



İSKENDERUN TEKNİK
ÜNİVERSİTESİ

**YÜKSEK
LİSANS
TEZİ**

**PETROL VE
DOĞALGAZ
SONDAJLARINDA
FORMASYONA UYGUN
SONDAJ AKIŞKANI
SEÇİMİ**

MİRKAN KARTAL

**PETROL VE DOĞALGAZ
MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

EYLÜL 2021





**PETROL VE DOĞALGAZ SONDAJLARINDA FORMASYONA UYGUN
SONDAJ AKIŞKANI SEÇİMİ**

Mirkan KARTAL

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

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

EYLÜL 2021

PETROL VE DOĞALGAZ SONDAJLARINDA FORMASYONA UYGUN SONDAJ
AKIŞKANI SEÇİMİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Mirkan KARTAL

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Eylül 2021

ÖZET

Çağdaş medeniyetler seviyesinin üzerine çıkma hedefi olan ülkemizin güçlü bir ekonomi ile kurulmuş enerji ağı ve talep edilen ham maddelerin uygun maliyetle kayda değer karlılıkla elde edilebilmesidir. Enerjinin temel taşlarından olan hidrokarbon aramalarında yapılan sondaj çalışmalarında sondaj esnasında karşılaşılan formasyondan kaynaklı problemlerin çözümü noktasında arazi ve laboratuvar çalışmaları ile sondaj performansını artırıcı bir takım çalışmalar yapılmıştır.

Yapılan çalışma ile her formasyon farklı bölgelerde farklı özellikler göstermesinden dolayı formasyondan kaynaklanan kuyu stabilite problemlerinin aşılması adına en etkin müdahale reçeteleri ayrı ayrı tanımlanmıştır. Hidrokarbon sondaj çalışmalarında formasyondan kaynaklanan problemlerden kuyu stabilite, formasyon basıncı ve hidrostatik basınç dengesi öncelikli olarak ele alınmıştır. Kuyu stabilite ve formasyon basıncı için sondaj sıvısının viskozite, yoğunluk, jel değerleri, sıvı kaybı, kil içeriği ve tuzluluğu gibi değerler arazide sondaj esnasında değerlendirilerek yapılarak optimum sondaj verimliliği ortaya çıkarılmıştır.

Formasyona yönelik alınan farklı numunelere Metilen Blue Test (MBT), sıvı kaybı, kalsiyum, depo kireç miktarı olan Pf, Mf ve Pm testleri, çamur ağırlığı, reoloji, klor (Cl) ve potasyum (K) testleri uygulanmıştır. Lignosülfonat çamurlarında karboksi metil selüloz (CMC LV) kullanılırken potasyum klorür (KCL) çamurlarında nişasta ve polianyonik selüloz (PAC LV) kullanımının daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Reolojiyi destek anlamında xandan (XCD) ve flo-vis plus gibi kimyasallar verilerek sonuçlarda iyi değerler elde edilmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda kimyasalların hangi şartlarda kullanımının sondaj akışkanının verimliliğini artıracığı belirlenmiştir. Bu kapsamda viskozite değeri 73 sn/qt' den 51 sn/qt değerine indirgenmiş, çamur ağırlığı formasyon stabilite problemine karşın 71 ppcf' den 72 ppcf değerine çıkarılarak kuyuda meydana gelen yıkılmaların önüne geçilebilmiştir. Formasyon çatlama basıncına göre çamur ağırlığı tedrici kaçak ve tam kaçaklara sebebiyet vermemek amacıyla 86 ppcf' den 85,5 ppcf değerine düşürülmüştür. Sondaj çamuru içerisinde tespit edilen kil oranı artışına yönelik 15 lb/bbl olan kil miktarı 11,25 lb/bbl'e düşürülmesi esnasında sisteme taze çamur verilip, decanderin (kil ayırıcı) faal olarak çalıştırılması ile elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Petrol ve doğalgaz, Sondaj, Sondaj akışkanı, Formasyon analizi, Sondaj katkı malzemeleri
Sayfa Adedi : 81
Danışman : Prof. Dr. Ergül YAŞAR

DRILLING FLUID SELECTION DUE TO GEOLOGICAL FORMATION IN OIL AND
NATURAL GAS DRILLING
(M. Sc. Thesis)

Mirkan KARTAL

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY
INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES

September 2021

ABSTRACT

Our country's goal of rising above the level of contemporary civilizations is the energy network established with a strong economy and the availability of demanded raw materials at reasonable cost and with remarkable profitability. A number of studies have been carried out to increase the drilling performance with field and laboratory studies at the point of solving the problems arising from the formation encountered during drilling in hydrocarbon exploration, which is one of the cornerstones of energy.

In the study, the most effective intervention recipes were defined separately in order to overcome the well stability problems arising from the formation, since each formation shows different characteristics in different regions. In hydrocarbon drilling studies, well stability, formation pressure and hydrostatic pressure balance are considered as a priority among the problems arising from the formation. Values such as viscosity, density, gel values, fluid loss, clay content and salinity of the drilling fluid for well stability and formation pressure were evaluated during drilling in the field and drilling efficiency was revealed.

Methylene blue test (MBT), fluid loss, calcium, alkalinity, Pf, Mf and Pm tests which are the amount of tank lime content, sludge weight, rheology, chlorine (Cl) and potassium (K) tests were applied to different samples taken for the formation. It has been determined that the use of carboxy methyl cellulose (CMC LV) in lignosulfonate sludges, starch and poly anionic cellulose (PAC LV) in potassium chloride (KCl) sludges were deemed appropriate. In terms of supporting rheology, good results were obtained by giving chemicals such as xandan (Xcd) and flo-vis plus.

As a result of the experiments, it was determined under which conditions the use of chemicals would increase efficiency of drilling fluids. In this context, The viscosity value was reduced from 73 sec/qt to 51 sec/qt, and the sludge weight was increased from 71 ppcf to 72 ppcf despite the formation stability problem, thus preventing collapses in the well. According to the formation cracking pressure, the sludge weight was reduced from 86 ppcf to 85,5 ppcf in order not to cause gradual leakage and full leakage. It was obtained by adding fresh mud to the system and operating the decander (clay separator) actively, while reducing the clay amount from 15 lb/bbl to 11,25 lb/bbl for the increase in the clay ratio detected in the drilling mud.

Key Words : Petroleum and Natural Gas, Drilling, Drilling fluid, Formation analysis, Drilling additive

Page Number : 81

Supervisor : Prof. Dr. Ergül YAŞAR

TEŞEKKÜR

Eđitim sürecimde beni en güzel iŐleyen, ince ince dokuyan, yon veren, dűŐunsel ve kiŐisel geliŐiminin mimarı, yeri geldiđinde nasihat veren bir baba, yeri geldiđinde bilimsel katkılar sunan bir eđitimci. Egosu kűkű kalbi bűyűk, zihni berrak ve elleri hızlı vatan sevdalıŐı bireyler yetiŐtiren, İskenderun Teknik Őniversitesi Petrol ve Dođalgaz Műhendisliđi Bűlűmű Kurucu BaŐkanı Prof. Dr. Ergűl YAŐAR hocama teŐekkűrű borç bilirim.

Hayat sahnesinde ilk adımlarımı Őkillendiren babam Necdet KARTAL ve annem Yasemin KARTAL'a her daim baŐarımda ve baŐarısızlıđımda yanımda oldukları iŐin ve özgűvenli yetiŐtirdikleri iŐin minnettarım. Gece gűndűz her adımda arkamda duran yenilerde kazandıđım destekçim hayat arkadaŐım (eŐim) Burcu KARTAL ve tezi hazırlarken kucađımdan inmeyen ekstra moral olan evladım Gűktűrk KARTAL'a çok teŐekkűr ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. SONDAJ ÇAMURU İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER.....	5
2.1. Sondaj Çamuru Seçimini Etkileyen Faktörler.....	5
2.2. Sondaj Sıvısı Türleri.....	6
2.3. Sondaj Çamurunun Başlıca Görevleri.....	8
2.4. Sondaj Çamurunda Viskozite.....	10
2.4.1. Plastik viskozite (PV).....	10
2.4.2. Görünür viskozite (η_A)	10
2.4.3. Akma noktası (yield point) (YP).....	10
2.5. Sondaj Çamurunun Jel Mukavemeti	11
2.6. Sondaj Çamurunun Kum İçeriği	12
2.7. Sondaj Çamurunun Su Kaybı	12
2.8. Metilen Mavisi İçeriği.....	12
2.9. Fenolftalin Alkalinitesi.....	13
2.10. Metil Orange Alkalinitesi (Mf)	13
2.11. Klorür İyon İçeriği	14
2.12. Toplam Sertlik İçeriği	15
2.13. Kalsiyum İçeriği.....	15

	Sayfa
2.14. Damıtma (Retort)	15
3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	18
4. MATERYAL VE METOD.....	27
4.1. Çalışma Sahasının Genel Jeolojisi ve Tektoniği	27
4.2. Çalışma Sahasındaki Formasyonlar ve Özellikleri	30
4.2.1. Karacadağ bazaltları.....	30
4.2.2. Gercüş formasyonu	31
4.2.3. Hoya formasyonu	31
4.2.4. Germik formasyonu	32
4.2.5. Şelmo formasyonu	34
4.2.6. Kıradağı bazaltları.....	35
4.3. Çamur Terazisi	37
4.4. Viskometre	38
4.5. Filter Press.....	39
4.6. Damıtma (Retort) (Su, Petrol ve Katı içeriği).....	40
4.7. Kum Miktarı Tayini	40
4.8. Metilen Mavisini Kapasitesi.....	42
4.9. pH Ölçme	43
4.10. Alkalinite ve Kireç İçeriği.....	45
4.11. Filtrat Alkalinitesi – Pf/Mf Prosedürü.....	45
4.12. Klor İyonu İçeriği.....	46
4.13. Ca Sertliğinin Belirlenmesi	47
5. ARAŞTIRMA VE BULGULAR	49
5.1. Sondaj Akışkanı Yoğunluğu (Çamur Ağırlığı)	50
5.2. Viskozite ve Jel Mukavemeti	54
5.3. Sıvı Kaybı Kontrolü ve %KCl Oranı	57

Sayfa

5.4. Klor ve NaCl İyonu İçeriği.....	59
5.5. Kalsiyum Açısından Toplam Sertlik Hesaplaması.....	60
5.6. Su, Petrol ve Katı İçeriği	61
5.7. MBT Artışı ve Müdahale Teknikleri.....	61
5.8. pH Değeri ve Sisteme Etkisi	62
5.9. Spot Sıvısının Hazırlanması ve Uygulanması	62
5.10. Sondaj Akışkanın Müdahalede Kullanılan Bazı Kimyasallar ve Özellikleri....	63
5.10.1. Bentonit	63
5.10.2. Kromsuz lignosülfonat (CFL)	63
5.10.3. Düşük viskoziteli karboksimetilselüloz (CMC-LV)	64
5.10.4. Potasyum klorür (KCl).....	64
5.10.5. Polianyonik selüloz (PAC-LV)	64
5.10.6. Polianyonik selüloz regular (PAC-R)	65
5.10.7. XCD polimer	65
5.10.8. Modifiye nişasta	65
5.10.9. PHPA.....	65
5.10.10. Glikol.....	66
5.10.11. Potasyum hidroksit (KOH)	66
5.10.12. Alplex.....	66
5.10.13. İnce kalsiyum karbonat	67
5.10.14. İri kalsiyum karbonat (CaCO ₃).....	67
5.10.15. Barit (BaSO ₃).....	67
5.10.16. Soda (Na ₂ CO ₃).....	67
5.10.17. Sodyum bikarbonat	68
5.10.18. Köpük kırıcı	68
5.10.19. Toz köpük kırıcı (alüminyum sterat).....	68

	Sayfa
5.10.20. Coat-415	69
5.10.21. Lube.....	69
5.10.22. Biocide	69
5.10.23. Therma thin (sıvı polimer çamuru incelticisi).....	70
5.10.24. Karbo mul-lt	70
5.10.25. Karbo mul- ht	70
5.10.26. Duratone ht.....	70
5.10.27. Gelton II	70
5.10.28. Ironite sponge (H ₂ S scavanger)	70
5.10.29. Ferro sponge.....	70
5.10.30. İnce fiber selüloz	71
5.10.31. İri fiber selüloz	71
5.10.32. Spot sıvısı	71
5.10.33. Penetrex	71
5.11. Sondaj Çamur Sisteminde Problemlere Müdahale Teknikleri.....	72
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	74
KAYNAKLAR	77
DİZİN.....	81

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Depo Kireç Miktarının Hesaplanması	14
Çizelge 4.1. Versenate Çözeltisi Katsayıları.....	48
Çizelge 5.1. Sondaj Kuyularında Yapılan Sondaj Akışkanı Ortalama Test Sonuçları ..	49
Çizelge 5.2. Çamur Ağırlığı Ölçümleri.....	51
Çizelge 5.3. Reoloji Test Sonuçları	51
Çizelge 5.4. Sondaj Akışkanı Yoğunluğu İle İlgili Deney Sonuçları	51
Çizelge 5.5. Ağırlık ve Viskozite Kontrolü	52
Çizelge 5.6. Sondaj Çamurunda Viskozite ve Jel Değerlerine Uygun Müdahale	56
Çizelge 5.7. Sondaj Çamurunda Sıvı Kaybı ve Yapılan Müdahale.	57
Çizelge 5.8. Alkalinite OH ⁻ , CO ₃ ⁻ ve HCO ₃ ⁻ Konsantrasyonlarının Hesabı	58
Çizelge 5.9. Cl ve NaCl İçeriğinin Sıvı Kaybı ve Çamur Ağırlığı ile Olan İlişkisi.....	60
Çizelge 5.10. Spot Sıvısı Hazırlanmasında Kullanılan Malzemeler ve Miktarları.....	63
Çizelge 5.11. Sondaj Çamurunda KCl Faktörü	64
Çizelge 5.12. Reolojiyi Canlandırmada Kullanılan Kimyasallar.....	66
Çizelge 5.13. Soda Külü ve Polimer Aktiflik İlişkisi	68
Çizelge 5.14. Aliminyum Sterat ve Köpüklenmenin Çözümü	69
Çizelge 5.15. Lubricant ve Sisteme Olan Etkisi	69
Çizelge 5.16. Penetrex Etkisi ve Sonuçları	71
Çizelge 5.17. Formasyona Uygun Sondaj Akışkanı Seçimi	73

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 4.1. Güneydoğu Anadolu Bölgesinin Genel Jeoloji Haritası.....	28
Şekil 4.2. Güneydoğu Anadolu Bölgesinin Genelleştirilmiş Stratigrafik Kesiti	29
Şekil 4.3. Çamur Terazisi.....	37
Şekil 4.4. Viskometre.....	38
Şekil 4.5. Filter Press	39
Şekil 4.6. Damıtma Aleti	40
Şekil 4.7. Dereceli Kum Tüpü	41
Şekil 4.8. MBT Test Damlası	42
Şekil 4.9. MBT Test Damlası Dalgalanma	43
Şekil 4.10. PH Ölçüm Solüsyonu	44
Şekil 4.11. Alkalinite Solüsyonları	46
Şekil 4.12. Edta çözeltisi	47

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
db	desibel
hz	hertz
m²	metrekare
m³	metreküp
cc	santimetreküp
cP	santipoiz
ft	fit
ft³	fitküp
ft²	Fitkare
m	Metre
psi	pounds per square inch
lb/bbl	libre/varil
ppb	pound per barrel
mg/lt	miligram/litre
kg/m³	kilogram/metreküp
\$	dolar
g/cm³	gram/santimetreküp
lb/100ft³	libre/100 fitküp
sn/qt	saniye/quart
F	fahrenayt
lb/100ft²	libre/100 fitkare
ml	mililitre
lb/gal	libre/galon
bbl/hr	varil/saat

Kısaltmalar**Açıklamalar**

BE	Metilen mavisi bentonit eşdeğeri
C_b	Ağır malzemenin konsantrasyonu (kg/m ³)
C_{lg}	Hafif katıların konsantrasyonu (kg/m ³)
C_s	Klor konsantrasyonu
C_{ss}	Askıda kalan katının konsantrasyonu (kg/m ³)
MBT	Metilen mavisi hacmi
η_A	Görünür viskozite (cp)
PV	Plastik viskozite (cp)
YP	Kopma noktası (Yield point) (lb/100ft ²)
CaCl₂	Kalsiyum klorür
MTA	Maden Tetkik Arama
TPAO	Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
KCl	Potasyum klorür
CaCO₃	Kalsiyum karbonat
CFL	Krom free lignosülfonat
PAC LV	Polianyonik selüloz düşük viskoziteli
CMC LV	Karboksi metil selüloz düşük viskoziteli
OBM	Oil base mud
K	Potasyum
Na	Sodyum
Cl	Klor
WBM	Water base mud (su bazlı çamur)
SBM	Sentetik Bazlı Çamur
Rpm	Dönüş hızı
API	American Petroleum Institute
Pm	Çamurun fenolftalin alkalinitesi
Pf	Filtratın fenolftalin alkalinitesi
Mf	Metil orange alkalinitesi
TKO	Tahmini kireç oranı
F_{su}	Suyun sondaj sıvısındaki hacimsel oranı
V_{su}	Suyun hacimsel oranı
NaCl	Sodyum klorür

Kısaltmalar**Açıklamalar**

V_f	Filtratın hacmi
V_{sn}	Gümüş nitrat hacmi
Ca⁺²	Kalsiyum içeriği
V_{etda}	Versenate çözeltisi hacmi
V_{%su}	Yüzde su hacmi
V_{ss}	Sondaj sıvısı örneğinin hacmi
V_p	Petrolün hacmi
V_{%hk}	Damıtma katı hacmi oranı
V_{%p}	Petrolün hacim yüzdesi
V_{ask}	Askıda kalan katı hacmi
D_{Cl}	Klor konsantrasyonu
D_{fi}	Filtratın yoğunluğu
V_{%su}	Yüzde su hacmi
V_{akkk}	Askıda kalan katı konsantrasyonu hacmi
V_{hkk}	Hafif katı konsantrasyonu
V_{akk}	Ağır katı konsantrasyon hacmi
CEI	Cornell Enerji Enstitüsü
ÜFE	Üretici fiyat endeksi
XRD	X ışınları difraksiyonu
FTIR	Fourier dönüşüm kızılötesi
KYM	Kömür yatağı metanı
ROP	Rate of penetration (ilerleme hızı)
NPT	Verimsiz geçen zaman
DAF	Doğu Anadolu fay hattı
KAF	Kuzey Anadolu fay hattı
GDAD	Stratigrafik adlama sözlüğü
HCl	Hidroklorik asit
P_{çamur}	Çamurun yoğunluğu
XCD	Zandan çamur kimyasalı
V_{san}	Sondaj çamuru hacmi
KOH	Potasyum hidroksit
Q₆₀₀	600 okuma değeri

Kısaltmalar**Açıklamalar**

Q₃₀₀	300 okuma değeri
Q₂₀₀	200 okuma değeri
Q₁₀₀	100 okuma değeri
Q₆	6 okuma değeri
Q₃	3 okuma değeri



1. GİRİŞ

Güçlü bir ekonomi ile kurulmuş enerji ağı ve talep edilen ham maddelerin uygun maliyetle kayda değer karlılıkla elde edilebilmesi ülkemiz için önemlidir. Ülkemizin yeraltı enerji kaynaklarını araştırmak maksadıyla son dönemlerde yoğunluklu bir program halinde sondaj çalışmalarına hız verilmiştir. Bu süreçte sahada hali hazırda devam eden sondaj çalışmalarından edinilen tecrübeleri sahada denemeleri yapılarak yerinde uygulamalarla yapılan çalışmaları birlikte harmanlayarak bilimsel bir temele oturtulması suretiyle ülkemizde gelişmekte olan sondaj sektörüne ışık tutabilmesi hedeflenmiştir. Sektöre dair bilgiye erişebilmek adına yerli kaynakların az olması da bu tarz bir çalışma yapılmasında temel etkindir. Hali hazırda sondaj akışkanlarının maksimum verim ile kullanımı sonucu maliyetlerin azaltılmasına yönelik veriler sunulması temel amacımızdır. Bu çalışmada sondaj konusunda fayda-maliyet analizleri yapılarak formasyondan kaynaklanan problemlerin minimize edilerek özellikle formasyona göre sondaj akışkanı seçimi konusunda sondaj optimizasyonu yapılmıştır. Bu açıdan sondaj kuyularında formasyondan kaynaklanana problemler ile sondaj akışkanının durumu aşağıda tek tek analiz edilmiş ve formasyonlarda oluşan problemler, sondaj dizisi ve sondaj akışkanından kaynaklanan problemler ele alınmış olup çözüm önerileri ortaya konulmuştur.

Formasyonlar ve sondaj akışkanı ile düzeltilebilecek kuyu problemleri;

Erime boşluklu formasyonlarda

- Kil erimleri esnasında sondaj sıvısının bileşiminin bozulması,
- Tuz ve mineral erimleri esnasında sondaj kuyu çapı bozulması ve ilerleme hızına olumsuz etkileri.

Alüvyonlar ve bloklu alüvyonlarda

- Alüvyonların delinmesi sırasında çıkan en önemli sorunlar,
- Kuyu genişlemesi (yıkılma-göçme) nedeniyle kuyuda dolgu oluşması.

Takım sıkışmasında

- Takım serbest (takım aşağı yukarı hareket ettirilebiliyor), fakat döndürülememesi,

- Takımın aşağı veya yukarı hareket ettirilememesi, fakat döndürülebilmesi,
- Takımın aşağı veya yukarı hareket ettirilememesi ve döndürülememesi.

Çamur kaçağı ile oluşan problemler

- Çatlaklı formasyonlarda çamur kaçağı olması (birincil çatlaklar),
- Delme işlemi sırasında formasyonda oluşan ikincil çatlakların oluşması,
- Mağaralı veya boşluklu formasyonlarda çamur kaçağının olması,
- Gevşek veya geçirgenliği yüksek formasyonlarda çamur kaçağı,
- Çamurun hidrostatik basıncının fazla olması,
- Takımın kuyuya indirilmesi sırasında oluşan pistonlama basıncının olması,
- Çamurun hızı ile kuyu tabanına yaptığı basıncın meydana gelmesi.

Kil formasyonların delinmesi sırasında çıkan sondaj problemleri

- Killerin dağılması sonucunda kuyu duvarında yıkılma,
- Suya doymuş killerin akıcı hale geçmesi ve takım üzerine yapışması,
- Suya doymuş killerin şişmesi nedeniyle kuyu daralması.

Çamur kek kalınlığının fazla olması

- Hazırlanan çamurda ve formasyon kaynaklı kil içeriğinin artması sebebiyle kek kalınlığı artarak diziye karşı baskı ve stresler gelişmesi.

Kırıntı çökmesi

- Yeterli annuler hız ve basınç dengelerinin sağlanamadığı durumlarda kesinti ve kırıntılar kuyu dibinde çökerek yeterli kuyu temizliğini sağlayamaması

Sondaj kuyularında erime boşluklu formasyonlarda, alüvyonlar ve bloklu alüvyonlarda, takım sıkışmasında, çamur kaçağının oluşmasında, killi formasyonların delinmesinde, çamur kek kalınlığının fazla olmasında ve kırıntı çökmesinin meydana gelmesi gibi problemler ortaya konulmuştur (Özdemir, 2019).

Problemlere göre çözüm önerileri

Erime, alüvyol bloklama ve kırıntı çökmesi problemine karşı öncelikle kuyu temizliğinin yeterli miktarda yapıp yapılmadığı hesap edilerek kuyuda yıkılmalar mevcutsa çamur ağırlığı artırılması, hidrolik dizayn geliştirilmesi ve debi artırılması uygulanmıştır. Akabinde çamur test sonuçlarına ve kullanılan çamur tipine göre (eğer çamur KCL ise) tuza doygunluğu ayarlanmış ve çamur kek kalınlığı artırılıp kuyu cidarı daha sağlıklı geçirimsiz hale getirilmiştir.

Takım sıkışması gibi durumlarda kesilen kayacın yapı ve özellikleri göz önünde bulundurularak motorin, petrol veya spot sıvısı hazırlanıp basılmıştır. Kuyularda sıklıkla görülen yoğun kil sarmasından kaynaklanan formasyon sıkışmaları durumlarında gerekli görülen spot sıvısı karışım oranlarının ayarlanması ile kuyuya yeni oluşturulan spot sıvısı enjekte edilmiştir.

Tedrici çamur kaçağı olması durumunda fiber selüloz, CaCO_3 (orta) ve CaCO_3 (ince), mika ve saman gibi karışımlar basılmakta olup çatlak boyutu çok büyük değilse çatlak tıkanarak tam sirkülasyon sağlanabilmiştir.

Lignosülfonat çamurlarında çamur keki kalınlığının kile bağlantılı olarak kalın olması nedeniyle çamur içerisindeki bentonit kompozisyonu düşürülmüş, sisteme polianyonik selüloz, nişasta ve Chrom Free Lignosulfonat (CFL) içerikli çamur şerbeti verilerek sistem rahatlatılmıştır. Sondaj sıvılarının temel işlevleri arasında, oluşum sıvılarının kuyuya girmesini önlemek için hidrostatik basıncı dengelemek, sondaj sırasında matkap ucunu soğuk ve temiz tutmak, matkap delme işlemini gerçekleştirmek, sondaj durdurulduğunda ve sondaj sırasında matkap kesintilerini askıya alınmıştır. Belirli bir iş için kullanılan sondaj sıvısı, oluşum hasarını önlemek ve korozyonu sınırlandırmak için seçim yapılmıştır.

