



**T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
PETROL VE DOĞALGAZ ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KALSİYUM KİRLENMESİNİN LİGNOSÜLFONAT, KİREÇ VE
POTASYUM KLORÜR ÇAMURLARIN ÜZERİNE ETKİSİ**

Yasin OYGEN

**Nisan-2024
BATMAN**

**T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
PETROL VE DOĞALGAZ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KALSİYUM KİRLENMESİNİN LİGNOSÜLFONAT, KİREÇ VE
POTASYUM KLORÜR ÇAMURLARIN ÜZERİNE ETKİSİ**

Yasin OYGEN

**Danışman
Doç. Dr. Şükrü MEREY**

**Nisan-2024
BATMAN**

TEZ KABUL VE ONAYI

Yasin OYGEN tarafından hazırlanan “KALSİYUM KİRLENMESİNİN LİGNOSÜLFONAT, KİREÇ VE POTASYUM Klorür ÇAMURLARI ÜZERİNE ETKİSİ” adlı tez çalışması 26/04/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Hasan TOĞRUL

Danışman

Doç. Dr. Şükrü MEREY

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Betül YILDIRIM

İmza

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Ömer Murat ÖTER
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Yasin OYGEN

26/04/2024

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KALSİYUM KİRLENMESİNİN LİGNOSÜLFONAT, KİREÇ VE POTASYUM KLORÜR ÇAMURLARI ÜZERİNE ETKİSİ

YASİN OYGEN

**Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Şükrü MEREY

2024, 92 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Hasan TOĞRUL

Doç. Dr. Şükrü MEREY

Dr. Öğr. Üyesi Betül YILDIRIM

Türkiye’de üretilen petrolün büyük bir kısmı Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nden çıkarılmaktadır. Bu bölgede petrol üretiminde önemli bir yere sahip olan Batman ve Diyarbakır çevresinde yapılan sondajlarda, formasyon kaynaklı problemler yaşanmakta, bu da sondaj maliyetlerinin artmasına ve zaman kaybına sebep olmaktadır. Yaşanan bu problemlerin başında kuyu stabilitesi, kil ve kalsiyumun sondaj çamuruna bulaşması gelmektedir.

Bu tez çalışmasında Batman ve Diyarbakır bölgelerinde yer alan A bölgesinde A-1, A-2 ve A-3 kuyularında, B bölgesinde ise B-1 kuyusunda deneysel olarak incelemeler yapılmıştır. Yapılan incelemelerde formasyon kaynaklı kuyu stabilite sorunları, kalsiyum ve kil bulaşması gözlemlenmiş ve gerçek kuyu verilerine dayanan sondaj çamuru deney testleri yapılarak formasyon kaynaklı sondaj çamurundaki değişimler ele alınmıştır. A-1 ve B-1 kuyularında jips ve anhidrit içeren formasyonların sondajı lignosülfonat çamuru ile yapılmış, bu sırada sistem çamurunda yoğun kalsiyum bulaşması meydana gelmiş ve bu bulaşma nedeniyle sondaj operasyonlarında problemler oluşmuştur. A-2 kuyusunda Kayaköy formasyonuna ait jips ve anhidrit, Kastel ve Karadut formasyonlarında ise şeyl ve marn formasyonlarının sondajı KCl/Polimer çamuru ile yapılmış, sondaj çamuru üzerinde gerçekleştirilen deneyler gözlemlenerek çamurdaki değişimler ve sondaj operasyonlarında ortaya çıkan sorunlar incelenmiştir. A-3 kuyusunda ise aynı formasyonlara ait kayaçların sondajı yapılmış, bu kuyunun sondajında kuyudan gaz gelme ihtimali, kalsiyum bulaşması ve karbonat-bikarbonat kirliliğine karşı kireç çamuru kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda kalsiyum kaynaklı ortaya çıkan sorunlar, sondaj çamurunun özellikleri iyileştirilerek giderilmeye çalışılmış ve değerlendirmeler yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: anhidrit, çamur, jips, kalsiyum, marn, petrol, sondaj, şeyl

ABSTRACT

MS THESIS

EFFECT OF CALCIUM CONTAMINATION ON LIGNOSULPHONATE, LIME AND POTASSIUM CHLORIDE MUDS

Yasin OYGEN

**Batman University Graduate Education Institute
Petroleum and Natural Gas Engineering Department of Science**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Şükrü MEREY

2024, 92 Pages

Jury

**Prof. Dr. Hasan TOĞRUL
Assoc. Prof. Dr. Şükrü MEREY
Asst. Prof. Dr. Betül YILDIRIM**

A significant portion of the oil produced in Türkiye is extracted from the Southeastern Anatolia Region. In the drilling operations conducted around Batman and Diyarbakır, which are key areas for oil production in this region, formation-related problems are encountered, leading to increased drilling costs and time loss. The primary issues among these problems are the wellbore stability and the contamination of drilling mud with clay and calcium.

In this thesis study, experimental investigations were conducted in wells A-1, A-2, and A-3 located in region A, and well B-1 located in region B, both in the Batman and Diyarbakır areas. The investigations observed formation-related well stability issues and contamination of drilling mud with calcium and clay. Drilling mud test experiments based on actual well data were conducted to address the changes in formation-related drilling mud. In wells A-1 and B-1, the drilling of formations containing gypsum and anhydrite was carried out using lignosulfonate mud, during which heavy calcium contamination occurred in the system mud, causing problems in the drilling operations. In well A-2, the drilling of gypsum and anhydrite in the Kayaköy formation, and shale and marl formations in the Kastel and Karadut formations, was done using KCl/Polymer mud. Experiments conducted on the drilling mud observed changes in the mud and examined the issues arising in the drilling operations. In well A-3, the drilling of rocks belonging to the same formations was performed, and lime mud was used in this well to counteract the possibility of gas influx, calcium contamination, and carbonate-bicarbonate pollution. The experiments aimed to mitigate calcium-related issues by improving the properties of the drilling mud, and evaluations were made based on these efforts.

Keywords: anhydrite, calcium, drilling, gypsum, marl, mud, oil, shale

ÖNSÖZ

Tez çalışması boyunca destekleri için Danışman hocam Doç. Dr. Şükrü Merey'e sonsuz saygı ve teşekkürü bir borç bilirim.

Bu tezin geliştirilmesinde katkı sunan jüri üyeleri Prof.Dr.Hasan TOĞRUL ve Dr. Öğr. Üyesi Betül YILDIRIM'a saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Dr.Öğr.Üyesi Derya KOCA ve Arş.Gör.Şafak ÖZSARAÇ'a destekleri için çok teşekkür ederim.

Tez çalışmam sırasında sondaj akışkanları deney ekipmanlarını kullanmama olanak sağlayan Bordrill Sondaj Şirketi'ne ve öneri ile görüşlerini esirgemeyen çalışanlarına destekleri için teşekkür ederim.

Yüksek lisans tez çalışmam süresince ve tüm hayatım boyunca maddi manevi desteklerini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkür ederim.

Yasin OYGEN
BATMAN-2024

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. SONDAJ ÇAMURU	4
2.1. Sondaj Çamurunun Görevleri	5
2.1.1. Formasyon basınçlarının kontrolü	5
2.1.2. Kuyu tabanının temizliği	6
2.1.3. Sondaj dizisi ve matkabi soğutmak	6
2.1.4. Kuyuyu kesinti ve yıkıntılardan temizleme	6
2.1.5. Sondaj olmadığı durumlarda kesintileri askıda tutma	7
2.1.6. Hidrolik gücü matkaba aktarma.....	7
2.1.7. Sondaj dizisini ve koruma borusunu askıda tutma	7
2.2. Sondaj Çamurunun Özellikleri	7
2.2.1. Çamur ağırlığı	7
2.2.2. Sıvı kaybı	8
2.2.3. Sondaj çamuru reolojik özellikleri.....	8
2.2.4. Huni viskozite	9
2.2.5. Plastik viskozite	10
2.2.6. Akma noktası	10
2.2.7. Jel mukavemeti	10
2.2.8. Kum Oranı	11
2.2.9. Metilen mavisi kapasitesi.....	11
2.2.10. pH değeri.....	12
2.2.11. Fenolfitalin ve metil oranj alkalinitesi	12
2.2.12. Klor içeriği.....	12
2.2.13. Kalsiyum içeriği.....	13
2.2.14. Katı madde içeriği.....	13
2.3. Sondaj Çamurunun Türleri	13
2.3.1. Spud çamuru	15
2.3.2. Lignosülfonat çamuru	15
2.3.3. Potasyum klorür çamuru.....	16
2.3.4. Kireç çamuru.....	17
2.3.4. Polimer çamuru.....	18
2.4. Sondaj Çamuru Katkı Malzemeleri	20
2.4.1. Bentonit.....	20
2.4.2. Düşük viskoziteli karboksilmetil selüloz (cmc-lv)	20

2.4.3. Polianyonik selüloz (pac-lv)	21
2.4.4. Modifiye nişasta.....	21
2.4.5. Ksantan sakızı (xcd).....	21
2.4.6. Kromsuz lignosülfonat (cfl).....	21
2.4.7. Kostik.....	22
2.4.8. Sodyum karbonat (soda külü).....	22
2.4.9. Sodyum bikarbonat	22
2.4.10. Sitrik asit	22
2.4.11. Potasyum klorür (kcl)	23
2.4.12. Lubrikantlar	23
2.4.13. Barit	23
2.4.14. Kalsiyum karbonat	23
2.4.15. Kısmen hidrolize edilmiş poliakrilamitler (phpa).....	23
2.4.16. Glikol	24
3. KİL KİMYASI	25
4. KALSİYUM KİRLENMESİ	29
4.1. Jips ve Anhidrit Kaynaklı Kirlenme	29
4.2. Çimento Kaynaklı Kirlenme	30
4.3. Karbonat ve Bikarbonat Kaynaklı Kirlenme	30
4.4. Kalsiyum Kirlenmesi ile İlgili Literatür Taraması	31
5. ÇALIŞMA ALANININ GENEL JEOLJİK ÖZELLİKLERİ.....	35
5.1. Çalışma Alanındaki Formasyonlar ve Özellikleri	37
5.1.1. Şelmo formasyonu	37
5.1.2. Hoya formasyonu.....	38
5.1.3. Gercüş formasyonu	38
5.1.4. Kayaköy formasyonu	38
5.1.5. Kastel formasyonu	39
5.1.6. Karadut formasyonu	39
5.1.7. Germav formasyonu	40
5.1.8. Germik formasyonu	40
5.1.9. Sayındere, Derdere ve Garzan formasyonları.....	40
5.2. A Bölgesinin Jeolojik Formasyonları ve Sondaj Problemleri	41
5.2. B Bölgesinin Jeolojik Formasyonları ve Sondaj Problemleri.....	44
6. MATERYAL VE YÖNTEM.....	46
6.1. Sondaj Çamuru Deneylerinin Malzemeleri ve Yapılışı.....	46
6.1.1. Çamur ağırlığı deneyi	46
6.1.2. Huni viskozite deneyi	47
6.1.3. Sıvı kaybı (filter press) deneyi.....	48
6.1.4. Reoloji Deneyleri.....	49
6.1.5. Kum miktarı deneyi	50
6.1.6. Çamurun fenolfitalein alkalinitesi deneyi.....	51
6.1.7. Filtranın fenolfitalein ve metil oranj alkalinitesi deneyleri	52
6.1.8. Klor miktarı deneyi.....	53
6.1.9. Kalsiyum sertliği deneyi	54

6.1.10. Metilen mavi testi (mbt)	55
6.1.11. Ph ölçümü	56
7. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	57
7.1. A-1 Kuyusu Sondaj Çamuru Deney Verileri ve Yapılan Analizler.....	57
7.2. A-2 Kuyusu Sondaj Çamuru Deney Verileri ve Yapılan Analizler.....	65
7.3. A-3 Kuyusu Sondaj Çamuru Deney Verileri ve Yapılan Analizler.....	71
7.4. B-1 Kuyusu Sondaj Çamuru Deney Verileri ve Yapılan Analizler.....	75
8. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	80
9. KAYNAKLAR	83
10. EKLER	89



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

AV	Görünür viskozite, cp
BaSO ₄	Baryum Sülfat-Barit
Ca	Kalsiyum
CaCl ₂	Kalsiyum klorür
CaCO ₃	Kalsiyum karbonat
CaSO ₄	Kalsiyum sülfat
CaO	Kalsiyum oksit
Cl	Klor
CO ₂	Karbondioksit
H ₂ S	Hidrojen Sülfür
K	Potasyum
KCl	Potasyum klorür
M _f	Filtratın fenolfitaleni
Mg	Magnezyum
Na	Sodyum
NaCl	Sodyum klorür
NaHCO ₃	Sodyum bikarbonat
NaOH	Kostik-sodyum hidroksit
ρ_m	Çamur ağırlığı ya da yoğunluğu, lb/gal (ppg)
P _f	Filtratın fenolfitaleni
P _m	Çamurun fenolfitaleni
P _{for}	Formasyon basıncı, psia
P _{ff}	Çatlatma basıncı, psia
P _{hyd}	Çamurun uyguladığı hidrostatik basınç, psia
PV	Plastik viskozite, cp
YP	Kopma noktası, lb/100ft ²
τ	Kayma gerilmesi
γ	Kayma gerinme hızı

Kısaltmalar

bb	Big bag- 1 veya 1,5 tonluk torba
bbl	Varil
dk	Dakika
drum	1 bidon
CFL	Kromsuz lignosülfonat
CMC LV	Düşük viskoziteli karboksilmetil selüloz
CMC HV	Yüksek viskoziteli karboksilmetil selüloz
gr	Gram
gpm	Galon/dakika
lb	Pound
MBT	Metilen mavi kapasitesi
PAC LV	Düşük viskoziteli polianyonik selüloz
PAC R	Yüksek viskoziteli polianyonik selüloz

ppb	lb/bbl
PHPA	Kısmen hidrolize edilmiş poliakrilamidler
ppcf	Pound/ft ³
ppg	Pound/galon
PV	Plastik viskozite
Q _{çamur}	Çamur sirkülasyon debisi
rpm	Dakikadaki tur sayısı
SG	Specific gravity- Özgöl ağırlık
sn	Saniye
OBM	Oil based mud-petrol bazlı çamur
vb	Ve benzeri
vd	Ve diğerleri
XCD	Ksantan sakızı
YP	Yield point-akma noktası



1. GİRİŞ

Günümüzde enerji kaynaklarına olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Enerji kaynaklarının başını çeken petrol, doğalgaz ve jeotermal kaynaklara erişmek için sondaj yapılmakta ve sondajı yapılan kuyulardan üretilen ürünler sanayi, ulaşım, fabrika vb. gibi alanlarda kullanılarak ülkelerin gelişmişlik düzeylerine büyük katkıda bulunmaktadır. Bu enerji kaynaklarının üretimi için yapılan operasyonlar büyük maliyetler gerektirmektedir. Sondaj için önemli görevlere sahip olan ve temel içeriği bentonit ve sudan oluştuğu için sondaj çamuru ismini alan sondaj akışkanı ya da çamuru, sondaj maliyetleri incelendiğinde yaklaşık sondaj maliyetinin %10-20 kadarını oluşturmaktadır. Dolayısıyla sondaj akışkanlarındaki maliyet azalmaları doğrudan sondaj maliyetlerini etkilemektedir (Tanrıverdi, 2018).

Eski zamanlara dayanan sondaj işlemleri ilkel yöntemlerle yapılmaktaydı, sondaj akışkanı olarak ise su kullanılıyordu. 1880'lerde sondaj mühendisleri sirkülasyon sıvısı olarak çamurun değerinin farkına vardılar. 1887'de M.T. Chapman plastik bir malzemeye ve bol suyla sondaj yapılırken kuyuda koruma borusu (casing) olmadığında sondaj kuyusunun cidarının korunması açısından önemli olan geçirimsiz bir ince filtre keki oluştuğunu söylemiştir. 1889'da B. Andrews aynı konudan söz etmiş ve L. Buckingham'ın aldığı bir patentle sondajlarda sirkülasyon sıvısı olarak su yerine çamur kullanımı belgelenmiştir. Buckingham, petrol bazlı çamurun kullanılabilirliğinden de söz etmiştir. Bunlar modern çamur mühendisliğinin başlangıcı olmuştur. Önce yalnız bir fonksiyonu olan sıvı (su) düşünülmüştür. Daha sonraları, formasyonlarda karşılaşılan çatlaklardan dolayı sirkülasyon kaybını önlemek amacıyla suya kil, kepek, çimento, hububat unu vb. maddelerin katılması gündeme gelmiştir (Özüdoğru ve Babür, 2001).

Sondaj operasyonlarında önemli bir yere sahip olan sondaj çamuru çeşitli katkı malzemeleri kullanılarak zamandan ve maliyetten tasarruf edilmektedir. Bu katkı malzemelerinin farklı amaç ve işlevleri bulunmaktadır. Reoloji ve sıvı kaybı için bentonit, alkalinite kontrolü için kostik (sodyum hidroksit-NaOH), sıvı kaybı kontrolü için CMC LV-HV (karboksilmetil selüloz) ve PAC LV/R (polianyonik selüloz), kil inhibisyonu için KCl (potasyum klorür) ve NaCl (sodyum klorür), inceltici olarak CFL (kromsuz lignosülfonat), viskozite yapıcı ksantan sakızı (XCD), çamuru yoğunluğu arttırmak için barit (baryum sülfat-BaSO₄) vb. katkı malzemeleri kullanılmaktadır (Orhan, 2024). Bu katkı malzemeleri arasında birçok önemli göreve sahip olan bentonit,

su içerisinde hidrate olarak sondaj çamuruna yoğunluk sağlayarak oluşturduğu hidrostatik basınç ile formasyon basınçlarını dengeler. Sondaj akışkanlarının diğer önemli görevleri ise sondaj esnasında matkap kesintilerini yüzeye taşımak ve kuyu cidarında oluşturduğu çamur keki sayesinde açık kuyunun güvenliğini sağlamaktır (İmir, 2019).

Kullanılacak sondaj akışkanı, belirtilen görevleri yerine getirebilmesinin yanında kolay uygulanabilir, ekonomik ve çevre dostu olmalıdır. Genel olarak iyi bir sondaj akışkanının basit ve az sayıda katkı maddesi içermesi istenir. Böylece bakımı ve takip edilen parametrelerin kontrolü daha rahat yapılır. Hidrokarbon rezervlerinin arama maliyeti açık denizlerde, derin sularda ve sondajı zorlu formasyonlarda daha da artmaktadır. Dolayısıyla bu tür ortamlarda kullanılacak sondaj akışkanlarının performansının üst seviyede olması istenmektedir. Sondaj işlemi sırasında durum bazlı değişikliklere anında müdahale edebilmek, sondaj sırasında sondaj çamurunun fiziksel ve kimyasal özelliklerini yakından takip edebilmek ve gereksinimleri karşılayabilmek için esnek bir çamur sistemine sahip olunması istenir (Turan, 2019). Sondaj çamurunun etkinliğini tam olarak yerine getirebilmesi için uygun maliyetinde tasarlanması, formasyon ile uyumlu ölçüde olması, sondaj boruları ve pompalara zarar vermemesi, kuyunun stabilitesine negatif yönde etki etmemesi, sondaj ilerleme hızında düşmeye etki etmemesi ve hidrokarbonun üretimini kötü etkileyecek şekilde rezervuara etki etmemesi gerekmektedir. Aksi durumda oluşabilecek etkiler sonucunda sondaj maliyetlerinin artmasına neden olacaktır.

Sondaj esnasında önemli yere sahip olan sondaj çamurunun özellikleri takip edilmesi açısından sondaj sahasında laboratuvar ortamında çeşitli fiziksel ve kimyasal testler uygulanarak çamurun değerleri optimum seviyede tutulmaktadır ancak çeşitli formasyonların sondajı sırasında sondaj çamurunu olumsuz yönde etki eden çeşitli olumsuzluklar meydana gelerek sondaja önemli ölçüde negatif yönde etki edebilmektedir. Bu olumsuzluklar sondaj çamuruna bulaşım veya kirlenme olarak tanımlanmaktadır. Bu bulaşımın tuzlu formasyonların sondajı sırasında meydana gelen tuz bulaşımı, evaporit kayaçların sondajı sırasında oluşan kalsiyum (Ca^{+2}) kirlenmesi, koruma borusu (casing) çimentolama operasyonu sırasında oluşan çimento kirlenmesi, formasyonlar içerisinde bulunan CO_2 (karbondioksit) ve H_2S (hidrojen sülfür) kirlenmesi, kesilen kesintileri sondaj çamurundan ayırmak için kullanılan katı madde ekipmanlarının efektif çalışmaması veya arızası gibi sebeplerle oluşmaktadır. Bu kirlenmeler sonucunda sondaj çamurunun fiziksel ve kimyasal özelliklerinde olumsuz

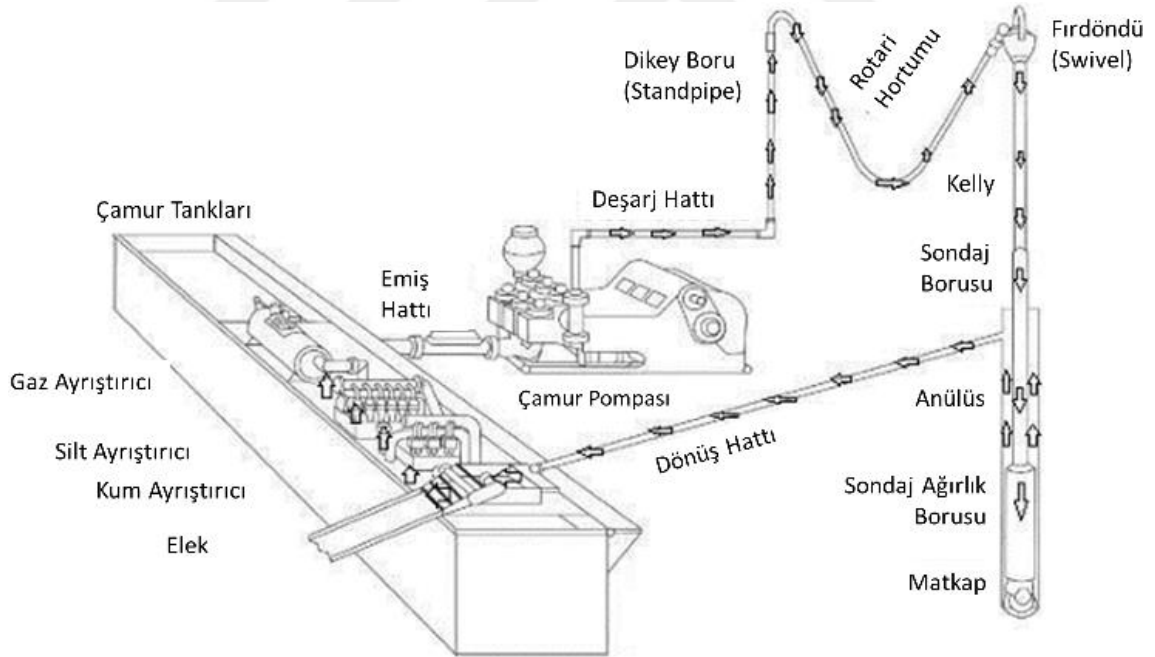
değişimler oluşmakta ve bu değişimler sondaj operasyonlarını olumsuz etkilemektedir. Bu kirlenmelerin en önemlisi evaporit (jips ve anhidrit) kayaçların sondajı sırasında sondaj çamuruna yüksek Ca^{+2} (kalsiyum) iyonlarının girmesidir. Kalsiyum bulaşımı sonucunda sondaj çamurunun viskozite, kopma noktası, 10 saniye, 10 dakika ve sıvı kaybı gibi reolojik özelliklerinde değişimler meydana gelmekte ve sondaj operasyonunu olumsuz etkilemektedir.

Bu tez çalışmasında aktif sondaj sırasında en çok kullanılan sondaj çamurlarından olan lignosülfonat, kireç ve KCl (potasyum klorür) çamurlarının fiziksel ve kimyasal test değerleri kalsiyum bulaşımı sonucunda oluşan etkiler gözlemlenmiştir. Bu gözlemler sonucunda oluşan etkiler takip edilerek sondaj çamurunda hangi özelliklerin değiştiği ve bu kirlenmenin etkisinin nasıl giderileceği, kirlenmenin ıslah edilmesi sonucunda sondaj çamurunun fiziksel ve kimyasal özelliklerinin optimum değerlere ulaştığı çizelge ve grafikler kullanılarak karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir.

2. SONDAJ ÇAMURU

Petrol ve doğalgaz sondajı, petrol üretimindeki en önemli adımlardan biridir. Bu işlemin başarısı veya başarısızlığı büyük ölçüde kullanılan sondaj çamuruna bağlıdır. Sondaj çamurunun türü ve bileşimi, sondaj akışkanının çeşitli işlevleri yerine getirmesi için oldukça önemlidir. Bu işlevler formasyon basıncını kontrol etmek, matkabin oluşturduğu kesintileri kuyu tabanından yüzeye çıkarmak, sondaj dizisini ve matkabi soğutmak, kuyuyu kesintilerden ve yıkıntılardan temizlemek, sondaj olmadığı durumlardan kesintileri askıda tutmak, hidrolik gücü matkaba aktarmak, sondaj dizisini ve koruma borusunu askıda tutmak gibi sıralanabilir (Bourgoyne vd., 1991; İmir, 2019; Alfa vd., 2019). Sondaj sırasında ortaya çıkan sorunların çoğu, sondaj çamurundan kaynaklandığından, uygun sondaj çamuru tipi ve eklenecek katkı malzemeleri sondaj operasyonunun başarısında önemli role sahiptir.

Sondaj çamurunun içinden geçtiği farklı ekipmanlara sahip sondaj sıvısı sirkülasyon sisteminin şematik bir görünümü Şekil 1.1'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Sondaj çamuru sirkülasyon sistemi (Alfa vd., 2019)

İlk olarak, Şekil 1.1'de görüldüğü üzere sondaj çamur pompalarının yakınında bulunan çamur tanklarında depolanır, çamur pompaları sondaj çamurunu yüksek basınçta yüzey hatlarından geçmesini sağlayarak stand pipe (kuleye bağlı dikey boru) hattına iletilerek swivel (firdöndü)'den geçmesini sağlar. Sondaj çamuru, sondaj borusu

içinden matkaba ulaşır. Matkabın ucunda bulunan jet hatlarından geçerek anülüsten yükselmeye başlar ve oradan akış hattından geçerek titreşimli eleklerle (shale shaker) ulaşır, bu eleklerden geçen geri dönüş çamurunda matkap kesintileri elenerek ayrılır, elek altına geçen çamurun çamur tanklarına ulaşması ile sirkülasyon tamamlanır. Sondaj çamurunun varsa katı madde kirliliği çamur tankları üstünde bulunan katı madde ekipmanları olan desander (kum ayrıştırıcı), desilter (silt ayrıştırıcı) ve decander (küçük tanecik ayrıştırıcı) santrifüj ile ıslah edildikten sonra sistem çamuruna dönüşümü tamamlanır.

2.1. Sondaj Çamurunun Görevleri

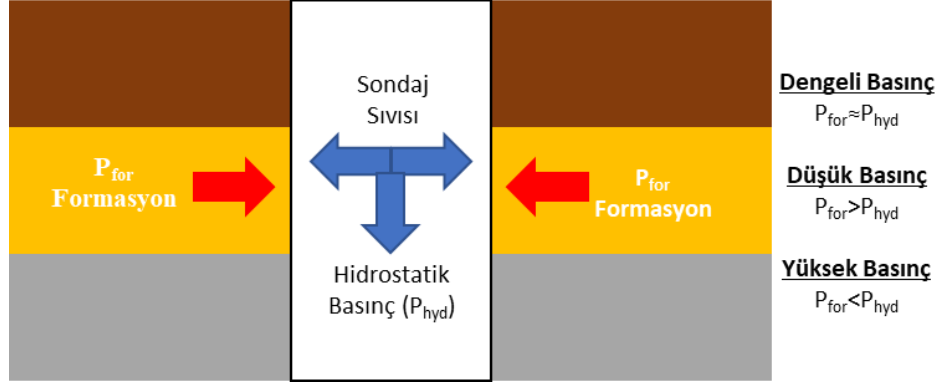
Sağlıklı bir sondaj işlemi için sondaj çamurunun formasyon basınçlarını dengelemek, kuyu tabanının temizliği, kuyuyu kesinti ve yıkıntılardan temizleme, sondaj dizisi ve matkabı soğutmak, sirkülasyon olmadığı zamanlarda kesintileri askıda tutma, yüzey hidrolik gücünü matkaba aktarma, sondaj boruları ve koruma borularını askıda tutmak gibi önemli görevleri yerine getirmesi gerekmektedir.

2.1.1. Formasyon basınçlarının kontrolü

Sondaj akışkanının kuyuda oluşturduğu hidrostatik basınç sayesinde kuyu içerisinde oluşabilecek ani basınç yükselmeleri kontrol edilebilir. Sondaj çamurunun uyguladığı hidrostatik basınç Denklem 2.1 kullanılarak hesaplanmaktadır. Şekil 2.2’de gösterildiği gibi sondaj çamurunun oluşturduğu hidrostatik basınç formasyon basıncından büyük veya eşit olması durumunda formasyondan herhangi bir akışkanın kuyuya girmesi mümkün değildir. Hidrostatik basıncın (P_{hyd}), formasyon basıncından (P_{for}) az olması durumunda ise formasyondan akışkan girmesi muhtemel olup kuyu canlanması riskini oluşturmaktadır (Gücüyener, 2009; Mitchell ve Miska, 2010). Uygun hidrostatik basınç değerini oluşturmak için koruma borusu (casing) çimento operasyonu yapıldıktan sonra LOT (Leak off Test: Sızıntı Testi) yapılarak çatlatma basınç (P_{ff}) değeri veya bölgenin jeomekanik analizleri yapıp uygun çamur ağırlığı bulunarak optimum basınç değerleri seçilmelidir.

$$P_{hyd} = 0,052\rho_m D \quad (2.1)$$

P_{hyd} : çamurun uyguladığı hidrostatik basınç, psia; ρ_m : çamur ağırlığı ya da çamur yoğunluğu; lb/gal; D: kuyu derinliği, ft



Şekil 2.2. Formasyon basıncı ve hidrostatik basınç ilişkisi (Güçüyener, 2009'den uyarlanmıştır)

2.1.2. Kuyu tabanının temizliği

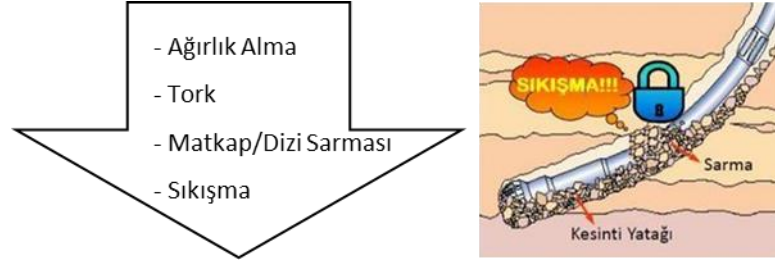
Sondaj çamuru reolojik özellikleri sayesinde matkap kesintilerini kuyu tabanından uzaklaştırır ve bu sayede matkap ile yeni formasyon üzerinde temas kurularak ilerleme sağlanır. Sondaj maliyetlerinin fazla olduğu göz önünde bulundurulduğunda, sondaj çamurunun reolojik özelliklerinin iyi olmadığı durumlarda kuyu tabanı etkin olarak temizlenmediğinden ilerleme hızı azalacak ve sondaj süresinin artmasına neden olacak, dolayısıyla sondaj maliyetini artıracaktır.

2.1.3. Sondaj dizisi ve matkabı soğutmak

Sondaj işlemi dönme hareketi ile kesme şeklinde gerçekleştiği için ortaya sürtünmeden dolayı ısınma problemleri çıkmaktadır. Sondaj çamuru dizi içinden ve matkap jetlerinden (nozzle) geçerek bu ısınma problemlerini ortadan kaldırmaktadır.

2.1.4. Kuyuyu kesinti ve yıkıntılardan temizleme

Matkap tarafından kesilen kesintilerin sondaj akışkanının taşıma gücü sayesinde yüzeye taşınarak kuyu temizliği sağlanır. Böylece anülüsteki kesinti yükü en az seviyede tutularak kesintilerin stabilizer (dengeleyici ekipman) veya matkabın üzerine yığılmasını engelleyerek takım sıkışması veya sondaj dizisinin aşırı tork alması engellenir. Şekil 2.3'de uygun reolojik özelliklere sahip olmayan sondaj çamurunun manevra sırasında ağırlık alma, sondaj esnasında tork değerlerinin yüksek olması, kesintilerin matkap veya stabilizer üzerine yığılması sonucu oluşan dizi sıkışması gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Sondaj çamurunun yetersiz kuyu temizliği sonucu oluşturacağı sorunlar (Güçüyener, 2009'den uyarlanmıştır)

2.1.5. Sondaj olmadığı durumlarda kesintileri askıda tutma

Manevra veya arıza durumlarında sirkülasyon olmadığı durumlarda sondaj çamurunun jel mukavemeti özelliği sayesinde kesintileri askıda tutarak çökmesini engeller. Bu özelliğin verimli olarak kullanılması için sondaj çamurunun jel mukavemeti değerlerinin kesintileri askıda tutacak değerlerde tutulması gerekmektedir.

2.1.6. Hidrolik gücü matkaba aktarma

Sondaj çamuru yüzey hidrolik gücü matkaba aktararak matkap hidrolik gücünü arttırmaya yardımcı olur.

2.1.7. Sondaj dizisini ve koruma borusunu askıda tutma

Sondaj çamuru, yüzdürme kuvveti özelliğiyle sondaj borularını ve koruma borusunu askıda tutar, böylece sondaj halatı üzerindeki etkiyi azaltır ve maliyet ile güvenlik açısından olumlu bir etki sağlar.

2.2. Sondaj Çamurunun Özellikleri

Sondaj operasyonlarının başarılı bir şekilde devam edebilmesi için sondaj çamurunun özelliklerinin optimum seviyede tutulması gerekmektedir. Bu özellikler saha ortamında bulunan laboratuvarlarda ekipman ve kimyasallar kullanılarak tayin edilmektedir (API-13a, 1993; API-13b, 1993).

2.2.1. Çamur ağırlığı

Çamur ağırlığı, birim hacimdeki ağırlık (yoğunluk) anlamına gelmektedir. Saha şartlarında birim olarak ppg (pound/galon) veya ppcf (pound/ft³) cinsinden hesaplanmaktadır.

Çamur ağırlığının önemi hidrostatik basınç açısından kuyuda önemli olduğu Denklem 2.1’de açık bir şekilde görülmektedir. Bir diğer önemli görevi ise kuyu stabilitesi sorunu olan yerlerde kuyunun göçmesi veya yıkılmasını önlemektir. Göçme ve/veya yıkılmalar takım sıkışmalarına sebep olabilmektedir. Sondaj akışkanları formasyonda oluşturduğu hidrostatik basınçla yıkılma ve göçme riskini engelleyerek sağlıklı sondajın devam etmesini sağlamaktadır. Çamur ağırlığı ile sağlanan hidrostatik basınç kuyuya zarar vermemeli, sondaj ilerleme hızına negatif etkide bulunmamalıdır.

