



İSKENDERUN TEKNİK

ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK
LİSANS
TEZİ**

**PİRİNA BAZLI ÇEŞİTLİ KATKILARIN
SU BAZLI SONDAJ ÇAMURUNUN
REOLOJİK VE FİLTASYON
ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ**

Mehmet ÖZTEKİN

**PETROL VE DOĞALGAZ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**



**PİRİNA BAZLI ÇEŞİTLİ KATKILARIN SU BAZLI SONDAJ
ÇAMURUNUN REOLOJİK ve FİLTRASYON ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE
ETKİLERİ**

Mehmet ÖZTEKİN

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

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

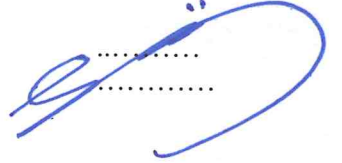
OCAK 2019

Mehmet ÖZTEKİN tarafından hazırlanan “PİRİNA BAZLI ÇEŞİTLİ KATKILARIN SU BAZLI SONDAJ ÇAMURUNUN REOLOJİK ve FİLTASYON ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ” 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. Yakup KAR

Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

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



Üye: Doç. Dr. Yasin YÜCEL

Kimya Bölümü Anabilim Dalı, Mustafa Kemal Üniversitesi

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



Üye: Dr. Öğr. Üyesi Bayram Ali MERT

Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

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



Tez Savunma Tarihi: 21/01/2019

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 görüntülediğinde 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.

İmza

Mehmet ÖZTEKİN

21/01/2019

PİRİNA BAZLI ÇEŞİTLİ KATKILARIN SU BAZLI SONDAJ ÇAMURUNUN REOLOJİK VE FİLTASYON ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Mehmet ÖZTEKİN

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2019

ÖZET

Bu çalışmada, Hatay yöresi zeytinyağı işletmelerinden temin edilmiş pirina hammaddesi, piroliz, öğütme ve çürük asit ile muamele gibi işlemlerden geçirilerek sırasıyla; pirolitik yağ, öğütülmüş pirina ve modifiye pirina olmak üzere üç farklı katkı maddesi elde edilmiştir. Bu katkı maddeleri tek başına su bazlı sondaj çamuruna ilave edilerek çamurun reolojik ve filtrasyon özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Ayrıca, sıcaklığın su bazlı sondaj çamurunun reolojik özellikleri üzerine etkisini araştırmak üzere kapsamlı bir çalışma yürütülmüştür. Katkılı ve katkısız su bazlı sondaj çamurlarının reolojik ve filtrasyon özelliklerini incelerken, çamur ağırlığı, viskozite, kopma noktası, jel mukavemeti, sıvı kaybı, kek kalınlığı ve pH gibi parametreler üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Sıcaklığın sondaj çamurunun reolojisine etkisini incelemek için 25 °C, 35 °C, 49 °C ve 66 °C sıcaklıklarda hazırlanan çamurlar kullanılmıştır.

Yapılan bu çalışmalar neticesinde, pirina bazlı katkı maddelerinin sondaj çamurunun reolojik ve filtrasyon özellikleri üzerine etkisinin genel olarak olumlu olduğu görülmüştür. Katkı miktarı arttıkça, katkı miktarı belli bir seviyeyi aştıktan sonra çamurun ağırlığının arttığı, viskozite ve kopma noktası değerlerinin genel olarak azaldığı, daha iyi bir jel yapısı oluştuğu, düşük bir sıvı kaybı meydana geldiği, ince ve geçirimsiz bir kek oluştuğu ve pH değerinin azaldığı görülmüştür. Sıcaklık arttıkça, çamurun viskozitesi, kopma noktası ve jel mukavemeti bazı sıcaklıklarda azalırken, bazı sıcaklıklarda artış göstermiştir. Sıcaklığın pH'a etkisi incelendiğinde ise, tüm katkılı ve katkısız çamurlarda sıcaklığın artırılmasıyla pH değerinin azaldığı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Su bazlı sondaj çamuru, pirina, pirolitik yağ, reolojik özellikler, filtrasyon kaybı.

Sayfa Adedi : 77

Danışman : Doç. Dr. Yakup KAR

EFFECTS OF OLIVE BAGASSE BASED VARIOUS ADDITIVES ON THE RHEOLOGICAL AND FILTRATION PROPERTIES OF WATER BASED DRILLING FLUIDS

(M. Sc. Thesis)

Mehmet ÖZTEKİN

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY
ENGINEERING AND SCIENCE INSTITUTE

January 2019

ABSTRACT

In this study, bagasse raw material, which was obtained from olive oil factories in Hatay region, was treated by processes like pyrolysis, grinding and treating with waste acid to obtain three different additives which are pyrolytic oil, grinded bagasse and modified bagasse, respectively. The effect of these additives on the rheological and filtration properties of drilling fluid was examined by adding these additives alone to water based drilling fluid. Moreover, a comprehensive study was carried out to investigate the effect of temperature on the rheological properties of drilling fluid. When examining the rheological and filtration properties of drilling fluid with and without additives, a number of studies were applied on some parameters such as mud weight, viscosity, yield point, gel strength, fluid loss, filter cake thickness and pH values. The drilling fluids were prepared at temperatures of 25 °C, 35 °C, 49 °C and 66 °C to investigate the effect of temperature on the rheology of drilling fluid.

As a result of these studies, it was generally seen that the bagasse based additives had a positive effect on the rheological and filtration properties of drilling fluid. As the amount of additive increases, it was seen that the mud weight increases after the amount of additive exceeds at a certain level, viscosity and yield point generally decrease, a better gel structure forms, a low fluid loss occurs, a thin and impermeable filter cake forms and pH value decreases. As the temperature increases, the viscosity, yield point and gel strength of the drilling fluid have a tendency of decreasing and increasing at different temperatures. When analyzing the effect of temperature on the pH value, it was observed that the pH value decreased with the increase of temperature in all of the drilling fluids with and without additives.

Key Words : Water based drilling fluid, olive bagasse, pyrolytic oil, rheological properties, filtration loss.

Page Number : 77

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Yakup KAR

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez konusunun belirlenmesinde, araştırılması ve yazımı sırasında sahip olduğu bilgi birikimi ve tecrübesi ile benden her türlü yardımı esirgemeyen ve yol gösteren saygıdeğer danışman hocam Sayın Doç. Dr. Yakup KAR'a tüm içtenliğimle teşekkür ederim. İskenderun Teknik Üniversitesi Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Bölüm hocalarına ve laboratuvar çalışmalarında benden yardımını esirgemeyen araştırma görevlisi Sayın Emine AVCI'ya teşekkürlerimi sunarım. Tüm öğrenim hayatım boyunca maddi, manevi büyük fedakârlıklar yaparak benim bu noktaya gelmemi sağlayan babam M. Şerif ÖZTEKİN, annem Erdihan ÖZTEKİN ve tüm kardeşlerime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE.....	2
2.1. Sondaj Çamurunun Tanımı ve Tarihçesi.....	2
2.2. Sondaj Çamurunun Görevleri	2
2.2.1. Formasyon basıncını kontrol etmek.....	3
2.2.2. Matkabın ve sondaj takımlarının yağlanması ve soğutulması	3
2.2.3. Kuyuyu kesintilerden temizlemek ve kesintileri askıda tutmak	3
2.2.4. Sondaj ve muhafaza borusu dizisi ağırlığının taşınmasına yardımcı olmak.....	3
2.2.5. Korozyona karşı koruma	3
2.3. Sondaj Çamurunun Değerlendirmesi	4
2.3.1. Delme hızı	4
2.3.2. Kuyu stabilitesi	4
2.3.3. Formasyon değerlendirme.....	4
2.3.4. Üretken zonun kirlenmesi	4
2.3.5. Korozyon.....	5
2.3.6. Maliyet	5

	Sayfa
2.4. Sondaj Çamuru Tipleri	5
2.4.1. Su esaslı çamurlar	5
2.4.2. Organik esaslı çamurlar.....	6
2.4.3. Gaz esaslı çamurlar	7
2.5. Sondaj Çamurunun Özellikleri.....	7
2.5.1. Çamur ağırlığı	7
2.5.2. Sıvı kaybı özelliği	8
2.5.3. Reolojik özellikler.....	8
2.5.4. Kimyasal özellikler	15
2.6. Sondaj Çamuru Test Yöntemleri.....	17
2.6.1. Fiziksel özelliklerin ölçülmesi	17
2.6.2. Kimyasal özelliklerin ölçülmesi.....	21
3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	26
4. MATERYAL VE YÖNTEM	42
4.1. Materyal	42
4.2. Yöntem.....	42
4.2.1. Ön iyileştirme işlemi	42
4.2.2. Su bazlı sondaj çamurlarının hazırlanışı	44
4.2.3. Su bazlı sondaj çamurlarının reolojik ve filtrasyon özelliklerinin incelenmesi	44
5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	45
5.1. Su Bazlı Sondaj Çamurunun Reolojik ve Filtrasyon Özellikleri	45
5.1.1. Çamur ağırlığı	45
5.1.2. Çamurların viskozite, kopma noktası ve jel mukavemeti değerleri.....	48

	Sayfa
5.1.3. Çamurların sıvı kaybı, kek kalınlığı ve pH değerleri.....	54
5.2. Sıcaklığın Su Bazlı Sondaj Çamurlarının Reolojik Özellikleri Üzerine Etkisi...	60
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	70
KAYNAKLAR	72
ÖZGEÇMİŞ	76
DİZİN.....	77



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Akışkanların reolojik olarak sınıflandırılması	9
Çizelge 2.2. pH-alkalinite ilişkisi.....	16
Çizelge 2.3. Versenate Çözeltisi Katsayıları.....	24
Çizelge 3.1. Tamarind sakızı maddesinin çamurun reolojik özelliklerine etkisi.....	34
Çizelge 3.2. Sondaj çamurunun aktive edilmiş kömür ilave edilmeden önceki reolojik ve filtrasyon özellikleri	38
Çizelge 3.3. Sondaj çamurunun aktive edilmiş kömür ilave edildikten sonraki reolojik ve filtrasyon özellikleri	38
Çizelge 5.1. 25 °C’de katkısız çamurun çamur ağırlığı değeri	45
Çizelge 5.2. 25 °C’de pirolitik yağ eklenen çamurun çamur ağırlığı değerleri	45
Çizelge 5.3. 25 °C’de modifiye pirina eklenen çamurun çamur ağırlığı değeri.....	45
Çizelge 5.4. 25 °C’de öğütülmüş pirina eklenen çamurun çamur ağırlığı değerleri.....	46
Çizelge 5.5. 25 °C’de katkısız çamurun viskozite, kopma noktası ve jel mukavemeti değerleri	49
Çizelge 5.6. 25 °C’de öğütülmüş pirina eklenen çamurun viskozite, kopma noktası ve jel mukavemeti değerleri	49
Çizelge 5.7. 25 °C’de modifiye pirina eklenen çamurun viskozite, kopma noktası ve jel mukavemeti değerleri	49
Çizelge 5.8. 25 °C’de pirolitik yağ eklenen çamurun viskozite, kopma noktası ve jel mukavemeti değerleri	50
Çizelge 5.9. 25 °C’de katkısız çamurun sıvı kaybı, kek kalınlığı ve pH değerleri	54
Çizelge 5.10. 25 °C’de pirolitik yağ eklenen çamurun sıvı kaybı, kek kalınlığı ve pH değerleri	54
Çizelge 5.11. 25 °C’de öğütülmüş pirina eklenen çamurun sıvı kaybı, kek kalınlığı ve pH değerleri	54
Çizelge 5.12. 25 °C’de modifiye pirina eklenen çamurun sıvı kaybı, kek kalınlığı ve pH değerleri	55

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.13. Farklı sıcaklıklarda alınan katkısız çamurun viskozite, kopma noktası, jel mukavemeti ve pH değerleri.....	60
Çizelge 5.14. Farklı sıcaklıklarda alınan modifiye pirina katkılı çamurun viskozite, kopma noktası, jel mukavemeti ve pH değerleri	61
Çizelge 5.15. Farklı sıcaklıklarda alınan pirolitik yağ katkılı çamurun viskozite, kopma noktası, jel mukavemeti ve pH değerleri	61
Çizelge 5.16. Farklı sıcaklıklarda alınan öğütülmüş pirina katkılı çamurun viskozite, kopma noktası, jel mukavemeti ve pH değerleri	61



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Sondaj çamurunda jel tipleri.....	10
Şekil 3.1. Yağlayıcıların ayrı ayrı ilave edilmesiyle oluşan çamurun sürtünme katsayısı grafiği	26
Şekil 3.2. Yağlayıcıların dizelle birlikte ilave edilmesiyle oluşan çamurun sürtünme katsayısı grafiği	27
Şekil 3.3. Yağlayıcıların ağır ham petrolle birlikte ilave edilmesiyle oluşan çamurun sürtünme katsayısı grafiği	27
Şekil 3.4. Yağlayıcıların hafif ham petrolle birlikte ilave edilmesiyle oluşan çamurun sürtünme katsayısı grafiği	28
Şekil 3.5. Yağlayıcıların tek başına ilave edilmesiyle oluşan çamurun plastik viskozite değerleri.....	28
Şekil 3.6. Yağlayıcıların tek başına ilave edilmesiyle oluşan çamurun kopma noktası değerleri	29
Şekil 3.7. Yağlayıcıların tek başına ilave edilmesiyle oluşan çamurun sıvı kaybı değerleri	29
Şekil 3.8. Sondaj çamurunun viskozitesinin zamana göre değişimi.....	30
Şekil 3.9. Sondaj çamurunun değişen kayma hızlarındaki viskozitesinin zamana göre değişimi.....	31
Şekil 3.10. Sondaj çamurunun 120 °F'taki jel mukavemeti değerleri	31
Şekil 3.11. Jatropha yağı ilave edilen çamurun reolojik özelliklerindeki değişimi gösteren grafik.....	32
Şekil 3.12. Jatropha yağı ilave edilen çamurun sıvı kaybı değerleri	33
Şekil 3.13. Jatropha yağı ve dizel yağının çamurun sürtünme katsayısına etkisi	33
Şekil 3.15. Soya yağlı ve dizel yağlı sondaj çamurunun viskozite değerlerinin karşılaştırılması.....	34
Şekil 3.16. Soya yağlı ve dizel yağlı sondaj çamurunun jel mukavemeti değerlerinin karşılaştırılması.....	35
Şekil 3.17. Soya yağlı ve dizel yağlı sondaj çamurunun sıvı kaybı değerlerinin karşılaştırılması.....	35

Şekil	Sayfa
Şekil 3.18. Soya yağlı ve dizel yağlı sondaj çamurunun kek kalınlığı değerlerinin karşılaştırılması.....	36
Şekil 3.19. Karbon külünün çamurun görünür ve plastik viskozitelerine etkisi.....	36
Şekil 3.20. Karbon külünün çamurun kopma noktasına etkisi	37
Şekil 3.21. Karbon külünün çamurun yoğunluğuna etkisi.....	37
Şekil 4.1. Ham pirinanın bazı işlemlerden geçirilmesiyle oluşan katkı maddeleri.....	43
Şekil 5.1. Pirolitik yağ eklenen çamurun çamur ağırlığı değerleri	46
Şekil 5.2. Modifiye pirina eklenen çamurun çamur ağırlığı değerleri.....	47
Şekil 5.3. Öğütülmüş pirina eklenen çamurun çamur ağırlığı değerleri.....	47
Şekil 5.4. Çamurların farklı kayma gerinmesi hızlarındaki kayma gerilmeleri.....	48
Şekil 5.5. Pirolitik yağ eklenen çamurun viskozite ve kopma noktası değerleri	50
Şekil 5.6. Pirolitik yağ eklenen çamurun jel mukavemeti değerleri.....	51
Şekil 5.7. Öğütülmüş pirina eklenen çamurun viskozite ve kopma noktası değerleri....	52
Şekil 5.8. Öğütülmüş pirina eklenen çamurun jel mukavemeti değerleri.....	52
Şekil 5.9. Modifiye pirina eklenen çamurun viskozite ve kopma noktası değerleri.....	53
Şekil 5.10. Modifiye pirina eklenen çamurun jel mukavemeti değerleri.....	53
Şekil 5.11. Pirolitik yağ eklenen çamurun sıvı kaybı değerleri	55
Şekil 5.12. Pirolitik yağ eklenen çamurun kek kalınlığı değerleri.....	56
Şekil 5.13. Pirolitik yağ eklenen çamurun pH değerleri	57
Şekil 5.14. Öğütülmüş pirina eklenen çamurun sıvı kaybı değerleri.....	57
Şekil 5.15. Öğütülmüş pirina eklenen çamurun kek kalınlığı değerleri	58
Şekil 5.16. Öğütülmüş pirina eklenen çamurun pH değerleri.....	58
Şekil 5.17. Modifiye pirina eklenen çamurun sıvı kaybı değeri.....	59
Şekil 5.18. Modifiye pirina eklenen çamurun kek kalınlığı değeri.....	59
Şekil 5.19. Modifiye pirina eklenen çamurun pH değeri.....	60

Şekil	Sayfa
Şekil 5.20. Katkısız çamurun farklı sıcaklıklardaki viskozite ve kopma noktası değerleri	62
Şekil 5.21. Katkısız çamurun farklı sıcaklıklardaki jel mukavemeti değerleri.....	62
Şekil 5.22. Katkısız çamurun farklı sıcaklıklardaki pH değerleri.....	63
Şekil 5.23. Modifiye pirina eklenen çamurun farklı sıcaklıklardaki viskozite ve kopma noktası değerleri	64
Şekil 5.24. Modifiye pirina eklenen çamurun farklı sıcaklıklardaki jel mukavemeti değerleri.....	64
Şekil 5.25. Modifiye pirina eklenen çamurun farklı sıcaklıklardaki pH değerleri	65
Şekil 5.26. Pirolitik yağ eklenen çamurun farklı sıcaklıklardaki viskozite ve kopma noktası değerleri	66
Şekil 5.27. Pirolitik yağ eklenen çamurun farklı sıcaklıklardaki jel mukavemeti değerleri.....	66
Şekil 5.28. Pirolitik yağ eklenen çamurun farklı sıcaklıklardaki pH değerleri.....	67
Şekil 5.29. Öğütülmüş pirina eklenen çamurun farklı sıcaklıklardaki viskozite ve kopma noktası değerleri	68
Şekil 5.30. Öğütülmüş pirina eklenen çamurun farklı sıcaklıklardaki jel mukavemeti değerleri.....	68
Şekil 5.31. Öğütülmüş pirina eklenen çamurun farklı sıcaklıklardaki pH değerleri	69

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
AgNO₃	Gümüş nitrat
AV, μ_a	Görünür viskozite (cp)
°C	Santigrat derece
Ca⁺⁺	Kalsiyum iyonu konsantrasyonu
CaCl	Kalsiyum klorür
cm³	Santimetre küp
cp	Centipoise
C_{versenate}	Harcanan versenate çözeltisine göre kullanılan katsayı
EPM	Equivalents-per-million
°F	Fahrenayt derece
ft/sec²	Feet/saniye kare
g	Yerçekimi ivmesi (ft/sec ²)
g/cm³	Gram/santimetre küp
H⁺	Hidrojen iyonu konsantrasyonu
H₂O	Dihidrojen monoksit
K	Kıvam faktörü
kg/m³	Kilogram/metre küp
kg-f/m³	Kilogram-kuvvet/metre küp
kPA	Kilo Pascal
Kw	İyonizasyon denge sabiti
lb/bbl	Libre/varil
lb/100 ft²	Libre/100 feet kare
lb/ft³	Libre/feet küp
lb-f/ft³	Libre-kuvvet/feet küp
lb/gal	Libre/galon
lb-f/gal	Libre-kuvvet/galon
lb-m/ft³	Libre-kütle/feet küp

lb-m/gal	Libre-kütle/galon
lb-sⁿ/100 ft²	Libre-saniye ⁿ /100 feet kare
lb-sec^B/100 ft²	Libre-saniye ^B /100 feet kare
m, n	Akış davranış indeksleri
M_f	Metiloranj alkalinitesi
Mg⁺⁺	Magnezyum iyonu konsantrasyonu
mg/L	Miligram/litre
mL	Mililitre
mm	Milimetre
mPA.s	Mili Pascal saniye
N	Normalite
NaCl	Sodyum klorür
NaOH	Sodyum hidroksit
N/m²	Newton/metre kare
OH⁻	Hidroksit iyonu konsantrasyonu
Pa	Pascal
Pa.s	Pascal saniye
P_f	Fenolfitaleyin alkalinitesi
pH	Power of hydrogen
P_m	Çamur alkalinitesi
psi	Pounds per inch square
PV, μ_p	Plastik viskozite, cp
rpm	Round per meter
SG	Özgül ağırlık
s⁻¹	Saniye ⁻¹
τ	Kayma gerilmesi (lb/100 ft ²)
τ_{mak}	Maksimum kayma gerilmesi (lb/100 ft ²)
τ_{min}	Minimum kayma gerilmesi (lb/100 ft ²)
V_{Ca}	Harcanan versenate çözültisi miktarı
V_{toplam}	Harcanan versenate çözültisi miktarı
v/v %	Hacim/hacim yüzdesi
wt %	Ağırlık yüzdesi
γ	Kayma gerinmesi hızı (s ⁻¹)
γ_{mak}	Maksimum kayma gerinmesi hızı (s ⁻¹)

γ_{\min}	Minimum kayma gerinmesi hızı (s^{-1})
YP, γ_p	Kopma noktası (lb/100 ft ²)
ZnO	Çinko oksit

Kısaltmalar

Açıklamalar

API	American Petroleum Institute
CMC	Karboksi metil selüloz
COF	Sürtünme katsayısı
CTAB	Hekzadesil trimetil amonyum bromit
IO	Internal olefin
LAB	Lineer alkali benzen
LAO	Lineer α – olefin
LGC	Lignin graft copolymer
LP	Lineer parafin
MBT	Metilen mavisi kapasitesi testi
MMH/MMO	Karıştırılmış metal hidroksit/karıştırılmış metal oksit
OFITE INC.	Oil Field Testing Equipment Incorporated
PAC	Poli anyonik selüloz
PAO	Poli α - olefin
PHPA	Kısmi - hidrolize poliakrilamid
SPE	Society of Petroleum Engineers
TP	Türkiye Petrolleri

1. GİRİŞ

Bu tez çalışmasında, sondaj çamurunun sondaj operasyonlarında en etkili biçimde kullanılabilmesi açısından geliştirilen biyokütle tabanlı hammaddelerin sondaj çamurunun reolojisi üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Petrol ve sentetik bazlı sondaj çamurları, su bazlı sondaj çamurlarına göre genellikle daha düşük sürtünme ve tork değerleri meydana getirmeleri sebebiyle bazı sondaj operasyonlarında kullanılan çamur tipleridir. Ancak, bu çamurların kullanımı, yüksek maliyetli olmaları ve çevre dostu olmadıkları için sınırlıdır. Su bazlı sondaj çamurları ise, düşük maliyetli ve çevre dostu olmaları sebebiyle sondaj operasyonlarında en çok tercih edilen çamur çeşididir. Su bazlı sondaj çamurlarını en az diğer çamur çeşitleri kadar etkili bir hale getirebilmek için son zamanlarda birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden biri de, su bazlı sondaj çamurunu biyokütle tabanlı çeşitli katkılarla desteklemektir. Bu çalışmada kullanılan katkı maddesi ise, biyokütle tabanlı olan zeytinyağı posasından elde edilen pirina hammaddesidir.

Şu ana kadar yapılan geniş çaplı literatür taramaları neticesinde, biyokütle tabanlı pirina hammaddesinin piroliz gibi çeşitli işlemlerden geçirilerek sondaj çamurunun reolojisine etkisi bakımından incelenmiş herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu durum göz önünde bulundurularak, hem bu alandaki eksikliği gidermek, hem de ilgili literatüre katkı sağlamak amacıyla, biyokütle tabanlı, çevresel etki ve maliyet bakımından en uygun ve ülkemizde de bolca bulunan pirina hammaddesi üzerinde çalışma yapılması planlanmıştır.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1. Sondaj Çamurunun Tanımı ve Tarihçesi

Amerikan Petrol Enstitüsünün (API) tanımına göre sondaj çamuru, sondaj operasyonunda ihtiyaç duyulan farklı fonksiyonların bir kısmını veya tamamını yerine getirmek amacıyla kullanılan değişik katkı maddeleriyle desteklenmiş su, organik veya gaz esaslı bir sirkülasyon akışkanıdır (Awele, 2014; Fink, 2011; Gücüyener, 2009).

Sondaj çamuru, rotary sondaj operasyonlarının ilk yıllarında kullanılmış, doğal çamur olarak bilinen sadece su ve yerel killerden oluşmuştur. Ancak 1920'li yıllarda, doğal çamura demir oksit ve barit gibi yoğunluk arttırıcı maddeler katılarak formasyon basıncını kontrol etmek amaçlanmıştır (Barrett, 2013). 1920'li yılların sonlarına doğru ise, çamurun ağırlığını kontrol etmek için barit, kuyu temizliği ve çamuru askıda tutabilmek için de bentonit kullanılmıştır. 1930'lu yıllarda Baroid Sales Company gibi servis şirketlerinin kurulmasıyla, çamurun viskozite ve sıvı kaybı kontrolü gibi çeşitli problemlerine çözüm olarak bazı ürünler geliştirilmiştir (Caenn, 2018). Bu ürünlere, viskozite kontrolü için bazı inorganik incelticiler, sıvı kaybı kontrolü için ise CMC (karboksi metil selüloz) gibi maddeler örnek verilebilir.

Daha sonraki yıllarda geliştirilen bazı sistemlere bakıldığında sondaj çamuru teknolojisinde epey gelişme olduğu görülmektedir. Örneğin, düşük katı maddeli sistemler geliştirilerek sondaj hızını arttırmak amaçlanmıştır. Bir diğer gelişme ise, kuyu stabilitesini kontrol etmek amacıyla geliştirilen petrol bazlı sistemlerdir. Aynı zamanda, çevre kirlenmesini engelleyecek türde geliştirilen sistemler de bu gelişmelere örnek verilebilir. Çevre korumaya yönelik yasal yaptırımların sonucunda ortaya çıkan maliyet sorunu gibi birçok sorunlara da yeni ve daha etkin çözüm yöntemleri geliştirilmektedir (Türkiye Petrolleri [TP], 2007: 1).

2.2. Sondaj Çamurunun Görevleri

Sondaj çamuru, sondaj operasyonlarındaki birçok işlevi yerine getirmektedir. Bunlardan başlıcaları şu şekilde özetlenebilir.

2.2.1. Formasyon basıncını kontrol etmek

Çamurun ağırlığından dolayı oluşan hidrostatik basınç, formasyon basıncını dengeleyerek, formasyondan gelen akışkanların kuyu içine akmasını sağlar (Awele, 2014; Nwaiche, 2015).

2.2.2. Matkabın ve sondaj takımlarının yağlanması ve soğutulması

Sirkülasyon halinde bulunan sondaj çamuru, matkabın kuyu dibinde çalışması esnasında sürtünmeden dolayı oluşan ısıyı soğutma görevi üstlenir. Ayrıca, sondaj ekipmanlarının etrafını ince bir film halinde kaplayarak ekipmanların kullanım sürelerini uzatır (Wacunzo, 2012; Baker Huges, 2006).

2.2.3. Kuyuyu kesintilerden temizlemek ve kesintileri askıda tutmak

Sondaj çamurunun en önemli görevlerinden biri de kuyu dibinde matkap tarafından kesilen kayaç parçalarının yüzeye taşınarak tabanın devamlı temiz tutulması ve matkabın rahat çalışmasını sağlamaktır. Sirkülasyonun kesildiği bazı durumlarda ise, anülüsteki kesintiler askıda tutularak dibe çökmeleri önlenir ve böylece takım sıkışmalarının önüne geçilmiş olur (Wacunzo, 2012).

2.2.4. Sondaj ve muhafaza borusu dizisi ağırlığının taşınmasına yardımcı olmak

Sondaj çamuru, sondaj ve muhafaza borusu dizisi ağırlığını taşımada yüzey kule ekipmanlarına yardımcı olarak bütün yükün ekipmanların üzerine kalmamasını sağlar. Dolayısıyla, sondaj operasyonunda derinlere inildikçe sondaj çamurunun kaldırma kuvveti daha çok önem taşır. Sondaj çamuru, sondaj ve muhafaza borusu ağırlığını kaldırma kuvveti oranında taşıyacağı için, sondaj çamurunun yoğunluğu arttıkça daha büyük kaldırma kuvveti meydana gelecektir (Baker Huges, 2006).

2.2.5. Korozyona karşı koruma

Sondaj çamuru temel olarak koroziv değildir. Ancak, sondaj çamurunda korozyon genellikle formasyonlardan gelen karbondioksit, hidrojen sülfid, oksijen veya bakteri

etkinliği sonucunda oluşabilmektedir. Formasyonlardan gelen bu etmenleri yok etmek için sondaj çamuruna korozyon önleyici bazı kimyasal maddeler katılır (Annis ve Smith, 1974; Baker Hugues, 2006).

2.3. Sondaj Çamurunun Değerlendirmesi

Sondaj çamuru değerlendirilirken aşağıda yer alan başlıca etmenler göz önünde bulundurulmalıdır.

2.3.1. Delme hızı

Delme hızını etkileyen önemli faktörler çamur tipi ve çamur özellikleridir. Delme hızının belli seviyede kalması için, çamur ağırlığı, viskozite ve sıvı kaybı gibi özellikler optimum seviyede tutulmalıdır (TP, 2007: 2).

2.3.2. Kuyu stabilitesi

İyi bir sondaj çamuru, şişmiş ve çamurlu formasyonları kontrol ederek ve dolayısıyla sondaj dizisi sıkışma risklerini azaltarak kuyu stabilitesini sağlayabilmelidir (Chemwotei, 2011; Finger and Blankenship, 2010). Kuyuda oluşabilecek herhangi bir stabilite sorununun önüne geçebilmek için geçilen formasyonlara uygun özellikte çamur kullanılmalıdır.

2.3.3. Formasyon değerlendirme

Sondaj esnasında formasyonlar delinirken jeologlar tarafından kuyu logları alınmaktadır. Çamur tipine göre hangi tür logların kullanılacağı belirlenir. Sondaj çamuru tarafından yüzeye taşınan sondaj kesintileri formasyon hakkında bilgi toplamak için analiz edilir. (Annis ve Smith, 1974; Awele, 2014).

2.3.4. Üretken zonun kirlenmesi

Sondaj operasyonunda kullanılan çamurun özelliği, formasyon zonunun litolojik yapısı ile uyumlu olmak zorundadır. Uyumlu olmadığı takdirde üretken zonun kirlenmesine ve

dolayısıyla geçirgenliğinin azalmasına neden olur. Bu durumda da, üretken zonun üretkenliği azalmış olur (TP, 2007: 2).

