



İSKENDERUN TEKNİK
ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK
LİSANS
TEZİ**

**PERLİTİN SU BAZLI
SONDAJ ÇAMURLARINDA
KATKI MADDESİ OLARAK
KULLANILMASININ ARAŞTIRILMASI**

Çağlar EKER

**PETROL VE DOĞALGAZ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**





**PERLİTİN SU BAZLI SONDAJ ÇAMURLARINDA KATKI MADDESİ OLARAK
KULLANILMASININ ARAŞTIRILMASI**

Çağlar EKER

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

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2022

Çağlar EKER tarafından hazırlanan “ PERLİTİN SU BAZLI SONDAJ ÇAMURLARINDA KATKI MADDESİ OLARAK KULLANILMASININ ARAŞTIRILMASI ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İskenderun Teknik Üniversitesi Petrol ve Doğalgaz 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. Ergül YAŞAR

Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

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

.....
.....

Üye: Doç. Dr. Hakan GÜNEYLİ

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Çukurova Üniversitesi

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

.....
.....

Tez Savunma Tarihi: 19/01/2022

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;

- Yükseköğretim Kuruluna gönderilen kopya ile tarafından Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'ne verilen basılı ve/veya elektronik kopyaların birebir aynı olduğunu,
- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,

Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarımı kabullendiğimi beyan ederim.

İmza

Çağlar EKER

...../...../.....

PERLİTİN SU BAZLI SONDAJ ÇAMURLARINDA KATKI MADDESİ OLARAK
KULLANILMASININ ARAŞTIRILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)

Çağlar EKER

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Ocak 2022

ÖZET

Sondaj uygulamalarında başarılı bir operasyon gerçekleştirmek için kullanılan sondaj akışkanının performansı oldukça önemlidir. Son zamanlarda özellikle pahalı teknolojilerin kullanıldığı yatay ve derin deniz sondajlarındaki gelişmelerin yanı sıra sondaj çamuru teknolojisindeki gelişmeler de ekonomik anlam kazanmıştır. Çevre korumaya yönelik yasal düzenlemelerin getirdiği yeni yükümlülüklerle çözüm aranırken aynı zamanda da mevcut sorunlara daha etkin çözüm yöntemleri arayışları devam etmektedir. Bahse konu olan bu durum doğrudan veya dolaylı olarak sondaj sıvısı ile ilişkilidir. Sondaj sıvısının temel görevleri; kayaç ve kırıntıların yüzeye taşınması, yer altı basıncını kontrol edilmesi, sondaj kuyusunun denge ve desteğinin sağlanması, kuyu tabanının temizlenmesi, matkap ve sondaj dizisinin soğutulması yağlanması, göçme ve oyuk oluşumuna engel olmak için geçirimsiz bir pastanın oluşturulması, yüksek basınçlı formasyonların kontrol edilmesi, sondaj dizisi ve koruma borularının taşınması, korozyona karşı koruyucu olması olarak ifade edilebilir.

Bu çalışmada; hem petrol hem de doğalgaz sondaj işlemlerinin önemli bir maliyet yükünü oluşturan sondaj çamuruna, ham perlit ve geliştirilmiş perlit ayrı ayrı eklenip sondaj çamurunun daha efektif kullanılması amaçlanmıştır. Bu bağlamda su bazlı sondaj çamuruna farklı oranlarda ham perlit (%0,5-5 k/h) ve geliştirilmiş perlit (%0,1-0,6 k/h) eklenerek hazırlanan sondaj çamuru numunelerinin; plastik viskozite, görünür viskozite, kopma (akma) noktası, jel mukavemeti (10 saniye, 10 dakika) gibi reolojik analizlerinin yanı sıra, sıvı kaybı ve kek kalınlığı gibi filtrasyon özellikleri de incelenmiştir.

Amerikan Petrol Enstitüsü (API) standartlarına göre gerçekleştirilen bu çalışmayla elde edilen sonuçlar incelendiğinde; ham perlit ve geliştirilmiş perlit ilave edilmiş sondaj çamurunun, spud (ham perlit ve geliştirilmiş perlit katkısız) çamura göre daha iyi reolojik özellik gösterdiği tespit edilmiştir. Dolayısıyla gerek ham perlitin gerekse de geliştirilmiş perlitin sondaj çamuru katkı maddesi olarak kullanılabilmesi kanaatine varılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Su bazlı sondaj çamuru, Ham perlit, Geliştirilmiş perlit, Reolojik ve filtrasyon özellikler
Sayfa Adedi : 51
Danışman : Doç. Dr. Abdullah ÖZKAN

INVESTIGATION ON THE USE OF PERLITE AS ADDITIVES IN WATER BASED DRILLING MUDS

(M. Sc. Thesis)

Çağlar EKER

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY
INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES

January 2022

ABSTRACT

The performance of the drilling fluid used is very important to perform a successful operation in drilling applications. Recently, developments in drilling mud technology have gained economic significance as well as developments in horizontal and deep-sea drilling, where expensive technologies are used. While seeking solutions to the new obligations brought by the legal regulations on environmental protection, the search for more effective solutions to existing problems continues. This situation is directly or indirectly related to the drilling fluid. The main tasks of the drilling fluid; transporting rock and debris to the surface, controlling underground pressure, providing stability and support of the borehole, cleaning the bottom of the well, cooling and lubricating the drill string, forming an impermeable paste to prevent collapse and cavities, controlling high pressure formations, array and protection pipes can be expressed as transportation and corrosion protection.

In this study; It is aimed to use the drilling mud more effectively by adding raw perlite and expanded perlite separately to the drilling mud, which constitutes a significant cost burden for both oil and natural gas drilling operations. In this context, the drilling mud samples prepared by adding different rates of raw perlite (0,5-5% k/v) and expanded perlite (0,1-0,6 k/v) to the water-based drilling mud; In addition to rheological analyzes such as plastic viscosity, apparent viscosity, breaking (yield) point, gel strength (10 seconds, 10 minutes), filtration properties such as fluid loss and cake thickness were also investigated.

When the results obtained from this study, which was carried out according to the American Petroleum Institute (API) standards, are examined; It has been determined that drilling mud with added raw perlite and expanded perlite has better rheological properties than spud (raw perlite and expanded perlite free) mud. Therefore, it was concluded that both raw perlite and expanded perlite can be used as drilling mud additives.

Key Words : Water based drilling mud, Raw perlite, Expanded perlite, Rheological and filtration properties

Page Number : 51

Supervisor : Doc. Dr. Abdullah ÖZKAN

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin gerçekleşmesinde, değerli bilgilerini benimle paylaşan, bana kıymetli zamanını ayırıp sabırla ve büyük bir ilgiyle faydalı olabilmek için elinden gelenin fazlasını sunan, her problemimde yanına çekinmeden gidebildiğim, maddi ve manevi hiçbir konuda yardımlarını benden esirgemeyen, hayatım boyunca hakkını ödeyemeyeceğim ve unutmayacağım saygıdeğer danışmanım Doç. Dr. Abdullah ÖZKAN'a sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında desteğini ve değerli bilgilerini hiçbir zaman esirgemeyen, her daim bana yardımcı olan değerli hocam Arş. Gör. Dr. Vildan ÖZKAN'a sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmalarımda benden her konuda yardımlarını esirgemeyen Petrol ve Doğalgaz Mühendisi Rabia AYDEMİR, Petrol ve Doğalgaz Mühendisi Semih TIKNAS, Petrol ve Doğalgaz Mühendisi Behlül Merve SEBÜKTEKİN ve Petrol ve Doğalgaz Mühendisi Elif Semin CEYLAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca beni bu günlere sevgi ve saygı kelimelerinin anlamlarını bilecek şekilde yetiştirerek getiren ve benden hiçbir zaman desteğini esirgemeyen, bu hayattaki en büyük şansım olan ailem Emine EKER, Mahmut EKER, Ayşegül EKER ve Ruşen YILDIRIM'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE.....	6
2.1. Sondaj Çamuru.....	6
2.2. Sondaj Çamurunun Sınıflandırılması.....	6
2.2.1. Su esaslı çamurlar	7
2.2.2. Organik esaslı çamurlar.....	7
2.2.3. Hava/gaz esaslı çamurlar.....	8
2.3. Sondaj Çamurunun Görevleri.....	8
2.4. Sondaj Çamurunun Özellikleri.....	10
2.4.1. Yoğunluk.....	10
2.4.2. Reolojik özellikler	11
2.4.3. Reolojik modeller.....	14
2.5. Sondaj Sıvısı Katkı Maddeleri	17
2.6. Perlit	20
2.6.1. Ham perlit	21
2.6.2. Genleştirilmiş perlit.....	21

	Sayfa
2.6.3. Perlitin fiziksel özellikleri	22
2.6.4. Perlitin kimyasal özellikleri	22
2.6.5. Ham perlitin üretim yöntemi ve geliştirilmesi.....	23
2.6.6. Dünyada ve Türkiye’de perlit rezervleri	24
2.6.7. Perlit kullanım alanları	26
3. MATERYAL VE METOD.....	28
3.1. Materyal	28
3.2. Metod	28
3.2.1. Yoğunluk (çamur ağırlığı).....	29
3.2.2. pH analizi	30
3.2.3. Viskozite ölçümleri	31
3.2.4. Jel mukavemeti.....	32
3.2.5. Sıvı kaybı (filtrasyon)	33
3.2.6. Ağırlıkça su emme analizi.....	34
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	36
4.1. Ham Perlit Ve Genleştirilmiş Perlit Katkılı Su Bazlı Sondaj Çamurunun Yoğunluk Analizi	36
4.2. Ham Perlit Ve Genleştirilmiş Perlitin Su Bazlı Sondaj Çamurunun Reolojik Özelliklerine Etkisi.....	37
4.3. Ham Perlit Ve Genleştirilmiş Perlitin Su Bazlı Sondaj Çamurunun Filtrasyon Özellikleri ve Kek Kalınlığına Etkisi	40
4.4. Ham Perlit Ve Genleştirilmiş Perlitin Su Bazlı Sondaj Çamurundaki pH Etkisi	42
4.5. Ham Perlitin Ağırlıkça Su Emme Analizi.....	43
4.6. Ham Perlit ve Genleştirilmiş Perlitin Su Bazlı Sondaj Çamuru Katkı Maddelerine Göre Maliyet Etkisi.....	44

	Sayfa
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	45
KAYNAKLAR.....	47
DİZİN.....	51



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Sondaj çamurunun sınıflandırılması.....	6
Çizelge 2.2. Su esaslı sondaj çamurlarının sınıflandırılması	7
Çizelge 2.3. Organik esaslı sondaj çamurlarının sınıflandırılması	7
Çizelge 2.4. Hava/gaz esaslı sondaj çamurlarının sınıflandırılması	8
Çizelge 2.5. Akışkanların reolojik olarak sınıflandırılması	13
Çizelge 2.6. Sondaj çamuru katkı maddeleri, işlevleri ve örnekler	17
Çizelge 2.7. Ham perlit ve genişletilmiş perlitin fiziksel özellikleri	22
Çizelge 2.8. Ham perlit ve genişletilmiş perlitin fiziksel özellikleri	22
Çizelge 2.9. Perlitin kimyasal bileşimi	23
Çizelge 2.10. Ham perlit ve genişletilmiş perlitin kimyasal özellikleri.....	23
Çizelge 2.11. Dünyadaki perlit üretimi ve rezervleri (bin ton).....	25
Çizelge 2.12. Yıllara göre Türkiye’de üretilen perlit miktarı	26
Çizelge 2.13. Yıllara göre Türkiye’de üretilen perlit miktarı	27
Çizelge 3.1. Ham perlit ikameli çamur numunesinin bileşimi.....	28
Çizelge 3.2. Genleştirilmiş perlit ikameli çamur numunesinin bileşimi.....	29
Çizelge 4.1. API 13A sondaj çamuru referans değerleri.....	36
Çizelge 4.2. Su bazlı sondaj çamuruna eklenen katkı maddelerinin reolojik özellikleri	44

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Sondaj sirkülasyon sistemi	2
Şekil 2.1. İki paralel plaka arasındaki elastik bir katının kayma kuvveti karşısındaki tutumu	11
Şekil 2.2. Akışkan kayma karakteristikleri	12
Şekil 2.3. Kayma gerilimi ve kayma hızı arasındaki doğrusal ilişki	15
Şekil 2.4. Türkiye perlit madeni haritası.....	25
Şekil 4.1. Ham perlit katkılı su bazlı sondaj çamurunun yoğunluk değerleri	36
Şekil 4.2. Genleştirilmiş perlit katkılı su bazlı sondaj çamurunun yoğunluk değerleri	37
Şekil 4.3. Ham perlit katkılı su bazlı sondaj çamurunun PV, AV ve YP değerleri	38
Şekil 4.4. Genleştirilmiş perlit katkılı su bazlı sondaj çamurunun PV, AV ve YP değerleri	38
Şekil 4.5. Ham perlit katkılı su bazlı sondaj çamurunun jel mukavemeti değerleri	39
Şekil 4.6. Genleştirilmiş perlit katkılı su bazlı sondaj çamurunun jel mukavemeti değerleri	40
Şekil 4.7. Ham perlit katkılı su bazlı sondaj çamurunun sıvı kaybı değerleri	41
Şekil 4.8. Genleştirilmiş perlit katkılı su bazlı sondaj çamurunun sıvı kaybı değerleri	41
Şekil 4.9. Ham perlit katkılı su bazlı sondaj çamurunun kek kalınlığı değerleri.....	42
Şekil 4.10. Genleştirilmiş perlit katkılı su bazlı sondaj çamurunun kek kalınlığı değerleri	42
Şekil 4.11. Ham perlit katkılı su bazlı sondaj çamurunun pH değerleri	43
Şekil 4.12. Genleştirilmiş perlit katkılı su bazlı sondaj çamurunun pH değerleri	43

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Perlitin kayaç hali (a), ham ve genişletilmiş hali (b, c).....	21
Resim 3.1. Çamur terazisi	29
Resim 3.2. pH Metre.....	30
Resim 3.3. Fann Viskozimetresi	31
Resim 3.4. API Filter Press	33
Resim 3.5. Perlit Numunesi	35



SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

g	Gram
°F	Fahrenayt
τ	Kayma stresi
γ	Kayma hızı
ml	Mililitre

Kısaltmalar

Açıklamalar

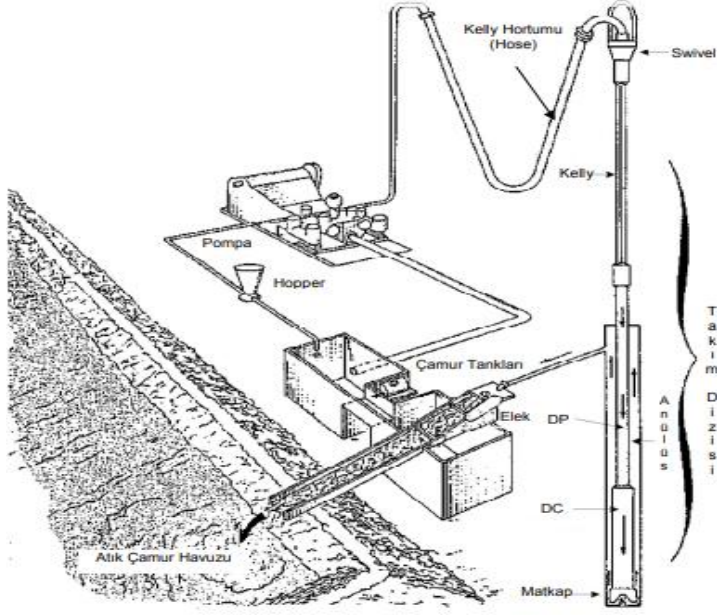
API	Amerikan Petrol Enstitüsü
AV	Görünür viskozite
CMC	Karboksimetil selüloz
CZ	Klinoptilolitçe zengin zeolit
FTIR	Fourier transform kızılötesi
NMR	Nükleer manyetik rezonans
PAC	Polianyonik selüloz
PV	Plastik viskozite
RPM	Dakikadaki devir sayısı
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
XRD	X-ışını toz kırınımı
YP	Kopma noktası

1. GİRİŞ

Ülkelerin kalkınma, refah ve gelişmelerinin vazgeçilmez unsurlarından biri enerjidir. Ülkeler artan nüfus ile beraber artan enerji ihtiyaçlarını karşılamak için çeşitli enerji kaynaklarından yararlanmakta ve bu enerji ihtiyaçlarının büyük bir kısmını da fosil kaynak olarak bilinen petrol ve doğalgazdan karşılamaktadır.