Bu çalışmada öncelikli olarak hidrokarbon sondaj çalışmalarında formasyondan kaynaklı problemler ortaya konulmuştur. Kuyu stabilite, formasyon basıncı ve hidrostatik basınç dengesi gibi prosesler ele alınmıştır. Kuyu stabilite ve formasyon basıncı için sondaj sıvısının viskozite, yoğunluk, jel değerleri, sıvı kaybı, kil içeriği ve tuzluluğu gibi değerler arazide sondaj esnasında değerlendirmesi yapılarak sondaj verimliliği ortaya konulmuştur. Sistem çamurundan alınmış çamur numunesinin fiziksel ve kimyasal bir takım testlere tabi

tutulması neticesinde elde edilen değerlere karşı yapılan gerekli m¼dahaleler ile kuyu stabilitesi ve ilerleme hızını artırmaya doğrudan doğruya etkisi olduğu belirlenmiştir. Formasyon çeşitliliğine yönelik akışkan modellemeleri ile zaman ve maliyet kayıpları minimize edilecek şekilde tasarlanmıştır. Y¼ksek lisans tez çalışmasında yapılan çalışmada her formasyonun karakteristik bir yapısının olduğu ve bu karakteristik yapıların farklı b¼lgelerde farklı özellikler g¼sterdięini, bu g¼sterdięi özellikler neticesinde formasyondan kaynaklanan kuyu stabilite problemlerinin aşılması adına en etkin m¼dahale reçetesi oluşturulmuş ve kuyularda uygulanmıştır. Bu yapılan çalışmalar y¼ksek lisans tezi haline getirilerek akademik çalışma yapılmıştır.



2. SONDAJ ÇAMURU İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

Sondaj sektöründe sondaj akışkanının en temel görevleri, formasyon basınçlarını kontrol etmek, kuyu dibini temizlemek, kuyuyu kesintilerden ve yıkıntılardan temizlemek, matkap ve sondaj dizisini soğutmak ve yağlamak, sirkülasyon kesildiğinde anülüsteki kesintileri süspansiyonda tutmak, yüzey hidrolik gücünü matkaba taşımak ve yeraltı ekipmanları ile muhafaza borusu ağırlığının kaldırılma kuvvetiyle yardımıyla yüzdürülmesini sağlamaktır.

Çamur ağırlığının meydana getirdiği hidrostatik basınç ile yeraltı sıvılarının anülüs içine dolmasını önlenmektedir. Sondaj esnasında oluşan kesintiler anında kesici çevresinden uzaklaştırılıp kesici dişlerinin formasyondaki yeni yüzeyde çalışması sağlanarak sondaj hızı artırılır. Sondaj esnasında kesilen formasyon parçaları eleklere taşınarak kuyu temizliği döngüsü oluşturulmaktadır. Böylece anülüs kesinti yükü azaltılıp sirkülasyon yoğunluğu minimize edilir. Sondaj sırasında kuyu cidarı ve formasyon arasındaki sürtünmeden kaynaklı tork azaltılır ve matkap ve dizi elemanlarında soğutmayı sağlar. Kesintiler süspansiyonda tutar ve dizi sıkışması veya iniş sırasında oturmayı engeller. Hidrolik güç sondaj akışkanı ile sağlanarak kesici kısma taşınır, anülüste sağlam çamur keki (mud cake) oluşturarak kuyunun yıkılmasını engellemektedir.

2.1. Sondaj Çamuru Seçimini Etkileyen Faktörler

Kuyu tasarımı

Kuyuda mevcut muhafaza borusu tasarımı uygulanacak çamur tipi ve çamur bağlantılı maliyet durumlarında önemli bir etmendir. Kuyu tasarımının yıkılma formasyonlar göz önünde bulundurularak yapılması büyük önem arz etmektedir.

Formasyon basınçları

Uygulanacak çamur ağırlığı formasyon basınçları göz önünde tutularak hidrolik dizayn oluşturulmaktadır.

Kaya mekaniği

Ardalanmalı, çatlaklı, kırıklı ve tedrici kaçağın mevcut olduğu durumlarda çamur maliyeti azaltılarak daha çok tatlı su polimer çamuru veya kaçak miktarının daha yüksek olduğu durumlarda spud çamuru tercih edilmektedir.

Formasyonun kimyasal yapısı

Kil kimyası ve aktif kil sürekliliği çamur tipinin seçiminde çok önemli rol oynamaktadır. Aktif kil içeriğinin yoğun olduğu kuyularda uygulama aralığında tatlı su polimer, potasyum klorür (KCl) ve petrol bazlı çamur (OBM) tercih edilmektedir. Sondaj esnasında kuyu cidarından eksilen atomik yapıları tamamlamak adına K, Na, ve Cl atomları kullanılmaktadır.

Üretim için meydana gelebilecek olumsuz etkiler

Üretim formasyonunun kirlenmesi ile gözenekli ve geçirgen yapıdaki rezervuar kayaç porları tıkanmaya yol açmaktadır, bu sebeple üretim formasyonunda çimento ve barit gibi kimyasalların kullanılması çok önerilmemektedir.

Kuyu maliyeti:

Kuyunun tespit edilen rezerv petrol veya gaz hacminin malileştirilebilir oranı üretim kuyularında izlenecek çamur tipi ve kompozisyonunu doğrudan doğruya etki edecektir (Nwaiche, 2015).

2.2. Sondaj Sıvısı Türleri

Günlük bazda birçok tipte sondaj sıvısı kullanılmaktadır. Bazı kuyularda farklı kısımlarında farklı tiplerin kullanılmasını veya bazı tiplerin diğerleriyle birlikte kullanılması gerekmektedir. Çeşitli sıvı türleri genellikle birkaç geniş kategoriye ayrılır:

Hava

Sıkıştırılmış hava, sondaj kuyusunun halka şeklindeki boşluğundan aşağıya veya sondaj dizisinin kendisine pompalanmaktadır.

Hava / su

Viskoziteyi artırmak, kuyuyu temizlemek, daha fazla soğutma sağlamak ve / veya tozu kontrol etmek için eklenen su pompalanmaktadır.

Hava / polimer

Çoğunlukla bir polimer türü olarak adlandırılan özel olarak formüle edilmiş bir kimyasal, belirli koşullar yaratmak için su ve hava karışımına eklenerek kullanılmaktadır.

Su

Su bazen kendi başına kullanılmaktadır.

Su bazlı çamur (WBM)

En temel su bazlı çamur sistemi suyla başlar, ardından suya killer ve diğer kimyasallar katılarak homojen bir karışım oluşturur. (viskoziteye bağlı olarak). Kil (kaya biçiminde "şist" olarak adlandırılır), genellikle sondaj sırasında sıvıda asılı kalan doğal killerin veya WBM sistemi için katkı maddesi olarak işlenen ve satılan belirli kil türlerinin bir kombinasyonudur. Bunlardan en yaygın olanı, petrol sahasında sıklıkla "jel" olarak anılan bentonittir. Bentonit muhtemelen sıvı pompalanırken çok ince ve serbest akışlı olabileceği gerçeğine gönderme yapar, ancak sirkülasyon durdurulduğunda statik sıvı akışa dirençli bir "jel" yapı oluşturur. "Jeli kırmak" için yeterli bir pompalama kuvveti uygulandığında, akış devam eder ve sıvı daha önceki serbest akış durumuna geri döner. Viskozite kontrolü, şist stabilitesi, delme penetrasyon oranını iyileştirme, ekipmanın soğutulması ve yağlanması gibi çeşitli etkilere ulaşmak için WBM sistemine birçok başka kimyasal eklenmektedir.

Petrol bazlı çamur (OBM) veya ters çevirme

Yağ bazlı çamur, baz sıvısının dizel yakıt gibi bir petrol ürünü olduğu bir çamur olabilir. Petrol bazlı çamurlar, bazıları artan kayganlık, gelişmiş şist engellemesi (yatay şist oluşumlarının çok aşamalı çatlatılacak şekilde delinirken kritik olan) ve daha az viskoziteli daha iyi temizleme kabiliyetleri gibi birçok nedenden dolayı kullanılmaktadır. Yağ bazlı çamurlar da

parçalanmadan daha fazla ısıya dayanır. Yağ bazlı çamurların kullanımının özel hususları vardır. Bunlar maliyet ve çevresel hususları içermektedir.

Sentetik bazlı sıvı (SBM)

Sentetik bazlı sıvı, baz sıvınının sentetik bir yağ olduğu bir çamurdur. Bu, genellikle açık deniz platformlarında veya çevreye duyarlı alanlarda kullanılır, çünkü petrol bazlı bir çamurun özelliklerine sahiptir, ancak sıvı dumanlarının toksisitesi, yağ bazlı bir sıvıdan çok daha azdır. Bu, insanlar açık deniz sondaj kulesi gibi kapalı bir alanda sıvı ile çalışırken önemlidir. Bir sondaj teçhizatında, sondaj çamuru, çamur tanklarından, matkap ucundaki nozullardan dışarı püskürtüldüğü, işlem sırasında matkap ucunu temizleyip soğuttuğu sondaj dizisi boyunca pompalanmaktadır. Çamur daha sonra kesilmiş kayayı matkap ile delinmekte olan kuyu kenarları arasındaki halka şeklindeki boşlukta ("halka"), yüzeyde geri çıktığı anülüsten yukarı taşır. Çelikler daha sonra bir şey çalkalayıcı veya daha yeni şey konveyör teknolojisi ile filtrelenir ve çamur, çamur mud pitlere geri döner. Mud pitler, delinmiş "ince tanelerin" çökmesine izin verecek şekilde ve akışkanın kimyasallar ve diğer katkı maddeleri ilave edilerek işlendiği yerde tasarlanmıştır.

Geri dönen çamur, şey çalkalayıcı / konveyör alanı içinde ve çevresinde veya diğer çalışma alanlarında birikecek doğal gazlar veya diğer yanıcı malzemeler içermektedir. Tutuşmaları halinde yangın veya patlama riski nedeniyle, özel izleme sensörleri ve patlamaya dayanıklı sertifikalı ekipman yaygın olarak kurulur ve çalışanlara güvenlik önlemleri almaları önerilmektedir. Çamur daha sonra kuyuya geri pompalanır ve tekrar sirküle edilir. Testten sonra, sondaj verimliliğini, sondaj kuyusu stabilitesini ve diğer gereksinimleri optimize eden ve iyileştiren özellikleri sağlamak için çamur çukurlarında (mud pitlerde) periyodik olarak işlenmekte ve değiştirilmektedir.

2.3. Sondaj Çamurunun Başlıca Görevleri

Formasyon basınçlarını kontrol etmek

Yapılan testler neticesinde her kuyuda her formasyonun çatlama basınçları mevcuttur. Bu basınçların üzerine çıkılması ile kuyuda tam kaçak meydana gelebilmektedir. Bu sebeple

hidrostatik basınçlara dikkat edilmelidir. Yıkılmaya eğilimli formasyonlar sondaj akışkanı sayesinde gerekli basınç dengelemeleri sağlanarak yıkılmaların önüne geçilmektedir.

Kuyu dibini temizlemek

Sondaj esnasında meydana gelen matkap tarafından oluşturulan kesintiler sondaj sıvısı ile yeryüzüne taşınarak akış hattından eleklerle dökülmesi sağlanmaktadır.

Kuyuyu kesintilerden ve yıkıntılardan temizlemek

Kuyu içerisinde meydana gelen kesinti ve yıkıntıların atılamaması ile dizi üzerinde streslerde artış görülür. Yüksek tork takım kopmalarına sebebiyet vermektedir. Sondaj sıvısı gerekli hidrolik gücün verilerek kuyu temizliğinin yapılmasını sağlar.

Matkap ve sondaj dizisini soğutmak ve yağlamak

Sondaj esnasında mevcut rotary ile meydana gelen sürtünme kuvveti dizi malzemelerinin ısınmasına ve soğutulamadığı takdirde dizi ekipmanlarının hasar almasına sebep olmaktadır. Hasar alan ekipmanla beraber kuyu tehlike altına girmektedir. Sondaj sıvısı bu soğutma ve yağlama işleminin başarıyla tamamlanmasına olanak sunmaktadır.

Sirkülasyon kesildiğinde anülüsteki kesintileri süspansiyonda tutmak

Manevra veya tam çıkış esnasında sirkülasyon olmadığında katı maddelerin jel mukavemeti ile askıda tutulması gerekmektedir. Aksi takdirde kesinti ve yıkıntılar kuyu dibine çökerek zaman ve maliyet kayıplarının artmasına sebep olmaktadır.

Yüzey hidrolik gücünü matkaba taşımak

Yüzeyde mevcut hidrolik güç çamur vasıtasıyla matkaba taşınarak, matkap hidroliği sayesinde nozzle'dan çıkan yüksek debideki sondaj akışkanı ilerleme hızına ve kuyu temizliğine olumlu katkılar sunmaktadır.

Sondaj ve koruma borusu dizisi ağırlığının taşınmasına yardımcı olmak

Sondaj çamuru yüzdürme yoluyla sondaj dizisi ve muhafaza borusu ağırlığını kaldırma kuvveti etkisiyle yukarı yönde güç uygular.

2.4. Sondaj Çamurunda Viskozite

Viskozite; teorik anlamda akmaya karşı gösterilen direnç olarak ifade edilmektedir. Quart kabı ve Marsh Hunisi yardımıyla ölçüm işlemi yapılmaktadır. Viskozite sondaj ilerleme hızından, kuyu temizliğine kadar birçok parametreye doğrudan ve dolaylı olarak yardımcı olmaktadır. Hemen altta bahsedeceğimiz 3 farklı değer viskozite ile hesaplanmaktadır. Fakat öncelikle reometre yardımıyla okuma değerleri kayıt altına alınması istenmektedir.

2.4.1. Plastik viskozite (PV)

Bir akışkanın akmaya karşı gösterdiği dirençtir, yani sözü edilen “viskozite” olduğunda bahsedilen değerdir. Birimi Poise'dir ancak sahada genellikle centipoises (cP) kullanılır. Sondaj çamurlarında sondaj katısı olarak, katı içeriğinin, sirkülasyon kayıp malzemesinin artması plastik viskoziteyi (PV) artırır. PV'yi düşürmek için, katı içeriği, çamurun temel sıvısı (su, yağ vb.) ile çamuru seyrelterek azaltılmalıdır. Daha derin sondaj yapılırken artan sıcaklıkla, sondaj çamurunun plastik viskozitesi azalır, çünkü bazik sıvının viskozitesi azalır. Normalde, yüksek çamur ağırlığı, yüksek PV'ye sebep olur. Bununla birlikte, çamurun ağırlığında değişim olmaksızın PV'de bir artış olursa, çamur sistemindeki ultra ince sondaj katı içeriğinde, hemen ele alınacak bir artış olduğu anlamına gelir.

2.4.2. Görünür viskozite (η_A)

Bir akışkanın görünür viskozitesi, belirtilen bir kesme hızında kullanılan alette görünen viskoziteye denir. Onun da birimi centipoise (cP)'dir.

2.4.3. Akma noktası (yield point) (YP)

Akma noktası (yield point-YP), akışkanın hareket ettirilmesi için gerekli olan akışkan akışının veya gerekli stresin direncidir. Diğer bir deyişle, akma noktası (YP) sondaj çamurunda koloidal parçacıklar arasında ki çekici bir kuvvettir. Birimi Pascal (Pa)'dır. YP sondaj çamurunun kesintileri yüzeye taşıyabilme kabiliyetini gösterir. Dahası, sürtünme basıncı kaybı YP ile doğrudan ilişkilidir. Yüksek YP'li sondaj çamuru kullanmak yüksek

basınç kaybına yol açar. Viskozite parametrelerine ek olarak, jel mukavemeti sondaj sıvısının önemli bir özelliğidir.

2.5. Sondaj Çamurunun Jel Mukavemeti

Sondaj akışkanının kesilen katıyı askıda tutabilme yeteneğinin göstergesidir. Jel değerleri viskometre yardımıyla okumaları yapılarak hesaplanır. Jel kuvveti, sondaj sıvısının katıları askıda tutabilme özelliklerinin ölçüsüdür. Jel kuvveti bir reometre (akış ölçer) ya da shearometre (akış ölçer) ile ölçülmektedir ve her 100 feetkare'ye pound (her 30 metrekareye kilogram) olarak rapor edilmektedir. Jel kuvveti özellikle kaba taneli topraklarda çok fazla öneme sahip, düşey bir sondajda, katı maddeleri (delgi atıkları) viskozite ve sondaj akışkanı debisi ile uzaklaştırılır. Düşey kuyu uygulamalarında arzu edilebilecek halka şeklindeki hız oranları, işe yarar yatay yönlendirmeli sondajlarda sıkça karşılaşıldığı gibi 3 ila 4 fit (1 m) kadar sığ derinliklerde karşılaşılan daha az konsolide olmuş toprakları aşındırabilmektedir. Bir sondaj kuyusu ya da raybanın birincil sorumluluğunun, toprakta bir boru yolu açma işlemi olarak kabul edildiği şeklinde yorumlanabilir.

Plastik vizkozite, görünür vizkozite ve akma noktası hesaplamaları Formül 2.1, 2.2 ve 2.3 verilmiştir.

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

$$YP = Q_{300} - P_v \quad (2.2)$$

$$nA = Q_{600/2} \quad (2.3)$$

PV : Plastik Viskozite

Q₆₀₀ : 600 rpm okuması

Q₃₀₀ : 300 rpm okuması

YP : Yield Point

nA : Görünür Viskozite

2.6. Sondaj Çamurunun Kum İçeriği

Sondaj sıvısı içerisinde bulunan kesilen formasyon kaynaklı siteme sürekli dahil olan fakat çözünemeyen maddeler genellikle 120-140 API standardında eleklerden elenerek çamur çukuruna (mud pite) atılmaktadır. Kum içeriği çamurda %3'den fazla ise pompa piston, gasket takımlarına zarar verir, sondajın hızını yavaşlatır ve ekipmanların düzenli işleyişine engel olmaktadır. Kayıp zaman ve bakım onarım süreleri uzayarak maliyetlerin artmasına sebep olmaktadır.

2.7. Sondaj Çamurunun Su Kaybı

Derin kuyu sondajlarında sıvı kaybı ve geçirimsiz kek önemli bir parametredir. Yer yer formasyonlar, kırıklı, çatlaklı ve şişmeye elverişli aktif killerden meydana gelebilmektedir. Burada da en önemli görev sondaj sıvısının anülüste ördüğü geçirimsiz kektedir. Laboratuvar şartlarında sondaj sıvısı numunesi filter press düzeneğine yerleştirilerek 100 psi basınç altında 30 dakika süresince biriktirdiği filtrat miktarı sıvı kaybı hakkında fikir elde edilmesine yardımcı olmaktadır. Bu süre zarfında biriken filtrat kayıp sıvı miktarını ölçülendirmektedir. Birimi cc veya ml olarak belirtilir. Sıvı kaybı malzemesi olarak genellikle spud ve lignosülfonat çamurlarında CMC LV, KCl çamurlarında PAC LV ve nişasta, flopro çamurlarında da flotrol kullanılmaktadır. Sıvı kaybı değeri formasyon basıncı, sıcaklık ve tuzluluk miktarları ile doğru orantılı olarak etkilenmektedir.

2.8. Metilen Mavisi İçeriği

Metilen mavisi testi formasyondan sistemdeki sondaj sıvısına kesinti yoluyla bulaşan aktif kil ve seyl miktarının ölçülendirilmesini ve yapılacak müdahale yöntemlerinin belirlenmesini sağlamaktadır. Sondaj çamurundaki bentonit miktarı artışıyla doğru orantıda artış göstermektedir. Birimi pound/bbl'dir. MBT değerinin 20 lb/bbl üzerine çıkmasıyla polimerler aktifliğini kaybetmeye başlamakta olup viskozite değeri olumsuz olarak yukarı yönde ivme kazanmaktadır. Titre edilen kil kapasitesi verilen titrasyon sıvısı miktarı x 2,5 olarak sayısal ifade edilmektedir.

2.9. Fenolftalin Alkalinitesi

Sondaj sıvısı ve filtrat numunelerinin alınması sonrası 2-3 damla fenolftalin renk pH ile doğru orantılı olarak açık ve koyu pembe renk almaktadır. PH değeri yükseldikçe daha koyu pembe renk elde edilmektedir. Tekrar filtrat ve sondaj sıvısı rengini alana kadar verilen 0,02 N Sülfürik asit miktarı çamur numunesi alkalinitesini (P_m) ve filtrat numunesi alkalinitesi (P_f) değerini vermektedir. P_f değeri üzerinden devam edildiğinde metil orange (M_f) alkalinite değeri elde edilmekte olup hacimsel iyon yüklerinin ifadesidir. Çizelge 2.1'de depo kireç miktarının hesaplaması yapılmıştır. P_f ve P_m değerinde pH değerinin 8,3 değerine indirgenmesi prensibine dayanarak renkler belirteç olarak kullanılmaktadır.

2.10. Metil Orange Alkalinitesi (M_f)

Metil orange alkalinitesinin, pH değerinin 4,3 değerine indirgenmesi prensibine dayanarak renkler belirteç olarak kullanılmaktadır. Verilen 0,02 N sülfürik asit miktarı ile renk turuncudan pembe veya kırmızı rengine doğru döndüğü ilk andaki verilen asit miktarı M_f değeri olarak kaydedilir. Karbonat, bikarbonat miktarı ve çamurdaki dengesi ayrıca takip edilmeli ve olası kirlilikler giderilmelidir. Formül 2.4'te suyun sondaj sıvısındaki hacimsel oranı (F_{su}) ve 2.5'te Tahmini kireç oranı (TKO) hesaplamaları yapılmış ve kuyu sondajlarında kullanılmıştır.

$$F_{su} = V_{su} / 100 \quad (2.4)$$

F_{su} : suyun sondaj sıvısındaki hacimsel oranı

V_{su} : suyun hacimsel oranı, kireç miktarı (ppb)

$$\text{Tahmini Kireç Oranı TKO} = 0,26x(P_m - F_{su}xP_f) \quad (2.5)$$

P_m : Çamurun fenolftalein noktası

F_{su} : suyun sondaj sıvısındaki hacimsel oranı

P_f : Filtratın fenolftalein oranı

Çizelge 2.1. Depo Kireç Miktarının Hesaplanması

If	OH-	CO ₃ ⁻²	HCO ₃
Pf=0	0	0	1220 Mf
2Pf<Mf	0	1200Pf	1220(Mf-2Pf)
2Pf=Mf	0	1200Pf	0
2Pf>Mf	340*(2Pf-Mf)	1200(Mf-Pf)	0
Pf=Mf	340*Mf	0	0

2.11. Klorür İyon İçeriği

Klor miktarı formasyondan ve kullanılan kimyasallardan kaynaklı artış göstermektedir. Sıvı kaybının kontrol altında tutulması için formasyondan formasyona zaman zaman ihtiyaç duyulmaktadır. K⁺ iyonu ile kurduğu güçlü bağ sayesinde iyi sıvı kaybı önleyicisidir. Fakat CMC LV ile beraber kullanılamaz. 50 bin mg/lt üzerinde CMC LV çalışamaz hale gelip sondaj akışkanı olumsuz yönde etkilenmektedir. Test aşamasında verilen gümüş nitrat miktarı klorür içeriğini vermektedir. Formül 2.6'da Klorür iyonu (Cl⁻) ve Formül 2.7'de sodyum klorür konsantrasyonu (NaCl) hesaplamaları yapılmış ve kuyu sondajlarında kullanılmıştır.

$$Cl^{-} = 1000xV_{sn} / V_f \quad (2.6)$$

$$NaCl = 1,65xCl^{-} \quad (2.7)$$

Cl⁻ :Klorür iyonu

NaCl : Sodyum klorür konsantrasyonu

V_f : Filtrat hacmi

V_{sn} : Gümüş nitrat hacmi

2.12. Toplam Sertlik İÇeriği

Toplam Sertlik veya Su Sertliği, su bazlı çamurdaki kalsiyum (Ca^{2+}) ve magnezyum (Mg^{2+}) iyonlarının ölçümüdür. Kalsiyum (Ca^{2+}) ve magnezyumun (Mg^{2+}) çözünebilir iyonlarının toplamı, standart Vesenat çözeltisi ile titre edilerek bulunmaktadır. Toplam sertliğin bir tavan değeri vardır. Genel olarak sertlik 400 mg/l'ten fazla olmamalıdır. Sondaj çamurundaki toplam sertlik kabul edilebilir değerden fazlaysa, sıvı kabında artış, kırılğan ve dağılğan sondaj sıvısı keki, polimerlerin 400 mg/l'te üzerinde çalışamaması, killerin topaklanmasına ve viskozite artışına sebebiyet vermektedir.