2.3.5. Korozyon

Düşük pH'lı, tuzlu ve dağınık olmayan sondaj çamurlarının tatlı su sistemlerine göre koroziv etkisi daha fazladır. Çamurun koroziv etkisini azaltmak için korozyon kontrolü yapılmalıdır (Baker Huges, 2006). Korozyonu kontrol etmenin en etkili yöntemlerinden biri, sondaj çamurunun alkalinitesini yüksek tutmaktır. pH değerinin 10'un üzerinde tutulması, korozyonda önemli ölçüde azalma meydana getirir (Annis ve Smith, 1974).

2.3.6. Maliyet

Çamurun birçok önemli görevi vardır ve bu görevleri başarılı bir şekilde yerine getirmesi için de yeterli kriterlere sahip olması gerekir. Ancak bu kriterleri sağlamak doğal olarak maliyeti de artırmaktadır. Dolayısıyla sondaj çamurunu değerlendirirken bu maliyeti, toplam sondaj operasyonunun performansının ve rezervuarın üretkenliğinin devamlılığı için yapılan iyileştirmeler dikkate alınarak, makul sınırlar içinde tutmak gerekir (TP, 2007: 2).

2.4. Sondaj Çamuru Tipleri

Sondaj operasyonları esnasında karşılaşılan güçlükler, uygun çamur kullanımı için bazı teknikler geliştirilmesine yol açmıştır. Bu nedenle sondaj çamurları kendi içerisinde su esaslı, organik esaslı ve gaz esaslı olmak üzere üç ana gruba ayrılmıştır (Awele, 2014).

2.4.1. Su esaslı çamurlar

Su esaslı çamurlar; temel olarak su, kil ve diğer kimyasallardan oluşur. Diğer kimyasalların türü ve miktarı, kuyudaki yerel şartlara ve tuz konsantrasyonuna bağlıdır. Kilin temel görevi ise; çamurun sondaj kesintilerini askıda tutabilmesini sağlamak ve formasyon üzerinde film oluşturarak sıvı kaybını azaltmaktır (Abdou, Alsabagh, Aboulrous ve Mahmoud, 2015). Çevresel etki ve maliyet açısından sondaj operasyonlarında en çok tercih edilen çamur türüdür (Dhiman, 2012; Awele, 2014). Su

esaslı çamurlar, kendi içerisinde reaktif ve inhibitiv çamurlar olmak üzere aşağıdaki gibi sınıflandırılır (Gücüyener, 2009).

1. Reaktif Çamurlar
 - a. Bentonit Çamuru
 - b. Lignosülfonat Çamuru
 - c. Düşük Katı Maddeli (Non-Dispersed) Çamur
2. İnhibitiv Çamurlar
 - a. Kalsiyum Çamurları
 - b. Tuzlu Su Çamurları
 - c. Potasyum/PHPA Çamuru
 - d. Alüminyum Çamuru
 - e. Katyonik Polimer Çamuru
 - f. Glikol Çamuru
 - g. Silikat Çamuru
 - h. MMH/MMO Çamuru

2.4.2. Organik esaslı çamurlar

Organik esaslı çamurlar, sürekli bir faz olarak petrol ve sentetiklerden oluşur. Bu tip çamurlar, yüksek sıcaklıklı formasyonlarda, suya duyarlı şeyllerde, düşük gözenek basınçlı formasyonlarda ve kalın tuz kesitlerinde tercih edilir. Ancak, çevre koruma ve güvenliği için ihtiyatlı kullanılmayı gerektirir (Dhiman, 2012). Bu tip çamurlar su esaslı çamurların kullanımının yetersiz olduğu durumlar için geliştirilmiştir (Khodja, Saber, Canselier, Cohaut ve Bergaya, 2010; Chilingarian ve Vorabutr, 1981; Nwaiche, 2015). Organik esaslı çamurlar, petrol ve sentetik çamur olmak üzere aşağıdaki gibi sınıflandırılır (TP, 2007: 3).

1. Petrol Çamuru
2. Sentetik Çamur
 - a. Birinci Kuşak Sentetik Çamurlar
 - Ester Bazlı Çamur
 - Eter Bazlı Çamur
 - Asetal Bazlı Çamur

- PAO (Poly α -Olefin) Bazlı Çamur
- b. İkinci Kuşak Sentetik Çamurlar
 - Lineer Alkali Benzen (LAB) Bazlı Çamur
 - Lineer α -Olefin (LAO) Bazlı Çamur
 - Internal Olefin (IO) Bazlı Çamur
 - Lineer Parafin (LP) Bazlı Çamur

2.4.3. Gaz esaslı çamurlar

Gaz esaslı çamurlar; gaz, gazlı çamur ve sulu köpüklerden oluşan bir çamur türüdür (Khodja ve diğerleri, 2010; Coussot ve ark., 2004). Bu tip çamurlar, sirkülasyon kaybı potansiyelinin olduğu formasyonlar için önerilir. Ayrıca, bu tip çamurlar penetrasyon hızını iyileştirme, sirkülasyon kaybının olduğu tabakaları daha iyi kontrol edebilme ve formasyonlara daha az zarar verme gibi özellikleriyle bilinir. Ancak, gaz esaslı çamurlar (özellikle kuru hava ve doğalgazlı), yangına neden olma ve kuyu içi ekipmanlarını korozyona uğratma gibi etmenlerden sorumludur (Dhiman, 2012; Azar ve Samuel, 2007).

2.5. Sondaj Çamurunun Özellikleri

Sondaj çamurunun belirli bir fonksiyonu yerine getirebilmesi amacıyla bir çamur sistemi dizayn edilirken, çamurun fiziksel ve kimyasal özelliklerinin ölçülmesi gerekir (Awele, 2014). Sondaj esnasında herhangi bir problem oluşmaması için çamur özellikleri birtakım testler uygulanarak kontrol edilir ve belirlenen uygun değerlerde tutulur (Dhiman, 2012). Bu özellikler temel olarak aşağıdaki gibi incelenebilir.

2.5.1. Çamur ağırlığı

Çamur ağırlığı, sondaj operasyonu esnasında kontrol edilen ilk ve en önemli parametrelerden biridir ve saha birimi olarak lb/gal ile ifade edilir (Dhiman, 2012). Sondaj kuyusunun çökmesini engellemek için yeterli bir hidrostatik basınç gerektirir ve dolayısıyla formasyon akışkanının kuyuya akmasını engeller. Formasyon kesintilerinden daha yüksek yoğunluğa sahip sondaj çamurları, kuyu çeperininin daha hızlı ve daha kolay temizlenmesini sağlar (Nwaiche, 2015). Çamur ağırlığı, su ilave edilerek azaltılabilir veya

barit gibi yüksek özgül ağırlığa sahip katkılarla arttırılabilir (Chemwotei, 2011; U.S. Army Corps of Engineers, 2001).

2.5.2. Sıvı kaybı özelliği

İyi bir sondaj çamuru, formasyon ve kuyu çeperi arasındaki boşluğu sarabilmek için az geçirgenli bir yapıya sahip olmalıdır (Nwaiche, 2015). Sondaj çamurunun hidrostatik basıncının formasyon gözenek basıncından yüksek olduğu durumlarda, çamurdaki askıda kalmış katılar çamurun sıvı fraksiyonu ile birlikte formasyonun gözeneklerine doğru hareket ederler, fakat gözenek boyutuna uygun büyüklükteki parçacıklar, gözenekleri tıkamaya başlar ve bu şekilde bir kek oluşur. Gözeneği tıkayan parçacıkların arasını dolduran daha küçük parçacıklar ise sadece sıvının geçebileceği bir alan oluştururlar ve bu olay da filtrasyon olarak bilinir (Altun, Osgouei ve Serpen, 2013). Sondaj esnasında iki tip filtrasyon meydana gelmektedir. Bunlardan ilki statik filtrasyondur ve kuyuda çamur sirkülasyonu olmadığı zamanlarda oluşur. Sirkülasyon olmadığı için oluşan kek doğal olarak zamanla kalınlaşır ve filtrasyon hızı azalır. Bir diğer filtrasyon tipi de dinamik filtrasyon olarak bilinir ve çamur anülüste sirküle edildiği zaman oluşur (Awele, 2014; TP, 2007: 5).

Çamur sirkülasyonu durdurulduğunda, kek oluşumu artar ve filtrasyon miktarı zamanın karekökü ile doğrusal bir şekilde davranış gösterir (Altun ve diğerleri, 2013). Çamurun sirkülasyonu başladığında ise çamur keki zaman içinde bir denge kalınlığına ulaşana kadar gelişmeye devam eder ve daha sonra kek kalınlığı ve filtrasyon hızı sabitleşir. Kek oluşumunda her zaman istenen şey formasyon yüzeyinde oluşan kekin ince ve az geçirgenli bir kek olmasıdır (Annis ve Smith, 1974). Çünkü ince ve az geçirgenli bir kek oluşumu dizi sıkışması ve kuyu stabilitesi gibi önemli sondaj problemlerinin önlenmesini sağlar ve aynı zamanda üretken formasyonların kirlenmemesi ve kuyu loglarının doğru bir şekilde değerlendirilmesine imkân verir (TP, 2007: 5).

2.5.3. Reolojik özellikler

Reoloji, maddenin akışını ve deformasyonunu inceleyen uygulamalı bir bilim dalıdır (Dhiman, 2012). Sondaj çamuru performansının en önemli parametrelerinden biri olan reolojinin modifikasyonu ile takım sıkışması, sirkülasyon kaybı ve formasyon hasarı gibi

birçok sondaj problemlerine çözüm getirilebilir (Alyasiri, Antony ve Wen, 2017). Reoloji, akışkanları viskoz ve viskoelastik akışkanlar olmak üzere iki kısımda inceler. Viskoz akışkanlarda deformasyon geri dönüşümlü değildir, yani deformasyona neden olan durum ortadan kalktığında akışkan deformasyon öncesi haline geri dönemez (TP, 2007: 9). Viskoelastik akışkanlarda ise akışkan viskoz ve elastik özellikleri birlikte bünyesinde bulundurduğu için akış esnasında oluşan deformasyon elastik dönüşümlüdür (Awele, 2014). Çizelge 2.1’de görüldüğü gibi, viskoz akışkanlar kendi içerisinde kararlı ve kararsız akışkanlar olmak üzere iki gruba ayrılırlar.

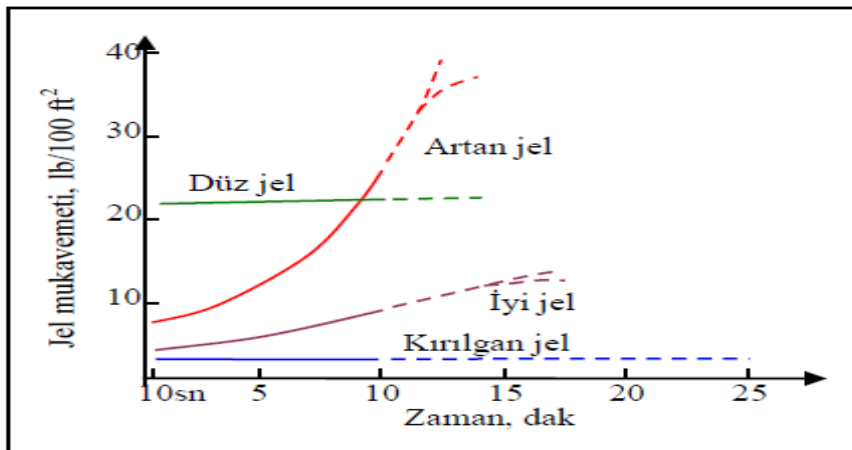
Çizelge 2.1. Akışkanların reolojik olarak sınıflandırılması (TP, 2007: 9)

Viskoz Akışkanlar	Kararlı Akışkanlar	Newtoniyen	Non - Newtoniyen
		Psedoplastik	
		Dilatent	
		Bingham Plastik	
		Kopma Gerilmeli Dilatent	
		Kopma Gerilmeli Psedoplastik	
	Kararsız Akışkanlar	Tikzotropik	
		Reopektik	
Viskoelastik Akışkanlar			

Sondaj çamurunun reolojik davranışı

Sondaj çamuru, Çizelge 2.1’de verilen reolojik sınıflandırma içerisinde, yapısı gereği non-Newtoniyen akışkanlar sınıfına girer ve genellikle bir kopma gerilmesine sahip olmakla birlikte doğrusal olmayan bir akış eğrisi sergiler. Sondaj çamuru bu özelliğiyle non-Newtoniyen akışkanların kopma gerilmeli psedoplastikler grubuna girer ve kayma gerilmesi ile incelmeye özelliği gösterir. Bunun yanı sıra sondaj çamuru, reolojik davranışı zamana bağlı olarak değiştiği için kararsız bir akışkan olarak tikzotropik davranış gösterir (TP, 2007: 12).

Sirkülasyonun geçici olarak durdurulduğu ve çamurun hareketsiz kaldığı durumlarda, sondaj çamurunun kesintileri anülüste askıda tutabilme özelliğine jel mukavemeti denir. Jel mukavemeti ölçümü yaparken çamur, viskometrede yaklaşık 15 s. karıştırılır ve daha sonra viskometre durdurulup çamur 10 saniye ve 10 dakika hareketsiz bırakılır, böylece elde edilen değerler 10 saniye ve 10 dakika jel mukavemeti olarak rapor edilir (Chemwotei, 2011). Çamurun jel mukavemeti çamurun tipine ve kompozisyonuna bağlı olarak zamana göre değişiklik gösterir. Çamurun ne tip bir jele sahip olduğunu tespit etmek için 10 saniye jeli ile 10 dakika jeli değerlerine bakılır ve aralarındaki oran jel tipinin nasıl olduğunu bulmamızı sağlar. Örneğin, 10 saniye ve 10 dakika jelleri 1/1, 2/2, 2/3 gibi değerler alıyorsa, kırılğan jel olarak tanımlanır. Kırılğan jele sahip çamurun kesintileri askıda tutabilmesi pek mümkün değildir. Bir diğer jel tipi de artan jel olarak tanımlanır, bu tip jele sahip çamurların 10 saniye jeli ile 10 dakika jeli arasında orantısız bir fark vardır (3/20, 7/32 ve 10/58 gibi). Bu tip jel istenmeyen bir jel tipi olarak karşımıza çıkar, çünkü yüksek basınç değişimlerine neden olmaktadır. Ayrıca, sirkülasyon durdurulduktan belli bir süre sonra tekrar çamuru sirküle etmek yüksek pompa basıncı gerektirir ve bu da zayıf formasyonlar için çatlama riski taşır. Çamurun 10 saniye ve 10 dakika jelleri arasında orantılı bir fark olan jel tipi de iyi jel olarak adlandırılır (2/4, 3/6, 4/8, 5/10 gibi). Bu tip jele sahip çamurlar kesintileri sorunsuz bir şekilde askıda tutabilme özelliğine sahiptirler. Bu tip jeller dışında, düz jel denilen 10 saniye ve 10 dakika jel değerlerinin birbirine çok yakın olduğu (13/15, 20/21, 30/32 gibi) jel tipleri de vardır. Bu tür jeller, jel mukavemeti değerleri çok yüksek değerler almadığı müddetçe uygun bir jel olarak kabul edilir (Şekil 2.1), (TP, 2007: 12).



Şekil 2.1. Sondaj çamurunda jel tipleri (TP, 2007: 13)

Reolojik modeller

Newtoniyen akışkanların kayma gerilmesi ile kayma gerinmesi hızı arasında matematiksel olarak lineer bir ilişki kurulabilir. Ancak, non-Newtoniyen akışkanlarda bu ikisi arasındaki ilişki lineer olarak tanımlanamaz (Skalle, 2012: 24). Bu yüzden bu konuda birtakım reolojik modeller geliştirilmiştir. Bu reolojik modeller; Bingham Plastik Modeli, Power Law Modeli, Herschel-Bulkley Modeli ve Robertson-Stiff Modeli olarak adlandırılır. Bu modeller, sondaj akışkanları teknolojisinde kabul görmüş modeller olarak bilinir ve dolayısıyla sondaj çamurunun reolojik davranışını belirlemede kullanılırlar.

Bingham Plastik Modeli

Non-Newtoniyen akışkanları açıklayan en basit ve en çok kullanılan modeldir. Bu model, uygulanan kayma gerilmesinin kopma noktası olarak adlandırılan minimum değeri aşana kadar akışkanın akmayacağını öngörür. Kopma noktası aşıldıktan sonra, kayma gerilmesi ve kayma gerinmesi hızı arasındaki ilişki lineer olur (Dhiman, 2012; Awele, 2014). Bu model reometre veya viskometre denilen cihazlarla yapılan ölçüme dayanır. Viskometre cihazının 600 ve 300 devir değerleri bulunur, Eş. 2.1 ve Eş. 2.2 kullanılarak çamurun viskozite ve kopma noktası bulunur.

$$PV = \theta_{600} - \theta_{300} \quad (2.1)$$

$$YP = \theta_{300} - PV \quad (2.2)$$

PV: Plastik viskozite, cp

YP: Kopma noktası, lb/(100 ft²)

θ_{600} : Viskozimetredeki 600 rpm okuması

θ_{300} : Viskozimetredeki 300 rpm okuması

Plastik viskozite; akışkan içerisindeki mekanik sürtünmeden dolayı oluşan akmaya karşı olan dirence denir. Bu mekanik sürtünme; çamur içindeki katı parçacıklar arasındaki etkileşimden, katı ve sıvı parçacıklar arasındaki etkileşimden ve kayma gerilmesi altındaki

sıvı parçacıklarının deformasyonu sebebiyle meydana gelmektedir. Kopma noktası ise; akışkan içerisindeki elektrokimyasal kuvvetler sebebiyle oluşan akmaya karşı dirence denir (Dhiman, 2012; Azar ve Samuel, 2007).

Power Law Modeli

Power Law Modeli; kayma gerilmesi ve kayma gerinmesi hızı arasında lineer bir ilişki öngörmemesi sebebiyle, Bingham Plastik Modeline göre daha karmaşık bir modeldir. Bir diğer farkı ise, sıfır kayma gerinmesi hızında kayma gerilmesi sıfırdır (Awele, 2014). Bu nedenle, kopma gerilmesiz non-Newtonian akışkanları tanımlamada kullanılır. Bu modelin parametreleri n ve K dır; n , akış davranış indeksi (flow behavior index) ve K ise kıvam faktörüdür (consistency factor), (Dhiman, 2012). θ_{600} ve θ_{300} değerleri alındıktan sonra, Eş. 2.3 ve 2.4 ile n ve K bulunur. Bu modele göre görünür viskozite Eş. 2.5 ile hesaplanabilir.

$$n = 3.32 * \log \left(\frac{\theta_{600}}{\theta_{300}} \right) \quad (2.3)$$

$$K = \frac{[1.068 * \theta_{300}]}{511^n} \quad (2.4)$$

$$\mu_a = K * \gamma^{n-1} \quad (2.5)$$

θ_{600} : Viskozimetredeki 600 rpm okuması

θ_{300} : Viskozimetredeki 300 rpm okuması

n : Akış davranış indeksi, boyutsuz

K : Kıvam faktörü, $\text{lb-s}^n / (100 \text{ ft}^2)$

γ : Kayma gerinmesi hızı, s^{-1}

μ_a : Görünür viskozite, cp

Herschel-Bulkley Modeli

Bingham Plastik ve Power Law modellerinin birleşiminden oluşan üç parametrelili Herschel-Bulkley Modeli, temel olarak kopma gerilmeli Power Law Modeli olarak da

bilinir (Dhiman, 2012; Growcock ve Harvey, 2005). Bu modelin kullanılabilmesi için en az üç adet viskometre değerine ihtiyaç vardır (θ_{600} , θ_{300} , θ_3). Aşağıdaki eşitlikler kullanılarak görünür viskozite bulunur (TP, 2007: 16).

$$\tau_y = 1.068 * \theta_3 \quad (2.6)$$

$$n = 3.32 * \log \left(\frac{\theta_{600} - \tau_y}{\theta_{300} - \tau_y} \right) \quad (2.7)$$

$$K = \frac{1.068 * (\theta_{300} - \tau_y)}{(511)^n} \quad (2.8)$$

$$\mu_a = \left(\frac{\tau_y}{\dot{\gamma}} \right) + (K * \dot{\gamma}^{n-1}) \quad (2.9)$$

θ_{600} : Viskozimetredeki 600 rpm okuması

θ_{300} : Viskozimetredeki 300 rpm okuması

θ_3 : Viskozimetredeki 3 rpm okuması

n: Akış davranış indeksi, boyutsuz

K: Kıvam faktörü, lb-sⁿ/(100 ft²)

τ_y : Kopma gerilmesi, lb/(100 ft²)

μ_a : Görünür viskozite, cp

Robertson-Stiff Modeli

Bu model, çamurun kopma gerilmeli psedoplastik davranışını tanımlamak üzere kayma gerilmesi ile kayma gerinme hızı arasındaki ilişkiyi tanımlamak için geliştirilmiştir. Bu ilişki aşağıda yer alan eşitlikle tanımlanır (TP, 2007: 17).

$$\tau = A * (\dot{\gamma} + C)^B \quad (2.10)$$

τ : Kayma gerilmesi, lb/(100 ft²)

$\dot{\gamma}$: Kayma gerinme hızı, s⁻¹

Bu eşitlikteki A (lb-sec^B/100 ft²), B (boyutsuz) ve C (s⁻¹) değerlerini bulabilmek için çok hızlı viskometre verilerine ihtiyaç vardır. Öncelikle bu verilerle maksimum ve minimum kayma gerilmelerinin geometrik ortalamasına (τ') karşı gelen kayma gerinmesi (γ'), Eş. 2.12'den bulunur (TP, 2007: 17).

$$\tau' = \sqrt{\tau_{\min}} - \sqrt{\tau_{\max}} \quad (2.11)$$

$$C = \frac{(\gamma_{\min} * \gamma_{\max}) - (\gamma')^2}{(2\gamma') - \gamma_{\min} - \gamma_{\max}} \quad (2.12)$$

τ_{\min} : Minimum kayma gerilmesi, lb/(100 ft²)

τ_{\max} : Maksimum kayma gerilmesi, lb/(100 ft²)

γ_{\min} : Minimum kayma gerinmesi hızı, s⁻¹

γ_{\max} : Maksimum kayma gerinmesi hızı, s⁻¹

γ' : Ortalama kayma gerinmesi hızı, s⁻¹

τ' : Mak. ve min. kayma gerilmelerinin geometrik ortalaması, lb/(100 ft²)

Daha sonra aşağıdaki eğim ve intersept eşitliklerinden $x = \ln(\gamma + C)$ ve $y = \ln \tau$ alınarak, logaritmik kâğıtta B = Eğim ve A = e^{intersept} bulunur. Eş. 2.15'ten de görünür viskozite hesaplanır (TP, 2007: 17).

$$\text{Eğim} = \frac{(\sum y \sum x) - (\sum xy)}{(\sum x)^2 - (N * (\sum x^2))} \quad (2.13)$$

$$\text{İntersept} = \frac{(\sum xy \sum x) - (\sum y \sum x^2)}{(\sum x)^2 - (N * (\sum x^2))} \quad (2.14)$$

$$\mu_a = A * \left[\frac{(\gamma + C)^B}{\gamma} \right] \quad (2.15)$$

μ_a : Görünür viskozite, cp

2.5.4. Kimyasal özellikler

Çamurun performansını ve kuyu stabilitesini etkileyen temel özelliklerden biri olan kimyasal özellikler; tuzlu formasyonları ve sondaj çamurunun pH ve korozyon etkisini denetler (Nwaiche, 2015). Ayrıca, sondaj çamurunun kimyasal özelliği, sondaj kesintilerinin yüzeye etkili bir şekilde taşınabilmesi için kesintilerin dağılımını önlemeye veya azaltmaya yardımcı olan bir parametredir (Awele, 2014).

Alkalinite

Alkalinite, akışkanın asit nötrleştirici gücü olarak tanımlanmaktadır (Oil Field Testing Equipment Incorporated [OFITE Inc.], 2017). Çözeltinin pH değerini belirli bir seviyeye düşürmek için gerekli asit miktarını bulmak için kullanılır (Annis ve Smith, 1974; Awele, 2014). Sondaj çamuru testinde alkalinite ölçümleri, çamurun tamamı veya filtrat üzerinde uygulanabilir. Çamurun ve filtratın alkalinitesini bilmek çoğu sondaj operasyonlarında önemli bir husustur. Çamur katkıları, görevlerini gerektiği gibi yerine getirebilmeleri için alkalik ortama ihtiyaç duyarlar. Hidroksil iyonlarından kaynaklanan alkalinite genellikle faydalı olarak kabul edilir, ancak karbonat veya bikarbonatlardan kaynaklanan alkalinite ise çamurun performansı için zararlı olabilir. Organik incelticiler içermeyen bentonit bazlı çamur sistemleri için, fenolfitaleyin (P_f) ve metiloranj (M_f) alkalinitesi karbonat veya bikarbonat kirliliğini belirlemek için kullanılabilir (OFITE Inc., 2017).

Hidrojen iyon konsantrasyonu - pH

Bir çözeltinin pH'ı, içerisindeki hidrojen iyonu konsantrasyonunun ölçümüdür. Hidrojen ve hidroksil iyonu konsantrasyonu arasında bir denge vardır. Bu denge aşağıda verilen iyonizasyon tepkimesine dayanır. H^+ ve OH^- iyonlarının konsantrasyonu, saf su için eşit ve 10^{-7} dir. Bu durumda, saf suyun pH'ı 7'dir. Suya asit eklendiğinde pH değeri 7'den 0'a doğru azalır, suya baz eklendiğinde ise, pH 7'den 14'e doğru artar (Annis ve Smith, 1974).



pH, Eş. 2.17 ile hesaplanır, iyonizasyon denge sabiti ise, $K_w = 10^{-14}$ tür.

$$\text{pH} = \log\left(\frac{1}{[\text{H}^+]}\right) = -\log[\text{H}^+] \quad (2.17)$$

$$\text{Kw} = [\text{H}^+] * [\text{OH}^-] = 10^{-14} \quad (2.18)$$

pH ile alkalinite arasındaki ilişki Çizelge 2.2’de gösterilmiştir. Ancak sistemde, sodyum, sülfat, klor gibi iyonların varlığı çok ise belli bir alkalinite değerinde pH’ın değerinin beklenenden daha küçük çıkması olası bir durumdur (TP, 2007: 23).

Çizelge 2.2. pH-alkalinite ilişkisi (TP, 2007: 23)

pH	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12,0+	12,5+	13,0+
Pf		0,1	0,25	0,3	0,5	0,7	0,8	1	3	5	7

Tuzluluk

Sondaj çamurunun bir diğer önemli özelliği olan tuzluluk, klorit iyonu konsantrasyonu için filtratın titrasyon edilmesiyle ölçülür ve klorit ya da sodyum klorit konsantrasyonu olarak mg/L birimi ile rapor edilir (Annis ve Smith, 1974; Awele, 2014). Tuz, sondaj çamuruna birçok kaynaktan girebilir. Örneğin, tuz domu kesilirken veya deniz sondajlarında kullanılan deniz suyundan dolayı sisteme girebilir (Amani ve Hassiba, 2012). Tuzluluğun artması, hidrasyon derecesinin azalmasına ve topaklanma eğiliminin artmasına sebep olur. Aynı zamanda, kopma noktası, jel mukavemeti ve sıvı kaybı artma eğilimi gösterirken, pH azalır ve toplam sertlikte hafif bir artış görülebilir. Ayrıca, tuzluluğun artması, çamur parçacıklarının dehidrasyonuna sebep olur ve bu da plastik viskozitenin azalması ve sıvı kaybının artması ile sonuçlanır. Klorit konsantrasyonu kabul edilebilir seviyelerden daha yüksek olduğunda, lignosülfonat konsantrasyonu arttırılmalıdır, böylece çamur parçacıklarının dehidrasyonu engellenmiş olur (Awele, 2014).

İki değerlikli katyon içeriği

Sondaj çamurunun muhtevasında en fazla bulunan iki değerlikli katyonlar kalsiyum ve magnezyum iyonlarıdır. Su bazlı sondaj çamurlarında başlıca kirletici etmenlerden biri de kalsiyum iyonudur. Kalsiyum; çamurdaki sudan, kesilen formasyonlardan veya

çimentolama işlemi sırasında çimento bulaşmasından sisteme girebilir. Bu şekilde sisteme dahil olan kalsiyum iyonu kirlenmeye sebep olur. Kalsiyumun sisteme girerek kirlenmeye neden olması, doğal olarak çamurun akış ve sıvı kaybı özelliklerini bozar (TP, 2007: 23).

Metilen mavisi kapasitesi (MBT)

Katyon değiştirme kapasitesi olarak da bilinen metilen mavisi kapasitesi, çamurdaki reaktif kil (bentonit ya da formasyon kesintileri) miktarını gösterir (Fann Instrument Company [FIC], 2013). Çamur sisteminde minimum seviyede kil miktarı, rezervuar tahribatını önlemek için istenen durumdur (Baker Hughes, 2006). Çamur üzerinde metilen mavisi testi uygulandığında, çamur içerisindeki bütün kil minerallerinin toplam katyon değiştirme kapasitesi ölçülmüş olur. Bu test çamurdaki aktif katıların bir ölçümü olduğu için, çamurun kopma noktası ve jel mukavemeti ile ilişkilendirilmelidir. Kopma noktası ve jel mukavemetinin yüksek olması, ya aktif katıların yüksek konsantrasyonundan, ya da sıcaklık veya kirlenici maddeler yüzünden oluşan topaklanmadan kaynaklı olabilir (Annis ve Smith, 1974).

2.6. Sondaj Çamuru Test Yöntemleri

Sondaj çamuru; fonksiyonlarını yerine getirebilmesi amacıyla fiziksel ve kimyasal özelliklerine bakılarak test edilir.

2.6.1. Fiziksel özelliklerin ölçülmesi

Sondaj çamurunun fiziksel özellikleri test edilirken; çamurun ağırlığı, viskozitesi, jel mukavemeti ve sıvı kaybı değerleri incelenir.

Çamur ağırlığı

Çamur ağırlığı genellikle çamur terazisi kullanılarak ölçülür. Çamur ağırlığı, saha birimi olarak lb/gal cinsinden ifade edilir. Çamurun ağırlığını ölçmeden önce çamur terazisi, ağırlığı bilinen bir sıvı ile (genellikle saf su) kalibre edilmelidir (Dhiman, 2012). Saf suyun 70 °F'taki ağırlığı 8,33 lb/gal veya 62,3 lb/ft³'tür. Suyun ağırlığı bu değerlerden farklı çıkıyorsa terazi doğru ölçüm yapmıyor demektir; bu durumda terazinin kolunun ucunda

bulunan denge ağırlıkları ile oynayarak ya da vidasını ayarlayarak kalibrasyonunun yapılması gerekir (TP, 2007: 25).

