımaktadır [14].

Sondaj işleminin başarılı bir şekilde gerçekleşmesi amacıyla araştırmacılar; sondaj akışkanlarına çeşitli nanopartiküller ekleyerek sondaj akışkanının plastik viskozite (PV), akma noktası (YP), görünür viskozite (AV), jel mukavemeti gibi reolojik özelliklerinin gelişmesi, filtrasyon kayıplarının önlenmesi ve kuyu sorunlarının çözülmesi üzerine yoğunlaşmışlardır.

Singh ve Ahmed (2010), kuyu dengesizliğini azaltan nano polimer malzemenin eklenmesiyle stabiliteyi arttırıcı yönde fayda sağladığını belirtmişlerdir [15].

Mostafavi ve arkadaşları (2011), sondaj çamuruna demir hidroksit nanopartikülü ekleyince yaklaşık %9 sirkülasyon kayıplarında azalma gözlemlerken aynı ekip makro ve mikro partiküllerde bu iyileştirmeyi sınırlı düzeyde tespit etmişlerdir [16].

Amanullah ve Ashaf (2009), gerekli fonksiyonel özelliklere sahip nano bazlı akışkanların; sondaj problemleri ile birlikte konsolide olmayan formasyonlarda sondaj kuyusu dengesizliğini ortadan kaldırmak veya azaltmak, takım sıkışması, kuyu temizleme, ekipman aşınma ve yıpranma, teçhizat kararsızlığı gibi durumların önüne geçtiğini ayrıca delme problemleri ile ilgili konsolide olmayan formasyonların önlenmesiyle tek başına milyonlarca dolar tasarruf sağlayabileceklerini belirtmişlerdir [17].

Elochukwu ve arkadaşları (2018), su bazlı sondaj akışkanının reolojik ve filtrasyon özelliklerini araştırmak için nano polistiren ve yüzey aktif madde olan Metil Ester Sülfonat katkılanmışlardır. Aynı zamanda Bingham ve Power yasa mollerini kullanıp su bazlı sondaj akışkanının reolojik özelliklerini iyileştirdiğini göstermiştir. Bunun yanında düşük basınç ve düşük sıcaklık şartlarında filtrasyon (sıvı) kaybını %50,7 olarak azalttığını, yüksek basınç yüksek sıcaklık şartlarında (HPHT) ise %61,1 olarak azalttığını da bulmuşlardır. Çalışmalarında taramalı elektron mikroskopu kullanarak filtre kek geçirgenliği görüntüleyip filtrasyon (sıvı) kaybının azaldığını tespit etmişlerdir [18].

Sayyadnejad ve arkadaşları (2008), petrol ve gaz sondaj işlemi sırasında oluşabilecek hidrojen sülfür tehlikesine karşı çevre kirliliğini azaltmak, sondaj işçilerinin sağlığını korumak, boru hatlarının ve ekipmanların korozyonunu önlemek için su bazlı sondaj çamuruna 14-25 nm boyutlarında çinko oksit partikülleri katkılanmışlardır. Bunun sonucunda su bazlı sondaj çamurundan çinko oksit nanopartiküller aracılığı ile 15 dakikada hidrojen sülfürün tamamını çıkartabildiğini bulmuşlardır [19].

Al-Zubaidi ve arkadaşları (2016), sondaj sıvılarının reolojik ve filtrasyon özelliklerini geliştirmek için iki aşamalı çalışmalar yapmışlardır. İlk aşamada; ağırlıkça % 6, 10, 15, 20 konsantrasyondaki yerel (Irak) bentonitli sondaj sıvısına nano bentonit ve nano Irak kilini % 1, 2, 3 ve 4 oranında karıştırarak eklemişlerdir. Ancak elde edilen sonuçlar API standartları ile karşılaştırıldığında sondaj sıvısının özelliklerini geliştirmediği görülmüştür. İkinci aşama çalışmalarında ağırlıkça % 0,005; 0,01; 0,05; 0,1; 0,2 ve 0,4 konsantrasyonlarda nano bentonit ve nano kimyasallar (MgO, TiO₂ ve grafen) ticari

bentonit kullanılan sondaj sıvısının içine eklenmiştir. Bunun sonucunda; nano ticari bentonitin grafen ile aynı filtrasyon etkiyi gösterdiğini ayrıca nano ticari bentonit, TiO_2 ve grafen kullanıldığında da plastik viskozite, akma noktası ve görünür viskozitenin aynı olduğunu bulmuşlardır. En iyi sonucun ise MgO eklenmesi durumunda daha yüksek bir akma noktası değeri ile filtre kaybının %35 düştüğünü tespit etmişleridir [20].

Smith ve arkadaşları (2018), yüksek sıcaklık ve yüksek basınç koşullarında kullanılan petrol bazlı sondaj sıvısının çevreye verdiği zarar ve maliyetten dolayı, su bazlı sondaj sıvısına alüminyum oksit nanopartiküllerini ekleyerek yüksek sıcaklık ve basınçta optimum konsantrasyonda reolojik ve filtrasyon özelliklerini geliştirmekte kullanmışlardır. Sonuç olarak nanopartikül içeren sondaj sıvılarının yüksek sıcaklıklarda termal stabiliteye sahip olduğunu ve daha düşük çevresel etki ve sermaye maliyetleri getirirken ileri sondaj işlemlerindeki zorlu koşullara dayanabileceğini göstermiştir [21].

Özkan (2018), su bazlı sondaj sıvısına çok katmanlı karbon nanotüpü (ÇKKNT) % 0,001; 0,005; 0,01; 0,05 ve 0,1 (k/h) oranlarında ilave ederek API standartlarına göre reolojik özelliklerini test etmiştir. Çalışma sonucunda sondaj çamurunun reolojik özelliklerini iyileştirmek için ÇKKNT'ün en iyi katkılama değerinin ağırlıkça %0,1 (k/h) oranı olduğunu ifade etmiştir [22].

Bég ve arkadaşları (2018), TiO_2 ve SiO_2 nanopartikül maddeleri farklı konsantrasyonlarda su bazlı sondaj çamuruna ekleyerek viskozite, plastik viskozite ve jel mukavemetine etkilerini araştırmış ve bunun sonucunda TiO_2 nanopartiküllerinin SiO_2 nanopartiküllere göre daha iyi olduğunu ve en iyi oranının da %0,60 (k/h) olduğunu bulmuşlardır [23].

Abbasi ve arkadaşları (2015), TiO_2 nanopartikülleri ile fonksiyonelleştirilmiş çok katmanlı karbon nanotüp, oksitlenmiş çok katmanlı karbon nanotüp, bozulmamış çok katmanlı karbon nanotüp ve TiO_2 nanopartikül içeren nano akışkanların viskozite ve akış davranışları üzerinde konsantrasyon ve sıcaklığın etkilerini incelemişlerdir. Araştırma sonuçları nano sıvıların reolojik özelliklerinin sıcaklık ve konsantrasyonun fonksiyonları olduğunu, buna karşılık hazırlanan tüm nano sıvıların viskozitesinin konsantrasyonun azalmasıyla sıcaklığın arttırılmasıyla azaldığını bulmuşlardır. TiO_2 nanopartikül ve ÇKKNT- TiO_2 nano akışkanların kayma kalınlaşması gösterdiklerini, bozulmamış ve oksitlenmiş ÇKKNT'leri içeren nano akışkanların ise kayma incelmeleri gösterdiklerini tespit

etmişlerdir. Bunun yanında araştırmacılar KKNT'lerin oksidasyon olmasının viskozite üzerinde azalmaya neden olduğunu ve fonksiyonelleştirilmiş KKNT'lerin viskozite değerinin de, TiO₂ nanopartikül miktarının artmasıyla viskozitenin azalma gösterdiğini ortaya koymuşlardır [24].

İsmail ve arkadaşları (2014), su bazlı sondaj çamurlarına çok katmanlı karbon nanotüp ve alüminyum oksidi ayrı ayrı ekleyerek su bazlı sondaj çamurunun üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Bu alışmalar neticesinde, her iki katkı malzemesinin viskoziteyi arttırdığını tespit etmişlerdir. Aynı zamanda hem yüksek basınçta hem de yüksek sıcaklıkta (HPHT) koşullarında filtrat (sıvı) kaybının ve çamur kek kalınlığının azaldığını ifade etmişlerdir. Ek olarak, titanyum dioksit ve bakır oksit katılmasının viskozite, jel mukavemeti, filtrat (sıvı) kaybı ve kek kalınlığını da azalttığını gözlemlemişlerdir [25].

Ghasemi ve arkadaşları (2017), sondaj çamuruna Al₂O₃ ve TiO₂ nanopartiküllerinin eklenmesinin etkisini araştırmışlardır. Al₂O₃ ve TiO₂ nanopartiküllerini sırasıyla 20 nm ve 60 nm boyutlarında ağırlıkça %0,05 konsantrasyonda kullanmışlardır. Sıcaklık artışının plastik viskozite gibi sondaj çamur reolojik özelliklerini azaltabildiğini gösterirken, basınçtaki bir artışın bu özellikleri arttırabileceğini de tespit etmişlerdir. Çalışmada nanopartiküllerin eklenmesinin sondaj çamurunun jel mukavemetini arttırabildiğini, kılcal emme testi sonucunda filtrat (sıvı) geçiş süresini azaltabileceğini ve oluşum hasarını da azalttığını bulmuşlardır [1].

William ve arkadaşları (2014), ksantan gum sulu çözeltisi içine CuO ve ZnO (<50 nm boyutu) nano akışkanları eklemişlerdir. Nano akışkanlar, ksantan gum sulu çözeltisi içine ağırlıkça % 0,1; 0,3 ve 0,5 şeklinde eklenmiştir. Hazırlanan bu çözeltileri su bazlı sondaj çamurunun içine katkılayarak nano-akışkan ile zenginleştirilmiş su bazlı sondaj çamur elde etmişlerdir. Nano akışkanlar su bazlı sondaj çamuruna hacimce %1 eklenmiştir. alışmalarında araştırmacılar zenginleştirilmiş su bazlı sondaj çamurunun, katkı eklenmemiş su bazlı sondaj çamuruna kıyasla yaklaşık %35 oranında gelişmiş termal ve elektriksel özellikler sergilediklerini gözlemlemiştir. Aynı zamanda nanopartiküllerin artan konsantrasyonu ile termal ve elektrik özelliklerinin artış gösterdiğini belirtmişlerdir. Ek olarak CuO nano akışkanı ile zenginleştirilmiş su bazlı sondaj çamurunun yüksek basınç ve yüksek sıcaklık koşullarında ZnO nano akışkanı ile zenginleştirilmiş su bazlı çamuruna göre daha dirençli olduğunu gözlemlemişlerdir. Araştırmacılar ayrıca nano akışkanların

değişen sıcaklık (25, 70, 90 ve 110 °C) ve basınçlarda (0,1 MPa ve 10 MPa) reolojik özellikler üzerindeki etkisini anlamak için ayrıca çalışmalar yapmışlardır. Bunun sonucunda ise zenginleştirilmiş su bazlı sondaj çamurunun reolojisi üzerindeki basıncın etkisinin, yüksek sıcaklıklarda daha belirgin olduğunu ve zenginleştirilmiş su bazlı sondaj çamuru durumunda daha iyi reolojik stabiliteyi gösterdiğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar nano akışkanların, yüksek sıcaklıklarda viskoziteyi stabilize ettiklerini belirtmişlerdir [26].

Al-Yasiri ve arkadaşları (2019), su bazlı sondaj çamuruna ksantan gum-SiO₂ karışımı ekleyerek, nano parçacıkların ve polimerin sinerjistik özellikleri ile sondaj işlemindeki zorluklara bir çözüm bulmak için yeni bir sondaj çamuru geliştirmişlerdir. Bu çalışmaların sonucunda; geliştirilen bu yeni sondaj çamurunun geleneksel su bazlı sondaj çamurlarına göre daha yüksek kopma noktasına sahip olduğunu, kuyu temizliği için daha faydalı olduğunu, daha az filtrat (sıvı) kaybına ve daha fazla matkap yağlama özelliğine sahip olduğunu tespit etmişlerdir [27].

Bu çalışmada; kimyasal buhar biriktirme yöntemi ile Al₂O₃, TiO₂ ve ZnO nanopartiküllerini içeren çok katmanlı karbon nanotüpler sentezlenmiş ve su bazlı sondaj çamurlarına 0,001; 0,005 ve 0,01 oranlarda (% k/h) eklenmiştir. Elde edilen sondaj çamurlarının; plastik viskozitesi, görünür viskozitesi, jel mukavemeti gibi reolojik özellikleri FANN 35 viskozimetre cihazı ve su kaybı ile sondaj çamuru kek kalınlığı ise Amerikan Petrol Enstitüsü (API) sıvı kaybı test ekipmanları kullanılarak, API standartlarına göre detaylı bir şekilde analiz edilmiştir [28-29].

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1. Sondaj Akışkanları

Sondaj çamuru olarak adlandırılan sondaj akışkanları, matkap ucunu soğutmak ve yağlamak, kuyu tabanını temizlemek, kırıntıları yüze taşımak, kuyu basınçlarını kontrol etmek ve kuyudaki matkap dizisini ve aletlerinin işlevini korumak için kullanılan doğal ve sentetik kimyasal bileşiklerin karışımlarıdır. Ayrıca sondaj verimliliğini büyük ölçüde arttırabilecek bir özelliğe sahiptir. Sondaj çamurunun bu işlevlerini yerine getirebilmesi için sondaj sıvısının reolojik özelliklerinin (plastik viskozite, kopma noktası, görünür viskozite ve jel mukavemetleri) kontrol altında tutulabilmesine, sıvı kaybının önlenmesine, çeşitli sıcaklık ve basınç koşullarındaki kararlılığına ve kirlenmiş sıvılara (tuzlu su, kalsiyum sülfat, çimento ve potasyumla kirlenmiş) karşı dayanıklılığına bağlıdır [30].

2.2. Sondaj Akışkanlarının Sınıflandırılması

Sondaj sıvıları için kesin, standart bir formülasyon yoktur. Sondaj akışkanlarının birleşimleri, sondaj yapılacak bölgenin ihtiyaçlarına bağlıdır. Bunlar farklı bölgelerde önemli ölçüde farklılık gösterir ve hatta farklı yapıdaki formasyonda sondaj işlemi sırasında bile sondaj akışkanının birleşimi kökten değişebilir. Temel olarak içeriğindeki fazın türü ve kimyasal özelliklerine göre; hava bazlı, yağ bazlı ve su bazlı akışkanlar olmak üzere 3 şekilde sınıflandırılabilir.

Hava Bazlı Akışkanlar

Hava bazlı sondaj akışkanları su geçirgenliği çok az olan veya hiç olmayan oluşumlarda, hava olarak kuru hava, sis veya köpüğün kullanıldığı sondaj akışkanlarıdır [31]. Bu akışkanlar tamamı hava olabileceği gibi dış fazı su, iç fazı hava olan köpüklü yapıları da olabilir [32]. Sondaj işlemlerinde kullanılan hava bazlı akışkanların formasyonlara daha az zarar verme, yüksek delme ve ilerleme hızı gibi avantajları vardır. Bunun yanında hava bazlı bu akışkanlarda hava basıncı yüksek olduğundan sondaj işleminde yüksek donanım kapasitesine sahip olunması gerekmektedir. Ayrıca bu akışkanlar hava/doğalgazdan oluştuğunda, donanım yangın ve korozyonlarına sebep olur [33] ve yaklaşık 10 000 ft'in

altındaki kuyularda tavsiye edilmez [34].

Yağ Bazlı Akışkanlar

Suyun gözenek boşluklarına girmesini ve oluşum hasarına neden olmasını engellemek için geliştirilen yağ, tuzlu su ve katı fazdan oluşan akışkanlardır [31]. Şeyl inhibisyonu, tork ve sürtünme sorunlarının azaltılması, termal stabilite ve kimyasal kirlenmeye karşı direnç göstermesi gibi avantajları var iken bunun yanında yüksek basınç maliyeti, yavaş penetrasyon oranları, kirlilik kontrolü, bertaraf etme, vuruş tespit ve formasyon değerlendirilmesi konularında dezavantajlara sahiptir [31]. Yağ bazlı akışkanlar su bazlı akışkanlara göre bazı işlemlerden sonra tekrar kullanılabilme özelliği olmasına rağmen çevre sorunları yaşatmasından dolayı sınırlandırılmış ve yasaklanmıştır [35].

Su Bazlı Akışkanlar

Su bazlı akışkanlar; yağ bazlılara göre daha ucuz, bakımı daha kolay ve bazı özel sistemlerde neredeyse şeyl önleyici olduklarından en çok tercih edilmekte [31] ayrıca kuyuların yaklaşık %80'inde kullanılmaktadır [35]. Su bazlı akışkanlarda formasyona girme ve kayanın mekanik özelliklerini değiştirme gibi bir dezavantajı olsa da oluşum hasarını ve deliğin kararsızlığını önlemek için inhibe edilmiş su bazlı sıvılar kullanılabilir [31]. Su bazlı akışkanlar disperse (inhibitiv) ve disperse olmayan (inhibitiv olmayan) iki grupta sınıflandırılır.

- İnhibitiv Akışkanlar: Bu tür akışkanlar; derin sondajlarda [35], çamur katılarının yerini değiştirmek için kullanılan kimyasal dağıtıcıya sahip [31], kuyu stabilite problemi olan ve çamur-formasyon arası tepkimelerin fazla olduğu [32] yerlerde kullanılan akışkanlardır. Kullanılan kimyasalların çoğu asidik olduğundan alkali ortam gerektirir. Tüm pH değeri yüksek olan su bazlı çamurlar katılara ve kontaminasyona en toleranslıdır [31]. Viskozite arttırıcı olarak kil kullanılırken disperserler sıvı kaybını kontrol etmek için kullanılır [31]. Bu akışkanlar kalsiyum bazlı ve deniz suyu olarak kendi içerisinde de ikiye ayrılır [31].
- İnhibitiv Olmayan Akışkanlar: Bu tür akışkanlar; genellikle derin olmayan sondajlarda veya kuyunun üst bölgelerinde [35], kimyasal dağıtıcı olmayan [31], dış fazı tatlı su olan kimyasal olarak aktifliği olmayan ve stabilite problemi

içermeyen [32] yerlerde kullanılan akışkanlardır. Yüksek pH gerektirmez, viskozitesinin büyük kısmı polimerler aracılığı ile korunur ve kontaminasyona daha az toleranslıdır [31].

2.3. Sondaj Akışkanlarının Görevleri

Sondaj işleminin başarılı olması için sondaj akışkanlarının görevlerini iyi bir şekilde yerine getirmesi gerekmektedir. Sondaj akışkanlarının görevleri aşağıda açıklanmıştır.

Sondaj Ekipmanlarını Soğutma, Yağlama, Destekleme

Sondaj işlemi matkap, döndürme ve hidrolik enerji üzerinde ağırlık şeklinde mekanik enerji gerektirir. Enerjiden dolayı ısı yayılır ve sondaj işlemi yapabilmek için ısı giderilmesi gerekmektedir. Çamur kırıntıların taşınmasına ve ısının önlenmesine yardımcı olur [36]. Sondaj işlemi sırasında matkap ucu aşırı ısınmadan kaynaklı zarar görebilir ve sürtünme katsayısı düşünülerek yağlama özelliği olan sondaj çamuru seçimi yapılır [37]. Sondaj işleminde kuyu dibindeki yüksek sıcaklıkla karşılaştığında sondaj çamurunun görevini yerine getirebilmesi için ısıya dayanıklı olmalıdır [38]. Ayrıca sondaj akışkanları kaldırma kuvveti ile matkap dizini ve mahfazayı destekler [37].