2.13. Kalsiyum İÇeriği

Kalsiyum içeriği (Ca^{2+}) verilmesi gereken versenate miktarı kaydedildikten sonra hesaplanmaktadır. Formül 2.8'de kalsiyum konsantrasyonu *Versanete hardness titrant çözeltisinin* ($ml (V_{etda})$) ile hesaplamaları yapılmış ve kuyu sondajlarında kullanılmıştır.

$$Ca^{2+} \text{ (mg/l)} = 40 \times V_{etda} / V_s \quad (2.8)$$

Ca^{2+} : Kalsiyum içeriği

V_{etda} : Versanete hardness titrant çözeltisinin (ml) hacmi

V_s : Numune hacmi (ml)

2.14. Damıtma (Retort)

Damıtma (Retort) işleminde sondaj esnasında sondaj sıvısının içerisinde bulunan katı, sıvı ve petrol hacmini belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Sondaj sıvısından alınan numune ısıtılarak tutularak damıtma yardımıyla filtrat birikimi esasına dayanmaktadır. Sıvı formda olanlar dereceli tüpe akarken, katı kısım süzgeç görevi gören telciklerde takılı kalmaktadır. Sıvı kısımda eğer üretim zonunda sondaja devam ediliyorsa petrol görülmesi muhtemeldir. Formül 2.9'da yüzde su hacim oranı ($V_{\%su}$), formül 2.10'da petrol hacmi (V_p), formül 2.11'de retort katı hacim oranı ($V_{\%kh}$), formül 2.12'de askıda kalan katının hacim oranı (V_{ask}), formül 2.13'de filtratın yoğunluğu (D_{fi}) ve formül 2.14'de askıda kalan katı konsantrasyonu (V_{akkk}) hesaplamaları yapılmış ve kuyu sondajlarında kullanılmıştır.

$$V_{\%su} = 100x(V_{su} / V_{ss}) \quad (2.9)$$

$V_{\%su}$: *Yüzde su hacmi oranı*

V_{su} : *Suyun hacmi (ml)*

V_{ss} : *Sondaj sıvısı örneğinin hacmi (ml)*

$$V_p = 100x(V_{su} / V_{ss}) \quad (2.10)$$

V_p : *Petrolün hacmi (ml)*

V_{su} : *Suyun hacmi (ml)*

V_{ss} : *Sondaj sıvısı örneğinin hacmi (ml)*

$$V_{\%hk} = 100 - (V_{\%su} + V_{\%p}) \quad (2.11)$$

$V_{\%kh}$: *Damıtma (Retort) katı hacmi oranı (%)*

$V_{\%su}$: *Yüzde su hacmi oranı*

$V_{\%p}$: *Petrol hacmi oranı (%)*

$$V_{ask} = V_{\%kh} - (V_{su}(D_{Cl}/(1.680.000 - 1,21xD_{Cl}))) \quad (2.12)$$

V_{ask} : *Askıda kalan katının hacim oranı (%)*

$V_{\%kh}$: *Retort katı hacmi oranı (%)*

V_{su} : *Suyun hacmi (ml)*

D_{Cl} : *Klor konsantrasyonu (mg/l)*

$$D_{fi} = 1 + 0.00000109xD_{Cl} \quad (2.13)$$

D_{fi} : Filtratın(süzüntü) yoğunluğu (g/cm^3)

D_{Cl} : Klor konsantrasyonu (mg/l)

$$V_{akk} = V_{hkk} + V_{akk} \quad (2.14)$$

V_{akk} : Askıda kalan katı konsantrasyonu (kg/m^3).

V_{hkk} : Hafif katuların konsantrasyonu (kg/m^3)

V_{akk} : Ağır katuların konsantrasyonu (kg/m^3)

3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Gümüş ve Altan (1995) tarafından 1934 - 1995 yılları arasında kazılan sondajların %37'si arama, %59'unu tespit ve üretim kuyuları olduğu saptanmıştır. Yapılan metraj yönünden ise; arama kuyuları %43, tespit ve üretim kuyuları ise %54 civarında olduğu arama kuyularının ortalama derinliği 2300 m, tespit ve üretim kuyularının ortalama derinlikleri ise 1800 m'dir. Bu kuyuların %69'u TPAO, %26'sı diğer (yabancı, yabancı + yerli) ve %5 yerli şirketler (MTA dahil) tarafından kazıldığını ifade etmişlerdir. Arama kuyularına göre petrol bulma oranı %10 yani yaklaşık 10 kuyuda 1 kuyu petrolü veya gazlı çıkmış olduğunu açıklamışlardır. Açılan 2666 kuyudan 126'sı teknik sebeple terk edildiği, oran %4,7 veya yaklaşık 20 kuyuda 1 kuyu olduğu, arama kuyularında bu kuyu bu oran ortalama değerinde (% 7,7 veya yaklaşık 13 kuyuda 1 kuyu) kalırken diğer kuyu tiplerinde bu oranlar, ortalamaya eşit veya altında kaldığını belirtilmiştir.

Büyüköz (2004) yaptığı çalışmada bir kuyuda bentonit, CFL, CMC-LV, kostik, soda, ve barit kullanılarak toplam çamur maliyetini 22.630,30 \$ olarak, birim maliyetini ise 6,31 \$ olarak hesaplamıştır.

Türk Standardı (2006) tarafından yapılan çalışmada kuyu dibi sıcaklığının yükseldiği durumlarda viskozite ve sıvı kaybı kontrolü için PAC-LV, kırıntıların yüzeye taşınmasının kolaylaşmasını sağlamak için XCD, hidrostatik basıncı arttırmak için barit ve CaCO₃ kullanıldığı belirtilmiştir.

Özdemir ve Özcan (2007) yaptıkları çalışmada içerisinde bol miktarda camsı malzeme bulunan alüminyum ve magnezyumca zengin, volkanik kül, tuf ve lavların kimyasal yolla ayrışması ile oluşan, egemen olarak montmorillonit minerali içeren killere bentonit denildiğini ifade etmişlerdir. Ticari anlamda ise, gelişmiş sıvı emici ve kolloidal özelliği olan her kile bentonit diye belirtmişlerdir. Bentonit oluşumu için, genellikle kaynak kaya konumundaki volkanik külün belirli miktarda alkali ve toprak alkali mineral içermesi gerektiğini ifade etmişlerdir.

Kaiser (2009) bir açık deniz hidrokarbon kuyusu sondajı için zaman ve maliyeti modellemek için kavramsal çerçeve geliştirerek ve metodolojiyi Meksika Körfezi'ndeki bir kuyu test setinde açıklamıştır.

Özdemir (2009) ülkemiz su sondaj sektörünün sayısal bir analizini yapmıştır ve 1998-2008 yıllarında ülkenin 73 ilinde açılan 2640 adet su sondaj kuyusunun teknik ve istatistiksel olarak değerlendirmiştir.

Teymour (2010) sondaj sıvıları sirkülasyon şemasını ifade ederken pompa tarafından çamur tanklarından pompalanıp, bu sıvının sırayla Kelly, sondaj borusu, matkap nozulları ve matkap ucundan geçirildiğini, kuyudan sondaj dizisi ile iletilen çamur anülüsten geri dönerek eleklere daha sonra çamur tanklarına döküldüğünü belirtmiştir.

Özdemir (2011) tarafından 4 adet derin karotlu sondaj kuyusunu incelemiş, sondaj çalışma parametreleri olan baskı, devir ile birlikte delinen kayanın tek eksenli basınç dayanımı özelliklerinin arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen veriler esas alınarak ilerleme hızı üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışma sonucunda bazı kaya özellikleri ile ilerleme hızları arasındaki ilişkiler analiz edilerek delinen kaya türleri için en uygun baskı, devir ve ilerleme hızları bulunmuştur.

Caenn (2011) yağ bazlı çamurun su fazı tuzluluğu hakkında yaptığı çalışmada su fazı tuzluluğu, yağ bazlı çamurdaki tuzun aktivite seviyesini gösteren bir faktör olduğu, su fazındaki tuzluluğu kontrol etmek için sondaj sıvısına tuz eklemiştir. Sisteme eklenen tuz, çamurdaki su ile çözülecek; bu nedenle, klorür içeriğinin artacağını ifade etmiştir.

Ryen Caenn (2011) yaptığı çalışmada sondaj çamurunun pH'ının düşmesine neden olabilecek birçok faktör sıralamıştır. Birincisi su kirliliği veya su akışı, su nötr olduğundan sondaj sıvısındaki pH'ı düşüreceğini, karbonat veya bikarbonatın kimyasal molekül ile sondaj çamurunun pH'ı düşürüleceğini ve karbondioksit (CO₂) ve kükürt dioksit (H₂S) gibi asit gazları, sistemde asit gazları karışırsa pH düşeceğini ifade etmiştir. İkincisi ise asit gazı çamur özellikleri üzerinde kötü bir etkiye sahip olduğu çamurun PV, YP ve jel gücü olarak reolojisi artacak olup ancak pH kaybı nedeniyle Pm ve Pf azalacağını tespit etmişlerdir. Anhidritin kimyasal bileşenleri çamurdaki hidrojen iyonlarını nötralize etmesi

ve böylece sondaj çamurunun pH'ı düşeceğini ve anhidrit oluşumunu delerken çamur pH'ını artırmanın önemli olduğunu belirtmiştir.

Philips (2012) sondaj çamurun katı içeriği hakkında yaptığı çalışmada, sondaj çamurundaki toplam katının bir kısmı, sondaj katı (kesikleri), çamur kimyasal katkı maddeleri ve ağırlıklandırma malzemesi nedeniyle ileri sondaj sırasında her zaman arttığını tespit etmiştir. Katı içeriğin, sondaj sıvısı sistemindeki çözünür ve çözünmeyen katı içeriği ifade ettiğini sondaj katıları, çamur özelliklerini kademeli olarak bozduğu için sondaj sıvısındaki en kötü katı içerik olduğunu belirtmiştir. Ayrıca partikül boyutu 5 mikrondan küçük ise bu matkap katıları mekanik yöntemlerle giderilemez ve sonsuza kadar çamurda kaldığını ispat etmiştir. Genel olarak, sondaj katıları toplam çamur hacminin %6-7'sini alınacağını ve delinmiş katı içeriğin çok önemli olduğu için günlük olarak kontrol edilmesi gerektiğini belirtmiş ve iyi delme uygulamaları için, delinmiş katı, imbik ile günde iki kez test edilmesi gerektiğini açıklamıştır. Matkap katı fraksiyonunun üst sınırı hacimce %6-7 veya yaklaşık 55 – 60 lb/bbl olması gerektiğini belirtmiştir.

Philips (2012) su bazlı çamurda toplam sertlik ve klorür içeriği hakkında yaptığı çalışmada toplam sertlik veya su sertliği, su bazlı çamurdaki kalsiyum (Ca_2^+) ve magnezyum (Mg_2^+) iyonlarının bir ölçümü yapmış olup hem çözünür kalsiyum (Ca_2^+) hem de magnezyum (Mg_2^+) iyonlarının toplamı, standart vesenate çözeltisi ile titrasyon yoluyla vermiştir. Sondaj çamurunda çok fazla toplam sertlik varsa nasıl belli olacağını kötü çamur keki (kalın ve yoğun), yüksek sıvı kaybı, kil içeriğinin flokülasyonu, daha az polimer etkinliği ve etkisiz kimyasal arıtma parametrelerine göre tespit etmiştir. Ayrıca su bazlı çamurun çoğu için kabul edilebilir toplam sertlik değeri 300 mg/L'nin altında olması gerektiğini ve kireç sondaj çamuru kullanılıyorsa daha yüksek bir değere sahip olması kabul edilebilir ancak 400 mg/L'nin altında tutulması gerektiğini ifade etmiştir. Klorür oluşumu ve klor konsantrasyonu bir gümüşnitrat çözeltisi ile titrasyon ile belirlenebileceğini açıklamıştır. Klorür miktarını sık sık kontrol etmiş, klorür içeriğinde herhangi bir anormal değişiklik varsa, bu rezervuarlardan tuz oluşumuna su aktığının bir göstergesi olduğunu belirtmiştir. Klorür, şişme problemini önlemek için kullanmış olup, sondaj sıvısındaki klorür içeriği, potasyum klorür (KCl) ve sodyum klorür (NaCl) gibi tuzlar eklenerek muhafaza edilebileceğini, potasyum klorür (KCl) kullanılıyorsa, oluşumdan gelen kil içeriği ile reaksiyona girecek yeterli potasyum iyonunun olması zorunlu olmasıyla birlikte, çok fazla reaktif kil içeriğine

sahip formasyonlarda sondaj yapılıyorsa, KCl konsantrasyonunun arttırılması gerektiğini belirtmiştir.

Aadnoy ve diğ. (2012) yaptıkları çalışmada, klor konsantrasyonu artırılarak (tuz ilave edilerek) çamurdaki aktivite seviyesi düşeceğini, formasyon suyuna eşit veya daha az aktivite düzeyi oluşturmak için tuz eklemişlerdir. Bu nedenle çamurdaki su fazı formasyona geçmez ve kil şişmesi sorununa neden olup pratik olarak kalsiyum klorür (CaCl_2) veya sodyum klorür (NaCl) kullanılabilir kimyasal olduğunu belirtmişlerdir. Tipik olarak, yağ bazlı çamurla sondaj açılırken, sondaj kırıntıları genellikle kuru, sert ve parçalara ayrılması kolay olacağını ancak çentikler büyük parçalar halinde bir araya gelmesi ve ıslanması durumunda sondaj sıvısındaki tuz içeriği artabileceğini ve sebebi ise çamurun içindeki suyun formasyonlar halinde hareket etmesi ve formasyondaki kil partiküllerini şişirmesi olduğunu ifade etmişlerdir. Şişmiş kil, ıslak ve yoğun sondaj kesintilerine neden olacağını belirtmiştir.

Görgün (2013) tarafından belirli bir derinlikte petrol bulunmamasına rağmen daha derine inmekteki ısrarın nedeni tamamen jeolojik yapıyı anlamaya yönelik olduğunu, sonuçta ortada alınan bir risk bulunduğunu ve alınan riskin sonuçlarının değerlendirilmesi tamamen bakış açısına göre farklılık göstereceğini, açılan kuyunun boş çıkmasının, sadece giderleri arttırdığını veya sadece daha sonra açılan kuyulara jeolojik katkı sağlayan bir örnek çalışma olacağına dair değerlendirmede bulunmuştur.

Zabun (2013) tarafından döner konili matkaplar, uygulanan ağırlık ve dönmenin etkisiyle kayayı ezip parçalayarak ve küreyerek kesme işlemi yaptığı, matkap kuyu tabanında dönerek ilerlerken, koniler ağırlık ve dönme hareketinin etkisiyle kendi eksenleri etrafında döndüğünü ve sabit başlı matkaplara göre daha fazla yük ve daha az devir gerektirdiğini ifade etmiştir.

Lukawski ve diğ. (2014) tarafından yapılan çalışmada petrol ve gaz kuyularının mevcut ve geçmiş sondaj ve tamamlama maliyetlerini değerlendirmiş ve bunları jeotermal kuyu maliyetleri ile karşılaştırmışlardır. Başlangıç noktası olarak, ABD kara petrol ve gaz kuyuları için, öncelikle API Ortak Birlik Araştırması 1976-2009 verilerine dayanan yeni bir maliyet endeksi geliştirmişlerdir. Bu endeks, sondaj maliyetlerindeki yıldan yıla değişiklikleri açıklar ve bir kişinin geçmiş sondaj harcamalarını cari yıl doları cinsinden ifade etmesine izin vermektedir. Diğer maliyet endekslerinden ayırt etmek için onu Cornell

Enerji Enstitüsü (CEI) Endeksi olarak etiketlemişlerdir. Bu endeks, farklı kuyu derinlik aralıkları için dokuz alt endekse sahiptir ve sondaj faaliyetindeki yıllık değişiklikler için düzeltilmiştir. CEI endeksi, petrol ve gaz kuyuları için yaygın olarak kullanılan Üretici Fiyat Endeksi'ne (ÜFE) kıyasla, 2003 - 2008 yılları arasında kuyu maliyetinde % 70 daha fazla artış olduğunu göstereceğini belirtmişlerdir.

Nwaiche (2015) kuyu maliyeti ile yaptığı çalışmalarda kuyunun tespit edilen rezerv petrol veya gaz hacminin malileştirilebilir oranına üretim kuyularında izlenecek çamur tipi ve kompozisyonunu doğrudan doğruya etki edeceğini belirtmiştir.

Turutoğlu (2015) sondaj çamuru uygulamaları için kil-polimer etkileşimlerinin belirlenmesi konusunda çalışmıştır. Bu çalışmada iyi bir sondaj çamuru kırintıları yeryüzüne taşıyabilmesi, matkabın ve sondaj takımlarını yağlayabilmesi ve soğutabilmesi, sondaj kuyunun göçmesine engel olabilmesi, yatak basıncını kontrol altına alabilmesi ve iyi pompalanabilmesini irdelemiştir. Günümüzde polimerlerin kullanım alanlarının giderek artmasıyla özelliklerinin geliştirilmesi için çalışmaların artış göstermesi ve polimer katkıların özellikleri çok geliştirdiğinin bulunmasıyla birlikte hangi katkı polimerlerin daha etkili olduğu yönünde çalışmaları başlatmıştır. Tabakalı yapıda olan kil minerallerin polimer içinde dağıtılabilmesi nedeniyle çok iyi katkı malzemesi olabileceğini göstermiştir. Böylece kil-polimer dispersiyonların hazırlanması, reolojik özelliklerinin belirlenmesi ile ilgili çalışmaları yapmıştır. Yazar çalışma süresince yüksek viskozite özelliği taşıyan killerin (bentonit, sepiyolit, kireç) polimer katılarak reolojik, zeta potansiyel, X ışınları difraksiyonu (XRD) ve fourier dönüşüm kızılötesi (FTIR) ölçümlerine bakmıştır. Hazırlanan sondaj çamurların reolojik ve termal özelliklerine bakıldığında en iyi sonuçlar polimer, sepiyolit ve bentonit karışımında gözlemlendiğini ifade etmiştir.

Ettehadı (2016) sondaj kuyusu hidroliğinin sepiyolit çamuru ısı reolojik özellikleriyle modellenmesi konusunda yaptığı çalışmada gün geçtikçe, sondaj teknolojisi ve yöntemlerindeki ilerlemeye rağmen, zorlu ortam koşullardan dolayı ortaya çıkan problemlerin anlaşılması ve çözümleri daha da karmaşık ve güç hale geldiğini ve bu karmaşıklığı tetikleyerek daha da zor hale sürükleyen bazı faktörler dönüşü olmayan sonuçlara neden olabildiğinden bahsetmiştir. Bu durumlardan önemli olan bazıları derin sondaj operasyonlarında ortaya çıkan yüksek sıcaklık, yüksek basınç ve derin denizaltı bölgelerinde arama ve hidrokarbon üretiminin maliyetini artıran kuyu stabilitesi problemleri

olduğuna, bundan dolayı derinlikle formasyon basıncı ve formasyon çatlatma basınç değişimi hakkında doğru bilgilere sahip olmak, özellikle yukarıdaki söz konusu zorlu ortamlarda kuyu planlama açısından çok önemli ve kritik hale geldiğinden bahsetmiştir.

Ettehadı (2021) verdiği örnekte, formasyon basıncının ve formasyon çatlatma basıncının arasındaki farkın özellikle açık deniz sondajlarında artan su derinliğine bağlı olarak azalması beklenen bir durum olduğunu ve kuyu stabilitesi sorunlarının artmasına ve kontrol edememesine neden olduğunu tanımlamıştır. Bu durum, dizi manevrası sırasında veya matkap değişimi sırasında kuyu ve sondaj güvenliğini riske attığına petrol ve doğal gaz endüstrisinde formasyon basıncı ve formasyon çatlatma basıncı arasındaki farkın yapay bir şekilde arttırılması için uzun zamandan beri araştırmalar yapmıştır.

Jiang ve diğ. (2016) dünya çapında gaz hidrat arama ve geliştirme ile ilgili artan endişelerle, gaz hidrat içeren tortularda sondaj teknolojisine artan ilgiye değinerek, yeni bir sondaj sıvısı bulmuşlardır. Bu sondaj sıvısında geleneksel dşuk sıcaklık performansı ve hidrat oluşumunun engellenmesi değerlendirmişlerdir. Deneysel sonuçlar, bu sondaj sıvısının optimum yoğunluğa, dşuk sıcaklık reolojisine ve yeterli şeyl hidrasyon inhibisyonuna sahip olduğunu ve sondaj sıvısı dolaşım sistemindeki hidrati yeniden düzenlemek için serbest gazın sondajların yakınında hidrat ayrışmasına uğramasını etkili bir şekilde önleyebildiğini göstermiştir. Ayrıca, metreküp başına maliyeti sadece 400-450 \$ olarak bulunmuştur.

Erdoğan ve diğ. (2017) alışmalarında Tuzla bölgesi (Çanakkale), amky formasyonunda yapılan 2542 m derinliğindeki bir jeotermal sondaj kuyusunu incelenmişlerdir. Yapılan hesaplamalar sonucunda toplam çamur katkı malzemesi maliyeti 53464,43 \$ olarak hesaplanmıştır. Varil birim maliyeti 5,92 \$, metre birim maliyeti ise 24,43 \$ olarak hesaplamışlardır.

Merey ve diğ. (2017) karadaki rezervlerin azalmasıyla 1970'lerden sonra deniz ortamında da gelişmiş sondaj teknolojilerinden faydalanılarak hidrokarbon aramacılığı tüm dünya genelinde arttığını, hidrokarbon arama çalışmalarında tespit edilen şeyl gazı, şeyl petrol, kömür yatağı metanı (KYM) birlikte özellikle elektrik üretiminde kömür santrallerinin öneminin artmış olduğunu belirtmişlerdir. Ancak tüm bunlardan salınan karbondioksit ve diğer sera gazları dünya genelinde çevresel problemlere ve küresel ısınmaya neden olduğu, küresel ısınmanın alarm vermesiyle, 1997'de sera gazları salınımının azaltılmasını

hedefleyen ve daha temiz enerji kaynaklarının kullanılmasının tavsiye edildiği Kyoto sözleşmesi birçok ülke tarafından imzalandığını belirtmişlerdir.

Balkaya ve arkadaşları (2019) tarafından sondaj esnasında çamurda yaşanan değişimleri gözlemlemek, yorumlamak ve olası olumsuz etkilerini gidermek için çamurun fiziksel ve kimyasal özellikleri belirli aralıklarla ölçülmeli ve takip edilmesi planlanmıştır. Çamurda gözlenen değişimler ne kadar erken fark edilirse, sondaj ve kuyu kontrolü ile alakalı oluşabilecek problemlere o kadar erken müdahale edilebilirliğini ifade etmişlerdir. Sağlıklı bir sondaj için planlanan özelliklerdeki çamurun hazırlanması ve zamanla çamurda gözlenebilecek olumsuz değişimlere vaktinde müdahalelerde bulunulması adına saha koşullarında rutin çamur testleri yapmışlardır. Geliştirdikleri farklı reolojik modellemeler ile çamurun reolojik bilgileri, kuyu bilgileri ve sondaj parametreleri doğrultusunda; çamurun akış rejimi, taşıma kapasitesi, eşdeğer sirkülasyon basıncını hesaplayarak kuyu temizliği ve hidrolik hesaplamalar yapılabileceğini ifade etmişlerdir.

Güllü (2019) tarafından yapılan çalışmada gerçek su sondajlarından alınan maliyet verilerine yer vermiş, akabinde maliyet hesabında kullanılacak eşitlikleri formülize etmiş ve formülde yerine koyulan değerlerle elde edilen sonuçları gerçek verilerle karşılaştırılarak sağlama yapmıştır. Çalışma sonucunda bir maliyet analizi yapılmış ve bu analizde teçhiz boruları, makina kira bedeli, makinanın harcadığı yakıt miktarı, çakıl miktarı, bentonit miktarı ve kullanılan matkaplar değerlendirmeye alınarak bir su sondajının metre başına maliyeti 18\$ olarak belirlendiğini açıklamışlardır.

Aydın (2020) yaptığı çalışmada sondaj operasyonlarında delme işlemi genellikle spud tip çamurla başladığını, spud çamuru operasyonun ilk metrelerinde kuyu çapının en büyük olduğu sırada kullanıldığını ve bu tip çamurlar su bazlı çamur sınıfına girmekte olup, reaktif çamurlar olarak bilindiğini belirtmiştir. Spud tipi sondaj çamurlarının temel katkı malzemesinin bentonit olduğunu, kuyu içindeki görevlerini yerine getirmesi ve akış özelliklerini sağlaması için gerekli görülen durumlarda farklı katkı malzemeleri ile desteklendiğini, bu tip çamurların su sertliğini azaltmak için soda külü, pH değerini kontrol altında tutmak için ise kostik soda kullanıldığını belirtmiştir. Formasyonun özelliklerine göre yapısı değişecek olan spud çamuruna bazı durumlarda CMC-HV ve CMC-LV malzemeleri katkılanabildiğini açıklamıştır.

Akar (2020) tarafından yapılan çalışmada döner konili matkaplar diş tipine göre oyma dişli (milled-tooth) ve gömme dişli (insert) olmak üzere ikiye ayrıldığını ifade etmiştir. Oyma dişli matkaplarda dişler, konilerin kesilip şekil verilmesiyle imal edilirken, gömme dişli matkaplar ise dişler tungsten karbit tanelerin koni üzerine belli bir şablonda gömülmesiyle yapıldığını açıklamıştır. Genel olarak, oyma dişli matkaplar yumuşak, gömme dişli matkaplar ise sert formasyonlarda kullanıldığını belirtmiştir.

Abughaban ve diğ. (2020) önerdikleri hibrit veriye dayalı optimizasyon sistemi ile sondaj sürecini iyileştirmeyi, ilerleme hızını (ROP)'yi maksimize etmeyi ve NPT (verimsiz zaman)'yi en aza indirmeyi amaçlamışlardır. Çalışma sonucunda verimlilikte %22'lik artış ve maliyette %15-20 azalma görüldüğünü belirtmişlerdir.

Acar ve diğerleri (2020) tarafından yapılan çalışmada genellikle başlangıçta spud tip, devamında lignosülfonat tip ve rezervuar derinliğe ulaşıldığında polimer tip sondaj çamuru kullanıldığını belirtmişlerdir. Bu çalışmada, Türkiye kara alanlarında kazılmış olan ve verisi değerlendirilen 470 adet petrol ve doğalgaz sondaj kuyusunda, sığ derinliklerde (0 - 50 m) spud çamuru, daha sonraki derinliklerde de lignosülfanat çamuru kullanıldığını ifade etmişlerdir.

