

Bilal YEŞİL



İSKENDERUN TEKNİK
ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

PETROL VE DOĞALGAZ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YÜKSEK
LİSANS
TEZİ**

**SONDAJ ÇAMURLARINDA
GRAFİTİN KULLANILABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Bilal YEŞİL

**PETROL VE DOĞALGAZ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

AĞUSTOS 2023

AĞUSTOS 2023



**SONDAJ ÇAMURLARINDA GRAFİTİN KULLANILABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Bilal YEŞİL

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

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

AĞUSTOS 2023

Bilal YEŞİL tarafından hazırlanan “SONDAJ ÇAMURLARINDA GRAFİTİN KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İskenderun Teknik Üniversitesi Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Abdullah ÖZKAN

Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

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

.....
.....

Başkan: Prof. Dr. Şana SUNGUR

Analitik Kimya Anabilim Dalı, Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi

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

.....
.....

Üye: Prof. Dr. Ergül YAŞAR

Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

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

.....
.....

Tez Savunma Tarihi: 10/08/2023

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

.....

Doç. Dr. Ersin BAHÇECİ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

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

İmza

Bilal YEŞİL

10/08/2023

SONDAJ ÇAMURLARINDA GRAFİTİN KULLANILABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)

Bilal YEŞİL

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Ağustos 2023

ÖZET

Bu tez çalışmasında, sondaj çamuruna grafit katılmasının sondaj çamurunun reolojik özelliklerine olan etkisi incelenmiştir. Bu amaçla bentonit, kostik, su karışımından oluşturulmuş su bazlı sondaj çamuruna farklı konsantrasyonlarda (%0,1-%2) toz haldeki grafit eklenerek hazırlanmış sondaj çamurunun; PV, AV, YP, jel mukavemeti, filtrasyon kaybı, kek kalınlığı, pH ve yoğunluk analizleri Amerikan Petrol Enstitüsü (API) standartlarına göre analiz edilmiştir. Çalışmanın sonunda temel haldeki sondaj çamurunun görünür viskozitesi 38 saniye plastik viskozitesi 10 cP, kopma noktası 13, jel mukavemeti 11, filtrasyon kaybı (100bar/ 7,5 dakika) 30 ml, kek kalınlığı (100bar/ 7,5 dakika) 1mm, pH 13, tanecik boyutu 0,1 mm olarak ölçülmüştür. %0,1 ile %2 oran aralığında hazırlanmış sondaj çamurunun reolojik özellikleri incelendiğinde ise pH'ın sabit olarak 13 olduğu, görünür viskozitenin %0,1'den %1,2'ye kadar 38 saniye olduğu, %1,2'den %1,8'e kadar 39 saniye olduğu, %1,8 ile %2 aralığında ise görünür viskozitenin 40 saniye olduğu ölçülmüştür. %0,1 ile %2 oran aralığında toz grafit eklenmiş sondaj çamurunun plastik viskozitesi 10 cP ölçülmüştür. %0,1 ile %2 oran aralığında toz grafit eklenmiş sondaj çamurunda YP, %0,1 ile %1,3 aralığında 13, %1,3 ile %1,8 aralığında 14, %1,8 ile %2 aralığında 15 olarak ölçülmüştür. %0,1 ile %2 oran aralığında toz grafit eklenmiş sondaj çamurunun filtrasyon kaybı(100bar/ 7,5 dakika), 30 ml olarak ölçülmüştür. %0,1 ile %2 oranında toz grafit eklenmiş sondaj çamurunun kek kalınlığı (100bar/ 7,5 dakika) 1mm olarak ölçülmüştür. %0,1-%2 oranında toz grafit eklenmiş sondaj çamurunun tanecik boyutu 0,1 mm olarak ölçülmüştür. %0,1-%2 aralığında yoğunluğa ölçülebilir etkisi tespit edilmemiştir. Yapılan deney sonuçları birbirleriyle benzer sonuçlar vermektedir. Buna göre, görünür viskoziteyi artırması, plastik viskoziteyi arttırması, YP'yi ve jel mukavemeti değerlerini yükseltici etkisi bakımından pozitif etkisi olmaktadır.

Anahtar Kelimeler : Su bazlı sondaj çamuru, grafit, reolojik ve filtrasyon özellikleri
Sayfa Adedi : 47
Danışman : Doç. Dr. Abdullah ÖZKAN

RESEARCHING THE USAGE OF GRAPHITE IN DRILLING MUDS
(M. Sc. Thesis)

Bilal YEŞİL

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY

GRADUATE EDUCATION INSTITUTE

August 2023

ABSTRACT

In this thesis study; The effect of adding graphite to drilling mud on the rheological properties of drilling mud was investigated. For this purpose, drilling mud prepared by adding graphite in powder form at different concentrations (0.1%-2%) to the water-based drilling mud formed from a mixture of bentonite, caustic and water; PV, AV, YP, gel strength, filtration loss, cake thickness, pH and density analyzes were analyzed according to American Petroleum Institute (API) standards. At the end of the study, the apparent viscosity of the drilling mud in the ground state is 38 seconds, plastic viscosity 10 cp, breaking point 13, gel strength 11, filtration loss (100bar / 7.5 minutes) 30 ml, cake thickness (100bar / 7.5 minutes) 1mm, pH 13 , the particle size is measured as 0.1 mm. When the rheological properties of drilling mud prepared in the range of 0.1% to 2% are examined, the pH is constant 13, the apparent viscosity is from 0.1% to 1.2% for 38 seconds, from 1.2% to 1%, It has been measured that up to 8 is 39 seconds, and in the range of 1.8% to 2%, the apparent viscosity is 40 seconds. The plastic viscosity of the drilling mud with powder graphite added in the range of 0.1% to 2% was measured as 10 cP. YP in drilling mud with powder graphite added in the range of 0.1% to 2%, 13 in the range of 0.1% to 1.3%, 14 in the range of 1.3% to 1.8%, It was measured as 15 in the range of 1.8% to 2%. The filtration loss (100bar/ 7.5 minutes) of drilling mud with powder graphite added in the range of 0.1% to 2% was measured as 30 ml. The cake thickness (100bar/ 7.5 minutes) of drilling mud with 0.1% to 2% powdered graphite was measured as 1mm. The particle size of the drilling mud with 0.1%-2% powdered graphite was measured as 0.1 mm. There was no measurable effect on the density in the range of 0.1%-2%. Experimental results give similar results with each other. Accordingly, it has a positive effect in terms of increasing the apparent viscosity, increasing the plastic viscosity, increasing the HP and gel strength values.

Anahtar Kelimeler : Su bazlı sondaj çamuru, grafit, reolojik ve filtrasyon özellikleri
Sayfa Adedi : 47
Danışman : Assoc. Prof. Dr. Abdullah ÖZKAN

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimi süresince bana yardımcı olan ve tez konusunun belirlenmesinden bitirilmesine kadar beni yönlendiren, desteklerini esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Abdullah ÖZKAN' a teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmalarımda bana yardımcı olan Güney Yıldızı Petrol Üretim, Sondaj Müteahhitlik AŞ. çalışanlarına da teşekkürlerimi sunarım.

Tez hazırlık sürecimde benden desteğini esirgemeyen kimyager Sayın Zülfükar DENİZ, meslektaşlarım Petrol ve Doğalgaz Yüksek Mühendisi Mustafa SALAR ve Petrol ve Doğalgaz Yüksek Mühendisi Yusuf YALMAN' a teşekkür ederim.

Ayrıca her zaman yanımda olan ve bugünlere gelmemi sağlayan, benden maddi manevi desteğini esirgemeyen aileme de şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

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
2.2. Sondaj Akışkanının Görevleri	6
2.2.1. Formasyon basıncını kontrol etmek	6
2.2.2. Kuyu dibindeki formasyon kırıntılarını yüzeye çıkarmak.....	6
2.2.3. Matkabi ve sondaj dizisini soğutmak/yağlamak.....	6
2.2.4. Sirkülasyonun durduğu durumlarda kırıntıları askıda tutmak	6
2.2.5. Hidrolik gücü matkaba taşımak	6
2.2.6. Sondaj dizisinin ağırlığının taşınmasına yardımcı olmak.....	7
2.2.7. Geçirgen formasyonlarda sıvı kaybını azaltmak	7
2.3. Sondaj Çamurunun Değerlendirilmesi	7
2.3.1. Matkap ilerleme hızı.....	7
2.3.2. Kuyu stabilitesi	7
2.3.3. Formasyon değerlendirmesi	8
2.3.4. Üretim yapılan formasyonun kirlenmesi	8
2.3.5. Korozyon	8
2.3.6. Maliyet.....	8
2.4. Sondaj Akışkanlarının Sınıflandırılması	8
2.4.1. Su bazlı sondaj akışkanları	9
2.4.2. Organik bazlı sondaj akışkanları	10
2.4.3. Hava bazlı sondaj akışkanları	10
2.5. Sondaj Akışkanlarının Özellikleri.....	11
2.5.1. Çamur ağırlığı.....	11

2.5.2. Sıvı kaybı.....	11
2.5.3. Reolojik özellikler	12
2.5.4. Reolojik modeller	14
2.6. Sondaj Akış Testlerinin Tahlili	17
2.6.1 Fiziksel özelliklerin tahlili	17
2.6.2. Kimyasal özelliklerin tahlili	20
2.7. Karbon Ve Allotropları	21
2.8. Sondaj Çamurunda Kullanılan Başlıca Kimyasal Maddeler.....	22
2.8.1. Bentonit ve özellikleri	23
2.8.2. Kostik ve özellikleri.....	25
2.9. Sondaj Akışkanlarının Karakterizasyon Yöntemleri.....	26
2.9.1. X-Işını floresans spektrometresi (XRF)	26
2.9.2. X-Işını fotoelektron spektroskopisi (XPS)	27
2.9.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	27
2.9.4. Geçirimli elektron mikroskobu (TEM).....	28
3. MATERYAL METOD	29
3.1. Grafit	29
3.2. Grafitin Üretimi.....	32
3.3. Sondaj Çamurunun Hazırlanması.....	33
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	34
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	40
KAYNAKLAR.....	41
DİZİN.....	47

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Sondaj akışkanlarının sınıflandırılması	9
Çizelge 2.2. Karbon allotropların özellikleri	21
Çizelge 2.3. Sondajlarda kullanılan başlıca kimyasallar	22
Çizelge 2.4. Bentonitin fiziksel özellikleri.....	24
Çizelge 2.5. Bentonitin kimyasal özellikleri.....	24
Çizelge 2.6. Kostığın özellikleri	26
Çizelge 3.1. Grafitin özellikleri	31

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Sayfa

Şekil

Şekil 2.1. Akış modeli.....	12
Şekil 2.2. Akışkanların reolojik olarak sınıflandırılması.....	13
Şekil 2.3. Newtoniyen ve non-newtoniyen akışkanların reogramları.....	14
Şekil 2.4. Newtoniyen ve Non-Newtoniyen akışlarda viskozite-kayma hızı grafiği.....	16
Şekil 2.5. Sabit kayma hızı altında kayma gerilmesinin zamanla değişimi.....	16
Şekil 2.6. Karbon allotroplarının görünümü	
a) elmas, b) grafit, c) fulleren, d) karbon nanotüp	21
Şekil 3.1. Grafitin Kimyasal Yapısı.....	29
Şekil 4.1. Grafit katkıli sondaj çamurlarının PV, AV ve YP değerleri.....	34
Şekil 4.2. Grafit katkıli sondaj çamurlarının jel mukavemeti değerleri.....	34
Şekil 4.3. Grafit katkıli sondaj çamurlarının yoğunluğun değerleri	35
Şekil 4.4. Grafit katkıli sondaj çamurlarının sıvı kaybına değerleri	35
Şekil 4.5. Grafit katkıli sondaj çamurlarının kek kalınlığı değerleri	36
Şekil 4.6. Grafit katkıli sondaj çamurlarının pH değerleri.....	36
Şekil 4.7. Grafit katkıli sondaj çamurlarının tanecik boyutu değerleri.....	37

RESİMLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Resim 2.1. Çamur terazisi.....	18
Resim 2.2. FANN model 18 hızlı döner viskozimetre.....	19
Resim 2.3. API filtre press.....	20
Resim 3.1. Grafitin fiziksel görünümü	29
Resim 3.2. Grafit türlerinin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri.....	32



SİMGELER VE KISALTMALAR

Çalışmamızda kullanılan simgelerin ve kısaltmaların, açıklamaları aşağıda belirtilmiştir.

Simgeler	Açıklamalar
μ	Viskozite
μ_a	Görünür Viskozite
μ_p	Plastik Viskozite
ρ_m	Çamur Ağırlığı
γ	Kayma hızı
cP	Santi poise
Kısaltmalar	Açıklamalar
API	Amerikan Petrol Enstitüsü
AV	Görünür viskozite
CFL	Kromsuz Lignosülfonat
CMC – HV	Yüksek Viskoziteli Karboksimetil Selüloz
CMC – LV	Düşük Viskoziteli Karboksimetil Selüloz
PAC– LV	Düşük Viskoziteli Polianyonik Selüloz
PV	Plastik Viskozite
TPAO	Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
XCD	Xsantam Sakızı
YP	Akma Noktası (Yield Point)

1. GİRİŞ

Sondaj sıvısının -ya da genel adıyla sondaj çamurunun- yalnızca kil ve sudan oluştuğu günler geride kaldı. Bugün, bir çamur programı tasarlayan sondaj mühendisi, kapsamlı bir içerik katalogundan seçim yapıyor. Amaç, kuyuya ve açılan formasyona uygun, çevre açısından kabul edilebilir bir sıvı seçmektir. Çamurun sınırlarını anlamak ve ardından bu sınırlamalar dahilinde operasyonları verimli bir şekilde yönetmek[1].

Başarılı bir sondaj işlemi büyük ölçüde kullanılan sondaj sıvısının etkinliğine bağlıdır. Petrol ve gaz sondajı, yüzeyden rezervuara, yüzeyden kilometrelerce uzakta olabilen teleskopik bir delik açılmasını içerir. Sondaj, uzun bir sondaj borusu dizisine bağlı bir sondaj ucu kullanılarak gerçekleştirilir. Matkap üzerine ağırlık ve döndürme uygulayarak, matkap kayayı küçük parçalara, kesiklere ayırır. Sondaj sıvısı yüzeyden sondaj borusu aracılığıyla matkap yüzüne dolaştırılır, oluşan kırıntıları kaldırır ve onları ayırma ekipmanının güçlü pompalar yardımıyla sirküle edilen sondaj sıvısından kesikleri çıkardığı kuyu yüzeyine getirir. Sondaj sıvıları ek işlevler yerine getirir. Temel olarak, yeraltı basınçlarını kontrol eder, açıkta kalan kayayı dengeler, yeraltı oluşumu hidrokarbon sıvılarının kirlenmesini önler, kaldırma kuvveti sağlar ve sondajı soğutur ve yağlar. Bu tür sıvılar, zorlu ortamlarda verimli bir şekilde çalışabilecek şekilde tasarlanmalı ve sondaj yapılan oluşumlara zarar vermemeleri sağlanmalıdır. Yüksek basınç ve yüksek sıcaklık koşulları altında karmaşık yer altı ortamlarında yeni hidrokarbon sahalarının keşfi, bu tür zorlu ortamlarda bile reolojik ve filtrasyon özelliklerini koruyan istisnai sondaj sıvılarının geliştirilmesini ve kullanılmasını gerektirir.

Nanoteknoloji, araştırmaların ön saflarına geldi ve şimdiden enerji endüstrisi de dahil olmak üzere çeşitli endüstrilerdeki teknolojik gelişmelere önemli ölçüde katkıda bulundu. Sondaj endüstrisi bu normun bir istisnası olamaz. Nanoparçacıklar, makro ve mikro boyutlu malzemelerle karşılaştırıldığında gelişmiş fiziko-kimyasal özelliklere sahiptir ve bu, son derece yüksek yüzey-hacim oranlarıyla birlikte küçük boyutlarına atfedilebilir. Bu tür özellikler, nanoparçacıkları, zorlu kuyu altı ortamlarının gereksinimlerini karşılayabilecek özel yapımlı özelliklere sahip akıllı sondaj sıvılarının tasarımı için en umut verici malzemeler haline getirir [2].

Sondaj endüstrisi bu nedenle nanoteknolojiden önemli ölçüde yararlanabilir. En umut verici beklentiler, akıllı sondaj sıvılarını formüle etmek için sondaj sıvılarında

nanopartiküllerin kullanılmasıdır. Ayrıca, ısmarlama nano partiküller üretme potansiyeli, nano bazlı sondaj sıvılarının geliştirilmesi için hayati bir rol oynayacaktır, çünkü farklı özel koşullarla başa çıkmak için her operatörün ihtiyaçlarını karşılayabilecek ısmarlama sıvılar geliştirilebilir. Bu nedenle, yüksek performanslı sondaj sıvılarını formüle etmek için nanoparçacıkların uygulanması, sondaj endüstrisinin karşılaştığı mevcut ve gelecekteki teknik zorlukların üstesinden gelme potansiyeline sahiptir.

Son birkaç yıldır geliştirilmiş sondaj sıvılarına duyulan ihtiyaç, araştırmacıları katkı maddesi olarak çeşitli nanopartiküller kullanarak gelişmiş sondaj sıvılarının gelişimini incelemeye yöneltmiştir. Bildirilen çalışmaların çoğu laboratuvar çalışması olsa da, nanopartikül bazlı sondaj sıvılarının tam ölçekli saha testlerini bildiren iki çalışma var [3-4].

Literatürde nanoteknolojinin sondaj sıvısı formülasyonuna uygulanmasına ilişkin kısa bir genel bakış da sağlanmıştır [5-6]. Nano geliştirilmiş sondaj sıvılarının reolojisinin, kesme hızı, nanopartikül hacim fraksiyonu ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak modellenmesi, uygun maliyetli sondaj kampanyalarının tasarımı ve planlanması için yüksek doğrulukta hesaplamalı modelleme için kritik olan yönler de belirlenmeye çalışılmıştır [7-9].