Yöntem

1. Çamur haznesi, üzerindeki delikli kapaktan çamur çıkacak kadar doldurulur ve kapağı kapatılıp dışına taşan çamur temizlenir.
2. Ölçek barının üzerindeki denge ağırlığı kaydırılarak hazne ve kolunun dengelenmesi sağlanır.
3. Ölçek barının üzerindeki çamur yoğunluğu değeri okunur.
4. Her kullanımdan sonra çamur terazisi temizlenir ve kurutulur (OFITE Inc., 2014).

Viskozite ve jel mukavemeti

Sondaj çamurunun viskozitesi, Marsh hunisi veya viskometre cihazı ile; jel mukavemeti ise çamur belirli bir süre bekletilerek viskometre cihazı ile ölçülür.

Huni viskozite

Huni viskozite, Marsh hunisi adlı basit bir aletle ölçülür (FIC, 2014). Bu alet, huniyi 1 500 mL çamurla doldurup, 1 quart (946 mL) çamurun kaç saniyede huniden akacağını test eder. Çamurun viskozitesini ölçmeden önce, Marsh hunisinin kalibrasyonu yapılmalıdır; 1 quart (946 mL) saf su 70 °F'ta huniden 26 saniyede akar. Bu şekilde, doğru ölçüm yapıp yapılmadığı anlaşılır. Bu alet; kullanımının hızlı, basit ve çok az ekipman gerektirmesi bakımından avantaj sağlar. Ancak, spesifik akış parametrelerini (plastik viskozite, kopma noktası, jel mukavemeti ve yoğunluk gibi) ölçmemesi sebebiyle, sadece çamurun viskozitesindeki anlık brüt değişimlerini incelemek için kullanılır (Annis ve Smith, 1974).

Yöntem

1. Marsh hunisi alt ucu parmakla kapatılarak dik durumda tutulur ve çamur elekten dökülerek huni elek seviyesine kadar doldurulur.

2. Huninin alt ucundan parmak çekilir ve kronometre çalıştırılır. Çamurun 946 mL'lik kabı doldurması için geçen zaman ölçülür.
3. Akış zamanı saniye cinsinden huni viskozite olarak kabul edilir.
4. Ölçüm sırasında çamurun sıcaklığı °F olarak rapor edilir (TP, 2007: 27).

Görünür viskozite, plastik viskozite ve kopma noktası

Çamurun görünür viskozite (AV), plastik viskozite (PV) ve kopma noktası (YP) değerlerini ölçmek için 6 hızlı (600, 300, 200, 100, 6 ve 3 rpm) döner viskometre kullanılır. Bu parametreleri hesaplarırken de 600 ve 300 rpm okumaları rapor edilir ve aşağıdaki eşitlikler yardımıyla çamurun viskozitesi ve kopma noktası hesaplanır.

$$AV = \theta 600/2 \quad (2.19)$$

$$PV = \theta 600 - \theta 300 \quad (2.20)$$

$$YP = \theta 300 - PV \quad (2.21)$$

AV: Görünür viskozite, cp

PV: Plastik viskozite, cp

YP: Kopma noktası, lb/(100 ft²)

Yöntem

1. Çamur hazırlandıktan sonra viskometre kabına işaretli seviyeye kadar doldurulur ve rotor üzerindeki çizgiye kadar çamura batırılır.
2. Rotor 600 rpm'de döndürülür. Kadrandaki ibre sabit duruma geldiğinde 600 rpm okuması alınır.
3. Viskometre 300 rpm hıza ayarlanır ve yine kadrandaki ibrenin sabit duruma gelmesi beklenir. Okunan değer 300 rpm okuması olarak kayıt edilir.
4. Test edilen çamurun sıcaklığı °F olarak rapor edilir (TP, 2007: 27).

Jel mukavemeti

Çamurun jel mukavemeti değeri de yine 6 devirli döner viskometre yardımıyla bulunur. Jel mukavemeti değeri için çamur 10 s. ve 10 dak. hareketsiz bekletilir ve çıkan değerler 10 s. ve 10 dak. jel mukavemeti olarak rapor edilir.

Yöntem

1. Çamur 600 rpm hızda 15 s. süreyle karıştırılır. Viskometre cihazı durdurulur ve çamur 10 s. hareketsiz bekletilir. Daha sonra çamur 3 rpm hızda çalıştırılır ve bu hızda ölçülen maksimum değer 10 saniye jel mukavemeti olarak lb/100ft² cinsinden rapor edilir.
2. Çamur 600 rpm hızda 15 s. süreyle karıştırılır. Viskometre cihazı durdurulur ve çamur 10 dak. hareketsiz bekletilir. Viskometre 3 rpm hızda çalıştırılır ve bu hızda ölçülen maksimum değer 10 dakika jel mukavemeti olarak lb/100ft² cinsinden rapor edilir.

Sıvı kaybı

Sondaj esnasında oluşan filtre keki içinden formasyona geçen sondaj çamuru miktarı olarak tanımlanır. Sondaj çamuruna karıştırılan bazı katkılarla azaltılan bir parametredir (Khodja ve diğerleri, 2010). Çamurun sıvı kaybı ve kek yapma özellikleri, çamur filtrasyon testi uygulanarak bulunur. Bu test, filtre presi cihazı ile yapılır (Barkom Grup, 2014; Chemwotei, 2011).

Yöntem

1. Öncelikle sıvı kaybı cihazı şekilde gösterildiği gibi teste hazır hale getirilir.
2. Daha sonra çamur haznesi üstten 1/2 inç kalacak şekilde çamurla doldurulur.
3. Sıvının toplanacağı tüp yerine konulur ve regülatör aracılığıyla 100 psi basınç uygulanır.
4. Basınç, 30 dakika geçtikten sonra tahliye vanası aracılığıyla tahliye edilir ve tüpte biriken sıvı, sıvı kaybı olarak kayıt edilir.

5. Haznede kalan çamur dikkatli bir şekilde boşaltılır ve filtrat kâğıdı üzerinde biriken kekin kalınlığı mm cinsinden ölçülür.
6. Kekin yapısı (sert, yumuşak, kumlu gibi) hakkında yorum yapılır.

2.6.2. Kimyasal özelliklerin ölçülmesi

Sondaj çamurunu kimyasal özellik bakımından incelemek için; çamurun pH değeri, alkalinitesi, klor miktarı, toplam sertlik değeri, iki değerlikli katyon miktarı ve metilen mavisi kapasitesi belirlenir.

pH ölçümleri

Sondaj çamurunun asitliğini veya alkalinitesini gösteren pH; çamurun performansını etkilemekle birlikte, korozyon kontrolü için de önemli bir parametredir. Düşük pH'a sahip çamurlar (asidik çamurlar), sondaj ekipmanlarında korozyona sebep olacağı için istenmeyen bir durumdur. Sondaj çamurlarında normal pH aralığı; 9,5 - 10,5 arasındır, bunun üzerindeki değerlere genelde rastlanılmaz. Ayrıca; pH, kuyu stabilitesi ve filtrasyon kontrolü üzerinde de etkili olması dolayısıyla sondaj operasyonlarında düzenli aralıklarla kontrol edilmelidir (Chemwotei, 2011). Sondaj çamurunun pH'ı iki yöntemle ölçülebilir.

Yöntem 1 - pH kâğıdı

1. Farklı renklerden oluşan pH kâğıdı çamura batırılır ve kâğıdın rengi sabitleşene kadar beklenir.
2. pH kâğıdında oluşan renk dizimi, pH kâğıdı kutusu üzerinde gösterilen değişik pH değerleri için olması gereken renklerle karşılaştırılarak pH tespit edilir.

Her ne kadar çok doğru sonuç vermese de, pH kâğıdı saha kullanımı için yeterli bir ölçüm aletidir (TP, 2007: 30).

Yöntem 2 - pH metre

1. pH metre gerekli kalibrasyon sıvıları kullanılarak kalibre edilir. Örneğin, saf su nötr olduğu için pH'ı 7'dir, dolayısıyla suya göre kalibre edilebilir.
2. Elektrot, ölçüm yapılacak çamur içine batırılır ve pH değerinin sabitleştiği nokta kaydedilip rapor edilir.

Elektrot, her ölçüm sonrası saf su ile iyice temizlenmeli ve uygun sıvı içerisinde muhafaza edilmelidir (TP, 2007: 31).

Çamur alkalinitesinin belirlenmesi

Yöntem

1. 1 mL çamur titrasyon kabına konulur ve 25 - 50 mL saf su ile karıştırılarak çamur sulandırılır.
2. 4 - 5 damla fenolftalein (Phenolphthalein) indikatör çözeltisi eklenir ve çamur karıştırılırken 0,02 N (N/50) sülfürik asit, pembe renk kayboluncaya kadar ilave edilir.
3. Eğer renk değişimi gözlenmiyorsa, pH kâğıdı veya pH metre kullanılarak pH değerinin 8,3 olduğu noktada test sonlandırılır.
4. Harcanan 0,02 N (N/50) sülfürik asidin miktarı Pm (çamur alkalinitesi) olarak kaydedilip rapor edilir (OFITE Inc., 2017).

Klor (Cl⁻ iyonu) miktarının belirlenmesi

Yöntem

1. 1 mL (1 cm³) filtrat titrasyon kabına alınır.
2. Fenolftalein (Phenolphthalein) denilen indikatör çözeltisinden 2 - 3 damla numuneye eklenir. İndikatörün renginin pembeye dönüşmesi durumunda, numune karıştırma

çubuğu ile karıştırılır. Numune karıştırılırken 0,02 N (N/50) sülfürik asit (damla damla) renk kaybolana kadar eklenir.

3. Numune yaklaşık 50 mL saf su ile seyreltildikten sonra 10 damla potasyum kromat indikatörü numuneye eklenir ve numune açık sarı rengine dönüşür.
4. Numune karıştırılırken gümüş nitrat (AgNO_3) eklenir ve bu işleme karışımın rengi sarıdan kırmızıya dönüşene kadar devam edilir. Renk dönüşümü sağlandığında (en az 30 saniye kalıcı olması şartıyla), harcanan gümüş nitrat (AgNO_3) miktarı kaydedilip rapor edilir (OFITE Inc., 2011).

$$\text{Klor miktarı} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{1000 * \text{AgNO}_3 \text{ Hacmi (mL)}}{\text{Numune Hacmi (mL)}} \quad (2.22)$$

Eş. 2.22'deki 1 000 çarpanı 0,0282 N (0,001 g) klorit iyonu çözeltisi için, 10 000 çarpanı ise 0,252 N (0,01 g) AgNO_3 için kullanılır.

Toplam sertliğin belirlenmesi

Yöntem

1. 50 mL saf su titrasyon kabına alınır ve daha sonra 20 - 40 damla (1 - 2 mL) hardness buffer çözeltisi ve 10 - 15 damla (0,5 - 0,75 mL) hardness indikatör çözeltisi saf suya eklenir.
2. Karışımın pembe rengini alması halinde, aldığı kadar versenate çözeltisi karışımın rengi mavi olana kadar ilave edilir.
3. Titrasyon kabına 1 mL çamur filtratı ilave edildikten sonra yine versenate çözeltisi ile çözeltinin rengi kırmızıdan maviye dönüşene kadar titrasyon yapılır ve kullanılan miktar kaydedilip rapor edilir (TP, 2007: 33).

$$\text{Toplam Sertlik} \left[\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right] = \frac{\text{Versenate Çökeltisi Miktarı} * C_{\text{versenate}}}{\text{Filtrat Miktarı (mL)}} \quad (2.23)$$

$C_{\text{versenate}}$, harcanan versenate çözeltisine göre kullanılan katsayıdır. Katsayılar Çizelge 2.3'te verilmiştir (TP, 2007: 33).

Çizelge 2.3. Versenate Çözeltisi Katsayıları (TP, 2007: 33)

2 EPM Versenate Çözeltisi	$C_{\text{versenate}} = 40$
20 EPM Versenate Çözeltisi	$C_{\text{versenate}} = 400$
200 EPM Versenate Çözeltisi	$C_{\text{versenate}} = 4\ 000$

İki değerlikli katyon (kalsiyum ve magnezyum) miktarının belirlenmesi

Yöntem

1. 50 mL saf su titrasyon kabına alınır.
2. 3 mL 1N NaOH ve çeyrek çay kaşığı ölçüsünde Ca^{++} indikatörü titrasyon kabına eklenir.
3. İndikatörü ekledikten sonra karışım pembe rengini alırsa, aldığı kadar versenate çözeltisi karışımın rengi mavi olana kadar ilave edilir.
4. Titrasyon kabına 1 mL çamur filtratı ilave edildikten sonra yine versenate çözeltisi ile Ca^{++} 'un varlığını gösteren pembe renk maviye dönüşene kadar titrasyon yapılır ve kullanılan miktar kaydedilip rapor edilir (TP, 2007: 34).

$$\text{Ca}^{++} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{\text{Versenate Çökeltisi Miktarı} \cdot C_{\text{versenate}}}{\text{Filtrat Miktarı (mL)}} \quad (2.24)$$

$$\text{Mg}^{++} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{(V_{\text{toplam}} - V_{\text{Ca}}) \cdot 243}{\text{Filtrat Miktarı (mL)}} \quad (2.25)$$

V_{toplam} : Toplam sertlik testinde harcanan versenate çözeltisi miktarı

V_{Ca} : Ca testinde harcanan versenate çözeltisi miktarı

$C_{\text{versenate}}$: Harcanan versenate çözeltisine göre kullanılan katsayı (Çizelge 2.3)

Metilen mavisi kapasitesinin belirlenmesi (MBTmud)

Yöntem

1. Öncelikle 10 mL saf su erlenmayer içerisine konulur ve 2 mL çamur saf suya şırıngayla eklenir.
2. Karışıma % 3'lük hidrojen peroksit çözeltisi (15 mL) ve 0,5 mL sülfirik asit eklendikten sonra 10 dakika düşük ısıda kaynatılır.
3. Daha sonra karışım saf su ile 50 mL'ye kadar seyreltilir.
4. Karışıma pipet ile metilen mavisi ilave edilir. Her 0,5 mL ilave sonrası karışım 30 saniye karıştırılır.
5. Oluşan karışımdan karıştırma çubuğunun ucuyla bir damla alınarak filtre kâğıdı üzerine konulur.
6. Boyanmış kilin etrafını mavi bir halka çevrelediği zaman erlenmayerdeki karışım yaklaşık 2 dakika karıştırılarak, filtrat kâğıdı üzerine tekrar bir damla bırakılır ve mavi halkanın tekrar oluşup oluşmayacağı belirlenir. Eğer mavi halka tekrar oluşuyorsa test bitirilir ve kullanılan metilen mavisi miktarı ve eşdeğer bentonit miktarı aşağıdaki formüllerden hesaplanır. Ancak, halka tekrar oluşmuyorsa metilen mavisi eklenmeye devam edilir (FIC, 2013).

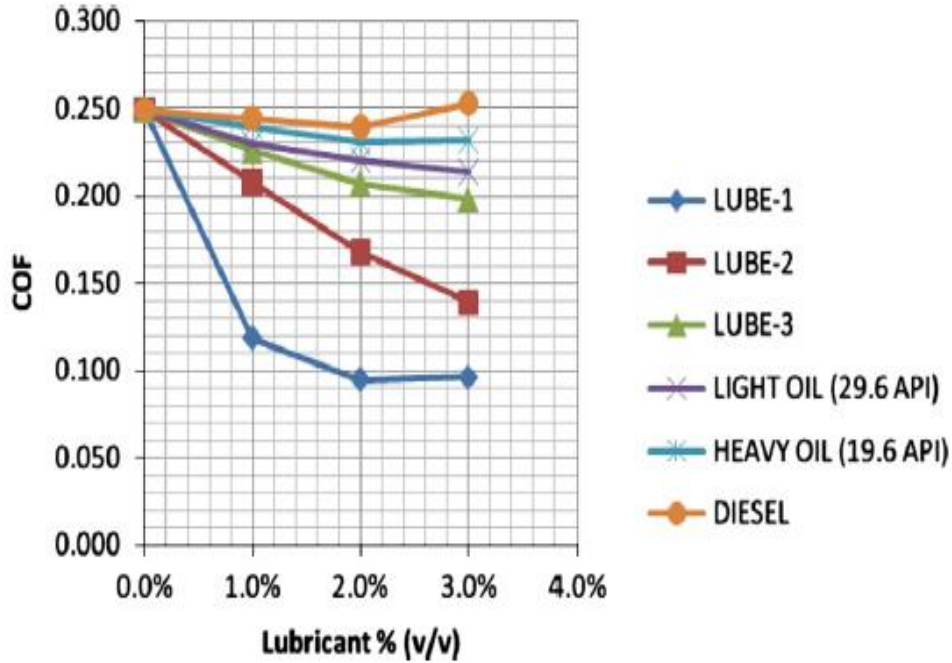
$$\text{Metilen Mavisi Kapasitesi} = \frac{[\text{Metilen Mavisi Miktarı(mL)}]}{\text{Çamur Miktarı(mL)}} \quad (2.26)$$

$$\text{Bentonit Miktarı} \left(\frac{\text{lb}}{\text{bbl}} \right) = 5 * \text{Metilen Mavisi Kapasitesi} \quad (2.27)$$

3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

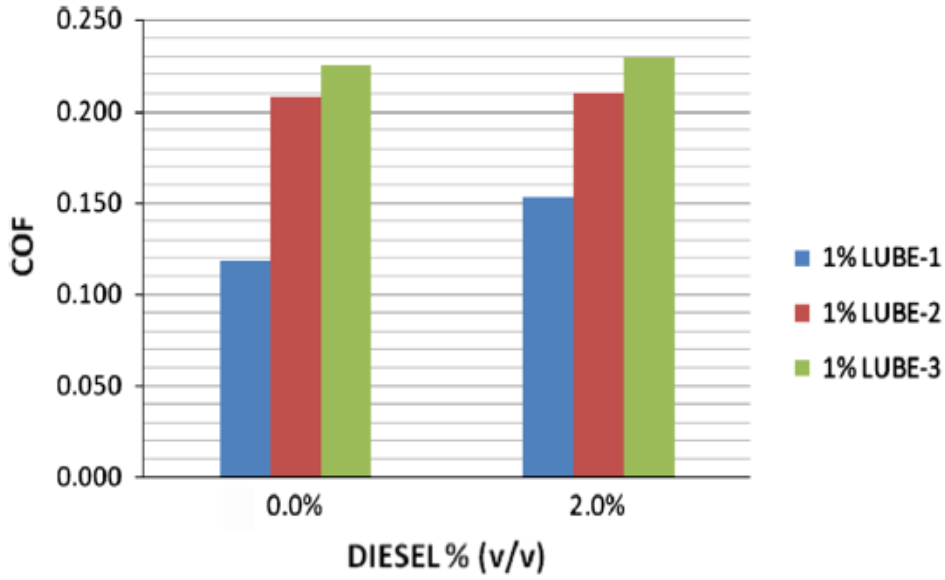
Sondaj çamuru ile ilgili çevre korumaya yönelik yasal yaptırımların sonucunda ortaya çıkan maliyet sorunu gibi birçok sorunlara yeni ve daha etkin çözüm yöntemleri geliştirilmektedir. Bu gelişmelere örnek olarak, biyokütle tabanlı çeşitli katkıların sondaj çamurunun reolojik özellikleri üzerine etkisinin incelendiği bazı önemli çalışmalar ve sonuçları aşağıda verildiği gibi özetlenmiştir.

Sönmez, Kök ve Özel (2013) yaptıkları bir çalışmada, 3 farklı yağlayıcı türünü tek başına veya ağır/hafif ham petrol ve dizel yağı ile karıştırarak su bazlı sondaj çamuruna ilave etmişlerdir. Bu yağlayıcılar sırasıyla, yağ asidi ve gliserit bazlı yağlayıcılar, trigliserit ve bitkisel yağ bazlı yağlayıcılar ve polipropilen glikol bazlı yağlayıcılarıdır. Lubricity tester denilen cihazla çamurun sürtünme katsayısı hesaplanmıştır. Şekil 3.1’de görüldüğü gibi en iyi performans, Lube-1 diye adlandırılan yağ asidi ve gliserit bazlı yağlayıcının tek başına su bazlı sondaj çamuruna eklenmesiyle elde edilmiştir.

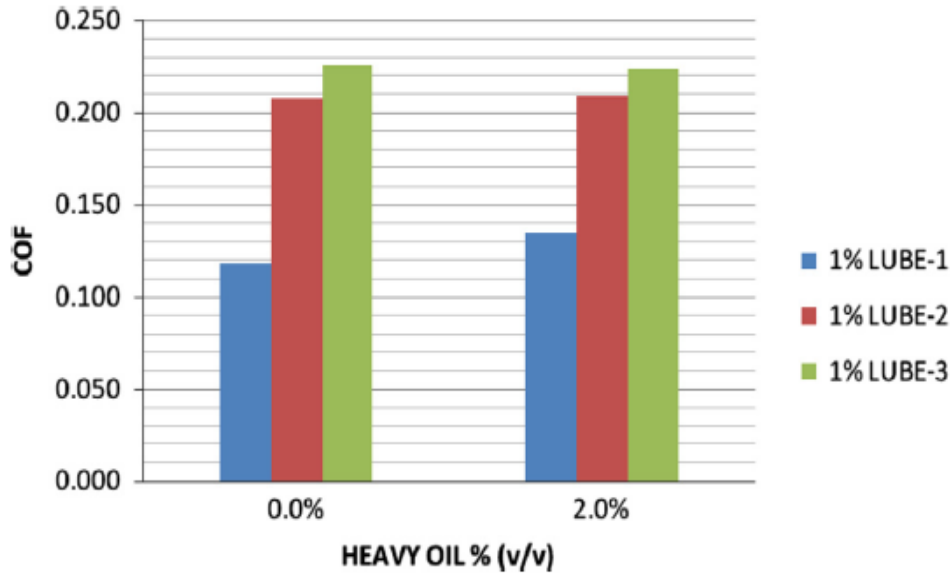


Şekil 3.1. Yağlayıcıların ayrı ayrı ilave edilmesiyle oluşan çamurun sürtünme katsayısı grafiği (Sönmez ve diğerleri, 2013)

Yağlayıcıların, dizel ve ağır ham petrol ile birlikte su bazlı sondaj çamuruna ilave edilmesi ise Şekil 3.2 ve 3.3'te görüldüğü gibi negatif etki yaratmıştır.

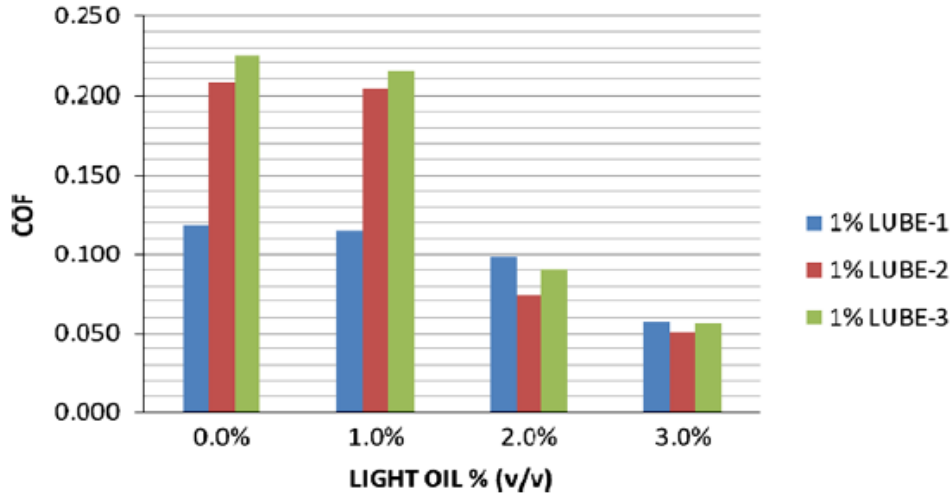


Şekil 3.2. Yağlayıcıların dizelle birlikte ilave edilmesiyle oluşan çamurun sürtünme katsayısı grafiği (Sönmez ve diğerleri, 2013)



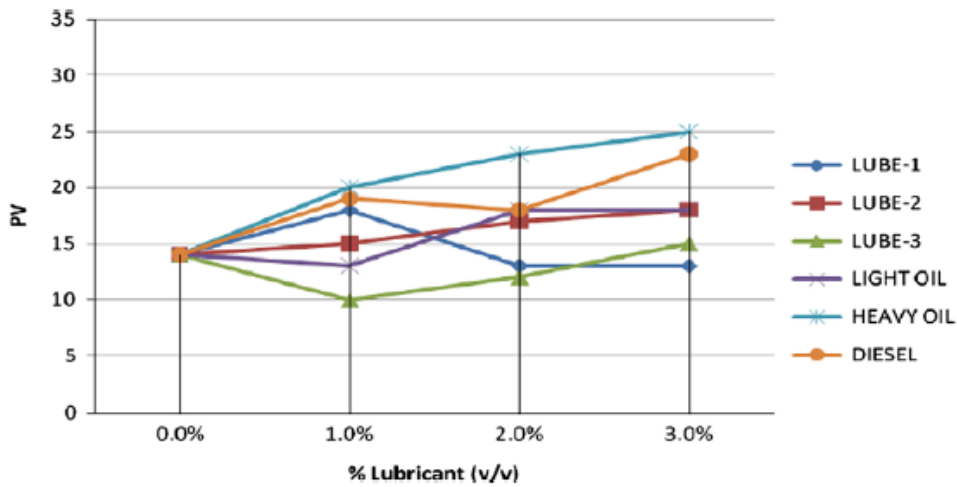
Şekil 3.3. Yağlayıcıların ağır ham petrolle birlikte ilave edilmesiyle oluşan çamurun sürtünme katsayısı grafiği (Sönmez ve diğerleri, 2013)

Hafif ham petrol tek başına çamura ilave edildiğinde yeterli etki alınmamıştır, fakat Şekil 3.4'te görüldüğü gibi, hafif ham petrolün yağlayıcılarla birlikte çamura ilave edilmesi en iyi etkiyi yaratmıştır.

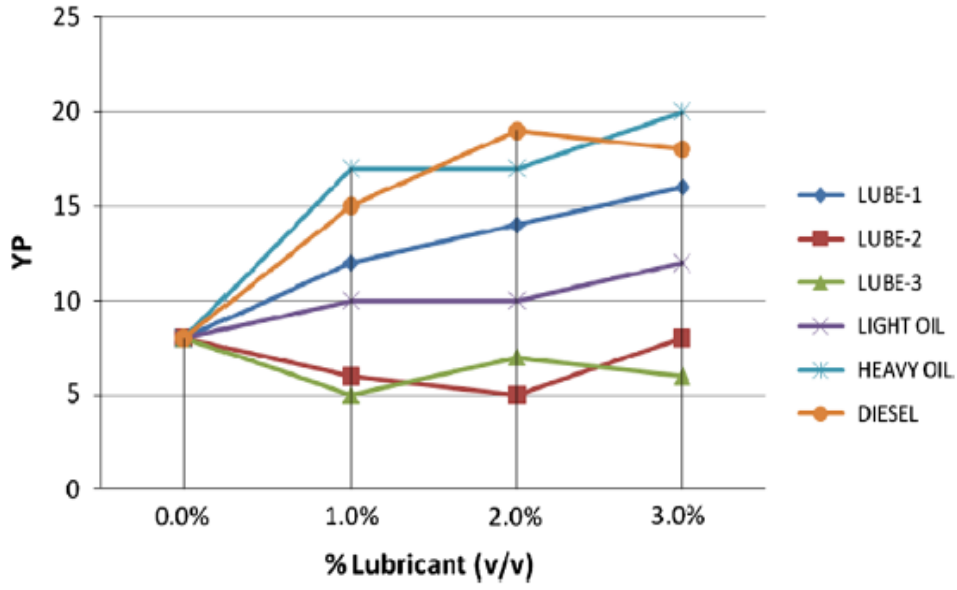


Şekil 3.4. Yağlayıcıların hafif ham petrolle birlikte ilave edilmesiyle oluşan çamurun sürtünme katsayısı grafiği (Sönmez ve diğerleri, 2013)

Yağlayıcıların plastik viskozite ve kopma noktası değerlerine bakıldığında ise ağır ham petrol ve dizelin çamura ilave edilmesi arttırıcı etki yapmıştır ve bu istenmeyen bir durumdur. Ancak, diğer yağlayıcıların yaptığı etki kabul edilebilir değerler teşkil etmektedir (Şekil 3.5 ve Şekil 3.6).

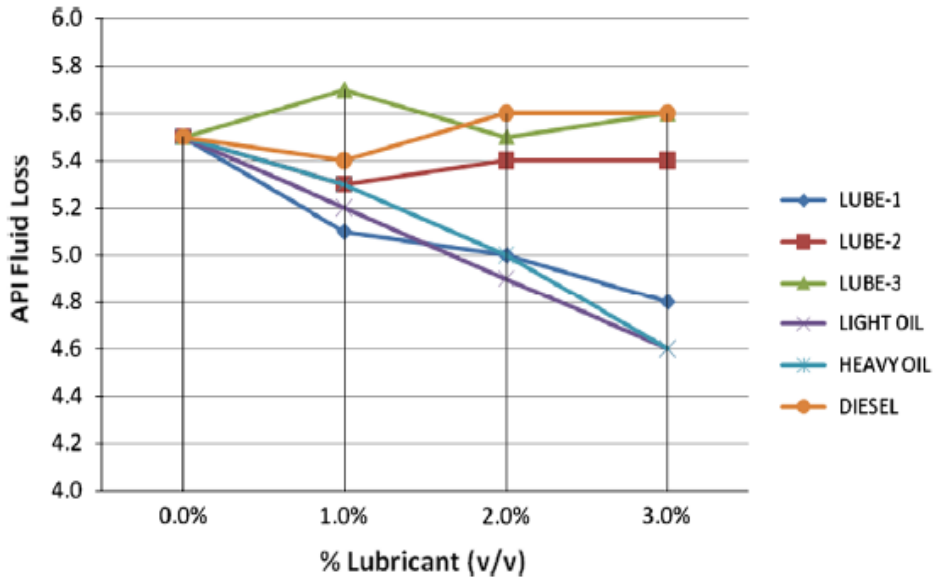


Şekil 3.5. Yağlayıcıların tek başına ilave edilmesiyle oluşan çamurun plastik viskozite değerleri (Sönmez ve diğerleri, 2013)



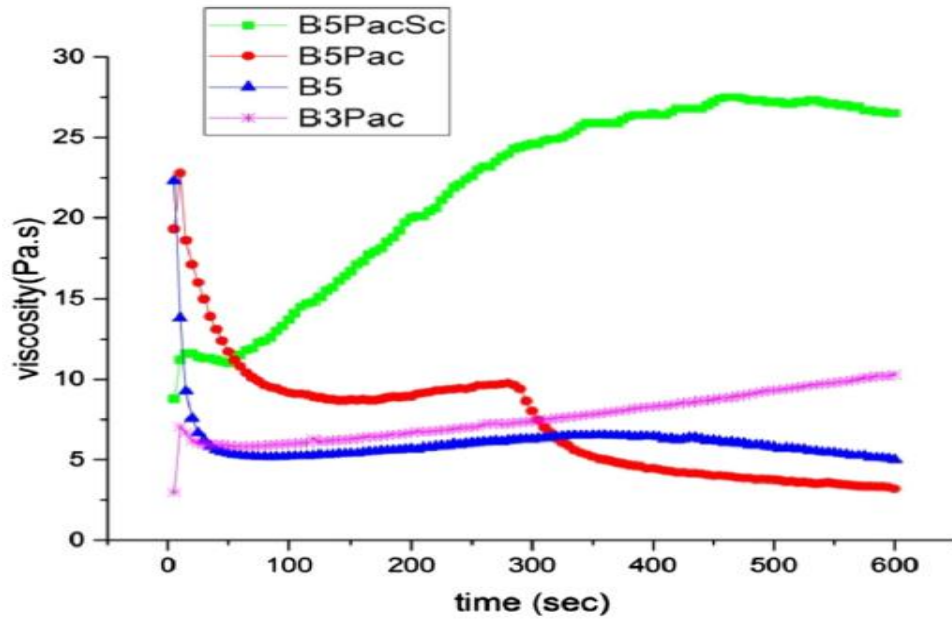
Şekil 3.6. Yağlayıcıların tek başına ilave edilmesiyle oluşan çamurun kopma noktası değerleri (Sönmez ve diğerleri, 2013)

Çamurun sıvı kaybı değerlerine bakıldığında ise Şekil 3.7’de görüldüğü gibi Lube-1, hafif petrol ve ağır petrol düşürücü etki yaparken, Lube-2, Lube-3 ve dizel artırıcı etki yapmaktadır, ancak bu değerler de kabul edilebilir değerler olarak görülür.