Aydın ve arkadaşları (2021) yaptıkları çalışmada Edwin Drake'in 1859 yılında ABD'de kazmış olduğu 21 m derinliğindeki sığ bir kuyuda petrol bularak bunu ekonomiye kazandırmasıyla birlikte hızla petrol arama ve sondaj faaliyetleri arttığını belirtmişlerdir. Özellikle 1900'lerin başlarından sonra petrol ve doğalgaz ciddi oranda önem kazanan sektörde doğalgaz üretimine 1900'lü yıllarda başlanmış olduğunu, kullanımı 1940'lı yıllardan sonra ABD'de ve dünyada hızla yaygınlaştığını ifade etmişlerdir. Hidrokarbon kaynakları yenilenebilir enerji kaynağı olmadıklarından dolayı, mevcut rezerv miktarını korumak ve tüketim ihtiyacını karşılamak için daha derin kuyular kazılarak hidrokarbon aramacılığı yapıldığını tespit etmişlerdir.

Güllü ve diğ. (2021) tarafından Türkiye ve kara alanlarında delinen petrol ve doğalgaz kuyularında kullanılan sondaj akışkanı katkı maddeleri konusunda hazırladıkları çalışmada Türkiye kara alanlarında delinmiş kuyu verileri değerlendirilen 470 adet petrol ve doğalgaz sondaj kuyusunda, sığ derinliklerde (0 - 50 m) spud çamuru, daha sonraki derinliklerde de lignosülfanat çamuru kullanıldığını tespit etmişlerdir. Çalışma sonuçlarını ise kuyu

derinlikleri arttıkça kullanılan bentonit miktarının arttığı görüldüğünü belirtmişlerdir. Bunun sebebi, kuyu derinlikleri arttıkça kuyu içi hidrostatik basınçların dengelenmesi için sondaj çamuru yoğunluğunun dengede tutulma zorunluluğunun ortaya çıktığını ifade etmişlerdir. Ayrıca kuyu derinlikleri arttıkça kullanılan barit miktarının arttığı görüldüğünü açıklamışlardır. Bunun nedeni, kuyu derinlikleri arttıkça kuyu içi hidrostatik basınçların dengelenmesi için sondaj çamuru yoğunluğunun artırılma zorunluluğunun ortaya çıkması şeklinde açıklamışlardır. Kuyu derinlikleri arttıkça kullanılan PHPA, kostik soda, KOH, inceltici, Flo-vis, Flo-trol, fındık kabuğu, kireç, glikol ve Iron-Sp miktarlarının arttığını tespit etmişlerdir. Yapılan çalışmada kuyularda büyük hacimde saman kullanımı, 2500 - 3000 m ve 4000 - 4500 m derinliklerde gerçekleştiğini ve dolayısıyla, Türkiye'deki petrol ve doğalgaz sondajlarında en büyük hacimli çamur kaçaklarının 2500 - 3000 m ve 4000 - 4500 m derinliklerde olduğu anlaşıldığını açıklamışlardır. Ham petrol kullanım miktarlarının oldukça değişik olmakla birlikte 3000 - 3500 m derinliklerde arttığını, Motorin kullanım miktarlarının ise derinliğe paralel olarak arttığını ifade etmişlerdir. Yüksek Lube-167 kullanım miktarları, 1000 - 1500 m ve 3000 - 4000 m derinliklerde gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Dolayısıyla, Türkiye'deki petrol ve doğalgaz sondajlarında takım sıkışması riski ve tork almanın özellikle 3000 - 4000 m ve 1000 - 1500 m derinliklerde olduğunu ifade etmişlerdir.

Özdemir ve diğerleri (2021) yaptıkları çalışmada petrol ve doğalgaz sondajlarında kullanılan ileri teknolojinin zor ve yüksek maliyetli olmasından dolayı sondajların hedeflenen derinlikler ve amaçlar doğrultusunda en uygun koşullarda, en kısa sürede ve en az maliyet ile tamamlanması gerektiğini belirtmişlerdir. Ayrıca sondaj çalışmalarında istenilen bu amaçlara ulaşılabilmesi için en önemli unsurlardan birisi sondaj çamurunun kontrolüdür.

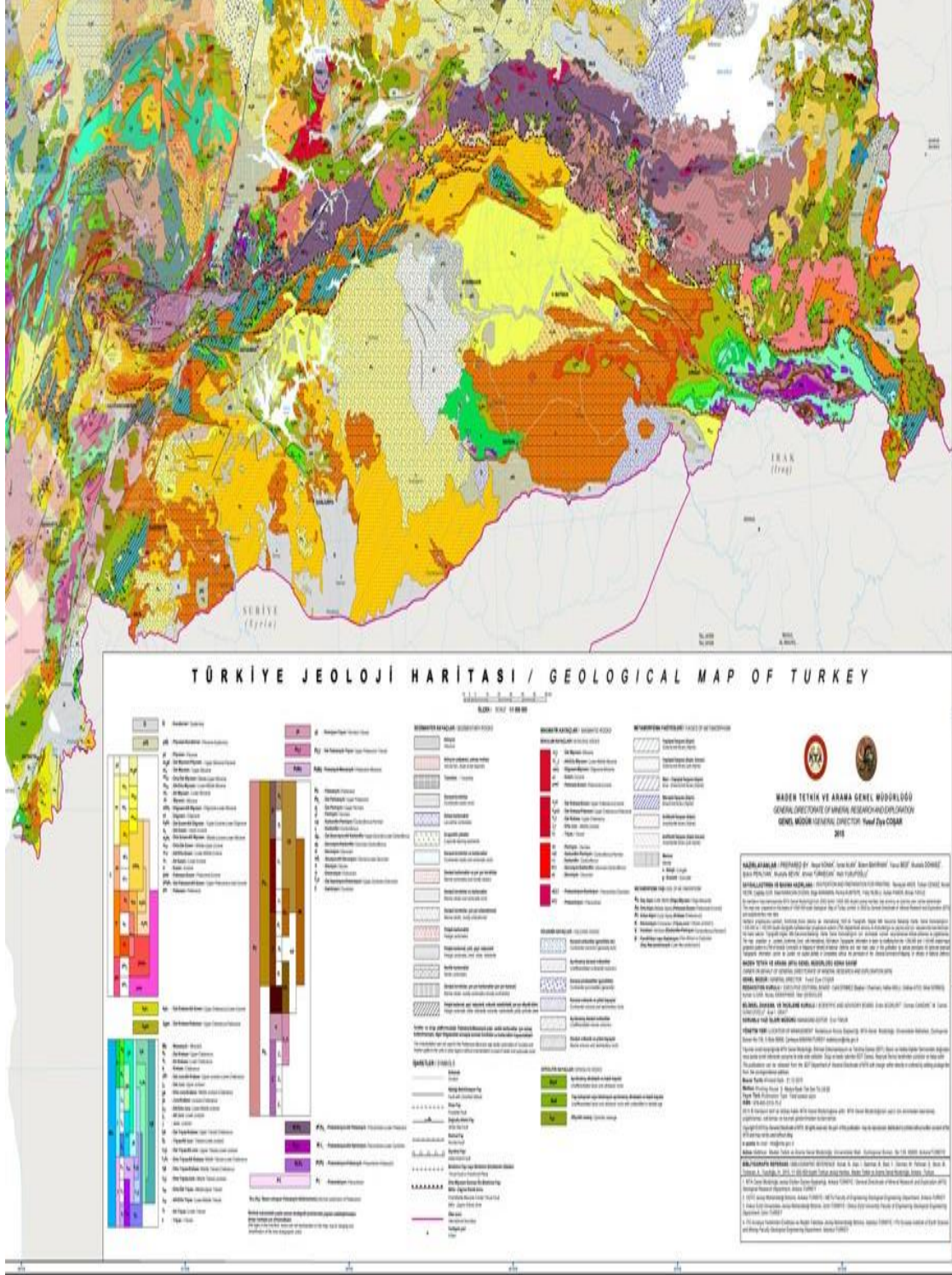
4. MATERYAL VE METOD

4.1. Çalışma Sahasının Genel Jeolojisi ve Tektoniği

Güney Doğu Anadolu Bölgesinin jeolojik ve tektonik yapısı olarak Alp Sıradağları (Alp-Himalaya) kuşağı içinde yer alan Türkiye'nin bugünkü jeolojik yapısı, kuzeyinde bulunan Avrasya (Avrupa-Asya) ile güneyindeki Arap ve Afrika Levhaları'nın hareketlerine bağlı olarak gelişmiştir. Genel anlamda jeolojik olarak Türkiye Pontidler, Anatolid-Toridler ve Arap Platformu olmak üzere üç kısma ayrılır. Yaklaşık 23-25 milyon yıl önce kuzey- güney yönlü sıkıştırmalar sonrası Anatolidler yükselmiş, bilahare GD Anadolu'da bulunan Neotetis güney kolu kapanmış, bundan sonra Afrika Kıtası Avrasya'ya yaklaşmaya başlamış, Doğu ve GD Anadolu'da sıkışma tektoniği sonrası kabuk kalınlaşmış ve yükselmeler meydana gelmiştir. Arap ve Avrasya Levhaları'nın yaklaşık 10-11 milyon yıl önce çarpışmaları sonrası kuzey-güney yönlü sıkışmalar ve Bitlis-Zagros Kenet kuşağına paralel kıvrımlar meydana gelmiş ve bilahare de Türkiye'nin en önemli iki fay zonu KAF ve DAF zonları ortaya çıkmıştır. Bu sıkışmalar sonucunda bölge genç Senozoyik yaşlı (40 milyon yıl-günümüz) volkanik kayalar ile kaplanmıştır. (Gözler, 2014).

Neticede de Anadolu Kıtası Kuzey Anadolu Fayı (KAF) ve Doğu Anadolu Fayı (DAF) boyunca batıya doğru hareket etmeye başlamıştır. Bu hareket halen devam etmekte ve Karlıova doğusunda kalan Doğu Anadolu kuzey-güney yönünde yılda 0.8 santimetre kısalmakta, KAF ve DAF zonları arasında bulunan Anadolu kıtası yılda 2 santimetre batıya doğru ilerlemektedir. KAF ile Karlıova'da birleşen DAF zonu KD' dan GB' ya doğru Karlıova (Bingöl), Genç Fayı, Bingöl-Palu Yükselimi, Palu-Hazar Gölü Çöküntüsü, Hazar-Sincik Fayı, Sincik-Çelikhan-Gölbaşı Yükselimi, Çelikhan-Erkenek segmenti, Gölbaşı Çöküntü Havzası olarak sekiz ana bölümden meydana gelmiş 580 km. uzunluğunda her an 6-7.5 büyüklüğünde deprem üretmeye müsait bir faydır. Diğer taraftan 1500 km. uzunluğunda ve bazen birkaç yüz metre bazen de 100 km.lik genişliğe sahip olan KAF hareketli bir makaslama zonudur. KAF, Karlıova Çöküntüsü'nün kuzeyinden başlayıp, batıda Bolu'ya ulaştığında ikiye ve Geyve'de de üç ana kola ayrılmaktadır. Karmaşık jeolojik yapı ve yoğun tektonizma yani sıkışmalar, itilmeler, kıvrımlar, kırıklar ve bindirmeler bölgedeki ilksel yapıyı tamamen bozmuş ve var olan büyük ölçekte petrol, gaz rezervlerinin buldukları yerlerden kaçmasına, daha küçük kapanlar içinde sıkışmasına, mevcut maden cevherlerinin de kırılıp, parçalanıp küçük ölçekte rezervlerin oluşmasına sebep olmuştur.

Üst üste dizilmiş kiremit yapısı gösteren bu durum güneyimizde sakin ve duraylı bir yapıdadır (Şekil 4.1 ve 4.2).



Şekil 4.1. Güneydoğu Anadolu Bölgesinin Genel Jeoloji Haritası (MTA, 2015).

Yaş	Birimler	Litoloji	Tanımlama	
Paleozoyik -Mesozoyik	Malatya Metamorfiteeri		Üst metamorfiteeri (kireçtaşı, mermer, kalkışist, fillit, klorit şist, pelitik şist) Alt metamorfiteeri (mikaşist, mermer, kuvarslı muskovit şist, fillit)	
	Sarkız-Baizge Damar K. Pütürge Metamorfiteeri		Damar kayalar (diyabaz-tonalit) Üst metamorfiteeri (metapelit, mikaşist, kuvarslı mikaşit, amfibolit) Alt metamorfiteeri (mikaşist, kalkışist, mermer, metabazit, metapelit)	
Üst Krtase	Şifrin Grubu Derinlik Kayaç.		Monzonit, gabro, diyorit, tonalit, siyenit, garnit, granodiyorit, monzodiyorit	
Orta Eosen	Maden Karm.	Çelikhhan F.	Kireçtaşı	
		Olistromal Maden OIş.	Kireçtaşı, spilit, diyabaz, marn, çamurtaşı şeyl, çakıltaşı, miltaşı	
		Karadere F.	Bazalt, spilit, andezit, diyabaz	
Üst Krtase	Elazığ Magm. Kömürhan Ofiyoliti		İntrüzif kayalar (tonalit-kuvarslı diyorit) İzotrop gabrolar (gastro-diyorit-m. blok) Mafik kümalatlar (bantlı gastro) Tektonitler (serpantinit, harzburjit, dünit) ve tekil diyabaz daykları	
Alt Miyosen	Çüngüş Frm.		Kömürhan Ofiyoliti ve Maden Karmaşı -ğına ait olistolitler içeren kumtaşı, şeyl, marn ardaşımı	
Alt Miyosen	Lice Frm.		Kumtaşı, şeyl, marn ardaşımı	
Eosen	Midyat Frm.		Nummulitli kireçtaşı	
	Gercüş Frm.		Kırmızı renkli çakıltaşı	
Paleo- -sen	Germav Frm.		Kumtaşı, şeyl, marn	
Jura- Üst Krtase	Besni Frm.		Mikritik kireçtaşı	
	Terbüzek Frm.		Çakıltaşı, kumtaşı	
	Koçalı Karm.	Kale Frm.		Serpantinit, diyabaz, gastro
		Konak Frm.		Kireçtaşı, radyolarit, kumtaşı, bazalt
		Tarasa Frm.		Bazalt, diyabaz, spilit

Şekil 4.2. Güneydoğu Anadolu Bölgesinin Genelleştirilmiş Stratigrafik Kesiti (MTA, 2012).

4.2. Çalışma Sahasındaki Formasyonlar ve Özellikleri

4.2.1. Karacadağ bazaltları

Karacadağ Bazaltları bu güne değin çeşitli araştırmacılar tarafından, sadece bölgenin jeolojik, petrografik ve petrolojik yönden incelemesi yapılmıştır. Günümüzde bölgedeki bazaltlardan blok ve plaka üretimi yapılmakta olup, geleceğe yönelik olarak büyük bir potansiyele sahip olduğu kuşkusuzdur. Karacadağ ve çevresindeki bazaltlar yaklaşık 10000 km² 'lık yüzeye yayılmıştır. Karacadağ Bazaltları petrografik yönden olivinli bazalt, olivin-proksenli dolerit-bazalt, teknolojik açıdan ise birim hacim ağırlıklarının 2,68-2,91 gr/cm³ ,su emme oranının çok düşük olup %0,05 - 0,3 arasında kaldığı, gözeneklerinin %0,2-0,4 ve 0,7 arasında olduğu ve tek eksenli basınç dayanımlarının ise 1000 - 1376 ve 1780 kgf/cm² değerlerinde değiştiği bulunmuştur (Bacak ve Diğerleri 2001).

Karacadağ volkanizmasına benzer volkanitlerin esasen, aynı tür volkanitler Arap Plakası üzerinde daha pek çok yerde yaygın yüzlekler vermektedirler. Bu tür plato bazaltları Arap Plakası üzerinde, özellikle Ürdün ve Suriye'de geniş alanlar kaplamaktadırlar (Polat, 1994).

Bazaltların oluşturduğu yüzey Plato konumunda olup, inceleme konusu yöreler farklı yükseltilerdedir. Devegeçidi 700-850 m., Fabrika Köyü 600-750 m. ve Karabahçe civarı ise 1.200-1.750 m. yükseltiler arasında olup, farklı yüzey şekillerine sahiptir. Bazaltlar genelde az yüksek tepeler ve bunların arasında yer alan dere ve yan derelerde gözlenir. Bu yapılar üzerinde bitki örtüsü olamayıp, tamamıyla kayalıktır. Diyarbakır ve diğer yerleşim birimleri bazaltlar üzerinde, Dicle Nehri ise bunları kesen bir yatak içinde yer alır. Bazaltların yüzey şekilleri, kalınlıkları ile çatlak sistemleri blok boyutlarının belirlenmesi amacıyla ayrıca ayrışım dokuları ve ocak oluşturma yönünden inceleme ve gözlemleri yapılmıştır (Bacak ve diğerleri 2001).

Karacadağ çevresindeki volkanik yapıları anlamamıza katkıda bulunacak tektonik özellikleri ortaya koymak için, Arap-Afrika-Anadolu levhalarının birbirleriyle ilişkili oldukları sahanın genel yapısına bakmak gerekmektedir. Evvelce yapılan çalışmalarda yörenin genel tektonik yapısı ortaya konmuştur. Bilim adamlarını bu çalışmalara yönelten özelliklerin başında bölgenin sahip olabileceği petrol unsurları gelir. Arap Platformu üzerinde yer alan açılma çatlakları, çoğunlukla kuzey-güney yönde olup çarpışma sırasında

kıtalar arasındaki sıkışmayla, kuvvet dengeline bağılı olarak gelişen impaktojen türde riftlerdir. İnceleme alanında en belirgin impaktojen Akçakale grabenidir. Bu impaktojen ve devresindeki diğer impaktojenlerle bir arada ve farklı yönlerde doğrultu atımlı faylar da yer almaktadır (Çemen ve diğerleri, 1990).

4.2.2. Gercüş formasyonu

Gercüş Formasyonu ilk kez 1979 yılında tanımlanmıştır. İnceleme alanının güneyinde Demirbilek köyü ve çevresindeki alanda mostra vermektedir. Birimin litolojisi inceleme alanında, kırmızı, kahverengi renkli, çimentosu iyi pekişmiş siltaşlarından müteşekkil şeyller, grimsi beyaz renkli, killi kireçtaşı seviyeleri çoğunlukla açık yeşil renkli polijenik elemanlı, bazı seviyeleri pembe renkli karbonatça zengin konglomeraların ardalanmasından oluşmaktadır (Yılmaz ve Duran, 1997).

Kumtaşları; sarı, kırmızı, kahve, kahvems gri renkli, iri taneli, polijenik elemanlı, kötü boylanmalı, belirsiz tabakalanmalı ve gevşek çimentoludur. Marnlar; sarımsı gri, açık gri, yeşilimsi gri, kırmızı renkli, sert, ince tabakalı, kireçli ve killi; şeyller kahve, kırmızı renkli, ince tabakalı, kumlu, siltli ve yer yer merceksi yapıdırlar. Çakıltaşları; bozca kırmızı, kırmızı alacalı pembe renkli, çakıllı, yarı köşeli, köşeli, yarı yuvarlak, polijenik elemanlı (çört, kireçtaşı, radyolarit, serpantin, volkanik kaya), orta, kötü boylanmalı. Karbonat çimentolu, kil matriksli, yer yer tane, yer yer çimento, matriks destekli, sıkı tutturulmuş, orta, kalın, çok kalın tabakalı, yer yer merceksel geometrilidir (Yılmaz ve Duran, 1997).

İnceleme alanının en yaşlı birimlerini oluşturan Gercüş Formasyonu, yörede Germav Formasyonu'nun "üst üyesi" üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Gercüş Formasyonu üzerine uyumsuz bir dokanakla Hoya Formasyonu gelmektedir (Kalkan, 2014).

Gercüş formasyonunun bazı bölgelerdeki kalınlığı 90 m olarak belirtilmiştir. Birimin yaşı Alt Eosen'dir. Gölsel-lagün-flüvyal-taşkın ovası-kıyı, ovası-örgülü akarsu ve alüvyon yelpazesi sığ denizel bir ortamda çökelmiş karasal kökenli klastik kayalardan oluştuğu tanımlanmıştır (Dinçer ve Diğerleri, 1991).

4.2.3. Hoya formasyonu

Formasyon günümüzdeki araştırmacılar tarafından Midyat Kireçtaşları olarak da

nitelendirilmekte olup bu çalışmada TPAO tarafından bölge için hazırlanan GDAD Stratigrafik Adlama Sözlüğü esas alınarak Hoya Formasyonu olarak adlandırılmıştır (Yılmaz ve Duran, 1997). Hoya Formasyonu'na, Bitlis-Zagros Kuşağı'nın güneyi boyunca tüm bölgede rastlanmaktadır. Formasyonun özellikleri gayri resmi “tebeşirli dolomit üyesi” olarak tanımlanmıştır. Bu litolojik özelliklere göre formasyon beyaz, krem renkli, sertçe kalın tabakalı-som, erime özellikli ve karstik, bol tebeşirli, çok ince, iri kristalli, idiyotopik-hipidyotopik dokulu, çok iyi-iyi kristaller arası erime ve gözeneklere sahip kireçtaşları dolomitlerden oluşmuştur.

GDAD Stratigrafik Adlama Sözlüğü'nde yer alan hipostratotipinde Hoya Formasyonu'nun litolojisi alttan üste doğru şu şekildedir. 6 m kalınlıkta çok ince kristalli ve hipidyotopik dokulu dolomit (dolosparit); 48 m kalınlıkta bol miliolid, az nummilit fosilli, kavkı parçalı, yer yer dolomitleşmeli vaketaşı-istftaşı çökel dokusundaki kireçtaşı; 3 m kalınlıkta ekinit ve mollusk kavkı parçalı, orta kaba kalsit mozayikli, neomorfik kireçtaşı; 127 m kalınlıkta çok ince-ince, yer yer orta kristalli, hipidyotopik dokulu kireçli (% 5-40), biyojenik malzemeli, iyi gözenekli, gözenek alanları kısmen sparikalsit dolgulu (dolosparit); 81 m kalınlıkta biyojenetik malzemeli, killi ve kireçli, zayıf-iyi gözenekli dolomittir (dolomikrit, dolomikrosparit ve yer yer biyodolomikrit) (Yılmaz ve Duran, 1997).

Bölgede Hoya Formasyonu Gercüş Formasyonu üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Germik Formasyonu ile uyumlu olarak örtülen Hoya Formasyonu'na, Bitlis Zagros Kuşağı'nın güneyi boyunca tüm bölgede rastlanmaktadır. Ortalama kalınlığı 260 m ile 300 m arasında değişmektedir. Hoya Formasyonu'nun yaşı Alt Eosen – Alt Oligosen olarak belirtilmiştir. Çökelme ortamı *alveolina pasticillata*, *discocyclina sella*, *nummulites aturicus*, *acarina broedermanni*, *globigerina ampliapertura*, *morozovella aragonensis* türlerinin 16 tespitiyle; sınırlı / yarı sınırlı sığ epirik deniz – sığ normal deniz – şelf kenarı / önü olarak belirlenmiştir.

4.2.4. Germik formasyonu

Germik Formasyonu adı ilk kez Bolgi ve Kıratoğlu (1961) tarafından günümüzde Kapıkaya Formasyonuna dâhil edilmiş olan Ramandağı ve Garzan stürüktürlerinin arasında kalan taban konglomerası, kalın evaporitler ve ince kireçtaşı seviyeleri içeren birimler için kullanılmıştır.

Germik Formasyonu gri renkli jips ve anhidrit, kızıl kahve ve bej renkli kireçtaşı, kumlu ve siltli dolomitler ile ardalanan yeşil renkli şeyllerden oluşmaktadır. Formasyon alttan üste doğru genel olarak, ikincil jipsler (yer yer anhidrit) ve karbonatların (dolomit ve kireçtaşı) ardalanması ile yer yer çamurlu ve marn ara katkılı seviyeler şeklinde oluşmakta, Germik kireçtaşı üyesi ve Germik jips üyesi olarak 2 üyeye ayrıldığını belirtmişlerdir. Altta bulunan Germik kireçtaşı üyesi, tabanda yaklaşık 12 m kalınlıkta, krem-bej renkli, orta-kalın tabakalı, bol gözenekli tamamen altere olmuş mikritik kireçtaşlarından oluşmaktadır. Kireçtaşları üzerine 8 m kalınlıkta, sarı-kahverengi ve iyi pekleşmiş kalkarenitler gelmektedir. Kireçtaşı üyesi en üstte 25–28 m kalınlıkta, orta-kalın tabakalı, sarı-sütlü kahve renkli ve iyi pekleşmiş kireçtaşları ile son bulmaktadır. Kireçtaşları yer yer altere olmuş, 1 cm'den 50 cm'ye değişen kalınlıklarda katmanlanma gösteren killi ara seviyeler içermektedir. Kireçtaşı üyesi üzerine gelen Germik jips üyesi; 6 litofasiyese ayrılmış ve bu litofasiyesler genel olarak; masif, laminalı, laminalı-bantlı, bantlı, yumrulu veya yumrulu-breşik ve yumrulu-bantlı jips şeklinde izlenmektedir (Güngör Yeşilova ve Helvacı, 2013).

Germik Formasyonu'nda yer alan ikincil jipslerin ilksel kayacının, anhidrit olduğu belirlenmiş, ilksel anhidritin erken ve geç diyajenetik aşamalardan geçip, meteorik yer altı suları ile teması sonucunda bu ikincil jipsleri oluşturduğu; ikincil jipsler ve birincil anhidritlere eşlik eden esas minerallerin sölestin, kalsit ve dolomit mineralleri olduğu ve bazı dentritik ve kırıntılı minerallerin varlığı tespit edilmiştir.

Bölgede belirtildiği gibi Germik Formasyonu Hoya Formasyonunu yanal düşey geçişli olarak örtmektedir. Bölgenin stratigrafik yapısında yaygın olarak Kapıkaya Formasyonu ile uyumsuz olarak örtülmekte, çalışma alanında ise Şelmo formasyonu tarafından boşluklu uyumsuzluk (parakonformite) ile örtülmektedir. Germik Formasyonunun kalınlığının bölgede 34-465 m arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Germik Formasyonu yaklaşık 220 m kalınlığında olup, formasyondaki istifin en iyi görüldüğü yer, Siirt ilinde Yeniköprü ve Ağaçalı-Pınar mevkiileri civarındadır (Güngör Yeşilova ve Helvacı, 2013).