Ülkemizin kullandığı petrol ve doğalgazın ciddi bir bölümü dış ülkelere ithal edilmektedir. Bundan dolayı son yıllarda petrol ve doğalgazda dışa olan bağımlılığı azaltmak için karada ve denizde yoğun arama çalışmaları başlatılmıştır. Artan bu arama çalışmalarıyla birlikte teknolojik yöntemler kullanılıp yeni sondaj kuyuları açılmaktadır. Petrol ve doğalgaz gibi doğal kaynakların araştırılması, üretilmesi ve işletilmesi için gerekli sondaj makineleri ile dikey, yatay veya yönlü olarak sondaj işlemi yapılmaktadır [1].

İlk sondaj uygulamaları 'Cable Tool Drilling' adı verilen çelik bir kazığın, bir kablonun ucuna bağlanarak yere çarptırılması ile uygulanmaktaydı. Ancak teknolojinin gelişmesi ile yaklaşık 70 yıldır sondaj kulesi aracılığı ile Rotary Drilling (döner sondaj) yöntemi kullanılmaktadır. Döner sondaj yönteminde matkap üzerine gelen ağırlığın kontrolü, döndürülmesi ve sondaj akışkanının sirkülasyonu sondaj kulesi ve kulede bulunan ekipmanlar tarafından sağlanmaktadır. Sondaj sırasında matkabın kestiği formasyonun kesintileri kuyu içerisinde sürekli sirkülasyonda olan sondaj çamuru ile yüzeye taşınmaktadır. Kuyu içerisinde bulunan yabancı maddeleri ayırmak için yüzeye taşınan sondaj çamuru eleklerden geçtikten sonra yüksek basınçlı çamur pompaları ile tekrar kuyuya basılmaktadır [2].



Şekil 1.1. Sondaj sirkülasyon sistemi [3]

Bir sondaj operasyonunun başarılı olabilmesi için kuyu içerisinde sirkülasyon halinde olan sondaj çamurunun, performansı ve görevlerini yerine getirebilmesi oldukça önemlidir. Sondaj çamurunun en önemli görevlerinden bazıları şunlardır:

- Matkabin kestiği kayaç ve kırıntıların taşınması,
- Kuyu cidarında geçirimsiz pasta oluşumu,
- Matkabi soğutma ve yağlama,
- Formasyon basıncını dengeleme,
- Korozyonu önlemek,
- Sondaj boruları ve muhafaza borularının ağırlığını hafifletme [4].

Sondaj çamuru bu görevleri yerine getirebilmesinin yanı sıra kolay uygulanabilir, çevre dostu ve ekonomik olmalıdır. Sondaj çamurunun seçimi ve uygulanması, herhangi bir sondaj işleminin başarısında kilit faktörlerdendir. Hemen hemen her sondaj probleminin sondaj çamurunun performansı ile doğrudan veya dolaylı olarak bir bağlantısı vardır. Sondaj çamurunun bu performansı, sondaj işlemleri sırasında karşılaşılan tüm sorunların kaynağı veya çözümü olarak izlenebileceği anlamına gelmez, bunun yerine zor bir sondaj operasyonunda durumu hafifletmek için sıklıkla kullanılacak bir araç olarak görülebilir. Bu nedenle sondaj çamuru, operasyonun diğer yönlerini tamamlamak için kullanılması gereken tüm sondaj sürecinin önemli bir parçası olarak görülmelidir [5].

Çamur programının planlanmasındaki ilk amaç, sondaj işleminde kaybedilen zamanı en aza indirebilecek bir çamurun seçilmesidir. İyi bir sondaj çamuru basittir ve minimum sayıda katkı maddesi içerir. Böylece, sondaj çamurunda takip edilen parametrelerin kontrolü ve bakımı daha kolay yapılır [6].

Son zamanlarda özellikle pahalı teknolojilerin kullanıldığı yatay ve derin deniz sondajlarındaki gelişmelerin yanı sıra sondaj çamuru teknolojisindeki gelişmeler de ekonomik anlam kazanmıştır. Sondaj çamurunun performansını arttırmak için farklı oranlarda ve farklı konsantrasyonlarda çeşitli katkı maddeleri eklenerek sondaj çamurunun reolojik özelliklerinin iyileştirilmesine yönelik araştırmalar ve çalışmalar halen devam etmektedir.

Özkan ve diğerleri, sondaj çamuruna üleksit eklemiş, eklenen üleksitin su bazlı sondaj çamurunun plastik viskozitesini (PV), görünür viskozitesini (AV), kopma noktasını (YP) ve jel mukavemeti özelliklerini iyileştirdiğini ayrıca sıvı kaybını da azalttığını tespit etmişlerdir [7].

Bageri ve diğerleri, sondajlarda kullanılan çamurun filtrasyon hacmini minimum seviyeye indirmek amacıyla farklı oranlarda perlit eklemiş olup çamurun filtrasyon özellikleri, kek kalınlığı, NMR ölçümleri yapılmıştır. Farklı konsantrasyonlarda sondaj çamuruna eklenen perlit numuneleri, barit eklenen sondaj çamuruyla kıyaslandığında perlit eklenen sondaj çamurlarında kontrollü olarak filtrasyon kaybı olduğu gözlenmiştir [8].

Özkan ve diğerleri, borax katkılanmış sondaj çamurunun reolojik ve filtrasyon özelliklerini incelemiş ve yapılan çalışma sonucunda borax'ın sondaj çamurunun reolojik ve filtrasyon özelliklerini geliştirdiğini tespit etmişlerdir [9].

Mohamed ve diğerleri, sondaj çamuruna 0 ile 3,0 lb/bbl arasında değişen çeşitli konsantrasyonlarda perlit ilave edip 120/250 °F sıcaklıkta dinamik ve statik koşullar altında sondaj çamurunun stabilitesini değerlendirmek için çökme testi yapmışlardır. Daha sonra oda sıcaklığında yoğunluk ve pH ölçülerek perlitin sondaj çamurunun özellikleri üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Perlit, dinamik ve statik çökme faktörlerini azaltarak sondaj çamurunun homojenliğini ve stabilitesini arttırdığı ve 3,0 lb/bbl perlit, 250 °F'ye kadar bir sıcaklıkta barit çökmesini ortadan kaldırmak için yeterli olduğu gözlenmiştir [10].

Özkan ve diğerleri, ZnO nanopartikülü ile fonksiyonelleştirilmiş çok duvarlı karbon nanotüpün (ZnO-NP/MWCNTs) sondaj çamuru üzerine etkisini incelemişler ve ZnO nanopartikülü ile fonksiyonelleştirilmiş çok duvarlı karbon nanotüpün su bazlı sondaj çamurunun reolojik özellikleri ve filtrasyon kaybı değerlerine olumlu yönde katkı sağladığını gözlemlemişlerdir [11].

Okon ve diğerleri, tarımsal bir yan ürün olan pirinç kabuğunu su bazlı sondaj çamurunda olası bir filtrasyon kaybı kontrol katkısı olarak incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlar, statik sıvı kaybı ölçüm yaklaşımı kullanılarak sodyum karboksimetil selüloz (CMC) ve polianyonik selüloz (PAC) ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, su bazlı sondaj çamurunda sıvı kaybı kontrol katkısı olarak pirinç kabuğunun kullanılmasının filtrasyon kaybını azalttığını tespit etmişlerdir [12].

A. Özkan ve V. Özkan, klinoptilolitçe zengin zeolitin (CZ) su bazlı sondaj çamurunun reolojik ve filtrasyon özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Spud çamur ve CZ katkılı sondaj çamurunun kimyasal bileşimi, kristallliği ve morfolojik özellikleri, X-ışını toz kırınımı (XRD), Fourier transform kızılötesi (FTIR) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak analiz edilmiştir. CZ eklenen sondaj çamurunun görünür viskozitesi, plastik viskozitesi, akma noktası ve jel mukavemeti gibi reolojik özellikleri incelenmiş ve filtrat kaybında azalma, görünür viskozite, plastik viskozite, akma noktası ve jel mukavemetinde artış gözlemlenmiş olup CZ'nin sondaj çamur katkısı olarak iyi bir aday olduğunu tespit etmişlerdir [13].

Fereydouni ve diğerleri, nanoboyutlu polianyonik selülozun su kaybı ve çamur-kek kalınlığı üzerine etkisini incelemişler ve geleneksel polianyonik selüloza kıyasla polianyonik selüloz nanoparçacıklarının eklenmesiyle, su kaybı miktarında ve çamur keki kalınlığında istenilen azalma miktarına ulaşıldığı tespit edilmiştir [14].

Özkan ve diğerleri, uçucu kül eklenmiş su bazlı sondaj çamurunun tüm reolojik ve filtrasyon özelliklerini incelemişlerdir. Uçucu kül eklenen su bazlı sondaj çamurunun; plastik viskozite, akma noktası ve görünür viskozitesi artarken jel mukavemeti ve filtrasyon kaybını azalttığını gözlemlemişlerdir [15].

Ghazali ve diğeri, su bazlı sondaj çamurunda sıvı kaybı kontrol maddesi olarak doğal polimer-mısır nişastasından yararlanma potansiyelini araştırmışlardır. Deneysel sonuçlar ile daha yüksek mısır nişastası konsantrasyonunun daha iyi sıvı kaybı kontrol davranışı verdiğini gözlemlemişlerdir [16].

Özkan ve Kaplan, bor minerallerinden boraks, kolemanit ve üleksiti ayrı ayrı su bazlı sondaj çamuruna ekleyerek çamurun reolojik ve filtrasyon özelliklerini incelemişlerdir. Bor minerallerinin sondaj çamurunun reolojik ve filtrasyon özelliklerini iyileştirdiğini tespit etmişlerdir [17].



2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1. Sondaj Çamuru

Kara ve deniz sondajlarında gereksinim duyulan, sirkülasyon sisteminde kullanılan ve belli başlı görevleri yerine getiren; sondajın sağlıklı biçimde ilerlemesini sağlayan akışkanlara sondaj akışkanları denir. Sektörde bu akışkanlar “sondaj çamuru” veya sadece “çamur” olarak adlandırılır. Sondaj kuyusunun gereksinimleri doğrultusunda ve oluşmuş/oluşabilecek olası problemleri en aza indirmek için sirkülasyon sistemi içerisinde farklı çeşit ve tiplerde çamurlar kullanılır [2].

2.2. Sondaj Çamurunun Sınıflandırılması

Sondaj çamuru tiplerinden hangilerinin sondaj operasyonunda kullanılması gerektiğini aşağıdaki etmenler belirlemeye yardımcı olur.

- Kazılacak formasyon tipi,
- Kazılacak formasyon sıcaklığı, sertliği, permeabilitesi ve içerdiği akışkan basıncı,
- Kazılacak formasyonu yorumlama,
- Kullanılacak suyun kalitesi, [3]

Petrol endüstrisindeki sondaj operasyonları sırasında karşılaşılan zorluklar, farklı türde sondaj sıvılarının formüle edilmesine yol açmıştır. Sondaj çamurları, çamurun fazına göre sınıflandırılır. Sondaj çamurunun sınıflandırılması Çizelge 2.1’ de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Sondaj çamurunun sınıflandırılması

Sondaj Çamurunun Sınıflandırılması		
↓	↓	↓
Su Esaslı Çamurlar	Organik Esaslı Çamurlar	Hava/Gaz Esaslı Çamurlar

2.2.1. Su esaslı çamurlar

Sulu sondaj sıvısı olarak da bilinir. Tatlı su, tuzlu su veya deniz suyunun %90-95'i ve suyun burada sürekli faz olduğu anlamına gelen çeşitli çözünmüş maddelerden oluşan formudur. Çevresel olarak kabul edilebilir doğası ve ayrıca işletilmesi nispeten ucuz olduğu için endüstride ağırlıklı olarak kullanılmaktadır. Su esaslı sondaj çamuru endüstride kullanım sıklığı daha çok olduğu için bu çalışmada odaklanılacak ve kullanılacak sondaj çamuru türlerinden biridir [18]. Su esaslı sondaj çamurunun sınıflandırılması Çizelge 2.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Su esaslı sondaj çamurlarının sınıflandırılması

Su Esaslı Çamurlar	
i. İnhibitiv Olmayan Çamurlar	ii. İnhibitiv Çamurlar
a. Spud Çamuru	a. Kireç Çamuru
b. Lignosülfonat Çamuru	b. Jips Çamuru
c. Düşük Katı Maddeli Çamur	c. Doymuş Tuzlu Su Çamuru

2.2.2. Organik esaslı çamurlar

Bu çamurlar sürekli faz olarak yağa sahiplerdir, genellikle dizel yağı, veya düşük toksisiteli mineral yağdır. Organik esaslı çamurlar formasyon suyunu toplayabilseler de, ilave su veya tuzlu su eklenmez. Bunun nedeni, su emülsifiye edici maddeler içermeleridir. % 5'ten daha az su içeren bu sistemin su esaslı çamurlara göre bir takım avantajları olduğu gibi bazı dezavantajları da vardır [19]. Organik esaslı çamurların sınıflandırılması Çizelge 2.3'de gösterildiği gibidir.

Çizelge 2.3. Organik esaslı sondaj çamurlarının sınıflandırılması

Organik Esaslı Çamurlar	
i. Sentetik Esaslı Çamurlar	ii. Petrol Esaslı Çamurlar
a. Spud Çamuru	
a. Birinci Kuşak Sentetik Çamurlar	
b. İkinci Kuşak Sentetik Çamurlar	

2.2.3. Hava/gaz esaslı çamurlar

Pnömatik (hava/gaz esaslı) sondaj sıvıları sirkülasyon kaybı potansiyeli olan formasyonlar için önerilir. Pnömatik sondajın gelişmiş penetrasyon hızına, kayıp sirkülasyon bölgelerinin daha iyi kontrolüne ve formasyonlarda daha az hasara sahip olduğu bilinmektedir. Ancak, pnömatik sondaj sıvıları (özellikle kuru hava/doğalgaz) kuyu içi ekipmanlarda; yangına ve korozyona neden olabilir [18,20,21]. Hava/gaz esaslı sondaj çamurlarının sınıflandırılması ise Çizelge 2.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.4. Hava/gaz esaslı sondaj çamurlarının sınıflandırılması

Hava/Gaz Esaslı Çamurlar	
Çamur Tipi	Yoğunluk(ppg)
Gaz (Hava, Azot, Doğalgaz)	0,01 – 0,1
Mist	0,1 – 0,3
Köpük	0,3-0,54
Hava Karışımli Çamur	4,0-6,95

2.3. Sondaj Çamurunun Görevleri

Sondaj çamuru; sondaj operasyonlarında başarılı olabilmesi için kendinden beklenen görevleri yerine getirmesi gerekmektedir. Kuyuda kullanılan sıvının türü ne olursa olsun sondaj sıvısının işlevleri aynıdır. Sondaj sıvılarının en önemli işlevleri şu şekilde özetlenebilir [22]:

Kuyu temizliği ile ilgili:

- Kuyu dibinden kesintilerin çıkarılması
- Kuyu dibini temizleme
- Sirkülasyon durduğu zaman kesintileri ve sondaj dizisini askıda tutma

Kuyu stabilitesi ve formasyon hasarı ile ilgili:

- Kuyu cidarında filtre keki oluşturma
- Formasyonların çökmesini önleme

- Formasyonların üretkenliğine zarar vermemek
- Formasyon basıncını kontrol etme

Sondaj dizisi ile ilgili:

- Sondaj dizisi ve muhafaza borularının ağırlığını desteklemede kısmi yardım
- Matkabın sondaj dizisinin soğutulması ve yağlanması
- Sondaj dizisini korozyona karşı koruma [22]

Kesintilerin yeryüzüne taşınması: Sondaj sıvısının temel işlevi, sondaj işlemi devam ederken matkabın kestiği kesintileri kuyudan uzaklaştırmaktır. Sondaj çamurunun yeniden sirküle edilebilmesi için yüzeyde kolayca ayrışmasının yanı sıra, sirkülasyon kapatıldığında kırıntıları askıda tutmak için jelleşme özelliğine de sahip olmalıdır. Hava ve gaz gibi akışkanlar bu özelliğe sahip değildir. Bir sondaj çamurunun kesintileri kuyudan yukarıya ve eleklerle taşıma yeteneği, kısmen çamurun özelliklerine ve kısmen de anülüsteki sondaj borusu ile kuyu duvarı arasındaki dolaşım hızına bağlıdır. Pompa kapasitesinin sağladığı dairesel hız kesintileri taşımak için çok düşük olduğunda, özellikle akma noktasını artırarak çamur viskozitesini yükseltmek daha temiz bir kuyu ile sonuçlanabilir [22].