Formasyon Basınç Kontrolü

Sondaj işleminde formasyon ve hidrostatik basınçlar sondaj operasyonlarında hasara, kuyu çökmelerine ve patlamalara engel olacak şekilde dengelenmelidir. Formasyon basıncının yüksek olduğu durumlarda çamur yoğunluğu artırılmalı ancak bu artış formasyon çökmesine sebebiyet vermemeli, sondaj akışkanının oyuk ve çatlaklardan kaçmasına engel olarak hidrostatik basıncını düşürmemeli aynı zamanda formasyondan kuyuya akışı engellemelidir. Öte yandan formasyon kaynaklı akışkanlar yüksek basınç altında kuyuda patlamalara neden olabilmektedir. Bu nedenle formasyon basıncı ile çamur basıncı kuyu stabilitesi için dengeli olmalıdır. Kuyu içinde formasyon basıncı ile hidrostatik basıncın dengeli olması “balanced” tabiriyle adlandırılır. Eğer hidrostatik basınç formasyon basıncına göre düşük ise kuyuda aşağı yönlü bir dengesizlik durumu vardır ve “underbalanced” tabiriyle adlandırılır. Hidrostatik basınç formasyon basıncına göre yüksek olduğunda kuyuda yukarı yönlü dengesizlik durumu vardır ve “overbalanced” olarak

adlandırılır [39].

Kırıntıları Kuyudan Taşıma, Askıya Alma ve Bırakma

Matkap tarafından üretilen kırıntılar yüzeye taşınmalıdır. Sondaj çamuru kuyu dibinden yüzeye doğru kırıntıları taşır. Taşıma kapasitesi çamurun dairesel hızına, plastik viskozitesine, kopma noktasına bağlıyken aynı zamanda oluşmuş kırıntıların kayma hızına da bağlıdır. Sondaj operasyonu durduğunda çamur, matkap kırıntılarını askıya almalıdır [36]. Askıya alınan çamur içindeki matkap kesikleri, birinci sirkülasyondaki çamurla yüzeye çıkarılmalıdır. Yeniden dolaşırsa, kesimler daha küçük parçalara ayrılır ve çıkarılması daha zor olur [37].

Kuyu Stabilitésinin Sağlanması

İyi çamur keki kuyuyu stabilize eder. Çamur ve oluşum arasındaki fark basıncı kuyuyu sabit tutar ve kuyunun sabit kalmasına yardımcı olur [36]. Filtrasyon kayıplarını kontrol eder [40].

Korozyona Karşı Koruma

Kuyu içinde sondaj sıvısı ile sürekli temasta olan sondaj dizisi düşük pH ve çözünen gazlardan dolayı korozyona maruz kalabilir. Doğru miktarlarda kimyasal inhibitörleri kullanılarak korozyonu önleme imkânı vardır [37].

Kuyu Loglarının Değerlendirilmesinde ve Yorumlanmasında Yardım

Loglama sırasında kuyuya doldurulan çamur, logların formasyonlar ilgili bazı özelliklerini belirlemede yardımcı olur. Loglar hidrokarbon belirleme, gözeneklilik ve formasyon basıncını belirlemek için kullanılır [36]. Çamur kesme aktarımını iyileştirmede ve derinlik belirlemede de katkı sağlar [37].

Çimentolama ve Tamamlamayı Kolaylaştırma

Çimentolama, kuyu tamamlama için önemlidir. Gövde tamamlama sırasında çamur sıvı

halde kalarak basınç dalgalanmalarını en aza indirmelidir. Çimentoda kullanılan suyun sıcaklığı kış koşullarında 70 derece seçilir. Çamur ince, kaygan filtre pastasına sahip olmalıdır, pasta minimum katkı maddesine sahip olmalı, minimum kesikler ve oyuklar ile havzanın altına inmesini engelleyecek yapıda olmalı ve kuyu kirliliğini temizleyene kadar dolaşabilmelidir [37].

Çevre Üzerinde Minimum Etki

Sondaj akışkanlarının farklı derecelerde toksik özellik göstermeleri nedeniyle çevre dostu haline getirip imha edilmesi zor ve pahalı bir işlemdir. Su bazlı sondaj sıvıları barit, bentonit ve sudan oluşan daha az toksiktirler. Bu durum spesifik kimyasallar ile yönetilebilir düzeydedir [37].

2.4. Sondaj Akışkanlarının Reolojik Özellikleri

Reoloji bilimi, tüm madde cisimlerinin deformasyonu ile ilgilidir ancak borulardaki ve diğer kanallardaki süspansiyonların akış davranışı konusundaki en büyük gelişimini göstermiştir [41]. Sondaj sıvısının akış özellikleri sondaj işleminin başarısında hayati bir rol oynar. Bu özellikler öncelikle matkap kesimlerinin çıkarılmasından sorumludur, ancak aynı zamanda delme ilerlemesini de etkiler. Yetersiz performans, deliği köprülemek, deliğin tabanını matkap kesimleriyle doldurmak, düşük penetrasyon oranı, delik genişlemesi, sıkışmış boru, dolaşım kaybı ve hatta bir patlama gibi ciddi sorunlara yol açabilir [42].

Reoloji, stres altında deformasyon, akış ve daha çok viskozite ile ilgilenir. Viskozite, bir akışkanın akmaya karşı gösterdiği direncin bir ölçüsüdür: viskozite, sıvının hareket hızını belirler [43].

$$\mu = \frac{\tau}{\gamma} \quad (2.1)$$

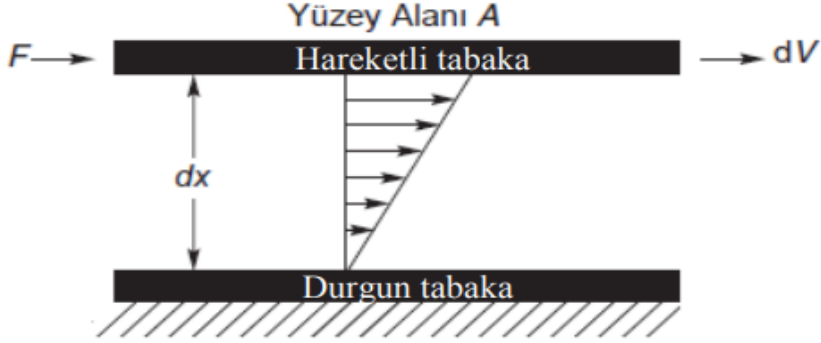
τ : Kayma Gerilmesi (N/m²)

γ : Kayma Hızı (1/s)

μ : Viskozite (poise)

Kayma gerilimi; iki tabaka arası sıvı olduğunu düşünersek bu tabakalardan birine bir

kuvvet uygulandığında tabakada bir kayma meydana gelir ve bu kuvvete karşı yönde sürtünme kuvveti oluşur, oluşan bu karşı kuvvete denir [35].



Resim 2.1. Akış modeli [35]

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (2.2)$$

τ : Kayma Gerilmesi (N/m^2)

F: Kuvvet (N)

A: Alan (m^2)

Kayma hızı; iki tabaka aralarındaki hız farkının tabakalar arasındaki mesafeye bölünmesi ile elde edilen değerdir [35].

$$\gamma = \frac{dV}{dx} \quad (2.3)$$

γ : Kayma Hızı (1/s)

dV: Hız (m/s)

dx: Plakalar Arası Mesafe (m)

Görünür Viskozite (AV): Görünür viskozite, bir sıvıya uygulanan kayma geriliminin kayma hızına bölünmesidir. Bir Newton sıvısı için, görünen viskozite sabittir ve sıvının Newton viskozitesine eşittir, ancak Newton olmayan sıvılar için görünen viskozite, kayma hızına bağlıdır [44].

Plastik Viskozite (PV): Plastik viskozite, akışkanda kayma gerilmesinin başlamasının ardından mekanik sürtünmeden doğan viskozitedir [21]. Kuyularda, katı maddeler, sıvılar ve kayma gerilimi altındaki sıvının deformasyonu nedeniyle sondaj çamuru içindeki mekanik sürtünmeden kaynaklanır.

Akma Noktası (Kopma Noktası) (Yield Point) : Sıvının başlangıç akışına veya sıvıyı hareket ettirmek için gereken strese direncidir. Sondaj sıvısındaki koloidal parçacıklar arasındaki çekici kuvvet olduğu söylenebilir. Sondaj çamurunun kesikleri yüzeye taşıma kabiliyetini gösterir. Ayrıca, sürtünme basıncı kaybı akma noktası (YP) ile doğrudan ilişkilidir. Daha yüksek akma noktası (YP), daha büyük sürtünme basıncı kaybına neden olacaktır [41].

Jel Kuvveti: Akışkan hareketsiz kaldığı zaman çekici güçlerin oluşturduğu kuvvete denir [21].

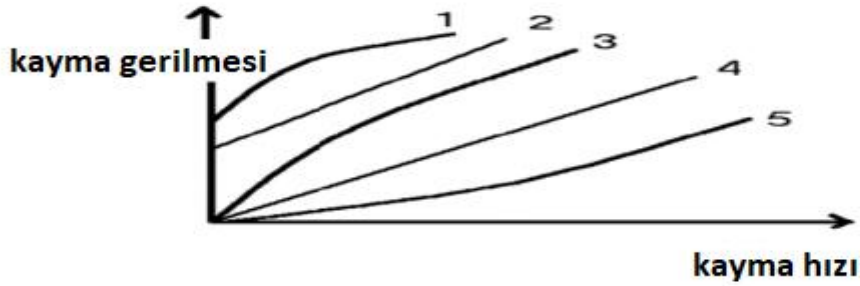
Akış tiplerine göre akışkanlar Newtoniyen ve Newtoniyen olmayan olarak 2 şekilde gruplandırılır.

Newtoniyen akışkanlar: Kayma gerilimi direk kayma hızıyla orantılıdır. Bu akışkanlara su ve ince motor yağları örnek verilebilir [45]. Şekil 2.1’de görüldüğü gibi kayma hızı viskozite ilişkisi değişmez ve yataydır. Araştırmacıların yaptığı sabit sıcaklık ve basınç deneylerinde Newtoniyen akışkanların kayma viskozitesi kayma hızına göre değişmez ve viskozite, kayma süresine göre sabittir ve sıvıdaki gerilmeler durduğunda hemen sıfıra düşer [46]. Sondaj akışkanları kayma gerilimi ve kayma hızı oranları çok farklılık gösterdiğinden Newtoniyen akışkanlar değildir [47].



Şekil 2.1. Newtoniyen akışkanların akış eğrileri [46]

Newtoniyen olmayan akışkanlar: Uygulanan mekanik gerilmedeki değişiklik veya gerilmenin uygulandığı zamanla viskozitelerini değiştiren sıvılardır. Kayma gerilmesi ve kayma hızına karşı doğrusal olmayan bir grafiğe sahiptirler. Newtoniyen olmayan çok sayıda akışkan vardır. Bunlardan bazıları Şekil 2.2’de de görülen viskoplastik, pseudoplastik, dilatant ve tiksotropiktir akışkanlardır [43].



Şekil 2.2. 1-Viskoplastik, 2-Bingham, 3-Pseudoplastik, 4-Newtoniyen, 5-Dilatant akışkanların akış eğrileri [46]

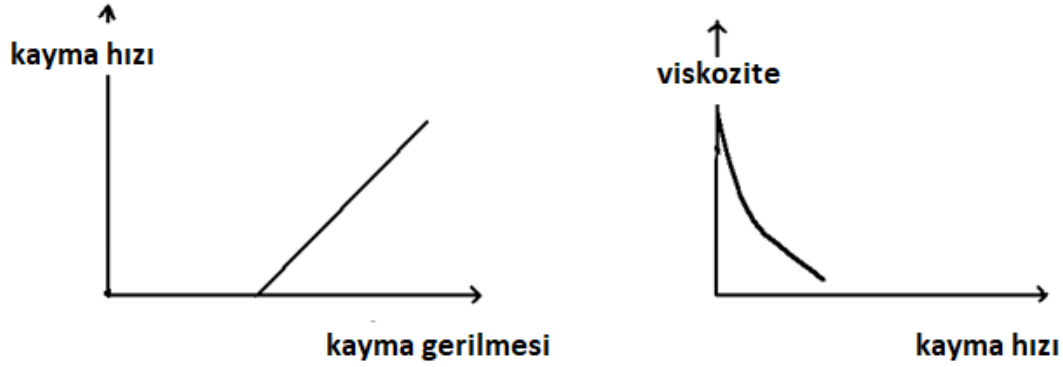
Pseudoplastik akışkanlarda, kayma hızı arttığı zaman viskozite sınır değerine ulaşmaya kadar azalır. Bu davranış kayma oranının artmasından kaynaklanır ve akışkanda asılı kalan elementler akımın yönünü izler. Belirli bir kayma hızında kütlelerin parçalanmasına yol açarak sıvı yapıların deformasyonu gerçekleşir ve bu durum viskozitede bir sınıra neden olur. Bu akışkanlar akıllı olmayan malzemeler olduğundan bir kuvvet uygulanması ile yapısı değiştirildiğinde orijinal yapısını geri kazanamazlar [43].



Şekil 2.3. Pseudoplastik akışkanların akış eğrileri [46]

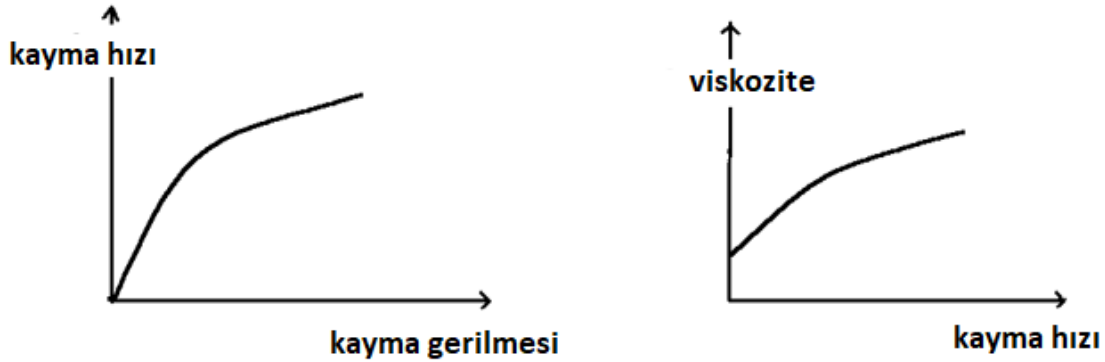
Viskoplastik akışkanlar, akma geriliminin üzerine pseudoplastik akışkanlar gibi davranırlar. Akmanın başlaması için kayma gerilmesine ihtiyaç duyarlar. Bunlardan biri

olan Bingham plastiği, yüksek viskoziteden düşük viskoziteye geçmek için kayma gerilmesinin minimum akma gerilim değerini aşmasını gerektirir. Bu değişiklikten sonra, kesme gerilimi ile kesme hızı arasındaki doğrusal bir ilişki geçerli olur [43].



Şekil 2.4. Bingham akışkanlarının akış eğrileri [46]

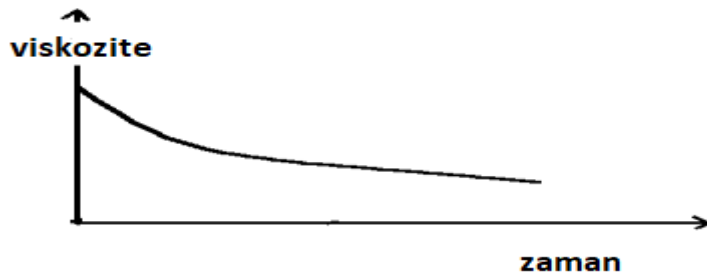
Dilatant akışkanlar, pseudoplastik akışkanın tersi gibi davranır, kayma hızının artmasıyla viskozite artar. Pseudoplastik akışkanlar gibi gerilim süresinden etkilenmez. Bu nedenle bir kez yapı bozulduğunda orijinal yapısına geri dönmezler [43].



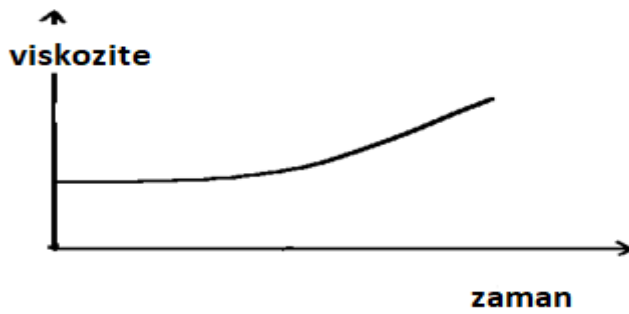
Şekil 2.5. Dilatant akışkanlarının akış eğrileri [46]

Tiksotropik akışkanlar, genellikle durduklarında moleküller arası kuvvetler sistemi oluşturan ve sıvıyı bir katıya dönüştüren, böylece viskoziteyi arttıran dispersiyonlardır. Bu kuvvetlerin üstesinden gelmek ve akışkanı sıvı hale dönüştürmek için bir dış enerjiye ihtiyaç vardır. Bir akma gerilimi gereklidir. Yapılar kırıldığında sabit bir kayma hızı için mümkün olan en düşük değerini alana kadar karıştırıldığında viskozite azaltılır. Şekil 2.6'da görüldüğü gibi tiksotropik akışkanların viskozitesi pseudoplastik ve dilatant

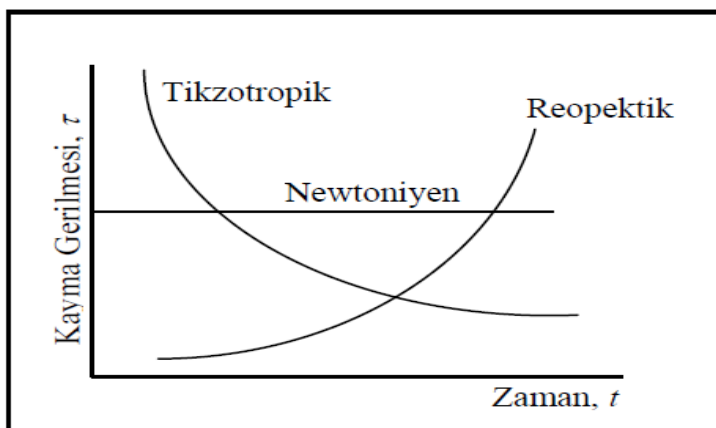
akışkanların aksine zamana bağlıdır. Karıştırma bittikten ve sıvı durduktan sonra yapı tekrar eski haline döner [43]. Şekil 2.7’de görüldüğü gibi tiksotropik akışkanlar gibi reopektik akışkanların da viskozitesi zamana bağlıdır. Reopektik akışkanlarda ise viskozite, kayma hızının yeni bir sabit değere yükselmesi ile zamanla artar [46].



Şekil 2.6. Tiksotropik akışkanların akış eğrileri [46]



Şekil 2.7. Reopektik akışkanların akış eğrileri [46]



Şekil 2.8. Newtoniyen olmayan akışkanlarda sabit kayma gerilmesi hızı altında kayma gerilmesinin değişimi [32]

2.5. Sondaj Akışkanı Testleri

Yoğunluk (Ağırlık) Testi

Yoğunluk veya çamurun ağırlığı birim hacim başına düşen kütle olarak adlandırılır. Çamur terazisi ile ölçülür ve sonuçları lb/gal, lb/ft³, özlük ağırlık (g/ml) veya psi/1000ft olacak şekilde kaydedilir. Yoğunluk, çamur kolonunun hidrostatik basıncını belirlemek için kullanılır ve ayrıca psi/1000 ft gibi bir gradyan olarak ölçülebilir ve hidrostatik basıncın herhangi bir derinlikte kolay hesaplanmasını sağlar [48].

