



İSKENDERUN TEKNİK

ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK
LİSANS
TEZİ**

**SONDAJ ÇAMURUNA UÇUCU KÜL
EKLENMESİNİN ÇAMURUN
REOLOJİK VE FİLTRASYON
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Sıtkı Ekrem TURAN

PETROL VE DOĞALGAZ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI



**SONDAJ ÇAMURUNA UÇUCU KÜL EKLENMESİNİN ÇAMURUN
REOLOJİK VE FİLTRASYON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

Sıtkı Ekrem TURAN

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

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

MAYIS 2019

Sıtkı Ekrem TURAN tarafından hazırlanan “SONDAJ ÇAMURUNA UÇUCU KÜL EKLENMESİNİN ÇAMURUN REOLOJİK VE FİLTASYON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ” 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: Dr. Öğr. Üyesi Abdullah ÖZKAN

Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.



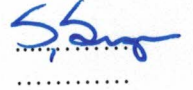
Başkan: Prof. Dr. Ergül YAŞAR

Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Anabilim Dalı İskenderun Teknik Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.



Üye: Prof. Dr. Şana SUNGUR

Analitik Kimya Anabilim Dalı, Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.



Tez Savunma Tarihi: 30/05/2019

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



Prof. Dr. Tolga DEPCI
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;

- ☒ Yükseköğretim Kuruluna gönderilen kopya ile tarafından Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü'ne verilen basılı ve/veya elektronik kopyaların birebir aynı 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.



Sıtkı Ekrem TURAN

30/05/2019

SONDAJ ÇAMURUNA UÇUCU KÜL EKLENMESİNİN ÇAMURUN REOLOJİK VE FİLTASYON ÖZELLİKLERİNE ETKİSNİN İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Sıtkı Ekrem TURAN

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mayıs 2019

ÖZET

Sondaj akışkanları veya diğer adıyla sondaj çamurları sondaj operasyonlarının önemli bir parçası olup verimli bir sondaj işlemi için bu akışkanların belirli özelliklere sahip olması gerekmektedir. Son dönemde sondaj akışkanlarına farklı konsantrasyonlarda ve tanecik boyutlarında birtakım katkı maddeleri eklenerek istenilen özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanmaktadır.

Bu tez çalışmasında su bazlı sondaj çamuruna farklı tane boyutunda ve farklı konsantrasyonlarda kömür yakıtlı termik santrallerde kömürün kazanda yanması sonucu elde edilen ve katı bir endüstriyel atık olan uçucu kül katkılanmış ve çamurun reolojik ve filtrasyon özelliklerindeki değişim incelenmiştir. Bu amaçla 32 µm, 63 µm ve 90 µm elek altı uçucu külleri bentonit ve barit içeren su bazlı çamuruna 1, 2, 3, 4 ve 5 (% w/w) olacak şekilde katkılanarak farklı çamur sistemleri hazırlanmıştır. Uçucu külün içeriği XRF ile tayin edilmiş ve SEM görüntüleri ile desteklenmiştir. Hazırlanan çamurların akış ve filtrasyon özellikleri Amerikan Petrol Enstitüsünce (API) belirlenen metod ve prosedürlere göre ölçülmüştür. Akış özellikleri olarak plastik viskozite, görünür viskozite, akma noktası ve jel mukavemetine, filtrasyon özellikleri olarak ise filtrasyon kaybı ve kek kalınlığı incelenmiştir.

Yapılan laboratuvar çalışmalarına göre uçucu kül eklenmesi çamurun akış ve filtrasyon özelliklerini pozitif yönde etkilemiştir ve API-13A'da belirtilen standart limitlerinin içinde kaldığı görülmüştür. 32µm uçucu kül katkılı sondaj çamuru için % 1 ile % 5 konsantrasyondaki uçucu kül katkılanması plastik viskozitede 1 cP'luk artışa, görünür viskozitede ise 5 cP'lik artışa sebep olurken 90µm uçucu kül katkılı sondaj çamuru için % 1 ile % 5 konsantrasyondaki uçucu kül katkılanması plastik viskozitede 6 cP'luk artışa, görünür viskozitede ise 8 cP'lik artışa sebep olmuştur. Katkılanan uçucu kül miktarı arttıkça filtrasyon kayıplarının da azaldığı görülmüştür. Filtrasyon kayıplarındaki en büyük azalma en küçük tane boyutlu (32 µm) kül katkılı olduğu durumda görülmüştür. Filtrasyon kek kalınlığının ise eklenen uçucu kül konsantrasyonu ve kül partiküllerinin tane boyutu ile paralel olarak arttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Uçucu Kül, Sondaj Çamuru, Akış Özellikleri, Filtrasyon Özellikleri

Sayfa Adedi : 44

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Abdullah ÖZKAN

INVESTIGATION OF FLY ASH EFFECT ON RHEOLOGICAL AND FILTRATION PROPERTIES OF WATER BASED DRILLING FLUID

(M. Sc. Thesis)

Sıtkı Ekrem TURAN

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY
ENGINEERING AND SCIENCE INSTITUTE

July 2019

ABSTRACT

Drilling fluids are an important part of drilling operations and these fluids must have certain properties in order to have a successful drilling process. Recently, it is aimed to improve the desired properties of the drilling fluids by adding various materials different in composition and size.

In this thesis work, fly ash, which is a combustion solid of coal fired power plant, is added into drilling fluids in different concentrations (% w/w) and particle size and the changes in rheological and filtration properties were investigated. For this purpose, 32 μm , 63 μm ve 90 μm subsieve fly ash samples were added in to drilling mud in different concentrations of 1, 2, 3, 4 and 5 (w/v) respectively. Composition of fly ash was determined by XRF and supported by SEM images. Prepared mud systems were tested according to American Petroleum Institute (API)'s test procedures and test methods. Plastic viscosity, yield point, apparent viscosity and gel strength are examined with Fann Viscometer as rheological properties, filtrate loss and filter cake thickness were examined with API fluid loss testing equipment as filtration properties.

According to experimental test results, fly ash addition improved rheological and filtration properties of drilling fluids and results were found within the limits of API-13A standarts. 1% to 5% fly ash addition for 32 μm fly ash added drilling mud caused 1 cP increase in plastic viscosity and 5 cP increase in apparent viscosity while fly ash addition of 1% to 5% concentration for 90 μm fly ash added drilling mud 6 cP increase in plastic viscosity and 8 cP increase in apparent viscosity. As the amount of fly ash added increased, filtration losses were decreased. The greatest reduction in filtration losses was observed when the smallest particle size (32 μ) was added to muds. It was determined that the filtration cake thickness increased in parallel with concentration and particle size of fly ash added.

Key Words : Fly Ash, Drilling Fluid, Rheological Properties, Filtration Properties

Page Number : 44

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Abdullah ÖZKAN

TEŞEKKÜR

Bu çalışma boyunca beni yönlendiren, gerekli çalışma ve laboratuvar ortamını sağlayan, destek ve yardımlarını esirgemeyen tez hocam, İSTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Ana Bilim Dalı Dr. Öğr. Üyesi Abdullah Özkan'a, laboratuvar çalışmalarında bana yardımcı olan Merve Kaplan ve Ahmed Elias'a, teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca çalışmalarım süresince bana göstermiş olduğu sabır ve anlayıştan dolayı sevgili eşim Ayşenur Turan'a ve canım kızım Elif'e teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ	1
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE.....	5
2.1 Sondaj Akışkanları	5
2.1.1 Sondaj Akışkanlarının Sınıflandırılması	5
2.1.2 Sondaj Akışkanlarının Görevleri	7
2.2 Akış Özellikleri (Reoloji)	9
2.2.1 Genel Bilgiler	9
2.2.2 Newton Kanunu ve Newtoniyen Akışkanlar	9
2.2.3 Akış Modelleri	13
2.3 Sondaj Akışkanı Testleri	15
2.3.1 Yoğunluk Testi.....	15
2.3.2 Viskozite Testleri	16
2.3.3 Jel Mukavemeti Testi	17
2.3.4 Filtrasyon Testi	17
2.4 Uçucu Kül	18
2.4.1 Tanımı ve Genel Kullanım Alanları	18
2.4.2 Uçucu Küllerin Özellikleri	20
2.4.3 Uçucu Küllerin Sınıflandırılması	21
3. DENEYSEL ÇALIŞMA ve ARAŞTIRMA BULGULARI	22
3.1. Numune Hazırlama	22

	Sayfa
3.1.1 Uçucu Kül Numune Toplama ve Hazırlama	22
3.1.2 Sondaj Çamuru Hazırlama	23
3.2 XRF, XRD ve SEM Analizleri.....	24
3.3 Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi	25
3.3.1 Uçucu Kül Katkılanan Çamurların Reolojik Özelliklerindeki Değişim ...	26
3.3.2 Uçucu Kül Katkılanan Çamurların Filtrasyon Özelliklerindeki Değişim.	32
3.3.3 Uçucu Külün Çamur Yoğunluğuna Etkisi	34
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	36
KAYNAKLAR	38
ÖZGEÇMİŞ	41
DİZİN	43

Çizelgelerin Listesi

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1 Su Bazlı Sondaj Çamurlarında Yaygın Kullanılan Katkı Maddeleri	3
Çizelge 2.1 Uçucu Kül Kullanım Alanları	19
Çizelge 2.2 Farklı Kömürlere Ait Uçucu Kül Kompozisyonları	21
Çizelge 3.1 Hazırlanan Çamur Sistemleri Bileşimleri	23
Çizelge 3.2 Bentonit-Su Bazlı Süspansiyonun Viskozite Değerleri	23
Çizelge 3.3 Uçucu Kül XRF Analiz Sonuçları	24
Çizelge 3.4 API Standardına Göre Bentonit Bazlı Çamurların Sağlanması Gereken	
Sayısal Değerler	26

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1 Newtoniyen ve Newtoniyen Olmayan Akışkanların Akış Eğrileri	11
Şekil 2.2 Görünür Viskozitenin Kayma Gerilmesi ile Değişimi	12
Şekil 2.3 Newtoniyen Olmayan Akışkanlarda Sabit Kayma Gerilmesi Hızı Altında Kayma Gerilmesinin Değişimi	12
Şekil 2.4 Bingham Plastik Modeli Parametreleri.....	13
Şekil 2.5 Uçucu Kül Partikül Boyut Dağılımı	20
Şekil 3.1 Uçucu Kül Katkılı Çamurların XRD Modeli.....	24
Şekil 3.2 32µ Uçucu Kül Katkılı Çamurun Viskoziteleri ve Kopma Noktası.....	26
Şekil 3.3 63µ Uçucu Kül Katkılı Çamurun Viskoziteleri ve Kopma Noktası.....	27
Şekil 3.4 90µ Uçucu Kül Katkılı Çamurun Viskoziteleri ve Kopma Noktası.....	27
Şekil 3.5 32µ, 63µ, 90µ Kül Katkılı Çamurların Palstik Viskoziteleri.....	27
Şekil 3.6 32µ, 63µ, 90µ Kül Katkılı Çamurların Görünür Viskoziteleri	28
Şekil 3.7 32µ, 63µ, 90µ Kül Katkılı Çamurların Kopma Noktaları	28
Şekil 3.8 32µ Uçucu Kül Katkılı Çamurun Jel Mukavemetindeki Değişim	30
Şekil 3.9 63µ Uçucu Kül Katkılı Çamurun Jel Mukavemetindeki Değişim	30
Şekil 3.10 90µ Uçucu Kül Katkılı Çamurun Jel Mukavemetindeki Değişim	30
Şekil 3.11 32µ, 63µ, 90µ Kül Katkılı Çamurların 10 saniye Jel Mukavemeti.....	31
Şekil 3.12 32µ, 63µ, 90µ Kül Katkılı Çamurların 10 Dakika Jel Mukavemeti.....	31
Şekil 3.13 32 µ Kül Katkılı Çamurun Filtrasyon Kaybı	32
Şekil 3.14 63 µ Kül Katkılı Çamurun Filtrasyon Kaybı	32
Şekil 3.15 90 µ Kül Katkılı Çamurun Filtrasyon Kaybı	33
Şekil 3.16 32µ, 63µ, 90µ Kül Katkılı Çamurun Filtrasyon Kaybı	33
Şekil 3.17 32µ, 63µ, 90µ Kül Katkılı Çamurların Kek Kalınlıkları	34
Şekil 3.18 32µ, 63µ, 90µ Kül Katkılı Çamurların Yoğunluklarındaki Değişim	34

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 1.1 Tipik Sondaj Tertibatı Şeması.....	2
Resim 2.1 Akış Modeli.....	10
Resim 2.2 Çamur Terazisi	15
Resim 2.3 Fann Model 800 Döner Viskozimetre	16
Resim 2.4 Filtrasyon Test Ekipmanı	17
Resim 2.5 Termik Santral Akış Diyagramı	18
Resim 2.6 Farklı Renkli Uçucu Küller.....	20
Resim 3.1 Titreşimli Elek Analizi ve Elek Altı Numuneler.....	22
Resim 3.2 Farklı Tane Boyutlu ve Farklı Konsantrasyonlarda Uçucu Kül Katkılanmış Sondaj Çamurlarına Ait SEM Görüntüleri	25

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

m^3

Metreküp

cP

Santi Poise

m^2

Metrekare

μ

Viskozite

γ

Kayma Hızı

τ

Kayma Gerilmesi

A

Alan

K

Power Law Modeli Sabiti

Kısaltmalar

Açıklamalar

API

Amerikan Petrol Enstitüsü

ASTM

Amerikan Test ve Materyaller Topluluğu

AV

Görünür Viskozite

CMC

Karboksi Metil Selüloz

HGI

Hardgrove Kömür Öğütülebilirlik Endeksi

PV

Plastik Viskozite

SEM

Taramalı Elektron Mikroskobu

TPAO

Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı

YP

Kopma Noktası

XRD

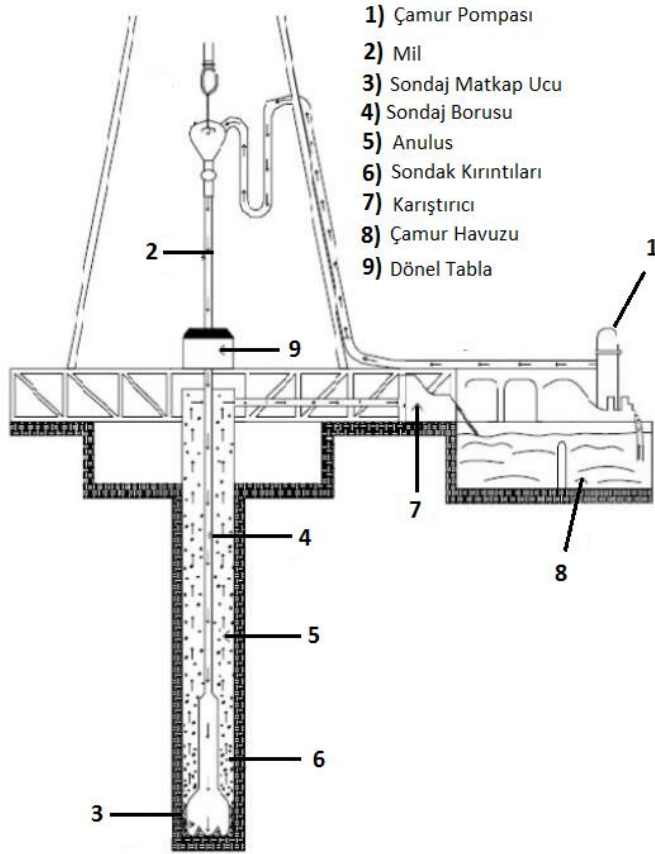
X-Işını Kırınım Yöntemi

XRF

X-Işını Floresans Spektrometrisi

1. GİRİŞ

Sondaj işleminin amacı yeraltındaki hidrokarbon kaynaklarına mümkün olan en hızlı ve en ekonomik şekilde ulaşmaktır. Bir sondaj operasyonunun başarılı olmasını etkileyen en önemli etkenlerden biride kullanılan sondaj akışkanının performansıdır. Sondaj işlemlerinde karşılaşılan problemlerin birçoğunun doğrudan veya dolaylı olarak sondaj akışkanı ile ilişkili olduğu görülmüştür. Bir sondaj akışkanı kullanılacağı formasyondaki şu üç temel görevi yerine getirmesi için geliştirilir ve formüle edilir; i) yeraltı basıncının kontrol edilmesi, ii) parçalanan kayaç ve kırıntıların taşınması, iii) sondaj kuyusunun dengelenmesi ve desteklenmesi [1]. Kullanılacak akışkan, belirtilen görevleri yerine getirebilmesinin yanında kolay uygulanabilir, ekonomik ve çevre dostu olmalıdır. Petrol sondaj maliyetlerinin yaklaşık olarak %15'lik bir kısmını doğrudan sondaj akışkanlarının oluşturduğu bilinmektedir. Genel olarak iyi bir sondaj akışkanının basit ve az sayıda katkı maddesi içermesi istenir. Böylece bakımı ve takip edilen parametrelerin kontrolü daha rahat yapılır. Hidrokarbon rezervlerinin arama maliyeti açık denizlerde, derin sularda ve agresif ortamlarda daha da artmaktadır. Dolayısıyla bu tür ortamlarda kullanılacak sondaj akışkanlarının performansının üst seviyede olması istenmektedir. Sondaj işlemi sırasında durum bazlı değişikliklere anında müdahale edebilmek ve gereksinimleri karşılayabilmek için esnek bir çamur sistemine sahip olunması istenir. Çamur programının planlanması, ilgili tüm jeolojik bilgilerin toplanması ve değerlendirilmesiyle başlar. Bu, gözenek basıncı ve kırılma gradyan profillerini, oluşum özelliklerini, olası sondaj deliği kararsızlığının aralıklarını, çözünür tuz yataklarının yerlerini ve asitli gaz ya da tuzlu su akışlarını içerir [2]. Tipik bir sondaj tertibatı Resim 1.1' de gösterilmiştir.