Gaz, petrol ve su akışlarının üstesinden gelmek: Matkabın kestiği geçirgen formasyonlarda karşılaşılan gaz, petrol veya suyun genellikle sondaj sıvısı kolonunun uyguladığı basınç ile kuyuya akması engellenir. Bu hidrostatik basıncın miktarı büyük ölçüde sondaj sıvısının yoğunluğuna ve sıvı sütununun yüksekliğine bağlıdır. Kuyu içerisindeki basınç aynı zamanda bir dereceye kadar sirkülasyon çamurunun ve sondaj borusunun hareketinden kaynaklanan dinamik basınçlara da bağlıdır. Dinamik basınçlar ise çamurun plastik viskozitesi, akma noktası ve jel kuvveti ile ilgilidir [22].

Kuyunun yıkılmasını önleme: Çamur kolonunun sondaj kuyusunun duvarına uyguladığı basınç ile kuyu cidarında geçirimsiz bir pasta oluşur bu ise çamurun formasyona kaçmasını önlemeye yardımcı olur [22].

Matkabı soğutmak ve sondaj dizisini yağlamak: Sondaj dizisinde dolaşan tüm sıvılar matkabı soğutur ve çoğu sıvı sondaj dizisinin yeterli yağlanmasını sağlar. Sondaj dizisi ve

matkabın gerektiğinde daha iyi yağlanması sağlamak için yağ emülsiyonlu çamurlar, özel emülgatörler ve aşırı basınçlı yağlayıcılar kullanılır [22].

Kuyudan uygun bilgilerin alınması: Sondaj sıvısı, üretim aralıklarını değerlendirmek için kuyudan gelen kesintilere, karotlara ve elektrik loğlarına zarar vermemelidir [22].

2.4. Sondaj Çamurunun Özellikleri

Sondaj çamuru sistemini tasarlamaya ve bakımını yapmaya çalışırken akışkan özelliklerini (fiziksel-kimyasal) ölçmek çok önemlidir. Çamurun çeşitli özellikleri olduğundan, bu özellikler üzerinde testler yapılarak ve sonuçların çamurun işlevleri ile ilişkilendirilerek ölçümler yapılması normaldir. Bu çamur testleri esas olarak, kuyu içi koşulları simüle etmek veya yüzeydeki ölçümlerinden kuyu içi çamur özelliklerini tahmin etmek için yapılır. Sondaj çamuru normalde çok işlevli gereksinimlere sahip olduğundan, bir çamur sistemini düzgün bir şekilde izlemek için hem fiziksel hem de kimyasal testlerinin yapılması gerekir. Çamur özelliklerinden bazıları aşağıdaki gibidir [5].

2.4.1. Yoğunluk

Bir sondaj işleminde çamur için en önemli özellik yoğunluktur. Çamur yoğunluğu yerine zamanla çamur ağırlığı ifadesi kullanılmaya başlanmıştır. Yoğunluk basıncın kontrol edilmesi için gereklidir ve tüm basınç kontrol hesapları kuyunun içindeki çamurun ağırlığına göre yapılır. Sondaj işlemleri sırasında çamur numuneleri üzerinde ağırlık ölçümleri yapmak için bir çamur terazisi kullanılır. Bu ölçüm sırasında, özellikle yüksek akma noktalarına veya jel kuvvetlerine sahip çamurlarda yanlış bir yoğunluk ölçümü verebileceğinden, çamur numunesine hava veya sürüklenen gaz dahil edilmemesi için önlem alınmalıdır. Bu nedenle, bir gaz giderici ile veya uygun bir hızda karıştırılarak, sürüklenen gaz dışarı atılabilir. Sıcaklık ve basınç yoğunluğu ters ve orantılı olarak etkiler, çünkü artan sıcaklık yoğunluğun azalmasına neden olurken, artan basınç yoğunluğun artmasına neden olur. Kuyu içi koşullar yoğunluğu çok fazla etkilemez, ancak artan sıcaklık ve basıncın etkileri birbirine zıttır ve eşitlenme eğilimindedir [23].

Ağırlaştırıcı maddeler çamur yoğunluğunu artırmaya yardımcı olur. Bunlardan biri, barittir. Barit; ticari bir baryum sülfat sınıfında olan bir mineraldir. Düşük maliyeti, yüksek özgül

ağırılığı ve düşük aşındırıcı eğilimleri nedeniyle standart bir ağırlaştırıcı olarak kabul edildiğinden oldukça sık kullanılır. Kum, silt, ince kesimler vb. gibi katı bileşenler de yoğunluğu artırır, ancak çok aşındırıcı olduklarından, ekipmanın aşınma oranını artırdığından, gerekenden daha kalın filtre keki oluşturduğundan, sondaj hızını geciktirdiğinden ve çamur pompasının güç gereksinimlerini artırdığından kullanımları tercih edilmez [23].

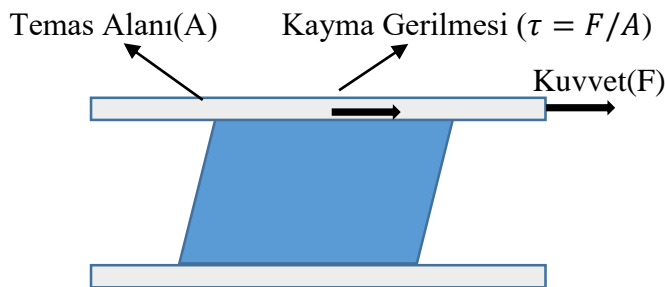
2.4.2. Reolojik özellikler

Akış özellikleri olarak da bilinen bu özellikler, farklı koşullar altındaki çamurun akış özelliklerini tanımlar. Bu akışın etkilerini tahmin etmek veya bilmek için, çamur dolaşım sistemindeki çeşitli ilgi noktalarında çamurun davranışının bilinmesi önemlidir. Akışkan davranışına bağlı olarak bilinmesi gerekenler;

a) Uygulanan kayma gerilmesinin hangi noktasında akışkanda hareket başlatılır?

b) Hareket başlatıldığında, akışkan hareketinin doğası (kesme hızı) nedir [5]?

Kayma gerilimi, akan bir akışkanın bir kanalın yüzeyine uyguladığı sürtünme direncidir.



Şekil 2.1. İki paralel plaka arasındaki elastik bir katının kayma kuvveti karşısındaki tutumu [24]

Reolojik özelliklere göre akışkanlar, akışkanın viskozitesine bağlı olarak iki tipe ayrılır.

- Newtonian akışkanlar
- Newtonian olmayan akışkanlar

Yağ veya su gibi kayma geriliminin kesme hızına oranı sabit olan çok basit akışkanlara

“Newtonian akışkanlar” denir. Kayma geriliminin kesme hızına oranı viskozite olarak adlandırılır [23].

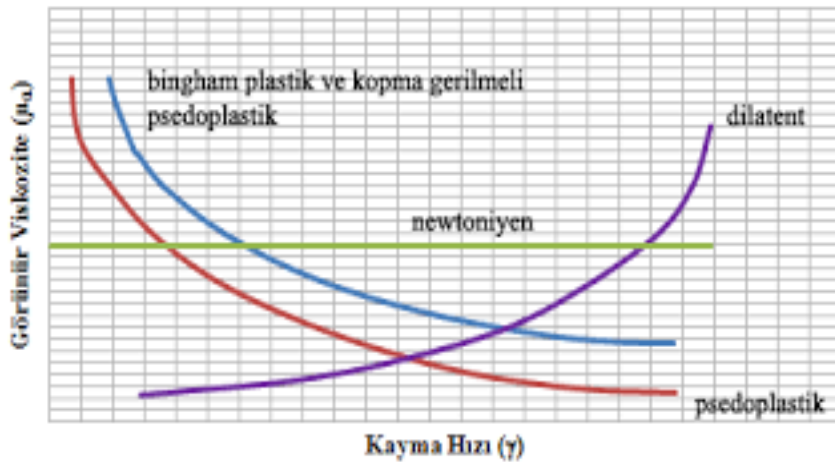
Akışkanların akışa karşı direncinin bir ölçüsü olan viskozite, Newtonian akışkanların akış davranışını karakterize etmek için kullanılır. Birimi centipoise (cP)'dir [23].

$$\text{Matematiksel olarak, } \mu(\text{Viskozite}) = \frac{\tau(\text{Kayma Gerilimi})}{\dot{\gamma}(\text{Kesme Hızı})} \quad (2.1)$$

Kayma gerilimi ile kesme hızı arasındaki akış ilişkisinin doğrusal olmadığı sondaj sıvılarına “Newtonian olmayan akışkanlar” denir. Akışı başlatmak için kayma geriliminin gerekli olduğu bu noktaya, akışkanın akma gerilimi veya noktası denir. Bu Newton tipi olmayan akışkanların bir süre statik kalmasına izin verip, akışı başlatmak için gerekli olan kayma geriliminin artmasına neden olan yarı rijit bir yapı oluşturmaya devam edecektir. Bu noktadaki kayma gerilimine jel mukavemeti denir ve yapı zamanla daha fazla sertlik kazanır ve bu da jel mukavemetinin artmasına neden olur [5].

Newton tipi olmayan akışkanlar, kayma gerilimi/kesme hızı davranışlarına göre 2'ye ayrılır;

- Zamana bağlı akışkanlar: Tikotropik akışkanlar, reopektik akışkanlardır.
- Zamandan bağımsız akışkanlar: Bunlar için kayma gerilimi, kesme süresinden veya zamanından bağımsızdır. Örnekler arasında Bingham plastik sıvıları, psödoplastik sıvılar ve dilatant sıvılar sayılabilir [23].



Şekil 2.2. Akışkan kayma karakteristikleri [25]

Üçüncü bir akışkan türü, akış sırasında meydana gelen deformasyondan elastik geri kazanım sergileyen ‘Viskoelastik’ akışkanlardır. Viskoz ve elastik olmanın ikili özelliklerini gösterirler. Gerilmenin kaldırılmasıyla deformasyondan sonra bir miktar iyileşme sağlar. Viskoelastik akışkanların örnekleri arasında unlu hamur, bitüm, polimer eriyikler bulunur [5]. Çizelge 2.5’ de akışkanların sınıflandırılması gösterilmiştir.

Çizelge 2.5. Akışkanların reolojik olarak sınıflandırılması (26)

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

Plastik Viskozite; Çamurdaki katıların miktarı, türü ve boyutuna bağlı olarak akışa karşı iç direncin bir ölçüsünü veren önemli bir çamur özelliğidir. Katıların birbirleriyle ve çamurun sıvı fazıyla çarpışması nedeniyle mekanik sürtünme caydırıcı bir hareket üretir. Plastik viskozite esasen sıvı fazın viskozitesinin ve bir çamurda bulunan katıların hacminin bir fonksiyonudur. Yüksek kesme hızı viskozitesini en aza indirmek için plastik viskozitenin en aza indirilmesi gerekir [5].

Genel olarak, yüksek bir plastik viskoziteye sahip olmanın bir çamurun kuyu temizleme kabiliyetini geliştireceği düşünülebileceğinden, yüksek bir plastik viskozite asla arzu edilmez bu durum yarardan çok zarara neden olur. Bu nedenle, plastik viskoziteyi pratik olarak mümkün olduğu kadar düşük tutmak güvenli bir uygulamadır. Sıvı fazın viskozitesi, herhangi bir çözünür malzemenin eklenmesiyle arttırılabilir [23].

Kopma Noktası; Parçacık yüzeylerinde mevcut akışa karşı ilk dirence neden olan zıt yüklerin bir sonucu olarak çamurdaki parçacıklar arasındaki çekici kuvvetlerin bir ölçüsüdür. Bu

çamur özelliği, mevcut katıların tipine, bu katıların konsantrasyonlarına ve mevcut olabilecek diğer iyonların veya tuzların konsantrasyonuna bağlıdır [5].

Yüksek kopma noktası kil katılarının topaklaşmasından veya kolloidal katıların yüksek konsantrasyonlarından kaynaklanır. Topaklayıcı maddeler veya kil genişleticiler bazen bağlanmayı desteklemek ve daha yüksek kopma noktalarının elde edilmesini sağlamak için eklenir. Örnek olarak: soda külü, poliakrilatlar ve çeşitli kalsiyum bileşikleri verilebilir [23].

Jel Mukavemeti: Uzun bir süredir hareketsiz olan bir sıvının akışını başlatmak için gerekli olan kayma gerilimini ölçen çok önemli bir çamur özelliğidir, yani tiksotropik karakterinin bir ölçüsüdür. Çok sade bir dille, sirkülasyon durduğunda çamurun kesimleri askıya alma yeteneğidir. Bu, yapı içindeki elektrik yüklü parçacıklar arasındaki birliğin katı olmasına neden olmasının bir sonucudur, yani çamurdaki parçacıkların bağlanmasını önleyen veya destekleyen herhangi bir şeyin sırasıyla jelleşme eğilimini azaltacağı veya arttıracacağı anlamına gelir. Bu şekilde oluşan yapının rijitliği, süspansiyondaki katıların miktarı ve türü, kimyasal ortam, zaman ve sıcaklık gibi faktörlere bağlıdır [5].

2.4.3. Reolojik modeller

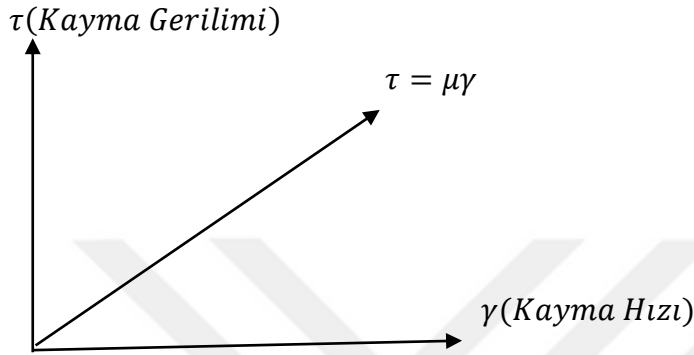
Sondaj sektöründe, dönel viskozimetrenin (Fann) kullanımı, petrol sahasında reoloji kontrolünü ve ölçümlerini büyük ölçüde basitleştirmiştir. 3, 6, 100, 200, 300 ve 600 rpm'den oluşan 6 vitesli viskozimetre normalde daha yüksek kaliteli reoloji kontrolü için kullanılır. Reoloji sabitlerini belirlemek için üç farklı yaklaşım sunulmuştur, bunlar;

- a) 2 veri noktası petrol sahası yaklaşımı
- b) 2 veri noktası standart yaklaşım
- c) 6 veri noktası regresyon yaklaşımı

Dönel bir viskozimetreden kesme hızına karşı kayma geriliminin çizilen değerleriyle, reogramlar olarak bilinen akış eğrileri üretilebilir. Unutulmaması gereken çok önemli bir nokta, Fann viskozimetresinden elde edilen okumaların, gerçek kayma gerilimi değerlerini vermek için genellikle 1,06'lık bir düzeltme faktörü ile çarpılmasıdır. Bunun nedeni viskozimetrenin geometrisi ve kalibrasyonudur [27].

Newtonian Model: Bir kuvvet veya kesme gerilimi uygulandığında, Newton akışkanı deforme olmaya ve hareket etmeye başlayacaktır. Bundan sonra, hareketin derecesi uygulanan stresle orantılıdır. Kayma Gerilmesi (τ) ile Kayma Hızı (γ) arasında doğrusal bir ilişki vardır. Şekil 2.3'deki grafik bu ilişkiyi göstermektedir.

