



T.C
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
PETROL VE DOĞALGAZ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KİL İÇERİKLİ FORMASYONLARIN SONDAJ PROBLEMLERİNİN
DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AYŞE ORHAN

Danışman

DOÇ. DR. ŞÜKRÜ MEREY

OCAK 2024

BATMAN

TEZ KABUL VE ONAYI

Ayşe ORHAN tarafından hazırlanan “KİL İÇERİKLİ FORMASYONLARIN SONDAJ PROBLEMLERİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması 30/01/2024 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

İmza

Üye (Başkan)

Doç. Dr. Çağlar SINAYUÇ
Orta Doğu Teknik Üniversitesi Petrol ve Doğalgaz
Mühendisliği Bölümü

.....

Üye (Danışman)

Doç. Dr. Şükrü MEREY
Batman Üniversitesi Petrol ve Doğalgaz
Mühendisliği Bölümü

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Derya KOCA
Batman Üniversitesi Petrol ve Doğalgaz
Mühendisliği Bölümü

.....

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.

Ayşe ORHAN

30.01.2024

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KİL İÇERİKLİ FORMASYONLARIN SONDAJ PROBLEMLERİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

AYŞE ORHAN

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

Danışman: Doç. Dr. Şükrü MEREY

2024, 88 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Şükrü MEREY

Doç. Dr. Çağlar SINAYUÇ

Dr. Öğr. Üyesi Derya KOCA

Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bölgesi, ülkenin en büyük petrol rezervlerine sahiptir. Ayrıca en çok petrol üretiminin yapıldığı alandır. Ülkenin bu alanlarından özellikle Batman ve Diyarbakır Bölgeleri formasyon özellikleri bakımından yoğun kil mineralleri içermektedir. Bundan kaynaklı bu bölgelerin petrol sondajlarında meydana gelen stabilite sorunları kuyu problemlerinin yaşanmasına sebebiyet verir. Yaşanacak olan her bir problem maddi ve manevi kayıplara neden olur. Petrol kuyularındaki faaliyetlerin artması ile oluşan veri kaynağındaki artış bu formasyonların farklı sondaj akışkanları ile ıslah edilip daha verimli sondaj operasyonlarının gerçekleşmesine yardımcı olmuştur.

Bu çalışmada, Batman ve Diyarbakır Bölgelerinde yer alan A ve B petrol sahalarında bulunan A-1 ile B-1 kuyuları inceleme alanı olarak seçilmiştir. İncelenen bu alanlarda yoğun kil formasyonlarının sondajı ile yaşanmış olan sondaj problemleri ele alınmış ve adım adım ıslah yöntemleri dinamik koşullardaki deneysel çalışmalar ile incelenmiştir. Çalışma alanı olarak seçilen A ve B petrol sahalarında stabilite sorununa karşı uygulanan KCl polimer çamur ile stabilite sorunu minimuma indirilmeye çalışılmıştır. Sondaj boyunca kullanılan KCl polimer çamurun içermiş olduğu özellikle potasyum ile iyonik inhibisyon ve polimerler ile sıvı kaybı

kontrolü ve reolojik özellikleri kontrol altında tutulmuştur. Sondaj boyunca devam eden ıslah yöntemleri sondajın sorunsuz devam etmesini sağlamıştır. Bu tez çalışmasında yer alan A-1 ve B-1 kuyularında stabilite sorununa sebebiyet veren kil içerikli Germav-Kastel formasyonlarının sondajı boyunca kullanılan KCl polimer çamurun günlük laboratuvar deneyleri API standartlarına göre yapılmış ve rapor edilmiştir. Deneylerin analizlerine göre ıslah yöntemleri belirlenmiştir. KCl polimer çamurun dinamik koşullarda killi formasyonlar üzerindeki etkinliği bu çalışmada gösterilmiştir. Belirtilen bu formasyonların bulunduğu A-1 kuyusunda, çamur özellikleri pilot deney sonuçları referans alınarak yapıldığında ve doğru ıslah yöntemleri sağlandığında KCl polimer çamurun etkin ve güvenli sondaj sağladığı sonuçları elde edilmiştir. Fakat B-1 kuyusunda yaşanan lojistik kaynaklı aksaklıklar ile B-1 kuyusunun arama kuyusu olmasından kaynaklı KCl polimer çamur etkinliği sağlanamamış ve yıkılma, kaçak gibi sondaj problemlerine sebebiyet vermiştir. Bu çalışmanın ele aldığı her iki kuyu ve pilot deney sonuçları KCl polimer çamurun doğru kullanım şekilleri ile maddi ve manevi kayıpları önlediği göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: çamur, Güneydoğu Anadolu, kil, kireç taşı, petrol kuyuları polimerler potasyum klorür, sondaj akışkanları, sondaj, şeyl

ABSTRACT

MS THESIS

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE DRILLING PROBLEMS IN CLAY-BASED FORMATIONS

AYŞE ORHAN

BATMAN UNIVERSITY

INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES

**THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE AT PETROLEUM AND
NATURAL GAS ENGINEERING**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Şükrü MEREY

2024, 88 Pages

Jury

Assoc. Prof. Dr. Çağlar SINAYUÇ

Assoc. Prof. Dr. Şükrü MEREY

Asst. Prof. Dr. Derya KOCA

The Southeastern Anatolia Region of Turkey possesses the country's largest oil reserves and is also the area where the highest oil production takes place. Particularly, the Batman and Diyarbakır regions in these areas contain dense clay minerals in terms of formation characteristics. Consequently, stability issues in oil drilling occur in these regions, leading to well problems. Each problem encountered results in both financial and spiritual losses. The increase in data from activities in oil wells has contributed to more efficient drilling operations by rehabilitating these formations with different drilling fluids.

In this study, wells A-1 and B-1 located in A and B oil fields in the Batman and Diyarbakır regions were selected as the study area. The drilling problems experienced with the dense clay formations in these areas were addressed, and step-by-step rehabilitation methods were conducted through experimental studies under dynamic conditions. The stability problem in the selected A and B oil fields was attempted to be minimized by applying KCl polymer mud against it. The KCl polymer mud used during the drilling contained specific features, especially

potassium with ionic inhibition, and polymers for controlling fluid loss and rheological properties were kept under control. The ongoing rehabilitation methods during drilling ensured the smooth continuation of the operations. In this thesis, daily laboratory experiments on the drilling of Germav-Kastel formations rich in clay content, causing stability problems in A-1 and B-1 wells, were conducted using KCl polymer mud in accordance with API standards and reported. Rehabilitation procedures were determined based on the analyses of the experiments. The effectiveness of KCl polymer mud on clay formations under dynamic conditions is demonstrated in this study. In the A-1 well where these formations are present, results indicate that KCl polymer mud provides effective and safe drilling when correct rehabilitation methods are applied, taking the mud properties pilot experiment results as a reference. However, due to logistical issues in the B-1 well and its nature as an exploration well, the effectiveness of KCl polymer mud could not be achieved, leading to drilling problems such as wellbore collapses and mud losses. Both wells and pilot experiment results addressed in this study have shown that the correct use of KCl polymer mud prevents financial and spiritual losses.

Keywords: carbonates, clay, drilling fluids, drilling, mud, oil exploration wells, potassium chloride, polymers, Southeastern Turkiye, shale.

ÖNSÖZ

Tez çalışması boyunca teorik ve uygulama alanlarında bilgilerini sunan, çalışmalarımda sabrını ve hoşgörüsünü esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Şükrü Merey'e sonsuz saygı ve teşekkürü bir borç bilirim.

Bu tezin geliştirilmesinde katkı sunan jüri üyeleri Doç. Dr. Çağlar SINAYUÇ ve Dr. Öğr. Üyesi Derya KOCA'ya saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam sırasında sondaj akışkanları deney ekipmanlarını kullanmama olanak sağlayan Bordrill Sondaj Şirketi'ne ve öneri ile görüşlerini esirgemeyen değerli şeflerim Semih BERK ve M.Süleyman ATASEVER'e destekleri için teşekkür ederim.

Yüksek lisans tez çalışmam süresince ve tüm hayatım boyunca maddi manevi desteklerini esirgemeyen aileme ve tez çalışmamı bitirmem için bana destek veren, tüm arkadaşlarıma sonsuz teşekkür ederim

Ayşe ORHAN

BATMAN- 2024

İÇİNDEKİLER

ÖZET	IV
ABSTRACT	VI
ÖNSÖZ	VIII
KISALTMALAR.....	XI
SEMBOL LİSTESİ	XIII
BÖLÜM 1.....	1
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı ve Kapsamı	1
1.2. Tezin Konusu ve İzlenen Deneysel Yöntem	2
1.3. Tezin Önemi	5
1.4. Tezin Bölümleri.....	5
BÖLÜM 2.....	7
2. ÇALIŞMA ALANININ GENEL JEOLJİSİ.....	7
2.1. Kastel Formasyonu Özellikleri.....	8
2.2. Germav Formasyonu Özellikleri.....	11
2.3. A Bölgesi Jeolojisi ve Sondaj Problemleri.....	14
2.4. B Bölgesi Jeolojisi ve Sondaj Problemleri	15
BÖLÜM 3.....	17
3. SONDAJ AKIŞKANLARI VE ÖZELLİKLERİ	17
3.1. Sirkülasyon Sistemi ve Sondaj Çamurunun Görevleri	17
3.2. Katı Madde Kontrol Sistemi.....	20
BÖLÜM 4.....	23
4. KİL KİMYASI VE KCl POLİMER ÇAMURLAR.....	23
4.1. Kil Kimyası.....	23
4.2. SİMEKTİT KİL GRUBU	26
4.3. Kcl Polimer Çamurlar.....	28
BÖLÜM 5.....	31
5. SONDAJ AKIŞKANLARI DENEY MALZEME VE YÖNTEMLERİ	31
5.1. Fiziksel Test Yöntemleri	31
5.1.1. Ağırlık ölçümü	31
5.1.2. Marsh huni viskozite ölçümü	33

5.1.3.	Sıvı kaybı test yöntemi	34
5.1.4.	Reoloji test yöntemi	36
5.1.5.	Kum miktarı test yöntemi.....	40
5.2.	Kimyasal Test Yöntemleri	41
5.2.1.	Çamurun fenolftelyn alkalinitesi (p _M)	41
5.2.2.	Filtratın fenolftelyn alkanitesi (p _F)	42
5.2.3.	Filtratın metil oranj alkanitesi (m _F)	43
5.2.4.	Klor tayini (cL ⁻)	44
5.2.5.	Kalsiyum (cA ⁺⁺) sertliği tayini.....	44
5.2.6.	Metilen mavisi testi (mbt)	46
5.2.7.	Potasyum (k ⁺) miktarı tayini	47
5.3.	Kullanılan Kimyasal Malzemeler Ve Özellikleri	48
5.4.	Kcl Polimer Çamur Hazırlama Süreci	52
BÖLÜM 6.....		54
6.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	54
6.1	A-1 Kuyusu Sondaj Çamuru Deney Verileri ve Analizi	60
6.2	B-1 Kuyusu Sondaj Çamuru Deney Verileri ve Analizi	68
6.3	Laboratuvar Ölçeklerinde Kcl Çamurunun Deneysel Verileri ve Analizi.....	78
BÖLÜM 7.....		81
7.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	81
KAYNAKLAR.....		83

KISALTMALAR

AA	Ağırlık alma
Al	Alüminyum
APA-7	American Psychological Association-7 referans stili
API	Amerikan Petrol Enstitüsü
ASTM	Uluslararası Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu
BB	Borehole breakout (kuyu yıkıntıları)
bb	Big bag (1 tonluk büyük paketler)
Ca	Kalsiyum
CaCO ₃	Kalsiyum karbonat
Cl	Klor
CMC	Karboksimetil selüloz
CO ₂	Karbondiyoksit
DC	Ağırlık Borusu (Drill Collar)
dk	Dakika
DP	Drill Pipe (Sondaj Borusu)
epm	Milyon başına eş değer (equivalents-per-million)
Fe	Demir
HEC	Noniyonik selüloz polimer
HPHT	Yüksek basınç, yüksek sıcaklık
HV	High Viscosity (Yüksek Viskoziteli)
H ₂ S	Hidrojen sülfür
KCL	Potasyum klorür
K	Potasyum
LV	Low Viscosity (Düşük Viskoziteli)
Mg	Magnezyum

N	Normalite
Na	Sodyum
NaCl	Sodyum klorür (Tuz)
Pac LV	Polianyonik selüloz Düşük Viskoziteli
PCC	Pearson korelasyon katsayısı
PHPA	Kısmen hidrolize poliakrilamid
ppb	lb/varil
ppcf	lb/ft ³
psi	lb/in ²
ROP	Sondaj hızı
rpm	Dakikadaki dönme sayısı
Si	Silisyum
S _{Hmax}	Maksimum yatay stress (gerilme)
S _{Hmin}	Minimum yatay stress (gerilme)
sn	Saniye
TPAO	Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
OCMA	Oil Company Materials Association)
qt	quart (galonun dörtte biri), 946 ml
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
XCD	Ksantan sakızı (Xanthan gum)
vb	Ve benzeri
vd	Ve diğerleri

SEMBOL LİSTESİ

$\text{\AA}$	Angstrom (0,1 nanometre)
AV	Görünür viskozite (Apparent viscosity), cp
ρ_m	Çamur ağırlığı ya da yoğunluğu, lb/gal (ppg)
P_{for}	Formasyon basıncı, psia
P_{ff}	Çatlatma basıncı, psia
P_{hyd}	Çamurun uyguladığı hidrostatik basınç, psia
P_m	Çamurun fenolftelyn alkalinitesi, ml
P_f	Filtratın fenolftelyn alkanitesi, ml
PV	Plastik viskozite, cp
D	Kuyu derinliği, ft
n	Akış davranış indeksi
k	Konsistensi indeksi
M_f	Filtratın metil oranj alkanitesi, ml
θ_{600}	Döner viskometre 600 rpm’de çalışırken okunan değer, lb/100 ft ²
θ_{300}	Döner viskometre 300 rpm’de çalışırken okunan değer, lb/100 ft ²
YP	Yield point (Akma noktası), lb/100 ft ²

BÖLÜM 1

1. GİRİŞ

1.1. Tezin Amacı ve Kapsamı

Sondajı yapılan formasyonların içerdiği killeri, sondaj kuyularında stabiliteyle ilgili sorunlara neden olabilir. Genellikle, su bazlı akışkanlara maruz kaldığında şeyl matrislerindeki genleşebilir kil minerallerinin hidrasyonundan kaynaklanan sondaj stabilitesi problemleri ortaya çıkar. Özellikle belirli su bazlı ortamlarda hidrasyon basıncının etkisi ve çamur basıncı penetrasyonu birleştiğinde, şeyl kesimlerinin şişmesine ve parçalanmasına yol açabilir. Bu durum, çamurdaki kırıntı oranının artmasına ve düzensiz reolojik sonuçların (yüksek viskozite, düşük jel mukavemeti, yüksek sıvı kaybı gibi) ortaya çıkmasına neden olabilir. Artan viskozite, kuyunun etkili bir şekilde temizlenememesine ve bu durum da takım sıkışmalarına, yani akış özelliklerini etkileyen sorunlara neden olabilir. Ancak, kil formasyonlarıyla ilgili stabilite sorunlarını daha iyi anlamak ve kil hidrasyonunu en aza indirmek amacıyla tuz-su karışımı çamurlar (örneğin KCl-potasyum klorür) veya kesintilerin parçalanmasına karşı koyan katkı maddeleri içeren engelleyici çamurlar (örneğin PHPA, PAC, XCD gibi polimerler) geliştirilmiş ve çoğunlukla başarıyla uygulanmaktadır. Bu tür çamurlar genellikle KCl polimer çamurları olarak adlandırılır (Gueciouer vd., 2017; Kök & Alikaya, 2005; Shi vd., 2019).

Ancak, şeyl & kil içeren formasyonların sondajı sırasında, kuyu stabilitesi çok daha karmaşık bir durumu içermektedir. Kuyu stabilitesi, zaman içinde kuyunun cidarındaki stresslerin (gerilme) kontrolünü gerektirir. Bu çalışmada, kil formasyonlarından kaynaklanan sorunlar detaylı bir şekilde ele alınmış ve bu sorunlarla başa çıkmak için hangi çamur tiplerinin ve müdahalelerin etkili olabileceği araştırılmıştır. Sondaj süreci dinamik bir süreçtir ve aynı çamurla çamura müdahale etmeden ilerlemek özellikle şeyl içerikli formasyonların sondajı sırasında mümkün değildir. Bu nedenle kuyudaki çamurun reolojik özellikleri kötüye doğru gittiği durumlarda çeşitli kimyasallar ilave edilerek bu dinamik süreçte çamurun reolojik özellikleri korunmaya çalışılmalıdır. Bu bağlamda, kil formasyonlarında tuz inhibisyonu sağlamak amacıyla kullanılan tuzlu çamurlar ve bunların uygulama alanları bu tezde incelenmiş olup; aynı zamanda laboratuvar deneyleri ile çamur kontrol ve iyileştirme yöntemlerine yönelik kuyu bazlı (Türkiye'nin Güney Doğu Anadolu Bölgesindeki) çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar Batman'ın A bölgesindeki A-1 kuyusunda, ve Diyarbakır'ın B Bölgesinde B-1

kuyusunda gerçek kuyu koşullarında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca bir deney seti pilot olarak laboratuvar koşullarında yapılarak kuyu şartlarında yapılan deneylerde edilen performans ile kıyaslanmıştır.

