BOR TÜREVLERİ KATKILANMIŞ SONDAJ ÇAMURUNUN REOLOJİK VE FİLTRASYON ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Behlül Merve SEBÜKTEKİN

YÜKSEK LİSANS
PETROL VE DOĞALGAZ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAYIS 2019

Behlül Merve SEBÜKTEKİN tarafından hazırlanan "BOR TÜREVLERİ KATKILANMIŞ SONDAJ ÇAMURUNUN REOLOJİK VE FİLTRASYON ÖZELLİKLERİNİN 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 DEPCİ

Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

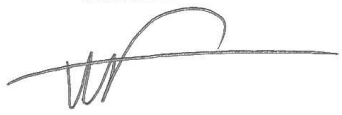
İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- ☑ 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 çalışmasında 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.

Behlül Merve SEBÜKTEKİN

30/05/2019



BOR TÜREVLERİ KATKILANMIŞ SONDAJ ÇAMURUNUN REOLOJİK VE FİLTRASYON ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Behlül Merve SEBÜKTEKİN

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mayıs 2019

ÖZET

Sondaj çamuru petrol aramalarının en büyük maliyet kalemini oluşturduğu için sürekli olarak üzerinde çalışılan konu olmuştur. Çeşitli katkı maddeleri eklenerek sondaj çamurunun reolojik ve filtrasyon özelliklerinin iyileştirilmeye yönelik çalışmalar her geçen gün artarak devam etmektedir. Bu çalışmada, petrol aramalarında en çok kullanılan sondaj çamuru türü olan, su bazlı sondaj çamuru hazırlanmış ve hazırlanan sondaj çamuruna; 45 µm tanecik boyutuna sahip sodyum borat grubu minerali boraks ($Na_2B_4O_7.10H_2O$), 75 µm tanecik boyutuna sahip sodyum-kalsiyum borat grubu minerali üleksit ($NaCaB_5O_9.8H_2O$) ve 100 µm tanecik boyutuna sahip kalsiyum borat grubu minerali kolemanit ($Ca_2B_6O_{11}.5H_2O$) farklı konsantrasyonlarda (1-5 % w/v) ilave edilmiştir. Daha sonra bor mineralleri eklenerek hazırlanmış olan sondaj çamuru numunelerinin plastik viskozite (PV), görünür viskozite (AV), jel mukavemeti gibi reolojik özellikleri FANN 35 Viskometre, su kaybı ve kek kalınlığı gibi filtrasyon özellikleri ise Amerikan Petrol Enstitüsü (API) sıvı kaybı test aletleri kullanılarak detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Tüm ölçümler, Amerikan Petrol Enstitüsü (API) standartlarına göre gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, hazırlanan sondaj çamuru numunelerinin kimyasal ve morfolojik özellikleri X ışını floresans spektrometresi (XRF) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) cihazlarıyla belirlenmiştir. Boraks, üleksit ve kolemanit minerallerinin ayrı ayrı eklenmesi (% 1-5 w/v) ile hazırlanan sondaj çamurlarının reolojik ve filtrasyon özellikleri kendi içlerinde, daha sonra birbirleri ile ve son olarakta katkısız su bazlı sondaj çamuru ile karşılaştırılmıştır. Bor minerallerinin sondaj çamurunun reolojik özelliklerine olumlu yönde katkı sağladığı tespit edilmiştir. Boraks ve kolemanitin, üleksite oranla daha iyi bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Katkısız su bazlı sondaj çamuruna kıyasla, çamura bor mineralleri eklenmesinin çamurun filtrasyon kaybı ve kek kalınlığını attırdığı görülse de sonuçların referans değer aralığında olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Boraks, üleksit, kolemanit, su bazlı sondaj çamuru, reolojik özellikler, filtrasyon kaybı

Sayfa Adedi : 45

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Abdullah ÖZKAN

INVESTIGATION OF THE REOLOGICAL AND FILTRATION PROPERTIES OF THE BORON DERIVATIVES DOPED DRILLING MUD

(M. Sc. Thesis)

Behlül Merve SEBÜKTEKİN

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY
ENGINEERING AND SCIENCE INSTITUTE

May 2019

ABSTRACT

Drilling mud is always a topic that is studies on because it composes the biggest cost of oil exploration. With the addition of various additivies, the efforts to improve the rheolgoical and filtration properties of the drilling mud continue to increase day by day. In this study, water based drilling mud, which is the most widely used type of drilling mud in oil exploration was prepared and in to the prepared drilling mud sodium borate group mineral borax ($Na_2B_4O_7.10H_2O$) having a particle size of 45 μm, sodium-calcium borate group mineral ulexite ($NaCaB_5O_9.8H_2O$) having a particle size of 75 μm and calcium borate group mineral colemanite ($Ca_2B_6O_{11}.5H_2O$) with a particle size of 100 μm were added in different concantrations (1-5 % w/v). Then drilling mud samples prepared by adding boron minerals plastic viscosity (PV), apparent viscosity (AV), gel strength, such as the rheological properties FANN 35 Viscometer, water loss and cake thickness, such as filtration properties of the American Petroleum Institute (API) fluid loss test equipment used analyzed in detail. All measurement were carried out according to American Petroleum Institute (API) standard. Besides, chemical and morphological properties of prepared drilling mud samples were determined with X-ray fluorescence spectrometry (XRF) and scanning electron microscopy (SEM) devices. The rheological and filtration of drilling mud wich is prepared by adding borax, ulexite and colemanite seperately was compared with firstl among themselves and then with each other and finally with the püre water based drilling mud. It has been determined that boron minerals contribute positively to the rheological properties of drilling mud. It shows that borax and colemanite have a better effect than ulexite. Minerals was determined that compared to water based drilling mud, the additionof boron minerals to the mud results were within the reference value range although it increased the sludge filtration rate and cake thickness.

Key Words : Borax, ulexite, colemanite, water based drilling mud, rheological properties, filtration loss

Page Number : 45

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Abdullah ÖZKAN

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin başlangıcından bitimine kadar değerli vakitlerini ayırıp bilgi ve birikimlerini paylaşan, maddi ve manevi hiçbir konuda yardımlarını esirgemeyen, hakkını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim saygıdeğer danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Abdullah ÖZKAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca moral ve motivasyonum düştüğünde her zaman yanımda olan ve beni motive edip en iyi en güzel şekilde yönlendiren değerli hocam Dr. Arş. Gör. Vildan ÖZKAN'a ve Sn. Çiğdem ÇiL'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca deneysel çalışmalarımda benden her konuda yardımlarını esirgemeyen Petrol ve Doğalgaz Mühendisi Çağlar EKER'e, akademik tecrübeleri ile her daim bana yardımcı olan Doç. Mehmet Lütfi YOLA ve Prof. Dr. Tolga DEPÇİ hocalarıma çok teşekkür ederim.

Eğitim hayatımın her anında madden ve manen desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen bana her koşulda güvenen ve yanımda olan babam Ahmet KAPLAN annem Kamile KAPLAN ve eşim Mustafa SEBÜKTEKİN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET i

ABSTRACT ii

TEŞEKKÜR iii

İÇİNDEKİLER iv

ÇİZELGELERİN LİSTESİ vi

ŞEKİLLERİN LİSTESİ vii

RESİMLERİN LİSTESİ ix

SİMGELER VE KISALTMALAR x

1. GİRİŞ 1

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE 6

2.1. Sondaj Akışkanlarının Sınıflandırması 6
2.1.1. Su bazlı sondaj akışkanları 6
2.1.2 Organik bazlı sondaj akışkanları 7
2.1.3. Hava bazlı sondaj akışkanları 7
2.2. Sondaj Akışkanın Görevleri 7
2.3. Sondaj Akışkanın Reolojik Özellikleri 8
2.4. Bor 11
2.4.1. Borun kimyasal ve fiziksel özellikleri 12
2.4.2. Bor mineralleri 14
2.4.3. Dünyadaki bor rezervi 15
2.4.4. Türkiye'de bor 15
2.4.5. Borun kullanım alanları 15

3. MATERYAL ve METOD 17
3.1. Materyal 17
3.1.1. Kullanılan sarf malzeme ve kimyasallar 17
3.2. Metod 17
3.2.1. Viskozite analizi 18
3.2.2. Filtrasyon analizi 20
3.2.3. Yoğunluk (ağırlık) analizi 21
3.2.4. pH analizi 22
3.2.5. X Işını floresans spektrometresi (XRF) analizi 23
3.2.6. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi 23

Sayfa

4. ARAŞTIRMA BULGULARI 24

4.1. Su Bazlı Sondaj Çamurlarının Reolojik Özelliklerine Boraks, Üleksit ve Kolemanitin Etkisi..... 24
4.2. Su Bazlı Sondaj Çamurlarının Filtrasyon Özelliklerine Boraks, Üleksit ve Kolemanitin Etkisi..... 31
4.3. Sondaj Çamuru Yoğunluk Testi 32
4.4. Sondaj Çamurunun pH Testi..... 33
4.5. X Işını Floresans Spektrometresi (XRF) Analizi 34
4.6. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi..... 35

5. SONUÇ VE ÖNERİLER..... 37

KAYNAKLAR 39

ÖZGEÇMİŞ 43

DİZİN..... 45

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. Borun atomik yapısı..... 12

Çizelge 2.2. Borun kimyasal özellikleri..... 12

Çizelge 2.3. Borun fiziksel özellikleri 12

Çizelge 2.4. Bor minerallerinin sınıflandırılması..... 14

Çizelge 2.5. Dünya bor rezervi 15

Çizelge 3.1. Çamur numunelerinin kompozisyonu..... 18

Çizelge 4.1. Boraks numunesinin XRF analiz sonuçları 34

Çizelge 4.2. Üleksit numunesinin XRF analiz sonuçları 34

Çizelge 4.3. Kolemanit numunesinin XRF analiz sonuçları..... 34

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 1.1. Eski Çin sondajı 1

Şekil 2.1. İki paralel tabaka arasındaki lastik takozun kayma kuvveti etkisi ile şekil değiştirmesi 9

Şekil 2.2. Sondaj akışkan türlerinde görünür kayma gerilmesi (shear stress) -kayma hızı (shear rate) grafiği 10

Şekil 2.3. Sondaj akışkan türlerinde görünür viskozite-kayma hızı (shear rate) grafiği 11

Şekil 4.1. 45µ Boraks katkılı çamurun PV, AV ve YP değerleri 24

Şekil 4.2. 75µ Üleksit katkılı çamurun PV, AV ve YP değerleri 25

Şekil 4.3. 100 µ Kolemanit katkılı çamurun PV, AV ve YP değerleri 25

Şekil 4.4. 45µ Boraks, 75µ Üleksit ve 100µ Kolemanitin farklı konsantrasyonlarda sondaj çamuruna eklenmesi sonucu elde edilen PV değerlerinin karşılaştırılması 26

Şekil 4.5. 45µ Boraks, 75µ Üleksit ve 100µ Kolemanitin farklı konsantrasyonlarda sondaj çamuruna eklenmesi sonucu elde edilen AV değerlerinin karşılaştırılması 26

Şekil 4.6. 45µ Boraks, 75µ Üleksit ve 100µ Kolemanitin farklı konsantrasyonlarda sondaj çamuruna eklenmesi sonucu elde edilen YP değerlerinin karşılaştırılması 27

Şekil 4.7. 45µ Boraks katkılı çamurun jel mukavemeti değerlerindeki değişim 28

Şekil 4.8. 75µ Üleksit katkılı çamurun jel mukavemeti değerlerindeki değişim 29

Şekil 4.9. 100µ Kolemanit katkılı çamurun jel mukavemeti değerlerindeki değişim 29

Şekil 4.10. 45µ Boraks, 75µ Üleksit ve 100µ Kolemanitin farklı konsantrasyonlarda sondaj çamuruna eklenmesi sonucu elde edilen 10 sn jel mukavemetleri değerlerinin karşılaştırılması 30

Şekil 4.11. 45µ Boraks, 75µ Üleksit ve 100µ Kolemanitin farklı konsantrasyonlarda sondaj çamuruna eklenmesi sonucu elde edilen 10 dakika jel mukavemetleri değerlerinin karşılaştırılması 30

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.12. Boraks, Üleksit ve Kolemanitin farklı konsantrasyonlarda sondaj çamuruna eklenmesi sonucu elde edilen Sıvı kaybı değerlerinin karşılaştırılması 31

Şekil 4.13. Boraks, Üleksit ve Kolemanitin farklı konsantrasyonlarda sondaj çamuruna eklenmesi sonucu elde edilen Kek kalınlığı değerlerinin karşılaştırılması 32

Şekil 4.14. Boraks, Kolemanit ve Üleksit'in farklı konsantrasyonlarda sondaj çamuruna eklenmesi sonucu elde edilen çamur yoğunluk değerlerinin karşılaştırılması 33

Şekil 4.15. Boraks, Kolemanit ve Üleksit'in farklı konsantrasyonlarda sondaj çamuruna eklenmesi sonucu elde edilen pH değerlerinin karşılaştırılması . 33

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 3.1. Ofite-model 800 marka Fann viskozimetresi 18

Resim 3.2. API filtre press..... 21

Resim 3.3. Çamur Terazisi..... 22

Resim 3.4. pH metre 23

Resim 4.1. Spud çamur ve boraks katkılı sondaj çamurlarının SEM görüntüleri 35

Resim 4.2. Spud çamur ve üleksit katkılı sondaj çamurlarının SEM görüntüleri 36

Resim 4.3. Spud çamur ve kolemanitin katkılı sondaj çamurlarının SEM görüntüleri .. 36

SİMGELER VE KISALTMALAR

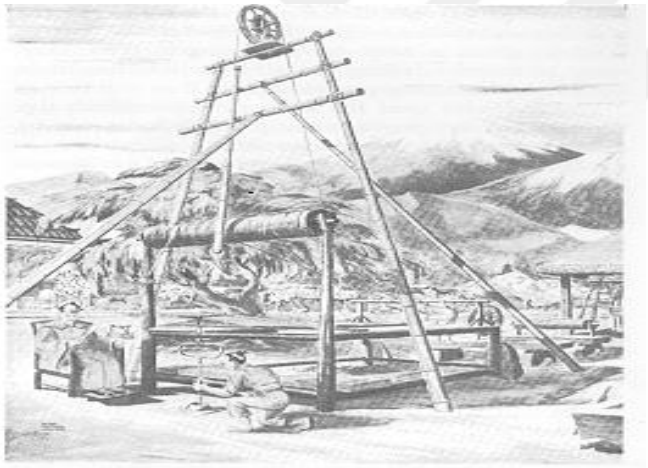
Simgeler	Açıklamalar
γ	Kayma hızı
θ	Viskometre kadran okuması
μ	Viskozite
μa	Görünür viskozite
μp	Plastik viskozite
mg	Miligram
ρm	Çamur ağırlığı
τ	Kayma gerilimi
τy	Akma noktası

Kısaltmalar	Açıklamalar
API	Amerikan Petrol Enstitüsü
AV	Görünür viskozite
PV	Plastik Viskozite
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TPAO	Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
YP	Akma Noktası
XRF	X-Işını Floresans Spektometrisi

1. GİRİŞ

Günümüzde bir ülkenin gelişmişliği yeraltı kaynaklarının mümkün olan en iyi şekilde kullanılmasıyla doğrudan ilişkilidir. Aynı zamanda her geçen gün artan enerji ihtiyacı da göz önünde bulundurulduğunda ülkeler, yeraltı kaynaklarından maksimum faydayı sağlayabilmek ve yeni kaynaklar elde edilmek adına sürekli bir arayış içesindedir. Sondaj teknikleri de bu bağlamda oldukça büyük önem arz etmektedir.

Sondaj işlemi çok eski çağlarda ortaya çıkmış, ilk olarak Çin'de M.Ö. 2000 yıllarında içme suyu ve sodyum klorür-su çözeltisi elde etmek için, hintkamışları yardımıyla darbeli sondaja benzer işlemler ile kuyular açılmıştır (Şekil 1.1). Belirli zamanlarda sert formasyonları yumuşatmak amacıyla su dökülerek formasyon yumuşatılmış ve kuyuda biriken kırıntıları işçilerin bir kova yardımıyla yüzeye taşıması ile ilk sondaj sıvısı kullanımı ortaya çıkmıştır (Özüdoğru ve Babür, 2001).



Şekil 1.1. Eski çin sondajı (Özüdoğru ve Babür, 2001)

1774 yılında 30 metre derinliğe kadar inilerek yapılan kazı işlemi ile ilk petrol kuyusu Fransa'da açılmıştır. 1808 yılında Amerika Birleşik Devletlerinde hayvan gücünün kullanılmasıyla ilk darbeli sondaj tekniği ortaya çıkmıştır. 1887 yılında M.T. Chapman su ve katkı maddelerini kullanılarak, kuyu duvarında ince ve geçirimsiz bir tabaka oluşturulup sondaj işleminde pozitif etki sağladığı vurgulamıştır. Chapman, 1889 yılında ilk defa petrol bazlı sondaj sıvısından bahsetmiş ve ABD' den patent alarak modern çamur mühendisliğinin başlangıcı olmuştur (Özüdoğru ve Babür, 2001). Sondaj çamuru geçmişten günümüze kadar çeşitli katkı kimyasalları kullanılarak sürekli geliştirilmeye çalışılmıştır.