Araştırmacıların nanomalzemeler ile yaptıkları çalışmalarda daha çok plastik viskozitenin (PV), kopma noktasının (YP), görünür viskozitenin (AV), jel mukavemetinin ve de reolojilerinin gelişimini, filtrasyon kayıplarının önlenmesine ve kuyu sorunlarının çözümlenmesine odaklanmışlardır.

Özkan ve arkadaşları, Al_2O_3 nanopartiküller içeren çok duvarlı karbon nanotüpler kullanılarak deneysel bir araştırma yapmışlardır. Araştırmanın sonucunda olası nanomalzeme ilavesiyle sondaj çamurunun reolojik ve filtrasyon özelliklerin iyileştiğini tespit etmişlerdir [28].

Kosynkin ve arkadaşları, su bazlı sondaj çamurlarına grafen oksit katkılayarak reolojik ve filtrasyon özelliklerini incelemişlerdir. Grafen oksit içeren çamurları reolojik özelliklerinde artışlar olduğunu tespit etmişlerdir. Filtrasyon kaybı değerinin 6,1 mL olduğunu ve 20 mm kalınlığında bir filtre keki bıraktığını tespit etmişlerdir [28].

Rashid ve arkadaşları su bazlı sondaj sıvısının sürtünme katsayısını azaltmak için çok duvarlı karbon nanotüpler (MWCNT) ve grafen nanotrombositler (GNP) ekleyerek sondaj

sıvılarının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin araştırmışlardır. Su bazlı sondaj sıvısındaki nanomalzeme davranışı, sondaj sıvısının kayganlığının artırılmasını desteklemiş ve sondaj sıvısının plastik viskozitesi, görünür viskozite, akma noktası ve filtrat kaybı gibi sondaj sıvısının reolojik özelliklerini marjinal olarak iyileştirdiğini tespit etmişlerdir [28].

Mohideen ve arkadaşları, çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNT) ve grafen oksit (GO) çeşitli kombinasyonlarını kullanarak, su bazlı sondaj sıvısına katkılamışlardır. Sentezlenen çok duvarlı karbon nanotüplerin hidrofobik özelliklerinin bir sonucu olarak su bazlı sondaj sıvısının filtrasyon kaybını azalttığı ve jel mukavemetini arttırdığını tespit etmişlerdir [28].

Mostofi ve arkadaşları yaptıkları çalışmada yeni bir kil/silika nanokompozit sentezlemiş ve sentezledikleri nanokompozitin su bazlı sondaj sıvıları üzerindeki etkisi araştırmışlardır. Yüksek sıcaklıklarda sondaj çamurunun reolojik ve filtrasyon kaybını önemli ölçüde iyileştirdiğini keşfetmişlerdir [2].

Amanullah ve Ashaf, nitelikli özellikleri bulunan nanomalzeme katkılı akışkanları kullanarak sondaj problemlerinin ortadan kaldırılabilirliği veya azaltılıp, dizi yapışmasını en aza indirerek, kuyu temizleme, ekipman aşınması vb. sorunlardan kaynaklı milyonlarca dolar tasarruf sağlayabileceklerini belirtmişlerdir [2].

Özkan ve arkadaşları, grafen oksit katkılı su bazlı sondaj çamurunu incelemişlerdir. Grafen oksit katkısının çamurda; 10 saniye ve 10 dakika değerlerinde % 33 ve % 43, PV'de % 67, AV'de % 44 ve YP'de % 30 artış saptamışlardır. Sıvı (filtrasyon) kaybı değerinin de % 9,52 oranında azaldığını tespit etmişlerdir [28].

Bu çalışmada, geliştirilmiş sondaj sıvılarının formülasyonu için hazırlanan toz grafit ihtiva eden su bazlı sondaj çamurunun özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla sondaj operasyonlarında genel olarak kullanılan çamur türü olan spud çamur hazırlanıp bu sondaj çamurlarına farklı konsantrasyonlarda (0,01-2 % k/h) oranında toz grafit eklenmiştir. Hazırlanan sondaj çamurları 24 saat dinlendirilip fiziksel ve kimyasal özellikleri ölçülmüştür. Çalışma sonunda nanopartikül eklenmesiyle modifiye edilebilen sondaj sıvısı özelliklerinin geliştirilmesi için nanopartiküllerin kullanımına ilişkin belirlenecek sonuçlara odaklanılacaktır. Bu çalışmanın, daha çevreci ve daha verimli sondaj sıvılarının geliştirilmesi için hem şirketler hem de araştırmacılar için faydalı bir rehber olması hedeflenmektedir.

Hazırlanan sondaj çamurlarının özellikleri FANN35 türü viskozimetre ile analiz edilmiş olup; plastik viskoziteleri, görünür viskoziteleri ve jel mukavemetleri yönünden reolojik özelliklerinin detaylı analizi yapılmıştır. Bunun dışında API sıvı kaybı ölçüm cihazları da kullanılarak hazırlanan sondaj çamuru numunelerinin sıvı kaybı verileri de incelenmiştir [10].



2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Ayrıntılara girmeden önce, bir sondaj sıvısı endüstrisindeki çeşitli gelişmelere katkıda bulunan konuların kronolojik sırasını tanımak yararlıdır. Geçmişte, erken delme operasyonlarında, delikten kırıntıları çıkarmak için su kullanılıyordu. Bu, 1846'da Fauvelle'in fişkırtılmış su kullanarak Fransa'da bir kuyu açtığı zaman bildirildi [11].

Bununla birlikte, sondaj sıvısı olarak tek başına suyun rolü, kesiklerin çıkarılmasında yalnızca kısmen başarılı oldu ve sınırlı delme derinliği elde etti. Buradan; Bu uygulamada suyun yetersizliği, araştırmacıları ve petrol şirketlerini yeni sıvılar üretmeye teşvik etti.

Sondaj sıvısı biliminin gerçek temeli, Chapman'ın su ve plastik malzemeyi sondaj sıvısı olarak kullanarak rezervuarın etrafında güçlü bir duvar oluşturma fikriyle başlamıştır [12]. Ayrıca ilk gelişme 1901 yılında kil ve su karışımı kullanılarak bir kuyu açıldığında yapılmıştır. Sonuç olarak 1935 yılında Harth bentonit kilini tanıttı ve bu yenilik mevcut sondaj sıvılarının temelini oluşturuyor [13].

2.1. Sondaj Akışkanları

İşleve, bileşime ve karmaşıklığa bağlı olarak çok çeşitli sondaj sıvısı tanımları vardır. Amerikan Petrol Enstitüsü (API), sondaj sıvısını, döner sondajda sondaj operasyonlarında yer alan çeşitli sorumlulukların herhangi birini veya tamamını kırtarmak için kullanılan sirkülasyon sıvısı olarak tanımlamaktadır [14]. Sondaj sıvısı, bir sondaj kuyusundan kırıntıları çıkarmak için kullanılan tüm bileşimler olarak da tanımlanabilir [15]. Ayrıca çok sayıda katkı maddesinden oluşan karmaşık bir sıvı olarak da tanımlanabilir [16]. Kullanılan katkı maddelerinin şekline, miktarına, sondaj tekniğine ve bir rezervuar oluşumuna bağlıdır.

Sondaj esnasında, sondaj sıvıları, bir sondaj deliğinden kesikleri çıkarmak ve yüzeye taşımak, kuyu deliğini stabilize etmek ve desteklemek ve matkap ucunu soğutmak ve yağlamak için kullanılır. Ek olarak, sondaj sıvıları, sirküle olmadığında kesimlerin askıya alınmasında ve oluşum basıncını kontrol etmede rol oynar. Üstelik; Sondaj sıvıları, sondaj deliği ile rezervuar oluşumu arasındaki sıvı giriş-çıkışlarını engelleyerek çevreyi korur[17].

Petrol endüstrisindeki sondaj işlemleri sırasındaki zorluklar, farklı türde sondaj sıvılarının formülasyonuna katkıda bulunmuştur. Yine de bu akışkanların temel bileşenleri su, petrol ve gazın yanı sıra kimyasal katkılardır [15].

Çoğu zaman, sondaj sıvıları su bazlı çamur, petrol bazlı çamur ve gaz bazlı çamur olarak sınıflandırılır [16]. Sondajda kullanılan en popüler sondaj çamuru su bazlı çamur iken, petrol bazlı çamur genellikle sondajda az tercih edilmektedir.

2.2. Sondaj Çamurunun Görevleri

2.2.1. Formasyon basıncını kontrol etmek

Çamurun ağırlığından dolayı neden olduğu basıncı, formasyonun basıncını dengelemektedir. Formasyondan kuyunun tabanına akışkan akışının ve kuyunun tamamında olabilecek basınç kaynaklı problemlerin önüne geçilmesini sağlar [18,19].

2.2.2. Kuyu dibindeki formasyon kırıntılarını yüzeye çıkarmak

Kuyuda ilerleme esnasında formasyondan matkap tarafından kesilen ve kuyuda biriken kırıntıları yüzeye taşıyıp kuyunun dibini temiz tutar. Sondaj sıvıları yerine getirdiği bu işlev ile matkabin kuyu daha rahat hareket etmesini sağlar. Kuyunun dibinin temiz olması sondajın ilerleme hızını etkileyen önemli bir kriterdir [18,19].

2.2.3. Matkabı ve sondaj dizisini soğutmak/yağlamak

Sondajın devamı boyunca matkabin ve kuyu içerisindeki dizinin ilerlenen zona devamlı olarak teması vardır. Sondaj sıvısının görevi bu temas dolayısıyla oluşacak matkap ve ekipmanlarda oluşabilecek aşınmayı en aza indirmektir. İlerleme boyunca sıcaklığı artan matkabı soğumasına da yardımcı olur [18,19].

2.2.4. Sirkülasyonun durduğu durumlarda kırıntıları askıda tutmak

Delme esnasında öyle anlar olur ki sondaj operasyonunun durması gerekebilir. İlerleme işlemine ara verildiğinde; çamur sirkülasyonu ile kuyu tabanından yüzeye taşınan kırıntılarının yeniden kuyunun dibine çökmesi büyük aksiliklerin yaşanmasına yol açabilmektedir. Sondaj sıvısı formasyon kırıntılarını içerisinde tutup kuyunun tabanında birikmesine ve sondaj işlemlerinin aksamasını önlemektedir [18,19].

2.2.5. Hidrolik gücü matkaba taşımak

Kuyu yüzeyinde oluşturulan hidrolik gücün matkaba iletimi sondaj çamuru vasıtasıyla olur. Çamur matkap hidroliğini maksimize etmektedir [18,19].

2.2.6. Sondaj dizisinin ağırlığının taşınmasına yardımcı olmak

Sondajın sıvısı, dizinin ağırlığını kaldıracak şekilde oranda yüzdürerek taşıyabilmektedir [18,19].

2.2.7. Geçirgen formasyonlarda sıvı kaybını azaltmak

Sondajın çamurunun, kuyudaki hareketi esnasında ilerlenen formasyonların yüzeyleri ile daima temastadır. Çamurun bu formasyonlara temas eden yüzeylerinde geçirgen olmayan bir çamur tabakası oluşur. Oluşan bu tabaka sıvı kaybının azalmasına neden olur [20].

2.3. Sondaj Çamurunun Değerlendirilmesi

Sondaj sıvıları kuyuda yüklendiği görevleri yerine getirirken kuyu dibi sıcaklığı ve kuyu dibi basıncı şartlarında stabilitelerini korumaları ve kuyunun değişen şartlarına dayanabilecek özellikleri bulunmalıdır. Sondajlarda sıvının etkinliği birden fazla etkene bağlı olarak değerlendirilebilir [18,20].

2.3.1. Matkap ilerleme hızı

Matkabın birim zamanda yaptığı ilerleme olup, m/saat, m/gün, cm/dak, sn/mm birimleriyle ifade edilmektedir. Bu ölçütlere bağlıdır sondajın maliyeti. Üretim yapılan sondajların amacı birim zamanda yapılan ilerlemeyi artırıp sondajı mümkün olan en kısa sürede tamamlamaktır [40]. Sondaj işlemlerinde tercih edilen çamur türü ve çamurun özellikleri matkabın ilerleme hızına direkt olarak etki eden önemli parametrelerdendir. Sondaj çamurlarının kuyuda yüklendiği görevleri yerine getirebilmesi operasyonda tercih edilen çamurun ağırlığının ve filtrasyon kaybı gibi parametrelerin matkabın ilerleme hızına olumsuz bir etkisinin olmamasına bağlıdır. Çamurun kuyudaki durumunu devamlı kontrol ederek ilerleme hızının hedeflenen düzeyde tutulması sağlanmalıdır [18,21].

2.3.2. Kuyu stabilitesi

Sondaj çamurlarının özellikleri delinen formasyonlara göre değişmektedir. İlerlenen formasyon ile kullanılan çamurun özellikleri birbiriyle uyuşmaması halinde matkabın sarması, kuyunun yıkılması, formasyon şişmesi, kuyuda kaçak gibi kuyu devamlılığını bozacak dizi sorunları baş gösterebilir. Sondaj çamurlarının bu gibi sıkıntıların hiç olmaması ve ya en az düzeyde olması öngörülerek hazırlanması gerekir [18,21].

2.3.3. Formasyon değerlendirmesi

Çamurların çeşitleri ve kimyevi içerikleri ilerlenen zonların türünü ve tercih edilen yöntemlerin faydalılığını belirlemede tercih edilen önemli kriterlerdendir. Tercih edilen çamur karışımında petrol ve ya hidrokarbon içeren eden katkı madde miktarının fazlalığı ilerlenen formasyonların hidrokarbon değerlerini etkileyerek yapılan değerlendirmeleri olumsuz etkileyebilir. Bundan dolayı ilerlenen formasyonların özellikleri litoloji ve petrofiziksel yönünden değerlendirilirken tercih edilen çamurun türü ve kimyasal yapıları belirleyicidir [18,21].

2.3.4. Üretim yapılan formasyonun kirlenmesi

Üretimin yapılacağı zon delinirken bu zonda tercih edilen çamurların fiziki ve kimyevi özellikleri ile ilgili formasyonların dokuları ve akışkan özellikleri ile uyuşması gerekir. Sondaj çamuru ile üretim yapılacak zonun özelliklerinin uyuşmaması durumunda bu durum, formasyonun geçirgenliği düşürerek üretime olumsuz etkileri olabilmektedir. Buna bağlı olarak üretim miktarı azalır [18,21].

2.3.5. Korozyon

Sirkülasyon esnasında sondajın kuyuda bulunan bütün ekipmanları ile etkileşimde bulunan sondaj çamuru aşındırıcı (korozyif) özellikleri hesaplanarak tercih edilmelidir. Yoksa ekipmanlarda korozyonun neden olduğu aşındırma etkisi sondaj operasyonlarını olumsuz olarak etkiler [18,20,21].

2.3.6. Maliyet

Sondaj çamurlarının kuyudaki görevlerini sorunsuz bir şekilde yerine getirebilmesi amacıyla kuyuya yapılan her müdahale çamurun maliyetini bu da sondaj operasyonunun maliyetini yükseltmektedir. Bu maliyet sondajın total performansının ve rezervuarın üretim devamlılığının korunabilmesi için elde edilen iyileştirmeler göz önünde bulundurulduğunda kabul edilebilecek aralıkta bulunmalıdır [18,20,21].

2.4. Sondaj Akışkanlarının Sınıflandırılması

Sondaj çamurları iki kısma ayrılır: iç ve dış faz olarak. Çamur sistemlerinin dıştaki fazı tatlı su, tuzlu su ve organik sıvılardan oluşmakta iken, katı haldeki maddeler, suyun tuzlu

hali ile hava ve gaz karışımı ise içteki fazı meydana getirmektedir. Sondaj çamurlarının iç fazında bulunan katının türünün ve içeriğinin sondaj çamurunun özelliklerine önemli etkisi vardır. Çamurda bulunan katı maddenin çeşitliliği artarken dayanıklılık (stabilite) azalır bu durumun sonucunda çamurun istenilen özellikleri kontrol etmek zorlaşabilir. Çamurda bulunan katı haldeki maddelerin su ile etkileşime girip şişenleri aktif katı olarak adlandırılmaktadır. Aktif katıların en yaygını bentonit ve polimerler olarak örneklendirilebilir. Ayriyeten çamurun özelliklerini istenildiğinde değiştirebilmek amacıyla pasif yapıdaki katı maddeleri de ihtiyaç ölçüsünde tercih edilmektedir. Bariti, hematiti, kalsiyum karbonatı, sideriti pasif olan katkı maddelerinden sayılabilir. Sayılan maddelerden hangisinin tercih edileceği delinen formasyonun türüne ve yapısal özelliklerine göre belirlenmektedir. Formasyonun özelliklerine bağlı olarak aktif ya da pasif madde tercih edilebilmektedir. Sondaj operasyonlarının optimal şartlarda devamını sağlayabilecek maddelerin seçiminde dikkatli olunmalıdır [18]. Dışta bulunan faza ait kimyasal özelliklere ve türlerine göre sondaj akışkanları 3 gruba ayrılabilir. Su, organik ve hava bazlı sondaj çamurları olarak sınıflandırılabilir [18,19-21]. Sondaj çamurlarını sınıflandırılmak üzere çizelgedeki gibi yapılabilir.