Türkiye’de sondaj çamuru ile ilgili yapılan tezler (YÖK, 2024) incelendiğinde çoğunlukla lignosülfanat sondaj çamurları ile ilgili laboratuvar ortamında deneyler yapıldığı görölmektedir. Ayrıca KCl sondaj çamuru ile yapılan deneylerin birkaç tane olduğu (Alikaya, 2001) ve bunların çoğunlukla gerçek kuyu koşullarından uzak laboratuvar ortamında yapıldığı görölmektedir. Literatürdeki bu eksiklik bu çalışmanın özėün ve sonuçlarının literatür için önemli bir katkı sunabileceğini göstermektedir.

1.2. Tezin Konusu ve İzlenen DeneySEL Yöntem

Silikat mineralleri arasında yer alan kil mineralleri, tanecik boyutu 2 mikrondan küçük olan ve yapraksı ile lifsi bir yapıya sahip olan minerallerdir. Bu kil mineralleri, sondaj çamuru özelliklerinin belirlenmesinde kilit bir rol oynar. Sondaj sırasında en sık karşılaşılan kil ve şeyl formasyonlarındaki kil tipi ve miktarı, söz konusu formasyonların mekanik ve kimyasal özelliklerini belirlemede önemlidir. Sondaj amurunun seçiminde, formasyonla çamur arasındaki etkileşim, özellikle kuyu stabilitesi üzerinde potansiyel sorunlar yaratabileceğinden dikkate alınır. Bu bağlamda, çamurun tipi ve kompozisyonuyla ilgili kararlar, formasyonun özellikleriyle uyumlu olacak şekilde özenle verilir (Browning & Perricone, 1963; Muhammed vd., 2021; TPAO, 2007).

Sondaj akışkanları (sondaj çamuru), sondaj kuyusundaki çeşitli işlevleri yerine getirir. Ancak, amur özellikleri beklenenden farklıysa, bu durum güvenlik ve ekonomi açısından sorunlara neden olabilir. Her sondaj akışkanının davranışı, sondaj operasyonunun başarıısı için kritiktir. En uygun sondaj sıvısı tipini seçerken, her bir sondaj kuyusunu en düşük toplam maliyetle delmeyi sağlayan bir çamur sistemi olması gerekir. Sondajda ana hedef, çamur ve rezervuar arasındaki zarar verici reaksiyonları en aza indirmektir ve kuyuya formasyondan herhangi bir akışkanın girişini engellemektir. Su ve şeyl arasındaki uyumsuzluktan kaynaklanan birçok sorun, petrol/su emülsiyon çamuru veya %100 petrol çamuru kullanılarak çözülebilir. Bu, suyu şeyllerden izole eder ve hidrasyonu önler. Ancak, evresel endişeler ve hükümet düzenlemelerindeki değişiklikler nedeniyle bazı bölgelerde petrol bazlı çamurların kullanımı zorlaşmaktadır. Ayrıca, petrol bazlı çamurlar maliyet açısından da pek uygun değildir (Antia vd., 2022; Bybee, 2009; Halim vd., 2021; Mohammadi vd., 2023).

Su bazlı sondaj akışkanları, çeşitli kimyasal inhibitörler kullanılarak reaktif şeylleri kontrol etmek için kullanılabilir. Bu özel sondaj akışkanları, kayganlık, inhibisyon, katı madde süspansiyonu ve kuyu stabilitesini sağlamak üzere hazırlanabilir. Ayrıca, sıvı kaybını kontrol etmek, sondaj sırasında formasyonun bozulmadan kalmasını sağlamak ve kolayca temizlenmek için etkili bir çamur keki (mud cake) oluşturarak formasyonu korumak gerekir. Su bazlı sondaj akışkanlarında da, şeyl hidrasyonunu en aza indirmek mümkündür. Örneğin, KCl çamurlarda potasyum (K^+) iyonu kil yapısındaki sodyum (Na^+) iyonlarıyla yer değiştirir. K^+ iyonu, Na^+ iyonundan daha küçük olduğu için kil yapısının büzülmesine neden olur. Fakat bir diğer su bazlı sondaj akışkanı olan lignosülfanat çamur, KCl polimer çamurun sağladığı iyonik inhibisyonu sağlayamaz. Lignosülfanat çamuru maliyet olarak KCl polimer çamurda çok daha uygun maliyetlerde kullanılabilir ancak ciddi kuyu problemlerinin sebep olduğu maddi kayıp ile kıyaslandığında daha yüksek maliyetler ortaya çıkar. KCl polimer çamurun inhibisyon yaptığı formasyonlar yoğun kil minerali içermektedir. Lignosülfanat çamurun en temel kimyasalı bir kil minerali olan bentonittir. Killi formasyonlarda lignosülfanat çamur kullanmak hali hazırda stabilite sorununa destek olur. Tatlı su, az tuzlu su ve tuza doymuş su çözeltilerinde bentoniti aynı sürelerde beklettiğimizde tatlı su da yoğun şişmiş bentonit olduğunu, az tuzlu su da belli bir viskozite değeri sağlayacak kadar şişmiş bentonit olduğunu, tuzlu su da ise bentonitin hiç şişmediğini gözlemleyebiliriz. Kuyu içindeki killi formasyonu bu şekilde düşünecek olursak lignosülfanat çamur ile sondajı yapılacak formasyonda problem yaşanması çok olası bir durumdur. Son zamanlarda yapılan gelişmeler arasında, kil stabilizasyonunda çözünür silikatların kullanılması yer alır. Bu silikatlar yüksek pH'da çözünür, ancak pH düştüğünde çözeltilerden çökerler. Bu silikatlar, kristaller arasındaki gözenek boşluklarına girer, pH düştüğünde çöker ve daha fazla su penetrasyonuna karşı bir bariyer oluşturur. Silikat kullanımı, kilin zamanla sertleşmesine neden olabilir. Su bazlı sondaj akışkanlarında kullanılan bir diğer sistem, inhibitör olarak KCl ve glikollerin bir karışımını içerir. Bu tür sistemlerde, sırasıyla akış özellikleri ve sıvı kaybı kontrolü için XCD (Ksantan sakızı) ve Pac LV (Polianyonik selüloz) gibi polimerler kullanılmaktadır. Diğer faydalı kimyasallar arasında farklı polimerler de yer alır. Kil kristallerinin yüzeylerinde ve kenarlarında elektrostatik yükler bulunur. Eğer bir polimer molekülü uzunluğu boyunca karşıt yüklere sahipse, polimer kil kristaline yapışır ve suyun ona ulaşmasını engeller (Shi vd., 2019; Tian vd., 2021; Toka, 2022; TPAO, 2007; van Oort vd., 1996).

Gelişen su bazlı sistemler içinde genellikle killi formasyonlarda kullanılan KCl polimer çamurları yaygın olarak kullanılmaktadır (Gucuyener vd., 2023; Steiger, 1982; TPAO, 2007).

Bu sistemler, potasyum inhibisyonunu sağlamak için kullanılan KCl tuzu ile birlikte, (API-13a, 1993) standartlarına uygun olarak üretilen Pac-LV, modifiye nişasta, NaCl (sodyum klorür) ve CaCO₃ (kalsiyum karbonat) gibi kimyasalların kullanımıyla stabilite, akış özellikleri ve sıvı kaybı özelliklerini kontrol eder.

KCl polimer çamurları, kullanım aşamasında günlük rutin testler ve ölçümler (genellikle 12 saatte bir veya 8 saatte bir, kritik kuyu ise 2 saatte bir) ile izlenmelidir. Gerekli durumlarda çamur ıslahı yapılmalı ve sondaj işlemi daha sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilmelidir. Çamurun kesilen killi formasyon ile etkileşimi gözlenmeli ve gerektiğinde müdahale edilmelidir. Müdahale ve ıslah durumları, kullanılan çamura uygulanan deneylerle belirlenir. Bu deneyler, günlük rutin olarak yapılır ve günlük müdahaleyi sağlar. Özellikle fiziksel deneyler, çamur ağırlığı, huni viskozitesi, sıvı kaybı ve viskometre ile reolojik ölçümler, (API-13b, 2003) standartlarına uygun deney ekipmanlarıyla yapılarak günlük rutinde izlenir. Bu deneyler, çamur hakkında belirli öngörüler sunar. Fiziksel deneylerle birlikte, rutin aralıklarla alınan kimyasal testler de (örneğin metilen mavisi kapasitesi, çamur-filtrat-metil oranı alkalinitesi, potasyum, klor, kalsiyum testleri) çamurun kimyasal bozulmalarına karşı ıslah yöntemlerinin geliştirilmesine olanak sağlar. Özellikle KCl polimer çamurlarında bentonit gibi kil minerali içermeyen bir çamur olduğu için, metilen mavisi kapasitesi (MBT) deneyi önemlidir. Bu deneyde, çamurun ppb (lb/varil) cinsinden kil yoğunluğu elde edilir. Bu kapsamda, ani artışlar göz önünde bulundurularak müdahale yöntemleri geliştirilir. KCl polimer çamurları, sıvı kaybı ve kek özellikleri açısından uygun çamurlardır. Bunun için içerdikleri Pac-LV ile sıvı kaybını ve kalsiyum karbonat (CaCO₃) ile kek oluşumunu sağlarlar. Ayrıca, sıvı kaybını kontrol etmek için nişasta ağırlık malzemesi olarak NaCl tuzu kullanılır (Bridges & Robinson, 2020; TPAO, 2007). Sondaj sırasında kuyu jeologunun, sondaj mühendisinin ve sondaj akışkanları mühendisinin koordineli bir şekilde çalışması önem arz etmektedir.

Genel olarak, kil formasyonlarının özellikleri ve çamur etkileşimleri üzerine yapılan çalışmalarda (Rosa vd., 2005; van Oort, 1994), stabilite, basınç, ağırlık gibi konular ele alınırken, bu tez çalışması daha çok KCl polimer ile Türkiye'nin Güney Doğu Anadolu Bölgesindeki kuyularda kazılan formasyonla etkileşimleri, potasyum (K⁺), Ca⁺⁺ inhibisyonu ve bununla birlikte sağlanan akış özellikleri, stabilite sorunlarına ek bir çözüm yolları gerçek kuyu bazlı sondaj akışkanları deneysel çalışmalarıyla ile gerçekleştirilmiştir.

1.3. Tezin Önemi

Killi formasyonlar, sondaj kuyularında ciddi stabilite sorunlarına yol açar ve bu durum beraberinde maliyet ve güvenlik sorunlarını getirir. Bu tür formasyonlarda kullanılmak üzere tasarlanan KCl polimer çamurları, petrol bazlı çamurlar dışındaki diğer çeşitlerden daha maliyetlidir; ancak inhibisyon açısından en etkili uygulanabilir çamur türüdür. Petrol bazlı çamurlara kıyasla çevresel açıdan daha duyarlıdır. Killi formasyonların sondajında kullanıldığında, akış özellikleri ve sıvı kaybı kontrolü açısından sağlıklı bir sondaj performansı sunar. Bu tezde, killi formasyonların stabilite sorunlarına yönelik uygulanabilir çamur türü ve kimyasallar üzerine odaklanmıştır. Tez çalışması kapsamında, killi formasyon yapıları ve buna yönelik uygulanan çamur etkileşimleri detaylı bir şekilde Güney Doğu Anadolu Bölgesindeki (A Bölgesi: Batman ve çevresi; B Bölgesi: Diyarbakır ve çevresi) gerçek kuyu koşullarında deneysel olarak ele alınmaktadır.

Türkiye’de petrol sahaları Güney Doğu Anadolu Bölgesinde (Adıyaman, Diyarbakır, Batman, Siirt, Şırnak çevreleri) yer almaktadır. Bu bölgede yapılan sondajlarda kil ve şeyl içerikli formasyonlar sürekli olarak kazılmaktadır. Son yıllarda ülkemizde enerjide bağımlılığını azaltmak için bu bölgede sondaj sayısı ciddi oranda artmıştır. Bu nedenle bu çalışmada elde edilen sonuçlar bu sondajlarda yaşanabilecek sorunların bir kısmına ışık tutmaktadır. Kazılan formasyon gruplarının isimleri aynı bile olsa içerdiği kil miktarı, formasyon kalınlığı, gerilme basınçları vs. değişkenlik gösterebilir. Bu nedenle her kuyudaki çalışma kendine özeldir ve bu nedenle elde edilen jeoloji, çamur deney sonuçları ve sondaj verilerinin bir veri havuzunda toplanması ve analiz edilmesi ilerideki çalışmalar için önem arz edebilir. Bu tezde A-1 kuyusu ve B-1 kuyusunda yaşanan deneyimler ve sondaj çamuru deney sonuçları & analizi paylaşılmaktadır.

1.4. Tezin Bölümleri

Bölüm 1-Giriş: Tezin kaynağı, konusu, önemi, sınırları, izlenen metodoloji, tezin amacı ve son olarak da tezin bölümlerine yer verilmektedir.

Bölüm 2-Çalışma Alanının Genel Jeolojisi: Bu tezde Güney Doğu Anadolu Bölgesinde Batman ve Diyarbakır illeri civarındaki A-1 ve B-1 kuyularında sondaj akışanları deneyi yapılmıştır. Kazılan formasyonlar önemli ölçüde sondaj çamurunun özelliklerini etkilemektedir. Bu nedenle seçilen bölgelerin genel bir jeolojik analizi Bölüm 2’de yapılmaktadır.

Bölüm 3-Sondaj Akışkanları ve Özellikleri: Bu bölümde sirkülasyon sisteminin temelleri, sondaj akışkanlarının (çamurunun) ana görevleri ve katı malzeme kontrol sistemleri kısaca açıklanmaktadır.

Bölüm 4-Kil Kimyası ve KCl-Polimer Çamurlar: Bu tez çalışmasında özellikle kil ve şeyl içeren formasyonların sondajı sırasında KCl polimer çamurlarının etkileri deneysel olarak kuyu şartlarında analiz edilmektedir. Bu nedenle bu bölümde genel bir kil kimyası ve KCl polimer çamurlar üzerine literatür bilgilerine yer verilmektedir.

Bölüm 5-Sondaj Akışkanları Deney Malzeme ve Yöntemleri: Bu tezde kullanılan malzemeler ve sondaj akışkanları deneyinin yöntemleri API-13b standartlarına göre açıklamaktadır. Ayrıca kullanılan katkı malzemeleri API-13a standartlarındadır.

Bölüm 6-Bulgular ve Tartışma: Bu çalışmada Güney Doğu Anadolu Bölgesinde yer alan A-1 (Batman civarı) ve B-1 kuyuları (Diyarbakır civarı) şartlarında sırasıyla toplamda 24 ve 16 sondaj çamur deney seti yapılmıştır. Her deney seti yaklaşık olarak 11 ayrı deneyi (çamur ağırlığı, huni viskozite, döner viskometre ile akış özellikleri ölçümü, jel mukavemeti, sıvı kaybı, kum miktarı, metilen mavi deneyi, pH ölçümü, Cl miktarı tayini, K miktarı tayini, ve Ca miktarı tayini) içermektedir. Ayrıca karşılaştırma amaçlı bir deney seti laboratuvar ortamında küçük ölçekli bir sistemde yapılmıştır. Toplamda 41 sondaj çamur deney seti bu tez çalışmasında yapılmıştır. Özellikle kil & şeyl içerikli Germav ve Kastel formasyonlarının sondajı sırasında KCl polimer çamuruna ait deneysel bulgular bu bölümde detaylı bir şekilde tartışılmaktadır.

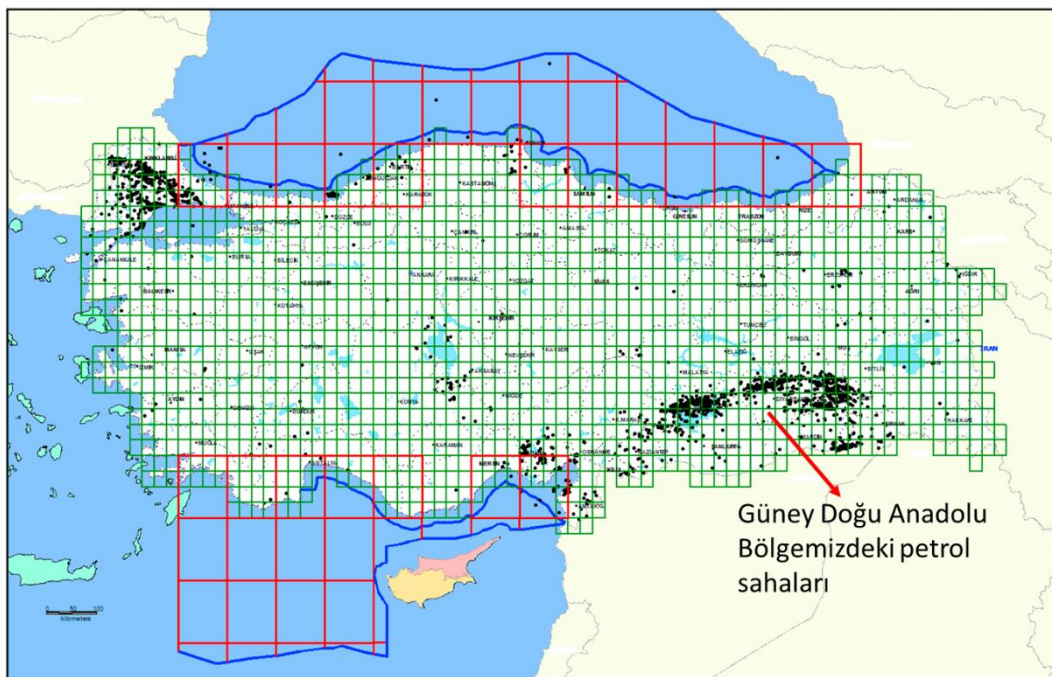
Bölüm 7-Sonuçlar ve Öneriler: Bu bölümde KCl polimer çamuru ile A-1 kuyu şartlarında, B-1 kuyusu şartlarında ve laboratuvar ölçekli deneylerde elde edilen sonuçlar özetlenmektedir. Ayrıca ileriye dönük olarak tez konusu ile ilgili öneriler sunulmaktadır.