Uygun sondaj akışkanının sondaj operasyonlarını daha kolay ve ekonomik hale getirdiği bilinmektedir. Bu nedenden dolayı polimerler, cevher ve nano malzemeler gibi çeşitli katkı malzemeleri farklı boyutlarda ve kompozisyonlarda sondaj çamuruna eklenerek sondaj akışkanın reolojik özelliklerinin iyileştirilmesine yönelik çalışmalar artarak devam etmektedir (Zhong,Huang ve Cao,2011; Amanullah ve Yu, 2005; Gentzis, Deisman ve Chalaturnyk, 2009; Weng, Gong, Liao, Lv ve Tan, 2018; Zhuang, Zhang, Yang ve Tan, 2018; Nabhani ve Emami, 2012).

Zhuang, Zhang, Jaberb, Gao ve Peng (2017a) petrol esaslı sondaj çamurlarında organo-montmorillonit ve organo-paligorskitin katkı maddesi olarak kullanımını karşılaştırmalı bir şekilde araştırmıştır. Hem OMt hem de Opal'ın, petrol bazlı sondaj sıvılarında reolojik katkı maddesi olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir. OMt'nin mükemmel reolojik özellikler sağladığı ve Opal'ın sabit termal kararlılığa sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Saxena, Pathak, Ojha ve Sharma (2017) hava bazlı çamur sınıfından olan köpüğün yatay düz borulardan akışının deneysel ve modelleme hidrolik çalışmalarını incelemişlerdir. Yatay düz borular boyunca akan köpüğün reolojisinin basınç düşüşüne önemli bir katkı sağladığını belirtmişlerdir.

Werner, Myrseth ve Saasen (2017) sondaj akışkanlarının viskoelastik özellikleri ve kırıntıları taşıma kapasiteleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarında kullanılan petrol bazlı sondaj akışkanları ve su bazlı sondaj akışkanlarının parçacıkları kesme, taşıma yetenekleri ve viskoelastik davranışlarının daha iyi sonuç verdiğini kanıtlamışlardır.

Zhao, Qiu, Huang ve Wang (2017) su bazlı sondaj çamurunun derin su sondajlarındaki sıcaklık düşüşlerinde reolojik özelliklerinin etkilerini incelenmişlerdir. Bu çalışmada önerilen reolojik kontrol yöntemi su bazlı sondaj çamurunun reolojisinin düşük sıcaklıkta iyi bir perfonmans göstererek sondajın ilerlemesine yardımcı olabileceğini ileri sürmüştür.

Xie ve Liu (2017) Sepiyolit killi su bazlı sondaj sıvılarının yüksek sıcaklık ve yüksek basınç koşullarında geniş yelpazede yüksek geçirgen zonları üzerinde tıkama kabiliyetleri araştırılmıştır. Sepiliyotli sondaj çamurlarında kalsiyum karbonat kullanılarak termal dayanıklılık göstererek zonlardan geçişi önlediği tespit etmişlerdir.

Luo, Pei, Wang, Yu ve Chen (2017) yüksek sıcaklıklarda su bazlı sondaj sıvılarının bir iyonik sıvı gibi reolojik etkisi ve filtrasyon özelliklerini incelemişlerdir. Mekanizmanın çalışması, suda çözünür iyonik sıvının, ILA'nın yüksek termal kararlılığı ve katyon değiştirme kabiliyeti nedeniyle yüksek sıcaklıklarda su bazlı sondaj sıvılarının reolojik ve filtrasyon özelliklerini iyileştirmek için mükemmel bir kapasiteye sahip olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Zhuang ve ark. (2017b) organo paligorskitin farklı sıcaklıklarda yaşlandırması yapılarak petrol esaslı sondaj akışkanlarının reolojik özelliklerine etkilerini gözlemlemişlerdir. Opal'in petrol esaslı sondaj akışkanları için çok uygun olduğunu göstermişlerdir.

Sulaimon, Adeyemi ve Rahimi (2017) Yüksek Basınç ve Yüksek Sıcaklık (HPHT) koşullarına sahip formasyonların sondajlarda kullanılan su bazlı akışkanlarına katkılamış oldukları bitkisel yağların sondaj performansını geliştirip geliştirmediğini incelemişlerdir. Bu çalışmada, HPHT formasyonlardaki sondajlara olumlu katkı sağlayan çevre dostu yerel bitkisel yağlardan bir sondaj sıvısı geliştirmişlerdir.

Al-Zubaidi ve ark. (2016), yerel ve ticari bentonitli sondaj sıvılarının reolojik ve filtrasyon özelliklerini iyileştirmek için sondaj sıvısına; nano bentonit ve nano katkı maddeleri eklenerek denemeler yapmışlardır. İlk aşamada; nano bentonit ve nano Irak kilini karıştırmış ve bu karışımı % 1, 2, 3 ve 4 oranında yerel (Irak) bentonitli sondaj sıvısına eklemişlerdir. Yapılan bu işlem sonucunda sondaj sıvısının özelliklerinin iyileştirilemediği görülmüştür. İkinci bölümde ise ticari bentonitli sondaj sıvısı ile nano bentonit ve MgO, Ti02 ve grafen gibi nanoparçaçıkları % 0,005, 0,01, 0,05, 0,1, 0,2 ve 0,4 oranlarında karıştırmıştır. Çalışma sonucunda; sondaj çamurunun iyileştirilmesine yönelik en iyi sonucu MgO vermiş olduğunu ifade etmiştir.

Smith ve ark. (2018), yüksek basınç ve yüksek sıcaklık (HPHT) koşullarında sondaj akışkanı olarak petrol bazlı akışkanlar kullanılması gerektiğini ama bu akışkan türünün çevreye verdiği zarar ve yüksek maliyete sebebiyet verdiğini ifade etmişlerdir. Bundan dolayı su bazlı sondaj akışkanına alüminyum oksit nanopartikülleri ekleyerek, sondaj akışkanının reolojik ve filtrasyon özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak alüminyum oksit nanopartikül katkılı su bazlı sondaj akışkanın reolojik ve filtrasyon özelliklerinin petrol bazlı akışkanlar ile benzer özellik gösterdiği tespit edilmiştir. Böylece

hem çevre kirliliğinin önü geçilebileceğini hem de maliyeti azaltabileceklerini vurgulamışlardır.

Elochukwu, Sia, Gholami ve Hamid (2018), su bazlı sondaj akışkanına yüzey aktifleştirici maddesi olan Metil Ester Sülfonat (MES) ile nano polistireni ilave ederek, sondaj akışkanının reolojik ve filtrasyon özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Sonuç olarak da Bingham ve Power Law modellerini kullanarak Metil Ester Sülfonat (MES) ile nano polistirenin sondaj akışkanının plastik viskozite, akma noktası, jel mukavemeti gibi reolojik özelliklerini geliştirdiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca düşük basınç ve düşük sıcaklık (LPLT) koşullarında filtrasyon sıvısının kaybını % 50,7, yüksek basınç ve yüksek sıcaklık (HPHT) koşullarında % 61,1 azalttığını kanıtlamışlardır. Taramalı elektron mikroskobu (TEM) ile filtre kek geçirgenliği görüntüleri incelenip filtrasyon sıvı kaybının azaldığını gösteren değerlerin doğruluğu kanıtlamışlardır.

Nasırı, Ameri Shahrabi, Sharif Nik, Heidari ve Valizadeh (2018) , sondaj akışkanın içindeki nişastanın ısıl stabilitesini arttırmak için su bazlı sondaj akışkanına monoetanolamin (MEA)'i ekleyerek deneysel araştırmalar yapmışlardır. Deneysel sonuçlarda monoetanolamin (MEA) eklenmesi sondaj akışkanın görünür viskoziteyi, plastik viskoziteyi, dinamik kesme kuvvetini ve statik kesme kuvvetini arttırdığını ve sıvı kaybını azalttığını belirtmişlerdir.

Chu ve Lin (2019), su bazlı sondaj akışkanlarının kesme ve taşıma kabiliyetlerini geliştirmek için yeni bir amfoterik hidrofobik ilişkilendirme polimeri (PAADDC) sentezlenmiştir. Sentezledikleri polimerin, su bazlı sondaj akışkanı için viskozite ve kayma gerilmesi gibi reolojik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak ise PAADDC AV, PV, YP ve PV (RYP) değerlerini olumlu etkilediğini tespit etmişlerdir.

Bor türevleri verimliliği en üst düzeye çıkarmak ve performansı arttırmak için petrol, doğal gaz ve şeyl gaz kuyusu işletmelerinde kullanılan önemli katkı maddeleridir. Sondaj çamurunun viskozitesini, pH'ını, termal stabilitesini, kayganlığını ve / veya akış hızını değiştirmek için, bor türevleri diğer kimyasallara ek olarak kullanılır. Bor mineralleri olan kolemanit ve üleksit petrol ve doğal gaz araştırmalarında, sondaj ve kuyu tamamlamada ve enerji endüstrisinde çok sayıda patente konu olmuştur (Eti Mine, 2014a, 2014b).

Korzilius ve Minks, (2001), Alkali-metal-karboksil ve çözünür bor bileşiklerinin su bazlı sondaj akışkanına eklenerek korozyona etkisini incelemişlerdir. Alkali metal karboksilat, çözünür bor bileşiği ve kil içeren su bazlı sondaj akışkanını hazırlanmışlardır. Deneysel işlemlerin sonucunda alkali metal karboksilatların korozif özellikleri bor bileşikleri ile azaldığı kanıtlamışlar.

Bor sondaj sıvılarında kullanıldığında; çapraz bağlama ile bazı polimer bazlı sıvı kaybı katkı maddelerinin (özellikle nişasta) performansını arttırır, yağlayıcı etkisi vardır, doğru bölgede alkalinite ve tampon pH değeri sağlarlar, özellikle de matkapla yapılan bir sondajın sorun olabileceği ve verimli kesmelerin çıkarılmasının kritik olduğu, sapma veya yatay kuyuların sondajı yapılırken, bor potasyum klorür gibi tuzlarla kullanıldığında şeyl stabilizörleri olarak iyi performans gösterirler ve borun çamurlarda mevcut olan organik katkı maddelerinin (örneğin viskozize zamklar) mikrobiyal bozulmasını engelleme kabiliyeti vardır (20 Mule Team, 2018).

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1.Sondaj akışkanlarının sınıflandırması

Sondaj akışkanları iki kısımdan oluşmaktadır bu kısımlar kendi aralarında iç faz ve dış faz olarak adlandırılır. Sondaj akışkan türleri genelde dış fazın cinsine ve kimyasal özelliklerine göre üç ana guruba ayrılır. Bunlar Su bazlı sondaj akışkanı, Organik bazlı sondaj akışkanı ve Hava bazlı organik akışkanlardır.

2.1.1. Su bazlı sondaj akışkanları

Su bazlı sondaj akışkanları iç fazı ve dış fazları genellikle tatlı su veya tuzlu sudan oluşan akışkanlardır. Ucuz, kolay temine edilebilir oluşu ve çoğu sondaj problemlerinin üstesinden gelebiliyor oluşundan kaynaklı su bazlı akışkanlar en yaygın kullanılan sondaj akışkanı türüdür. Su bazlı sondaj akışkanları; İnhibitiv, İnhibitiv olmayan ve Polimer kökenli akışkanlar olarak sınıflandırılır.

İnhibitiv akışkanlar: Kil şişmesini geciktiren ve katyonların varlığı yoluyla inhibisyona girenler; tipik olarak Sodyum (Na^{+}), Kalsiyum (Ca^{2+}) ve Potasyum (K^{+}). Genel olarak, K^{+} veya Ca^{2+} ya da ikisinin bir kombinasyonu kil dağılımını engeller. Bu sistemler genellikle hidratlanabilir killeri ve hidratlanabilir kil içeren kumları delmek için kullanılır (Amoco, 1994).

İnhibitiv olmayan akışkanlar: Kil şişmesini önemli ölçüde önlemek için genellikle kostik soda veya kireç içeren doğal kil veya ticari bentonitlerden meydana gelir. Bunlar ayrıca, linyit, lignosülfonatlar ya da fosfatlar gibi çözünebilirleri veya dağıtıcıları da içerebilir. İnhibitif olmayan akışkanlar genellikle spud çamurları olarak kullanılır (Amoco, 1994).

Polimer akışkanlar: Polimerler akışkanlar sondaj çamurlarını; viskozite etmek, filtrasyon özelliklerini kontrol etmek, katı maddelerini dağıtmak veya kırıntıları kapsüllemek için kullanılmaktadır. Polimer sistemlerinin termal stabilitesi 400°F'ye kadar çıkabilir. Bu akışkanlar, bir önleyici katyonun kullanılmasına bağlı olarak inhibe olmayan veya inhibe edici iki şekilde olabilir (Amoco, 1994).

2.1.2. Organik bazlı sondaj akışkanları

Organik bazlı akışkanların en yaygın kullanılanları; petrol bazlı akışkanlar ve sentetik bazlı akışkanlardır. Petrol bazlı akışkanları dış fazları petrolden ve iç fazları sudan oluşan petrol-su emisyonlarıdır. Petrol bazlı akışkanlar, yüksek sıcaklık ve yüksek basınç koşullarında çok iyi performans gösteren ve inhibitiv özelliği en yüksek olan akışkan türüdür. Son zamanlarda çevreye verdiği zararlardan dolayı deniz sondajlarında petrol bazlı çamurların yerini çevre dostu sentetik akışkanlar almaya başlamıştır(TPAO, Rapor, 2007).

2.1.3. Hava bazlı sondaj akışkanları

Hava bazlı akışkanların dış fazı su iç fazı havadan oluşabileceği gibi iç ve dış fazın tamamı havadan oluşabilir. Bu akışkan türü, anormal derecede düşük basınçlarda dahi kaçak sorunu yaşamadan sondaj işlemi yapmak için kullanılabilir. Hava bazlı sondaj akışkanları aynı zamanda tüm sondaj akışkanları arasında en yüksek delme hızına sahiptir (TPAO, Raporu, 2007). Hava bazlı akışkanları seçerken dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan biri kuyu derinliğidir. Kuyunun tabanındaki kırıntıları yüzeye taşımak için gerekli olan hava hacmi yüzey donanımlarının verebileceğinden daha büyük olması sebebiyle yaklaşık 10,000 ft'nin altındaki kuyularda tavsiye edilmez (Amoco, 1994).

2.2.Sondaj Akışkanın Görevleri

Tabanın Temizlenmesi: Sondaj sırasında kesilen veya koparılan kırıntılar tabandan uzaklaştırılması gerekir. Kırıntılar tabandan ne kadar hızlı uzaklaştırılırsa sondajın ilerlemesi o kadar hızlı olur (Ersoy ve Yünsel, 2007; Al-Zubaidi, Alwasiti ve Mahmood, 2016).

Kırıntıların Yeryüzüne Taşınması: Kayadan kesilen kırıntıların yeryüzüne taşınması sondaj çamuru ile olur. Yeryüzünden pompalarla sondaj dizisi içine basılan çamur matkap nozullarından tabana geçerek kırıntıları içine alır ve annülüsten yeryüzüne gelir (Al-Zubaidi ve ark., 2016).

Matkap ile Sondaj Dizisini Soğutmak ve Yağlamak: Sondaj esnasında sondaj akışkanı sondaj dizisi ile üzerinde işlem yapılan formasyon ve kuyu duvarı arasındaki sürtünmeleri

azaltır ve sürtünmeler sırasında ortaya çıkan ısı kuyudan geçen sondaj akışkanı sayesinde soğutulur (Al-Zubaidi ve ark., 2016).

Göçme ve Oyuk Oluşumuna Engel Olma: Kuyu yüzeyindeki kayaçlar üzerindeki yükün etkisiyle kuyu içine göçme eğilimindedir. Göçmenin önlenmesi için deliği dolduran sıvının delik yüzeyine etki ettireceği hidrostatik basınç formasyondan gelecek basıncı karşılamalıdır (Al-Zubaidi ve ark., 2016).

Geçirimsiz Bir Pastanın Oluşumu: Sondaj sırasında kuyuda dolaşan çamur delik yüzeyinde ince geçirimsiz bir tabaka oluşturur ve bu da çamurun formasyon gözeneklerine kaçmasını önler(Al-Zubaidi ve ark., 2016).

Yüksek Basınçlı Formasyonları Kontrol Etme: Yeraltındaki bazı formasyonların gözeneklerinde akışkanlar bulunur. Bu akışkanlar yüksek basınç altında bulunabilir ve kuyuya girerek yeryüzüne fışkırma eğilimindedir (Al-Zubaidi ve ark., 2016).

Dizi ve Koruma Boruları Ağırlığının Taşınmasında Yardımcı Olma: Sondaj çamuru dizi ve koruma boruları ağırlığının taşınmasında yardımcı olur (Al-Zubaidi ve ark., 2016).