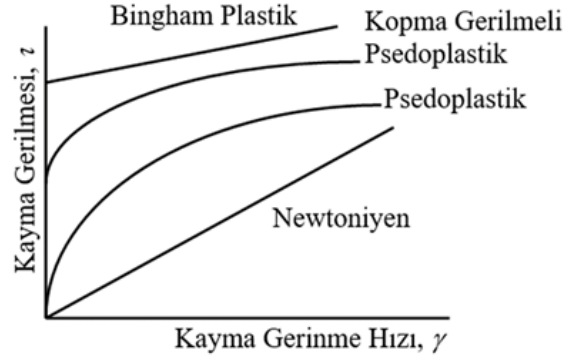
2.2.2. Sıvı kaybı

Bir formasyonun kendi basıncından daha yüksek bir hidrostatik basınca maruz kalması sonucu sondaj çamurundaki suyun formasyon içerisine akması ve filtre keki (mud cake) olarak ifade edilen katı çamur parçacıklarının sondaj kuyusunun cidarında birikmesi olayına denilmektedir. Sondaj çamurunun filtre miktarı çamur türüne bağlı olmakla birlikte kuyu cidarında ince ve geçirimsiz bir kekin oluşması istenir. Yüksek filtrasyon sonucunda oluşacak olan kalın çamur keki, kuyu log alımı sırasında değerlerin doğruluğunu etkileyecektir. Ayrıca yüksek filtrasyon sonucunda sondaj çamurundaki su ile kil aktivitesi yüksek formasyonların sondajı esnasında bulunan aktif killer ile etkileşime geçerek killerin şişmesine yol açarak tork alma, ağırlık alma gibi problemlere sebebiyet verebilir.

Sondaj çamurunun filtrasyon değerini düşürmek için katı madde oranını arttırmak bir çözüm olarak gözükse de yüksek katı madde içeriği çamurun diğer özelliklerini negatif yönde etkileyeceğinden iyi bir çözüm değildir. Filtrasyon oranı çeşitli sıvı kaybı engelleyici polimerler kullanılarak optimum seviyede tutulabilir. Saha uygulamalarında laboratuvar ortamında filtrasyon değeri KCl çamurunda 5 ml’den küçük, lignosülfonat çamurunda ise 8 ml’den küçük olması gerekmektedir.

2.2.3. Sondaj çamuru reolojik özellikleri

Reoloji, belirli koşullar altında maddenin akışını ve deformasyonu ile ilgilenen uygulamalı bir bilim dalıdır (Mitchell ve Miska, 2010; Aydın, 2020). Sondaj çamurunun PV (plastik viskozite), YP (yield point-akma noktası) ve jel mukavemeti özellikleri sondaj çamuru performansı için en önemli reolojik parametrelerdir. Bu özellikler hidrolik hesaplamalarda, kesintilerin yüzeye taşınmasında, kesintilerin askıda tutulmasında, takım sıkışmalarında ve dolayısıyla maliyet açısından önemli yere sahiptir (Bourgoyne vd., 1991).



Şekil 2.4. Newtoniyen ve Non-Newtoniyen akışlarda kayma hızı ve kayma gerilimi değişimi grafiği (TPAO, 2007)

Şekil 2.4’da görüldüğü gibi akış grafiğinde kayma gerilmesi (τ) ile kayma hızı (γ) arasındaki ilişkiye göre farklı akış türleri ortaya çıkmaktadır. Sondaj çamurunun akış durumu incelendiğinde sondaj çamurlarının Newtoniyen olmadığı söylenebilir. Newton tipi akışkanların tümü sıvıdır ve sıvının içinde askıda katı madde yoktur. Newtoniyen olmayan akışkanlarda, farklı kayma hızlarında katılar arasındaki etkileşim farklı olduğundan kayma gerilimi ile kayma hızı arasında doğrusal olmayan bir ilişki vardır. Akışkan hareket etmediğinde veya çok yavaş hareket ettiğinde, katılar arasındaki etkileşim çoğunlukla elektro-kimyasal bağın sonucu olarak jel mukavemeti denilen bir yapı geliştirirler. Şekil 2.4’de görüldüğü gibi akış grafiğinde kayma gerilmesi ile kayma hızı arasındaki ilişkiye göre farklı akış türleri ortaya çıkmaktadır (Farr, 2010).

Sondaj çamuru non-Newtoniyen (Newtoniyen olmayan) olan zamana bağlılığı nedeninden dolayı aynı zamanda kararsız bir akışkan olan tiktotropik akışkan grubuna girer. Kararsız akışkan özelliğine sahip olan sondaj çamurları Newtoniyen olmayan zamana bağlı tiktotropik akış özelliği göstermektedir. Sondaj çamuru kopma gerilmesiyle incelme özelliği gösterir. Bu özelliği ile çamur yüksek kayma hızının fazla olduğu dizi içi ve matkap ucundaki jetlerden geçerken incelerek basınç kayıplarını azaltır. Böylece matkaba daha fazla hidrolik güç aktarmış olur. Düşük kayma hızının olduğu anülüste ise daha viskoz davranan çamurun kesintileri kaldırma kapasitesi artarak kuyunun iyi bir şekilde temizlenmesini sağlayarak sondajın sağlıklı ilerlemesine yardımcı olur (TPAO, 2007).

2.2.4. Huni viskozite

Viskozite teorik olarak akmaya karşı direnç anlamına gelmektedir. Sondaj esnasında kesintileri yukarı taşıma, kesintileri askıda tutma ve katı madde içeriği açısından önemli bilgi vermektedir. Huni viskozite, Marsh hunisi denilen ekipmanla

ölçümü yapılmaktadır. Laboratuvar ortamında ölçülen PV, YP ve jel mukavemeti değerlerinin ölçümleri hakkında bilgi verir. Sondaj esnasında formasyonlardan kaynaklanan birtakım bulaşımalar ve kesilen killerin hidratlaşması viskoziteyi kontrolsüz şekilde artabilir.

2.2.5. Plastik viskozite

Sondaj çamurlarında sondaj katısı olarak, katı içeriğinin, sirkülasyon kayıp malzemesinin artması plastik viskoziteyi (PV) artırır. PV'yi düşürmek için, katı içeriği, çamurun temel sıvısı ile seyrelterek azaltılmalıdır. Daha derin sondaj yapılırken artan sıcaklıkla, sondaj çamurunun plastik viskozitesi azalır, çünkü sıcaklık ile viskozite ters orantılıdır (Kartal, 2021). Çeşitli nedenlerden dolayı arttırılan çamur ağırlığı, formasyon kaynaklı çamura bulaşan katı maddeler PV değerini arttırmaktadır. PV değeri çamur özelliklerini kontrol etmek için minimum düzeyde tutulmalıdır.

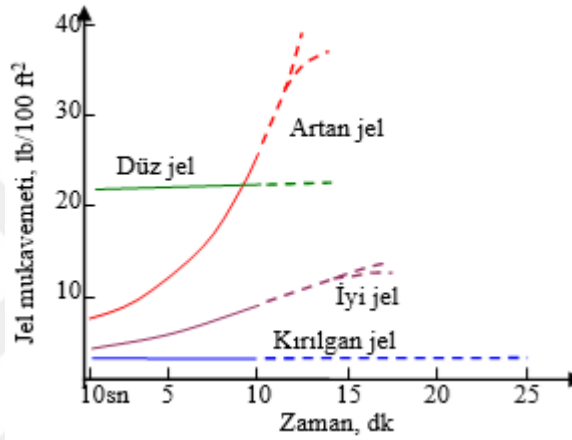
2.2.6. Akma noktası

Akma noktası (Yield point-YP), sondaj esnasında sondaj çamurunun kesintileri yüzeye taşıma kapasitesidir. Birimi $\text{lb}/100\text{ft}^2$ 'dir. Sondaj esnasında önemli bir yere sahiptir. YP değeri kuyu çapına göre değişkenlik göstereceğinden saha uygulamalarında uygun değerlerin $18\text{-}25 \text{ lb}/100\text{ft}^2$ arasında olması kesintilerin yüzeye taşınması için yeterli olacaktır. Düşük değerlerde tutulmaması halinde sondaj esnasında olumsuzluklara sebep olmaktadır. Bunlar: matkap kesintilerinin yüzeye taşınmaması, kuyu tabanı temizliği olamayacağından dolayı matkap ile formasyon arasında teması olmamasıdır. YP değerini arttırmak için uygun miktarda viskozite yapıcı katkı maddesi kullanılarak arttırılabilir. YP değerinin yüksek olması durumunda ise kuyu cidarında oluşan çamur kekini süpüreceğinden dolayı istenmemektedir.

2.2.7. Jel mukavemeti

Kayma gerilmesinin olmadığı, sondaj borularının ilavelerinde veya olası çamur pompası arızalarında sondaj çamuru jel yapısı denilen iç yapı oluşturur. Laboratuvar ortamında döner viskozimetre ile ölçülen jel değerleri, 10 saniye ve 10 dakika olarak kaydedilir. Birimi YP gibi $\text{lb}/100\text{ft}^2$ 'dir. Sondaj çamurunun bu özelliği kesintileri anülüste askıda tutma açısından önemli bir yere sahiptir. Jel mukavemetleri, bir sondaj sıvısının tiksotropik özelliklerini gösterir ve zamanla ilişkili olarak statik koşullar altında çekici kuvvetlerin ölçümleridir. Plastik viskozitesi ve akma noktası ise tersine

dinamik özelliklerdir ve statik ölçümlerle karıştırılmamalıdır (Baker Hughes, 2006). Sondaj çamurunun jel (mukavemeti) değerleri çamurun içindeki hidrate olmuş kil miktarına, çamurun tipine, katı madde miktarına, çamur kirliliğine göre değişkenlik göstermektedir. Özellikle sistemde bulunan aktif killerin varlığından dolayı çamura bulaşan kalsiyum, karbonat, bikarbonat, hidrojen sülfür ve kalsiyum bulaşimleri sondaj çamurunun özellikle 10 dakika jel miktarının yükseltmektedir. Uygun jel değerlerinin sağlanması sondaj kesintilerini askıda tutmakta için önemlidir, yüksek değerlerin ise sondaj operasyonları sırasında bazı olumsuzlukların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Şekil 2.5’de sondaj çamurunun jel tiplerine yer verilmektedir.



Şekil 2.5. Sondaj çamurunun jel tipleri (TPAO, 2007)

2.2.8. Kum Oranı

Sondaj sırasında formasyonlardan gelen büyük kesintiler titreşimli eleklerden (shale shaker-Şekil 1.1) geçerken, küçük kesintiler sondaj çamuruna karışır. Bu katı maddelerin bir kısmını kum ve siltler oluşturur. Boyut olarak küçük olan kum ve siltlerin sondaj çamuruna karışması sonucunda sondaj çamurunda kontrolsüz ağırlık artışına ve çamur pompalarında bulunan piston ve piston gömleklerinde tahribata neden olur. Kum ve silt gibi katı maddelerin sistemde var olmaması için uygun elek boyutu kullanılması gerekir. Sistemde bulunan kum ve silt gibi katı maddeleri uzaklaştırmak için ise desander (kum ayırıştırıcı) ve desilter (silt ayırıştırıcı) gibi katı madde kontrol ekipmanlarının çalıştırılması gerekmektedir.

2.2.9. Metilen mavisi kapasitesi

Sistem çamuruna formasyondan gelen aktif killerin varlığını tespit etmek için kullanılır. Bentonit eşdeğeri olarak hesaplanan metilen mavi kapasitesinin (MBT) birimi

lb/bbl'dir. Sisteme giren killer, hidrate olarak sistem çamurunda kontrolsüz katı madde, çamur ağırlığı ve viskozite gibi değerlerin artışına neden olur. Ayrıca artan kil oranı yüzünden sıvı kaybının yükselmesine ve bu sebeple kuyu cidarında kalın bir kek oluşmasına neden olur. Aynı zamanda sistemdeki killerin varlığı oluşabilecek kalsiyum, tuz, karbonat ve bikarbonat ile kontrolü daha zor çamur özellikleri gösterecektir. Bu özelliklerin bozulmasından dolayı takım sıkışmaları meydana geleceğinden, sistemdeki kil oranının ıslah edilmesi gerekmektedir. Kil oranını düşürmek için sisteme kil olmayan veya kil oranı az çamur ilavesi yapılmalı aynı zamanda decander santrifüj çalıştırılarak sistemdeki killer ıslah edilmelidir.

2.2.10. pH değeri

Sondaj çamurunun pH değeri birçok parametreyi etkilemektedir. Laboratuvar ortamında filtrasyon sıvısı elektronik pH ölçer veya pH kağıdı sayesinde değeri tayin edilir. 7'den küçük olması durumunda çamur asidik, 7'den büyük olması durumunda bazik ve 7 olması durumunda ise değer nör olduğunu gösterir. Kireç çamurunda, karbonat, bikarbonat ve çimento bulaşımı durumunda pH değerinin takip edilmesi gerekir. Ayrıca polimerlerin uygun şekilde çalışması ve çamurun sondaj dizisi ve tanklarda ve yüzey hatlarında korozyon etkisinin olmaması için uygun değer aralığı 9,5-10,5 aralığında olması gerekmektedir.

2.2.11. Fenolfitalin ve metil oranj alkalinitesi

Laboratuvar ortamında ölçülen testlerden olan çamurun fenolfitalinesi, çamurun alkalinitesini belirler. Bu ölçümle çamurun içinde bulunan kireç miktarı hesaplanır. Özellikle kireç çamurunda, çimento bulaşımında ve kalsiyum bulaşımında takip edilmesi gereken önemli bir parametredir. Metil oranj kapasitesi ise sondaj çamurunda bulunan hidroksil, karbonat ve bikarbonat değerlerini tespit etmede kullanılır. Önemli kirliliklerin başında gelen karbonat ve bikarbonat kirlilikleri sondaj çamurunda sıvı kaybının artmasına, viskozite ve jel mukavemeti gibi değerlerin artmasına sebebiyet vereceği için sondaj çamurunu kontrolü zor olacağından takip edilmesi gereken önemli bir parametredir.

2.2.12. Klor içeriği

Tuzun formasyonlardaki varlığı, tuz domlarının sondajı veya tuz çamurlarında ölçülen çamur özelliğidir. Bazı polimerlerin çalışmasını engellemesi, tuz çamurlarında

K^+ (potasyum) ve NaCl (sodyum klorür) değerlerinin belirlenmesinde takip edilmesi gerekmektedir. Ayrıca lignosülfonat çamurunda kil grubuna ait olan bentonit kullanılmasından dolayı klor iyonun (Cl^-) yükselmesi killerin floküle olmasıyla viskozite ve sıvı kaybı artışı meydana getireceğinden takip edilmesi gerekli olan parametrelerdendir. PAC'a göre tuza karşı toleransı düşük olan CMC gibi sıvı kaybı için kullanılan polimerler klor oranı arttığında sistemden ayrılarak işlevlerini kaybederler. Bu sebepten ötürü sıvı kaybı için kullanılan CMC gibi anyonik polimerlerin çamurlarda klor oranı takip edilmelidir (TPAO, 2007).

2.2.13. Kalsiyum içeriği

Laboratuvar ortamında ölçülen bir diğer özellik olan kalsiyum (Ca^{+2}) değeri sondaj çamurunu etkileyen en önemli parametrelerdendir. Jips, anhidrit gibi kalsiyum bulunduran formasyonların sondajlarında, kireç ve jips çamurlarında yanlış kireç kullanımında dikkat edilmesi gerekmektedir. Bu değerin 500 mg/l'nin üstüne çıkması durumunda sistem çamurunda bulunan killer floküle olacağından viskozite ve jel değerlerinin artmasına sebep olacaktır. Anyonik polimerler aynı zamanda iki değerlikli kalsiyum ve magnezyum iyonlarında duyarlıdır. Bu tip katyonlar belli bir konsantrasyona ulaştığında ilk önce polar grupları çapraz bağlayarak kontrol edilemeyen bir jel yaratırlar ve ardından polimerin çözeltiden ayrışmasına neden olurlar (TPAO, 2007).

2.2.14. Katı madde içeriği

Damıtma yolu ile retort cihazında sondaj çamurunun katı, sıvı içeriği tespit edilebilmektedir. Bu sayede katı madde içeriği gözlemi yapılabilmekte ve gözlem sonucunda çamur özellikleri değerlendirilebilmektedir. Rezervuar kayacının sondajı sırasında veya bazı durumlarda çamura ilave edilen petrolün yüzde olarak hacmi gözlemlenebilmektedir.

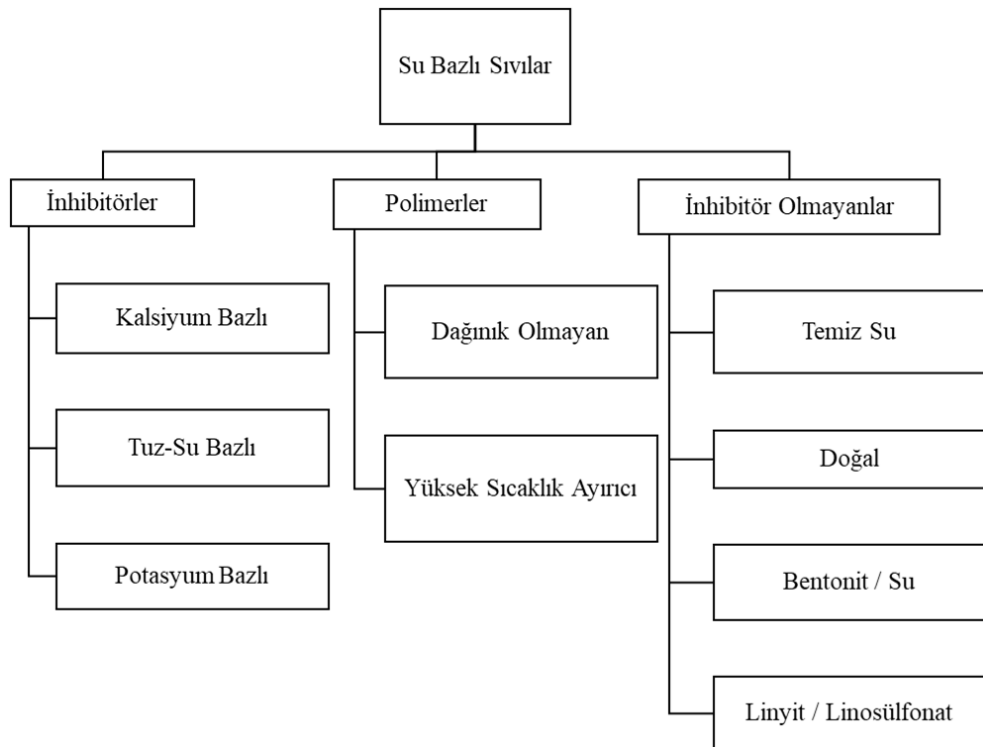
2.3. Sondaj Çamurunun Türleri

Sondaj çamur tipleri faz yapısında göre organik bazlı, hava ve su bazlı olmak üzere üç gruba ayrılır. Petrol bazlı çamurdan (OBM ailesi) sentetik bazlı çamurdan oluşur. Dış fazı mazot veya petrolden oluşurken dış fazı kalsiyum klorür ($CaCl_2$) gibi tuzdan oluşur. OBM, daha fazla şeyl stabilitesi ve mükemmel yağlama ile su bazlı çamurlardan daha iyi performans verir, ancak diğer çamurlardan daha pahalı olduğu

gibi birçok çevresel soruna da neden olurlar. Mükemmel kuyu stabilitesi sağlaması sayesinde sondaj çamurları arasında en iyi performansı veren sondaj akışkanıdır (Alfa vd., 2019).

Hava bazlı çamurları ise dış fazı su ve iç fazı hava olan köpüklü çamurlardır. Havalı sondaj tekniği en iyi ilerleme sağlayan tekniktir ancak derinliğin artmasıyla basıncın yükselmesinden dolayı kullanım oranı düşmektedir (Balkaya, 2022).

Şekil 2.6’da en çok kullanılan sondaj sıvısı olarak da bilinen su bazlı çamurları gösterilmektedir. Sürekli faz olarak tatlı, tuzlu veya deniz suyu kullanılarak uygulanabilir. Çevreye uygun olması, diğer çamur türlerine göre daha ucuz olması nedeniyle çoğu sondaj işlemlerinde kullanılır. Genel olarak kuyu şartlarına ve rezervuar özelliklerine göre tatlı, tuzlu su, kil (bentonit), barit, kostik soda, lignosülfonat gibi katkı malzemelerinden oluşur. Su bazlı inhibitiv olmayan çamurların en büyük dezavantajı, kil ile reaksiyona girmeleri ve zamana bağlı sondaj sorunlarına yol açmalarıdır. İnhibitiv çamurlar ise kuyu stabilitesi sorunu olan, tuz, jips, anhidrit vb. gibi sondaj sırasında problem çıkaran formasyon ile çamur etkileşimini en aza indirerek sondajın sağlıklı ilerlemesini sağlar.



Şekil 2.6. Sondaj çamurunun sınıflandırılması (Kargı, 2015’den uyarlanmıştır.)

En çok kullanılan çamur türleri arasında inhibit olan potasyum ve sodyum klorür çamurları ve kireç çamuru; inhibitiv olmayan ise spud, lignosülfonat ve tatlı su polimer çamurlarıdır.

2.3.1. Spud çamuru

Yüzey formasyonları ve kuyu çapının büyük olduğu kuyuların sondajı esnasında kullanılan çamur tipidir. Katkı maddesi olarak alkalinite kontrolü için kostik, sıvı kaybı ve uygun reoloji değerleri için ise bentonit kili kullanılır. Kuyu çapının geniş olmasından dolayı kesintileri yüzeye taşınması için uygun reolojik özellikler sağlanmalıdır. Yüzey formasyonların sondajı sırasında kil bulaşımı yüksek olacağından yüksek viskoziteyi engellemek için sistem çamuruna su verilerek bu etki giderilmektedir.

2.3.2. Lignosülfonat çamuru

Sondaj derinliğin artmasıyla birlikte en çok kullanılan inhibitiv olmayan çamur tipidir. Çamurun kompozisyonunda alkalinite için kostik, sıvı kaybı için CMC-LV, reoloji ve çamur keki oluşturmaları için bentonit, oluşabilecek yüksek viskozite ve çamurun defloküle olması için kromsuz lignosülfonat (CFL) kullanılır. Bu çamur tipinde kalsiyum, çimento, karbonat, bikarbonat ve tuz kirliliğine karşı hassasiyet gösterdiğinden dolayı yüksek viskozite, jel değerleri ve sıvı kaybında artışlar meydana gelebilir. Katkı malzemeleri arasında önemli olan CFL, çamurun viskoz özelliklerinin artmasını engeller. Bu yüzden CFL, kazılan formasyonlardan gelen katı maddelerin ve kimyasal kirlenmelerin olumsuz etkilerinden korumak için kullanılır. Lignosülfonat çamurunun hazırlanması ve bakımı sondaj uygulamaları bakımından oldukça kolay ve ucuzdur. Yaygın olarak kullanılan bu çamur türü çok özel bir sondaj problemleri yaşanmadığı sürece başarıyla kullanılmaktadır (Erdoğan vd., 2017).

Lignosülfonat çamurunu hazırlamak için çamur tanklarında alınan suyun sertliğini gidermek için soda külü eklendikten sonra bentonit ilavesi yapılarak şişmesi için 6-8 saat aralığında beklenmelidir. Bentonit hidrate olmasından sonra kromsuz lignosülfonat (CFL) ve kostik ilavesi yapılarak çamur tanklarında bulunan jet hatları ile iyice karıştırıldıktan sonra CMC-LV ilavesi yapılır. Çamur kompozisyonu hazırlanırken mikserlerin açık olmasına dikkat edilmelidir.

Lignosülfonat çamuru korumasız olduğundan, çamur kirliliklerine karşı hassastır; bu nedenle laboratuvar ortamında çamur değerleri sürekli olarak izlenmeli ve herhangi bir kirlilik durumunda lokasyonda katkı malzemeleri hazır bulundurulmalıdır.

2.3.3. Potasyum klorür çamuru

Potasyum klorür (KCl) içeren çamur, şişme özelliği gösteren şeyllerin değişimini sınırlandırarak, şişmeyi engelleyerek en iyi sonucu verir. KCl, suya duyarlı kil ve şeyllerin sondajında son derece etkili bir şişme engelleyici stabilizatördür. Performansı, smektitler ve ara katmanlı kil üzerinde potasyumun, sodyum veya kalsiyum iyonları ile katyonik değişimine dayanmaktadır. Potasyum (K^+) iyonu şeyldeki kil tabakalarının arasına girerek bunların bir arada tutulmasını sağlar, böylece sondaj sıvısında bulunan su ile teması engellenir. Potasyum iyonu, kalsiyum iyonu veya diğer engelleyici iyonlarla karşılaştırıldığında, kil kafes yapısına daha yakından uyum sağlar ve böylece kilin hidrasyonunu büyük ölçüde azaltır (O'Brien ve Chenevert, 1973).

Şeyllerin bu tür katkı maddeleri ile stabilizasyonu, doğal katyonların sodyum (Na^+), kalsiyum (Ca^{+2}) ve magnezyumun (Mg^{+2}); potasyum (K^+) iyonu ile değişimini şişmenin engellenmesine dayanır. Petrol mühendisliğindeki çeşitli çalışmalar, farklı şeyl türleri için, şişme göçmeyi en aza indirmek için ağırlıkça %3-20 arasında değişen KCl konsantrasyonlarının gerekli olduğunu göstermektedir. Genel olarak, şişmeyen kil içeren daha eski formasyonlar ağırlıkça %3 ila %5 aralığında KCl seviyeleri gerektirir; oysa hidratlanabilir kil içeren daha genç şeyller ağırlıkça %15'e kadar KCl seviyeleri gerektirmektedir (Talukdar ve Gogoi, 2015).

KCl çamuru iyonik, mekanik ve polimer açısından şeylli formasyonların optimum seviyede sondajının yapılmasını sağlar. Bu çamur tipinde yüksek oranda polimerler kullanılır. Bunlar; iyonik inhibisyon sağlayan potasyum klorür tuzu, sıvı kaybı ve killerin etrafını kapsül şeklinde sararak yüzeye getirmesini sağlayan PAC-LV, sıvı kaybı ve çamur kekinde rol oynayan nişasta, çamur kekinde köprü malzemesi olarak kullanılan kalsiyum karbonat ince, çamur ağırlığını artırma ve potasyum iyonlarına yardımcı olan sodyum klorür tuzu, mekanik olarak şeylli formasyonların göçmesini engellemek için sıcaklıkla bulutlanma özelliği gösteren glikol, killerin etrafını kapsül şeklinde sararak şeyllerin dağılmasını engelleyen ve sistem çamurundaki kil oranının artmasına engel olan kısmen hidrolize edilmiş poliakrilamidler (PHPA)'dir.

Potasyum klorür çamuru inhibitiv çamur olmasına rağmen içerisinde bulunan PAC-LV, nişasta ve PHPA polimerleri kalsiyuma duyarlıdır. Yüksek kalsiyum değerleri

sıvı kaybının artmasına ve PHPA'nın etkisinin azalmasına sebep olacağından bu çamurun özellikleri kontrol edilmelidir. Bu çamurun katı madde oranı eleklerin boyutu ve diğer katı madde kontrol ekipmanları tarafından sürekli olarak kontrol altında tutulmalıdır. Özellikle açık kuyu metrajlarının fazla olduğu kuyularda sistem çamurunda bulunan potasyum oranı killeri inhibe etmede yetersiz kalabileceği durumlarda artacak kil oranının kalın çamur kekine neden olabileceğinden dolayı dizi sıkışmalarının önüne geçmek için decander santrifüj mutlaka verimli olarak çalıştırılmalıdır.

2.3.4. Kireç çamuru

Karbonat, karbondioksit veya sodalı su içeren formasyonların kazılması sırasında yaşanması tahmin edilen yüksek orandaki karbonat ve bikarbonat kirliliğine karşı yüksek oranda kalsiyum içeren pH değeri yüksek olan kireç çamuru tercih edilmektedir. Ayrıca çamur içinde bulunan kalsiyum iyonları şişme özelliği gösteren killeri inhibe ederek şişmeleri engellediğinden kullanılması uygun bir çamurdur (TPAO, 2004).

Kireç çamuru, katkı maddesi olarak hidrate olmuş bentonit, kostik, kireç, CMC-LV, CFL, PAC-LV, nişasta, XCD, kalsiyum karbonat (CaCO_3) gibi çamur katkı maddelerinden meydana gelir. Bu çamur tipi özellikle jips, anhidrit ve kil olan formasyonların sondajında iyi performans gösterirler. Normal şartlar altında bulaşım olarak kabul edilen kalsiyum iyonları bu çamur tipinde inhibitiv görevi görmektedirler. Kireç ilavesi sırasında çamurun viskozitesin bir süre arttığı, belli bir kireç oranından iyon değişiminden sonra normale döndüğü görülecektir.

Kirecin hammaddesi olan kireçtaşı, kalsiyum karbonat (CaCO_3)'dan oluşur. Kireç, en az %90'ı CaCO_3 olan kireçtaşının kireç fırınlarında yaklaşık olarak 900°C derecenin üzerinde ısıtılması sonucunda kalsiyum oksite (CaO -sönmemiş kireç) dönüşmesiyle elde edilir. Sönmemiş kireç, suyla reaksiyona sokulduğunda ortaya kalsiyum hidroksit (Ca(OH)_2) yani sönmüş kireç çıkar (Kargı, 2015). Kireç oranı laboratuvar testlerinde depo kireç olarak temsil edilen P_m (çamurun fenolfitaleni) ile ölçülür. Depo kireç, sistem çamurunda depolanmış kireç miktarını ifade eder. Özellikle kireç ve lignosülfonat çamurunda takip edilmesi gereken çamur özelliğidir. Kireç çamurunda, sistemde kireç bulunması ve formasyondan gelen kalsiyum iyonları, hidroksil iyonları (kostik) (Denklem 2.2) verilerek kirece dönüştürülmesi sonucunda depolanarak sistem çamuruna kalsiyum bulaşımı engellenmiş olur. Ayrıca sistemde OH^-

iyonları da olduğundan P_f (filtratın fenolfitaleni) ve M_f (filtratın fenolfitaleni) değerleri yüksek çıkar. Bu çamurda jips ve anhidrit sondajı sırasında girecek kalsiyum iyonları kostik ile kirece dönüştürülerek depo kirece dönüştürülür. Genelde kalsiyum değeri 500 mg/l değerinden fazla olduğunda sistemde bulunan killeri floküle ve polimerlerin çalışmasını engelleyecek durum olduğundan sisteme kostik verilerek serbest kalsiyum iyonları depo kirece dönüştürülür. 500 mg/l'den düşük olduğu durumlarda serbest kalsiyum iyonları eğer formasyonlarda aktif killer mevcutsa inhibe etkisi gösterebilecektir. Denklem 2.3 ve Denklem 2.4'de görüldüğü gibi formasyonlardan gelebilecek karbondioksit kirlenmesi sonucu ortaya çıkabilecek karbonat ve bikarbonat kirliliğine karşı sistemde kireç mevcut olduğundan sistemdeki karbonat ve bikarbonatları çökeltirek olası çamur kirliliği önüne geçecektir. Bu çamur özet olarak karbondioksit olan formasyonlarda veya karbondioksit gazı üretimi için kazılan formasyonlarda, jips, anhidrit ve aktif killerin mevcut olduğu formasyonların sondajında kullanılması önerilmektedir. Kireç çamurları için pH aralığı 10,5-12,5 arasındadır. Çözünür kalsiyum 120-400 mg/l arasında değişir ve çamurun süzöntü alkalinitesi ile kontrol edilir. Süzöntü (filtrate) alkalinitesi (P_f) arttığında, çözeltiye daha az kalsiyum girebilir. Kostik (NaOH) pH derecesini yükseltme mukavemetine sahiptir. Düşük pH'lı tatlı su çamurlarına kıyasla jips, anhidrit, çimento veya karbonatlar gibi kirleticilere maruz kaldığında reolojik olarak stabildir (APC, 1994). Bu çamurda soda külü kullanılmaması gerekmektedir. Denklem 2.5'de görüldüğü üzere sistemde inhibitiv olarak görev yapacak olan kalsiyum iyonları soda külü (sodyum karbonat) ile çöktürüleceğinden kullanılması uygun değildir. Kireç çamuru hassas bir çamur olduğundan pilot testler yapılarak önceden özellikleri hakkında bilgiler alınabilir.



2.3.4. Polimer çamuru

Hidrokarbon potansiyeline sahip hassas rezervuarların sondajında bu çamur tipi kullanılmaktadır. Bu çamur tipinde rezervuarı kirletebilecek bentonit ve barit katkı maddeleri kullanılmamaktadır. Bentonit, kuyu dibi sıcaklığı yüksekliğinin fazla olduğu

kuyularda rezervuar gözeneklerinde iyi hidrate olmamışsa sıcaklık etkisi ile gözenekleri tıkayabileceğinden ve herhangi bir asit içerisinde çözünmediği için kullanılmaz.

Bu çamur tipinde soda külü, kostik, PAC LV, CMC-LV, XCD ve kalsiyum karbonat katkı maddeleri kullanılır. Katı maddesi düşük olduğundan stabil özellikler sergileyerek rezervuar formasyonunun kirlenmesine (pozitif zar etkisi) sebep olmayarak sondajın sağlıklı ilerlemesini sağlar.

Yukarıda belirtilen bu bilgiler ışığında çeşitli çamurların avantaj ve dezavantajları Çizelge 2.1’de özetlenmektedir.

Çizelge 2.1. Çeşitli sondaj çamurlarının avantaj ve dezavantajlarının karşılaştırılması

Çamur Tipi	Avantaj	Dezavantaj
Spud Çamuru	• Ucuz maliyet • Kolay hazırlanabilirlik	• İnhibitiv değil • Kontrolü zor reolojik değerler • İyonik bulaşıma karşı dayanıklı değil
Lignosülfonat Çamuru	• Sıvı kaybı kontrolü • Ucuz maliyet • Kolay hazırlanabilirlik • Korozyon etkisi yok	• İnhibitiv değil • Kontrolü zor reolojik değerler • İyonik bulaşıma karşı dayanıklı değil • Çamur ağırlaştırma
Kireç Çamuru	• Orta derecede maliyet • İyi sıvı kaybı kontrolü • Kalsiyum ve kil inhibisyonu için ideal • İyonik bulaşıma karşı dayanıklı	• Hassas reolojik değerler • Yüksek pH değerleri • 149°C sıcaklıkta kullanım ile sınırlı olması • Çamur ağırlaştırma orta derecede
KCI/Polimer/PHPA/Glikol	• İyi kil inhibisyonu sağlar • Kontrolü kolay reolojik değerler • Çamur ağırlaştırma iyi	• Pahalı maliyet • Hazırlama süreci uzun • İyonik bulaşıma karşı kısmen dayanıklı • İyi sıvı kaybı kontrolü • Korozyon etkisi mevcut
Polimer Çamuru	• Hazırlaması kolay • Ucuz maliyet • Korozyon etkisi yok • Düşük katı madde içeriği • Reolojik kontrolü kolay • Rezervuar kirlenmemesi için uygun	• İnhibitiv değil • Kısmen iyonik bulaşıma dayanıklı • Düşük sıcaklık stabilitesi • Çamur ağırlaştırma zor

2.4. Sondaj Çamuru Katkı Malzemeleri

2.4.1. Bentonit

Bentonit kili çamur tiplerinin birçoğunda sıvı kaybı, viskozite ve geçirimsiz bir kek oluşturmaktan dolayı kullanılan önemli bir katkı maddesidir. Kullanım oranı çamur tipine göre değişen bentonit kili sondaj çamurunda uygun reolojik özellik ve sıvı kaybı sağlayarak sondajın sağlıklı ilerlemesini sağlar. İçsel yapı olarak şişme özelliği göstererek çamura viskozite, jel mukavemeti, çamur keki ve sıvı kaybı özelliği kazandırdığından sondaj çamurlarının en önemli katkı maddesidir. 240 mg/l Ca^{+2} ve 10.000 mg/l klor değerlerinden sonra çamur floküle olmaya başlayarak etkisini kaybetmeye başlar.