Sondaj çamurları, patlamaların engellenmesi ve kuyu stabilitesinin sağlanmasında ilk olarak en temel özellik olan yoğunluk özelliği ile ilgilenir [47]. Yoğunluk kuyu stabilitesini arttırmak için yeterli olmalıdır. Formasyonda oluşabilecek akışkanlarını engellemek için çamurun hidrostatik basıncı formasyon gözeneklerindeki basınçtan büyük olmalıdır. Bunun sağlanması için çamur yoğunluğunun artırılması yani optimum değerde olması gerekmektedir [3].

Çamurun yoğunluğunu artıran ve en çok tercih edilen kimyasal malzeme barit iken, çamurun yoğunluğunu azaltmada ise petrol ve hava gibi incelticiler kullanılır [49]. Çamur yoğunluğunu ölçmek için kullanılan aparat Resim 2.2'de de görüldüğü gibi çamur terazisidir.



Resim 2.2. Çamur terazisi [49]

Çamur terazisinde ölçüm bu çalışmada da yapıldığı gibi aşağıdaki sıraya göre yapılır [50]:

1. Örneği dökmeden önce çamur terazi kabı temizlenir ve kurulanır.
2. Taşıma çantası düz bir yüzeye yerleştirilir.
3. Örnek terazi kabına dökülür.
4. Kapağı kapatılır ve sıkışan havayı boşaltmak için bir miktar havalandırma deliğinden örnek dışarı atılmalıdır.
5. Terazi kabının dışına atılan örnek silinir.
6. Çamur terazisinin taşıma çantasına yerleştirilir ve ağırlık kolu ile dengelenir.
7. Yoğunluk kaydedilir.

Çamur terazisi aynı zamanda tatlı su ile kalibre edilir. Kalibre sonucu 70 °F da ki suyun ağırlığı olan 8,33 lb/gal veya 62,3lb/ft³ değerini vermelidir [49].

Viskozite Testi

Viskozite, akışkanın akmaya karşı gösterdiği direncidir. Bu iç direnç sondaj akışkanının moleküler arası çekim kuvveti, asılı kalan süspansiyon parçacıkları ve bu çekimlerin etkisinin uyumudur. İç direnç ne kadar büyük olursa viskozite o kadar büyük olur. Sondaj akışkanları kayma hızları sabit olmadığından Newtoniyen akışkanlar değildir. Newtoniyen olmayan sondaj akışkanları, yüksek kayma hızında daha düşük viskoziteye sahip iken düşük kayma hızında ise yüksek viskoziteye sahip olan kayma inceltme özelliğine sahiptirler [48].

Sondaj akışkanlarının viskozitesi 2 şekilde ölçülür. Bunlardan birincisi Marsh hunisidir. Marsh hunisi viskozitedeki görelî değişiklikleri ölçer. Bir diğeri ise ve bu çalışmada da kullanılan döner viskozimetredir. Döner viskozimetre Resim 2.3’de de görüldüğü gibi reoloji modeli katsayılarını belirlemek için farklı kayma hızlarındaki viskoziteyi ölçmek için kullanılır [48].



Resim 2.3. FANN model 8 hızlı döner viskozimetre [35]

Plastik viskozite, akma noktası, görünür viskozite ve jel mukavemeti sondaj akışkanlarının reolojisi olarak bilinir [51]. Döner viskozimetre kullanılarak Bingham plastik reolojik modeli katsayıları olan plastik viskozite (PV) ve kopma noktası (YP) hesaplanmaktadır [48]. Yapılan bu çalışmada 600 rpm ve 300 rpm değerlerinin okuma sonuçları için Resim 2.3’de gösterilen FANN model 8 hızlı viskozimetre kullanılarak belirlenmiştir. 600 rpm ve 300 rpm’de belirlenen değerler aşağıdaki eşitlikler kullanılarak AV, PV ve YP hesaplanmasına yardımcı olmuştur [35].

$$\text{Görünür Viskozite (AV): (600 rpm okuması) / 2 (cp)} \quad (2.4)$$

$$\text{Plastik Viskozite (PV): (600 rpm okuması) – (300 rpm okuması) (cp)} \quad (2.5)$$

$$\text{Akma Noktası (YP): (300 rpm okuması) – PV} \quad (2.6)$$

Sondaj akışkanının viskozite ölçümü aşağıdaki sıralamaya göre yapılmıştır [51]:

1. 16 saat karıştırılan sondaj çamuru viskozimetre kabının çizgisine kadar doldurulur.
2. Viskozimetrenin rotar silindir üzerinde yer alan çizgi seviyesine kadar batırılır.
3. Viskozimetre 600 rpm’e getirilir, motor dönmeye başlar ve ibrenin sabitlenmesi durumunda 600 rpm’deki değeri okunur ardından kaydedilir.
4. Rotar çalışırken viskozimetre 300 rpm’e getirilir ve motor dönmeye devam ederken ibrenin sabitlendiği durumda 300 rpm’deki değeri okunur ardından kaydedilir.

Yukarıdaki sıralamaya göre 600 rpm ve 300 rpm’de okunan değerler üzerinden görünür viskozite, plastik viskozite ve akma noktası hesaplanır. Bu çalışmada da viskozite parametrelerinin belirlenmesi FANN model 8 hızlı döner viskozimetre kullanılarak aynı sıraya göre ölçüm yapılmış ve ölçümler üzerinden aynı hesaplama yöntemleri kullanılarak viskozite değerleri hesaplanmıştır.

Jel Mukavemeti Testi

Jel mukavemeti statik sürelerden sonra akışı başlatmak için gereken kayma gerilimini ifade eder. Zaman içerisinde parçacıklar arası çekim kuvveti nedeniyle oluşan jelleşme

derecesinin ölçüsüdür. Yeterli jel mukavemeti statik koşullar ve bağlantılar sırasında matkap kesiklerini ve ağırlık yapıcı malzemeleri askıya almaktadır. Jel kuvvetleri muhafaza borularının indirilmesi, kıvrık borulama ve bağlantıların yapıldığı zaman temizleme ve taşma basınçlarını doğrudan etkiler. Ayrıca sürüklenen hava ya da gazın serbest bırakılması ve kırık sirkülasyonu için gerekli basıncı etkiler [48].

Jel mukavemeti viskozite ölçümünde kullanılan döner viskozimetre ile ölçülmektedir. Jel mukavemeti deneyi aşağıdaki adımları izler [51]:

1. Viskozite kabında yer alan çamur 600 rpm'de karıştırılır ve karışım sonucunda cihaz durdurulur. 10 saniye bekledikten sonra 3 rpm değerine getirilerek kadranın vardığı ilk değer okunur. Bu değer 10 saniyedeki jel mukavemetini verir.
2. Çamur tekrar 600 rpm'de karıştırılır ve durdurulur. Cihaz durduktan sonra 10 dakika beklenir. Bekleyen çamur 10 dakika sonra 3 rpm hızına getirilir ve kadranın vardığı ilk değer okunur. Bu değer 10 dakikadaki jel mukavemetini verir.

Yukarıdaki sıralamaya göre belirlenen jel mukavemet değerleri bu çalışmada da aynı sıralama ile FANN model 8 hızlı viskozimetre cihazı kullanılarak belirlenmiştir.

Filtrasyon Testi

Filtrasyon testi, geçirgen formasyona filtre edilen sıvının ve formasyon üzerine bırakılan kekin ölçüsüdür. Çamurdaki katıların ve çamur durumu filtrasyonu etkiler. Filtrasyon testi için filtre kağıdı kullanılarak 30 dakikalık süre sonunda filtrat hacmini ölçen iki standart test yöntemi vardır. API standart testinin biri düşük sıcaklık ve düşük basınçta sıvı kaybının ölçümüdür diğeri ise yüksek sıcaklık ve yüksek basınçta sıvı kaybının ölçümüdür. Temel filtrasyon testi ortam sıcaklığında 100 psi basınçta yapılan düşük sıcaklık ve düşük basınçta gerçekleşen API standart testidir. Daha gelişmiş test olan taban deliği sıcaklığına yakın ve 500 psi basınçta gerçekleşen HPHT filtrasyon testidir. HPHT testi 275 °F ve 325 °F arasındaki sıcaklıklar genellikle standart olarak ayarlanır. Mümkünse kuyu deliğinde mevcut olan taban deliği sıcaklıklarında ve diferansiyel basınçlarında yapılmalıdır [48].



Resim 2.4. API filtre press [49]

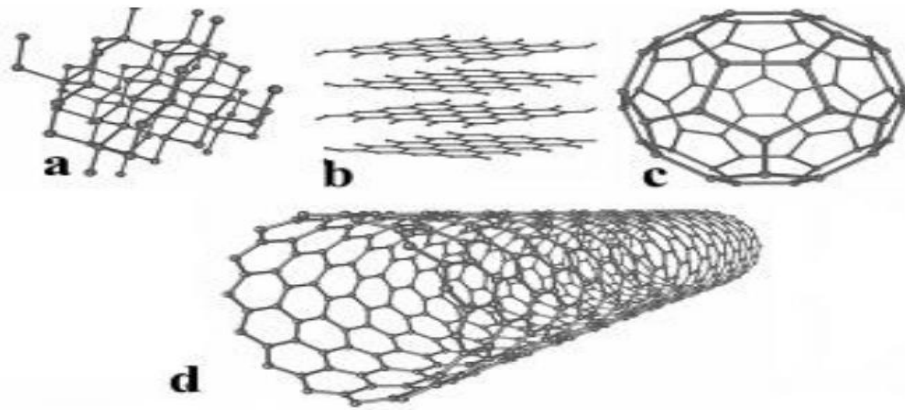
Filtrasyon testi 100 psi ve ortam sıcaklığında aşağıdaki sıralamaya göre yapılır [52]:

1. Filtre testinde kullanılan numune kabına filtre kağıdı ve gerekli aparatlar yerleştirilir.
2. Filtre test cihazında bulunan numune kabına üst taraftan 1/3 boşluk kalacak şekilde çamur doldurulur ve kapağı kapatılır.
3. Filtre olan sıvının ölçülebilmesi için ölçüm kabı olan mezür örnek kabının altına yerleştirilir.
4. 100 ± 5 psi basınçta azot gazı tüpünün regülatör vanası açılır.
5. 30 dakika basınca tabi tutulduktan sonra tahliye vanası ile basınç tahliye edilir.
6. Sıvı kaybı değeri mezür yardımıyla ölçülür.
7. Numune kabındaki çamur boşaltılır ve filtre kağıdı hasar görmeden alınır.
8. Filtre kağıdı kurumaya bırakılır ve kuruduktan sonra kumpas yardımı ile kek kalınlığı olarak adlandırılan tabaka ölçülür.

Bu çalışmada da yukarıdaki sıralamaya göre Resim 2.4'de gösterilen API filtrasyon press cihazı kullanılarak numunelerin sıvı kaybı ve kek kalınlıkları ölçülmüştür.

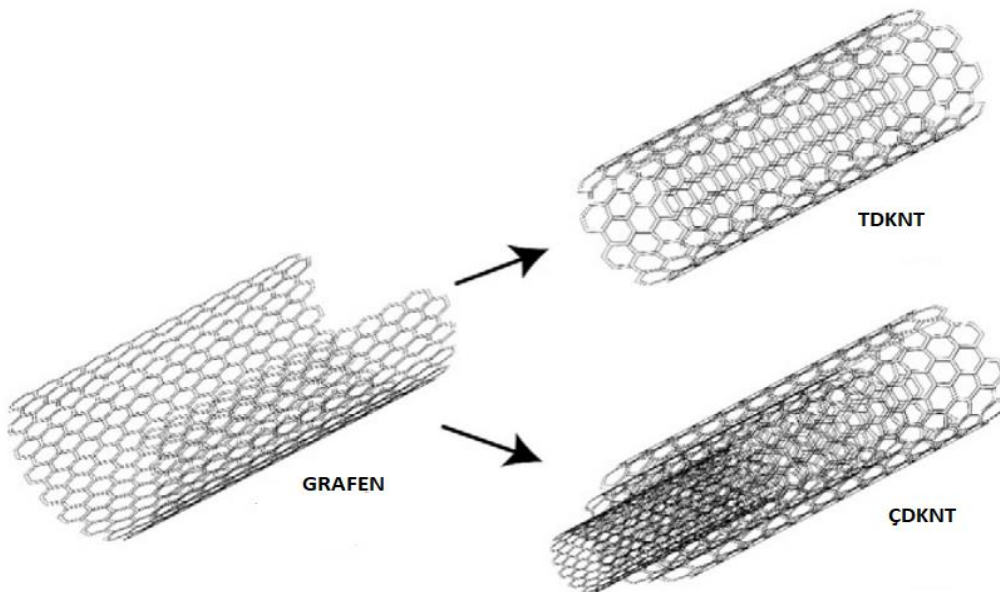
2.6. Karbon Nanotüp

Karbon nanotüpler (CNT'ler), silindirik bir nano yapıya sahip 132 000 000:1'e kadar uzunluk/ çap oranında olan, karbon allotroplarıdır [53]. Şekil 2.9'da karbon atomunun allotropları verilmektedir.



Şekil 2.9. a) Elmas, b) Grafit c) Fulleren d) Karbon nanotüp [54]

Karbon nanotüpler, silindirler veya tüpler oluşturmak üzere yuvarlanan grafen levhalardır. Tek katmanlı karbon nanotüp (TKKNT), bir tüp halinde rulo olmuş tek bir levha gibi görünürken, çok katmanlı karbon nanotüp (ÇKKNT) ise, birbiri içinde bir dizi tüp halinde rulo olmuş birden fazla levha gibi görünür. Tek katmanlı karbon nanotüp 1-3 nm çapında ve bir mikrometre veya daha uzundur [55]. ÇKKNT'lerin çapı genellikle 10 ile 40 nm arasında değişen, tek katmanlı gibi aynı uzunluğa sahiptir [56]. Şekil 2.10'da grafen levhanın rulo olması ile oluşan TKKNT ve ÇKKNT yer almaktadır. Karbon nanotüpler tek boyutlu bir materyal gibi davranmaktadır [57]. Gerilme mukavemeti ve Young modül değerleri çelikten on kat daha büyük ve yoğunluk beş kat daha küçüktür [58-59].



Şekil 2.10. Grafen levhasının rulo olmasıyla oluşan ÇKKNT ve TKKNT [60]

Karbon nanotüpler olağanüstü özellikleri sayesinde çok fazla dikkat çekmektedir. Karbon nanotüp nano akışkanları yüksek ısı iletkenliğine, yüksek elektrik iletkenliğine [61-62] ve verimli mekanik özelliklere [63] sahip oldukları kanıtlanmıştır. Karbon nanotüpler çok hafif olmasının yanı sıra yüksek elastik modülleri nedeniyle mukavemetli fiberlerdir [64]. Karbon nanotüpler çeşitli şekillerde sentezlenebildiği gibi fazla karbon nanotüp üretimi için farklı gaz koşullarında veya vakum altında olan; ark-deşarj, lazer buharlaştırma ve kimyasal buhar biriktirme (CVD) gibi yöntemler tercih edilen yöntemlerdir [65].

2.6.1. Karbon nanotüpün sınıflandırılması

Karbon nanotüpler kristal yapılarına göre ve katman tiplerine göre ikiye ayrılırlar. Bunlar tek katmanlı karbon nanotüp ve çok katmanlı karbon nanotüplerdir.

Tek katmanlı karbon nanotüp, Armchair, Chiral, and Zigzag şekli 3 farklı tasarımdan oluşmaktadır. Tasarımdaki farklılık grafenin bir silindir olması için sarılmasına bağlıdır. Tek katmanlı bir nanotüp yapısı, Chiral vektör adı verilen bir çift endeksle (n, m) temsil edilir. Yapısal tasarım nanotüpün elektriksel özelliklerini doğrudan etkilediğinden $n-m$, 3'ün katı olduğu durumda nanotüp metalik yani yüksek iletkenlik olarak tanımlanırken, aksi takdirde nanotüp bir yarı iletkendir. Armchair tasarımı her zaman metalikken, diğer tasarımlar nanotüpü yarı iletken yapabilir [66].

Çok katmanlı karbon nanotüp, Rus Doll modelinde ve Parşömen modeli şeklinde tanımlanmaktadır. Parşömen modelinde tek bir grafen tabaka kendi etrafında birkaç kez yuvarlanır ve yukarı doğru kıvrılmış bir kağıda benzer yapı oluştururken, Rus Doll modelinde iç içe geçmiş halde içindeki nanotüp çapı dışındakine göre daha küçük olan nanotüplerden oluşmaktadır. Çok katmanlı karbon nanotüpler, tek katmanlı nanotüplere benzer özellikler göstermesine rağmen çok katmanlı nanotüplerin dış katmanları sayesinde içerisinde bulunan karbon nanotüplerini kimyasal etkileşimlerden koruyabilir [66].

2.6.2. Karbon nanotüpün özellikleri

Karbon Nanotüplerin Mekanik Özellikleri: Karbon nanotüpler, çok güçlü olan hafif kavisli sp^2 karbon-karbon bağlarına sahip sarılmış grafen tabakaları gibidir. Bu özellikler, düşük

yoğunluğu ile birleştiğinde, karbon nanotüplerin çok yüksek Young modülüne (grafitlere benzer) ve son derece yüksek kopma gücüne sahip olacağını göstermektedir. Bununla birlikte, karbon nanotüplerin birçok mekanik özelliğinin kiralitelerine ve boyutlarına çok duyarlı olduğu bulunmuştur. Grafen tabakalarından oluşan karbon nanotüplerin küçük çapı, mikron büyüklüğündeki grafit fiberlerle karşılaştırıldığında, mekanik özelliklerini olumlu etkiler [67]. Bu etki sonucunda, karbon nanotüpler grafit liflerde bulunmayan bir özellik olan yüksek esneklik ve mukavemet kazanırlar [68-69].

Karbon nanotüpler üzerinde aksenal gerginlik, sıkıştırma, burulma, bükülme, dış basınç veya büyük gerilmeler gibi denge bozucu yükler uygulandığında; karbon nanotüpler esneme, karasızlık ve kırılma davranışı gösterecektir. Teorik çalışmalar ve deneysel araştırmalar, büyük deformasyonlara maruz kalan karbon nanotüplerin geri dönüşümlü olarak farklı morfolojik kalıplara dönüştüğünü göstermektedir. Her şekil değişikliği, gerilim-gerinim eğrisindeki ani bir enerji ve garip salınımına karşılık gelir [67]. Karbon nanotüplerin bu özellikleri, yeni nesil yüksek performanslı kompozitlerin yolunu açmaktadır [70-73].

Karbon Nanotüplerin Elektriksel Özellikleri: Bir karbon nanotüpün yapısı nanotüpün ne kadar iletken olduğunu belirler. Bir karbon nanotüp içindeki atomların yapısı iletim elektronları ve atomlar arasındaki çarpışmaları en aza indirdiğinde, bir karbon nanotüp oldukça iletkenidir. Karbon atomları arasındaki güçlü bağlar karbon nanotüplerin bakırdan daha yüksek elektrik akımlarına dayanmasına da izin verir. Elektron taşınması sadece tüpün ekseni boyunca gerçekleşir. Tek katmanlı nanotüpler, yarı iletken cihazlarda ara bağlantı olarak kullanıldığında elektrik sinyallerini 10 GHz'e kadar hızlandırabilir. Nanotüplerin de dirençli bir sabiti vardır [66, 74].

Karbon Nanotüplerin Isıl Özellikleri: Karbon nanotüplerdeki atomik bağların gücü, yüksek sıcaklıklara dayanmalarını sağlar. Bu nedenle, karbon nanotüplerin çok iyi termal iletkenler olduğu gösterilmiştir. Karbon nanotüpler yaygın olarak kullanılan termal iletken olan bakır tellerle karşılaştırıldığında, karbon nanotüplerin termal iletkenliği (Watt/Kelvin*metre) 15 katından fazladır. Karbon nanotüplerin termal iletkenliği tüplerin sıcaklığına ve dış ortama bağlıdır [66, 74].