Resim 1.1 Tipik Sondaj Tertibatı Şeması [2]

Sondaj mühendisliğindeki gelişmeler daha sofistike sondaj akışkanlarına ihtiyaç duyulmasını sağlamıştır. Sondaj yapılan formasyona göre değişen ihtiyaçlara uygun geliştirilen sondaj akışkanlarına birçok katkı maddesi eklenmeye başlamıştır. Böylece basit bir sondaj akışkanı sıvı, katı ve çeşitli kimyasallar içeren farklı özellikteki karışımlara dönüşmüştür [4]. Sondaj akışkanlarının performansını artırmak için eklenen farklı içerikli ve farklı konsantrasyonlardaki katkı maddeleri prosesin ihtiyaçlarına göre şekillenmekte ve optimize edilmektedir. Bazen bir katkı maddesi sondaj esnasında gereken birden fazla ihtiyaca cevap verebilir [5]. En çok kullanılan katkı maddeleri; pH kontrolü için asidite ve alkalinite akışkanları, bakteriyolojik büyümeyi önleyici bakterisitler, korozyon önleyici inhibitörler, köpük gidericiler, formasyona açılan boşlukları tıkayıp sıvı kaybını önleyen malzemeler, sürtünme kayıplarını azaltıcı yağlayıcı maddeler olarak özetlenebilir [6]. Aşağıdaki çizelgede farklı amaçlarla kullanılan katkı maddeleri gösterilmiştir.

Çizelge 1.1 Su Bazlı Sondaj Çamurlarında Yaygın Olarak Kullanılan Katkı Maddeleri [7]

Viskozite Geliştirici	Bentonit, Çeşitli Polimerler
Kabarma Önleyici	Tuz, Kireç, Alçıtaşı
Viskozite Düşürücü	Lignosülfonatlar, Fosfatlar, Tannat
Emülsiyonlaştırıcı	Lignosülfonat, Linyit, deterjan
Sıvı Kaybı Katkı Maddeleri	Nişasta, CMC, Sentetik Polimerler
Sirkülasyon Kaybı Maddeleri	Granüller, Fiber, Flake
Ağırıştırıcılar	Barit, Hematit, Çözünmüş Tuzlar, Karbonat
Özel Katkı Maddeleri	Flokülanlar, Köpük Gidericiler, pH Düzenleyiciler

Sondaj işleminin başarılı olması için kuyu stabilitesinin sağlanması, sıvı kayıplarının azaltılması, kullanılan akışkanın reolojik özelliklerinin geliştirilmesi için sondaj akışkanları üzerinde yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Son dönemde araştırmalar nano ve mikro boyutlu partiküllerin yukarıda belirtilen hedefleri gerçekleştirme doğrultusunda kullanılabilirliği üzerinde yoğunlaşmıştır. Singh ve Ahmed (2010), nanopolimer katkılanmasının kuyu dengesizliklerini azaltarak stabiliteyi artırıcı yönde etki oluşturduğunu gözlemlemiştir [8]. Sondaj operasyonlarında en çok karşılaşılan sorunlardan biride sirkülasyon kaybı olarak adlandırılan sondaj akışkanının kısmen veya tamamen sondaj yapılan formasyona geçerek kaybolup gitmesi durumudur. Bu durum genel olarak doğal yollarla oluşan çatlak ve oyuklardan kaynaklanmaktadır [9]. Sirkülasyon kayıpları zaman ve maliyet kayıplarının yanında basınç kontrolünün kaybolmasına dolayısıyla güvenlik sorunlarına da yol açmaktadır. Mostafavi ve arkadaşları (2011), sondaj çamuruna birtakım mikro ve makro partiküller katkılanmışlar ve sirkülasyon kayıplarında sınırlı iyileşmeler elde etmişlerdir. Aynı ekip; demir hidroksit nano partiküllerini katkılادıklarında ise sirkülasyon kayıplarında yaklaşık % 9'luk bir azalma sağlamışlardır [10]. Amanullah ve Ashaf (2009) nano ve ultra ince mikro partikül katkılı sondaj akışkanlarının sondaj borusu yüzeyinde ince bir film tabakası oluşmasının sağlandığını ve çamurun yapışma eğilimini azaltıcı yönde etki ederek boru yapışma ve tıkanmalarının önüne geçildiğini belirtmişlerdir [11]. Sondaj çamurlarına birtakım partiküller katkılanarak kuyudaki toksik ve korozyif gazların etkileri de elimine edilebilmektedir. Sayyadnejad ve arkadaşları (2008) sondaj çamuruna 14-25 nm boyutlarında çinko oksit partikülleri eklediklerinde ortamdaki hidrojen sülfürün tamamının ortadan kalktığını gözlemlemiştir [12].

Bu çalışmada su bazlı sondaj çamuruna uçucu kül eklenmesinin çamurun reolojik ve filtrasyon özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Uçucu kül, kömür yakıtlı termik santrallerde kömürün kazanda yanması sonucu oluşan katı bir atıktır. Genel olarak gri renkli, ısıya dayanıklı ve abrasif olup 1-200 mikron arasında değişen tane boyutuna sahiptir [13]. Pozolanik özelliğinden dolayı en çok çimento sektöründe kullanılmaktadır [14]. Petrol endüstrisinde uçucu kül genel olarak yeraltı kirliliklerini önlemek amacıyla sondaj çamur atıklarının stabilizasyonunda kullanılmaktadır [15]. Sondaj çamurları birçok kimyasal içeren bir karışım olduğundan bertarafı esnasında stabilize edilmeli veya betonlaştırılmalıdır. Uçucu kül yüksek kalsiyum içeriği sayesinde hızlı bir katılaştırma ve bağlayıcılık özelliği göstermektedir. Böylece hem sondaj atıkları hem de katı bir atık olan uçucu kül beraberinde bertaraf edilebilmektedir [16]. Açık deniz sondaj operasyonlarında ise düşük yoğunluğun gerektiği köpürücü sondaj akışkanlarında pozolanik ve hidrolik özelliklerinden yararlanmak amacıyla kullanılmaktadır [17]. Uçucu külün kuvvetli bağlayıcılık özelliği, filtrasyon kayıplarının kontrolü ve kuyu stabilitesinin sağlanması için faydalı bir özelliktir [18]. Aynı amaç için kullanılan diğer nano ve mikro boyutlu katkı maddeleri pahalı olmalarının yanında birçoğu yurtdışından ithal edilmektedir. Uçucu kül ise yanma sonucu oluşan bir atık olmasından dolayı diğer katkı maddelerine göre daha ucuz ve son dönemde Türkiye’de devreye alınan kömür yakıtlı termik santrallerindeki artışa bağlı olarak ulaşımı ve elde edilmesi daha kolaydır. Terakulsatit (2014) yaptığı çalışmada farklı sıcaklıklardaki (30°C, 60°C, 90°C) sondaj çamuruna ağırlıkça % 3, 5 ve 7 oranlarında uçucu kül katkılayarak çamur özelliklerindeki değişimi incelemiştir [19]. Çalışma sonunda 30 °C ve % 3 konsantrasyonda uçucu kül katkılanmasının viskozite ve jel mukavemeti gibi reolojik özelliklerini olumlu yönde etkilediğini görmüştür. Yüksek konsantrasyonda uçucu kül katkılanmasının filtrat kayıplarını ve kek kalınlığını artırdığını belirtmiştir.

Bu deneysel çalışmada su bazlı sondaj çamuruna 32 µm, 63 µm ve 90 µm elek altı uçucu külleri ağırlıkça % 1, 2, 3, 4 ve 5 olacak şekilde katkılanmış ve sondaj çamurunun reolojik ve filtrasyon özelliklerindeki değişimler incelenmiştir.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1 Sondaj Akışkanları

Genellikle “çamur sistemi” olarak bilinen sondaj akışkanları, tüm sondaj işlemi boyunca kuyu ile temas halinde kalan ve sondaj işlemi esnasında ihtiyaç duyulan işlevlerin bir kısmını veya tamamını yerine getiren ve kuyu içerisinde sürekli sirkülasyon halinde bulunan akışkanlardır. Sondaj sıvısı sistemleri, beklenen kuyu koşulları altında verimli çalışacak şekilde tasarlanmış ve formüle edilmiştir. Sondaj sıvısı teknolojisindeki gelişmeler, kuyu yapım sürecinde her aralık için uygun maliyetli, amaca uygun bir sistemin uygulanmasını mümkün kılmıştır.

2.1.1 Sondaj Akışkanlarının Sınıflandırılması

Sondaj işlemleri sırasında karşılaşılan sorunlar farklı özelliklerde çamur sistemine ihtiyaç duyulmasını sağlamıştır. Buna bağlı olarak farklı formülasyonlar geliştirilmiştir. Çamur sistemleri içerdikleri sürekli faz baz alınarak sınıflandırılmaktadır. Temel olarak pnömatik, yağ bazlı ve su bazlı akışkanlar olmak üzere 3 grupta sınıflandırılabilir.

Pnömatik Akışkanlar

Pnömatik sondaj akışkanları genellikle çok düşük formasyon basınçları ile karşılaşılan ve sirkülasyon kaybı potansiyelinin yüksek olduğu formasyonlarda kullanılmaktadır. En yüksek delme ve ilerleme hızının elde edildiği sondaj akışkan tipidir. Formasyon basınçları müsaade ettiği sürece her türlü formasyonda uygulanabilmektedir. Ayrıca pnömatik sondajda formasyona daha az zarar verilmektedir. Avantajlarının yanında birtakım dezavantajları da vardır. Kuyu içerisindeki kırıntıları yüzeye çıkarmak için gereken hava hacmi çok yüksek olabilmekte dolayısıyla ve yüksek ekipman kapasitelerine gereksinim duyulabilmektedir. Ayrıca hava/doğal gaz gibi bazı pnömatik akışkan türleri kuyu içi ekipmanlarda yangın veya korozyona sebep olabilmektedir [20].

Yağ Bazlı Akışkanlar

Sürekli fazın dizel yağı, mineral yağı gibi yağlardan oluştuğu sondaj akışkanlarıdır. Formasyon içerisinde bulunan suları toplayabildiklerinden ve yağ emülsiyonlaştırıcı kimyasallar içerdiğinde genellikle ilave su gerektirmez [21]. Sondaj sırasında kuvvetli yağlama özelliğinden dolayı yüksek sıcaklık ve yüksek basınç gerektiren zorlu formasyonlarda tercih edilmektedir. Yağ bazlı akışkanlar ayrıca CO₂ ve H₂S gibi asidik gazlara ve zararlı diğer kontaminasyonlara karşı bir hayli dirençlidir. Su bazlı sondaj akışkanlarına göre daha maliyetli olmalarına rağmen, birtakım şartlandırma işlemlerinden sonra tekrar kullanılabilirler [22]. Ancak çevresel etkilerinden dolayı birçok alanda kullanımı sınırlandırılmış ve yasaklanmıştır.

Su Bazlı Akışkanlar

En yaygın kullanılan sondaj akışkan tipi olup, kuyuların yaklaşık % 80'inde su bazlı akışkanlar kullanılmaktadır [23]. Sürekli faz olan baz akışkan tatlı su, tuzlu su veya deniz suyu olabilir. Seçilen sıvı tipi öngörülen kuyu koşullarına veya sondaj yapılacak kuyunun spesifik aralığına bağlıdır. Örneğin yüzey aralığında yapılan sondajlarda birkaç katkı maddesinin yanında düşük yoğunluklu su veya deniz suyu ile hazırlanmış sondaj akışkanları kullanılabilir. Farklı su bazlı sondaj sıvıları aşağıdaki gibidir.

- Disperse Çamurlar: Bu tür çamurlar genellikle yüksek yoğunluk gerektiren derin sondaj operasyonlarında veya ağırlaştırıcı şartlandırıcıların gerektiği sorunlu kuyularda kullanılır. Bu tür çamurlar özel katkı maddeleri ile spesifik özellikler kazanarak disperse (dağılmakta) olmaktadır.
- Disperse Olmayan Çamurlar: Bu tür çamurlar genellikle derin olmayan sondajlarda veya kuyunun üst bölgelerinde kullanılır. Hazırlanmalarında temiz ve doğal su kullanılır. Kalınlaştırıcı veya dispersant kullanımı gerektirmezler, bunun yerine suyun kil ve kayaç ile reaksiyona girmesi sağlanarak çamurun katı içerik oluşturması ve doğal olarak yoğunlaşması sağlanır.
- Polimer Çamurlar: Selüloz ve akrilamid gibi uzun zincirli polimerlerin kullanıldığı çamur sistemleridir. Bu polimerlerin viskoziteyi artırmak, dispersiyonu önlemek, sıvı kaybını önlemek gibi birçok fonksiyonu vardır. Kil içeren formasyonların stabilizasyonunu sağlayan KCl/NaCl çamuru bunlara örnek olarak verilebilir.

2.1.2 Sondaj Akışkanlarının Görevleri

Sondaj yapılacak formasyonun karakteristiğine göre formüle edilmiş ve tasarlanmış sondaj akışkanının düzgün ve eksiksiz bir şekilde gerçekleştirmesi gereken birtakım görevleri vardır. Sondaj işleminin başarılı olması ve sondaj maliyetlerinin büyük bir bölümü geliştirilen akışkanın performansına ve fonksiyonlarını düzgün şekilde yapabilmesine bağlı olduğu unutulmamalıdır.

Kuyu Basınç Kontrolü

Formasyon basınçlarının dengelenmesi kuyu içerisindeki çamur kolonunun ağırlık ve yoğunluğu ile sağlanmaktadır. Sondaj çamurunun yoğunluğu çamur kolonu tarafından oluşturulacak hidrostatik basıncın formasyon basıncını dengelemesini sağlamalı ve kuyu içerisine herhangi bir akışı önlemelidir. Dolayısıyla formasyon basıncı yükseldikçe çamurun yoğunluğu da yükseltilmeli ve güvenli aralıkta kalınması sağlanmalıdır. Ancak çamur yoğunluğu çok artarsa formasyon çökebilir ve sondaj akışkanı oluşan oyuk ve çatlaklardan kaçarak hidrostatik basıncın düşmesine ve formasyondan kuyu içerisine akışın başlamasına sebep olabilir. Bu nedenle çamur yoğunluğu ve formasyon basıncı arasındaki dengenin sağlanması güvenlik ve kuyu stabilitesi için oldukça kritiktir. Eğer formasyon basıncı ile hidrostatik basınç birbirine eşit ise kuyu için dengeli anlamına gelen “balanced” tabiri kullanılır. Hidrostatik basınç formasyon basıncından düşük ise kuyu aşağı yönlü dengesiz anlamına gelen “underbalanced”, eğer hidrostatik basınç formasyon basıncından yüksek ise yukarı yönlü dengesiz anlamına gelen “overbalanced” olarak adlandırılır [24].

Sondaj Kuyu Kırıntılarının Taşınması

Sondaj akışkanının en temel görevlerinden birisi olup sondaj esnasında oluşan farklı boyutlardaki kayaç, kil vs. kırıntılarının kuyu dibinden yukarı taşınması durumudur. Bunun için sondaj çamurunun özellikle sirkülasyonun durduğu zamanlarda kırıntıların ve barit gibi katkı maddelerinin tekrar dibe çökmesini engellemek onları askıda tutmak için çok yüksek süspansiyon özelliği göstermesi gerekir. Sirkülasyon halinde bulunan kırıntıların çamura disperse olup çamur yoğunluğunun ve viskozitesinin aşırı yükselmemesi için çamur sirkülasyon hızı optimum düzeyde tutulmalıdır. Aksi halde eşdeğer sirkülasyon yoğunluğu aşırı yükselerek özellikle anulüs bölgesinde çatlaklara ve sirkülasyon

kayıplarına neden olur. Bunu önlemek için kırıntıların çamur içerisine girip dağılmasını önleyen çeşitli dispersantlar ve kimyasallar katkılanabilmektedir [25]. Anülüs hızı, kopma noktası ve jel mukavemeti gibi çamurun diğer özellikleri de sondaj kırıntılarının taşınma performansını etkileyen değişkenlerdir.