Kaynaklar: Bu bölümde alıntı yapılan yardımcı kaynaklar APA-7 formatında listelenmektedir.

BÖLÜM 2

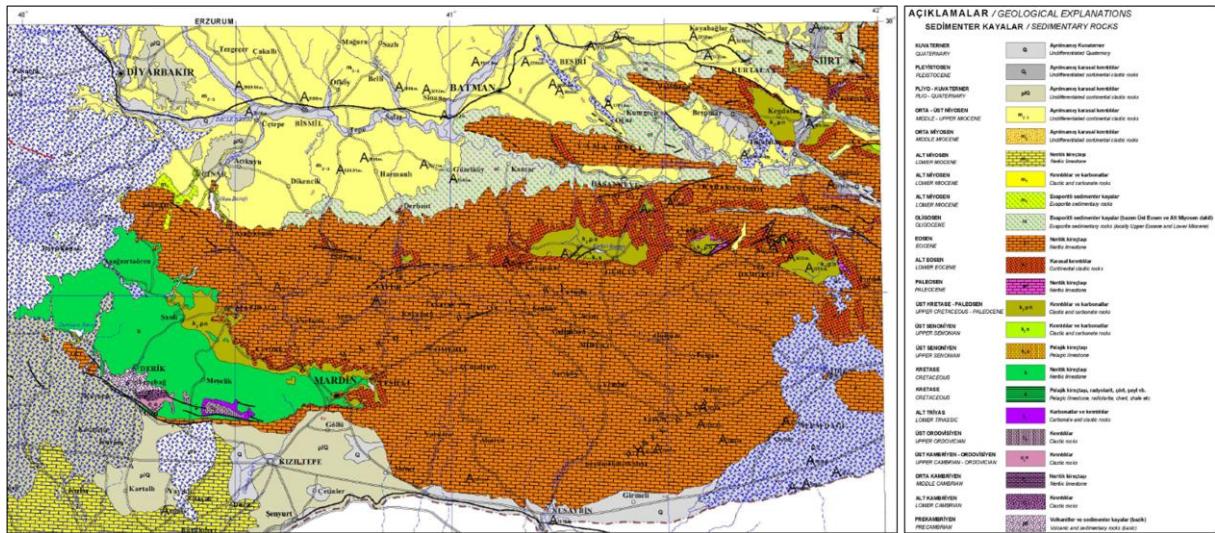
2. ÇALIŞMA ALANININ GENEL JEOLJİSİ

Güneydoğu Anadolu Bölgesi bilindiği gibi ülkemizin toplam petrol üretiminde % 99'unu kapsadığı bir alandır (Özgür, 2016, 2017; Yılmaz & Duran, 1997). Şekil 2.1'de görüldüğü gibi petrol sahaları Güney Doğu Anadolu Bölgesinde (Adıyaman, Diyarbakır, Batman, Siirt ve Şırnak çevresinde) yoğunlaşmaktadır. Şekil 2.2'de ise bu tezin çalışma alanları olan Diyarbakır ve Batman çevresine ait jeoloji haritasına yer verilmektedir. Yeni petrol arama sondajları da çoğunlukla bu bölgede yapılmaktadır. Bu alanda yapılmış olan petrol arama çalışmalarına göre bölgenin kil yapılı mineral içeriği bakımından zengin formasyonlara sahip olduğu görülmektedir. Kil içerikli formasyonların sondaj operasyonlarında kuyu stabilitesi bakımından sondaj problemlerine sebebiyet verdiği görülmektedir. Kuyu stabilitesi ile ilgili sorunlar tüm dünyada yüksek mali zararlara neden olmaktadır. Sondaj operasyonları esnasında yaşanan kuyu stabilite problemleri genellikle zaman kaybına ve bazen de takım sıkışmaları gibi ekipman kaybına neden olacak zararlar meydana getirmektedir. Petrol ve doğalgaz kuyularının stabilitesi ile ilgili problemler, bir kuyunun toplam sondaj bütçesinin %17'sine kadar çıkabilir. Bu nedenle stabilite ile ilgili kuyu problemlerini önlemek önemlidir (İmir, 2019; Uyar, 2011).



Şekil 2.1. Türkiye’deki petrol lisans başvuru haritası (Özgür, 2016)

Petrol sondajlarında kuyu içi stabilite sorunlarını önlemek için kuyu içi hidrostatik basınçları dengelemek ve kil yapıları minerallerin sebebiyet verdiği sıkışma, yıkılma gibi problemleri önlemek amacı ile KCl polimer çamur kullanılmaktadır. Özellikle kil mineralleri üzerindeki etkinliği gözlenmiş olan KCl polimer çamuru bu tez çalışmasında belirtilen alanlara ait kil minerali yapıları formasyonlarda yapılan sondaj operasyonlarında kullanılan KCl polimer çamurun deneysel olarak incelenmesi üzerinde durulmuştur. Bu çalışmada Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu bölgesinde bulunan A ve B Bölgelerine ait A-1 ve B-1 kuyularının kil içerikli formasyonlarında yaşanan stabilite sorunları ele alınarak Kastel ve Germav formasyonları incelenmiş ve gerçek kuyu koşullarında kullanılmış olan KC polimer çamur ile laboratuvar deneyleri değişen sıcaklık ve derinlik faktörleri ile analizleri yapılmıştır. Bu nedenle tezin bu bölümünde Kastel ve Germav formasyonların literatür verilerine dayanarak özellikleri jeolojik açıdan değerlendirilmiştir.

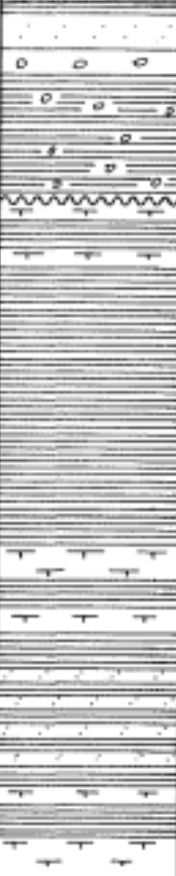
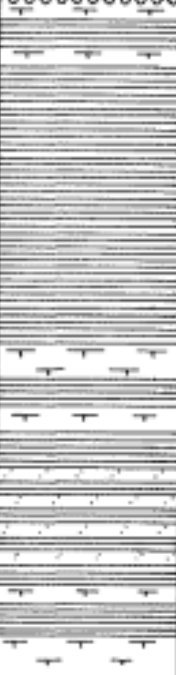


Şekil 2.2. Diyarbakir ve Batman çevresi için jeoloji haritası (MTA, 2002)

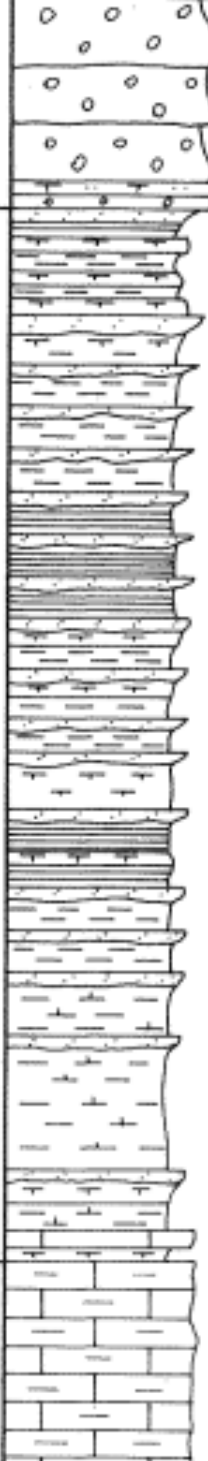
2.1. Kastel Formasyonu Özellikleri

Kastel formasyonu tabanında kirli beyaz krem renkli yumuşak, sık dokulu, tebeşir içeren ve seyrek mikro fosillerle zenginleşmiş marnlarla başlar (Şekil 2.3 & Şekil 2.4). Formasyonun üst kısımlarına doğru, açık yeşilimsi ve alacalı renk tonları hakimdir. Polijenik elementler içeren, sert dokulu ve ince taneli iyi boylanmış kumtaşı tabakaları gelir. Bu kumtaşı, az düz köşeli ve taneler arası iyi kireç çimentolu özelliklere sahiptir. Kastel formasyonu, daha üst katmanlarda kirli beyaz ve krem renk tonlarına sahip, yumuşak ve gevrek özellikteki marnlar

ile devam eder. Bu marnlar, pirit içerebilir ve seyrek glokonili mikro fosiller içerir. Ardından, açık yeşil, yeşilimsi gri ve açık gri renk tonlarına sahip, yumuşakça gevrek ve sık dokulu şeyl ardalanmaları gelir. Formasyonun en üst seviyesinde ise kirli beyaz ve açık yeşilimsi gri renk tonlarına sahip, yumuşak dağılan ve seyrek mikro fosiller içeren marn-şeyl ardalanması bulunur (TPAO, 1990). Kastel formasyonu, Gaziantep ili batısından Hakkari iline kadar uzanan allokonların cephesine paralel olarak bir yay şeklinde yayılmaktadır (Güven vd., 1991; Korucu & Işık, 2023).

Y A Ş	GRUP	FORMASYON	KALINLIK (m)	LİTOLOJİ	A Ç I K L A M A L A R
MAASTRİH - TIYEN	K	KIRADAĞ			KUMTAŞI : Tuğla kırmızısı-alacalı renkli. ÇAKILTAŞI : Muhtelif renkli. SEYL : Tuğla kırmızısı, cam göbeği yeşil, eflafun, açık yeşil, kahverenkli, çakıllı, kum-taşı-çakıltası ara seviyeli.
ÜST KAMPANIYEN - ORTA MAASTRİHTİYEN	Ş İ R N A K	K A S T E L	394		SEYL: Açık yeşil-yeşilimsi gri, açık gri renkli, yer yer marn dönüşümü. MARN : Kirli beyaz, krem renkli. KUMTAŞI : Açık yeşil, alacalı renkli. MARN : Kirli beyaz, beyaz, krem renkli.
ÜST KAMPANIYEN	ADİYAMAN	SAYINDERE			KILLI KIREÇTAŞI : Grimsi beyaz, beyaz, krem renkli, yer yer marn geçişli.

Şekil 2.3. Türkiye'deki Kastel formasyonunun neostatotipi (TPAO, 1990)

Y A Ş	GRUP	FORMASYON	KALINLIK (m)	LİTOLOJİ	A Ç I K L A M A L A R
K A M P A N İ Y E N - A L T M A A S T R İ H T İ Y E N	ALT - ORTA MAASTRİHTİYEN	TERBÜZEK			ÇAKIL TAŞI : Kırmızı, yeşil renkli, kalın-çok kalın tabakalı. KUMTAŞI-MARN-ŞEYL : Yeşillimsi gri renkli, orta-kalın tabakalı. KUMTAŞI-MARN-KİL TAŞI : Gri, yeşillimsi, gri renkli. KUMTAŞI-ŞEYL : Gri renkli, çok ince-ince-orta tabakalı. KUMTAŞI-MARN-KİL TAŞI : Gri renkli. KUMTAŞI-KARBONATLI KİL TAŞI : Yeşillimsi gri-gri renkli. KİREÇTAŞI-MARN : Gri-bej renkli, ince-orta tabakalı. KİLLİ KİREÇTAŞI : Gri-bej renkli.
ADİYAMAN	ORTA MAASTRİHTİYEN	A			
	Ş İ R N	E L	597		
SAYINDERE		K A S T			

Şekil 2.4. Kastel formasyonunun hipostratotipi (Güven vd., 1988)

Kastel formasyonunun neostratigrafik kalınlığı 394 m, hipostratigrafik kalınlığı ise 597 m'dir. Formasyonun batıdan doğuya değerlendirilen kalınlıkları şu şekildedir: Pazarcık ilçesinin kuzeydoğusunda, Kahramanmaraş ili yaklaşık 200 m'dir (Güven vd., 1988); Suvarlı, Haydarlı, Narlı ve Gaziantep arasındaki bölgede 0-150 m'dir (Yoldemir, 1987); Adıyaman ili Gölbaşı ilçesi çevresinde 50-510 m'dir (Güven vd., 1988; Perinçek, 1980); Besni ilçesi civarında 552 m'dir (Saltık ve Saka, 1971c); Adıyaman ilinin batısında, Göksu vadisi, İnişdere ve Yaylımlı dolaylarında 47-1710 m'dir (Güven vd., 1988; Saltık & Saka, 1971; Sungurlu, 1973); Adıyaman ilinin güneybatısındaki Adıyaman antiklinalinin kuzey kanadında, üst kısmında 36 m'dir (Güven vd., 1988); Çelikhan ilçesi civarında 200 m'dir (Perinçek & Özkaya, 1981); Kahta köyünün doğusunda, yaklaşık 395 m'dir (Güven vd., 1991).

2.2. Germav Formasyonu Özellikleri

Lektostratotipinde, Germav Formasyonu “Alt Germav” ve “Üst Germav” olmak üzere iki ayrı bölümden oluşmaktadır. Germav formasyonunun taban kesimleri mostra vermeyen litolojisi, alttan üste doğru şu şekildedir (Şekil 2.5) (Bolgi, 1960, 1961; İmir, 2019);

- 78 m kalınlıkta; yeşilimsi koyu gri, mavimsi gri, gri renkli, sert-sertçe, yer yer yumuşak, sık dokulu, kireçli, üst seviyelerde açık gri renkli, sertçe, keşif, ince kumlu marn ara seviyeli şeyl.
- 95 m kalınlıkta; mavimsi koyu gri, bejimsi gri, kahverengi koyu gri renkli, yumuşakça sık dokulu, ince kırıklı dike yakın kalsit ve ölü asfalt dolgulu çatlaklı, kireç, yer yer yaprak yaprak ayrıştırılabilir, üst seviyelerde kumlu şeyl.
- 162 m kalınlıkta; yeşilimsi gri, bejimsi koyu gri, gri renkli, yumuşakça-sertçe, sık dokulu kireçli, siltli şeyl; koyu gri, yeşilimsi gri renkli, sık dokulu, yumuşak, kireçli silttaş; krem bej renkli, keşif sert marn ve yeşilimsi gri, bejimsi koyu gri, sık dokulu, yumuşak, kireçli silttaş. Krem, bej renkli, keşif, sert marn ve yeşilimsi gri, kahvems gri renkli sert-sertçe, sık dokulu, polijenik elemanlı, az kireç çimentolu ve kil matrisli kumtaş aralanması.
- 133 m kalınlıkta; yeşilimsi gri, kahvems gri, koyu grimsi bej renkli, yumuşak-sert, yer yer yaprak yaprak ayrılabilir, yer yer marn dönüşümlü, üst seviyelerde yeşilimsi gri renkli, sık dokulu çok sert polijenik elemanlı, kireç çimentolu kumtaş ara tabakalı şeyl.
- 96 m kalınlıkta; yeşilimsi gri renkli, sık dokulu, sertçe polijenik elemanlı kireç çimentolu, üst seviyelerde krem, gri renkli sert kireç çimentolu fosilli ince çakıltaş ara

tabakası içeren kumtaşı ile yeşilimsi gri, bejimsi gri renkli, yumuşakça-sert sık dokulu polijenik elemanlı kireçli silttaşı ardalanması.

- 19 m kalınlıkta; krem renkli, sert dokulu tabanda 2 m kalınlıkta bej kahvemsı renkli kireçtaşı tabakası içeren marn.

ORTA-ÜST MAESTRIHL	P A L E O S E N	ÜST PALEOSEN	YAŞ
Ş	I R R N A	K	GRUP
G E R M A V	BEİRMAN		FORMASYON
ALT	Ü S T		ÜYE
>78	598		KALINLIK (m)
	>676		
			LİTOLOJİ
			A Ç I K L A M A L A R
			KİREÇTAŞI : Yeşilimsi gri, krem renkli. ŞEYL : Bej, kahve renkli. ŞEYL : Yeşil, kahvemsı pembe, yeşilimsi gri renkli. KUMTAŞI : Yeşilimsi gri, gri renkli, fosilli. MARN : Krem renkli. MİLT AŞI : Yeşilimsi gri renkli. KUMTAŞI : Bejimsi gri, yeşilimsi gri renkli. ŞEYL : Yeşilimsi gri, kahvemsı gri, koyu grimsi bej renkli, kumtaşı ara tabakalı. ŞEYL (Yeşilimsi gri, bejimsi koyu gri, gri renkli, milt), MİLT AŞI (Koyu gri, yeşilimsi gri renkli), KUMTAŞI (Yeşilimsi gri, kahvemsı gri renkli) ve MARN (Krem, bej renkli) ARDALANMASI. ŞEYL : Mavimsi koyu gri, bejimsi gri, kahvemsı koyu gri renkli, kireçli, marn ara tabakalı. ŞEYL : Koyu gri, mavimsi gri, gri renkli, marn ara tabakalı.