2.6.3. Karbon nanotüpün kullanım alanları

Karbon nanotüplerin elektriksel, mekaniksel, termal vb. özelliklerinden ötürü pek çok alanda uygulama potansiyelleri vardır. Bu alanlar, su geçirmez yırtılmaz kumaştan beton ve çelik benzeri uygulamalara [66], nanosensörlere, membranlara, biyolojik ve medikal uygulamalara, elektronik-optik-mekanik cihazlara, ısı bariyerlerine, hidrojen absorpsiyon ve enerji depolama vb. alanlarına kadar kullanılan endüstriyel alanda gelecek vaat eden malzemelerdir [75].

2.7. Sondaj Akışkanlarının Karakterizasyon Yöntemleri

2.7.1. X-Işını floresans spektrometresi (XRF)

X-Işını floresans (XRF) spektrometresi, bir numunenin kimyasal bileşimini belirlemek için kullanılan bir analitik tekniktir. Atom numarası 9 ile 92 arasındaki elementlerin nicel analizini yaparken, atom numarası 9'un altındaki elementleri inceleme özelliği göstermez [76]. Jeolojik malzemeler olan kayaların, minerallerin, çökeltilerin ve akışkanların zararsız kimyasal analizlerinde ana ve eser elementlerin analizi için en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir.

X-Işını floresans analizi, atomların radyasyonla etkileşim sonucu gösterdikleri davranışların sonucudur. Malzemeler X ışını gibi yüksek enerjili, kısa dalga boylu radyasyonla uyarıldığında iyonlaşabilirler. Radyasyonun enerjisi atomdaki bir iç elektronu bulunduğu yörüngeden çıkarmak için yeterli olduğunda atom kararsız hale gelir ve kararsız olan atomda bir dış elektron yörüngedeki boşlukları doldurmak için eksik iç elektronun yerini alır. Bunun sonucunda, iç elektron dışa kıyasla azalan bağlanma enerjisi nedeniyle enerji açığa çıkarır. Yayılan radyasyon, birincil olay X-ışınlarından daha düşük enerjiye sahiptir ve floresans radyasyon olarak adlandırılır. Yayılan fotonun enerjisi, belirli bir elementteki spesifik elektron orbitalleri arasındaki bir geçişin karakteristiği olduğundan, ortaya çıkan floresans X-ışınları, numunede bulunan elementlerin miktarını tespit etmek için kullanılabilir [77].

X-Işını floresansı; kaya ve çökeltilerdeki ana elementlerin (Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P) oksitleri yüzde (%) ağırlık cinsinden analiz edilirken aynı zamanda eser elementler (> 1

ppm; Ba, Ce, Co, Cr, Cu, Ga, La, Nb, Ni, Rb, Sc, Sr, Rh, U, V, Y, Zr, Zn) ppm düzeyinde analiz edilir [77].

2.7.2. X-Işını fotoelektron spektroskopisi (XPS)

XPS, bir materyal içindeki elementlerin elementel kompozisyonu, ampirik formülü, kimyasal durumu ve elektronik durumu hakkında bilgi vermek için sık kullanılan bir yüzey bilimi tekniğidir. Bu teknikte ultra yüksek vakum (UHV) koşulları kullanılmaktadır. XPS analizinde XPS spektrumları, bir numunenin X-ışınları ile ışınlanması ve incelenen materyalin üst 1-10 nm'sinden yayılan elektronların kinetik enerjisinin ölçülmesi ile elde edilir. Kinetik enerji yüzeyinden yayılan elektronların analizi yüzey bölgesinde atomlarının elektronik durumları hakkında bilgi vermektedir. Yüzey atomları, XPS spektrumunda karakteristik piklere sahiptir. Bu piklerin enerjisi ve yoğunluğu, mevcut tüm yüzey elementlerinin (hidrojen hariç) tanımlanmasını ve nicelleştirilmesini sağlar [78].

XPS; inorganik bileşikler, metal alaşımlar, yarı iletkenler, polimerler, elementler, katalizörleri, cam, seramik boyaları, kağıt mürekkepleri, dişler, kemikler, tıbbi implantlar, biyo malzemeler, tutkallar, iyonla modifiye edilmiş çeşitli malzemelerin analizinde kullanılır.

2.7.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Taramalı elektron mikroskobu (SEM), katı numunelerin yüzeyinde çeşitli sinyaller oluşturmak için odaklanmış yüksek enerjili elektron ışınını kullanır. Hızlandırılmış elektronlar önemli miktarda kinetik enerji taşır. Hızlandırılmış elektronlar katı numunede yavaşlar elektron ve numune etkileşimleri tarafından üretilen çeşitli sinyaller olarak dağıtılır. Elektron ve numune etkileşiminden kaynaklanan sinyaller, dış morfolojiyi, kimyasal bileşimi ve numuneyi oluşturan malzemelerin kristal yapısını ve oryantasyonu dahil numune hakkında bilgi vermektedir. Çoğu uygulamada, veriler numunenin yüzeyinin seçilen bir alanı üzerinde toplanır ve bu özelliklerde uzamsal varyasyonları gösteren 2 boyutlu bir görüntü oluşturulur. SEM görüntüsü, hızlandırılmış elektron demetinin numune ile etkileşiminden ortaya çıkan ışımalar veya geri yansıyan elektronlar sayılarak oluşturulur [79].

2.7.4. Geçirimli elektron mikroskobu (TEM)

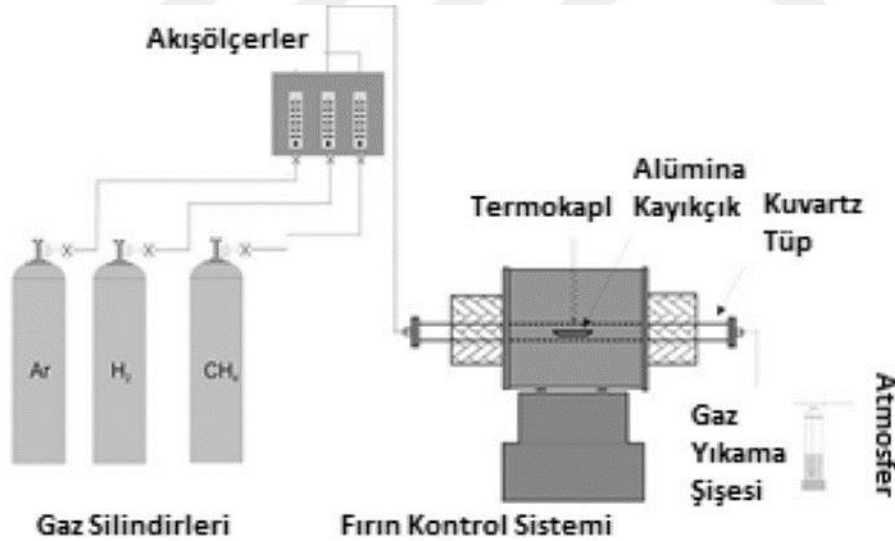
TEM, numune içinden yüksek enerjili elektronların geçirilmesi ile iç yapının incelenmesini ve özelliklerin bir atom ölçeğinde (birkaç nanometre aralığında) analiz edilmesini sağlar. TEM'de 60-350 keV aralığında yüksek elektron ışını kullanılarak numuneye gönderilir [80]. Numuneden geçen ışınlar ve numunene düzleminde kırınımına uğramış ışınlar numunenin altında toplanır ölçüm yapılır.



3. MATERYAL ve METOD

3.1. Çok Katmanlı Karbon Nanotüp (ÇKKNT) Üretimi

Çok katmanlı karbon nanotüp üretiminde en çok tercih edilen yöntem kimyasal buhar biriktirmedir. Yüksek sıcaklıkta (2000°C), metal katalizörün yerleştirildiği, borusal reaktörden geçen hidrokarbon buharının ısıl bozunması temelini esas alır. Kimyasal buhar biriktirme (CVD) reaktörü Resim 3.1’de gösterildiği gibi silisyum karbon (SiC) ısıtıcı elementli sıcak cidarlı fırın, kuvars tüp (20 mm çap) ve gaz çıkış ölçerlerden meydana gelen bir düzenek olup bu çalışmada kullanılmıştır. Çalışmadan $<50\text{ nm}$ boyutlarında Fe_3O_4 katalizör partikülleri, etanol/katalizör süspansiyonuna daldırılmıştır ve ultrason yardımıyla $<100>$ yönünde Silisyum altlık üzerinde dağıtılmıştır. Çalışmada karbon kaynağı için grafit (%99,5), reaksiyon öncesi ve sonrasında inert ortam sağlamak için yüksek miktarda argon (%99,999) kullanılmıştır [81].



Resim 3.1. Kimyasal buhar biriktirme reaktörü [82]

CVD yöntemi birkaç önemli adımdan oluşmaktadır. İlk adım olan metal nanopartiküllerin substrat (silisyum) üzerinde tutturulmasıdır. İkinci adım substrat H₂ veya NH₃ varlığında yaklaşık 30 dk ısıtılarak nanopartiküller indirgenmesi sağlanır. Son işlem buhar şeklinde grafit fırına beslenerek 2000°C sıcaklık ve 100 torr basınç koşullarında katalitik bozunma

ile metal nanopartiküller üzerinde karbon birikimi oluşur [83].

3.2. Al₂O₃ Nanopartiküllerin Üretimi

1,0 M Alüminyum oksit (Al₂O₃) 0,5 M NaOH içinde (1:1) (h/h) süspansiyonu hazırlanmıştır. Hazırlanan süspansiyon 75 °C'de kalsinasyon işlemi 30 dakika sürmüştür. Ardından süspansiyon 50 °C'de 3 saat karıştırılmıştır. Kalıntı filtre işlemi ve sonra distile su ile yıkama işlemine tabi tutulmuştur. Yaklaşık 24 saat kurutma yapıldıktan sonra Al₂O₃ nanopatikülleri üretilmiştir [84].

3.3. TiO₂ Nanopartiküllerin Üretimi

1,0 M Titanyum dioksitin (TiO₂) 0,5 M NaOH içinde (1:1) (h/h) süspansiyonu hazırlanmıştır. Hazırlanan süspansiyonda 100 °C'de kalsinasyon işlemi 15 dakika sürmüştür. Ardından süspansiyon 90 °C'de 3 saat karıştırılmıştır. Kalıntı vakum ortamında süzöldükten sonra distile su ile yıkanmıştır. Yaklaşık 24 saat kurutma yapıldıktan sonra TiO₂ nanopartikülleri elde edilmiştir [85].

3.4. ZnO Nanopartiküllerin Üretimi

1,0 M ZnSO₄ ve 1,0 M NaOH çözeltileri hazırlanmıştır ve (1:1) (h/h) oranında karıştırılmıştır. Çözelti 75 °C'ye ısıtılmıştır. Ardından çökme gerçekleşmiştir. Çökelti distile su ile 3 kez yıkanmıştır. 100 °C'de yaklaşık 24 saat kurutma yapıldıktan sonra ZnO nanopartikülleri elde edilmiştir [86].

3.5. Nanopartiküller ile Fonsiyonelleştirilmiş Çok Katmanlı Karbon Nanotüplerin Üretimi

Bu çalışmada Resim 3.1'de yer alan deney düzeneği aracılığıyla aynı yöntem kullanılarak Al₂O₃, TiO₂ ve ZnO nanopartikülleri ile ayrı ayrı olacak şekilde çok katmanlı karbon nanotüpler fonksiyonelleştirilmiştir. Mevcut yöntemde Al₂O₃NP/ÇKKNT, TiO₂NP/ÇKKNT ve ZnONP/ÇKKNT ayrı ayrı üretimi için çok katmanlı karbon nanotüp+nanopartikül maddeden (1:1 h/h) oranında oluşan dispersiyon karbon kaynağı şeklinde kullanılmıştır. Reaksiyon öncesi ve sonrasında da inert koşullun sağlanması için

yüksek saflıkta argon (%99,999) gazı kullanılmıştır [81]. Daha sonra çok katmanlı karbon nanotüp+nanopartikül maddeden (1:1 h/h) oluşan dispersiyon substrat (silisyum) üzerine tutturularak substrat H₂ veya NH₃ koşullarında yaklaşık 30 dakika ısıtılmıştır. Bunun sonucunda nanopartiküllerin çok katmanlı karbon nanotüp üzerine tutturulması gerçekleşmiştir. En sonunda buhar durumundaki dispersiyon fırına verilip, 2000 °C sıcaklık ve 100 torr basınç koşullarında ısıl bozunma ardından karbon nanotüp+nanopartikül birikimi gerçekleşmiştir [83].

3.6. Sondaj Çamurlarının Hazırlanması ve Analizi

Su bazlı sondaj çamur numuneleri için TSE ISO EN 13500 ve API standartlarına uygun şekilde 500 g deiyonize suya, 32,25 g bentonit eklenerek her bir numune 20 dakika karıştırılmıştır. Daha sonra yoğunluk ayarı için 14,25 g barit her numuneye eklenerek 10 dakika sürekli olarak yüksek hızlı mikser ile karıştırılmıştır. Ardından Çizelge 3.1’de verilen Al₂O₃NP/ÇKKNT, TiO₂NP/ÇKKNT ve ZnONP/ÇKKNT fonksiyonelleştirilmiş nanopartiküller 0,001; 0,005 ve 0,01 oranlarında (% k/h) ayrı ayrı sondaj çamurlarına eklenmiş ve fonksiyonelleştirilmiş nanopartikül içeren bütün numuneler homojenize olması için 10 dakika karıştırılmıştır. Karışım sonrası su bazlı sondaj çamurları 16 saat süresince oda sıcaklığında ve atmosferik basınçta bekletilerek yaşlandırmaya bırakılmıştır. Toplam spud çamur ile birlikte 30 adet çamur numunesi hazırlanmıştır. Hazırlanan su bazlı sondaj çamurlarının reolojik özelliklerini belirlemek için FANN 35 viskometre cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz yardımıyla görünür viskozite, plastik viskozite, kopma noktası ve jel mukavemeti belirlenmiştir. Filtrasyon kaybı ve çamur kek kalınlığı için Amerikan Petrol Enstitüsü (API) sıvı kaybı test ekipmanları kullanılarak, API standartlarına göre analizler gerçekleştirilmiştir [28-29].

Çizelge 3.1. Hazırlanan çamur bileşimleri

Katkı Maddeleri	Spud Çamur	Al ₂ O ₃ NP/ÇKKNT, TiO ₂ NP/ÇKKNT ve ZnONP/ÇKKNT (k/h %)		
		0,001 %	0,005%	0,01 %
Bentonit (g)	32,25	32,25	32,25	32,25
Deiyonize su (ml)	500	500	500	500
Barit (g)	14,25	14,25	14,25	14,25
Nanopartikül/ÇKKNT	-	0,0055	0,0273	0,0547

Ayrıca su bazlı sondaj çamurları hazırlanırken kullanılan bentonit X ışını floresans spektrometresi (XRF) ile analiz edilmiş, analiz sonuçlarına göre (Çizelge 3.2) bentonit çeşidinin Na-bentonit olduğu tespit edilmiştir.

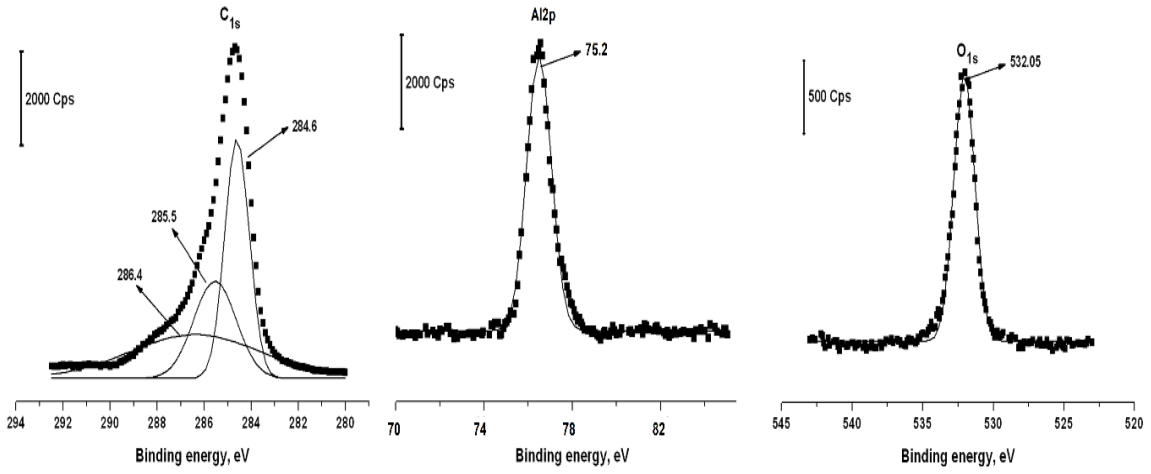
Çizelge 3.2. Na-Bentonitin elementel kompozisyonu

Örnek	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃
Na-Bentonit	2,48	2,44	20,9	65,85	-	0,75	1,44	0,29	-	5,85

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

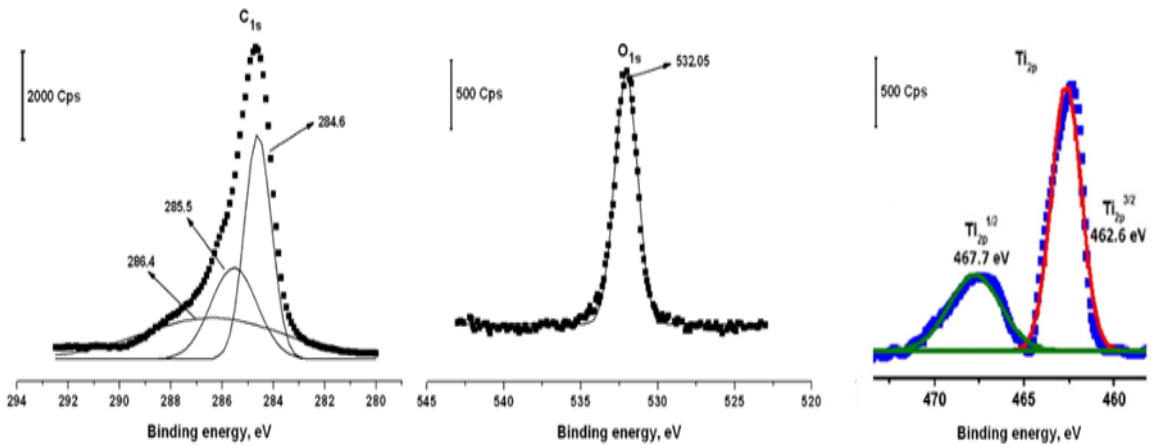
4.1. X Işını Fotoelektron Spektroskopisi (XPS) Analizi

Sentezlenen $\text{Al}_2\text{O}_3\text{NP}/\text{ÇKKNT}$, $\text{TiO}_2\text{NP}/\text{ÇKKNT}$ ve $\text{ZnONP}/\text{ÇKKNT}$ numunelerinin XPS görüntüleri sırasıyla Resim 4.1, Resim 4.2 ve Resim 4.3’de verilmiştir.