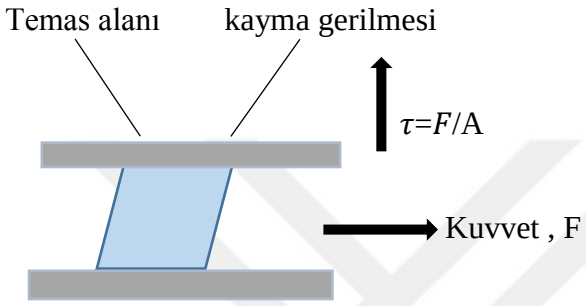
Korozyona Karşı Koruma: Sondaj çamuruna korozyon önleyici maddeler katılarak, korozyona karşı önlem alınmasına imkân sağlar(Al-Zubaidi ve ark., 2016).

2.3. Sondaj akışkanın reolojik özellikleri

Reoloji mekanik kuvvetlerin etkisi altında kalan malzemelerde meydana gelen deformasyonu ve akışkanların akış özelliklerini inceleyen bilim dalıdır (Wilkinson, 2018). Sondaj sıvısının reolojik özellikleri, formasyon basıncının kontrolünde, kırıntıların kuyudan taşınmasında, kuyuyu temizlemede, basınç kontrolünde önemli rol almaktadır (Kaiser, 2009; Livescu, 2012). Sondaj sıvısının temelini oluşturan reolojik özellikler; viskozite, elastiste, plastisitedir (Du, Wang, Deng ve Cao, 2018). Bir akışkanın akmaya karşı göstermiş olduğu dirence viskozite denir.

Paralel iki tabaka arasına sıkıştırılmış bir lastik takozu düşünelim. Üstteki tabakanın sabit bir F kuvveti ile çekilip, alttaki tabakanın sabit kaldığı durumda, aradaki takoz alttaki tabakadan uzaklaşarak şekil değiştirir. Tabakalar ile lastik takoz arasında bir kaymanın

olmadığı varsayılırsa; lastik takozun üst yüzeyi üsteki tabaka ile orantılı bir miktarda yer değiştirir iken lastik takozun alt yüzeyi sabit kalır. Yatay doğrultuda tabakaya etki eden net kuvvet sıfır olduğu zaman denge durumundadır ve bundan dolayı tabakaya uygulanan F kuvvetine eşit ve tersi yönde bir kuvvet bulunmalıdır. Tabaka ve lastik takoz arasındaki yüzeyde sürtünmeden kaynaklı olarak bu zıt kuvvet meydana gelir. Üst tabaka ile lastik takozun temas ettiği yüzey alanı A ve ilk hareket için gerekli olan kuvvet F ise kayma gerilmesi (shear stress) F/A şeklinde gösterilir(Çengel ve Cımbal, 2007).



Şekil 2.1. İki paralel tabaka arasındaki lastik takozun kayma kuvveti etkisi ile şekil değiştirmesi (Çengel ve Cımbal, 2007)

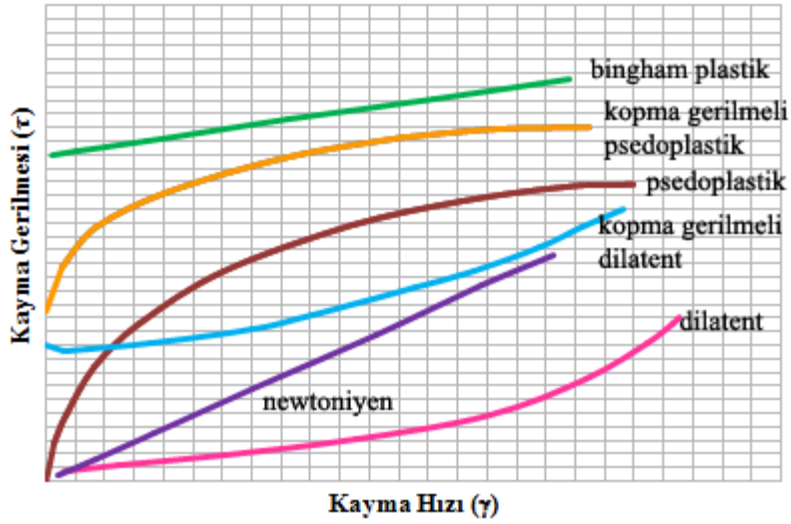
Görünür Viskozite (AV): Bir akışkanın sabit bir kuvvetin etkisi altında akışı esnasındaki akmaya karşı gösterdiği dirençtir. Yüksek AV, delme hızı, gaz giderme verimliliği, aşırı basınç, çamur kek kalitesi ve katıların sondaj sıvısından ayrılması üzerinde ciddi bir olumsuz etkiye neden olmasından dolayı önem arz etmektedir (Sanchez, Azar, Bassal ve Martins, 1997).

Plastik Viskozite (PV):Akışkandaki kayma gerilmesi başladıktan sonra mekanik sürtünmeden kaynaklı viskozitedir (Smith, Rafati, Haddad, Cooper ve Hamidi, 2018).

Akma Noktası (Yield Point) :Genelde pompa basıncı etkisinin yanı sıra, akma noktası (YP) da sondaj işlemi esnasında kuyudaki parçacıkların yüzeye taşınmasına yardımcı olur. Akmaya karşı dirençli olan sıvıları hareket ettirmek için gerekli olan minimum kayma gerilmesine akma noktası olarak ifade edilmektedir (Khalil ve Jan 2012; Mohamadi, Kouhi, Sarrafi ve Schaffie. 2013; Barry, Jung, Lee, Phuoc ve Chyu 2015; Luckham ve Rossi, 1999).

Jel Kuvveti: Akışkanın hareketsiz olduğu zamanki çekici güçlerin meydana getirmiş olduğu kuvvete denilmektedir (Smith S.R. ve ark, 2018).

Akışkanlar; Newtoniyen ve non-Newtoniyen akışkanlar olarak sınıflandırılır. Bu sınıflandırma iki yapışık tabaka arasındaki hız gradyanı olan kayma hızı (shear rate) ile yüzeydeki akışkan akışıyla uygulanan kayma gerilmesi (shear stress) arasındaki ilişkiden kaynaklıdır. Şekil 2.2'de sondaj akışkan türlerinin kayma gerilmesi- kayma hızı grafikleri verilmiştir (Barnes, Hutton ve Walters,, 1989).



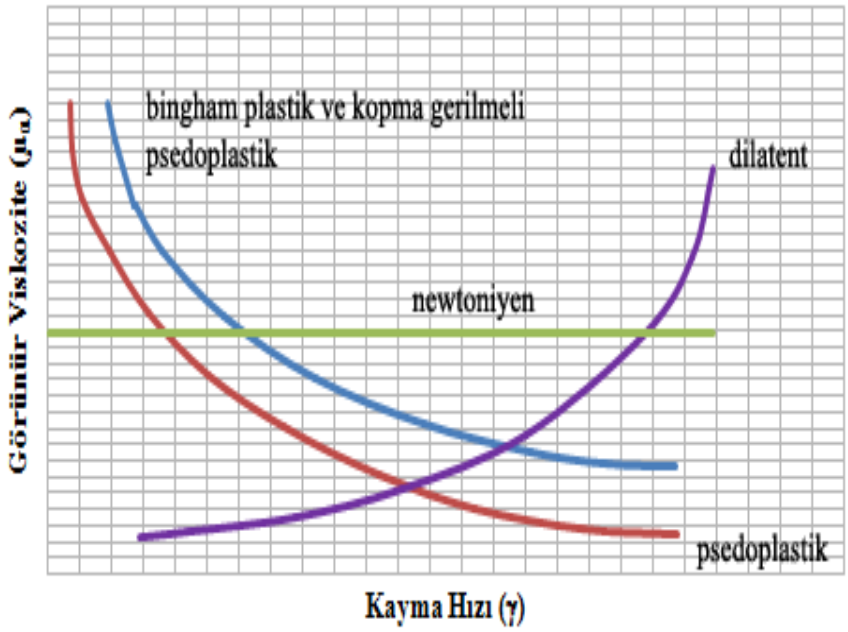
Şekil 2.2. Sondaj akışkan türlerinde görünür kayma gerilmesi (shear stress) -kayma hızı (shear rate) grafiği(Gücüyener, 1983)

Newtoniyen Akışkanlar: Kayma hızının (shear rate) kayma gerilimine (shear stress) oranının sabit olduğu akışkan türüdür. Newtoniyen akışkanlara örnek olarak su, yüksek graviteli petroller, gazları verilebilir (Chaplin, 2016).

Non-Newtoniyen Akışkanlar: Kayma gerilmesi (shear stress) ile kayma hızı (shear rate) oranı arasında doğru bir orantının olmadığı akışkan türüdür. Değişik kayma hızlarında viskozitesi sabit olmayan sondaj akışkanlarının davranışları Non-Newtoniyen akışkanlar ile benzerdir.

Kayma hızı oranı arttıkça görünür viskozite yükselir ise non-Newtoniyen akışkanlar dilatants akışkanlar (kesme kalınlaşması) olarak adlandırılır. Eğer kayma hızı oranı artıp görünür viskozite düşer ise bu psödoplastik akışkanları (keserek inceltme) olarak adlandırılır. Görünür viskozite zaman ile azalırsa non-Newtoniyen akışkanlara tiksotropik akışkanlar denilmekte olup, eğer zaman ile görünür viskozite artarsa o zaman bu akışkanlar reopektif akışkanlar olarak tanımlanır. Genellikle sondaj akışkanları kayma hızına ve

zamana göre psödoplastik ve tiksotropik davranış gösterir (Chaplin, 2016). Şekil 2.3 farklı tipteki sıvı davranışlarını özetler.



Şekil 2.3. Sondaj akışkan türlerinde görünür viskozite-kayma hızı (shear rate) grafiği (TPAO, 2007)

2.4. Bor

Metal-ametal arası yarı iletken özelliğe sahip olan bor periyodik çizelgede B simgesi ile gösterilir. Bor'un atam numarası 5, atam ağırlığı ise 10,81 g/mol'dür. Her ne kadar bor bileşiklerinin binlerce yıldır bilinmese de, elementel bor; bor oksidin potasyum ile ısıtılması sonucunda GayLussac, Louis Jacques Thenard ve Sir Davy tarafından, 1808 yılında keşfedilmiştir.

Bor; yer kabuğunda en fazla bulunan 51. element olup, doğada serbest halde bulunur. Tahmini olarak 250'den fazla minerali ve bileşiği bulunmaktadır. Bor minerali metal ve ametal elementlerle yaptığı bileşiklerde farklı nitelikler kazanır bunun için sanayide birçok alanda kullanılmasına olanak verir. Amorf bir toz halindeki bor elementi koyu kahverenginde, kristal halinin rengi ise, sarımsı kahverengidir. Görünüm ve optik özellikleri bakımından elmasa benzeyen kristalize bor hemen hemen elmasa eşdeğer sertliktedir. Bor elementinin,10B (% 18,8) ve 11B (% 81,2) olmak üzere iki doğal izotopu bulunur. Borun radyoaktif izotopları ise, 8B ve 12B'dir (Okur, 2008; Greenwood ve Earnshaw, 1984; Greenwood, 1975).

2.4.1. Borun kimyasal ve fiziksel özellikleri

Borun atomik yapısı, kimyasal özellikleri ve fiziksel özellikleri sırasıyla Çizelge 2.1, Çizelge 2.2 ve Çizelge 2.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Borun atomik yapısı (Greenwood ve Earnshaw, 1984)

Atomik çapı	1,17Å
Atomik hacmi	4,6 cm^3/mol
Kristal yapısı	Rhombohedral
Elektron konfigürasyonu	$1s^2\ 2s^2\ 2p^1$
İyonik çapı	0,23Å
Elektron sayısı (yüksüz)	5
Nötron sayısı	6
Proton sayısı	5
Valans elektronları	$1s^2\ 2s^2\ 2p^1$

Çizelge 2.2. Borun kimyasal özellikleri (Greenwood ve Earnshaw, 1984)

Elektrokimyasal eşdeğer	0,1344g/amp-hr
Elektronegativite (Pauling)	2,04
Füzyon ısısı	50,2kJ/mol
İyonizasyon potansiyeli	
- Birinci	8,298
- İkinci	25,154
- Üçüncü	37,93
Valans elektron potansiyeli (-eV)	190

Çizelge 2.3. Borun fiziksel özellikleri (Greenwood ve Earnshaw, 1984)

Atomik kütlesi	10,811
Kaynama noktası	4275K, 4002°C, 7236°F
Termal genleşme katsayısı	0,0000083 cm/cm/°C (0°C)
Kondüktivite	
- Elektriksel	1,0E $^{-12}$ 10^6/cm
- Termal	0,274 W/cmK
Yoğunluk	2,34g/cc (300K)
Görünüş	Sarı – kahverengi, ametal kristal
Elastik modülü	
- Bulk	320/GPa
Atomizasyon entalpisi	573,2 kJ/mol (25°C)
Füzyon entalpisi	22,18 kJ/mol
Buharlaşma entalpisi	480 kJ/mol
Sertlik	
- Mohs	9,3
- Vickers	49000 MN m^{-2}
Buharlaşma ısısı	489,7kJ/mol
Ergime noktası	2573K 2300°C 4172°F

Borun morfolojisine ve tane büyüklüğüne bağlı olarak kimyasal özellikleri değişir. Amorf bor (mikron boyutunda) kolaylıkla tepkimeye girerken; kristalin bor, kolay kolay tepkimeye girmez. Mineral asitleri ile sıcaklığa ve derişimden kaynaklı yavaş veya hızlı tepkimeye girebilir ve tepkime sonucunda borik asit ana ürün olarak oluşabilir.

Çözünürlüğü oldukça düşük olan Bor, bilinen çözücülerin hiçbirinde çözünmemektedir. Kristal bor kimyasal özelliği bakımından durağan bir yapıya sahiptir. Bor hidroklorik ve hidroflorik asitlerle kaynatıldığında kimyasal bir değişim söz konusu değildir ancak mikro boyuta getirilmiş bor, derişik nitrat asitle yavaşça oksitlenmektedir (Okur, 2008).

Elmastan sonra ametaller içinde elektropozitifliği en yüksek element olan bor, kimyasal özellikleri bakımından, karbon, silisyum, alüminyum gibi elementlere benzemektedir. Elektrik iletkenliği yüksek sıcaklıklarda oldukça iyi olan borun, oda sıcaklığında ise zayıftır.

İyi bir indirgen olan bor elementi; kükürt, karbon ve halojenlerle bileşikler oluşturabilir ve birçok metal ile yüksek sıcaklıkta borürleri oluşturabilmektedir. İndirgeyici özelliği oldukça iyi olan bor elementi, ametal oksitlerin tümünü, metal oksitlerin de büyük bir kısmını elementel hale indirgeyebilmektedir. Bileşikleri çok kararlı olduğundan elementel olarak üretmek güçtür. Elementel bor, 650-1000°C'de ergimiş KCl ve KBF_4 banyosunda elektroliz yöntemi ile saf kristal halde elde edilebilmektedir.

Borun tutuşma sıcaklığı yüksek olmasına rağmen yanıcı özellik gösterir. Aynı zamanda ortaya çıkan katı maddelerin kolaylıkla uzaklaştırılabilmesi ve çevreyi kirletecek etkisinin olmaması gibi özelliklere sahip olduğundan dolayı katı yakıt hücresi olarak kullanılmaktadır (Okur, 2008; Çalık, 2002).

Bor elementi, toprak ve suda çokça bulunmaktadır. Toprakta yaklaşık olarak 10-80 mg/kg, tuzlu sularda 0,5- 9,6 mg/kg, tatlı sularda ise 0,001-1,5 mg/kg aralığında mevcuttur. Borun oksijen ile bağlanmış bileşikleri yani ticari maden yatakları en çok Türkiye ve ABD mevcuttur (Haliova ve Özmen, 2006; Ediz ve Özday, 2001).

2.4.2. Bor mineralleri

Bor minerallerinin sayısı oldukça fazladır. Bor minerallerinin, kimyasal bileşimleri ve bulundukları yerler Çizelge 2.4'te verilmiştir.