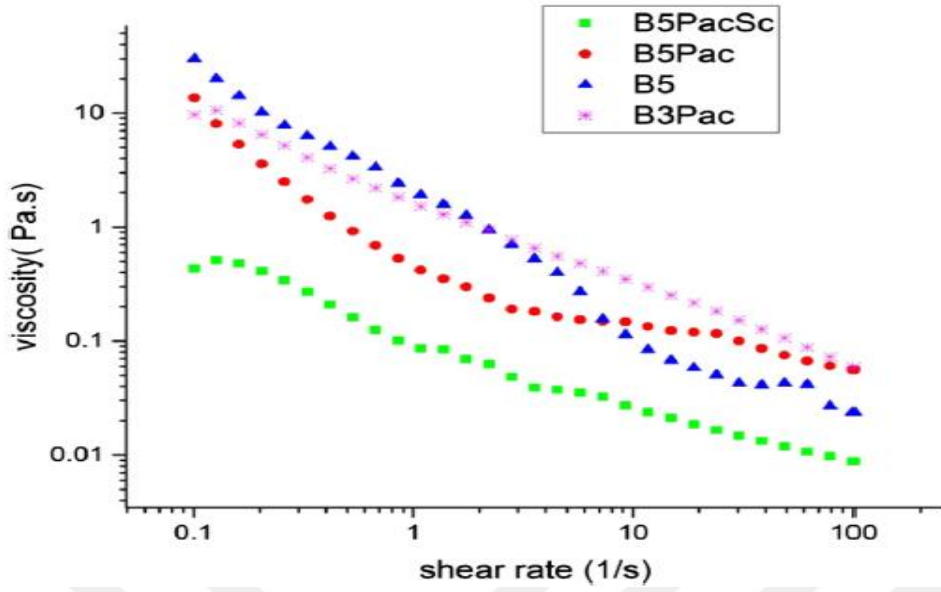


Şekil 3.7. Yağlayıcıların tek başına ilave edilmesiyle oluşan çamurun sıvı kaybı değerleri (Sönmez ve diğerleri, 2013)

Kafashi, Rasaei ve Karimi (2016) yaptıkları bir çalışmada, şeker kamışı ve PAC (polyanionic cellulose) polimerinin su bazlı sondaj çamurunun reolojik özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Buna göre, çamurun viskozitesinin sabit sıcaklık ve kayma hızında zamana bağlı değişim grafiği çizilmiştir. Şekil 3.8’de görüldüğü gibi, şeker kamışı ve PAC polimerinin birlikte çamura ilave edilmesiyle viskozitede büyük bir artış görülmüştür, ancak diğerleri çok iyi bir etki yaratmamıştır. Şekil 3.9’a göre ise, değişen kayma hızına bağlı olarak çamurun viskozite değerleri ölçülmüştür. B5PacSc, yani şeker kamışı ve PAC polimerinin sondaj çamuruna birlikte ilave edilmesiyle oluşan çamur en iyi performansı göstermiştir, çünkü viskozitesi B5’e (bentonit dispersiyonuna) göre daha az düşmüştür.

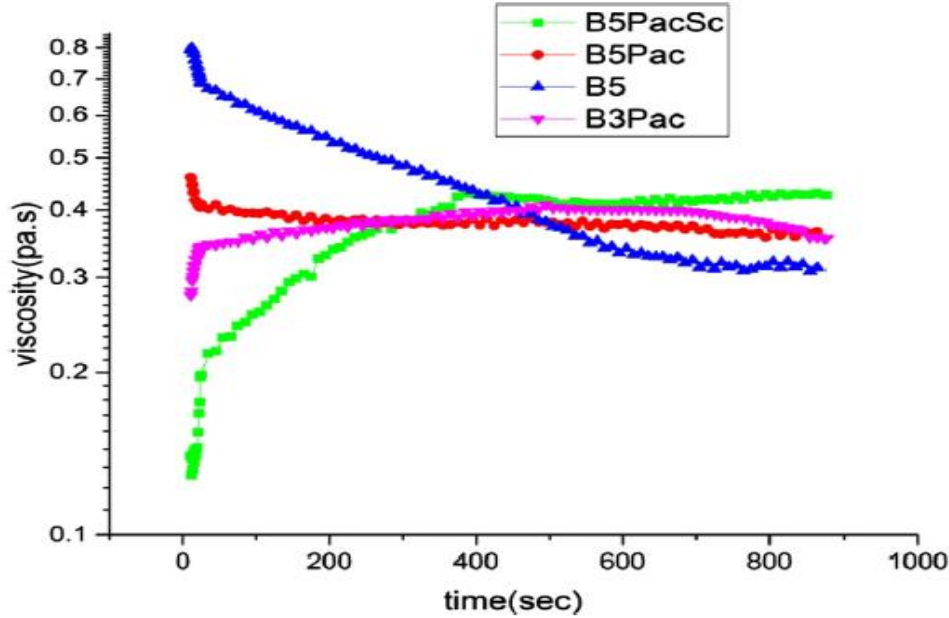


Şekil 3.8. Sondaj çamurunun viskozitesinin zamana göre değişimi (Kafashi ve diğerleri, 2016)



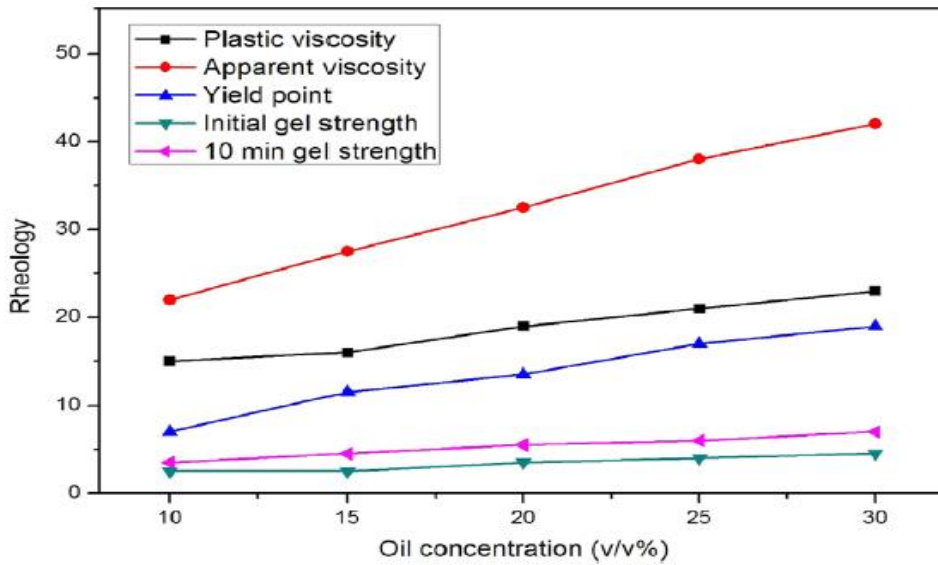
Şekil 3.9. Sondaj çamurunun değişen kayma hızlarındaki viskozitesinin zamana göre değişimi (Kafashi ve diğerleri, 2016)

Çamurun jel mukavemeti değerlerine (10 saniye ve 10 dakika) bakıldığında ise, şeker kamışının karbonhidrat yapısı ve PAC polimeriyle arasındaki güçlü etkileşimi sebebiyle, B5PacSc'nin sondaj çamuruna ilave edilmesiyle çamurun viskozitesi artmıştır (Şekil 3.10).



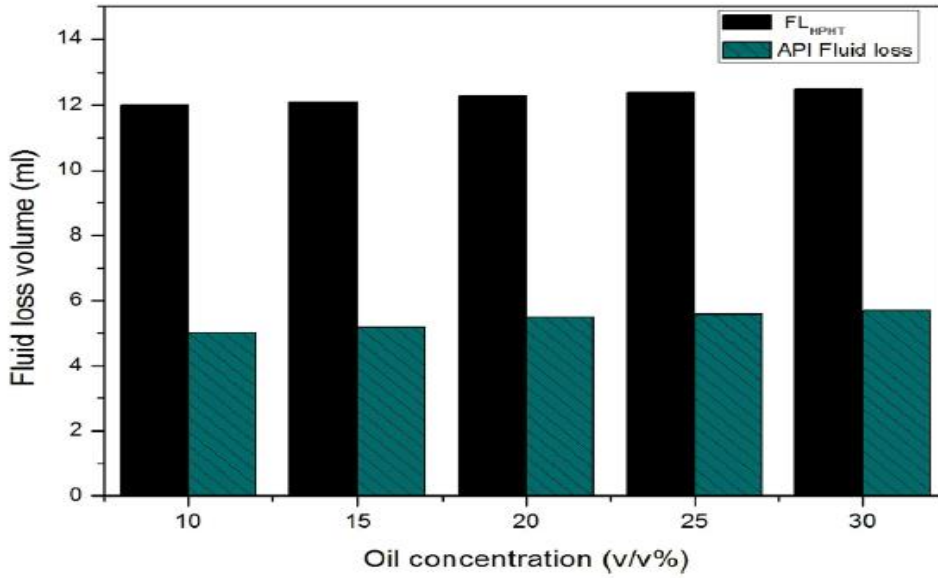
Şekil 3.10. Sondaj çamurunun 120 °F'teki jel mukavemeti değerleri (Kafashi ve diğerleri, 2016)

Yağlayıcıların, sondaj çamurunun özellikleri üzerine etkisini inceleyen Paswan, Jain, S. Sharma, Mahto ve V. Sharma (2016) yaptıkları bir çalışmada, Jatropha yağı denilen bir yağlayıcı kullanmış ve bunun dizel ile karşılaştırılması yapılmıştır. Dizel yağına göre viskozitesi bir hayli yüksek olan bu yağlayıcı, çamura ilave edilerek çamurun reolojik özellikleri incelenmiştir. Jatropha yağı denilen yağlayıcının viskozitesi yüksek olduğu için çamurun viskozitesini olumlu yönde artırmıştır (Şekil 3.11).

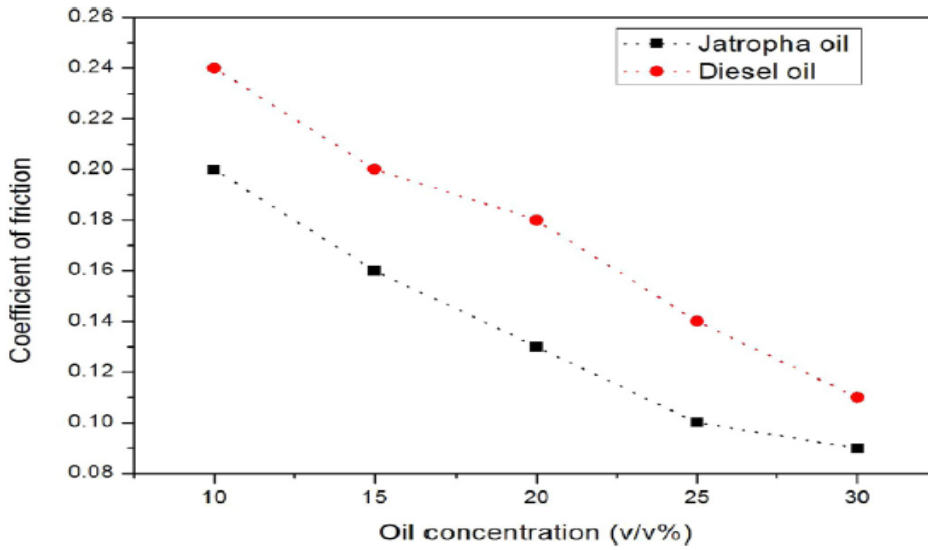


Şekil 3.11. Jatropha yağı ilave edilen çamurun reolojik özelliklerindeki değişimi gösteren grafik (Paswan ve diğerleri, 2016)

Çamurun sıvı kaybı değerlerine bakıldığında ise düşük bir sıvı kaybının yaşandığı görülmüştür, bu da istenen bir durumdur (Şekil 3.12). Son olarak, çamurun yağlayıcı özelliğine bakılmış ve Jatropha yağı ilave edilen çamurun sürtünme katsayısı değerinin, dizel eklenen çamura göre daha düşük bir değere sahip olduğu görülmüştür (Şekil 3.13).



Şekil 3.12. Jatropha yağı ilave edilen çamurun sıvı kaybı değerleri (Paswan ve diğerleri, 2016)



Şekil 3.13. Jatropha yağı ve dizel yağının çamurun sürtünme katsayısına etkisi (Paswan ve diğerleri, 2016)

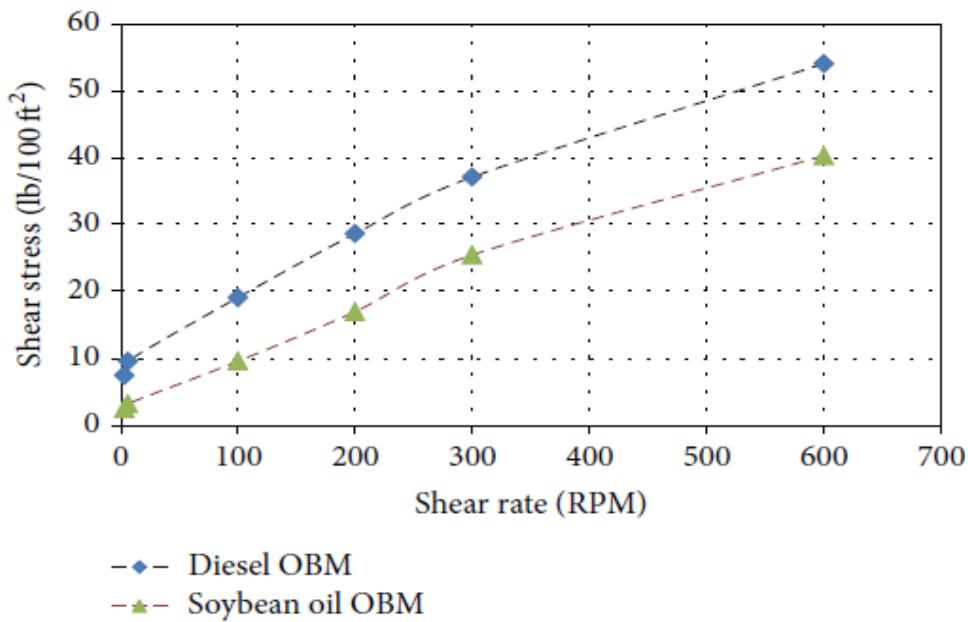
Mahto ve Sharma (2004) yaptıkları bir çalışmada, tamarind sakızı adlı biyoyağlayıcı katkısının bentonit-su süspansiyonunun reolojik özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Yapılan çalışmalar neticesinde; karbonhidrat türü bir polimer olan katkı maddesinin; yapısındaki hidroksil gruplarıyla kil arasında oluşan hidrojen bağı nedeniyle, tamarind sakızı konsantrasyon miktarını arttırdıkça reolojik özellikler üzerinde pozitif bir etkinin oluşumuna neden olduğu ortaya konulmuştur (Çizelge 3.1). Aynı zamanda; tamarind

sakızı, PAC polimeri ve bentonit kilinden oluşan çamurun, düşük konsantrasyonlarda uygun reolojik özelliklerde çamur oluşturduğu ve optimum değerde sıvı kaybı meydana getirdiği görülmüştür.

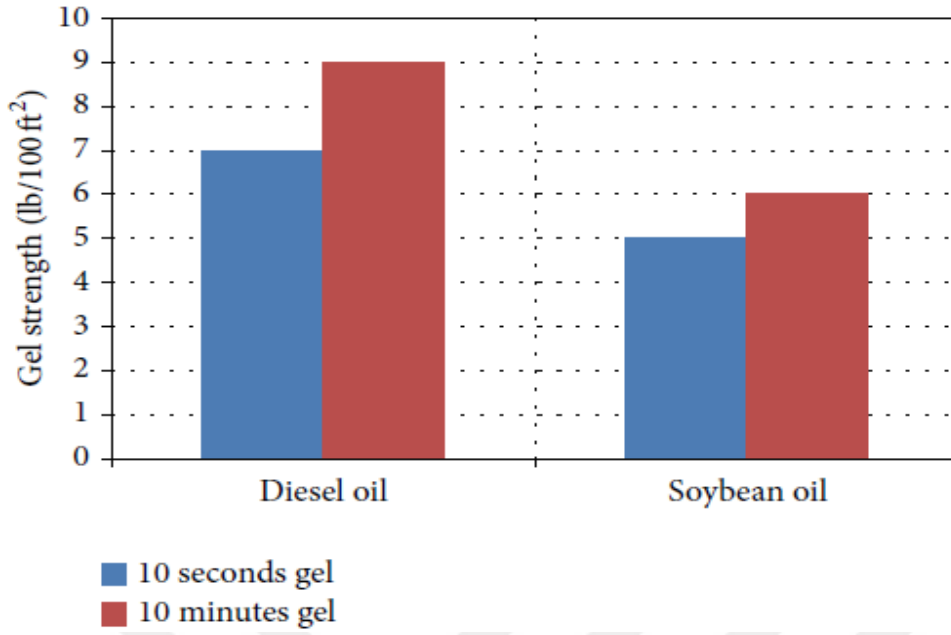
Çizelge 3.1. Tamarind sakızı maddesinin çamurun reolojik özelliklerine etkisi (Mahto ve Sharma, 2004)

Tamarind sakızı konsantrasyonu (g/L)	Görünür viskozite (cP)	Plastik viskozite (cP)	Kopma noktası (N/m ²)	Jel _{10 s.} (N/m ²)	Jel _{10 dak.} (N/m ²)	γ_p/μ_p (s ⁻¹)
0,5	13	8	5	1,5	4	1 250
1	19,5	11	8,5	3	6	1 540
1,5	27,5	13	14,5	5,5	9,5	2 230
2	35	14	21	9	12	3 000
2,5	48	16	32	14,5	16,5	4 000

Agwu, Okon ve Udoh (2015) yaptıkları bir çalışmada, soya yağının sondaj çamurunun reolojik özellikleri üzerine etkisini incelemiştir. Şekil 3.15 ve 3.16'da görüldüğü gibi, soya yağı ilave edilmiş çamurun viskozite ve jel mukavemeti değerleri, dizel yağı ilave edilmiş çamura göre daha düşüktür. Soya yağı eklenmiş çamurun viskozitesinin daha düşük olması çamurun daha iyi akmasına neden olur, bu da düşük pompa basıncına ve dolayısıyla kuyunun iyi temizlenmesine neden olur.

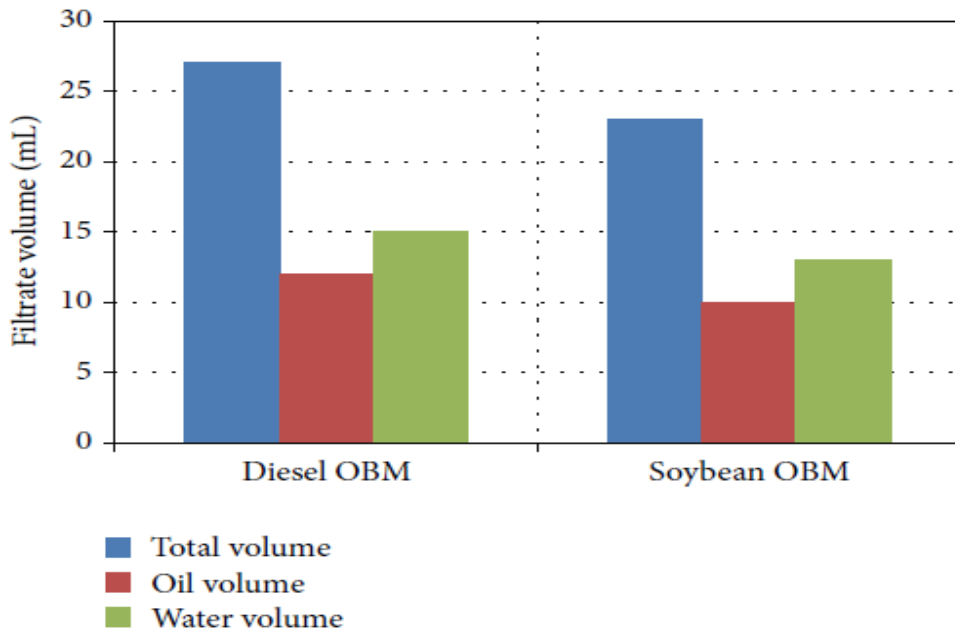


Şekil 3.15. Soya yağlı ve dizel yağlı sondaj çamurunun viskozite değerlerinin karşılaştırılması (Agwu ve diğerleri, 2015)

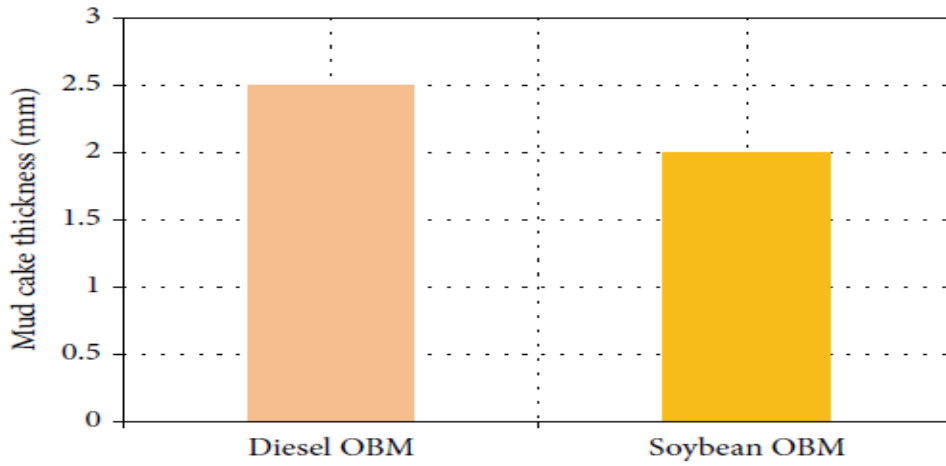


Şekil 3.16. Soya yağı ve dizel yağı sondaj çamurunun jel mukavemeti değerlerinin karşılaştırılması (Agwu ve diğerleri, 2015)

Çamurun sıvı kaybı ve kek kalınlığı değerlerine bakıldığında ise, soya yağı çamurun dizel yağı çamura göre sıvı kaybı ve kek kalınlığı daha düşüktür, bu durum da daha iyi bir sondaj çamuru oluştuğunu göstermektedir (Şekil 3.17 ve 3.18).

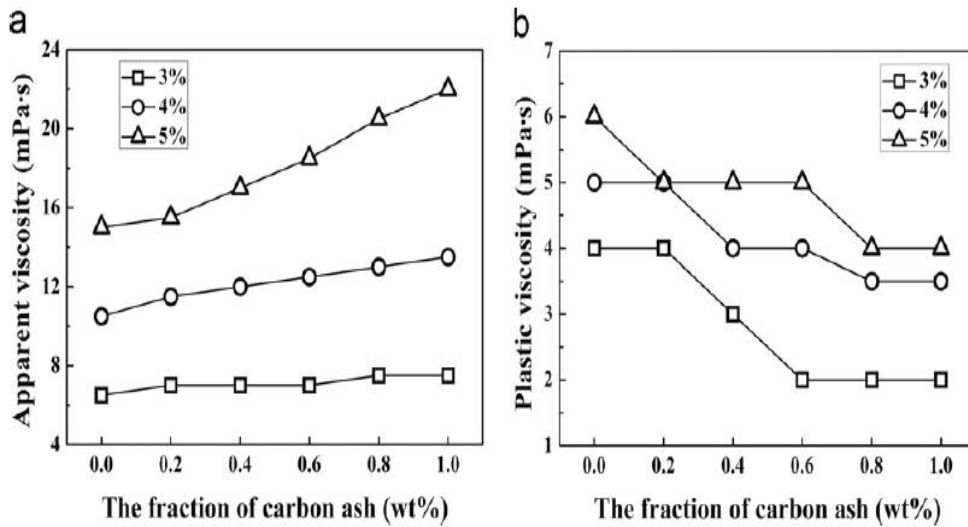


Şekil 3.17. Soya yağı ve dizel yağı sondaj çamurunun sıvı kaybı değerlerinin karşılaştırılması (Agwu ve diğerleri, 2015)



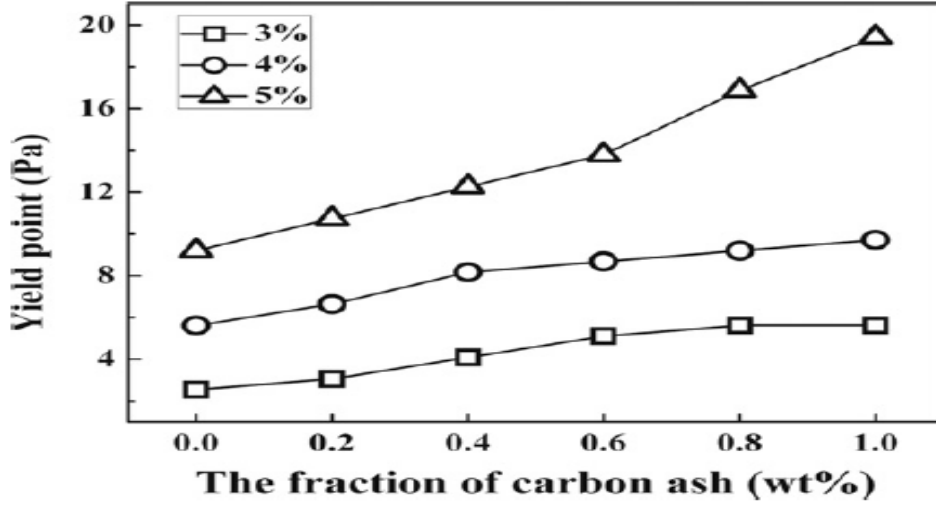
Şekil 3.18. Soya yağı ve dizel yağı sondaj çamurunun kek kalınlığı değerlerinin karşılaştırılması (Agwu ve diğerleri, 2015)

Karbon külünün su bazlı sondaj çamurunun reolojik özellikleri üzerine etkisini inceleyen Meng, Zhang, Zhou ve Chu (2012), karbon külü miktarı arttıkça görünür viskozitenin arttığını ve plastik viskozitenin ise azaldığını görmüşlerdir. Karbon külü arttırıldıkça görünür viskozitenin artması, bentonit dispersiyonunun daha iyi bir akışkanlığa sahip olduğunu gösterir. Plastik viskozitenin azalması ise, bentonit dispersiyonu parçacıkları arasındaki sürtünmenin artması sebebiyledir, ancak bu azalmanın, katı parçacıkların artmasıyla azaldığı görülmüştür. Örneğin, % 4 bentonit dispersiyonuyla görünür viskozitenin daha kararlı arttığı görülmüştür, bu da çamurun daha kontrollü akmasını sağladığı için istenen bir durumdur (Şekil 3.19).

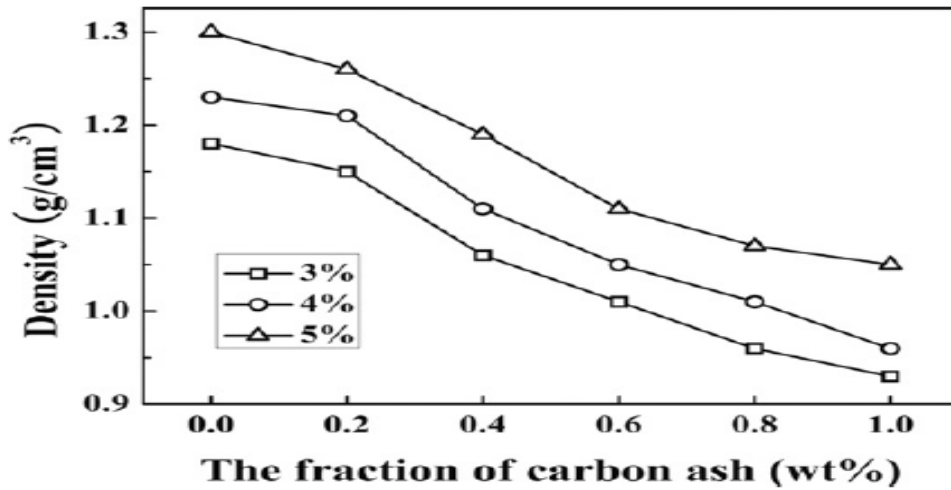


Şekil 3.19. Karbon külünün çamurun görünür ve plastik viskozitelerine etkisi (Meng ve diğerleri, 2012)

Şekil 3.20’de görüldüğü gibi, düşük katı içerikli bentonitlerde kopma noktasının daha istikrarlı davrandığı görülmektedir, bu da kontrol edilebilirlik açısından daha iyidir. Karbon külü arttırıldıkça, bentonit parçacıklarının toplanmasının azalması sebebiyle de yoğunluk düşmektedir (Şekil 3.21).



Şekil 3.20. Karbon külünün çamurun kopma noktasına etkisi (Meng ve diğerleri, 2012)



Şekil 3.21. Karbon külünün çamurun yoğunluğuna etkisi (Meng ve diğerleri, 2012)

Mahto (2013) yaptığı başka bir çalışmada, aktive edilmiş kömürün su bazlı sondaj çamurunun reolojik ve filtrasyon özellikleri üzerine etkisini incelemiştir. İnceleme sonucunda, aktive edilmiş kömürün sondaj çamuruna ilave edilmesiyle çamurun reolojisini olumlu yönde etkilediğini ve çamurun sıvı kaybı ve kek kalınlığı değerlerinin azaldığını görmüştür (Çizelge 3.2 ve 3.3).