Şekil 2.5. Germav formasyonunun lektostatropi (Bolgi, 1960, 1961)

Y A Ş	GRUP	FORMASYON	KALINLIK (m)	LİTOLOJİ	A Ç I K L A M A L A R
ORTA-ÜST PALEOSEN	MİDYAT	GERCÜŞ			ŞEYL : Kırmızı renkl.
ORTA-ÜST PALEOSEN?	K	V			MARN : Alacalı (kırmızı, yeşil, gri, mor, beyaz) renkl, jips ara seviyeli.
ORTA-ÜST MAASTRİHTİYEN	A	A			KUMLU KIREÇTAŞI : Bej, gri renkl, ince-orta tabakalı.
	N	M			ŞEYL-SİLT TAŞI : Alacalı, kırmızı, koyu gri renkl.
	R	R			KUMTAŞI : Yeşilimsi gri, gri renkl, miltazı ve şeyl ara seviyeli.
	E	E	1325		ŞEYL : Gri-koyu gri renkl, miltazı, kumtaşı ve kil kireçtaşı ara seviyeli.
ORTA MAASTRİHTİYEN	I	G			MARN : Gri-koyu gri renkl.
Ş					KİLLİ KIREÇTAŞI : Mavimsi gri-gri renkl, orta-kalın tabakalı.
ÜÇKIRAZ					KİLLİ KIREÇTAŞI : Gri renkl, ince-orta tabakalı.

Şekil 2.6. Germav formasyonunun hipostratotipi (Güven vd., 1988, 1991)

Toplamda 693 m kalınlıkta olan Alt Germav, yeşil, kahvemsı pembe, yeşilimsi gri renkli, sık dokulu, yumuşak-sert şeyllerle yeşilimsi gri, yeşil renkli sert kireç çimentolu fosilli kumtaşı ardaalanmaları içeren Germav formasyonunun alt üyesidir (Bolgi, 1960, 1961).

Hipostratotipinde genellikle şeyl, silttaşı ve kumtaşlarından oluşan Germav formasyonu, fasiyes gruplarına göre tabandan itibaren beş bölüme ayrılabilir (Şekil 2.6). Formasyonun en alt bölümü, 825 metrelik toplam kalınlığının alt kısmında şeyllerin yaygın olduğu bir kesimdir. Üçkiraz formasyonuna geçişli olarak ortaya çıkar ve eşit oranda killi kireçtaşı-marn ardaalanması ile başlar. Yukarı doğru, önce marnlara şeyllere dönüşür. Bu dönüşümle birlikte, özellikle alt kesimlerde distal türbidit nitelikli, ince tabakalı kumtaşı ve silttaşları gözlenir. Bu kesim, 140 metrelik bölümü ile tipik olarak yukarı doğru sıklaşan bir istif oluşturur. Yeşilimsi gri renkli şeyllerle ardaalanan silttaşı ve kumtaşlarının oranı yukarıya doğru artar. En üstte bol biyojenik izli, kavkılı, çapraz tabakalı kumtaşları bulunur. Bu kesimde, yer yer kömür ve kömürlü şeyl seviyeleri de gözlenir. Dördüncü bölüm, 37 metre kalınlığı ile yine kavkılı kumtaşı ve silttaşlarının egemen olduğu bir kesimi içerir. Ayrıca kumlu ve bol fosilli kireçtaşı seviyeleri de mevcuttur ve bu kireçtaşları yer yer çapraz tabakalı ve kumtaşı geçişlidir. En üstte yer alan beşinci bölüm, 173 metre kalınlığı ile kireç benzeri dolomitik kireçtaşı tabakaları, jips bantları ve kırmızı renkli marn ve silttaşları içerir (Güven vd., 1988, 1991).

2.3. A Bölgesi Jeolojisi ve Sondaj Problemleri

Bu tezde A-1 kuyu şartlarında KCl polimer çamuru performansı test edilmiştir. A Bölgesinde (Batman ve çevresi) A-1 kuyusunda yüzeyden kuyu dibine doğru kazılan formasyonlar Şelmo, Germik, Hoya, Gerçüş, Üst Sinan, Alt Sinan, Germav, ve Garzan formasyonlarıdır. Bu bölümde A Bölgesinin A-1 kuyusunda yüzeyden kuyu dibine doğru kazılan formasyonların içerikleri ve sondaj sırasında yaşanabilecek muhtemel problemler açıklanmaktadır:

- **Şelmo Formasyonu:** Yüzey formasyonu olmasından kaynaklı gevşek yapılıdır. Çakıltaşı, kumtaşı ve şeyl kayaçlarını içerir. Kil oranı yüksektir, bundan dolayı çamurda hızlı jelleşme oluşur. Spud çamuru (bentonitli çamur) kullanılır. Spud çamurunda sadece bentonit, kostik soda ve soda külü (ash) kullanılır. Yüzey sularını kirletmemek için ve ayrıca yüzey sondajında hacmin fazla olmasından dolayı spud çamuru tercih edilir.

- **Germik Formasyonu:** Yoğun jips kesitleri olduğundan çamurda kalsiyum kirliliğinde hızlı artış olur. Kirlilikten kaynaklı jelleşme ve sıvı kaybı artar. Formasyon sondajı boyunca sistem çamuruna soda külü verilmelidir.
- **Hoya Formasyonu:** Kireçtaşı içeren formasyondur. Bu formasyonda geçirgenlik ve gözeneklilik fazla olduğundan kaçak ihtimali vardır. Önlem amaçlı çamur hazırlama alanına CaCO_3 orta, mika gibi kaçak önleyici kimyasallar hazırlanır.
- **Gercüş Formasyonu:** Çakıltaşı, kumtaşı, ve şeyl içerir. Şelmo formasyonu ile benzer özellikleri gösterir. Yoğun kil içeriğinden dolayı ağırlık alma, matkap sarması (bit balling) gibi sorun yaşanabilir.
- **Üst Sinan Formasyonu:** Kireçtaşı, şeyl tabakalarını içerir. Hem gevşek hem sıkı formasyon içermesinden kaynaklı kaçak, ağırlık alma gibi sondaj problemleri beraber yaşayabilmektedir.
- **Alt Sinan Formasyonu:** Yoğun dolomit ve kireçtaşı içerir. Çamuru jellendirmesinden dolayı kontrol edilemediği durumlarda takım sıkışmalarına sebebiyet verebilir.
- **Germav Formasyonu:** Uzun şeyl tabakaları içerir. İçerdiği kil çoğunlukla simektitten oluşur. Kuyu stabilitesi (kuyuda yıkıntılar vb.) sorunu yaşanan formasyonlardır. KCl polimer çamur ile inhibisyon sağlanmaz ise takım sıkışmaları formasyon şişmesi ve beraberinde takım kopması gibi problemlere sebebiyet verebilir.
- **Garzan Formasyonu:** A bölgesinin genel litolojisinde rezervuar kayadır. Killi kireçtaşı içermesinden dolayı tedrici ve tam kaçaklara sebebiyet verebilir. Kaçakla beraber yıkılmalar olabilir. Killi tabakalarda formasyonda şişme meydana gelebilir. Bunlar ağırlık alma gibi sondaj problemlerine neden olur.

2.4. B Bölgesi Jeolojisi ve Sondaj Problemleri

Bu tezde A-1 kuyusuna ek olarak B-1 kuyusunda da sondaj sırasında KCl polimer çamuru ile ilgili deneyler yapılmıştır. B Bölgesinde (Diyarbakır ve çevresi) B-1 kuyusunda yüzeyden kuyu dibine doğru kazılan formasyonlar Bazalt, Antak, Kayaköy, Karadut, Kastel, Sayındere, ve Derdere formasyonlarıdır. B Bölgesinde B-1 kuyusunda kazılan formasyon içerikleri ve yaşanabilecek muhtemel sondaj problemleri şu şekildedir:

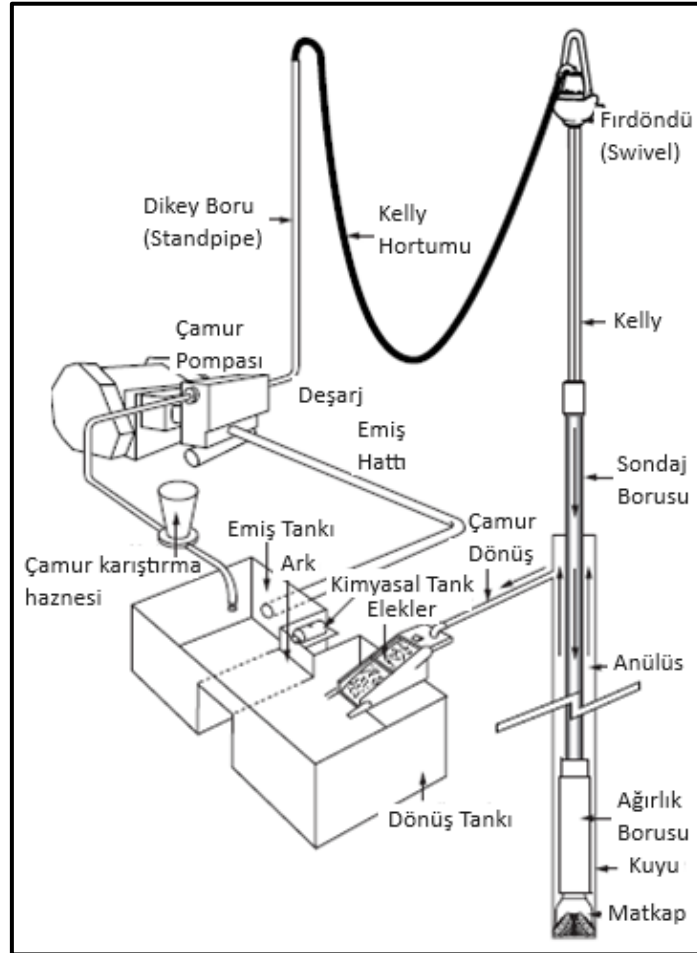
- **Bazalt Formasyonu:** Adını içerdği kayaktan almıştır. Yüzeyde sert kayaç olmasından dolayı sondaj sırasında sondaj dizisinde vibrasyona sebebiyet verebilir.
- **Antak:** Şeyl, kumtaşı, çakıltası ve jips içermektedir. İçerdği farklı kayaç yapısından kaynaklı değişen yapıya sahiptir. Tedrici kaçak, oturma, tork alma gibi problemler yaşanabilir.
- **Kayaköy Formasyonu:** Evaporit tabakasından oluşur. Evaporit minerali olan jips anhidrit katmanlarından kaynaklı jelleşme, ağırlık alma, yüksek tork gibi problemler yaşanabilir.
- **Karadut Formasyonu:** Kireçtaşı, şeyl, marn kayaçlarını içerir. Kil minerali içeriğinden kaynaklı şişme ve sonrasında ağırlık alma gibi sorunlar yaşanabilir.
- **Kastel Formasyonu:** A bölgesindeki Germav formasyonu ile aynı özelliklere sahiptir. Yoğun kil tabakaları (simektit) içerir. KCl polimer çamur ile sondajı yapılmalıdır. Bu tez B-1 kuyusu için çalışılan KCl polimer çamuru özellikle bu bölgenin güvenli bir şekilde kazılması için kuyu şartlarında çalışılmıştır. Bulgular ve tartışma (Bölüm 6) kısmında daha detaylı bilgilere yer verilmektedir.
- **Sayındere Formasyonu:** B bölgesinin bazı bölgelerinde rezervuar kayaçtır. Killi kireçtaşı ve kireçtaşı içerir. Derdere formasyonuna geçiş formasyonudur. Tedrici kaçaklar yaşanabilir. Barit ($BaSO_4$) gibi micron boyutu büyük olan ağırlaştırıcı kimyasal malzemeleri kullanılmamalıdır. Aksi durumda rezervuar kirliliği (yüksek zar faktörü-skin factor) oluşabilir. Bunun en önemli nedeni formasyona barit içerikli çamur kaçtığına baritin kaçtığı kısımlarda çökmesi ve geçirgenliği düşürmesidir. Ayrıca barit HCl asitle çözünmediğinden kuyu canlandırma (well stimulation) işlemleri de rezervuarın kirlenen bölgesindeki geçirgenliği artırmada etkisiz kalabilir. **Derdere Formasyonu:** B bölgesinin rezervuar kayacıdır. Dolomit, kireçtaşı içerir. Çatlaklı yapısında dolayı, tam kaçak yaşanabilir. Sayındere formasyonunda olduğu gibi barit gibi malzemelerden uzak durulmalıdır.

BÖLÜM 3

3. SONDAJ AKIŞKANLARI VE ÖZELLİKLERİ

3.1. Sirkülasyon Sistemi ve Sondaj Çamurunun Görevleri

Sondaj kule sistemleri temel olarak 6 sistemden oluşur; güç sistemi, kaldırma sistemi, rotari (döndürme) sistemi, sirkülasyon sistemi, kuyu kontrol sistemi ve kuyu gözlem sistemi (Mitchell & Miska, 2010). Sirkülasyon sistemi (Şekil 3.1), sondaj akışkanını (çamurunu) matkap formasyonu keserken kuyuda sirkülasyonun sağlanmasını sağlar. Sondaj çamuru kazılan formasyonla temasın kurulmasını ve sondajın sürdürülebilir olmasını sağlar. Bazı kaynaklarda sondaj çamurunun önemi, vücudumuzda kan dolaşım sistemine benzetilerek vurgulanmıştır (İmir, 2019).



Şekil 3.1. Sondaj sirkülasyon sistemi (Luo, 2011)

Şekil 3.1’de görüldüğü üzere hazırlanan sondaj çamuru, çamur pompası tarafından emilip, dikey boru (standpipe) vasıtasıyla sırasıyla kelly hortumuna, firdöndüye (swivel), kellye, sonrasında sondaj dizisi (sondaj borusu, ağırlık borusu vb.) vasıtasıyla matkaba ulaşır. Bu şekilde rotari sondaj sırasında matkap formasyonu aşındırarak kestiği kırıntılar anülüsten yüzeye gelir. Yüzeyde eleklerden geçen çamur gerekirse ıslah edildikten sonra tekrar kuyuya basılarak tam bir sirkülasyon sağlanır. Sondajda kuyu her zaman çamur ile doldurulur ve kesintilerin etkin transferi için aktif sondaj sırasında sirkülasyona ara vermeden devam edilir. Sondaj çamurunun başlıca görevleri şu şekilde kısaca özetlenebilir (Bourgoyne vd., 1991; Mitchell & Miska, 2010):

- Kesintileri (kırıntıları) yüzeye taşımak
- Matkabı temizlemek
- Formasyon basıncını dengelemek için kuyuya hidrostatik basınç sağlamak
- Ciddi çamur kaçaklarını önlemek
- Formasyonun hasar görmesini ve çökmesini engellemek
- Sirkülasyon sırasında ve sirkülasyon kesildiğinde kesintileri askıda tutmak
- Sondaj dizisi ve kuyu muhafaza borusu (casing) dizisi ağırlığını yüzdürme etkisi ile azaltmak
- Matkaba ve kullanılıyorsa yönlü sondaj ekipmanlarına hidrolik basınç sağlamak
- Kuyu log ölçümlerine olanak sağlamak
- Matkaba kayganlaştırıcı etki sağlamak ve matkabı soğutmak

Sondaj çamuru seçme süreci, yakındaki kuyulardan alınan kuyu kayıtlarının incelenmesini, kullanılan sondaj çamurunun türüne ve yaşanmış olabilecek çamur ile ilgili sorunlara bakılmasını içermelidir. Bu sorunlar, yavaş ROP (rate of penetration-sondaj hızı), kuyu içi stabilite sorunları ve rezervuar hasarı gibi sorunlar olabilir. En temel düzeyde, akışkan ilgili aralığın başarılı bir şekilde sondajını sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Viskozite, çamur ağırlığı, filtrasyon kontrolü vs. özellikler önemlidir. Yüzeye yakın kısımların sondajında spud çamurları (çoğunlukla bentonit ve su içeren çamur) kullanılmaktadır. Bu tür kısımlarda spud çamuru gerekli jel ve viskozite özelliklerini sağlar ve karmaşık bir polimer sondaj sıvısı kullanmak hem gereksiz hem de ekonomik değildir (Atagün, 2015; İmir, 2019). Ancak daha derine inildiğinde ve kil miktarı arttığında daha kompleks çamur tasarımlarına ihtiyaç vardır. Çamur türü şu özelliklere göre seçilmelidir (TPAO, 2007):

- *Yoğunluk (Çamur Ağırlığı)*: Kuyu içi hidrostatik basınçlarını dengeler.
- *Viskozite / Reoloji*: Kesintileri kuyu içinden dışarı taşımaya yardımcı olur. Akış özelliklerini dengeler.
- *Jelleşme (Jel Mukavemeti)*: Ağırlık malzemesini askıda tutabilme ve statik bir akışkan içinde çökelen kesintileri önleyecek bir jel yapısı oluşturur.
- *Alkalinite*: Sondaj çamurunda kullanılan polimer ve diğer kimyasallar belirli bir pH değerinde çalışır. pH kontrolü sağlanır.
- *Sıvı Kaybı Kontrolü*: Geçirgen formasyonun yüzeyi boyunca ince, düşük geçirgenliğe sahip bir çamur keki oluşturarak çamur süzüntüsünün geçirgen kayaç yüzeylerine yayılmasını engeller.
- *İnhibisyon*: Killerin şişebilme özelliğinden dolayı kuyu içi stabilite sorunlarını kontrol eder.