Çizelge 2.4. Bor minerallerinin sınıflandırılması (BOREN, 2016)

Grup (Tip)	Mineral	Bileşim	Bulunduğu yer
Hidrojen Boratlar	SASSOLİT	H_3BO_3	İtalya
Sodyum Boratlar	TİNKAL (BORAKS)	$Na_2B_4O_7.10H_2O$	Kırka, ABD, Arjantin, Bolivya, Hindistan
	TİNKALKONİT	$Na_2B_4O_7.5H_2O$	Türkiye, ABD
	KERNİT (RASORİT)	$Na_2B_4O_7.4H_2O$	Arjantin, Türkiye, ABD ve Çin
Sodyum-Kalsiyum Boratlar	ÜLEKSİT	$NaCaB_5O_9.8H_2O$	Şili, ABD, Peru, Sırbistan, Bolivya, Çin ve Türkiye
	PROBERTİT	$NaCaB_3O_9.5H_2O$	ABD
Kalsiyum Boratlar	KOLEMANİT	$Ca_2B_6O_{11}.5H_2O$	Türkiye
	PANDERMİT (PRİSEİT)	$CaB_{10}O_{19}.7H_2O$	Peru, Bigadiç ve Kırka
	NOBLEİT	$CaB_6O_{10.}4H_2O$	
	İNYOİT	$Ca_2B_6O_{11.}13H_2O$	ABD
	MEYERHOFFERİT	$Ca_2B_6O_{11.}7H_2O$	
Kalsiyum Borosilikatlar	DATOLİT	$CaBSiO_4OH$	Rusya, Kazakistan
	DANBURIT	$CaB_2Si_2O_8$	Danbury, Connecticut, ABD
	HAVLİT	$Ca_4Si_2B_{10}O_{23.}5H_20$	Bigadiç, Susurluk
Magnezyum Boratlar	HİDROBORASİT	$CaMgB_6O_{11}.6H_2O$	Arjantin, Kazakistan, Türkiye
	İNDERBORİT	$CaMgB_6O_{11}.11H_2O$	Kazakistan
	AŞARİT(SZAYBELİT)	$MgBO_2OH$	Kazakistan, Çin
	BORASİT	$Mg_3B_7O_{13}Cl$	Türkiye
	KURNAKOVİT	$Mg_2B_6O_{11.}15H_2O$	Kazakistan
	İNDERIT	$MgB_3O_3(OH)_5•5(H_2O)$	Kazakistan
	SUANİT	$Mg_2B_2O_5$	Suan,Kuzey Kore
	KOTOİT	$Mg_3B_2O_6$	Bundjiro Koto
	PİNNOİT	$MgB_2O_{4.}3H_2O$	Almanya ve Death Valley,Kaliforniya
	KAHNİT	$CaAsBO_{6.}2H_2O$	Kütahya
	VONSENİT	$(FeMg)_2FeBO_5$	Kaliforniya
	LUDVİGİT	$(FeMg)_4Fe_2B_2O_7$	Ernst Ludwig
Diğer Boratlar	TUNELİT	$SrB_6O_{10}.4H_2O$	George Tunnel
	BAKERİT	$Ca_4B_4(BO_4)(SiO_4)_3(OH)_3•(H_2O)$	Kaliforniya
	SEARLESİT	$NaBSi_2O_5(OH)_2$	Kaliforniya
	TEEPLEİT	$Na_2B(OH)_4Cl$	Kaliforniya

2.4.3. Dünyadaki bor rezervi

Dünyada bor rezervinin toplandığı yerler; Güney-Orta Asya Orojenik Kemeri, Mojave Çölü, And Kemeri ve Rusyanın Doğusudur. Çizelge 2.5'de bor rezervinin dünyadaki dağılımı gösterilmektedir. Dünyadaki bor rezervine bakıldığında yüzyıllarca kullanıma yetecek kadar bor vardır (BOREN, 2016).

Çizelge 2.5. Dünya bor rezervi (BOREN, 2016)

Dünyada Bor Rezervi Bulunan Ülkeler	Toplam Rezerv (Bin ton)	Toplam Rezerv (%)
Türkiye	953.300	72,8
Rusya	100.000	7,6
A.B.D.	80.000	6,1
Çin	47.000	3,6
Şili	41.000	3,1
Sırbistan	24.000	1,8
Peru	22.000	1,7
Bolivya	19.000	1,5
Kazakistan	15.000	1,1
Arjantin	9.000	0,7
TOPLAM	**1.310.300**	**100,0**

2.4.4. Türkiye'de bor

Dünyadaki bor rezervinin yaklaşık olarak %73'ü Türkiye'de bulunmaktadır. Ülkemizdeki bu bor rezervleri Eskişehir, Kütahya, Balıkesir, Bursa bölgelerinde yer almaktadır. Türkiye'de en çok rezervi olan bor mineralleri boraks ($Na_4B_4O_2.10H_2O$) ve Kolemanit ($Ca_2B_6O_{11}.5H_2O)_2$'tir. Ülkemizde bulunan bu bor minerallerden kolemanit Kütahya, Balıkesir ve Bursa'da, Tinkal ise Eskişehir bulunmaktadır. Bunların yanı sıra, Balıkesir – Bigadiç'te üleksit ($NaCaB_5O_9.8H_2O$) yatağı bulunmaktadır (Eti Maden, 2018).

2.4.5. Borun kullanım alanları

Çeşitli madencilik yöntemi ile elde edilen bor minareleri fiziksel ve kimyasal süreçlerden geçirilerek kullanıma uygun birçok bor kimyasallarına dönüştürülür. Dünya da bor türevlerinin kullanım alanlarını, % 47 cam (yalıtkan tipi cam elyafı, boroksilat cam), %16 tarım, %15 seramik-frit, % 2 deterjan-temizlik ürünleri olarak sınıflandırmak mümkündür. Geriye kalan %20' lik kısım ise elektronik sektörü, astronomi, nükleer sektöründe, polimer malzeme üretimi ve nanomalzeme üretim sektörlerinde kullanılmaktadır. Türkiye'de ise,

bor türevleri %36 cam, %31 seramik, %9 deterjan, %7 tarım, %4 tutkal ve %14 diğer sektörler olmak üzere kullanım alanlarına sahiptir. Son zamanlarda kaya gazı üretiminde; sondaj kuyusunun yalıtılmış bölümüne pompalanan yüksek basınçlı su ile kuyu çevresinde çatlak oluşturma işlemi olan hidrolik çatlatmadaki sıvı çatlakların basınç düşmesinde kapanma riskini önlemek için kullanılmaktadır (Eti Maden, 2018).

3. MATERYAL ve METOD

3.1. Materyal

3.1.1. Kullanılan sarf malzeme ve kimyasallar

Su bazlı sondaj sıvısının hazırlanması için bentonit ve barit Türkiye Petrolleri (TPAO) ve 100 µm tanecik boyutunda sodyum borat grubu mineral boraks ($Na_2B_4O_7.5H_2O$), 75 µm tanecik boyutunda sodyum-kalsiyum borat grubu mineral üleksit ($N_2O.2CaO.5B_2O_3.16H_2O$) ve 45 µm tanecik boyutunda kalsiyum borat grubu mineral kolemanit ($2CaO.3B_2O_3.5H_2O$) Ulusal Bor Araştırma Enstitüsün (BOREN)'den temin edilmiştir

3.2. Metod

Sondaj operasyonlarında kullanılan su bazlı sondaj çamurları hazırlanmış ve bu sondaj çamurlarına Ulusal Bor Araştırma Enstitüsünden temin edilen, 45, 75, 100 µm tanecik boyutunda sodyum borat grubu minerali boraks ($Na_2B_4O_7.10H_2O$), sodyum-kalsiyum borat grubu minerali üleksit ($NaCaB_5O_9.8H_2O$) ve kalsiyum borat grubu minerali kolemanit ($Ca_2B_6O11.5H_2O$) ayrı ayrı eklenmiştir. Daha sonra API standartlarına uygun olarak analizler yapılmıştır.

Çamurlar hazırlanırken; TSE ISO EN 13500 ve API standartlarına uygun bir şekilde 500 ml deiyonize suya 32,14 g bentonit eklenmiş ve 20 dakika karıştırılmıştır. Daha sonra çamura 14,25 g ağırlaştırıcı barit eklenip 10 dakika karıştırılmıştır. Son olarak içine farklı miktarlarda (ağırlıkça % 1, 2, 3, 4 ve 5) boraks, üleksit ve kolemanit eklenip homojen karışım oluşabilmesi için 10 dakika karıştırılarak, toplam 48 adet (her deney en az tekrar yapılmıştır) çamur numunesi hazırlanmıştır (Çizelge 3.1). Bu çamur numunelerinin ağızları sıkıca kapatılıp hava alması önlenir, 16 saat bekletilerek yaşlandırma yapılmıştır.

Çizelge 3.1. Çamur numunelerinin kompozisyonu

Katkı Maddeleri	Bor Katkısız Çamur	Boraks, Üleksit ve Kolemanit (w/v %)				
		1 %	2 %	3 %	4 %	5 %
Bentonit (g)	32,14	32,14	32,14	32,14	32,14	32,14
Deiyonize su (ml)	500	500	500	500	500	500
Barit (g)	14,25	14,25	14,25	14,25	14,25	14,25
Borax (g) Ulexite (g) Colemanite(g)	-	5,46	10,93	16,39	21,86	27,32

Bor türevleri kullanılarak TSE ISO EN 13500 ve API standartlarına uygun (32,14 gram bentonit/ 14,25 gram barit/ 500 ml su ve en az 16 saat yaşlandırma süresi) hazırlanan sondaj çamurunun kimyasal ve fiziksel özellikleri belirlenirken aşağıdaki işlemler yapılacaktır.

3.2.1. Viskozite analizi

Bir akışkanın akmaya karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanır. Kuyudaki kesitlerin yüzeye çıkarılması, pompalama basıncı ve kuyu dengesine direk etki eder. Çeşitli polimerler (CMC vs.) eklenerek çamurun viskozitesi artırılabilir (Barry M.M.ve ark., 2015). Viskozite ölçmekte birçok cihaz kullanılmaktadır. Bu çalışmada Ofite-model 800 marka FANN viskozimetresi kullanılmıştır (Resim 3.1) .



Resim 3.1. Ofite-model 800 marka Fann viskozimetresi

Fan viskozimetresi ile ölçüm yöntemi aşağıdaki gibi (Barry M.M.ve ark., 2015);

- 16 saatlik karıştırılma sonrası sondaj çamuru viskozimetre kabı içerisindeki işaretli seviyeye kadar doldurulur daha sonra viskozimetre kabı içerisindeki çamur viskozimetrenin üst kısmında bulunan rotor silindir üzerinde bulunan seviyeye kadar batırılır.
- Vizkozimetrenin hızı 600 rpm'e getirilerek rotor döndürülmeye başlar. Viskozimetre üzerinde bulunan kadrandaki ibre sabit duruma geldikten sonra 600 rpm'deki değer okunur.
- Aynı şekilde viskozimetrenin hızı 300 rpm'e getirilerek rotor döndürülmeye başlar. Viskozimetre üzerinde bulunan kadrandaki ibre sabit duruma geldikten sonra 300 rpm' deki değer okunur.

Not: Vites değişimi yalnız motor çalışırken yapılır.

Sondaj Çamurun Reolojisi; AV, PV, YP ve Jel kuvveti olarak bilinir (Barry M.M.ve ark., 2015).

Görünür viskozite (AV) : Sıvılardaki bir kuvvetin etkisiyle veya sıvıların hızla akışı esnasındaki direncidir.

Plastik viskozite (PV): Çamur içerisinde askıda kalan katı maddeler ile sürekli faz arasındaki sürtünmeden kaynaklı akış direncidir. Düşük olması istenir.

Akma Noktası (YP): Durağan haldeki çamurun jel yapısının gelişimini etkileyen kuvvetlerin akışkan koşullar altında ölçümüdür.

Jel Kuvveti (GS): Durağan haldeki çamurda oluşan jel yapısının gelişimini etkileyen kuvvetlerin statik koşullar altında ölçülmesidir. Çamur hareketsiz kaldığında jel kuvveti artar. Fann Viskozimetresi ile ölçülür. Genel olarak Jel Kuvveti deneyi aşağıdaki gibi yapılır;

- Viskozimetre kabında bulunan çamur 10 saniye 600 rpm' lik hızda döndürülür.
- Çamur 10 saniye hareketsiz kalması için viskozimetre durdurulur daha sonra viskozimetre 3 rpm de çalıştırılıp en yüksek değer okunur buna da 10 saniye jel kuvveti denir.

- Viskozimetre kabında bulunan çamur tekrardan 10 saniye 600 rpm'lik hızla döndürülür. Çamur 10 dakika hareketsiz kalması için viskozimetre durdurulur daha sonra ise viskozimetre 3 rpm de çalıştırılıp en yüksek değer okunur buna da 10 dakika jel kuvveti denir.

$\mu p = \theta_{600rpm} - \theta_{300rpm}$	μp: Plastik viskozite(cP)
$\gamma p = \theta_{300rpm} - \mu p$	γp : Akma Noktası (lbf /100ft^2)
$\mu a = \theta_{600rpm} / 2$	μa: Görünür viskozite (cP)

3.2.2. Filtrasyon analizi

Sondaj esnasında formasyon basıncı sondaj çamurunun hidrostatik basıncından küçük olduğu durumlarda geçirgen bölgelerde çamurun sıvı kısmı formasyona geçer iken katı kısım ise geçirgen bölgenin yüzeyinde toplanarak çamur keki oluşur ve bunada filtrasyon denir. Genellikle formasyon yüzeyinde ince ve geçirimsiz kek oluşturmak istenir. Bu olay dizi sıkışması, kuyu stabilitesi, üretken zonların kirlenmesi ve kuyu logunun doğru değerlendirilmesi bakımından çok önemlidir. Zaman, basınç, katı madde içeriği, sıcaklık, geçirgenlik ve filtrat viskozitesinin sıvı kaybı üzerinde önemli etkisi vardır. API filtre presi (Resim 3.2) ile ölçülür. API filtre press ile filtrasyon ölçüm yöntemi aşağıdaki gibidir (Saboori R.ve ark. 2012);

- API filtre press parçaları ile filtrasyon kağıdı kullanılarak ölçümler yapılır.
- API filtre pressde bulunan hazne üstten 1/3 boşluk bırakılacak şekilde çamur ile doldurulur ve kapak kapatılır.
- Filtrat sıvısının dolabilmesi için bir ölçüm kabı alt kısımdaki yerine konur ve daha sonra regülatör aracılığıyla 100±5 psi basınç verilir. Regülatör vanası basınç uygulamak için tahliye vanası ise basıncı kaldırma işleminde kullanılır.
- 30 dakika beklenir bu süre dolduktan sonra tahliye vanası yardımıyla basınç tahliye edilir. Ölçüm kabında biriken sıvı çamurun sıvı kaybı değeri olarak ölçülür.
- Kab içerisinde bulunan çamur çok dikkatli bir şekilde dökülür ve üzerinde birikmiş olan kek ile birlikte filtrat kâğıdı zarar vermeden çıkarılır.
- Filtrat kâğıdı üzerindeki kek kalınlığı ölçümü yapılır.



Resim 3.2. API filtre press

3.2.3. Yoğunluk (ağırlık) analizi

Sondaj çamurunun yoğunluğuna genellikle çamur ağırlığı denir ve birimi g/cm^3, lb/gal, Psi/1000ft olarak ifade edilir. Çamurun yoğunluğu sondajın ilerleme hızını etkiler. Farklı formasyonlarda farklı yoğunluk gerekebilir. Kil oranı % 6-7 arasında olduğu zaman hazırlanan çamurların yoğunluğu yaklaşık olarak 1,125 g/cm^3'tür. Yüksek basınçlı formasyonların delinmesinde yoğunluk 2,5 g/cm^3'e çıkarılmalıdır. Düşük basınçlı formasyonların delinmesinde yoğunluk 1 g/cm^3 'in altına düşürülmelidir. Sondaj çamurunun yoğunluğu sondaj esnasında çamura karışan kırıntılarla, gazlarla, basınç ve sıcaklıkla değişir. Çamur terazisi (Resim 3.3) ile ölçülür. Çamur yoğunluğunun artırılmasında en çok tercih edilen kimyasal barittir. Çamurun yoğunluğunu azaltmak içinde petrol ve hava gibi inceltici sıvılar kullanılır.

Çamur yoğunluğunun ölçümü sırası ile uygulanarak belirlenir.

- Çamur terazisi iki kısıma ayrılı bir ucunda çamur haznesi bulunur diğer tarafta ise terazi kolu bulunur. Çamur haznesine yoğunluğu öğrenmek istenen çamur katılır.
- Çamur içinde bulunan hava kabarcıklarını çıkarmak için çamur haznesine yavaşça vurulur.
- Çamur haznesinin üzerine kapağı konarak çevrilir ve kapakta bulunan delikten az miktarda çamur dışarı çıkar.
- Bu delik parmak ile kapatılarak çamur bulaşmış kısım yıkanarak temizlenir.
- Hazne kapağında bulunan ufak delik kapatılarak terazi yıkanıp kurulanır.

- Çamur terazisi sabitleneceği noktaya konur ve terazi kolundaki ağırlık hareket ettirilerek çamur haznesinin ve terazi kolunun sabitlenmesi sağlanarak sol taraftaki çamur yoğunluk değerleri ölçülür.
- Ölçüm sonuçları lb/gal, lb/ft^3, S.G. veya psi/1000ft olarak kayıt edilir.
- Yapılan deneyler sonrası bütün deney parçaları yıkanıp temizlenerek ölçülür.