Çizelge 2.1. Sondaj akışkanlarının sınıflandırılması [29]

Su Bazlı Akışkanları		Organik Bazlı Akışkanlar	Hava Bazlı Akışkanlar
İnhibitiv Olmayan Akışkanlar	İnhibitiv Akışkanlar		
Bentonit çamuru, Ligno sülfat çamuru, Düşük katı maddeli çamurlar	Kireç çamuru, Tuzlu Su çamuru, Potasyum/polimer çamuru	Petrol çamuru, Sentetik çamurlar	Hava, Gaz, Köpük, Mist

2.4.1. Su bazlı sondaj akışkanları

Su katkılı sondaj akışkanları eskiden beri bilinen ve tercih edilen kolay ve düşük maliyetli sondaj akışkanı çeşididir. Temelde bu tür akışkanlar sudan, kilden (genellikle bentonit) ve diğer kimyevi katkı maddelerinden oluşurlar. Tercih edilen diğer kimyasallar ve kullanım miktarları kuyunun şartları ve de tuz derişimiyle bağlantılıdır. Kilin temel görevi sondaj

çamuruyla taşınan formasyon kırıntılarını askıda tutmak ve geçirimsiz bir kek oluşturarak sıvı kaybını önlemektir. Sulu sondaj çamurları, doğaya zararlarının olmaması ayrıca maliyetlerinin daha uygun olması nedeniyle kullanımı en fazla olan sondaj akışkanı çeşididir [22].

Su katkılı sondaj akışları, sıvı kaybını önleyenler ve önleyemeyenler olarak iki gruba ayrılır. Engelleyici çamurlar(inhibitiv) tuzdan, jips-anhidritten ve şeyl benzeri çamur ile fiziki ve ya kimyevi reaksiyona girebilen ayrıca bu etkileşimin sonucunda kuyuda stabilite sorunlarına yol açabilecek formasyonların delinmesi için oluşturulmuş çamur türleridir. Bu tür çamurların taşıma kapasiteleri yüksek, sıvı kaybı kontrolünü iyi derecede yapabilmesi ve üretim yapılan zonu kirletmemeleri nedeniyle özel olarak yönlendirilebilir kuyu sondajlarının kullandığı sondaj çamurlarıdır. Engelleyici olmayan (inhibitiv olmayan) sondaj akışkanları ise kimyevi yapıları aktif değildir ve kuyunun stabilitesinde soruna yol açmayan formasyonlarda başarıyla kullanılan çamur türleridir [18].

2.4.2. Organik bazlı sondaj akışkanları

Organik içerikli sondaj akışkanları, petrol içerikli akışkanlar ile yapay akışkanlar olarak iki çeşittir. Petrol katkılı akışkanın dış fazı mineral yağından, mazottan veya ham petrolden oluşmakta iken, iç fazının aktivitesini kalsiyum klorürün veya sodyum klorürün kontrol ettiği suyun oluşturduğu petrolün içinde olduğu su emülsiyonları çeşididir. Böyle sondaj akışkanları yüksek sıcaklıkla, yüksek basınçla iyi sonuç verirler. Petrol içerikli sondaj akışkanları kullanılabilir çamur türleri arasında en güçlü inhibitiv özelliği olan çamurlar olarak bilinir. Böyle sondaj akışkanlarının çevreye olan zararlarının azaltılması ve önlenmesi için alınacak önlemler maliyetli ve de kullanıma elverişsiz olduklarından dolayı neredeyse hiç kullanılmazlar. Bu tür sondajlarda tercih edilmeleri için çevreye zararı olmayan organik katkılı çamur türü olarak sentetik çamur çeşitleri gelişmiştir [18,23].

2.4.3. Hava bazlı sondaj akışkanları

Havalı sondaj çamurlarının tamamı gaz veya tamamı hava içerebilmektedir. Bazı şartlarda çamuru hazırlayanın tercihinine bağlı olarak dış fazının sudan iç fazının havadan oluştuğu köpükle havanın karıştırıldığı sondaj akışkanı türüdürler. Böyle tür sondaj akışkanları basıncı az olan formasyonların kaçak sorunu olmadan hızlı ve etkili olarak delmeyi sağlamaktadır [18,22].

2.5. Sondaj Akışkanlarının Özellikleri

Sondaj çamurlarının kuyuda görevlerini yerine getirebilmeleri bazı özelliklere sahip olmaları ile mümkündür. Çamurun, ağırlığı, jelin kuvveti, sıvı kaybının, pH'ın ve reolojik özellikleri sondaj çamurunun takip edilmesi gereken özelliklerinin başında gelmektedir.

2.5.1. Çamur ağırlığı

Sondajda kullanılacak çamurun en önemli özelliklerinin başında çamur ağırlığı bulunmaktadır. Ağırlığın genel tanımı birim hacme düşen ağırlıktır. Çamur yoğunluğu terimi zamanla çamur ağırlığı terimiyle değişmiştir. Çamurun ağırlık birimi lb/gal, lb/ft³, g/cm³ ve psi/1000ft olarak kayıt edilebilmektedir [18,24].

Çamurun sahip olması gereken en önemli özelliklerinden biri formasyonun basıncını kontrol etmesidir. Çamurun kendi oluşturduğu içeriğindeki sudan kaynaklı basıncı, formasyonun oluşturduğu basıncı kontrol etme görevini yerine getirir. Çamurun sudan kaynaklı basıncı da çamurun ağırlığı üzerinden kontrol altına alınabilir. İlerlenen formasyondaki duruma bağlı olarak hidrostatik basınçta yapılmak istenilen değişimler çamurun ağırlığıyla yapılabilmektedir. Çamurun ağırlığının sağladığı hidrostatik basınç formasyona zarar verecek düzeyde olmamalıdır. Formasyon kesintilerinden daha yoğunluğu bulunan çamurlar kuyu yüzeyinin çamurla etkileşime kısımlarının daha çabuk ve daha verimli temizlenmelerini sağlar [18,22,24].

Çamurun ağırlığı su ekleyerek düşürülebilirken, barit, hematit ve kalsiyum karbonat ekleyerek yükseltilebilmektedir [22].

2.5.2. Sıvı kaybı

Sondaj akışkanının basıncı içerdiği sudan kaynaklı formasyonun basıncından daha fazla olması durumunda, akışkanın içerisindeki sıvı temas ettiği formasyonlara geçer. Geçiş sonunda çamurdan kalan katı kısım ise formasyonun yüzeyinde birikir. Bu birikerek oluşan yapıya çamur keki denilir. Bu olay filtrasyon olarak adlandırılır. Verimli olacak bir çamurun ilerlenen formasyonlarla kuyu cidarı aralarında mümkün olabilecek geçirgenli en düşük çamur keki oluşturması istenmektedir. Sondajda iki çeşit sıvı kaybı olayı meydana gelmektedir. Bunlar statik ve dinamik filtrasyondur [18,23].

Statik filtrasyon kuyuda sirkülasyon olmadığı zaman meydana gelen filtrasyon türüdür. Bu tür filtrasyon esnasında kekin kalınlaşmasına bağlı olarak filtrasyonun hızı da düşer.

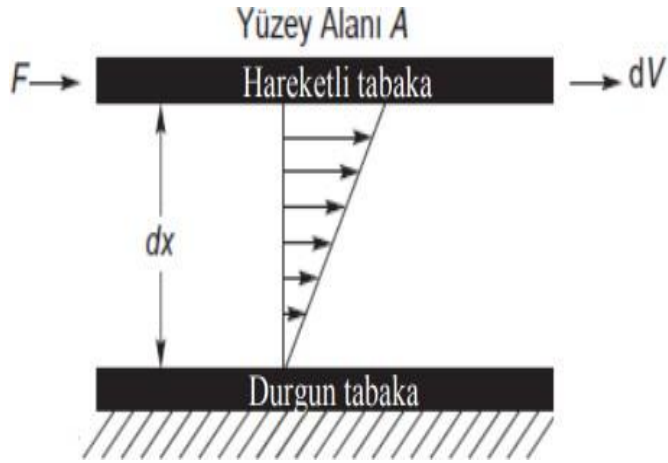
Dinamik sıvı kaybı ise anülüste çamurun sirkülasyonu esnasında oluşmaktadır. Bu tür sıvı kayıplarında sondajın akışkanı akarken kek oluşturur diğer taraftan da akışın neden olduğu erozyon ile oluşan kek aşınmaktadır. Zamanla oluşan kekin kalınlığı dengeye ulaşır ve filtrasyonun hızı sabit olur [18].

Genel olarak sondajlarda formasyonların yüzeylerinde geçirgen olmayan ve ince çamur kekinin oluşması istenmektedir. İstenilen özelliklerde kekin oluşması kuyuda oluşan birçok problemin çözümü olduğu gibi meydana gelebilecek birçok sorununda ortaya çıkmadan bertaraf edilmesini sağlar. Kekin oluşması dizi sıkışmaları ve kuyu stabilitesinin düzensizliği gibi sorunların çözümünde kritik role sahiptir [18,25].

2.5.3. Reolojik özellikler

Reoloji, belirli şartlarda maddelerin akış ve dezenformasyonunu inceleyen belli şartlarda maddelerin akış ve dezenformasyonu inceleyen uygulamalı bir bilim dalıdır. Sondajın ve çamurun performansını etkileyici parametrelerdendir reoloji. Sondajdaki problemlerin çoğu reolojik özellikler kontrol edilerek kolaylaştırılabilir. Bu problemlere dizinin sıkışması, sirkülasyon sıvı kaybı ve formasyonun gördüğü zarar örnek olarak verilebilir [21-23].

Akışkanlar reolojilerine göre viskoz olan ve viskoelastik olan akışkanlar şeklinde gruplandırılabilir. Deformasyonun geri dönüşümünün olmadığı akışkana viskoz akışkan denilir. Deformasyonu ortaya çıkaran etkenin etkisi bittikten sonra bile akışkan dezenformasyondan önceki durumuna dönememektedir. Viskoelastik akışkanlar, viskoz ve de elastik akışkanların özelliklerinin yapısında bulunduğu akışkan türlerine denir. Bu tür akışkanlarda ortaya çıkan deformasyon kısmen geri dönüşümlüdür. Deformasyona neden olan etkenin etkisi sona erdiğinde akışkan deformasyondan önceki haline tamamen dönüş yapmasa de kısmen geriye dönüşümü gerçekleşir. Reolojik özelliklerindeki değişimin durumuna bağlı olarak viskoz akışkanlar kararlı ve kararsız akışkanlar olarak sınıflandırılabilir [18,26-27].



Şekil 2.1. Akış modeli [29]

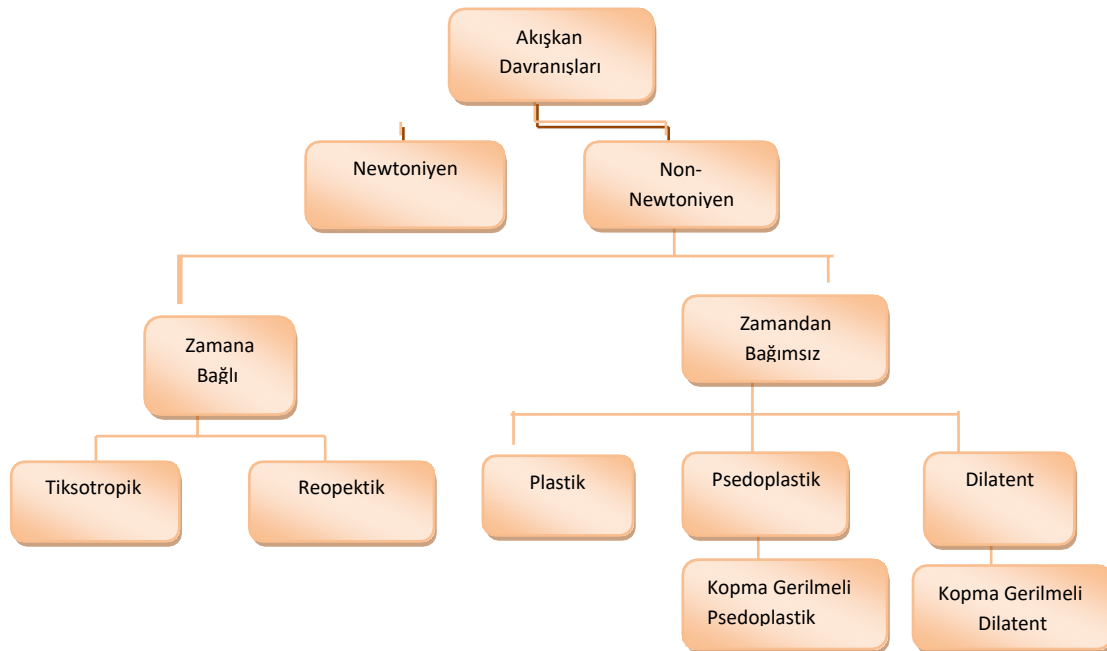
$$YP = 0.300 - PV \quad (2.1)$$

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

T: Kayma Gerilmesi (N/m²)

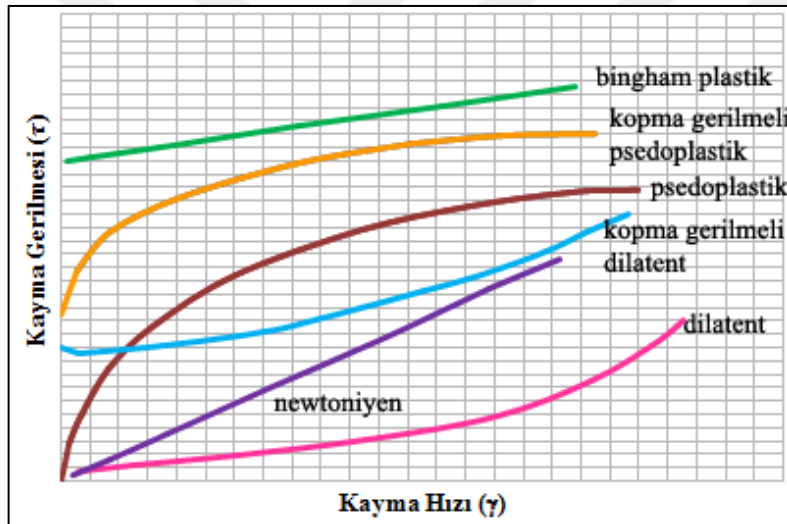
F: Kuvvet (N)

A: Alan (m²)



Şekil 2.2. Akışkanların reolojik olarak sınıflandırılması [30]

Şekil 2.2'deki sınıflandırmada sondaj çamurları Non-Newtoniyen akışkanların olduğu grubun içindedir. Zamana bağlı olarak reolojik özelliğinin değiştiği için sondaj çamurları aynı anda kararsız tiksotropik davranışta da bulunabilirler. Çamur genelde kopma gerilmesine sahiptir. Bu gerilmenin ifadesi ise genel olarak düz doğrultuda bulunmayan bir akış eğrisidir. Bu karakterize yapıları sondajın çamurlarını, Newtoniyen olmayan akışkanlarda kopma gerilmelileri, psedoplastik olanlar grubuna yerleştirmektedir ayrıca kayma gerinmesine bağlı olarak incebilme davranışı gösterirler. Bu özelliği çamurlara kayma gerilmesi hızı yüksek olan dizilerin içindeki akışlarda incelme ve basıncın düşüşü yeteneğini kazandırır. Buna bağlı olarak matkaba iletilen hidrolik güç artar. Kayma hızlarının düşük değerlerde meydana geldiği anülüste çamur daha viskoz davranarak taşıma kapasitesini artırır ve kuyunun temizliği daha iyi derece gerçekleşir [18].



Şekil 2.3. Newtoniyen ve Non-Newtoniyen akışkan reogramları [31]

2.5.4. Reolojik modeller

Newtoniyen akışkanlar: Şekil 2.3'te görüldüğü gibi, kayma hızı ile kayma gerilmesi arasında doğru orantının olduğu ve viskozitenin sabit olduğu akışkan türlerine Newton tipi akışkanlar denilmektedir [32-33].

Non-newtoniyen Akışkanlar: Newtoniyen olmayan sıvı akışları newtoniyenlere göre daha geniş bir ölçekte olabilmektedir. Temel özellikleri, viskozite ile kayma hızı arasındaki orantının doğru olmamasıdır. Daha farklı ifadeyle, viskozitenin artması kayma hızını artırır, düşmesi düşürür [34]. Newtoniyen akışlı olmayan bazı sıvılar, zaman içerisinde akış davranışlarında değişim gösterirler. Newtoniyen akışkanlardan farklı olarak iki durum ortaya çıkmaktadır. Birinci durum, iki değişkenlerin arasındaki

doğru olması gereken ilişki eğridir. İkincisi, akışkanın akışına başlamadan önce geçilmesi gerekli olan başlangıç gerilimi eşiği olduğundan dolayı eğri orijinden başlamamaktadır [35-36]. Akışkan çeşitlerinin akış özellikleri belirleyebilmek akış direncinin kayma hızının en düşük ikisinin kullanılıp ölçülmesiyle mümkün olabilmektedir.

Newtoniyen olmayan akışkanlar, sıcaklıktan, basınçtan başka kayma hızının etkisiyle de değişebilen, ifadesi görünür viskozite şeklinde olan bir viskozite ifade edilir. Bu tür akışkanları plastik akışkanlar, psedoplastik akışkanlar ve dilatant akışkanlar olarak gruplandırabiliriz. Bu grupların birinde sondaj akışkanları olabilmektedir.

Psedoplastik akışkanlar: Bu akış çeşidinde akışın grafiği düz değildir, noktasal eğim kayma hızını düşerek başlangıç noktasından geçerek, plastik akışın tersine aşılması gereken bir değeri bulunmamaktadır [33-37]. Bu akışkanların viskozitesi ile kayma gerilmeleri arasında ters orantı vardır. Buna “kayma hızına bağlı incelme” (shear thinning) denilebilir [29].