Germik Formasyonunun kireçtaşı seviyeleri bol miktarda, küçük ve iri bentik foraminiferler ve algler içermektedir. Germik Formasyonunun yaşı Orta Eosen – Oligosendir. Germik Formasyonunu oluşturan deniz, evaporasyonun artması ve malzeme birikmesi sonucu gittikçe sıklaşan, daha sonra sık ortam, sonuçta akarsuların egemen olduğu çamur düzlükleri gelişmiş ve tamamen karasal ortama dönüşmüştür (Güngör Yeşilova ve Helvacı, 2013).

4.2.5. Şelmo formasyonu

Şelmo Formasyonu ismi ilk kez Bolgi ve Kıratoğlu (1961) tarafından kullanılmıştır. Çalışma alanının yarıdan fazlasını kaplayan Şelmo Formasyonu, Kıra Dağı yamaçlarında, Atbağı, Doğankavak, İnpınar, Kolyabağı, Oğuz ve Örmegöze köyleri çevresi ile Yanarsu Çayı'nın oluşturduğu geniş vadi boyunca mostra vermektedir. Şelmo Formasyonu, grimsi yeşil, pembe, yer yer kahvemsî mor renkli kumtaşı, şeyl, kumlu silttaşı, yer yer jips ara tabakalı, karbonat çimentolu, yumuşakça, kötü boylanmalı, kaba dokulu, poröz, alt seviyelerinde ince tabakalı, dağınık kireçtaşı çakıllı, üst seviyelerinde kalın ve çapraz tabakalanmalı, sertçe kumtaşı halindedir (Bolgi ve Kıratoğlu, 1961).

Siirt ili Baykan-Şirvan-Pervari ilçeleri dolaylarında, Şelmo Formasyonunu “evaporit Şelmo üyesi” ve “üst Şelmo üyesi” olmak üzere gayri resmi olarak iki üye ayırarak incelemiştir. Formasyonun tabanını oluşturan “evaporit Şelmo üyesi” jips ve tuz tabakalı kumtaşı ve çamurtaşı ardalanmasından oluşmuştur. Kumtaşlarının rengi koyu kahve ile boz arasında değişir. Silttaşı seviyeleri kırmızı yeşilimsî boz renkli, kompakt, ince kumludur ve beyaz renkli mika pulları içermektedir. Yıldırım ve Karadoğan (2011) çalışmasına göre “üst Şelmo üyesi” kırmızı, boz renkli, kalın tabakalı, polijenik elemanlı, kötü boylanmalı, zayıf çimentolu çakıltaşı; yeşilimsî boz, bozca kırmızı renkli, ince iri taneli, polijenik elmanlı, kalın tabakalı, az köşeli, kötü boylanmalı, gevşek dokulu, mika pullu karbonat çimentolu kumtaşı; pembe, bozumsu renkli, yumuşak, siltli, kireçli, mika pullu silttaşı ve çamurtaşı ardalanmasından oluşur. Şelmo Formasyonu'na ait tabakalar kısa mesafelerde farklı yön ve açılara sahiptir.

Akkoca ve diğerlerinin (2014) çalışmasına göre litolojinin, kırmızı, kahve, gri, kirli beyaz renkli çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı, çamurtaşı ve gevşek çakıl, kum ve çamurlardan oluştuğu gözlemlenmiştir. Şelmo Formasyonu'na ait 5 numunedan elde ettikleri XRD sonuçları kalsit ve dolomitçe baskın karbonat sedimantasyonuna işaret etmektedir. Tüm numunelerde ortak kuvars, feldispat, kalsit ve dolomit mineralleri yanı sıra kil minerallerinden simektit, illit, klorit tespit edilmiştir. Jeokimyasal analiz sonuçlarına göre numuneler karbonatça çok zengin killi kayalardan oluşmaktadır.

Şelmo Formasyonu genellikle Midyat Grubunun aşındırılmış topografyası üzerine diskordansla çökelir. Birim, bölgede Plio-Kuvaterner yaşlı kaba çakıltaşları tarafından da

uyumsuzlukla örtülür. Çalışma alanında Şelmo Formasyonu Germik Formasyonu üzerine diskordan olarak gelmekte, Kıra Dağı bazaltları ve Pliyo-kuvaterner yaşlı çakıllar ve alüvyonlarca uyumsuz olarak örtülmektedir. Şelmo Formasyonunun kalınlığı, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde ortalama 455 metredir. Bölgede Bismil-Batman hattının hemen güneyinde, Dicle Nehri'nden itibaren ince bir katmanla başlayan Şelmo Formasyonu, kuzeye doğru kalınlaşmakta ve en fazla 900 metreye ulaşmaktadır (Yıldırım ve Karadoğan, 2011).

Şelmo Formasyonu'nun yaşı Üst Miyosen – Alt Pliyosen'dir (Çemen ve diğerleri, 1990). Miyosen sonunda ve Pliyosen başında yükselme hareketi ve bunu takip eden aşınma devresinden sonra yeni bir sedimantasyon dönemi başlamıştır. Bunlar da Miyosen ve Eosen strüktürlerini örtmüşlerdir. Çüngüş havzasının devamı niteliğindeki, güney güneybatı-kuzey kuzeydoğu doğrultusunda uzanış gösteren ön çukurlukta biriken Şelmo Formasyonu bu havzanın tamamen kapanması ile önce gölsel daha sonra da karasal bir ortama bağlı olarak çökelme göstermiştir (Polat, 1994).

4.2.6. Kıradağı bazaltları

Batman ili Beşiri ilçesi yöresinde yüzeyleyen magmatik kayalar için kullanılmıştır. Şırnak Grubuna ait Garzan Formasyonunun tabanında yer alan kireçtaşı seviyelerini tanımlamak için kullanılmıştır. Kıra Dağı bazaltları inceleme alanında KB – GD doğrultusunda bir bant şeklinde uzanım göstermektedir. Bu uzanımıyla inceleme alanı morfolojisini köşegen şeklinde ikiye ayırmakta, tüm yörede dik korniş yapılı kenarları ile dikkati çekmektedir.

Kıra Dağı bazaltları siyah, koyu gri ve fûme renkli olup, makroskobik olarak siyah renkli mafik görünmektedirler. Kıra Dağı bazaltları beşgen ve altıgen sütunlar şeklinde soğuma çatlakları oluşturmuşlardır. Üst seviyelerde vesiküler bazalt örneklerine tüm saha boyunca rastlanmaktadır. Arazide güneydoğuya doğru gidildikçe ikincil kalsit minerallerince doldurulmuş vesiküler bazaltların oranı belirgin biçimde artmaktadır. Taban seviyelerinde 5-20 m arasında değişen sütun yapıları oluşmuştur. Bu seviyenin üzerine bloklar halinde, yatay ve düşey yönde bol süreksizlik içeren bloklar gelmekte ve üst seviyeleri gaz boşlukları içeren vesiküler bazaltlarla son bulmaktadır. Bazaltların taze yüzeylerinde mafik mineral dağılımının tekdüze ve geniş alanlarda benzer oranda olduğu görülmektedir. Aralarında beyaz renkli fenokristalin sanidin mineralleri mevcuttur. Kesitlerde yapılan mikroskop

incelemeleri kayaçlar içerisinde plajiyoklas, sanidin, olivin, piroksen ve opak minerallerin kayaçları oluşturan temel mineraller olduklarını göstermiştir. Fenokristalin plajiyoklaslarda zonlanma yaygın olup, albit anortit içeriği değişkendir.

Mikroskopla yapılan petrografik incelemelerde hiyalopilitik porfirik dokulu, feldispat mikrolitleri içerisinde iri alkali feldispat + olivin + interstital piroksen mineralleri gözlemlenmiştir. Bazı kesitler içerisinde mikrokristalin feldispat mineralleri ve opak hamurla birlikte, fenokristalin plajiyoklas mineralleri bulunmaktadır. Plajiyoklaslar genellikle hipidyomorf olup zonlanma ve ikizlenmeler yaygın, anortit içeriği ise değişkendir. Sanidin mineralleri özşekilli ve yarı özşekilli fenokristaller şeklinde yaygın olarak bulunmaktadır.

Kıra Dağı bazaltları Şelmo Formasyonunu uyumsuzlukla örtmektedir. Üst sınır ilişkisi bulunmayıp, yer yer kendi alterasyon ürünleri olan klastikler tarafından örtülmektedir. Çalışma alanında Kıra Dağı bazaltlarının kalınlığı 0 – 40 m arasında değişmektedir (Eren ve diğerleri, 1993).

Güngör Yeşilova ve Helvacı (2012) tarafından Kıra Dağı bazaltlarının yaşı, stratigrafik konumu gereği Pliyosen olarak benimsenmiştir. Ortalama yüksekliği 650-800 m arasında değişen Batman Ovası ve Beşiri Ovası arasında KB-GD (Kuzeybatı-güneydoğu) doğrultusunda uzanan Kıra Dağı bulunmaktadır. Kıra Dağı volkanik bir plato özelliği taşımaktadır, ortalama yüksekliği 900 metredir ve çevresi tamamen kornişlerden oluşmaktadır (Tonbul ve Sünkür, 2013).

Wilson ve Bianchini (1999)'a göre Th/Zr'a karşı Nb/Zr değişimleri Karacadağ bazaltlarının tipik astenosfer kökenli anorojenik magma karakteristiğini yansıtmasına karşın Kıra Dağı bazaltlarının daha düşük Nb/Zr oranlarıyla orojenik magmalara doğru bir geçiş gösterdiği görülmektedir

Ericson tarafından 1939'da Silvan Dağı'ndaki kireçtaşlarının yaşının Burdugalien olarak belirlendiğini; 1951'de ise Tolun tarafından 1/100 000 ölçekli haritada ilk stratigrafik ayrımın yapıldığını belirtmektedir.

Temple ve Perry (1962), "Güneydoğu Türkiye'de Jeoloji ve Petrol Oluşumu" adlı

makalesinde bölgedeki Oligosen istifin transgresyon ürünü olan Orta-Üst Miyosen yaşlı birimlerce örtüldüğünü ortaya koymuştur. Righi ve Cortesini (1964), “Güneydoğu Türkiye’nin dağ eteklerinde gravite tektoniği” adlı makalelerinde, Alt Eosen’de sonuna dek süren bölgesel bir regresyonu Orta Eosen’de başlayan bir transgresyonun takip ettiğini; bölgedeki tüm birimlerin geç tersiyerdeki tektonik hareketlerden etkilendiklerini ortaya koymuşlardır.

Altınlı (1966), “Doğu ve Güneydoğu Anadolu'nun jeolojisi” adlı yayınında, Midyat Kireçtaşlarının güneye bakan devamlı dik yarlar oluşturduğunu; bölgenin Üst Miyosen litolojilerinin yumuşak yapıları kitle hareketi ve heyelana müsait lagüner-gölsel ve karasal sedimanlardan oluştuğunu; yörede Pliyosen'in bir tahrip devresi gibi gözüktüğünü belirtmektedir.

4.3. Çamur Terazisi

Sondaj akışkanı yoğunluğu ölçümlerinde mud balance adı verilen çamur terazisi kullanılmaktadır (Şekil 4.3). Çamur ağırlığı öğrenilirken öncelikle hazne ağırlığının öğrenilmesi istenen çamur numunesi ile tam dolu hale getirilmelidir. Üst kapağı saat yönünde döndürülerek kapatılır. Üst kapağın orta noktasından çamurun taşığında emin olunur. Taşan çamur haznenin tam dolu olduğunun göstergesidir. Ortada bulunan delik parmak ile kapatılarak çamur terazisi temiz oluncaya kadar yıkanır ve kurulanır. Terazie oturtulan hazne ağırlık ile dengeye gelene kadar sabit tutulur. Denge halinde okunan değer kayıt edilir. Genellikle teraziler üzerinde ppcf , g/cm^3 ve ppg birimlerinde okumalar yapılabilmektedir. Terazi kalibrasyonu su ile yapılmalı ve ara ara kontrol edilmelidir.



Şekil 4.3. Çamur Terazisi

4.4. Viskometre

Viskometre sondaj akışkanının reolojik özelliklerini belirlemeye yarayan en önemli cihazdır. Viskoizmetre termo kap, dönüş silindiri, okuma göstergesi, vites geçişi, dişli kutusu, motor ve rotary hızını belirlemeye yarayan tuştan oluşmaktadır (Şekil 4.4.). Termo kaba çamur numunesi alınır, test aşamasında alınan değer termometre ile ölçülüp kaydedilir. Rotary başlığı bağlanıp termo kap altına yerleştirilir. Sırayla 600 rpm, 300 rpm, 200 rpm, 100 rpm, 6 rpm, 3 rpm, 10 sn jel ve 10 dk jel değerleri okunur ve kaydedilir. Bu değerlerden PV ve YP değerlerine ulaşılarak gerekli reolojik müdahaleler yapılmaktadır. Dikkat edilmesi gereken husus vites değişimi motor çalışırken rotary halinde yapılmalıdır, aksi takdirde dişli kutusuna zarar vermektedir.



Şekil 4.4. Viskometre

4.5. Filter Press

Filter press formasyondan kaynaklı sıvı kaybı miktarının tayin edilmesini sağlamaktadır. 100 psi basınç altında sondaj sıvısı numunesinin filtrelenerek dereceli tüp içerisinde 30 dakika birikmesiyle test sonuçlanmaktadır. Elde edilen filtraf numunesiyle, Pf, Mf, Cl, Ca ve KCl gibi değerler öğrenilmektedir. Kek kalınlığı da filter pres testinde kullanılan watman no:50 kağıdıyla görülmektedir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Filter Press

4.6. Damıtma (Retort) Analizi (Su, Petrol ve Katı içeriği)

Damıtma (retort) testi ile katı sıvı ve petrol içeriği tespiti yapılmaktadır (Şekil 4.6.). Deneyde sondaj akışkan numunesi damıtılarak katı ve sıvı formdaki bileşenler ayrılmaktadır. Sondaj sıvısı numunesi silindirik hazneye doldurulur, hazne kapağı kapatılır ve bir miktar taşan çamur temizlenir. Bir diğer silindirik hücre de çelik yün ile doldurulmaktadır. Bu iki hücre dişli sistem ile birbirine bağlanır ve ısıtma ünitesine yerleştirilir. Katı parçacıklar çelik yünde takılı kalırken sıvı kısmı ise damıtılarak sıvı form filtrat halinde biriktirilir. Birikimin yapıldı dereceli cam tüp sıvı yüzdesini göstermektedir.

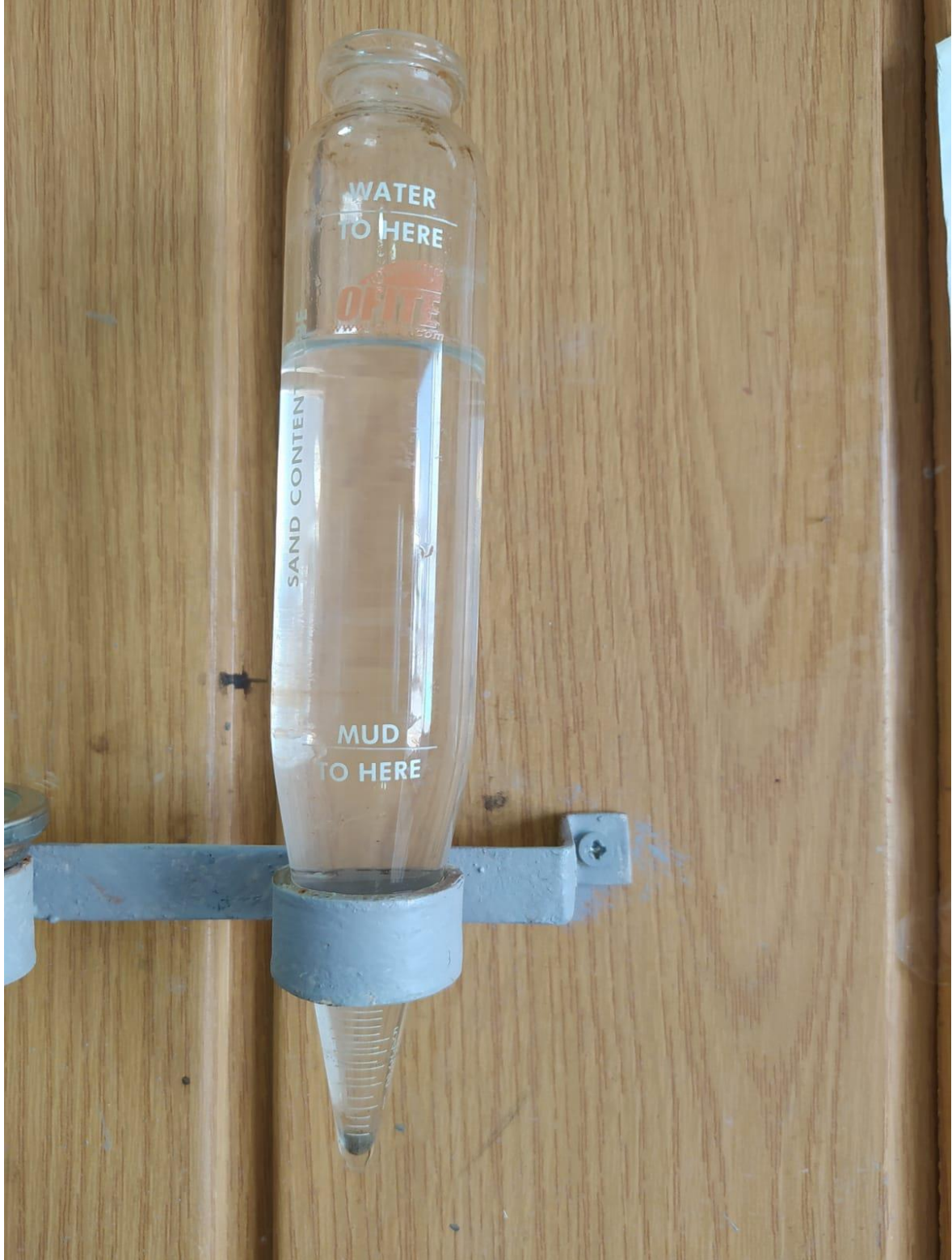


Şekil 4.6. Damıtma Aleti (Mud Retort)

4.7. Kum Miktarı Tayini

Deney aşamasında dereceli tüp içerisine belirli işaretli noktalara kadar önce çamur akabinde ise su katılır. 200 mesh eleme çapındaki hunili elek sisteminden geçirilir. Elek üzerinde takılı kalan parçacıklar elek ters çevrilerek huni yardımıyla su verilerek dereceli tüp içerisine alınır. Ölçüm sonucunda %3 üzerinde kum miktarının olması pompa ve eleklerle zarar vermektedir. Böylece zaman ve maliyet kayıplarına sebep olmaktadır. Mümkün olduğunca

kum miktarı alt limitlerde tutulmalıdır. Şekil 4.7’de görüldüğü üzere, dereceli tüpün tabanına biriken kum taneleri çökeltisi görülmektedir.



Şekil 4.7. Dereceli Kum Tüpü

4.8. Metilen Mavisi Kapasitesi (MBT)

MBT testi ile sondaj sıvısı içerisindeki aktif kil miktarı öğrenilmektedir. MBT değerinin 20 ve üzerinde olması sondaj problemlerini beraberinde getirmektedir. Mümkün olduğunca bu değerler alt limitte tutulmalıdır. Test esnasında erlenmayer cam tüpü içerisine 10 cc saf su, 15 cc %3'lük hidrojenperoksit, 0,5 cc 5N sülfürik asit ve 2 cc sondaj sıvısı numunesi eklenerek ısıtıcıya alınır. Kaynama işlemi tamamlandıktan sonra MBT çözeltisi verilir. Dalgalandırmanın görüldüğü ilk yere kadar verilen MBT çözeltisi miktarı 2,5 ile çarpılarak sonuç elde edilir. Formül 4.1'de MBT çözeltisi litre başına 3,74 usp tipi metilen mavisi şeklindedir.



Şekil 4.8'de sırasıyla metilen mavisi damlacıkları ve mavi çözelti görülmektedir. Şekil 4.9'da mavi sınırlar, damla damla metilen mavisi artışlarından sonra gözlenmiştir.



Şekil 4.8. MBT Test Damlası



Şekil 4.9. MBT Test Damlası Dalgalanma

4.9. pH Ölçme

Yöntem 1: Filtrata daldırılmış pH kağıdı ile, yöntem 2 : Sistem çamuruna batırılmış pH metre ile, yöntem 3 : pH ölçüm solüsyonu ile yapılabilmektedir.

Deney düzeneği ve kullanılan kimyasallar; tampon çözeltiler, saf su, hafif sıvı deterjan, sodyum hidroksit NaOH, hidroklorik asit, HCl, amonyum bifluorür, millivolt aralığı potansiyometresi elektrot sistemi termometre, elektrot saklama, yumuşak doku ve test tüpü fırçasıdır (Şekil 4.10). pH ölçümü kimyasal reaksiyonlar ve fiziksel yöntemler ile yapılabilmektedir. Aşağıda kimyasal reaksiyon prosedürü verilmiştir.

Prosedür

- Örnek sondaj sıvısının tampon çözeltisiyle aynı sıcaklıkta olması,
- Elektrotları saf suyla temizlenmesi ve kurulanması,
- Probu pH 7 tamponuna yerleştirilmesi, bir dakika beklenmesi ve sıcaklığı ölçülmesi,
- Kalibrasyonu kullanarak bu sıcaklığı ve sayaç değerini 7,0 pH değerinde ayarlanması,
- Kullanılmış sondaj sıvısı örneğini tekrar kullanılmaması,
- Asit ve alkali sondaj sıvı örnekleri için prosedürü tekrarlanması,
- Sıcaklık ve sayaç okumasını asit ve alkali pH'larda yapılması,
- Numune pH'ını doğru bir şekilde kaydedilmesi ve sonunda kullanılan elektrodu temizlenmesi şeklindedir.



Şekil 4.10. pH Ölçüm Solüsyonu

4.10. Alkalinite ve Kireç İçeriği

Pf, Mf ve Pm değerleri sondaj sıvısındaki iyon miktarları hakkında bilgi sunmaktadır. Bu değerlerin tespiti neticesinde depo kireç miktarı formül 4.2 ile hesaplanmaktadır.

4.11. Filtrat Alkalitesi – Pf/Mf Prosedürü

1 cc filtrat deney kabına alınır. Üzerine 2 damla fenolftalin damlatılarak pembe renk görülür. Eğer renk vermediyse Pf sıfır olarak kayıt edilir. Eğer pf renk verdiyse bu renk aynı filtrat rengine dönene kadar verilen 0,02N sülfürik asit miktarı Pf değeri olarak kayıt edilir. pH değeri 8,3 değerine ulaştığı an renk açılması meydana gelmektedir. Pf değeri çıktıktan sonra kalan numune ile Mf testine devam edilebilmektedir. Mf değeri için 2-3 damla metil orange damlatılır iyice karıştırıldıktan sonra kıvılcık renge ilk döndüğü ana kadar 0,02N sülfürik asit verilir ve çıkan değer Mf değeri olarak kayıt edilir.

Çamur alkalitesi – Pm prosedürü

Pm testi esnasında 1 cc sondaj sıvısı numunesi kaba alınır. Üzerine ilaveten 20 cc kadar saf su ilave edilir. Belirtilen karışım iyice karıştırılarak fenol damlatılır ve renk pembeye döndürülür. Tekrar iyice karıştırıldıktan sonra pH değeri 8,3'e düşüp rengi çamur numunesi rengine dönene kadar verilen 0,02N sülfürik asit miktarı kayıt edilir.

Kireç miktarı prosedürü

Pf ve Pm değerleri belirlendikten sonra formül 4.2 ile depo kireç miktarı tayin edilir. Çamur numunesi içerisinde bulunan ($V_{\%su}$) su yüzdesi bu formülasyonda önemli yer tutmaktadır. Formül 4.2 ve 4.3'de farklı birimlerde depo kireç miktarı hesaplamaları yapılmış ve kuyu sondajlarında kullanılmıştır. $V_{\%su}$, Pm ve Pf değerleri kullanılarak depo kireç miktarı hesaplanmıştır.

$$\text{Depo Kireç Miktarı, (ppb)} = 0,26x(P_m - (V_{\%su}xP_f)) \quad (4.2)$$

P_m : Çamurun fenolftalein miktarı

$V_{\%su}$: Yüzde su hacmi oranı

P_f : Filtratın fenolftalein kapasitesi

$$\text{Depo Kireç Miktarı, (kg/m}^3\text{)} = 0,742x(P_m - (V_{\%su}xP_f)) \quad (4.3)$$

P_m : Çamurun fenolftalein miktarı

$V_{\%su}$: Yüzde su hacmi oranı

P_f : Filtratın fenolftalein kapasitesi

M_f : Filtrat ve metil orange karışımının fenolftalein kapasitesi

Şekil 4.11'de çamur filtratın fenolftalein alkalinitesi, metil oranj alkalinitesi ve çamur alkalinite deney aparatı gösterilmektedir.