Sondaj Ucunun Soğutulması ve Yağlanması

Sondaj dizisinin ve matkap ucunun dönmesi sırasında oldukça yüksek oranda ısı açığa çıkmaktadır. Sondaj akışkanı oluşan bu ısıyı yüzeye çıkarmak için kullanılan bir nevi iletken görevi görmektedir. Sondaj akışkanı sahip olduğu termal özellikler ile (ısı kapasitesi ve termal iletkenlik) kuyu dibindeki ısıyı konveksiyon yoluyla absorblamakta ve kuyu yüzeyine kadar bu ısıyı taşıyarak radyasyon yoluyla atmosfere vermektedir. Kuyu dibindeki sıcaklık sirkülasyon halinde bulunan çamurun sıcaklığından yüksek olduğundan eklenen katkı maddelerinin termal dayanımı kuyu dibindeki sıcaklık baz alınarak hesaplanmalıdır aksi halde eklenen bu kimyasallar kuyu dibinde özelliğini kaybedip işlevsiz hale gelebilir [26]. Sondaj çamuru ayrıca kuyu dibinde yüksek tork ve sürtünmeden dolayı ekipmanlarda sıkışma olmaması için yağlama görevi de görmekte ve sondaj ekipmanlarının ömürlerinin uzamasını sağlamaktadır.

Kuyu Stabilitesinin Sağlanması

Çamurun özellikleri ve kimyasal içeriğinin kombinasyonu kuyu stabilitesine büyük oranda etki etmektedir. Ayrıca formasyon basıncının dengelenmesi düşünüldüğünde basıncında önemli bir rol oynadığı bilinmektedir. Genel olarak kuyu stabilitesindeki dengesizlikler sondaj çamuru ile formasyon arasındaki reaksiyonlar ve aralarındaki kimyasal uyumsuzlıklardan kaynaklanmaktadır. Kil içeren formasyonlar suya karşı daha eğilimli olduğundan diğer formasyonlara göre kuyu dengelerinin sağlanması daha zordur. Kuyu dengesizlikleri genelde çamur ve formasyon arasındaki reaksiyonlardan kaynaklandığından birtakım özel kimyasallar ve özel sular ile çamurlar hazırlanarak kuyu dengesizliklerinin önüne geçilebilir. Filtrasyon kayıplarını kontrol etmekte kuyu stabilitesinin sağlanmasında önemli rol oynamaktadır [27].

Diğer Yararları

Sondaj çamurunun yukarda belirtilen temel görevlerinin yanında sondaj esnasında daha birçok görevi yerine getirmektedir. Çamur sirkülasyon pompası herhangi bir sebepten dolayı durduğunda sahip olduğu jelleşme özelliğinden dolayı anülüsteki kırıntı ve sondaj parçalarını süspanse halde askıda tutulmasını sağlayarak çökme ve sıkışmaları önler. Kuyu yüzeyindeki hidrolik gücü kuyu dibine taşıyarak etkin bir temizlik yapılmasını sağlar. Formasyona uygun olarak seçilen bir çamur kuyu ilerleme hızını arttırarak zaman ve maliyet tasarrufu sağlar.

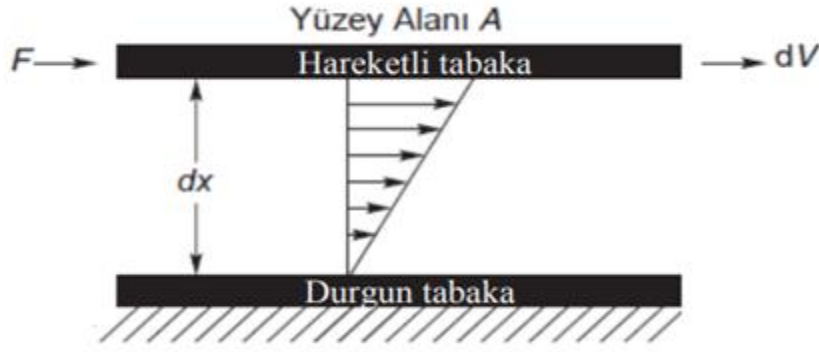
2.2 Akış Özellikleri (Reoloji)

2.2.1 Genel Bilgiler

Maddelerin akış özelliklerini ve akışkanların deformasyonunu inceleyen bilim dalına reoloji denilmektedir. Akış hız profilleri, akışkan viskozitesi ve sürtünme basınç kayıpları gibi birçok değişken analiz edilmektedir. Reolojik özellikler çamur sisteminin fonksiyonlarını gerçekleştirmesinde ve kuyu hidrolik hesaplamalarında temel oluşturmaktadır. Sondaj çamurunun reolojik karakteristiği kopma noktası ve jel mukavemeti gibi sondajı doğrudan etkileyen parametreleri de içermektedir. Reolojik özelliklerin kontrol altında tutulması ve takibi sondaj işleminin zaman ve maliyet açısından sağlıklı bir şekilde yürütülmesini sağladığı gibi, erken önlem alınmasını ve gerektiğinde kuyunun terkedilmesi gibi sürece doğrudan etkili kararlar alınmasını ve öngörü yapılmasını sağlar [28].

2.2.2 Newton Kanunu ve Newtoniyen Akışkanlar

Birbirine paralel ve aralarında belirli bir mesafe bulunan iki plaka arasında bir sıvı olduğu varsayılırsa bu plakalardan birinin belirli bir alanına bir kuvvet uygulandığında kuvvet uygulanan plakada bir kayma meydana gelir. Aynı zamanda bu kuvvetin tersi yönde bir karşı koyma, sürtünme kuvveti de oluşacaktır. Oluşan bu karşı kuvvete *kayma gerilimi* denilmektedir ve aşağıdaki eşitlikle gösterilir.



Resim 2.1 Akış Modeli

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

τ : Kayma Gerilmesi (N/m²)

F: Kuvvet (N)

A: Alan (m²)

İki plakanın aralarındaki hız farkının plakalar arasındaki mesafeye oranı ise kayma hızı olarak adlandırılır.

$$\gamma = \frac{dV}{dx} \quad (2.2)$$

γ : Kayma Hızı (1/s)

dV: Hız (m/s)

dx: Plakalar Arası Mesafe (m)

Kayma gerilmesi (τ) ve kayma hızı (γ) arasındaki ilişki akışkanın davranışını belirler. Bazı akışkanlar için bu ilişki doğrusaldır. Örneğin kayma gerilmesi iki katına çıktığında kayma hızıda iki katına çıkar. Bu şekilde kayma gerilmesi ile kayma hızı arasındaki ilişkinin doğrusal olduğu akışkanlara *Newtoniyen akışkanlar* denilmektedir. Bu tür akışkanlara su, alkol ve hafif yağlar örnek olarak verilebilir. Kayma gerilmesi ve kayma hızının birbirine oranı viskozite (μ) olarak tanımlanır ve Newtoniyen akışkanlar için viskozite sabittir.

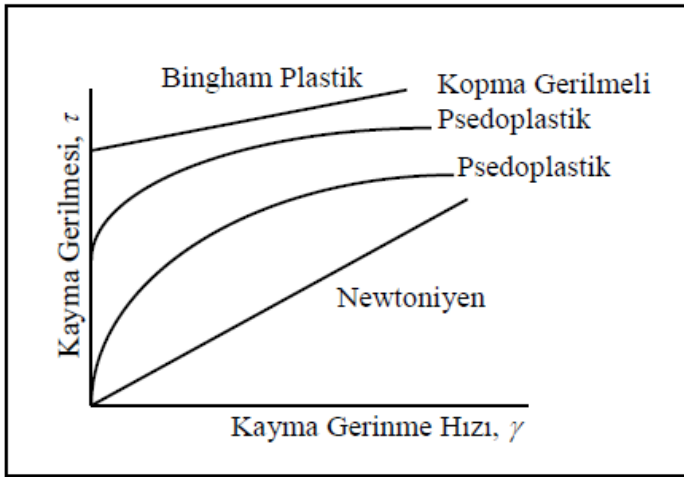
$$\mu = \frac{\tau}{\gamma} \quad (2.3)$$

μ : Viskozite (poise)

Yukarıda belirtilen viskozite ifadesi dinamik viskozite olarak tanımlanmaktadır. Dinamik viskozitenin sabit sıcaklıkta sıvının yoğunluğuna (ρ) bölünmesi ile kinematik viskozite elde edilmektedir.

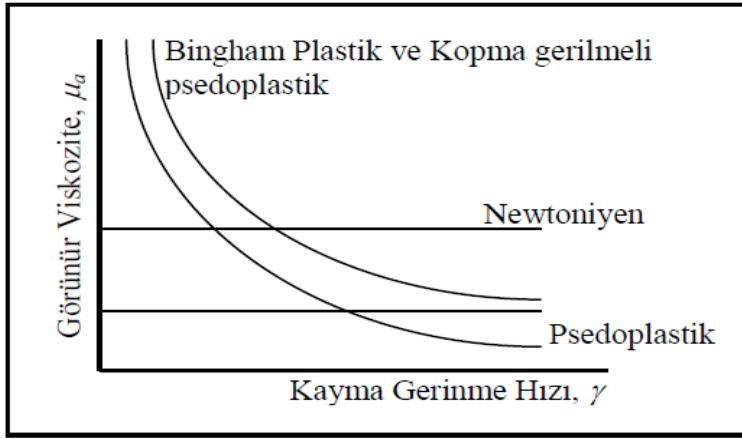
Newtoniye Olmayan Akışkanlar

Newtoniye akışkanların akış eğrisi orijinden geçer ve doğrusaldır. Newtoniye olmayan akışkanlarda ise akış eğrisi doğrusal olmayabilir, orijinden geçmeyebilir veya her ikisi de olmayabilir.

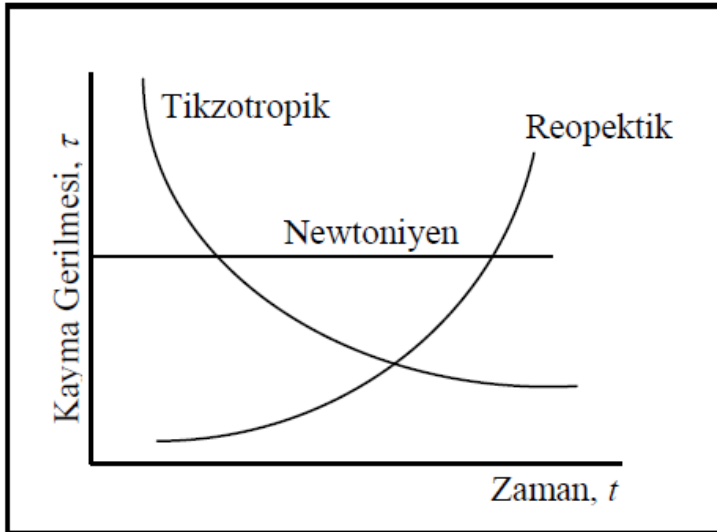


Şekil 2.1 Newtoniye ve Newtoniye Olmayan Akışkanların Akış Eğrileri [29]

Dolayısıyla bu iki özelliğin en az birinden sapma mevcuttur. Newtoniye olmayan akışkanlar kayma gerilmesi ile değişen ve görünür viskozite (μ_a) olarak bilinen bir viskozite ile tanımlanır [29]. Newtoniye olmayan akışkanlar kayma hızına bağımlı özellikler gösterir. Eğer görünür viskozite artan kayma hızına bağlı olarak azalıyorsa buna bunlara pseudo-plastik akışkanlar denilmektedir. Eğer kayma hızı artan kayma gerilimine bağlı olarak artış gösteriyorsa bu tür akışkanlara dilatant akışkanlar denilmektedir.



Şekil 2.2 Görünür Viskozitenin Kayma Gerilmesi ile Değişimi [29]



Şekil 2.3 Newtoniyen Olmayan Akışkanlarda Sabit Kayma Gerilmesi Hızı Altında Kayma Gerilmesinin Değişimi [29]

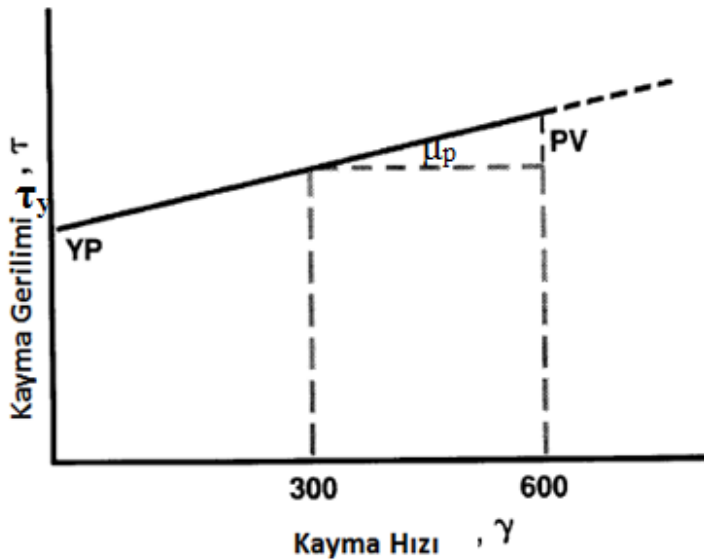
Bourgoyne (1986) akışkan davranışının kayma zamanına bağlı olduğu durumlarda iki farklı sınıflandırma yapıldığını belirtmiştir [30]. Eğer kayma hızı yeni sabit bir değere yükseldikten sonra görünür viskozite zamanla azalırsa bunlara tikzotropik akışkanlar denilmektedir. Eğer kayma hızı yeni sabit bir değere yükseldikten sonra görünür viskozite zamanla artarsa bunlara reopektik akışkanlar denilmektedir.

2.2.3 Akış Modelleri

Reolojik modeller akışkanın akış davranışını kayma gerilimi ve kayma hızı arasında geliştirilen bir matematiksel ilişki ile tanımlamaktadırlar. Genel olarak sondaj akışkanlarının akış özellikleri en çok bilinen iki model olan Bingham plastik model ve Power law modeli ile tanımlanmaktadır.

Plastik akışkanları ilk olarak Bingham (1922) tanımlamıştır. Bu yüzden Bingham Plastik Akışkanlar olarak adlandırılmaktadır ve Newtoniyen akışkanlardan farklı olarak akışın başlaması için belirli bir kuvvet uygulanması gerekmektedir [31]. Bingham plastik akışkanlar kopma noktası denilen belirli bir minimum kayma gerilmesi (τ_y) değerinin üzerinde bir kayma gerilimi uygulanmadıkça akışkan hale gelmezler. Kopma noktası aşıldıktan sonra kayma gerilmesindeki değişim ile kayma hızındaki değişim orantılı bir hale gelir ve bu orana plastik viskozite (μ_p) denilmektedir [32]. Bingham plastik modeller için laminar akış aşağıdaki eşitlikle tanımlanmaktadır.

$$\tau = \tau_y + \mu_p \gamma ; \tau > \tau_y \quad (2.4)$$



Şekil 2.4 Bingham Plastik Modeli Parametreleri

Plastik viskozite akışkan içerisindeki mekanik sürtünmelerden kaynaklı akışa karşı gösterilen direncin bir parçasıdır. Bu sürtünme akışkan içerisindeki katı partiküllerin birbiri ile olan etkileşiminden, katı-sıvı partiküller arasındaki etkileşimden ve kayma gerilimi altında sıvı partiküllerin deformasyonundan kaynaklanmaktadır. Plastik viskozitenin birimi Newtoniyen viskozite olduğu gibi poise veya centipoise dur. Kopma noktasıda akışa karşı gösterilen direncin bir parçası olup akışanın içerisindeki elektrokimyasal kuvvetlerden kaynaklanmaktadır [20]. Bingham plastik model genel olarak endüstride standart viskozite modeli olarak kullanılmaktadır. Ancak Bingham plastik modeli birçok sondaj akışkanında düşük kayma hızındaki viskozitelerde olması gerekenden yüksek sonuçlar verir [33]. Power Law modeli veya Ostwald de Waele modelleride Bingham plastik modeli gibi iki farklı parametre ile karakterize edilmektedir. Power Law modeli aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\tau = K\gamma^n \quad (2.5)$$

K parametresi sabit, n değeri ise akış davranış indeksidir. Power Law modeli düşük kayma hızlarındaki viskoziteyi gerçek değerinin altında hesaplanmaktadır. Bu modelde sıfır kayma hızındaki (γ) kayma gerilimi (τ) değeri her zaman sıfır çıkmaktadır. Herschel-Bulkley (1926) geliştirdiği model ile düşük kayma hızlarındaki bu problemi gidermiştir [34]. Herschel-Bulkley akış modeli Power Law ve Bingham plastik modeli arasında bir hibrit modeldir [33]. Herschel-Bulkley modeli aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\tau = \tau_y + K\gamma^n \quad (2.6)$$

Herschel-Bulkley modeli bazen genelleştirilmiş plastik model olarak da adlandırılır. Bu model $n=1$ olduğunda ve k plastik viskozite olduğunda Bingham plastik modele indirgenir veya $\tau_y = 0$ olduğu durumda eşitlik Power Law modeline indirgenmiş olur.