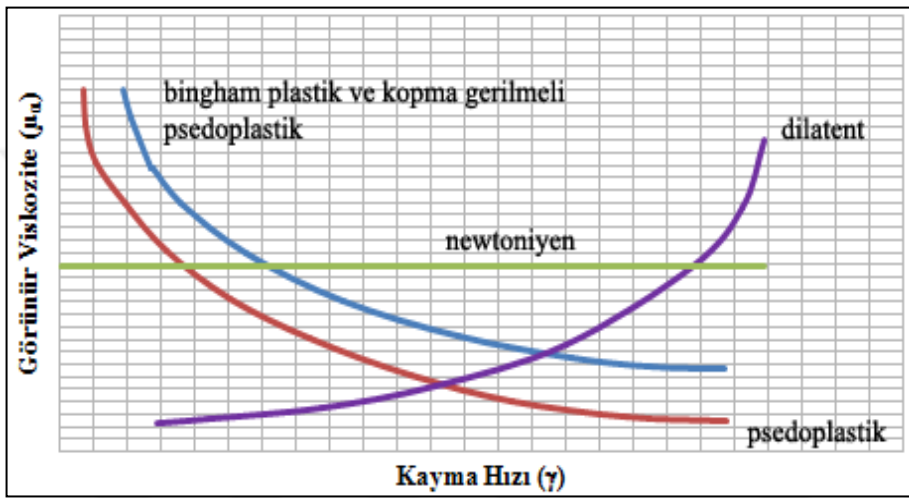
Dilatant akışkanlar: Psedoplastik akış türünün tersi davranış gösteren bir akış türüdür. hız gradyanının artmasına bağlı olarak ile akışa karşı direnç de artar [32]. Görünür viskozite ve kayma hızı arasında doğru orantının olduğu davranış türüne “kayma hızıyla kalınlaşma” (shear thickening) da denilir [29]. Süspansiyonları, emülsiyonları ve yağlı boyaları örneklerinden sayılabilir. Özel olarak % 50 ve üzeri oranlarda defloküle katı parçacıkları ihtiva eden süspansiyonlarda görülür [33].

Plastik akışkanlar: Bu akış türünün adına modern reolojiyi araştıranlardan Bingham'a ithafen Bingham akış da denilmektedir [33, 37]. Bingham plastik akışkanlarının ayırt edici özelliği orijinden geçmeyen doğrusal bir akış eğrisinin bulunmasıdır [31]. Bu akışkanlar çeşitlerinde akış eğrisinin kayma gerilmesi eksenini kestiği noktaya Bingham kopma gerilmesi, eğimine ise plastik viskozite adı verilir. Bu tür akışkanların deformasyonu sadece kopma gerilmesi aşıldıktan sonra başlamaktadır [33]. Bingham akışkanlarda kayma hızı nedeni ile incelen akışkanlar bulunmakta, görünür viskozite kayma hızı sıfıra doğru düşerken hızla yükselerek sonsuza gitmektedir [29].

Kopma gerilmeli psedoplastik akışkanlar: Bu akışkan türlerinin düz olmayan akış eğrileri psedoplastik akışkanlarınkine benzeyip, eğim kayma hızına bağlı olarak artar, Binghamlara benzeyen yanları ise başlangıç noktasından geçmeden kayma gerilmesinin olduğu eksenini

kesip, bir kopma gerilmesiyle ayırt edilebilmeleridir [31]. Bu akışkan türlerinde kopma gerilmesi geçildikten sonra deformasyon başlamaktadır. Bu akışkan çeşitleri kayma hızına bağlı olarak incelebilen akışkanlardır ve kayma hızının artmasıyla görünür viskoziteleri azalmaktadır [29, 38].

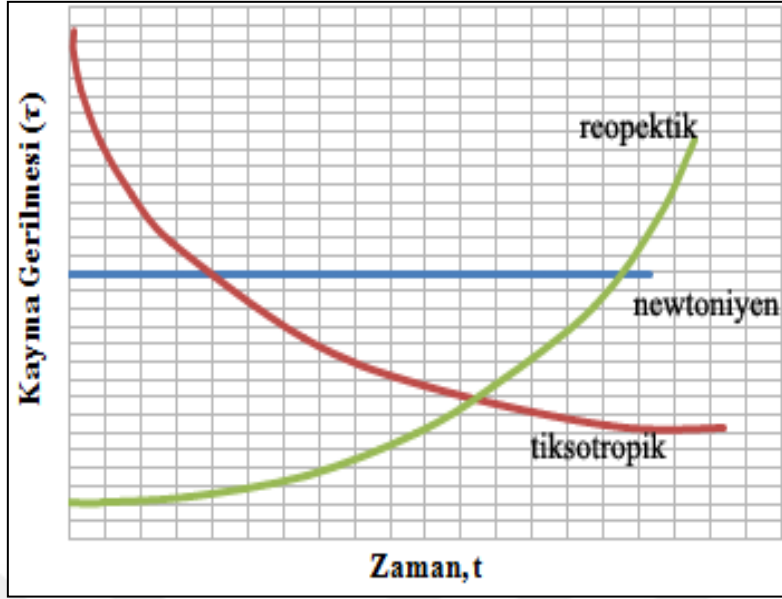
Kopma gerilmeli dilatent akışkanlar: Bunların akış eğrilerinin davranışları kopma gerilmesi geçilince dilatent olmaktadır [31, 38].



Şekil 2.4. Newtoniyen ve Non-Newtoniyen akışlarda viskozite-kayma hızı grafiği [29]

Tiksotropik akışkanlar: Bu tür akışkanları kayma gerinmesinin sabit hızının etkisine bağlı olarak görünür viskozitede zamanla düşüşün olduğu non-Newtoniyen akışkan olarak ifade edilebilir [39]. Şekil 2.5'te görüldüğü üzere kayma hızının sabit olduğu şartlarda ölçülmüş kayma gerilmeleri başta hızla düşmekte, sonraki zamanlarda bu azalma hızı azalmakta ve bir sürenin ardından kayma gerilmesi sabit kalmaktadır. Burada ele geçen eğri esasında görünür viskoziteye ait eğridir ve tiksotropik akışkanlara ait görünür viskoziteler zamana bağlı olarak düşüp denge konumuna gelince sabit bir değer olur.

Reopektik akışkanlar: Tiksotropik akışkanların gösterdiği akış davranışının tersi bir davranışta bulunan reopektik akışkanlarda görülmektedir viskozitenin sabit kayma hızına bağlı olarak zamanla artıp, biraz zaman geçince dengeye ulaşır ve bu aşamanın ardından akışkanın kararlı davranışta bulunduğu akışkanlardır [29, 39].



Şekil 2.5. Sabit kayma hızı altında kayma gerilmesinin zamanla değişimi [29]

Sondajda kullanılan çamurların jelleşebilme özelliği sondaj çamurunu diğer akışkanlardan ayıran en önemli özelliğidir. Jel kuvveti, statik şartlarda çamurun içindeki elektrokimyevi kuvvetlerinin bir ölçüsüdür. Saha birimiyle, akma mukavemetiyle (akma noktası) eşittir.

2.6. Sondaj Akış Testlerinin Tahlili

Sondaj çamurunun tamamını hazırlanmadan önce numune hazırlamak ve formasyona etkisinin ölçülmesi için yapılacak fiziksel ve kimyasal testler zaman maliyet ve verimlilik açısından oldukça önemlidir [41].

2.6.1 Fiziksel özelliklerin tahlili

Çamur ağırlığı: Sondaj işlemi devam ederken formasyondan kuyu içine devamlı akış sağlanarak çamurun yoğunluğunu etkileyebilmektedir. Bu etkilenme ile çamurun ağırlığı yükselip veya azalabilir bunun önüne geçmek için çamur içerisine inceltici ya da ağırlaştırıcı katkıları eklenmektedir [42].

Çamur ağırlığı resimde gösterilen çamur terazisi yardımıyla şu şekilde ölçülür:

- 1) Çamur terazisinin temiz olup olmadığı kontrol edilir; temiz olmaması durumunda temizliği sağlanır ve yoğunluğu hesaplamak için hazneye taşınmaya kadar çamur eklenir.
- 2) Çamurun üstünde hava kabarcıkları olursa çamur haznesi hafif biçimde sallanarak hava kabarcıkları giderilir ve hazne kapağı yavaş biçimde kapatılır. Haznenin deliğinden bir miktar çamurun dışarı çıkması haznenin dolu olduğunu gösterir.
- 3) Kapağın deliği parmak ile kapatılıp dışarı akan çamur temizlenir ve terazinin

dayanak noktasına yerleştirilip terazi üzerindeki kol hareket ettirilir ve denge sağlanmaya çalışılır.

4) Denge sağlandıktan sonra değer okunarak lb /gal, lb/ft³ cinsinden not edilir.

5) Çamur terazisi ile işlem bittikten sonra terazi temizlenir.



Resim 2.1. Çamur Terazisi [63]

Viskozite testi: Sondaj akışkanlarının viskozitesi marsh hunisi veya viskozimetre cihazıyla iki farklı şekilde ölçülebilir. Lakin viskozimetre ile akış parametrelili ölçüldüğü için daha kalıcı sonuç vermektedir. Akış Parametrelili görünür viskozite, plastik viskozite ve kopma noktası gibi akış parametrelerini ölçmek için viskozimetre kullanılır [19].

- 1) Viskozimetre 6 hızlı ve 600, 300, 200, 100, 6, 3 rpm okumalarını gösteren modern bir cihazdır. Viskozimetre ile 600, 300 rpm çamur okumaları akış parametrelerini vermektedir.
- 2) İyice karıştırılıp, yeterince bekletilen sondaj çamuru viskozimetre kabının içerisine işaretlenen noktaya kadar dökülür ve rotor üzerindeki işaretin bulunduğu seviyeye kadar kâseye daldırılır.
- 3) Viskozimetre 600 rpm de çalıştırılır ve katrandaki ibre sabitlendiğinde 600 rpm okuması not edilir.
- 4) Viskozimetre 300 rpm hıza ayarlanarak rotor döner ve ibre sabitlendiğinde 300 rpm okuması not edilir.

$$\text{Görünür Viskozite (AV): (600 rpm okuması) / 2 (cp)} \quad (2.3)$$

$$\text{Plastik Viskozite (PV) : (600 rpm okuması) – (300 rpm okuması) (cp)} \quad (2.4)$$

$$\text{Kopma Noktası(YP) : (300 rpm okuması) –PV} \quad (2.5)$$

Bu işlemler yapıldıktan sonra not edilen değerler sayesinde akış parametreleri yukarıda verilen formülde yerine yazılarak bulunur.



Resim 2.2. FANN model 8 hızlı döner viskozimetre [64]

Jel mukavemeti testi: Statik koşullar ve bağlantılar sırasındaki delme kesme esnasında yük taşıyan malzemeler askıda kalmaktadır. Gövdeyi indirirken, boruları ve bağlantıları bükerken, jel kuvveti doğrudan temizleme ve taşma basıncını etkilemektedir. Aynı zamanda, sürüklenen hava veya gazı serbest bırakmak için gereken basıncı da etkiler [43].

- 1) Jel mukavemet yönteminde 600 rpm devirde dönen çamur durdurulur ve çamur hareketsiz kaldığı andan itibaren 10 saniye hareketsiz bırakılır. 3 rpm hızla çalıştırılan viskozimetrenin katranındaki ilk değer 10 saniye jel mukavemeti olarak bilinir.
 - 2) Jel mukavemet yönteminde 600 rpm devirde dönen çamur durdurulur ve çamur hareketsiz kaldığı andan itibaren 10 dakika hareketsiz bırakılır. 3 rpm hızla çalıştırılan viskozimetrenin katranındaki ilk değer 10 dakika jel mukavemetini gösterir.
- Çamura filtrasyon testi yapılarak çamurun sıvı kaybı ve kekleşme özelliği bulunur.
- 1) Sondaj çamur haznesindeki işaretli yere kadar çamur konulur. Filtrasyonun ne kadar olduğunu bulması için örnek kabının altındaki deliğe gelecek şekilde demezür konulur.
 - 2) Regülatör yardımı ile çamurun içerisine 30 dakika süreyle 100 psi basınç verilir.
 - 3) 30 dakika sonra tüm vanalar kapatılır, iç basınç serbest bırakılır ve biriken sıvı miktarı filtre kaybı olarak kaydedilir.
 - 4) Çamur haznedeki boşaltılır ve kek alınarak kalınlığı ölçülüp, yapısal özelliklerine göre değerlendirilir [44].



Resim 2.3. API filtre press [64]

2.6.2. Kimyasal özelliklerin tahlili

Sondaj çamurlarında kimyasal analizler ürün kalitesini arttırmak ve daha kullanılabilir çamur performansı için yapılması gereken işlemlerdir.

pH ölçümleri: Sondaj çamuru akış özelliklerini, çamur performansını, hidrojen iyon konsantrasyonunu ve korozif etki yaratıcılığından kaynaklı tercih edilen iki özellikten biri ile pH ölçülmektedir[45]. pH ölçümü iki farklı metot ile yapılmaktadır. Laboratuvar ortamında daha kesin sonuçlar için pH metre ile ölçüm yapılır. Fakat arazi şartlarında pH metre kalibrasyonu zaman kaybettirdiği için pH kağıdı kullanılarak sondaj çamurunun pH konsantrasyonu ölçülür. pH metrenin prob ucunun temiz olduğuna bakılarak kap içerisindeki durgun haldeki çamura prob ucu konular ve değerlerin sabitlenmesi beklenir ve değer okunur not edilir. pH kağıdı ile ölçümde ise pH kağıdı sondaj çamuruna batırılıp az bir süre beklenildikten sonra çıkarılıp pH metre skalasındaki değerlerde karşılaştırılarak pH ölçümü yapılır.

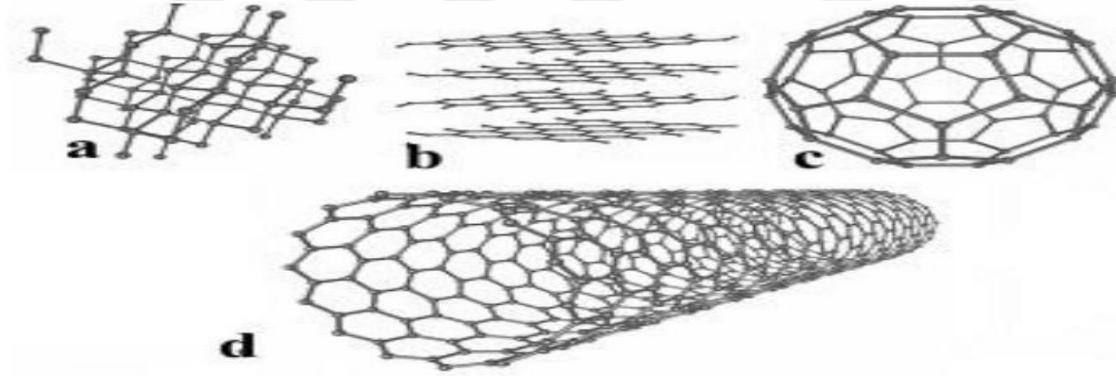
2.7. Karbon Ve Allotropları

Karbon, periyodik tablonun altıncı sırasındaki elementtir. Atomları arasında bağ oluşturabilme kabiliyetine sahiptir. Karbon elementi zincir, dallı zincir ve halka yapılar gibi kararlı bileşikler oluşturur. Karbonun, anizotropik moleküler veya kristal formları mevcuttur. Karbonun sp^2 hibritleşmesi sonucu oluşan allotropları Çizelge 3.1'de verilmiştir [51].

Çizelge 2.2. Karbonun sp^2 hibritleşmesi ile oluşan allotropları [52]

Özellikler	Grafen	Karbon Nanotüp	Grafit	Fulleren
Yüzey alanı (m ² /g)	2630	1315	10	5
Termal iletkenlik (W/mK)	500	>3000	3000	0,4
Mobility (cm ² /Vs)	15000	100000	13000	0,56
Young modülü (TPa)	1	0,64	1.Haz	0,001
Optik geçirgenlik (%)	97,7	-	-	-

Karbonun sp^2 hibritleşmesinin bir sonucu olarak, fulleren, karbon nanotüp, grafit ve grafen olarak dört allotropu vardır [52].



Şekil 2.6. Karbon allotroplarının görünümü :

a) elmas, b) grafit, c) fulleren, d) karbon nanotüp [53]

2.8. Sondaj Çamurunda Kullanılan Başlıca Kimyasal Maddeler

Sondaj çamurunda kullanılan başlıca kimyasallar aşağıdaki çizelgede belirtilmiştir.

Çizelge 2.3. Sondajlarda kullanılan başlıca kimyasallar [54]

KATKI MADDESİ	FORMÜL	AÇIKLAMA
Bentonit	-	API Spec 13A Section 9 standardına uygun, yüksek şişme kapasitesine sahip kil mineralidir.
Kostik Soda	NaOH	Yüksek saflıktaki sodyum hidroksittir. Ph dengelemek için kullanılır.
Soda Külü	Na ₂ CO ₃	Çamurun flokülesinde veya Ph artmasında, ortamdaki Ca ⁺² iyonlarının çöktürülmesini sağlar. Su bazlı çamursistemlerinde kullanılır.
Yüksek Viskoziteli Karboksimetil Selüloz (CMC – HV)	CH ₂ CO ₂ H	Su kaybı düşürücü bir çamur katkısıdır. Yüksek viskozite artışı sağlar. Sıcaklığa dayanımı düşüktür.
Düşük Viskoziteli Karboksimetil Selüloz (CMC – LV)	C ₆ H ₉ OCH ₂ COONa	Sukaybı düşürücü bir çamur katkısıdır. Düşük viskozite artışı sağlar. Sıcaklığa dayanımı düşüktür.
Düşük Viskoziteli Polianyonik Selüloz (PAC– LV)	C ₆ H ₇ O ₂ (OH) ₂ OH ₂ COONa	Modifiye edilmiş yüksek kalite polianyonik selülozdür. Özellikle düşük viskozite artışı sağlayarak su kaybı kontrolünde kullanılır.
Kromsuz Lignosülfonat (CFL)	-	Asıl olarak deflokülant (dağıtıcı) olarak kullanılır. Etkili bir şekilde viskoziteyi azaltır. Tüm su bazlı sondaj çamurlarında sıvı kaybını da kısmi olarak azaltır. Sıcaklığa dayanımı 130 °C'tır.
Xsantam Sakızı (XCD)	C ₃₅ H ₄₉ O ₂₉	Çamur içerisinde kolay dağılabilen bir katkı maddesidir. Deniz suları ve tatlı sularda viskozite artırmak ve çamur içerisindeki katı maddelerin süspansiyonunu sağlamak için kullanılır. YP/PV oranını artırır.
Barit	BaSO ₄	Çamurun ağırlığını artırmak için en fazla kullanılan katkı maddesidir. Özgül ağırlığı 4,2–4,35 aralığında değişmektedir.
Sitrik Asit	C ₆ H ₈ O ₇	Organik asit olup su bazlı sondaj sıvılarında Ph değerini düşürmek ve çözünebilir haldeki kalsiyum ile demir iyonlarını etkisiz hale getirmek amacıyla kullanılır.
Kalsiyum Karbonat	CaCO ₃	Polimer çamurunun ağırlığını artırmak için kullanılan katkı maddesidir.