Çamur ağırlığı (lb/gal) = (psi/1000ft olarak çamur gradyanı) * (0,01924)
Çamur ağırlığı (Ib/ft^3) = (ps /1000ft olarak çamur gradyanı) * (0,144)
Özgül ağırlık = (psi /1000ft olarak çamur gradyanı) * (0,023)
Çamur terazisi sık sık su ile kalibre edilmelidir. Tatlı suyun 70 ^{0}F daki ağırlığı 8,33 lb/gal veya 62,3lb/ft^3 tür.



Resim 3.3. Çamur Terazisi

3.2.4. pH analizi

Sondaj akışkanın pH metre (Resim 3.4) ile ölçüm aşağıdaki gibidir (Ersoy A. , 2008);

- pH metre ilk önce kalibre edilir.
- Kab içerisinde bulunan çamur veya ölçüm kabı içerisindeki filtrat sıvısı içerisine prob ucu konarak değerin sabitlendiği noktada pH değeri okunur.
- Her deneyden sonra pH metre cihazı saf su ile temizlenip kaldırılır.



Resim 3.4. pH metre

3.2.5. X ışını floresans spektrometresi (XRF) analizi

Analiz numunelerin elementel ve kimyasal bileşimlerini belirlemek için OPTIMX model X Işını floresans spektrometresi (XRF) kullanılmıştır.

3.2.6. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi

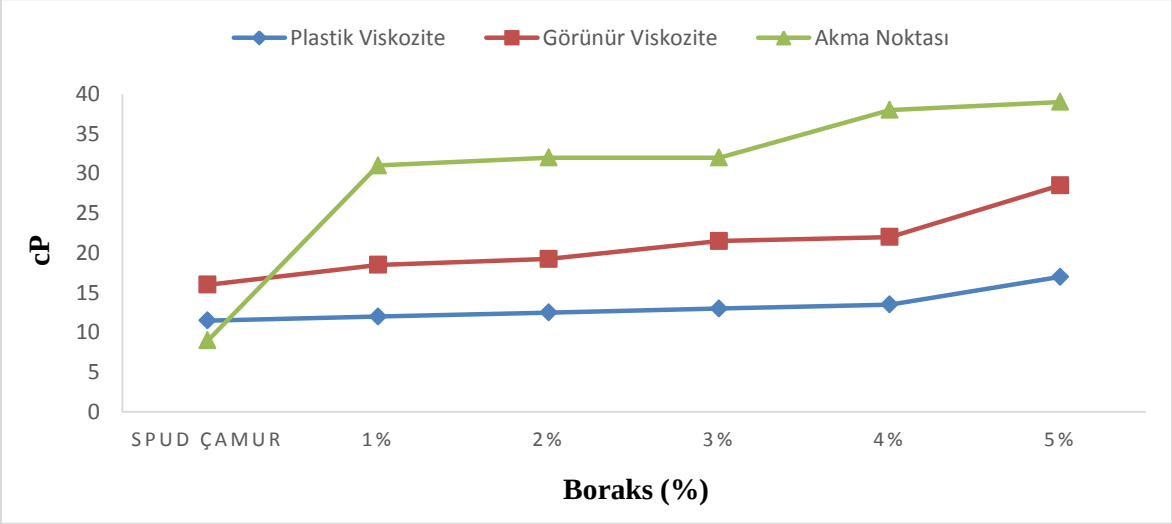
Kullanılan numunelerin farklı açılar ve farklı yakınlık derecelerini görüntülemek için LeO EVO40 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analiz cihazı kullanılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

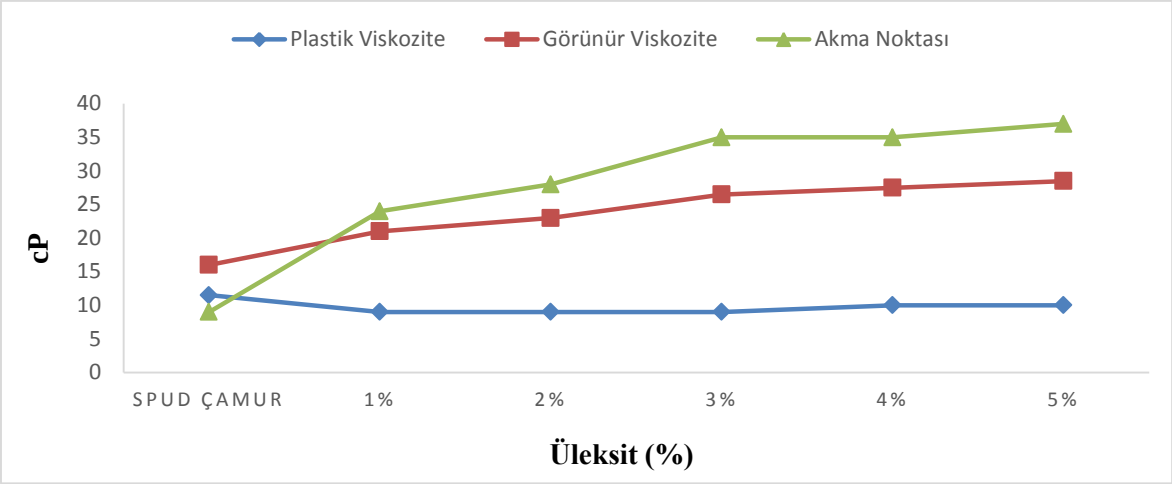
Çizelge 2.4'de verilen bor minerallerinden 45, 75, 100 µm tanecik boyutunda sodyum borat grubu minerali boraks ($Na_2B_4O_7.10H_2O$), sodyum-kalsiyum borat grubu minerali üleksit ($NaCaB_5O_9.8H_2O$) ve kalsiyum borat grubu minerali kolemanit ($Ca_2B_6O_{11}.5H_2O$) bor türevleri ile Çizelge 3.1'de formülasyonları verilen çamur numunelerinin; reolojik özellikleri, filtrasyon özellikleri, yoğunluk, pH deneyleri, XRF analizi, SEM analizleri yapılarak karakterize edilmiştir. Yapılan bu fiziksel ve kimyasal analizlerin sonuçları sırasıyla ayrıntılı bir şekilde sunulmuştur.

4.1. Su Bazlı Sondaj Çamurlarının Reolojik Özelliklerine Boraks, Üleksit ve Kolemanitin Etkisi

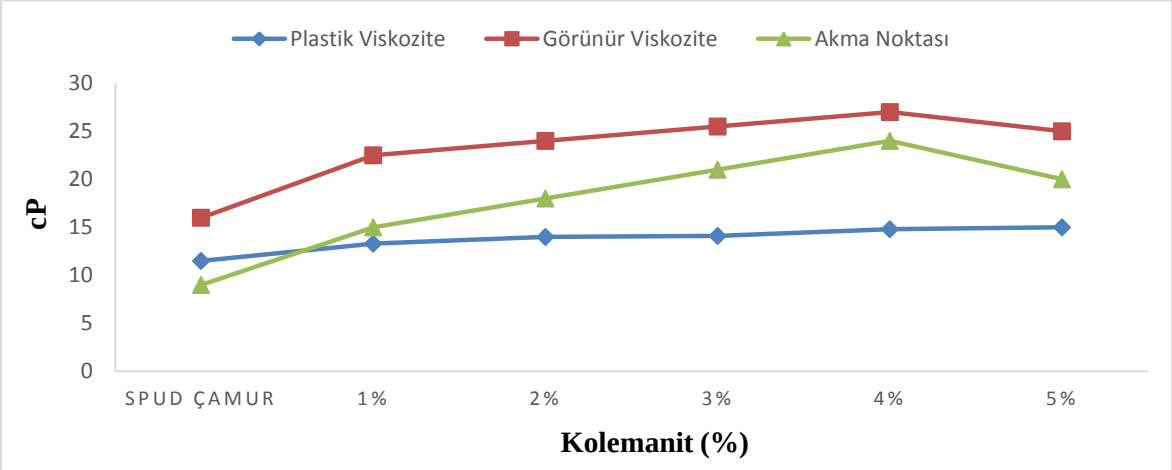
Akmaya karşı gösterilen direnç olarak bilinen viskozite, sıcaklık, katı madde içeriği, çamura katılan katkı maddeleri ve koruyucu maddeler ile direk olarak değişim gösterir. Viskozite, görünür viskozite (AV), plastik viskozite (PV) ve akma noktası (YP) cinsinden ölçülür. Farklı tanecik boyutunda ve farklı konsantrasyonlarda boraks, üleksit ve kolemanit katkılanmış su bazlı sondaj çamurlarının PV, AV ve YP değerleri aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 4.1. 45µ Boraks katkılı çamurun PV, AV ve YP değerleri

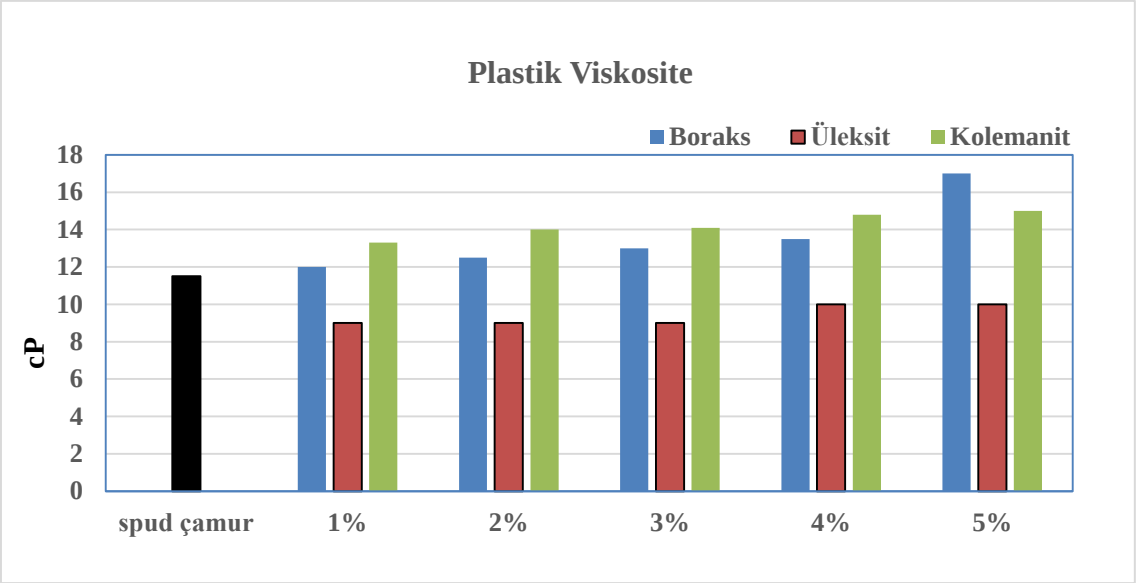


Şekil 4.2. 75µ Üleksit katkılı çamurun PV, AV ve YP değerleri

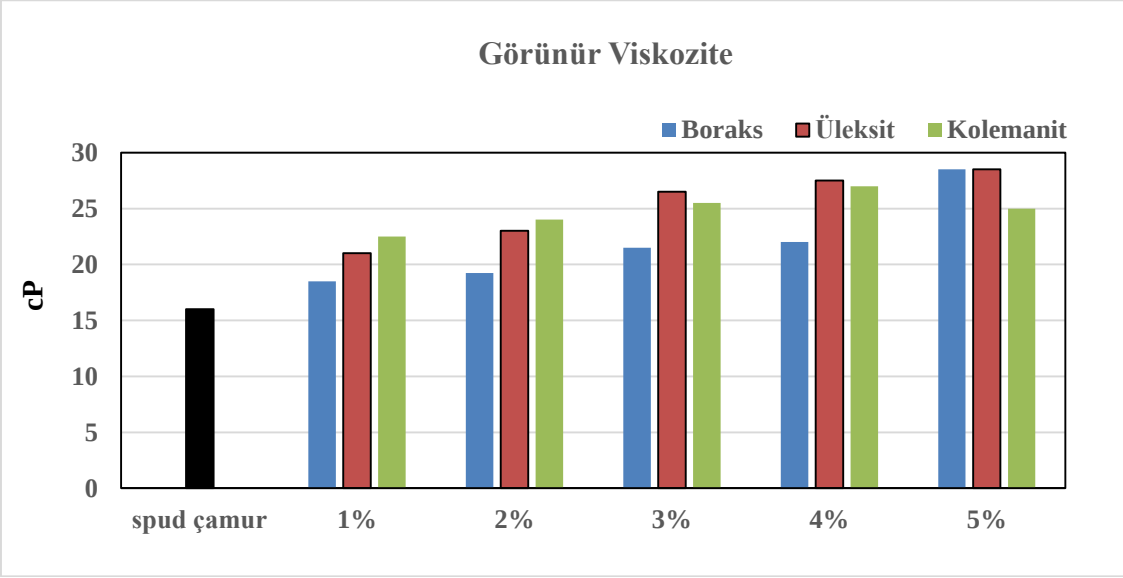


Şekil 4.3. 100 µ Kolemanit katkılı çamurun PV, AV ve YP değerleri

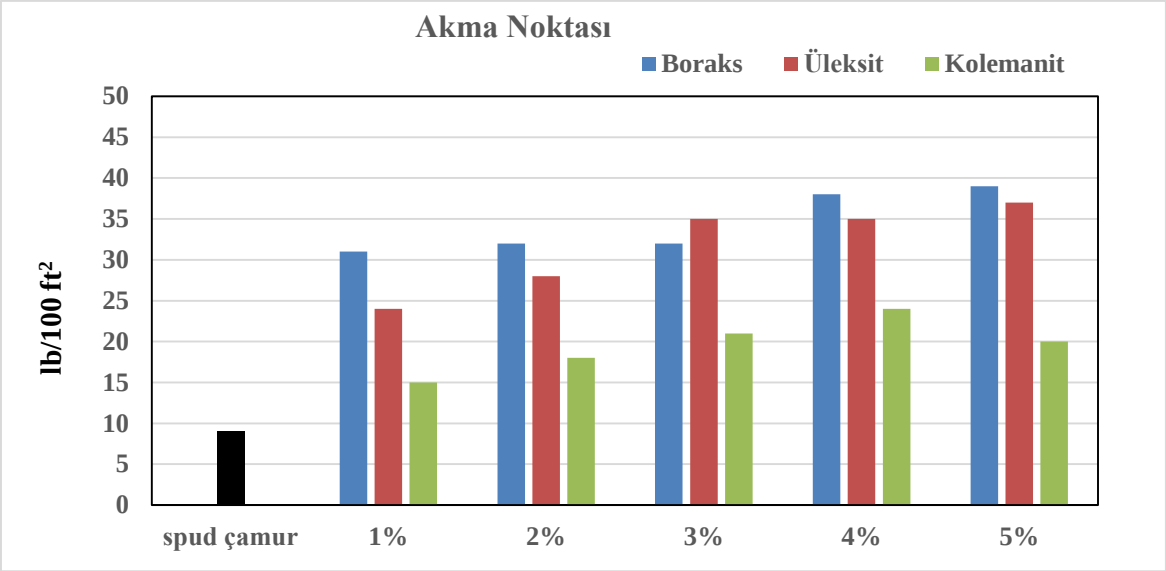
Ayrıca; sondaj çamuruna eklenmiş bor minerallerinin her bir reolojik özellikler üzerine etkisi de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 4.4. 45µ Boraks, 75µ Üleksit ve 100µ Kolemanitin farklı konsantrasyonlarda sondaj çamuruna eklenmesi sonucu elde edilen PV değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.5. 45µ Boraks, 75µ Üleksit ve 100µ Kolemanitin farklı konsantrasyonlarda sondaj çamuruna eklenmesi sonucu elde edilen AV değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.6. 45µ Boraks, 75µ Üleksit ve 100µ Kolemanitin farklı konsantrasyonlarda sondaj çamuruna eklenmesi sonucu elde edilen YP değerlerinin karşılaştırılması

Su bazlı sondaj çamurunun viskozitesi içine eklenen katkı maddelerine ve bu katkı maddelerin konsantrasyonlarına bağlı olarak değişebilmektedir. Tebeşir, barit ve hematit gibi yoğunluk arttırıcı maddeler viskoziteyi arttırabilir. Yukarıdaki grafikler incelendiğinde sondaj çamurundaki boraks ve kolemanit konsantrasyonu arttıkça plastik viskozite değerinin arttığı görülmüştür. Ancak üleksit konsantrasyonun artmasıyla plastik viskozitenin azaldığı, %3 oranında üleksit eklemesinin ardından plastik viskozitenin yükselmesine rağmen hala spud çamurunun plastik viskozite değerinin altında olduğu gözlenmiştir. Görünür viskozite değerlerinin ise bu üç bor türevleri ile arttığı gözlemlenmiştir. Sondaj çamuruna boraks, üleksit ve kolemanit ilavesinin daha iyi akışkanlık sağlayabileceği gibi dalgalanma, sürtünme basıncı, diferansiyel yapışması ve yavaş penetrasyon hızı gibi olası sorunları azaltabileceği de görülmüştür. Bu durumun literatürdeki diğer çalışmalar (Falode, Ehinola ve Nebeife, 2008; Xianhai, Yihe ve Paul, 2012) ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

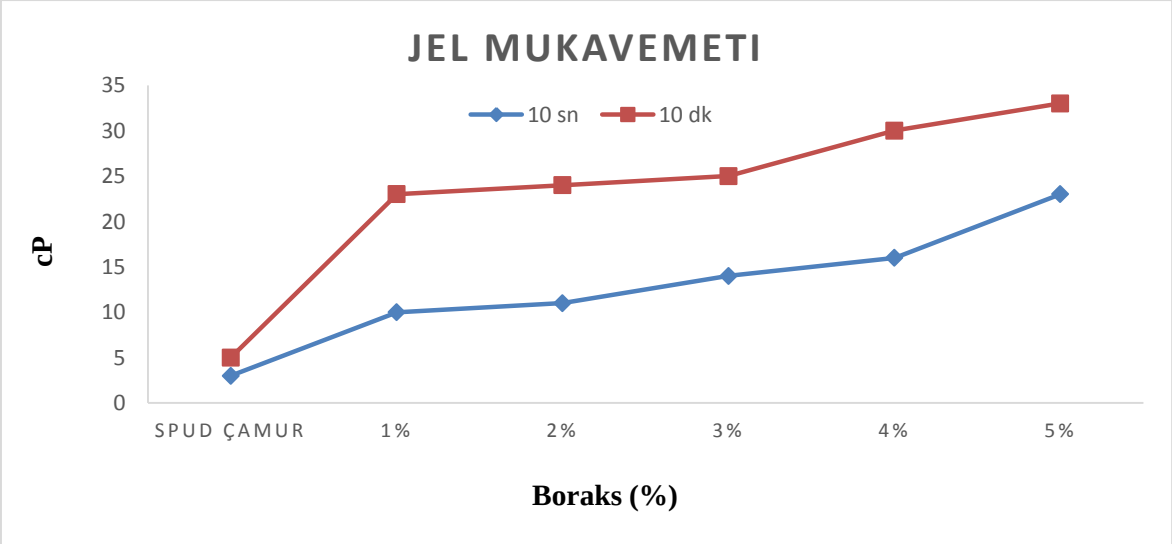
Şekil 4.1'de görüldüğü gib 45µ boraks eklenmiş sondaj çamurunun, spud çamura göre plastik viskozite değerinde 5,5 cP'luk artış görülürken görünür viskozite değerinde 12,5 cP'lik artış gözlemlenmiştir.