2.3 Sondaj Akışkanı Testleri

2.3.1 Yoğunluk Testi

Sondaj çamur yoğunluğu sondaj işlemi sırasında takip edilen ve kontrol altında tutulması gereken en önemli parametrelerden biridir. Formasyon akışkanlarının kuyu içerisine akışını önlemek ve ince bir kek tabakası oluşumunun sağlanması için çamurun yoğunluğuna bağlı olarak oluşan hidrostatik basıncın formasyon gözeneklerindeki basınçtan büyük olması gerekir. Ancak bu basınç formasyonda çatlak veya oyuk oluşturacak ve kuyu stabilitesini bozacak kadar da yüksek olmamalı dolayısıyla bir optimum değerde tutulmalıdır. Barite, hematit veya kalsiyum karbonat gibi birçok ağırlaştırıcı madde çamur yoğunluğunun dengelenmesi için kullanılmaktadır. Barit en çok tercih edilen ağırlaştırıcıdır. Çamur yoğunluğunun ölçülmesi için çamur terazisi kullanılır.



Resim 2.2 Çamur Terazisi

Ölçümü yapılacak çamur haznenin içine konularak havası alındıktan sonra kapak üzerine oturtulur. Kapak üzerindeki delikten biraz çamur çıkar ki hazne dolu demektir. Hataya sebep olmaması için taşan çamur temizlenir. Terazî destek noktasına yerleştirilerek ağırlık kolu ile dengeye getirilir. Terazî dengeye geldikten sonra ağırlık bloğunun soluna denk gelen çamur yoğunluğu okunarak kaydedilir [1]. Test sonu tüm ekipmanlar yıkanarak temizlenir.

2.3.2 Viskozite Testleri

Sondaj akışkanlarının kayma gerilimi/kayma hızı oranlarını ölçmek için döner viskozimetreler kullanılmaktadır. Okunan değerlerden Bingham plastiK model parametreleri olan plastik viskozite (PV) ve kopma noktası (YP) hesaplanmaktadır. Aynı veriler diğer reolojik modellerin uygulanması içinde kullanılabilir. Aynı cihaz ayrıca tiksotropik özelliklerin ve jel mukavemetinin ölçümünde de kullanılmaktadır. Bu çalışmada 8 hızlı bir viskozimetre kullanılmış olup 600 rpm ve 300 rpm okumalarına bağlı olarak plastik viskozite (PV) ve kopma noktası (YP) değerleri hesaplanmaktadır.



Resim 2.3 Fann Model 8 Hızlı Döner Viskozimetre

İyice karıştırılan çamur viskometrenin haznesindeki işaretli kısma kadar doldurulur. Daha sonra viskometre hızı 600 rpm getirilir ve rotor dönmeye başlar. Viskometre kadranındaki ibre sabit değer göstermeye başlayınca değer okunur ve 600 rpm okuması olarak kaydedilir. Aynı işlem rotor hızı 300 rpm de yapılır ve sabit değere gelince okunan değer 300 rpm okuması olarak kaydedilir. 600 rpm den 300 rpm e geçiş rotor çalışırken yapılmalıdır. Daha sonra aşağıdaki verilen formüller yardımıyla ilgili değerler hesaplanır.

$$\text{Görünür Viskozite (AV): (600 rpm okuması) / 2 \quad (\text{cp}) \quad (2.7)}$$

$$\text{Plastik Viskozite (PV) : (600 rpmn okuması) – (300 rpm okuması) \quad (\text{cp}) \quad (2.8)}$$

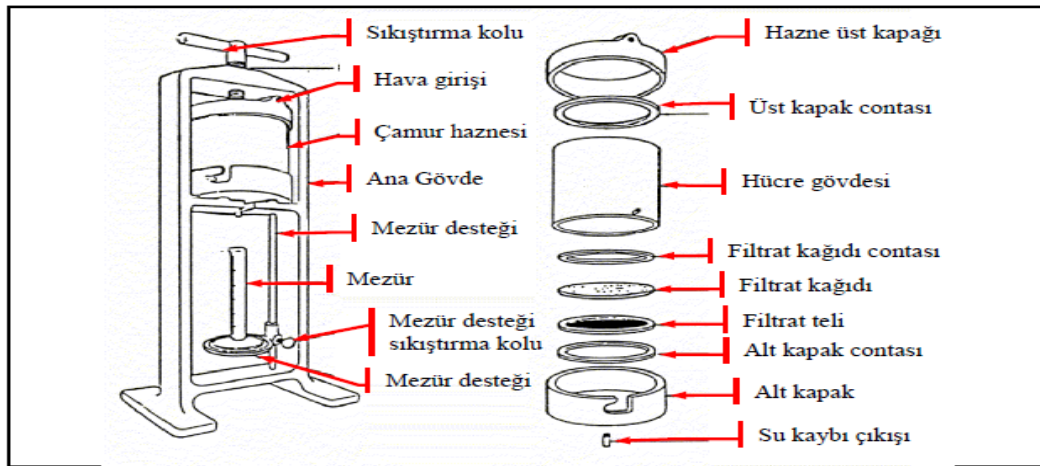
$$\text{Kopma Noktası (YP) : (300 rpm okuması) – PV \quad (2.9)}$$

2.3.3 Jel Mukavemeti Testi

Jel mukavemeti bir sondaj akışkanının statik koşullar altında tiksotropik özelliklerinin ölçülmesidir. Kopma noktasına benzer şekilde jel mukavemeti de çamurun içindeki katı partiküller arasındaki elektrokimyasal çekim kuvvetinden kaynaklanmalıdır. Jel mukavemeti de döner viskozimetre ile ölçülmektedir. Viskozimetre haznesine yerleştirilen çamur 600 rpm de iyice karıştırıldıktan sonra durdurulur ve 10 saniye beklenildikten sonra 3 rpm de döndürülür. Kadranın gördüğü değer 10 saniye jel mukavemeti olarak adlandırılır. Aynı işlem tekrarlandıktan sonra 10 dakika bekletilip 3 rpm de okunan değer ise 10 dakika jel mukavemeti olarak adlandırılır.

2.3.4 Filtrasyon Testi

Sondaj sıvısının filtrasyon yani sıvı kaybı ve kek tabakası oluşturma özelliklerinin ölçüldüğü testin adıdır. Filtrasyon karakteristiği çamurun içerisinde bulunan katı partiküllerin tipinden ve miktarından ayrıca bu partiküller arasındaki fiziksel veya kimyasal etkileşimlerden büyük oranda etkilenmektedir.



Resim 2.4 Filtrasyon Test Ekipmanı [29]

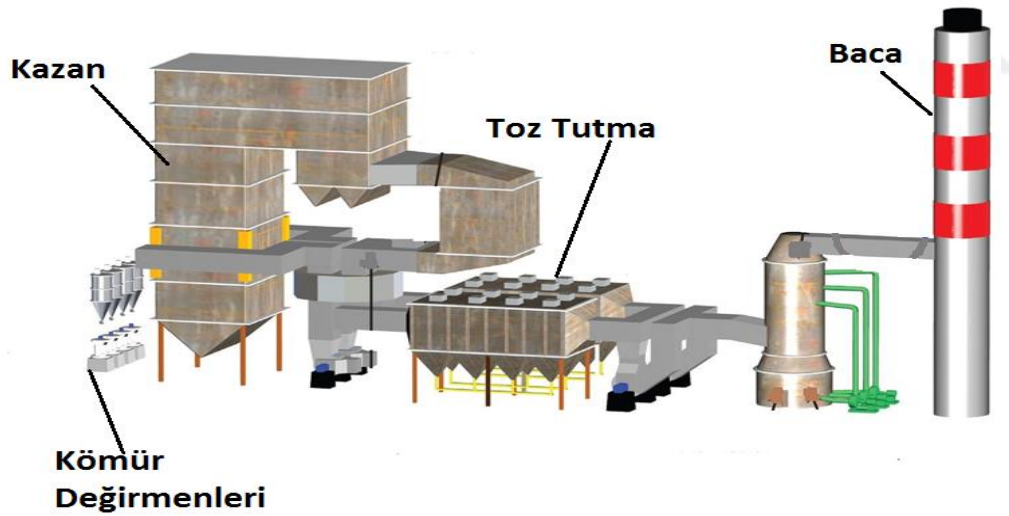
Filtrasyon testi Şekil 2.8 de gösterilen Fann filtrasyon test ekipmanı ile API standartlarına göre ve standart filtre kağıdı kullanılarak yapılır. Haznenin içerisine konulan sondaj akışkanına 30 dakika boyunca azot tüpü vasıtasıyla 100 psi değerinde bir basınç uygulanır. Ekipmanın altındaki hacimli kaptan belirtilen süre boyunca gelen toplam sıvı hacmine filtrasyon kaybı denilmektedir. Standart filtre kağıdı üzerinde oluşan ince tabaka

ise kek kalınlığı olarak adlandırılır ve kurutulduktan sonra kumpas ile kalınlık ölçümü yapılır.

2.4 Uçucu Kül

2.4.1 Tanımı ve Genel Kullanım Alanları

Uçucu kül en temel anlamda kömür yakıtlı termik santrallerde kömürün kazanda yanması sonucu oluşan katı yanma ürünü olarak tanımlanmaktadır. Kömür kazanlara yakılmak için beslenmeden önce kömür değirmenlerinde pulvarize hale getirilir daha sonra pulvarize hale gelen bu kömür partikülleri taze hava ile beraber kazana gönderilerek yakılır. Kömürün yanması sonucu oluşan ve taban külü olarak adlandırılan iri taneli kül partikülleri kazanın altına düşer ve buradan sistemden uzaklaştırılır. Daha hafif ve ince olan ve uçucu kül olarak adlandırılan küller ise yanma gazları ile beraber kazandan fanlar yardımıyla uzaklaştırılır ve toz tutma ünitesinde tutulur. Toz tutma üniteleri tesis tasarımına bağlı olarak elektrostatik filtre veya torba filtre şeklinde olabilmektedir.



Resim 2.5 Termik Santral Akış Diyagramı

Toz tutma sistemlerinde tutulan uçucu kül kapalı boruların içerisinde pnömatis olarak uçucu kül silolarına taşınmakta ve bu kapalı silolarda depolanmaktadır. Bu silolardan transferleri ise genellikle silobaslar ile yapılmaktadır. Açık damperli kamyonlar ile transfer yapılacağı zaman tozuma ve uçmayı önlemek için bir miktar su ile mikserlerde karıştırıldıktan sonra sevkiyat yapılmaktadır.

Uçucu kül puzolanik özelliğinden dolayı çoğunlukla çimento ve beton endüstrisinde kullanılmaktadır. Bunun yanında atıkların stabilizasyonunda veya dolgu malzemesi olarak da kullanılmaktadır. Katı bir atık olan uçucu külün birçok alanda kullanılması çevresel etkiler bakımından da önemlidir. Aşağıdaki Çizelge de genel kullanım alanları gösterilmektedir.

Çizelge 2.1 Uçucu Külün Kullanım Alanları [35]

Kullanım Alanı	Milyon Metrik Ton	Yüzde
Çimento ve Beton	12,16	60,9
Akış Dolgusu	0,73	3,7
Yapısal Dolgu	2,91	14,6
Yol Dolgusu	0,93	4,7
Toprak Modifikasyonu	0,67	3,4
Mineral Dolgu	0,10	0,5
Madencilik Uygulamaları	0,74	3,7
Atık Stabilizasyonu	1,31	6,3
Tarım	0,02	0,1
Diğer	0,41	2,1
Totals	19,98	100

2.4.2 Uçucu Külün Özellikleri

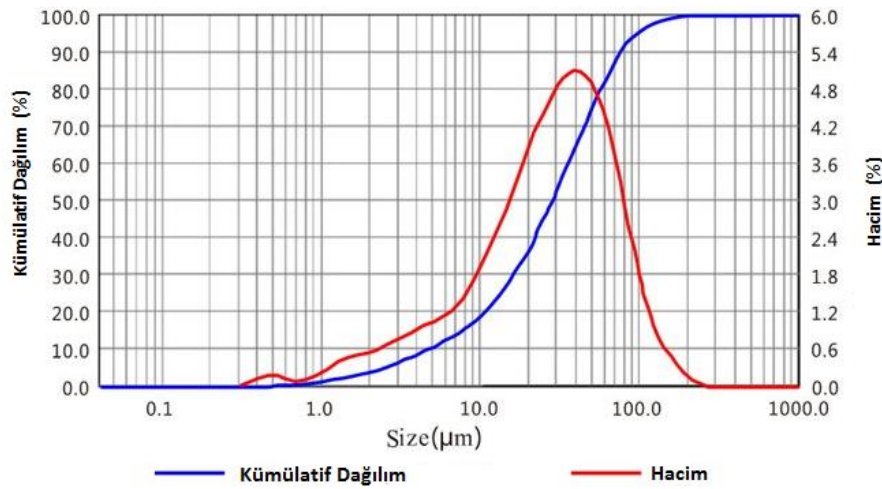
Fiziksel Özellikleri

Uçucu kül genel olarak gri renkli, ısıya dayanıklı ve abrasif olup 1-200 mikron arasında değişen tane boyutuna sahiptir [13]. İçerdiği yanmamış karbon oranı ve minerolojik kompozisyonuna bağlı olarak buğday renginden koyu gri renge kadar farklı renk skalalarının da uçucu kül görülebilmektedir. Açık renkler genel olarak yüksek CaO içerdiği anlamına gelir. Kahverengi renk demir içeriğini koyu gri renk ise yüksek yanmamış karbon içerdiğini gösterir.



Resim 2.6 Farklı Renkli Uçucu Küller

Uçucu külün tane boyutu veya bir diğer ifadeyle inceliği genellikle kömürün ne kadar iyi öğütülebildiğinin bir ölçütü olan ve öğütülebilirlik indeksi (HGI) olarak adlandırılan indekse bağlıdır. Bunun yanında kömür değirmenlerinin performansı da uçucu kül tane boyutunu etkilemektedir.



Şekil 2.5 Uçucu Kül Partikül Boyut Dağılımı [36]

Uçucu kül inceliği özellikle beton ve çimento uygulamalarında puzalonik özelliklerin gerçekleştirilmesinde ve külün reaktivitesi üzerinde çok büyük etkiye sahiptir. Uçucu külün spesifik gravitesi 2,1-3,0 arasında değişmekte olup, spesifik yüzey alanı ise 170-1000 m²/kg arasında değişmektedir [13].

Kimyasal Özellikleri

Uçucu külün kimyasal bileşimini kazanda yakılan kömürün kompozisyonu ve eğer var ise kömür ile beraber yakılan diğer yardımcı yakıtlar (doğalgaz, fuel oil vs) belirlemektedir. Uçucu kül genel olarak silika, alümina, demir ve kalsiyumun oksitlerinden oluşmaktadır. Az oranda da magnezyum, potasyum, kükürt, sodyum ve titanyum içerirler. Farklı kömür türlerine ait uçucu küllerin kimyasal kompozisyonu aşağıdaki gibidir.

Çizelge 2.2 Farklı Kömürlere Ait Uçucu Kül Kompozisyonları

Kompozisyon (%wt.)	Bitümlü Kömür	Yarı Bitümlü	Linyit
SiO ₂	20-60	40-60	15-45
Al ₂ O ₃	5-35	20-30	10-25
Fe ₂ O ₃	10-40	4-10	4-15
CaO	1-12	5-30	15-40
MgO	0-5	1-6	3-10
SO ₃	0-4	0-2	0-10
Na ₂ O	0-4	0-2	0-6
K ₂ O	0-3	0-4	0-4
LOI	0-15	0-3	0-5

2.4.3 Uçucu Küllerin Sınıflandırılması

ASTM C618 uluslararası standardına göre uçucu küller içerdikleri Silisyum oksit, demir oksit ve alüminyum oksit oranlarına göre F ve C olarak iki gruba ayrılırlar [37]. Toplam SiO₂ + Fe₂O₃ + Al₂O₃ oranı %70 den büyük ise F sınıfı olarak adlandırılırlar. Aynı şekilde toplam SiO₂ + Fe₂O₃ + Al₂O₃ oranı %50 den büyük ise C sınıfı olarak adlandırılırlar. F sınıfı küller düşük kireçli, C sınıfı küllerde yüksek kireçli olarak adlandırılabilirler.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA VE ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu bölüm yapılan deneysel çalışmaya ait numunelerin nereden tedarik edildiği, ilgili numunelerin fiziksel/kimyasal özellikleri, numunelerin nasıl hazırlandığı gibi bilgilerin yanında yapılan ölçümler ve ölçüm sonuçlarına ait değerleri içermektedir.

3.1 Numune Hazırlama

3.1.1 Uçucu Kül Numune Toplama ve Hazırlama

Çalışmada kullanılan uçucu küller Hatay ili İskenderun ilçesinde bulunan 2x600 MW kapasiteli termik santralden temin edilmiştir. Santralde ithal taş kömürü kullanılmakta olup pulvarize kömürün yanması sonucu oluşan uçucu küller torbalı filtre sisteminde tutulmaktadır.