Petrol arama sondajlarında kesilen formasyona ve hidrostatik basınçlara göre sondaj çamur programı yapılır. Bu çalışma kapsamında, çalışma alanı olan Güneydoğu Anadolu Bölgesinde genel olarak kullanılan spud, lignosülfanat ve KCl polimer çamurlarıdır. Özellikle tuzlu su bazlı olan KCl polimer çamur kil yapılı stabilite sorunu yaşayan formasyonlarda başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Spud ve lignosülfanat çamurları tatlı su bazlı olup en belirgin kimyasalı bentonittir ve yüzey sondajlarında, stabilite sorunu olmayan formasyonlarda daha ekonomik olarak başarılı bir şekilde kullanılmaktadır.

Bu tezin 4.Bölümünde daha ayrıntılı olarak anlatılan kil kimyası KCl polimer çamur bakımından incelenmelidir. KCl polimer çamur kil yapılı kayaçlar üzerindeki etkisi olası sondaj problemlerini önleme açısından önem arz etmektedir. Kil yapılı kayaçların hidrasyonunda yer alan iki ayrı mekanizma vardır. Bunlar ilk olarak kil minerallerinin doğasından kaynaklanan kristalin hidrasyon kuvvetleri ve kafes yapıları içindeki doymamış yüklerdir. İkinci olarak, kayaç içindeki iyonların konsantrasyonuyla ilgili olan osmotik kuvvetler vardır. Bunlar, orijinal olarak biriktiği deniz suyu ortamındandır. Osmotik kuvvetler büyük ölçüde, formasyonun tuzluluğunu aşan bir seviyeye kadar çamura klorür ilavesiyle karşılanır. Kristal veya kil mineral hidrasyon kuvvetleri o kadar kolay karşılanmaz ve aslında hidrasyonu tamamen önlemenin tek yolu kuyu cidarındaki suyu çıkarmaktır. Osmotik kuvvetlerin büyüklüğü yüzlerce psi iken, kristalin hidrasyon kuvvetleri binlerce psi'dir. Tüm killer suyu adsorbe edecek ve hidratlayacak kadar reaktiftir. Şişen killer (Simektit ailesi), kil kafesin kendisine su alma meylindeydir. Kilin bazal düzlemi, su moleküllerinin kilin yüzeyine moleküler katmanlar halinde güçlü bir şekilde

bağlanması için yüklenir. Su, kil yüzeyi ile altıgen bir koordinasyon içinde ilişkilendirilir ve bu da serbest suya göre kabaca %3 oranında sıkıştırılmasına neden olur. Su bazlı sondaj sıvılarında bu önemlidir, çünkü sıkıştırılmış bağlı su daha yüksek bir viskoziteye sahiptir ve bu, suya bentonit eklendiğinde viskozlaştırıcı etkiyi artırır. Bu aynı zamanda şeyl oluşumları içinde anormal basınçların oluşmasında da önemlidir, çünkü Simektit killeri diyajenetik süreç boyunca İllitlere dönüşerek bağlı suyu serbest bırakır. Sodyum, Kalsiyum, Potasyum vb. gibi değişebilir katyonlar, Simektit killerin taban yüzeylerine çekilir ve bu yüzeylerle birleşir. "Değiştirilebilir" olarak adlandırılırlar, çünkü her biri kil ile bağlantılı olarak daha yüksek enerjili biri tarafından kolayca değiştirilebilir. Bu genellikle iki değerli katyonların aşağıdaki reaksiyon serilerinde tek değerli katyonların yerini alacağı anlamına gelir (USGS, 2001; van Oort, 1994).

3.2. Katı Madde Kontrol Sistemi

Şekil 3.1’de görüldüğü üzere katı madde kontrol ekipmanları (Şekil 3.2), sirkülasyon sisteminin en önemli ekipmanlarından. Kuyudan kesintileri transfer ederek dönen çamurun içerisindeki iri ve çok küçük tanecikleri etkin bir şekilde ayrıştırılması hem çamurun özelliklerinin korunması hem de sirkülasyon sisteminin önemli ekipmanlarındaki (çamur pompası gibi) aşınmanın önlenmesi için gerekmektedir. Katı madde kontrol sisteminde shale shaker (elek-Şekil 3.3), mud cleaner (çamur temizleyici), desilter (silt ayırıcı), desander (kum ayırıcı), decander (Şekil 3.4) gibi ekipmanlar çamurun ağırlığı dengelemesine ve reolojik özelliklerin korunmasına yardımcı olur. Eleklere (Shale shaker) ve çamur temizleyicilerin (mud cleaner) yaratmış olduğu titreşimler bu konuda fayda sağlamaktadır. Titreşim kadar eleklerde en önemli etken elek tellerinin (mesh) doğru kullanımıdır. Örneğin KCl polimer çamurda yoğun olarak polimer kullanılması ve özellikle XCD gibi polimerlerin belirli sıcaklık aralıklarında efektif çalışmasından dolayı tankta yeni yapılan çamur belirli kuyu şartlarında sirküle olmadıkça düşük boyutlardaki elek meshlerinde (bir inç kareye düşen gözenek sayısı) sistemden atılır. Böylelikle sistem polimeri, işlevini yapmadan atılmış olur ve bu ekonomik kayıplara neden olur. Bu tarz durumlarda yeni yapılan çamurdaki polimeri korumak adına elek meshleri büyük boyutlarda seçilmeli, daha sonra küçük boyutlardaki elek telleri kullanılmalıdır.

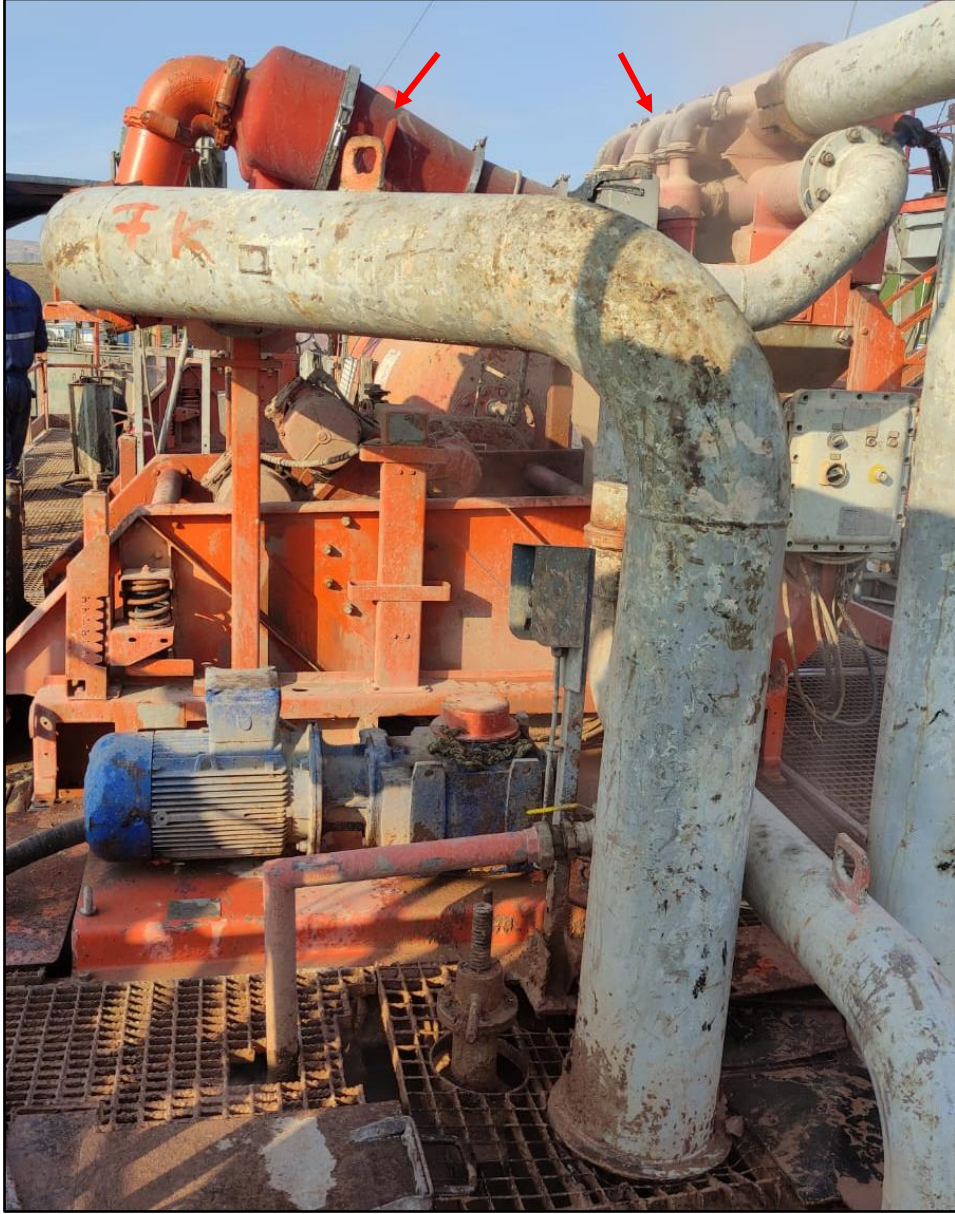
Özellikle killi formasyonlarda katı madde ekipmanları çok önemlidir. Decander (Şekil 3.4) gibi merkezkaç kuvvetinin etkisi ile çalışan ekipmanlar kil minerali gibi micron boyutu ufak kimyasalların ayrıştırılması konusunda büyük etki yaratır.



Şekil 3.2. Kuyudan dönen çamurunun ıslah edildiği katı malzeme kontrol ekipmanlarının genel görünüşü.



Şekil 3.3. Shale shaker (elek) kesintileri çamurda ayrıştırırken



Şekil 3.4. Shale shaker üzerinde desilter, decander, desander sistemi

BÖLÜM 4

4. KİL KİMYASI VE KCI POLİMER ÇAMURLAR

4.1. Kil Kimyası

Kil mineralleri tane boyutu 2 mikrondan küçük, yapraksı ve lifsi yapıdaki silikat mineralleridir. Sondaj çamuru özelliklerinin belirlenmesinde önemli rol oynayan kil minerallerinin yer kürenin %80'den daha fazla bir kısmını oluşturduğu dikkate alındığında (Alani & Sarapää, 2008), sondaj sırasında çamurun kil içeren formasyonlarla ne kadar sık karşılaştığı kolayca anlaşılır. Sondaj sırasında en sık karşılaşılan kil ve şeyl formasyonlarının içerdiği kil tipi ve kil miktarı, bu tip formasyonların mekanik ve kimyasal özelliklerini belirler. Sondaj çamurunun seçiminde formasyonla çamur arasındaki etkileşimin özellikle kuyu stabilitesi yönünden yaratacağı sorunlar dikkate alınarak, çamur tipi ve kompozisyonu hakkında karar verilir (Browning & Perricone, 1963; Muhammed vd., 2021; TPAO, 2007).

Kil mineralleri, silikat tabakaları arasında tutulan büyük yüzdelerde su içeren fillosilikatlar içindeki genel bir grubun parçasıdır. Killerin çoğu kimyasal ve yapısal olarak diğer fillosilikatlara benzer, ancak değişen miktarlarda su içerir ve katyonlarının daha fazla ikamesine izin verir. Kil mineralleri dört ana gruba ayrılır (Grim, 1962; Schulze, 2005; TPAO, 2007; USGS, 2001; Usmani vd., 2016):

1. *Kaolinit Grubu*: Bu grubun üç üyesi vardır (kaolinit, dikit ve nakrit)
2. *Montmorillonit/Simektit Grubu*: Bu grup vermikülit, saukonit, saponit, nontronit ve montmorillonit gibi çeşitli minerallerden oluşur.
3. *İllit (veya Kil-mika) Grubu*: Mineral illit, temsil edilen tek yaygın mineraldir, ancak şeyllerin ana bileşenidir.
4. *Klorit Grubu*: Bu grup her zaman killerin bir parçası olarak kabul edilmez ve bazen fillosilikatlar içinde ayrı bir grup olarak yalnız bırakılır.

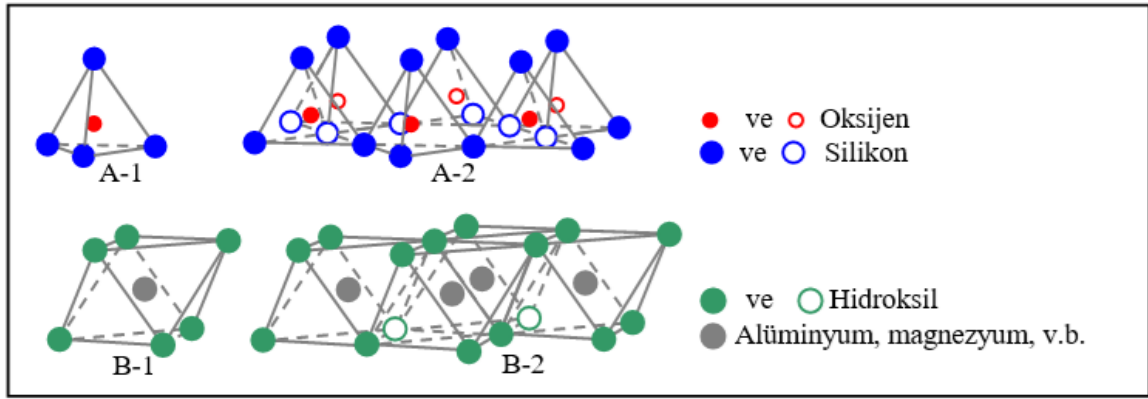
Killerin başlıca bileşenleri; silika (Si), alüminyum (Al), su'dur. Küçük bileşenler ise; demir (Fe), magnezyum (Mg), sodyum (Na), potasyum (K)'dur. Killerin fiziksel özellikleri şunlara göre yorumlanır:

- İnce boyut
- Geniş yüzey alanı

- Yüzeyin kimyasal reaktivitesi

Tüm farklı kil minerallerinin inşa edildiği iki temel yapı birimi vardır (Ghadiri vd., 2015; TPAO, 2007):

- *Tetrahedral Katman (Şekil 4.1-A)*: Her bir tetrahedral ünite, dört oksijen atomundan eşit uzaklıkta, tetrahedronun merkezinde bir silikon atomu bulunur (OH grupları, yapıyı elektriksel olarak dengelemek için gerekirse oksijen atomlarının yerini alabilir.).
- *Oktahedral Katman (Şekil 4.1-B)*: Bu, alüminyum, demir veya magnezyum iyonlarının gömülü olduğu, birbirine yakın şekilde paketlenmiş iki tabaka hidroksil iyonundan oluşur.



Şekil 4.1. Killerin Tetrahedral (A) ve Oktahedral (B) yaprak yapı birimleri (TPAO, 2007)

Kil üzerindeki yükler, aşağıdaki özellikleri belirledikleri için önemlidir (Anderson vd., 2010):

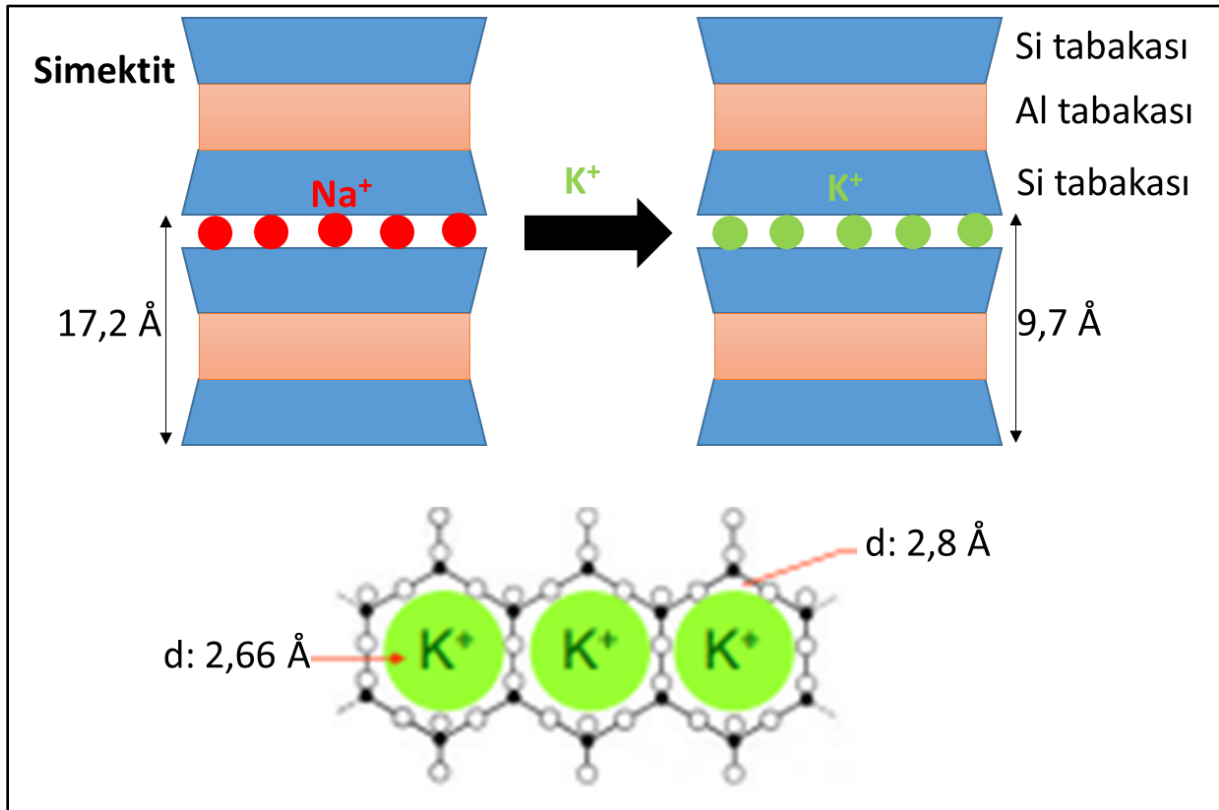
- İyon değişimi
- Şişme davranışı
- Çamurların viskozitesi
- Kil parçacıkları üzerinde kırık kenarlar
- Kil yapısında iyonların yer değiştirmesi

Bir kilin levhası kırıldığında, açıkta kalan kenarlar, pozitif veya negatif olabilen dengesiz yüklere sahip olacaktır. Asidik bir ortamda yükler pozitif olma eğiliminde olacaktır. Alkali bir ortamda yükler negatif olma eğilimindedir. Sondaj çamurunda alkali pH tutmanın bir nedeni, tüm kil yüklerini negatif tutmaktır. Negatif yükler birbirini itecek ve böylece flokülasyon

eğilimini azaltacaktır. Ancak, genellikle (özellikle montmorillonit ve mikada) hem oktahedral hem de tetrahedral katmanlarda katyon ikameleri vardır (Browning & Perricone, 1963; TPAO, 2007):

- Dörtüzlü Katman: Bazı Si^{4+} , Al^{3+} veya Fe^{3+} ile değiştirilebilir.
- Oktahedral Katman: Bazı Al^{3+} , Mg^{2+} veya Fe^{2+} ile değiştirilebilir.