2.8.1. Bentonit ve özellikleri

Zengin alüminyum ve magnezyum içeren volkanik kül, tuf ve lavların kimyasal olarak ayrışması ile oluşan, ağırlıklı olarak montmorillonit ihtiva eden killere 'bentonit' denilir. Bentonit, çok yönlü bir kil olup tarım, sanayi, madencilik ve mühendislik jeolojisinde kullanılmaktadır [55]. Ca, Na ve Na-Ca montmorillonitleri içermesine rağmen bentoniti jeolojik özelliklerine ve kullanım yerlerine göre değişim göstermektedir. Şişme kapasitesi fazla olan Na bentonitin su ile temasında kendi hacminin 8-10 katına kadar şişebilirken, Ca-bentonitlerin şişme kapasiteleri kendi hacimlerinin 2-3 katına kadar çıkmaktadır. Na ve Na-Ca bentonit çeşitleri sondajlarda, demir tozunun paketlenmesi işlerinde kullanılmaktadırlar [55].

Bentonitin kullanım alanları

- Bentonitte koloidal özellik ve yüksek plastisitesi olması dökümüşlerinde kalıplama işlemleri için kullanılan kumların bağlanmasını sağlar.
- Sondaj akışkanının ağıdalı duruma gelmesine, formasyon kesintilerinin kuyu dışına çıkarılmasına, ayrıca su kaybının önlenmesini sağlar.
- Yağ renklerinin açılmasında kullanılır, Ca-bentonitlerinin asitle aktive edilmesiyle yüzey alanları ve kristal içindeki boşluklar genişletilir. Fe, Ti, Ca, Na ve K, kil minerallerin kristal kafes yapısından ayrılır; boşluklarında H⁺, - bağları oluşturularak, ağartma toprağına dönüştürülür ve bitkisel yağların (zeytinyağı, ayçiçeğı, mısır, susam, soya, palmye, kanola, pamuk yağları gibi) rafinasyonunda filtre malzemesi olarak kullanılır.
- İnşaat mühendisliğinde temel ve baraj yapılarında su ve sıvı sızdırmazlığını elde etmede,
- Şaraplarla meyve sularının berraklaştırılmasında, hayvan yemine katkı malzemesi olarak eklenir,
- İlaç, kâğıt, lastik sanayilerinde dolgu malzemesi olarak,
- Çimento sanayisinde, seramik sanayisinde katkı malzemesi olarak,
- Petrol rafinasyonunda,
- Atık suların temizlenmesinde,
- Boya sanayisinde ve yangın söndürücülerde,
- Gübre yapımı ve toprak ıslahında kullanılır [55].
-

Kullanılan bentonitin özellikleri

API 13 A Modifiye Edilmiş Bentonit standartlarına uygun kil mineralidir. Sodyum içeriklidir ve en az %90 montmorillonit içerir. bentonit kimyasalları içerir. Yüksek şişme kapasitesine sahiptir. TS EN 13500 Bölüm 9 Bentonit Şartnamesine uygundur. TS 977 Tip- 1 standartlarına uygundur. Suya karıştırıldığında kolayca dağılır ve topaklaşma yapmaz [56].

Kullanılan bentonitin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.3. ve Çizelge 3.4.'te gösterilmiştir.

Çizelge 2.4. Bentonitin fiziksel özellikleri [56]

600 d/d okuması Fan35 viskometrede	30 min.
Filtrasyon miktarı	15 ml. max.
Verim	90 bbl. min.
Rutubet	%10 max. (ağırlıkça)
Yaş elek analizi 200 Mesh (75 mik.) elek üstü	%2,5 max. (ağırlıkça)
Yield point plastik viskozite oranı (Yp/Pv)	3 max.

Çizelge 2.5. Bentonitin Kimyasal Özellikleri [56]

SiO ₂	= 61.28 %
Al ₂ O ₃	= 17.79 %
Fe ₂ O ₃	= 3,01 %
CaO	= 4,54 %
Na ₂ O	= 2.70 %
MgO	= 2.10 %
K ₂ O	= 1.24 %

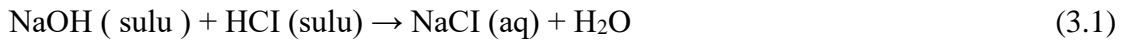
2.8.2. Kostik ve özellikleri

Saflik oranı yüksek olan sodyum hidroksittir, pH'ın dengelenmesi için kullanılır [54].Saf sodyum hidroksit, bozulma olmaksızın 318 °C'de eriyen renksiz, kristalin bir katıdır. Suda yüksek ölçüde çözünür, etanol ve metanolde daha düşük bir çözünürlükle bulunur, ancak eter ve diğer polar olmayan çözücüler içinde çözünmez.

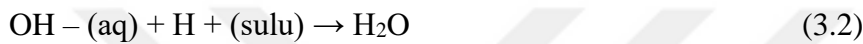
Sodyum hidroksit, aynı zamanda, yosun ve kostik soda olarak bilinir. Sodyum hidroksit,

oldukça kostik bir baz ve alkali olup, proteinleri sıradan ortam sıcaklıklarında parçalayıp ciddi kimyasal yanıklara neden olabilir.

Sodyum hidroksit, protik asitlerle reaksiyona girerek su ve buna bağlı tuzlar üretir. Örneğin, sodyum hidroksit hidroklorik asit ile reaksiyona girdiğinde, sodyum klorür oluşur.



Genel olarak, bu gibi nötrleştirme reaksiyonları basit bir net iyonik denklem ile temsil edilmektedir:



Güçlü bir asit ile reaksiyonun bu türü, ısı yayar ve dolayısıyla egzotermiktir. Bu asit bazlı reaksiyonlar titrasyonlar için de kullanılabilir. Bununla birlikte, sodyum hidroksit, birincil standart olarak kullanılmaz, çünkü higroskopiktir ve havadaki karbondioksiti emer[57].

Kostikin kullanım alanları:

- Asit kontrolünde, kötü kokuyu arıtmada, boruları temizlemede, pH dengelemede,
- Yapıştırıcı olarak, ısı ile yapılan matbaa baskılarında, gazete kâğıdında,
- Sodyum Alüminat, Sodyum Siyanür, Silikat, Polikarbonat, Titan Oksit, Zeolit üretiminde,
- En son üründe artıkları uzaklaştırmada, beyazlatmada,
- STTP, Sodyum Hipo Klorür, Sabun, Fırın ve Boru Temizleyici madde yapımında,
- Sodyum Fenolate (aspirin ve antiseptik) yapımında,
- Yemeklik yağı arıtmada, meyve ve sebze kabuğu soymada, dondurmada,
- Yağ temizlemede, su arıtmada, ekipman temizlemede,
- Nişasta, Kostik, Su, Silikat: Birlikte Etiket Yapıştırıcı İmalatında,
- Nişasta, Kostik, Su, Boraks: Birlikte Oluklu Mukavva Tutkal İmalatında,
- Rafine ürünlerde asit kalıntılarını uzaklaştırmada, fenollerin çıkartılmasında, sondaj çamurunda pH dengelemede, sondajda kalsiyum ve bakterisitleri uzaklaştırmada,
- Filtre Temizleyici (filtre havuzlarında) ve madenlerdeki asit ünitesini temizlemede,

Ayrıca kullanılan Sodyum Siyanür'ün pH değerini ayarlama da Kostik (Sodyum Hidroksit) kullanılır [57].

Çizelge 2.6. Kostigin özellikleri [57]

Renk	Katı: Beyaz Sıvı: Renksiz
Erime Noktası (°C)	318
Molar kütle	39,9971 g mol
Yoğunluk	2.13 g/cm ³
Kaynama noktası	1388 ° C

2.9. Sondaj Akışkanlarının Karakterizasyon Yöntemleri

2.9.1. X-ışını floresans spektrometresi (XRF)

İncelenecek maddenin kimyevi yapısının tespiti maksadıyla uygulanan analiz yöntemidir. Atom numarasının 9 ve 92 aralığında olduğu elementlerin nicel özelliklerinin analizi yapılırken, atom numarasının 9'dan küçük olduğu elementleri ise incelemeyiz [46]. Kaya, mineral, çökeltiler, ve de zararsız olan akışkanları kimyasal olarak analiz ederken bir de ana elementlerle eser elementlerin analizinde tercih edilen metotlardan biridir.

Bu analiz yönteminde, atomlar radyasyona maruz kalmaları sonucunda ortaya davranışlarının sonucudur. Malzemeler X ışını gibi enerjisi yüksek, dalga boyu kısa radyasyona etkileşime girdikleri zaman iyonlaşabilmektedirler. Radyasyonun sahip olduğu enerji atomun iç elektronunu ait olduğu yörüngeden çıkarmaya yeterse atomu kararsız hale getirir ve kararsız atomun dıştaki elektron yörüngedeki boşluğu tamamlamak için eksilen içteki elektronun yerine geçer. Buna bağlı olarak, içteki elektron dıştakine nazaran daha az bağlanma enerjisi olduğu için enerji saçar. Yayılmayla meydana gelen radyasyonun enerjisi, X-ışınlarının enerjisinden azdır. Adına da floresans radyasyon denilmektedir. Ortaya çıkan fotona ait enerji, herhangi bir elementte bulunan elektronların orbitallerinin birbirleri arasındaki geçişi karakterize ettiği için, ortaya çıkan floresans X-ışınları, numunenin elementel oranının belirlenmesinde kullanılabilir [47].

2.9.2. X-ışını foto elektron spektroskopisi (XPS)

Herhangi bir materyalin içinde bulunan elementleri oransal olarak bileşimini, basit formülünü, kimyevi analizini ve elektronik olarak ne durumda olduğu hakkında bilgi sahibi olunmak için sıklıkla başvuru yapılan yüzeysel bilim metodunun adına XPS denilmektedir.

Metodun kullanımında ultra yüksek vakum (UHV) şartları tercih edilmektedir. XPS analizi XPS spektrumlarının, seçilen numunenin X-ışınlarına maruz kalarak ve de analizi yapılan maddenin üstteki kısmının 1-10 nm arasından saçılan elektronlara ait kinetik enerjilerinin ölçümü ile yapılmaktadır. Kinetik enerjili yüzeyden saçılan elektronları analiz etmek yüzey bölgesinin atomlarındaki elektronik durumu açıklayacaktır. Yüzeydeki atomların, spektrumda belirgin pikleri vardır. Bu piklere ait enerjiler ve yoğunluklar, yüzeyde mevcut olan elementlerin (hidrojen hariç) ifade edilmesini ve kaydedilebilir olmalarını sağlamaktadır [48].

Metalik alaşımların, yarı iletkenlerin, polimerlerin, elementlerin, katalizörlerin, inorganik bileşiklerin, metal alaşımların, camların, seramik boyalarının, kâğıt mürekkeplerinin, dişlerin, kemiklerin, tıbbi implantların, biyomalzemelerin, tutkalların, modifiyeleri iyon ile yapılan türlü maddeleri analiz etmede kullanılmaktadırlar.

2.9.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Taramalı elektron mikroskobu, katı numunelerin yüzeylerinde türlü sinyaller oluşturmak amacıyla odaklanan yüksek enerji içeren elektron ışını kullanan taramalı analiz yöntemidir. Hızlandırılan elektronların önemli oranda kinetik enerjileri vardır. Hızlandırılmış olan elektronların katı numuneyle teması elektronu yavaşlatır, elektron ile numunenin etkileşimleri sonucu ortaya çıkan çeşitli sinyaller olarak dağılır.

Elektronun ve numunenin etkileşiminden kaynaklı ortaya çıkan sinyaller, numunenin kimyasal bileşimini, dış morfolojisi, numuneyi meydana getiren malzemelerin kristalizasyonu ve oryantasyonu dahil numuneye ait bilgi verir. Uygulanan metotların çoğunda, sonuç verileri numune yüzeyinde belirlenen bir alanda toparlanır ve bu özelliklerde uzamsal varyasyonları ifade eden 2 boyutu bulunan görüntü ortaya çıkar. Hızlandırılan elektronların demetler halinde numune ile etkileşime girmesiyle meydana gelen ışımaların ya da geri yansıyıp giden elektronların sayılmasıyla SEM görüntüleri oluşturulmaktadır [49].

2.9.4. Geçirimli elektron mikroskobu (TEM)

Numunenin içerisinden enerjisi yüksek olan elektronları geçirerek içyapıyı inceleme ve özellikleri bir atomun ölçeğinde analiz edilmesini sağlayan yönteme geçirimli elektron mikroskobu yöntemi denilmektedir. Taramalı elektron mikroskobu yönteminde 60-350

keV aralığında yüksek elektron ışını kullanılıp numune bu elektron ışınına maruz bırakılır [50]. Örnek materyalin içinden geçen ışınlarla numune düzleminde kırınımına uğramış ışınları materyalin dibinde toplayarak ölçüm yapılır.



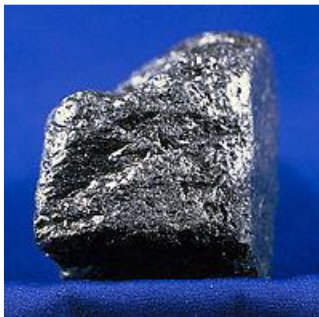
3.MATERYAL METOD

3.1. Grafit

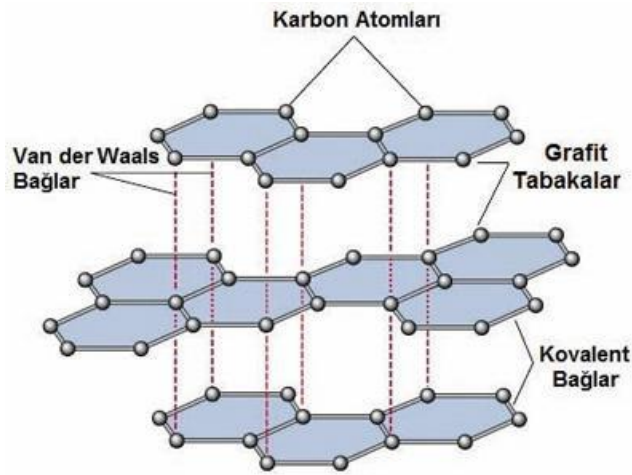
Yunanca yazmak anlamına gelen ‘‘Grafit’’, SCHEEL (1742-1786) tarafından ‘‘Karbon Modifikasyonu’’ açıklamasıyla tanınmış olup, bu isim, Mineralog WERNER tarafından 1789 yılında verilmiştir [65].

Grafit; karbonun doğal hallerinden biridir. Kimyasal formülü ‘‘C’’dir ve sekizgen kristal karakteristiğe sahiptir. Gnays, mermer ve şist gibi metamorfik türde kayaların içlerinde oluşur[60]. Grafit oldukça yumuşak dokunumu yağsı ince levhalar halinde bükülme özelliği olan bir karbon minerali çeşididir. Sertliği 1, Yoğunluğu 2’dir. Siyah, gri, çizgi rengi kül renginde olabilirler ve yağlayıcı özellikleri vardır [58].

Oksijenin olduğu koşullarda 600-670 °C’de yanar, normal hava koşullarında ise 3500 °C’ye kadar yanmayan grafitin, erime noktası 3927 °C olup, erime ısısına ulaştığında sıvı hale geçmeden direk gaz haline geçmektedir, sıcaklık şartlarının normal olduğu durumlarda kararlıdır ayrıca kimyasal bozunmaya karşı dayanıklıdır, asit, baz ve tuzlara karşı dayanıklılık göstermekte, normal kimyasal reaksiyonlara karşı tepki göstermemektedir [65]. Resim 3.2.’de grafitin fiziksel görünümü gösterilmiştir. Şekil 3.2.’de ise grafitin kimyasal yapısı gösterilmiştir.



Resim 3.1. Grafit [65]



Şekil 3.1. Grafitin Kimyasal Yapısı [65]

Grafit temelde iki ayrı ana guruba ayrılabilir [59].

Bunlar:

- Sentetik Grafit,
- Doğal Grafit'tir.

Sentetik Grafit daha çok sanayi ürünü olduğu için madenciliği ilgilendiren doğal grafitle ilgilenmeyeceğiz. Doğal grafit de kendi arasında 3 ana sınıfa ayrılabilir:

- Amorf Grafit, (Mikro kristalin ya da kripto kristalin grafit olarak da bilinir)
- Pul Grafit,
- Kristal Grafit.

Doğada: kristal, pul ve "amorf" diye adlandırılan çeşitleri olmaktadır, en iyi forma sahip çeşidi kristal grafitir ve tenörü en fazladır [58].