Çizelge 3.2. Sondaj çamurunun aktive edilmiş kömür ilave edilmeden önceki reolojik ve filtrasyon özellikleri (Mahto, 2013)

Özellikler	Birim	Katkısız Sondaj Çamurları			
		A Çamuru	B Çamuru	C Çamuru	D Çamuru
Görünür Viskozite	cP	20	30	32	38
Plastik Viskozite	cP	12	16	18	18
Kopma Noktası	N/m ²	8	14	14	20
10 s. Jel Mukavemeti	N/m ²	1,25	2,5	4	5
10 dak. Jel Mukavemeti	N/m ²	1,75	4	6	7,5
API Sıvı Kaybı	mL	20	20	20	20
Kek Kalınlığı	cm	0,24	0,24	0,24	0,24

Çizelge 3.3. Sondaj çamurunun aktive edilmiş kömür ilave edildikten sonraki reolojik ve filtrasyon özellikleri (Mahto, 2013)

Özellikler	Birim	Katkılı Sondaj Çamurları			
		A Çamuru + % 3 Aktive Edilmiş Kömür	B Çamuru + % 3 Aktive Edilmiş Kömür	C Çamuru + % 3 Aktive Edilmiş Kömür	D Çamuru + % 3 Aktive Edilmiş Kömür
Görünür Viskozite	cP	21	31	33	40
Plastik Viskozite	cP	14	18	18	20
Kopma Noktası	N/m ²	7	13	15	20
10 s. Jel Mukavemeti	N/m ²	1,3	2,5	4,5	6
10 dak. Jel Mukavemeti	N/m ²	2,5	4	6,5	9
API Sıvı Kaybı	mL	5,5	5,5	5	5
Kek Kalınlığı	cm	0,025	0,025	0,025	0,025

Ibrahim, Sami ve Balasubramanian (2016) yaptıkları bir çalışmada; gaz yağı katkısının sondaj çamurunun filtrasyon kaybı üzerine etkisini incelemişlerdir. Hacimce % 5 oranında gaz yağı ilave edilmiş çamurun sıvı kaybının % 25 azaldığını ve hatta gaz yağı miktarı hacimce % 10'a çıkarıldığında sıvı kaybının % 35 azaldığını görmüşlerdir.

Vryzas ve Kelessidis (2017) yaptıkları bir çalışmada; sondaj çamurunda katkı olarak nanopartiküllerin kullanımını araştırmışlardır. Yapılan araştırmalar sonucunda; özellikle

yüksek sıcaklık ve basınç şartlarında, nanopartiküllerin sondaj çamurunda kullanımıyla çamurun sıvı kaybında önemli ölçüde iyileştirme meydana geldiği belirtilmiştir. Ayrıca, nanopartiküllerle desteklenmiş sondaj çamurunun optimum kopma noktasını koruyarak düz jel tipi sergilediği ve böylece sondaj kesintilerini askıda tutabilme ve kesintilerin taşınabilme kapasitesini iyileştirmesi bakımından önemli bir potansiyel olduğu belirtilmiştir. Buna benzer bir başka çalışma da Nasser ve diğerleri (2013) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaya göre, nanopartiküllerle desteklenmiş sondaj çamurunun normal çamura göre, özellikle yüksek sıcaklık ve basınç şartlarında, reolojik özelliklerinin daha etkili ve sürdürülebilir olduğu görülmüştür.

Saboori, Sabbaghi, Kalantariasl ve Mowla (2018) yapmış oldukları bir çalışmada; nanoCMC (nanokarboksümetilselüloz) katkısının su bazlı sondaj çamurunun reolojik ve filtrasyon özellikleri üzerine etkisini incelemiştir. Yapılan incelemede; nanoCMC katkısı miktarı arttırıldıkça, viskozite ve kopma noktasının da arttığını, ancak CMC katkısına göre viskozite ve kopma noktasının daha düşük değerler aldığı görülmüştür. Çamurun sıvı kaybı değerlerine bakıldığında; hem CMC hem de nanoCMC miktarı arttırıldıkça, sıvı kaybı değerleri azalmıştır. NanoCMC katkısı eklenen çamurun sıvı kaybının, CMC katılan çamura göre daha düşük değerler aldığı görülmüştür. Son olarak çamurun kek kalınlığı değeri incelenmiş olup, nanoCMC katılan çamurun kek kalınlığının CMC katılan çamura göre daha düşük çıktığı gözlenmiştir. Dolayısıyla, nanoCMC katkısının CMC katkısına nazaran çamurun reolojisine ve filtrasyon özelliklerine etkisinin daha olumlu olduğu anlaşılmıştır.

Ruqeshi, Salmi ve Mohiuddin (2018) sondaj çamurunun reolojisini iyileştirmek amacıyla karbon nano partikülü ve ZnO nano teli adlı nano katkıları çamura ilave etmişlerdir. Ağırlıkça % 1-3 miktarında karbon nano partikülü ve ZnO nano telinin çamura eklenmesiyle, çamurun yoğunluğu ve viskozitesinin arttığını görmüşlerdir. Ayrıca, az miktarda karbon nano partikülü çamura ilave edildikten sonra, çamurun sıvı kaybı değerinin önemli ölçüde azaldığı ve bu durumun matkabi yağlama ve viskoziteyi kontrol etme açısından önemli olduğu belirtilmiştir. Buna benzer bir çalışma da Aftab, Ismail, Khokhar ve Ibutoto (2016) tarafından yapılmıştır. Buna göre, çinko oksit (ZnO) nano partikülleri ve akrilamit birleşiminin katkısız olarak sondaj çamurunun reolojik özelliklerine etkisinin olumlu olduğu görülmüştür.

Weickey, Sinha ve Dewangan (2018) yaptıkları bir çalışmada; Babul sakızı, Dhawda sakızı, Katira sakızı ve Semal sakızı olmak üzere 4 farklı yerel ve doğal sakızın su bazlı sondaj çamurunun reolojisine etkisini incelemiştir. Yapılan incelemeler sonucu, tüm sakızların viskoziteyi arttırmakla birlikte, Dhawda sakızının diğer sakızlara göre çamurun viskozitesini daha çok arttırdığı belirtilmiştir. Ayrıca, Dhawda sakızı miktarı arttırıldıkça, çamurun kayma gerilmesinin arttığı, ancak diğer sakızlarda ise kayma gerilmesinin azaldığı görülmüştür.

El Sukkary ve diğerleri (2013) tarafından yapılan bir çalışmada, vanilya ile modifiye edilmiş polyoksietilen surfaktantı katkı maddesi olarak su bazlı sondaj çamuruna ilave edilmiş ve çamurun reolojik özellikleri incelenmiştir. Buna göre, katkı miktarı arttırıldıkça çamurun reolojik özelliklerinde iyileştirme meydana geldiği açık bir şekilde tespit edilmiştir.

Alias ve diğerleri (2014) nanosilica katkı maddesinin su bazlı sondaj çamurunun reolojik özellikleri üzerine etkisini incelemiş ve şu sonuçlar elde edilmiştir. Buna göre, nanosilica maddesinin çamura eklenmesiyle birlikte çamurun ağırlığının, pH değerinin, viskozitesinin ve jel mukavemetinin azaldığı görülmüştür. Bu çalışmaya benzer bir başka çalışma da A.R. Ismail, Sulaiman, Jaafar, I. Ismail ve Hera (2016) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu araştırmada ise nanosilica ve çok duvarlı karbon nanotüplerinin su bazlı sondaj çamurunun sıvı kaybı ve diğer reolojik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiş olup, kullanılan nanopartiküllü katkılarla çamurun reolojisinde iyileştirme yapılabileceği anlaşılmıştır. Ayrıca, sıvı kaybı azaltıcı katkı olarak çok duvarlı karbon nanotüplerinin daha etkili olduğu ve nanosilica katkısının sıvı kaybı katkısı olarak kullanılamayağı tespit edilmiştir.

Bir diğer çalışma da Haider ve diğerleri (2018) tarafından uygulanmıştır. Bu çalışmaya göre, talaş tozu maddesi su bazlı sondaj çamuruna ilave edilmiş ve çamurun reolojisine etkisi incelenmiştir. Yapılan inceleme sonucu talaş tozunun çamura ilave edilmesiyle çamurun daha iyi reolojik özellikler sergilediği ve minimum değerde sıvı kaybı oluşturması sebebiyle sıvı kaybı azaltıcı olarak kullanılabileceği belirlenmiştir.

Alsabagh, Abdou, Ahmed, Khalil ve Aboulrous (2014) yaptıkları bir çalışmada üç doğal suda çözünmeyen selülozik maddelerin (yer fıstığı kabukları, küspe ve talaş) su bazlı sondaj çamurunun reolojisi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bu araştırmaya göre,

çamurun reolojik özelliklerinde hafif bir artış meydana geldiği, kopma noktası, plastik viskozite, görünür viskozite ve jel mukavemetinin arttığı tespit edilmiştir.

Kania, Yunus, Omar, Rashid ve Jan (2015) yapmış oldukları bir çalışmada bitkisel yağların ester formuna modifiye edilmesi ile birlikte oluşan ester biyoyağlayıcıların su bazlı sondaj çamuruna etkisini incelemişlerdir. Buna göre, ester biyoyağlayıcıların çamura eklenmesiyle birlikte uygun aralıklarda viskozite değerleri alınmış ve aynı zamanda çamurun yağlayıcılık özelliğinin arttığı görülmüştür.

Haras, Ibrahim, Ali, Sipaut ve Abdalsalam (2013) yaptıkları bir çalışmada Lignin Graft Copolymer (LGC) adlı kimyasal olarak modifiye edilmiş biyopolimeri sondaj çamuru katkısı olarak kullanmışlardır. Buna göre, LGC katkısının düşük konsantrasyonlarda çamura iyi jel oluşturma, viskozite düzenleme ve pH kontrolü sağlama gibi özellikler kazandırdığı görülmüştür.

Sonuç olarak, yapılan tüm bu çalışmaların nihai sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, biyokütle tabanlı çeşitli katkı maddelerinin bazı işlemlerden geçirilerek sondaj çamuruna ilave edilmeleriyle, sondaj çamurunun reolojik ve filtrasyon özellikleri üzerinde olumlu etki yarattıkları görülmüştür. Ayrıca, biyokütle tabanlı katkıların, hem ekonomik hem de çevresel etki bakımından elverişli olmaları nedeniyle de ön plana çıktıkları bariz bir şekilde görülmektedir.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Materyal

Bu tez çalışmasında, Hatay yöresi zeytinyağı işletmelerinden temin edilmiş pirina hammaddesi kullanılmış olup, İskenderun Teknik Üniversitesi Araştırma ve Uygulama Merkezi laboratuvarlarında teknik analizi yapılmıştır. Zeytinyağı atıklarından elde edilen pirina hammaddesi; biyokütle tabanlı olması, çevresel etki ve maliyet bakımından uygun olması ve ülkemizde de bol miktarda bulunması açısından, bu çalışmada ana materyal olarak kullanılmıştır.

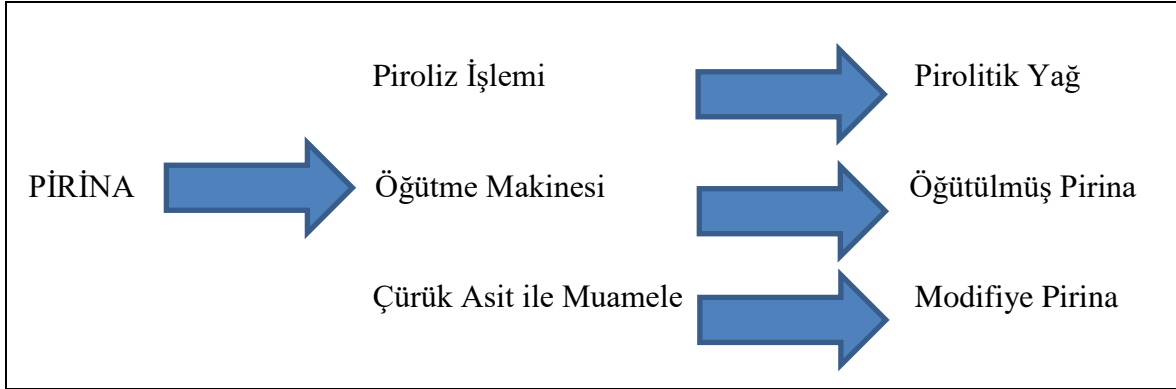
Pirina hammaddesinin sondaj çamurunun reolojik ve filtrasyon özelliklerine etkisini incelemek için su bazlı sondaj çamurları hazırlanmıştır. Katkısız su bazlı sondaj çamuru, API (American Petroleum Institute) standartlarına göre 500 mL saf su, 32 g bentonit, 2 g CMC ve 0,8 g NaOH ile hazırlanmıştır.

4.2. Yöntem

Bu çalışmada yöntem sırasıyla; hammaddenin ön iyileştirme işlemine tabi tutulması, su bazlı sondaj çamurlarının hazırlanışı ve bu çamurların reolojik ve filtrasyon özelliklerinin incelenmesi şeklinde olacaktır.

4.2.1. Ön iyileştirme işlemi

Öncelikle pirina hammaddesi açık hava ortamında bekletilmek suretiyle iyice kurutulmuş ve daha sonra bazı işlemlerden geçirilerek 3 farklı katkı maddesi elde edilmiştir (Şekil 4.1). Bu kapsamda ilk önce pirina, piroliz cihazı ile piroliz işlemine tabi tutularak pirolitik yağ elde edilmiştir. Daha sonra pirina, öğütme makinesi ile öğütülerek öğütülmüş pirina ve son olarak çürük asit ile işleme sokularak modifiye pirina elde edilmiştir. Pirina bazlı bu 3 farklı katkı maddesi, ayrı ayrı su bazlı sondaj çamuruna belirli miktarlarda eklenerek, sondaj çamurunun 25 °C, 35 °C, 49 °C ve 66 °C sıcaklıklarda reolojik özellikleri incelenmiştir.



Şekil 4.1. Ham pirinanın bazı işlemlerden geçirilmesiyle oluşan katkı maddeleri

Pirinadan pirolitik yağ elde edilmesi

Piroliz; biyokütle vb. gibi karbon içerikli düşük değerli çeşitli materyallerin, inert bir atmosfer ortamında ısı enerjisi eşliğinde katı (char), sıvı (pirolitik yağ) ve gaz gibi farklı fiziksel formlardaki daha değerli ürünlere dönüştürülmesi işlemidir. Pirina, UNITERM URT-5080H model piroliz cihazı ile piroliz işleminden geçirilerek pirolitik yağ elde edilmiştir. Piroliz işlemi sonrası oluşan pirolitik yağ, hazırlanan su bazlı sondaj çamuruna belirli miktarlarda ilave edilmiş ve çamurun reolojisini nasıl etkilediği araştırılmıştır.

Pirinadan öğütülmüş pirina elde edilmesi

Kuru pirina, öğütme makinesi ile öğütülerek öğütülmüş pirina elde edilmiştir. Öğütme işlemi sonrası oluşan öğütülmüş pirina, hazırlanan su bazlı sondaj çamuruna belirli miktarlarda ilave edilmiş ve çamurun reolojisini nasıl etkilediği araştırılmıştır. Öğütülmüş pirinanın suda çözünmesi zor olduğu için, çamura ilave edilmeden önce CTAB (hexadecyl trimethyl ammonium bromide) adlı surfaktant suya eklenmiş, böylece öğütülmüş pirinanın yüzey gerilmesi azaltılmıştır. Kullanılan bentonit miktarının % 1'i kadar (yaklaşık 0,3 g) CTAB maddesi suya ilave edilmiştir.

Pirinadan modifiye pirina elde edilmesi

Kuru pirina, çürük asit ile işleme sokularak modifiye pirina elde edilmiştir. Bu yöntemle oluşan modifiye pirina, hazırlanan su bazlı sondaj çamuruna belirli miktarlarda ilave edilmiş ve çamurun reolojisini nasıl etkilediği araştırılmıştır.

4.2.2. Su bazlı sondaj çamurlarının hazırlanışı

Su bazlı sondaj çamurları hazırlanırken, ölçüm esnasında DESIS elektronik tartma cihazı kullanılmıştır. Su bazlı sondaj çamurları aşağıdaki gibi hazırlandıktan sonra ağzı kapalı kavanozlara konulup 24 saat dinlendirilmiştir.

1. 500 mL saf su bir çamur kabına konuldu.
2. 32 g bentonit saf suya yavaş yavaş ilave edilerek, saf su ve bentonit kabın dibinde hiç tortu kalmayacak şekilde mikser yardımıyla karıştırıldı.
3. 2 g CMC (karboksi metil selüloz) çamurun sıvı kaybını azaltmak için çamura ilave edildi ve çamur tekrar karıştırıldı.
4. 0,8 g NaOH (sodyum hidroksit) çamurun pH ve alkalinitesini düzenlemek için çamura ilave edildi ve karıştırıldı.
5. 3 farklı katkı maddesi belirlenen miktarlarda ayrı ayrı çamura ilave edildi ve karıştırıldı.
6. Hazırlanan çamur kapalı bir kaba konuldu ve 24 saat dinlendirildi.

4.2.3. Su bazlı sondaj çamurlarının reolojik ve filtrasyon özelliklerinin incelenmesi

Su bazlı sondaj çamurlarının çamur ağırlığı, çamur terazisi ile, viskozite ve jel mukavemeti değerleri ise OFI test ekipmanı Model 800 viskometre cihazıyla ölçülmüştür. Pirina bazlı 3 katkı maddesinin, çamurun filtrasyon özellikleri üzerine etkisi de OFI test ekipmanı Model 140-75 filtre presi cihazı ile tespit edilmiştir. Çamurun sıvı kaybı ve kek kalınlığı bu cihaz ile tespit edilip rapor edilmiştir. Çamurun kek kalınlığı milimetrik cetvel ile, pH değerleri ise pH kâğıdı kullanılarak ölçülmüştür.

Su bazlı sondaj çamurlarının reolojisini incelerken sıcaklığın etkisi de araştırılmıştır. Sıcaklığın çamurun reolojik özelliklerine etkisini incelemek için, hazırlanan çamurlar JSR, JSVB-30T model su banyosu cihazına konularak, çamurun viskozite, jel mukavemeti ve pH değerleri farklı sıcaklıklarda tespit edilip rapor edilmiştir.

5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

5.1. Su Bazlı Sondaj Çamurunun Reolojik ve Filtrasyon Özellikleri

Su bazlı sondaj çamurunun reolojik ve filtrasyon özelliklerinin incelenmesi sırasıyla; çamur ağırlığı, viskozite, kopma noktası, jel mukavemeti, sıvı kaybı, kek kalınlığı ve pH ölçümlerinden oluşmaktadır.

5.1.1. Çamur ağırlığı

Hazırlanan su bazlı sondaj çamurlarının çamur ağırlığı, çamur terazisi ile ölçülmüştür. Katkısız ve katkılı çamurların çamur ağırlıkları aşağıdaki çizelgelerde yer almaktadır.

Çizelge 5.1. 25 °C’de katkısız çamurun çamur ağırlığı değeri

Katkısız, g	Çamur Ağırlığı, lb/gal
0	8,6

Çizelge 5.2. 25 °C’de pirolitik yağ eklenen çamurun çamur ağırlığı değerleri

Pirolitik Yağ Miktarı, g	Çamur Ağırlığı, lb/gal
0	8,6
1	8,6
1,6	8,6
2,2	8,6
3	8,6
5	8,62
7	8,64
10	8,67
12	8,69
15	8,72

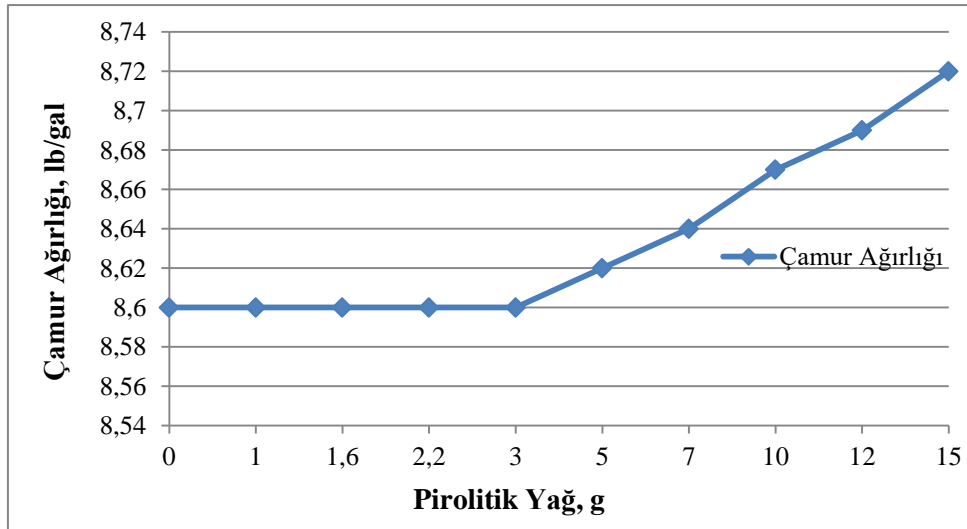
Çizelge 5.3. 25 °C’de modifiye pirina eklenen çamurun çamur ağırlığı değeri

Modifiye Pirina Miktarı, g	Çamur Ağırlığı, lb/gal
0	8,6
1,6	8,6

Çizelge 5.4. 25 °C’de öğütülmüş pirina eklenen çamurun çamur ağırlığı değerleri

Öğütülmüş Pirina Miktarı, g	Çamur Ağırlığı, lb/gal
0	8,6
1	8,6
1,6	8,6
2,2	8,6
3	8,62
5	8,63
7	8,66
10	8,69
12	8,71
15	8,74

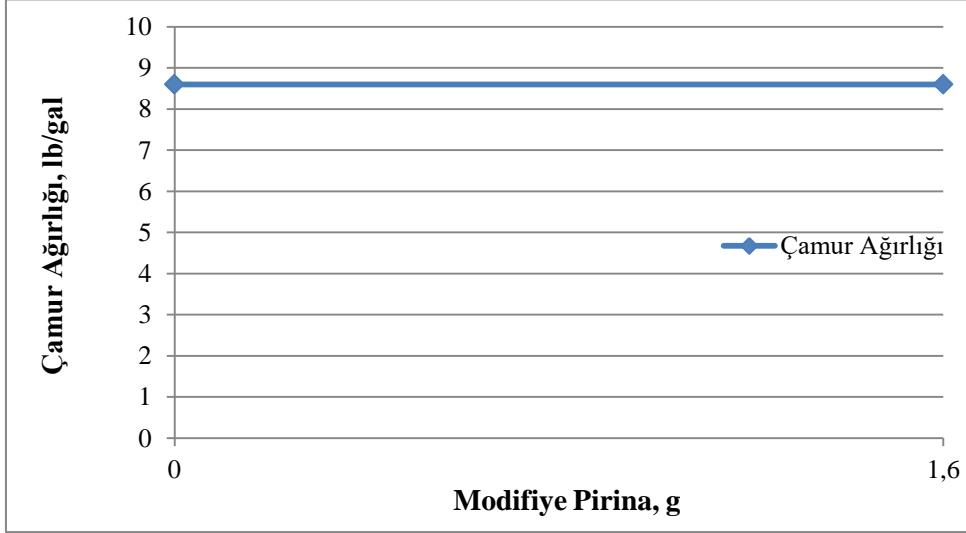
Şekil 5.1’de görüldüğü gibi, pirolitik yağ miktarı arttırıldıkça sondaj çamurunun ağırlığı artmıştır. Irawan, Zakuan, Azmi ve Saaid (2009) tarafından yapılan bir çalışmaya göre, mısır koçanı ve şeker kamışı katkılarının sondaj çamuruna eklenmesiyle birlikte, çamurun ağırlığının arttığı gözlenmiştir. Dolayısıyla, mısır koçanı ve şeker kamışı gibi biyokütle tabanlı olan pirolitik yağın, sondaj çamuruna eklenmesiyle çamurun ağırlığını arttırması, bu durumu destekler niteliktedir.



Şekil 5.1. Pirolitik yağ eklenen çamurun çamur ağırlığı değerleri

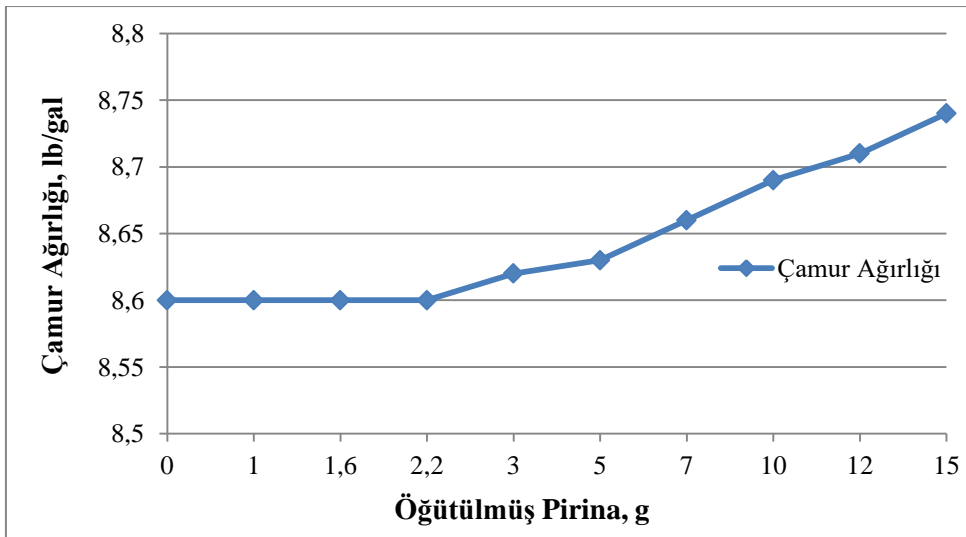
Modifiye pirina eklenen çamurun çamur ağırlığı incelendiğinde, az miktarda ilave edilen katkıyla beraber çamurun ağırlığının değişmediği görülmüştür (Şekil 5.2). Irawan ve diğerlerine (2009) göre; sondaj çamuru ağırlığının, 0,013 lb (\approx 5,9 g) katkı miktarını aşana kadar sabit kaldığı ve bu miktar aşıldığında çamur ağırlığının arttığı belirtilmiştir.

Dolayısıyla, sondaj çamuruna 1,6 g gibi az miktarda eklenen modifiye pirinanın çamur ağırlığı üzerindeki etkisinin yapılan çalışma ile benzer olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 5.2. Modifiye pirina eklenen çamurun çamur ağırlığı değerleri

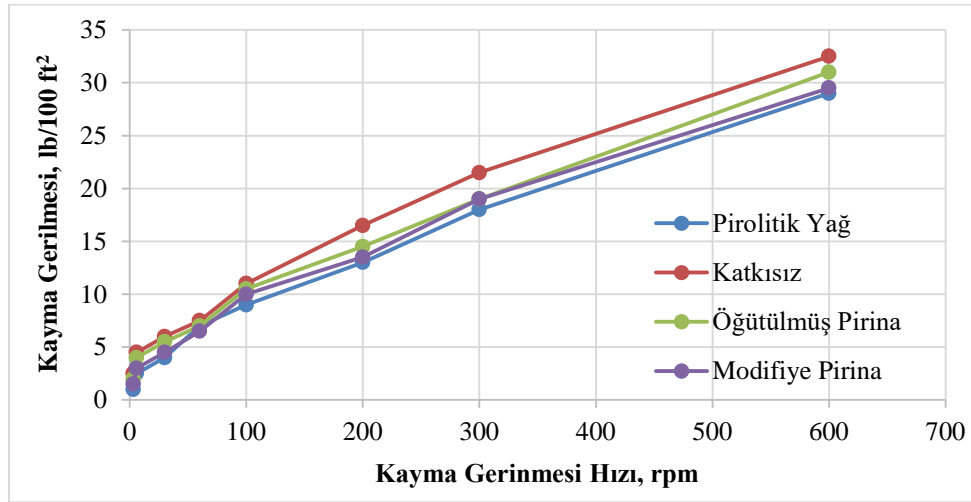
Öğütülmüş pirina eklenen çamurun çamur ağırlığına bakıldığında ise; katkı miktarı arttırıldıkça, çamur ağırlığı pirolitik yağ eklenmiş çamura göre daha fazla artış göstermiştir (Şekil 5.3). Bunun sebebi, öğütülmüş pirinanın pirolitik yağa göre çamurun içinde iyi çözünmemesinden kaynaklı olabilir. Awele (2014) yaptığı bir çalışmada, çamurun içerisindeki katı miktarının artmasının çamurun ağırlığının artmasına neden olacağını belirtmiştir.



Şekil 5.3. Öğütülmüş pirina eklenen çamurun çamur ağırlığı değerleri

5.1.2. Çamurların viskozite, kopma noktası ve jel mukavemeti değerleri

Sondaj çamurunun viskozite ve kopma noktası değerlerini bulabilmek için öncelikle sondaj çamuru için hangi modelin uygun olduğunu belirlemek gerekir. Bu yüzden, çamurların değişen kayma gerilmesi hızlarındaki kayma gerilmesi değerleri incelenmelidir. Çamurların farklı kayma gerilmesi hızı değerlerine karşılık gelen kayma gerilmeleri, viskometre cihazı ile ölçülmüştür (Şekil 5.4).



Şekil 5.4. Çamurların farklı kayma gerilmesi hızlarındaki kayma gerilmeleri

Bu 4 farklı çamurun Bingham Plastik Modeli ile neredeyse aynı reolojik modeli sergilediği Şekil 5.4'ten anlaşılmaktadır. Bingham Plastik Modeline göre akışkan, kayma gerilmesi minimum değer olarak bilinen kopma noktasını aşmadan akmamaktadır. Kopma noktası aşıldıktan sonra, kayma gerilmesindeki değişimler kayma gerilmesi hızındaki değişimlerle orantılıdır (Agwu ve diğerleri, 2015). Dolayısıyla, hazırlanan su bazlı sondaj çamurlarının viskozite ve kopma noktası değerleri, viskometre cihazı ile Bingham Plastik Modeli kullanılarak aşağıdaki eşitliklerle hesaplanmıştır. Katkılı ve katkısız çamurların jel mukavemeti de yine viskometre cihazı ile, çamur 10 s. ve 10 dak. bekletilerek ölçülmüştür.

$$PV = \theta 600 - \theta 300 \quad (5.1)$$

$$YP = \theta 300 - PV \quad (5.2)$$

$$AV = \theta 600 / 2 \quad (5.3)$$

0600: Viskozimetredeki 600 rpm okuması

0300: Viskozimetredeki 300 rpm okuması

PV: Plastik viskozite, cP

AV: Görünür viskozite, cP

YP: Kopma noktası, lb/100 ft²

Katkısız ve katkılı çamurların viskozite, kopma noktası ve jel mukavemeti değerleri aşağıdaki çizelgelerde yer almaktadır.