2.4.2. Düşük viskoziteli karboksilmetil selüloz (cmc-lv)

Sondaj çamurunun esas olarak sıvı kaybı, viskozite ve jel mukavemeti özelliklerini belirlemek ve kontrol etmek için kullanılan katkı maddeleridir. Kısaca; viskozite yapıcı polimerler, inceltici polimerler ve sıvı kaybı kontrol polimerleri olarak üçe ayrılabilir. Nişasta, XCD, CMC (karboksilmetil selüloz), PAC (polianyonik selüloz) ve PHPA (kısmen hidrolize poliakrilamidler) vb. gibi polimerler çamur hazırlanması ve istenilen özelliklerin sağlanması ve korunması için sektörde kullanılan belli başlı polimerlerden bazılarıdır (Güllü vd., 2021).

Lignosülfonat, kireç, polimer çamurları gibi birçok çamur tiplerinde sıvı kaybı önleyici olarak kullanılan CMC-LV hem maliyeti hem kullanım açısından önemli bir polimerdir. Bu polimer çamur içindeki suyu tutarak sirkülasyon esnasında kuyu cidarından formasyon içerisine geçmesini engelleyerek çamurun ince bir kek oluşturmaya yardımcı olur. Bu polimerler iki değerli kalsiyum ve magnezyum iyonlarının varlığı belli bir etki altında itme kuvvetleri etkisi altındayken; tuz, magnezyum ve kalsiyum iyonlarının varlığından dolayı çekme kuvvetleri etkisi altına girerek özelliklerini kaybederler. Bu nedenden dolayı sondaj çamurunun sertlik ve klor değerleri yakından takip edilmelidir. Klor iyonlarına karşı toleransı olmadığından NaCl (sodyum klorür) ve KCl (potasyum klorür) çamurlarında kullanılması önerilmez. 30.000 mg/l klor ve 500 mg/l Ca^{+2} değerlerinden sonra etkisini kaybetmeye başlar. Kuyu sıcaklığının 300 °F (149°C) geçmesi durumunda etkisi kaybeder.

2.4.3. Polianyonik selüloz (pac-lv)

Bu polimer grubu CMC-LV'ye göre klor değerine karşı daha toleranslı olduğundan özellikle tuz çamurlarında önemli derecede sıvı kaybı önleyici olarak kullanılan bir polimerdir. Ana amacı sondaj çamurunun sıvı kaybını engelleme olan bu polimer ayrıca kil olan formasyonların sondajı sırasında kesintilerin etrafını sarma (kapsülleme) özelliği göstererek çamur içerisindeki kil oranının artmasına engel olur. Bu özelliğinin daha efektif olması için 3-4 ppb (lb/bbl) oranda kullanılması tavsiye edilmektedir. 500 mg/l Ca^{+2} değerinin yükselmesi durumunda etkisini kaybetmeye başlar.

2.4.4. Modifiye nişasta

Hemen hemen tüm çamur tiplerinde kullanılan bu polimer sıvı kaybı özelliğini azaltmak için kullanılır. Ayrıca sondaj çamurunun ince ve geçirimsiz bir kek oluşturmasında köprü malzemesi görevi görür. 1.000 mg/l değerinden yüksek Ca^{+2} iyonlarının varlığından dolayı etkisini kaybeder.

2.4.5. Ksantan sakızı (xcd)

Tüm çamur tiplerinde kullanılan bu polimerin ana amacı düşük jel ve viskozite sahibi olan çamurda kullanılarak kesintilerin yüzeye getirilmesi veya sirkülasyon yokken kesintileri askıda tutma özelliği sağlar. Yüksek pH değerine sahip çamurlarda bu polimer bağ yapma etkisini kaybetmeye başlar. Kuyu dibi temizliğinin iyi olmadığı durumlarda çamur tanklarının bir bölümünde yüksek oranda verilerek *Hi-Vis* denilen yüksek viskozite sağlanarak kuyu dibi temizliği yapılmasına yardımcı olur.

2.4.6. Kromsuz lignosülfonat (cfl)

İnceltici olarak da bilinen bu katkı maddesi bulaşım ve yüksek kil oranının yükselmesi sonucu artan viskoziteyi düşürmek için kullanılan önemli katkı maddesidir. CFL, işlevini geniş bir pH aralığında gerçekleştirirken en iyi çalıştığı pH aralığı 9-11 arasındadır. Viskozitenin ve jelleşmenin yükseldiği durumlarda çamura eklenir ve pH değeri 5-7 arasında olduğu için sisteme verilirken dikkatli olunmalı, olası pH düşüklüğünde sisteme kostik verilmelidir. Killi formasyonların sondajı sırasında oluşabilecek matkap sarmasını engellemek için “CFL Pill” şeklinde çamur tanklarında yüksek oranda hazırlanarak matkaba sarmış olan killeri çözerek matkap ile kayaç

arasında temasın artmasını sağlar. Kuyu sıcaklığı 350 °F (177°C)'a yaklaştığı değerlerde etkisini kaybetmeye başlar.

2.4.7. Kostik

Sondaj çamurunun tankta hazırlanmasından önce suyun kalsiyuma bağlı sertliğinin giderilmesinde ve özellikle kalsiyuma bağlı çamur kirlenmesinde kullanılarak sondaj çamurunun sıvı kaybı, yüksek viskozite ve yüksek jel değerlerinin etkisini azaltmak için kullanılan katkı maddesidir.

2.4.8. Sodyum karbonat (soda külü)

Sondaj çamurunun tankta hazırlanmasından önce suyun kalsiyuma bağlı sertliğinin giderilmesinde ve özellikle kalsiyuma bağlı çamur kirlenmesinde kullanılarak sondaj çamurunun sıvı kaybı, yüksek viskozite ve yüksek jel değerlerinin etkisini azaltmak için kullanılan katkı maddesidir. Kullanım oranı her varil başına 0,000928 lb şeklinde verilir.

2.4.9. Sodyum bikarbonat

pH derecesi 8,3 olan sodyum bikarbonat (NaHCO_3), çimento bulaşımı sonucu sondaj çamuruna bulaşan kalsiyum iyonlarını uzaklaştırmak için kullanılır. Çamur tanklarında çamur hazırlanmadan önce kalsiyum kaynaklı suyun sertliğini gidermek için kullanılır. pH derecesi soda külüne göre düşük olduğundan; jips ve anhidrit sondajı sırasında sistem çamuruna giren kalsiyum iyonlarını uzaklaştırmak için kullanımı çamurunun pH derecesini düşüreceğinden sistem çamuruna çözünebilir kalsiyum iyonlarının girmesine daha fazla sebep olabilir. Sodyum bikarbonat çimento ıslahı için kullanıldığında pilot test yapılarak kullanılması gerekmekte aksi takdirde sistem çamurunda yanlış kullanımı sonucu karbonat veya bikarbonat kirlenmesi sonucu yüksek jel, viskozite ve sıvı kaybına neden olacaktır.

2.4.10. Sitrik asit

Sondaj çamuruna çimento bulaşımı sonrası artan pH değerini kontrol etmek için kullanılan katkı maddesidir. Kullanımı sonucu uygun pH uygun değere geldiğinde çözünmüş halde bulunan kalsiyum iyonlarını uzaklaştırmak için sodyum bikarbonat veya soda külü ile kullanılması tavsiye edilir.

2.4.11. Potasyum klorür (kcl)

Potasyum klorür (KCl), suya duyarlı şeylleri, özellikle sert, kırılğan şeylleri sondajında başarılı olmak için en yaygın kabul gören sondaj çamuru katkı maddesidir. K^+ iyonları kil yüzeylere yapışır ve sondaj sıvılarına maruz kalan şeyllere stabilite kazandırarak yıkılma ve dökülmeyi engeller. İyonlar ayrıca kesintileri bir arada tutmaya yardımcı olur ve daha ince parçacıklara dağılmayı minimum düzeyde tutar (O'Brien ve Chenevert, 1973).

2.4.12. Lubrikantlar

Su bazlı sondaj çamurunun sürtünme katsayısını azaltarak, farklı tork ve sürtünmeyi azaltır ve diferansiyel yapışmayı önler. Sondaj çamurunun reolojik ve filtrasyon özellikleri üzerinde hiç etkisi olmaz veya minimal seviyede etkiler. 300 °F (149°C)'ın üzerindeki sıcaklıklarda termal olarak sabit kalır (Karben, 2023).

2.4.13. Barit

Barit ($BaSO_4$), kuyu içerisinde sirkülasyon halinde bulunan çamurun hidrostatik basıncını arttırmak için kullanılan yoğunluk arttırıcı katkı maddesidir. Ayrıca yıkılma ve dökülme eğilimine sahip şeylli formasyonların sondajı sırasında kuyu cidarına mekanik olarak pozitif etki ederek yıkılma ve dökülmeleri engeller.

2.4.14. Kalsiyum karbonat

Ağırlaştırıcı bir diğer katkı maddesi olan kalsiyum karbonat ($CaCO_3$), hidrokarbon rezervuarlarının olduğu formasyonların sondajlarında kullanılır. Hidroklorik (HCl) asitte çözündüğünden rezervuar formasyonunda kalıcı kirliliğe neden olmaz. Ayrıca çamur kaçağı yaşanan formasyonlarda tıkama görevi görür. İnce, orta ve kalın şeklinde tanecik boyutlara sahip olup kaçak miktarına göre seçimi yapılarak sirkülasyonun tekrar sağlanmasında yardımcı olur.

2.4.15. Kısmen hidrolize edilmiş poliakrilamitler (phpa)

Şişme ve yıkılma özelliği gösteren formasyonların sondajında kullanılan KCl çamurunda kullanılan önemli katkı maddesidir. PAC-LV ile birlikte kullanıldığında kesintilerin etrafını kapsül şeklinde sararak yüzeye gelmesini sağlar. Kesintilerin fiziksel ve kimyasal olarak bozunmasına engel olarak dağılmasını önler. Bu özelliği ile kısmen hidrolize edilmiş poliakrilamitler (PHPA), özellikle aktif killerin sondajı

sırasında dağılmasını engelleyerek sistem çamurunun MBT değerinin artmasını önler ve kuyu cidarında kalın bir kek oluşumunu engeller. pH değerinin 11 ve kalsiyum değerinin 400 mg/l geçmesi durumunda etkisini kaybeder. Yüksek moleküler yapısı nedeninden dolayı yüksek viskoziteye neden olabileceğinden sondaj çamuruna ilavesi yavaş şekilde olmalıdır.

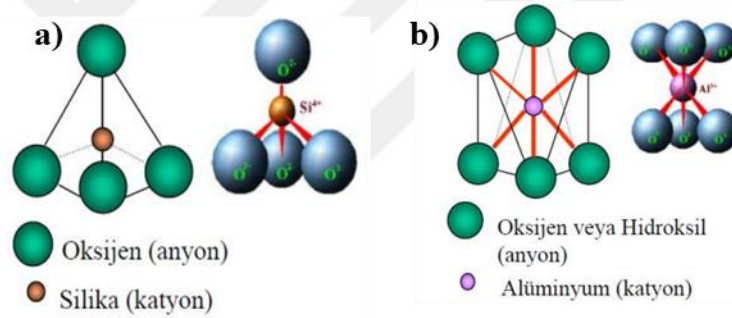
2.4.16. Glikol

Yıkılma ve dökülme eğilimi gösteren şeyilli formasyonların sondajında, sıcaklık etkisiyle bu formasyonların mikro çatlakları arasında bulutlanma özelliği sayesinde çatlakları tıkayarak, formasyon ile kuyu arasındaki basınç farkını azaltarak mekanik inhibisyon sağlar. Ayrıca sondaj dizi sıkışmalarından olan diferansiyel sıkışmaların olduğu kuyularda da formasyon ve kuyu arasındaki basınç farkını giderdiği için dizinin kuyu cidarından kurtulmasına olanak verir. Genelde sistem çamurunda %2 olarak kullanılır.

3. KİL KİMYASI

Petrol ve doğalgaz sondajlarında kesilen formasyonlarda kil ve şeyllerin olması kuyu stabilitesi açısından önemlidir. Kesilen formasyonların özelliklerinin anlaşılması sondaj çamur tipini, çamur kompozisyonunu ve özelliklerini belirlemektedir. Ayrıca bir diğer önemli nokta olan sondaj katkı maddelerinin en önemlilerinden olan bentonitin iyi reolojik özellik, sıvı kaybı, ince ve geçirimsiz bir kek oluşturması bu alanda killerin yapısını öğrenmede önemli bir noktadır.

Kil mineralleri silika tetrahedral ve alümina oktahedral yaprakların birbirine bağlanması sonucu oluşurlar. Şekil 3.1’de görüldüğü üzere oktahedral (düzgün sekizyüzlü) yapıda üç oksijen ya da hidroksilden oluşan iki tabaka arasına yerleşmiş katyon olan alüminyum, demir ya da magnezyum bulunurken, tetrahedral (düzgün dörtyüzlü) yapı da köşelerde oksijen atomu olan düzgün dört yüzlünün ortasına bir silisyum atomu yerleşmiştir (Hancıoğlu, 2015).



Şekil 3.1. Oktahedral ve tetrahedral yapı (Hancıoğlu, 2015)

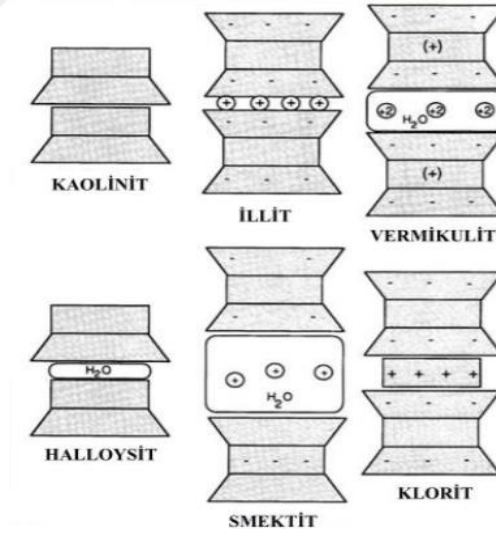
Tetrahedron (T) ve oktahedron (O) katmanlarının üst üste birbirine bağlanmasıyla kil minerallerine ilişkin tabakalar oluşmaktadır. Bir oktahedron katmanı ve bir tetrahedron katmanının üst üste birbirine bağlanmasıyla tetrahedron-oktahedron (TO) tabakası (1:1 tabakası) oluşur. Bu birim tabakaların birbirine bağlanma türlerine göre kil mineralleri oluşmaktadır. Bu killeri kaolinit, smektit (montmorillonit), mika, klorit, ve vermükilinit olmak üzere 6 grupta sıralanabilir (Şekil 3.2).

Kaolinit kili, tetrahedral-oktahedral (1:1) yapı olarak da bilinir. Oktahedral yapısında bulunan hidroksil iyonları ile tetrahedral yapıdaki oksijen iyonları arasında güçlü bir bağ kurularak birim tabakalar arasından çekim kuvveti vardır. Bu çekim kuvvetinden dolayı birim tabakalar birbirine yakın olduğundan suyun birim tabakalar arasına girmesine izin vermediğinden bu kil minerali şişme özelliği göstermez.

Mika-ilit kil mineralleri yapısal olarak smektit grubuna benzemektedirler. Yapısal olarak tetrahedral-oktahedral-tetrahedral (2:1) yapısında olup smektitlerin yapısından farklı olarak K^+ katyonu içermektedirler. Birim tabakalar elektrik yük fazlalığından dolayı negatif yüklü olduklarından birim tabakalar arasına K^+ katyonu girip dengelenerek nötrleşir (Kök vd., 2023; Orhan, 2024). Bu yapının oluşmasından dolayı birim tabakalar arasında bağ oluştuğundan suyun bu tabakalar arasına girmesine izin verilmez ve şişme özelliği göstermez.

Klorit kili, 2:1 tabakalı yapıya sahip olup birim tabakalardaki yük dağılımı sonucunda yüklerin yer değiştirmesi sonucu pozitif yük fazlalığı ortaya çıkmasından dolayı birim tabakalar arası çekim kuvvetinin artmasına sebep olacağından suyun bu tabakalar arasına girip şişmesine engel olur.

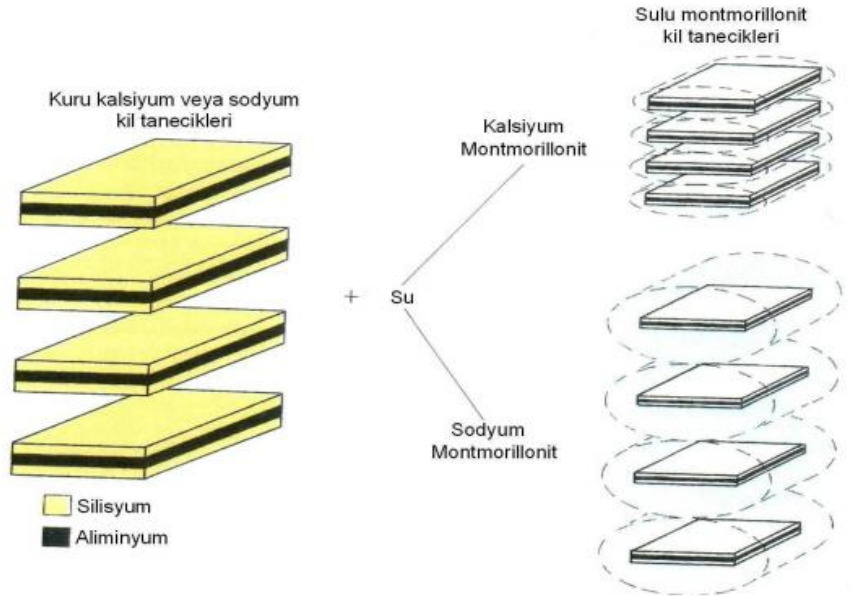
Tüm smektit grubunda olan killer gibi bentonitte 2:1 tabakalıdır. İki tetrahedral (silika) tabakası arasında bir oktahedral (gibsit) tabakası olan birim hücreye sahiptirler (Orhun, 2006). Tetrahedral yapısında bulunan bazal düzlemdeki oksijen atomlarının karşılıklı olmasından dolayı birim tabakalar arasında zayıf bir bağ oluşmasına neden olur ve suyun bu birim tabakalar arasına girmesine izin vererek bu kil mineralinin şişme özelliği gösterir (Erpul, 2014).



Şekil 3.2. Kil minerallerinin yapısı (Erpul, 2014)

Şekil 3.2'de kil minerallerinin yapısı ve birimin tabakalar arasındaki suyun şişmeye etkisi gösterilmektedir. Bunların arasında şişme özelliği gösteren en çok montmorillonit kil grubu olup en problemli kil mineralidir. Su ile temas ederek şişme özelliği gösterdiğinden petrol ve doğalgaz sondajlarında kuyu stabilitesi açısından problemler gösterir.

Montmorillonit kilinde elektriksel yük dengesizliğinden dolayı bu kil mineralinin yüzeyi negatif yükle yüklüdür. Bu tabakalar arasında su molekülleri ve pozitif yük ihtiyacını karşılamak amacıyla değişebilen katyonlar bulunmaktadır. Bu değişebilen katyonlar genellikle kalsiyum, sodyum ve potasyum iyonlarıdır. Katmanlar arasında yer alan değişebilen katyonların türü ve miktarı, kil mineralinin su tutabilme ve şişme özelliğini belirlemektedir (Kök vd., 2023; Orhan, 2024). Bu katyonların çoğunlukla sodyum olması durumunda montmorillonit grubunun en önemlisi olan sodyum bentonit oluşur, kalsiyum iyonlarının çoğunlukta olması durumunda ise kalsiyum bentonit olarak adlandırılması yapılır. Kalsiyumun sodyuma göre artı yük taşımasından dolayı bentonit içerisindeki birim tabakaların daha çok yaklaşmasını sağlayarak suyun birim tabakalar arasına girmesine sodyuma göre daha az izin verir. Bu sebepten dolayı kalsiyum bentonitler sodyum bentonitlere göre daha az şişme özelliği gösterir (Şekil 3.3). Sodyum bentonitler sondaj çamuru açısından şişme özelliği gösterdiğinden önemlidir. Bu özellik sayesinde sondaj çamuruna viskozite, sıvı kaybı ve geçirimsiz kek özelliği kazandırır (Özdemir ve Özcan, 2023).

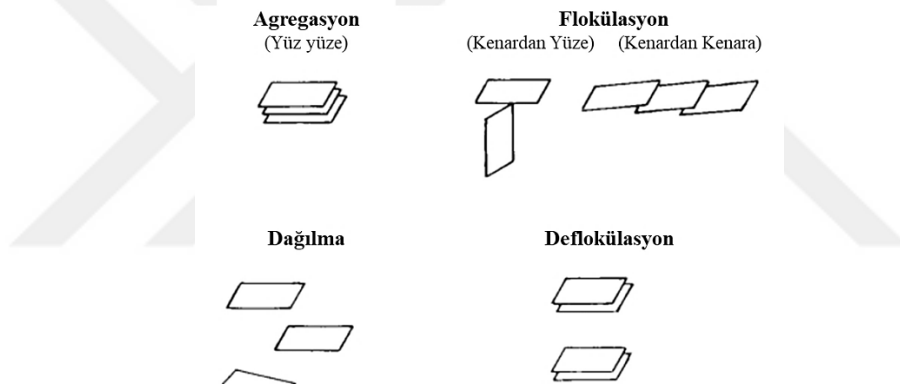


Şekil 3.3. Kalsiyum ve sodyum montmorillonit (Özdemir ve Özcan, 2023)

Bir başka önemli nokta olan formasyonların sondajı sırasında sondaj çamuruna giren killerdir. Yüksek miktarda giren killerin; sondaj çamurunda bulunan su ile temas etmesinden dolayı şişmesi, kilin şişmesinden dolayı kuyu çapının daralması ve sondaj dizi sıkışmaları, yüksek reolojik özellikler sergilemesi, katı madde miktarını

arttırmasından dolayı çamur özelliklerinin kontrolünün zorlaşması ve çeşitli bulaşımına karşı hassas özellik göstermesinden dolayı önemlidir.

Bulundukları ortam içerisinde rastgele hareket eden disperse dağılmış kolloidal parçacıklar bu serbest hareketlerinden dolayı sık sık birbirlerine çarparlar. Dispersiyonlara tuz, polimer, yüzey aktif gibi katkıları ilave edildiğinde bu parçacıkların çarpıştıktan sonra birbirlerine tutunmaya başladıkları görülür (Canbaz, 2008). Bu tutunma etkisiyle parçacıklar arasında kümelenme oluşmaya başlayarak sistem kısa mesafeli çekim kuvveti altında kalarak parçacıklar agregate yapı oluştururlar, bu elektriksel çekim kuvveti ile parçacıkların sürekli iletişim halinde olması durumunda ise kümelenme şeklinde yapılar oluşarak flokülasyon oluşmasına neden olurlar (Şekil 3.4). Floküle ve agregate sistemlerde sistem stabil değildir ve yüksek sıvı kaybı ve jel mukavemeti ile tanımlanırlar. Disperse (dağılma) ve defloküle sistemlerde sistemin sıvı kaybı ve jel değerleri düşüktür (Omole vd., 2013).



Şekil 3.4. Kil parçacıklarının bağlanma şekilleri (Omole vd., 2013)

Bu sistemde istenmeyen killerin olması jips ve anhidrit formasyonlarının sondajı sırasında kalsiyum iyonlarının sistem çamuruna girmesinden dolayı pozitif yük fazlalığından killerin yüzeyine absorbe olarak killerin birim tabakalarının birbirine daha sıkı bağlanmasıyla sonuçlanır ve suyun birim tabakalar arasına girmesine izin vermayerek floküle olmasına neden olur. Floküle olan killer; yapılarına su almayıp şişme özelliği gösteremediğinden kısa menzilli çekme kuvvetleri etkisi altındadırlar. Bu özellikleri ile yüksek viskozite, jel mukavemeti ve yüksek sıvı kaybı özelliği göstererek sondaj çamurunun özelliklerinin kontrol edilmesinde zorluklar ortaya çıkarırlar. Bu formasyonların sondajı sırasında sondaj çamurunun kil oranı ve kalsiyum oranı; sıvı kaybı, reolojik özellikleri etkilediğinden dolayı takip edilmeli ve gerektiğinde çamurun ıslah çalışmaları yapılmalıdır.

4. KALSİYUM KİRLENMESİ

Petrol ve doğalgaz kuyuları açılırken aktif tanklardan kuyu tabanına kadar sondaj akışkanı dolaşır. Sahip olduğu fiziksel ve kimyasal özellikleri ile sondaj için önemli olan görevleri yerine getirir. Tüm bu fonksiyonların en iyi şekilde yerine getirilmesi için, sondaj sıvısı kuyu tabanına ulaştığında matkap ucundan geçerek anülüsten yukarı geri döner ve yüzeye çıkarak sirkülasyon döngüsünü tamamlayarak aktif tanklara dönerek sirkülasyon yapmış olur (İmir, 2019; Orhan, 2024). Sondaj sıvısının izlediği yolu analiz edersek, sondaj sıvısının formasyonlardan gelebilecek dış etkenlerle, bazı durumlarda da yanlış kimyasal maddeler kullanımı sonucu kirlenmeye maruz kalabilir. Bu kirlenmeler; sondajı yapılan jips ve anhidrit kaynaklı kalsiyum bulaşımı (kirlenmesi-kontaminasyonu), casing çimentolanması sonunda yapılan çimento sondajı ve bundan kaynaklı çimento içerisinde bulunan kalsiyum hidroksit ile sistem çamuruna kalsiyum bulaşımı ve ıslahı yapılmayan çamurun özelliklerini kaybederek karbonat ve bikarbonat kirlilikleri olarak belirtilir. Sondaj akışkanı kirliliğinin sondaj operasyonları üzerindeki olumsuz etkisi; sondaj sıvısının hazırlandığı esnada sahip olduğu fiziksel ve kimyasal özelliklerini kaybetmesi ve sondajın gerçekleştirilmesi için gereken işlevleri yerine optimum şekilde getirememesidir. Sondaj sıvısının kirlenmesi durumunda değişebilecek en önemli özellikler reolojik değerler, sıvı kaybı ve alkalinite olarak belirtilir.

4.1. Jips ve Anhidrit Kaynaklı Kirlenme

CaSO_4 (kalsiyum sülfat) içeren jips ve anhidrit formasyonlarının sondajı sırasında sistem çamuruna giren kalsiyum iyonları sistem çamurunun fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirmektedir. Kalsiyum iyonu, tatlı su bazlı sodyum bentoniti ile işlenmiş çamur sistemleri için önemli bir kirlletici maddedir. Kalsiyum iyonu baz değişimi yoluyla kil yüzeyindeki sodyum iyonlarının yerini alma eğiliminde olduğundan çamurun reoloji ve filtrasyon gibi özelliklerinde istenmeyen değişikliklere neden olur. Islah etme yöntemi kalsiyum iyonunun kaynağına bağlıdır (Al Hameedi, 2019). Örneğin, kaynağın alçı veya anhidrit olması durumunda sodyum karbonat (soda külü) kullanılır. Kalsiyum iyonunun kireç veya çimentodan olması durumunda pH değerini de düşürmeye yardımcı olacağından tercih edilen katkı maddesi sodyum bikarbonattır. Lignosülfonat çamurunda, kalsiyum iyonları kostik (hidroksil) katkı maddesi verilerek iyonları verilerek ıslah edilmemelidir. Çünkü sistemde bulunan

kalsiyum iyonları ile hidroksil iyonlarının tepkimesi sonucu oluşan depo kireç (P_m) çamurun reolojik değerlerinin kontrolsüz artmasına sebebiyet verecektir.

Kalsiyum bulaşımının ciddiyeti sisteme giren kalsiyum miktarına bağlıdır. Kalsiyum iyonu düşük düzeyde bulaşımının etkisi çeşitli katkı maddeleri ile kontrol edilebilir. Ancak yüksek düzeyde kontaminasyonda, sondaj çamurunun sisteminin kalsiyum bazlı sistemine değiştirilmesi gerekmektedir. Alçı bazlı veya kireç bazlı sistemlerde, sondaj çamurunun özellikleri değiştirilmeden kalsiyum kirlenmesini kontrol edebilir (Noormohammadi, 2019). Kalsiyum kontaminasyonunun bentonit sistemi üzerindeki etkisi, yüksek viskozite, jel mukavemetidir. Bu özellik, kontaminasyonun konsantrasyonuna ve aktif katıların konsantrasyonuna bağlıdır.

4.2. Çimento Kaynaklı Kirlenme

Tatlı su bentonit sistemlerinde çimento kirliliğinden kaynaklanan flokülasyon çok yüksek olacaktır; istenmeyen sonuçlar jel mukavemeti, pH ve sıvı kaybında görülen yükselmedir. Sondaj çamurunun floküle olması, sondaj çamurunun içerisindeki katı madde miktarına ve Ca^{+2} 'nin çözünürlüğüne bağlı olarak maksimuma çıkarılabilir (APC, 1994). Çimento kirliliği sodyum bikarbonat ($NaHCO_3$) kullanılarak ıslah edilebilir. Bu kimyasal katkı maddesini kullanmanın amacı, çözünmeyen kalsiyum çökeltisi olarak sistemdeki kalsiyumu ve fazla kireci uzaklaştırırken pH'ı kontrol etmektir (Al Hameedi, 2019). Şayet saha ortamında envanterde sodyum bikarbonat bulunmaması durumunda sitrik asit ile pH değeri düşürülerek depo kireç içerisinde bulunan kalsiyum iyonları çözünerek ortaya çıkartılır. Ortaya çıkan bu kalsiyum iyonlarını sodyum karbonat ile çöktürme yapılarak çamur ıslahı yapılır. Eğer çimento kirliliği yüksek düzeydeyse ve çamuru ıslah etme potansiyeli yok ise sistemi kalsiyum bazlı çamura dönüştürmek daha iyi olabilir.

4.3. Karbonat ve Bikarbonat Kaynaklı Kirlenme

Karbondioksit, soda, sodyum karbonat veya sodyum bikarbonat katkı maddelerinin yanlış kullanımı, organik maddenin termal bozulması ve çamur hazırlama tankları olan hopper tanklarının havalı çalışması sonucunda sondaj çamurunda karbonat ve bikarbonat kirliliği yaşanmaktadır (Trotter vd., 2015). Ayrıca, sondaj çamuruna kalsiyum içeren formasyonların sondajı sırasında giren kalsiyum iyonları pH değerini düşürür ve bu da ortamda bulunan karbondioksitin düşük pH ortamında karbonat ve bikarbonat kirliliğine dönüşmesine neden olur. Bu kirlenme sonucunda sıvı kaybı ve jel

mukavemeti değerlerinde artışlar gözlemlenir. Çizelge 4.1’de de görüldüğü üzere laboratuvar ortamında P_f - M_f metodu uygulanarak sistemdeki karbonat ve bikarbonat değerleri ölçülerek gerekli hesaplamalar sonucunda kireç veya alçı ile ıslah çalışmaları yapılır.

Çizelge 4.1. P_f ve M_f metodu ile hesaplamaları

P_f ve M_f Oranı	Hidroksil (OH^-)	Karbonat (CO_3^{2-})	Bikarbonat (HCO_3^-)
$P_f = 0$	0	0	$1220 \times M_f$
$P_f = M_f$	0	$1200 \times P_f$	$1220 \times (M_f - 2P_f)$
$(2 \times P_f) = M_f$	0	$1200 \times P_f$	0
$(2 \times P_f) > M_f$	$340 \times (2P_f - M_f)$	$1200 \times (M_f - P_f)$	0
$(2 \times P_f) < M_f$	$340 \times M_f$	0	0

Bu noktada kireç ile ıslah yapılması kirecin içerisinde bulunan hidroksil iyonları sayesinde sistem çamurunun pH değerine de katkıda bulunur. Karbonat ve bikarbonat ıslah çalışması yapılırken sisteme kalsiyum iyonları eklendiğinden değerler iyi gözlenmeli gerekirse laboratuvar ortamında pilot test yapılmalıdır aksi takdirde kalsiyum kaynaklı kirlenmelere neden olacaktır.

4.4. Kalsiyum Kirlenmesi ile İlgili Literatür Taraması

Mirza (2014) tarafından yapılan laboratuvar testlerinde, alçı ($CaSO_{4.1/2}H_2O$) kirliliğinin su bazlı çamurun yoğunluğuna, plastik viskozitesine (PV) ve akma noktasına (YP) etkisi incelenmiştir. Mirza (2014)’nın çalışmasında, deneylere, Beher A ve Beher B’de 200 ml bazlı çamurun hazırlanmasıyla başlanmıştır ve sondaj sıvısı başlangıçta ağırlık, PV ve YP açısından viskozimetre kullanılarak test edilmiştir. Değerler kaydedildikten sonra su bazlı çamur içeren behere yaklaşık 5 gram (gr) alçı eklenmiştir. Alçı içeren çamur 3 dakika karıştırıldıktan sonra viskozite, plastik viskozite (PV) ve akma noktası (YP) değerleri kaydedilmiştir. Su bazlı çamurun içerisine 10, 15 ve 20 gr alçıtaşı ilave edilerek deneyler tekrarlanmıştır. Temel olarak viskozite, yoğunluk, YP ve çamur ağırlığı artışının gözlemlendiği tespit edilmiştir.

Gaurina-Medimurec vd. (2004) tarafından yapılan bir araştırmada ise kalsiyum bulaşımının silikat çamuru üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Silikatlar, jips ve anhidrit kesintileri etrafından koruyucu kapsül oluşturarak kalsiyum iyonlarının çamurunun özelliklerini etkilemesini önlemiştir. Silikat bazlı sondaj sıvısı, üstün şeyl stabilize edici özellikleri nedeniyle şeylle iç içe geçmiş anhidrit formasyonları sondajı sırasında kullanılabilir. Gaurina-Medimurec vd. (2004)’in çalışmasında 800 ml NaCl çözeltisine;

potasyum karbonat (40 gr), natrium silikat (80 ml), xanthan gum (3 gr), Pac (8 gr), nişasta (5 gr), biyosit (1 gr), CaCO_3 ince (25 gr), CaCO_3 orta (25 gr), CaCl_2 (0, 5, 10, 25, 50, 100 gr), alçı (0, 5, 10, 25, 50, 100 gr) oranlarında hazırlanmıştır. Silikat çamuru, kalsiyum klorür ve alçı varlığında stabil reolojik özellikler göstermiştir, ancak daha yüksek filtrasyon değerleri ve daha düşük pH değerleri ile daha düşük alkalinite gözlenmiştir. Ayrıca, kalsiyum iyonlarının konsantrasyonu ne kadar yüksek olursa, silikatların konsantrasyonu o kadar düşmüştür. 100 gr/l'den yüksek konsantrasyonda iki değerlikli kalsiyum iyonlarının varlığı, çözünür silikatın çökmesine neden olmuştur. Sonuç olarak, silikat çamurunun dengeleyici etkisi kaybolmuştur.