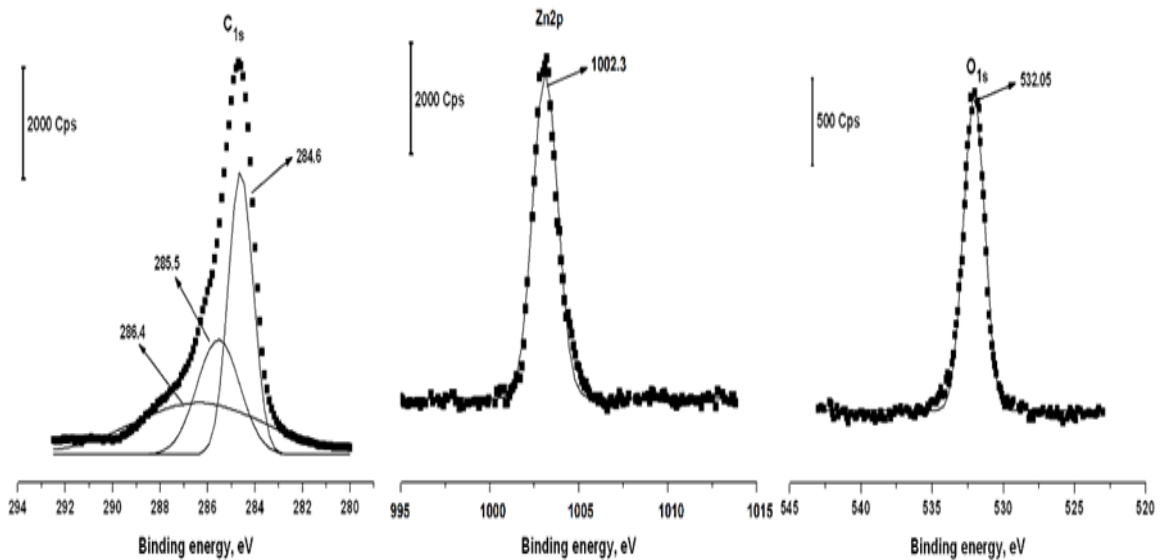
Resim 4.1. Sentezlenen $\text{Al}_2\text{O}_3\text{NP}/\text{ÇKKNT}$ 'e ait XPS görüntüsü

Resim 4.1’de $\text{Al}_2\text{O}_3\text{NP}/\text{ÇKKNT}$ içerisinde alüminyum, karbon ve oksijenin bağlanma enerjilerinin sırasıyla 76,5 eV, 284,6 eV ve 532,05 eV olduğu görülmektedir. Literatür araştırmalarında alüminyum bağlanma enerjisinin 74-78 eV arasında olduğu [87], karbonun bağlanma enerjisinin 284 eV ve oksijenin bağlanma enerjisi değerinin de 532 eV civarı olduğu belirtilmiştir [88-89]. Buna istinaden sentezlenen $\text{Al}_2\text{O}_3\text{NP}/\text{ÇKKNT}$ 'ın literatür çalışmaları ile karşılaştığında doğru sentezlendiği tespit edilmiştir.



Resim 4.2. Sentezlenen $\text{TiO}_2\text{NP}/\text{ÇKKNT}$ 'e ait XPS görüntüsü

Resim 4.2'de; titanyum, karbon ve oksijenin bağlanma enerjilerinin sırasıyla 462,6 eV, 284,6 eV ve 532,05 eV olduğu görülmektedir. Literatür araştırmalarında titanyum bağlanma enerjisi değerinin 460-468 eV, karbonun bağlanma enerjisi değerinin 284 eV ve O'nin bağlanma enerjisi değerinin de 532 eV civarı olduğu belirtilmiştir [88-89]. Bu bilgiler referans alınarak sentezlenen $\text{TiO}_2\text{NP}/\text{ÇKKNT}$ 'ün literatür çalışmaları ile kıyaslandığında doğru sentezlendiği tespit edilmiştir.

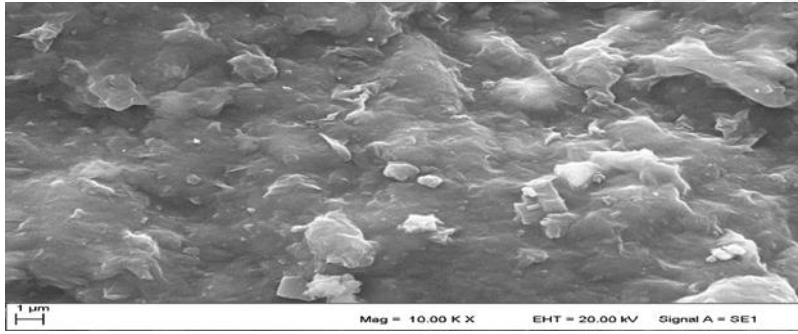


Resim 4.3. Sentezlenen $\text{ZnONP}/\text{ÇKKNT}$ 'e ait XPS görüntüsü

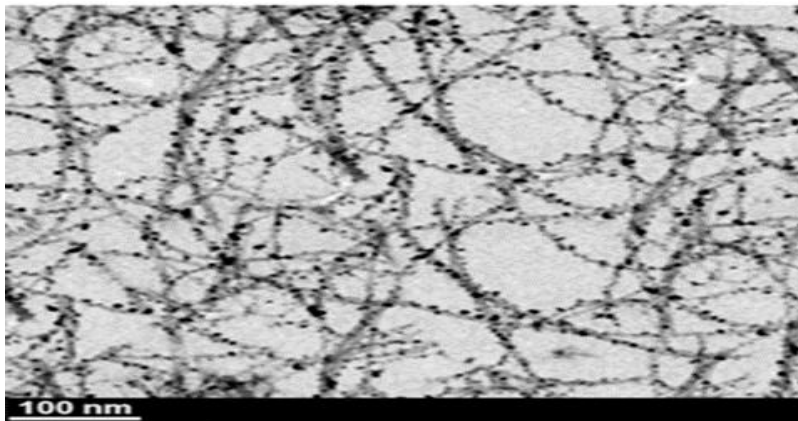
Resim 4.3’de; çinko, karbon ve oksijenin bağlanma enerjilerinin sırasıyla 1002,3 eV, 284,6 eV ve 532,05 eV olduğu görülmektedir. Literatürde araştırmalarında çinkonun bağlanma enerjisi değerinin 1020-1025 eV arası, karbonun bağlanma enerjisi değerinin 284 eV ve oksijenin bağlanma enerjisi değerinin de 532 eV civarı olduğu belirtilmiştir [88-89]. Bu bilgiler doğrultusunda bu çalışmada sentezlenen ZnONP/ÇKKNT’ün literatür ile kıyaslandığında literatüre uygun olduğu tespit edilmiştir.

4.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi

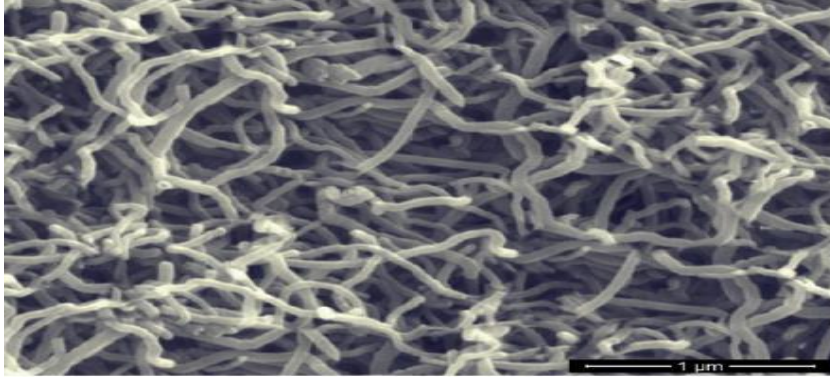
Spud çamur ve Al_2O_3 NP/ÇKKNT, TiO_2 NP/ÇKKNT, ZnONP/ÇKKNT numunelerine ait görüntüler LeO EVO40 marka taramalı elektron mikroskobu (SEM) cihazıyla elde edilmiş olup, Resim 4.4, Resim 4.5, Resim 4.6 ve Resim 4.7’de verilmiştir.



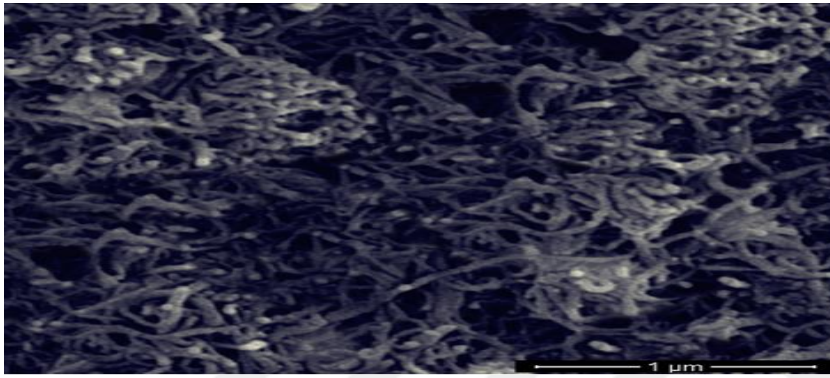
Resim 4.4. Spud çamurunun SEM görüntüsü



Resim 4.5. Al_2O_3 NP/ÇKKNT katkılı sondaj çamurunun SEM görüntüsü



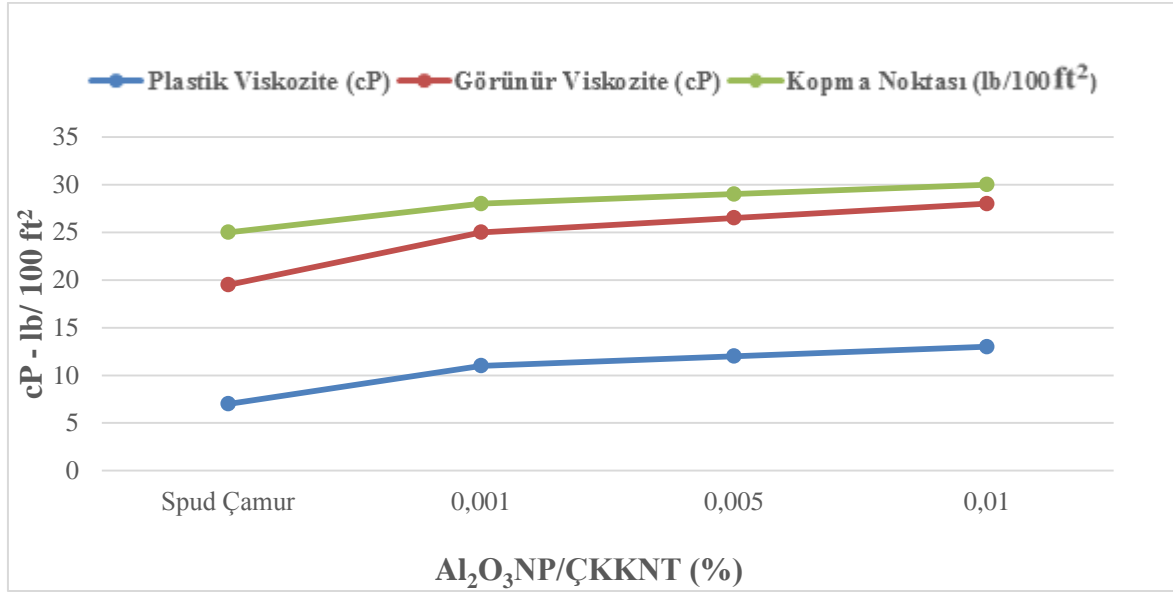
Resim 4.6. TiO₂NP/ÇKKNT katkılı sondaj çamurunun SEM görüntüsü



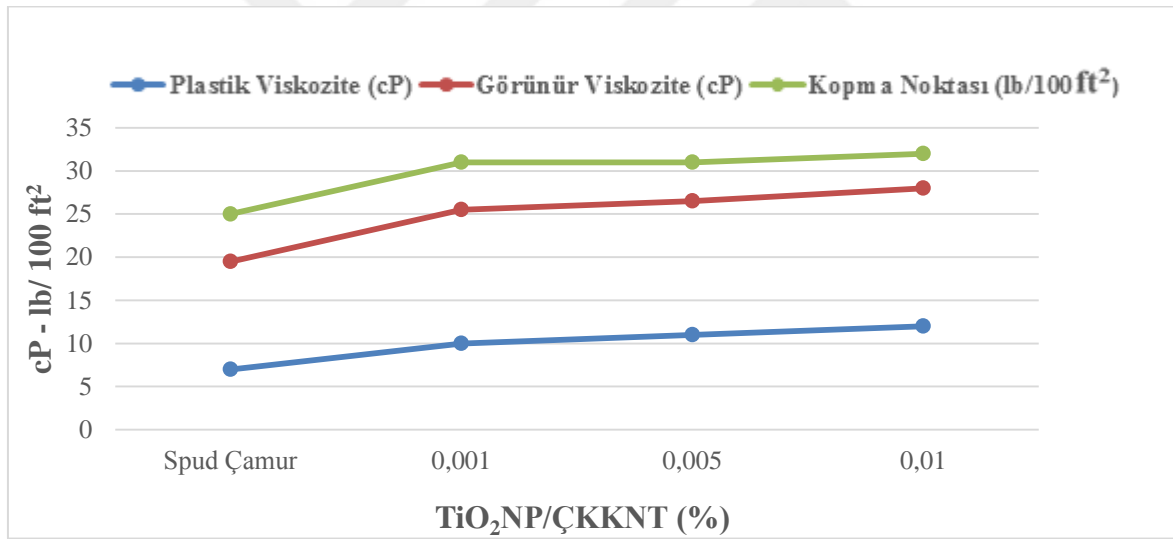
Resim 4.7. ZnONP/ÇKKNT katkılı sondaj çamurunun SEM görüntüsü

4.3. Fonksiyonelleştirilmiş Çok Katmanlı Karbon Nanotüp İvelerli Su Bazlı Sondaj Çamurlarının Reolojik Özellikleri

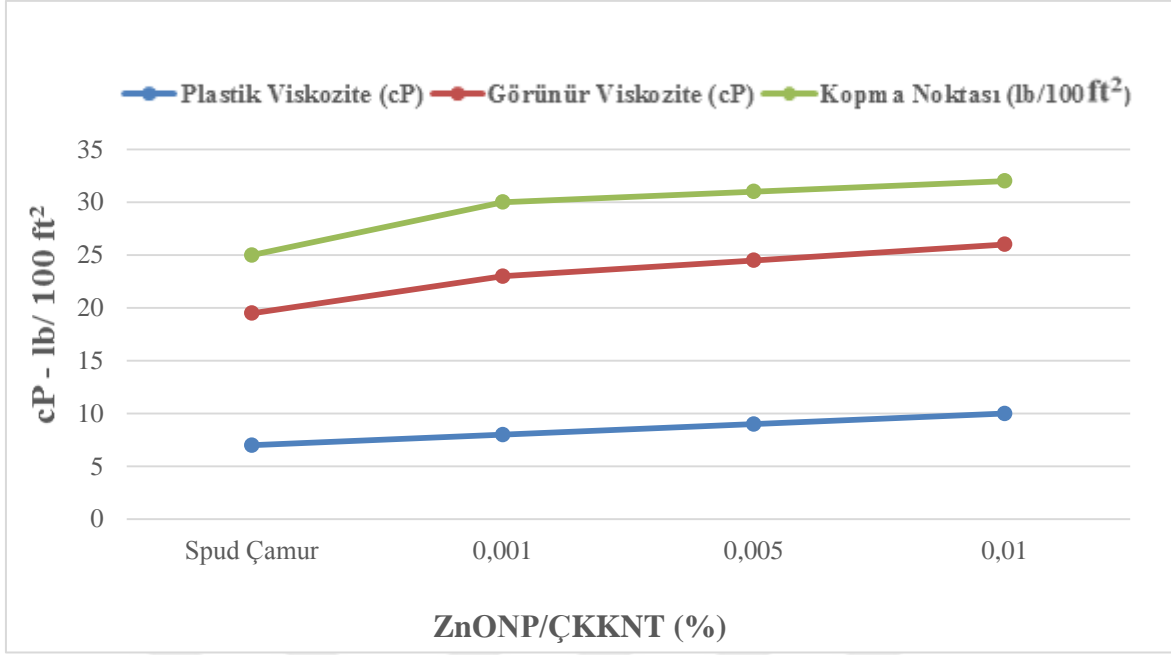
Farklı oranlarda Al₂O₃NP/ÇKKNT, TiO₂NP/ÇKKNT ve ZnONP/ÇKKNT eklenmesi yapılarak hazırlanan sondaj çamurlarının; plastik viskozite, görünür viskozite ve kopma noktası analizlerine ait sonuçlar aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.