Çizelge 5.5. 25 °C’de katkısız çamurun viskozite, kopma noktası ve jel mukavemeti değerleri

Katkısız, g	PV, cP	YP, lb/100 ft ²	AV, cP	Jel _{10 s.} , lb/100 ft ²	Jel _{10 dak.} , lb/100 ft ²
0	11	10,5	16,25	9	32

Çizelge 5.6. 25 °C’de öğütülmüş pirina eklenen çamurun viskozite, kopma noktası ve jel mukavemeti değerleri

Öğütülmüş Pirina Miktarı, g	PV, cP	YP, lb/100 ft ²	AV, cP	Jel _{10 s.} , lb/100 ft ²	Jel _{10 dak.} , lb/100 ft ²
0	11	10,5	16,25	9	32
1	10	9	14,5	6	26
1,6	12	7	15,5	5	27
2,2	11	8	15	5	25
3	12,5	7	16	3	19
5	15	7	18,5	2	15
7	12,5	5	15	2	13
10	13	6	16	2	11
12	12	5	14,5	2,5	11
15	12	4	14	2	7

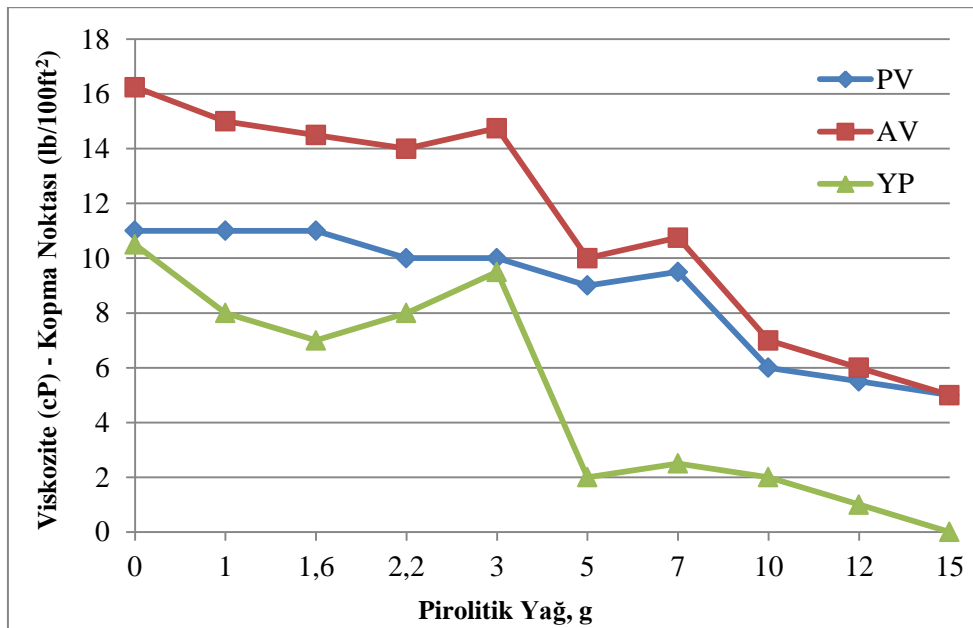
Çizelge 5.7. 25 °C’de modifiye pirina eklenen çamurun viskozite, kopma noktası ve jel mukavemeti değerleri

Modifiye Pirina Miktarı, g	PV, cP	YP, lb/100 ft ²	AV, cP	Jel _{10 s.} , lb/100 ft ²	Jel _{10 dak.} , lb/100 ft ²
0	11	10,5	16,25	9	32
1,6	10,5	8,5	14,75	5	29

Çizelge 5.8. 25 °C’de pirolitik yağ eklenen çamurun viskozite, kopma noktası ve jel mukavemeti değerleri

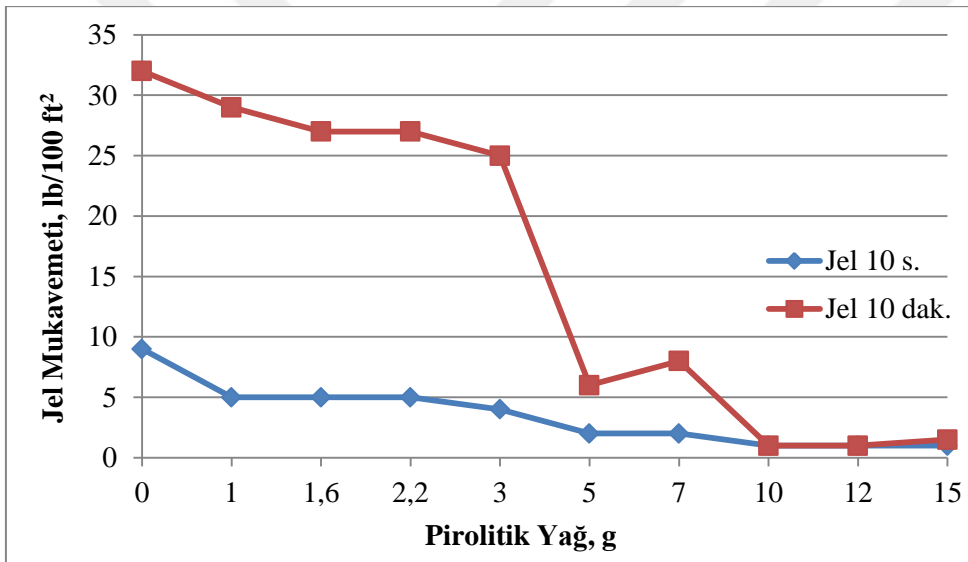
Pirolitik Yağ Miktarı, g	PV, cP	YP, lb/100 ft ²	AV, cP	Jel _{10 s.} , lb/100 ft ²	Jel _{10 dak.} , lb/100 ft ²
0	11	10,5	16,25	9	32
1	11	8	15	5	29
1,6	11	7	14,5	5	27
2,2	10	8	14	5	27
3	10	9,5	14,75	4	25
5	9	2	10	2	6
7	9,5	2,5	10,75	2	8
10	6	2	7	1	1
12	5,5	1	6	1	1
15	5	0	5	1	1,5

Şekil 5.5’e göre, pirolitik yağ eklenen çamurun plastik ve görünür viskozitesi, pirolitik yağ miktarı arttırıldıkça azalmıştır. Katkısız çamurla kıyaslandığında ise viskozitede düşüş meydana geldiği görülmektedir. Çamurun kopma noktası da, pirolitik yağ miktarı arttırıldıkça azalmıştır. Katkısız çamurla kıyaslandığında ise yine azaltıcı etki yapmıştır. Katkı eklenmesiyle oluşan yüksek viskozite ve kopma noktasının sondaj çamuru için istenmeyen bir durum olduğu Sönmez ve diğerleri (2013) tarafından belirtilmiştir. Bu durumdan, pirolitik yağın çamurun reolojisine olumlu etki yaptığı anlaşılmaktadır.



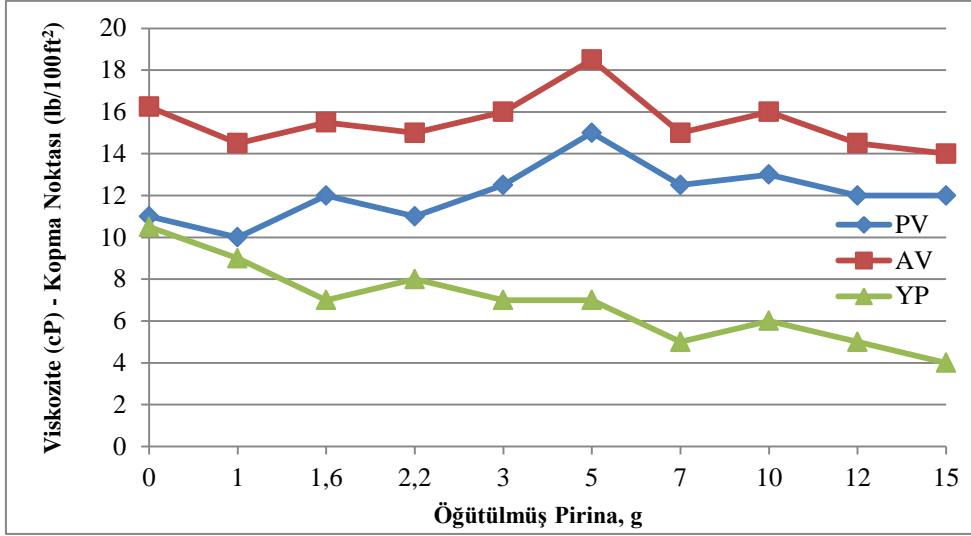
Şekil 5.5. Pirolitik yağ eklenen çamurun viskozite ve kopma noktası değerleri

Pirolitik yağ eklenen çamurun jel mukavemeti değerlerine bakıldığında ise (Şekil 5.6), katkısız çamurla kıyaslandığında 10 s. ve 10 dak. jelleri arasındaki farkın azaldığı görülmektedir. Özellikle 5-7 g arası pirolitik yağ eklenen çamurun jel değerleri, kesintileri en iyi şekilde askıda tutabilen jel tipine sahiptir. Ancak 10, 12 ve 15 g pirolitik yağ eklenen çamurun jel tipi kırılgen jel olarak adlandırılır, bu durumda jel çamur kesintilerini etkin bir şekilde askıda tutamaz. 10 s. ve 10 dak. jelleri arasındaki fark fazla olduğunda yüksek basınç değişimlerine neden olur, bu da hareketsiz bir dönem sonrasında tekrar sirkülasyon başlatılmak istendiğinde yüksek pompa basınçları gerektirmesi nedeniyle zayıf formasyonların çatlatılması riski taşımaktadır (TP, 2007: 12). Bu durumdan da anlaşılacağı üzere, pirolitik yağ eklenmesiyle çamur daha iyi bir jel yapısına sahip olmuştur.



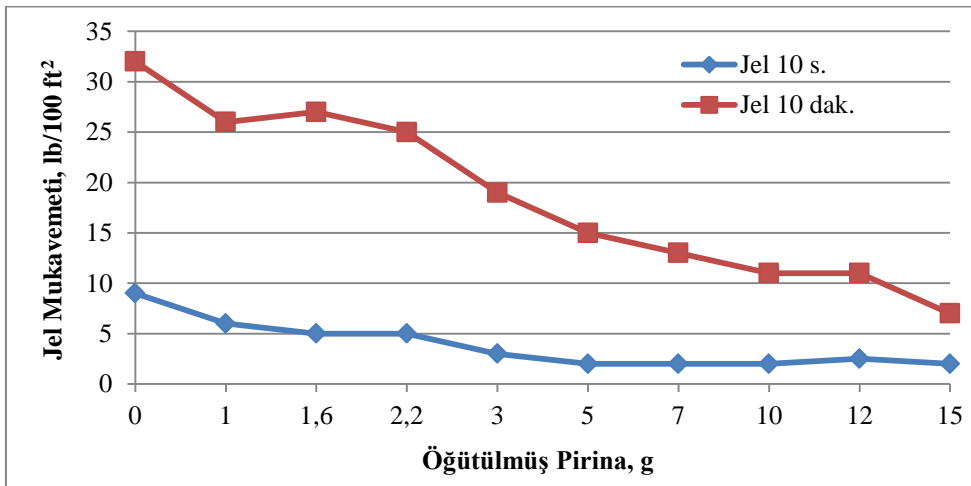
Şekil 5.6. Pirolitik yağ eklenen çamurun jel mukavemeti değerleri

Şekil 5.7’de görüldüğü gibi, öğütülmüş pirina eklenen çamur viskozite üzerinde bazen arttırıcı bazen de azaltıcı etki yapmıştır. Katkı miktarı arttırıldıkça viskozitenin bazı noktalarda artmasının sebebi, bentonit dispersiyonunun daha iyi bir akışkanlığa sahip olmasından kaynaklı olabileceği; viskozitenin bazı noktalarda azalması ise, bentonit dispersiyonu parçacıkları arasındaki sürtünmenin artmasından kaynaklı olabileceği Meng ve diğerleri (2012) tarafından belirtilmiştir. Bu durum her ne kadar olumsuz gibi görünse de, tüm viskozite değerlerinin kabul edilebilir değerler aldığı Sönmez ve diğerleri (2013) tarafından yapılan çalışmadan anlaşılmaktadır. Çamurun kopma noktası değerlerine bakıldığında ise, katkısız çamurla kıyaslandığında azaltıcı etki yapmıştır, bu durumun da istenen bir durum olduğu Sönmez ve diğerleri (2013) tarafından belirtilmiştir.



Şekil 5.7. Öğütülmüş pirina eklenen çamurun viskozite ve kopma noktası değerleri

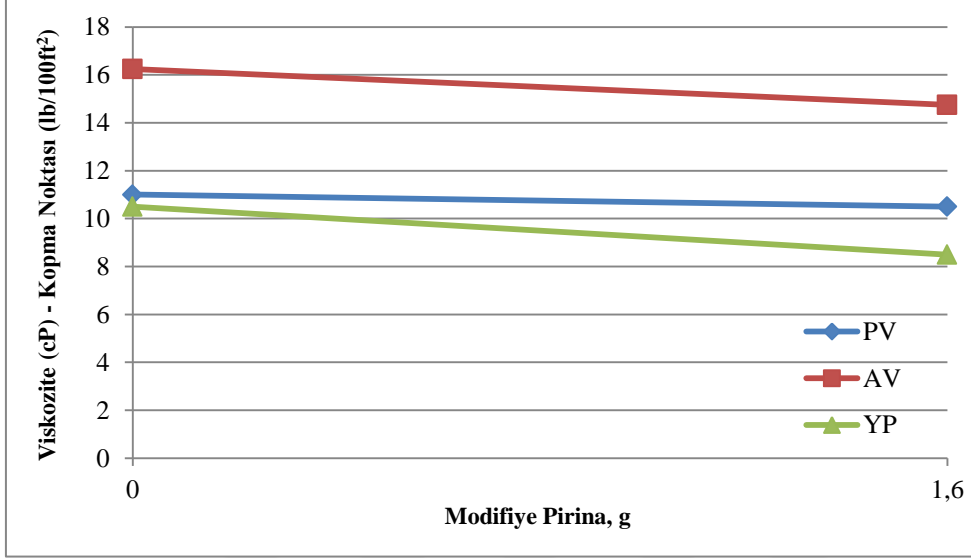
Öğütülmüş pirina eklenen çamurun jel mukavemeti değerlerine bakıldığında, katkısız çamura göre 10 s. ve 10 dak. jelleri arasındaki farkın azaldığı görülmektedir. Jel mukavemetinin artmasının, çamurda topaklanmanın artmasına ve bunun sonucunda çamur sisteminde aşırı miktarda kolloid katı içeriği ve kimyasal kirliliğe sebep olacağı Annis ve Smith (1974) tarafından belirtilmiştir. Bu durumdan; özellikle 15 g gibi yüksek miktarda katkı eklendiğinde, çamurdaki topaklanmanın önüne geçileceği anlaşılmaktadır (Şekil 5.8).



Şekil 5.8. Öğütülmüş pirina eklenen çamurun jel mukavemeti değerleri

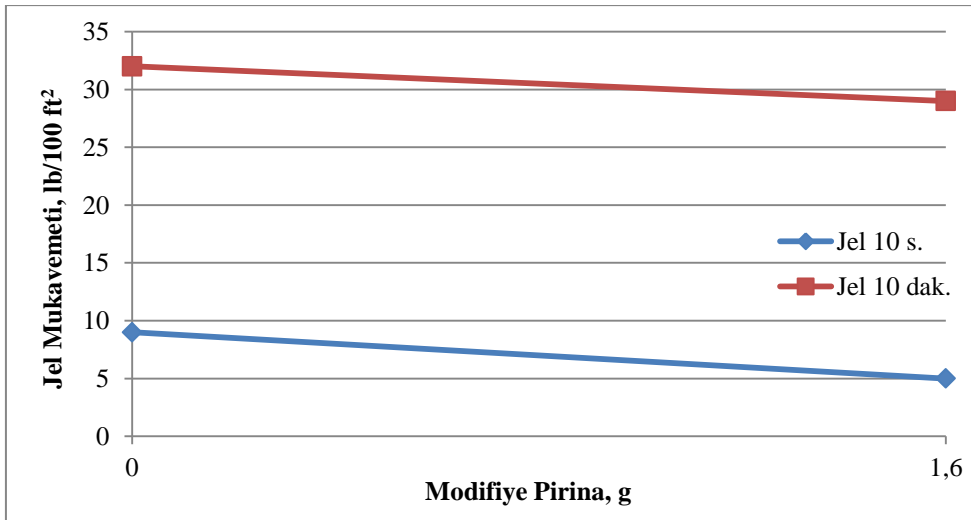
Su bazlı sondaj çamuruna katkı olarak modifiye pirina eklendiğinde, çamurun viskozite ve kopma noktasında düşüş meydana gelmiştir. Katkı eklenmesiyle oluşan düşük viskozite ve kopma noktasının sondaj çamuru için istenen bir durum olduğu Sönmez ve diğerleri (2013)

tarafından belirtilmiştir. Dolayısıyla, modifiye pirinanın çamurun viskozite ve kopma noktasına olumlu etki sağladığı söylenebilir (Şekil 5.9).



Şekil 5.9. Modifiye pirina eklenen çamurun viskozite ve kopma noktası değerleri

Modifiye pirina eklenen çamurun jel mukavemeti değerleri incelendiğinde (Şekil 5.10), 10 s. ve 10 dak. jellerinde azalma olduğu görülmektedir. Aşırı yüksek jel mukavemetinin, sondaj operasyonu esnasında yüksek basınç dalgalanmaları sonucunda formasyonun çatlamasına sebep olacağı Awele (2014) tarafından belirtilmiştir. Dolayısıyla, modifiye pirina katkısının sağladığı düşük jel mukavemetinin, formasyonların çatlatılması riskini ortadan kaldıracağı anlaşılmaktadır.



Şekil 5.10. Modifiye pirina eklenen çamurun jel mukavemeti değerleri

5.1.3. Çamurların sıvı kaybı, kek kalınlığı ve pH değerleri

Hazırlanan su bazlı sondaj çamurlarının sıvı kaybı ve kek kalınlığı değerleri filtre presi cihazı ile ölçülmüştür. Çamur numunelerinin 30 dak. sürede kaybettikleri sıvı miktarı mL cinsinden ölçülüp kaydedilmiştir. Çamurun 30 dak. sonunda oluşturduğu kek mm cinsinden ölçülmüş ve kek kalınlığı olarak rapor edilmiştir. Son olarak ise, çamurun pH değerleri pH kâğıdı ile ölçülüp rapor edilmiştir. Katkısız ve katkılı çamurların, sıvı kaybı, kek kalınlığı ve pH değerleri aşağıdaki çizelgelerde gösterilmektedir.

Çizelge 5.9. 25 °C’de katkısız çamurun sıvı kaybı, kek kalınlığı ve pH değerleri

Katkısız, g	Sıvı Kaybı, mL	Kek Kalınlığı, mm	pH
0	11,5	0,5	9,2

Çizelge 5.10. 25 °C’de modifiye pirina eklenen çamurun sıvı kaybı, kek kalınlığı ve pH değerleri

Modifiye Pirina Miktarı, g	Sıvı Kaybı, mL	Kek Kalınlığı, mm	pH
0	11,5	0,5	9,2
1,6	12,5	1	8,5

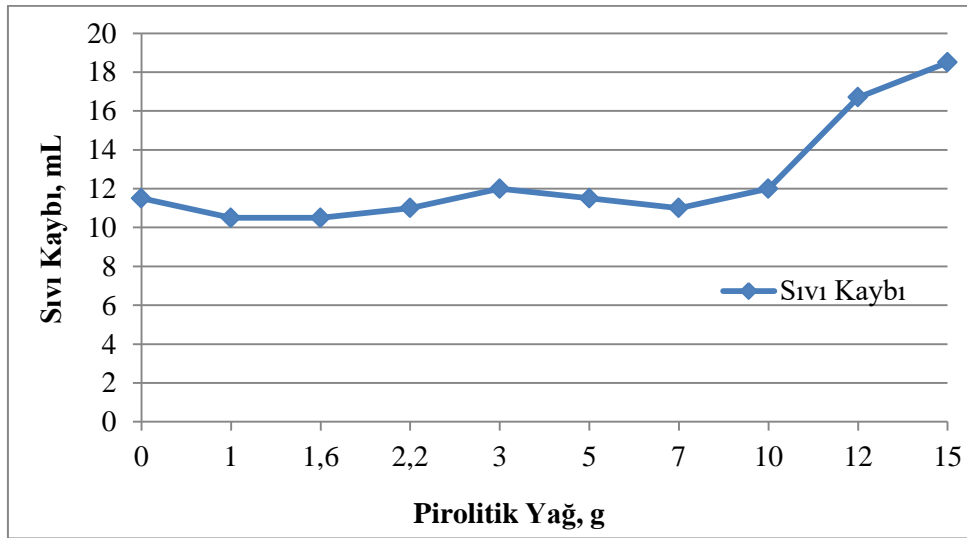
Çizelge 5.11. 25 °C’de pirolitik yağ eklenen çamurun sıvı kaybı, kek kalınlığı ve pH değerleri

Pirolitik Yağ Miktarı, g	Sıvı Kaybı, mL	Kek Kalınlığı, mm	pH
0	11,5	0,5	9,2
1	10,5	0,5	8,5
1,6	10,5	0,5	8
2,2	11	0,8	8
3	12	1	8
5	11,5	0,8	8
7	11	0,9	8
10	12	1	7,7
12	16,7	1,2	7,6
15	18,5	1,5	7,5

Çizelge 5.12. 25 °C’de öğütülmüş pirina eklenen çamurun sıvı kaybı, kek kalınlığı ve pH değerleri

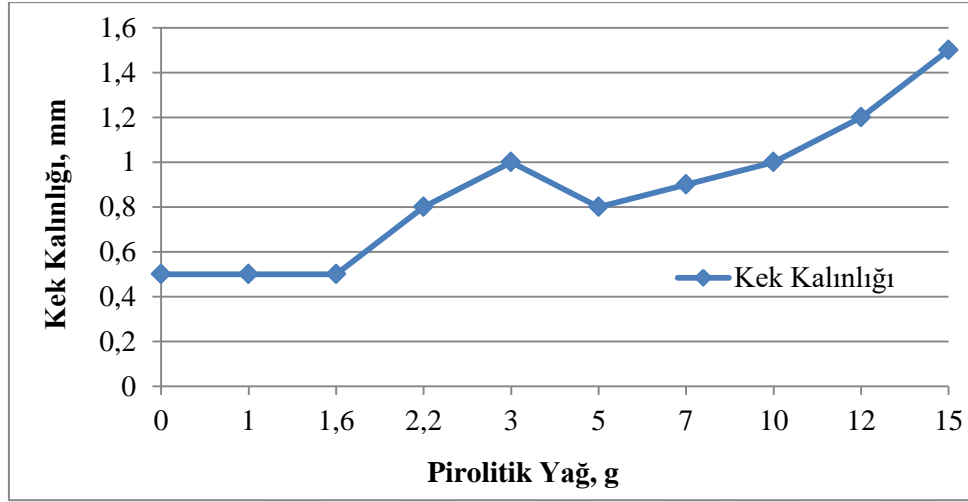
Öğütülmüş Pirina Miktarı, g	Sıvı Kaybı, mL	Kek Kalınlığı, mm	pH
0	11,5	0,5	9,2
1	11,2	1	8,7
1,6	11,5	1	8,5
2,2	11,5	1	8,5
3	13	0,5	8,2
5	11	0,6	8,2
7	12	0,7	7,8
10	12,1	0,8	8,1
12	11,5	0,9	7,7
15	12,3	1	8

Sondaj çamuru için her zaman düşük bir sıvı kaybı meydana gelmesi istenen bir durumdur. Şekil 5.11’e göre, pirolitik yağ eklenen çamurun sıvı kaybı katkısız çamura kıyasla, bazı noktalarda azalma eğilimi göstermişse de genel olarak artmıştır. Ancak, bu artış olumsuz bir artış olarak görülmez. Katkı miktarı arttırıldıkça, çamurun sıvı kaybında az miktarda artış meydana gelmesinin, yüksek miktarlarda kullanılan pirolitik yağ sebebiyle CMC polimerinin çamur içinde yeterince çözünememesinden kaynaklandığı Paswan ve diğerleri (2016) tarafından belirtilmiştir. Dolayısıyla, elde edilen sıvı kaybı değerleri kabul edilebilir niteliktedir.



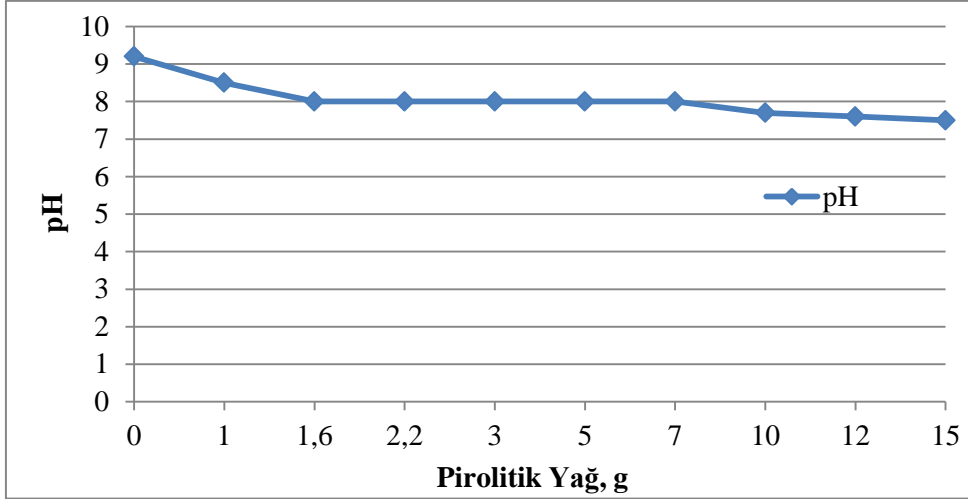
Şekil 5.11. Pirolitik yağ eklenen çamurun sıvı kaybı değerleri

Sondaj çamurlarının oluşturduğu kekin ince ve geçirimsiz bir yapıya sahip olması Awele (2014)'e göre istenen bir durumdur. Bu durumda çamurun kek kalınlığı değerinin az olması, yani ince olması beklenir. Şekil 5.12'de görüldüğü gibi, pirolitik yağ eklenen çamurun kek kalınlığı değerleri, çamurun ince bir kek yapısına sahip olduğunu göstermektedir.



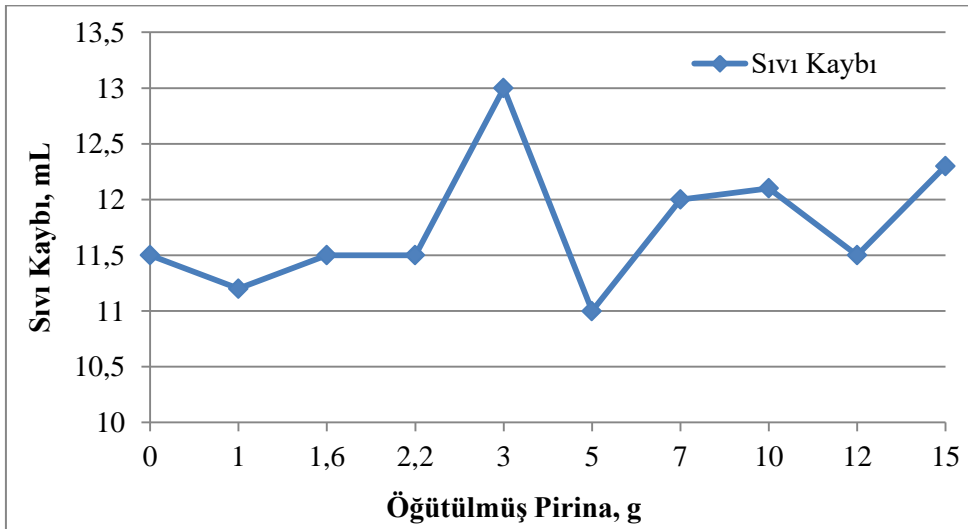
Şekil 5.12. Pirolitik yağ eklenen çamurun kek kalınlığı değerleri

Sondaj çamurunun bir diğer önemli parametresi de kimyasal özelliklerinden pH değeridir. Bu yüzden sondaj operasyonlarında çamurun pH'ı genellikle ölçülmektedir. Chemwotei (2011)'e göre normal bir sondaj çamurunun pH aralığı 9,5 - 10,5 arasındadır. Çamurun pH'ını bu değerler arasında tutmak için çamura NaOH eklenir (Dhiman, 2012). Awele (2014)'e göre ise, pH değerinin 8,5 - 10,5 arası olması iyi bir karışım için çok uygundur. Şekil 5.13'e göre, pirolitik yağ eklenen çamurun pH değeri, katkı miktarı arttırıldıkça azalmıştır. Bu durumda; çamurun pH'ını istenen aralıklarda tutmak için, pirolitik yağ miktarı arttırıldıkça çamura katılan NaOH gibi alkalın maddelerin miktarı da arttırılmalıdır.



Şekil 5.13. Pirolitik yağ eklenen çamurun pH değerleri

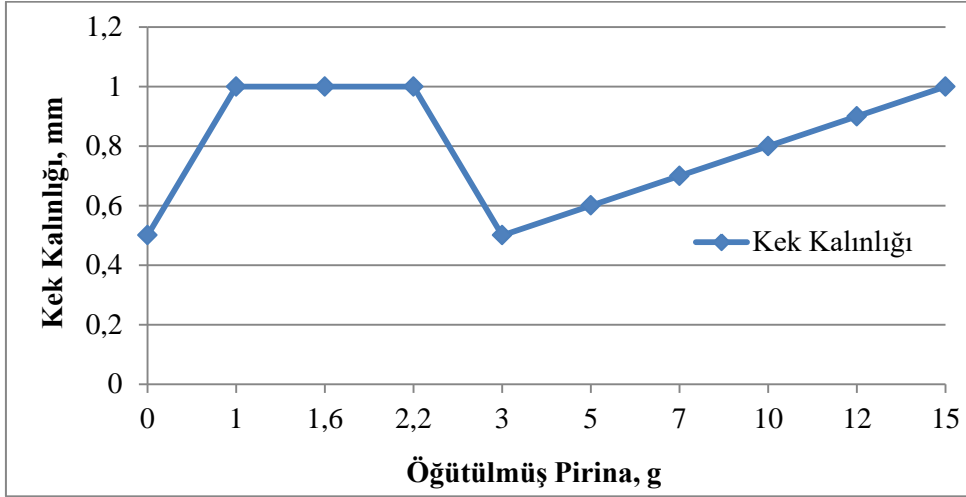
Öğütülmüş pirinanın sondaj çamurunun sıvı kaybına etkisi incelendiğinde ise, aynı pirolitik yağda olduğu gibi, bazı noktalarda azalan bazı noktalarda ise artan bir sıvı kaybı görülmektedir. Çamurun sıvı kaybı bazı noktalarda artsa da bu değerlerin de kabul edilebilir olduğu Sönmez ve diğerleri (2013) tarafından yapılan çalışmada belirtilmiştir (Şekil 5.14).