Ujma ve Plank (1989) yaptıkları araştırmalarda Kuzeydoğu Almanya'da bulunan Zenchstein formasyonunda NaCl dışında kalsiyum ve magnezyum değerlerinin 140.000 ppm değerlerini aştığı ve sondaj problemlerine neden olduğu tespit edilmiştir. Zechstein formasyonu sondajında o zamanlarda kullanılan sıvı kaybı katkı maddelerinin yaygın bir dizisi selüloz tipi polimerlerdir; en sık kullanılan CMC veya PAC tipi katkı maddelerinin avantajları, sondaj çamurunun basit tasarımı ve kolay izlenmesidir. Bununla birlikte, büyük kalsiyum girişleri meydana geldiğinde, Ca iyonlarını çökeltmek ve uygun bir CMC veya PAC performansını sürdürmek için çamurun ağır bikarbonat muamelesi gerektiği vurgulanmıştır. Ayrıntılı bir laboratuvar çalışmasında, tuza doymuş bir çamurda, CMC'nin magnezyum iyonlarından etkilenmediğini, ancak kalsiyum içeriği 1.000 ppm'yi aştığında bozulduğunu Ujma ve Plank (1989)'ın çalışmasında tespit edilmiştir. Makul sıvı kaybı kontrolü genellikle yalnızca aşırı yüksek dozlarda (14 ppb ila 17 ppb) CMC ile sağlandığı gözlemlenmiştir.

Al-Hameedi vd. (2019) tarafından Irak Nahr Umr petrol sahalarında yapılan çalışmada Irak Nahr Umr sahasında Rus formasyonunda yüksek oranda kalsiyum kirliliği yaratacak jips ve anhidritlerin bulunması sondaj açısından problemler yaratmıştır. Bu petrol sahasındaki 14 ve 19 numaralı kuyularda yapılan analizlerde yüksek kalsiyum bulaşımı ve bunun sonucunda YP, jel mukavemeti ve yüksek sıvı kaybı değerleri görülmüştür. Ayrıca 23 numaralı kuyuda çimento sondajında yüksek YP, PV artışı, yüksek alkalinite, yüksek filtreleme ve kalın çamur keki dâhil ancak bunlarla sınırlı olmamak üzere pek çok zorlukla karşılaşıldığı gözlenmiştir. Bu problemler, daha fazla kimyasal katkı maddesi kullanılarak, çok düşük kalsiyum içeriğine sahip yeni dirençli çamur hazırlanarak ve eski çamurla karıştırılarak, kirlenmiş çamurun büyük bir kısmı boşaltılarak veya çamur tipi sodyum bazlı çamurdan kalsiyum

bazlı çamura dönüştürülerek, kireç çamuru ile değiştirilerek çözülmüştür (Al-Hameedi vd., 2019).

Nasiri vd. (2012) tarafından sentetik sülfonatlı polimerlerin farklı pH değerlerinde çimento, kalsiyum klorür ve alçıtaşı gibi kirleticilerin varlığında sondaj sıvılarının özellikleri ve verimliliği üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Sonuçlar, bu tür polimerlerin varlığından dolayı daha iyi reolojik özelliklere işaret etmektedir. Kalsiyum klorür durumunda, reolojik parametreler neredeyse sabit olduğu, sıvı kaybının ise büyük ölçüde arttığı görülmüştür. Çimento ve alçıtaşı ilavesi, daha küçük reolojik parametre değerleriyle sonuçlanırken, sıvı kaybında hafif bir artışa neden olmuştur. Ayrıca, pH değişiklikleri daha küçük görünür viskozite (AV) ve PV değerlerine yol açtığı ancak, YP değerinin neredeyse sabit olduğu bulunmuştur.

Broni-Bediako ve Amorin (2019), su bazlı çamur üzerinde çimento bulaşımını araştırması yapmıştır. Kompozisyon olarak 350 ml suya 22,5 gr bentonit, 2,5 gr CMC, 5 gr kalsiyum klorür, 5 gr barit hazırlamıştır. Daha sonra 10, 20 ve 30 gr çimento eklenerek sonuçlar gözlemlenmiştir. 25 °C, 40 °C ve 60 °C sıcaklıklardaki reolojik özelliklerin yanı sıra çamurun pH'ı, sıvı kaybı ve yoğunluğu belirlenmiştir. Buna göre çimento konsantrasyon oranı arttıkça tüm test sıcaklıklarında YP ve jel mukavemetinin arttığını göstermiştir. Ancak PV; 40 °C ve 60 °C'de 10 g ve 20 g çimento konsantrasyonu ile bir miktar azalmıştır ve 30 gr çimento kirliliğiyle daha da artmıştır. Çimento konsantrasyonu arttıkça su bazlı çamurun sıvı kaybı, yoğunluğu ve pH'ı kademeli olarak arttığı tespit edilmiştir.

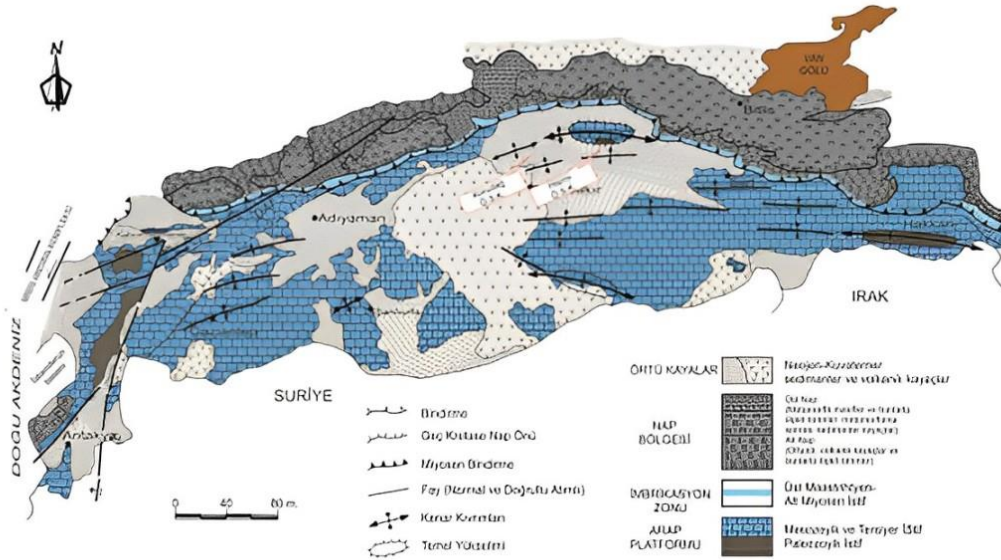
Joel vd. (2012) tarafından çimentonun çamur üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Kompozisyon olarak 321 ml suya, 0,5 gr PAC-LV ve PAC-R, 0,2 gr soda külü, 3 gr KCl, 31 gr barit eklenmiştir. Daha sonra 50 gr ve 100 gr çimento eklenerek çamur özellikleri gözlemlenmiştir. Sonuç olarak çimento oranının artırılması ile PV, YP ve jel mukavemeti değerlerinde artış olduğu gözlemlenmiştir.

Shi vd. (2019) KCl tuzunun şeyl inhibisyonu üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bu testler, %0, %2, %4, %6 ve %8 tuzlu su konsantrasyonları ile 24, 48, 72 ve 96 saat boyunca KCl çözeltisine batırılmış şeyl numuneleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar, mikro çatlaklara ve tabakalanma çatlaklarına sahip numunelerin çözeltiye daldırıldıktan sonra en yüksek şişme artışına ve en büyük mukavemet azalmasına sahip olduğunu göstermektedir. Artan KCl konsantrasyonu ile şişme potansiyeli azalmıştır. Ek olarak, KCl, numunelerin mekanik özelliklerinin zayıflaması üzerinde belirli bir inhibisyon etkisi sergilemiştir.

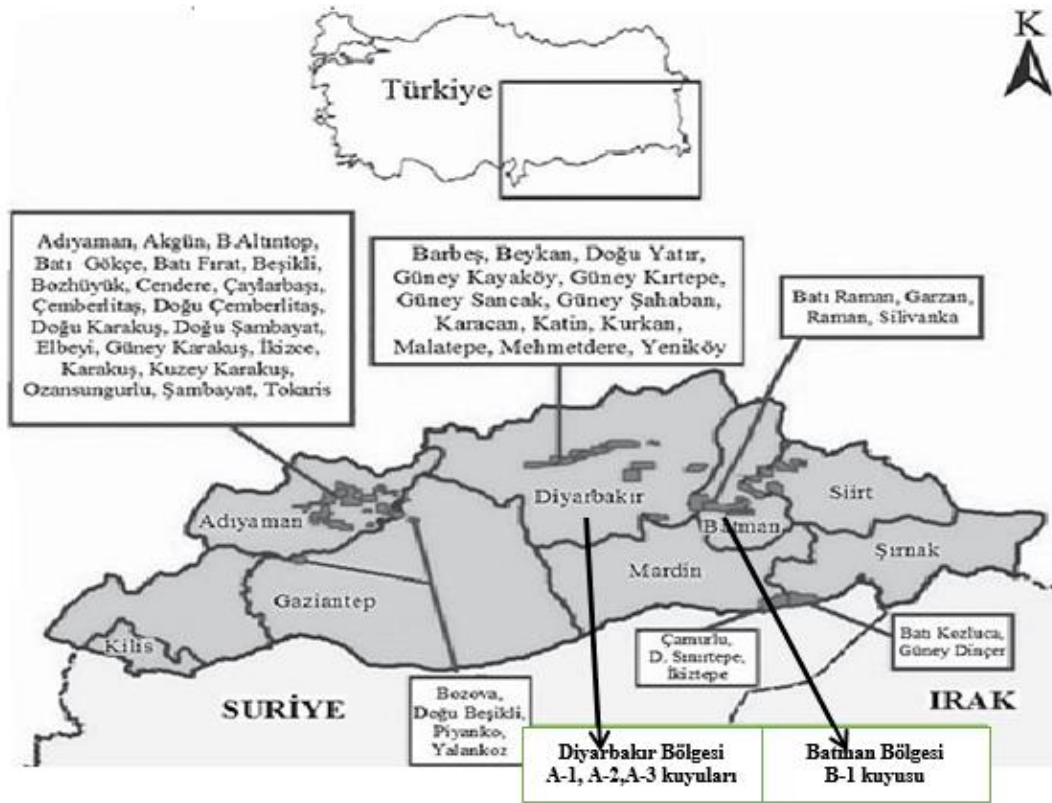
Mahmud vd. (2020) yapılan araştırmada ana katkı maddesi bentonit olan su bazlı çamura karbonat ve bikarbonat eklenerek araştırma yapılmıştır. Bu çalışmada, laboratuvar koşullarında hazırlanan su bazlı sondaj çamuru üzerindeki çeşitli kirletici maddelerin etkileri araştırılmıştır. Her biri farklı konsantrasyonlarda sodyum karbonat ve sodyum bikarbonat kirleticilerine sahip üç çamur numunesi, su bazlı çamur sıvısı ile karıştırılmış ve bunların sondaj sıvısının reolojik özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmak üzere formüle edilmiştir. Ölçülen zellikler pH, sıvı kaybı, çamur keki kalınlığı, PV ve YP değerleridir. Sodyum karbonat konsantrasyonu arttıkça çamurun pH'ı artırmış, ancak bikarbonat konsantrasyonu arttıkça azalmıştır. Her ikisinin de konsantrasyonunun artmasıyla PV değeri azalmıştır. Ayrıca kirletici konsantrasyonun artmasıyla sıvı kaybının da orantılı olarak arttığı bulunmuştur.

5. ÇALIŞMA ALANININ GENEL JEOLJİK ÖZELLİKLERİ

Bu tezde çalışılan kuyular Güney Doğu Anadolu Bölgesinde yer almaktadır. Türkiye petrol üretiminin tamamına yakınının (%95'inden fazlasının) Güney Doğu Anadolu bölgesinden yapmaktadır (Özgür, 2017; Özdemir, 2019). Güneydoğu Anadolu Orojenik Kuşağı; güneyden kuzeye doğru doğu-batı uzanımlı üç zona ayrılarak incelenebilir. Bunlar sırasıyla; Arap Platformu birimleri, bindirmeler sonucu oluşmuş melanj zonu ve en kuzeyde de nap grubudur (Öztürk, 2013). Güneydoğu Anadolu Bölgesi jeoloji haritası Şekil 5.1'de sunulmuştur. Hazro yükselimindeki Paleozoyik yaşlı petrolü kumtaşlarının bulunmasından dolayı Güneydoğu Anadolu bölgesi 1950'li yıllardan beri birçok şirket ve araştırmacının ilgisini çekmiştir. Birden fazla bölgede ve sahada petrol ve gaz üretimi yapılmaktadır. Şekil 5.2'de de görüldüğü üzere bunlar sırasıyla Diyarbakır ilinde bulunan; Kayaköy, Beykan, Güney Sarıcak; Batman'da Raman, Dodan, Mağrip, Silivanka; Nusaybin'de Batı Kozluca, Çamurlu ve Adıyaman ili civarında Adıyaman, Çemberlitaş, Şambayat ve Karakuş petrol ve gaz sahalarıdır. Üretim yapılan petrolerin ağırdan – hafife (10-42 API) kadar değişen API graviteye sahip olduğu bilinmektedir (Ağcıoğlu, 2013; Özgür, 2017).



Şekil 5.1: Güneydoğu Anadolu jeolojik haritası (Öztürk, 2013)



Şekil 5.2. Güneydoğu Anadolu bölgesinde bulunan bazı petrol sahaları (Özdemir, 2019'den uyarlanmıştır)

Güneydoğu Anadolu, Afrika-Arabistan kıtasının kuzey kenarında yer almaktadır. Bitlis–Zagros Kenet Kuşağı'nın batı kesimlerini Güneydoğu Anadolu Orojenik Kuşağı oluşturmaktadır. Gelişme koşulları, yapısal özellikleri ve gelişme ortamları açısından bakıldığında, Güneydoğu Anadolu'da iki zon ayırt edilmiştir. Bunlar, kuzey-güney doğrultusunda; Orojenik kuşak ve Arap platformu, Orojenik kuşak kendi içinde, kuzeyden güneye doğru Nap alanı ve Ekay zonu olmak üzere istifsel ve yapısal nitelik olarak birbirlerinden farklı olan iki bölüme ayrılır (Bülbul, 2019).

Bu sahalarda yapılan sondaj çalışmaları sonucunda ortaya çıkan formasyon kaynaklı problemlerin başında yüksek kil içeriğine sahip formasyonların sondajı sırasında oluşan kuyu stabilitesi sonucu sondaj dizi sıkışmalarına, evaporitik kayaçların sondajı sırasında ise yüksek kalsiyum bulaşımı sonucu sondaj çamurunun özelliklerinin bozulmasına, yüksek çatlaklı formasyonların sondajı sırasında ise sondaj çamurunun kaçığının oluşmasıdır. Bu durumlardan dolayı oluşan problemler sondaj süresini ve maliyetini artırarak negatif etki göstermektedir. Bu olumsuz etkileri gidermek için kuyu stabilitesi ve şeyl içerikli formasyonların yıkılmasını engellemek için hidrostatik basıncı arttırmak için sondaj çamuruna barit, kalsiyum karbonat, tuz gibi katkı maddeleri

eklenerek kuyu formasyon yıkılmalarını, su ile temas ettiğinde şişme özelliği gösteren formasyonların inhibisyonu için genelde KCl çamuru kullanılmaktadır. Bu tezde de ele alınan ve deneylerle gözlemlenen evaporitik kayaçların sondajı sırasında, yüksek kalsiyum bulaşımı sondaj çamurunun özelliklerini etkilediği için, çamur değerlerini kontrol altında tutabilmek amacıyla soda külü veya sodyum bikarbonat gibi katkı maddeleri kullanılmaktadır. Ancak, kalsiyum bulaşımının yoğun olduğu ve çamur özelliklerinin kontrolünün zorlaştığı durumlarda, kalsiyumun çamur üzerindeki etkilerini azaltmak için kireç çamuru tercih edilmektedir. Kaçaklı zonların sondajında ise kaçak önleyici mika, kalsiyum karbonat, kaçak fiber selüloz gibi katkı malzemeleri kullanılarak bu problemler giderilmeye çalışılmaktadır. Tezin bu bölümünde özellikle evaporitik ve killi formasyonların içeriklerinin jeolojik açıdan sondaj çamuru üzerindeki etkisi ve formasyonların sondajı sırasında ortaya çıkan problemler literatür araştırmalarına dayanarak incelenmektedir.

Güneydoğu Anadolu'nun genel litolojik stratigrafisi incelendiğinde Diyarbakır bölgesinde rezervuar formasyonu olarak Sayındere ve Derdere olarak killi kireçtaşı, kireçtaşı ve dolomitlerden oluşur. Üst kısımlarında ise iyi bir örtü kaya görevi gören şeyl ve marnlardan oluşan Kastel formasyonu ve Karadut karmaşığı gelmektedir. Üst sıralarda sırayla evaporitlerden oluşan Kayaköyü formasyonu, kumtaşı ve evaporitlerden oluşan Gercüş formasyonu, kireçtaşı ve dolomitlerden oluşan Hoya formasyonu, yüzey formasyonu olarak da çakıltası, kumtaşı ve kil taşından oluşan Şelmo formasyonu takip etmektedir. Batman bölgesi civarlarında ise rezervuar formasyonu olarak kireçtaşından oluşan Garzan formasyonu, üst kısımda uyumlu olarak gelen şeyl ve marnlardan oluşan Germav formasyonu ve üst kısımda bulunan ve kireçtaşından oluşan Üst Sinan formasyonu, üst kısımlara doğru şeyl, çakıltası ve kumtaşından veya evaporitlerden oluşabilecek Gercüş ve Antak formasyonu gelmektedir. Üst kısımlara doğru kireçtaşı ve dolomitten oluşan Hoya, evaporitlerden oluşan Germik formasyonu, kireçtaşından oluşan Fırat ve yüzey formasyonu olarak kumtaşı, çakıltası, kil taşı veya kireçtaşından oluşan yüzey formasyonu Şelmo gelmektedir (Bülbül, 2019).

5.1. Çalışma Alanındaki Formasyonlar ve Özellikleri

5.1.1. Şelmo formasyonu

Formasyonun kalınlığı, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde ortalama 455 metre iken, inceleme alanında 100-200 metre arasında değişmektedir. 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). Genel litolojik özelliği şeyl, kumtaşı, kil taşı ve çakıl taşıdır. Tezin araştırma kısmının yapıldığı bölgede en üst formasyon olarak görülmektedir.

5.1.2. Hoya formasyonu

Hoya Formasyonu, Güneydoğu Anadolu bölgesinde yaygın olarak bulunan ve genellikle krem-bej renkli, orta-çok kalınlıkta ve som tabakalara sahip bir jeolojik birimdir. Bu formasyon, sert ve kırılğan yapısıyla dikkat çeker ve dik yarlar oluşturabilir. Ayrıca içinde stromatolitik yapılar, algler ve bol miktarda bentik foraminifer içeren kireçtaşları bulunur. Hoya Formasyonu, diyajenetik süreçler sonucu oluşmuş geniş dolomit tabakalarıyla da karakterizedir. Bu formasyonun ismini, Diyarbakır ili Çüngüş ilçesinin 2 km güneybatısında bulunan Hoya köyünden almıştır (Ağcıoğlu, 2013).

5.1.3. Gercüş formasyonu

Gercüş ilçesi çevresinde tip kesit sunan, matriks dolgulu çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı ve marnlardan oluşan birim Gercüş formasyonu olarak adlandırılmıştır. Genel olarak kırmızımsı, yeşilimsi gri, kahverengi, alaca renkli, çakıltaşı, kumtaşı ve çamurtaşından oluşan formasyon en altta yeşil, koyu yeşil, kırmızı renkli orta-iyi olgun az tutturulmuş kaba kumtaşı çakıltaşı düzeyi ile başlar ve uyumsuz olarak daha yaşlı birimler üzerine oturur (Çelebi, 2019). Analizi yapılan bölgede kumtaşı, çakıltaşı ve evaporitlerden olan jips ve anhidritten oluşmuştur. Formasyon kalınlığı bölgeden bölgeye değişmekle olup çalışma yapılan alanda 200 ile 300 metre arasında değişkenlik gösterir.

5.1.4. Kayaköy formasyonu

Güneydoğu Anadolu Bölgesi, Oligosen dönemi boyunca yoğun tektonik faaliyetlere maruz kaldığından ve bu süreçte önemli paleocoğrafik değişiklikler yaşamıştır. Bölgedeki çeşitli yapısal unsurlar, bu tektonik hareketlerle birlikte şekillenmiş ve Orta Eosen'den sonra gerçekleşen tektonik aktiviteler, Eosen-Oligosen denizinin yapısını değiştirerek geri çekilmeye sebep olmuştur. Oligosen döneminde, Neotetis Denizi'nin hızla daralması ve sığ denizel koşulların hâkim olmasıyla birlikte,

kapanan denizin altında karbonatlarla birlikte evaporitler birikmiştir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi, Siirt-Baykan, Kurtalan, Batman-Beşiri, Diyarbakır-Çınar ve Bismil gibi geniş bir alanda, Oligo-Miyosen dönemlere ait karasal ve denizel büyük jips-anhidrit havzalarını barındırır. Bu evaporit havzalarının varlığı, petrol oluşumlarına zemin hazırlar (Yeşilova ve Helvacı, 2013).

Jips ve anhidrit, evaporit kayaçları arasında yer alır ve tipik olarak kurak iklim bölgelerindeki göllerde veya iç denizlerde, sığ denizlerin koy ve körfezlerinde meydana gelir. Bu mineraller, genellikle açık denizle bağlantısı zaman zaman setlerle kesilen sığ sularda, buharlaşmanın yoğun olduğu durumlarda oluşur. Bu ortamlarda, kalsiyum sülfat ve diğer iyonlar yeterli bir doygunluğa ulaştığında, kimyasal sedimantasyon yoluyla jips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) veya anhidrit (CaSO_4) ve diğer tuzlar oluşur. Jips veya anhidrit oluşumu, ortam koşullarına bağlı olarak farklılık gösterebilir (Erkan, 2007). Bu tezin konusu olan ve sondaj çamurunun özelliklerini etkileyen evaporitlerin Kayaköy formasyonu içerisinde olduğu gözlemlenmiştir. Ortalama formasyon kalınlığı değişkenlik göstermekle birlikte 300 ile 500 metre arasında değişmektedir.

5.1.5. Kastel formasyonu

Şırnak Grubunun birimi olan Kastel Formasyonunun tip kesit yeri Diyarbakır'daki Kastel sahası kuyularıdır. Şırnak Grubunun tabanında bulunan en yaşlı formasyondur. Kastel Formasyonu Gaziantep ili batısından Hakkâri iline kadar bir yay şeklinde uzanan alloktonların cephesine paralel olarak yayılım göstermektedir. Birimin taban dokanağı her yerde Sayındere Formasyonu ile geçişli niteliktedir. Üst dokanağının niteliği ise birimin bulunduğu konuma göre değişir (Bolat, 2012). Tipik litolojisi şeyl, marn ve kumtaşlarından oluşmaktadır. Şeyller; açık yeşil, yeşilimsi gri, açık gri renkli, yer yer marn dönüşümlüdür. Marnlar; kirli beyaz, krem renklidir. Kumtaşları; açık yeşil, alacalı renkli olarak incelenmiştir. Formasyon kalınlığı inceleme bölgesinde bazı yerlerde 700 metreye kadar çıkmaktadır.

5.1.6. Karadut formasyonu

Karadut formasyonunun tipik görünüşü Adıyaman'a bağlı Narince bucağının 4-5 km kuzeyindeki Karadut köyü çevresidir (Karadoğan, 2013). Karadut Karmaşığı, silisifiye kireçtaşı, killi kireçtaşı, kireçtaşı, konglomeratik kireçtaşı, türbiditik çakıltaşı, marn ve şeyl litolojisinden oluşan genelde fliş karakterinde derin denizel tortullarıdır.

İlk defa Turkish Gulf Oil jeologları tarafında Karadut formasyonu olarak tanımlanmıştır (Erkmen vd., 2009).

Karadut karmaşığında daha önce alınan örneklerde çeşitli fosiller gözlemlenmiş olup bu birime araştırmacılar tarafından Senomaniyen-Alt Turonien yaşı verilmiştir. Buna göre bu formasyonun derin deniz fosillerinden oluşmuştur (Meşeli, 1990).

5.1.7. Germav formasyonu

Germav Köyü yakınlarında, genel bulunduğu bölge Batman ili ve çevresi olup, Kastel Formasyonu'nun olmadığı alanlarda genellikle Hatay'ın Amanos Dağları'ndan başlayarak Kahramanmaraş, Gaziantep, Şanlıurfa, Adıyaman, Mardin, Batman, Gercüş, Nusaybin, Kurtalan, Eruh, Cizre, Şırnak ve Hakkâri'nin Çukurca ilçeleri civarında gözlemlenir (Duman, 2019).

Germav Formasyonu, Maxon (1936) tarafından Hermis Antiklinali'nde tanımlandı ve Üst Maestrihtiyen yaşlı alt bölümleri "Alt Germav Üyesi" olarak adlandırılırken, üst Paleosen yaşlı üst bölümleri ise "Üst Germav Üyesi" olarak sınıflandırılmıştır (Tetiker vd., 2017). Bu formasyon, ardalımalı şeyl ve marlardan oluşup çalışma alanında ortalama kalınlığı 500-700 metre arasında değişmektedir.

5.1.8. Germik formasyonu

Batman ve Siirt illeri arasında bulunan Raman dağı ile Kentalan-Garzan yapıları arasında yer alan Oligosen yaşlı birim, bol miktarda evaporit, dolomit, kireçtaşı ve zaman zaman ince-kaba detritik içeren bileşenlerden oluşur ve "Germik Formasyonu" adı verilir. Bu formasyonun adı ilk olarak Bolgi (1961) tarafından kullanılmıştır. Formasyonun yaşının Orta Eosen'den Oligosen'e kadar uzandığı düşünülmektedir (Koyuncu, 2018).

Germik Formasyonu, genellikle beyaz, kırmızı kahve, yeşil, bej ve gri renklerde jips, anhidrit, şeyl, dolomit ve kumlu-siltli dolomitlerden oluşur (Köylü, 2019). Ortalama formasyon kalınlığı 300 ile 500 metre arasında değişmektedir.

5.1.9. Sayındere, Derdere ve Garzan formasyonları

Sayındere formasyonu, Kampaniyen yaşında ve killi kireçtaşı litolojisine sahip bir birimdir. Bu formasyonun üst seviyelerinde, kumtaşı ve şeyl ardalıması mevcuttur ve bu Kastel formasyonu ile uyumlu bir geçiş sunar. Kastel formasyonu, genellikle iyi bir örtü kaya görevi görmektedir.

Derdere Formasyonu ise Senomaniyen yaşıdır ve pelajik kireçtaşı seviyeleri ile daha üstte yer alan dolomitli seviyelerden oluşur. Bu formasyon, iyi bir kaynak kayac özelliği sunar ve Diyarbakır, Raman ve Adıyaman gibi arama sahalarında hidrokarbon üretimi gerçekleştirilir. (Yelboğa, 2019).

Garzan Petrol Sahası'nda rezervuar kayaçları olarak tanımlanan ve adını bu sahanın güneyinden akan Garzan (Yanarsu) Çayı'ndan alan bir formasyon, sık denizel kireçtaşlarından oluşur. Bu formasyon, literatürde ilk kez 1960 yılında Kellog tarafından tanımlanmıştır. Bölgede geniş bir alana yayılmış olan ve birçok sahada petrol üretiminin gerçekleştirildiği bilinen bu formasyon, önemli bir jeolojik birimdir (Sinanoğlu, 2018).

5.2. A Bölgesinin Jeolojik Formasyonları ve Sondaj Problemleri

Jeolojik formasyonlar, sondaj operasyonları sırasında birçok parametreyi etkileyen en önemli faktörlerin başında gelmektedir. Çamur seçimi, indirilecek casing metrajının belirlenmesi, matkap seçimi, çamur pompalarının debisi, elek mesh boyutu vb. gibi birçok parametreyi sondajı yapılan formasyonların litolojik özellikleri belirlemektedir.

Bu tez çalışmasında A bölgesinde (Diyarbakır ve çevresi) A-1, A-2 ve A-3 kuyularında sırasıyla kireç çamuru, KCl çamuru ve Lignosülfonat çamuru performansları incelenmiştir. Bu bölgede genel jeolojik formasyonlar yüzeyden kuyu dibine doğru A-1, A-2 ve A-3 kuyusu Şekil 5.3'de gösterildiği gibi şöyledir: A-1 kuyusu: Şelmo, Germik, Hoya, Gerçüş, Üst Sinan, Alt Sinan, Germav, ve Garzan formasyonlarıdır. A-2 ve A-3 kuyusunda ise şöyledir: Şelmo, Fırat, Germik, Hoya, Gerçüş, Kayaköy, Antak, Kastel, Karadut, Sayındere ve Derdere formasyonlarıdır (Özdemir ve Ünlügenç, 2013). A bölgesindeki kuyularda genellikle kazılan formasyonlar şunlardır:

- **Şelmo Formasyonu:** Litolojik olarak kumtaşı, kıltaşı, şeyl ve çakıltaşı gibi kayaçlardan oluşur. Yüzey formasyonu olduğu için bentonit, soda ve kostik katkı maddeleri oluşan spud çamuru kullanılır. Killi formasyonların sondajı sırasında killerin su ile temas etmesi sonucu hidratlanması sonucu çamurun jel değerlerinde hızlı yükselme olur. Bu jel değerini ve çamurun yoğunluğunu kontrol altında tutmak için sisteme su veya düşük kompozisyonlu çamur ilavesi yapılır. Kontrol edilmesi zor durumlarda ise elek altı tankları atılarak yeni çamur ilavesi ile kontrol altına tutulmaya çalışılır.

YAŞ	GRUP	FORMASYON	KALINLIK	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
KUVATERNER		BAZALI			BAZALT: Kahve koyu kahve renkli, kısmen altere, sert
ÜST MİYOSEN	SILVANI	ŞELMO			ÇAKILTAŞI: Muhtelif renkli, orta-kalın tabakalı, sert
ALT MİYOSEN	SILVANI	FIRAT			DİYOKLASTİK KİREÇTAŞI: Beyaz kırmızı beyaz renkli, sert
EOSEN	MİDYAT	HOYA			KİREÇTAŞI: Beyaz kırmızı beyaz renkli, kriptokristal, sert, kesif
PALEOSEN	ŞIRNAK	ANTAK			ÇAKILTAŞI: Tuğla kırmızı renkli, orta tabakalı, sert
		KAYAKÖY			JİPS: Beyaz renkli, dağılgan
KRETASE	KARADUT				ÇEYL: Cam göbeği yeşil renkli, sert, dolomit çimentolu
					KİREÇTAŞI: Yeşilimsi beyaz renkli, kısmen dolomitik, sert
ALT MESTRİŞTİYEN	ŞIRNAK	KASTEL			ŞEYL: Koyu gri renkli, sıkı dokulu, kumlu, karbonatlı, sertçe
ÜST KAMPAİYEN	AKYAMAN	SAYINDERE			KİREÇTAŞI: Kirli beyaz krem renkli, killi, sert
TURUNİYEN SENOMANİYEN	NARDİN	DERDERE			KİREÇTAŞI: Beyaz krem renkli, dolomitik kireçtaşı geçişli, sert
ALBİYEN SENOMANİYEN		ÇABUNÇU			DOLOMİT: Kirli beyaz krem renkli, sert
APSIYEN		AREBAH			KUMTAŞI: Sarımsı beyaz renkli, ince-orta tabakalı, sert
SİLÜRİYEN		DADAŞ			ŞEYL: Koyu kahve siyah renkli, bol organik maddeli
ALT DEVONİYEN	DEYİBAĞIR				
ORTA-ÜST ORDOVİSİYEN	HABUR	BEDİMAN			
					KUMTAŞI: Açık gri krem gri renkli, orta tabakalı, sert
					ŞEYL: Zeyluni gri koyu gri renkli, laminatlı, sert

Şekil 5.3. A bölgesindeki çalışma alanının genişletilmiş yapısı (Özdemir ve Ünlüoğlu, 2013)

- **Germik Formasyonu:** Litolojik olarak evaporitik kayalar olan jips ve anhidrit kayalarından oluşur. Özellikle lignosülfonat çamuru ile sondaj yapıldığında sondaj çamuruna yüksek kalsiyum bulaşımından dolayı sondaj çamurunun jel ve sıvı kaybı değerleri artacağından lokasyonda soda külü bulundurulmalıdır. Kalın

formasyonların olduğu evaporitik formasyonların sondajında kalsiyum değerinin düşürülmesi zor olduğundan kireç çamuru bir başka alternatif olarak değerlendirilmelidir.

- **Hoya Formasyonu:** Litolojik olarak kireçtaşıdan oluşan bu formasyon, gözenekli yapıya sahiptir. Derin kısımlarda olması durumunda ve öncesinde kontrol altına alınamamış kalsiyum bulaşımından ortaya çıkan sondaj çamurun jel değerleri ve katı maddeden dolayı artmış çamur yoğunluğu nedeniyle diferansiyel sıkışmaya uygun bir formasyondur. Ayrıca çatlaklı yapılar içermeye ihtimalinden dolayı kaçak riski mevcuttur. Bu probleme karşı lokasyonda kaçak önleyici malzemeler bulundurmada fayda vardır.
- **Gercüş Formasyonu:** Litolojik olarak çakıltası, kil taşı veya evaporitik gibi kayalardan oluşur. Kil taşının sondajı sırasında sondaj çamurundaki kil oranı artışı veya matkap sarması gibi sorunlar yaşanabilir. Evaporitik kayaların sondajı sırasında kalsiyum bulaşımı olacağından ve sistemdeki kil oranının artışı da eklendiğinde çamurun jel değerlerinde artışlar gözlemlenebilir.
- **Kayaköy Formasyonu:** Litolojik olarak evaporit kayalardan olan ve içerisinde yoğun kalsiyum varlığından söz edilen jips ve anhidritlerden oluşur. Sondaj esnasında yüksek kalsiyum bulaşımı sonucunda kontrol edilemeyen jel değerleri meydana gelebilir. Ayrıca yükselen kalsiyum değeri sıvı kaybı önleyici olarak kullanılan bazı polimerlerin işlevini yerine getirmesine engel olduğundan sıvı kaybında artışlar meydana gelebilir. Kontrol edilemeyecek kalınlıkta formasyon sondajında kireç çamuru alternatif olarak değerlendirilmesi önerilir.
- **Kastel Formasyonu:** Litolojik olarak şeyl, marn ve kumtaşıdan oluşur. Bu formasyon sondaj operasyonları sırasında kuyu stabilitesi problemi olarak sondaj dizi sıkışmaları olarak ortaya çıkar. Yüksek kalınlıktaki bu formasyonların sondajında KCl polimer çamuru kullanılarak, kil inhibisyonu için potasyum ve PHPA gibi katkı malzemeleri kullanılmalıdır. Ayrıca bu formasyonlar gevşek yapıda olduğundan kuyu stabilitesi sorununu engellemek için çatlatma basınçları da göz önünde tutularak çamur ağırlığı arttırılmalı ve formasyon yıkılmalarına karşı Glikol kullanılmalıdır.
- **Karadut Formasyonu:** Litolojik olarak marn ve şeylden oluşur. Suyu duyarlı şeyl ve marn içerdiğinden dolayı ve Kastel formasyonu ile üst üste olmasından bu iki formasyonun sondajın KCl polimer çamuru kullanılır. Buradaki şeyl ve

marn kayaçları su ile temas ettiğinde şişme özelliği gösterip kuyu çapında daralmalar veya gevşek şeyllerden oluştuğundan yıkılmalar olabileceğinden sondaj esnasında yüksek tork alma ve bunun sonucunda dizi kopması veya dizinin ağırlık alması gibi sorunlar ortaya çıkarak dizinin sıkışmasına sebebiyet vermektedir.