Resim 3.1 Titreşimli Elek Analizi ve Elek Altı Numuneler

İlgili santralden temin edilen uçucu küller FRITSCH marka Analysette 3 model titreşimli elek ile tane boyutuna ayrıştırılmıştır. 32 μm , 63 μm ve 90 μm eleklerden geçen küllerin elek altı numuneleri sondaj çamuruna katkılanmak üzere gruplandırılmıştır.

3.1.2 Sondaj Çamuru Hazırlama

Deneyde hazırlanan her bir su bazlı çamur sistemi için 500 g suya 31,25 g bentonit ve çamur yoğunluk kontrolü için 14,25 g barit eklenmiştir ve her bir numune 15 dakika boyunca yüksek hızlı mikser ile karıştırılmıştır. Daha sonra belirlenen miktarlarda (Çizelge 3.1) uçucu kül numuneleri bir taraftan karıştırılan çamur sistemine topaklaşma vs. olmaması için yavaş yavaş eklenmiştir. 32 µm, 63 µm ve 90 µm elek altı uçucu kül numuneleri her bir çamur sistemine % 1 den % 5 e kadar değişen konsantrasyonlarda eklenerek toplamda 15 adet çamur sistemi hazırlanmıştır.

Çizelge 3.1 Hazırlanan Çamur Sistemleri Bileşimleri

Miktar (g)	% 1	% 2	% 3	% 4	% 5
Su	500	500	500	500	500
Bentonit	31,25	31,25	31,25	31,25	31,25
Barit	14,25	14,25	14,25	14,25	14,25
Uçucu Kül	5,45	10,91	16,36	21,82	27,27

Hazırlanan sondaj çamurları iyice karıştırıldıktan sonra analizlerine başlanmadan önce 16 saat boyunca oda sıcaklığında ve atmosferik basınçta bekletilerek yaşlandırma işlemine tabi tutulmuşlardır.

Çizelge 3.2 Bentonit-Su Bazlı Süspansiyonun Viskozite Değerleri

Bentonit (% w/v)	Görünür Viskozite (cP)
2	6,0
4	12,5
6	21,5
8	39,0

Çamurlar hazırlanırken eklenmesi gereken bentonit ve barit miktarları için API standartları dikkate alınmış ve tipik bir sondaj çamurunun sağlaması gereken yaklaşık görünür viskozite ve yoğunluk değerleri yakalanmaya çalışılmıştır. Literatürde bazı bentonit ve su karışımlarının görünür viskoziteleri mevcuttur ve bu değerler (Çizelge 3.2)

dikkate alınarak hazırlanan çamurlarda % 6 (w/v) oranı baz alınmıştır.

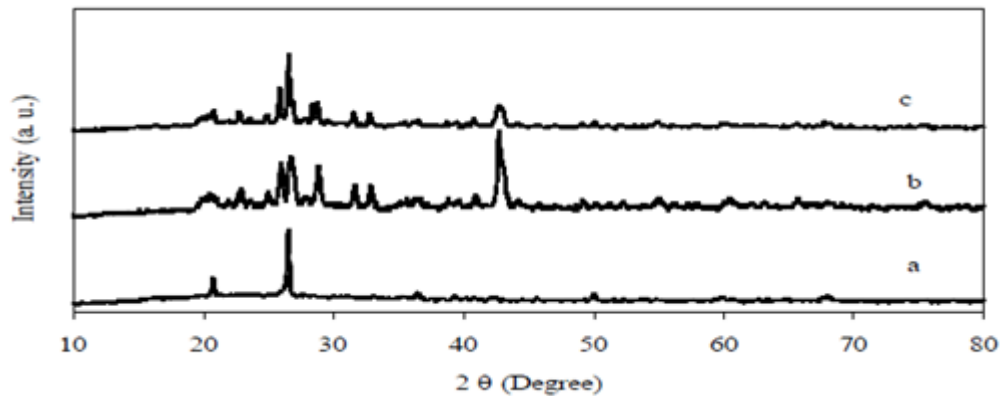
3.2 XRF, XRD ve SEM Analizleri

Hazırlanan sondaj çamurlarına eklenecek uçucu küllerin elementel analizleri ARL OPTIMX model X-Ray Flourescence cihazı ile tayin edilmiştir. Çizelge 3.3’ de görüleceği üzere çoğunlukla alümina ve silika oksitlerden oluşmaktadır ve ASTM C618 standardına göre F sınıfı uçucu kül grubunda yer aldığı görülmektedir. CaO içeriği % 4,3 olup düşük kireçli küller grubundadır.

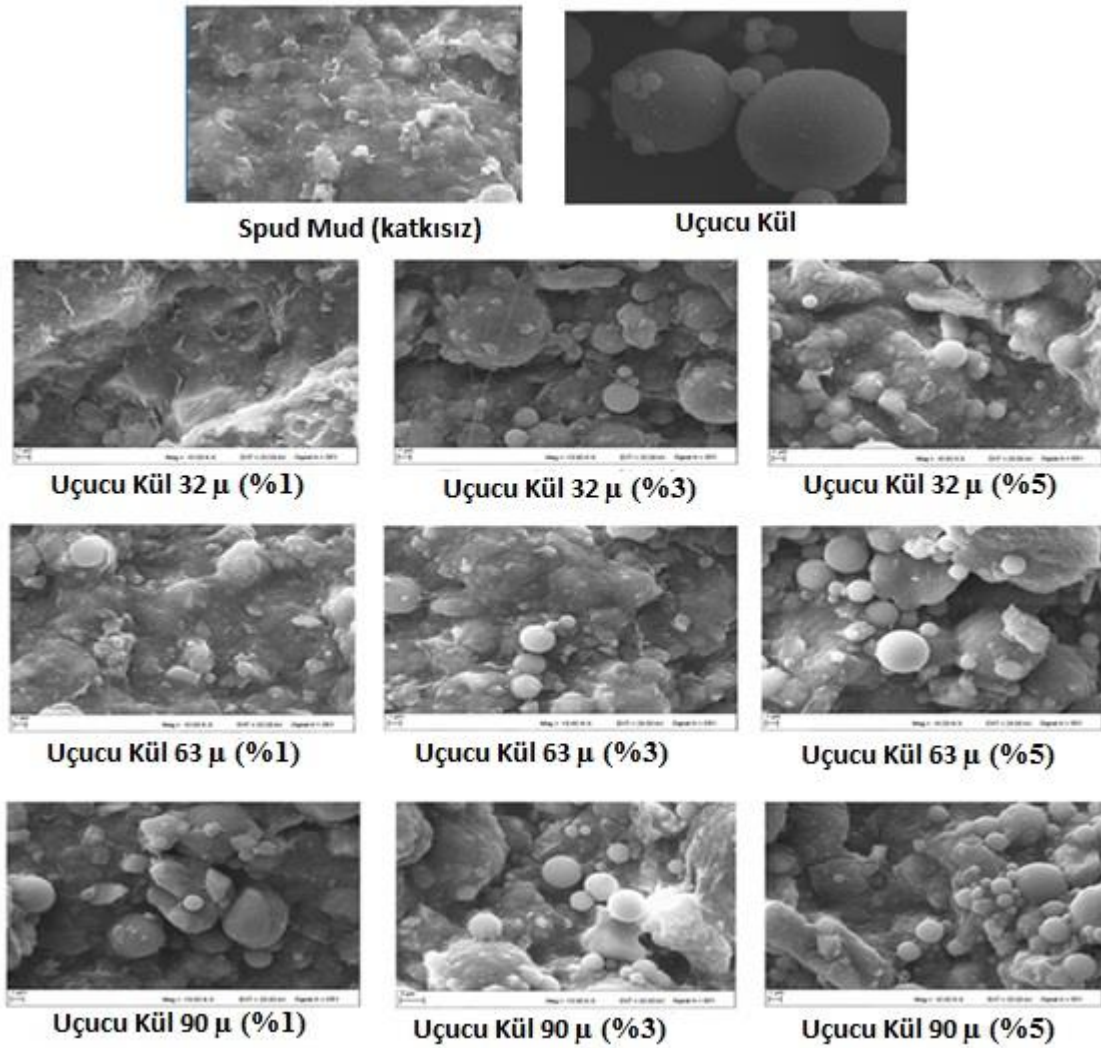
Çizelge 3.3 Uçucu Kül XRF Analiz Sonuçları

Kompozisyon	(w %)
SiO ₂	56,6
Al ₂ O ₃	20,9
Fe ₂ O ₃	6,3
CaO	4,3
MgO	1,5
Na ₂ O	2,9
K ₂ O	1,7
TiO ₂	0,9

Şekil 3.1’ de (a) modeli uçucu kül katkılanmayan çamura ait XRD sonuçlarını gösterirken (b) modeli %1 uçucu kül katkılı (c) modeli ise %5 uçucu kül katkılı çamura ait analiz sonucunu göstermektedir. Analiz sadece 90 µm elek altı tane boyutlu kül içeren çamur için yapılmış olup ana fazların kuartz ve bentonit olduğu görülmektedir.



Şekil 3.1 Uçucu Kül Katkılı Çamurların XRD Modeli



Resim 3.2 Farklı Tane Boyutlu ve Farklı Konsantrasyonlarda Uçucu Kül Katkılanmış Sondaj Çamurlarına Ait SEM Görüntüleri

Uçucu kül katkılanarak hazırlanan sondaj çamurlarının LeO EVO40 model taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile çekilen görüntüleri Resim 3.2 de gösterilmiştir. Uçucu kül partikülleri küresel ve amorf yapıda olup Na-Bentonite yapısı içerisinde kolaylıkla görülebilmektedir.

3.3 Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu bölümde yapılan deneysel çalışmaya ait sonuçlara yer verilmiştir. Tüm deneyler Bölüm 2 de belirtilen API test prosedürleri takip edilerek yapılmıştır. Aşağı Çizelge 3.4’ de tipik bir sondaj akışkanının yaklaşık olarak sağlaması gereken değerler gösterilmiştir.

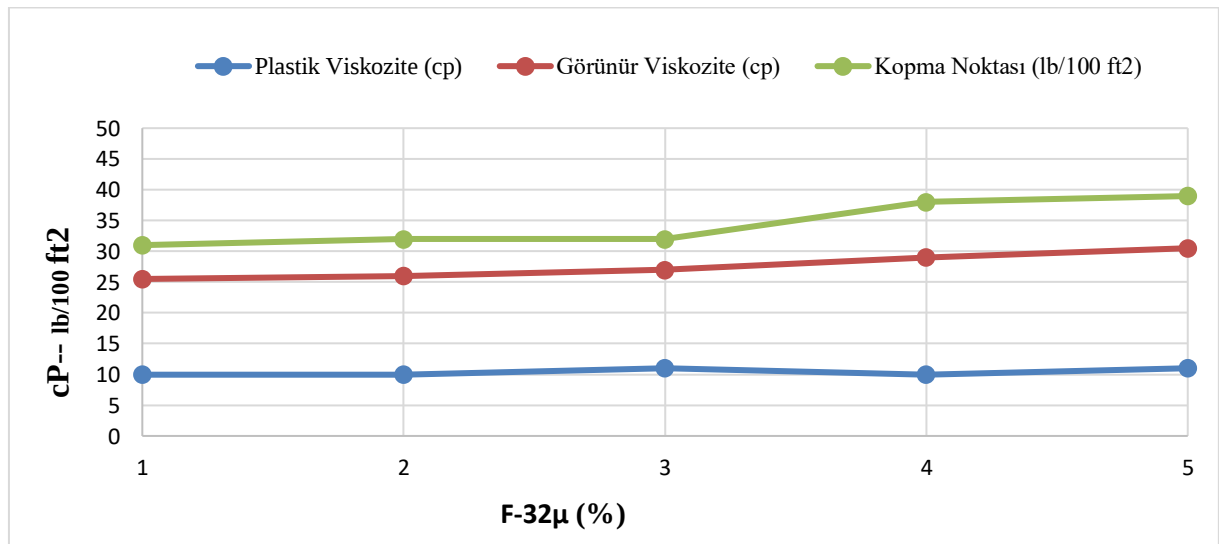
API 13A spesifikasyonları olarak bilinen bu çizelgeye bakılarak geliştirilen çamur sistemlerinin genel normlara uyumu görülebilmektedir.

Çizelge 3.4 API Standardına Göre Bentonite Bazlı Çamurların Sağlanması Gereken Sayısal Değerler [38]

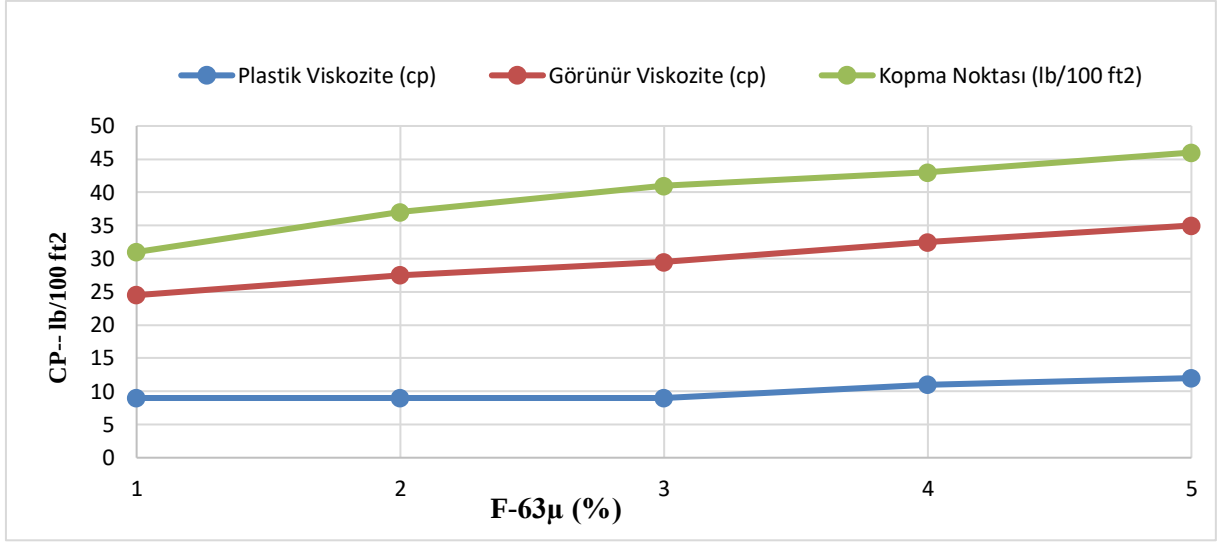
API Çizelge 13 A	
Ø600	30 Minimum
Ø300	23 Minimum
Plastik Viskozite (cP)	6-8 Minimum
Görünür Viskozite (cP)	12-15 Minimum
Kopma Noktası (lb/100 ft ²)	3*PV ya da 50 Maximum
Filtrat Kaybı (mL)	30

3.3.1 Uçucu Kül Katkılanan Çamurların Reolojik Özelliklerindeki Değişim

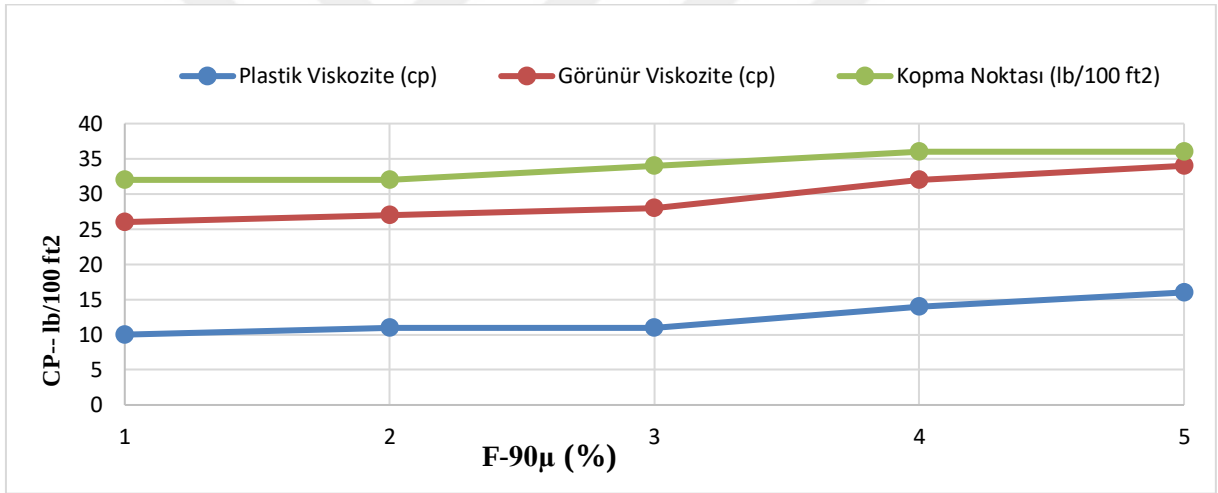
Farklı konsantrasyonlarda ve farklı tane boyutlarında uçucu kül katkılanmasının sondaj çamurunun plastik viskozite, görünür viskozite ve kopma noktası üzerine etkisi aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir.