Şekil 5.14. Öğütülmüş pirina eklenen çamurun sıvı kaybı değerleri

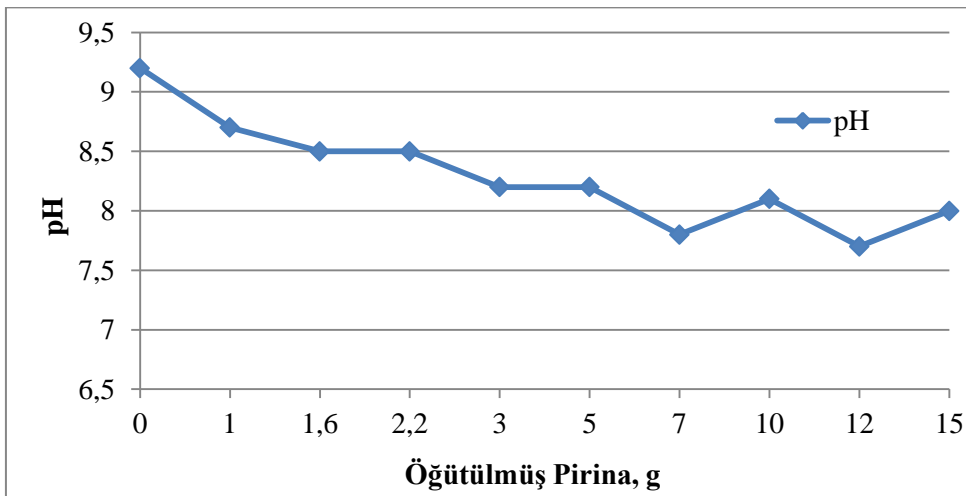
Sondaj çamurunun oluşturduğu kek kalınlığı ince olmalıdır. Kek kalınlığının kalın olması; kuyuda çökme, sirkülasyon kaybı, formasyon tahribatı, sondaj dizisi sıkışmaları ve kuyudan log alamama gibi birtakım problemlere neden olur (Awele, 2014; Dhiman, 2012). Bu durum göz önünde bulundurulduğunda, öğütülmüş pirina eklenen çamurun kek

kalınlığı değerleri, alınan tüm katkı miktarlarında olumlu sonuç vermiştir. Kek kalınlığı değerlerinin 0,5 - 1 mm arası olması, çamurun ince bir yapıya sahip olduğunu kanıtlar niteliktedir (şekil 5.15).



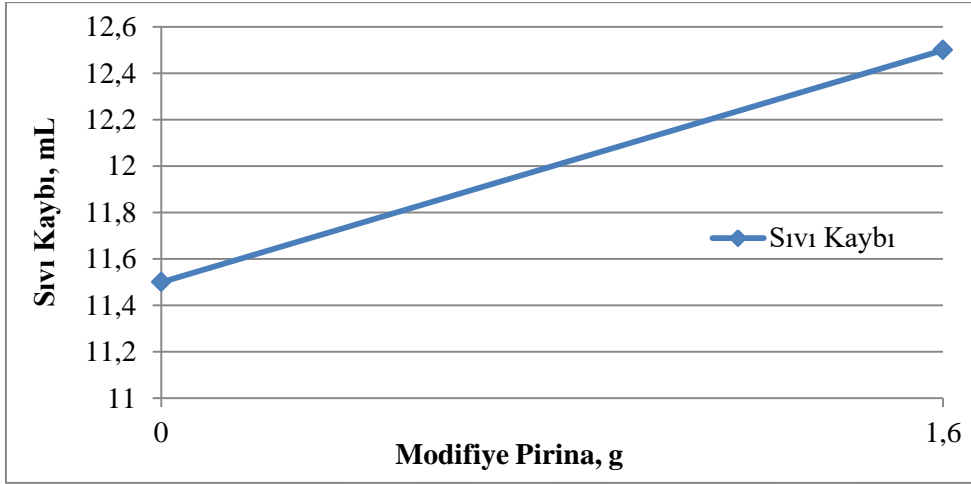
şekil 5.15. Öğütölmüş pirina eklenen çamurun kek kalınlığı değerleri

Çamurun pH'ına bakıldığında ise, öğütölmüş pirina miktarı arttırıldıķça pH'ın genel olarak azaldığı görölmektedir. Awele (2014)'e göre, pH değerinin 8,5 - 10,5 arası olmasının çamur için ideal olduğu düşünöldüğünde, yüksek miktarda katkı kullanımının pH'ı olumsuz etkilediği yorumu yapılabilir (şekil 5.16). Ancak bu sorun; çamurun pH'ının düşük olduğu noktalarda, pH'ı yükseltmek için çamura yeterli miktarda alkalın maddeler ilave edilerek aşılabilir.



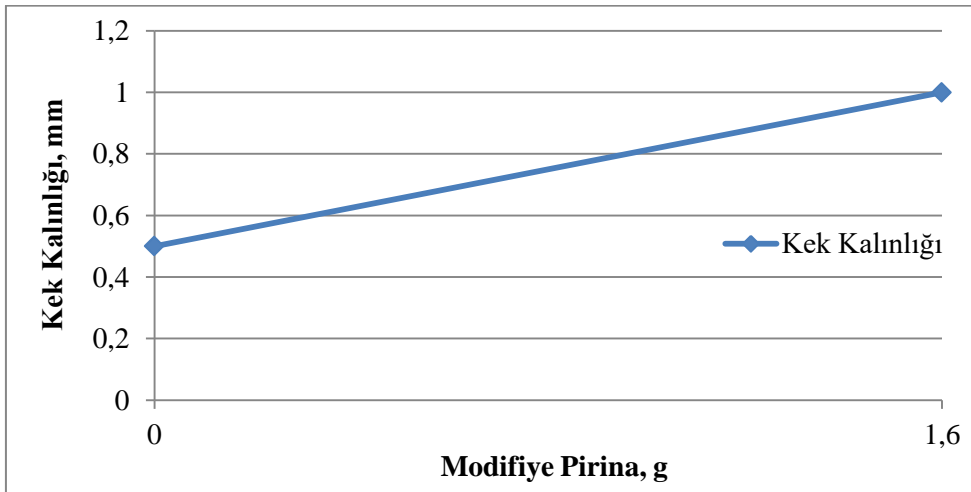
şekil 5.16. Öğütölmüş pirina eklenen çamurun pH değerleri

Modifiye pirina katkısının çamurun sıvı kaybı üzerine etkisi incelendiğinde (Şekil 5.17), modifiye pirina eklenen çamurun sıvı kaybı değerinde katkısız çamura kıyasla, az miktarda artış görülmüştür. Bu durumun çamur içerisindeki CMC polimerinin modifiye pirina sebebiyle yeterince çözünmemesinden kaynaklandığı ve dolayısıyla bu artışın olumsuz bir artış olmadığı Paswan ve diğerleri (2016) tarafından belirtilmiştir.



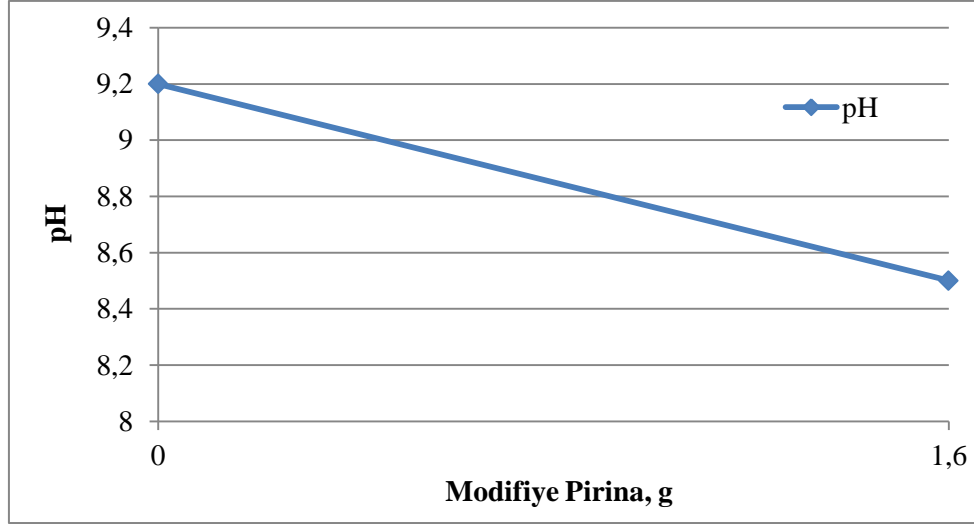
Şekil 5.17. Modifiye pirina eklenen çamurun sıvı kaybı değeri

Modifiye pirina eklenen çamurun kek kalınlığı değeri incelendiğinde, ince bir kek oluştuğu görülmüştür (Şekil 5.18). Sondaj çamurunun oluşturduğu kekin kalın olmasının sondaj operasyonu esnasında birçok probleme neden olacağı Dhiman (2012) tarafından belirtilmiştir. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda, elde edilen kekin ince olması çamurun iyi bir kek yapısına sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.18. Modifiye pirina eklenen çamurun kek kalınlığı değeri

Çamurun pH değeri incelendiğinde ise (Şekil 5.19), modifiye pirina eklenen çamurun pH değerinin azaldığı görülmüştür. Düşük miktarda katkı eklenmesiyle oluşan çamurun, pH değerinde çok fazla düşüş yaşanmadığı görülmüştür. Ayrıca, elde edilen pH değerinin çamur için normal olduğu Awele (2014) tarafından yapılan çalışmada belirtilmiştir.



Şekil 5.19. Modifiye pirina eklenen çamurun pH değeri

5.2. Sıcaklığın Su Bazlı Sondaj Çamurlarının Reolojik Özellikleri Üzerine Etkisi

Sıcaklık faktörünün su bazlı sondaj çamurunun reolojik özellikleri üzerine etkisini incelemek için, hazırlanan çamurlar su banyosu cihazına konularak 4 farklı sıcaklık değerinde test edilmiştir. Belirlenen miktarlarda alınan katkısız ve katkılı çamurlar ayrı ayrı 25 °C, 35 °C, 49 °C ve 66 °C sıcaklıklarda test edilmiş ve aşağıdaki çizelgelerde yer alan sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 5.13. Farklı sıcaklıklarda alınan katkısız çamurun viskozite, kopma noktası, jel mukavemeti ve pH değerleri

Sıcaklık, °C	Katkı Miktarı, g	PV, cP	YP, lb/100 ft ²	AV, cP	Jel _{10 s.} , lb/100 ft ²	Jel _{10 dak.} , lb/100 ft ²	pH
25	0	11	10,5	16,25	9	32	9,2
35	0	10	9	14,5	7	33	9,1
49	0	10	9	14,5	9	36	9
66	0	8	10	13	12	45	9

Çizelge 5.14. Farklı sıcaklıklarda alınan modifiye pirina katkılı çamurun viskozite, kopma noktası, jel mukavemeti ve pH değerleri

Sıcaklık, °C	Katkı Miktarı, g	PV, cP	YP, lb/100 ft ²	AV, cP	Jel _{10 s.} , lb/100 ft ²	Jel _{10 dak.} , lb/100 ft ²	pH
25	1,6	10,5	8,5	14,75	5	29	8,5
35	1,6	11	7	14,5	4	30	8,3
49	1,6	9	7	12,5	6	34	8,1
66	1,6	10,5	6	13,5	8	44	8

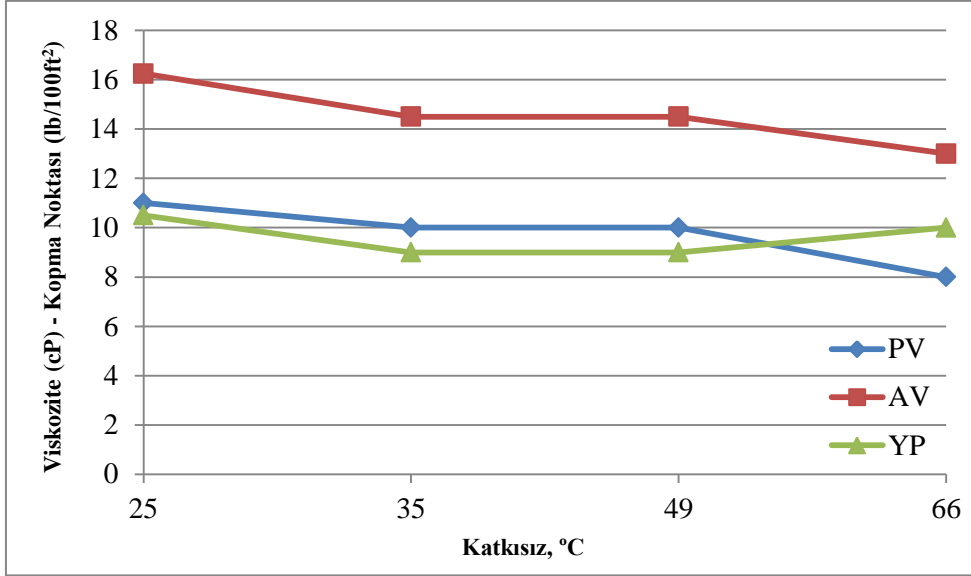
Çizelge 5.15. Farklı sıcaklıklarda alınan pirolitik yağ katkılı çamurun viskozite, kopma noktası, jel mukavemeti ve pH değerleri

Sıcaklık, °C	Katkı Miktarı, g	PV, cP	YP, lb/100 ft ²	AV, cP	Jel _{10 s.} , lb/100 ft ²	Jel _{10 dak.} , lb/100 ft ²	pH
25	7	9,5	2,5	10,75	2	8	8
35	7	5	3	6,5	1	2	7,9
49	7	5	2	6	1	2	7,8
66	7	9	2	10	2	14	7,7

Çizelge 5.16. Farklı sıcaklıklarda alınan öğütülmüş pirina katkılı çamurun viskozite, kopma noktası, jel mukavemeti ve pH değerleri

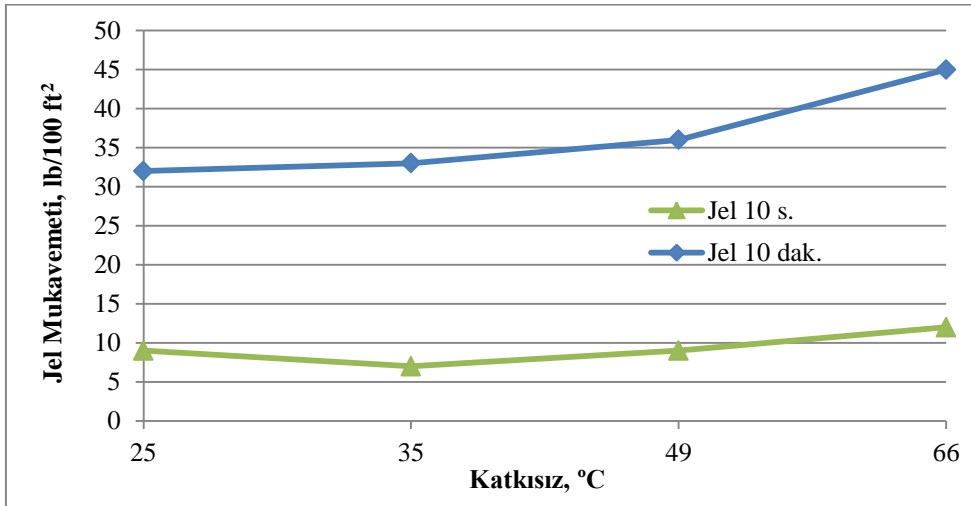
Sıcaklık, °C	Katkı Miktarı, g	PV, cP	YP, lb/100 ft ²	AV, cP	Jel _{10 s.} , lb/100 ft ²	Jel _{10 dak.} , lb/100 ft ²	pH
25	10	13	6	16	2	11	8,1
35	10	11	3,5	12,75	1,5	10	8
49	10	10	4	12	1,5	13	7,9
66	10	4	2	5	1	3	7,8

Katkısız çamurun farklı sıcaklıklarda viskozite ve kopma noktası değerleri incelenmiş olup, sıcaklık arttırıldıkça bu değerlerin yavaşça azaldığı görülmüştür (Şekil 5.20). Bu azalmanın nedeni, çamurun içerisindeki bentonitin yüksek sıcaklıklarda daha iyi ayrışabilmesinden kaynaklı olabileceği Meng ve diğerleri (2012) tarafından belirtilmiştir. Yüksek viskozite ve kopma noktasının sondaj çamuru için istenmeyen bir durum olduğu Sönmez ve diğerleri (2013) tarafından belirtilmiştir. Dolayısıyla, sıcaklığın arttırılması viskozite ve kopma noktasını olumlu etkilemiştir denilebilir.



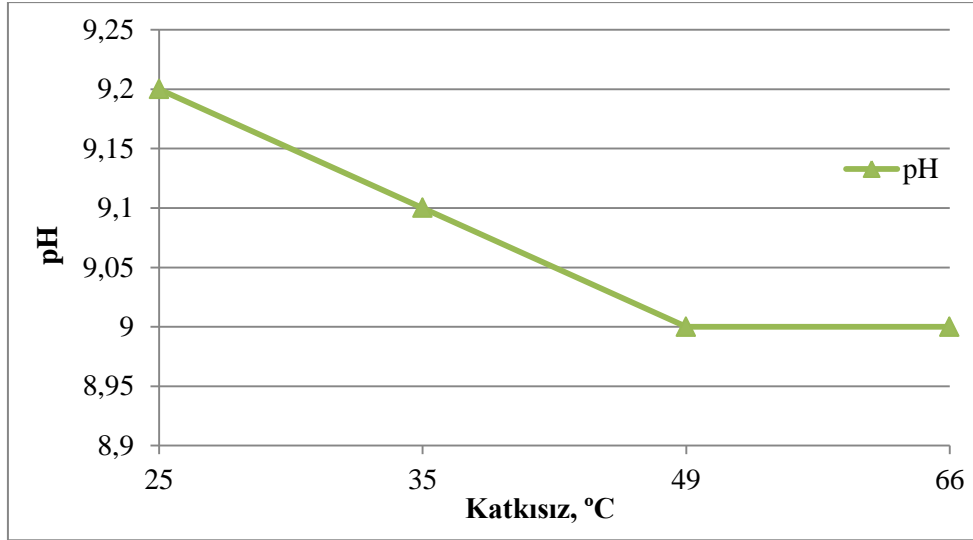
Şekil 5.20. Katkısız çamurun farklı sıcaklıklardaki viskozite ve kopma noktası değerleri

Katkısız çamurun farklı sıcaklıklarda jel mukavemeti değerleri incelendiğinde, sıcaklık arttırıldıkça jel değerlerinin arttığı görülmektedir (Şekil 5.21). Aşırı yüksek jel mukavemetinin, sondaj operasyonu esnasında yüksek basınç dalgalanmaları sonucunda formasyonun çatlamasına sebep olacağı Awele (2014) tarafından belirtilmiştir. Dolayısıyla, katkısız çamurun sıcaklığının arttırılması ile jel mukavemetinin olumsuz etkilendiği anlaşılmıştır.



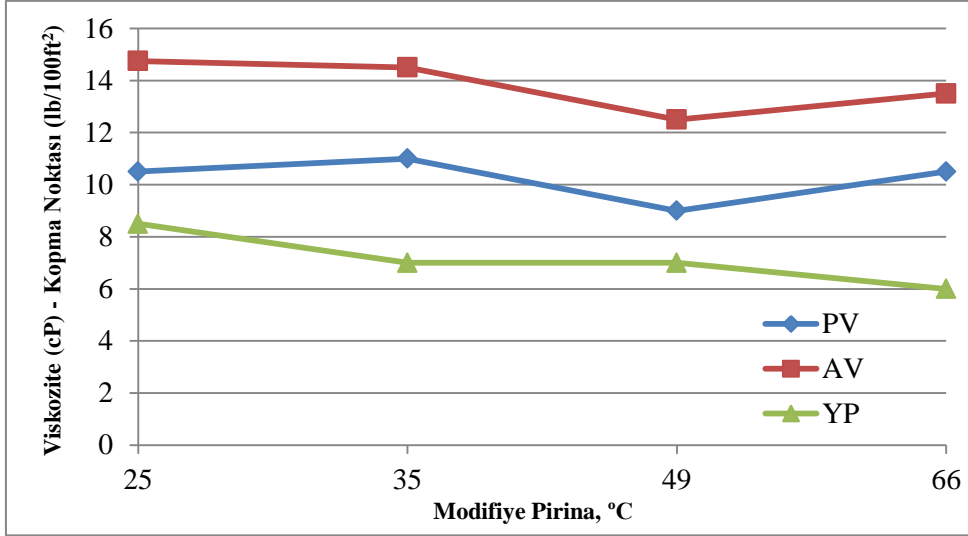
Şekil 5.21. Katkısız çamurun farklı sıcaklıklardaki jel mukavemeti değerleri

Sıcaklık, pH ölçümlerinde önemli bir faktördür. Sıcaklık arttırıldıkça, suyun iyonlaşmasına sebep olan moleküler vibrasyonlar artar ve daha çok H^+ iyonu oluşur. Bunun sonucunda da pH değeri azalmaktadır (Westlab, 2017). Şekil 5.22’de görüldüğü gibi, katkısız çamurun pH değeri sıcaklık arttırıldıkça azalmıştır. Bu durum yukarıdaki ifadeyi destekler niteliktedir.



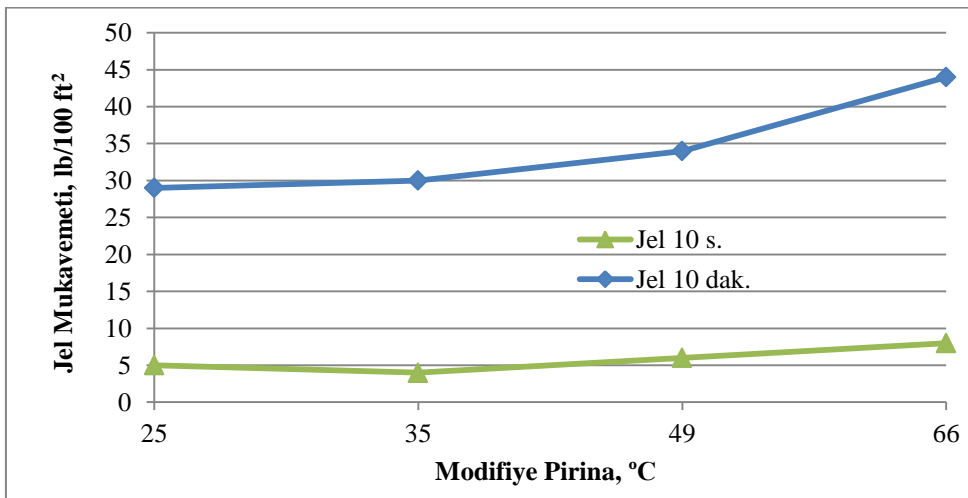
Şekil 5.22. Katkısız çamurun farklı sıcaklıklardaki pH değerleri

Modifiye pirina eklenen çamurun farklı sıcaklıklarda viskozite ve kopma noktası değerleri incelenmiş olup, sıcaklık arttırıldıkça görünür viskozite ve kopma noktası değerlerinin azaldığı görülmüştür (Şekil 5.23). Meng ve diğerleri (2012) tarafından yapılan bir çalışmada; bu azalmanın nedeninin çamurun içerisindeki bentonitin yüksek sıcaklıklarda daha iyi ayrışabilmesinden kaynaklı olabileceği belirtilmiştir. Ancak, plastik viskozitenin bazı sıcaklıklarda azaldığı ve bazı sıcaklıklarda ise arttığı görülmüştür. Paswan ve diğerlerine (2016) göre, plastik viskozitenin artması, çamurun kayma inceliği özelliğinin bir göstergesidir ve sirkülasyon durdurulduğunda kesintilerin askıda tutulabilmesi açısından çok yüksek değerler almadığı sürece istenen bir durumdur.



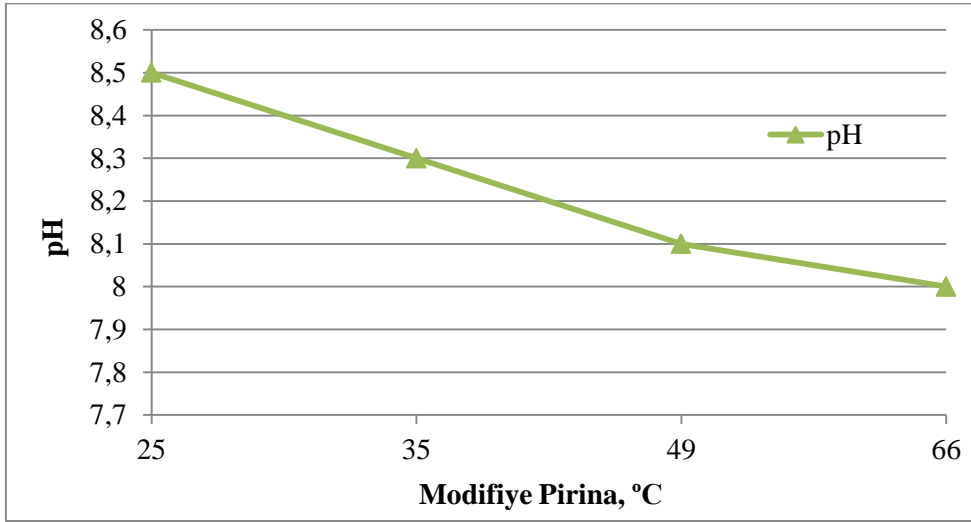
Şekil 5.23. Modifiye pirina eklenen çamurun farklı sıcaklıklardaki viskozite ve kopma noktası değerleri

Modifiye pirina eklenen çamurun farklı sıcaklıklarda jel mukavemeti değerleri incelendiğinde, katkısız çamurda olduğu gibi, sıcaklık arttırıldıkça jel değerlerinin arttığı görülmektedir (Şekil 5.24). 10 s. ve 10 dak. jel değerleri, çamurun artan jel tipine sahip olduğunu göstermektedir. Bu türde bir jel yapısı sondaj çamurları açısından yüksek pompa basınçları gerektirdiği için istenmeyen bir jel tipidir (TP, 2007: 12). Bundan dolayı, modifiye pirina eklenen çamurun sıcaklığını arttırmanın, jel mukavemeti üzerinde olumsuz etki yarattığı anlaşılmıştır.



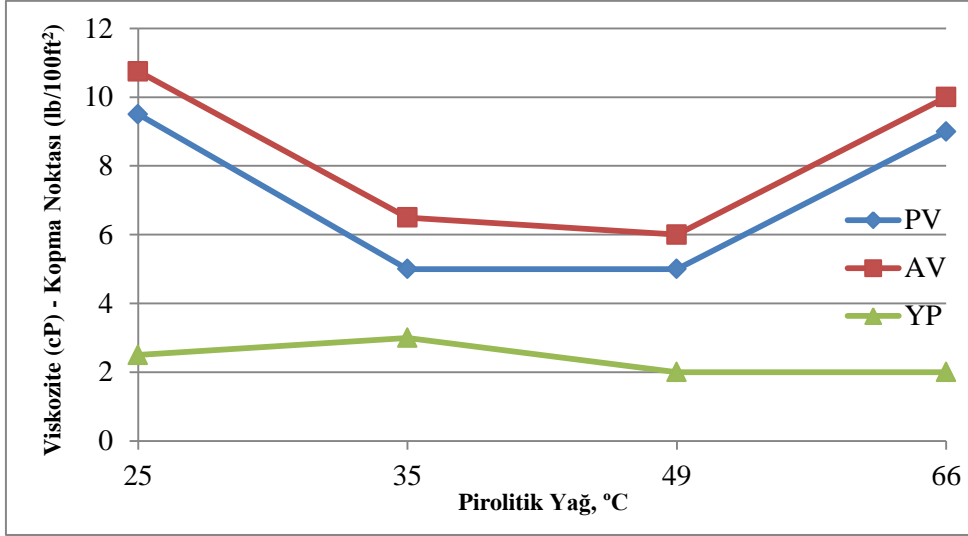
Şekil 5.24. Modifiye pirina eklenen çamurun farklı sıcaklıklardaki jel mukavemeti değerleri

Katkısız çamurda olduğu gibi, modifiye pirina eklenen çamurun da pH değeri sıcaklık arttırıldıkça azalmıştır (Şekil 5.25). pH'ın sıcaklıkla doğrudan ilişkili olduğu Nasr ve Zahran (2016) tarafından açıklanmıştır. Bu ilişkiye göre; bir çözeltinin sıcaklığının artmasının, moleküllerin ayrışması sebebiyle çözeltideki iyonların sayısının artmasına neden olabileceği ve bu şekilde pH üzerinde doğrudan bir etki oluşturabileceği belirtilmiştir (Nasr ve Zahran, 2016; John ve ark., 2006).



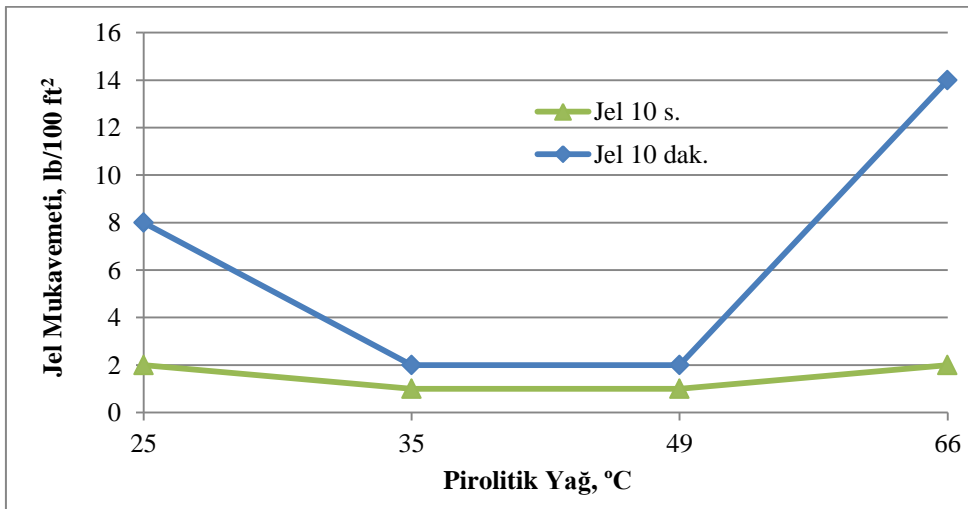
Şekil 5.25. Modifiye pirina eklenen çamurun farklı sıcaklıklardaki pH değerleri

Bir diğer katkı maddesi olan pirolitik yağ sondaj çamuruna eklendiğinde, çamurun reolojisinin sıcaklıkla değişimi incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda, çamurun viskozitesinin 49 °C'ye kadar azaldığı, daha yüksek sıcaklıkta ise arttığı görülmüştür. Çamurun kopma noktası değerine bakıldığında ise, değişen sıcaklıklarda önce artıp daha sonra azaldığı ve sonrasında ise sabitleştiği görülmüştür (Şekil 5.26). Her iki durumda da elde edilen değerlerin; viskozite ve kopma noktası açısından olumlu ve kabul edilebilir olduğu, Sönmez ve diğerleri (2013) tarafından yapılan bir çalışmada belirtilmiştir.