- **Sayındere ve Derdere Formasyonu:** Litolojisi gözenekli yapıda olan kireçtaşı ve dolomitlerden oluşur. Bu formasyonun sondajı esnasından diferansiyel sıkışma riski olması sebebiyle çamur yoğunluğu yüksek tutulmamalıdır. Ayrıca rezervuar kaya olarak hidrokarbon üretilen formasyon olduğundan formasyon kirliliği engellemek için barit vb. rezervuarı kirletecek katkı malzemelerinden kaçınılmalıdır.

5.2. B Bölgesinin Jeolojik Formasyonları ve Sondaj Problemleri

Bu tezin araştırılmasının yapıldığı bir diğer bölgesi olan B bölgesinde (Batman ve çevresi) B-1 ve B-2 kuyularında lignosülfonat çamurunun performans değerleri üzerine araştırma yapılmıştır. Bu kuyulardaki jeolojik formasyonlar Şekil 5.4'de genel stratigrafi kesitinde de görüldüğü üzere yüzeyden kuyu dibine doğru şu şekilde sıralanmaktadır: Şelmo, Fırat, Germik, Hoya, Üst Sinan, Germav ve Garzan formasyonlarıdır. Bu kuyularda bu formasyonlara ait litolojik kayaçlardan ötürü çeşitli problemler yaşanmış olup bu bölgeye ait formasyonların sondaj esnasında sorun yaratabilecek özellikler aşağıda açıklanmaktadır (Yelboğa, 2019). B bölgesindeki (Batman ve çevresi) kuyularda genellikle kazılan A bölgesinden (Diyarbakır ve çevresi) farklı olarak formasyonlar şunlardır:

- **Fırat formasyonu:** Litolojik olarak kireçtaşı kayaçlarından oluştuğundan çatlaklı yapılara sahiptir. Sondaj sırasında tedrici kaçak veya tam kaçak gibi problemler oluşabileceğinden lokasyonda kaçak önleyici malzemeler bulundurulmasında fayda vardır. Ayrıca sert formasyon olduğundan ara ara sondaj esnasında vibrasyon görülmesi ihtimaldir.
- **Üst Sinan Formasyonu:** Litolojisi kireçtaşı ve dolomitten oluşan bu formasyon Fırat formasyonuna benzer şekilde tedrici kaçağın oluşabileceği formasyondur.

6. MATERYAL VE YÖNTEM

6.1. Sondaj Çamuru Deneylerinin Malzemeleri ve Yapılışı

Sondaj çamurunun kesintileri yüzeye taşınması, hidrostatik basınç ile yeraltı basınçlarını dengelemesi, hidrolik gücün matkaba iletilmesi, sondaj dizisinin ve matkabın soğutulması vb. gibi görevleri yerine getirebilmesi için belirli özelliklere sahip olması sondaj ve sondaj akışkanları mühendisliğinin önemli unsurudur. Sondaj özelliklerinin belirlenmesi konusunda API, ASTM, OCMA gibi kuruluşların belirlediği standartlar mevcuttur. Bu tezin içerisinde yer alan sondaj akışkanının laboratuvar ortamında deney yöntemleri, laboratuvarda kullanılan kimyasallar, deney ekipmanları ve çamur katkı malzemeleri API-13a ve API-13b standartlarına göre seçilmiş ve düzenlenmiştir (API-13a, 1993; API-13b, 2003).

Sondaj çamurunun özellikleri fiziksel ve kimyasal özellikler olmak üzere iki ana başlık altında toplanmaktadır. Fiziksel özellikler; çamur ağırlığı, huni viskozite, plastik viskozite, kopma noktası, jel değerleri, kum miktarı olarak sıralanabilir. Kimyasal özellikler ise; kalsiyum oranı, klor değeri, çamurun fenolfitaleyni, filtratın fenolfitaleyni, filtratın metil oranı, metilen mavisi testi ve potasyum oranı şeklindedir. Bu tez çalışması için en önemli deneylerin yöntemleri bu bölümde açıklamaktadır, diğer deneyler API-13b’ de verilen yöntemlere uygun olarak yapılmıştır.

6.1.1. Çamur ağırlığı deneyi

Çamur ağırlığı sondaj esnasında sirkülasyon varken saatte bir olacak şekilde düzenli şekilde alınarak kontrol edilen fiziksel bir özelliktir. Yeraltı basınçlarını kontrol etmek, kuyu stabilitesini sağlamak gibi önemli parametreleri kontrol etmek için çamurun hidrostatik özelliklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu özellik genelde sirkülasyon varken saatte bir olacak şekilde düzenli olarak Şekil 6.1’de de görüldüğü gibi mud balance adı verilen çamur terazisi ile belirlenmektedir. Çamur ağırlığı lb/gal, lb/ ft³, özgül ağırlık (S.G.) veya psi/1000 ft olarak ifade edilir. Değerin sağlıklı bir şekilde alınabilmesi için yöntem aşağıdaki gibidir:

- Terazinin haznesi, kuyudan gelen çamurun döküldüğü yerden alınarak doldurulur.
- Çamurun içinde hava veya köpük varsa hazneye yavaşça vurarak giderilir.
- Kapak hazne üzerine koyulur ve saat yönünde yavaşça çevrilerek yerine oturtulur.

- Kapaktaki delikten dışarıya bir miktar çamur akması haznenin dolu olduğunu gösterir.
- Kapaktaki delik parmak ile kapatılmış bir şekilde hazne ve terazi kolunun dış yüzeyine bulaşmış çamurun tümü yıkanır veya silinir.
- Terazi dayanma noktasına yerleştirilir ve terazinin kolu üzerindeki ağırlık hareket ettirilerek hazne ve kolun dengelenmesini sağlanır.
- Terazi kolu üzerinde hareket ettirilen ağırlığın sol el tarafına gelen kenarındaki çamur yoğunluğu değeri okunur ve kaydedilir.
- Okuma istenen kadrandan yapılarak, sonucu lb/gal, lb/ ft³, S.G. veya psi/1000 ft olarak rapor edilir.
- Her testten sonra çamur haznesi yıkanmalıdır.
- Doğru sonuç alınması için çamur terazisinin tüm parçalarının temiz tutulması ve su ile kalibre edilmesi şarttır. Suyun ağırlığı 8,33 ppg veya 62,4 ppcf olarak baz alınabilir.



Şekil 6.1. Çamur terazisi

6.1.2. Huni viskozite deneyi

Huni viskozite, sondaj sırasında çamur tankları üstünde saatte bir olarak çamur ağırlığı ile birlikte alınarak kaydedilir. Bu özellik tam anlamıyla çamurun akış rejimi hakkında bilgi vermez ancak ön bilgi olarak saatte bir alınıp kaydedilmesi çamurun akış rejiminin kontrollü şekilde izlenmesi için önemli bir özelliktir. Bu değerin ölçülmesi ile çamurun reolojik özellikleri hakkında önceden bilgi alınır ve laboratuvar ortamında detaylı test alınarak değerlerin kontrol altında tutulmasına imkân verir. Marsh hunisi,

Şekil 6.2’de görüldüğü gibi konik şekline benzeyen, suyun belirli bir sıcaklıkta ve belirli bir sürede dışarı akmasını sağlayacak şekilde tasarlanmış bir ekipmandır. 70 °F (21 °C) sıcaklıkta 1 quart (946 ml) suyun 26 saniyede dışarı akmasını sağlar. Bu huninin kalibrasyonu da suya göre yapılır. Suyun huni viskozitesi 26 saniyedir (Balkaya, 2022).



Şekil 6.2. Huni viskozite deney seti

6.1.3. Sıvı kaybı (filter press) deneyi

Sondaj çamurunun 100 psi basınç altında sıvı kaybı ve kek yapma özelliğini belirlenmek için kullanılan deney düzeneği Şekil 6.3’de gösterilmiştir. 30 dakika 100 psi basınç altında ölçülen bu özellik ile sondaj çamurunun kuyu içinde sıvı kaybı ve kuyu cidarında kek yapma özelliği hakkında yorum yapılır. Bu deneyin yöntemi aşağıdaki gibidir:

- Kuru ve temiz durumdaki filter pres parçaları ve kuru Watman No.50 filtre kâğıdı kullanılarak filtrasyon cihazı hazırlanır.
- Çamur haznesi üstten gösterilen çizgiye kadar çamurla doldurulur.
- Filtratın toplanacağı tüp yerine konduktan sonra, 100 psi basınç uygulanır. Tüpün kuru ve içinde başka akışkan numunesi olmadığına dikkat edilir.
- 30 dakika sonra basınç tahliye edilir ve tüpte biriken filtrat sıvı kaybı olarak okunur.
- Hücrede kalan çamur dikkatli bir şekilde boşaltılır ve filtre kâğıdı üzerinde biriken kek ile birlikte dikkatli bir şekilde çıkarılır.
- Kek kalınlığı 1/32 inç hassasiyetle ölçülüp rapor edilir.

- Gözlem yapılarak kekin yapısı (sert, yumuşak, kumlu gibi) hakkında yorum yapılması yararlı olur.
- Her testten sonra cihaz iyice yıkanıp kurulur.



Şekil 6.3. Sıvı kaybı (filter press) test ekipmanı

6.1.4. Reoloji Deneyleri

Sondaj çamurunun akış rejimini öğrenmek için sahada laboratuvar ortamında 6 farklı hızda çalışabilen dönerli-viskozimetre ile ölçüm yapılır. Çamurun içine konduğu kap, dönme silindiri, bop kısmı, okuma göstergesi ve döndürme hareket tuş takımından mevcuttur (Şekil 6.4). Ölçüm için 6 farklı devir sayısında (600, 300, 200, 100, 6 ve 3 rpm) çalışan döner viskometreler kullanılır. 600 ve 300 rpm okumaları görünür viskozite (AV), plastik viskozite (PV) ve kopma noktası (YP) değerlerinin hesaplanmasında (Denklem 6.1, Denklem 6.2, ve Denklem 6.3) kullanılır. Sağlıklı değerlerin elde edilebilmesi için uygulanması gerek yöntemler aşağıdaki gibidir:

- Viskozimetre kabı kuyudan gelen çamurla işaretli seviyeye kadar doldurulur ve rotor'u üzerindeki çizgiye kadar çamura batırılır.
- Rotor 600 rpm de döndürülür. Kadrandaki ok işareti sabit duruma geldiğinde 600 rpm okuması kaydedilir.
- Viskozimetre 300 rpm hıza ayarlanır ve ibrenin sabit bir değere gelmesi beklenir. İbrenin sabitleştiği değer 300 rpm okuması olarak kayıt edilir ve aşağıda verilen denklemler sayesinde değerler bulunarak kaydedilir.

$$\text{Görünür Viskozite (cp): } AV = [600 \text{ rpm okuması}] / 2 \quad (6.1)$$

$$\text{Plastik Viskozite (cp): } PV = [600 \text{ rpm okuması}] - [300 \text{ rpm okuması}] \quad (6.2)$$

$$\text{Kopma Noktası (lb/100 ft}^2\text{): } YP = [300 \text{ rpm okuması}] - PV \quad (6.3)$$



Şekil 6.4. 6 dönerli viskozimetre

6.1.5. Kum miktarı deneyi

Formasyonların sondajı yapılırken içerisinde kum içeriğinin bulunduğu yerlerden sondaj çamuruna katı madde olarak kum girmesine neden olacaktır. Kum miktarının artması ile kontrolsüz şekilde artan çamur ağırlığı, çamur pompalarının gömlek ve pistonlarına zarar verecektir. Kum miktarını engellemek için yıpranan eleklerin değiştirilmesi ve katı madde kontrol ekipmanlarının düzenli şekilde çalıştırılması gerekmektedir.

Kum içeriğinin tayini düzeneği 200 mesh elek içeren süzgeç, huni ve ölçekli bir cam tüpten oluşmaktadır (Şekil 6.5). Kum testinin yapılması için uygulanan yöntem aşağıdaki gibidir:

- Ölçeklendirilmiş cam tüp üzerindeki "Mud to here" çizgisine kadar çamurla doldurulur. Daha sonra "Water to here" çizgisine kadar su ilave edilir.
- Tüpün ağzı başparmakla kapatılarak hızlı bir şekilde çalkalanır.
- Bu karışım süzgeçten geçirilir ve aynı zamanda tüp temiz su ile yıkanarak içinde kalan her şey aynı süzgeçten geçirilir.

- Süzgecin kenarlarına hafifçe vurularak çamur-su karışımının elekten geçmesi kolaylaştırılabilir.
- Elek üzerinde kalan kum, çamur bulaşımından temizlemek için basınçlı su ile yıkanır.
- Huni süzgecin üzerine yerleştirilir, huninin ucu cam tüpün ağzına doğru yanaştırılarak, yavaşça çevrilir ve huninin alt ucu cam tüpe yerleştirilir daha sonra temiz su püskürterek kumun cam tüpe akması sağlanır.
- Kumun çökmesi için beklemeye geçilir.
- Ölçekli cam tüp içinde çöken kum miktarı, hacimce kum yüzdesi olarak kayıt edilir.
- Testten sonra test ekipmanı iyice yıkanır ve kurumaya bırakılır



Şekil 6.5. Kum miktarı test ekipmanı

6.1.6. Çamurun fenolfitalein alkalinitesi deneyi

Bu test yöntemiyle sondaj çamurun içindeki depo kireç miktarı hesaplanır. Özellikle tepkimeler sonucu sistemde artan kireç oranı ve kireç çamuru için önemli bir özelliktir. Sistemde artan kireç, çamurun viskozite değerlerini etkileme ihtimali olduğundan takip edilmesi önemlidir. Yapılan çamurun fenolfitalein alkalinitesi (P_m) deneyinin prosedürü API-13b (2003)'e göre aşağıdaki gibidir:

- Titrasyon kabına bir mililitre çamur konur ve 25-50 ml saf su ile sulandırılır.
- 4-5 damla fenolftalein indikatör çözeltisi ilave edilir.

- Çözelti pembe rengine döndükten (Şekil 6.6) sonra eklenen 0,02 N sülfürik asit değeri ml olarak kaydedilir. Renk pembe rengini maskeliyorsa pH kâğıdı kullanılarak 8,3 olduğu kısımda sülfürik asit ilavesi tamamlanarak değer kaydedilir.



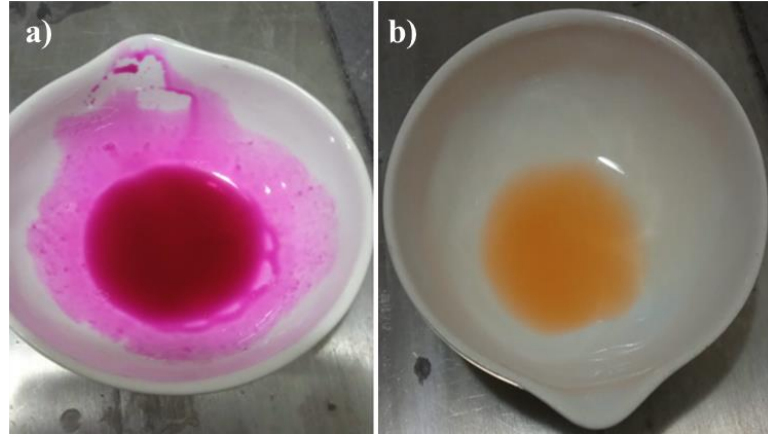
Şekil 6.6. P_m testindeki renk gözlemi

6.1.7. Filtranın fenolfitalein ve metil oranj alkalinitesi deneyleri

Sıvı kaybı test ekipmanı ile elde edilen filtrat ile ölçüm yapılır. Bu deney sonucunda elde edilen filtratın fenolfitalein (P_f) değeri P_m ile birlikte kullanılarak kireç oranı belirlenir. P_f ve metil oranj alkalinitesi (M_f) birlikte kullanıldığında ise çamur içerisindeki karbonat, bikarbonat ve hidroksil iyonlarının hesaplanmasına yardımcı olur. Yapılan bu deneyin yöntemi aşağıda verilmiştir (Şekil 6.7):

- Test kabına 1 ml filtrat konur.
- 2-3 damla Fenolfitalein indikatör çözeltisi ilave edilir. Herhangi bir renk oluşmaz ise $P_f = 0$ değeri olarak kaydedilir.
- Eğer çözelti pembeye dönüşürse, renk eski haline gelinceye kadar bir pipet ile 0,02 normal (N/50) sülfürik asit ilave edilir ve bu sırada numune sürekli karıştırılır. Eğer kullanılan filtrat numunesinin rengi, renk değişimini maskeliyorsa pH kâğıdı kullanılarak pH değerinin 8,3 olduğu noktada test sonlandırılır ve değer kaydedilir.
- P_f testinden sonra test kabına numunenin üzerine 2 veya 3 damla metil oranj indikatör çözeltisi ilave edilir. Aynı zamanda çözelti renginin sarı renkten pembe rengine dönene kadar sürekli karıştırılarak damla damla 0,02 N sülfürik asit ilave edilir. Eğer kullanılan filtrat numunesinin rengi, renk değişimini maskeliyorsa pH kâğıdı kullanılarak değerin 4,3 olduğu yerde test

sonlandırılarak değer P_f değerinin üstüne eklenen değere eklenerek ml olarak kaydedilir.



Şekil 6.7. a) P_f ve b) M_f testinin renk gözlemi

6.1.8. Klor miktarı deneyi

Çamur deneylerinde önemli yeri olan klor iyonu (Cl^-) tayini özellikle bazı polimerlerin ve çamurların değerlerini etkilediğinden dolayı yapılması önemlidir. Tuz çamurlarında ağırlığı arttırmak veya potasyum klorür gibi katkı malzemelerini ilave etmeden önce bu değerin bilinmesi önemlidir. Bu deneyde kullanılan kimyasallar ve deney yöntemi aşağıdaki gibidir:

- Titrasyon kabına 1 ml veya daha fazla filtrat alınır.
- 2-3 damla fenolfitalein indikatör çözeltisi ilave edilir. Eğer alınan numunenin rengi pembeye dönüşürse bir pipetle renk kaybolana kadar damla damla 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 kullanılan gümüş nitrat (Şekil 6.8) miktarı kaydedilir.
- Tuz çamurlarında klor oranı yüksek olduğu 0,282N gümüş nitrat kullanılır ve koyulan ml miktarı 10000 değeri ile çarpılır, tuz olmayan lignosülfonat, tatlı su polimer veya kireç çamuru gibi çamurlarda 0,0282N gümüş nitrat kullanılarak elde edilen ml değeri 1000 değeri ile çarpılarak klor oranı (Denklem 6.4) tayin edilir.

$$\text{Klor (mg/l)} = \frac{\text{Gümüş nitrat miktarı (ml)} \times 1000 \text{ veya } (10000)}{\text{Filtrat hacmi (ml)}} \quad (6.4)$$



Şekil 6.8. Klor tayini için yapılan testin renk değişimi

6.1.9. Kalsiyum sertliği deneyi

Jips ve anhidrit formasyonlarının sondajında veya kireç çamurunda kalsiyum (Ca^{+2}) değeri önemli yer tutmaktadır. Kalsiyumun sondaj çamurunda varlığı özellikle diğer değerleri etkilediğinden gözlem yapılması önemlidir. Bu deneyde kullanılan kimyasallar ve deney yöntemi aşağıdaki gibidir:

- Test kabına 25-50 ml saf su alınır ve 3 ml 1N NaOH ve yeteri ölçüde Ca^{+2} indikatörü (calver tozu) ilave edilir.
- Bu aşamada eğer karışımın rengi pembe olursa, ölçüsüz olarak versenate çözeltisi eklenerek rengin maviye dönmesi sağlanır.
- Yapılan işlemlerden sonra test kabına 1 ml çamur filtratı alınır.
- Kalsiyumun var olduğunu gösteren pembe renk maviye (Şekil 6.9) dönüşene kadar versenate çözeltisi ilave edilerek değer kaydedilir. Bulunan değer aşağıdaki formül ile hesaplanarak kalsiyum değerinin mg/l (Denklem 6.5) cinsinden değeri hesaplanır.

$$\text{Kalsiyum (mg/l)} = \frac{\text{Versenate miktarı} \times 400}{\text{Filtrat hacmi (ml)}} \quad (6.5)$$



Şekil 6.9. Kalsiyum sertliği deneyi sırasındaki renk değişimi

6.1.10. Metilen mavi testi (mbt)

Sondaj çamurunda katı madde miktarı olan sisteme giren küçük mikronda killerin oranını tespit etmek için kullanılan deney yöntemidir. Bu deney yönteminde sisteme giren killerin varlığı tespit edilerek istenmeyen ağırlık artışı sorununu, kalın kek oluşumu ve reolojik değerlerin artışı engellemek için takip edilmesi gereken yöntemdir. Bu deneyde kullanılan kimyasallar ve yöntem aşağıdaki gibidir:

- Erlenmeyer içerisindeki 10 ml saf suya, 2-10 ml arası çamur ilave edilir.
- Karışıma 15 ml %3 hidrojen peroksit ve 0,5 ml sülfürik asit ilave edilerek kil gibi davranış gösteren organik maddeler inhibe edilir. 10 dakika düşük ısıda kaynatıldıktan sonra 50 ml'ye tamamlanacak şekilde saf su ilave edilir ve soğumaya bırakılır.
- Pipet ile karışıma metilen mavisi ilave edilir. Her 0,5 ml ilaveden sonra karışım karıştırılarak 30 saniye beklenir.
- Karışımdan karıştırma çubuğunun ucuyla bir damla alınarak filtre kâğıdı üzerine (Şekil 6.10) bırakılır.
- Boyanmış kilin etrafını mavi bir halka çevrelediği zaman test bitirilir ve kullanılan metilen mavisi miktarı kaydedilerek Denklem 6.6 ve Denklem 6.7 ile sistemdeki kil oranı bentonit kili cinsinden lb/bbl olarak hesaplanır.

$$\text{Metilen mavisi kapasitesi} = \frac{\text{Metilen mavisi miktarı (ml)}}{\text{Çamur miktarı (ml)}} \quad (6.6)$$

$$\text{Bentonit eşdeğeri (lb/bbl)} = 5 \times \text{Metilen mavisi kapasitesi} \quad (6.7)$$



Şekil 6.10. MBT deneyinde filtre kâğıdında turkuaz renk halkası

6.1.11. Ph ölçümü

Çamurun korozyon etkisi, bazı polimerlerin çalışma pH aralığı, karbonat ve bikarbonat bulaşımı, kalsiyum bulaşımı gibi birçok yerde önemli olan pH değeri aşağıdaki yöntemlerle ölçülmektedir:

- Filter press deneyinden (Şekil 6.3) sonra filtrat numunesi alınır.
- Filtrat numunesi 4 renkli pH kâğıdına tüm yüzüne gelecek şekilde sürülür.
- pH kâğıdı üzerindeki 4 farklı renk skalası ile gözlem yapılarak pH belirlenir.
- Laboratuvar ortamında pH kâğıdı yoksa aynı deney pH metre ile de yapılabilir ancak pH metre ile ölçüm yapılmadan önce kalibresinin yapılması gerekmektedir.

7. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu tezde Diyarbakır çevresinde A bölgesinde A-1, A-2 ve A-3 kuyularında; Batman ve çevresinde bulunan B bölgesinde B-1 kuyusunda deneysel araştırmalar yapılmıştır. A ve B bölgesinde bulunan formasyonlar ve yaşanan sondaj problemleri Çizelge 7.1 ve Çizelge 7.5’de listelenmektedir. Bu çizelgeler değerlendirildiğinde her iki bölgede de kalsiyum içeren evaporitik kayaçlar olan jips ve anhidrit sondajı yapılmış olup, sondajın ilerleyen metrajlarında ise şeyl ve marn içeren formasyonların sondajı yapılmıştır. Bu formasyonların sondajı esnasında bazı problemler (çoğunlukla kalsiyum kaynaklı) ortaya çıkmış olup bu problemlerin ortaya çıkmasındaki sebepler tezin bu kısmında incelenmektedir.

Bu tez çalışmasında yapılan sondaj çamur deneyleri; A bölgesinde A-1, A-2 ve A-3 kuyularına ve B bölgesindeki B1 kuyusuna ait gerçek kuyu şartlarındaki verilere dayanmaktadır. Elde edilen test sonuçları çizelge ve grafikler halinde ele alınarak detaylı analiz yapılarak incelenmektedir. Özellikle bu deneylerin gerçek kuyu verilerine dayanması sıcaklık, çamurun formasyonla teması vb. gibi önemli parametrelerin etkin olması tezin özgün olmasında etkili olmuştur. Çamurların hazırlanmasında ve ıslahında kullanılan katı maddeleri API-13a (2003) standartlarına uygun olarak seçilmiştir. Aynı şekilde sondaj çamurunun değerlerini incelemek için yapılan deneyler API-13b (2003) standartlarına uygun olarak Bölüm 6. Materyal ve Yöntem kısmında belirtilen şekilde yapılmıştır.

7.1. A-1 Kuyusu Sondaj Çamuru Deney Verileri ve Yapılan Analizler

A-1 kuyusunda Çizelge 7.2’de gösterilen formasyonlar yüzeyden kuyu dibine kadar kazılmıştır. Hoya formasyonu bitiminden sonra 13 3/8” casing inişi yapıldıktan sonra çimentosu yapılmıştır. 12 1/4” kuyusunun sondajında lignosülfonat çamuru kullanılmış olup bu çamur ile Germik, Gercüş, Kayaköy ve Antak formasyonlarının sondajı gerçekleştirilmiştir. Bu kısımda kullanılan lignosülfonat çamurunun kompozisyonu Çizelge 7.2’de listelenmektedir. Çizelge 7.1’de A bölgesinde muhtemel yaşanan problemler yer almaktadır. Formasyon kalınlıkları kuyudan kuyuya ve yönlü sondaj olup olmamasına göre değişkenlik göstermektedir. Şekil 7.1’de ise A bölgesine ait muhtemel sondajı yapılan formasyonların genel stratigrafisi gösterilmektedir.

Çizelge 7.1. A bölgesindeki kuyulara ait formasyonlar ve olası problemler

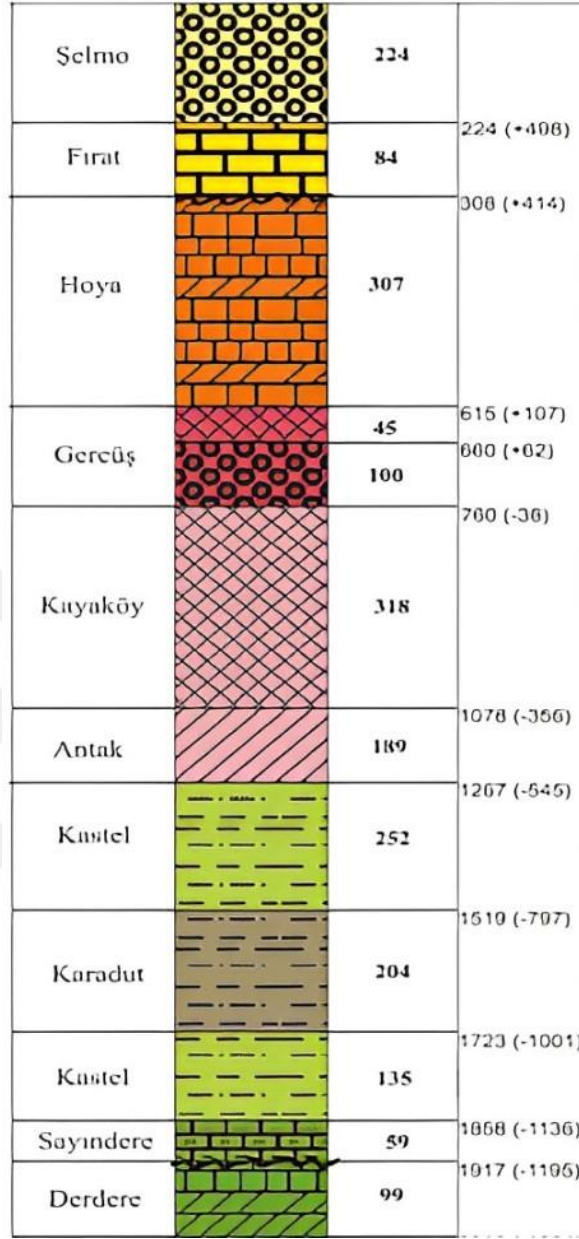
Formasyon	Litoloji	Tahmini Derinlik Aralığı, m	Muhtemel Problemler
Şelmo	Şeyl, çakıltaşı, kumtaşı, kiltası	0-300	Çamurda jelleşme
Hoya	Kireçtaşı, dolomit	300-600	Tam veya tedrici kaçak
Germik	Kumtaşı, Evaporit, Kiltası	600-750	Kalsiyum bulaşımı, matkap sarması
Gercüş			
Antak	Kiltası, şeyl	750-950	Matkap sarması, Ağırlık alma, Oturma,
Kayaköy	Evaporit	950-1300	Kalsiyum bulaşımı, vibrasyon
Kastel	Çoğunluk şeyl ve marn	1300-1600	Kuyu stabilitesi sorunu, dizi sıkışması
Karadut	Şeyl, marn	1600-1750	Ağırlık alma, dizi sıkışması, tork
Sayındere	Killi kireçtaşı	1750-1800	Tedrici kaçak
Derdere	Dolomit, kireçtaşı	1800-2000	Tam veya tedrici kaçak

Çizelge 7.2. A-1 kuyusu için hazırlanan lignosülfonat çamuru kompozisyonu

Malzeme	Sembol	Birim Boyutu	Konsantrasyon, lb/bbl (ppb)	Kullanım Amacı
Soda Külü	Na ₂ CO ₃	4	0,5	Kalsiyum kirlenmesine karşı kullanılır.
Kostik	NaOH	5	0,35	Çamurun pH'nın kontrol etmek için kullanılır.
Bentonit	CaCO ₃ ince	3	15-20	Çamur ağırlığını ayarlamak ve kaçakları önlemek için kullanılır.
CMC	-	30	2-3	Sıvı kaybını önlemek için kullanılır
Barit	BaSO ₄	8	35	Çamuru ağırlaştırmak için kullanılır.
CFL	-	8	1	Reoloji kontrolü ve inceltici

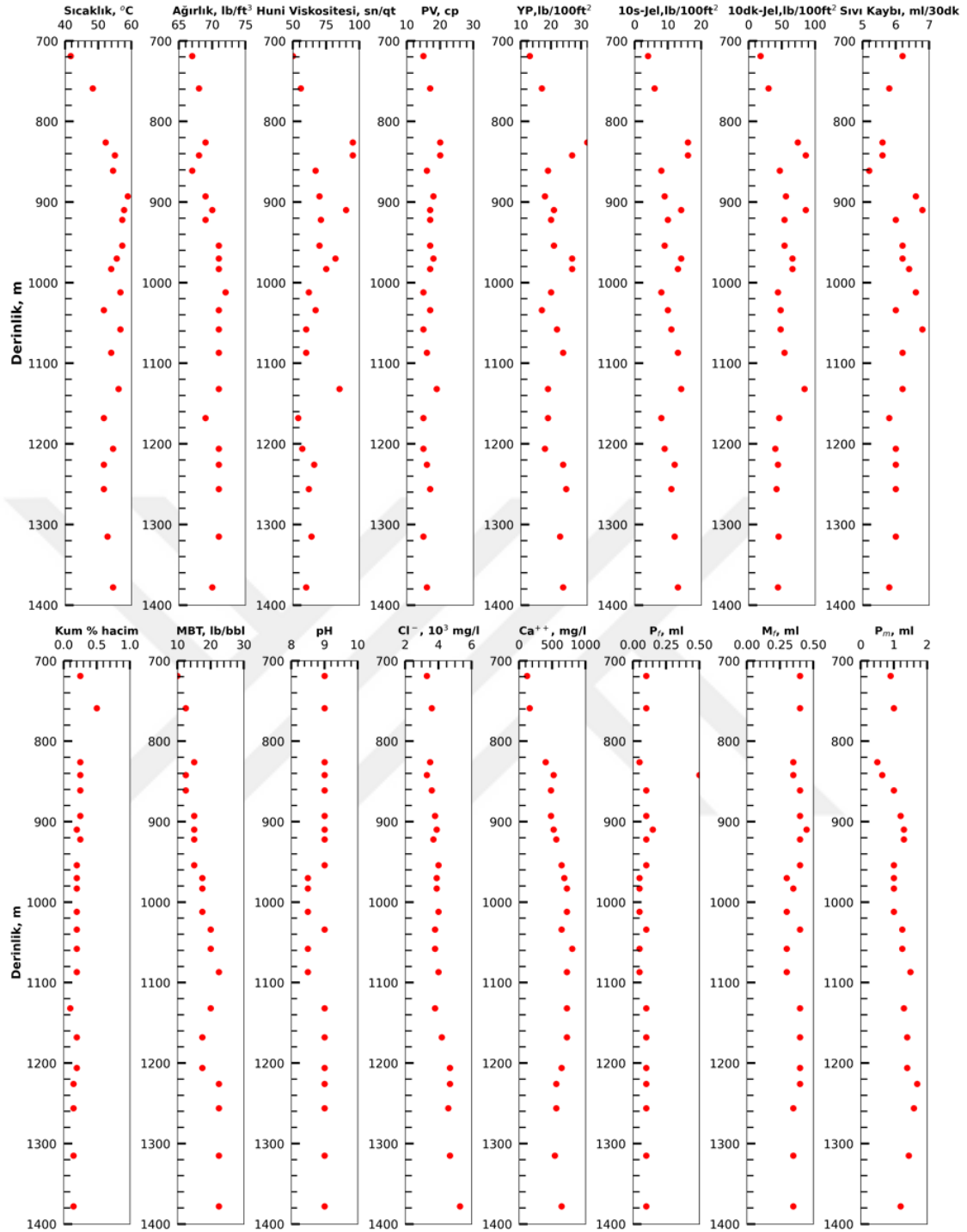
A-1 kuyusunda 12 ¼'' çaplı matkapla yapılan sondajda toplamda 22 adet çamur deney seti (her deney seti yaklaşık 15 deneyi içermektedir) yapılmıştır. 10 gün fiili sondaj süresi boyunca 22 adet çamur deney seti yapılmış olup bu deney sonuçları Şekil 7.2'de gösterilmektedir. Ortalama olarak her deney seti 8 saat aralıklarla yapılmıştır. Şekil 7.2'deki deney sonuçlarının ayrıca tezin 8. Ekler kısmında Tablo 10.1'de listelenmektedir. Benzer tablolar diğer kuyular içinde tezin ekinde bulunmaktadır. Elde edilen bu deney sonuçları neticesinde kalsiyumun lignosülfonat çamur üzerindeki etkisi,

çamurun diğer ölçümü yapılan fiziksel ve kimyasal özellikleri ile karşılaştırma yapılarak incelenmiştir.