Şekil 2.3. Kayma gerilimi ve kayma hızı arasındaki doğrusal ilişki [23]



Newton modeli, Eş. 2.2 ile matematiksel olarak gösterilmiştir.

$$\tau = \mu\gamma \quad (2.2)$$

Burada, μ viskozitedir.

2 veri noktası standart yaklaşımını kullanarak, bu modeli açıklamak için bir sabit yeterlidir. Newton akışkanları için viskozimetrede 300 rpm'de bir okuma kullanılır.

$$\mu_{300} = \frac{\tau_{300}}{\gamma_{300}} \quad (2.3)$$

μ_{300} = 300 rpm'de viskozite

τ_{300} ve γ_{300} = Sırasıyla 300 rpm'de kayma gerilimi ve kayma hızı

Bingham Plastik Modeli: Bingham, plastik akışkanları tanımlayan ilk kişidir bu nedenle Bingham plastik sıvıları olarak adlandırılır. Akışı başlatmak için sonlu bir gerilime ihtiyaç duydukları için Newton akışkanlarından ayırt edilirler. Bingham Plastik sıvıları, uygulanan kesme gerilimi τ , akma noktası (YP) olarak bilinen belirli bir minimum değeri geçene kadar akmaz. Akma noktası aşıldığında, kesme gerilimindeki değişiklikler, kesme hızındaki değişikliklerle orantılıdır ve orantı sabiti, plastik viskozite (PV) olarak adlandırılır [27].

Laminer akış için Bingham plastik akışkanlarının akış davranışı Eş. 2.4 ile tanımlanır:

$$\tau = PV * \gamma + YP \quad (2.4)$$

Bu modelin petrol sahası yaklaşımı ve standart yaklaşım olmak üzere iki yaklaşımı vardır.

Petrol sahası yaklaşımı: Fann viskozimetresi, Bingham modeline uyacak şekilde kalibre edilmiştir. 300'deki kesme hızı, 600 ve 300 rpm kadran okumaları arasındaki fark alınarak bir kesme hızı birimine eşit olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu modeli kullanan plastik viskozite ve akma noktası sırasıyla Eş. 2.5 ve Eş. 2.6 ile verilmektedir.

$$PV = \theta_{600} - \theta_{300} \quad (2.5)$$

$$YP = \theta_{300} - PV \quad (2.6)$$

PV ve YP sırasıyla plastik viskozite ve kopma noktası

θ_{600} ve θ_{300} sırasıyla viskozimetredeki 300 ve 600 rpm kadran okumaları

Standart yaklaşım: Burada, SI birimleri de dönüştürüldükten sonra elde edilen okumaları gerçek kayma gerilimine dönüştürmek için 1,06'lık bir dönüştürme faktörü kullanılır. Viskozite ve kopma noktaları sırasıyla Eş. 2.7 ve Eş. 2.8'de verildiği gibi hesaplanır.

$$PV = \frac{\tau_{600} - \tau_{300}}{\gamma_{600} - \gamma_{300}} \quad (2.7)$$

$$YP = \tau_{600} - PV * \gamma_{600} \quad (2.8)$$

Hem petrol sahası yaklaşımı hem de geleneksel standart prosedür, her iki sabit için yaklaşık % 1'lik bir hata ile hemen hemen benzer sonuçlar verir.

Tipik bir Bingham sıvısı, jel kuvvetine sahip olmayacak, ancak yüksek bir viskoziteye sahip olacaktır. Bununla birlikte, hatalar ortaya çıkabileceğinden daha karmaşık akışkanlar için uygun değildir. Bu model, yüksek kesme hızı aralığında (300 ile 600 rpm) sıvı davranışını

simüle eder, ancak düşük kesme aralığında hatalar verir.

Power Law Modeli: Bu model, çoğu akışkanın davranışına, özellikle polimer bazlı akışkanlara daha uygundur ve Bingham plastik modelini düşük kesme hızlarında iyileştirmeye çalışır. Power Law modeli, kesme gerilimi ve kesme hızı arasında doğrusal bir ilişki varsaymadığı için Bingham plastik modelinden daha karmaşıktır. Bununla birlikte, kesme hızına karşı kesme gerilimi çizimlerinin orijinden geçmesi bakımından Newton akışkanları ile benzer bir özelliği paylaşır. Dezavantajı, çoğu sıvının akma gerilimine sahip olmasıdır, ancak bu model ile açıklanamaz. Tıpkı Bingham plastik modeli gibi, Power Law modeli, yüksek kesme hızlarında verimli akışkan davranışları tahmin eder, ancak daha düşük kesme hızlarında bir dereceye kadar hata gösterir [21].

2.5 Sondaj Sıvısı Katkı Maddeleri

Sondaj operasyonlarında, sondajı optimize etmek için çamurun belirli işlevleri yerine getirmesi istenildiğinde özelliklerini ve bileşimini değiştirerek performansını artırmak için çamura katkı maddeleri eklenir. Birden fazla işlevi yerine getiren çamur katkı maddeleri mevcuttur. Yaygın çamur katkı maddeleri ve işlevleri Çizelge 2.6 'da verilmiştir [21,29].

Çizelge 2.6. Sondaj çamuru katkı maddeleri, işlevleri ve örnekler [5]

Tür	Amaç	Örnekler
Alkalinite, pH kontrolü	Sıvının asitliğini ve alkaliliğini kontrol etmek için	Kireç, kostik soda, soda külü, soda bikarbonatı
Bakterisitler	Bakteri sayısını azaltmak için kullanılır	Para formaldehit, kostik soda, kireç ve nişasta koruyucuları.
Kalsiyum gidericiler	Anhidrit, alçıtaşı ve kalsiyum sülfatların kirletici etkilerini önlemek ve üstesinden gelmek.	Kostik soda, soda külü, soda bikarbonatı ve bazı polifosfatlar.

Çizelge 2.6. (Devam) Sondaj çamuru katkı maddeleri, işlevleri ve örnekler [5]

Korozyon önleyicileri	Korozyonu önler, pH kontrolü yapar, H ₂ S gibi tehlikeli asit gazlarını nötralize eder, sondaj sıvısında kireç oluşumunu engeller.	Hidratlı kireç, amin veya fosfat bazlı ürünler.
Köpük gidericiler	Özellikle acı veya doymuş tuzlu su çamurlarında köpürmeyi azaltır.	
Emülgatörler	Çözünmeyen iki sıvının heterojen bir karışımını oluşturmak.	Yağ bazlı çamurlar – yağ asitleri, amin bazlı kimyasallar. Su bazlı çamurlar – deterjanlar, sabunlar, organik asitler.
Filtrat kaybı	Sondaj çamurundan formasyona su kaybını azaltır.	Bentonit kil, CMC, linyit, poliakrilat, önceden jelatinize edilmiş nişasta.
Flokülanlar	Viskoziteyi artırır, kuyu temizlemeyi iyileştirir. Süspansiyondaki partiküller, katıların çökmesine neden olacak şekilde topaklar halinde toplanır.	Tuz, sönmüş kireç, alçı, soda külü, soda bikarbonatı, polimerler.
Köpürtücü maddeler	Su içeren formasyonlarda hava veya gaz sondajlarında	Yüzey aktif maddeler (köpükler).
Yağlayıcılar	Sürtünme katsayısını azaltarak matkaba iletilen beygir gücünü artırır, ayrıca torku ve sürtünmeyi de azaltır.	Yağlar, grafit, sentetik sıvılar, glkol veya yüzey aktif maddeler.

Çizelge 2.6. (Devam) Sondaj çamuru katkı maddeleri, işlevleri ve örnekler [5]

Şeyl inhibitörleri	Suya duyarlı şeyleri delerken şeyl hidrasyonunu azaltır, böylece kuyu deliğinin aşırı genişlemesini ve şeyllerin oyulmasını önler.	Alçı, sodyum silikat ve kalsiyum lignosülfonatlar, kireç ve tuz.
Yüzey aktif maddeler	Temas eden yüzeyler (su/yağ, su/hava, su/katı) arasındaki ara yüzey gerilimini azaltır.	İlgili yüzeylere bağlı olarak emülgatörler, emülgatörler, ıslatıcı maddeler, topaklaştırıcılar veya topak çözücüler.
Sıcaklık kararlılığı	Yüksek sıcaklıklara maruz kalan sıvılarda reolojik ve filtrasyon kararlılığını artırır.	Akrilik veya sülfenli polimerler, linyit, lignosülfat, tanen
İncelticiler veya dağıtıcılar	Jel gücünü azaltarak ve bir sıvının pompalanabilirliğini artırarak viskozite ve katı hacmi arasındaki ilişkiyi değiştirirler. Daha spesifik olarak, yüksek viskoziteye ve jelleşmeye neden olan kil parçacıklarının çekiciliğini azaltmak için defloküent görevi görürler.	Tanenler, linyit ve lignosülfatlar, polifosfatlar.
Viskozlaştırıcılar	Daha iyi katı süspansiyonu ve kuyu temizliği için viskoziteyi artırır.	Bentonit, CMC, atapulgit killer ve polimerler.

Çizelge 2.6. (Devam) Sondaj çamuru katkı maddeleri, işlevleri ve örnekler [5]

Ağırlaştırıcı maddeler	Formasyon basınçlarını kontrol etmek için gerekli yoğunluğu sağlamak, kuyu stabilitesini sağlamak ve sondaj borusunu çekerken u-tüp oluşumunu önlemek için.	Barit, kurşun bileşikleri, demir oksitler, kalsiyum karbonat.
------------------------	---	---

2.6. Perlit

Kökene silisten oluşan volkanik bir kayaç türü olan perlit doğal yapıya sahip bir maddedir. Bilinen en önemli özelliği belirli sıcaklıklarda ısıtıldığı zaman genleşerek gözenekli bir yapıya sahip olmasıdır. Yüksek ısıya dayanıklı, yangına karşı dayanıklı ve ses yalıtım özelliklerine sahip olan perlitin son yıllarda kullanımında artış gözlemlenmiştir [30].

Perlit daha önceden inşaat, tarım ve endüstri sektöründe kullanılmıştır. Isı ile genleştirilen perlit beton, sıva, briket ve duvar üretiminde kullanılan bir maddedir. Aynı zamanda ısı geçirgenliğinin düşük olması nedeniyle izolasyon malzemelerinde de kullanılmaktadır. Binaların iç ve dış kısımlarının perlitli sıva ile kaplanması inşaat sektöründe ekonomik olarak tasarruf sağlamaktadır. Bununla birlikte perlit sıvasının sesi yutma özelliği de binaların ses yalıtımı bakımından önem arz etmektedir. İyi yapılmış bir izolasyon binalarda yaşam kalitesini artırmaktadır. Perlit izolasyonda kullanılmasının yanı sıra çimento ile birlikte sıva olarak çeşitli inşaat alanlarında kullanılmaktadır. Perlitin yangına karşı dayanıklı oluşu içerisinde mikroorganizma barındırmayacağından haşere yaşamı ve yosun oluşumuna engel olmaktadır [31].

Perlitin en önemli özelliklerinden biri de bünyesine aldığı suyu içerisinde uzun süre tutmasıdır. Bu özelliği bakımından perlit, tarım sektöründe toprağın fiziksel özelliklerini artırıcı substrat maddesi olarak kullanılmaktadır. Bu özelliği ile topraktaki su kaybını azaltarak ortamın nemini korumakta ve gözenekli yapıda olması sebebi ile toprağı havalandırarak bitkilerin üreme ve büyümesi için gerekli ortamı oluşturmaktadır. Perlit bu

özelliği sayesinde inşaat ve endüstri sektörlerinin yanı sıra tarımda da yaygın olarak kullanılmaktadır [31].

2.6.1. Ham perlit

Kayaç haldeki perlitin öğütme ve boyutlandırma işlemlerinin ardından oluşan doğal haline ham perlit denir. Ham perlit renk olarak açık griden siyaha kadar değişiklik gösterebilmektedir. Ham perlitin en önemli özelliklerden biri de kararlılığını sağlayan, hidrasyona uğramış camsı silikanın yapısında bileşik halde bulunan %2,5 oranındaki sudur [32].

2.6.2. Genleştirilmiş perlit

Öğütölmüş ve boyutlanmış ham perlit 400 °C'ye kadar ön ısıtma işlemini görmektedir. Bu işlemin ardından ham perlit ani bir ısıtma (750-1200 °C) birlikte ortaya çıkan buharın tesiriyle genleşerek cam gibi tanelerden oluşan bir köpük agregasını meydana getirir. Hacminin 4 ila 30 kat fazlasına kadar genleşebilen ham perlit böylece genleşmiş perlite dönüşür. Genleştiğinde perlitin rengi tamamen beyazlaşmaktadır [32]. şekil 2.4'de perlitin kayaç, ham ve genleştirilmiş halinin görünümleri verilmiştir.



Resim 2.1. Perlitin kayaç hali (a), ham ve genleştirilmiş hali (b, c) [33].

2.6.3. Perlitin fiziksel özellikleri

Farklı özelliklere sahip ham ve genişletilmiş perlitin fiziksel özellikleri Çizelge 2.7’de gösterildiği gibidir.

Çizelge 2.7. Ham perlit ve genişletilmiş perlitin fiziksel özellikleri [34,35]

Özellik	Ham Perlit	Genleştirilmiş Perlit
Ph	6,6-8,0	-
Sertlik	-	5-6 mohs
Renk	Gri, grinin tonları ve siyah	Beyaz, gri ve tonları, genişince tümüyle beyaz
Özgül Isı	0,2 kcal/kg°C	0,2 cal/g°C
Erime Noktası	1315-1390 °C	1260-1343 °C
Özgül Ağırlık	2200-2400 kg/m ³	-
Yumuşama Noktası	800-1100 °C	871-1093 °C

Çalışmamızda kullanılan ham perlit ve genişletilmiş perlitin fiziksel özellikleri Çizelge 2.8 de verilmiştir.

Çizelge 2.8. Ham perlit ve genişletilmiş perlitin fiziksel özellikleri [36]

Fiziksel Özellik	Ham Perlit	Genleştirilmiş Perlit
Tanecik Boyutu	0,15 – 0,30 mm	0 – 300 mikron
Renk	Açık Gri	Beyaz
Hacimsel Yoğunluk	1000 – 1200 kg/m ³	90 – 120 kg/m ³
Özgül Ağırlık	2,0 – 2,4 gr/cm ³	-
Nem	Max % 1	Max % 1
pH	6 – 8,5	6 – 8,5
Elek Analizi	+0,30 mm Max. 15 -0,15 mm Max.15	+ 250 mikron % 20-25 + 150 mikron % 10-15 + 74 mikron % 30-35

2.6.4. Perlitin Kimyasal Özellikleri

Perlitin kimyasal bileşimi Çizelge 2.9 ’de gösterilen değerler arasındadır.

Çizelge 2.9. Perlitin kimyasal bileşimi [34,35]

Kimyasal Bileşimi	Miktar %	Kimyasal Bileşimi	Miktar %
SiO ₂	70,99 – 75,01	H ₂ O	2,1 – 5,1
Al ₂ O ₃	12,4 – 18,1	MnO ₂ , FeO, Cr	0,001 – 0,1
Na ₂ O	2,7 – 4,2	Ba	0,01 – 0,06
K ₂ O	0,3 – 5,2	PbO	0,01 – 0,04
CaO	0,3 – 2,2	SO ₃ , Serbest Silis ve klorürler	0,01 – 0,3
Fe ₂ O ₃	0,05 – 2	Be	-
MgO	0,01 – 0,5	NiO	-
TiO ₂	0,02 – 0,3	Cu	-

Çalışmamızda kullanılan ham perlit ve geliştirilmiş perlitin kimyasal özellikleri Çizelge 2.10 da verilmiştir.