Bu ikameler, net negatif yüklü levhalar üretir. Kenar yüklerinden farklı olarak bunlar kalıcıdır ve pH değişikliklerinden etkilenmez. Killerin iyon değiştirme özelliklerine sahip olmasının ana nedeni izomorf ikamedir ve montmorillonitin (bentonit) suda şişmesinin nedenidir. İzomorf ikame ile üretilen negatif yük, kil yüzeyinin yakınında tutulan katyonlarla dengelenir. Ortak yük dengeleme katyonları Na, K, Ca, Mg (Şekil 4.2); bu katyonlar montmorillonit içinde kolayca değişebilir. Kilin katyon değişim kapasitesi metilen mavisi testi (MBT) veya yer değiştirmiş katyonların kimyasal analizi ile ölçülebilir (API-13b, 2003; TPAO, 2007). Bu deneyler ve prosedürleri Bölüm 5’de daha detaylı bir şekilde açıklanmaktadır.

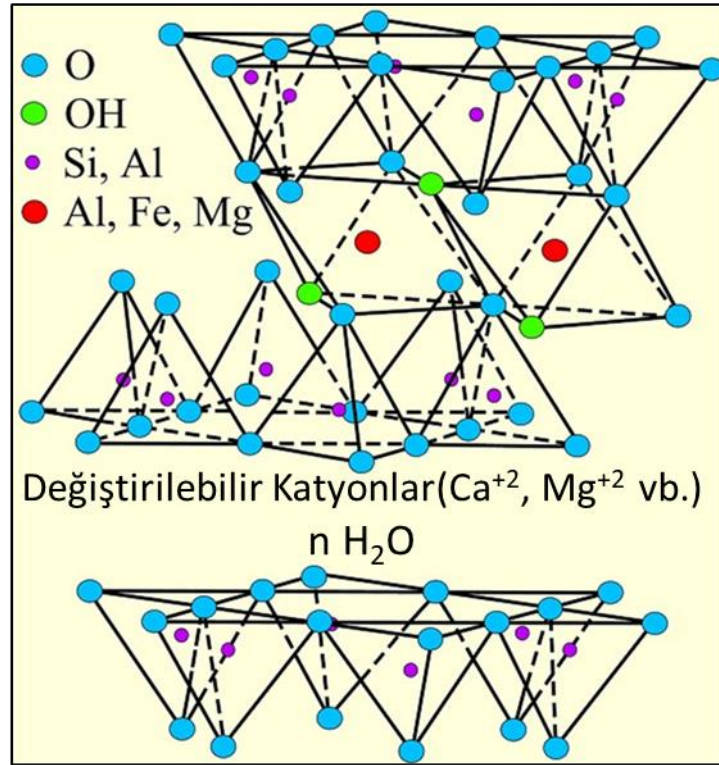


Şekil 4.2. KCl polimer çamurda K inhibisyonu (TPAO, 2006)

4.2. SİMEKTİT KİL GRUBU

Bu tez çalışmasında KCl polimer çamurunun performansı özellikle simektit kili içeren Germav (A-1 kuyusu) ve Kastel (B-1 kuyusu) formasyonlarında test edilmiştir.

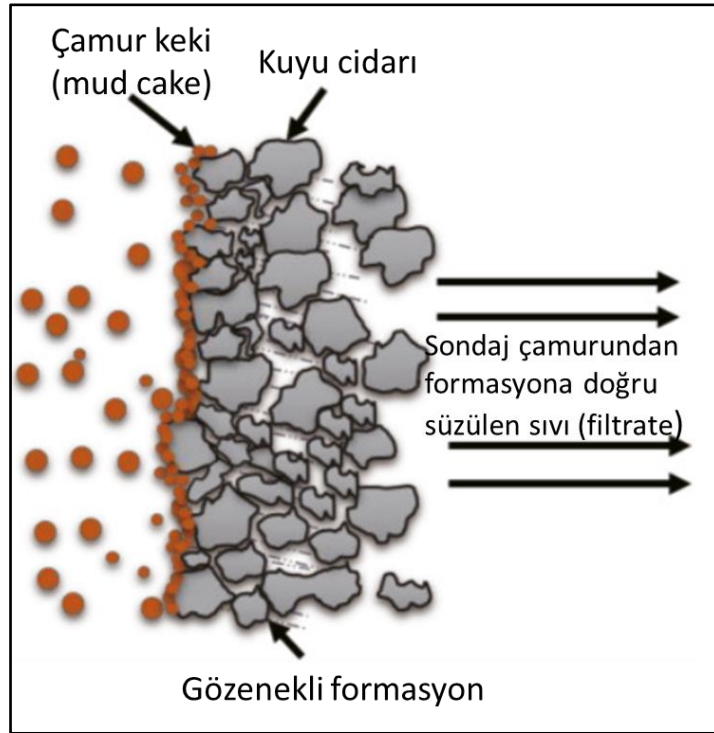
Simektit, şeylli formasyonlarda yaygın olarak rastlanan kil grubudur. Simektit, $(\text{Mg}, \text{Ca})\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, 3 katmanlı bir yapıya (1 Al octahedral ve 2 Si tetrahedral katmanı) sahiptir ve bu yapının bir arada olmasını sağlayan zayıf van der Waals çekim kuvvetleridir (Grim, 1962; Schulze, 2005; USGS, 2001). Şekil 4.3’de simektit kil grubunun yapı şeması gösterilmektedir.



Şekil 4.3. Simektit kil grubunun yapısal şeması (USGS, 2001)

Şeyllerde doğal olarak oluşan simektit killeri, hidrasyonla şişme ve koloidal dağılım özelliklerinden dolayı sondaj sırasında sorunlara ve çamur özelliklerinin kontrolünde problemlere neden olmaktadır. Şekil 4.3’de gösterildiği üzere katmanlar (tabakalar) arasındaki değiştirilebilir katyon (Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++}) kendinden daha fazla pozitif yüklü katyona maruz kaldığına kolaylık yapısında değişiklik olabilir (Anderson vd., 2010; Murray, 2007). Kazılan formasyonlardan ve/veya sondaj çamuru hazırlanmasında kullanılan su içeriğinden bu

katyonlar sisteme girebilir. Genel sondaj uygulamalarına bakıldığında sondaj çamuru hazırlanmasında kullanılacak su en yakın akarsu (göl, baraj, dere, nehir vb.) kaynağından geçici boru hattı ile sağlanır. Bunun için özellikle sondaj çamuru hazırlanmasında kullanılacak olan suyun katyon içeriği bilinmelidir ve gerekirse katyon miktarı çeşitli katkı malzemeleri ile düşürülmediler. Diğer bir taraftan simektit'in yüzeyi negatif yüklüdür ve pozitif yüklü su moleküllerine (H_2O) maruz kaldığında suyu adsorbe eder. Suyun kilin katmanları arasındaki boşluklara girmesi tabakaların genişlemesi neden olur. Kuyu cidarında iyi bir çamur keki oluşmaz ve sıvı kaybı kontrol edilemezse su formasyona (mud filtrate) (Şekil 4.4) kaçar ve şeylli formasyonların şişmesine yol açar. Bu nedenle çamur kekinin olabildiğince ince ve geçirimsiz olması istenir. Kısacası iyon değişimi ve su adsorbsiyonu killerin yapısını bozar, bu durum kuyu stabilite problemlerine (kuyu cidarında daralma ve/veya yıkıntıların oluşmasına), takım sıkışmasına ve sondaj verimliliğinin düşmesine neden olur.



Şekil 4.4. Kuyu cidarında çamur keki oluşma süreci (Davoodi vd., 2023a)

Özellikle KCl polimer çamurlar bu tür killi formasyonların (simektit) sondajında tavsiye edilmektedir. Bu nedenle bu tür killeri içeren formasyonlarda standart lignosülfanat sondaj çamuru yerine KCl polimer çamuru kullanılmalıdır. Bu tezde A-1 ve B-1 kuyularında simektit

Şekil 4.5-a'de görüldüğü üzere, düşük sıcaklıktaki polimer çözeltilerinin yapısı yüksek viskoziteye sahiptir bunun nedeni polimer yapısında çok sayıda su molekülünün hapsedilmesidir. Polimer çözeltisine tuz eklendiğinde (KCl gibi) (Şekil 4.5-b), sistemin viskozitesi optimum değerlere çekilebilir. Hatta bu durumda, sondaj akışkanının etkin viskozitesi, düşük (sıfıra yakın) kesme hızlarında (shear rate), Newtonian viskozitesi olarak ifade edilebilir. Kısacası polimerin özelliklerini (viskozite vb.) sıcaklık ve sistemdeki tuz iyonları etkiler (Davoodi vd., 2023a, 2023b). Bu koşullarda uygun oranda tuz seçimi ve kuyu sıcaklıklarının polimerin çalışma sıcaklığı için uygun olup olmadığı iyi bir şekilde anlaşılmalıdır.

Bugüne kadar ki en iyi su bazlı sondaj sıvısı kombinasyonu KCl / PHPA sondaj çamuru olmuştur. Potasyum klorür kullanmanın avantajı, yalnızca kristalin hidrasyon kuvvetini karşılayacak potasyuma sahip olması değil, aynı zamanda osmotik kuvvetleri dengeleyecek klorüre de sahip olmasıdır. Formasyonun simetit içeriği yaklaşık %15- 20'nin altında olduğu sürece %10 KCl çamurları çok iyi çalışır. KCl/polimer çamurları yalnızca yüksek düzeyde önleyici olmakla kalmaz, aynı zamanda formüle edilmesi ve çalıştırılması nispeten basittir ve birçok uygulama için iyidir. Potasyum klorürden potasyumun kullanımı şu nedenle en başarılı element olmuştur. Bu killerin, dış / taban tabakalarında, oksijen / silikon tetrahedra, tabaka katı olmayacak şekilde bir araya gelir, bunun yerine tabakadaki altıgen porları (gözenekleri) çevreleyen bir tetrahedra kafesi oluşturur. Hidratlı potasyum iyonları, bu porlara sığacak doğru boyuttadır, kilin orta tabakasıyla daha fazla birleşmelerine ve kilin taban yüzeyinde ortaya çıkan net yükü etkili bir şekilde nötralize etmelerine olanak tanır (Alikaya, 2001; Gucuyener vd., 2023; Kök & Alikaya, 2005).

Killeri su temasını azaltacak ve bu yolla hidrasyonu önleyecek bir şeyle kaplamaya çalışmak gerekir. Çeşitli polimerler oldukça uzun bir süredir kullanılmaktadır ve bunların kil hidrasyonunu ve kesinti dispersiyonunu azaltmada faydalı olduğu bulunmuştur. Şu anda bunların en iyisi PHPA'dır. PAC ve çeşitli nişasta ürünleri de bu konuda olumlu sonuçlar vermektedir (Ahmed vd., 2020; Guo vd., 2023). Bu polimerler aniyoniktir, yani negatif yükleri vardır ve kil parçacıklarının kırık kenarlarındaki pozitif bölgelere bağlanırlar. Bu rolde su ile rekabet ederler ve kilin hidrasyonunu azaltırlar. Yüzeyde bir dereceye kadar film oluşturup simetit killerinin hidrasyonunu geciktirebilseler de, en büyük miktarda hidrasyon ve şişmeden sorumlu kil üzerindeki bazal yükleri hiçbir şekilde karşılayamazlar. KCl polimer çamurda kullanılan bazı kimyasallar şöyledir (TPAO, 2007);

- *Nişastalar*: Doğal kaynaklardan elde edilen çeşitli ürünlerdir. Kalsiyum ve klorüre duyarlı, düşük sıcaklık stabilitesi, bakteri saldırısına karşı çok hassastır. Hem viskozite hem de filtrasyon için kullanılır.
- *CMC (Karboksimetil selüloz)*: Doğal selülozdan yapılmış modifiye edilmiş üründür. Tatlı su çamurlarında hem viskozite hem de filtrasyon için kullanılır. Kalsiyum ve klorüre duyarlıdır.
- *Pac (Polianyonik selüloz) LV*: CMC türevleri, tuza ve sertliğe karşı daha toleranslıdır. Viskozite ve filtrasyon kontrolü için kullanılır.
- *HEC (Noniyonik selüloz polimer)*: Sertlikten etkilenmez, esas olarak tamamlama işlerinde kullanılır.
- *XCD (Ksantan sakızı)*: Viskozite açısından mükemmeldir, filtrasyon kontrolü sağlamaz. Tuza ve sertliğe toleranslıdır. Jel yapısını geliştirecektir.
- *PHPA (Kısmen hidrolize poliakrilamid)*: Kil kapsülleme, viskozite ve filtrasyon kontrolü için kullanılır. Sertliğe karşı çok hassastır.

Genel olarak polimer çamurların klasik sondaj çamurlara (lignosülfanat çamurları vb.) göre avantajı ve dezavantajları Çizelge 4.1’deki gibi özetlenebilir.

Çizelge 4.1. Polimer çamurların klasik sondaj çamurlarına göre avantaj ve dezavantajları (Davoodi vd., 2023a; DF, 2020)

Avantajlar	Dezavantajlar
Büyük ölçekte inhibisyon sağlaması	Bazı polimerler bakterilerden etkilenir
Esneklik	Çalışma aralığındaki sıcaklık dışında özelliklerini kaybedebilir.
Lojistik	Daha (yaklaşık 3-4 kat) pahalıdır.
Formasyona daha az hasar verilir	Çamur hazırlama süreci daha uzundur ve dikkatli olunması gerekir.
Sondaj hızı artar	Standart çamurda çamur teknikeri yeterli iken polimer çamurlarda tecrübeli mühendis gerekir.
Optimum reolojik özellikler elde edilir.	Maliyetinden dolayı tekrar kullanmak için saklanması ve ekstra gayret gerektirebilir.
İyon kirlenmesine karşı dayanıklıdır	Ekstradan sondaj çamur deney setine K ⁺ iyon deneylerinin eklenmesi gerekmektedir.

BÖLÜM 5

5. SONDAJ AKIŞKANLARI DENEY MALZEME VE YÖNTEMLERİ

Sondaj çamurunun sondajda kesilen kesintilerin yüzeye taşınması, hidrolik gücün kuyu dibine iletilmesi, dizinin ve matkabın soğutulması gibi fonksiyonlarını etkin bir şekilde yerine getirebilmesi için sahip olması gereken özelliklerin belirlenmesi, bu özelliklerin düzenli olarak ölçülmesi ve korunması sondaj & sondaj akışkanları mühendisliğinin önemli konularından biridir. Sondaj çamurunun özelliklerinin belirlenmesi ile ilgili olarak TSE, API, ASTM, OCMA gibi kuruluşlar tarafından geliştirilmiş standart test yöntemleri vardır. Bu tez çalışmasında yer alan test yöntemleri, kullanılan ekipmanlar, deney yöntemleri ve kimyasal katkı malzemeleri API-13a ve API-13b standartlarına göre seçilmiş ve rapor edilmiştir (API-13a, 1993; API-13b, 2003; Bourgoyne vd., 1991; Bridges & Robinson, 2020; Mitchell & Miska, 2010) .

Sondaj çamurunun özellikleri esas olarak fiziksel ve kimyasal olmak üzere iki ana grupta toplanabilir. Bunlar; çamurun ağırlığı, akış özellikleri, filtrasyon ve katı-sıvı miktarları, tuzluluk, alkalinite, sertlik gibi özelliklerdir.