Şekil 7.1. A bölgesine ait muhtemel sondaj yapılan formasyonların genel stratigrafisi (TPAO, 2017)

Tüm kuyularda analizi yapılan sondaj çamur numuneleri, sirkülasyon esnasında kuyudan gelen çamurun titreşimli (shale shaker) eleklerden sonra çamur tanklarında akışın başladığı yerden alınmıştır. Grafiklerdeki fiziksel ve kimyasal ölçüm değerleri mevcut test sırasında ölçümü yapılan çamur numunelerine aittir. A-1 kuyusu için Şekil 7.2'deki derinlikler yüzeyden çamur numunesi alındığında matkap derinliğini ifade etmektedir. Diğer tüm çamur özellikleri de yüzeyde yapılan deney sonuçlarına aittir. Benzer prosedürler A-2, A-3 ve B-1 kuyularında da uygulanmıştır.



Şekil 7.2. A-1 kuyusunda yapılan lignosülfonat çamuru deney sonuçlarının derinliğe göre değişimi (Not: Y eksenindeki derinlikler yüzeyden çamur numuneleri alındığında matkap derinliğini ifade etmektedir. Ortalama olarak 8 saatte bir numune analizi yapılmıştır ve X eksenindeki değerler yüzeyden alınan çamurun özelliklerini ifade etmektedir. Sondaj sırasında ortalama $q_{\text{çamur}} = 570 \text{ gpm}$ 'dir.)

13 3/8" casing inişi tamamlandıktan sonra spud çamurunun lignosülfonat çamuruna tahvili gerçekleşmiştir. Bu çamurda alkalinite için kostik, reolojik özellik ve

kuyu cidarında iyi bir kek oluşması için sodyum bentonit, sıvı kaybı için CMC-LV ve inceltici olarak da CFL kullanılmıştır (Çizelge 7.2). A-1 kuyusunda 12 ¼’’ matkap ile sondaj yapılırken ortalama çamur debisi ($q_{\text{çamur}}$) 570 gpm (galon/dakika) olarak kaydedilmiştir. A-1 kuyusunda elde edilen değerlerin detaylı (Şekil 7.2) karşılaştırması şu şekildedir:

- **Sıcaklık:** A-1 kuyusu için çamur numunelerinden alınan sıcaklık değerleri ortalama 54,5 °C olarak ölçülmüştür. Sıcaklık değerleri kuyunun derinliğine, matkabın dakikadaki devir sayısına, sirkülasyon debisine, ilave edilen yeni çamurun sıcaklığına göre değişmekle birlikte, ölçülen sıcaklık değerlerinin CMC-LV ve CFL gibi katkı maddelerinin üzerinde olumsuz etkisi olmadığı gözlemlenmiştir.
- **Kalsiyum-Reolojik Değerlerin Karşılaştırılması:** Şekil 7.2’de görüldüğü üzere 719-759 metre arası Hoya formasyonuna ait kireçtaşlarının sondajı çamurdaki kalsiyum değerini arttırmamıştır. Bu metrajlardan sonra başlayan Germik, Gercüş ve Kayaköy formasyonlarına ait jips ve anhidrit sondajı sistem çamuruna yoğun şekilde kalsiyum iyonlarının bulaşmasına sebep olmuştur. Sisteme giren kalsiyum iyonları çamurda bulunan aktif kil olan bentonitleri floküle ederek jel mukavemeti değerlerinde artışlara neden olmuştur. Huni viskozitenin yüksek olması jel değerlerinin yüksek olmasını destekleyecek niteliktedir. Bir diğer açıdan huni viskozite, jel değerleri ve YP değerlerinde dalgalanmaların olması; sistem çamurunun, çamur tanklarında bulunan tahliye kısmından atılması ile yeni çamurun sisteme ilave edilmesi ve her testten sonra kalsiyum ıslahı için katkı maddesi olarak soda külü verilmesinden kaynaklanmaktadır. Akma noktası (YP) değerlerinin sistem çamuruna viskozite arttırıcı herhangi katkı maddesi verilmemesine rağmen yükselmesi kalsiyumun yine etkisinden kaynaklanmaktadır. Sondaj yapılan bu kısım boyunca sürekli jips ve anhidritin sisteme girmesi sistem çamurunun reolojik değerlerinin kontrol edilmesini zorlaştırmıştır. Sistem çamurunun reolojik değerleri kontrol altında tutmak için birçok kez sistem çamuru 55 bbl (varil) hacime sahip olan kum tuzağı (Kum tuzağı, çamur titreşimli eleklerden geçtikten sonra katı maddenin dinlendirilerek bırakıldığı ilk bölmedir. Genellikle burada büyük katı maddeler çökeldikten sonra oluklardan emiş tanklarına sirküle edilerek devam etmektedir.) üzerinden tahliye edilerek 0,5 ppb kostik, 10 ppb bentonit, 4-6 ppb CMC-LV ve Pac LV, 1 ppb CFL olarak hazırlanan yeni çamur ilavesi yapılmıştır. Ayrıca bir diğer

yöntem olarak her test sonunda sistem çamuruna kalsiyum ıslahı için soda külü eklenmiştir. Nitekim Kayaköy-Antak formasyonları arasında drill pipe (sondaj borusu) ilavesi yapılırken sirkülasyonun tekrar başlaması için devreye alınan çamur pompasının yüksek jel mukavemeti sebebinden dolayı artan basınç kuvveti formasyonun çatlamasına sebep olmuştur. Yapılan tank ölçümleri sonucunda saatte 40 bbl/saat olacak şekilde tedrici kaçağa girdiği gözlemlenmiştir.

- **Kalsiyum-MBT İlişkisi:** Katkı maddesi olarak 10 ppb (lb/bbl) oranında kullanılan bentonit miktarı ilk test değeri sonucunda MBT değeri olarak belirlenmiştir. Ancak sondajın ilerleyen metrajlarında sistem çamuruna yeni çamur ilavesi yapılmasına rağmen kil içeren formasyonlar ve bant şeklinde killerin varlığından dolayı kil oranında artış meydana gelmiştir. Kalsiyum iyonları artan kil miktarı sebebiyle birim tabakaların arasına girerek floküle olmasına sebebiyet verip çamurun akış özelliklerini bozulmasına sebebiyet vermiştir. 900-1200 metreler arası artan kil ve kalsiyum miktarları, huni viskozite ve jel değerlerinin yükselmesine sebebiyet vermiştir. Yüksek viskozite değerinden dolayı decander santrifüj çalıştırılmamıştır, çünkü yüksek viskozite değerleri decander kasnaklarını döndüren kayışların zorlanmasına ve yırtılmasına sebep olabilmektedir. Çözüm olarak MBT değerini düşürüp kalsiyum etkisini azaltmak için çamur tanklarında sistem çamuru tahliye edilip yeni çamur ilavesi yapılarak devam etmiştir.
- **Kalsiyum-Klor-Reolojik Özellikler İlişkisi:** Yüksek oranda sistem çamuruna giren klor iyonları bentonitlerin floküle olup jel değerlerinin yükselmesine ve sıvı kaybı önleyici olarak kullanılan CMC-LV polimerinin efektif şekilde çalışmasını engellemektedir. Yapılan deneyler sonucunda en düşük klor değeri 3300 mg/l, en yüksek klor değeri 5300 mg/l (Şekil 7.2) olarak ölçülmüştür. Ölçülen bu değerler bentonit için 10.000 mg/l ve CMC-LV için 30.000 mg/l değerlerini aşmadığı gözlemlenmiş olup sıvı kaybının artışı ve bentonitin floküle olması klor oranından kaynaklanmadığı tespit edilmiştir. Klor miktarının artması sistem çamuruna verilen yeni çamurda yüksek oranda kullanılan mevcut sıvı kaybı önleyici polimerlerden kaynaklanmaktadır. Kil ve polimerlerin yapısını bozacak derecede yüksek klor mevcut olmadığından yükselen reolojik özellikler artan kil miktarı ve özellikle 900-1200 metreler arasında yoğun şekilde kalsiyum bulaşımından kaynaklandığını göstermektedir.

- **Kalsiyum-Sıvı Kaybı İlişkisi:** Yükselen kalsiyum değeri CMC-LV ve PAC-LV gibi sıvı kaybı önleyici polimerlerin bağ yapısını bozarak sistemden ayrışmasına neden olarak sıvı kaybının yükselmesine sebebiyet vermektedir. Sondajın bu kısmında sıvı kaybı miktarı 5,2 ile 6,8 ml arasında dalgalanma göstermiştir (Şekil 7.2). Sıvı kaybının bu değer aralıklarında dalgalanması tahliye edilen çamurdan sonra ilave edilen çamurdan kaynaklanmaktadır. 900-1200 metreler arasında yoğun kalsiyum bulaşımı kullanılan CMC-LV polimerlerinin bağ yapısını bozduğu ve sistemden ayrışmasına neden olduğu gözlemlenmiştir. Kalsiyum değerinin bu metreler arasında 500 mg/l üzerinde olması, polimerlerin yapısını bozduğu çıkarımı yapılmıştır. Kalsiyum iyonları sıvı kaybı önleyici polimerleri etkilediği için yeni yapılan çamur kompozisyonunda 4-6 ppb (lb/bbl) oranına çıkılarak kalsiyumun etki ettiği sıvı kaybı miktarını stabil düzeyde tutmaktadır. 1200 metrelerden sonra kullanılan yüksek yoğunlukta polimer oranı ve kalsiyum bulaşımının azalması sıvı kaybının stabil durumda olmasına olanak sağlamıştır. Klor değerinin de artması polimer konsantrasyonunun yüksek kullanıldığını kanıtlar niteliktedir. Sıvı kaybı miktarı dalgalanma göstermiş olsa da pik seviyeler yapmayarak kuyu için sorun oluşturmamıştır.
- **Kalsiyum-Alkalinite İlişkisi:** Kalsiyum iyonlarının sistem çamuruna girmesi çamurun pH değerinin düşmesine sebebiyet vermektedir. Sondajı yapılan jips ve anhidrit kayaçları sistem çamuruna yoğun kalsiyum iyonlarının girmesine sebep olmuş pH değerlerinin de görüldüğü üzere 8,5-9 arasında olmasına sebebiyet vermiştir. pH değerinin bu aralıklarda stabil kalmasının sebebi eklenen soda külünün pH değerinin 12,5 civarında olmasıdır. Ancak soda külü zayıf bazik madde olduğundan sistemin pH değeri 9'un üstüne çıkamamıştır. Ayrıca yeni hazırlanan çamurda 0,5 ppb (lb/bbl) oranında kostik kullanılması da pH değerlerinin bu oranda kalmasında etkili olmuştur. Kostik oranının hazırlanan yeni çamurda 0,5 ppb (lb/bbl) olarak kullanılması; sistem çamurunun tahliye edilmesi ve sonrasında yeni çamur ilave edilmesi sonucunda Kayaköy formasyonunun sondaj sırasında sistemde yüksek miktarda bulunan kalsiyum (Ca^{+2}) iyonları ile kostikten gelen hidroksiller (OH^-) tepkimeye girerek kalsiyum hidroksite ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) dönüşüp sistemde P_m değeri yani kireç değerini arttırarak viskozitenin yükselmesine sebebiyet veren bir diğer etken olmuştur. Sistem çamurunun pH değeri düşük olması durumunda pH değerini yükseltmek için kostik ile müdahale etmek yerine önce sistemin kireç oranını arttırmamak ve

reolojik özellikleri olumsuz etkilememek için kalsiyum ıslahı yapılmalıdır. pH değerinin stabil kalması P_f ve M_f değerlerinin ortalama P_f : 0,1 ve M_f : 0,3 değerlerinde (Şekil 7.2) kalmasına sebebiyet vermiştir. Ancak sondajın ilerleyen bölümlerinde pH değerinin daha da düşmesi ve sistem çamuruna karbondioksit girmesi karbonat ve bikarbonat kirliliği riskini ortaya çıkarmaktadır.

Gercüş formasyonunun kil içeren kayalardan oluşması ve formasyon geçişlerinde kil bantlarının varlığı, MBT değerinin artmasına sebebiyet vermiştir. Sondaj derinliği artsa bile sirkülasyon halindeki sondaj çamurunun önceki formasyonlar ile temasının devam ettiği ve bu sebeple önceki formasyondan çamur bileşimine geçen maddeler derinlik değişmiş olsa da sonuçlara etki etmektedir. Çamur değerlerini kontrol etmek ve kil oranını düşürmek için elek altı tankının boşaltılması ve yeni çamur ilave edilmesi yüksek hacimden dolayı fazla etkisi olmamıştır. Sistemde kil olmasından dolayı ve formasyon yoluyla sisteme giren kalsiyum iyonları killeri floküle ederek jel değerlerinin artışına sebebiyet vermiştir. Ayrıca huni viskozite değerlerinin dalgalı olması çamurun reolojik değerlerinin stabil olmadığını, yeni çamur ilavelerinin de dalgalanmaya sebebiyet verdiği gözlemlenmiştir.

Toplam sondaj süresi boyunca 9 kez kum tuzağı (55 bbl) tahliye yapılarak sistem çamuruna yeni çamur ilavesi yapılmıştır. Hazırlanan yeni çamur 0,5 ppb kostik, 10 ppb bentinot, 4-6 ppb CMC-LV ve PAC-LV kombinasyonu, 1 ppb CFL şeklindedir. Kullanılan kimyasal miktarı 16 bigbag (1,5 tonluk çuval) barit, 22 torba (her torba 25 kg'lık) CFL, 160 torba (her torba 25 kg'lık) CMC, 11 torba bentonit (1 tonluk çuval), 62 torba (her torba 25 kg'lık) kostik, 86 torba (her torba 25 kg'lık) Pac-LV, 288 torba (her torba 25 kg'lık) soda külü kullanılmıştır. Toplam sondaj süresi boyunca lignosülfonat çamuru formasyonlardan gelen kalsiyum iyonlarının bulaşımına maruz kalmış, yükselen kil oranı değeriyle etkileşime girerek sondaj çamurunun reolojik açıdan kontrol edilmesini zorlaştırmıştır. Çözüm olarak sürekli kum tuzağı tahliyesi yapılarak yeni çamur ilavesi yapılmış, kalsiyum ıslahı için ise soda külü kullanılmıştır. Çamur ağırlığının değerinin stabil kalması için hazırlanan yeni çamurda sistem aynı ağırlık değerinde hazırlanmaya özen gösterilmiştir. Bu kısmın sondajın kum tuzağının sürekli tahliye edilmesi ve yeni çamur ilave edilmesi sistem çamurunda kum açısından herhangi bir sorun çıkmasına izin vermemiştir. Sondaj bitimi sonunda tam çıkış manevralarında ara ara ağırlık almalar oluşmuşsa da sorun oluşmamış, kuyu kontrol manevrası için iniş sırasında Kayaköy formasyonunda oturma gözlemlenmiş, reaming

(kuyu cidarını traşlama) ve back reaming yapılarak bölge rahatlatılmaya çalışılmıştır. Bu kısmın sondajı sonunda 9 5/8" casing inişi gerçekleştirilmiştir.

7.2. A-2 Kuyusu Sondaj Çamuru Deney Verileri ve Yapılan Analizler

A-2 kuyusunda, A bölgesinde Çizelge 7.1'de gösterilen formasyonların yüzeyden kuyu dibine kadar sondajı yapılmıştır. Şelmo ve Fırat formasyonlarının spud çamuru ile sondajı yapıldıktan sonra 13 3/8" casing inişi yapıp çimentolama yapılmıştır. 12 1/4" kuyunun sondajında lignosülfonat çamuru kullanılmış olup bu çamur ile Germik, Hoya ve Gercüş formasyonlarının sondajı gerçekleştirilmiş ve 9 5/8" casing inişi tamamlanmıştır. 8 1/2" matkapla yapılan sondajın bu kısmında Kayaköy, Antak, Kastel ve Karadut formasyonlarının sondajı KCl polimer, PHPA ve Glikol çamuru ile gerçekleştirilmiştir. A-2 kuyusunda kullanılan KCl polimer sondaj çamurunun kompozisyonu Çizelge 7.3'de listelenmektedir.

A-2 kuyusunda 8 1/2" çaplı matkapla yapılan sondaj kuyusunda toplamda 57 adet çamur deney seti yapılmıştır. Her deney seti ortalama olarak 8 saatte bir yapılmıştır. Bu deney setleri, yaklaşık 17 gün fiili sondaj süresi boyunca 38 adet çamur test deneyi yapılmış olup reaming ve back reaming süresi boyunca da 19 adet deney yapılmıştır. Bu deney sonuçları Şekil 7.3'de gösterilmektedir. Elde edilen bu deney sonuçları neticesinde kalsiyumun KCl polimer çamur üzerindeki etkisi, çamurun diğer değerleri ile karşılaştırma yapılarak incelenmiştir. A-2 kuyusunda 8 1/2" matkap ile sondaj yapılırken ortalama çamur debisi 450 gpm olarak kaydedilmiştir.

A-2 kuyusunda kullanılan KCl polimer çamurunda alkalinite kostik, kalsiyum ıslahı soda külü, reoloji attırmak için XCD, sıvı kaybı önlemek için nişasta ve PAC-LV, ince ve geçirimsiz kek oluşumu için kalsiyum karbonat ince, kil inhibisyonu için potasyum klorür, ağırlık arttırmak için ise barit ve sodyum klorür tuzu kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen değerlerin karşılaştırılması şu şekildedir:

- **Sıcaklık:** Bu kuyuda yüzeyden alınan çamur numunelerine ait yapılan deneylerde sıcaklık ölçümlerinde dalgalanmalar mevcuttur. Bu sıcaklık dalgalanmaları Karadut formasyonunda killerin şişmesinden dolayı sondaj dizisinin çıkış manevralarında ağırlık alması ve iniş manevralarında oturmasından dolayı reaming/backreaming yapılarak bölge sirkülasyon ve diziye dönme hareketi verilerek rahatlatılmaya çalışılmıştır. 1500-1800 metreler arasında reaming/backreaming yapılan yerlerde sondaj dizi ilavelerinin hızlı olması yüzeydeki sondaj çamurunun sıcaklıklarında değişime sebebiyet

vermiştir. Yapılan deneylerde ortalama sıcaklık değeri 46-49 °C olması kullanılan PAC-LV ve nişasta gibi polimerleri çalışmasına engel olmamıştır.

Çizelge 7.3. A-2 kuyusunda kullanılan KCl polimer çamuru kompozisyonu

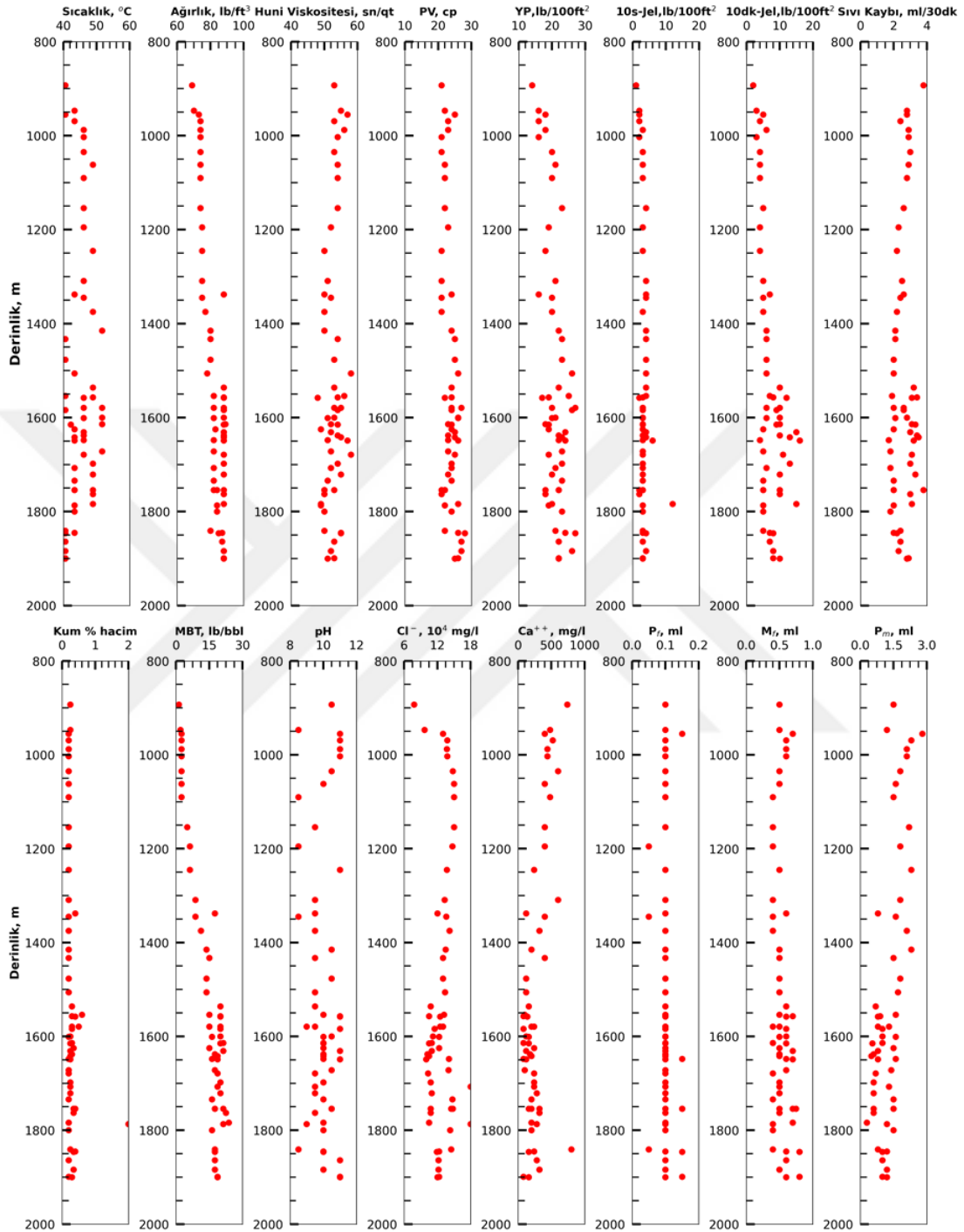
Malzeme	Sembol	Birim Boyutu	Konsantrasyon, lb/bbl (ppb)	Kullanım Amacı
Soda Külü	Na ₂ CO ₃	25 kg'lık/tr	0,5	Kalsiyum kirlenmesine karşı kullanılır.
Kostik	NaOH	25 kg'lık/tr	0,35	Çamurun pH'nın kontrol etmek için kullanılır.
İnce kalsiyum karbonat	CaCO ₃ ince	1000 kg/bb (bigbag)	15-20	Çamur ağırlığını ayarlamak & kaçakları önlemek için kullanılır.
Modifiye Nişasta	-	25kg/torba	6	Sıvı kaybını önlemek için kullanılır
Barit	BaSO ₄	1500 kg/bb (bigbag)	5	Çamuru ağırlaştırmak için kullanılır.
Potasyum Klorür	KCl	1000 kg/bb (bigbag)	33,3	Kil inhibisyonu için potasyum kaynağı sağlar
Ksantan sakızı (XCD)	C ₈ H ₁₄ Cl ₂ N ₂ O ₂	25kg/torba	0,5-1	Viskozite arttırmak için kullanılır.
Tuz	NaCl	1000 kg/bb (bigbag)	66	Çamurlara ağırlık sağlamak ve şeyilli kısımlarda kontrol sağlamak için kullanılır
Polianyonik Selüloz	Pac LV	25kg/torba	4	Sıvı kaybı kontrolünü sağlar. Kesintileri sarma özelliği vardır.
Korozyon önleyici	-	55 gal/bidon (27 l)	Yok sayılacak ölçekte	Sondaj ekipmanlarında korozyon etkisini azaltır.
Glikol	-	55 gal/bidon	1,5-2	Stabilite sağlamak ve çatlakları tıkama özelliği vardır.
Biocide	-	5 gal/bidon	0,1	Çamurda bakteri üremesini ve kimyasal bozulmayı önlemek için kullanılır.

- **Çamur Ağırlığı:** 69 ppcf (lb/ft³) çamur ağırlığı ile başlanan sondajın bu bölümünde, Kastel ve Karadut formasyonlarının sondajı sırasında çamur ağırlığı 80 ppcf'ye kadar yükseltilmiştir. İniş ve çıkış manevralarında kuyu stabilitesi sorunları yaşandığı için, sondaj dizisinde ağırlık alma ve oturma gibi problemler gözlemlenmiştir. Bu sorunları gidermek amacıyla, çamur ağırlığı 88 ppcf'ye kadar artırılmış ve 1500-1800 metreler arasında reaming/backreaming yapılarak kuyu stabilize edilmeye çalışılmıştır. Envanterde yeterli miktarda NaCl tuzu bulunmadığından, ağırlaştırma işlemi barit ile gerçekleştirilmiştir. 1600-1800

metreler arasında reaming/backreaming yapılırken, yeni çamurun hazırlanması sırasında eklenen NaCl tuzu klor oranında artışa neden olmuştur. Bu duruma göre envanterin çamur ile ilgili kararları etkilediği ifade edilebilir.

- **Kalsiyum-Reolojik Değerlerin Karşılaştırılması:** 8 ½’’ matkapla yapılan bu kısmın sondajı Kayaköy formasyonunda başlamıştır. Bu formasyonda, jips ve anhidrit gibi kayaçlardan kaynaklanan yüksek kalsiyum bulaşımı gözlemlenmiştir. Sondaj süresince çamurda kalsiyum iyonları tespit edilmiştir (Şekil 7.3). Yaklaşık olarak Karadut formasyonuna kadar bu kalsiyum bulaşımı devam etmiştir. Reolojik açıdan, sistem çamurunda bentonit kullanılmadığı ve formasyondan kaynaklanan kil bulaşımı olmadığı için çamurun floküle olma durumu oluşmamış, bu nedenle kalsiyum iyonları çamur üzerinde herhangi bir sorun yaratmamıştır. Bu durum, jel değerlerinde, huni viskozitesinde ve akma noktası değerlerinde dalgalanma veya yüksek değerler gözlemlenmemesiyle sonuçlanmıştır. 1500-1800 metreler arasında şeyl ve marn içerikli formasyonların sondajı veya reaming/backreaming zamanlarında sistem çamurunda kil artışı nedeniyle MBT oranı artmıştır. Artan kil oranı, aktif killerden oluştuğu için huni viskozitesi, YP ve 10 dk. jel değerlerinde artışa neden olmuştur. 1500 metrelerden sonra PV değerindeki artış, çamur ağırlaştırma için kullanılan barit, yapılan müdahaleler ve artan kil oranı ile açıklanmaktadır. 1400 metrelerden sonra kalsiyum iyonlarının sondaj çamurunun sirkülasyonu sırasında formasyonla temas etmesine rağmen, kalsiyum değerlerinin düşük olması, Kayaköy formasyonunun A-1 kuyusuna göre daha ince olması ve soda külü ile kalsiyum iyonlarının kontrol altına alınması ile açıklanabilir.
- **Kalsiyum-Sıvı Kaybı İlişkisi:** Sondaj ve reaming-backreaming süresi boyunca yapılan sıvı kaybı analizinde, kalsiyum iyonlarının erken müdahale ile kontrol altına alınması, yüksek miktarda polimer kullanımı ve nişasta ile PAC-LV gibi polimerlerin ek takviyesi ile kalsiyum kaynaklı sıvı kaybının kontrol altında tutulduğu gözlemlenmiştir. 1500-1800 metreler arasında reaming/backreaming işlemleri sırasında sondaj dizisinin eklenmesi nedeniyle sirkülasyon kesintiye uğramış ve bu durum sistem çamurundaki polimerlerin bağ kurmasını engelleyerek az da olsa sıvı kaybı artışına yol açmıştır. Ayrıca, yeni eklenen çamurun polimer oranının sistemdeki mevcut polimer oranından daha düşük olması, sıvı kaybının bir miktar artmasına neden olduğu tahmin edilmektedir.

Ancak, artan sıvı kaybı miktarı kuyunun genel durumunu olumsuz etkileyecek seviyelere ulaşmamıştır.



Şekil 7.3. A-2 kuyusunda yapılan KCl polimer çamuru deney sonuçlarının derinliğe göre değişimi (Not: Y eksenindeki derinlikler yüzeyden çamur numuneleri alındığında matkap derinliğini ifade etmektedir. Ortalama olarak 8 saatte bir numune analizi yapılmıştır ve X eksenindeki değerler yüzeyden alınan çamurun özelliklerini ifade etmektedir. Sondaj sırasında ortalama $q_{\text{çamur}}$: 450 gpm'dir.)

- **Kalsiyum-PHPA İlişkisi:** PHPA (kısmen hidrolize edilmiş poliakrilamit) özellikle kuyu stabilitesi sorunu gösteren şeyl ve marn gibi kayaçların sondajında kesintilerin etrafını film şeridi gibi kaplayıp çamura karışmasını engelleyip MBT oranının stabil kalmasında önemli rol almaktadır. PHPA, 400 mg/L kalsiyum iyonu konsantrasyonlarında bozulmaya uğrar. Kastel ve Karadut formasyonlarının sondajı sırasında Kayaköy formasyonundan kaynaklı kalsiyum iyonlarının bulaşımı ortalama 1500 metrelere kadar 400 mg/l üzerinde olması bu çamurda PHPA'nın kullanımını engellemiştir. Sondajın ilerleyen kısımlarında decander santrifüjün kullanılmasına rağmen MBT değerinin 20 lb/bbl'ye kadar çıktığı gözlemlenmiştir (Şekil 7.3). Kuyuyu rahatlamak için yapılan reaming/backreaming zamanlarında decander santrifüjün de arıza vermesi sebebiyle MBT değeri 23,75 lb/bbl oranına kadar çıkmıştır. Son testlerde görüldüğü üzere on dakika jellerin artması sistemdeki killerin aktif olduğunu göstermektedir. MBT oranının kontrol etmek adına 1600 metrelerde elek altı tankları tahliye edilip yeni çamur ilavesi yapılarak MBT değeri kontrol altında tutulmaya çalışılmıştır.
- **Kalsiyum-Alkalinite İlişkisi:** Yapılan testler sonucunda kalsiyum iyonlarının az da olsa pH değerini düşürdüğü gözlemlenmiştir. pH değerinin düşmesi sistem çamurunda hidroksil iyonlarının azaldığını göstermektedir. Hidroksil iyonlarının sistemde azalması P_f ve M_f değerlerinin ara ara düşmesine sebebiyet vermiştir. Çamurun azalan alkalinitesi kostik (hidroksil) katkı maddesi eklenerek sağlanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda herhangi bir karbonat veya bikarbonat kirliliği gözlemlenmemiştir. P_m değeri sistemde kalsiyum olduğunda kostik ilavesi yapıldıktan sonra arada yükselmiş ancak o aralıklarda floküle olabilecek kil miktarının az olmasından dolayı çamurun reolojisinde herhangi bir soruna neden olmamıştır.

8 ½'' kuyu sondajının gerçekleştirildiği bu bölümde, Kastel ve Karadut gibi yumuşak formasyonların sondajında sapma riski ve çamurda MBT oranının artması nedeniyle iniş ve çıkış manevralarında sorunlar yaşanmıştır. İki kez yapılan kuyu kontrol manevrası sırasında, reaming ile şeyl ve marn kayaçlarının olduğu kısımlar rahatlatılmaya çalışılmış, ancak tam çıkış sırasında Kastel formasyonunda sondaj dizisi sıkışarak sirkülasyon ve sondaj dizi dönme hareketini kaybetmiştir. Sistemin çamuruna dizinin kayganlığını artırmak için petrol eklenmiştir. Ayrıca, titreşimli eleklerde yoğun yıkıntı gözlemlendiğinden sistem çamurunun glikol oranı artırılmıştır. Sondaj dizisi

hareket ettirilip sirkülasyon kazandırılarak dizi kurtarılmıştır. 7'' casing inişine geçilmiş, ancak Karadut formasyonunda casinglerde oturma gözlemlenmiş ve ilerleme sağlanamadığından casing çıkışı gerçekleştirilmiştir. Tekrar yapılan reaming/backreaming manevralarının ardından kuyu rahatlatılmış ve 7'' casing inişi sorunsuz tamamlanmıştır.

Sonuç olarak, kalsiyum bulaşımı sıvı kaybı ve reoloji gibi parametreleri olumsuz etkilemediği gözlemlenmiştir. Ancak, kalsiyum iyonlarının sistem çamurunda varlığı kil inhibisyonunda kullanılan potasyum iyonlarına destek olarak kullanılan PHPA katkı maddesinin etkisini engellediği için bu katkı maddesi kullanılamamıştır. Ayrıca, envanterde yeterli miktarda sodyum klorür tuzunun bulunmaması nedeniyle potasyumun kil inhibisyonu için destekleyici olarak kullanımı mümkün olmamıştır. Bu durum özellikle malzeme lojistiğinin sondaj çamuru ile ilgili kararları nasıl etkileyebileceği açısından örnek teşkil etmektedir. Tüm bu problemlerin gözlemi yapıldıktan sonra MBT değerinin artmasına etki ederek sondaj süresinin uzamasına ve maliyetinin artmasına neden olduğu çıkarımı yapılmıştır. Söz konusu çamurda stabiliteyi sağlamak için 88-89 ppcf'ye (**Şekil 7.3**) kadar çıkartılan çamur ağırlığı, envanterde yeteri kadar sodyum klorür tuzunun olmamasından dolayı, barit kullanılmış, barit kullanılması sistem çamurunda katı madde oranının artmasına neden olmuştur. Bu sorun ara ara pompalarının piston ve gömlek ekipmanlarına zarar verdiğiinden arızalar oluşmuştur. Bu kuyunun sondajında toplamda 172 bigbag (1,5 tonluk çuval) barit, 17 bigbag (1 tonluk çuval) kalsiyum karbonat ince, 181 torba (25 kg'lık) modifiye nişasta, 237 torba (25 kg'lık) PAC-LV, 50 torba (25 kg'lık) XCD, 37 torba KCl (1 tonluk), 32 torba sodyum klorür (1 tonluk), 33 adet her biri 55 galon olan glikol, 81 torba (25 kg'lık) kostik, 206 torba (25 kg'lık) soda külü kullanılmıştır.