Çizelge 2.10. Ham perlit ve geliştirilmiş perlitin kimyasal özellikleri [37]

Kimyasal özellik	Ham Perlit (%)	Genleştirilmiş Perlit (%)
SiO ₂	71 - 74	71 - 74
Al ₂ O ₃	12 - 14	12 - 14
K ₂ O	5 - 6	5 - 6
Na ₂ O	3 - 4	3 - 4
MgO	0,10 - 0,20	0,10 - 0,20
CaO	0,8 - 1,0	0,8 - 1,0
Fe ₂ O ₃	0,5 - 1	0,5 - 1
TiO ₂	0,09 - 0,012	0,09 - 0,012
Tutuşma Kaybı	3 - 4	3 - 4

2.6.5. Ham perlitin üretim yöntemi ve geliştirilmesi

Açık saha işletmeciliği ile ve patlatma metoduyla üretilen perlit madeni kırılıp, öğütülüp ve sınıflandırıldıktan sonra geliştirme işlemine tabii tutulmaktadır. Perlit madenin ilk kaba kırma işleminden geçirilip gerekli tane iriliğine getirilmeli ve ocağa yakın bir yerde olmalıdır. Genleştirilmiş perlit hafif ve hacim olarak büyük olduğundan, geliştirme

işleminin satış alanlarına yakın yerlerde kurulan fabrikalarda yapılması maliyet açısından ekonomik bulunmaktadır [32].

Perlit hazırlanmasındaki hususlar aşağıdaki gibidir:

- Elden geldiğinde perlit madenini nodüllerine ayırarak küp taneler elde etmek,
- Perliti inceltmeden, kabuk dokusuna zarar vermeden gerekli tane boyutuna getirmek [32],

Perlitin üretim tesislerinden geçtiği aşamalar sırasıyla şu şekildedir;

Kırma – Ön öğütme – Kurutma – Öğütme – İnce öğütme – Eleme, sınıflandırma ve boyutlama – Depolama [32]

Perlit farklı alanlarda kullanıldığından dolayı öğütme işleminde esneklik kriteri önem taşımaktadır. Farklı kullanım alanlarında en fazla perlit talebinin genel olarak 0.03- 1 mm ile 0.8- 3 mm tane boyutu aralığında olduğu söylenebilir [32].

Perlit 700-1200 °C arasındaki bir sıcaklıkta ısıtıldığında aniden genişlediği bilinmektedir ve bu genişleme davranışının patlamış mısır gibi patlamasıyla benzerlikler gösterdiği ifade edilmiştir. Bu, genişlemiş perlitin gözenekli bir yapı ve daha hafif bir malzeme elde etmesine neden olur. Bu sayede genişlemiş perlit daha yumuşak hale gelir ve daha gözenekli bir yapıya sahip olur.

2.6.6. Dünyada ve Türkiye’de perlit rezervleri

2019 için tahmini dünya üretimine dayanarak, dünyada perlit üreten ülkeler, azalan üretim sırasına göre sırasıyla yaklaşık %47, %20, %16 ve %13’ü ile Çin, Yunanistan, Türkiye ve ABD idi. Çin lider üretici olmasına rağmen, perlit üretiminin çoğunun dahili olarak tüketildiği düşünüldüğünde yanı sıra Yunanistan ve Türkiye, önde gelen perlit ihracatçıları olmaya devam ediyor [38].

Dünya Kaynakları: Arizona, Idaho, Nevada, New Mexico ve Oregon'daki perlit oluşumlarının büyük kaynaklar içerdiği düşünülmektedir. Çin, Yunanistan, Macaristan ve

Türkiye'de ve diğer birkaç ülkede önemli mevduatlar rapor edilmiştir. Perlit üreten birçok ülkede kaynakların güvenilir olmamasından dolayı tahmin yapmak olanaksızdır [38]. Dünyadaki perlit üretimi ve rezervleri çizelge 2.11 da gösterilmiştir.

Çizelge 2.11. Dünyadaki perlit üretimi ve rezervleri (bin ton) [38]

Ülkeler	Dünya Perlit Üretimi ve Rezervleri		Rezervler
	2018	2019	
Amerika	510	520	50 000
Türkiye	650	650	57 000
Arjantin	20	20	-
Ermenistan	45	45	-
Çin	1900	1900	-
Yunanistan	750	800	120 000
Macaristan	39	40	49 000
Meksika	20	20	-
Yeni Zelanda	20	20	-
Diğer Ülkeler	50	50	-
Dünya Toplamı (Yuvarlak)	4000	4080	

Şekil 2.4. Türkiye perlit madeni haritası [39]



Çizelge 2.12. Yıllara göre Türkiye’de üretilen perlit miktarı [40]

YIL	ÜRETİM (ton)
2011	702 673
2012	887 600
2013	1 075 949
2014	897 125
2015	843 242
2016	1 066 251
2017	606 231
2018	1 088 983
2019	1 174 486
2020	1 146 341,17
TOPLAM	9 488 881,17

2.6.7. Perlit Kullanım Alanları

Perlitin birçok farklı kullanım alanı vardır. Ham perlitin döküm ve çelik endüstrilerinde özel döküm kumu gibi uygulamaları vardır [41]. Perlit genellikle inşaatlarda kullanılmakta olup seramik sanayinde (seramik yer ve duvar karoları), gıda sanayinde, kimya sanayinde ve tarımda da kullanılmaktadır. Perlit genleştikten sonra daha hafif ve daha gözenekli hale gelir, bu nedenle ekonomik olarak daha çok tercih edilir. Aynı zamanda hem ülke ekonomisine hem de küresel ısınmaya olumlu katkı sağlar. Bu nedenle genleştirilmiş perlit kullanımı oldukça yaygındır [42]. Çizelge 2.13. genleştirilmiş perlitin genel uygulama alanlarını göstermektedir.

Çizelge 2.13. Genleştirilmiş perlitin uygulama alanları [41]

Mekân ve Düşük Sıcaklık Yalıtımı	Tarımsal Katkı ve Takviye	Orta ile Yüksek Sıcaklık Yalıtımı
Çatı döşemesi, beton zemin dolgusu, beton bloklar, perlit, bitümlü perlit, boşluk duvar izolasyonları, soğutma tesisleri, portatif buz konteynerler.	Koku ve nemi azaltmak için hayvan yemi kaplaması, hayvan yemi kaplaması, dökme boru ilaçlar için taşıyıcı.	Kapitone şiltelerde ve sert bileşimlerde kazan kaplaması, koaksiyel borularda boru yalıtımı.
Yüksek Sıcaklık Yalıtımı	Petrol Kuyusu Tedavileri	Yanmazlık
Döküm kalıpları, fırınlar, pota tepesi.	Petrol kuyusu çimentolama ve düşük yoğunluklu çamur	Kasalarda, odalarda, kapılarda, baca kaplamalarında yangın yalıtımı.
Ses Yalıtımı	Bahçecilik	Sıvı Filtrasyon
Sıvalar, harçlar, alçı levhalar, tavan karoları ve üst duvar yalıtımı, otoyol ses duvarlar.	Bitki köklendirme, yetiştirme ortamı, toprak düzenleyici, tohum kaplama, hidroponik, yeşil çatılar.	Bira, şarap, yemeklik yağlar, sitrik asit, şeker, yağlar, ilaçlar, meyve suları, glikoz, kimyasallar, şıra, yüzme havuzu suyu, içme suyu, yağmur suyu akışı, biyodizel.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

Bu çalışmanın hazırlanması için su bazlı sondaj çamurunda kullanılan bentonit ve barit TPIC (Turkish Petroleum International Company), ham perlit ve geliştirilmiş perlit GENPER firmasından temin edilmiştir.

3.2. Metod

Deneyde kullanılmak üzere su bazlı sondaj çamurları hazırlanmış ve bu sondaj çamur numunelerine (%0,5 – 5 k/h) ham perlit ve (%0,1 – 0,6 k/h) geliştirilmiş perlit eklenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar API (Amerikan Petrol Enstitüsü) standartlarına uygun olarak yapılmıştır.

Çamurlar hazırlanırken; API standartlarına uygun bir şekilde 500 mL suyun içine 32,14 g bentonit, 14,25 g barit eklenip iyice karıştırılmıştır. Daha sonra (%0,5-5 k/h) ham perlit ve (%0,1-0,6 k/h) geliştirilmiş perlit ikame edilip iyice karıştırıldıktan sonra yaşlandırılması için 16 saat dinlendirilmeye bırakılmıştır. Çamur numunelerinin bileşimi Çizelge 3.1 ve çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Ham perlit ikameli çamur numunesinin bileşimi

Katkı Maddeleri	Spud Çamur	Ham perlit ağırlıkça (%)					
		0,5	1	2	3	4	5
Bentonit(g)	32,14	32,14	32,14	32,14	32,14	32,14	32,14
Barit(g)	14,25	14,25	14,25	14,25	14,25	14,25	14,25
Su(ml)	500	500	500	500	500	500	500
Ham Perlit(g)	-	2,7325	5,465	10,93	16,395	21,86	27,325

Çizelge 3.2. Genleştirilmiş perlit ikameli çamur numunesinin bileşimi

Katki Maddeleri	Spud Çamur	Genleştirilmiş ağırlıkça (%)					
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
Bentonit(g)	32,14	32,14	32,14	32,14	32,14	32,14	32,14
Barit(g)	14,25	14,25	14,25	14,25	14,25	14,25	14,25
Su(ml)	500	500	500	500	500	500	500
Genleştirilmiş Perlit(g)	-	0,5465	1,093	1,6395	2,186	2,7325	3,279

Hazırlanan çamuru 16 saat dinlendirdikten sonra reolojik ve fiziksel özelliklerini incelemek için aşağıdaki analizler yapılmıştır.

3.2.1. Yoğunluk (çamur ağırlığı)

Yoğunluk (genellikle çamur ağırlığı olarak adlandırılır), birimi g/cm^3 , lb/gal (ppg) veya lb/ft³ veya özgül ağırlık (sg) olarak ifade edilir. Formasyonlar delinirken çamurun yoğunluğu formasyona göre değişir. 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. Çamur yoğunluğunu arttırmak için barit, hematit veya kalsiyum karbonat gibi ağırlaştırıcı maddeler kullanılırken azaltmak için ise petrol ve hava gibi inceltici sıvılar kullanılır. Çamur yoğunluğunu çamur terazisi ile ölçeriz (Resim 3.1). Çamur terazisi kullanılmadan önce su ile kalibre edilmelidir $70^\circ F$ 'deki su ağırlığı 8,33 ppg (1 SG) olmalıdır [43].



Resim 3.1. Çamur terazisi

Sondaj çamurunun yoğunluğunun ölçülmesi;

- Kalibre edilmiş çamur terazisinin bardak kısmının kapağı çıkarılır ve tamamen çamur ile doldurulur.
- Kapak geri takılır ve sıkıca oturtuktan sonra kapağın deliğinden biraz çamur çıktığından emin olunur.
- Kapağın deliği parmak ile kapatılır ve içine su kaçmamasına özen gösterilerek taşan çamur temizlenir ve kurutulur.
- Çamur terazisi sabitleneceği yere yerleştirilir ve terazi üzerindeki ağırlık kolu ile terazi dengeye getirilir ve ağırlık kolunun sol tarafındaki çamur yoğunluğu okunur.
- Sonuç lb/gal, lb/ft³ veya S.G. olarak not edilir.
- Test sonrasında tüm malzemeler temizlenir ve bir sonraki işlem için hazır hale getirilir.

3.2.2. pH analizi

Bir çözeltinin pH'ı, hidrojen iyonu konsantrasyonunun bir ölçüsüdür. Sondaj çamurundaki hidrojen iyonu ise çamurun konsantrasyonunu gösterir. pH ölçümünde pH kağıdı veya pH metre kullanılabilir, ancak daha doğru değerler verdiği için deneylerde tercihen pH metre kullanılmıştır (Resim 3.2). pH metre, farklı pH değerlerine sahip iki tampon solüsyonu kullanılarak kalibre edilir, böylece belirlenecek gerçek numunenin pH'ı aralık dahilinde kalabilir. Elektrot, bir çözelti içinde kullanıldıktan sonra her defasında demineralize su ile durulanır. İdeal bir sondaj çamurunun pH değeri 8,5 – 10,5 aralığında olmalıdır [44,45].



Resim 3.2. pH Metre

Sondaj çamurunun pH'ının ölçülmesi;

- pH metrenin gerekli kalibrasyon sıvıları kullanılarak kalibrasyonu yapılır.
- Ölçüm kabındaki akışkanın veya çamurun içerisine pH metrenin elektrotu batırılarak pH metredeki değerin sabitlenmesi beklenir ve pH ölçümü yapılır.
- Ölçümün sonunda elektrot demineralize su ile durulanır ve üretici firmanın tavsiyesi doğrultusunda uygun şekilde korunur.

3.2.3 Viskozite ölçümleri

Viskozite, maddenin deforme edici bir kuvvete karşı direncinin bir ölçüsünü temsil eder. Bu nedenle, sondaj çamuru viskozitesinin yeterince ölçülmesi ve kontrol edilmesi gerekir. Sondaj kırıntılarının sondaj çamuru içerisinde askıda kalması sondaj çamurunun viskozitesine bağlıdır. Sondaj sıvısının viskozitesi, katkı maddeleri kullanılarak kuyu içi koşullar için uygun şekilde değiştirilebilir [46]. Viskozite ölçmekte birçok cihaz kullanılmaktadır ve bu çalışmada ise Ofite-model 800 marka FANN viskozimetresi kullanılmıştır (Resim 3.3).



Resim 3.3. Fann Viskozimetresi

Sondaj çamurunun viskozitesinin ölçülmesi ve reolojisinin belirlenmesi;

- Viskozimetre kabının içerisi işaretli seviyeye kadar çamur ile doldurulur ve viskozimetre kabı içerisindeki çamur rotor üzerindeki işaretlenmiş seviyeye kadar çamura batırılır.
- Viskozimetre 600 rpm’de döndürülerek kadran sabitlenene kadar beklenir ve sabit değer 600 rpm değeri olarak okunur.
- Daha sonra vites 300 rpm’e getirilir ve kadran sabitlenince 300 rpm değeri okunur.
- Vites yalnızca motor çalışırken değiştirilmelidir.
- Okunan değerlerden Bingham plastik model parametreleri olan plastik viskozite (PV), görünür viskozite (AV) ve kopma noktası (YP) hesaplanmaktadır.

Bingham plastik model parametreleri Eş. 3.1, Eş. 3.2 ve Eş. 3.3 de verilen formül ile hesaplanır;

$$PV = \theta_{600} - \theta_{300} \quad (3.1)$$

$$YP = \theta_{300} - PV \quad (3.2)$$

$$AV = \frac{\theta_{600}}{2} \quad (3.3)$$

3.2.4. Jel mukavemeti

Jel mukavemeti Fann Viskozimetresi ile 10 saniye ve 10 dakika için ölçülür.

Jel mukavemetinin ölçülmesi;

- Viskozimetre kabı içerisindeki çamur 600 rpm’de 10 saniye karıştırılır.
- Vites 0’a getirilir ve viskozimetre durdurulur. Çamur 10 saniye hareketsiz bekletilir ve vites 3 rpm’e getirilir kadranın ilk vurduğu değer 10 saniye jel mukavemeti olarak kaydedilir.
- Viskozimetre kabı içerisindeki çamur tekrar 600 rpm’de 10 saniye karıştırılır.
- Vites 0’a getirilip motor durdurulur. Çamur 10 dakika hareketsiz bekletilir ve vites 3 rpm’e getirilerek kadranın ilk vurduğu değer 10 dakika jel mukavemeti olarak kaydedilir.

3.2.5. Sıvı kaybı (filtrasyon)

Çamurun filtrasyon veya kek oluşturma özelliği bir Filter Press ile belirlenir (Resim 3.4). Test, sıvının filtre kağıdından geçmeye zorlandığı hızın belirlenmesinden oluşur. Test, belirtilen süre, sıcaklık ve basınç koşulları altında yürütülür. Çökeltilecek katı filtre kekinin kalınlığı testten sonra ölçülür. Kullanılan Filter Press, API standartlarında belirtilen özellikleri karşılamalı ve önerilen şekilde yürütülmelidir. API sıvı kaybı, 100 psi basınçta yüzey sıcaklığında gerçekleştirilir ve 30 dakikada kaybedilen mililitre sayısı olarak kaydedilir [47,54].



Resim 3.4. API Filter Press

Sıvı kaybının ölçülmesi ;

- Hazır haldeki temiz filter press parçaları ve filtrat kağıdı düzgünce yerleştirilerek çamur haznesi oluşturulur.
- Çamur haznesinin tamamı dolmayacak şekilde (API standartlarına göre üstten 1/3 boşluk kalacak) çamur doldurulur ve kapağı iyice sıkıştırılır.
- Hazırlanan düzeneğin altına filtrat sıvısının toplanabilmesi için bir tüp yerleştirilir ve basıncın verileceği regülatör vanası açılarak 100 ± 5 psi basınç verilir.