Şekil 4.1. Al₂O₃NP/ÇKKNT katkılı çamurun PV, AV ve YP değerleri

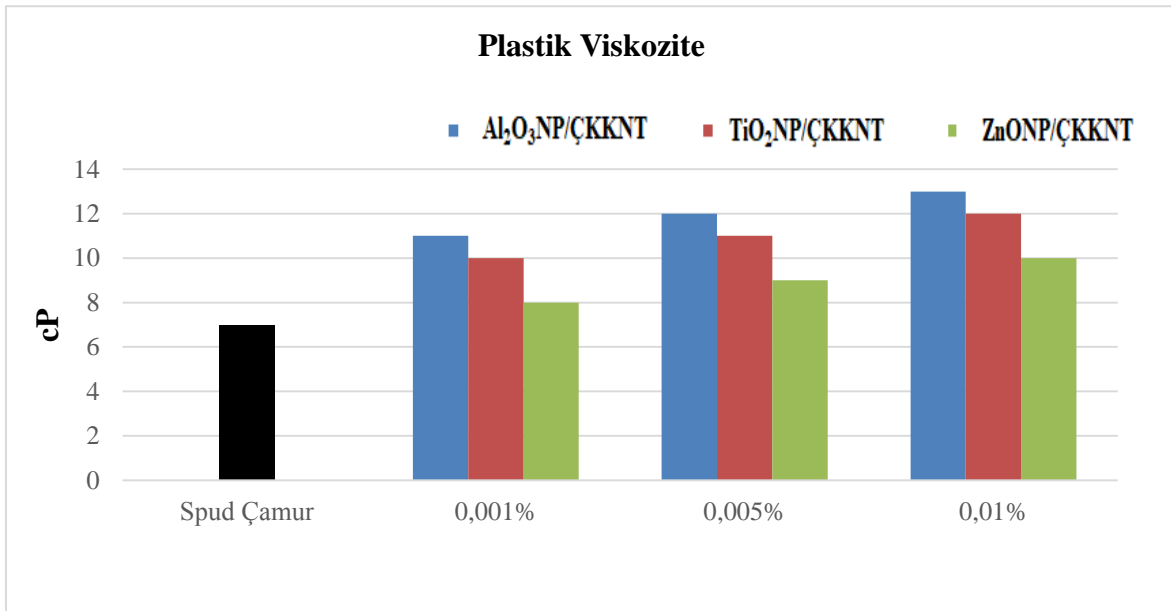


Şekil 4.2. TiO₂NP/ÇKKNT katkılı çamurun PV, AV ve YP değerleri

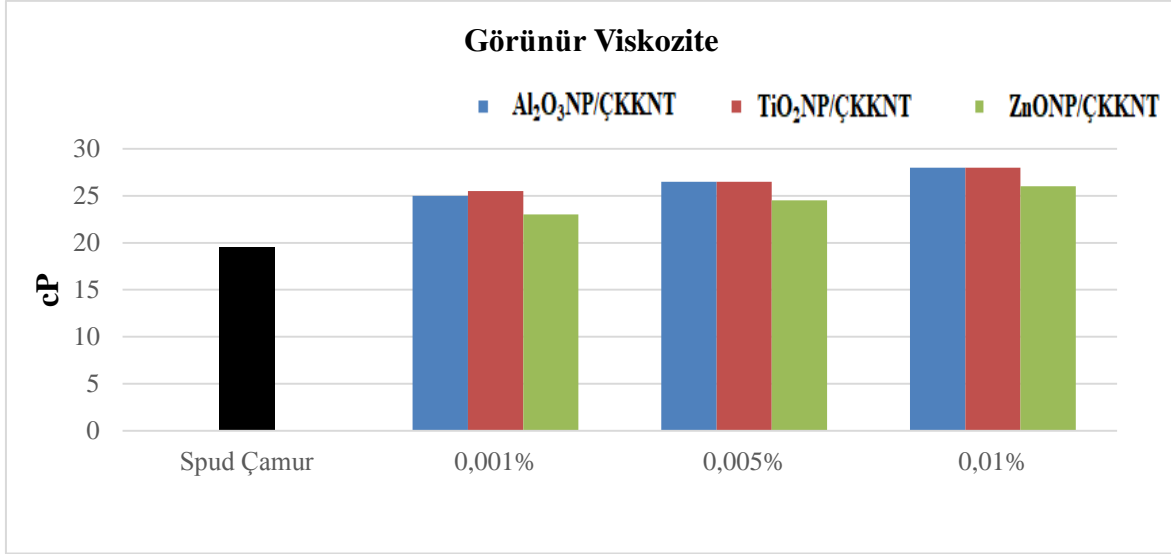


Şekil 4.3. ZnONP/ÇKKNT katkılı çamurun PV, AV ve YP değerleri

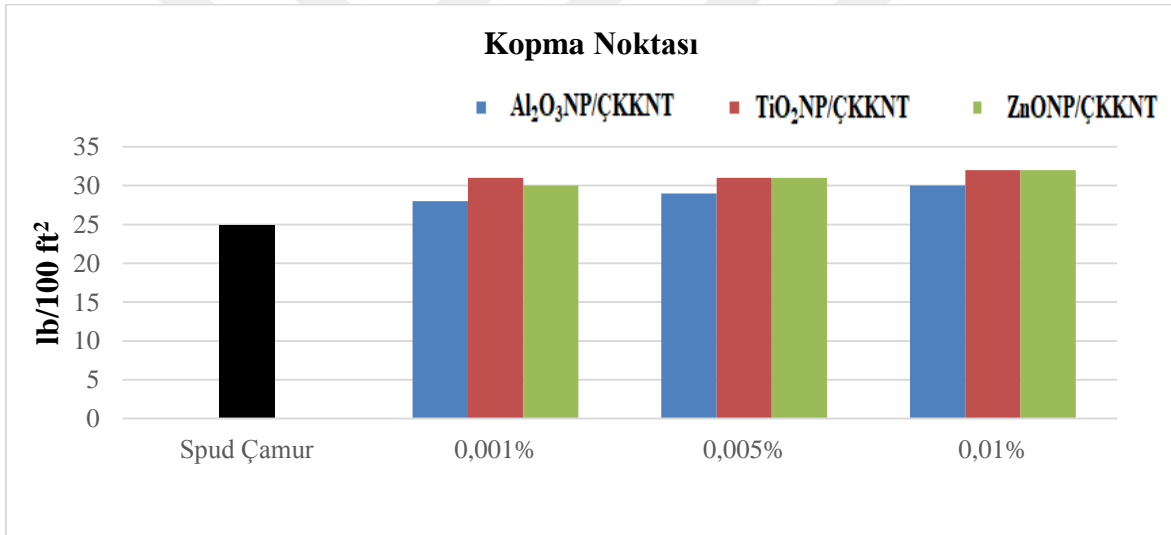
Ayrıca sondaj çamuruna $Al_2O_3NP/ÇKKNT$, $TiO_2NP/ÇKKNT$ ve $ZnONP/ÇKKNT$ katılarak hazırlanan sondaj çamurlarının her bir reolojik özelliklerindeki olası değişimleri de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 4.4. Fonksiyonelleştirilmiş ÇKKNT ilavesinin sondaj çamurlarının PV değerlerine etkisi



Şekil 4.5. Fonksiyonelleştirilmiş ÇKKNT ilavesinin sondaj çamurlarının AV değerlerine etkisi



Şekil 4.6. Fonksiyonelleştirilmiş ÇKKNT ilavesinin sondaj çamurlarının YP değerlerine etkisi

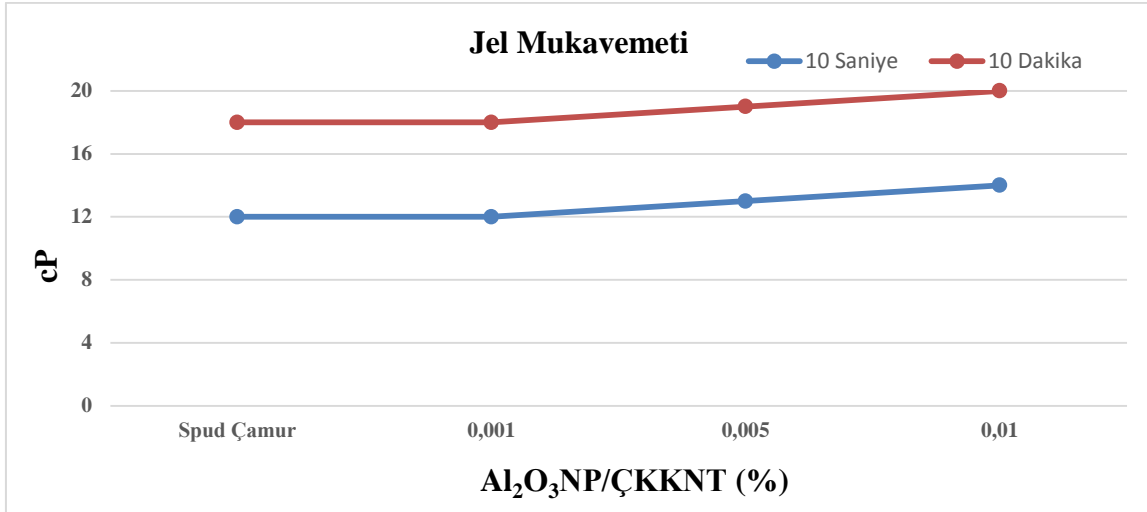
Şekil 4.1 incelendiğinde sondaj çamuruna eklenen Al₂O₃NP/ÇKKNT miktarının artmasıyla PV, AV ve YP değerlerinin de arttığı gözlenmiştir. Bunun yanında katkısız sondaj çamur diğer adıyla spud çamura göre Al₂O₃NP/ÇKKNT bulunan sondaj çamurlarında PV, AV ve YP değerlerinde sırasıyla %85,7; %41,8 ve %20 oranında iyileşme görülmüştür. Sondaj akışkanlarında viskozitenin yüksek olması durumunda pompada aşırı basınç yaptığından tercih edilmeyeceği gibi, düşük olması da düşük hidrostatik basınca sebebiyet vermesinden tercih edilmez [90]. Bundan dolayı, sondaj sıvısı diğer adıyla sondaj çamuru viskozitesi ile direk bağlantılı hidrostatik basıncı iyileştirmek için kabul edilebilir viskoziteye değeri yakalanmalıdır [91]. Oda sıcaklığındaki sondaj akışkanının PV değerinin 18-29 cP değerleri arasında olması lazımken [92] laboratuvar ortamında yaptığımız çalışmalar

sonucunda elde edilen verilerin, hidrostatik basıncı sağlamak için pozitif katkı sağladığı tespit edilmiştir.

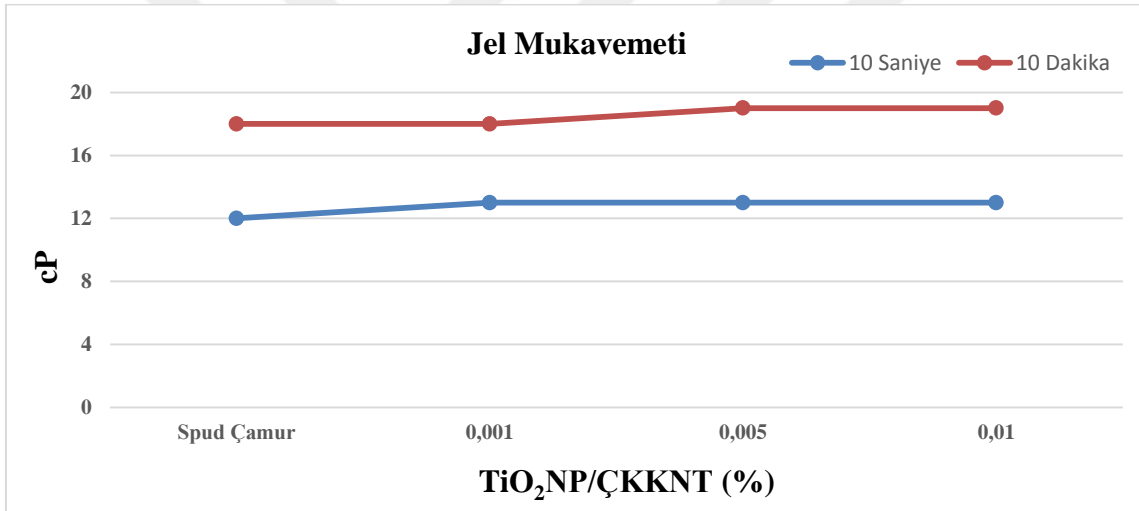
Şekil 4.2’de PV, AV ve YP değerlerinin $TiO_2NP/ÇKKNT$ oranının artmasıyla arttığı görülmektedir. API standartlarıyla mukayese edildiğinde $TiO_2NP/ÇKKNT$ eklenmesinin su bazlı sondaj çamurunun reolojik özelliklerini pozitif olarak etkilediği görülmüştür. Aynı zamanda artan oranlarda $TiO_2NP/ÇKKNT$ ’ün eklenmesi neticesinde elde edilen sondaj çamurlarının reolojik özellikleri birbirleriyle kıyaslandığında en başarılı sonucun $TiO_2NP/ÇKKNT$ ’nin 0,01 (% k/h) oranında katılması sonucu olduğu tespit edilmiştir. $TiO_2NP/ÇKKNT$ eklenmesinin sondaj akışkanının PV değerini %71,4; AV değerini %41,8 ve YP değerini de %28 oranında arttırdığı görülmüştür. Bu çalışmaya benzer şekilde Özkan, A., 2018’de, kimyasal buhar biriktirme (CVD) yöntemiyle $ÇKKNT$ ’ü sentezlemiş ve su bazlı sondaj çamuruna eklemiştir. Çalışmasında $ÇKKNT$ ’ün sondaj çamurunun reolojik özelliklerini olumlu yönde değiştirdiğini görmüştür.

Şekil 4.3’de PV, AV ve YP değerlerinin $ZnONP/ÇKKNT$ oranının artmasıyla beraber arttığı tespit edilmiştir. API standartlarındaki değerlere bakıldığında $ZnONP/ÇKKNT$ eklenmesinin su bazlı sondaj çamurunun reolojik özelliklerini olumlu yönde etkilediği tespit edilmiştir. Bunun yanında $ZnONP/ÇKKNT$ ’nün farklı oranda artarak katılmasının neticesinde bulunan veriler sondaj çamurlarının reolojik özelliklerini katılan oranlardan elde edilen sonuçlar birbiriyle kıyaslandığında en iyi oranın 0,01 (% k/h) $ZnONP/ÇKKNT$ katılması sonucu olduğu tespit edilmiştir. $ZnONP/ÇKKNT$ eklenmesinin sondaj çamurunun PV, AV ve YP değerlerini sırasıyla %42,8; %31,6 ve %28 oranında arttırdığı görülmüştür.

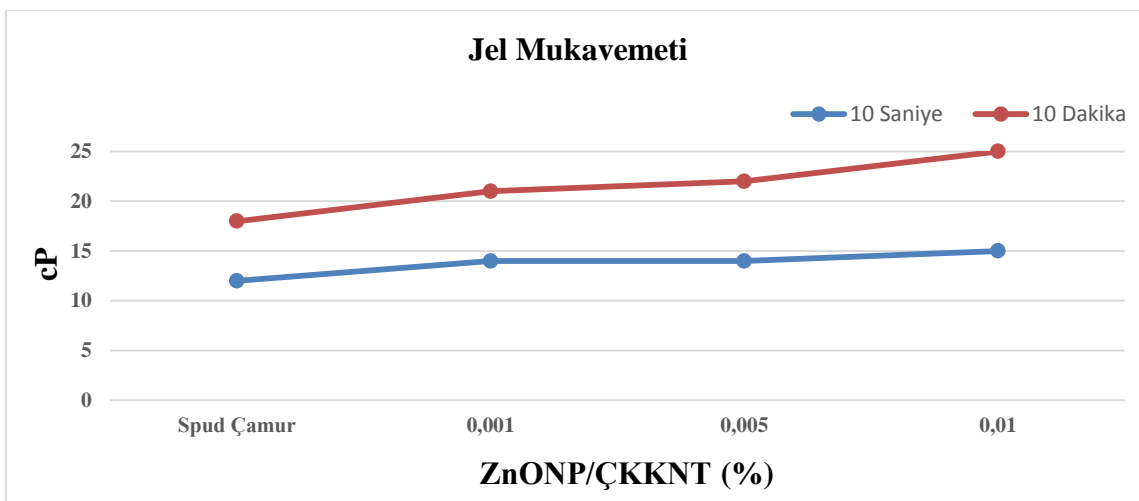
Jel mukavemetinin; kuyu stabilizasyonu, yüksek tork, sirkülasyon kaybı ve kuyu temizliği sondaj sorunlarının giderilmesi bakımından yüksek olması istenmez [93]. Yüksek jel mukavemeti çamur sirkülasyon pompasına baskı yaparak, çamur sirkülasyonunun tekrar oluşumuna engel olur [90]. Jel kuvveti, sondaj çamurundaki kırıntıları askıda tutmaya yardımcı olurken aynı zamanda statik koşullarda sıvıdaki elektrokimyasal kuvvetin şiddetini de gösterir [94]. Farklı konsantrasyonlardaki $Al_2O_3NP/ÇKKNT$, $TiO_2NP/ÇKKNT$ ve $ZnONP/ÇKKNT$ katkılı sondaj çamurlarının jel kuvvetlerindeki değişim aşağıdaki grafiklerde yer almaktadır.



Şekil 4.7. Al₂O₃NP/ÇKKNT katkılı çamurun jel mukavemeti değerleri

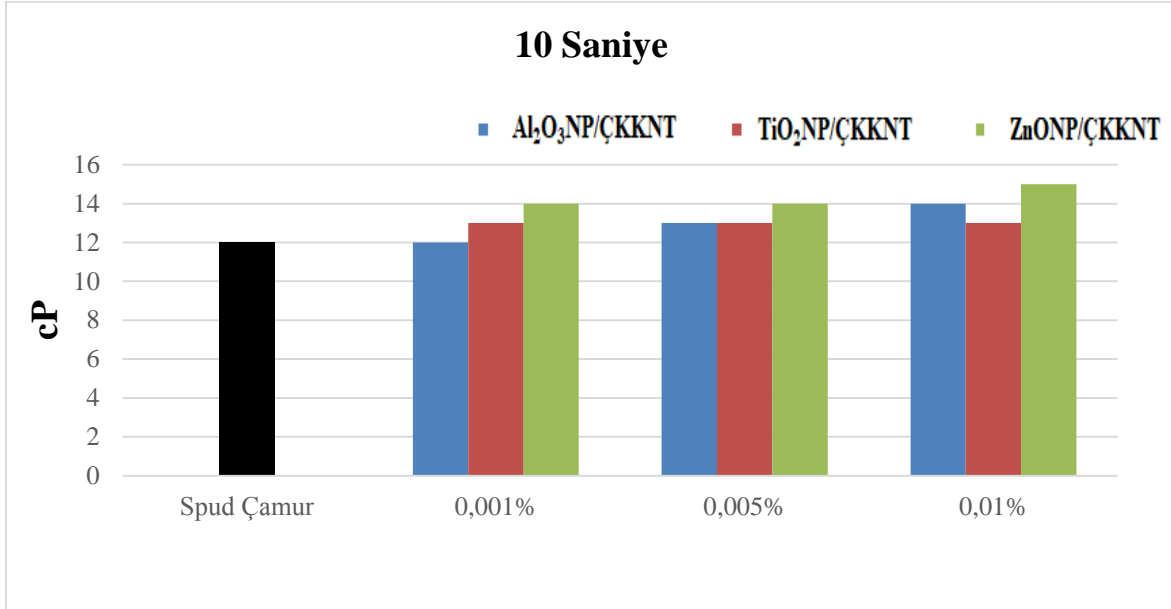


Şekil 4.8. TiO₂NP/ÇKKNT katkılı çamurun jel mukavemeti değerleri

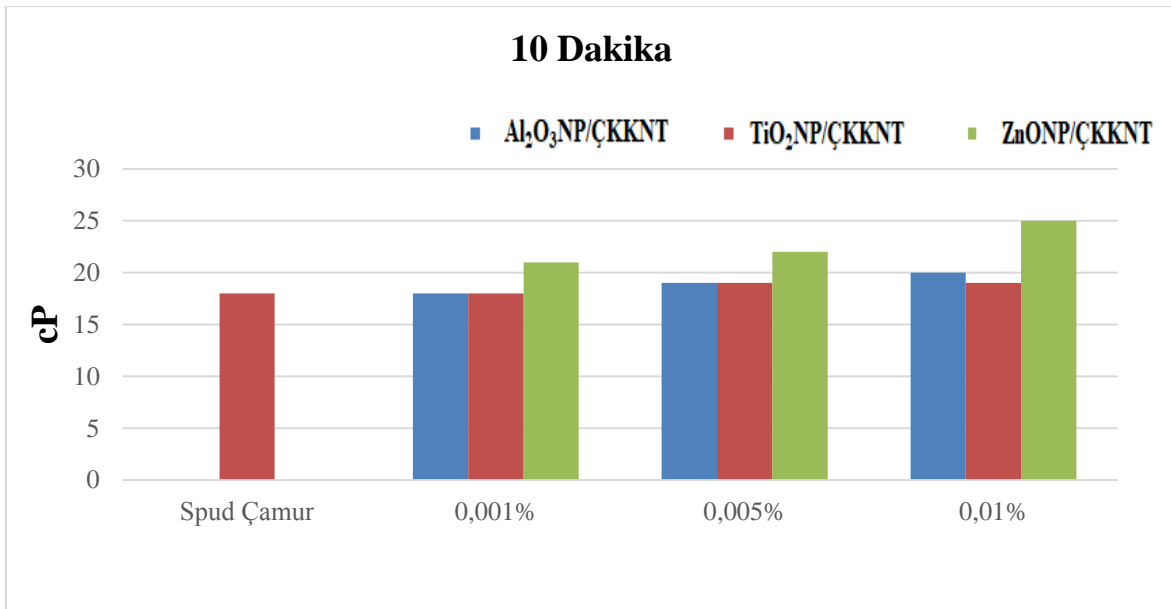


Şekil 4.9. ZnONP/ÇKKNT katkılı çamurun jel mukavemeti değerleri

Ayrıca sondaj çamuruna katılmış fonksiyonelleştirilmiş ÇKKNT ilavesinin 10 saniye ve 10 dakika değerleri üzerine etkisi de Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 4.10. Fonksiyonelleştirilmiş ÇKKNT ilaveli su bazlı sondaj çamurlarının 10 saniye jel mukavemeti değerleri



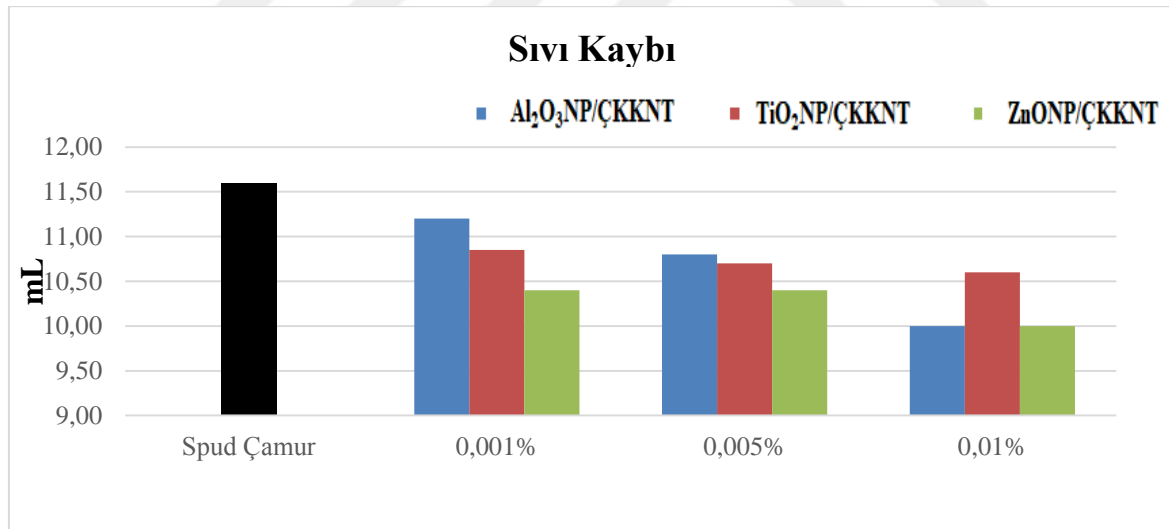
Şekil 4.11. Fonksiyonelleştirilmiş ÇKKNT ilaveli su bazlı sondaj çamurlarının 10 dakika jel mukavemeti değerleri

Şekil 4.7’de Al₂O₃NP/ÇKKNT, Şekil 4.8’de TiO₂NP/ÇKKNT ve Şekil 4.9’da ZnONP/ÇKKNT miktarının artmasıyla orantılı olarak jel mukavemeti (10 sn ve 10 dk)

değerlerinin de arttığı görülmektedir. Her ne kadar bu artış istenmese de, çalışma sonucunda elde edilen değerler referans değerlerden (API standartlarına göre 10 sn için 15, 10 dk için 31) düşük olduğu için, sondaj çamuruna olumsuz yönde herhangi bir etki söz konusu olmayacaktır.