7.3. A-3 Kuyusu Sondaj Çamuru Deney Verileri ve Yapılan Analizler

A-3 kuyusu A bölgesinde Çizelge 7.1’de gösterilen formasyonlar yüzeyden kuyu dibine kadar Germik formasyonu hariç sondajı yapılmıştır. Şelmo, Fırat ve Hoya formasyonu spud çamuru ile sondajı yapıldıktan sonra 13 3/8’’ casing inişi yapıp çimentosu yapılmıştır. 12 1/4’’ kuyunun sondajında kuyudan olası gaz beklentisi ve kalsiyum içeren kayaçların varlığından dolayı kireç çamuru kullanılmış olup bu çamur ile Gercüş, Kayaköy, Kastel ve Karadut formasyonlarının sondajı gerçekleştirilmiştir. Bu kısımda kullanılan çamurunun kompozisyonu Çizelge 7.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.4. A-3 kuyusunda kullanılan kireç çamuru kompozisyonu

Malzeme	Sembol	Birim Boyutu	Konsantrasyon, lb/bbl (ppb)	Kullanım Amacı
Bentonit	-	1000 kg/bb (big bag)	10-15	Reoloji ve kuyu cidarı için iyi bir çamur keki yapar.
Kostik	NaOH	25 kg’lık/tr	0.75 - 3	Çamurun pH’nın kontrol etmek için kullanılır.
Barit	BaSO ₄	1500 kg/bb (big bag)	0 - 170	Çamur ağırlığını ayarlamak & kaçakları önlemek için kullanılır.
Modifiye Nişasta	-	25 kg/torba	1 - 2	Sıvı kaybını önlemek için kullanılır
CMC-LV	-	25 kg/torba	2 - 4	Çamuru ağırlaştırmak için kullanılır.
XCD		25 kg/torba	0.5-1	Sıvı kaybı kontrolünü sağlar. Kesintileri sarma özelliği vardır.

A-3 kuyusunda 12 1/4’’ matkap ile sondaj yapılırken ortalama çamur debisi 550 gpm olarak kaydedilmiştir. A-3 kuyusunda gaz gelme riski, jips ve anhidrit kayaçlarının varlığı ve şeyl-marn içeren formasyonların oluşmasından dolayı kireç çamuru kullanılmıştır. Kireç çamurunda alkalinite kostik, kalsiyum kaynağı olarak kireç, reoloji ve kek oluşumu için bentonit, sıvı kaybı önlemek için nişasta, PAC-LV ve CMC-LV, ağırlık arttırmak için ise barit kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen değerlerin karşılaştırılması (Şekil 7.4) şu şekildedir:

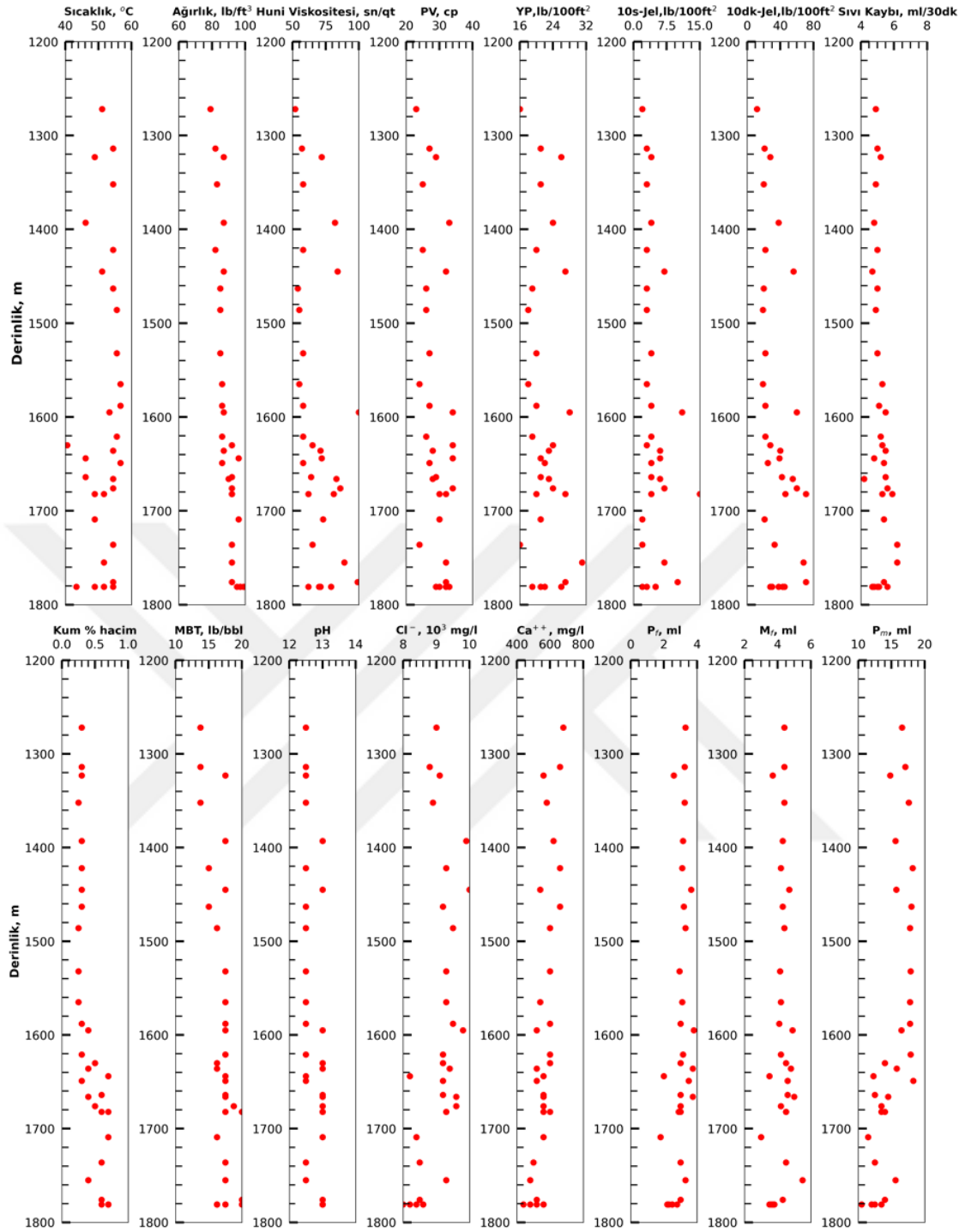
- **Sıcaklık:** Kuyudan alınan çamur örneklerinde test sıcaklığı ortalama 54,5°C olarak kaydedildi. 1600-1800 metreler arasında gerçekleştirilen reaming/backreaming işlemleri sırasında sondaj dizi ilavelerinin hızlı yapılması nedeniyle bu derinliklerde sirkülasyon kesintiye uğramıştır. Bu durum, hafif sıcaklık dalgalanmalarına sebep olmuştur. Ancak, ölçülen sıcaklık değerlerinin

kullanılan polimerler üzerinde herhangi olumsuz bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

- **Çamur Ağırlığı:** Sondajın bu kısmında çamur ağırlığı 79 ppcf olarak başlanmıştır. Daha sonra kademli olarak çamur ağırlığı arttırılmış, reaming yapıldıktan sonra tabanda sirkülasyon yapılırken kuyuda stabilite sorunu çıkmaması için çamur ağırlığı barit ile 100 ppcf'ye kadar arttırılmıştır. Çamur ağırlığının barit ile arttırılması sistem çamurunda katı madde artışına sebebiyet verdiğinden PV değerinin de orantılı olarak arttığı gözlemlenmiştir.
- **Kalsiyum-Reoloji İlişkisi:** Kalsiyum değeri ortalama olarak 550-600 mg/l arasında (Şekil 7.4) değerlerdedir. Kalsiyumun değerlerinin değişkenlik göstermesi jips ve anhidrit içeren formasyonların sondajından kaynaklanmaktadır. Kalsiyum değerinin artması sonucunda sisteme kostik ile müdahale edilerek sisteme giren kalsiyum iyonları kostik içerisinde bulunan hidroksil iyonları ile tepkimeye girerek depo kireç olarak P_m değerine dönüşür. Kalsiyum değerinin yükselmeye başladığı durumlarda sistemde bulunan killerin yavaş yavaş floküle olmaya başlamasından dolayı jel değerleri kırılğan jel olma değerine yaklaşmış ancak stabil kalmıştır. Kastel ve Karadut formasyonlarının sondajında ve reaming/backreaming yapılırken sondaj dizisini yağlamak ve dizi çıkışını rahatlatmak için verilen ham petrol ilavesinden sonra jel değerlerinde hızlı yükselme meydana gelmiştir. Yükselen jel değerleri kalsiyum kaynaklı olmayıp, çamura ilave edilen ham petrolün çamurun akışını bozduğu gözlemlenmiştir. Huni viskozite değerlerinin de dalgalanma göstermesi jel değerlerinin yükseldiğini desteklemektedir. Akma noktası (YP) değerlerinin ortalama 20 değerinin üstünde olması kuyunun etkin şekilde temizlendiği göstermektedir.
- **Kalsiyum-MBT İlişkisi:** Kastel ve Karadut formasyonlarının sondajı sırasında formasyonlarda bulunan şeyl ve marn kayaçlarından dolayı MBT değerinde artış meydana gelmiştir. Kalsiyum iyonlarının Kayaköy formasyonundaki jips ve anhidritten kaynaklı çamura girmesi ve kalsiyum değerlerinin 500 mg/l değerinin az da olsa (Şekil 7.4) üzerinde olmasından dolayı ortalama 10 sn. ve 10 dk. jel değerleri ham petrol ilavesinden önce sırasıyla 4 ve 20 değerleri arasında olması sorun yaratacak değerler olmasa da kırılğan jel olduğu gözlemlenmektedir.

- **Kalsiyum-Sıvı Kaybı İlişkisi:** Serbest kalsiyum iyonları sıvı kaybı önleyici polimerlerin çalışmasını engelleyecek şekilde etkilememiştir. Sıvı kaybı 4-5 ml (Şekil 7.4) arasında değişiklik göstermiş olup kuyuya zarar verecek değerlerin altında olduğu gözlemlenmiştir. Ancak kum tuzağının tahliye edilip yeni çamur ilavesi yapılması sondajın sonlarına doğru çamurun dengeye gelememesinden dolayı dalgalanmalar göstermiştir.
- **Kalsiyum-Alkalinite İlişkisi:** Bu çamurda alkalinite kostik ve kireç çamurundan gelen hidroksil iyonları ile sağlanmıştır. Kayaköy formasyonundan gelen serbest kalsiyum iyonlarının çamurun reolojik değerlerine zarar vermemesi için kostik ilavesi yapılarak depo kirece çevirerek P_m değeri tutulmaya çalışılmıştır ancak petrol bulaşımından dolayı yükselen jel değerlerini düşürmek için kum tuzağından çamur ara ara tahliye edildiğinden P_m değerinde dalgalanmalar gözlemlenmiştir. P_f ve M_f değerleri de kum tuzağının tahliye edilip yeni çamur ilavesi yapılmasından dolayı dalgalanma göstermiş olup P_f değerinin 3 ml, M_f değerinin ise ortalama 4,5 ml olduğu gözlemlenmiştir. Sondaj süresi boyunca herhangi karbonat veya bikarbonat kirliliği gözlemlenmemiştir.

12 ¼'' kuyu sondajı toplamda 13 gün sürmüş toplamda reaming ve backreaming zamanları da dahil toplam 32 adet çamur deney testi yapılmıştır. 6 kez kum tuzağı (55 bbl) tahliyesi yapılmış olup Çizelge 7.3'de gösterilen kompozisyonla aynı oranda çamur hazırlanıp çamur ilaveleri yapılmıştır. Kuyu stabilitesini sağlamak için çamur ağırlığı barit ile tam çıkış manevrasından önce 99-100 ppcf değerine çıkarılmıştır. Barit ile ağırlaştırma yapıldığından ve kum değerinin yükselme eğiliminde olmasından dolayı ara ara pompa arızası meydana gelmiştir. Klor değerinin formasyon ve verilen polimerlerden kaynaklı 9.000-10.000 mg/l değerine çıkması (Şekil 7.4) sistemde bulunan killeri floküle etme değerine yaklaşmış olduğu gözlemlenmiştir. Sondaj bitiminde çıkış manevrasında ara ara Kastel ve Karadut formasyonunda ağırlık alma ve oturma gözlemlenmiş, çamur ağırlığı arttırılarak çıkış manevrası tamamlanarak 9 5/8'' casing inişi sorunsuz tamamlanmıştır. Sondaj süresi boyunca 156 bigbag (1.5 tonluk çuval) barit, 28 bigbag (1 tonluk çuval) bentonit, 35 torba (25 kg'lık) CLF, 422 torba (25 kg'lık) CMC-LV, 218 torba (25 kg'lık) kireç, 70 torba (25 kg'lık) kostik, 76 torba (25 kg'lık) modifiye nişasta ve 35 torba (25 kg'lık) XCD kullanılmıştır.



Şekil 7.4. A-3 kuyusunda yapılan kireç çamuru deney sonuçlarının derinliğe göre değişimi (Not: Y eksenindeki derinlikler yüzeyden çamur numuneleri alındığında matkap derinliğini ifade etmektedir. Ortalama olarak 8 saatte bir numune analizi yapılmıştır ve X eksenindeki değerler yüzeyden alınan çamurun özelliklerini ifade etmektedir. Sondaj sırasında ortalama $q_{\text{çamur}}$: 550 gpm'dir.)

7.4. B-1 Kuyusu Sondaj Çamuru Deney Verileri ve Yapılan Analizler

B-1 kuyusu B bölgesinde Çizelge 7.5 ve Şekil 7.4’de gösterilen formasyonlar yüzeyden kuyu dibine kadar sondajı yapılmıştır. Şelmo, Fırat formasyonu spud çamuru ile sondajı yapıldıktan sonra 20’’ casing inişi yapıp çimentosu yapılmıştır. 17 ½’’ kuyunun Germik, Hoya, Gercüş ve Üst Sinan formasyonların sondajı yapılmıştır. Bu kısımda kullanılan çamurunun kompozisyonu Çizelge 7.6’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.5. B bölgesindeki kuyulara ait formasyonlar ve olası problemler

Formasyon	Litoloji	Tahmini Derinlik Aralığı, m	Muhtemel Problemler
Şelmo	Çakıltası, kumtaşı, şeyl	0-400	Çamurda jelleşme
Germik	Jips	400-700	Kaçak takım sıkışması, vibrasyon
Hoya	Kireçtaşı	700-1000	Kaçak, Diferansiyel takım sıkışması
Gercüş	Çakıltası, kumtaşı, şeyl	1000-1300	Ağırlık alma (AA), matkap sarma, kalsiyum kirlenmesi
Üst Sinan	Dolomit, kireçtaşı, şeyl	1300-1700	Tedrici ve tam kaçak
Germav	Şeyl	1700-2100	Oturma, ağırlık alama, stabilite, yıkıntı, takım sıkışması, tork, sapma
Garzan	Killi kireçtaşı	2100-2200	Tedrici veya tam kaçak

Çizelge 7.6. B-1 kuyusunda kullanılan lignosülfonat çamur kompozisyonu

Malzeme	Sembol	Birim Boyutu	Konsantrasyon, lb/bbl (ppb)	Kullanım Amacı
Soda Külü	Na ₂ CO ₃	4	0,5	Kalsiyum kirlenmesine karşı kullanılır.
Kostik	NaOH	5	0,35	Çamurun pH’nın kontrol etmek için kullanılır.
Bentonit	CaCO ₃ ince	3	15-20	Çamur ağırlığını ayarlamak & kaçakları önlemek için kullanılır.
CMC	-	30	2-3	Sıvı kaybını önlemek için kullanılır
Barit	BaSO ₄	8	35	Çamuru ağırlaştırmak için kullanılır.
CFL	-	8	1	Reoloji kontrolü ve inceltici

B-1 kuyusunda 17 ½’’ matkap ile sondajı yapılan bu kısım 13 gün sürmüştür. B-1 kuyusunda 17 ½’’ matkap ile sondaj yapılırken ortalama çamur debisi 740 gpm olarak kaydedilmiştir. Toplamda 21 adet çamur deney seti testi yapılarak kalsiyumun etkisi B-1 kuyusunda da gözlemlenmeye çalışılmıştır. 26’’ matkap ile sondaj yapıp 20’’ casing

indirilip çimentolama yapıldıktan sonra spud çamuru lignosülfonat çamuruna tahvil yapılmıştır.



Şekil 7.5. B bölgesine ait muhtemel sondajı yapılan formasyonların genel stratigrafisi (TPAO,2017)

Germik ve Gercüş formasyonlarında bulunan jips ve anhidritten kaynaklı yoğun çamur bulaşımı ve ara ara kil bantlarının varlığından dolayı sisteme kil bulaşımından kaynaklı MBT değerlerinin yükseldiği gözlemlenmiştir. Sisteme giren kalsiyum iyonları birtakım sorunlar ortaya çıkarmış olup gösterdiği etkiler aşağıda (Şekil 7.6) sıralanmıştır:

- **Sıcaklık:** Bu kuyu için yüzeyden alınan çamur numunelerinde ölçülen sıcaklık 48,9-54,5 °C olarak ölçülmüştür. Ölçülen sıcaklık değerlerinde az da olsa sapma görülmesi sondaj parametrelerinin değişimi, yeni çamur ilavelerinin etkisinden kaynaklıdır. Bu sıcaklık değerleri kullanılan polimerleri olumsuz etkilemediği gözlemlenmiştir.
- **Çamur ağırlığı:** Çamur ağırlığı sondajın bu kısmında 65 ppcf olacak şekilde başlanmıştır. Ancak 800-100 metreler arasında katı madde ekipmanlarının yeterli düzeyde çalışmaması kesintilerin çamur içerisine karışmasına engelleyemediğinden çamur ağırlığı kontrolsüz şekilde artmıştır. Ayrıca sıvı

kaybının kontrol altında tutulması ve kalsiyum ıslahı için verilen katkı malzemelerinin sistemde katı madde olarak yer alması çamur ağırlığını 75 ppcf'e kadar yükselmesine sebebiyet verdiği tahmin edilmektedir. Aynı metrelerde PV değerlerinin de artış göstermesi çamur ağırlığının katı madde içeriğinin arttığını destekleyen niteliktedir. Ayrıca kum miktarının da % 0,2-0,3 değerlerinde olması bu düşüncüyü destekler niteliktedir. Sondaj dizisinin sıkışmasından sonra tahliye edilen elek altı tankları ve yeni çamurun ilave edilmesi sonucu çamur ağırlığı 71 ppcf'e kadar düşürülmüştür.

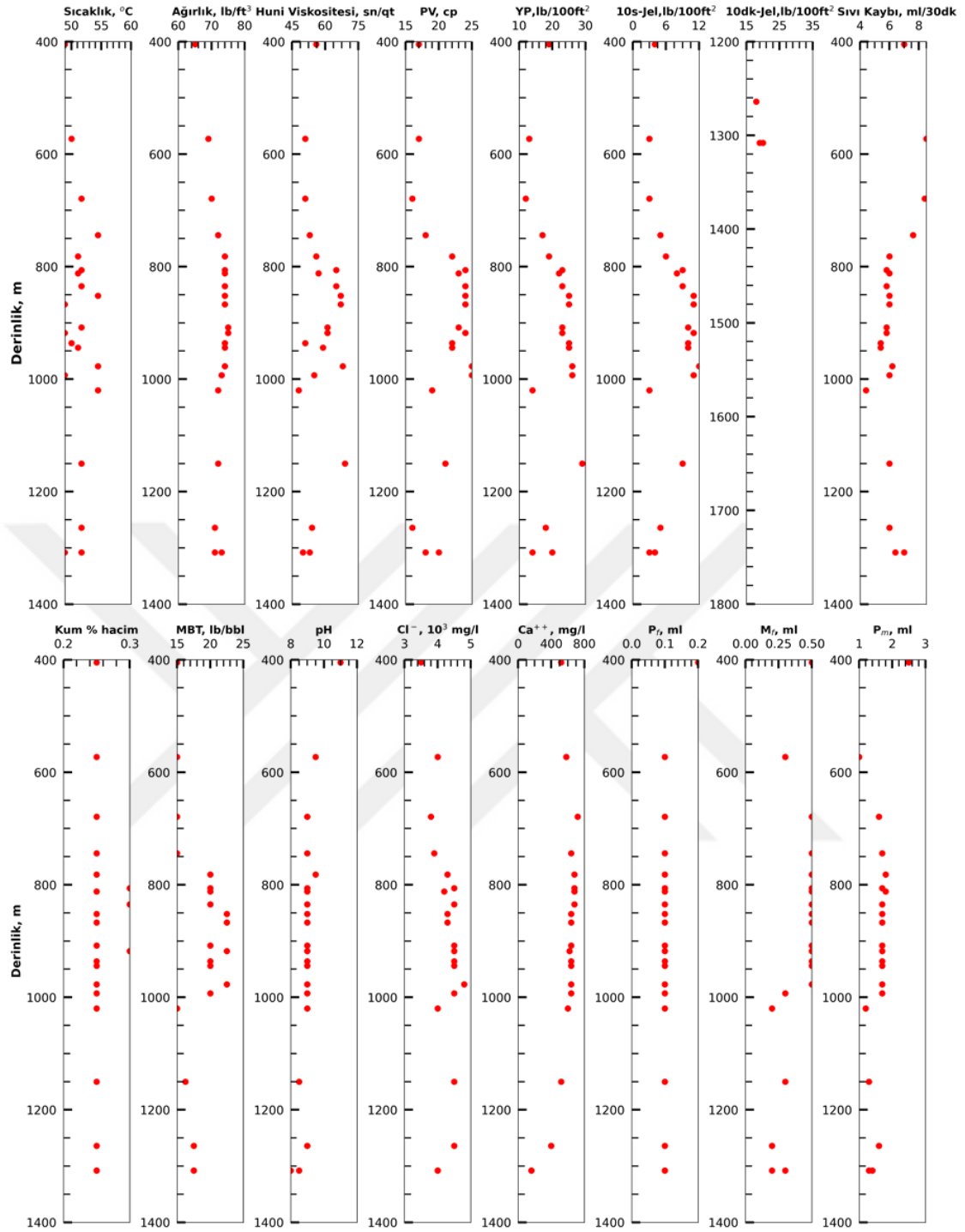
- **Kalsiyum-Reoloji İlişkisi:** Bu kuyuda yaşanan kalsiyum kaynaklı reolojik problemler A-1 kuyusunda yaşanan problemlere benzemektedir. Killi bantların kesilmesi sistem çamurunda MBT değerinin artmasına neden olmuş, Germik ve Gercüş formasyonlarından gelen kalsiyum iyonları killeri floküle ederek jel değerlerinin artmasına sebebiyet vermiştir. 800-1000 metreler arasında (Şekil 7.6) artan kil oranı ve sistemde bulunan kalsiyum iyonları, çamurun floküle olmasına sebebiyet vermiştir. Huni viskozite, YP, 10 sn. jel değeri ve 10 dk. jel değerlerinin bu metrelerde yüksek olmasının sebebi bundan kaynaklanmaktadır. Artan jel değerleri sondaj dizisi ilavelerinde veya herhangi bir arıza durumunda duran pompanın tekrar devreye alınması zayıf olan formasyonların çatlatma riskini ortaya çıkarmıştır. Birçok kez tanklardan kum tuzağı tahliye edilmiş ancak kuyu çapının geniş ve derinliğin fazla olmasından dolayı hacmin fazla olmasından tahliye edilen çamur ve ilave edilen çamur reolojik özelliklerin düşmesini sağlamamıştır. Hemen hemen her deney testinden sonra sistem çamuruna soda külü eklenmiş ancak jips ve anhidrit kayaçlarının sondajının devam süresince kalsiyum iyonlarının çamura bulaşımı engellenememiştir.
- **Kalsiyum-Sıvı Kaybı İlişkisi:** Kalsiyum değerinin ortalama 600 mg/l civarında (Şekil 7.6) olması çamurun sıvı kaybı üstünde etkili olmuştur. Yeni hazırlanan çamurda bentonit kullanılmamış olup, CMC-LV oranı 4-6 arasında kullanılarak sıvı kaybı stabil seviyede (5,5-6 ml) arasında tutulmaya çalışılmıştır.
- **Kalsiyum-MBT İlişkisi:** Kil içerikli formasyonların sondajı MBT değerinin artmasına sebebiyet vermiştir. Artan kil oranı sistem çamurunda reolojik özelliklerin kontrol edilmesini zorlaştırmıştır. 800-100 metreler arasında MBT değerleri maksimum noktaya ulaşmış, kalsiyum iyonlarının bu killeri floküle etmesi sonucunda reolojik özellikler kontrol edilmesi zor değerlere ulaşmıştır. Sondaj dizisinin sıkışması sonunda elek altı tanklarının tahliye edilmesi ve

sistem çamuruna bentonit olmayan yeni çamurun ilave edilmesi kil oranını düşürmüştür.

- **Klor Oranı:** Sistem çamurunun klor oranı 3500-4800 mg/l olarak ölçülmüştür. 800 metreden sonra yeni çamura ilave edilen yoğun polimer oranından dolayı klor oranı artmıştır. Bu metrelerden sonra sıvı kaybı değerlerinin azalması klor oranının artmasıyla düştüğü gözlenmiştir.
- **Kalsiyum-Alkalinite İlişkisi:** Sistem çamurunda kalsiyum iyonlarının varlığı pH değerinin (Şekil 7.6) düşmesine sebebiyet vermiştir. Ancak her deney testinden sonra kullanılan soda külünün pH değerinin 12,5 olması, pH değerini ortalama 9 değerinde tutmuştur. pH değerinin 10'un altında olması serbest kalsiyumların sistem çamurunda var olmasına neden olmuştur. pH değerinin stabil olması ve P_m değerini değiştirmemiş, P_m değeri 1,7 ml olarak belirlenmiştir.

17 ½'' kuyu sondajı devam ederken katı madde ekipmanlarının yetersiz çalışması, decander santrüfjün yüksek jelden dolayı verimsiz çalışması kontrolsüz katı maddenin çamura girmesi çamur ağırlığının 75 ppcf'e kadar çıkmasına neden olmuştur. Artan kontrolsüz ağırlık nedeniyle Hoya formasyonunda bulunan gözenekli kireçtaşlarında kuyu içi ile formasyon arasında basınç farkından dolayı diferansiyel sıkışma meydana gelmiştir. Ayrıca sondaj çamurunun jel değerinin yüksek olması sondaj dizisinin kuyu cidarına yapışmasına dolaylı yoldan sebebiyet vermiştir. Sondaj dizisinin kurtarımı için yaklaşık 300 bbl kadar çamur elek altı tanklarından çamur tahliye edilerek çamur ağırlığı ve jel değerleri düşürülmüştür. Yapılan müdahalenin ardından çamur ağırlığı 71 ppcf'e düşmüş olup, 10 saniye ve 10 dakika jel değeri sırası ile 5 ve 18 düşürülmüştür. Ayrıca formasyon ile kuyu cidarı arasında irtibatı kesmek için sıcaklıkla temas ettiğinde bulutlanma özelliği gösteren glikol %1 oranında kullanılmıştır. Sondaj dizisi bu müdahalelerden sonra kurtarılmış ve tam çıkış manevrasına geçilmiştir. Kuyu kontrol manevrası için yapılan iniş ve çıkış manevrasında ara ara ağırlık alma ve oturmalar olmuş reaming/backreaming yapılarak bölge rahatlatılmıştır. Bu kısmın sondajı sonrası 13 3/8'' casing inişi sorunsuz yapılmıştır.

Toplam sondaj süresi boyunca 33 torba (25 kg'lık) CFL, 237 torba (25 kg'lık) CMC-LV, 12 bigbag (1 tonluk çuval) bentonit, 45 torba (25 kg'lık) PAC LV, 308 torba (25 kg'lık) soda külü, 11 drum (bidon: 27 litre) glikol, 14 torba (25 kg'lık) XCD ve 33 torba (25 kg'lık) kostik kullanılmıştır.



Şekil 7.6. B-1 kuyusunda yapılan lignosülfonat çamuru deney sonuçlarının derinliğe göre değişimi (Not: Y eksenindeki derinlikler yüzeyden çamur numuneleri alındığında matkap derinliğini ifade etmektedir. Ortalama olarak 8 saatte bir numune analizi yapılmıştır ve X eksenindeki değerler yüzeyden alınan çamurun özelliklerini ifade etmektedir. Sondaj sırasında ortalama $q_{\text{çamur}}$: 740 gpm'dir.)

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında kısaca aşağıdaki sonuç ve öneriler elde edilmiştir:

- A-1 kuyusunda lignosülfonat çamuru ile Germik, Hoya, Gercüş, Kayaköy ve Antak formasyonlarının sondajı yapılmıştır. Bu formasyonların sondajında yüksek kalsiyum iyonlarının bulaşımı olmuştur. Aynı zamanda ara ara kil bantlarının sondajı sırasında sistem çamuruna killer girerek MBT değerini arttırdığı gözlemlenmiştir. Bentonit katkı maddesinin kontrollü bir şekilde kullanılmasına rağmen, formasyonlardan kaynaklanan kil bulaşımı ve kalsiyum iyonlarının killerin yapısını etkilemesi sonucunda çamurda jel değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca kalsiyum iyonlarının sıvı kaybı önleyici polimerlerin etkin olarak çalışmasını engellediğinden sıvı kaybının ciddi şekilde olmasa da değerlerinin dalgalanmasına sebebiyet vermiştir. Kayaköy-Antak formasyonunun sondaj dizi ilavesi sırasında yüksek jel miktarı nedeniyle pompa basıncının artması ve kuyunun çatlaması ile sonuçlanması ile tedrici kaçak meydana gelmiştir.. Bu sonuçlar neticesinde çamuru kontrol etmek için birçok kez kum tuzağından çamur tahliye edilmiş olup, sisteme sıvı kaybını da dengelemek veya düşürmek için polimer kullanım oranı arttırılmıştır. Lignosülfonat çamurunun kalsiyum ve kil bulaşım ihtimalinin yüksek olduğu kısımlarda kullanılması yüksek jel değerlerine ve zayıf olan formasyonların çatlama riskine sebebiyet verme ihtimali yüksektir. Bu formasyonların olduğu kısımda A-3 kuyusunda aynı formasyonların sondajında kullanılan kireç çamurunda petrol kullanılmadan önceki değerler göz önünde tutularak kullanılması önerilmekte veya kalsiyumun floküle edeceği bentonit kilinin olmaması ve sıvı kaybının nişasta, PAC-LV ve CMC-LV ile sağlandığı, çamur kek oluşumu için ise nişasta ve kalsiyum karbonat incenin kullanıldığı tatlı su polimer çamurunun denenmesi sondaj maliyeti ve zamanı açısından tavsiye edilmektedir.
- A-2 kuyusunda Kayaköy, Antak, Kastel ve Karadut formasyonları KCl/Polimer çamuru ile sondajı yapılmıştır. Kayaköy formasyonundan jips ve anhidrit kayaçlarından kalsiyum iyonları sistem çamuruna girmiştir. Bu kalsiyum iyonları reolojik ve alkalinite açısından bu çamurda herhangi bir sorun ortaya çıkarmamıştır. Kastel ve Karadut gibi stabilite sorunu çıkaran ve yoğun şekilde şeyl ve marn içeren bu formasyonların sondajı sırasında sistem çamurunda

yüksek kalsiyum bulaşımı PHPA katkı maddesinin kullanımını engellemiştir. PHPA kullanımı şeyl ve marn sondajlarında kesintilerin etrafını sararak yüzeye getirme özelliğinden MBT değerinin artmasını engelleyecek KCl çamurunda potasyuma inhibisyonunun yanında yardımcı eleman olarak önemli yere sahiptir. Bu formasyonların sondajı sonrası MBT değerinde artış gözlenmiş ve jel değerlerinde test deneylerinin sonlarına doğru yüksek olmasa da 10 dakika jellerin yükselmesine neden olmuştur, bu da sisteme giren killerin aktivitesini göstermektedir. Kastel formasyonunda, kuyunun sapma olasılığı ve yükselen MBT nedeniyle kuyu çapının daralması gibi olasılıklar göz önüne alındığında, dizi sıkışması ve sirkülasyon kaybı oluşmuştur. Bu problemler ışığında bu formasyonların sondajından önce indirilen 9 5/8" casing derinliği Kayaköy formasyonunun sonuna indirilmesi olası KCl polimer çamuruna kalsiyum bulaşımını minimize edecek ve PHPA kullanımına izin verecektir. Ayrıca Kastel ve Karadut gibi formasyonlarının yumuşak ve gevrek olmasından dolayı kuyu sapma ihtimali mevcut olup kuyunun sapma değerlerini gösteren ekipman kullanımı önerilmektedir.

- A-3 kuyusunda Gercüş, Kayaköy, Kastel ve Karadut formasyonlarında kuyudan gaz gelme riski, karbonat ve bikarbonat kirliliği ve kalsiyuma toleransı olan olması sebebiyle kireç çamuru kullanılmıştır. Sondajı yapılan bu formasyonlardan kalsiyum bulaşımı olmuş ancak sisteme kostik verilerek depo kirece çevrilerek Pm değerinde gözlemlenmiştir. Ancak kalsiyum değerinin yüksek olduğu kısımlarda sistemde mevcut olan killerin az da olsa floküle olmasına neden olarak jel değerlerinde yükselmeye neden olmuş ancak herhangi bir sorun yaratmamıştır. Sondajın ilerleyen kısımlarında sistem çamuruna kayganlaştırıcı etki göstermesi için ham petrol ilavesi yapılmıştır. Ham petrol ilavesinden sonra kireç çamurunun yapısını bozduğu için jel değerlerinde yükselme ve dalgalanmalar gözlemlenmiştir. Reolojik değerleri kontrol etmek için birçok kez kum tuzağından çamur tahliye edilip yeni çamur ilave edilmesi maliyeti yükseltmiştir. Sonuç olarak ham petrol ilavesine kadar genelde stabil olan kireç çamuru ham petrol ilavesinden sonra reolojik özellikleri bozduğundan dolayı başka kuyularda kireç çamuruna ham petrol ilavesi önerilmemektedir.
- B-1 kuyusunda Germik, Hoya Gercüş ve Üst Sinan formasyonların sondajında lignosülfonat çamuru kullanılmıştır. Germik ve Hoya formasyonlarının sondajında Germik formasyonunda bulunan jips ve anhidrit kayaçlarının sondajı

yapılırken yoğun şekilde kalsiyum iyonlarının sistem çamuruna girdiği yapılan deney test sonuçlarında gözlemlenmiştir. Aynı zamanda ara ara killi bantlarının sondajı yapılması MBT değerini arttırmıştır. A-1 kuyusunda olduğu gibi kalsiyum iyonları sisteme giren killeri floküle ettiğinden dolayı jel değerlerinde artışa neden olmuştur. Aynı zamanda kalsiyum iyonları sistem çamurunda bulunan sıvı kaybı önleyici olarak kullanılan polimerlerin çalışmasını etkilemiş ancak sıvı kaybı değerleri kontrol dışına çıkmamıştır. Sisteme giren kalsiyum iyonlarını ıslah etmek için soda külü kullanılmıştır. Aynı zamanda kum tuzağı üzerinden birçok kez çamur tahliye edilerek düşük oranda bentonit ve yüksek oranda sıvı kaybı önleyici polimerler kullanılmıştır. Ancak kuyu çapının geniş olması ve kuyunun derin olmasından dolayı hacim yüksekliği mevcut olmasından dolayı yapılan tahliye ve yeni çamur ilaveleri çözüm olmamıştır. Sisteme giren kontrollü veya kontrolsüz katı maddelerin belirli bir özgül ağırlıklarının olmasından ötürü sistem çamurunun ağırlığı yükselerek ve jel değerlerinin yüksek olması Hoya formasyonunda sondaj dizisinin kuyu cidarına yapışmasına neden olarak diferansiyel sıkışmaya yol açmıştır. Kuyu içi ve formasyon arasında basınç dengesizliğini gidermek için çamur ağırlığı, yüksek oranda çamur tahliye edilerek düşürülmeye çalışılmıştır. Sistem çamuruna %1 oranında glikol verilerek formasyon ve kuyu arasındaki basınç giderilmeye çalışılmıştır. Yapılan müdahaleler sonucunda dizi kurtarılmış ancak maliyet ve zaman kaybına neden olmuştur. Bu problemler ışığında lignosülfonat çamurunun bir kez daha jips ve anhidrit içeren formasyonların sondajında kullanılması problemler ortaya çıkarmıştır. Bu formasyonların sondajında yukarıda da belirtildiği gibi kireç çamuru ya da tatlı su polimer kullanılması önerilmektedir.