- Basınç verildikten 30 dakika sonra ölçümleri yapmak için tahliye vanası ile basınç tahliye edilir. Düzeneğin altına yerleştirilen tüpte biriken filtrat sıvısı sıvı kaybı olarak ölçülür ve not edilir. Basıncı alınmış çamur haznesinin kapağı açılır ve çamur dikkatlice dökülür. Filtrat kağıdı üzerinde biriken çamur keki ile birlikte zarar görmeden çıkarılır ve filtrat kağıdı üzerindeki çamur kekinin kek kalınlığı ölçümleri yapılır.
- İşi biten filtre press parçaları bir sonraki deney için yıkanıp kurulanır.

3.2.6. Ağırlıkça su emme oranı

İçerisine aldığı suyu uzun süre tutan perlitin ağırlıkça su emme oranı aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır;

- Öncelikle bir kap alınır ve ağırlığı ölçülerek not edilir.
- Darası alınan kabın içerisine numune eklenir ve ağırlığı ölçülür.
- Daha sonra numune etüve alınarak kuru ağırlığa ulaşması için 24 saat beklenir.
- Etüvden çıkarılan numune ağırlığı ölçülür ve not edilir.
- Tartımı yapılan numune üzerini geçecek şekilde su eklenir ve suya doymun olması için 24 saat beklenir.
- 24 saat boyunca bekleyen numunenin suyu süzülerek ısıtıcı yardımıyla doymun kuru yüzey haline getirilmesi sağlanır ve tartılır.
- Not edilen değerler Eş. 3.4'deki formül kullanılarak numunenin ağırlıkça su emme oranı hesaplanır.

Ağırlıkça su emme oranı:

$$A_w(\%) = \frac{W_S - W_D}{W_D} * 100 \quad (3.4)$$

A_w = Ağırlıkça su emme oranı

W_S = Suda doyurulmuş örnek ağırlığı (g)

W_D = Kuru örnek ağırlığı (g)



Resim 3.5. Perlit numunesi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

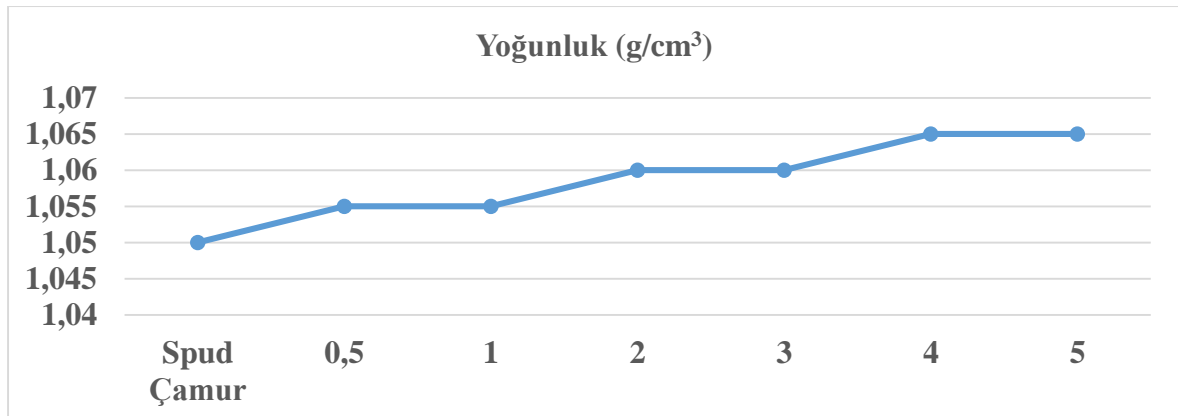
Ham perlit ve geliştirilmiş perlit ikameli sondaj çamuru numunelerinin yoğunluk, reolojik özellikleri, filtrasyon özellikleri ve pH deneyleri API standartları takip edilerek yapılmıştır. API 13A standardına göre Na bentonit bazlı sondaj çamurlarının yaklaşık olarak sağlaması gereken değerler Çizelge 4.1’de gösterilmiştir. Yapılan deneylerin sonuçları API 13A standartlarına göre yorumlanmış ve sırası ile ayrıntılı bir şekilde sunulmuştur.

Çizelge 4.1. API 13A sondaj çamuru referans değerleri[48]

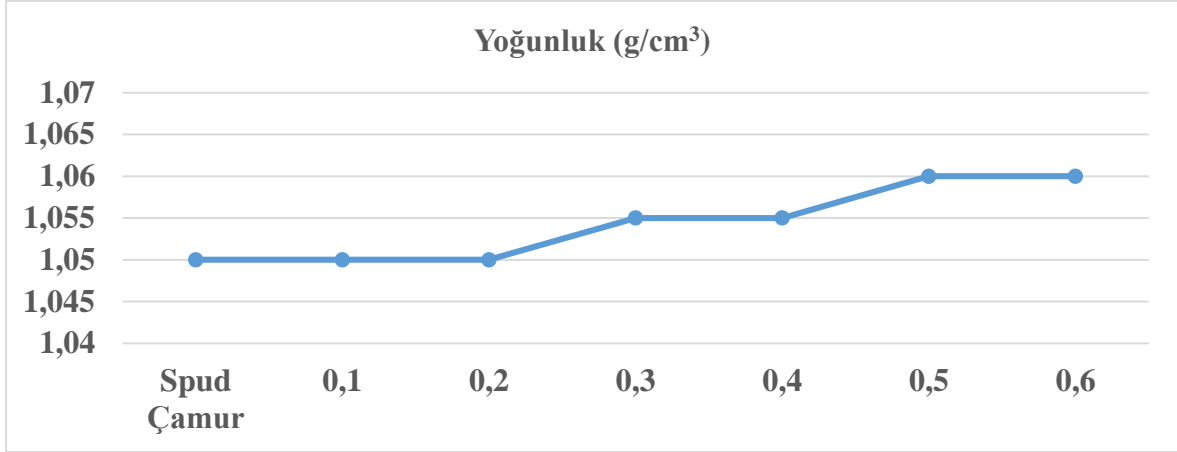
Parametre	Referans Değerler
θ600	Min 30
θ300	Min 23
PV	Min7
AV	Min 15
YP	Max 50
Sıvı Kaybı	10-15

4.1. Ham Perlit ve Genleştirilmiş Perlit Katkılı Su Bazlı Sondaj Çamurunun Yoğunluk Analizi

Ham perlit ve geliştirilmiş perlit katkılı su bazlı sondaj çamurlarının yoğunluk analizleri çamur terazisi ile yapılmıştır. Ham perlit ve geliştirilmiş perlit katkılı su bazlı sondaj çamurlarının yoğunluk değerleri Şekil 4.1 ve 4.2 de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Ham perlit katkılı su bazlı sondaj çamurunun yoğunluk değerleri

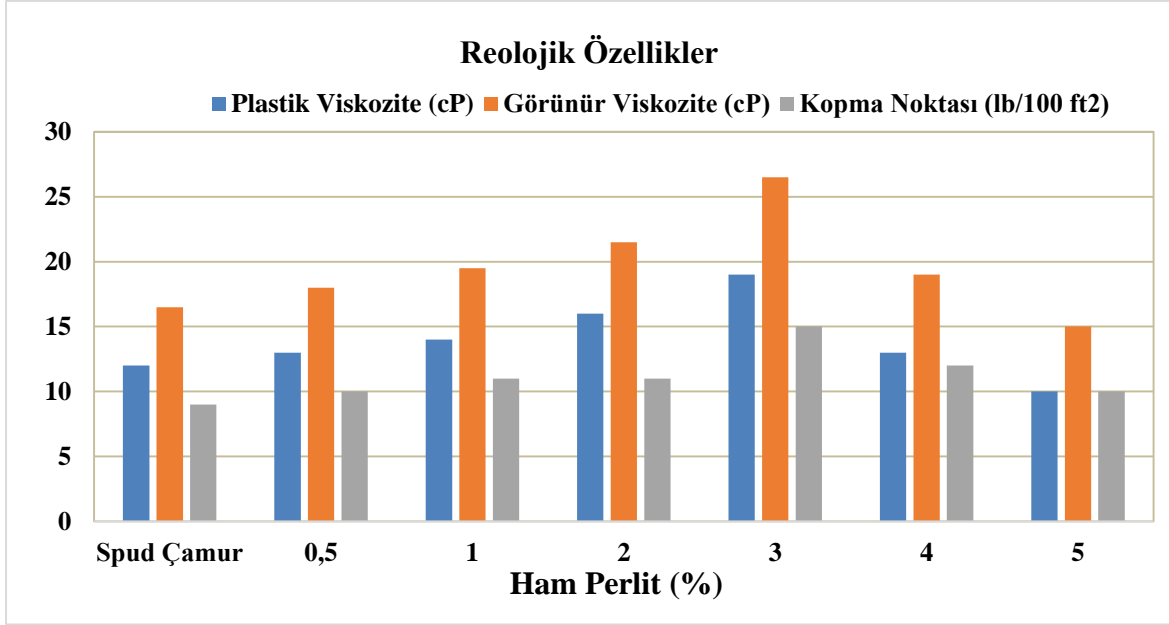


Şekil 4.2. Genleştirilmiş perlit katkılı su bazlı sondaj çamurunun yoğunluk değerleri

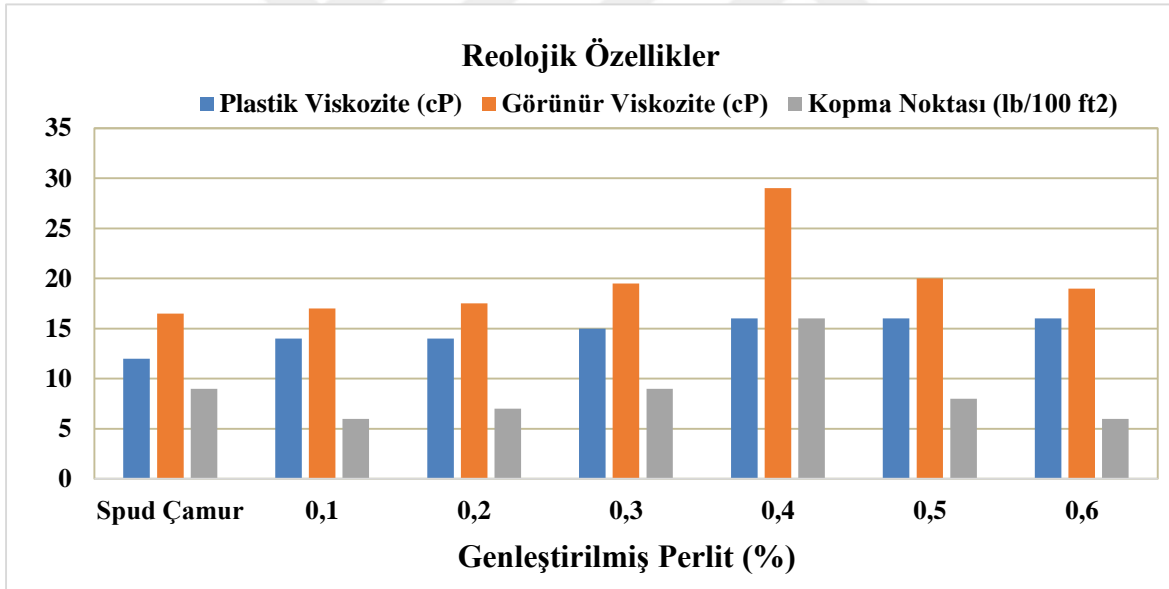
Genel olarak bakıldığında zaman ham perlit ve genleştirilmiş perlitin su bazlı sondaj çamurlarının yoğunluğunu arttırdığı görülmüştür. Ancak 13 A referans değerleri ile mukayese edildiğinde herhangi bir sorun teşkil etmediği saptanmıştır.

4.2. Ham Perlit ve Genleştirilmiş Perlitin Su Bazlı Sondaj Çamurunun Reolojik Özelliklerine Etkisi

Sondaj çamurunun reolojik özellikleri, sondaj işlemlerinde herhangi bir sorun yaşamamak ve sondaj sırasında çeşitli koşullar altında stabil olması açısından oldukça önemli bir özelliktir [49]. Bingham-plastik modeline göre reolojik özellikler, görünür viskozite (AV), plastik viskozite (PV) ve akma noktası (YP) olarak tanımlanır [50]. Sondaj işlemleri sırasında bu özellikler sürekli olarak ölçülür ve hazırlanan çamur programını uygulayabilmek için çamur katkı maddeleri ile kontrol altında tutulmaya çalışılır. Ham perlit ve genleştirilmiş perlit katkılı su bazlı sondaj çamurunun reolojik özellikleri Fann viskozimetresi ile ölçülmüş ve PV, AV ve YP değerleri Şekil 4.3 ve 4.4'de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Ham perlit katkılı su bazlı sondaj çamurunun PV, AV ve YP değerleri



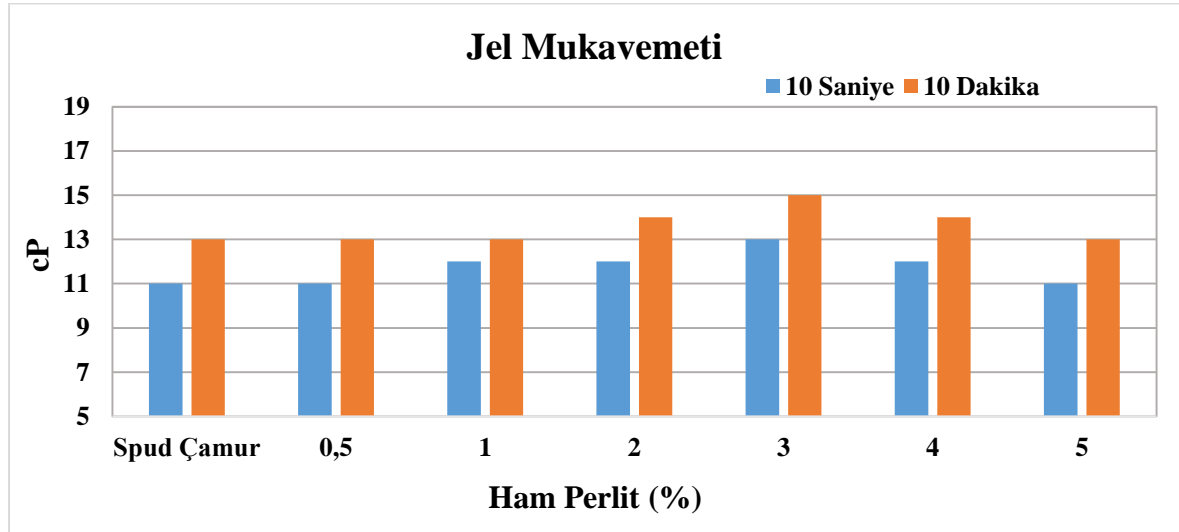
Şekil 4.4. Genleştirilmiş perlit katkılı su bazlı sondaj çamurunun PV, AV ve YP değerleri

Şekil 4.3'ü incelediğimiz zaman su bazlı sondaj çamuruna % 3'e kadar ilave edilen ham perlitin PV, AV ve YP değerlerinde, spud çamuruna oranla % 58,3, % 60,6 ve % 66,6 oranında bir iyileşmeye neden olduğu görülmüştür. Çamur viskozitesi ile doğrudan ilişkisi olan sondaj çamuru hidrostatik basıncını geliştirmek için, sondaj çamurunun uygun bir viskozitede olması gerekmektedir. Aksi takdirde yüksek viskozite değerine sahip sondaj çamuru, çamur pompasında aşırı basınca, düşük viskoziteli sondaj çamuru ise derin sondajlar için düşük hidrostatik basınca neden olacağından dolayı tercih edilmemektedir

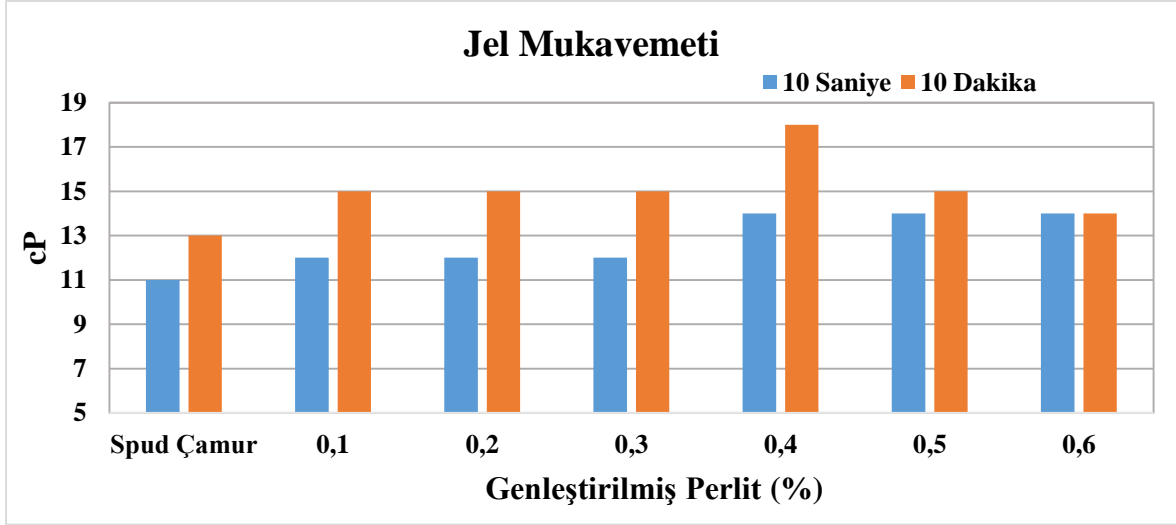
[51-52]. Normal şartlardaki bir sondaj çamurunun API standartlarındaki referans değerleri göz önüne alınırsa çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçların bu tarz sıkıntıların giderilmesine yönelik yarar sağlayacağı tespit edilmiştir.