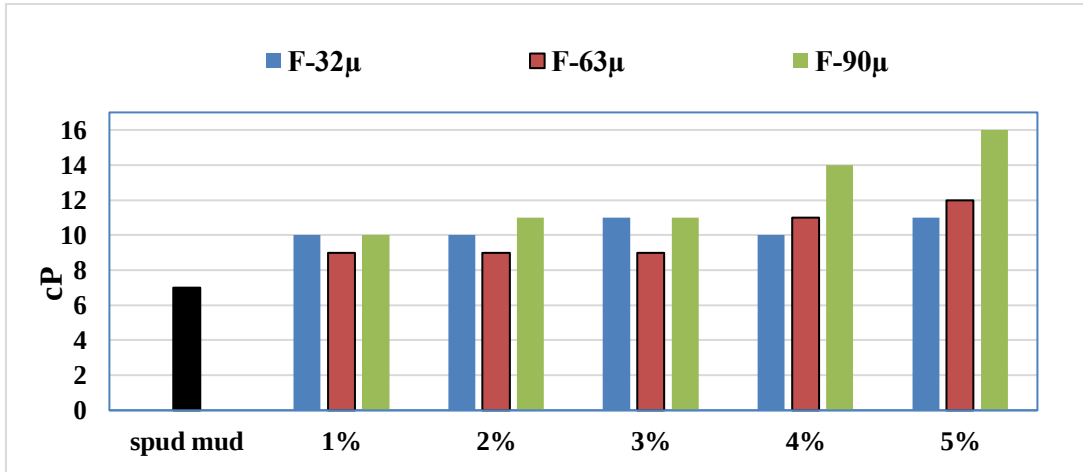
Şekil 3.2 32μ Uçucu Kül Katkılı Çamurun Viskoziteleri ve Kopma Noktası



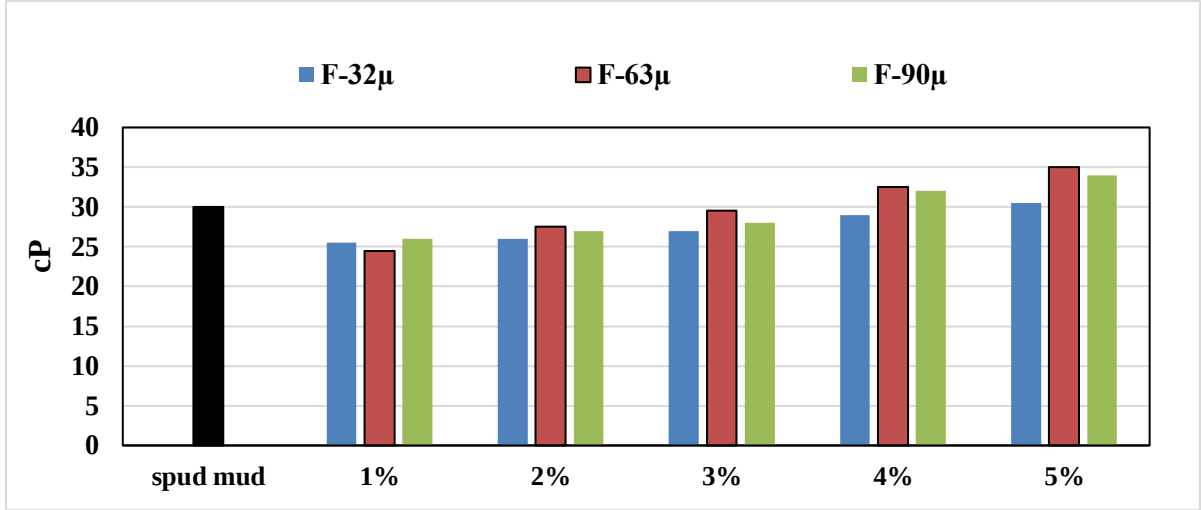
Şekil 3.3 63μ Uçucu Kül Katkılı Çamurun Viskoziteleri ve Kopma Noktası



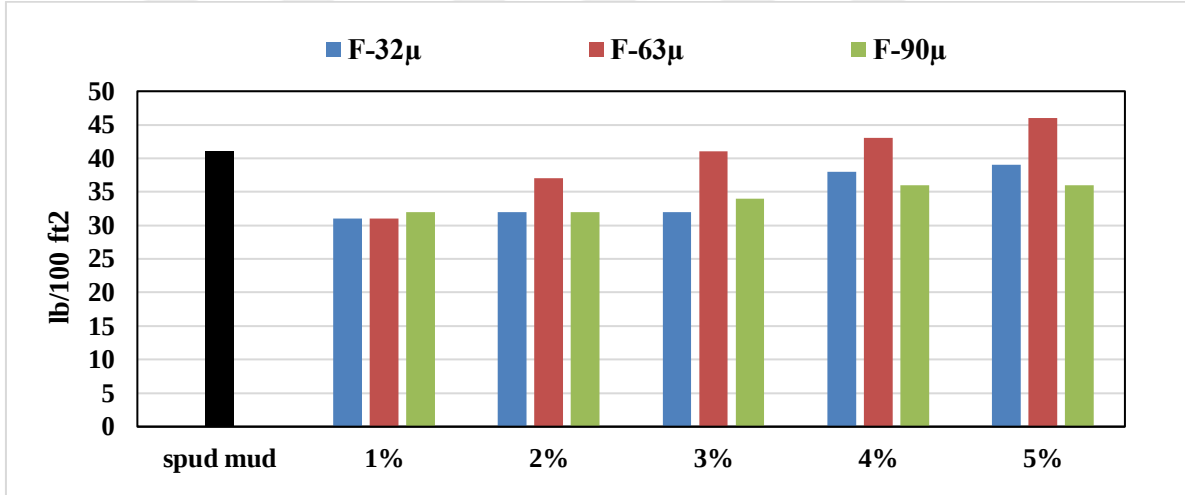
Şekil 3.4 90μ Uçucu Kül Katkılı Çamurun Viskoziteleri ve Kopma Noktası



Şekil 3.5 32μ, 63μ, 90μ Kül Katkılı Çamurların Plastik Viskoziteleri



Şekil 3.6 32μ, 63μ, 90μ Kül Katkılı Çamurların Görünür Viskoziteleri

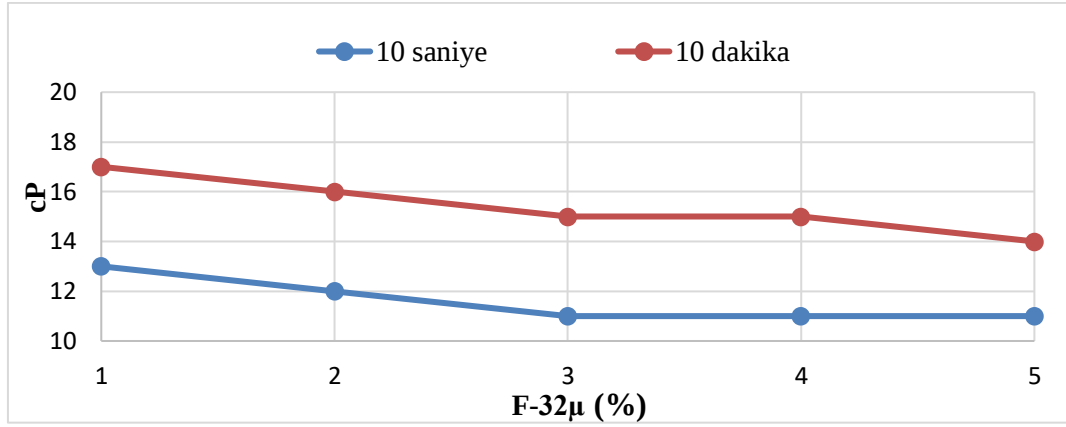


Şekil 3.7 32μ, 63μ, 90μ Kül Katkılı Çamurların Kopma Noktaları

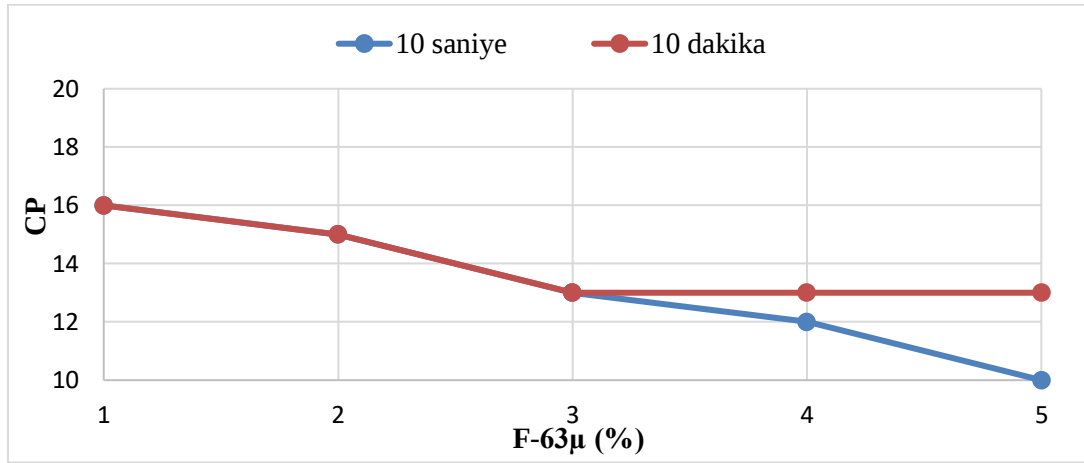
Sondaj çamurlarında viskozite çoğunlukla baz akışkanının viskozitesine ve çamurun içerisindeki katı partikül konsantrasyonuna bağlıdır. Yüksek yoğunluklu akışkanların viskozitesi barit gibi ağırlık artırıcı katkı maddelerinin varlığından dolayı genellikle daha yüksektir. Yukarıdaki grafiklerden de görüleceği üzere eklenen uçucu kül konsantrasyonu arttıkça plastik ve görünür viskozitelerde de artış olmuştur. Katkılanan uçucu külün partikül tane boyutu büyüdükçe plastik ve görünür viskozitelerdeki artış oranları da daha büyük olmuştur. 32μ uçucu kül katkılı sondaj çamuru için % 1 ile % 5 konsantrasyondaki uçucu kül katkılanması plastik viskozitede 1 cP'luk artışa, görünür viskozitede ise 5 cP'lik artışa sebep olurken 90μ uçucu kül katkılı sondaj çamuru için % 1 ile % 5 konsantrasyondaki uçucu kül katkılanması plastik viskozitede 6 cP'luk artışa, görünür

viskozitede ise 8 cP'lik artışa sebep olmuştur. Şekil 3.2' de görüleceği üzere 32 μ uçucu kül katkılanan sondaj çamurunun plastik ve görünür viskozitesinde % 3 konsantrasyona kadar herhangi bir değişim gözlenmemiştir. Bu konsantrasyondan sonra ise viskoziteler yavaş yavaş artma eğilimindedir. 63 μ partikül tane boyutlu uçucu kül katkılı olduğu durumda ise plastik viskozite % 3 konsantrasyondan sonra değişim göstermiştir. Görünür viskozite ve kopma noktası ise kül katkılanmaya başlanması ile beraber artışa geçmiştir. 90 μ tane boyutlu kül katkılı olduğu durumda ise Şekil 3.4' te görüldüğü üzere viskozite ve kopma noktası değerleri 63 μ tane boyutlu kül katkılanması ile paralel özellik göstermiştir. Terakulsatit (2014) yaptığı çalışmada farklı sıcaklıklardaki (30°C, 60°C, 90°C) sondaj çamuruna ağırlıkça % 3, 5 ve 7 oranlarında uçucu kül katkılı olarak çamur özelliklerindeki değişimi incelemiştir [19]. Çalışma sonunda 30 °C ve % 3 konsantrasyonda uçucu kül katkılanmasının viskozite ve jel mukavemeti gibi reolojik özelliklerini olumlu yönde etkilediğini görmüştür. Dolayısıyla Terakulsatit'in çalışması ile benzer reolojik sonuçlar elde edildiği söylenebilir. API standartlarına göre optimal bir sondaj operasyonunda sondaj çamurunun kopma noktasının sayısal değeri plastik viskozitenin yaklaşık üç katı kadar olmalı veya 50 lb/100 ft² değerinden büyük olmamalıdır. Hazırlanan tüm çamurlar API tarafından önerilen bu standar değer aralıklarında olup anormal bir sonuç elde edilmemiştir. Kopma noktası değerinin yeterince yüksek olması taşıma ve kuyu temizleme özelliklerini önemli oranda etkilemektedir ve grafiklerden de görüleceği üzere katkılanan tüm tane boyutlarında katkı oranı ile paralel olarak kopma noktası değerinde de artış gözlenmiştir. Kopma Noktası/Plastik Viskozite (YP/PV) oranı da hazırlanan çamurun stabilitesinin takibi için önemli bir parametredir. Bu oranın düşük olması iyi bir stabilizasyon anlamına gelirken, yüksek olması ise koagülasyon ve flokülasyon eğilimi oluşturduğundan istenmemektedir [39].

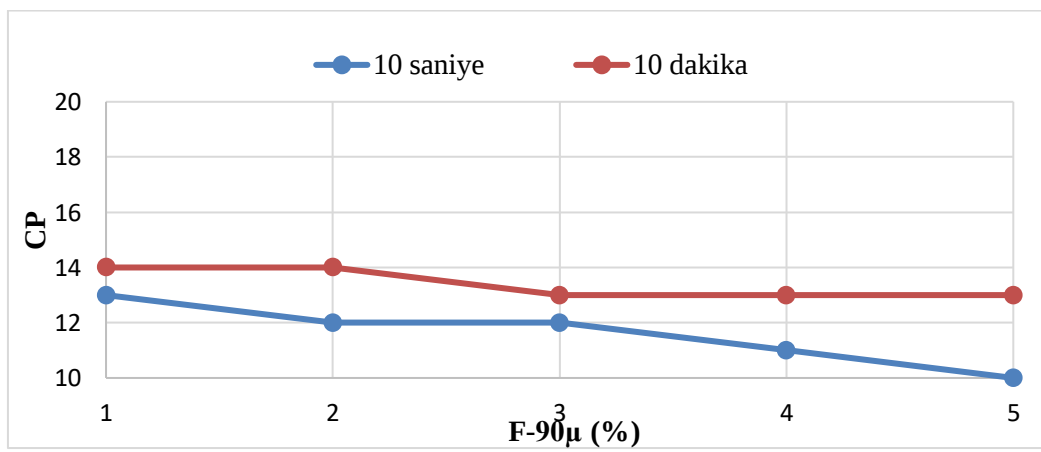
Jel mukavemeti belirli bir süre geçtikten sonra tekrar akışı başlatmak için gerekli olan kayma gerilimi olarak adlandırılmaktadır. Çamur içerisindeki partiküllerden kaynaklı çekim kuvvetine bağlı olarak gerçekleşen jelleşme derecesinin bir ölçütüdür. Jel mukavemetide viskozitelerin belirlendiği gibi dönel viskozimetre okumaları ile tayin edilir. Hazırlanan kül katkılı çamur sistemlerine ait jel mukavemetlerindeki değişim aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir.