Şekil 4.2'de 75µ üleksit eklenmiş sondaj çamuru, spud çamur ile karşılaştırıldığında; üleksitin plastik viskozite değerinde 1,5 cP'luk azalmaya sebep olduğu, bu durumun ise

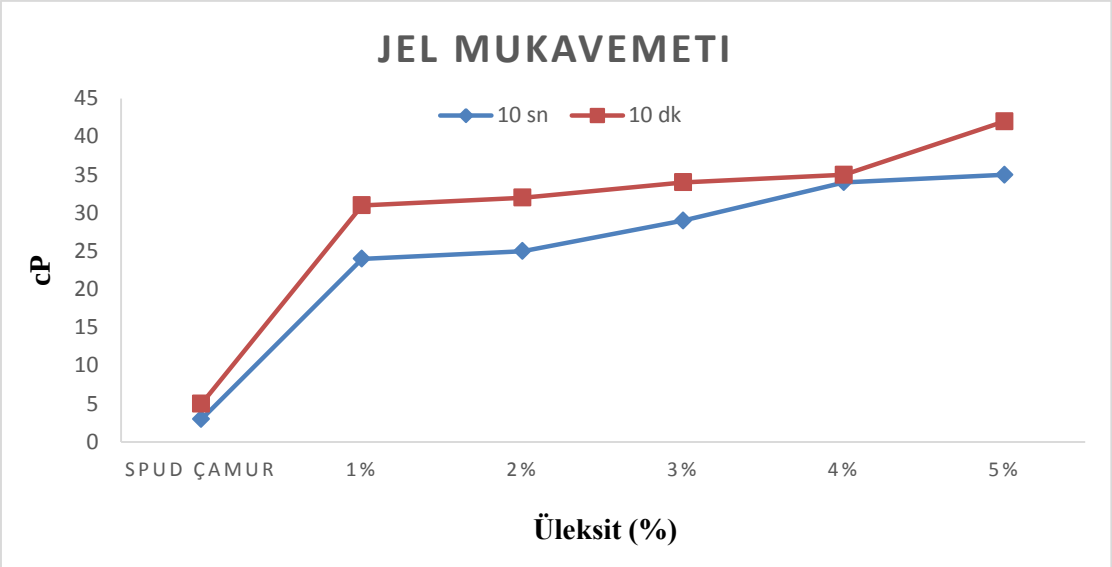
%3 oranında Üleksit eklenmesinden sonra sabitlendiği görülmüştür. Ayrıca Üleksit eklemsinin görünür viskozite değerinde 12,5 cP'lik artışa sebep olduğu belirlenmiştir.

Şekil 4.3'de ise 100µ kolemanit katkılı sondaj çamurunun spud çamura göre plastik viskozite değerinde sürekli artış eğilimi olduğu ve toplamda 3,5 cP'luk artış gözlemlenmiştir. Görünür viskozitede değerinde ise 8,5 cP'lik artış gözlenmiş ve bu artış % 4 kolemanit eklemesinden sonra aşağı yönlü değişmiştir. Çamurun statik konumdan dinamik konuma geçişi için gereken pompa ve basınç seçimi açısından önemli olan (Ahmaruzzaman, 2010) akma noktası değerinde de görünür viskoziteye benzer bir durum olduğu tespit edilmiştir. İdeal bir sondaj operasyonu için gerekli olan sondaj çamurunun akma noktası 50 lb/100 ft^2 değerinden büyük ya da akma noktası plastik viskozite değerinin yaklaşık olarak üç katı olması gerekir. Her üç bor minerali de çamurun akma noktasını arttırdığı hatta boraks ve üleksitin akma noktası değerini spud çamuru değerinin üç katı kadar arttırdığı görülmüştür. Ancak kolemanit miktarının % 4'ün üzerine çıkması durumunda bu değerde azalmaya sebebiyet olduğu da yapılan deneyler sonucunda tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçların API standartları ile uyum içerisinde olduğu bulunmuştur.

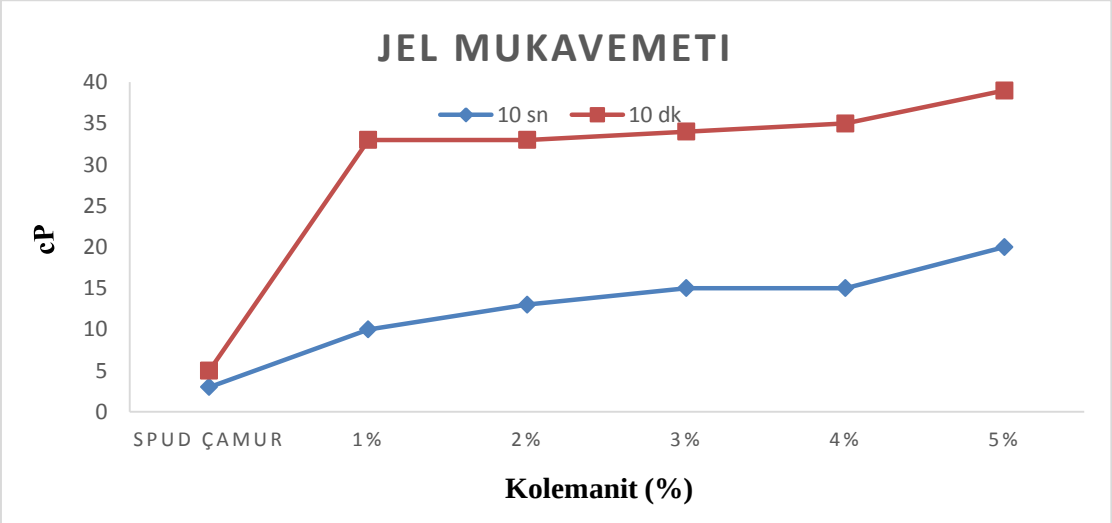
Zayıf kuyu temizliği, yüksek tork, kuyu stabilizasyonunun olmayışı, sirkülasyon kaybı ve formasyon hasarı gibi sondaj operasyonu esnasında oluşan problemlerin ortadan kaldırılması için yüksek bir jel kuvveti istenir (Kasiralvalad, 2014). Farklı boyut ve farklı konsantrasyonlardaki boraks, üleksit ve kolemanit katkılı sondaj çamurlarının jel kuvvetlerindeki değişim aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.



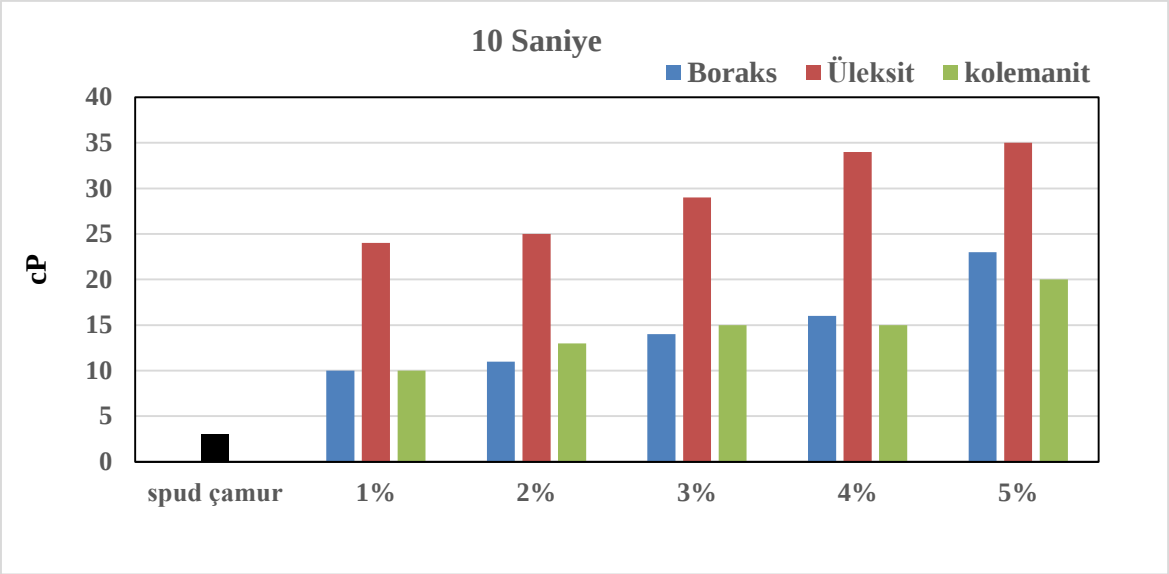
Şekil 4.7. 45µ Boraks katkılı çamurun jel mukavemeti değerlerindeki değişim



Şekil 4.8. 75µ Üleksit katkılı çamurun jel mukavemeti değerlerindeki değişim

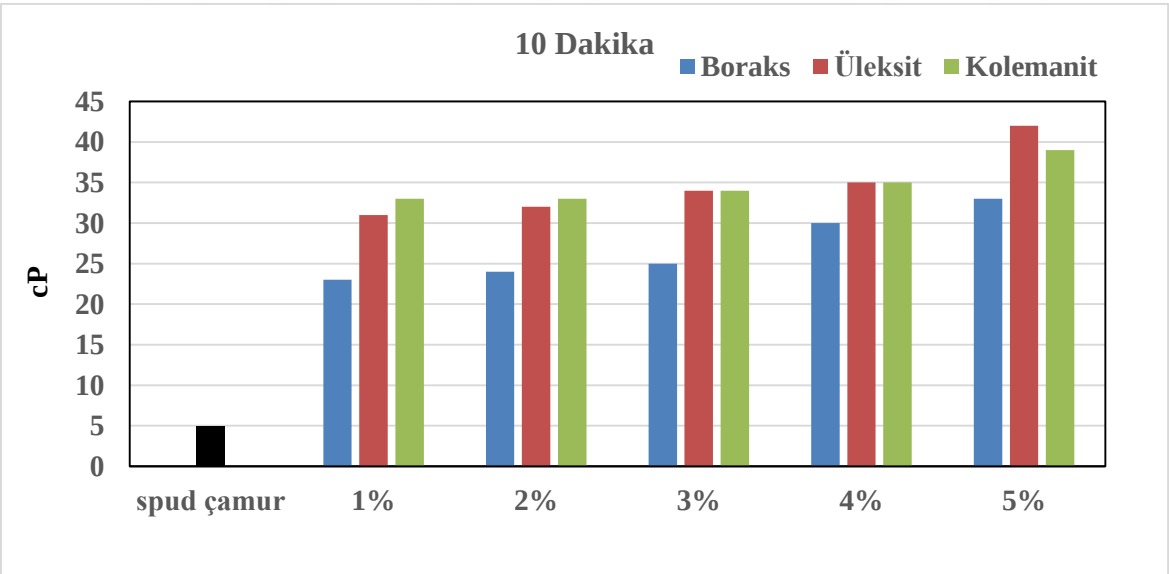


Şekil 4.9. 100µ Kolemanit katkılı çamurun jel mukavemeti değerlerindeki değişim



Şekil 4.10. 45µ Boraks, 75µ Üleksit ve 100µ Kolemanitin farklı konsantrasyonlarda sondaj çamuruna eklenmesi sonucu elde edilen 10 sn jel mukavemetleri değerlerinin karşılaştırılması

Boraks, üleksit ve kolemanit katkılanan sondaj çamurunun 10 Saniye jel mukavemetini arttırdığı görülmektedir ve en fazla artış üleksitte gözlemlenmiştir. Üleksit katkılı çamurun değeri spud çamurun değerinin 6 katından daha büyük bir artış göstermiştir.



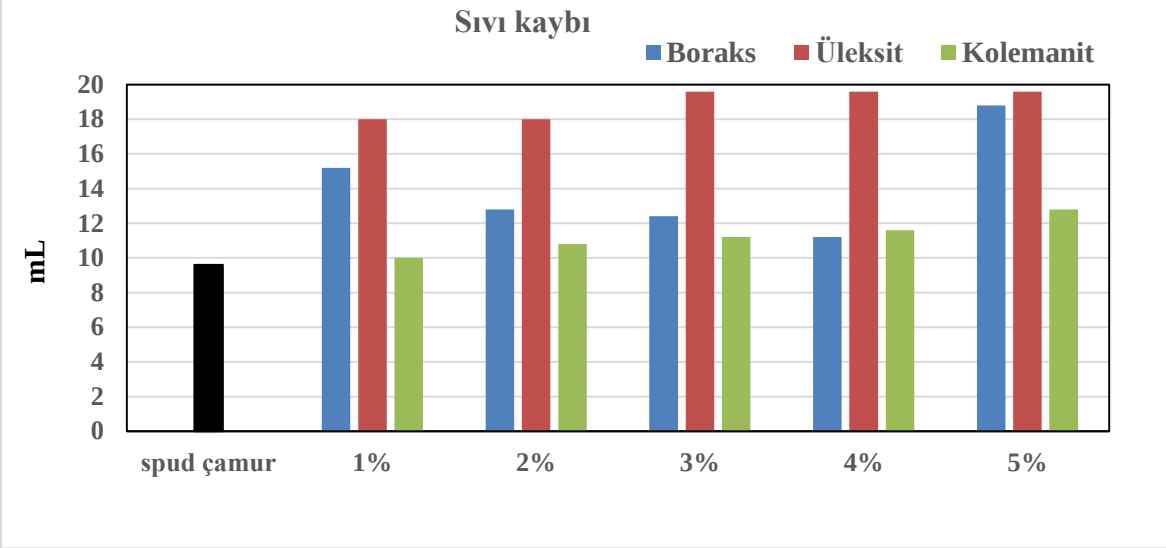
Şekil 4.11. 45µ Boraks, 75µ Üleksit ve 100µ Kolemanitin farklı konsantrasyonlarda sondaj çamuruna eklenmesi sonucu elde edilen 10 dakika jel mukavemetleri değerlerinin karşılaştırılması

10 dakika jel mukavemeti analiz sonuçları incelendiğinde; üleksit ve kolemanit ekli çamurların % 1 oranında eklemenin olumlu etki ettiği, % 1-4 arası çok az etki ettiği ancak %5 oranında ekleme ile belirgin artış tekrar gözlemlenmiştir. Boraks, üleksit ve kolemanit

katkılı sondaj çamurlarındaki hem 10 dakika hem 10 saniye jel mukavemeti değerleri API standartlarına uyum sağlamaktadır.

4.2. Su Bazlı Sondaj Çamurlarının Filtrasyon Özelliklerine Boraks, Üleksit ve Kolemanitin Etkisi

Sondaj kuyusunda sürekli dolaşan sondaj çamurundaki sıvı kaybı, sondaj ekipmanın kuyuda sıkışmasına neden olabilir ve dolayısıyla bu da sondaj operasyonunda çok fazla maliyete ve zaman kaybına neden olduğundan dolayı sürekli olarak azaltılmaya çalışılır. API standartlarına göre sondaj çamurunun sıvı kaybı miktarının 10-15 mL aralığında olması istenir. Şekil 4.12'de boraks, üleksit ve kolemanit katkılı çamurların sıvı kaybı değerleri verilmiştir.