Şekil 4.11. Alkalinite Solüsyonları

4.12. Klor İyonu İçeriği

Titrasyon kabına 1ml veya daha fazla filtrat alınır. 1 damla fenolftalein indikatör çözeltisi ilave edilir. Eğer indikatörün rengi pembeye dönüşürse, bir pipetle, renk kaybolana kadar damla damla 0,02 N Sülfürik asit ilave edilir. Yaklaşık 25-50 ml saf su ile numune seyreltilir. 5-10 damla potasyum kromat indikatörü ilave edilir. Karışımın rengi sarıdan kiremit kırmızısına dönüşene kadar pipet ile gümüş nitrat ilave edilir ve renk dönüşümü

yakalandığında en az 30 saniye kalıcı olması beklenir. Kullanılan gümüş nitrat miktarı kaydedilir. Eğer ölçüm yapılan filtratın klorür iyon konsantrasyonu 10000 mg/l.t'yi geçerse, 0,282N AgNO₃ çözeltisi kullanılmalı ve aşağıdaki hesaplamada 1000 çarpanı yerine 10000 çarpanı kullanılmalıdır. Formül 4.4'de klor miktarı hesaplamaları yapılmış ve kuyu sondajlarında kullanılmıştır.

$$Klorür \left(\frac{mg}{lt} \right) = \frac{Gümüş \ Nitrat \ (ml) \times 1000}{Filtrat \ Miktarı \ (ml)} \quad (4.4)$$

4.13. Ca Sertliğinin Belirlenmesi

Deney öncesi filter pres yardımıyla alınan filtrat hazırda tutulmalıdır. Öncelikle deney kabına 25 cc saf su, 3 cc (NaOH)'sodyum hidroksit ve yarım çay kaşığı calver tozu ilave edilerek karıştırılır. Mor rengine yatkın renk elde edildiği görülür ve renk açık mavi rengine dönene kadar versenate hardness titrant damlatılır ve karıştırılır. Açık mavi renk görüldükten sonra 1 cc filtrat ilave edilir, eğer mor renge döndüğü görülürse, tekrar açık mavi renk alana kadar verilen versenate miktarı kayıt edilir. Verilen miktar 400 ile çarpılır ve değer bulunur (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Edta çözeltisi

Çizelge 4.1’de kullanılan versenate çözeltilisinin katsayısına karşılık gelen çarpım miktarları gösterilmiştir. Daha düşük ve hassas Ca değerlerinin tespitinde 2 epm değerinde versenate çözeltisi kullanılırken, bu değer aralığının yükseldiği noktalarda sırayla 20 epm veya 200 epm’lik versenate çözeltisi kullanılmaktadır.

Çizelge 4.1. Versenate Çözeltisi Katsayıları

2 epm Versenate	$H_{\text{versenate}} = 40$
20 epm Versenate	$H_{\text{versenate}} = 400$
200 epm Versenate	$H_{\text{versenate}} = 4000$

5. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Çizelge 5.1’de sondaj kuyusuna ait incelenen değerler gösterilmiştir. Alınan sondaj numunesine ait testler neticesinde viskozite, yield pointin düşük, sıvı kaybı değerinin de mevcut çamur tipine göre yüksek olduğu görülmüştür. Uygun müdahaleler neticesinde viskozite, yield point ve sıvı kaybı değerleri istenilen seviyelere getirilmiştir. Bu alınan olumlu sonuçlar aşağıdaki test çizelgesinde sistematik biçimde gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Sondaj Kuyularında Yapılan Sondaj Akışkanı Ortalama Test Sonuçları

Yapılan İncelemeler	1.Numune	2.Numune	3.Numune
Çamur Çıkış Sıcaklığı (°F)	90	90	90
Test Sıcaklığı (°F)	80	80	80
Huni Viskozite (sn/qt)	40	73	51
Plastik Viskozite (PV)	12	32	20
Yield Point (lb/100 ft ³)	11	21	19
Jel 10 sn. (lb/100 ft ²)	4	7	4
Jel 10 dk. (lb/100 ft ²)	23	43	17
Apı Kek (1/32 inç)	<1	<1	<1
Su Oranı %	86	86	86
Katı Oranı %	14	14	14
Düzeltilmiş Katı Madde %V	13,6	13,3	13,1
Kum Miktarı %V	Eser	Eser	Eser
MBT (lb/bbl)	15,0	15,0	11,25
Ph	10,5	9,5	10,0
Klor (mg/l)	7000	13000	17000
Alkalinite Pf (ml)	0,15	0,05	0,05
Alkalinite Mf (ml)	0,45	0,45	0,40
Alkalinite Pm (ml)	1,35	1,30	1,30
Depo Kireç (lb/bbl)	0,32	0,33	0,33
Kalsiyum	20	40	40
Çamur Ağırlığı (lb/ft ³)	71	72	72
Apı Sıvı Kaybı (cc/30 dk)	7,1	4,1	3,9

5.1. Sondaj Akışkanı Yoğunluğu (Çamur Ağırlığı)

Çamur ağırlığı kuyu içi hidrostatik basınçlar açısından büyük önem arz etmektedir. Optimum hidrostatik basıncın aşılması halinde kuyuda kaçak ve kuyu cidarında yıkılmalar meydana gelebilmektedir. Bu sebeple erken müdahale önemlidir. Müdahale yöntemlerinden biri sisteme daha düşük ağırlıklı sistem çamurunda kullanılan daha hafif aynı özellikli çamurun verilmesidir. Çamur ağırlığı, 0,1 hassasiyet sınırı içerisinde doğru ölçüm yapmasını sağlayacak çamur terazisi kullanılarak tespit edilmiştir. Çamur ağırlığı lb/gal, lb/ft³, özgül ağırlık veya spesivik gravite olarak ifade edilmiştir. Çamur terazisi sık sık su ile kalibre edilmiş ve tatlı suyun 70°F'daki ağırlığı 8,33 lb/gal veya 62,3 ppcf baz alınmıştır. Bu değerden sapma olduğunda terazinin kolunun ucunda bulunan denge ağırlıklarını azaltıp çoğaltarak veya buradaki vidayı ayarlayarak terazinin kalibrasyonu yapılmıştır. Çamur ağırlığının mevcut formasyon çatlama basınçları üzerine çıkması halinde , kuyuda tedrici ve tam kaçaklar meydana gelmekte olup, kuyuya basıldığı kadar çamur yüzey tanklarına geri dönememektedir. Bu da rezerv tanklarında hacim azalmalarına, formasyon stabilite durumuna göre kuyu cidarının zarar görmesine ve kesintinin yeterli miktarda kuyudan dışarıya atılamamasına sebep olmaktadır. Çamur ağırlığının formasyonun yıkılmaması için ihtiyacı olan minimum hidrostatik basıncı karşılayamaması durumunda da kuyuda yıkılmalara, takım sıkışmalarına ve zaman kayıplarına sebep olduğu görülmüştür. Formül 5.1 ve 5.2'de yoğunluk ölçüm cihazından ölçülen çamur yoğunluğu hesaplamaları yapılmış ve sondaj kuyularında kullanılmıştır (Çizelge 5.2).

$$P_{\text{çamur}} = 9,2 \frac{\text{lb}}{\text{gal}} \quad (5.1)$$

$P_{\text{çamur}}$: Yoğunluk ölçüm cihazından ölçülen çamur yoğunluğu.

Sonuçlandırmak için:

$$P_{\text{çamur}} = 10 \frac{\text{lb}}{\text{gal}} = 1200 \text{kg/m}^3 = 1,2 \text{ g/m}^3 = 74,8 \text{ lb/ft}^3 \quad (5.2)$$

$P_{\text{çamur}}$: Yoğunluk ölçüm cihazından ölçülen çamur yoğunluğu.

Çizelge 5.2. Çamur Ağırlığı Ölçümleri

g/cm³	kg/m³	lb/gal	lb/ft³
0,70	700	5,8	43,6
0,80	800	6,7	49,8
0,90	900	7,5	56,1
1,00	1000	8,34	62,3
1,10	1100	9,2	68,5
1,20	1200	10,0	74,8

Çizelge 5.3. Reoloji Test Sonuçları

Numune	600 Rpm	300 Rpm	200 Rpm	100 Rpm	6 Rpm	3 Rpm
1	78	50	39	25	5	4
2	73	47	36	21	5	3
3	77	50	38	25	6	4

Çizelge 5.4. Sondaj Akışkanı Yoğunluğu ile İlgili Deney Sonuçları

Çamur Çıkış Sıcaklığı (°F)	125	125	130
Test Sıcaklığı (°F)	121	122	125
Huni Viskozite (sn/qt)	53	50	53
Plastik Viskozite (cp)	28	26	27
Yield Point (lb/100 ft³)	22	21	23
LSRV(cp)	-	-	-
Jel 10 sn. (lb/100 ft²)	4	4	4
Jel 10 dk. (lb/100 ft²)	6	6	6
Apı Kek (1/32 inç)	<1	<1	<1
Çamur Ağırlığı (lb/ft³)	86	85,5	86
Apı Sıvı Kaybı (cc/30 dk)	2,7	3,0	2,8

En temel olarak tercih edilmesi gereken yöntemlerin başında sondaj çamuru testi gelmektedir. Sisteme verilecek çamurunun da yetersiz kaldığı durumlarda saatte 5 bbl olacak şekilde kontrollü olarak yavaş yavaş su verilmesi tercih edilebilir fakat bir diğer müdahale yöntemlerine göre biraz daha tehlikeli duruma yol açabilmekte fakat etkilidir. Suyun verilmesiyle sıvı kaybını artırıp pH değerini düşüreceği için, sisteme sıvı kaybı kontrol

malzemesi ve kostik takviyesi elzemdir. Yapılan test sonrası 5 bbl/hr miktarında su verilmiş ve test sonucunda görüldüğü gibi 0,5 ppcf aşağıya çekilmiştir. Ağırlık ve katı madde miktarının kontrolünde seçilen eleklerin mesh büyüklükleri, mud cleaner konularının verimli çalışması, decanderin aktif kullanılması önemli bir yer tuttuğu tespit edilmiştir (Çizelge 5.4).

Çizelge 5.5. Ağırlık ve Viskozite Kontrolü

Formasyon İçeriği	Problem	Müdahale Yöntemi
Kireçtaşı, spilit, diyabaz, marn, çamurtaşı, şeyl, çakıltası, miltaşı, anhidrit ardanmalı birimler.	Çamur ağırlık değerinin artması ve Ca değerinin anhidrit kaynaklı yükseldiği görülmesi.	Sistem Ca değeri 400 olması sebebiyle öncelik polimerlerin rahat ve aktif çalışması için 7 torba soda külü verilmiştir. Akabinde mud cleaner aktifleştirilmiş ve ağırlık artışı durdurulmuştur.
Kumtaşı, Silt, Mil taşı ardanmalı birimler.	Kum miktarının artışı ve ağırlığın artması.	Yapılan testlerde kum miktarının %3 bandına yaklaşması sonucu 120 API standartlarındaki elek telleri 170 API ve 140 API olarak değiştirilmiştir. Bu şekilde çamur ağırlık artışı durdurulmuştur.
Killi, Milli birimler.	Kil kaynaklı viskozite artışının da görüldüğü sistemde YP değerinin 32 değerini aştığı ve kuyu duvarındaki kekin bozulması neticesinde yıkıntıların olduğu ve çamur ağırlık artışına da sebep olması.	Sisteme tedrici olarak su verilmiştir. YP değeri 25 seviyesine indirilip sağlam çamur keki sağlandığı ve yıkıntı önlenerek, çamur ağırlığı istenilen değer aralığı olan 86 ppcf' den 84 ppcf değerine çekilmiştir.

Çizelge 5.5. Ağırlık ve Viskozite Kontrolü Devamı

Killi Kireçtaşı, Kumtaşı	Kumtaşı kaynaklı çamur ağırlık ve Ca kontaminasyonu sebebiyle viskozite artışı.	Mevcut çamurun geçtiği kum tuzağı tankının kum ile dolduğu fark edilmesi neticesinde 200 bbl hacmindeki kum tuzağı tankı boşaltılmış ve sisteme yeni çamur verilip ağırlık artışının önüne geçilmiştir.
Kumtaşı	Ağırlık miktarındaki artışının görülmesi.	Decander aktifleştirilmiştir. Ağırlık artışının önüne geçilmiştir.
Kumtaşı, Kireçtaşı	Çamur ağırlık artışının görülmesi.	Mud Cleaner elekleri 230 API değerine yükseltılarak çamur ağırlığı artışı önlenmiştir.
Aktif kil, Jips, Kumtaşı	Sıvı kaybı artışı, ağırlık artışı, pH düşüşü ve viskozite artışı görülmesi.	Jips kaynaklı kalsiyum artışı için sisteme 0,35 ppb sodyum bikarbonat verilerek kalsiyum atomları çökeltilmiş, 0,25 ppb kostik takviyesi ile pH yükseltilmiştir. Çamur ağırlığı artışını durdurmak için sisteme daha düşük ağırlıkta çamur verilmiştir.
Kumtaşı, Şeyl, Marn	Viskozite ve çamur ağırlığının artışı.	Decander çalıştırılarak sistem ağırlığını 82 ppcf değerinden 80 ppcf değerine çekilmek için sisteme 72 ppcf ağırlığında tedirici olarak 75 bbl yeni çamur eklenmiştir.

5.2. Viskozite ve Jel Mukavemeti

Marsh hunisi 70°F' da 1 quart (946 ml) suyun 26 saniyede dışarı akmasını sağlayacak şekilde tasarlanmış basit bir alettir. Marsh hunisinin kalibrasyonu da su ile yapılmaktadır ve suyun huniden 26 sn/quart ölçüsünde akıp akmadığı ölçülmektedir. Formül 5.3'de reolojik ölçümler yapılmış olup uygulama kuyusuna ait değerlerdir. Formül 5.3'den edinilen bilgiler ışığında formül 5.4'de plastik viskozite (PV), formül 5.5'de yield point (YP) ve 5.6'da görünür viskozite (nA) hesaplamaları yapılmış ve uygun reçeteler ile sondaj kuyusu uygulaması yapılmıştır (Çizelge 5.3).

Reolojik ölçüm ortalama değerleri; 10 sn jel değeri = 5 için

$$Q_{600} = 65, Q_{300} = 45, Q_{200} = 35, Q_{100} = 25, Q_6 = 8, Q_3 = 6 \quad (5.3)$$

Q_{600} : 600 RPM okuması

Q_{300} : 300 RPM okuması

Q_{200} : 200 RPM okuması

Q_{100} : 100 RPM okuması

Q_6 : 6 RPM okuması

Q_3 : 3 RPM okuması

$$PV = Q_{600} - Q_{300} = 65 - 45 = 20cP \quad (5.4)$$

PV : Plastik viskozite

Q_{600} : 600 RPM okuması

Q_{300} : 300 RPM okuması

$$YP = Q_{600} - PV = 45 - 20 = 25 \frac{lb}{100ft^2} \quad (5.5)$$

YP : Yield Point

PV : Plastik viskozite

Q_{600} : 600 RPM okuması

$$nA = \frac{Q_{600}}{2} = \frac{65}{2} = 32,5 \text{ cP} \quad (5.6)$$

nA : Görünür viskozite

Q_{600} : 600 RPM okuması

Yield point (YP), sıvının ilk akışının direncidir veya sıvıyı hareket ettirmek için gereken gerilmedir. Basitçe akma noktasının (YP) sondaj sıvısındaki koloidal parçacıklar arasındaki çekici kuvvet olduğu söylenebilir. YP, sondaj çamurunun kesikleri yüzeye taşıma yeteneğini gösterir. Ayrıca, sürtünme, basınç kaybı doğrudan YP ile ilgilidir. Daha yüksek YP, daha büyük sürtünme basıncı kaybına neden olacaktır. Genellikle delinecek büyük çaplı kuyular için verimli kuyu temizliğini desteklemek amacıyla yüksek YP'de çalışılması tespit edilmiştir. Muhafaza borusu inilmemiş çıplak kuyularda genellikle YP'nin 18-25 bandında tutulması kuyu sağlığı için gerekli olduğu tespit edilmiştir. Aksi takdirde farklı kuyularda farklı biçimlenme içerikleri mevcut olması sebebiyle farklı YP değer aralıklarında çalışılabilmektedir. Kuyu tamamlama hizmetleri esnasında durumlar elbette farklı seyretmektedir. Kuyunun boydan boya muhafaza borulu olduğu fakat yıllar içinde muhafaza borusu yırtığı meydana gelen kuyularda, (pompa verimi ve basılan çamurun debisine göre değişmekle beraber) 13-15 değer aralığındaki yiel point değeri yeterli geldiği ve takımı gerilme altında bırakmadan rahat çalışılabildiği deneyler ve eleklerden gelen numune gözlemi sonucunda ortaya çıkartılmıştır. Yield pointe doğrudan doğruya etki eden en etkili kimyasallardan biri de Xcd polimerdir. Düşük (0,25 ppb gibi) oranlarında müdahale ile gözlemleyerek sisteme katmak, sistem çamuru dengesinde problem yaratmamak ile birlikte kuyu sağlığını olumlu yönde etkilediği tespit edilmiştir (Çizelge 5.6). Su bazlı çamur için YP;

- Yüksek sıcaklık veya yüksek sıcaklık ortamı, su bazlı çamurdaki YP'yi artırma eğilimindedir.

- Sondaj sıvılarındaki karbondioksit, tuz ve anhidrit gibi kirleticiler
- Sondaj çamurunun kireç veya kostik soda ile aşırı muamelesi ile artırılabilir.

Çizelge 5.1’de aktif killere maruz kalmış çamur numuneleri testleri yapılmış ve bu sonuçlar sondaj akışkanları için jel mukavemeti ve viskozite için değerlendirilmiştir. Bu sebeple viskozitede meydana gelen hızlı artış jelleri yukarı yönde tetiklemiştir. Reolojik deney sonuçlarına göre Q_{600} ’den Q_3 ’e kadar reolojik sonuçlar viskozitede meydana gelen hızlı artış jel mukavemetinin yukarıya doğru tetiklediği tespit edilmiştir. Bu durumda jel mukavemetinin olduğu koşullarda çözüm önerisi olarak sondaj akışkanına yeniden çamur eklenmesiyle yeni bir çamur şekli oluşturulmuştur.

Çizelge 5.6. Sondaj Çamurunda Viskozite ve Jel Değerlerine Uygun Müdahale

İlk ve Son Viskozite Değeri	İlk PV-Son PV Değeri	İlk YP-Son YP Değeri	Yapılan Müdahale Yöntemi
34-43	18-19	13-24	0,5 ppb Xcd eklenmiştir.
42-47	22-22	22-25	0,1 ppb Xcd eklenmiştir.
59-48	26-24	33-27	Sisteme 5 bbl/hr oranında 4 saat su verilmiştir.
56-50	24-22	30-23	Sisteme 39 sn/qt viskozite değerinde 200 bbl çamur verilirken premix tankı devreye alınmıştır.
41-47	17-18	15-26	Sisteme 0,25 ppb flovis plus verilmiştir.
40-45	19-22	15-25	Sisteme 0,75 ppb Pac R verilmiştir.
44-47	18-18	23-25	Sisteme 0,15 ppb xcd verilmiştir.

Fakat kuyularda bunun sık tekrarlanması halinde kuyu maliyetleri artacağı için, sisteme 1 ppb CFL müdahalesi yapılmış ve çamura katılan her 4 torba CFL için 1 torba kostik verilmiştir. Bunun sebebi olarak CFL’in girdiği kimyasal tepkime sonucu pH değerini düşürmesidir. Polimerlerin aktif olarak çalışabilmesi için 9-10,5 pH değer aralığında çalışılması önemlidir. Sisteme verilen CFL’in miktarı önem arz etmektedir. Uygun olan

miktardan fazla verilmesi durumunda çamur CFL'e doygun hale gelmekte ve ne kadar verilirse verilsin artık tesir etmemeye başladığı görülmüştür. Bu doygunluğun tespiti de basit bir yöntemle filtratın renginden yapılmıştır. Filtratın rengi açık kahve renginden koyu kahve rengine doğru yaklaşmasıyla sistemin CFL doygunluğu o denli artmaktadır. Kil miktarının artmaması için decander aktif olarak çalıştırılmış ve yüzey hatlarının bakımları yapılmıştır.

5.3. Sıvı Kaybı Kontrolü ve %KCl Oranı

Çamurun sıvı kaybı ve kek yapma özelliklerinin tespit edilmesi için sıvı kaybı aleti (filter press) kullanılmıştır. Sondaj sıvısı, tanımlanmış basınç ve zaman şartlarında filter press ile 100 psi basınç uygulanmıştır. Formasyona kaybedilen sıvı miktarının göstergesi olarak, sıvı miktarı ve filtre kağıdında biriken kekin kalınlığı ölçülmüş ve bu geçirgen kuyu cidarında biriken kek ile kıyaslanmıştır (Çizelge 5.4), (Çizelge 5.5).

Yapılan reoloji analizleri neticesinde test sonucunda çamur akışkanına 1 ppb CMC LV, 2 ppb nişasta eklenerek sıvı kaybı ve reoloji değerleri kontrol altına alınmıştır. Bu iyileştirme neticesinde reoloji test sonuçları tekrar analiz edilerek sondaj sıvısında iyileştirme müdahaleleri neticesinde verimli sonuçlar elde edilmiştir. KCL çamurlarında potasyum değeri azaldıkça sıvı kaybı değerinde artış meydana geldiği ve potasyum ise sıvı kaybını azaldığı tespit edilmiştir (Çizelge 5.7).

Çizelge 5.7. Sondaj Çamurunda Sıvı Kaybı ve Yapılan Müdahale

İlk Sıvı Kaybı Değeri ve Çamur Türü	Son Sıvı Kaybı Değeri	Yapılan Müdahale Yöntemi
8,8 cc - Lignosülfonat	6,7 cc	1 ppb CMC LV ve 0,25 ppb Xcd eklenmiştir.
4,3 cc – KCl, Polimer ve Glikol	2,9 cc	0,5 ppb PAC LV, 0,5 ppb nişasta ve 0,1 ppb Xcd eklenmiştir.
5,3 cc – KCl, Polimer	3,5 cc	Sıcaklık 150°F olması sebebiyle nişastanın bozunmaya uğradığı görülmüş olup 1 ppb PAC LV verilmiştir.

Çizelge 5.7. Sondaj Çamurunda Sıvı Kaybı ve Yapılan Müdahale Devamı

6,9 cc - Lignosülfonat	5,1 cc	Yapılan testler neticesinde Ca değerinin 480 olduğu tespit edilmiştir. Sisteme 0,5 ppb soda ash verilerek Ca değeri sıfırlanmış ve 1 ppb CMC LV verilmiştir.
4,7 cc - Tatlısu Polimer	4,1 cc	Sisteme 0,5 ppb nişasta eklenmiştir.
4,9 cc – Flopro	4,0 cc	Sisteme 0,75 ppb flotroll eklenmiştir.
7,4 cc - Lignosülfonat	5,4 cc	Sisteme 8 torba CFL verilip çamurun viskozitesi düşürülmüştür, akabinde verilen her 4 torba CFL'ye 1 torba denk gelecek şekilde kostik verilip sistem pH'ı 10 yapılmıştır. Üzerine ilave olarak 1,25 ppb CMC LV verilmiş ve sıvı kaybı değeri kontrol altına alınmıştır.

Yapılan uygulamaya ilişkin olarak sondaj sıvısıyla ilgili örnekleme aşağıdaki gibi ele alınmıştır. Bu açıdan su kaybı 3,9 cc, sondaj sıvısı kek kalınlığı <1, kum miktarı eser, MBT 4,5 cc'den bentonit eşdeğeri 11,25 lb/bbl, pH 10, Pm 1,3, Pf 0,05 ve Mf 0,4 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 5.8).

Çizelge 5.8. Alkalinite OH⁻, CO₃⁻² ve HCO₃⁻ Konsantrasyonlarının Hesabı

Eğer	OH ⁻	CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻
P _f =0	0	0	1220xM _f
2P _f <M _f 2*0,05<0,4	0	1200xP _f =60	1220x(M _f -2P _f)=366
2P _f =M _f	0	1200xP _f	0
2P _f >M _f	340x(2P _f -M _f)	1200x(M _f -P _f)	0
P _f =M _f	340xM _f	0	0

Formül 5.7’de sondaj sıvısı numunesindeki su miktarı hesaplanmış olup dolaylı yoldan katı madde içeriği hakkında fikir elde edilmiştir. Formül 4.2’de kuyudan alınan numunelere uygulanan kimyasal testler neticesinde depo kireç miktarı saptanmıştır. Buna göre;

$$F_{Su} = \frac{V_{Su}}{100} = \frac{86}{100} = 0,86 \quad (5.7)$$

F_{Su} = Sondaj sıvısı numunesindeki su miktarı

Suyun hacmi = V_{Su} = %Su = %86 Katı Madde İçeriği %14 olarak belirlenmiştir. Ayrıca depo kireç miktarı ise formül 4.2’de hesabına göre;

Depo Kireç Miktarı = $1,30x(P_m - F_{Su}xP_f)$ ppb = $1,30x(1,3 - 0,86x0,05) = 1,63$ ppb bulunmuştur.

5.4. Klor ve NaCl İyonu İçeriği

Formül 4.4’de kuyu uygulaması yerinde yapılarak klor ve NaCl içeriği belirlenmiştir. Buna göre;

$$Cl^- = \frac{1000xV_{Sn}}{V_{fi}} = \frac{1000x1,7}{1} = 17000 \text{ mg/l}$$

NaCl Konsantrasyonu = $1,65x Cl \frac{mg}{lt} = 1,65x17000 = 28050 \frac{mg}{lt}$ hesaplanmıştır.

Çizelge 5.9’da Cl ve NaCl içeriğinin sıvı kaybı ve çamur ağırlığı ile olan ilişkisi incelenmiştir.