Bu sınıflandırmanın temeli grafitin içindeki karbon elementinin yapısına bağlıdır. Grafite bu kadar önem katan ve hemen hemen yerini başka malzemeyle doldurmanın mümkün olmamasının sebebi, önemli özelliklere sahip olmasından kaynaklanmaktadır [61].

- Isı iletkenliğinin mükemmel oluşu,
- Elektrik iletkenliğinin mükemmel oluşu, (Bakırdan 20 kata kadar daha iletken olabildiği söylenmektedir)
- Isıya dayanıklı olması, (Erime derecesi 3927 °C'dir. Grafit erime ısısına ulaştığında sıvı fazına geçmez direkt gaz fazına geçer)
- Kimyasal maddelere ve Korozyona dayanıklılığı,
- Aside ve oksidasyona karşı dayanıklı oluşu,
- Yağlayıcı özelliğinin olmasıdır.

Başlıca kullanım alanlarını ve kullanım oranlarını da şu şekilde sıralayabiliriz [61].

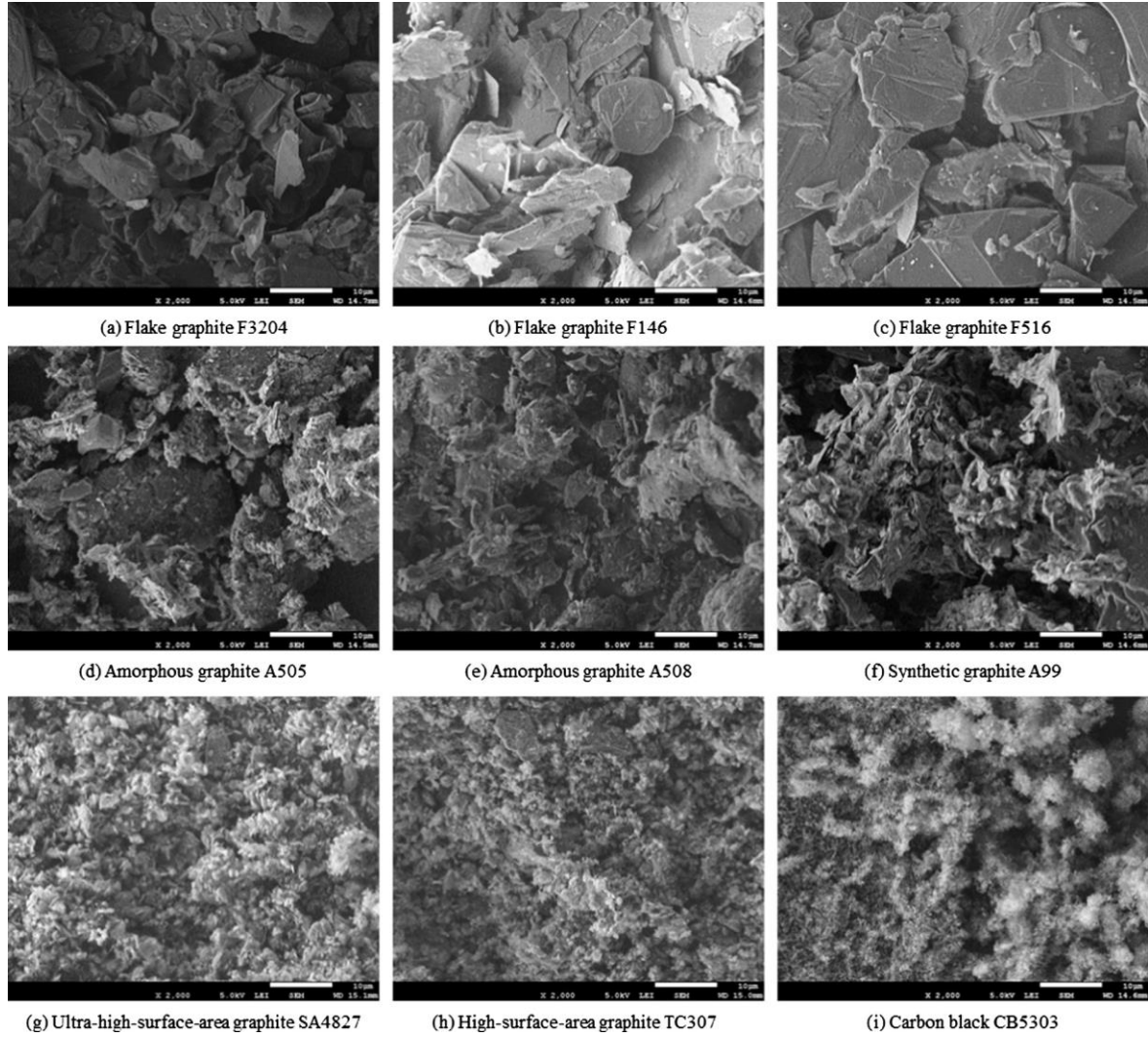
- % 41 - Demir Çelik ve Refrakter Sanayi, (Karbon verici ve refrakter tuğla yapımı)
- % 14 - Otomotiv Sanayi, (Fren balata yapımı)
- % 14 - Yağlayıcı,
- % 11 - Karbon Fırçalar,
- % 10 - Batarya Yapımı ve % 10 da diğerleri olarak kabul edilmektedir.
- Grafit oldukça yumuşak olan dokunumunun yağsı ince levhalar halinde olduğu bükülme özelliği olan karbon minerali çeşididir. Sertliğinin 1, Yoğunluğunun 2 olduğu tespit edilmiştir. Renginin siyah ve gri, çizgi rengi kül renginde olduğu ve yağlayıcı özelliği vardır. Grafit, üç ana allotropik karbon şeklinden biri olmaktadır

ve oluşumu yatay tabakalar halindedir ayrıca kullanılabilir alanı da oldukça çeşitlilik göstermektedir. Türkiye'de grafiti ham haliyle kurşun kalem ve döküm sanayilerinde tüketilir. Boya yapanlar ve demir çelik üretim tesisleri ithal grafit ve ürünlerini tercih etmektedirler. Döküm sanayinin tercih ettiği grafitin % 60 - 70 oranında sabit karbon oranının olması gerekmektedir. Kurşun kalem sanayisi ise % 95 den fazla karbon oranı istemektedir.

- Grafit, yapay olarak da üretilebilir. Petrol kokunu ya da antrasit agglomeralarını elektrik fırınlarında 4000 °C de ısıtarak ta sentetik grafit üretilebilir. Kalsine petrol kokunda karbon içeriği yüksek olduğundan dolayı döküm fabrikalarında kullanımı fazla olmaktadır bu durum yerli grafit üretiminin de etkilenmesine neden olmaktadır maliyeti ucuz olduğundan dolayı.
- Bazı durumlarda grafit kullanılmaz yerine, toz hale getirilmiş kok da, döküm yüzeylerinde tercih edilmektedir [58].

Çizelge 3.1. Grafitin Özellikleri [67]

Sertlik	1
Yoğunluk (kg/m ³)	2
Saflık (%)	90
Boyut (mikron)	75
Nem (%)	1



Resim 3.2. Grafit türlerinin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri [66]

3.2. Grafitin Üretimi

Türkiye'de grafit arama ve üretim çalışmaları, Maden Dairesi ve MTA Genel Müdürlüğünün kayıtlarına göre, 1941 yılında başlamıştır ve 22'den fazla bölgede ekonomik değeri olan, sayıları az olan yatak varlığı tespit edilmiştir. Bunlardan önemli olanlara, İnebolu - Abana, Yozgat - Akdağmadeni, Çıgırmış - Bandırma, Kütahya - Altıntaş - Oysu, Muğla - Milas, Adıyaman - Sincik, İzmir - Tire, İstanbul - Çatalca, Aydın - Germencik ve Artvin bölgelerinde bulunanlar örnek olabilir. Son yıllarda ülkemizin teknolojideki (MTA'nın şartlarında) gelişmelere paralel olarak, grafit aramaları neticesinde Balıkesir Susurluk'ta iri kristalen grafiti, Adıyaman Sincik'te, ayrıyeten Konya Derbent civarında ve Kastamonu civarında umut verici grafit alanları görüntülenmiştir.

Türkiye'de bulunan grafitlerin neredeyse tamamı, dünyada "amorf" grafit olarak

tanımlanan grafit sınıfına girmektedir ve çoğunluğu kayacın içinde dissemine diye tabir edilen halinde ve mikro kristalen dağılımlı özelliğinde oluşmuş haldedirler. Balıkesir'in Susurluk ilçesinde, İnebolu'da, Yozgat'ta ve Adıyaman'da meydana gelen grafit oluşumları, Türkiye'deki en iyi grafitleşen karbonunun bulunduğu bölgeler olduğu, Kütahya, Bandırma, Konya, Kastamonu ve Muğla'da meydana gelen oluşumlar da bazı yerlerde grafitte yakın özellikleri olan ama daha çok, semigrafrit (metaantrasit) özellikler arasında geçişleri ortaya çıkan oluşumların bulunduğu, MTA'nın Laboratuvarlarda farklı tarihlerde yaptığı analizlerin sonucunda ortaya çıkarılmıştır. Türkiye'deki neredeyse bütün bölgelerde görülebilen grafit türevi oluşumlarsa, daha çok "meta antrasit" kömürleşme seviyesindeki, organik materyalin grafitte kıyasla metamorfizminin daha düşük seviyede olmuş oluşum türleridir [58].

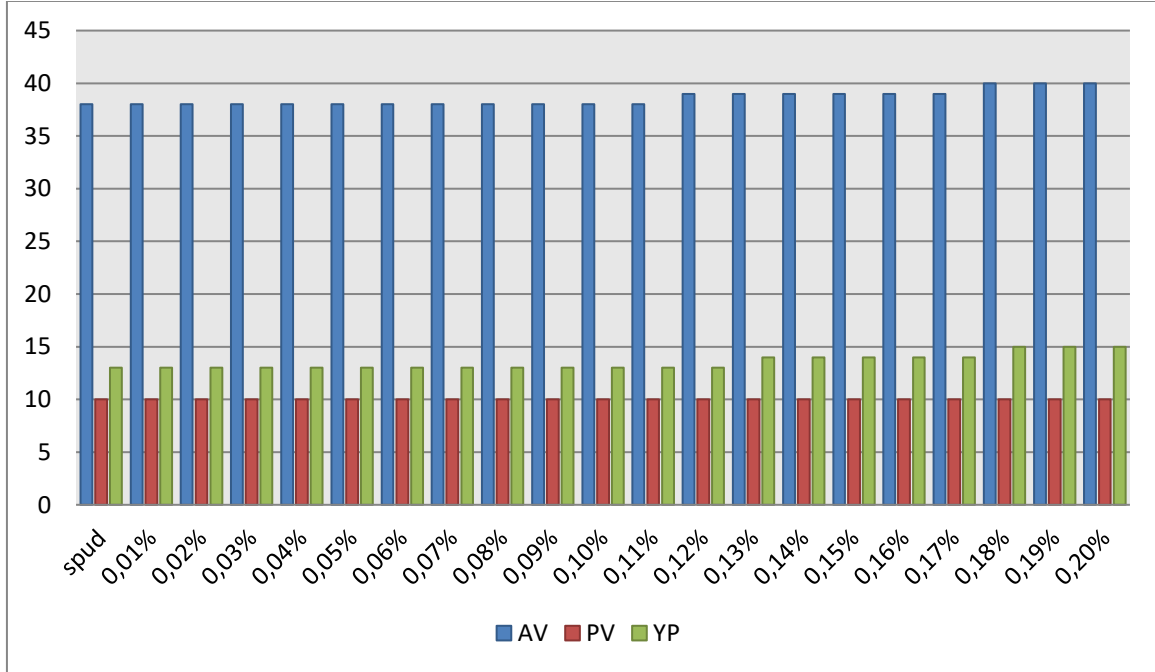
3.3. Sondaj Çamurunun Hazırlanması

Su bazlı sondaj çamurlarını hazırlamak maksadıyla TSE ISO EN 13500 ve API kriterlerine uyumlu olacak biçimde 1500 g'lık 21 adet su bulunan kaplara, 0,00125 g kostik eklenerek güvenli şekilde çözülmeleri sağlanmıştır. Kostik eklenmesinin sebebi arazi şartlarındaki pH dengeleme ve suyun iyonizesidir. Ardından 100'er g Na-bentonit her kaba eklenip, numunelerin her biri 20'şer dakika boyunca karıştırıldı. Karışımlar hazır olduktan sonra temel olarak hazırlanan sondaj sıvısı hariç kalan numune kaplarına 0,1 ile 2 (% k/h) aralığında toz grafit eklenip karıştırılmıştır. Hazırlanan numuneler 24 saat dinlendirilmiştir. Hazırlanan spud çamuru ile birlikte toplam 21 tane çamur örneği özellikleri incelenmek için hazır hale getirilmiştir.

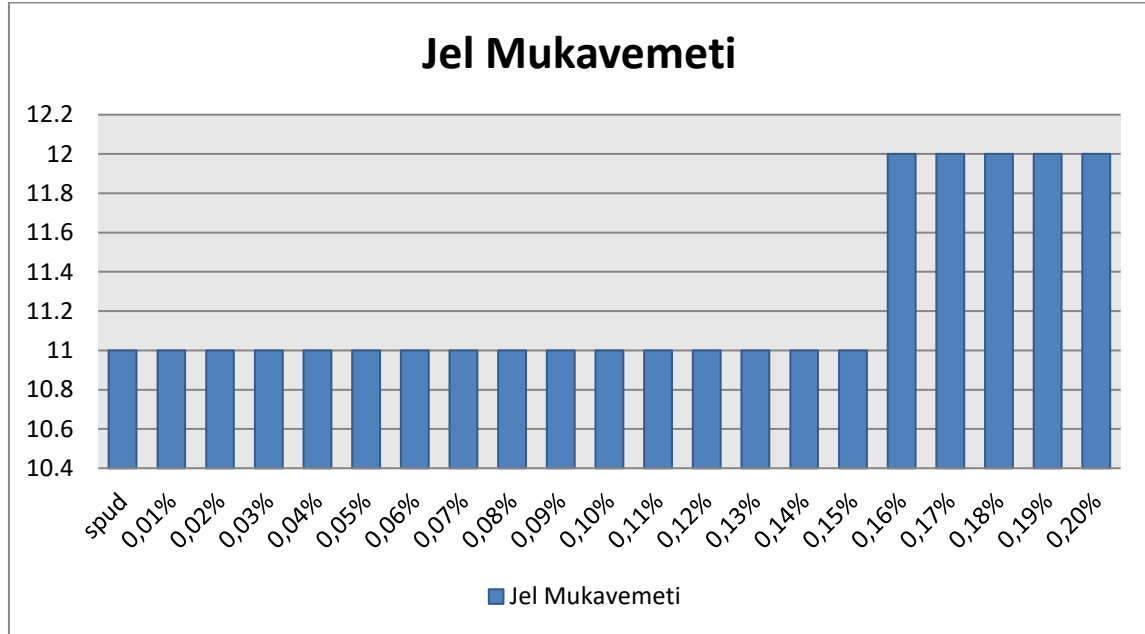
Hazırlanan su bazlı sondaj çamuru numunelerinin reolojik özellikleri FANN 35 türü viskozimetre ölçüm aleti ile incelenmiştir. Bu cihazı kullanarak görünür viskoziteyi, plastik viskoziteyi, kopma noktası ve de jel mukavemetinin ölçümü yapılmıştır. Filtrasyon kaybının ve çamurun kek kalınlığının ölçümü Amerikan Petrol Enstitüsü (API)kriterlerine uyumlu filtrasyon kaybı test cihazları kullanılıp,hazırlanan çamur örneklerinin API ölçütlerine uygun olarak analizleri yapılmıştır [10, 62].

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

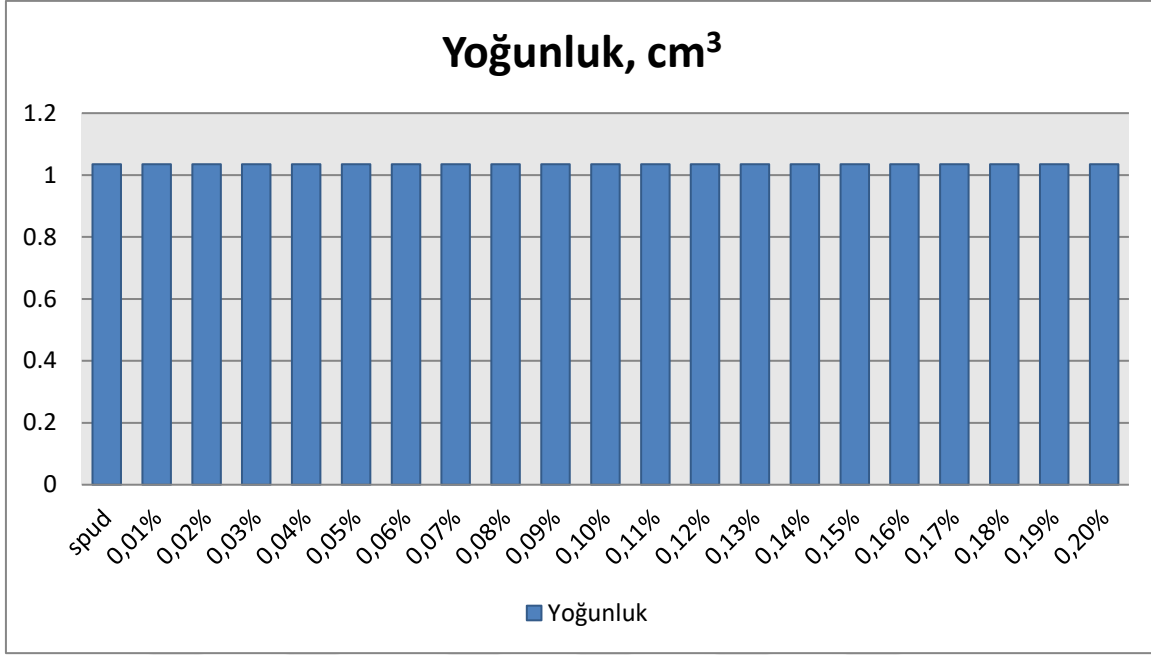
Deneyley için su bazlı sondaj çamuruna (0,01-2 % k/h) aralığında toz grafit eklenip 24 saat dinlendirildikten sonra sondaj çamurunun özellikleri ölçülmüştür.