Şekil 4.4' de su bazlı sondaj çamuruna % 0,4' e kadar eklenen genişletilmiş perlitin PV, AV ve YP değerlerini arttırdığı görülmüştür. API standart değerleri ile kıyaslandığında su bazlı sondaj çamuruna genişletilmiş perlit ilavesi çamurun reolojik özelliklerine pozitif yönde katkı sağladığı tespit edilmiştir. Genleştirilmiş perlit ilavesi su bazlı sondaj çamurunun PV değerini % 33,33, AV değerini % 75,75 ve YP değerini ise % 77,77 oranında arttırdığı görülmüştür.

Jel mukavemeti, hareketsiz haldeki bir sondaj çamurunun matkabın kestiği kırıntıları askıda tutma yeteneğidir. Çamur hareketsiz kaldığında jel kuvveti artar. Kopma noktasına benzer şekilde jel mukavemeti de, çamurun içindeki katı partiküller arasındaki elektrokimyasal çekim kuvvetinden kaynaklanmaktadır [53]. Farklı konsantrasyonlarda ham perlit ve genişletilmiş perlit ilaveli su bazlı sondaj çamurunun jel mukavemeti değerleri Şekil 4.5 ve 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Ham perlit katkılı su bazlı sondaj çamurunun jel mukavemeti değerleri

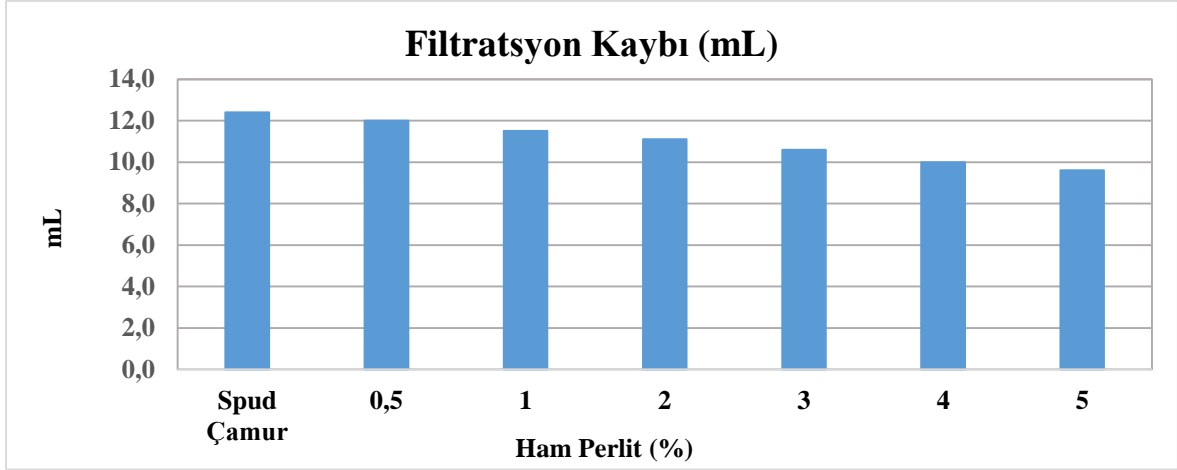


Şekil 4.6. Genleştirilmiş perlit katkılı su bazlı sondaj çamurunun jel mukavemeti değerleri

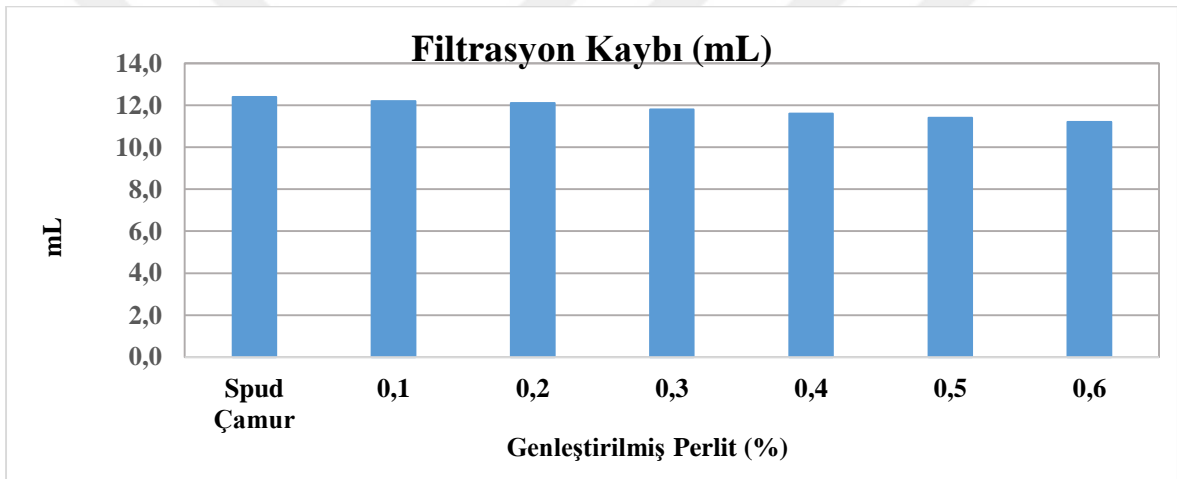
Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'yı incelediğimizde su bazlı sondaj çamuruna % 3'e kadar ham perlit ve % 0,4' e kadar genleştirilmiş perlit ilavesinin sondaj çamurunun jel mukavemeti (10 saniye, 10 dakika) değerlerinde artışa neden olduğu görülmüştür. Genel olarak sondaj sırasında jel mukavemetinin artışı istenmeyecek bir durum olsa da elde edilen bu sonuçlar API standart değerlerinden (10 s için 15, 10 dk için 31) düşük olduğu için sondaj çamuruna olumsuz yönde bir etkisi olmayacağı tespit edilmiştir.

4.3. Ham Perlit ve Genleştirilmiş Perlitin Su Bazlı Sondaj Çamurunun Filtrasyon Özellikleri ve Kek Kalınlığına Etkisi

Çamurun hidrostatik basıncı formasyon basıncından büyük olduğunda, çamur geçirgen zonlarda sıvı kısmını formasyona bırakırken katı kısmı geçirgen zon yüzeyinde birikerek çamur kekini oluşturur ve bu olaya filtrasyon denir. Genellikle formasyon yüzeyinde ince ve geçirimsiz bir kek oluşturmak istenir. Bu olay dizi sıkışmasının, kuyu stabilitesinin, üretken zonların kirlenmesinin ve kuyu logunun doğru değerlendirilmesi bakımından oldukça önemlidir [54]. Ham perlit ve genleştirilmiş perlit ilaveli su bazlı sondaj çamurunun filtrasyon kaybı değerleri Şekil 4.7 ve 4.8'de, kek kalınlığı değerleri ise Şekil 4.9 ve 4.10'da gösterilmiştir.

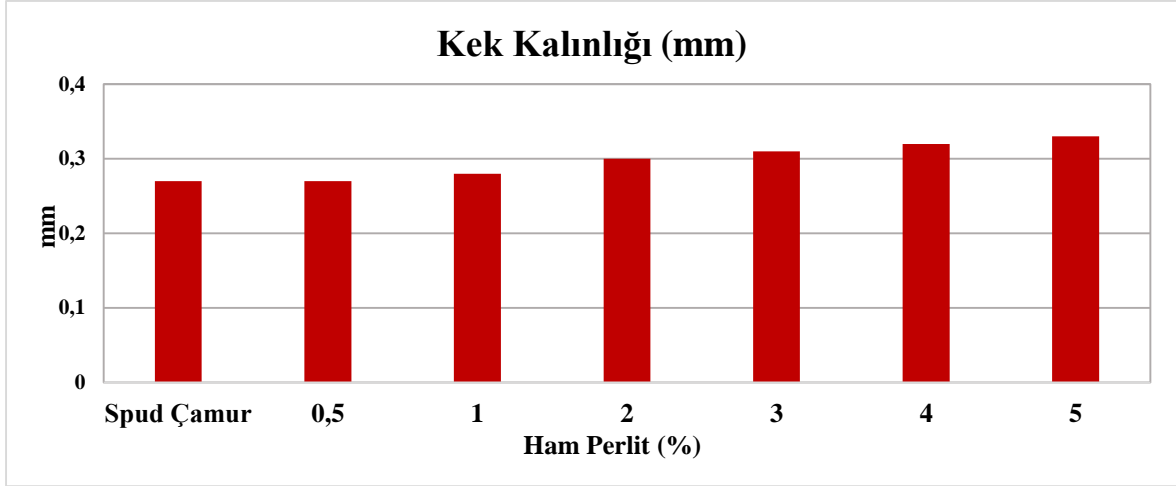


Şekil 4.7. Ham perlit katkılı su bazlı sondaj çamurunun sıvı kaybı değerleri

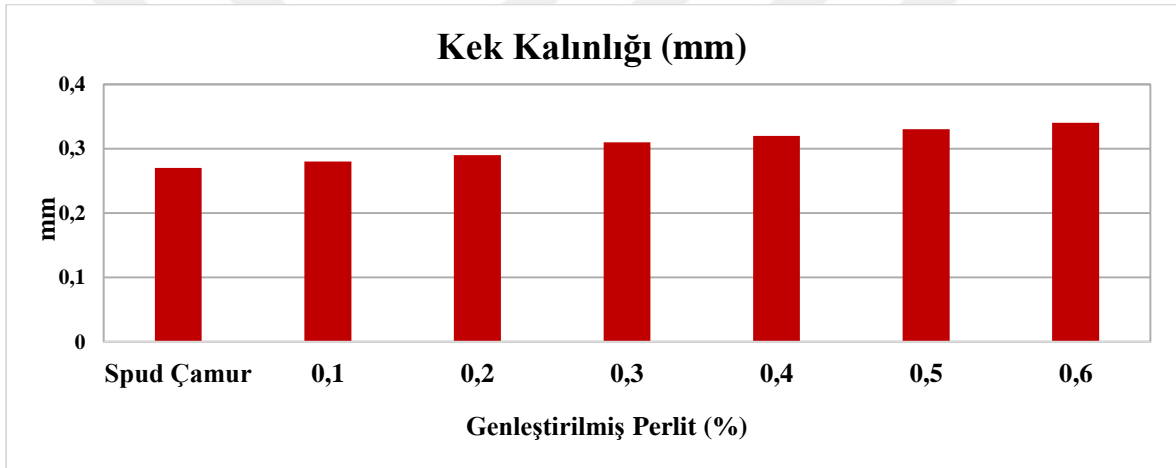


Şekil 4.8. Genleştirilmiş perlit katkılı su bazlı sondaj çamurunun sıvı kaybı değerleri

Şekil 4.7 ve 4.8'e incelendiğinde ham perlit ve genleştirilmiş perlitin sondaj çamuruna eklenmesi ve eklenme oranlarının artması ile spud çamuruna oranla filtrasyon kaybında azalmalar olduğu gözlemlenmiştir. Genel olarak su bazlı sondaj çamuruna ham perlit ilavesi çamurun filtrasyon kaybını % 14,5, genleştirilmiş perlit ilavesi ise % 6,45 oranında azalttığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.9 Ham perlit katkılı su bazlı sondaj çamurunun kek kalınlığı değerleri

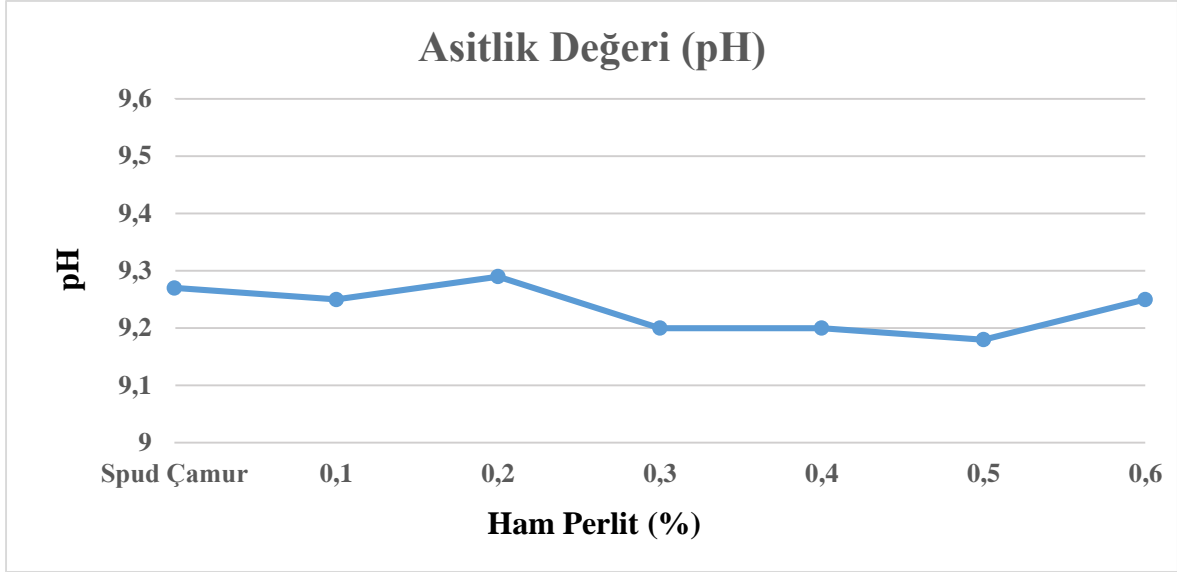


Şekil 4.10. Genleştirilmiş perlit katkılı su bazlı sondaj çamurunun kek kalınlığı değerleri

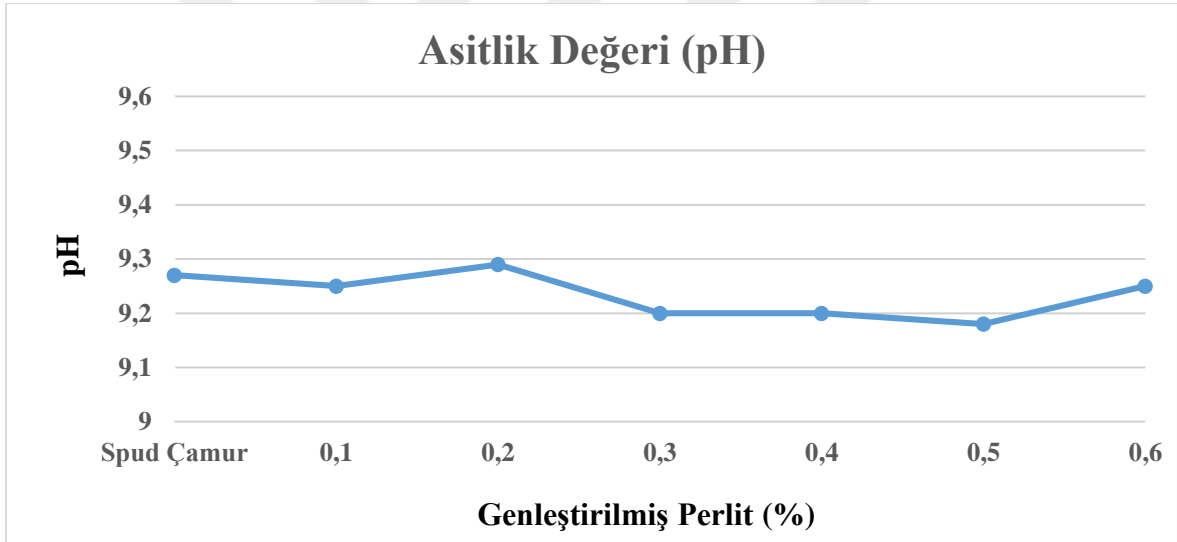
Şekil 4.9 ve 4.10'da görüleceği üzere su bazlı sondaj çamuruna ilave edilen ham perlit ve genleştirilmiş perlit oranlarının artması ile kek kalınlığında da artış meydana gelmiştir. Su bazlı sondaj çamuruna ilave edilen ham perlit çamurun kek kalınlığını % 14,8, genleştirilmiş perlit ise % 18,52 oranında arttırmıştır. Ancak kek kalınlığındaki bu artış API referans maksimum değeri olan 4 mm'nin altında olduğundan çalışmamız açısından sorun yaratmamaktadır.