Çizelge 5.9. Cl ve NaCl İçeriğinin Sıvı Kaybı ve Çamur Ağırlığı ile Olan İlişkisi

İlk Klor ve NaCl Konsantrasyonu	Son Klor ve NaCl Konsantrasyonu	Uygulanan Yöntem	Elde Edilen Sonuç
17000-28050	145000-239250	74,5 ppb NaCl eklenmesi.	Sıvı kaybı KCl çamurunda 4,1 cc'den 3,3 cc'ye inmiştir.
39000-64350	181000-298650	82,5 ppb NaCl eklenmesi.	Çamur ağırlığı artırılmış ve sıvı kaybı 3-4 cc aralığına inmiştir.
98000-161700	172000-283800	41 ppb NaCl verilmesi.	Sondaj esnasında oluşan atomik boşluklar Na ve Cl atomları ile doldurulmuş ve sıvı kaybının 3-3,5 cc civarında kalmasını sağlamıştır.
77000-127050	189000-311850	63,6 ppb NaCl verilmesi.	Sondaj Çamuru NaCl'ye doyurulmuş ve tuz ile çıkılabilen max ağırlık olan 78 ppcf değerine ulaşılmıştır.

5.5. Kalsiyum Açısından Toplam Sertlik Hesaplanması

Kalsiyum değerinin artışıyla çamurda Ca kontaminasyonu meydana gelmekte olup viskoziteyi yukarı ve olumsuz yönde tetiklemektedir. 400 mg/l değerinin üzerine çıkmasıyla polimerlerin istenilen işlevlerini yerine getirmesini engellemektedir. Bu sebeple istenilen seviyelerin üzerine çıkmasıyla, sodyum bikarbonat ve soda ash gibi malzemeler ile müdahalede bulunulmuştur. Ca çöktürme etkisi olan bu kimyasallardan sodyum bikarbonat çok daha etkilidir fakat verilen sodyum bikarbonatın istenilen şekilde aktif verimlilik sağlayabilmesi için pH değerinin yüksek olması elzemdir. Çünkü sodyum bikarbonat

meydana getirdiği tepkime ile Ca değerini aşağı çekerken aynı zamanda pH değerini de aşağı yöne çektiği tespit edilmiştir. pH değerinin istenilen seviyelere gelebilmesi için tekrar kostik müdahalesi yapılmıştır. Sistem dengesinin bozulmasının istenmediği daha yumuşak müdahalelerin yapıldığı ortamlarda soda ash kullanımını daha faydalı olmuştur. Fazla sodyum bikarbonat kullanımını, bikarbonat kirlenmesine de yol açmakta olup dikkatle kullanılmalıdır.

Yapılan deneylerde 1000 bbl sistem çamur hacminin olduğu 800 mg/l test değerinde llen Ca kirlenmesini gidermek için kaç torba soda ash veya kaç torba sodyum bikarbonat kullanıldığı hesaplanmıştır. Bu hesaplamada ihtiyaç olan soda ash için $0,000927 \times 800 \times 1000 \times 0,4536 = 336,38 \text{ kg}$ soda ash gerektiği tespit edilmiştir. Ayrıca ihtiyaç olan sodyum bikarbonat için $0,000734 \times 800 \times 1000 \times 0,4536 = 266,3 \text{ kg}$ sodyum bikarbonat gerektiği formülünden hesaplanmıştır.

Kalsiyum açısından toplam sertlik hesaplanması formül 2.8’de hesaplanmış ve buna göre

$Ca \text{ Sertliği} = 40 \times V_{edta} = 40 \times 1,0 \text{ cc} = 40 \text{ mg/l}$ bulunmuştur.

5.6. Su, Petrol ve Katı İçeriği

Bu çalışmada su içeriği %86 bulunmuş, petrol içeriği formül 5.8’de hesaplanmış ve içerisinde petrolün varlığına rastlanmamıştır. Ayrıca katı içeriği ise %14 tespit edilmiştir.

$$V_{\%p} = 100 \times \left(\frac{V_{su}}{V_{san}} \right) = 0\% \quad (5.8)$$

$$V_{\%p} = \text{Yüzde Petrol Hacmi}(\%) = V_{\%o}$$

$$V_{san} = \text{Sondaj amuru Hacmi} = 100 \text{ ml} = V_{sa}$$

$$V_{su} = \text{Suyun hacmi (ml)}$$

5.7. MBT Artışı ve Müdahale

MBT değerinin artması formasyonda yoğun olarak kesilen kil miktarının artışıyla doğru orantılıdır. Kil miktarının yoğun artışı, sıvı kaybının artışına, kek kalınlığının olağan halinden kalın olmasına, çamurda istenilen dışında viskozite artışına, viskozite artışına bağlı

olarak jel ve okuma değerlerinin artışına, hidrostatik basınçların artışına, pompa ve jeneratörlerin de ekstra performans harcamasına sebep olmaktadır. MBT değerinin çok artmaması için aktif killerin olduğu bilenen formasyonda kullanılan bentonit oranı lignosülfonat çamurlarında düşürülerek önlem alınmıştır. Kule envanterinde varsa decander aktif olarak çalıştırılmalı aksi takdirde kontrol edilebilir seviyenin üzerine çıkması durumunda çamur atıp sisteme inceltici içerikli taze çamur (şerbet) girişi yapılmıştır.

5.8. pH Değeri ve Sisteme Etkisi

pH değerinin 9-10,5 değer aralığının altında veya üstünde olması durumunda polimerler aktif olarak çalışmamakta olup, istenilen sıvı kaybı ve reoloji değerlerinin yakalanması ve korunmasını engellemektedir. Bu sebeple mümkün olduğunca pH değerleri bu aralıkta tutulmalıdır. Yapılan çalışmada kuyularda sondaj akışkanının pH değer aralığı 9-10,5 olarak belirlenmiş ve polimerlerin aktif olarak verimli çalıştığı testler neticesinde tespit edilmiştir.

5.9. Spot Sıvısının Hazırlanması ve Uygulanması

Çizelge 5.10'da spot sıvısı hazırlanması esnasında kullanılan çamur yoğunluğu, mazot, spot sıvısı, su ve barit miktarları sunulmuştur. Spot sıvısıyla ilgili yapılacak çalışmalar aşağıda sunulmuştur.

- Spot sıvısını hazırlamak için kullanılacak tank ve hatlar temizlenmeli,
- İstenilen spot sıvısı miktarına ve ağırlığına göre kompozisyon seçilmeli,
- Seçilen kompozisyona göre tanklara mazot alınmalı,
- Mazotun ardından spot sıvısı eklenmeli,
- Spotun sıvısının akabinde su ilave edilmeli,
- Son işlem olarak sistem çamuru ağırlığına getirilmeli,
- Spot sıvısı hazırlandıktan sonra problemlili olduğu tespit edilen bölgeye kadar basılıp ötelenmelidir ve 20 ile 40 saat arasında beklenmelidir.

Çizelge 5.10. Spot Sıvısı Hazırlamasında Kullanılan Malzemeler ve Miktarları

Yoğunluk (ppg)	Mazot (bbl)	Ham Spot (bbl)	Su (bbl)	Barit (pound)
7,5	0,645	3,36	0,275	0,0
8,0	0,620	3,36	0,280	26,5
8,5	0,610	3,36	0,275	53,5
9,0	0,600	3,36	0,270	80,0
9,5	0,590	3,36	0,265	107,5
10,0	0,580	3,36	0,255	134,5
12,0	0,540	3,36	0,225	243,0
14,0	0,490	3,36	0,205	351,0
16,0	0,500	3,36	0,115	462,0
18,0	0,440	3,36	0,100	566,0

5.10. Sondaj Akışkanına Müdahalede Kullanılan Bazı Kimyasallar ve Özellikleri

5.10.1. Bentonit

Bentonit tatlı su bazlı çamurların kompozisyonunu oluşturan temel katkı maddesi olup, çamurun su kaybı ve akış özelliklerini kontrol eder. Sistemde yeterli miktarda ve belli kalitede bentonitin bulunması, ince, sağlam ve geçirgen olmayan bir kek oluşturmanın birincil şartıdır. Dizi sıkışmaları ve formasyon kirlenmesi yönünden söz konusu kek özellikleri önem kazanır. Ortamdaki tuz veya kalsiyum iyonu konsantrasyonları sırasıyla 10.000 mg/l't'i veya 240 mg/l't'i aşması durumunda özellikleri hızlı bir şekilde değişir. Çamur hazırlanırken, topaklanmayı önlemek için yavaş verilmeli ve 6 saat kadar şişmesi beklenmelidir. Spud ve lignosülfonat çamurlarında kullanılır.

5.10.2. Kromsuz lignosülfonat (CFL)

CFL tüm tatlı su bazlı çamurlarda başarıyla kullanılan organik kökenli bir kromsuz lignosülfonattır. İkincil fonksiyonu olarak su kaybı kontrolüne yardımcı olur. Genel kullanım dozu 0,5-4 lb/bbl olup, ortam pH'nın 9-10 olması durumunda maksimum etki sağlar. pH etkisinden dolayı, her 4 torba CFL için 1 torba NaOH eklenmelidir. Kuyu dibi sıcaklığı 350°F'a yaklaşırken CFL'in etkinliği azalmaya başlar.

5.10.3. Düşük viskoziteli karboksimetilselüloz (CMC-LV)

CMC-LV tatlı su bazlı çamurlarda, bentonitin oluşturduğu yapıya destek sağlayarak su kaybında fazladan bir azalma sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. CMC selüloz esaslı anyonik bir polimer olup, genel kullanım dozu 1-3 lb/bbl dir. Su kaybı kontrol özelliği ortamdaki tuz veya kalsiyum konsantrasyonlarının sırasıyla 50.000 mg/l't'i veya 500 mg/l't'i aşması ve kuyu dibi sıcaklığının 300 °F'a yaklaşması durumunda hızlı bir şekilde azalır.

5.10.4. Potasyum klorür (KCl)

Potasyum klorür, KCL çamurunda potasyum inhibisyonunu sağlayan potasyum kaynağı olarak kullanılır. Formasyonda kil kaynaklı sıvı kaybı yukarı yönde ivmelenmişken sisteme verilen %4 lük 14,4 ppb KCL sayesinde sıvı kaybı azalmış, stabilite ve matkap sarmasına sebep olan yer yer tutma bırakmaların azaldığı tespit edilmiştir.

Çizelge 5.11. Sondaj Çamurunda KCl Faktörü

Katkı Maddesi Türü	Sondajda Görülen Farklılık
KCL	Formasyonda kil kaynaklı sıvı kaybı yukarı yönde ivmelenmişken sisteme verilen %4 lük 14,4 ppb KCL sayesinde sıvı kaybı azalmış, stabilite ve matkap sarmasına sebep olan yer yer tutma bırakmaların azaldığı tespit edilmiştir.

5.10.5. Polianyonik selüloz (PAC-LV)

Polianyonik selüloz (PAC-LV) özellikle yüksek yoğunlukta tuz içeren sistemlerde veya doymuş tuzlu su sistemlerinde su kaybı kontrolünde kullanılır. Sıcaklığa dayanıklılığı CMC-LV ile aynı olan PAC-LV genellikle bütün bulaşımına karşı CMC'ye göre daha toleranslıdır. PAC tatlı suda 0,25-1,0 lb/bbl, tuzlu su sistemlerinde 0,75-3 lb/bbl olarak kullanılır. PAC'ın kesintileri sarma özelliğinden yararlanabilmek için yüksek konsantrasyonda kullanılması gerekir. PAC-LV kalsiyum kirlenmesine duyarlı olup, maksimum kalsiyum konsantrasyonu 400 mg/l't'i aşmamalıdır. En fazla çalışma sıcaklığı ürünün üreticisine göre 250-300 °F arasında değişmektedir.

5.10.6. Polianyonik selüloz regular (PAC-R)

Polianyonik selüloz regular (PAC-R), PAC-LV ile aynı özellikleri taşır. PAC-LV den farklı olarak yüksek viskozite sağlar.

5.10.7. XCD polimer

XCD polimer düşük kayma gerinmesi hızlarında viskozite sağlayarak kuyu temizliğine yardımcı olur. Ayrıca sirkülasyonun kesildiği durumlarda kesintilerin süspansiyonda tutulmasını sağlar. Yüksek molekül ağırlıklı doğal bir polimer olan XCD polimer, genellikle 0,25-0,75 lb/bbl aralığında kullanılır. Bu polimer, çamura doğrudan ilave edilebileceği gibi, kuyu temizliğinden emin olunmadığı, anülüste kesinti veya yıkıntı birikmesinden şüphelenildiğinde kuyuyu temizlemek amacıyla viskoz tapa hazırlanmasında da kullanılır. 0,75 lb/bbl Xcd polimeri içeren 50 bbl'lik bir viskoz tapa ile kuyu sirküle edilerek, anülüste biriken malzeme süpürülerek yüzeye getirilir ve kuyu rahatlatılır.

5.10.8. Modifiye nişasta

Modifiye nişasta su bazlı çamurlarda ve tamamlama sıvılarında su kaybını kontrol eder. Bu polimer, genellikle 4-6 lb/bbl aralığında kullanılır. NaCl, KCl ve CaCl₂ çözeltilerinde başarılı bir şekilde çalışır. Sıcaklık stabiletisi 250°F'dan sonra azalır. Fermentasyona karşı korunmuş olup bakterisit ilavesine gerek yoktur.

5.10.9. PHPA

PHPA, kısmen hidrolize edilmiş polyacrylamide copolimer emülsiyonudur. Su bazlı çamurlarda şeylli ve killi kesintilerin dağılmasını önlemek, kuyu çapında devamlılık sağlamak amacı ile kullanılır. Ayrıca, matkap sarmasını önler, dizi üzerinde kayganlık sağlar. Yüksek moleküler ağırlığı nedeni ile anlık viskoziteye yol açabilir. PHPA, kalsiyum kirlenmesine ve yüksek pH'a duyarlı olup, maksimum kalsiyum konsantrasyonu 400 mg/l'tyi ve pH 11'i aşmamalıdır. En fazla çalışma sıcaklığı ürünün üreticisine göre 250-300°F arasında değişmektedir.

Çizelge 5.12. Reolojiyi Canlandırmada Kullanılan Kimyasallar

Kullanılan Kimyasal	YP Değerindeki Değişim (0,5 ppb)	Sondaj Akışkanına Etkisi
XCD	15-25	Manevra sonrası dizi inişi tamamlanırken dizinin oturmadığı, katı maddeleri iyi seviyede askıda tuttuğu tespit edilmiştir.
PAC R	13-18	Plastik viskoziteye de katkısı olduğu görüldü, jel değerlerini daha iyi seviyeye getirip kayganlığı artırdı, sürtünmeleri azalttığı belirlenmiştir.
Flovis-Plus	11-28	Üretim zonunda uygun jel değerlerine çıkılabilmesini sağladı, çamurun kırıntıyı askıda tutabilme yeteneğini artırdığı tespit edilmiştir.

5.10.10. Glikol

Glikol, su kaybı kontrolünde kullanılan, kuyu stabiltesinin korunmasını ve dizi üzerinde kayganlık sağlayan, kesintilerin dağılmasını önleyen, yüksek sıcaklıklara dayanıklı alkol bazlı sıvıdır. Etkisi, konsantrasyonu ve tipi, tuzluluğa ve çalışma sıcaklığına göre değişmektedir. Hacimce %3 oranında kullanılır.

5.10.11. Potasyum hidroksit (KOH)

KOH, KCl-Polimer ve drill-in sıvılarının pH'sını ayarlamak için kullanılır. İçeriğindeki potasyum, potasyum iyonunun sağlanmasında yardımcı olarak kullanılmaktadır.

5.10.12. Alplex

Alplex, şişme ve yıkılma eğilimi gösteren şeyli seviyelerin sondajında başarılı olan bir sistemdir. Alplex bazik bir alüminyum kompleksi olup ortamın pH'sına bağlı olarak inhibisyon sağlar. Çamurun pH'sı genellikle 10-11,5 aralığında tutulur. Alplex'in kendisi bazik olduğundan bu çamura kostik ilave edilmez. Şeyl içerisine invaze olan çamurun pH'sı düşerken alplex alüminyum hidroksite dönüşerek çöker ve şeyl formasyonlarda bulunan mikro çatlakları tıkar. Böylece kuyu içi basıncı ile formasyon basıncı arasındaki irtibatı keserek, kuyu stabilitesi güçlendirilir. Aynı şekilde çökelen alüminyum kompleksi

kesintileri kaplayarak kesintilerin kimyasal ve mekanik olarak dağılmasını önler. Alplex'in kullanım konsantrasyonu genellikle 3-5 lb/bbl dir.

5.10.13. İnce kalsiyum karbonat

KCl-Polimer çamurlarında PAC-İv'nin köprü kuracağı ara malzeme olarak ve kirlenmesi muhtemel üretim zonlarının delinmesi için planlanan drill-in sıvılarının ağırlığını arttırmak için kullanılmaktadır. Kalsiyum karbonat, HCl asitte tamamen çözünmektedir. Bu özelliğinden ötürü üretim zonları geçilirken gerek ağırlaştırıcı gerekse kaçak önleyici olarak bütün çamur tiplerinde kullanılabilir.

5.10.14. İri kalsiyum karbonat (CaCO₃)

Formasyona olan kaçaklarda kaçak tapası için kullanılan kalsiyum karbonat, HCl asitte tamamen çözünmektedir. Bu özelliğinden ötürü üretim zonları geçilirken gerek ağırlaştırıcı gerekse kaçak önleyici olarak bütün çamur tiplerinde kullanılabilir.

5.10.15. Barit (BaSO₃)

Drill-in sıvılarının ağırlığını arttırmak için kullanılan barit, ağırlaştırıcı olarak bütün çamur tiplerinde kullanılabilir. Asitlerle reaksiyona girmemekte, bu nedenle üretim formasyonlarını kirletebilmektedir.

5.10.16. Soda (Na₂CO₃)

Çamur hazırlama suyunun kalsiyuma bağlı sertliğinin giderilmesinde ve çamurun kalsiyum kirlenmesi nedeniyle özelliklerinde meydana gelen olumsuzlukları düzeltmek amacıyla kullanılan bir katkı maddesidir. Çamurda bulunan her mg/lit kalsiyumu çöktürmek için 0,000927 lb/bbl soda (Na₂CO₃) ilave edilmesi gerekir. Kullanılacağı ortamın pH değerinin 9'un üzerinde olması gerekmektedir. Kullanıldığında pH'ı yükseltebilir. Bu sebeple kuyuda kesinti birikimi ve yıkılmalar görülmüştür. Ca değeri soda ash müdahaleleriyle düşürülmüş ve kuyuda anüler performans arttırılmıştır, yıkıntının azaldığı ve çamur kekinin daha sağlam bir yapı kazandığı tespit edilmiştir.

Çizelge 5.13. Soda Külü ve Polimer Aktiflik İlişkisi

Kimyasal Türü	Sondaj Akışkanına Etkisi
Soda Külü	Sondaj akışkanı kalsiyum değeri 400 mg/lit üzerinde olduğu durumlarda polimerler aktif çalışmamakta olup, kuyuda jel değerleri istenen seviyelere çıkarılamamaktadır. Bu sebeple kuyuda kesinti birikimi ve yıkılmalar görülmüştür. Ca değeri soda ash müdahaleleriyle düşürülmüş ve kuyuda anüler performans arttırılmıştır, yıkıntının azaldığı ve çamur kekinin daha sağlam bir yapı kazandığı tespit edilmiştir.

5.10.17. Sodyum bikarbonat

Sodyum bikarbonat su bazlı sıvılarda iki nedenle kullanılır; Ca^{++} iyonunun çökeltilmesi için gerekli olan karbonat iyonu için kaynak sağlamak ve sistem pH'sını düşürmek. Kimyasal formülü $NaHCO_3$ olan sodyum bikarbonat kolayca Na ve HCO_3 iyonlarına ayrışan zayıf bir baz olarak özellikle çimento kirlenmesinden kaynaklanan kalsiyumun sisteme zarar vermesini engellemek için kullanılır. Konsantrasyon çimento bulaşımına bağlı olarak değişmekle beraber genel olarak 0,5-2,0 lb/bbl'dir. Sisteme sodyum bikarbonat verilirken bikarbonat ve karbonat flokülasyonu ihtimaline karşı dikkatli olunmalı, kullanıldığı ortam pH'sının 10 üzerinde olmasına dikkat edilmelidir.

5.10.18. Köpük kırıcı

Polimer çamurlarında karşılaşılan, köpük sorununa karşı kullanılır. Çamur yapımında tank üzerinde oluşacak köpük ¼ bidon köpük kırıcı serpilmesi yolu ile önlenir.

5.10.19. Toz köpük kırıcı (alüminyum sterat)

Alüminyum sterat mazot ile karıştırılarak özellikle bentonitli çamurlardaki köpüğü kırmak için kullanılan bir kimyasaldır. Bir varil mazota 25 kg Alüminyum sterat eklenir ve karıştırılarak sistem çamuruna tedrici olarak verilir.

Çizelge 5.14. Aliminyum Sterat ve Köpüklenmenin Çözümü

Kimyasal Adı	Sondaj Esnasında Meydana Gelen Değişim
Aliminyum Sterat	Aliminyum sterat sisteme verilmeden önce yüzeyde ve kuyuda yoğun köpük sebebiyle pompaların havalı çalışmasına ve çamur hidrostatik sapmalar görülmüştür. Aliminyum sterat sonrası köpük kırılmış ve istenilen hidrolik güç daha etkili biçimde kuyuda uygulanmıştır.

5.10.20. Coat-415

Coat-415 amin tipi ve kaplayıcı bir korozyon inhibitörü olup, metal malzemenin yüzeyinde oluşturduğu film tabakasıyla metalin korozif ortamla olan temasını keserek korozyonu önler. coat-415 ve mazot 1/6 oranında karıştırılarak uygulanır.

5.10.21. Lube

Takım sıkışması riskini azaltmak, oluşacak torkların önüne geçmek ve yüzeysel sıkışma olasılığını en aza indirmek için kuyu içinde yağlama amacı ile kullanılan işlenmiş bitkisel yağ bazlı sıvıdır. Kuyu içindeki dizi ve formasyon arasında kayganlık sağlayan bir film oluşturur. Ortalama, hacimce %4 oranında kullanılır.

Çizelge 5.15. Lubricant ve Sisteme Olan Etkisi

Kimyasal Adı	Sondaj Esnasında Meydana Gelen Değişim
Lubricant	Sistem çamuruna lubricant verilmeden önce tork 5.900 lb*ft değerindeyken sisteme verilen %1 lubricant sonrası tork değerinin 4.875 lb*ft değerlerine düştüğü, torkun azaldığı, ilerleme hızı ve viskozitenin arttığı, jel değerlerinin daha iyi seviyelere geldiği görülmüştür.

5.10.22. Biocide

Polimer esaslı çamurlarda bakteri üremesi ve kimyasalların bozulmasını önlemek amacı ile kullanılan sıvı kimyasaldır. Yüksek sıcaklıklar ile birlikte kullanımı artar. Ortalama,

hacimce %0,1-0,3 oranında kullanılır. Kullanımında sonra pH artışı gözlenir.

5.10.23. Therma thin (sıvı polimer çamuru incelticisi)

Polimer esaslı çamurlarda, viskozite ve jel artışını önlemek için kullanılan bir sıvıdır. Deflocculant, yüksek sıcaklıklarda da çalışabilmektedir.

5.10.24. Karbo mul-lt

Petrol bazlı çamurlarda kullanılan emülsiyon ve ıslanımllık (wetting) sağlayan araçtır.

5.10.25. Karbo mul- ht

Petrol bazlı çamurlarda kullanılan yüksek sıcaklık emülsiyon ve ıslanımllık (wetting) sağlayan araçtır.

5.10.26. Duratone ht

Petrol bazlı çamurlarda kullanılan yüksek sıcaklık filtrat kaybı düşürme kimyasalıdır.

5.10.27. Gelton II

Petrol bazlı çamurlarda kullanılan viskozite artırma aracıdır.

5.10.28. Ironite sponge (H₂S scavanger)

H₂S kirlenmelerinde kullanılan sülfür iyonu ile reaksiyona giren bir kimyasaldır. Viskozitenin artmasına neden olur. Kullanılacağı ortamın pH'sının yüksek olması gerekmektedir.

5.10.29. Ferro sponge

H₂S kirlenmelerinde kullanılan sülfür iyonu ile reaksiyona giren bir kimyasaldır. Petrol çamurlarında da kullanılabilir.

5.10.30. İnce fiber selüloz

Kaçak yaşanan formasyonlarda, kaçak tapası hazırlamada kullanılan fiber selülozdur. Sisteme tedrici olarak da eklenebilir. Viskozite üzerinde artışa neden olamaz. 100 meş üzeri elek teli ile sistemden atılabilir. Uzun süre, karışım içinde beklerse şişebilir. Bakteri üremesine açıktır. Belirli bir oranda hazırlanan kimyasal %55-80 oranında asitte çözünmektedir.

5.10.31. İri fiber selüloz

Kaçak yaşanan formasyonlarda kullanılmak üzere kaçak tapası hazırlamada kullanılır. Belirli bir oranda hazırlanan kimyasal %80 oranında asitte çözünabilen kalın tipte bir tür selülozdur.

5.10.32. Spot sıvısı

Takım sıkışması gözlemlendiğinde, dizi ile çamur keki arasındaki tutunmayı en aza indirmek için; kuyu çeperi veya çamur keki ile dizi arasında yağlama yapacak, yapışkan çamur kekini bozacak bir sıvı olarak kullanılmaktadır. Petrol veya dizel ile kullanılan kimyasal, sistem çamur ağırlığında, sıkışan bölgeye basmak üzere tapa şeklinde hazırlanır. Viskoziteye etkisi yoktur. Su kaybını düşürücü etkisi vardır.

5.10.33 Penetrex

İlerleme hızının azaldığı noktalarda dizi ve matkap ucunu yağlayarak ilerleme hızının artmasını sağlama etkisi vardır.