4.4. Fonksiyonelleştirilmiş Çok Katmanlı Karbon Nanotüp İlaveli Su Bazlı Sondaj Çamurlarının Filtrasyon Kaybı Ve Kek Kalınlığı Özellikleri

Sondaj çamurları için sıvı (filtrasyon) kaybı değerinin çok yüksek olması; sondaj operasyonlarında zaman ve maliyeti olumsuz yönde etkileyebileceği gibi formasyonda zarara, sondaj aparatlarının kuyu içinde sıkışmasına ve kuyuda kararsızlığa neden olmasından dolayı istenen bir durum değildir. API standartları gereği sondaj çamurlarında sıvı kaybının 10-15 mL aralığında olması beklenir. $Al_2O_3NP/ÇKKNT$, $TiO_2NP/ÇKKNT$ ve $ZnONP/ÇKKNT$ 'lerin farklı konsantrasyonlarda sondaj çamurlarına eklenmesine ait sıvı kaybı değerleri Şekil 4.12'de verilmiştir.

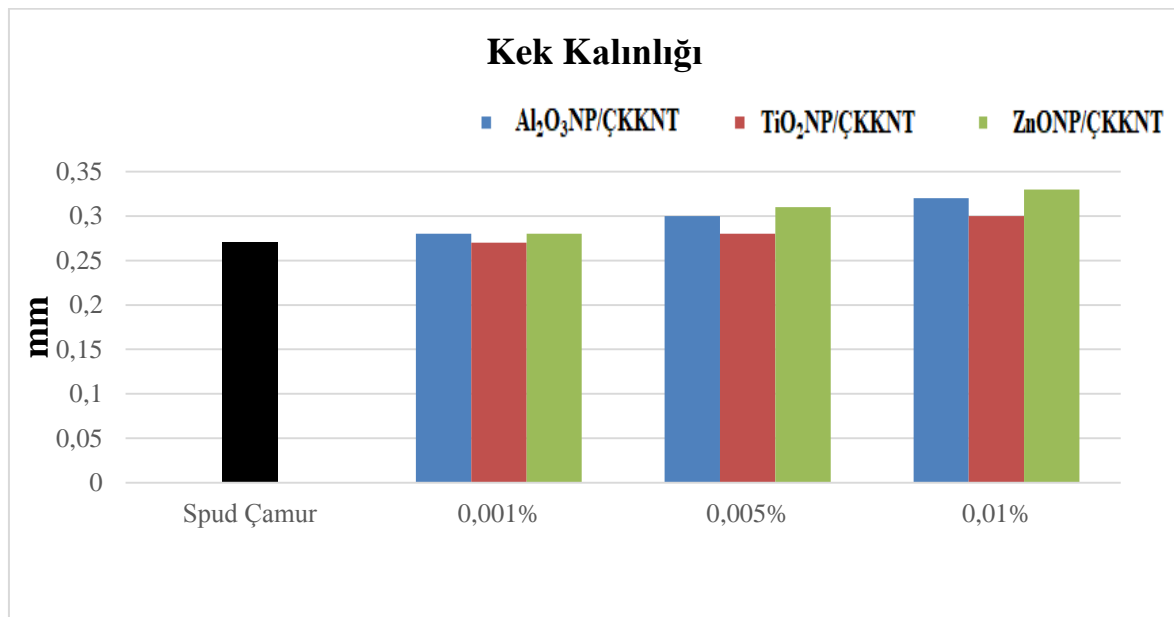


Şekil 4.12. Fonksiyonelleştirilmiş ÇKKNT ilaveli su bazlı sondaj çamurlarının sıvı kaybı değerleri

$Al_2O_3NP/ÇKKNT$, $TiO_2NP/ÇKKNT$ ve $ZnONP/ÇKKNT$ 'ün farklı oranlarda sondaj çamurlarına eklenmesi ve eklenme oranlarının artması ile spud çamuruna kıyasla sıvı kayıplarının azaldığı tespit edilmiştir. Genel hatlarıyla $Al_2O_3NP/ÇKKNT$ ilavesinin sondaj çamuru filtrasyon kaybını %13,8 azalttığı, $TiO_2NP/ÇKKNT$ ilavesinin sondaj çamuru

filtrasyon kaybını %8,6 azalttığı ve ZnONP/ÇKKNT ilavesinin sondaj çamuru filtrasyon kaybını %13,8 azalttığı görülmüştür.

Sondaj operasyonlarında API standartları gereği kek kalınlığının 1-2 mm (maksimum 4 mm) olması talep edilir. Kek kalınlığının fazla olması düşük maliyet ve stabilite açısından tercih edilen bir durum değildir. Ayrıca sondaj ekipmanlarının sıkışmasına da sebebiyeti nedeniyle istenmez. Önemli etkenlerden olan kek kalınlığı analiz sonuç değerleri bu çalışmada Şekil 4.13’de verilmiştir.

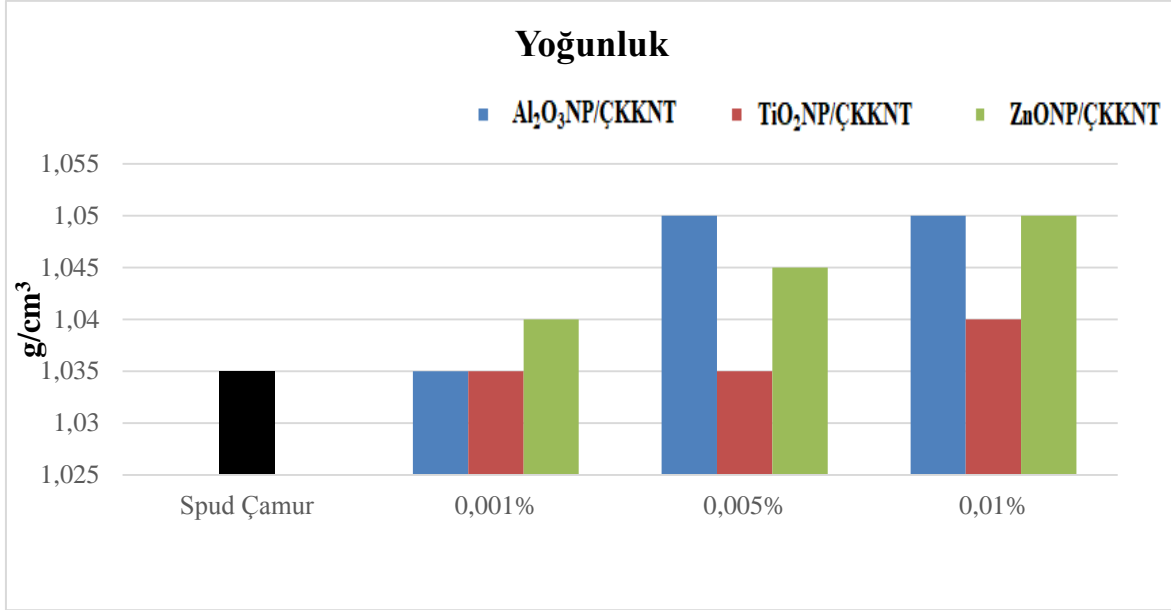


Şekil 4.13. Fonksiyonelleştirilmiş ÇKKNT ilaveli su bazlı sondaj çamurlarının kek kalınlığı değerleri

Sondaj çamurundaki Al₂O₃NP/ÇKKNT, TiO₂NP/ÇKKNT ve ZnONP/ÇKKNT konsantrasyonları arttıkça kek kalınlığının da arttığı tespit edilmiştir. Ancak kek kalınlıklarındaki bu artış API standartları gereği 4 mm değerinin altında yer alması sonucu kabul edilebilir seviyededir.

4.5. Sondaj Çamuru Yoğunluk Testi

Sondaj çamurlarına Al₂O₃NP/ÇKKNT, TiO₂NP/ÇKKNT ve ZnONP/ÇKKNT’ün farklı oranlarda eklenmesi ile elde edilen çamur yoğunlukları Şekil 4.14’de verilmiştir.

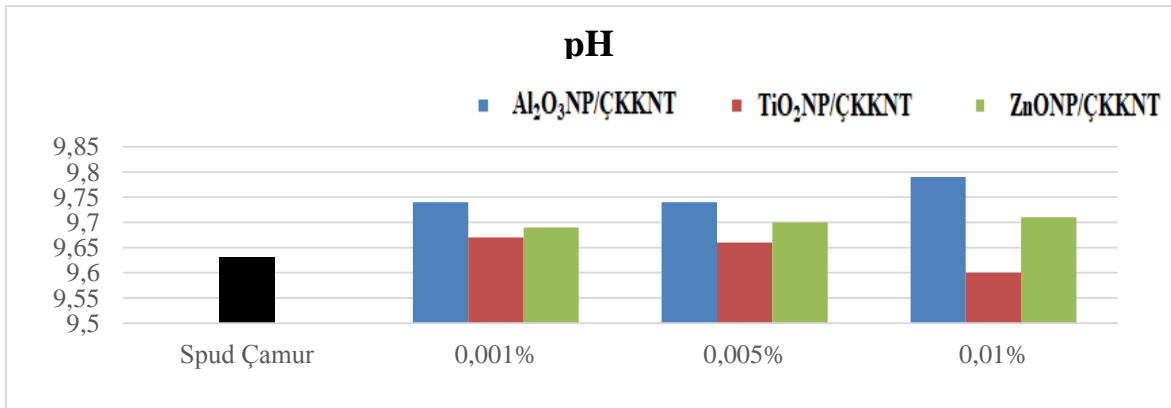


Şekil 4.14. Fonksiyonelleştirilmiş ÇKKNT ilaveli su bazlı sondaj çamurlarının yoğunluk değerleri

Genel olarak Al₂O₃NP/ÇKKNT, TiO₂NP/ÇKKNT ve ZnONP/ÇKKNT'ün sondaj çamurunun yoğunluğu değerlerini her ne kadar arttırsa da (maksimum 1,05 g/cm³), bu değer API standartları referans değerleri (1,035-1,15 g/cm³) aralığında olması nedeniyle, yoğunluk özelliği açısından sıkıntı yaratacak bir durum söz konusu olmamıştır.

4.6. Sondaj Çamurunun pH Testi

Al₂O₃NP/ÇKKNT, TiO₂NP/ÇKKNT ve ZnONP/ÇKKNT'ün farklı oranlarda eklenmesi ile elde edilen çamur pH değerleri Şekil 4.15'te verilmiştir.



Şekil 4.15. Fonksiyonelleştirilmiş ÇKKNT ilaveli su bazlı sondaj çamurlarının pH değerleri

$Al_2O_3NP/ÇKKNT$, $TiO_2NP/ÇKKNT$ ve $ZnONP/ÇKKNT$ 'ün sondaj çamurunun pH değerlerini arttırdığı (maksimum 9,79) ve bu değer de API standartları referans değerleri (9,5-12,5) aralığında olması nedeniyle, pH özelliği açısından sıkıntı yaratacak bir durum söz konusu olmamış ve elde edilen pH değerlerinin kabul edilebilir seviyede olduğu tespit edilmiştir.



5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada; $Al_2O_3NP/ÇKKNT$, $TiO_2NP/ÇKKNT$ ve $ZnONP/ÇKKNT$ 'ün su bazlı sondaj çamuruna 0,001; 0,005 ve 0,01 % (k/h) oranlarında katılması neticesinde çamurun reolojik ve fitrasyon özellikleri üzerindeki değişimleri incelenmiştir. İlk olarak; CVD yöntemiyle $Al_2O_3NP/ÇKKNT$, $TiO_2NP/ÇKKNT$ ve $ZnONP/ÇKKNT$ sentezlenmiş, SEM ve XPS ile karakterize edilmiştir. Daha sonra $Al_2O_3NP/ÇKKNT$, $TiO_2NP/ÇKKNT$ ve $ZnONP/ÇKKNT$ 'ün su bazlı sondaj çamurlarına katılmasıyla hazırlanan sondaj çamurlarının PV, AV, YP, GS (10 s ve 10 dk), filtrasyon kaybı ve kek kalınlığı analizleri API standartlarına uygun şekilde analiz edilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda $Al_2O_3NP/ÇKKNT$, $TiO_2NP/ÇKKNT$ ve $ZnONP/ÇKKNT$ katılmış sondaj çamurunun, spud çamura kıyasla etkileri aşağıdaki gibi verilebilir.

1. $Al_2O_3NP/ÇKKNT$ katılmış sondaj çamurunun spud çamura göre;
 - plastik viskozite değeri %85,7 oranında artmıştır,
 - görünür viskozite değeri %41,8 oranında artmıştır,
 - akma noktası değeri %20 oranında artmıştır,
 - 10 saniye değeri %16,6 oranında artmıştır,
 - 10 dakika değeri %11 oranında artmıştır,
 - kek kalınlığı değeri %18,5 oranında artmıştır,
 - sıvı kaybı değeri %13,8 oranında azaltmıştır.
2. $TiO_2NP/ÇKKNT$ katılmış sondaj çamurunun spud çamura göre;
 - plastik viskozite değeri %71,4 oranında artmıştır,
 - görünür viskozite değeri %41,8 oranında artmıştır,
 - akma noktası değeri %28 oranında artmıştır,
 - 10 saniye değeri %8,3 oranında artmıştır,
 - 10 dakika değeri %5,6 oranında artmıştır,
 - kek kalınlığı değeri %11 oranında artmıştır,
 - sıvı kaybı değeri %8,6 oranında azaltmıştır.
3. $ZnONP/ÇKKNT$ katılmış sondaj çamurunun spud çamura göre;
 - plastik viskozite değeri %42,8 oranında artmıştır,
 - görünür viskozite değeri %31,6 oranında artmıştır,
 - akma noktası değeri %28 oranında artmıştır,

- 10 saniye değeri %25 oranında artmıştır,
- 10 dakika değeri %38,9 oranında artmıştır,
- kek kalınlığı değeri %22 oranında artmıştır,
- sıvı kaybı değeri %13,8 oranında azalmıştır.

Sondaj işleminin başarılı olması sondaj çamurunun etkili olmasına bağlıdır. Sondaj amurlarının etkinliklerini arttırmak amacıyla literatürde sondaj çamuruna KKNT, nanopartiküller ile fonksiyonelleştirilmiş çok katmanlı karbon nanotüp ve grafen oksit gibi çeşitli nanopartiküller çok az miktarda kullanılmış bunun sonucunda çamur performansını büyük ölçüde pozitif etkilediği tespit edilmiştir [22, 95-97]. Yaptığımız çalışmada da elde edilen sonuçlar literatür çalışmalarına paralel olarak ilerlediğimizi ve API standartlarında belirtilen değer aralıklarında kaldığımızı göstermiştir. Aynı zamanda nanopartiküllerin yüzey alan/hacim oranının yüksek olması, yüksek basınç ve yüksek sıcaklık gibi kuyu şartlarında karşılaşılan sondaj problemlerine çözüm olması, filtrat keki kalınlıkları ve filtrasyon kayıplarını en aza indirebilme özelliği olması sondaj operasyonlarına çözüm olma özelliğini göstermektedir. Sondaj işlemlerinde az oranlarda kullanılabilecek olması ek bir maliyet oluşturmaması ve uygulama noktasında sıkıntı yaratmaması yönünden de nano malzemelerin sondaj çamuru katkı maddesi olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

1. Ghasemi, N., Mirzaee, M., Aghayari, R., and Maddah, H. (2017). Investigating created properties of nanoparticles based drilling mud. *Heat and Mass Transfer*, 54, 1381–1393.
2. Tran, J. (2016). İnternet linki: <https://www.studentenergy.org/topics/drilling>, Son Erişim Tarihi: 20.05.2020.
3. Hughes, B. (2006). *Drilling Fluids Reference Manual*.
4. Clark, P. E. (1995). *Drilling Mud Rheology and the API Recommended Measurements*. Society of Petroleum Engineers, USA, 933-941
5. CJWinter. (2017). The Advantages Of Cold Root Rolling. www.cjwinter.com
6. Drilling Contractor, (2017). İnternet linki: http://www.drillingcontractor.org/dcp/dc-mayjune07/DC_May07_10Tips.pdf, Son Erişim Tarihi: 20.05.2020.
7. Caenn, R., Darley, H. C. H. and Gray, G. R. (2011). *Drilling Problems Related to Drilling Fluids. Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids*, 389–475.
8. Nwaiche, J. (2015). *Selection and Application of Drilling Fluids*. Teesside University.
9. Van Dyke, K. (2000). *Drilling Fluids*. Austin, Texas : Petroleum Extension Service
10. Dargahi-Zaboli, M., Sahraei, E., and Pourabbas, B. (2016). Hydrophobic silica nanoparticle-stabilized invert emulsion as drilling fluid for deep drilling. *Petroleum Science*, 14(1), 105–115.
11. Vryzas, Z., and Kelessidis, V. C. (2017). Nano-based drilling fluids: A Review. *Energies*, 10(4), 540.
12. Alan, R. (2008). Nanotechnology products hold promise for e&p. *NanoDynamics and (Consultant) Epik Energy Solutions*, 24-26.
13. Esmaeili, A. (2009). *Applications of nanotechnology in oil and gas industry*, Petrotech, New Delhi, India, 1–6.
14. Mokhatab, S., Fresky, M. A. and Islam, M. R. (2006). Applications of nanotechnology in oil and gas e&p. *J. Pet. Technol*, 58(4), 48–51.
15. Singh, S., Ahmed, R. and Growcock, F. (2010). Vital role of nanopolymers in drilling and stimulations fluid applications. In Paper SPE 130413 presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Florence, Italy, 19-22.
16. Mostafavi, V., Ferdous, M.Z., Hareland, G. and Husein, M. (2011). Design and application of novel nano drilling fluids to mitigate circulation loss problems during oil well drilling operations. *J clean Technology*, 4398-8189-7
17. Amanullah, M., and Al-Tahini, A. M. (2009). Nano-t.echnology - its significance in smart fluid development for oil and gas field application. *Society of Petroleum Engineers*.
18. Elochukwu, H., Sia, L.K.S.L., Gholami, R. and Hamid, M.A. (2018). Data on experimental investigation of Methyl Ester Sulphonate and nanopolystyrene for rheology improvement and filtration loss control of water-based drilling fluid. *Data in Brief*, 21, 972–979.
19. Sayyadnejad, M. A., Ghaffarian, H. R., and Saeidi, M. (2008). Removal of hydrogen sulfide by zinc oxide nanoparticles in drilling fluid. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 5(4), pp. 565-569.
20. Al-Zubaidi, N. S., Alwasiti, A. A. and Mahmood, D. (2016). A comparison of nano bentonite and some nano chemical additives to improve drilling fluid using local