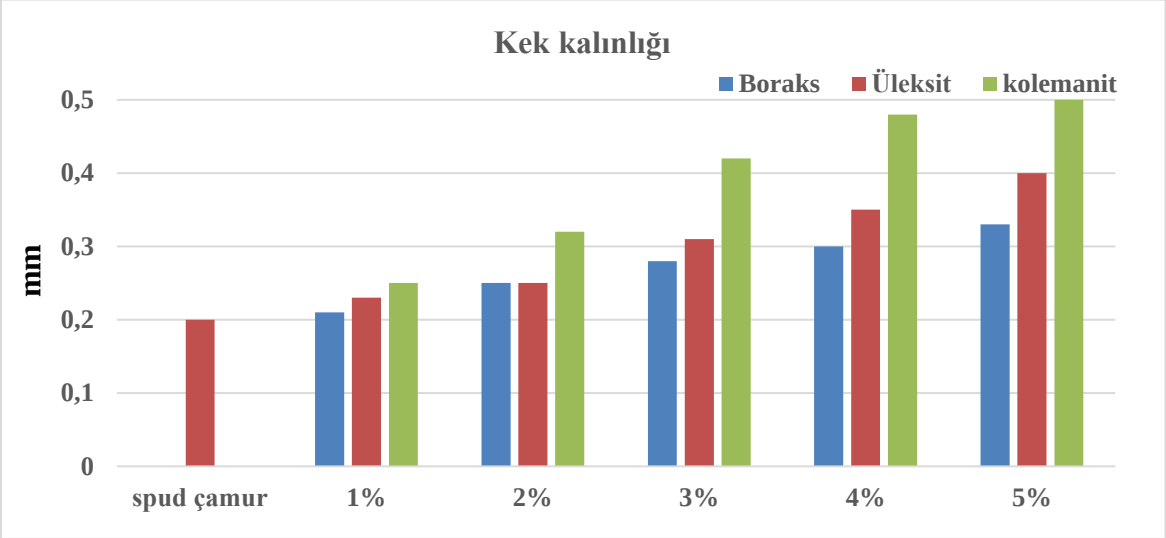


Şekil 4.12. Boraks, Üleksit ve Kolemanitin farklı konsantrasyonlarda sondaj çamuruna eklenmesi sonucu elde edilen Sıvı kaybı değerlerinin karşılaştırılması

Boraks, üleksit ve kolemanit katkılı sondaj çamurlarının sıvı kayıpları bor mineralleri katkısız sondaj çamurunun sıvı kaybından daha yüksek bulunmuştur. Dolayısıyla bor mineralleri eklemesinin sıvı kaybına olumsuz etki ettiği tespit edilmiştir. Genel hatlarıyla bor minerallerinin etkisi kendi içlerinde karşılaştırıldığında en az olumsuz etkiyi gösteren mineralin boraks olduğu görülmüştür.

Sondaj sırasında ince ve geçirimsiz bir kek oluşması istenir. API standartlarına göre oluşan bu filtre kekin yüzeyinin pürüzsüz ve kek kalınlığının 1-2 mm (maksimum 4mm) olması istenir.

Aynı zamanda kek kalınlığının fazla olması sondaj ekipmanın sıkışmasına, kuyu deliğinin stabil olmamasına ve üretken bölgelerde uygun kuyu log değerlendirilmelerinin yapılamaması gibi problemlerin ortaya çıkmasına neden oluşturduğu bilinmektedir (Ersoy, 2008). Bu açıdan önem arz eden sondaj çamuru kek kalınlıkları analiz sonuçları Şekil 4.13'te verilmiştir.

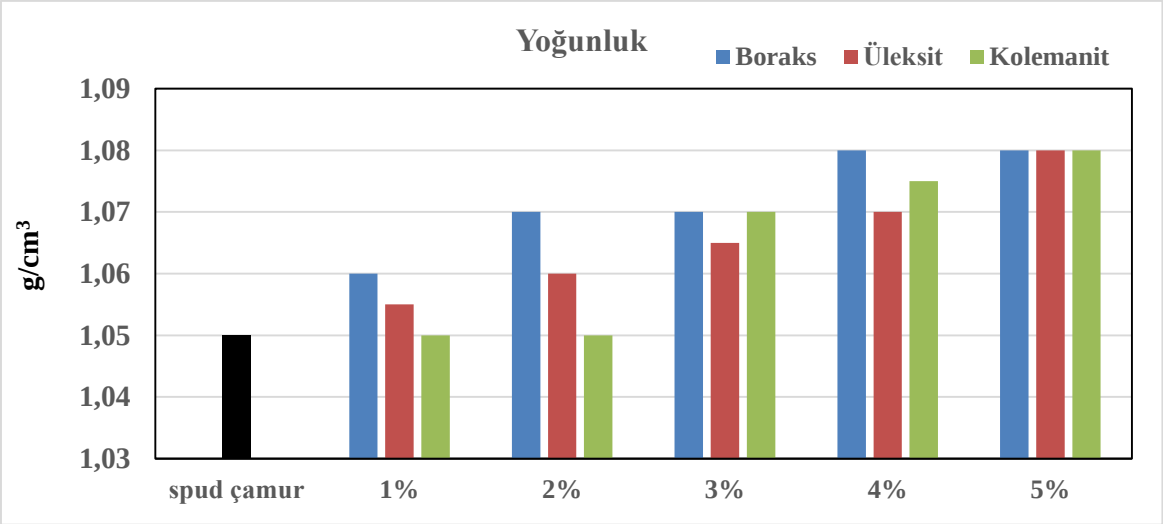


Şekil 4.13. Boraks, Üleksit ve Kolemanitin farklı konsantrasyonlarda sondaj çamuruna eklenmesi sonucu elde edilen Kek kalınlıkları değerlerinin karşılaştırılması

Sondaj çamurundaki boraks, üleksit, kolemanit konsantrasyonları arttıkça kek kalınlığının da arttığı görülmüştür.

4.3. Sondaj Çamuru Yoğunluk Testi

Çamur numunelerinin yoğunlukları Resim 3.3'de verilen çamur terazisi ile ölçülmüştür. Yoğunlukları ölçülen çamur numunelerine ait değerler Şekil 4.14' te verilmiştir.

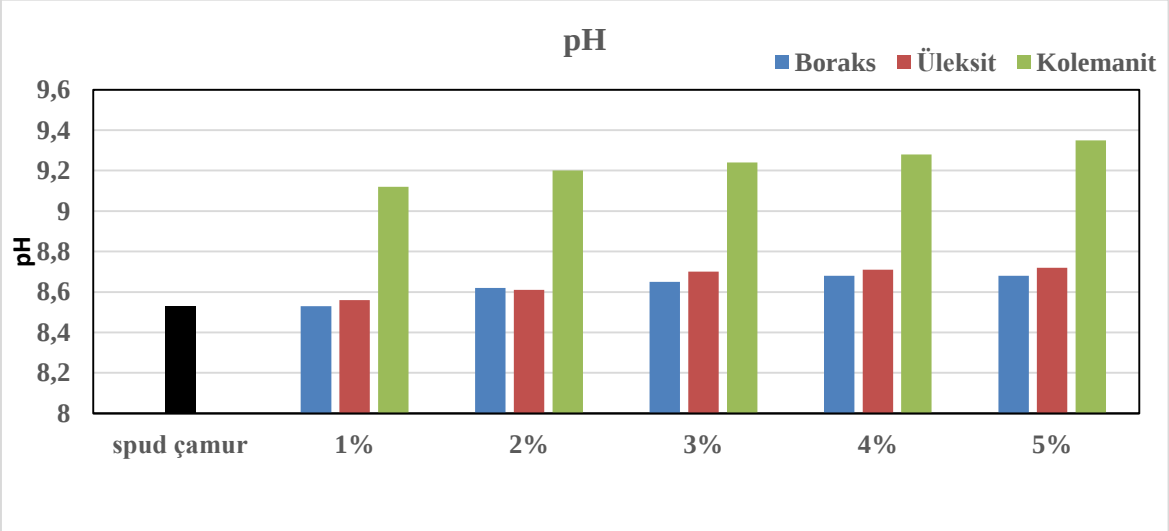


Şekil 4.14. Boraks, Kolemanit ve Üleksit'in farklı konsantrasyonlarda sondaj çamuruna eklenmesi sonucu elde edilen çamur yoğunlukları değerlerinin karşılaştırılması

Genel hatlarıyla bor minerallerinin sondaj çamurunun yoğunluğunu artırdığı bulunmuştur.

4.4. Sondaj Çamurunun pH Testi

Çamur numunesinin pH ölçümü Resim 3.4'de verilen pH metre ile ölçülmüştür. pH değerleri ölçülen çamur numunelerinden elde edilen değerler Şekil 4.15' te verilmiştir.



Şekil 4.15. Boraks, Kolemanit ve Üleksit'in farklı konsantrasyonlarda sondaj çamuruna eklenmesi sonucu elde edilen pH değerlerinin karşılaştırılması

Bor minerallerinin tümünün çamurun pH değerini arttırdığı tespit edilmiştir. Bu artış, boraks ve kolemanitte az oranda gerçekleşirken, kolemanitte fazlaca gözlenmiştir.

4.5. X Işını Floresans Spektrometresi (XRF) Analizi

Boraks, üleksit ve kolemanit numunelerinin XRF Analizi sırasıyla Çizelge 4.1, Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'da verilmiştir.

Çizelge 4.1. Boraks numunesinin X Işını Floresans Spektrometresi (XRF) Analiz sonuçları

Bileşen	İçerik
B_2O_3	% 47,80 – 49,00
$Na_2B_4O_7.5H_2O$	% 100,00 – 102,5
Na_2O	% 21,36 – 21,81
SO_4	200 ppm
Cl	70 ppm
Fe	3 ppm
Suda çözünmeyenler	150 ppm

Çizelge 4.2. Üleksit numunesinin X Işını Floresans Spektrometresi (XRF) Analiz sonuçları

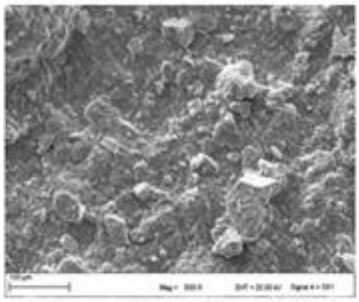
Bileşen	İçerik
B_2O_3	% 37
CaO	% 19
SiO_2	% 4
SO_4	% 0,25
As	40 ppm
Fe_2O_3	% 0,04
Al_2O_3	% 0,25
MgO	% 2,5
SrO	% 1
Na_2O	% 3,5

Çizelge 4.3. Kolemanit numunesinin X Işını Floresans Spektrometresi (XRF) Analiz sonuçları

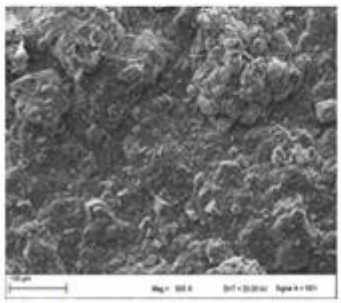
Bileşen	İçerik
B_2O_3	% 40
CaO	% 27
SiO_2	% 4,00-6,50
SO_4	% 0,6
As	35 ppm
Fe_2O_3	% 0,08
Al_2O_3	% 0,4
MgO	% 3
SrO	% 1,5
Na_2O	% 0,5
L.O.I.	% 25
Nem	% 1,00
Kütle Yoğunluğu	1,00 ton/m^3

4.6. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi

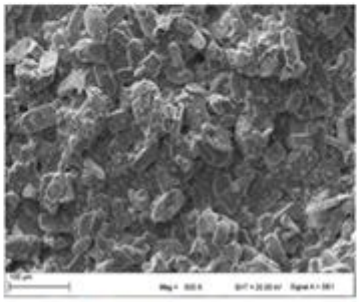
Spud çamur, boraks, üleksit ve kolemanit ilaveli çamur numunelerinin taramalı elektron mikroskobu altında görüntüleri sırasıyla Resim 4.1, Resim 4.2 ve Resim 4.3'da verilmiştir. Sondaj çamurlarının SEM görüntüleri incelendiğinde, bor minerallerinin Na-Bentonite yapı içerisinde çok net bir şekilde görülmektedir.



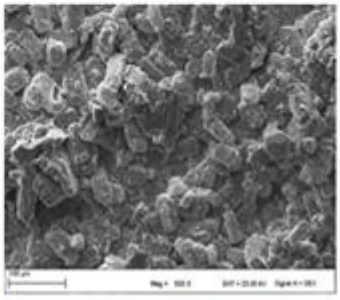
Spud Çamur (Boraks Minerali Katkısız)



45 µm Boraks Katkılı Çamur (% 1)

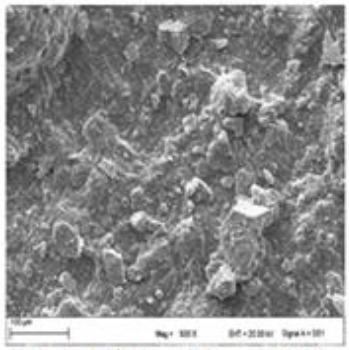


45 µm Boraks Katkılı Çamur (% 3)

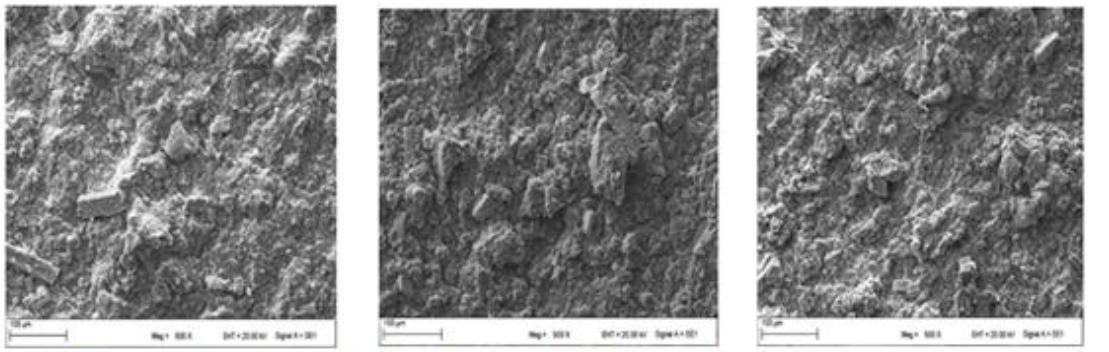


45 µm Boraks Katkılı Çamur (% 5)

Resim 4.1. Spud çamur ve boraks minerali katkılı sondaj çamurlarının SEM görüntüleri

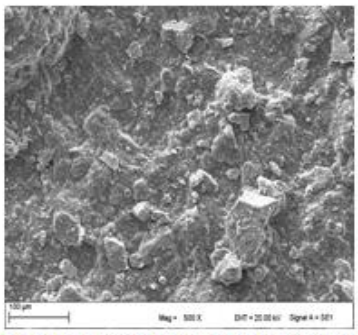


Spud Çamur (Üleksit Minerali Katkısız)

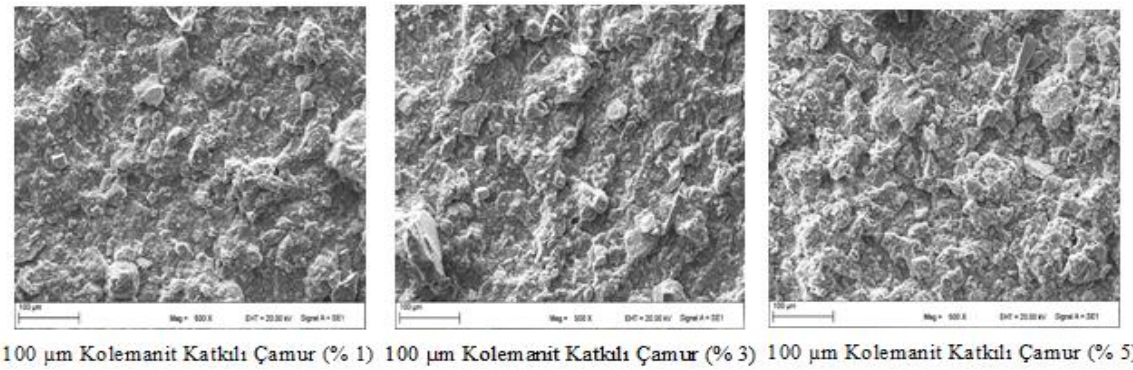


75 µm Üleksit Katkılı Çamur (% 1) 75 µm Üleksit Katkılı Çamur (% 3) 75 µm Üleksit Katkılı Çamur (% 5)

Resim 4.2. Spud çamur ve üleksit katkılı sondaj çamurlarının SEM görüntüleri



Spud Çamur (Kolemanit Minerali Katkısız)



100 µm Kolemanit Katkılı Çamur (% 1) 100 µm Kolemanit Katkılı Çamur (% 3) 100 µm Kolemanit Katkılı Çamur (% 5)

Resim 4.3. Spud çamur ve kolemanitin katkılı sondaj çamurlarının SEM görüntüleri

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada su bazlı sondaj çamuruna boraks, üleksit ve kolemanit ilave edilerek reolojik ve filtrasyon özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bor mineralleri farklı konsantrasyonlarda % 1-5 (w/v) ve farklı tanecik boyutlarında (45 μm, 75 μm ve 100 μm) sondaj çamuruna eklenmiştir.