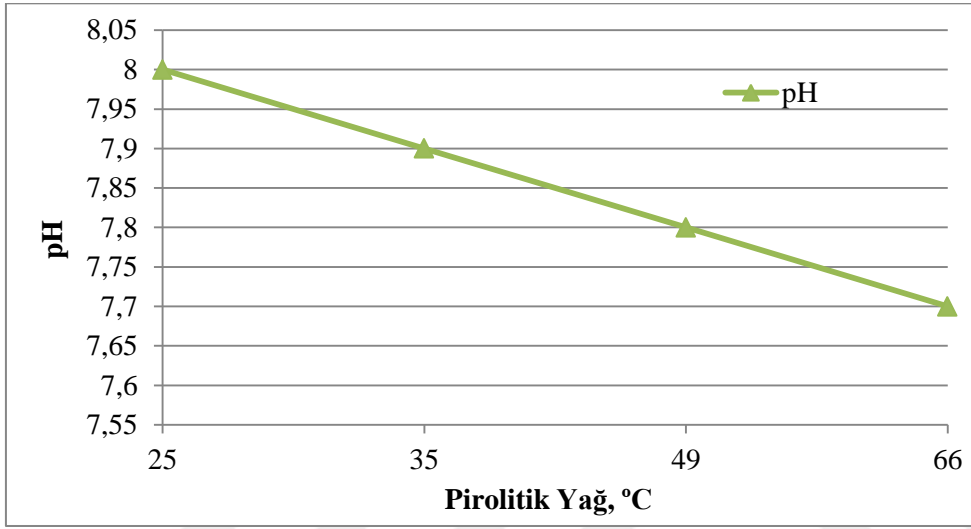
Şekil 5.26. Pirolitik yağ eklenen çamurun farklı sıcaklıklardaki viskozite ve kopma noktası değerleri

Pirolitik yağ eklenen çamurun farklı sıcaklıklarda jel mukavemeti değerleri incelendiğinde, sıcaklık arttırıldıkça (49 °C'ye kadar) jel değerlerinin azaldığı görülmektedir (Şekil 5.27). Daha yüksek sıcaklıkta ise; jel değerleri birbirinden orantısız bir şekilde uzaklaşarak çamur için artan bir jel tipi oluşturmuştur. Jel mukavemetinin artmasının, çamurda topaklanmanın artmasına ve bunun sonucunda çamur sisteminde aşırı miktarda kolloid katı içeriği ve kimyasal kirliliğe sebep olacağı Annis ve Smith (1974) tarafından belirtilmiştir. Dolayısıyla, sıcaklığın 49 °C'den yüksek olmasının çamurun jel yapısını olumsuz etkilediği anlaşılmıştır.



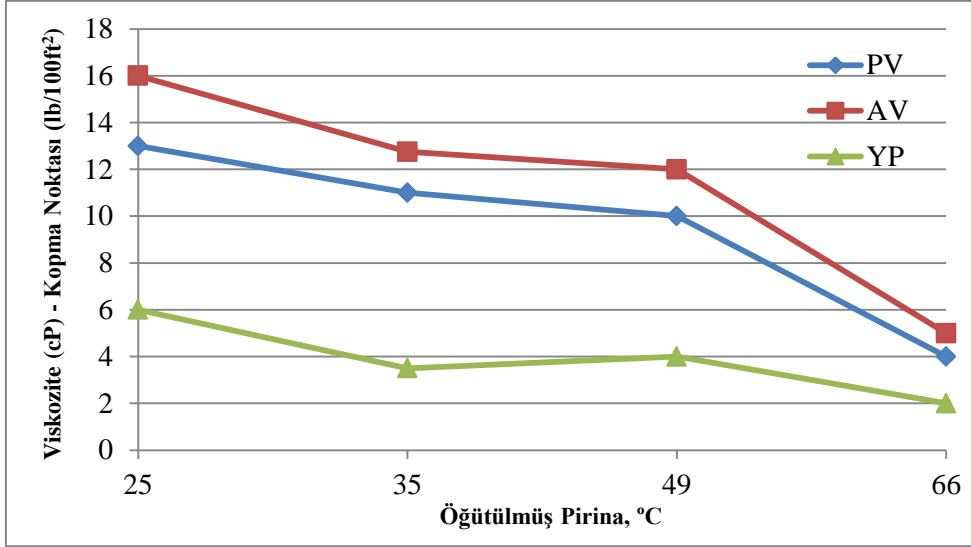
Şekil 5.27. Pirolitik yağ eklenen çamurun farklı sıcaklıklardaki jel mukavemeti değerleri

Pirolitik yağ eklenen çamurun pH değerine bakıldığında ise, sıcaklık arttırıldığında pH'ın azaldığı görülmektedir (Şekil 5.28). Bunun sebebi; Judee, Simon, Bailly ve Dufour (2017) tarafından yapılan bir çalışmada şu şekilde belirtilmiştir: yüksek sıcaklığın akışkanın viskozitesinin azalmasına ve böylece akışkanın iyon hareketliliğinin artmasına sebep olacağı, daha iyi bir ayrışma sonucu iyon konsantrasyonunun artacağı vurgulanmaktadır (Barron ve ark., 2011).



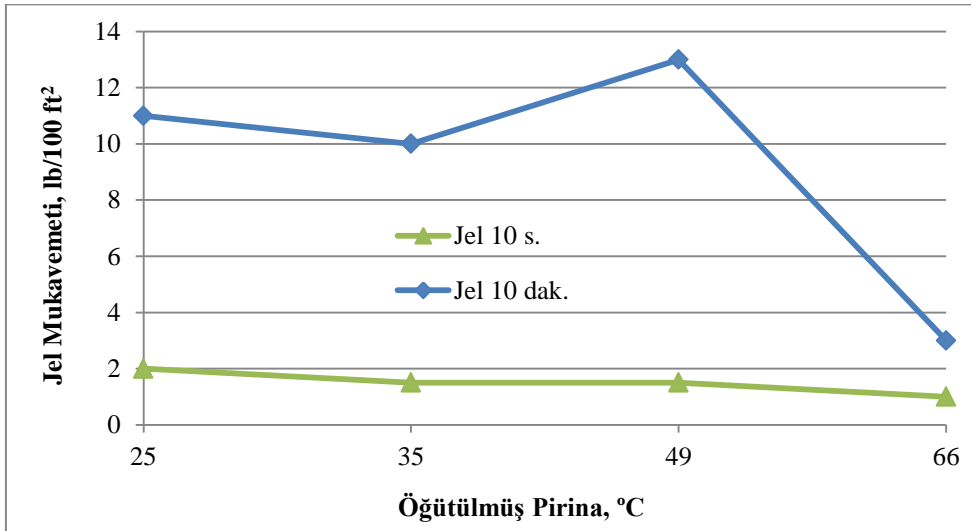
Şekil 5.28. Pirolitik yağ eklenen çamurun farklı sıcaklıklardaki pH değerleri

Son katkı olan öğütülmüş pirina, sondaj çamuruna eklenmiş ve çamurun sıcaklığa bağlı olarak reolojik özellikleri incelenmiştir. Çamurun viskozite ve kopma noktası sıcaklık arttırıldıkça azalma eğilimi göstermiştir (Şekil 5.29). Sönmez ve diğerlerine (2013) göre, yüksek viskozite ve kopma noktasının çamur için istenmeyen bir durum olduğu düşünüldüğünde, yüksek sıcaklıklarda çalışılan yerlerde bu durum olumlu olarak değerlendirilir.



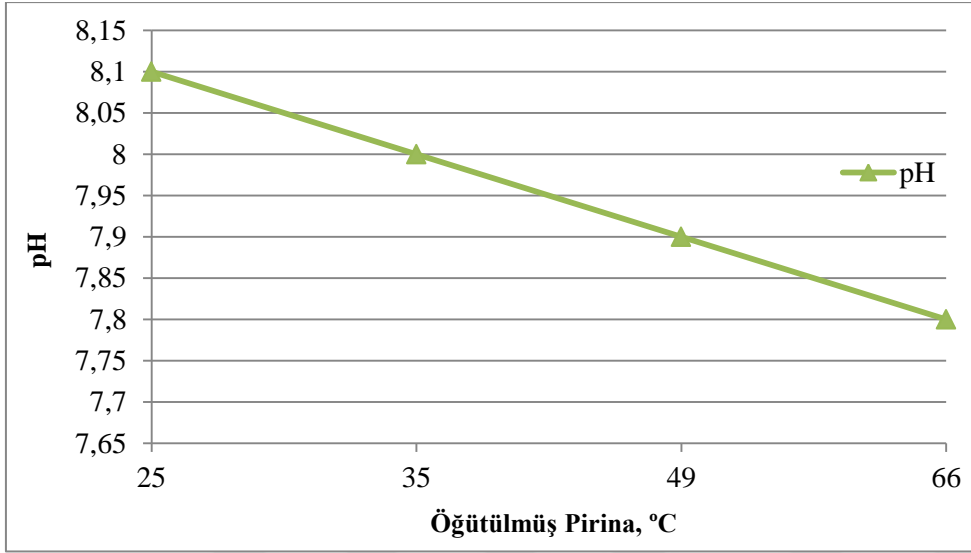
Şekil 5.29. Öğütülmüş pirina eklenen çamurun farklı sıcaklıklardaki viskozite ve kopma noktası değerleri

Öğütülmüş pirina eklenen çamurun jel mukavemeti değerleri incelendiğinde, sıcaklık arttırıldıkça jel değerlerinin genel olarak azaldığı görülmektedir. Aşırı yüksek jel değerlerinin sondaj esnasında birçok problemler yaratacağı Awele (2014) tarafından belirtilmiştir. Bu durum düşünüldüğünde, jel mukavemeti değerlerinin özellikle 66 °C’de birbirine yakın değerler almasıyla, jel yapısı olarak daha etkin bir çamur oluşturduğu söylenebilir (Şekil 5.30).



Şekil 5.30. Öğütülmüş pirina eklenen çamurun farklı sıcaklıklardaki jel mukavemeti değerleri

Öğütülmüş pirina eklenen çamurun farklı sıcaklıklarda pH değerleri ölçüldüğünde, sıcaklığın artmasıyla pH'ın azaldığı görülmektedir (Şekil 5.31). Bu durum; sıcaklık arttırıldıkça, suyun iyonlaşmasına sebep olan moleküler vibrasyonların artması sonucu çözeltideki H^+ iyonlarının artması ve bunun sonucunda da pH değerinin azalması ile açıklanır (Westlab, 2017).



Şekil 5.31. Öğütülmüş pirina eklenen çamurun farklı sıcaklıklardaki pH değerleri

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, Hatay yöresi zeytinyağı işletmelerinden temin edilmiş pirina hammaddesi kullanılmıştır. Biyokütle tabanlı pirina hammaddesi, birtakım işlemlerden geçirilerek pirolitik yağ, öğütülmüş pirina ve modifiye pirina olmak üzere üç farklı katkı maddesi elde edilmiştir. Elde edilen katkı maddeleri tek başına su bazlı sondaj çamuruna ilave edilmiş ve çamurun reolojik ve filtrasyon özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir.

Yapılan çalışmalar neticesinde elde edilen bazı önemli sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

1. Pirinadan elde edilen katkı maddeleri tek başına sondaj çamuruna ilave edilerek, oluşan çamurların yoğunluğu incelenmiş ve inceleme sonucunda katkı miktarı belli bir seviyeyi aştıktan sonra çamurun yoğunluğunun arttığı görülmüştür.
2. Katkılı çamurların viskozite ve kopma noktası değerleri incelenmiş, pirolitik yağ ve modifiye pirina eklenmiş çamurların viskozite ve kopma noktası değerlerinin katkı miktarı arttırıldıkça azaldığı görülmüştür. Ancak, öğütülmüş pirina bazı noktalarda arttırıcı etki yapmasına rağmen elde edilen değerler kabul edilebilir niteliktedir.
3. Elde edilen katkılı çamurların jel mukavemeti değerleri katkısız çamurla kıyaslandığında, katkı miktarı arttırıldıkça 10 s. ve 10 dak. jelleri arasındaki farkın azaldığı ve çamurun daha iyi bir jel yapısına sahip olduğu görülmüştür.
4. Katkılı çamurların sıvı kaybı değerleri ölçüldüğünde, katkı miktarı arttırıldıkça genel olarak sıvı kaybının az miktarda arttığı görülmüştür. Az miktarda sıvı kaybı artışı yaşanması olumlu bir durum olarak görülmüştür.
5. Tüm katkılı çamurların kek kalınlığı ölçülmüş ve standartlara uygun, ince ve geçirimsiz bir kek oluştuğu anlaşılmıştır.
6. Elde edilen katkılı çamurların pH değerleri genellikle 8 - 9 arası değerler almış ve katkı miktarı arttırıldıkça pH'ın azaldığı görülmüştür.

Son olarak sıcaklığın su bazlı sondaj çamurunun reolojik özellikleri üzerine etkisi incelenmiş ve şu şekilde sonuçlar alınmıştır.

1. Katkısız çamurun farklı sıcaklıklarda viskozite ve kopma noktası değerleri incelenmiş, sıcaklık arttırıldıkça bu değerlerin yavaşça azaldığı görülmüştür. Katkısız çamurun sıcaklığının arttırılması sonucunda jel değerleri arasındaki farkın büyümesi sebebiyle de jel mukavemetinin olumsuz etkilendiği anlaşılmıştır. Katkısız çamurun pH değeri ise, sıcaklık arttırıldıkça su molekülleri arasındaki ayrışımın artması sonucunda azalmıştır.
2. Modifiye pirina eklenen çamurun görünür viskozite ve kopma noktası sıcaklık arttırıldıkça azalmış, plastik viskozitesi ise bazı sıcaklıklarda azalan bazı sıcaklıklarda da artan eğilim göstermiştir. Elde edilen viskozite ve kopma noktası değerleri kabul edilebilir değerler teşkil etmiştir. Modifiye pirina eklenen çamurun jel değerleri incelendiğinde, aynı katkısız çamurda olduğu gibi, sıcaklığın arttırılması çamurun jel yapısını olumsuz etkilemiştir. Sıcaklığın çamurun pH'ı üzerindeki etkisine bakıldığında ise, sıcaklık arttırıldıkça çamurun pH'ının azaldığı görülmüştür.
3. Pirolitik yağ eklenen çamurun viskozite ve kopma noktası değerleri bazı sıcaklıklarda azalmış, bazı sıcaklıklarda ise artmıştır. Ancak, her iki durumda da elde edilen değerlerin viskozite ve kopma noktası açısından olumlu ve kabul edilebilir olduğu anlaşılmıştır. Çamurun jel mukavemeti incelendiğinde, sıcaklık 49 °C'ye kadar arttırıldığında çamurun daha iyi bir jel yapısına sahip olduğu, daha yüksek sıcaklıklarda ise jel yapısının olumsuz etkilendiği görülmüştür. Pirolitik yağ eklenen çamurun pH'ı ise sıcaklık arttırıldıkça azalmıştır.
4. Öğütülmüş pirina eklenen çamurun viskozite ve kopma noktası, sıcaklık arttırıldıkça azalmıştır, bu da istenen bir durumdur. Çamurun jel değerleri arasındaki fark ise özellikle 66 °C gibi yüksek sıcaklıklarda azalmış ve daha iyi bir çamur jeli oluşmuştur. Çamurun pH değerleri incelendiğinde, aynı diğer çamurlarda olduğu gibi, sıcaklık arttırıldıkça çamurun pH değeri azalmıştır.

Yukarıdaki tüm sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, pirina bazlı çeşitli katkı maddelerinin su bazlı sondaj çamuruna ayrı ayrı ilave edildiğinde, sondaj çamurunun reolojisi üzerinde olumlu etki yarattığı görülmüştür. Ayrıca, sıcaklık faktörünün de sondaj çamurunun reolojisi üzerinde büyük etkisi olduğu anlaşılmıştır. Sondaj operasyonları için sondaj çamurunun olmazsa olmaz olduğu düşünüldüğünde, çevre dostu ve düşük maliyetli biyokütle tabanlı pirina hammaddesinin, sondaj çamurunun reolojik ve filtrasyon özelliklerini olumlu yönde etkilemesi ileriki çalışmalara da ışık tutacaktır.

KAYNAKLAR

1. Abdou, M.I., Alsabagh, A.M., Aboulrous, A.A., Mahmoud, T. (2015). Application of natural polymers in engineering. *Egyptian Petroleum Research Institute*, DOI: 10.1007/978-3-319-26414-1_7.
2. Aftab, A., Ismail, A.R., Khokhar, S., 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.
3. Agwu, O.E., Okon, A.N., Udoh, F.D. (2015). A comparative study of diesel oil and soybean oil as oil based drilling fluid. *Hindawi Publishing Corporation Journal of Petroleum Engineering*, Article ID 828451, 10 pages.
4. Alias, N., Tahir, N.F.M., Mohd, T.A.T., Ghazali, N.A., Yahya, E., Shahrudin, M.Z., Ramlee, N.A., Azizi, A. (2014). Rheological study of nanosilica based drilling fluid. *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 575, pp 128-133.
5. Alsabagh, A.M., Abdou, M.I., Ahmed, H.E., Khalil, A.A., Aboulrous, A.A. (2014). Evaluation of some natural water-insoluble cellulosic material as lost circulation control additives in water-based drilling fluid. *Egyptian Journal of Petroleum*, 24, 461-468.
6. Altun, G., Osgouei, A.E., Serpen, U. (2013). Su bazlı sepiolit çamur özelliklerinin zorlu sondaj koşullarında deneysel olarak incelenmesi. *Jeotermal Enerji Semineri, 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir.
7. Alyasiri, M., Antony, J., Wen, D. (2017). Enhancement of drilling fluid rheology by nanoparticles. *Annual Transactions of the Nordic Rheology Society*, Vol. 25.
8. Amani, M., Hassiba, K.J. (2012). Salinity effect on the rheological properties of water based mud under high pressures and high temperatures of deep wells. *SPE, Kuwait International Petroleum Conference and Exhibition*, Kuwait.
9. Annis, M.R., Smith, M.V. (1974). *Drilling fluids technology*. Revised Edition 1996, Exxon Company, U.S.A.
10. Awele, N. (2014). Investigation of additives on drilling mud performance with “tønder geothermal drilling” as a case study. Aalborg University, Chemical Engineering Department, M.Sc. Oil And Gas Technology, Master Thesis.
11. Baker Hughes (2006). *Drilling fluids reference manual revised edition*.
12. Barkom Grup (2014). Çamur terazisi - marsh hunisi ve kabı - ph kâğıtları. <http://www.barkomltd.com/tr/>
13. Barrett, M.L. (2013). Drilling mud: A 20th century history. *Petroleum History Institute, Oil-Industry History*, v. 12, no. 1, p. 161 - 168.

14. Caenn, R. (2018). <http://www.drillingfluidhistory.org/index.php/2-uncategorised/1-drilling-fluid-history-overview>. Erişim tarihi: 13.01.2018.
15. Chemwotei, S.C. (2011). Geothermal drilling fluids. United Nations University, Geothermal Training Programme, IS - 108 Reykjavik, Iceland.
16. Dhiman, A.S. (2012). Rheological properties & corrosion characteristics of drilling mud additives. Dalhousie University, Faculty of Engineering Master Thesis, Halifax, Nova Scotia.
17. El-Sukkary, M.M.A., Ghuiba, F.M., Sayed, G.H., Abdou, M.I., Badr, E.A., Tawfik, S.M., Negm, N.A. (2013). Evaluation of some vanillin-modified polyoxyethylene surfactants as additives for water based mud. *Egyptian Journal of Petroleum*, 23, 7-14.
18. Fann Instrument Company [FIC] (2013). Methylene Blue Kit Instruction Manual. Manual No. 209860, Revision E, Instrument No. 209679 & 209694
19. Fann Instrument Company [FIC] (2014). Fann product catalog, drilling fluids testing - oil well cement testing - industrial products.
20. Gücüyener, İ.H. (2009). Sondaj akışkanları teknolojisindeki son gelişmeler. İTÜ Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Bölümü Ders Sunumu, İstanbul.
21. Haider, S., Bouregghda, M.Z.M., Aknouche, H., Akkouche, A., Hammadi, L., Safi, B. (2018). An ecological water-based drilling mud (WBM) with low cost: substitution of polymers by wood wastes. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, <https://doi.org/10.1007/s13202-018-0469-9>.
22. Haras, M.R.A., Ibrahim, M.N.M., Ali, A.S.M., Sipaut, C.S., Abdalsalam, A.A.A. (2013). Lignocellulosic-based rheological modifier for high temperature oilfield drilling operations. *American Journal of Engineering Research*, Volume-02, Issue-11, pp-230-241.
23. Ibrahim, D.S., Sami, N.A., Balasubramanian, N. (2016). Effect of barite and gas oil drilling fluid additives on the reservoir rock characteristics. *J Petrol Explor Prod Technol*, 7: 281 - 292.
24. Irawan, S., Zakuan, A., Azmi, A., Saaid, M. (2009). Corn cobs and sugar cane waste as a viscosifier in drilling fluid. *Pertanika J. Sci. & Technol.*, 17 (1): 173 - 181.
25. Ismail, A.R., Sulaiman, W.R.W, Jaafar, M.Z., Ismail, I., Hera, E.S. (2016). Nanoparticles performance as fluid loss additives in water based drilling fluids. *Materials Science Forum*, ISSN: 1662-9752, Vol. 864, pp 189-193.
26. Judee, F., Simon, S., Bailly, C., Dufour, T. (2017). Plasma-activation of tap water using DBD for agronomy applications: Identification and quantification of long lifetime chemical species and production/consumption mechanisms. *Water Research*, 133, 47 - 59.
27. Kafashi, S., Rasaei, M., Karimi, G. (2016). Effects of sugarcane and PAC on rheological properties of drilling mud: An experimental approach. *Egyptian Journal of Petroleum*.

28. Kania, D., Yunus, R., Omar, R., Rashid, S.A., Jan, B.M. (2015). A review of biolubricants in drilling fluids: Recent research, performance, and applications. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 135, 177–184.
29. Khodja, M., Saber, M.K., Canselier, J.P., Cohaut, N., Bergaya, F. (2010). Drilling fluid technology: performances and environmental considerations. www.intechopen.com.
30. Mahto, V., Sharma, V.P. (2004). Rheological study of a water based oil well drilling fluid. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 45, 123 - 128.
31. Mahto, V. (2013). Effect of activated charcoal on the rheological and filtration properties of water based drilling fluids. *International Journal of Chemical & Petrochemical Technology*, Vol. 3, Issue 4, 27 - 32.
32. Meng, X., Zhang, Y., Zhou, F., Chu, P.K. (2012). Effects of carbon ash on rheological properties of water-based drilling fluids. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 100, 1 - 8.
33. Nasr, M., Zahran, H.F. (2016). Performance evaluation of agricultural drainage water using modeling and statistical approaches. *Egyptian Journal of Aquatic Research*.
34. Nasser, J., Jesil, A., Mohiuddin, T., Al Ruqeshi, M., Devi, G., Mohataram, S. (2013). Experimental investigation of drilling fluid performance as nanoparticles. *World Journal of Nano Science and Engineering*, 3, 57 - 61.
35. Nwaiche, J. (2015). Selection and application of drilling fluids. Teesside University. <https://www.researchgate.net/publication/275334398>
36. Oil Field Testing Equipment Incorporated [OFITE Inc.] (2011). Underbalanced drilling test kit instruction manual. Ver. 1.1, part no. 144 - 82. www.ofite.com
37. Oil Field Testing Equipment Incorporated [OFITE Inc.] (2014). Metal mud balance (machined balance) instruction manual. Ver. 1.5, part no. 115 - 00. www.ofite.com
38. Oil Field Testing Equipment Incorporated [OFITE Inc.] (2017). Alkalinity of drilling fluids. <http://www.ofite.com/news/alkalinity-of-drilling-fluids>. Erişim tarihi: 19.12.2017.
39. Oil Field Testing Equipment Incorporated [OFITE Inc.] (2017). Chloride ion content instruction manual. Ver. 2.0, part no. 144 - 40. www.ofite.com
40. Oil Field Testing Equipment Incorporated [OFITE Inc.] (2017). Offshore test kit, basic instructions. www.ExpotechUSA.com
41. Paswan, B.K., Jain, R., Sharma, S.K., Mahto, V., Sharma, V.P. (2016). Development of Jatropha oil-in-water emulsion drilling mud system. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 144, 10-18.
42. Ruqeshi, M.S.A., Salmi, Y.A., Mohiuddin, T. (2018). Nanoparticles as drilling fluids rheological properties modifiers. *Progress in Petrochemical Science*, 1(5).

43. Saboori, R., Sabbaghi, S., Kalantariasl, A., Mowla, D. (2018). Improvement in filtration properties of water based drilling fluid by nanocarboxymethyl cellulose/polystyrene core-shell nanocomposite. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*. <https://doi.org/10.1007/s13202-018-0432-9>.
44. Skalle, P. (2012). *Drilling Fluid Engineering*. 3. Edition, ISBN 978-87-403-0253-0. bookboon.com
45. Sönmez, A., Kök, M.V., Özel, R. (2013). Performance analysis of drilling fluid liquid lubricants. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 108, 64 - 73.
46. Türkiye Petrolleri [TP] (2007). Sondaj akışkanları teknolojisi (lignosülfonat çamuru). *Araştırma Merkezi Daire Başkanlığı Sondaj Teknolojisi Müdürlüğü*, Ankara.
47. Vryzas, Z., Kelessidis, V.C. (2017). Nano-based drilling fluids: A review. *Energies*, 10, 540; doi:10.3390/en10040540. www.mdpi.com/journal/energies
48. Wacunzo, A. (2012). *Drilling fluid properties*. London South Bank University. <https://www.researchgate.net/publication/267327034>
49. Weikey, Y., Sinha, S.L., Dewangan, S.K. (2018). Effect of different gums on rheological properties of slurry. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 310 012068.
50. Westlab (2017). <https://www.westlab.com/blog/2017/11/15/how-does-temperature-affect-ph>. Erişim tarihi: 15.11.2017.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÖZTEKİN, Mehmet
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 09.02.1989, İskenderun
 Medeni hali : Bekâr
 Telefon : 0 (545) 357 88 75
 e-mail : mehmetoztekin300@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	İskenderun Teknik Üniversitesi / Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Orta Doğu Teknik Üniversitesi / Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği	2014
Lise	İskenderun Cumhuriyet Lisesi / Fen Bilimleri	2007

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2017-Halen	N.V. TURKSE PERENCO	Mühendis

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

- Öztekin, M., Kar, Y. (2018). Pirinadan Elde Edilen Pirolitik Yağın Su Bazlı Sondaj Çamurunun Reolojik ve Filtrasyon Özellikleri Üzerine Etkisi. *International Engineering and Technology Symposium, "Energy and Petroleum"*.

Hobiler

Yüzmek, Enstrüman Çalmak, Seyahat Etmek

DİZİN

A

Alkalinite · 15, 16

B

Babul sakızı · 40
Bingham Plastik Modeli · 11, 48
biyokütle · 1, 26, 41, 42, 43, 46,
71

Ç

çamur ağırlığı · 4, 7, 17, 44, 45,
46, 47

D

delme hızı · 4
Dhawda sakızı · 40
dinamik filtrasyon · 8

F

filtrasyon · 8, 20, 21, 37, 38, 39,
41, 42, 44, 45, 70, 71
fiziksel özellikler · 17
formasyon basıncı · 2, 3

G

Gaz esaslı çamurlar · 7
görünür viskozite · 41, 63

H

Herschel-Bulkley Modeli · 11, 12
hidrostatik basınç · 3, 7

J

Jatropha yağı · 32, 33
jel mukavemeti · 10, 16, 17, 18,
20, 31, 34, 35, 44, 45, 48, 49,
50, 51, 52, 53, 60, 61, 62, 64,
66, 68, 70, 71

K

karbon külü · 36, 37
Katira sakızı · 40
kayma gerilmesi · 11, 12, 14, 50,
51
kayma gerinmesi hızı · 11, 12,
13, 14, 50
kek kalınlığı · 8, 35, 36, 37, 39,
44, 45, 54, 55, 56, 57, 58, 59,
70
kimyasal özellikler · 15
kopma noktası · 11, 12, 16, 17,
18, 19, 28, 29, 34, 41, 45, 48,
49, 50, 51, 52, 53, 60, 61, 62,
63, 64, 65, 66, 67, 68, 70, 71
korozyon · 3, 5, 15, 21
kuyu stabilitesi · 2, 4, 8, 15, 22

M

metilen mavisi kapasitesi · 17, 21
mısır koçanı · 46
modifiye pirina · 42, 43, 53, 59,
64, 70

N

nanosilica · 40, 72
non-Newtoniyen akışkanlar · 9

O

Organik esaslı çamurlar · 6

Ö

öğütülmüş pirina · 42, 43, 70

P

pH · 5, 15, 16, 21, 22, 40, 41, 44,
45, 54, 55, 56, 57, 58, 60, 61,
63, 65, 67, 69, 70, 71
pirina · 1, 42, 43, 45, 46, 47, 49,
51, 52, 53, 54, 55, 57, 58, 59,
60, 61, 63, 64, 65, 67, 68, 69,
70, 71
pirolitik yağ · 42, 43, 45, 46, 47,
50, 51, 54, 55, 56, 61, 65, 70

piroliz · 1, 42, 43
plastik viskozite · 18, 19
polyoksietilen surfaktantı · 40
Power Law Modeli · 11, 12
psedoplastikler · 9

R

Reoloji · 8
reolojik özellikler · 9, 34, 42
reolojik sınıflandırma · 10
Robertson-Stiff Modeli · 11, 13

S

Semal sakızı · 40
sıcaklık · 17, 30, 39, 60, 61, 62,
63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 71
sıvı kaybı · 2, 4, 16, 17, 20, 29,
32, 33, 34, 35, 37, 39, 40, 44,
45, 54, 55, 57, 59, 70
sirkülasyon · 2, 7, 8, 10, 51, 57,
63
Sondaj çamuru · 2, 3, 4, 8, 9, 15,
17, 26, 55
soya yağı · 34
statik filtrasyon · 8
Su esaslı çamurlar · 5

Ş

şeker kamışı · 30, 46

T

tamarind sakızı · 33
tikzotropik davranış · 10

V

viskoz ve viskoelastik akışkanlar
· 9
viskozite · 2, 4, 11, 12, 13, 14,
18, 19, 28, 30, 34, 39, 41, 44,
45, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 60,
61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68,
70, 71



TEKNOVERSİTE



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

İSTE