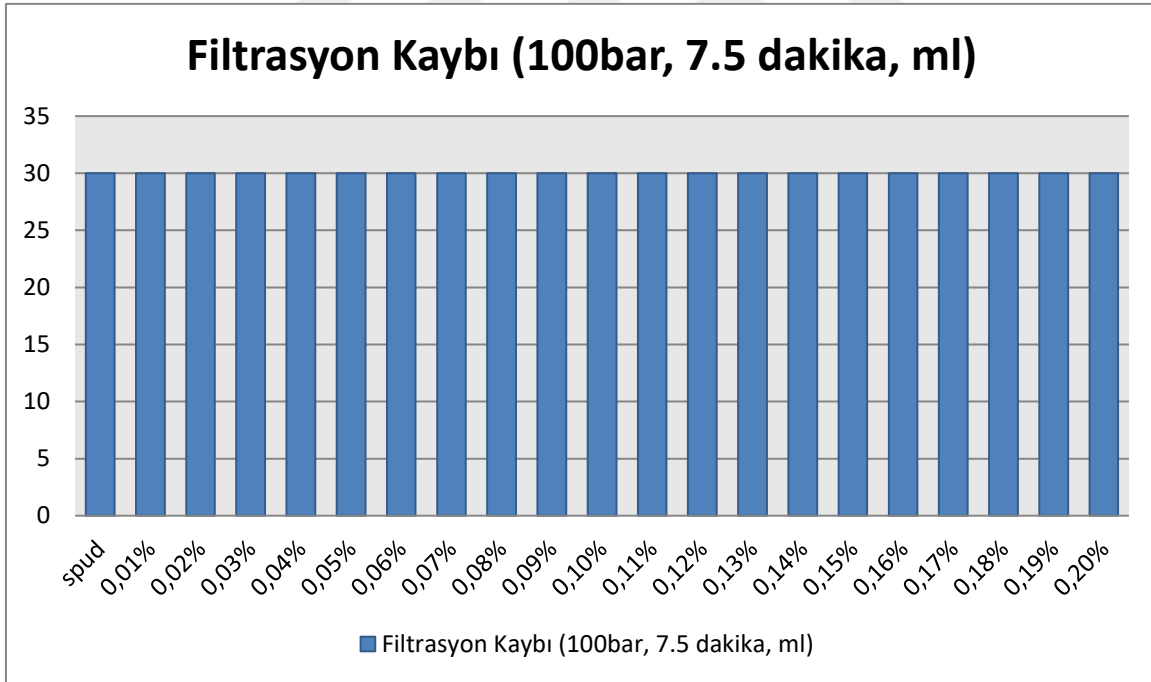
Şekil 4.1. Grafit katkılı sondaj çamurlarının PV, AV ve YP değerleri



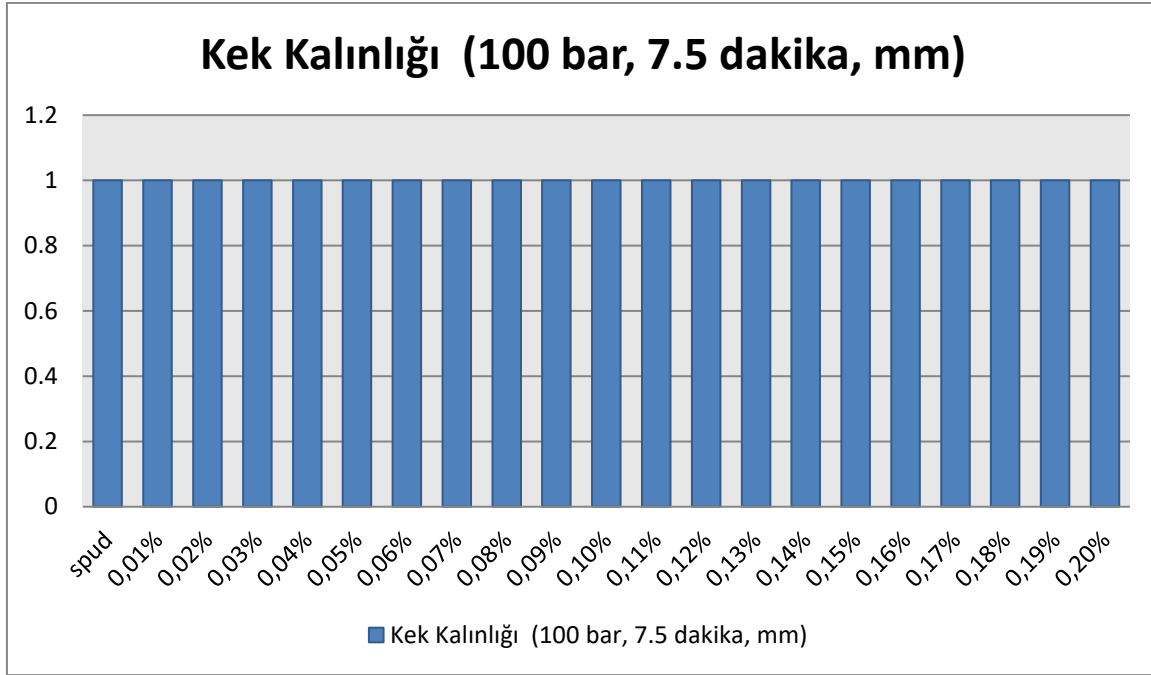
Şekil 4.2. Grafit katkılı sondaj çamurlarının jel mukavemeti değerleri



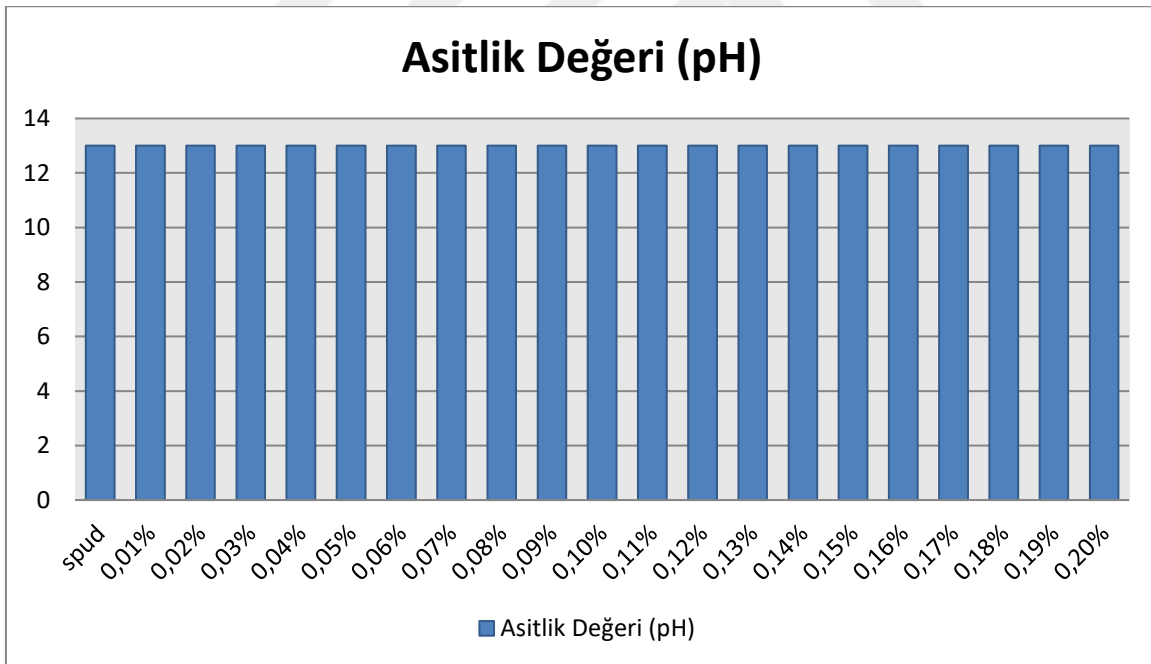
Şekil 4.3. Grafit katkıli sondaj çamurlarının yoğunluk değerleri



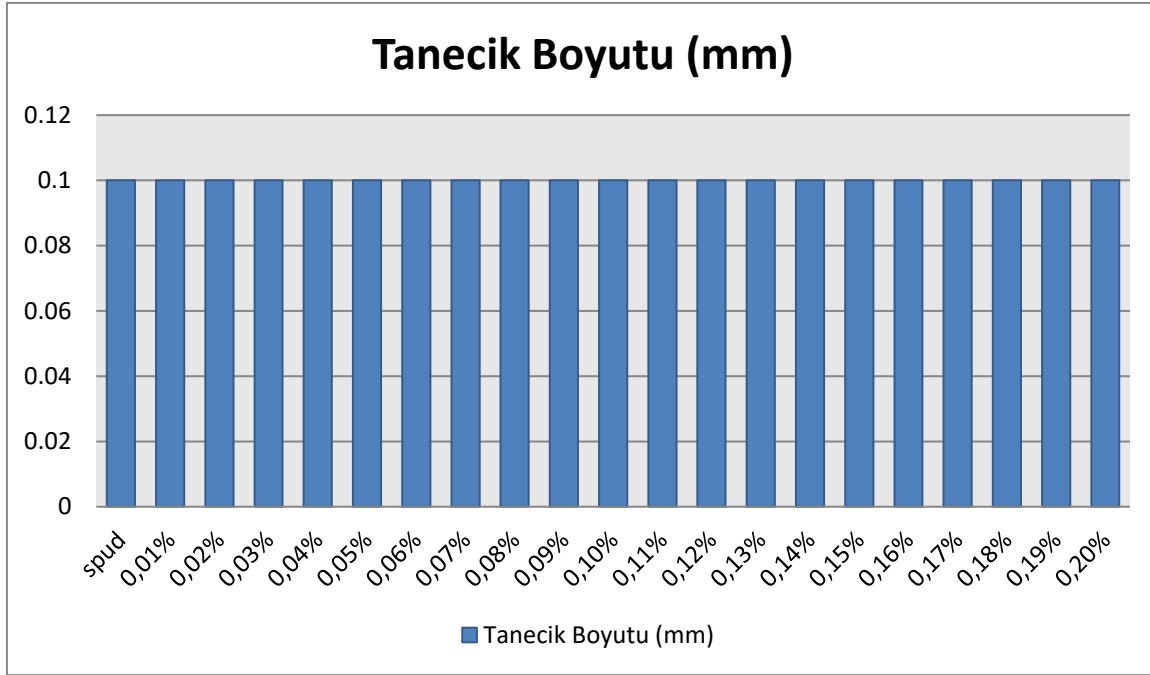
Şekil 4.4. Grafit katkıli sondaj çamurunun sıvı kaybı değerleri



Şekil 4.5. Grafit katkıli sondaj çamurlarının kek kalınlığı değerleri



Şekil 4.6. Grafit katkıli sondaj çamurlarının pH değerleri



Şekil 4.7. Grafit katkılı sondaj çamurlarının tanecik boyutu değerleri

Deney sonuçları değerlendirilince:

- pH değerinin yüksek olması kullanılan kostikten kaynaklanmaktadır. pH'ın artması kuyu ekipmanlarının korozyonuna neden olacaktır.
- Ölçümlenen sondaj çamur yoğunluğu API referans (1,035-1,05) değerleri aralığında kaldığı için problem oluşturmamaktadır.
- Kullanılan grafit sondaj çamurunun tanecik boyutuna(0,1 mm) ölçülebilir bir etkisi olmamıştır.
- Kullanılan grafit sondaj çamurunun filtrasyon kaybı değerlerine de ölçülebilir bir etkisi olmamıştır.
- Kullanılan grafit sondaj çamurunun kek kalınlığı değerine de ölçülebilecek düzeyde etkisi olmamıştır.
- Şekil 4.1 incelendiğinde görünür viskozite değerinin eklenen grafit oranına bağlı olarak arttığı görülmüştür. Viskozite akışkanların akmaya karşı gösterdiği direncin ölçüsüdür. Viskozite değerinin yüksek olması hareketli noktaların arasındaki hız farkını da o kadar artıracaktır. Hızdaki değişimin miktarı uygulanan kuvvetin büyüklüğüyle doğru orantılı olacak şekilde değişiklik göstermektedir. Hızın kuvvetle olan oranını eşitlemek amacıyla kullanılan değere viskozite denir [68]. Viskozitenin artmasının çamura etkisi olumludur.

- Çamurdaki katıların miktarı, türü ve boyutuna bağlı olarak akışa karşı iç direnci ölçen plastik viskozite değerleri Şekil 4.1'de verilmiştir. Su bazlı sondaj çamurlarına eklenen katkı maddelerin ve çamurun sıvı faz ile çarpışması mekanik sürtünmeye neden olmuştur. İyi bir plastik viskoziteye sahip çamur üretimi, kuyunun temizlenme oranını yükseltir. Sondaj çamuru için çok yüksek plastik viskozite istenmez. Çünkü yüksek viskoziteli çamurlar sondaja zarar vermektedir. Plastik viskozitedeki artış, akış hızını geciktirebilir ve kaldırma kapasitesindeki herhangi bir artışı dengeleyebilir. Bu nedenlerden dolayı plastik viskozitenin kontrol altında olması kuyunun devamlılığı için önemlidir.
- Kopma noktası çamur içindeki partiküllerin arasındaki çekim kuvvetidir. Kopma noktası değerleri Şekil 4.1'de verilmiştir. Kuyuda bulunan katıların türüne, yüzeylerindeki yüklere, konsantrasyonlarına ve kuyuya akabilecek iyon veya tuzların türüne göre kopma noktası değerleri değişiklik göstermektedir. Yüksek yoğunluklu çamurlarda kopma noktası yüksek olmalıdır. Kopma noktasının yüksek olması kuyunun temizlenme oranını artırır. Şekil4.1 incelendiğinde kopma noktası değerinin grafit oranının artmasına bağlı olarak göreceli olarak arttığı tespit edilmiştir. Şekil 4.1 incelendiğinde grafit oranının artıkça sondaj çamurunun kopma noktası değeri artmaktadır. Bu da kuyunun temizlenebilme kabiliyetini artırmaktadır.
- Uzun süre hareketsiz olan sondaj çamurunun sirkülasyona başlaması için gerekli olan kayma geriliminin ölçüsüne jel mukavemeti denir. Diğer bir deyişle kuyuda sirkülasyon durduğu zaman matkabın kestiği kırıntıları askıda tutması istenir. İyi temizlenmemiş kuyularda torkun yüksek olması, kuyuda stabilizasyon sorununun olması, sirkülasyonda kaybın olmasına ve formasyonda hasar olması gibi problemler meydana getirir. Sondaj devam ederken meydana gelen bu problemlerin bertaraf edilmesi jel mukavemetinin iyi olmasına bağlıdır. Şekil 4.2 incelendiğinde grafit katkılı sondaj çamurlarının jel mukavemeti değerleri oran artıkça artmaktadır. Bu da çamurun kuyuda sirkülasyon olmadığı zamanlarda kesintileri askıda tutabilme kabiliyetinin artmasına sağlamaktadır.

Rashid ve arkadaşları (2018), su bazlı sondaj sıvısının sürtünme katsayısını azaltmak için çok duvarlı karbon nanotüpler (MWCNT) ve grafen nanotrombositler (GNP) ekleyerek sondaj sıvılarının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin araştırmışlardır. Bizim çalışmamızdakine benzer olarak sondaj sıvısının görünür viskozite, akma noktası değerlerini iyileştirdiği, bizim çalışmamızdan farklı olarak filtrat kaybını ve plastik viskoziteyi de iyileştirdiğini, geri kalan özelliklere ölçülebilir etkilerini tespit edememişlerdir.

Mohideen ve arkadaşları (2019), çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNT) ve grafen oksitin (GO) çeşitli kombinasyonlarını kullanarak, su bazlı sondaj sıvısına katkılamışlardır. Hazırlanan su bazlı sondaj çamurlarının bizim çalışmamızdaki gibi jel mukavemetini arttırdığını, bunun dışında filtrasyon kaybını azalttığını da tespit etmişlerdir.

Özkan ve diğerleri (2022), grafen oksit katkılı su bazlı sondaj çamurunu incelemişlerdir. Grafen oksit katkısının çamurda; bizim çalışmamıza benzer olarak jel mukavemetinin 10 saniye ve 10 dakika değerlerinde % 33 ve % 43'lük artışı, AV'de % 44'lük artış ve YP'de % 30 artış saptamışlardır. Bizim çalışmamızdan farklı olarak bu çalışmada sıvı (filtrasyon) kaybı değerinin % 9,52 oranında azaldığını, PV'de % 67 artış tespiti yapmışlardır.