- clay and commercial bentonites. *Egyptian Journal of Petroleum*, 26, 811–818.
21. Smith, S.R., Rafati, R., Haddad, A.S., Cooper, A. and Hamidi, H. (2018). Application of aluminium oxide nanoparticles to enhance rheological and filtration properties of water based muds at HPHT conditions. *Colloids and Surfaces A*, 537, 361–371.
 22. Özkan, A. (2018). Effect of multi-walled carbon nanotubes on the water-based drilling muds. *Mus Alparslan University Journal of Science*, 6(2), 591-594.
 23. Bég, O.A., Espinoz, D.S., Kadir, A., Shamshuddin, M.D. and Sohail, A., (2018). Experimental study of improved rheology and lubricity of drilling fluids enhanced with nano-particles. *Applied Nanoscience*, 8(5), 1069-1090.
 24. Abbasi, S., Zebarjad, S.M., Baghban, S.H.N., Youssefi, A. and Ekrami-Kakhki, M.S. (2016). Experimental investigation of the rheological behavior and viscosity of decorated multi-walled carbon nanotubes with TiO₂ nanoparticles/water nanofluids. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 123(1), 81-89. API 13B-1, 2009.
 25. Ismail, S. R., Seong, T.C., Buang, N. A. and Sulaiman, W.R.W. (2014). Improved performance of water-based drilling fluids using nanoparticles. *Proceedings of The 5th Sriwijaya International Seminar on Energy and Environmental Science & Technology Palembang, Indonesia September 10-11*.
 26. William, J. K. M., Ponmani, S., Samuel, R., Nagarajan, R. and Sangwai, J. S. (2014). Effect of CuO and ZnO nanofluids in xanthan gum on thermal, electrical and high pressure rheology of water-based drilling fluids. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 117, 15–27.
 27. Al-Yasiri, M., Awad, A., Pervaiz, S. and Wen, D. (2019). Influence of silica nanoparticles on the functionality of water-based drilling fluids. *Journal of Petroleum Science and Engineering*.
 28. API RP 13B-1, (2009). Recommended Practice for Field Testing Water-based Drilling Fluids. 4th Edition: API.
 29. Specifications, A.P.I., (2010). 13A, 2010. Specification for Drilling Fluid Materials.
 30. Fink, J. (2015). Drilling muds. *Petroleum Engineer's Guide to Oil Field Chemicals and Fluids*, 2, 1–61. doi:10.1016/b978-0-12-803734-8.00001-1
 31. Powered by MediaWiki, (2019). İnternet linki: https://wiki.aapg.org/Drilling_fluid, Son Erişim Tarihi: 20.05.2020.
 32. TPAO (Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı), (2007). Sondaj Akışkanları Teknolojisi, Araştırma Merkezi Daire Başkanlığı, Sondaj Teknolojisi Müdürlüğü, Ankara.
 33. Azar, J. and Samuel, G. R. (2007). *Drilling Engineering*. PennWell Corporation.
 34. Amoco Production Company, (1994). *Drilling Fluids Manual*, 6, 1-3.
 35. Turan, S.E. (2019). Sondaj çamuruna uçucu kül eklenmesinin çamurun reolojik ve filtrasyon özelliklerine etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, İskenderun.
 36. El-Sayed, A. A. H. (2010). İnternet linki: <http://www.eng.cu.edu.eg/users/aelsayed/Mud%20engineering.pdf>, Son Erişim Tarihi: 20.05.2020.
 37. Mitchell, R.F. (2007). *Petroleum Engineering Handbook, Volume II: Drilling Engineering*. Society of Petroleum Engineers. 90–95.
 38. Potash, M.S. and Nygren, R.T. (1993). Multiple integrated document assembly data processing system.
 39. Devereux, S. (1999). *Drilling Technology: In Nontechnical Language*, PennWell

Books

40. Max R. Annis, M.V.S., (1996). Drilling Fluid Technology Exxon Manual.
41. Caenn, R., Darley, H. C. H., and Gray, G. R. (2017). The Rheology of Drilling Fluids. Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids, 151–244.
42. Caenn, R., Darley, H. C. H., and Gray, G. R. (2017). Introduction to Drilling Fluids. Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids, 1–34.
43. Björn, A., de La Monja, P.S., Karlsson, A., Ejlertsson, J. and Svensson, B.H. (2012). Rheological Characterization. Biogas, 63-75.
44. Fox, R., McDonald, A. and Pritchard, P. (2012). Fluid Mechanics (8 ed.). John Wiley & Sons., 76–83.
45. Chaplin, M. (2020). Water structure and science. İnternet linki: <http://www1.lsbu.ac.uk/water/rheology.html>, Son Erişim Tarihi: 20.05.2020.
46. Rheology is a study of the change in form and flow of matter, embracing elasticity, viscosity and plasticity. (2015). İnternet linki: <http://people.sju.edu/~phabdass/physics/rheo.html>, Son Erişim Tarihi: 20.05.2020.
47. Jeotermal Enerji Semineri, (2017). İnternet linki: https://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/08070f62b279d51_ek.pdf, Son Erişim Tarihi: 20.05.2020.
48. IADC Drilling Manual-Eleven Edition (2000). International Association of Drilling Contractors All Rights Reserved, O1-O37.
49. Sebüktekin, B.M. (2019). Bor türevleri katkılanmış sondaj çamurunun reolojik ve filtrasyon özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, İskenderun.
50. Bal, B. (2017). Effects of nanoparticles on the performance of drilling fluids. Middle East Technical University.
51. Barry, M.M., Jung, Y., Lee, J.K., Phuoc, T.X. and Chyu, M.K. (2015). Fluid filtration and rheological properties of nanoparticle additive and intercalated clay hybrid bentonite drilling fluids. J. Petrol. Sci. Eng., 127, 338–346.
52. Saboori, R., Sabbaghi, S., Mowla, D. and Soltani, A. (2012). Decreasing of water loss and mud cake thickness by CMC nanoparticles in mud drilling. International Journal of Nano Dimension, 3(2), 101-104.
53. El-Diasty, A.I. and Salem, A.M. (2013). Applications of nanotechnology in the oil & gas industry: latest trends worldwide & future challenges in Egypt. Society of Petroleum Engineers, 2-11.
54. Arı, O., Görgün, A.F., Kaya, A., Coşkun Ö. ve Kaya, İ. (2012). Karbon nanotüp malzeme ile tasarlanan heliks antenlerin performans parametrelerinin incelenmesi. SDU Teknik Bilimler Dergisi, 2(4), 1-7.
55. De Paula, J.N., Calixto, J.M., Ladeira, L.O., Ludvig, P., Souza, T.C.C., Rocha, J.M., and de Melo, A. A.V. (2014). Mechanical and rheological behavior of oil-well cement slurries produced with clinker containing carbon nanotubes. Journal of Petroleum Science and Engineering, 122, 274–279.
56. Makar, J., Margeson, J. and Luh, J., (2005). Carbon nanotube/cement composites – early results and potential applications. In: Proceedings of the 3rd International Conference on Construction Materials: Performance, Innovations and Structural Implications, Vancouver, B.C., August 22–24, 1–10.
57. Santra, A., Boul, P.J. and Pang, X., (2012). Influence of nanomaterials in oil well cement hydration and mechanical properties. In: Proceedings of the SPE

- International Oilfield Nanotechnology Conference held in Noordwijk, Netherlands, 12–14 June, 2012. SPE 156937.
58. Salvétat, J.-P., Bonard, J.-M., Thomson, N.H., Kulik, A.J., Forró, L., Benoit, W. and Zuppiroli, L. (1999). Mechanical properties of carbon nanotubes. *Appl. Phys. A* 69, 255–260.
 59. Shah, S.P., Konsta-Gdoutos, M.S. and Metaxa, Z.S. (2009). Advanced cement based nanocomposites. In: *Recent Advances in Mechanics Select Papers from the Symposium on Recent Advances In Mechanics*, Academy of Athens, Greece; Springer Press.
 60. Yazid, M.N.A.W.M., Sidik, N.A.C., Mamat, R. And Najafi, G. (2016). A review of the impact of preparation on stability of carbon nanotube nanofluids. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 78, 253-563.
 61. Harris, P.J. (1999). *Carbon nanotubes and related structures: new materials for the 21st century*, 460 Cambridge, University Press.
 62. Otsubo, Y., Fujiwara, M., Kouno, M. and Edamura, K. (2007). Shear-thickening flow of suspensions of carbon nanofibers in aqueous PVA solutions, *Rheol. Acta* 46, 905-912.
 63. Yu, M.F., Files, B.S., Arepalli, S. and Ruoff, R.S. (2000). Tensile loading of ropes of single wall carbon nanotubes and their mechanical properties, *Physical Rev Lett* 84, 5552-5.
 64. Küçükıldırım, B.O. ve Eker, A.A. (2012). Karbon nanotüpler, sentezleme yöntemleri ve kullanım alanları. *TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi*, cilt 53, sayı 630, 34-44.
 65. Eskizeybek, V. (2012). Yüzeylerine kimyasal olarak karbon nanotüpler bağlanmış örgü cam fiber/epoksi nanokompozitlerin üretimi ve tabakalar arası kırılma davranışının incelenmesi. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
 66. Suzuki, S. (2013). *Physical and Chemical Properties of Carbon Nanotubes*, 1-9.
 67. Hu, Z. and Lu, X. (2014). Mechanical properties of carbon nanotubes and graphene. *Carbon Nanotubes and Graphene*, 165–200.
 68. Salvétat, J.P., Bonard, J.M., Thomson, N.H., Kulik, A.J., Forró, L. and Benoit, W. (1999). Mechanical properties of carbon nanotubes. et al. *Appl Phys A* ;69:255–60.
 69. Lau, K.T. and Hui, D. (2002). The revolutionary creation of new advanced materials—carbon nanotube. *Composites B* 33(4):263–77.
 70. Lau, K.T., Gu, C. and Hui, D. (2006). A critical review on nanotube and nanotube/nanoclay related polymer composite materials. *Composites B*, 37(6):425–36.
 71. Lau, K.T., Cheung, H.Y., Lu, J., Hui, D. and Li, H.L. (2008). Carbon nanotubes for space and bio-engineering applications. *J Comput Theor Nanosci*, 5(1):23–35.
 72. Hu, Z., Arefin, M.R.H., Yan, X. and Fan, Q.H. (2014). Mechanical property characterization of carbon nanotube modified polymeric nanocomposites by computer modeling. *Composites B*, 56:100–8.
 73. Gibson, R.F. (2010). A review of recent research on mechanics of multifunctional composite materials and structures. *Compos Struct*, 92(12):2793–810.

74. The Nanotube Site, (2013). İnternet linki: <http://www.pa.msu.edu/cmp/csc/ntproperties/>, Son Erişim Tarihi: 20.05.2020.
75. Yuca, N. (2010). Karbon nanotüpün çeşitli yöntemlerle saflaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü.
76. Yer Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi, (2013). İnternet linki: <http://yebim.ankara.edu.tr/2013/04/25/x-isislari-floresans-spektrometresi-xrf/>, Son Erişim Tarihi: 22.06.2020.
77. NSF International, (2020). İnternet linki: https://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/techniques/XRF.html, Son Erişim Tarihi: 22.06.2020.
78. Guy, O. J. and Walker, K.-A. D. (2016). Graphene Functionalization for Biosensor Applications. Silicon Carbide Biotechnology, 98.
79. NSF International, (2017). İnternet linki: https://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/techniques/SEM.html, Son Erişim Tarihi: 22.06.2020.
80. Seesaard, T., Kerdcharoen, T., and Wongchoosuk, C. (2020). Hybrid materials with carbon nanotubes for gas sensing. Semiconductor Gas Sensors, 204.
81. Shah, K.A., Najar, F.A., Tarun Sharda, T. and Sreenivas, K. (2018). Synthesis of multi-walled carbon nanotubes by thermal CVD technique on Pt–W–MgO catalyst. Journal of Taibah University for Science, 12:2, 230-234.
82. Asker, N.H., Özkan, V. ve Özkan, A. (2020). TiO₂ Nanopartikülü İle Fonksiyonelleştirilmiş Çok Katmanlı Karbon Nanotüpün Su Bazlı Sondaj Çamuruna Etkisinin Belirlenmesi: Deneysel Çalışma. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10(2): 1129-1138.
83. In, J.B., Cho, K.R., Tran, T.X., Kim, S.M., Wang, Y., Grigoropoulos, C.P., ... Fornasiero, F., (2018). Effect of enhanced thermal stability of alumina support layer on growth of vertically aligned single-walled carbon nanotubes and their application in nanofiltration membranes. Nanoscale research letters, 13(1), 173.
84. Ansari, M.A., Khan, H.M., Alzohairy, M.A., Jalal, M., Ali, S.G., Pal, R. and Musarrat, J. (2015). Green synthesis of Al₂O₃ nanoparticles and their bactericidal potential against clinical isolates of multi-drug resistant Pseudomonas aeruginosa. World Journal of Microbiology and Biotechnology 31, 153-164.
85. Yola, M.L., Eren, T. ve Atar, N. (2014). A novel efficient photocatalyst based on TiO₂ nanoparticles involved boron enrichment waste for photocatalytic degradation of atrazine. Chemical Engineering Journal, 250, 288-294.
86. Ong, C.B., Ng, L.Y. and Mohammad, A.W. (2018). A review of ZnO nanoparticles as solar photocatalysts: Synthesis, mechanisms and applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews 81(1), 536-55.
87. Lv, X., Hu, Z., Ren, J., Liu, Y., Wang, Z. and Yuan, Z. Y. (2019). Self-supported Al-doped cobalt phosphide nanosheets grown on three-dimensional Ni foam for highly efficient water reduction and oxidation. Inorganic Chemistry Frontiers, 6(1), 74-81.

88. Moulder, J.F., Stickle, W.F., Sobol, P.E. and Bomben, K.D. (1992). Handbook of X-Ray Photoelectron Spectroscopy; Chastain, J. Perkin-Elmer Corp., Eden Prairie, MN.
89. Cueto, L.F., Hirata, G.A. and Sánchez, E.M. (2006). Thin-film TiO₂ electrode surface characterization upon CO₂ reduction processes. *Journal of sol-gel science and technology*, 37(2), 105-109.
90. Bayat, A.E. and Shams, R. (2019). Appraising the impacts of SiO₂, ZnO and TiO₂ nanoparticles on rheological properties and shale inhibition of water-based drilling muds. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 581, 123792.
91. Piroozian, A., Ismail, I., Yaacob, Z., Babakhani, P. and Ismail, A.S.I. (2012). Impact of drilling fluid viscosity, velocity and hole inclination on cuttings transport in horizontal and highly deviated wells. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 2(3), 149-156.
92. Aftab, A., Ismail, A. R., Khokhar, S. and Ibupoto, Z. H. (2016). Novel zinc oxide nanoparticles deposited acrylamide composite used for enhancing the performance of water-based drilling fluids at elevated temperature conditions. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 146, 1142-1157.
93. Kasiralvalad, E. (2014). The great potential of nanomaterials in drilling & drilling fluid applications. *International Journal of Nano Dimension*, 5(5), 463-471.
94. Bayat, A.E., Moghanloo, P.J., Piroozian, A. and Rafati, R. (2018). Experimental investigation of rheological and filtration properties of water-based drilling fluids in presence of various nanoparticles. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 555, 256-263.
95. Özkan A, (2020). Effect of gold nanoparticle functionalized multi-walled carbon nanotubes on the properties of na-bentonite water based drilling fluid. *Fresenius Environmental Bulletin*, 29(1), 143-151.
96. Mohideen, A.A.M., Saheed, M.S.M. and Mohamed, N.M. (2019). Multiwalled carbon nanotubes and graphene oxide as nano-additives in water-based drilling fluid for enhanced fluid-loss-control & gel strength. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2151, No. 1, p. 020001). AIP Publishing.
97. Ismail, A. R., Aftab, A., Ibupoto, Z.H. and Zolkifile, N. (2016). The novel approach for the enhancement of rheological properties of water-based drilling fluids by using multi-walled carbon nanotube, nanosilica and glass beads. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 139, 264-275.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ASKER, Nilay Hayriye
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 16.07.1990, İskenderun
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : -
 Faks : -
 e-mail : askernilay@hotmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	İskenderun Teknik Üniversitesi / Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği	Devam Ediyor
Lisans	Kocaeli Üniversitesi / Kimya Mühendisliği	2013
Lise	İskenderun Barbaros Lisesi	2008

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2014 - 2015	Uğur Teneke Ambalaj Ve Plastik San. A.Ş.	Mühendis
2015 - 2017	Akm Matbaacılık Plastik Ambalaj Sanayi Ticaret Ltd. Şti	Mühendis
2017 - 2018	Hatboru Plastik Boru San. ve Tic. Ltd. Şti	Mühendis
2019 - Halen	ABC Deterjan San. Ve Tic. A.Ş.	Mühendis

Yabancı Dil

İngilizce – İyi

Yayınlar

Asker N.H., Özkan, V. ve Özkan, A. (2020). TiO₂ Nanopartikülü ile Fonksiyonelleştirilmiş Çok Katmanlı Karbon Nanotüpün Su Bazlı Sondaj Çamuruna Etkisinin Belirlenmesi: Deneysel Çalışma. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10(2): 1129-1138.

Bildiriler

Asker, N.H., Özkan, V. ve Özkan, A. (2019). Su Bazlı Sondaj Çamurunun Reolojik ve Filtrasyon Özelliklerine ZnO Nanopartikülü ile Fonksiyonelleştirilmiş Çok Katmanlı Karbon Nanotüpün Etkisinin Araştırılması. Presented at the Euro Asia 5th. International Congress on Applied Sciences, Adana. ISBN:978-625-7029-47-6. p: 139-147.



DİZİN

A

Akış Özellikleri · iv, vii, 24
akma noktası · 47
ARAŞTIRMA BULGULARI ·
44

B

balanced · 22
Basınç · 22
Bingham · 31

Ç

Çamur Terazisi · xii, 30
Çizelge · 44

D

Disperse · 21

E

Elek Analizi · xii, 40

F

Filtrasyon Testi · 33

H

hız · 25

J

Jel · 32
Jel Mukavemeti Testi · 32

K

Kayma Gerilmesi · xiii, 25, 29
Kayma Hızı · xiii, 24, 25
Kolemanit · x, 50, 51
kontrol · 23
kopma noktası · 32, 47
Kıyvu · 22, 23

N

Newtoniyen · x, 26, 29

O

oksit · 16
overbalanced" · 22

P

Petrol · 2, xiii, 65
Plastik · xiii, 32
pnömatik · 20

R

Resim · 46
rpm · 32

S

SEM · viii, xii, xiii, 46
Sondaj · vii, 20, 22, 30, 31, 42
Su Bazlı · 21

Ş

Şekil · xi, 45, 47, 48, 49, 51, 52,
53, 54, 55

U

Uçucu Kül · vii, viii
underbalanced" · 22

Ü

Üleksit · x, 50, 51

V

Viskozimetre · xii, 31
viskozite · 32, 47
Viskozite · xiii, 31, 32

X

XRD · viii
XRF · viii, xiii

Y

yağ bazlı · 20
Yoğunluk Testi · 30



TEKNOVERSİTE



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

İSTE