9. KAYNAKLAR

- Ağcıoğlu, H. K., 2013, Petrol Rezervuarlarında H₂S ve CO₂ Oluşum Mekanizmaları ve Bakteriyel Aktivitenin Petrolün Kimyasal Bileşimine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2-3, 17-18.
- Alfa, A. K., Harkouss, R. ve Khatip, J., 2019., Siderite As A Weighting Material In Drilling Mud, *BAU Journal Science and Technology*, 1(1), 1-3, 4-5.
- Al-Hameedi, A., Alkinani, H., & Dunn-Norman, S., 2019, Evaluation of the Impact of Calcium Contamination on the Drilling Operations: Various Case Histories from Nahr Umr Fiel,Iraq, *American Association of Drilling Engineers Colorado: Missouri University of Science and Technology*, 1-3.
- APC (Amoco Production Company), 1994, *Drilling fluids manual*, 5-4,8-9.
- API-13a, 1993, Specification For Drilling Fluid Materials, API (American Petroleum Institute) Specification 13A, API Fifteenth Edition.
- API-13b., 2003, API RP 13B-1: Specification for Field Testing Water-based Drilling Fluids, API Third Edition.
- Aydın, G., 2020, Pomza, Kuvarsit ve Diatomitten Üretilen Amorf Silikanın Sondaj Çamuruna Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *İskenderun Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Hatay, 12-13.
- Baker Hughes, 2006, *Drilling Fluids Reference Manual*, 1-21.
- Balkaya, A. T., 2022. *Sondaj El Kitabı*, Ankara: Petrol Mühendisleri Odası Yayınları, 30-32.
- Broni-Bediako, E. ve Amarin, R., 2019, Experimental Study on the Effects of Cement Contamination in a Water Based Mud, *Advances in Geo-Energy Research*, 3(3), 318-319.
- Bolat, A., 2012, Adıyaman İli Kuzeyinin Jeolojisi ve Petrol Potansiyeli, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 47-48.
- Bolgi, T., 1961, V.Petrol Bölgesi Seksiyon Ölçmeleri AR/TPAO 1261 Nolu Saha ile Reşan-Dodan Arası Batısındaki Sahanın Strüktürel Etüdleri, TPAO Arama Grubu: Rapor no.162, 52.
- Bourgoyne, A. T., Millheim, K. K., Chenevert, M. E., Young, F. S., 1991, Applied Drilling Engineering, *Society of Petroleum Engineers*, Houston-USA, 1-37.
- Bülbül, R., 2019, Diyarbakır ve Çevresindeki Petrol Sahalarının Üretim Açısından Değerlendirilmesi,Yüksek Lisans Tezi, *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Diyarbakır, 11-12.

- Canbaz, G.E., 2008, Biyopolimer/Kil Nanokompozitlerinin Üretimi ve Karakterizasyonu, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 15-16.
- Çelebi, E., 2019, Diyarbakır Batman Arasındaki Havzanın Jeodinamik Evrimi ve Depremselliği, Yüksek Lisans Tezi, *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Diyarbakır, 10-11.
- Duman, A., 2019, Sayındere Formasyonu'nun (Şambayat Sahası, Güneydoğu Anadolu) Fasiyes Özellikleri, Kaynak Kaya ve Rezervuar Potansiyelinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale*, 45-46.
- Erdoğan, Y., Kök, O. E., & Tanrıverdi, İ., 2017, . Çanakkale Tuzla Jeotermal Sondaj Sahası Çamur Maliyetinin Araştırılması, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(4), 13-14.
- Erkan, İ. H., 2007, Yumuşak Killi Zeminlerin Kireç Kolonlarıyla Mukavemet Özelliklerinin İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 14-15.
- Erkmen, C., Eravcı, B., Özsaraç, V., Yaman, M., Tekin, B. M., Albayrak, H., Kuterdem, K., Aktan, T. ve Tepeugur, E., 2009, Doğu Anadolu Fayı'nın Paleosismolojisi Pilot Bölge: "Türkoğlu Gölbaşı Arası", *Türkiye Ulusal Jeodezi ve Jeofizik Birliği (TUJJB), Ulusal Deprem Programı Proje No. TUJJB-UDP-1-07*, Ankara-Türkiye, 15-16.
- Erpul, G., 2014, Toprak Kolloidleri, Ankara Üniversitesi Peyzaj Mimarlığı Ders Notları, 38-39.
- Farr, A., 2010, Why Is Drilling Fluid Non-Newtonian? [online], Trenchless Technology, <https://trenchlesstechnology.com/why-is-drilling-fluid-nonnewtonian/#:~:text=Drilling%20fluids%20are%20usually%20non,solids%20suspended%20in%20the%20liquid>, [Erişim Tarihi: 4 Kasım 2023].
- Gaurina-Medimurec, N., Simon, K. ve Matanovic, D., 2004, Laboratory Investigations of Silicate Mud Contamination with Calcium, *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, 16(1), 75.
- Gücüyener, İ. H. (2009, Nisan 21). Sondaj Akışkanları Teknolojisindeki Son Gelişmeler. 6-8. İstanbul: İTÜ Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Bölümü Ders Sunumu.
- Güllü, A., Özdemir, A., Palabıyık, Y., Yaşar, E., 2021, Türkiye Kara Alanlarında Delinen Petrol ve Doğalgaz Kuyularında Sondaj Akışkanı Katkı Maddeleri, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 27, 401-402.
- Hancıoğlu, Ç., 2015, Kaolinit ve Bentonit Türü Killerde Bulunan Silikaların Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 5-6.

- İmir, Ö., 2019, Batı Raman sahası üretim kuyularında matkap performans değerlendirmesi ve matkap jet çapı seçimi optimizasyonu. *Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, Batman.
- Joel, O. F., Ndubuisi, E. C. ve Ikeh, L., 2012, Effect of Cement Contamination on Some Properties of Drilling Mud, *In SPE Nigeria Annual International Conference and Exhibition*, Abuja-Nijerya, 2-5.
- Karadoğan, S., Tonbul, S., 2013, Adıyaman Havzasının Jeomorfolojik Özellikleri, *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 1 (1), 185-186.
- Karben, 2023, Karben Bentonite, <https://www.karben.com.tr/urunler/sondaj-kimyasallari/>, [Erişim Tarihi: 5 Aralık 2023].
- Kargı, E., 2015, Sondaj Çamuru Uygulamaları İçin Kil-Polimer Etkileşimlerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2-3, 14-15.
- Kartal, M., 2021, Petrol ve Doğalgaz Sondajlarında Formasyona Uygun Sondaj Akışkanı Seçimi, Yüksek Lisans Tezi, *İskenderun Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Hatay, 10-11.
- Koyuncu, E. H., 2018, Beşiri (Batman) İle Kurtalan (Siirt) Arasında Gözlenen Jipslerin Jeolojik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, *Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 21-22.
- Köylü, V., 2019, Batman İli Gültepe Köprüsü Jeolojik ve Jeoteknik İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 14-15.
- Kök, O. E., Özdemir, A., Erdoğan, Y. ve Palabiyik, Y., 2023, Kil Mineralleri ve Kolloidal Süspansiyonlar, Alper Bideci, *Mühendislik Alanında Uluslararası Araştırmalar*, Platanus Publishing, Ankara, 121-122.
- Mahmud, H. B., Mahmud, W. M., Ayanarappan, R. ve Elmabrouk, S., 2020, Effect of Sodium Carbonate and Bicarbonate Contamination on the Rheological Properties of Water Based Mud, *International Journal of Engineering Research and Technology*, 13(5), 1019-1029.
- Maxon, J.H., 1936. Geology of petroleum possibilities of the Hermis dome. *MTA Derleme no 255*, 25 sayfa
- Meşeli, A., 1990, Çermik ve Yakın Çevresi, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 12-13.
- Mirza, H., 2014, Drilling Fluid Mud Contamination Test [online], Scribd, <https://www.scribd.com/doc/243427575/drilling-fluid-contamination-test>, [Erişim Tarihi: 26 Ocak 2024].

- Mitchell, R. F., Miska, S. Z., 2010, Fundamentals of Drilling Engineering, *Society of Petroleum Engineers*, USA, 88-89, 111-112.
- Nasiri, A. R., Valizadeh, M., Norouzi, H. ve Hemmati, M., 2012, Investigating the Effect of Polythin and Polydrill on the Properties of Drilling Fluids, *Journal of Petroleum Science and Technology*, 2(1), 37.
- Noormohammadi, M., 2019, Chemical Investigation of Drilling Flowers, Types of Contaminations and Ways to Treat Them, *International Journal of New Chemistry*, 1(6), 20-21.
- O'Brien, D., Chenevert, M., 1973. Stabilizing Sensitive Shales With Inhibited, Potassium-Based Drilling Fluids, *Journal of Petroleum Technology*, 25(9), 1089-1091.
- Orhan, A., 2024, Kil İçerikli Formasyonların Sondaj Problemlerinin Deneysel Olarak Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Batman.
- Orhun, F., 2006, Lalapaşa (Edirne) Bentonitlerinin Malzeme Özelliklerinin İncelenmesi ve Rutubet Kontrolünde Kullanabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 7-8.
- Omole, O., Adeleye, J. O., Falode, O., Malomo, S., ve Oyedeji, O., 2013, Investigation Into the Rheological and Filtration Properties of Drilling Mud Formulated With Clays From Northern Nigeria, *Journal of Petroleum and Gas Engineering*, 1(4), 2-3.
- Özdemir, A., 2019, Güneydoğu ve Anadolu Havzasında Petrol ve İyot ilişkisi, *Maden ve Tetkik Arama Dergisi*, 159, 149-150.
- Özdemir, A., Özcan, E., 2000, Bentonitin Sondaj Mühendisliği Özellikleri. *Jeofizik Bülteni*, 54, 352-357.
- Özdemir, F., Ünlügenç, U. C., 2013, Gökiçi (Diyarbakır) Yapısının Statigrafisi ve Hidrokarbon Potansiyeli Açısından İncelenmesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28 (1), 131-132.
- Özgür, E., 2017, Petrol Rezervuarlarında Uygulanan Üçüncül Üretim Yöntemleri ve Türkiye İçin Öneriler, *Petrol Mühendisleri Odası Yayınları*, Ankara-Türkiye, 1-10.
- Özüdoğru, S., Babür, E., 2001, Jeotermal Akışkan Üretim ve Re-Enjeksiyon Kuyuları, *Jeotermal Enerji Semineri*, Ankara-Türkiye, 37-38.
- Öztürk, S.S., 2013, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Yer Alan Siluriyen Yaşlı Birimlerin (Korudağ ve Hazro) Hidrokarbon Kaynak Kaya Potansiyeli, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 6-11.

- Sinanoğlu, D., 2018, Eğitsel-Bilimsel Jeositlere Bir Örnek: Garzan Yüzleği, Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi, 8 (1/2), 10-11.
- Shi, X., Wang, L., Guo, J., Su, Q. ve Zhuo, X., 2019, Effects Of Inhibitor KCl On Shale Expansibility and Mechanical Properties, *Chinese Academy Of Science*, 5(4), 407-412.
- Talukdar, P., Gogoi, S. B., 2015, Optimization of The Composition Cf KCL+NaCl As A Clay/Shale Stabilizing Component In The NDDF For Upper Assam Basin, *International Journal of Research in Engineering and Applied Sciences*, 5(12), 19-20.
- Tanrıverdi, İ., 2018, NA-Bentonitten Nanobentonit Eldesi ve Spud Çamurlarında Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, *İskenderun Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Hatay, 1-2.
- Tetiker, S., Yalçın, H., Butekin, Y., 2017, Üst-Kretase Yaşlı Germav Formasyonunun Kil Mineralojisi (Batman-Gercüş), Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi, 7 (2/2), 203-204.
- Trotter, N., Trenery, J., Estes, B., Jardiolin, R., Alford, R., ve Shank, D., 2015, Software for Analysis of Drilling Fluid Contamination, *AADE National Technical Conference and Exhibition held at the Henry B. Gonzalez Convention Center, Newpark Drilling Fluids*, 3-4.
- Turan, S.E., 2019, Sondaj Çamuruna Uçucu Kül Eklenmesinin Çamurun Reolojik ve Filtrasyon Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *İskenderun Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Hatay, 1-2.
- TPAO, 2004, *Çamur Tipleri*, TPAO Araştırma Merkezi Sondaj Teknolojisi Müdürlüğü, Ankara, 9-10.
- TPAO., 2007, *Sondaj Akışkanları Teknolojisi (Lignosülfonat Çamuru)*. Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) Araştırma Merkezi Daire Başkanlığı Sondaj Teknolojisi Müdürlüğü, Ankara, 9-10, 11-12, 12-13.
- TPAO, 2017, Formasyonların Özellikleri ve Yaşanan Problemler, 22. Dünya Petrol Kongresi, İstanbul, Temmuz, 10-31.
- Ujma, K. H., Plank, J. P., 1989, A New Calcium-Tolerant Polymer Helps to Improve Drilling-Mud Performance and To Reduce Costs, *SPE Drilling Engineering*, 4(1), 41-46.
- Yelboğa, Ş., 2019, Karaköy (Hasankeyf/Batman) Orta Eosen-Oligosen Yaşlı Germik Formasyonu Evaporitlerinin Mineralojisi ve Jeokimyası, Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 14-15, 16-17.
- Yeşilova, P.G., Helvacı, C., 2013, Germik Formasyonu Oligosen Evaporitlerinin (Kurtalan, GB Siirt) Diyajenezi ve Paleocoğrafik Gelişimi, Türkiye, *Hacettepe Üniversitesi Yer Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni*, 34 (1), 1-2.

Yıldırım, A., Karadoğın S., 2011, Raman Dağları Güneyinde (Dicle Vadisi) Morfometrik ve Morfotektonik Analizler, Dicle Üniversitesi Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi Dergisi, (16), 157-158.



10. EKLER

Çizelge 10.1. A-1 kuyusundaki lignosülfonat çamuru deney sonuçları (Şekil 7.2’de grafik hali bulunmaktadır)

Deney No	Derinlik, m	Sıcaklık, °C	Ağırlık, ppcf	Huni viskozite, sn	Kum mik, %	Kalsiyum, mg/lt	PV, cp	YP	10 sn jel	10 dk jel	Su kaybı, ml	Klor, mg/lt	MBT	pH	Pm, ml	Pf, ml	Mf, ml	İlaçlar
1	719	41,7	67	50	0,25	120	15	13	4	18	6,2	3300	10	9	0,9	0,1	0,4	Cmc+Pacr+Kostik
2	759	48,3	68	56	0,5	160	17	17	6	30	5,8	3600	12,5	9	1	0,1	0,4	Kostik
3	826	52,2	69	95	0,25	400	20	32	16	74	5,6	3500	15	9	0,5	0,05	0,35	Soda+Kum Tuzaklı Atıldı
4	842	55,0	68	95	0,25	520	20	27	16	86	5,6	3300	12,5	9	0,65	0,5	0,35	Soda
5	861	54,4	67	67	0,25	480	16	19	8	47	5,2	3600	12,5	9	1	0,1	0,4	Soda+Kostik
6	893	58,9	69	70	0,25	480	18	18	9	56	6,6	3800	15	9	1,2	0,1	0,4	Soda
7	910	57,8	70	90	0,2	520	17	21	14	86	6,8	3900	15	9	1,3	0,15	0,45	Soda+Kum Tuzaklı Atıldı
8	922	57,2	69	71	0,25	560	17	20	10	54	6	3700	15	9	1,3	0,1	0,4	Soda+Kum Tuzaklı Atıldı
9	954	57,2	71	70	0,2	640	17	21	9	54	6,2	4000	15	9	1	0,1	0,4	Soda
10	970	55,6	71	82	0,2	680	18	27	14	66	6,2	3900	17,5	8,5	1	0,05	0,3	Soda+Kum Tuzaklı Atıldı
11	983	53,9	71	75	0,2	720	17	27	13	66	6,4	3900	17,5	8,5	1	0,05	0,35	Soda+Kostik
12	1012	56,7	72	62	0,2	720	15	20	8	44	6,6	4000	17,5	8,5	1	0,05	0,3	Soda+Kostik
13	1034	51,7	71	67	0,2	640	17	17	10	48	6	3800	20	9	1,25	0,1	0,4	Soda
14	1058	56,7	71	60	0,2	800	15	22	11	48	6,8	3800	20	8,5	1,25	0,05	0,3	Soda
15	1087	53,9	71	60	0,2	720	16	24	13	54	6,2	4000	22,5	8,5	1,5	0,05	0,3	Kum Tuzaklı-Soda+Kostik
16	1132	56,1	71	85	0,1	720	19	19	14	84	6,2	3800	20	9	1,3	0,1	0,4	Soda
17	1168	51,7	69	54	0,2	720	15	19	8	46	5,8	4200	17,5	9	1,4	0,1	0,4	Soda+Kum Tuzaklı Atıldı
18	1206	54,4	71	57	0,2	640	15	18	9	40	6	4700	17,5	9	1,4	0,1	0,4	Soda+Kostik
19	1226	51,7	71	66	0,15	560	16	24	12	44	6	4700	22,5	9	1,7	0,1	0,4	Soda+Kum Tuzaklı Atıldı
20	1256	51,7	71	62	0,15	560	17	25	11	42	6	4600	22,5	9	1,6	0,1	0,35	Soda
21	1315	52,8	71	64	0,15	540	15	23	12	45	6	4700	22,5	9	1,45	0,1	0,35	Soda
22	1378	54,4	70	60	0,15	640	16	24	13	44	5,8	5300	22,5	9	1,2	0,1	0,35	Soda

Çizelge 10.2. A-2 kuyusundaki KCl polimer çamuru deney sonuçları (Şekil 7.3’de grafik hali bulunmaktadır)

Denei No	Derinlik, m	Sıcaklık, °C	Ağırlık, ppctf	Huait viskozite, ss	Kum mik, %	Kalıyım, mg/lt	PV, °cp	YP	10 ss jel	10 dk jel	Su kaybı, ml	Klor, mg/lt	MBT	pH	Pa, ml	Pf, ml	Mf, ml	İlaçlar
1	893	40,6	69	740	53	0,25	21	14	1	2	3,8	78000	1,25	10,5	1,5	0,1	0,5	Xcd+Pac Lv+Nigasta
2	947	43,3	70	480	55	0,25	22	16	2	3	2,8	97000	2	8,5	1,2	0,1	0,5	Xcd-Kostik
3	955	40,6	73	400	57	0,2	25	18	2	5	2,8	130000	2,5	11	2,8	0,15	0,7	Xcd
4	969	43,3	74	520	53	0,2	23	16	2	4	2,4	138000	2,5	11	2,3	0,1	0,6	Soda
5	988	46,1	74	440	56	0,2	23	18	3	6	2,9	137000	2,5	11	2,1	0,1	0,6	Soda
6	1003	46,1	74	440	54	0,2	21	16	2	3	2,9	138000	2,5	11	2,1	0,1	0,6	Soda
7	1035	46,1	74	600	53	0,2	21	20	3	4	3	148000	2,5	10,5	1,8	0,1	0,5	Soda
8	1062	48,9	74	400	54	0,2	22	21	3	4	2,9	150000	2,5	10	1,6	0,1	0,5	Soda
9	1090	46,1	74	480	54	0,2	22	20	3	4	2,8	150000	2,5	8,5	1,5	0,1	0,4	Soda+Glikol
10	1154	46,1	74	400	54	0,2	22	23	4	5	2,6	150000	5	9,5	2,2	0,1	0,4	Soda
11	1195	46,1	75	400	52	0,2	23	19	3	4	2,3	147000	6,25	8,5	1,8	0,05	0,4	Soda+Kostik+Glikol
12	1245	48,9	75	240	50	0,2	21	18	3	4	2,2	137000	6,25	11	2,3	0,1	0,5	Xcd
13	1309	46,1	75	600	51	0,2	21	21	4	5	2,5	131000	8,75	9,5	1,8	0,1	0,4	Soda
14	1345	46,1	75	400	52	0,2	21	20	4	5	2,4	136000	8,75	8,5	1,6	0,05	0,4	Soda
15	1375	48,9	77	320	50	0,2	21	20	3	5	2,2	147000	11,25	9,5	2,1	0,1	0,4	Soda+Glikol+Glikol
16	1415	51,7	80	200	50	0,2	24	22	4	6	2,1	135000	13,75	10,5	2,3	0,1	0,5	Çıkış+Backreaming+Serbest
17	1433	40,6	80	400	54	0,2	25	23	4	6	2,1	130000	15	9,5	1,5	0,1	0,5	Soda
18	1477	40,6	80	120	53	0,2	25	23	4	6	2	130000	13,75	10,5	1,8	0,1	0,5	Decander+Petroil
19	1506	43,3	78	120	58	0,2	26	26	4	6	2	134000	13,75	9,5	1,7	0,1	0,5	Kostik
20	1554	40,6	82	100	56	0,6	33	25	4	7	1,9	132000	15	10	1,6	0,1	0,5	Kostik
21	1579	46,1	82	200	55	0,5	27	27	3	6	2	130000	15	9	1,3	0,1	0,4	Kostik
22	1601	46,1	82	160	51	0,2	26	20	3	6	2,1	123000	16,25	10	1,6	0,1	0,5	Backreaming+Serbest Çıkış
23	1625	43,3	83	240	49	0,35	24	19	3	5	2	123000	15	10	1,5	0,1	0,5	Soda+Pac Lv+Xcd
24	1648	46,1	82	80	51	0,2	23	22	3	4	1,7	141000	16,25	10	1,6	0,15	0,6	Xcd-Kostik
25	1672	51,7	82	100	52	0,2	23	23	3	5	1,8	140000	17,5	10,5	1,4	0,1	0,6	Kum Tuzlağı+Decander Arıza
26	1707	43,3	82	240	52	0,25	24	21	3	6	1,8	180000	18,75	9,5	1,3	0,1	0,5	Kostik
27	1734	43,3	82	200	51	0,2	24	23	3	5	2	147000	16,25	10	1,5	0,1	0,4	Kostik
28	1754	43,3	82	200	50	0,35	22	22	3	5	2	145000	17,5	10,5	1,5	0,15	0,7	Xcd-Kostik
29	1787	43,3	84	280	49	2	22	19	3	5	2	180000	21,25	9	1,2	0,1	0,4	Soda
30	1800	43,3	84	200	50	0,2	24	23	3	5	1,8	143000	16,25	10	1,5	0,1	0,4	Soda
31	1754	43,3	84	160	50	0,35	22	22	3	5	2	148000	17,5	10,5	1,5	0,15	0,75	Pac Lv+Soda-Kostik
32	1841	40,6	80	800	50	0,25	22	21	3	5	2,4	145000	17,5	8,5	0,8	0,05	0,4	Barit
33	1845	43,3	87	240	55	0,4	26	24	3	7	2	123000	17,5	10	1,2	0,1	0,6	Petroil-Kostik
34	1846	40,6	85	160	55	0,35	28	27	4	8	2,2	119000	17,5	10	1	0,15	0,8	High Vis Basıdli
35	1864	40,6	87	280	53	0,2	27	22	3	7	2,4	122000	17,5	11	1	0,1	0,6	Soda-Kostik
36	1884	40,6	88	320	52	0,35	27	26	4	8	2,3	122000	17,5	10	1,2	0,1	0,5	Soda-Kostik
37	1899	40,6	88	80	53	0,2	26	22	3	8	2,9	123000	18,75	11	1	0,15	0,8	Kostik
38	1900	40,6	88	160	51	0,3	25	22	3	10	2,8	120000	18,75	11	1,2	0,1	0,6	High Vis Pill Basıdli,
39	1338	43,3	88	120	50	0,4	24	16	4	7	2,6	120000	17,5	9,5	0,8	0,1	0,6	High Vis Basıdli
40	1558	46,1	88	140	48	0,4	22	17	2	12	3,1	125000	20	11	0,8	0,1	0,6	High Vis Pill Basıdli,
41	1579	51,7	88	240	53	0,3	24	20	3	10	2,6	125000	20	9,5	0,8	0,1	0,5	Soda+Kostik+Xcd
42	1584	40,6	88	80	54	0,3	24	26	3	9	2,6	115000	20	11	1	0,1	0,6	Xcd
43	1600	51,7	88	120	53	0,25	26	21	3	10	2,8	112000	20	10,5	1	0,1	0,6	Xcd
44	1614	51,7	89	80	52	0,3	23	18	3	10	3,1	110000	21,25	10	1	0,1	0,4	High Vis Basıdli
45	1631	46,1	88	120	52	0,25	25	24	4	15	3	110000	21,25	11	0,8	0,1	0,7	Kostik+Xcd
46	1536	48,9	88	160	53	0,3	24	22	4	10	3,2	108000	20	9,5	0,7	0,1	0,6	Kostik
47	1557	48,9	88	80	54	0,3	24	19	3	8	3,4	105000	20	11	0,9	0,1	0,7	Xcd
48	1615	42,2	88	160	54	0,25	24	19	3	9	3,3	105000	20	10	0,55	0,1	0,6	Xcd
49	1638	46,1	88	180	54	0,3	23	22	3	10	3,4	102000	17,5	10	0,6	0,1	0,5	Pac Lv
50	1642	43,3	88	200	55	0,25	25	23	4	13	3,5	105000	18,75	10	0,5	0,1	0,5	Kostik
51	1649	43,3	88	120	57	0,25	26	24	6	16	3,2	100000	18,75	11	0,8	0,1	0,7	Kostik+Xcd
52	1679	46,1	88	240	58	0,2	25	19	3	11	3,1	103000	18,75	9,5	0,7	0,1	0,4	Kostik
53	1698	48,9	88	240	54	0,25	24	23	3	13	3	108000	20	10	0,6	0,1	0,5	Kostik
54	1721	48,9	88	280	55	0,25	23	20	3	10	3,3	110000	20	9,5	0,6	0,1	0,5	Kostik
55	1754	48,9	88	320	53	0,4	21	18	2	10	3,8	108000	21,25	10,5	0,6	0,1	0,5	Pac Lv+Soda+Nigasta-Kostik
56	1763	48,9	88	320	50	0,35	21	18	2	10	3	108000	22,5	9,5	0,6	0,1	0,5	
57	1784	48,9	88	200	49	0,2	26	20	12	15	3,1	105000	23,75	10	0,3	0,1	0,7	

Çizelge 10.3. A-3 kuyusundaki kireç çamuru deney sonuçları (Şekil 7.4’de grafik hali bulunmaktadır)

Deney No	Derinlik, m	Sıcaklık, °C	Ağırlık, pptcf	Huni viskozite, sn	Kum mik, %	Kalsiyum, mg/lt	PV, cp	YP, sn	10 jel, sn	10 dk jel, sn	Su kaybı, ml	Klor, mg/lt	MBT	pH	Pm, ml	Pf, ml	Mf, ml	İlaçlar
1	1272	51,1	79	680	52	0,3	23	16	2	12	4,9	9000	13,75	12,5	16,6	3,3	4,4	Kostik-Cmct-Xcd
2	1314	54,4	82	660	57	0,3	27	21	3	21	5	8800	13,75	12,5	17,1	3,25	4,4	Kostik
3	1352	54,4	83	580	58	0,25	25	21	3	20	4,9	8900	13,75	12,5	17,6	3,25	4,4	Kostik
4	1422	54,4	82	660	58	0,3	25	20	3	22	5	9300	15	12,5	18,2	3,1	4,2	Kostik
5	1463	54,4	85	660	54	0,3	26	19	3	20	5	9200	15	12,5	18	3,2	4,3	Kostik-Xcd
6	1486	55,6	85	600	55	0,25	26	18	3	19	4,9	9300	16,25	12,5	17,8	3,3	4,4	Kostik-Nisatza-Xcd
7	1532	55,6	85	600	58	0,25	27	20	4	22	5	9300	17,5	12,5	17,9	2,95	4,15	Kostik
8	1565	56,7	86	540	55	0,25	24	18	3	19	5,3	9300	17,5	12,5	17,8	3,1	4,2	Kostik-Nisatza-Xcd
9	1588	56,7	86	600	58	0,3	27	20	4	22	5,1	9300	17,5	12,5	17,8	3	4,1	Kostik
10	1621	55,6	86	600	58	0,3	26	19	4	22	5,2	9200	17,5	12,5	17,9	3,15	4,2	Kostik-Xcd
11	1649	56,7	86	520	58	0,3	27	22	4	25	5,4	9200	17,5	12,5	18,3	3,5	4,6	Kostik
12	1323	48,9	87	560	72	0,3	29	26	4	28	5,2	9100	17,5	12,5	14,8	2,6	3,7	Kostik
13	1393	46,1	87	620	82	0,3	33	24	4	38	4,8	9900	17,5	13	15,6	3,15	4,3	Petro-Cf-Kostik
14	1445	51,1	87	540	84	0,3	32	27	7	56	4,7	10000	17,5	13	15,75	3,65	4,7	Cf-Kostik
15	1595	53,3	87	520	100	0,4	34	28	11	60	5,5	9800	17,5	13	16,5	3,8	4,9	Kum Tuzlağı Atıldı
16	1636	54,4	87	520	71	0,4	28	23	6	40	5,5	9400	16,25	13	15,8	3,75	4,8	
17	1666	54,4	90	560	83	0,4	28	23	6	55	4,2	9600	17,5	13	14,5	3,75	5	
18	1676	54,4	92	560	86	0,5	34	24	7	60	5,6	9600	18,75	13	13,5	3	4,2	
19	1630	40,6	92	600	65	0,5	34	24	3	28	5,3	9200	16,25	13	14	3	4,5	Kum Tuzlağı Atıldı
20	1664	46,1	92	560	64	0,6	29	21	4	42	5,5	9200	17,5	13	12,5	3	4,6	Kostik
21	1682	48,9	92	600	62	0,6	30	20	4	46	5,3	9300	17,5	13	13,5	2,9	4,5	Kostik
22	1682	51,7	92	560	81	0,7	32	27	15	71	5,9	9300	20	13	14	3	4,5	Kum Tuzlağı Atıldı
23	1736	54,4	92	500	65	0,6	24	16	2	33	6,2	8500	17,5	12,5	12,5	3	4,5	Kostik
24	1755	51,7	92	480	89	0,4	32	31	7	68	6,2	9300	17,5	12,5	15,6	3,3	5,5	Pac Lv+Cf
25	1776	54,4	92	520	99	0,6	32	27	10	71	5,4	8500	20	13	14	3	4,3	Kum Tuzlağı Atıldı
26	1781	54,4	95	440	70	0,6	29	22	5	45	5,1	8000	16,25	13	12	2,2	3,7	
27	1644	46,1	96	560	72	0,7	34	21	6	39	4,8	8200	17,5	12,5	12,5	2	3,5	
28	1709	48,9	96	560	73	0,7	30	21	2	21	5,4	8400	16,25	13	11,5	1,8	3	Kum Tuzlağı Atıldı+Kostik
29	1781	51,7	97	480	79	0,7	32	26	5	43	4,8	8600	17,5	13	10,5	2,8	3,8	Kum Tuzlağı+Kostik
30	1781	51,7	97	520	62	0,7	30	21	5	38	5,6	8200	16,25	13	12,5	2,5	3,6	
31	1781	48,9	99	560	71	0,7	33	19	2	30	5	8400	20	13	13,5	2,5	3,7	Kostik
32	1781	43,3	100	560	71	0,7	32	26	3	28	4,7	8600	16,25	13	12	2,3	3,5	

Çizelge 10.4. B-1 kuyusundaki lignosülfonat çamuru deney sonuçları (Şekil 7.6’de grafik hali bulunmaktadır)

Deney No	Derinlik, m	Sıcaklık, °C	Ağırlık, ppct	Huni viskozite, sn	Kum mik, %	Kalsiyum, mg/lt	PV, cp	YP, sn	10 jel, sn	10 jel, dk	Su kaybı, ml	Klor, mg/lt	MBT	pH	Pm, ml	Pf, ml	Mf, ml	İlaveler
1	405	48,9	65	56	0,25	520	17	19	4	24	7	15	3500	11	2,5	0,2	0,5	Soda
2	573	50,0	69	51	0,25	580	17	13	3	28	8,5	15	4000	9,5	1	0,1	0,3	Soda
3	679	51,7	70	51	0,25	720	16	12	3	32	8,4	15	3800	9	1,6	0,1	0,5	Soda
4	744	54,4	72	53	0,25	640	18	17	5	29	7,6	15	3900	9	1,7	0,1	0,5	Soda+Çmç
5	782	51,1	74	56	0,25	680	22	19	6	24	6	20	4300	9,5	1,8	0,1	0,5	Kum Tuzlağı Atıldı+Soda+Çmç
6	806	51,7	74	65	0,3	680	24	23	9	30	5,8	20	4500	9	1,7	0,1	0,5	Soda+Çmç
7	812	51,1	74	57	0,25	680	23	22	8	27	6	20	4200	9	1,8	0,1	0,5	Soda+Xcd
8	835	51,7	74	65	0,3	680	24	23	9	30	5,8	20	4500	9	1,7	0,1	0,5	Kum Tuzlağı Atıldı+Soda
9	852	54,4	74	67	0,25	640	24	25	11	34	6	22,5	4300	9	1,7	0,1	0,5	Soda
10	867	48,9	74	67	0,25	640	24	25	11	34	6	22,5	4300	9	1,7	0,1	0,5	Soda+Çmç
11	908	51,7	75	61	0,25	640	23	23	10	32	5,8	20	4500	9	1,7	0,1	0,5	Soda
12	918	48,9	75	61	0,3	620	24	23	11	32	5,8	22,5	4500	9	1,7	0,1	0,5	Kum Tuzlağı Atıldı+Soda
13	916	50,0	74	51	0,25	640	22	25	10	30	5,4	20	4500	9	1,7	0,1	0,5	Soda
14	944	51,1	74	59	0,25	640	22	25	10	30	5,4	20	4500	9	1,7	0,1	0,5	Soda
15	977	54,4	74	68	0,25	640	25	26	12	34	6,2	22,5	4800	9	1,7	0,1	0,5	Kum Tuzlağı+Soda
16	993	48,9	73	55	0,25	640	25	26	11	34	6	20	4500	9	1,7	0,1	0,3	Soda+Çmç
17	1020	54,4	72	48	0,25	600	19	14	3	15	4,4	15	4000	9	1,2	0,1	0,2	Kum Tuzlağı Atıldı+Glikol
18	1150	51,7	72	69	0,25	520	21	29	9	35	6	16,25	4500	8,5	1,3	0,1	0,3	Soda
19	1264	51,7	71	54	0,25	400	16	18	5	18	6	17,5	4500	9	1,6	0,1	0,2	Soda
20	1308	51,7	71	50	0,25	160	18	14	3	19	7	17,5	4000	8	1,3	0,1	0,2	Soda+Çmç
21	1308	48,9	73	53	0,25	160	20	20	4	20	6,4	17,5	4000	8,5	1,4	0,1	0,3	Soda