4.4. Ham Perlit ve Genleştirilmiş Perlitin Su Bazlı Sondaj Çamurundaki pH Etkisi

Ham perlit ve genleştirilmiş perlit ilaveli su bazlı sondaj çamuru numunelerinin ölçülen pH değerleri Şekil 4.11 ve 4.12'de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Ham perlit katkılı su bazlı sondaj çamurunun pH değerleri



Şekil 4.12. Genleştirilmiş perlit katkılı su bazlı sondaj çamurunun pH değerleri

Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de görüleceği üzere ham perlit ve genleştirilmiş perlit ilaveli su bazlı sondaj amurlarının pH değerleri, API standartları referans değerleri (9,5-12,5) aralığındadır. Sondaj amurunun pH özelliği açısından sıkıntı yaratacak düzeyde olmayan bu değerlerin kabul edilebilir olduğu tespit edilmiştir.

4.5. Ham Perlitin Ağırlıkça Su Emme Analizi

Ham perlitin ağırlıkça su emme analizi aşağıda belirtilen Eş. 4.1’e göre yapılmış olup, hesaplama sonucunda ağırlıkça su emme oranı %17,635 olarak bulunmuştur.

Suda doymurulmuş örnek ağırlığı (g) $W_S = 117,4$ g

Kuru örnek ağırlığı (g) $W_D = 99,8$ g

$$\text{Ağırlıkça su emme oranı (\%)} = \frac{117,4-99,8}{99,8} * 100 = 17,635 \quad (4.1)$$

4.6. Ham Perlit ve Genleştirilmiş Perlitin Su Bazlı Sondaj Çamuru Katkı Maddelerine Göre Maliyet Etkisi

Çizelge 4.2 incelendiğinde; su bazlı sondaj çamuruna % 3 ham perlit ve % 0,4 genleştirilmiş perlit eklenerek elde edilen iyileştirmenin, olası katkı kimyasallarından biri olan karboksimetil selülozun (CMC) su bazlı sondaj çamuruna % 0,2 oranında eklenmesi ile elde edilebildiği görülmektedir. Su bazlı sondaj çamurundaki bu iyileşmenin CMC eklenerek yapılması durumunda; ham perlite kıyasla % 350 ve genleştirilmiş perlite kıyasla da % 400 oranında ilave bir maliyet oluşturduğu yapılan hesaplamalar sonucunda tespit edilmiştir. Dolayısıyla gerek ham perlit ve gerek genleştirilmiş perlitin kullanılmasının ekonomik açıdan çok daha yararlı olacağı tespit edilmiştir.

Çizelge 4.2. Su bazlı sondaj çamuruna eklenen katkı maddelerinin reolojik özellikleri

	% 0,2 CMC	% 3 Ham Perlit	% 0,4 Genleştirilmiş Perlit
PV (cp)	20	19	26
YP (lb/100ft ²)	15	15	16
AV (cp)	27,5	26,5	29
10 s	14	13	14
10 dk	17	15	18

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; ham perlit ve genişletilmiş perlitin su bazlı sondaj çamuruna sırası ile 0,5, 1, 2, 3, 4, 5 % (k/h) ve 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6 % (k/h) oranlarında eklenmesi sonucu reolojik ile filtrasyon özelliklerindeki olası değişimler araştırılmıştır. Ham perlit ve genişletilmiş perlitin su bazlı sondaj çamurlarına eklenmesi ile hazırlanan sondaj çamurlarının PV, AV, YP, jel mukavemeti (10 s ve 10 dk), filtrasyon kaybı ve kek kalınlığı analizleri API standartlarına göre detaylı şekilde analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen veriler ışığında ham perlit ve genişletilmiş perlit eklenmiş sondaj çamurunun, spud (perlit eklenmemiş) çamura kıyasla etkileri aşağıdaki gibidir.

1. Ham perlit ilaveli sondaj çamurunun spud çamura göre;

- Plastik viskozite değerinin % 58,3 ;
- Görünür viskozite değerinin % 60,6 ;
- Kopma noktası değerinin % 66,6 ;
- 10 s değerinin % 18,18 ;
- 10 dk değerinin % 15,38 ;
- Kek kalınlığı değerini % 14,8 oranında arttırdığı,
- Filtrasyon kaybı değerinin de % 14,5 oranında azaldığı görülmüştür.

2. Genleştirilmiş perlit ilaveli sondaj çamurunun spud çamura göre;

- Plastik viskozite değerinin % 33,3 ;
- Görünür viskozite değerinin % 75,75 ;
- Kopma noktası değerinin % 77,7 ;
- 10 s değerinin % 27,27 ;
- 10 dk değerinin % 38,46 ;
- Kek kalınlığı değerini % 18,52 oranında arttırdığı,
- Filtrasyon kaybı değerinin de % 6,45 oranında azaldığı görülmüştür.

Sonuç olarak yapılan bu çalışma ile; gerek ham perlitin gerekse de genleştirilmiş perlitin su bazlı sondaj çamuru katkı maddesi olarak kullanılabileceği tespit edilmiştir. Ayrıca farklı oranlarda yapılan perlit ilavesinin de önemli bir değişken olduğu anlaşılmış olup, ilerde farklı tanecik boyutlu ve farklı türde perlit ile bu çalışmanın geliştirilmesinde yarar olabileceği kanısına varılmıştır.



KAYNAKLAR

1. Özdemir, A., 2009. Sondaj Tekniğine Giriş, 2. Baskı, Mattek Matbaası, 74.
2. Balkaya, T. A., Gül, S., İlgen, E., Dimez, B. A., Deniz, S., Heke, E., Yaşar, M., Uygur, Ö., Erşahin, A., 2019. Sondaj Mühendisi El Kitabı, PMO yayınları, 76.
3. Özüdoğru, S., Babür, E. (2001). Jeotermal Akışkan Üretim ve Re-Enjeksiyon Kuyuları. Jeotermal Enerji Semineri, 35-124.
4. Onat, N. (1971). Bentonitin Petrol Sondajlarına Kullanılması. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 10(5), 30-36.
5. Awele, J. (2014). Investigation of Additives on Drilling Mud Performance with “tønder Geothermal Drilling” as a case study, Aalborg University Esbjerg
6. Ettehadi, A. (2016). Sondaj Kuyusu Hidroliğin Sepiyolit Çamuru Isıl Reolojik Özellikleriyle Modellenmesi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
7. Özkan, A., Kaplan, B.M., Özkan, V., Turan, S.E. ve Eker, Ç. “Rheological Properties of Ulexite Added Drilling Fluids .” (2017). International Conference on Engineering Technologies (ICENTE‘17), 75.
8. Bageri, B. S., Adebayo, A. R., Al Jaber, J., Patil, S. (2020). Effect of perlite particles on the filtration properties of high-density barite weighted water-based drilling fluid. *Powder Technology*, 360, 1157-1166.
9. Özkan, A., Kaplan, B. M., Özkan, V., Turan, S.E. ve Eker, Ç. (2017). “ Investigation of the Effect of Borax on the Rheological and Chemical Properties of Drilling Mud.” International Conference on Engineering Technologies (ICENTE‘17), 85.
10. Mohamed, A., Basfar, S., Elkatatny, S., Bageri, B. (2020). Impact of Perlite on the Properties and Stability of Water-Based Mud in Elevated-Temperature Applications. *ACS omega*, 5(50), 32573-32582.
11. Asker, N., Özkan, V., ve Özkan, A. (2019). Su Bazlı Sondaj Çamurunun Reolojik ve Filtrasyon Özelliklerine ZnO Nanopartikülü ile Fonksiyonelleştirilmiş Çok Duvarlı Karbon Nanotüpün Etkisinin Araştırılması. Euro Asia 5th. In International Congress on Applied Sciences, Adana, Turkey.
12. Okon, A. N., Udoh, F. D., Basse, P. G. (2014, August). Evaluation of rice husk as fluid loss control additive in water-based drilling mud. In SPE Nigeria Annual International Conference and Exhibition. OnePetro.
13. Özkan, A., Özkan, V. (2019). Effect of Clinoptilolite-Rich Zeolite on the Properties of Water Based Drilling Fluid. *Fresenius Environmental Bulletin*, 28(3), 2232-2237.
14. Fereydouni, M., Sabbaghi, S., Saboori, R., Zeinali, S. (2012). Effect of polyanionic cellulose polymer nanoparticles on rheological properties of drilling mud. *International Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 8(3), 171-174.

32. D.P.T., “Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri III (Pomza, Perlit, Vermikülit, Flogopit, Genleşen Killer)”, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Sekizinci Beş Yıllık (2001-2005) Kalkınma Planı, DPT: 2617 - ÖİK: 628, Ankara, (2001).
33. İnternet: Perlitin kayaç hali, ham ve geliştirilmiş hali. URL: <http://www.pertas.net/perlit.html> Son Erişim Tarihi: 24.10.2021
34. Azizi, S. (2007). Perlit Katkılı Hafif Betonların Mekanik Özellikleri ve Isı Yalıtımı (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
35. Kaya, E. S. (2019). Ham perlit ve geliştirilmiş perlitin puzolanik malzeme olarak kullanılabilirliği (Master's thesis, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
36. İnternet: Ham perlit ve geliştirilmiş perlitin fiziksel özellikleri. URL: <https://tr.perlit.com/Assets/Documents/TDS-015-030-MM.pdf> Son Erişim Tarihi 28.01.2022
37. İnternet: Ham perlit ve geliştirilmiş perlitin kimyasal özellikleri. URL: <https://tr.perlit.com/Assets/Documents/TDS-PERFIL-P0-P1-P2.pdf> Son Erişim Tarihi 28.01.2022
38. Jasinski, S. M. (2012). US Geological Survey, mineral commodity summaries.
39. İnternet: Türkiye perlit madeni haritası. URL: https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/images/b_h/perlit_pomza.jpg Son Erişim Tarihi 07.11.2021
40. İnternet: Yıllara göre Türkiye’de üretilen perlit miktarı. URL: https://www.mapeg.gov.tr/maden_istatistik.aspx Son Erişim Tarihi 07.11.2021
41. İnternet: Geliştirilmiş perlitin uygulama alanları. URL: <https://www.bpmnz.co.nz/assets/documents/Applications-for-perlite3.pdf> Son Erişim Tarihi : 07.11.2021
42. Fiat, D., Lazar, M., Baci, V., Hubca, G. (2010). Aspects concerning the perlite recovery in addition with polymeric additives for constructions materials. *Materiale Plastice*, 47(1), 64-68.
43. Sebüktekin, B. M. (2019). Bor türevleri katkılanmış sondaj çamurunun reolojik ve filtrasyon özelliklerinin incelenmesi (Master's thesis, İskenderun Teknik Üniversitesi/Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü/Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Anabilim Dalı).
44. Aboulrous, A. A., Mahmoud, T., Alsabagh, A. M., Abdou, M. I. (2016). Application of natural polymers in engineering. In *Natural Polymers* (185- 218). Springer, Cham.
45. Blankenship, D., Finger, J. (2010). Handbook of Best Practices for Geothermal Drilling, Prepared for the International Energy Agency, Geothermal Implementing Agreement Sandia National Laboratories. Albuquerque, New Mexico.

46. 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.
47. Khodja, M., Khodja-Saber, M., Canselier, J. P., Cohaut, N., Bergaya, F. (2010). Drilling fluid technology: performances and environmental considerations. Products and services; from R and D to final solutions, 227-256.
48. API SPEC 13A, Specification for Drilling Fluids – Specifications and Testing, 18th ed, Purchasing Guidelines Handbook, American Petroleum Institute (API), 2010.
49. Gamal, H., Elkatatny, S., Basfar, S., Al-Majed, A. (2019). Effect of pH on rheological and filtration properties of water-based drilling fluid based on bentonite. *Sustainability*, 11(23), 6714.
50. Meng, X., Zhang, Y., Zhou, F., Chu, P. K. (2012). Effects of carbon ash on rheological properties of water-based drilling fluids. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 100, 1-8.
51. Bayat, A. E., Shams, R. (2019). Appraising the impacts of SiO₂, ZnO and TiO₂ nanoparticles on rheological properties and shale inhibition of water-based drilling muds. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 581, 123792.
52. Piroozian, A., Ismail, I., Yaacob, Z., Babakhani, P., Ismail, A. S. I. (2012). Impact of drilling fluid viscosity, velocity and hole inclination on cuttings transport in horizontal and highly deviated wells. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 2(3), 149-156
53. Bayat, A. E., Moghanloo, P. J., Piroozian, A., Rafati, R. (2018). Experimental investigation of rheological and filtration properties of water-based drilling fluids in presence of various nanoparticles. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 555, 256-263.
54. Saboori, R., Sabbaghi, S., Mowla, D., 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.

DİZİN

A

Akma Noktası, 4, 9, 15, 16,35
 Akışkan, 6,10,11,13,17
 API, 27, 32, 33, 34, 37, 38, 40,
 41, 42
 AV, 3, 32, 34, 35, 36, 37

B

Barit 3, 11, 19, 27, 28
 Basınç 9, 10, 19, 28, 32, 33

Ç

Çamur Terazisi, 10, 28,29, 34

F

FANN viskozimetresi, 14, 16, 31,
 32, 35
 Filtrasyon Kaybı, 3, 4, 38,39,42

G

Genleştirilmiş Perlit, 21, 22, 23,
 26, 27, 28, 34, 35, 36, 37, 38, 39,
 40, 41, 42
 Görünür Viskozite, 3, 4, 32, 35,
 42

H

Ham Perlit, 20, 21, 22, 27, 34, 35,
 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42

K

Kayma Hızı, 15
 Kek Kalınlığı, 3, 4, 33, 38, 39, 42
 Kopma Noktası, 3, 13, 14, 16, 32,
 37, 42

M

Matkap, 1

N

Newtonian, 11, 12, 13, 15

P

Ph, 3, 17, 22, 30, 34, 41
 Petrol, 3, 6, 7, 9, 14, 16, 26, 28
 Plastik Viskozite, 3, 4, 9, 13, 15,
 16, 32, 35, 42

R

Rpm, 14, 15, 16, 31, 32

S

Sıvı Kaybı, 3, 4, 5, 32, 33, 34, 39
 Spud Çamur, 4, 7, 27, 28, 38, 39,
 42,

T

Tiksotropik Akışkan, 12

V

Viskoelastik, 14

Y

Yoğunluk, 3,10, 28, 34, 35



TEKNOVERSITE



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

İSTE