5.1. Fiziksel Test Yöntemleri

5.1.1. Ağırlık ölçümü

Sondaj çamuru katı ve sıvı olmak üzere iki fazdan oluşur. Katı faz formasyondan kesilen kesinti ve çamura verilen kimyasallardan, sıvı faz kullanılan su, petrol, motorin, köpük vb. sıvılardan oluşur. Sondaj çamurunun ağırlığı içerdiği katı-sıvı maddelerin ağırlıkları ile ilişkili olarak değişir. Çamur ağırlığı ya da çamur yoğunluğu, kuyuda karşılaşılabilecek formasyon basınçlarını dengeleyecek, hatta 200-300 psi fazla olacak şekilde seçilir. Sondaj sırasında istenilen durum çamurun uyguladığı hidrostatik basıncın (P_{hyd}), formasyon basıncından (P_{for}) biraz yüksek olmaktır. Eğer P_{hyd} değeri P_{for} değerinin altında kalırsa kuyuya formasyondan su, gaz, petrol vb. akışkan girişine sebep olur ve bu durum sondajda istenmeyen bir durumdur. Sondaj çamurunun ağırlığının aşırı yüksek seçilmesi Denklem 6.1’de görüldüğü üzere P_{hyd} değerinin aşırı artmasına neden olacak ve formasyon çatlamasına (P_{ff}) neden olabilir. Bu nedenlerden dolayı çamur ağırlığının dikkatli bir şekilde takip edilmesi ve gerekli görüldüğünden çamur ağırlığına müdahale edilmesi önem arz etmektedir. Çamur ağırlığı çamur terazisi (Şekil 5.1) ile ölçülür. Genellikle kuyudan dönen çamur örneği çamur ağırlık deneyi ve

diğer çamur testleri için elek altından alınır (Şekil 5.2). Çamur terazisinde libre/gallon (ppg), libre/feetküp (lb/ft³), gram/santimetreküp (gr/cm³), psi/1000 feet birimleri ile okumalar yapılabilir. Genel olarak bakıldığında sondaj çamur deneyleri zorlu saha koşullarında pratik ve hızlı sonuç elde edilmesi amacıyla basite indirgenmiştir.

$$P_{hyd} = 0,052\rho_m D \quad (6.1)$$

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



Şekil 5.1. Çamur terazisi



Şekil 5.2. Çamur ağırlık ölçümü ve diğer testler de kullanılan çamurun alındığı elek altı

Ağırlık ölçümü daha önce su ile 8,33 ppg (lb/gal) ya da 62,4 ppft³ (lb/ft³) ağırlıkta olacak şekilde kalibre edilmiş olan çamur terazisi ile ölçümü yapılır. Bu çalışmada kullanılan tüm çamur deney ekipmanlarının kalibrasyonu API standartlarına göre yapılmıştır. Ayrıca aralıklarla (5 deney setinde 1) deneyler tekrar edilerek sonuçlar karşılaştırılmış ve yakın sonuçlar elde edilmiştir. Ve bu şekilde deneylerin tekrarlanabilirliği ve güvenilirliği gösterilmiştir. Çamur ağırlık deneyi şu şekilde gerçekleştirilmektedir:

- Kuyudan gelen çamur elek altından (Şekil 5.2) numune kabı ile alınır.
- Çamur terazisinin çamur haznesinin kapağı (Şekil 5.1), haznede boşluk kalmayacak şekilde kapatılarak, destek yerine yerleştirilir. Kapak kapatılırken ortasındaki delikten bir miktar çamurun dışarı taşması haznenin iyice dolmuş olduğunu gösterir.
- Terazinin kolu üzerindeki ağırlık hareket ettirilerek denge sağlandıktan sonra istenilen birimlerin bulunduğu kadrandan okuma yapılır. Ağırlık üzerindeki su terazisinin ortalananmış olması dengenin sağlandığını belirtmektedir. Okunan değer bulunduğu birimde not edilir.

5.1.2. Marsh huni viskozite ölçümü

Saha uygulamalarında çamurun akış özelliklerindeki değişimi pratik bir şekilde çamur tankları üzerinde izlemek amacıyla kullanılan, ön görülen viskoziteyi belirleme yöntemidir. Huni içerisindeki belirli miktardaki çamurun akışı içinde geçen süreyi saniye (sn) olarak belirler. Saf suyun huni viskozitesi 26 sn/qt (946 ml)'dir. Huni viskozitesi çamurun akışkan özelliklerini tam anlamıyla karakterize etmez fakat hızlı bir veri sağlar. Huni viskozitesi sahada üst çapı 6 inç, uzunluğu 12 inç olan, Şekil 5.3'de görülen Marsh hunisi yardımıyla aşağıda belirtilen şekilde ölçülür. Huninin üst kısmının yarısı 10 mesh elek ile kapalıdır. Alt ucunda 2 inç uzunluğunda ve 3/16 inç çapında bir akış borusu vardır. Marsh huni viskozite deneyi şu şekilde yapılır:



Şekil 5.3. Marsh hunisi ve ölçüm kabı

- Temiz ve kuru Marsh hunisinin alt ucu parmakla kapatılıp dikey durumda tutularak huninin üzerindeki elekten, elek seviyesine kadar çamur doldurulur.
- Huninin altındaki delik açılarak çamurun 1 quart (qt) (946 ml)'lık ölçü kabını doldurması için geçen süre saniye (sn) olarak tespit edilir.
- Ölçülen değer sn/qt olarak, ölçülen çamurun sıcaklığı ile birlikte rapor edilir.

5.1.3. Sıvı kaybı test yöntemi

Çamur filtrasyon özellikleri, çamur içerisindeki katı maddelerin kuyu cidarında ince ve geçirgenliği düşük bir kek oluşturması bakımından önemlidir. Kekin yapısı, filtrasyon miktarı, çamur içerisindeki katı maddelerin cins ve miktarları ile ilgilidir. Katı maddenin fazla olması kek kalınlığını artırıp kuyu çapını daraltarak sondaj dizisinin çalışmasını zorlaştırabilir. Filtrasyon miktarı fazla olursa özellikle tatlı su esaslı çamurlarda filtrasyon formasyonu etkileyerek şişmesine ve kuyuda yıkıntılara sebep olabilir. Çamurlarda genel olarak, filtrasyon (Şekil 4.4) miktarının az (kekin düşük geçirimli olması) ve kekin ince ve sağlam olması beklenir. Sondaj sisteminde iki tür filtrasyonla karşılaşılmaktadır. Çamur hareket halindeyken oluşan filtrasyona “dinamik filtrasyon”, durgun halde iken oluşan filtrasyona “statik filtrasyon” denir. Çamurun dinamik filtrasyonunun ölçülmesi oldukça zor ve saha şartlarında imkansızdır. Bu tezde filtrasyondan bahsederken statik filtrasyon olduğu anlaşılmalıdır. Basınç, sıcaklık ve zaman filtrasyon miktarını ve kek oluşumunu etkileyen önemli etkenlerdir.



Şekil 5.4. API sıvı kaybı test kiti (Filter press)

Sıvı kaybı deneyleri, API filterpress olarak bilinir, 100 psi basınç altında, çamurun orijinal sıcaklığında 30 dakikadaki filtrasyon miktarı belirleyen cihaz ile ölçüm yapılır. Yüksek basınç ve sıcaklıklarda da filtrasyon miktarı ölçülebilir. HPHT (Yüksek basınç, yüksek sıcaklık) filterpress olarak adlandırılan cihaz ile bu değerin yanında tatbik edilen basınç ve sıcaklık değerleri belirlenebilir. Düşük basınç ve yüzey sıcaklıklarında API filtrasyon miktarını ölçmek için Şekil 5.4'te görülen, çamurun içerisine konulacağı silindirik bir kap, bu kaba basınç verebilecek bir kaynak ve filtrasyonun ölçüleceği ölçekten ibaret olan düzenek kullanılır.

Basınç kaynağı bir regülatör çamur haznesine bağlıdır. Çamur haznesinin alt kısmında çamurun süzulebileceği bir elek ve üzerinde 9 cm çapında (Watman No:50) filtre kağıdı vardır. Filtre kağıdının üzerinde ve bağlantılarda sızdırmazlık için contalar kullanılmaktadır. Sıvı kaybı deneyi şu şekilde yapılmıştır:

- Sırasıyla lastik conta, elek, filtre kâğıdı ve tekrar lastik conta olmak üzere yerleştirilmiş kapak hazneye uygun şekilde takılır.
- Çamur haznesi üstten ½ inç boş kalacak şekilde testi istenen çamurla doldurularak filtrasyon sehpasındaki yerine monte edilir.
- Çamur haznesinin kapağı sızdırmazlık contası ile birlikte hazneye monte edilerek sıkıştırılır.

- Çamur haznesinin altında, hareketli yatağa filtrasyonu almak için kuru, temiz ölçülü bir mezür konulur.
- Çamur haznesine, basınç kaynağından regülatör aracılığıyla 100 psi basınç verilerek test başlatılır.
- 30 dakika sonra basınç kaynağı kapatılıp çamur üzerindeki basınç tahliye edilerek test sonlandırılır. Ölçülü mezürde 30 dakikada toplanan filtrasyon 0,1 ml hassasiyetle okunup API Filtrasyon miktarı olarak kaydedilir.

Çamur haznesi açılıp boşaltıldıktan sonra filtre kâğıdı üzerindeki çamur keki (Şekil 5.5) ile birlikte çıkarılır. Kek basınçsız su ile yıkanıp temizlendikten sonra 1/32 inç hassasiyetle kalınlığı ölçülerek rapor edilir. Kekin fiziksel görünümü incelenerek sert, yumuşak, gözenekli gibi özellikler belirlenir. Kaliteli bir çamur keki ince olmalı, kırılgan olmamalı ve filtrat kâğıdı büküldüğünde çatlamalar olmamalıdır.



Şekil 5.5. API sıvı kaybı deneyi sonrası filtre kâğıdı üzerindeki çamur keki

5.1.4. Reoloji test yöntemi

Akış özellikleri, akışkanların fiziksel özellikleri olup başlıca viskozite, yield point (akma noktası) ve jel mukavemeti değerleridir. Çamurun akış özellikleri, başarılı sondaj operasyonları için çok önemlidir. Sirkülasyon sisteminin değişik yerlerinde, değişik basınç ve sıcaklıklarda çamurun akış özellikleri farklı olur. Sondaj çamurlarının akış özelliklerinin uygun şekilde kontrol edilmesi, yeterli kuyu temizliği, kesintilerin uygun hızda taşınması, sirkülasyon durdurulduğunda çamur içerisindeki katı maddelerin askıda tutulabilmesi ve sirkülasyon, swap

(sondaj dizisinin hızlı şekilde çekilmesiyle oluşan etki) ve surge (sondaj dizisinin hızlı şekilde inişi ile oluşan etki) basınçlarının uygun değerlerde tutulabilmesi için gerekli ve önemlidir.

5.1.4.1. Plastik viskozite ve yield point

Plastik viskozite (PV) ve yield point (akma noktası-YP), sirkülasyon sistemindeki akışkanın Bingham Plastik modele göre belirlenen değerlerdir. Plastik viskozite (PV), çamur içerisindeki mekanik sürtünmelerden dolayı akışa karşı meydana gelen bir dirençtir. Bu mekanik sürtünmeler, çamur içerisindeki katı maddelerin kendi aralarında, katı maddeler ile sıvılar arasında veya sıvıların kendi aralarında meydana gelebilir. Bir çamurun içerisindeki katı maddelerin cinslerine ve miktarlarına bağlı olarak plastik viskozitesi belirlenemez, ancak belirli aralıklarda olması belirlenebilir. Çamur içerisindeki katı maddelerin boyutlarının küçülerek yüzey alanlarının artması plastik viskozite değerinin artmasına neden olur. Sondaj sırasında kesilen parçacıkların öğütülmeden sistemden atılması bu bakımdan önemlidir.

Yield point (YP), çamur içerisindeki elektrokimyasal ve çekim kuvvetlerinden dolayı akmaya karşı gösterdikleri dirençtir. Bu kuvvetler çamur içerisindeki parçacıkların yüzeylerinin negatif veya pozitif yüklü olmalarından kaynaklanmaktadır. Çamur içerisindeki bu kuvvetlerin ölçüsü olan yield point değeri, çamur içerisindeki katı madde miktarına, bunların yüzey özelliklerine, sıvı fazın içerisindeki iyonların tipine ve miktarlarına bağlıdır.

5.1.4.2. Akış davranış indeksi, konsistensi indeksi

Akış davranış indeksi (n) ve konsistensi indeksi (k) sirkülasyon sistemindeki akışkanın akış özelliklerini Power modeline göre belirleyen değerler olup Bingham modeldeki PV ve YP değerlerine karşılıktır. Belirli kayma hızlarına karşılık elde edilen değerlerden hesaplanmaktadır. Akış davranış indeksi (n), akışkanın Newtonien modelden sapma derecesini göstermektedir. $n=1$ olduğunda akışın Newtonien modele uygun olduğunu göstermektedir. n değeri birden küçük ise yüksek kayma hızlarında etkin viskozite azalmaktadır. Konsistensi indeksi (k), akışkanın pompalanabilirlik derecesini gösteren bir değerdir. Viskozite arttıkça, konsistensi indeksi de artar ve pompalanabilirlik güçleşir.

5.1.4.3. Jel mukavemeti

Jel mukavemeti (jelleşme), çamurun tiksotropik bir özelliğidir. Akışın olmadığı, statik durumda akışkanın içerisindeki partiküller arasındaki çekim kuvvetinin bir ölçüsüdür. Yield point (YP) akış halindeki akışkanların özelliği olup jel mukavemeti ile karıştırılmamalıdır.

Ancak YP azaldıkça jel mukavemetinin de azaldığı bilinmelidir. Jel mukavemeti akışın başladığı anda ve belirli süre sonundaki olmak üzere iki değer olarak belirtilir. Zayıf ve kuvvetli olmak üzere iki tip jel mukavemeti vardır, zayıf jel zamanla artmaz ve kolaylıkla kırılabilir. Özellikle çamur sirkülasyonun durduğu durumlarda kesintileri kuyu içinde belirli bir süre askıda tutulması jel mukavemetine bağlıdır. Ancak jel mukavemetinin aşırı artması pompajda sıkıntılar yaratabilir.

- Döner viskometer 10 saniye 600 rpm’de çalıştırılarak çamurun karışması sağlanır.
- Karıştırma işlemi durdurulup 10 sn beklendikten hemen sonra döner viskometrenin rotoru 3 rpm’de çalıştırılırken kadranda yapılan en yüksek okuma başlangıç jel mukavemeti olarak tespit edilir.
- 600 rpm’de 10 sn karıştırıp 10 dk beklendikten hemen sonra rotor düşük devirle çalıştırılırken kadranda yapılan en yüksek okuma 10 dakikalık jel mukavemeti olarak tespit edilir.

5.1.4.4. Reolojik özellik deneyleri

Akış özelliklerinin tespit edilmesi için döner viskometreler (Şekil 5.6) kullanılmaktadır. Döner viskometreler çamur içerisine batırılan, belirli devirlerde döndürülebilen bir silindir (rotor) ile rotor içerisinde yer alan, meydana gelen torku kadrana iletebilecek bir yaya bağlı silindirden (bob) ibarettir. Değişik kayma hızlarının bu hızlara karşılık gelen Şekil 5.6’te görünen viskometre de rotorun dönmesiyle hareketlenen akışkan bob üzerinde bir tork yaratır. Yaratılan bu tork bir yay ile kadrana iletilir. Rotorun dönme hızı ve okunan değerler kullanılarak Bingham Plastik modeline uygun akış özellikleri tespit edilir. Sahada kullanılan tipleri genellikle 6 devirli olup farklı modellerde vardır. Değişik sıcaklıklarda akış özelliklerinin tespiti için viskometredeki çamur, özel ısıtma ceketini ile ısıtılır. Her durumda rapor edilen değerlerin hangi sıcaklıklarda olduğu belirtilmelidir. Döner viskometrelerde okumalar şu şekilde yapılır:

- Uygun şekilde karıştırılarak homojen duruma gelmiş veya kuyudan alınmış Marsh hunisinin eleğinden geçirilmiş olan çamur, viskometrenin özel kabına işaretli seviyeye kadar doldurulur. Çamurun üzerine yerleştirildiği viskometrenin tablası yükseltilerek rotorun tamamen çamur içerisine girmiş olması sağlanır.
- Rotor 600 rpm’de döndürülür. Kadradaki ibre sabit duruma geldiğinde okuma yapılır. Bu okuma yüksek devirdeki okuma olarak da adlandırılır.
- 600 rpm okuması yapıldıktan hemen sonra rotor 300 rpm ile döndürülür ve kadradaki ibre sabit duruma geldiğinde okuma yapılır. Viskometre çok devirli ise takiben aynı

şekilde 200, 100, 6 ve 3 rpm okumaları yapılır. İki devirli döner viskometrede 300 rpm, çok devirli döner viskometrede 3 rpm düşük devirdeki okuma olarak adlandırılır.



Şekil 5.6. Döner viskometre

Yapılan bu okumalar kullanılarak Bingham Plastik modeline (Şekil 5.7) uygun akış özellikleri aşağıda belirtilen şekilde hesaplanır. Sondaj akışkanları çoğunlukla Bingham Plastik Modeline uygun akış göstermektedir (Rehm vd., 2012). Bu modele uyan akışkanlarda deformasyon ancak kopma gerilmesi (Yield Point-YP) yenildikten sonra başlar. Viskometredeki okumalar θ değeri olarak farklı rpm'lerde ölçülür. Daha sonra Denklem 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, ve 6.6'daki formüller kullanılarak akışkanın reolojik özellikleri hesaplanır.