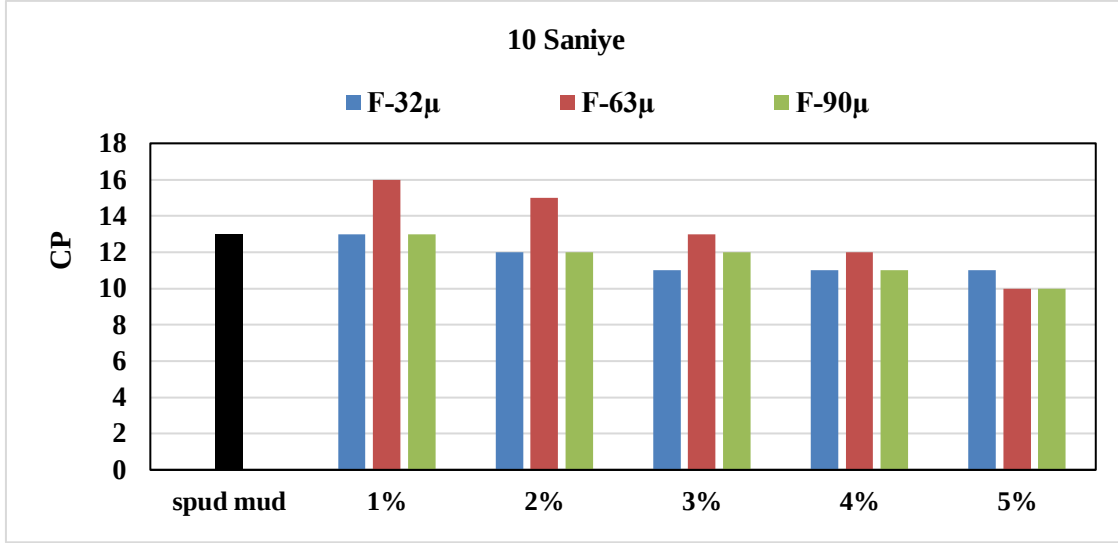
Şekil 3.8 32μ Uçucu Kül Katkılı Çamurun Jel Mukavemetindeki Değişim



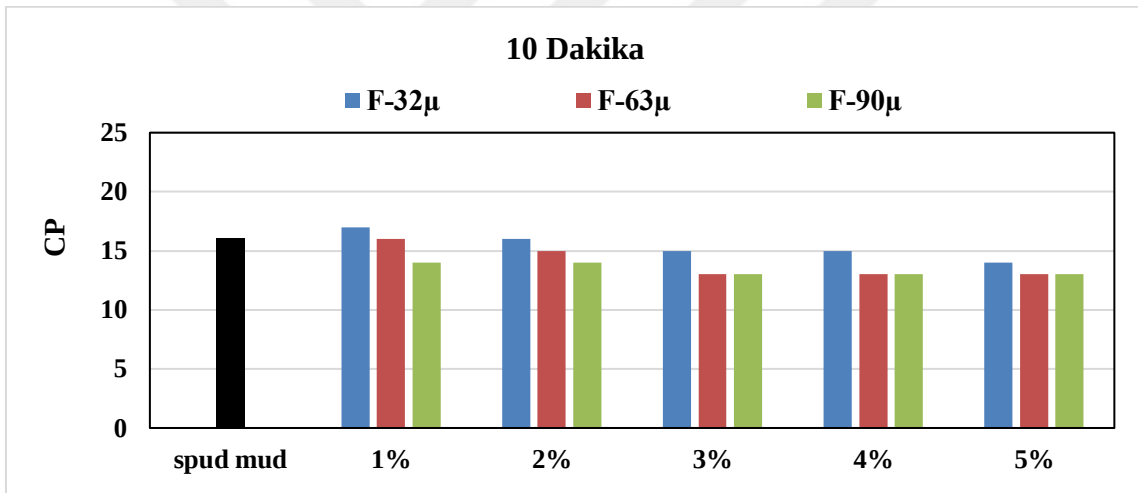
Şekil 3.9 63μ Uçucu Kül Katkılı Çamurun Jel Mukavemetindeki Değişim



Şekil 3.10 90μ Uçucu Kül Katkılı Çamurun Jel Mukavemetindeki Değişim



Şekil 3.11 32μ, 63μ, 90μ Kül Katkılı Çamurların 10 saniye Jel Mukavemeti



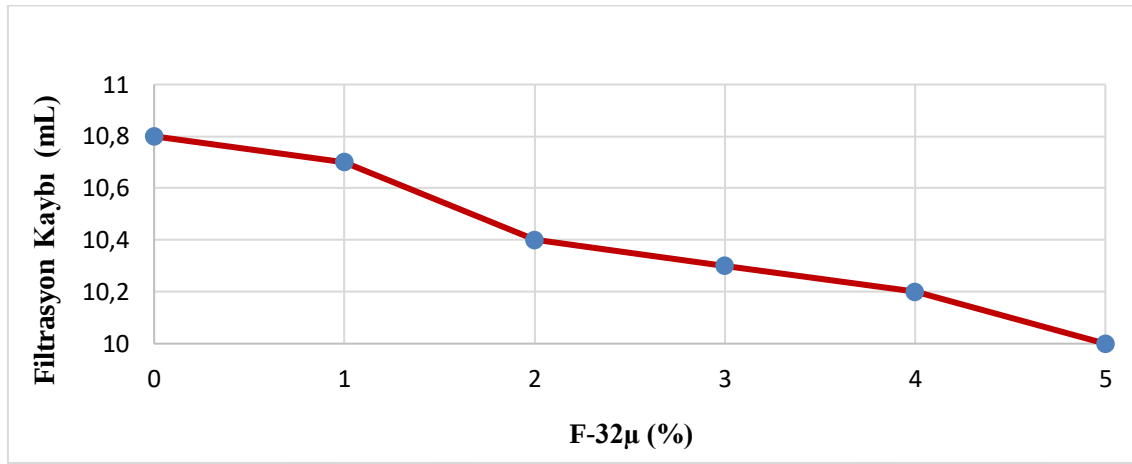
Şekil 3.12 32μ, 63μ, 90μ Kül Katkılı Çamurların 10 Dakika Jel Mukavemeti

Hazırlanan çamurların jel mukavemeti değerleri API standartlarını sağlamaktadır. Tüm tane boyutlarında uçucu kül katkılanması ile jel mukavemeti değerlerinde azalma olduğu görülmüştür. Grafiklerden de görüleceği üzere 10 dakika jel mukavemeti değerleri tüm tane boyutları için % 3 konsantrasyondan sonra değişim göstermemiştir. 10 saniye jel mukavemeti değerinde ise 32μ tane boyutlu kül katkılı olduğu durumda % 3 konsantrasyondan sonra jel mukavemeti değeri sabit iken, 63 μ ve 90 μ kül katkılı çamurlarda jel mukavemeti değeri konsantrasyonla paralel azalma yönündedir. Yüksek jel mukavemeti değerleri yüksek pompa basınçları gerektirdiğinden hem kuyu güvenliği hemde maliyetlerde artışa sebep olacağından istenmeyen bir özelliktir. Çok düşük jel

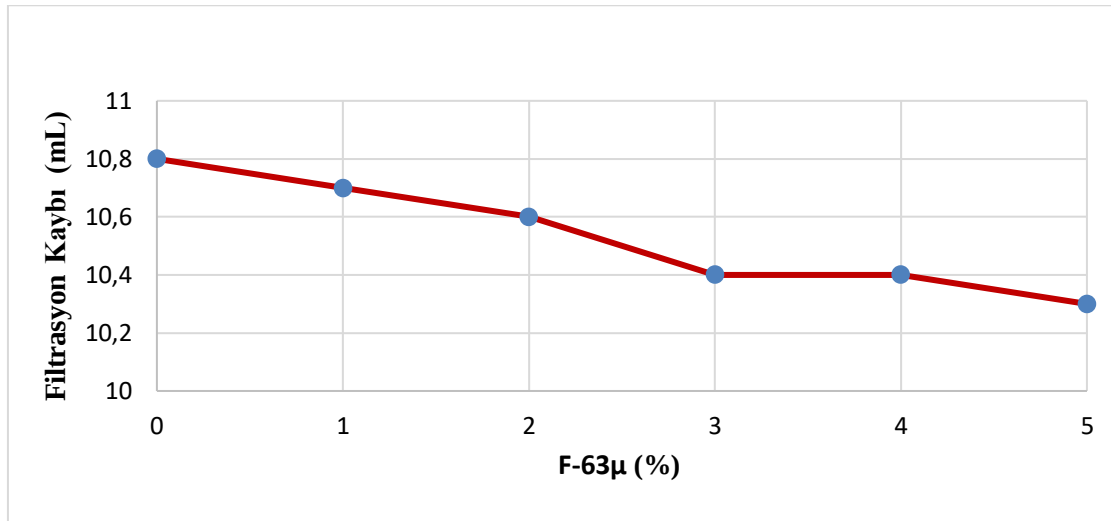
mukavemeti değerleri ise sirkülasyonun durduğu durumlarda kırıntıları askıda tutulmasını zorlaştırır ve kuyu sıkışmaları ve dengesizliklere sebep olur.

3.3.2 Uçucu Kül Katkılanan Çamurların Filtrasyon Özelliklerindeki Değişim

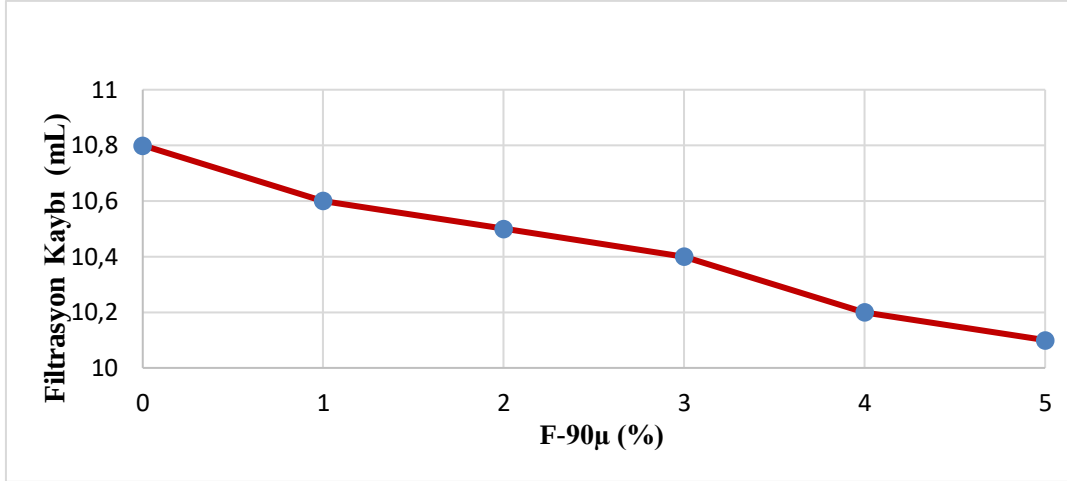
Filtrasyon kayıpları sondaj maliyetini doğrudan etkilediğinden bu kayıpların azaltılması kuyu operasyonları için büyük önem arz etmektedir. Uçucu kül katkılanan çamurların filtrasyon özelliklerindeki değişim aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir.



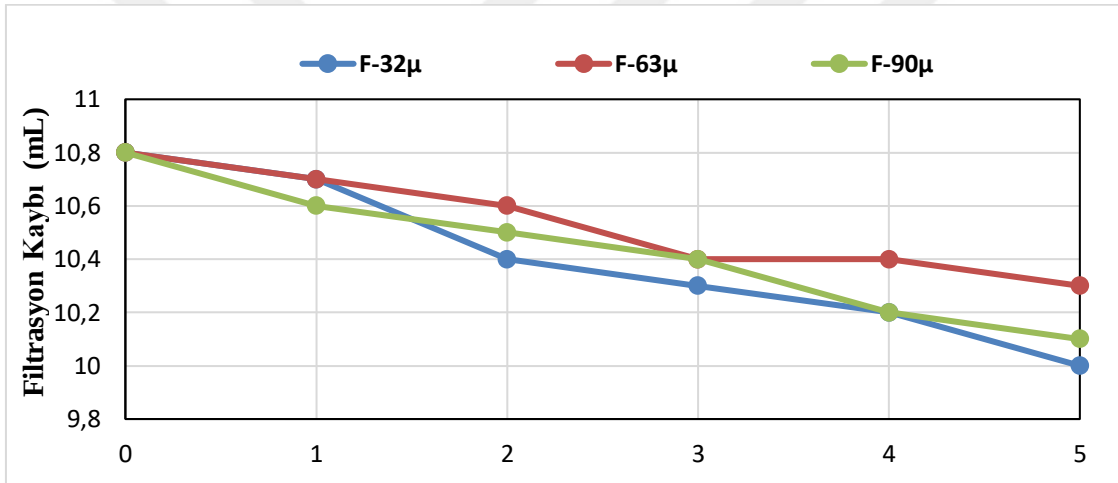
Şekil 3.13 32 μ Kül Katkılı Çamurun Filtrasyon Kaybı



Şekil 3.14 63 μ Kül Katkılı Çamurun Filtrasyon Kaybı



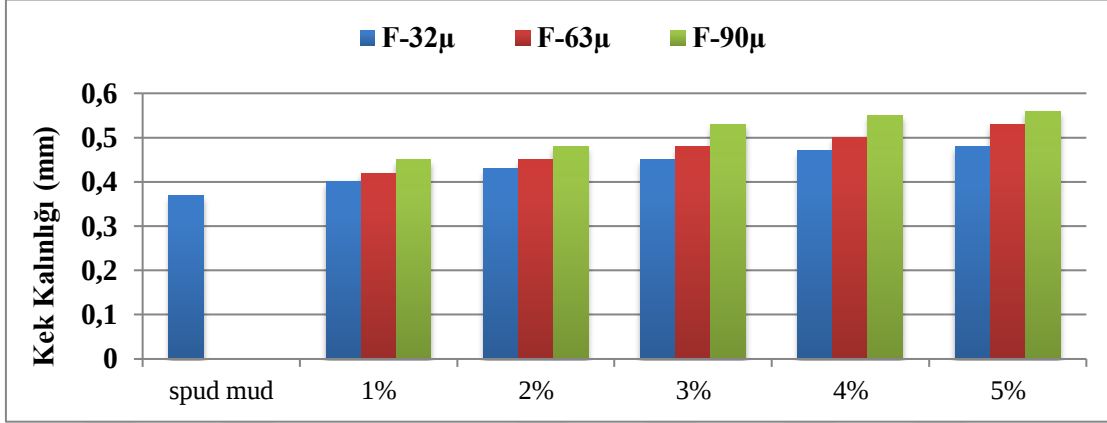
Şekil 3.15 90 μ Kül Katkılı Çamurun Filtrasyon Kaybı



Şekil 3.16 32μ, 63μ, 90μ Kül Katkılı Çamurların Filtrasyon Kayıplarındaki Değişim

Uçucu kül katkılanması ile filtrasyon kayıplarında azalma olduğu görülmüştür. Katkılanan uçucu kül miktarı arttıkça filtrasyon kayıplarındaki azalma miktarıda artmıştır. Tane boyutu küçük uçucu kül partikülleri kuyu cidarındaki ufak boşluk ve açıklıklara penetre olarak formasyona doğru gerçekleşen filtrasyon kayıplarını azaltmıştır. Filtrasyon kayıplarındaki azalma miktarı en fazla 32 μ tane boyutlu kül katkılı olduğu durumda azalmıştır. 63 μ ve 90 μ tane boyutlu uçucu kül katkılanan çamurlardaki filtrasyon kayıp miktarları daha fazladır. Bu durum katkılanan partikülün tane boyutu ile filtrasyon kaybı miktarının doğru orantılı olduğunu göstermektedir. Katkılanan malzemenin tane boyutu ne kadar küçük ise bu malzemeler formasyondaki açıklıklara daha iyi penetre olmakta ve gözenekleri tıkayarak kayıpları azaltmaktadır. Elde edilen değerler Terakulsatit (2014)'in yaptığı çalışmada ortaya koyduğu sonuçlar ile paralellik göstermektedir. O çalışmada da

katkılanan uçucu kül miktarı arttıkça kek kalınlığı ve filtrasyon kayıplarının arttığı görülmektedir.

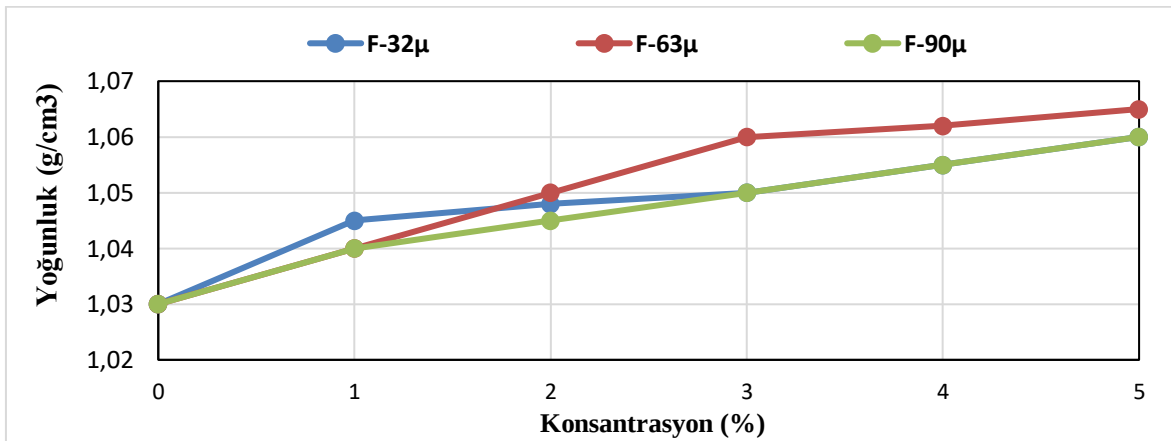


Şekil 3.17 32μ, 63μ, 90μ Kül Katkılı Çamurların Kek Kalınlıkları

Şekil 3.17’ de görüldüğü üzere çamura katkılanan uçucu kül konsantrasyonu ve kül partiküllerinin tane boyutu arttıkça filtrasyon kek kalınlığı artmaktadır. Dinamik kuyu şartları altında filtrasyon kek kalınlığı çamur sirkülasyonundan kaynaklı erozyona uğramakta ve sirkülasyon parametrelerinden etkilenmektedir. Ancak belirli bir zaman sonra dengelenmekte ve sabit bir değere gelmektedir. Laboratuvar ortamındaki statik şartlarda ise sirkülasyon parametrelerine bağlı herhangi bir erozyon durumu söz konusu değildir.

3.3.3 Uçucu Külün Çamur Yoğunluğuna Etkisi

Uçucu kül katkılanmasının sondaj çamurunun yoğunluğu üzerindeki etkisi aşağıdaki grafikte görülmektedir.