Grafitin ton olarak maliyeti ortalama olarak yaklaşık 550 dolardır [69]. Tuzla bölgesinde, yapılan 2542 m derinliğindeki Çamköy formasyonu jeotermal sondaj sahasının incelenmesi sonucu: sondaj spud çamur ile başlatıldıktan sonra sırayla lignosülfonat ve polimer çamurları kullanılmıştır. Çamurun maliyeti kuyunun her kademedeki çapında ve çamurların her çeşidi için özel olarak hesap edilmiştir, maliyetlerin birim analizi yapılmıştır. Hesaplamaların sonucunda kademelerin tümünde kullanılmış ve sondaj bitene kadar kullanılmış olan çamurların katkı malzemelerinin tutarı 53464,43 \$ olarak hesaplanmıştır. Varilin biriminin maliyet tutarı, 5,92 \$, metresel birimi maliyetinin tutarı ise 24,43 \$ hesap edilmiştir [54]. Grafit sondaj çamuruna kaydedilebilir etkiyi % 1,6-2 aralığında yaptığı için maliyeti bu aralık üzerinden hesaplanmalıdır. Bu aralıkta hazırlanan sondaj çamuru numunelerinde kullanılan grafit miktarı ortalama olarak 25.772 gram olmaktadır. Bu da 1 ton çamur hazırlanması için yaklaşık olarak 12.850 kg'lık grafit kullanımı gerektirmektedir. Yani 1 tonluk grafit içeren çamurun hazırlanması için kullanılacak grafitin maliyeti yaklaşık olarak 7,0675 \$ olmaktadır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, grafitten sondaj çamuru hazırlanması ve hazırlanan sondaj çamurunun özelliklerindeki değişimlerin incelenmesi hedeflenmektedir.

Bu amaçla %0,01 ile %2 aralığındaki oranlarda toz grafit ihtiva eden sondaj çamurları hazırlanmış ve hazırlanan sondaj çamurlarının PV, AV, YP, jel mukavemeti değeri, sıvı kaybı, kek kalınlığı gibi reolojik özellikleri ve çamurun yoğunluğu ve pH'a etkileri incelenmiştir. Deneyler laboratuvar ortamında ve API standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Deneyler sonucunda katkısız(spud) çamur ile toz grafit ihtiva eden sondaj çamuru özellikleri karşılaştırılmıştır. Sonuçlar aşağıdaki gibi listelenmiştir.

Grafit katkılı sondaj çamuru ile Spud çamuru mukayesesi:

- Çamur Yoğunluğu kaydedilebilir bir değişiklik göstermemiştir.
- Plastik Viskozite (PV) kaydedilebilir bir değişiklik göstermemiştir.
- Görünür Viskozite (AV) % 5 oranında artmıştır.
- Kopma Noktası% 36 oranında artmıştır.
- Jel Mukavemeti % 9 oranında artmıştır.
- Kek Kalınlığı kaydedilebilir bir değişiklik göstermemiştir.
- Sıvı Kaybı (Filtrasyon) kaydedilebilir bir değişiklik göstermemiştir.
- Tanecik Boyutu kaydedilebilir bir değişiklik göstermemiştir.
- pH kaydedilebilir bir değişiklik göstermemiştir.

Elde edilen bu verilerin ışığında sondaj çamurunun görevlerini yerine getirebilmesi çamur özelliklerinin stabil olmasıyla mümkündür. Bu fikirden de yola çıkılarak elde edilen sonuçların ihtiyaç duyulan sondaj operasyonlarında kullanılan çamurların yapımına katkısı olacağı açıktır. Artan maliyetlerin de hazırlanan sondaj çamurlarında seçilecek katkı maddelerinin seçimi daha önemli yaptığı da göz önünde bulundurulsa yapılan çalışmanın önemi daha iyi anlaşılacaktır. Sondaj operasyonlarının başarısı için çamur sistemlerinin iyi tasarlanması ve kontrolünün düzenli olarak yapılması gerekir.

Farklı türde çamur katkı maddeleri kullanılarak yapılan çalışmaların sayısının artmasının istenilen özelliklerde sondaj çamuru hazırlanmasına katkısı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Bloys, B.; Davis, N.; Smolen, B.; Bailey, L.; Houwen, O.; Reid, Paul.; Sherwood, John.; Fraser, L.; Hodder, M. Designing and managing drilling fluid, April 1994.
2. Amanullah, M.; AlArfaj, M. K.; Al-abdullatif, Z. A. Preliminary test results of nano-based drilling fluids for oil and gas field application. In Proceedings of the SPE/IADC Conference and Exhibition, Amsterdam, The Netherlands, 1–3 March 2011.
3. Borisov, A.S.; Husein, M.; Hareland, G. A field application of nanoparticle-based invert emulsion drilling fluids. *J. Nanopart. Res.* **2015**, *17*, 340.
4. Taha, N. M.; Lee, S. Nanographene application improving drilling fluids performance. In Proceedings of the International Petroleum Technology Conference (IPTC 18539), Doha, Qatar, 6–9 December 2015.
5. Friedheim, J.; Young, S.; DeStefano, G.; Lee, J.; Guo, Q. Nanotechnology for oil field applications Hype or reality? In Proceedings of the SPE International Nanotechnology Conference, Noordwijk, The Netherlands, 12–14 June 2012.
6. Hoelscher, K. P.; Young, S.; Friedheim, J.; De Stefano, G. Nanotechnology application in drilling fluids. In Proceedings of the 11th Offshore Mediterranean Conference and Exhibition, Ravenna, Italy, 20–22 March 2013.
7. Gerogiorgis, D.I.; Clark, C.; Vryzas, Z.; Kelessidis, V.C. Development and parameter estimation for an enhanced multivariate herschel-bulkley rheological model of a nanoparticle-based smart drilling fluid. *Comput. Aided Chem. Eng.* **2015**, *37*, 2405–2410.
8. Reilly, S.I.; Vryzas, Z.; Kelessidis, V.C.; Gerogiorgis, D.I. First principles rheological modelling and parameter estimation for nanoparticle-based smart drilling fluids. *Comput. Aided Chem. Eng.* **2016**, *38*, 1039–1044.
9. Gerogiorgis, D.I.; Reilly, S.I.; Vryzas, Z.; Kelessidis, V.C. Experimentally validated first-principles multivariate modelling for rheological study and design of complex drilling nanofluid systems. In Proceedings of the SPE/IADC Drilling Conference and Exhibition (SPE/IADC), The Hague, The Netherlands, 14–16 March 2017.
10. API RP 13B-1 (2009). Su Bazlı Sondaj Sıvılarının Saha Testi için Önerilen Uygulama. 4. Baskı: API
11. Fauvelle, M. (1846). On a new method of boring for artesian springs. *Journal of the Franklin Institute*, *42*(6), pp. 369-372.
12. Chapman, M.T., 1890. U.S. Patent Records, U.S. Patent No. 443,069 (Dec. 16).

13. Harth, P.E. (1935). Application of mud-laden fluids to oil or gas wells. U.S. Patent No. 1,991,637 (Feb.19).
14. Fink, J. (2011). Petroleum engineer's guide to oil field chemicals and fluids. Gulf Professional Publishing.
15. Apaleke, A. S., Al-Majed, A. A., ve Hossain, M. E. (2012).Drilling Fluid: State of The Art and Future Trend. In North Africa Technical Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers.
16. Shah, S. N., Shanker, N. H. ve Ogugbue, C. C. (2010). Future challenges of drilling fluids and their rheological measurements. In AADE fluids conference and exhibition, Houston, Texas.
17. Abdo, J. ve Haneef, M. (2012). Nano-Enhanced Drilling Fluids: Pioneering Approach to Overcome Uncompromising Drilling Problems. J. Energy Resour. Technol., 134(1), p.014501.
18. TPAO, 2004. Araştırma Merkezi Sondaj Teknolojisi Müdürlüğü, Ankara.
19. Nwaiche, J. (2015). Selection and application of drilling fluids. Teesside University. İnternet linki: <https://www.researchgate.net/publication/275334398> Erişim Tarihi: 17.04.2023.
20. Caenn, R., ve Chillingar, G. V. (1996). Drilling fluids: State of the art. *Journal of petroleum science and engineering*, 14(3-4),221-230.
21. Chemwotei, S. C. (2011). Geothermal drilling fluids. *Report*, 10,149-177.
22. Aboulrous, A. A., Mahmoud, T., Alsabagh, A. M., ve Abdou, M. I. (2016). Application of natural polymers in engineering. In *Natural Polymers* (pp. 185-218). Springer, Cham.
23. Khodja, M., Khodja-Saber, M., Canselier, J. P., Cohaut, N., ve Bergaya, F. (2010). Drilling fluid technology: performances and environmental considerations. *Products and services; from R&D to final solutions*, 227-256.
24. Dhiman, A. S. (2012). Rheological properties & corrosion characteristics of drilling mud additives. *M. Sc, DalhouseUniversity*.
25. Altun, G., Osgoueı, A. E., ve Serpen, U. (2013). su bazlı sepiolit çamur özelliklerinin zorlu sondaj koşullarında deneysel olarak incelenmesi.
26. Alyasiri, M., Antony, J., ve Wen, D. (2017). Enhancement of Drilling Fluid Rheology by Nanoparticles. *Annu. Trans. Nord. Rheol. Soc.*, 25,349-351.
27. Macosko, C.W. ve R.G. Larson (1994) Rheology: principles, measurements, and applications", VCHWiley.

28. Tıknaz, S. (2022). Nanopartikül Maddelerle Fonksiyonelleştirilmiş Grafen Oksidin Sondaj Çamuru Katkı Malzemesi Olarak Kullanılması, İSTE, Lisansüstü Eğitim Enst. Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans tezi, Hatay.
29. Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı [TPAO] (2007). Sondaj Akışkanları Teknolojisi, Araştırma Merkezi Daire Başkanlığı, Ankara.
30. Barnes, H. A., Hutton, J. F. ve Walters, K., (1989). An introduction to rheology. Vol.3. Elsevier.
31. Gücüyener, I. H., (1983). A rheological model for drilling fluids and cement slurries. In Middle East Oil Technical Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers.
32. Emsap, W. J., Siepmann, J. ve Paeratakul, O., (2002). Disperse Systems In Modern Pharmaceutics, ; Ed: Banker, GS, Rhodes, CT. Marcel Dekker, Inc. New York, 121, 260-261.
33. Martin A., (1993). Rheology. Physical Pharmacy (Fourth Ed),Eds: A Martin, P Rustamante, A C Chun, Lea&Febiger Philadelphia, 453-476.
34. Çelebi, N., (2009). Rheology. Modern Farmasötik Teknoloji, 391-405.
35. Özüdoğru S. ve Babür, E., (2001), Jeotermal Akışkan Üretim ve Re-Enjeksiyon Kuyuları", Jeotermal Enerji Doğrudan Isıtma Sistemleri: Temelleri ve Tasarımı, Sayfa: 35-124, MMO Yayın No: 270.
36. Bourgoyne, A. T., Millheim, K. K., Chenevert, M. E. ve Young, F. S., (1991). Applied drilling engineering. SPE Textbook Series, Dallas, TX, 2.
37. Schott H., (2000). Rheology. Remington: The Science and Practice of Pharmacy, (20th Ed), Lippincott Williams & Wilkins, Baltimore, Maryland. s. 335-355.
38. Nguyen, Q. D. ve Boger, D. V., (1992). Measuring the flow properties of yield stress fluids. Annual Review of Fluid Mechanics, 24(1), 47-88.
39. Caenn, R., Darley, H. C. ve Gray, G. R., (2011). Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids, 6th ed., USA: Gulf Professional Publishing is an imprint of Elsevier.

40. Avcı, E. (2018). Jeotermal Sularla Hazırlanmış Çamurların Sondaj Performansına Etkisi, İSTE, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enst. Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Anabilim dalı, Yüksek Lisans tezi, Hatay.
41. Fann Instrument Company [FIC] (2014). Fann Product Catalog, Drilling Fluids Testing - Oil Well Cement Testing - Industrial Products.
42. Annis, M.R., Smith, M.V. (1974). Drilling Fluids Technology. Revised Edition, Exxon Company, U.S.A.
43. IADC Drilling Manual-Eleven Edition (2000). International Association of Drilling Contractors All Rights Reserved, O1-O37.
44. Özkan, A., Turan, S. E., Kaplan, B. M. (2018). Investigation of Fly Ash Effect on Rheological and Filtration Properties of Drilling Muds. Fresenius environmental bulletin, 27(12), 9189-9194.
45. Finger, J., ve Blankenship, D. (2010). Handbook of Best Practices for Geothermal Drilling. Sandia National Laboratories, Albuquerque.
46. Yer Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi, (2013). İnternet linki: <http://yebim.ankara.edu.tr/2013/04/25/x-isinlari-floresans-spektrometresi-xrf/> , Son Erişim Tarihi: 31.03.2023.
47. NSF International, (2020). İnternet linki: https://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/techniques/XRF.html, Son Erişim Tarihi: 31.03.2023.
48. Guy, O. J. ve Walker, K.-A. D. (2016). Graphene Functionalization for Biosensor Applications. Silicon Carbide Biotechnology, 98.
49. NSF International, (2017). İnternet linki: https://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/techniques_SEM.html , Son Erişim Tarihi: 31.03.2023.
50. Seesaard, T., Kerdcharoen, T., ve Wongchoosuk, C. (2020). Hybrid materials with carbon nanotubes for gas sensing. Semiconductor Gas Sensors, 204.
51. Pierson, H. O. (1993). Handbook of Carbon, Graphite, Diamond and Fullerenes Properties, Processing and Applications. New Jersey, USA.: Noyes Publications.

52. Özkan, V. (2019). Nanopartikül Katkılandırılarak Nanokompozit Malzeme Üretimi ve Karakterizasyonu, İSTE, Fen Bilimleri Enst. Makine Mühendisliği Anabilim dalı, Doktora tezi, Hatay.
53. Arı, O., Görgün, A.F., Kaya, A., Coşkun Ö. ve Kaya, İ. (2012). Karbon nanotüp malzeme ile tasarlanan heliks antenlerin performans parametrelerinin incelenmesi. SDU Teknik Bilimler Dergisi, 2(4), 1-7.
54. Erdoğan, Y. ve Kök, O.E., 2017. Çamköy Formasyonundaki Jeotermal Sondaj Çamurunun Reolojik ve Kimyasal Özelliklerinin İncelenmesi, Türkiye 25. Uluslararası Madencilik Kongresi, Bildiriler Kitabı, Cilt 1, 763-775, Antalya.
55. MTA (2023) , İnternet linki: <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/bentonit> Erişim tarihi: 17.03.2023.
56. Karben Bentonit (2023), İnternet linki: <https://www.karben.com.tr/urunler/bentonit-bentonit-kili-bentonit/> Erişim tarihi: 17.03.2023.
57. Kostikkostik ürünleri (2023), İnternet linki: <https://kostikkostik.com/urun/payet-kostik-25-kg/> Erişim Tarihi: 17.03.2023.
58. MTA (2023), İnternet linki: <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/grafit> Erişim Tarihi: 17.03.2023.
59. Asbury Carbons (2023), İnternet linki: <http://www.asbury.com> Erişim Tarihi: 17.03.2023.
60. Archer Exploration Limited Grafit 2011, İnternet linki: <http://www.archerexploration.com.au/assets/pdfs/AXE%20Graphite%20110922.pdf>, Erişim tarihi 09.03.2012.
61. Uysal, S. Grafit, Türkiye ve Mena Endüstriyel Mineraller ve Madencilik Zirvesi, Mayıs 2012.
62. Specifications, A.P.I., (2010). 13A, 2010. Specification for Drilling Fluid Materials.
63. Sebüktekin, B.M. (2019). Bor türevleri katkılanmış sondaj çamurunun reolojik ve filtrasyon özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, İskenderun.

64. Turan, S.E. (2019). Sondaj çamuruna uçucu kül eklenmesinin çamurun reolojik ve filtrasyon özelliklerine etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, İskenderun.
65. Çuhadaroğlu, A.D., Kara, E. (2018). Grafit: Bir genel Değerlendirme. SDU Teknik Bilimler Dergisi, 8(1), 14-16.
66. Rew, Y., Baranikumar, A., Tamashauský A.V., El-Tawil, S., Park, P. (2017) Electrical and mechanical properties of asphaltic composites containing carbon based fillers, İnternet linki: <https://www.researchgate.net/publication/312367671/> Erişim Tarihi: 17.04.2023.
67. Kimya Deposu (2023), İnternet linki: <https://kimyadeposu.com/urun/grafit-tozu-99-saf-500gr/> Erişim Tarihi: 12.04.2023.
68. Türkçe Jeoloji Bilgi Sayfası (2023), İnternet linki: https://www.jeolojitr.com/2014/09/sondaj-camurunun-ozellikleri_21.html Erişim Tarihi: 19.06.2023.
69. Alibaba (2023), İnternet linki: <https://turkish.alibaba.com/g/graphite-price-per-kg.html> Erişim Tarihi: 19.06.2023.

DİZİN

A

Akış, 12, 13, 14, 15, 16

B

bentonit, 24, 25, 26

Ç

Çamur Ağırlığı, 11, 17, 34

D

Delme hızı, 7

Dilatent, 16

F

Filtrasyon, 11, 12, 20, 26, 37

Fiziksel özellikler, 17, 26

Formasyon basıncı, 6, 11

G

Görünür viskozite, 15, 33, 37

Grafit, 23, 28, 29, 30, 31

H

Hava Bazlı, 10

J

jel mukavemeti, 19, 33, 37

K

Karbon, 23

Kayma gerilmesi, 13

Kopma noktası, 19, 37

Kostik, 27

Kimyasal özellikler, 20, 26

N

Nano, 1, 2, 3, 23

Nanopartikül, 2

Newtoniyen, 14

O

Organik, 10

P

Psedoplastik, 16

pH, 35

Plastik viskozite, 19, 26, 33, 37

Plastik, 15

R

reolojik, 12, 14

reopektik, 16

S

SEM, 22

Sıvı kaybı, 7, 11, 34, 37

Sondaj, 24, 31, 33, 37

Su bazlı, 9, 10, 11

Sirkülasyon, 5, 6, 8, 11, 12

T

TEM, 22

Tiksotropik, 16

X

XPS, 22

XRF, 21



TEKNOVERSİTE





teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

İSTE