Yapılan çalışma sonucunda; bor minerallerinin sondaj çamuruna etkileri aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1. Boraks minerali eklenmiş sondaj çamurunun spud (katkısız) çamura göre;
    - plastik viskozite değeri 5,5 cP artmıştır,
    - görünür viskozite değeri 12,5 cP artmıştır,
    - akma noktası değeri 30 cP artmıştır,
    - 10 saniye değeri 20 cP artmıştır,
    - 10 dakika değeri 28 cP artmıştır,
    - Sıvı kaybı değeri 9,2 mL artmıştır
    - Kek kalınlığı değeri 0,13 mm artmıştır,
    - pH değeri 0,15 artmıştır,
    - yoğunluğu 0,3 g/cm^3 armıştır.

2. Üleksit minerali eklemiş sondaj çamurunun spud (katkısız) çamura göre;
    - plastik viskozite değeri 1,5 cP azalmıştır,
    - görünür viskozite değeri 12,5 cP artmıştır,
    - akma noktası değeri 28 cP artmıştır,
    - 10 saniye değeri 32 cP artmıştır,
    - 10 dakika değeri 37 cP artmıştır,
    - Sıvı kaybı değeri 10 mL artmıştır,
    - Kek kalınlığı değeri 0,2 mm artmıştır,
    - pH değeri 0,19 artmıştır,
    - yoğunluğu 0,3 g/cm^3 artmıştır.

3. Kolemanit minerali eklemiş sondaj çamurunun spud (katkısız) çamura göre;
    - plastik viskozite değeri 3,5 cP artmıştır,
    - görünür viskozite değeri 9 cP artmıştır,
    - akma noktası değeri 11 cP artmıştır,
    - 10 saniye değeri 17 cP artmıştır,
    - 10 dakika değeri 34 cP artmıştır,
    - Sıvı kaybı değeri 3,2 mL artmıştır,
    - Kek kalınlığı değeri 0,3 mm artmıştır
    - pH değeri 0,82 artmıştır,
    - yoğunluğu 0,3 g/ cm^3 artmıştır.

Sonuç olarak yapılan bu çalışma ile bor minerallerinin su bazlı sondaj çamuruna katkı maddesi olarak ilave edilmesi ile sondaj çamurunun reolojik özellikleri iyileştirilebilmiştir. Ayrıca tanecik boyutunun da önemli bir değişken olduğu anlaşılmış olup, ileride bor minerallerinin nano boyuta indirgenerek bu çalışmanın tekrarlanmasında yarar olabileceği kanısına varılmıştır.

KAYNAKLAR

20 Mule Team Borax, (2018). Borates in oilfield chemical applications. borax.com, 3-4.

Ahmaruzzaman, M. (2010). A review on the utilization of fly ash. *Progress in Energy and Combustion Science*, 36(3), 327-363.

Al-Zubaidi, N. S., Alwasiti, A. A. and Mahmood, D. (2016). A comparison of nano bentonite and some nano chemical additives to improve drilling fluid using local clay and commercial bentonites. Egyptian Journal of Petroleum, 26, 811–818.

Amanullah, Md. and Yu, L. (2005). Environment friendly fluid loss additives to protect the marine environment from the detrimental effect of mud additives. J. Pet. Sci. Eng., 48, 199-208.

Amoco Production Company, (1994). Drilling Fluids Manual. six ed., 1-3.

Barnes, H. A., Hutton, J. F. and Walters, K. (1989). An introduction to rheology. Vol. 3. Elsevier.

Barry, M.M., Jung, Y., Lee, J.K., Phuoc, T.X. and Chyu, M.K. (2015). Fluid filtration and rheological properties of nanoparticle additive and intercalated clay hybrid bentonite drilling fluids. J. Petrol. Sci. Eng., 127, 338–346.

BOREN (Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü), http://www.boren.gov.tr/tr/bor/bor-mineralleri. (İnternet erişim tarihi 25.12.2016)

Bourgoyne, A. T., Millheim, K. K., Chenevert, M. E. and Young, F. S. (1991). Applied drilling engineering. SPE Textbook Series, Dallas, TX, 2.

Chaplin, M. (2016). Water structure and science. http://www1.lsbu.ac.uk/water/rheology.html

Chua, Q. and Linc L. (2019). Synthesis and properties of an improved agent with restricted viscosity and shearing strength in water-based drilling fluid. Journal of Petroleum Science and Engineering, 173, 1254‑1263.

Çalık, A. 2002. Türkiye'nin bor madenleri ve özellikleri. Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendis ve Makine Dergisi, 508, 36-41.

Çengel, Y.A. and Cımbal, J.H. (2007). Akışkanlar Mekaniği Temelleri Ve Uygulamaları. Güven Bilimsel, 1-53.

Du, H., Wang, G., Deng, G. and Cao, C. (2018). Modelling the effect of mudstone cuttings on rheological properties of KCl/Polymer water-based drilling fluid. J. Petrol. Sci. Eng., 170, 422-429.

Ediz, N. ve Özday, H.(2001). Bor mineralleri ve ekonomisi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Sayı, 2, Kütahya.

Elochukwu, H., Sia, L.K.S.L., Gholami, R. and Hamid, M.A. (2018). Data on experimental investigation of Methyl Ester Sulphonate and nanopolystyrene for rheology improvement and filtration loss control of water-based drilling fluid. Data in Brief, 21, 972–979.

Ersoy, A. ve Yünsel, T.Y. (2007). Rotary (Döner) Sondajlarda Matkap Çalışma ve Kaya Parametrelerinin İlerleme Hızı Üzerine Etkileri

Ersoy, A. *"Sondaj Teknikleri ve Uygulamaları"*. Nobel Kitabevi, Ankara. ISBN: 978 605 397 014 9, 2008.

Eti Mine, (2014a). Kestelek colemanite "Product catalogue", p. 2, Ankara, Eti Mine Works General Management Publishing.

Eti Mine, (2014b). Milled colemanite "Product catalogue", p. 3, Ankara, Eti Mine Works General Management Publishing.

Eti Maden, http://www.etimaden.gov.tr/dunyada-bor. (İnternet erişim tarihi 12.12.2018).

Falode, O.A., Ehinola, O.A. and Nebeife, P.C. (2008). "Evaluation of local bentonite clay as oil well drilling fluid in Nigeria". *Applied Clay Science*, 39(1-2), 19-27.

Gentzis, T., Deisman, N. and Chalaturnyk, R.J. (2009). Effect of drilling fluids on coal permeability: Impact on horizontal wellbore stability. Int. J. Coal Geol., 78, 177-191.

Greenwood, N.N. (1975). Boron. Pergamon Press, 327, Oxford.

Greenwood, N.N. and Earnshaw, A. (1984). Chemistry of the elements. Pergamon Press, 155-160, Oxford.

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.

Halilova, H. and Özmen, L. (2006). Bor elmentinin doğada bulunuşu ve etkisinin araştırılması. III. Uluslararası bor sempozyumu, s. 495, Ankara.

Kaiser, M.J. (2009). Modeling the time and cost to drill an offshore well. Energy, 34 (9) , 1097-1112.

Kasiralvalad, E. (2014). "The great potential of nanomaterials in drilling & drilling fluid applications". *International Journal of Nano Dimension*, 5(5), 463-471, (Special Issue).

Khalil, M. and Jan, B.M. (2012). Herschel-Bulkey rheological parameters of a novel environmentally friendly lightweight biopolymer drilling fluid from xanthan gum andstarch. J. Appl. Polym. Sci.,124 (1), 595–606.

Korzilius, J. and Minks, P. (2001). alkalı-metal-carboxylate contaınıng drıllıng fluıd havıng ımproved corrosıon propertıes. US 6,239,081 B1

Livescu, S. (2012). Mathematical modeling of thixotropic drilling mud and crude oil flow in wells and pipelines—a review. J. Petrol. Sci. Eng., 98, 174-184.

Luckham, P.F. and Rossi, S. (1999). The colloidal and rheological properties of bentonite suspensions. Adv. Colloid Interface Sci., 82 (13), 43–92.

Luo, Z., Pei, J., Wang, L., Yu, P. and Chen, Z. (2017). Influence of an ionic liquid on rheological and filtration properties of water-based drilling fluids at high temperatures, Applied Clay Science, 136.

Mohammadi, M., Kouhi, M., Sarrafi, A. and Schaffie, M. (2013). Studying rheological behavior of nanoclay as oil well drilling fluid. Res. Chem. Intermed., 41 (5), 2823–2831.

Nabhani, N. and Emami, M. (2012). The Potential Impact of Nano Materials in Oil Drilling Industry, NanoCon.,Vol.10 , 23-25.

Nasırı, A., Amerı Shahrabı, M.J., Sharıf Nık, M.A., Heıdarı, H. and Valızadeh, M. (2018). Influence of monoethanolamine on thermal stability of starch in water based drilling fluid system. Petroleum Exploratıon and Development, 45, 167–171.

Okur, R. (2008). Hatay bölgesinde yetişen çeşitli sebze ve meyvelerdeki bor seviyelerinin belirlenmesi. Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

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

Saboori, R., Sabbaghi, S., Mowla, D. and Soltani, A. (2012). Decreasing of water loss and mud cake thickness by CMC nanoparticles in mud drilling. International Journal of Nano Dimension, 3(2), 101-104.

Sanchez, R.A., Azar, J.J., Bassal, A.A. and Martins, A.L. (1997). The effect of drillpipe rotationon hole cleaning during directional well drilling. In: Paper SPE 37626, Presented at the SPE/IADC Drilling Conference in Amsterdam, Netherlands.

Saxena, A., Pathak, A.K., Ojha, K. and Sharma, S. (2017). Experimental And Modeling Hydraulic Studies Of Foam Drilling Fluid Flowing Through Vertical Smooth Pipes, Egyptian Journal of Petroleum, 26, 279-290.

Smith, S.R., Rafati, R., Haddad, A.S., Cooper, A. and Hamidi, H. (2018). Application of aluminium oxide nanoparticles to enhance rheological and filtration properties of water based muds at HPHT conditions. Colloids and Surfaces A, 537, 361–371.

Sulaimon, A.A., Adeyemi, B.J. and Rahimi, M. (2017). Performance Enhancement Of Selected Vegetable Oil As Base Fluid For Drilling HPHT Formation, Journal of Petroleum Science and Engineering,152, 49-59.

TPAO (Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı), (2007). Sondaj Akışkanları Teknolojisi, Araştırma Merkezi Daire Başkanlığı, Sondaj Teknolojisi Müdürlüğü, Ankara.

Weng, J., Gong, Z., Liao, L., Lv, G. and Tan, J. (2018). Comparison of organo-sepiolite modified by different surfactants and their rheological behavior in oil-based drilling fluids. Appl. Clay Sci., 159, 94-101.

Werner, B., Myrseth, V. and Saasen, A., (2017). Viscoelastic Properties Of Drilling Fluids And Their İnfluence On Cuttings Transport, Journal of Petroleum Science and Engineering, 156, 845–851.

Wilkinson, DJ., (2018). What is rheology? Eye, 32, 179–83.

Xianhai, M., Yihe, Z. and Paul, K.C. (2012)"Effects of carbon ash on rheological properties of water-based drilling fluids". *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 100, 1-8.

Xie, B. and Liu, X., (2017). Thermo-Thickening Behavior of LCST-Based Copolymer Viscosifier For Water-Based Drilling Fluids, Journal of Petroleum Science and Engineering, 154, 244-251.

Zhao, X., Qiu, Z., Huang, W. and Wang, M. (2017). Mechanism and method for controlling low-temperature rheology of water-based drilling fluids in deepwater drilling, Journal of Petroleum Science and Engineering, 154, 405-416.

Zhong, Qiu, Z., Huang, W. and Cao, J. (2011). Shale inhibitive properties of polyether diamine in water-based drilling fluid, Hanyi. J. Pet. Sci. Eng., 78, 510-515.

Zhuang, G., Wua, H., Zhang, H., Zhang, Z., Zhang, X. and Liao, L. (2017b). Rheological properties of organo-palygorskite in oil-based drilling fluids aged at different temperatures, Applied Clay Science, 137, 50-58.

Zhuang, G., Zhang, Z., Jaberb, M., Gao, J. and Peng, S. (2017a). Comparative Study on the Structures and Properties of Organo-Montmorillonite and Organo-Palygorskite in Oil-Based Drilling Fluids, Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 56, 248-257.

Zhuang, G., Zhang, Z., Yang, H. and Tan, J. (2018). Structures and rheological properties of organo-sepiolite in oil-based drilling fluids. Appl. Clay Sci., 154, 43–51.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler



Soyadı, adı : SEBÜKTEKİN, Behlül Merve

Uyruğu : T.C.

Doğum tarihi ve yeri : 29.06.1992, Adıyaman

Medeni hali : Evli

Telefon : -

Faks : -

e-mail : behlulmervekaplan@gmail.com

Eğitim

Derece	**Eğitim Birimi**	**Mezuniyet Tarihi**
Yüksek lisans	İskenderun Teknik Üniversitesi / Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	İskenderun Teknik Üniversitesi / Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Mühendisliği	2015
Lise	Atatürk Lisesi	2010

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Özkan, A., Kaplan, B. M., Özkan, V., Turan, S.E. ve Eker, Ç. (2017). ” Investıgatıon of the Effect of Borax on the Rheologıcal and Chemıcal Propertıes of Drıllıng Mud ”. International Conference on Engineering Technologies (ICENTE’17), 85.

Özkan, A., Kaplan, B. M., Özkan, V. ve Turan, S.E.(2017). “ Effect of Nano Zeolıte Addıtıon ın Drıllıng Fluıd ”. International Conference on Advances and Innovations in Engineering (ICAIE), 716.

Özkan, A., Kaplan, B.M., Özkan, V., Turan, S.E. ve Eker, Ç. ” Rheologıcal Propertıes of Ulexıte Added Drıllıng Fluıds ”. (2017). International Conference on Engineering Technologies (ICENTE’17), 75.

Özkan, A., Turan, S.E., Özkan, V. ve Kaplan, B. M. (2017). “ Investigation of Fly Ash Effect on Rheological and Filtration Properties of Drilling Muds ”. International Conference on Advances and Innovations in Engineering (ICAIE), 717.

Özkan, A. ve Kaplan, B. M. (2018). Kolemanitin Su Bazlı Sondaj Çamurlarında Katkı Maddesi Olarak Kullanımı; International Science and Academic Congress (INSAC 2018)

Özkan, A., Turan, S. E. ve Kaplan, B. M. (2018). Investigation of Fly Ash Effect on Rheological and Filtration Properties of Drilling Muds. Fresenıus Envıronmental Bulletın, 27, 9189-9194.

Özkan, A., Kaplan, B.M., Özkan, V. ve Turan, S. E. (2018). Effect of Micro-Sized Colemanite on the Rheological Properties of the Water Based Drilling Fluid. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 33(4), 83-88.

Hobiler

Kitap okumak ve gezmek

DİZİN

A

ABSTRACT, ii
akma noktası, 4, 9, 25
Akma noktası, xviii
Akma Noktası, xviii
Amerikan Petrol Enstitüsü, xviii
API, i, xviii
ARAŞTIRMA BULGULARI, 24
AV, xviii

B

BOR, i
boraks , i

Ç

Çizelge, vi, 11, 12, 14, 15, 17, 18, 24, 34

F

FİLTRASYON, i

G

GİRİŞ, 1
görünür viskozite, i, xv, 10, 11, 27
Görünür viskozite, xviii

K

KAVRAMSAL ÇERÇEVE, iv
Kayma gerilimi, xviii
Kayma hızı, xviii
KAYNAKLAR, 39
Key Words, ii
kolemanit, i
Kolemanit, vi, xv, 15, 25, 29, 33, 34

M

Materyal, iv, 17
Metod, iv, 17

Ö

ÖZET, i

P

pH, iv
plastik viskozite, 4, 27
Plastik viskozite, xviii
PV, xviii

R

REOLOJİK, i
Resim, xvii, 35, 36

S

SEM, i, 35
sıvı kaybı, i
SİMGELER ve KISALTMALAR, xviii
Sondaj, i
Spud çamur, xvii

Ş

şekil, xv, 8, 9
Şekil, xv, xvi, xvii, 1, 9, 10, 11, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 35

T

TEŞEKKÜR, iii

Ü

üleksit, i
Üleksit, vi, xv, 24, 25, 26, 27, 29, 30, 31, 32, 33, 34

Y

yoğunluk , iv



TEKNOVERSİTE