Çizelge 5.16. Penetrex Etkisi ve Sonuçları

Katkı Maddesi	Müdahale Öncesi Ve Sonrası İlerleme Hızı	Sondaj Akışkanında Yaşanan Değişiklikler
Penetrex	3,1 m/hr – 5,5 m/hr	İlerleme hızının arttığı görülmüştür, dizi ve matkabı yağlamış olup, basınçları düşürdüğü ve torkun azaldığı görülmüştür.

5.11. Sondaj Çamur Sisteminde Problemlere Müdahale Teknikleri

Bu aşamada sistem çamurundan alınmış numune örneklerine ilişkin yapılan testler sonrası çıkan değerler ışığında sisteme sondaj kuyusundaki akışkan içeriğine müdahale yöntemleri tek tek ortaya koyulmuştur. Test değerlerinde belirleyici olan, 600 rpm, 300 rpm, 200 rpm, 100 rpm, 6 rpm ve 3 rpm okuma değerleri, 10 sn. ve 10 dk. jel değerleri, çamur ağırlığı, huni viskozite, plastik viskozite, yield point, sıvı kaybı, kek kalınlığı, kum miktarı, klor, pH, Pm, Pf, Mf, Ca ve KCl değerleri kuyu stabilitesi ve temizliği açısından en önemli parametreler olduğu belirlenmiştir.

Bazı kuyularda reolojik dalgalanmalar ve yüksek jel değerleri olduğu tespit edilmiştir. Bunun önemli sebeplerinden biri formasyon kayaklı kil içeriğinin artması veya kuyu sıcaklığına bağlı olarak CMC LV, PAC LV ve nişasta gibi sıvı kaybı kontrol malzemelerinin bozunması sebebiyle reolojide dalgalanmaya sebep olmaktadır. PV ve YP değerleri arasında açmakta olup 10 sn ve 10 dk jel değerlerinin yükselişini tetiklediği tespit edilmiştir. Bu durum sondaj parametrelerini etkilemekte olup, hidrostatik basınç artışlarına ve pompaların verimli çalışmamasına sebep olmaktadır. Bu bozunmalardan dolayı akışkanlığını kaybeden çamur özelliklerinin değişmesinden dolayı sondaj sıvısı görevlerini yerine getiremez hale gelmiştir. Çamur ağırlığının mevcut formasyon çatlama basınçları üzerine çıkması halinde, kuyuda tedrici ve tam kaçaklar meydana gelmekte olup, kuyuya basıldığı kadar çamur yüzey tanklarına geri dönememektedir. Bu da rezerv tanklarında hacim azalmalarına, yerine göre kuyu cidarının zarar görmesine ve kesintinin yeterli miktarda kuyudan dışarıya atılmamasına sebep olmuştur. Çamur ağırlığının formasyonun yıkılmaması için ihtiyacı olan minimum hidrostatik basıncı karşılayamaması durumunda da kuyuda yıkılmalara, takım sıkışmalarına ve zaman kayıplarına sebep olmaktadır. PV/YP değerlerinin düşüş ve yükselişleri de kuyu sağlığı açısından çok önemli parametrelerdir. Sondajda yapılan deneysel çalışmalar neticesinde YP değeri mümkün olduğunca 18'in altına düşürülmemeli 25'in de çok üstüne çıkarılmaması yönünde iyileştirmeler olduğu tespit edilmiştir. İdeal çalışma şartlarında YP değeri 18-25 aralığında bulunmalıdır. PV değeri kuyusuna göre değişiklik göstermekte olup, katı madde miktarının ve jel değerlerinin artışı ile olumsuz yönde etkilendiği saptanmıştır. Bu sebeple yüzey kontrol makinelerinin tam verimle çalışması ve bakımlarının zamanında yapılması elzemdir. Killi, kumlu ve siltli formasyonlarda yüzey ekipmanlarından olan decander ve mud cleaner'ın yerine göre sürekli çalışması şart olduğu belirlenmiştir. Bu sebeple sahada mühendis ve çamur teknisyeni olarak

çalışan personelin rutin yağ ve mekanik bakımlarını yaptırması ve ihtiyaç duyulmadan önce de sistem çamuru ile çalıştırılarak giriş çıkış çamur değerleri ölçülmelidir. Özellikle decander'ın katı atımı kontrol edilmeli ve verimli çalıştığı görüldükten sonra 30 dk suda çalıştırılarak ihtiyaç olana kadar kapalı tutulmalıdır. İhtiyaç halinde devreye verilen makinelerin uzun süreli çalıştırılması da sistemsel problemlere yol açabileceği için 2 günde bir olmak suretiyle 1 saat sudan geçirilip dinlendirilmesi ve tekrar devreye verilmesi verimi olumlu yönde etkileyeceği tespit edilmiştir. Sıvı kaybı değerinin artışı, kuyu cidarının kalınlaşmasına sebep olmakta olup, dizi üzerinde gerilmelerin artmasına, kil sarmasına ve takım sıkışmaları gibi durumlara karşı diziyi savunmasız bıraktığı tespit edilmiştir. Bunun için ihtiyaca, kuyu sıcaklık değerlerine ve çamur türüne göre nişasta, CMC LV ve PAC LV'nin kullanımı gerektiği saptanmıştır.

Çizelge 5.17. Formasyona Uygun Sondaj Akışkanı Seçimi

Formasyon Tipi	Seçilecek Akışkan Türü
Killi, Milli, Yıkılğan Formasyonda	KCL Polimer ve Petrol Bazlı Çamur
Sağlam ve Yıkılğan Olmayan Formasyonda	Lignosülfonat ve Tatlısu Polimer Çamuru
Yüzeysel Formasyonlarda (0-300) m	Spud Çamuru
Tam Kaçaklı Formasyonlarda	Tatlısu Polimer Çamuru ve Spud Çamuru
Tedrici Kaçaklı Yıkılğan Formasyonlarda 0-30 bbl/hr kaçak miktarı İçin	KCL Polimer ve Petrol Bazlı Çamur
Tedrici Kaçaklı Fakat Yıkılğan Olmayan Sağlam Formasyonlar İçin	Lignosülfonat ve Tatlısu Polimer Çamuru
Üretim Zonu İçin	Tatlısu Polimer ve Flopro Çamuru
Aktif Killi Yapışkan, Şişen ve Yıkılan Formasyonlarda	Glikol & KCL Çamuru

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan tez çalışmasında formasyona uygun akışkan seçimi ile formasyonun karakteristik yapısına özgü problemlere karşı çözümler üretilmiştir. Yapılan bu çalışmada her formasyonun karakteristik bir yapısının olduğu ve bu karakteristik yapıların farklı bölgelerde farklı özellikler gösterdiğini, bu gösterdiği özellikler neticesinde formasyona ait yaşanan kuyu stabilite problemlerinin aşılması adına en etkin reçete ile müdahaleler tanımlanmıştır. Hidrokarbon sondaj çalışmalarında formasyondan kaynaklı problemler ortaya konulmuştur.

Kuyu stabilite, formasyon basıncı ve hidrostatik basınç dengesi gibi prosesler ele alınmıştır. Kuyu stabilite ve formasyon basıncı için sondaj sıvısının viskozite, yoğunluk, jel değerleri, sıvı kaybı, kil içeriği ve tuzluluğu gibi değerler arazide sondaj esnasında değerlendirmesi yapılarak sondaj verimliliği ortaya koyulmuştur.

Sondaj sırasında meydana gelen problemler neticesinde müdahale reçeteleri yerinde uygulanmaya çalışılmıştır. Uygulanan müdahalenin etkili olması için verilen kimyasalların yavaş verilmesi önemli yer tutmaktadır. Sert müdahaleler değerlerde dalgalanma meydana getireceği için kalıcı çözüm olmanın dışında kimyasal sarfiyatını da artırdığı saptanmıştır. Uygulayarak başarılı olunan bu sistemler teorik olarak kurulan programlamaların yanlışlığını ortaya koymakta ve kuyularda stabilite problemlerine yönelik çözümler ile farkını açıkça göstermektedir.

Çamur ağırlığının mevcut formasyon çatlama basınçları üzerine çıkması halinde, kuyuda tedrici ve tam kaçaklar meydana gelmekte olup, kuyuya basıldığı kadar çamur yüzey tanklarına geri dönememektedir. Bu da rezerv tanklarında hacim azalmalarına, formasyon stabilite durumuna göre kuyu cidarının zarar görmesine ve kesintinin yeterli miktarda kuyudan dışarıya atılmamasına sebep olduğu saptanmıştır.

MBT değerinin artması formasyonda yoğun olarak kesilen kil miktarının artışıyla doğru orantılıdır. Kil miktarının yoğun artışı, sıvı kaybının artmasına, kek kalınlığının olağan halinden kalın olmasına, çamurda istenilen dışında viskozite artışına, viskozite artışına bağlı olarak jel ve okuma değerlerinin artmasına, hidrostatik basınçların artmasına, pompa ve jeneratörlerin de ekstra performans harcamasına sebep olmaktadır. MBT değerinin çok

artmaması için aktif killerin olduğu bilenen formasyonda kullanılan bentonit oranı lignosülfonat çamurlarında düşürülerek önlem alınmıştır.

Birbirinden farklı kuyularda yapılan bu testler esnasında sıvı kaybı için çamur tipine göre sıvı kaybı malzemesi olarak maliyet dengeleri de baz alınarak seçim yapılmıştır. Lignosülfonat çamurlarında Karboksi Metil Celüloz (CMC LV), Potasyum Klorür (KCL) çamurlarında nişasta ve Poli Anyonik Celüloz (PAC LV) kullanımı uygun görülmüştür. Reolojiyi destek anlamında Xandan (Xcd) ve flo-vis plus gibi kimyasallar verilerek sonuçlar elde edilmiştir. Ağırlık kontrolü bağlamında, üretim zonu dışında barit ve CaCO₃ (ince) kullanılırken, üretim zonlarında kirlenmelere karşı sadece CaCO₃ (ince) kullanılmıştır. Viskozite değeri için Lignosülfonat çamurlarında Crom free lignosülfonat (CFL) verilerek viskozite daha kontrol edilebilir pozisyona çekilmiştir.

Viskozite değeri 73 sn/qt'den 51 sn/qt değerine indirgenmiş, çamur ağırlığı formasyon stabilite problemine karşın 71 ppcf'den 72 ppcf değerine çıkarılarak kuyuda meydana gelen yıkılmaların önüne geçilebilmiştir.

Formasyon çatlama basıncına göre çamur ağırlığı tedrici kaçak ve tam kaçaklara sebebiyet vermemek amacıyla 86 ppcf'den 85,5 ppcf değerine düşürülmüştür. Sondaj çamuru içerisinde tespit edilen kil oranı artışına yönelik 15 lb/bbl olan kil miktarı 11,25 lb/bbl'e düşürülmesi esnasında sisteme taze çamur verilip, decanderin (kil ayırıcı) faal olarak çalıştırılması ile elde edilmiştir. Sıvı kaybı değeri 7,1 cc/30 dk'dan 3,9 cc/30 dk değerine indirgenerek formasyonun şişerek diziyi eksenel streslere maruz bırakması engellenmiştir.

Kuyularda erime, düşeyden sapma, kuyu genişlemesi, yıkıntı oluşumu, bloklama, hidrostatik basınçların aşılması sebebiyle kaçak oluşumu, kil yapışması, şişmesi ve matkap sarması, kalın çamur keki oluşumu ve kırıntı çökmesi gibi sondaj problemlerinin önüne geçilmiştir.

Kuyuları başarılı bir şekilde kazarken sondaj akışkanı ve diğer maliyetleri optimum başarıya ulaştıracak minimum maliyet değer aralığı gözetilmelidir. Formasyonun isteğine yönelik çözümlenmeler üretilmelidir. Öncelikli olarak kullanılan kimyasalların işlevlerini iyi kavramak ve tepkimelerin bize getiri ve götürülerini iyi tespit etmek gereklidir.

Sondaj akışkanının karakteristik yapısı ısı, sıcaklık, basınç ile doğru orantılı değiştiği için formasyonları tek düze bir kalıba sığdırmak doğru bir seçenek olmayacaktır. Sondaj sektöründe kullanılan kimyasallar maliyetli olduğu için mevcut işin detaylı takip edilmesi firmalara zaman ve maliyet bakımından kazanımlar sağlayacağı tespit edilmiştir.

Fazla sodyum bikarbonat kullanımı, bikarbonat kirlenmesine de yol açmakta olup dikkatle kullanılmalıdır. Ağırlık ve katı madde miktarının kontrolünde seçilen eleklerin mesh büyüklükleri, mud cleaner konularının verimli çalışması, decanderin aktif olarak kullanılması önemli bir yer tuttuğu tespit edilmiştir.

Genellikle delinecek büyük çaplı kuyular için verimli kuyu temizliğini desteklemek amacıyla yüksek YP'de çalışılması gerektiği tespit edilmiştir. Muhafaza borusu inilmemiş çıplak kuyularda genellikle YP'nin 18-25 bandında tutulması kuyu sağlığı için önemli değer aralığı olarak alınması belirtilmiştir.

KCL çamurlarında potasyum değeri azaldıkça sıvı kaybı değerinde artış meydana geldiği ve potasyumun ise sıvı kaybını azalttığı tespit edilmiştir. Bu tespitler neticesinde aktif kil içeriğinin yüksek olduğu formasyonlarda KCl oranı %7-9 aralığında tutulmalıdır. MBT değerinin istenilenin dışında olması durumunda formasyon sondajında kullanılan rezerv çamurdaki bentonit oranı lignosülfonat çamurlarında düşürülerek önlem alınmalıdır.

pH değerinin 9-10,5 değer aralığının altında veya üstünde olması durumunda polimerler aktif olarak çalışmamakta olup, istenilen sıvı kaybı ve reoloji değerlerinin yakalanamaması durumuna yol açacaktır. Bu sebeple belirtilen optimum değerler gözetilerek çalışmaların yapılması önerilmiştir.

KAYNAKLAR

- Aadnoy, B.S., Miska, S.Z., and Mitchell, R.F. (2012). Sondaj mühendisliğinin temelleri. *Richardson Teksas Petrol Mühendisleri Derneği Dergisi*, 27-33.
- Abughaban, F., Alali, A.M., ve Aman, B.M. (2020). Hybrid data driven drilling and rate of penetration optimization. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 12-14.
- Acar, İ., Doğan, E., Ak, A.Ö., Urhan, F. (2020). İki farklı polimerin sondaj çamuru özellikleri üzerine etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 482-484.
- Akar, A. (2020). Sondajlarda Kullanılan Matkaplar. *MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni*, 174-175.
- Akkoca, D.B., Çevik, U., Damla, N. ve Işık, U. (2014). Mineralogical, geochemical and radiological characterisation of Selmo Formation in Batman area. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 308-312.
- Altan, Y. ve Gümüş, Ö. (1995). Petrolün Tarihçesi ve Türkiye’de Açılan Petrol Kuyuları. *Petrol İşleri Genel Müdürlüğü Yayını*, 171-178.
- Altınlı, İ. E. (1966). Doğu ve Güneydoğu Anadolu'nun jeolojisi. *M.T.A. Dergi*, 1617-1622.
- Aydın, M.G. (2020). Pomza, kuvarsit ve diatomitten üretilen amorf silikanın sondaj çamuruna etkisi. *İskenderun Teknik Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi*, 69-75.
- Aydın O., Gözel, M.E., Kor, K., Merey, Ş., Özgür, E., Öztürk, M.T., Tugan, M.F., Yardımcı, H., Yüce., U. (2020). 21. Yüzyılda Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği. *Gazi Kitabevi*, 344-345.
- Bacak, G., Esenli, V., Manav, H., Uz, B. ve Yavuz, O. (2001). Sert mermer grubuna bir örnek Karacadağ (Diyarbakır) Bazaltlarının incelenmesi. *Türkiye 3. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 52-55.
- Balkaya, T.A. (2019). Sondaj El Kitabı. *Petrol Mühendisleri Odası Yayını*, 93-95.
- Balkaya, A.T., Deniz, S., Dinmez, A.B., Erşahin A., Gül, S., Heke, E., İlgen E., Uygur , Ö. ve Yaşar, M. (2019). Sondaj çamurunun özellikleri. *PMO Yayınları*, 92-95.
- Bianchini, G. ve Wilson, M. (1999). Tertiary–Quaternary magmatism within the Mediterranean and surrounding regions. *Geological Society of London, Special Publications*, 163-168.
- Bolgi, T. ve Kıratoğlu, E. (1961). AR/TPAO/674 nolu sahanın jeolojik raporu. *TPAO Ankara Arama Grubu Raporu*, 11-13.
- Büyüköz, H. (2004). Petrol sondajlarında çamur. *Çukurova Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi*, 67-73.

- Çemen, İ., Perinçek, D., Ediger, V. ve Akça, L. (1990). Güneydoğu Anadolu'daki Bozova doğrultu atımlı fayı üzerindeki ilk hareket ters faylanma olan faylara bir örnek. *Türkiye 8. Petrol Kongresi Jeoloji Bildirileri*, 169-179.
- Caenn, R. (2011). Sondaj ve tamamlama akışkanlarının bileşimi ve özellikleri. *Körfez Profesyonel Yayıncılık*, 18-19.
- Caenn, R. (2011). Sondaj çamurunun pH'ındaki düşüşün nedeni. *Körfez Profesyonel Yayıncılık*, 21-23.
- Cortesini, A. ve Righi, M. (1964). Gravity tectonics in foothill structure belt of Southeast Turkey. *Associated Petroleum Geology*, 135-137.
- Dinçer, A., Güven, A., Tuna, M.E., Tezcan Ü.Ş. ve Çoruh T. (1988). Güneydoğu Anadolu'da Mardin ve Midyat Grupları arasında yer alan birimlerin stratigrafisi. *TPAO Ankara Arama Grubu*, 151-154.
- Duran, O. Ve Yılmaz, E. (1997). Güneydoğu Anadolu Bölgesi otokton ve allokton birimlerin stratigrafi adlama sözlüğü "Lexicon". *TPAO Ankara Araştırma Merkezi Grubu Başkanlığı Eğitim Yayınları*, 44-46.
- Erdoğan, Y., Kök, E. ve Tanrıverdi, İ. (2017). Çanakkale Tuzla Jeotermal Sondaj Sahası Çamur Maliyetinin Araştırılması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18-20.
- Ericson, M. (1939). Diyarbakır-Siirt Arasının Jeolojisi. *MTA Rapor*, 871-873.
- Ettehadı, A. (2021). An experimental study on structural and thermal stability of water-based drilling fluids. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 77-80.
- Ettehadı, A. (2016). Sondaj kuyusu hidroliğinin sepiyolit çamuru ısıl reolojik özellikleriyle modellenmesi. *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, 81-82.
- Görgün, S. (2013). TPAO Genel Müdürlüğü'nce 2008-2010 Yılları Arasında Açılmış Olan Kuyuların Etkinlik ve Verimlilik Analizi. *Gazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi*, 116-119.
- Güllü, A., Özdemir, A., Yaşar, E. and Palabiyik, Y. (2021). Drilling Engineering Assessment and Cost Analysis of Oil and Gas Wells Drilled in Onshore of Turkey. *International Journal of Earth Sciences Knowledge and Applications*, 241-243.
- Güllü, A., Özdemir, A., ve Yaşar, E. (2021). Türkiye'deki Petrol ve Doğalgaz Kuyularının Optimizasyonu. *IMAEC 2. Uluslararası Matematik, Mimarlık ve Mühendislik Kongresi*, 30-32.
- Güllü, A. (2019). Su Sondaj Kuyusu Fizibilite Raporu. *İskenderun Teknik Üniversitesi, Lisans Bitirme Tezi*, 59-61.

- Güngör Yeşilova, P. ve Helvacı, C. (2013). Germik Formasyonu Oligosen Evaporitlerinin (Kurtalan, GB Siirt) Diyajenezi ve Paleocoğrafik Gelişimi. *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni*, 11-12.
- Gözler, M.Z. (2014). Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinin Maden, Su ve Enerji Kaynakları. *21. Yüzyıl Türkiye Enstitüsü*, 20-23.
- Jiang, G., Liu, T., Sun, H., Sun, J., Zhang, P., Zheng, M. ve Wang, R. (2016). A new low-cost drilling fluid for drilling in natural gas hydrate-bearing sediments. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 31-34.
- J. Kaiser, (2009). Modeling the time and cost to drill an offshore well. *Energy Systems*, 38.
- Kalkan, Ö. A. (2014). Batman Bazaltlarının Petrojenezi. *Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, 55-56.
- Karadoğan, S. ve Yıldırım, A. (2011). Raman Dağları güneyinde (Dicle Vadisi) morfometrik ve morfotektonik analizler. *Dicle Üniversitesi Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi Dergisi*, 163-166.
- Kartal, M. ve Yaşar, E. (2021). Petrol ve Doğalgaz Sondajlarında Formasyona Uygun Sondaj Akışkanı Seçimi. *Avrasya 3. Uygulamalı Bilimler Kongresi (Morroco/Casablanca)*, 15-17.
- Lukawski, Z., Anderson, J., Augustine., E., Capuano Jr., Beckers, F., Livesay., Tester, W. (2014). Cost analysis of oil, gas and geotermal well drilling. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 114-118.
- Merey, S. (2017). Karadeniz gaz hidratlarının analiz edilmesi. *Orta Doğu Teknik Üniversitesi Doktora Tezi*, 162-165.
- Nwaiche, J. (2015). Selection and application of drilling fluids. *Teesside Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi*, 47-51.
- Özcan, E. ve Özdemir, A. (2007). Bentonitin sondaj mühendisliği özellikleri. *Jeofizik Bülteni*, 5-6.
- Özdemir, A. (2019). Sondaj akışkanı ile düzeltilebilecek kuyu problemleri. *Ankara Üniversitesi Ana Sondaj Problemleri Makalesi*, 13-14.
- Özdemir, A. (2009). Ülkemiz su sondaj sektörünün sayısal analizi. *Maden Mühendisleri Odası 4.Sondaj Sempozyumu, Bildiriler Kitabı*, 133-138.
- Perry, L.J. ve Temple, P.G. (1962). Geology and Oil Occurrence. *Southeast Turkey, Am. Ass. Petrol. Geol., Bull.*, 1610-1612.
- Philips, A. (2012). So you want to be mud engineer. Sondaj akışkanları teknolojisine giriş. *Create Space Bağımsız Yayıncılık Platformu*, 30-33.

- Philips, A. (2012). Katı madde kontrolü. *Create Space Bağımsız Yayıncılık Platformu*, 42-45.
- Polat, C. (1994). Ergani-Çermik-Çüngüş (Diyarbakır) arasındaki bölgenin jeolojik özellikleri. *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, 113-116.
- Sünkür, M. ve Tonbul, S. (2008). Batman Şehrinde Yer Seçiminin Jeomorfolojik Özellikler ve Doğal Risk Açısından Değerlendirilmesi. *Ulusal Jeomorfoloji Sempozyumu*, 111-114.
- Teymour, N. (2010). Sondaj çamuru sirkülasyon sistemi. *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, 73-77.
- Turutoğlu, S.İ. (2015). Sondaj çamuru uygulamaları için kil polimer etkileşimlerinin belirlenmesi. *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, 55-58.
- Türk Standardı 13500, (2006). Petrol ve doğalgaz sanayii sondaj çamuru maddeleri özellikleri ve deneyler. *Ankara TSE*, 21-22.
- Zabun, L. (2013). Sondaj Matkapları. *Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Sondaj Uygulamaları, Paylaşım ve Değerlendirme Toplantısı*, 13-15.

DİZİN

A

Abstract · 25, 66, 68
Alt Bölümler · 10
APA · 35, 45
Araştırma · 30
Arial · 6

B

Bakınız · 23
Baskı · 36, 42
başlık · 10, 15, 20, 29, 31, 34, 40,
47
bölüm · 6, 31, 47

C

CD · 3
Cilt · 8

Ç

çizelge · 4, 19, 20, 21, 23, 25, 28,
47, 81
Çizelge · 9, 27, 70, 71, 72, 73, 74,
75, 76, 77

D

Dipnot · 18
Dizin · 50
Doğrudan aktarma · 15
Dolaylı aktarma · 16

E

EKLER · 6, 20, 47, 49, 51, 69
Eşitlik · 20, 21
Etik · 9, 25

F

Format · 4, 5
formül · 20, 25

G

Giriş · 2, 4, 5, 9, 29, 31, 80
Görüntü · 4
Grafik · 4, 20, 25

H

Harita · 9
Haritalar · 27

İ

İlk kontrol · 3
indis · 6
İspat · 11

K

Kabul ve Onay · 25
Kaynak · 11
Kenar Boşlukları · 7
Key Words · 25, 65, 66
Kılavuz · 1

L

Lemma · 11
literatür · 11, 14, 29

N

Numaralandırılma · 9, 11, 20

O

Onay · 2, 9
Ondalık Sayılar · 19

Ö

Özet · 10, 25, 64, 68
Özgeçmiş · 10, 49, 69, 76

P

patent · 5
pdf · 1, 3, 4
program · 4, 47
punto · 6, 9, 10, 18, 24, 25, 26

R

Referans · 5, 18
resim · 2, 4, 20, 21, 28, 47
Resimle · 27
Resimlemelerin Açıklamaları · 21

S

savunma · 1
sembol · 25, 40
simge · 6, 25, 28
Simgeler ve kısaltmalar · 28, 75
Simgeler ve Kısaltmalar · 9, 19
Sonuç ve öneriler · 31

Ş

şekil · 4, 20, 21, 23, 25, 28, 47
Şekil · 27, 68, 71
Şekille · 9, 27

T

Tanım · 11, 19
Teşekkür · 9, 10, 26, 67, 68, 70,
71, 73, 74
Tetikik · 75
Times New Roman · 6

U

Unvan · 34

Y

yazar · 13, 14, 15, 16, 34, 38, 42



TEKNOVERSITE



teknoversite

İSTE