Şekil 3.18 32μ, 63μ, 90μ Kül Katkılı Çamurların Yoğunluklarındaki Değişim

Yapılan ölçümlerde uçucu kül katkılanması ile çamur yoğunluklarında artış gözlenmiştir. Çamur yoğunlukları eklenen kül konsantrasyonu ile paralel olarak artmıştır. Grafiğe bakılarak uçucu külün sondaj çamurlarında ağırlık artırıcı olarak da kullanılabileceği görülmektedir.



4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu deneysel çalışmada su bazlı sondaj çamuruna farklı tane boyutlarında ve farklı konsantrasyonlarda (% w/v) uçucu kül katkılanmış ve sondaj çamurunun reolojik ve filtrasyon özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. API standartlarına ve test prosedürlerine göre yapılan ölçümlerde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Sondaj çamurlarına eklenen uçucu kül konsantrasyonu arttıkça plastik ve görünür viskozitelerde de artış olmuştur. Katkılanan uçucu külün partikül tane boyutu büyüdükçe plastik ve görünür viskozitelerdeki artış oranları da daha büyük olmuştur. 32 μ uçucu kül katkılı sondaj çamuru için % 1 ile % 5 konsantrasyondaki uçucu kül katkılanması plastik viskozitede 1 cP'luk artışa, görünür viskozitede ise 5 cP'lik artışa sebep olurken 90 μ uçucu kül katkılı sondaj çamuru için % 1 ile % 5 konsantrasyondaki uçucu kül katkılanması plastik viskozitede 6 cP'luk artışa, görünür viskozitede ise 8 cP'lik artışa sebep olmuştur. 32 μ tane boyutlu uçucu kül katkılanması plastik viskozite, görünür viskozite ve kopma noktası değerlerini % 3 konsantrasyona kadar etkilememiştir. 63 μ tane boyutlu kül katkılanmasında ise plastik viskozite % 3 konsantrasyondan sonra artışa geçmeye başlarken, görünür viskozite ve kopma noktası % 1 konsantrasyondan itibaren artışa geçmeye başlamıştır. 10 saniye ve 10 dakika jel mukavemeti değerlerinde uçucu kül katkılanması ile azalma olduğu görülmüştür. 63 μ ve 90 μ uçucu kül katkılanan çamurların 10 dakika jel mukavemeti değerleri % 3 konsantrasyondan sonra değişiklik göstermemiştir.

Ayrıca sondaj çamuruna uçucu kül katkılanmasının filtrasyon kayıplarını azaltarak olumlu bir etki oluşturduğu görülmüştür. Katkılanan uçucu kül miktarı arttıkça filtrasyon kayıplarında azaldığı görülmüştür. Filtrasyon kayıplarındaki en büyük azalma en küçük tane boyutlu (32 μ) kül katkılı olduğu durumda görülmüştür. Filtrasyon kek kalınlığının ise eklenen uçucu kül konsantrasyonu ve kül partiküllerinin tane boyutu ile paralel olarak arttığı tespit edilmiştir.

Sondaj çamurlarının yoğunluğunda ise eklenen uçucu kül konsantrasyonuna paralel artış olduğu görülmüştür. Dolayısıyla çamur yoğunluk ayarlanmasında uçucu külden faydalanılabilmektedir.

Son dönemlerde sondaj çamurlarına nano boyutlu partiküllerin katkılanmasının reolojik ve filtrasyon özellikleri üzerindeki olumlu etkileri incelendiğinde, bu çalışmanın ışığında uçucu külün öğütülerek nano boyutlara indirgenmesi ve çamur özellikleri üzerindeki etkisinin incelenmesi başka bir çalışmanın konusu olarak tavsiye edilebilir.



KAYNAKLAR

1. Hughes, B. (2006) Drilling Fluids Reference Manual
2. Annis, M.R., Smith, M.V. (1994, July), Drilling Fluids Technology
3. Nazari,T., Hareland, G. (2010,May), Review of Cuttings Transport in Directional Well Drilling: A Sustematic Approach, in Proceeding of the SPE Western Regional Meeting, Anaheim, CA
4. Moore, P. L. (1974). Drilling Practice Manual. PennWell Pub. Co.
5. Awele, J. (2014). Investigation of Additives on Drilling Mud Performance with “tønder Geothermal Drilling” as a case study, Aalborg University Esbjerg.
6. Skalle, P. (2010). Drilling fluid engineering. Book boon.
7. Van Dyke, K. 2000. Drilling Fluids. Austin, Texas : Petroleum Extension Service
8. Singh, S., Ahmed, R. and Growcock, F. (2010). Vital Role of Nanopolymers in Drilling and Stimulations Fluid Applications. In Paper SPE 130413 presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Florence, Italy, pp. 19-22
9. Abdo, J. and Haneef, M. (2012). Nano-Enhanced Drilling Fluids: Pioneering Approach to Overcome Uncompromising Drilling Problems. J. Energy Resour. Technol., 134(1), p.014501.
10. Mostafavi, V. Ferdous, M.Z. Hareland, G.Husein, M. (2011), Design and Application of Novel Nano Drilling Fluids to Mitigate Circulation Loss Problems During Oil Well Drilling Operations, J clean Technology, 4398-8189-7
11. Amanullah, M., & Al-Tahini, A. M. (2009, January 1). Nano-Technology - Its Significance in Smart Fluid Development for Oil and Gas Field Application. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/126102-MS
12. Sayyadnejad, M. A., Ghaffarian, H. R., and Saeidi, M. (2008). Removal of hydrogen sulfide by zinc oxide nanoparticles in drilling fluid. International Journal of Environmental Science & Technology, 5(4), pp. 565-569.
13. Ahmaruzzaman, M., 2010. A review on the utilization of fly ash. Progress in Energy and Combustion Science, 36(3), p. 327-363.
14. Stevens, W., Robl, T., Mahboub, K., (2009) The Cementitious and Puzzolonaic Properties of Fluidized Bed Combustion Fly Ash. World of Coal Ash Conference.
15. L.F. Thompsom, Drilling fluid waste minimization and stabilization using polymer technology, Paper No. SPE 29196, SPE Eastern Regional Meeting, Charleston, West Virginia, 1994.

16. G.M. Deeley, L.W. Laguros (1987). Stabilization of drilling fluid waste with fly ash, Materials Research Society Symposium Proceedings, 86, 77-85.
17. P.L. Totten, J.E. Griffith, B.L. King, Foamable drilling fluid, EP0761798, 1997. (<http://www.freepatents-online.com/EP0761798.pdf>).
18. Mahlaba, J.S., Kearsley, E.P., Kruger, R.A., (2011). Effect of fly ash characteristics on the behaviour of pastes prepared under varied brine conditions. Minerals Engineering, 24, p. 923 – 929.
19. Terakulsatit, B., 2015. Physical and Chemical Properties of Drilling Mud by Using Fly Ash as an Additive. Global Conference on Engineering and Applied Sciences, Hong Kong.
20. Azar, J., & Samuel, G. R. (2007). Drilling Engineering. PennWell Corporation.
21. Van Dyke, K. & Baker, R., (1998). Drilling Fluids, Mud Pumps, and Conditioning Equipment, Univ of Texas at Austin Petroleum.
22. Company, A. P. (1994) Amoco Drilling Fluids Manual.
23. Oilfield Market Report (2004). Spears & Assoc. Inc., Tulsa, Oklahoma, www.spearsresearch.com.
24. Devereux, S., (1999). Drilling Technology: In Nontechnical Language, PennWell Books.
25. Hawker, D., (2001). Drilling Fluid Hydraulics.
26. Potash, M.S. & Nygren, R.T., (1993). Multiple integrated document assembly data processing system.
27. Max R. Annis, M.V.S., 1996. Drilling Fluid Technology Exxon Manual.
28. Caenn, R., Darley, H. C., & Gray, G. R. (2011). Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids. Gulf Professional Pub.
29. Sondaj Akışkanları Teknolojisi (2007) .TP Araştırma Merkezi Başkanlığı
30. Bourgoyne Jr., A. T., Millheim, K. K., Chenevert, M. E., & Young Jr., F. (1986). Applied Drilling Engineering. Richardson, TX: Society of Petroleum Engineering.
31. Bingham, C. E. (1922). Fluidity and Plasticity. New York: McGraw-Hill.
32. Clark, E. P. (1995). Drilling Mud Rheology and the API recommended Measurements. Society of Petroleum Engineers, Inc.
33. Growcock, F., & Harvey, T. (2005). Drilling Fluids. In ASME Shale Shaker Committee, Drilling Fluids Processing Handbook. Elsevier.

34. Herschel, H. V., & Bulkley, R. (1926). Measurement of consistency as applied to rubber-benzene solution. Proc ASTM Part II .
35. U.S Department of Transportation, Federal Highway Transportation, <https://www.fhwa.dot.gov/Pavement/recycling/fach01.cfm>
36. Li, H., Liu, G., Cao, Y., (2014) Content and Distribution of Trace Elements and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Fly Ash from a Coal-Fired CHP Plant, Aerosol and Air Quality Research, 14: 1179–1188
37. TÜRKER P., ERDOĞAN B., (2004), Türkiyede ki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri , AR-GE TCMA, Ankara
38. API SPEC 13A, Specification for Drilling Fluids – Specifications and Testing, 18th ed, Purchasing Guidelines Handbook, American Petroleum Institute (API), 2010.
39. Chilingarian, G. V., Alp, E., Caenn, R., Al-Salem, M., Uslu, S., Gonzales, S., ... & Yen, T. F. (1986). Drilling fluid evaluation using yield point-plastic viscosity correlation. Energy sources, 8(2-3), 233-244.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : TURAN, Sıtkı Ekrem
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 21.04.1990, Adana
 Medeni hali : Evli
 Telefon : -
 Faks : -
 e-mail : s_ekrem_turan@yahoo.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	İskenderun Teknik Üniversitesi / Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği	Devam Ediyor
Lisans	İstanbul Teknik Üniversitesi / Kimya Mühendisliği	2013
Lise	Süleyman Demirel Anadolu Lisesi	2008

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2011 - Yaz	TÜPRAŞ İzmit Rafinerisi	Stajer
2012 - Yaz	TÜBİTAK MAM	Stajer
2014 - Halen	Atlas Enerji Üretim A.Ş /DİLER HOLDİNG	Mühendis

Yabancı Dil

İngilizce – Profesyonel Çalışma Yetkinliği

Yayınlar

ÖZKAN ABDULLAH, TURAN SITKI EKREM, KAPLAN BEHLÜL MERVE;
Investigation of Fly Ash Effect on Rheological and Filtration Properties of Drilling Muds;
FRESENIUS ENVIRONMENTAL BULLETIN; 2018

ÖZKAN ABDULLAH, KAPLAN BEHLÜL MERVE, ÖZKAN VİLDAN, TURAN SITKI EKREM; Effect of Micro-Sized Colemanite on the Rheological Properties of the Water Based Drilling Fluid; Çukurova University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture; 2018

ÖZKAN ABDULLAH, TURAN SITKI EKREM, Experimental Investigation of the Effects on Rheological and Filtration Properties of Water-Based Drilling Mud of Fly Ash Addition with Different Particle Size and Concentration (Hakem Değerlendirmesinde)

Bildiriler

ÖZKAN ABDULLAH, TURAN SITKI EKREM, ELİLYAS AHMED; Effect of Fly Ash Addition with Different Particle Size and Concentration on Rheological and Filtration Properties of Na-Bentonite Water Based Drilling Mud; Ejons International Journal on Mathematics, Engineering Natural Sciences

ÖZKAN ABDULLAH, KAPLAN BEHLÜL MERVE, ÖZKAN VİLDAN, TURAN SITKI EKREM, EKER ÇAĞLAR; Investigation of the Effect of Borax on the Rheological and Chemical Properties of Drilling Mud; International Conference on Engineering Technologies (ICENTE'17)

ÖZKAN ABDULLAH, TURAN SITKI EKREM, ÖZKAN VİLDAN, KAPLAN BEHLÜL MERVE; Investigation of Fly Ash Effect on Rheological and Filtration Properties of Drilling Muds; International Conference on Advances and Innovations in Engineering

ÖZKAN ABDULLAH, KAPLAN BEHLÜL MERVE, ÖZKAN VİLDAN, TURAN SITKI EKREM; Effect of Nano Zeolite Addition in Drilling Fluid; International Conference on Advances and Innovations in Engineering (ICAIE)

DİZİN

A

abrasif · 4, 20
 ağırlıkça · 4, 29
 Akış Özellikleri · iv, vii, 9
 Anülüs · 8
 atık · iv, 4, 19
 Atık Stabilizasyonu · 19

B

bağlayıcılık · 4
 balanced · 7
 Barit · 3, 15, 23
 Basınç · 7
 Bentonit · ix, 3, 23
 Bingham · x, 13, 14, 16, 40

C

centipoise · 14

Ç

çamur · iv, 1, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 15,
 16, 17, 23, 24, 26, 29, 34, 35,
 36, 37
 Çamur Terazisi · xi, 15
 çamur yoğunluğu · 7, 15
 çatlak · 3, 15
 çimento · 4, 19, 21

D

dengelenmesi · 1, 7, 8, 15
 deniz · 4, 6
 Dinamik · 11, 34
 dispersant · 6
 Disperse · 6
 dizel · 6
 Dolgu · 19
 döner viskozimetre · 16

E

Elek Analizi · xi, 22

elektrostatik filtre · 18

F

film · 3
 filtrasyon · iv, 4, 17, 32, 33, 34,
 36, 37
 Filtrasyon Testi · vii, 17
 formasyon · 5, 7, 8, 15
 Formasyon basınçları · 5

G

gözenek · 1

H

Herschel-Bulkley · 14
 hız · 9, 10
 hidrojen · 4
 hidrokarbon · 1
 hidrolik · 4, 9
 hidrostatik · 7, 15

I

ısı · 8

J

Jel · vii, x, 17, 29, 30, 31
 jel mukavemeti · 4, 8, 9, 17, 29,
 31, 36
 Jel Mukavemeti Testi · vii, 17
 jeolojik · 1

K

kalsiyum · 4, 15
 karışım · 4
 katkı maddeleri · 2, 4, 6
 katkı maddesi · 1, 2
 kayaç · 1, 6, 7
 Kayma Gerilmesi · x, xii, 10, 12
 Kayma Hızı · xii, 10
 kek · iv, 4, 15, 17, 18, 34, 36
 kırıntı · 9

kimyasal · 4, 8, 17, 21, 22
 kontrol · 1, 8, 9, 15
 kopma noktası · 8, 9, 13, 16, 26,
 29, 36
 korozi · 3
 korozyon · 2
 kömür · iv, 4, 18, 20, 21
 Kuyu · 5, 7, 8, 9
 kuyu stabilitesinin · 3, 4, 8
 kül siloları · 18

M

maliyet · 3, 9
 malzemeler · 2
 matkap · 8
 mikro · 3, 4
 mikron · 4, 20
 mineral · 6

N

nano · 3, 4, 37
 nanopolimer · 3
 Newton · vii, 9
 Newtoniye · vii, x, 9, 10, 11, 12,
 13, 14

O

oksit · 4, 21
 Ostwald de Waele · 14
 overbalanced" · 7

P

partiküller · 3, 14, 17
 Petrol · 2, iv, vi, xii, 1, 4, 42
 pH · 2, 3
 Plastik · x, xii, 13, 16, 26, 29
 pnömatik · 5, 18
 poise) · 11
 Polimer · 6
 Power law · 13
 pulvarize · 18, 22
 Puzolanik · 4

R

reaksiyonlar · 8
 reolojik · iv, 3, 4, 9, 16, 29, 36, 37
 rpm · 16, 17

S

Selüloz · xii, 6
 SEM · iv, v, viii, xi, xii, 24, 25
 sıkışma · 8
 sıvı · 2, 3, 6, 9, 14, 17
 sirkülasyon kaybı · 3, 5
 Sirkülasyon Kaybı · 3
 Sondaj · iv, vii, viii, ix, xi, 1, 2, 3, 4,
 5, 6, 7, 8, 9, 15, 16, 17, 23, 25,
 28, 36, 40
 sondaj akışkanı · 1, 2, 7
 sondaj borusu · 3
 sondaj çamuru · iv, 8, 28, 36
 stabilizasyonunu · 6

Standart filtre kağıdı · 17
 Su Bazlı · ix, 3, 6, 23
 sürtünme · 2, 9, 13

T

tane boyutu · iv, 20, 28, 33, 34, 36
 tane boyutuna · 4, 20, 22
 toksik · 3
 torba filtre · 18
 tork · 8
 Toz tutma · 18

U

uçucu kül · iv, 4, 18, 20, 23, 24,
 26, 28, 31, 33, 34, 35, 36
 Uçucu Kül · iv, vii, viii, ix, x, xi,
 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26,
 27, 30, 32
 underbalanced" · 7

V

Viskozimetre · xi, 16, 17
 viskozite · iv, 4, 10, 11, 12, 13,
 14, 16, 23, 26, 28, 36
 Viskozite · vii, ix, xii, 3, 11, 16,
 23, 26, 29

X

XRD · viii, x, xii, 24
 XRF · iv, v, viii, ix, xii, 24

Y

yağ bazlı · 5
 Yoğunluk Testi · vii, 15



TEKNOVERSİTE



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

İSTE