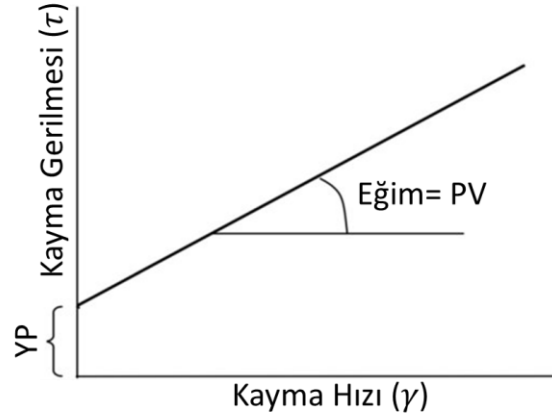
$$\text{Görünür Viskozite (AV)} = \theta_{600}/2 \quad (6.2)$$

$$\text{Plastik Viskozite (PV)} = \theta_{600} - \theta_{300} \quad (6.3)$$

$$\text{Yield Point (YP)} = \theta_{300} - PV \quad (6.4)$$

$$\text{Akış Davranış İndeksi (n)} = 3,32 \log \left(\theta_{600} / \theta_{300} \right) \quad (6.5)$$

$$\text{Konsistensi İndeksi (k)} = \theta_{600} / 1022^n \quad (6.6)$$



Şekil 5.7. Bingham Plastik Akış Modeli

5.1.5. Kum miktarı test yöntemi

Çamurun içerisindeki kum miktarı, çamurun akış özelliklerini kötüleştirmesinin yanında, çamur pompalarının ve diğer sirkülasyon sisteminin elemanlarının (Şekil 3.1) aşınmasına sebep olan önemli bir etkidir. Belirli miktardaki çamurun 200 mesh (74 mikron) elekten elenip, elek üstünde kalan miktarın ölçülmesiyle belirlenir. Kum miktarı deneyi Şekil 5.8’de görülen alt kısmında 200 mesh elek bulunan 500 ml’lik bir yıkama kabı ve kumun içerisinde toplanacağı ölçülü bir tüp ile yapılır.

Kum miktarı tayin testi şu şekilde yapılmaktadır:

- Ölçülü cam tüp belirtilen seviyeye kadar testi istenen çamur ile doldurulur. Çamur konulduktan sonra işaretli ikinci seviyeye kadar su ilave edilerek iyice karıştırılır.
- Karışım 200 mesh elekten süzülür. Cam tüpün içerisinde katı madde kalmayacak şekilde temizlenip elekten süzülmesine özen gösterilmelidir.
- Elek üstünde kalan katı maddeler yıkama kabının tersinde yıkanarak tekrar test tüpüne alınır. Gerektiğinde bu işlem birkaç kez tekrarlanarak katı maddelerin tamamen çökmesi sağlanır. Bu durumda tüpteki sıvı berrak görünümde olmalıdır.
- Cam tüpte çökelen katı madde miktarı yüzde olarak okunur ve rapor edilir.



Şekil 5.8. Kum miktarı ölçme seti

Kum miktarının % 1'in altında olması gerekmektedir. Bu değerin üstündeki durumlar çamur pompasında aşınmalara, çeşitli boru bağlantılarının aşınmasına ve kontrol çamur ağırlığı artışlarına neden olabilmektedir.

5.2. Kimyasal Test Yöntemleri

Kimyasal test, çamurun ve formasyona kaçan çamur filtratının kimyasal özelliklerini deneysel olarak araştırılmasını hedeflemektedir. Ayrıca formasyondan gelen kesintilerin kimyasal etkisi bu standart deneylerle incelenmektedir.

5.2.1. Çamurun fenolftelyn alkalinitesi (p_m)

Temel olarak P_m değeri, çamurun pH değerini 8.3'e azaltmak için gerekli asit miktarı olarak ifade edilebilir. Özellikler çamur içerisindeki çözünmüş ve çözünmemiş bazik (kireç gib) malzemeleri ve tuzların etkisini ifade eder. Bu tezde P_m örnek bir deneyindeki renk değişimleri Şekil 5.9'de verilmektedir. Deney prosedürü de şu şekildedir:

- Test kasesine 1 ml çamur alınır.
- 25 ml saf su eklenir.

- 2 ml fenolftelyn ($C_{20}H_{14}O_4$) damlatılır.
- Renk pembeye döner.
- Karışımın rengi sülfürik asit (H_2SO_4) ile ilk haline getirilir.
- 0,02 N'lik sülfürik asit kullanılır.
- Renk dönüşümü sağlanınca kullanılan sülfürik asit miktarı (P_m) ml cinsinden not edilir.



Şekil 5.9. Çamurun fenolftelyn ile renk değişimi

5.2.2. Filtratın fenolftelyn alkanitesi (P_f)

P_f değeri çamur filtratının alkalinite durumunu ifade eder. P_f değeri sadece çözülmüş bazik malzemeleri ve tuzları içerir. Filter press deneyinin sonucunda (Şekil 5.4) dereceli silindirde elde edilen filtrate formasyona kaçan sıvıyı temsil eder. Şekil 5.10'da bu tezde yapılan P_f deneylerinin birinde elde edilen renk değişimlerine yer verilmektedir. Filtratın formasyon ile reaktivitesini ölçmek için P_f deneyleri şu şekilde gerçekleştirilmektedir:

- Test kasesine 1 ml filtrat (süzüntü) alınır.
- 2 ml fenolftelyn ($C_{20}H_{14}O_4$) eklenir. Renk pembeye döner.
- Dönmez ise P_f değeri 0 olarak yazılır.
- Renk pembe olunca 0,02 N'lik sülfürik asit (H_2SO_4) verilir.
- Renk ilk haline dönene kadar ilave edilir.
- Bu işlem yavaş yapılmalıdır.
- Verilen asit miktarı (P_f) ml cinsinden not edilir.



Şekil 5.10. Filtratın fenolftelyn ile renk değişimi

5.2.3. Filtratın metil oranj alkanitesi (m_f)

M_f değeri filtrat içerisindeki toplam hidroksil (OH^-) iyonu gibi iyonların miktarını ifade eder. Bu test şu şekilde gerçekleştirilmektedir (Şekil 5.11):

- M_f testi P_f testi üstüne yapılır.
- P_f 'den kalan karışıma 3 ml metil oranj eklenir.
- Renk turuncuda kırmızıya dönene kadar 0,02 N'lik sülfürik asit (H_2SO_4) verilir.
- Renk dönüşümü sağlanırken pH'ın 4-5 arası olmalıdır.
- Dönüşüm sağlandığı miktar okunur.
- Okunan miktar P_f ile M_f 'de kullanılan asit miktarı ml cinsinden not edilir.



Şekil 5.11. Filtratın metil oranj ile renk değişimi

5.2.4. Klor tayini (Cl^-)

Filtratın içerdği Cl^- iyonu miktarı formasyon ile etkileşimlerini etkilen bir parametredir. Bu tez çalışmasında yapılan Cl tayin deneyi Şekil 5.12’de örnek olarak gösterilmektedir.



Şekil 5.12. Filtratın potasyum kromat ve gümüş nitrat ile renk değişimi

Cl tayini deneyi şu prosedüre uygun bir şekilde yapılmaktadır:

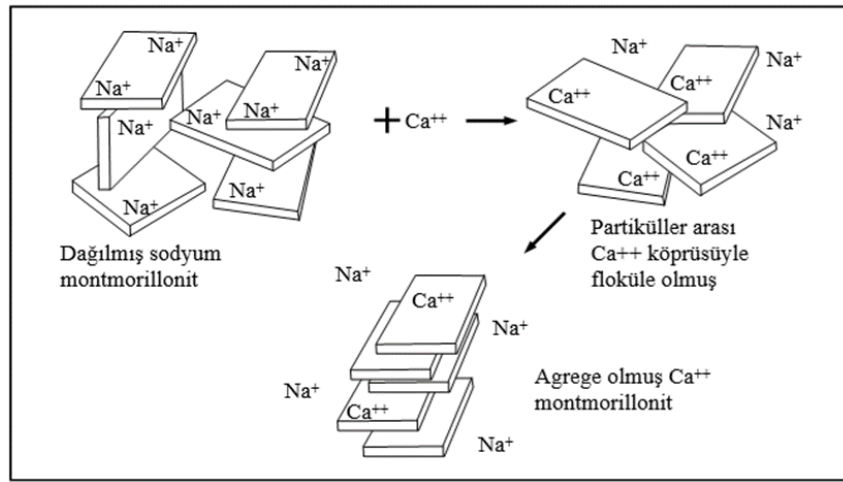
- Cl^- testi M_f testi üzerine devam edilir.
- 25 ml saf su ilave edilir.
- 10 ml potasyum kromat (K_2CrO_4) eklenir.
- Renk sarıdan kırmızıya dönene kadar gümüş nitrat eklenir.
- Kullanılan gümüş nitrat (AgNO_3) 0,282 N’lik ise 10.000 ile çarpılır.
- Kullanılan gümüş nitrat 0,0282 N’lik ise 1000 ile çarpılır.
- Kullanılan gümüş nitrat miktarı sabiti ile çarpılır not edilir.

5.2.5. Kalsiyum (Ca^{++}) sertliği tayini

Türkiye’nin Güney Doğu Anadolu Bölgesinde kalsiyum içeren formasyonlar (örneğin kireçtaşı- CaCO_3) yaygın olarak kazılmaktadır. Bu nedenle çamurun stabilitesine bozan (viskozite artışı & sıvı kaybı artışı gibi) kalsiyum kirlenmesi (Şekil 5.13) yaygın olarak görülmektedir. Ca^{++} sertliği tayini API standartlarına göre bu tezde şu yöntemle yapılmıştır (Şekil 5.14):

- Test kasesine 25 ml saf su alınır.

- 1 N'lik de olan 3 ml sodyum hidroksit (NaOH) eklenir.
- Çay kaşığının ucu kadar calver tozu eklenir.
- Karışımın renginde pembelik varsa bir damla versanat eklenir.
- 1 ml filtrat eklenir.
- Renk havai maviden pembeye döner.
- Renk tekrar havai maviye dönene kadar versanat verilir.
- Versanat 20 epm (Milyon başına eş değer-equivalents-per-million) ise 400 ile 2 epm ise 40 ile çarpılır.



Şekil 5.13. Ca⁺⁺ iyonun bentonit (montmorillonit) üzerindeki etkisi (TPAO, 2007)



Şekil 5.14. Sodyum hidroksit, saf su, calver tozu ile yapılan karışımın renk değişimi.

5.2.6. Metilen mavisi testi (mbt)

Çamurun içerdiği kil ve bentonit miktarı bu test ile takip edilir. Bu tez için yapılan MBT testlerinden bir kesit Şekil 5.15 gösterilmektedir. Bu deneyler şu prosedüre göre yapılmıştır:

- Erlenmeyere 2 ml çamur alınır ve 10 ml saf su eklenir.
- 5 N'lık 0.5 ml sülfürik asit (H_2SO_4) eklenir. Daha sonra 15 ml hidrojen peroksit (H_2O_2) eklenir.
- Karışım kısık ısı ayarında ocakta kaynatılır.
- Kaynaktıktan sonra kaldırılır. Karışım saf su ile 50 ml'ye tamamlanır.
- Karışım soğuduktan sonra 1 ml'den başlayarak metilen mavisi ($C_{16}H_{18}ClN_3S$) verilir.
- Her ilaveden sonra pipetle karışım alınır.
- Filtrat kağıdına karışım damlatılır koyu halkanın etrafında açık mavi renk oluşuncaya kadar bu işlem devam eder.
- Renk oluşuncaya kadar kullanılan metilen mavi miktarı ml cinsinden not edilir. Denklem 6.7 kullanılarak metilen mavi kapasitesi hesaplanır.
- Denklem 6.8 ile de sondaj çamuru içerisindeki bentonit miktarı (MBT değeri) hesaplanabilir.

$$\text{Metilen mavi kapasitesi} = \frac{\text{Metilen Mavi Miktarı, ml}}{\text{Kullanılan Sondaj Çamuru Miktarı, ml}} \quad (6.7)$$

$$\text{Bentonit, lb/bbl} = 5 \times (\text{Metilen mavi kapasitesi}) \quad (6.8)$$



Şekil 5.15. Metilen mavisi ile renk değişimi

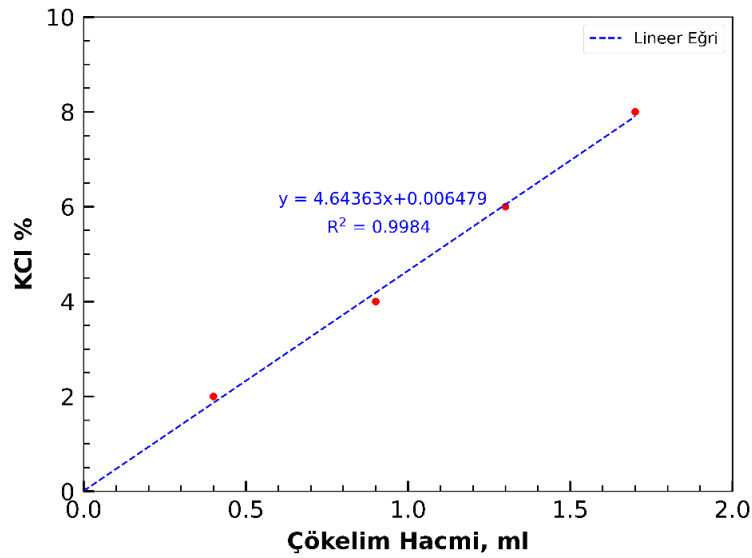
5.2.7. Potasyum (K⁺) miktarı tayini

Potasyum kaynaklı (K⁺) iyonik inhibisyonu tespit etmek için potasyum miktar tayini aşağıdaki adımlar izlenir (Steiger, 1982):

- Teste kullanılan potasyum santrifüjünün (Şekil 5.16) kalibrasyonu her lokasyonda tekrar yapılmalıdır. Bunun için öncelikle KCl grafiği oluşturulmalıdır.
- Santrifüjde bulunan iki tüpten birine 10 ml su eklenir. Yerine yerleştirilir.
- İlk testte ikinci tüpe 6 ml saf su, 1 ml %14'lük KCl çözeltisi eklenir. Bu karışımın üstüne 3 ml sodyum perklorat (NaClO₄) eklenir ve 60 sn 1800 rpm'de döndürülür. Çökelen potasyum miktarı not edilir.
- İkinci testte tüpe 5 ml saf su, 2 ml % 14'lük KCl çözeltisi eklenir. Bu karışımın üstüne 3 ml sodyum perklorat (NaClO₄) eklenir ve 60 sn 1800 rpm'de döndürülür. Çökelen potasyum miktarı not edilir.
- Üçüncü testte tüpe 4 ml saf su, 3 ml % 14'lük KCl çözeltisi eklenir. Bu karışımın üstüne 3 ml sodyum perklorat eklenir ve 60 sn 1800 rpm'de döndürülür. Çökelen potasyum miktarı not edilir.
- Dördüncü testte tüpe 3 ml saf su, 4 ml % 14'lük KCl çözeltisi eklenir. Bu karışımın üstüne 3 ml sodyum perklorat (NaClO₄) eklenir ve 60 sn 1800 rpm'de döndürülür. Çökelen potasyum miktarı not edilir.
- Beşinci testte tüpe 2 ml saf su, 5 ml % 14'lük KCl çözeltisi eklenir. Bu karışımın üstüne 3 ml sodyum perklorat (NaClO₄) eklenir ve 60 sn 1800 rpm'de döndürülür. Çökelen potasyum miktarı not edilir.
- Altıncı testte tüpe 1 ml saf su, 6 ml % 14'lük KCl çözeltisi eklenir. Bu karışımın üstüne 3 ml sodyum perklorat eklenir ve 60 sn 1800 rpm'de döndürülür. Çökelen potasyum miktarı not edilir.
- Not edilen çökelim miktarları ile kullanılan % 14'lük KCl çözeltisi kullanılarak KCl grafiği hazırlanır (Şekil 5.17). Grafikteki formül her testte kullanılır.
- Tüpe 3,5 ml çamur filtratı ile 3,5 ml saf su eklenir. Karışıma 3 ml sodyum perklorat eklenir ve 60 sn 1800 rpm'de döndürülür. Çökelen potasyum miktarı (hacmi) not edilir.
- Çökelim miktarı grafikteki formüldeki (Şekil 5.17) eğime yazılarak yüzde (ağırlık) K⁺ oranı hesaplanır.



Şekil 5.16. K^+ iyon miktarı tayin deneyleri sırasında çekilen görseller



Şekil 5.17. Bu çalışma için oluşturulan standart KCl-Çökeltim hacmi grafiği

5.3. Kullanılan Kimyasal Malzemeler Ve Özellikleri

Bu kısımda sondaj çamuru hazırlanmasında kullanılan kimyasal malzemelere ve özelliklerine kısaca yer verilmektedir. Bu çalışmada KCl polimer çamurun hazırlanmasında kullanılan katkı malzemeleri (API-13a, 1993) standartlarındadır. KCl polimer çamur hazırlanmasında kullanılan başlıca katkı malzemeleri şunlardır:

- **KCl:** Kil mineralleri üzerinde iyonik inhibisyon sağlaması için potasyum klorür (KCl) tuzu (Şekil 5.18) stabilite sorunu yaşanan aktif killi kayalarda KCl-Polimer çamurda

başarılı bir şekilde kullanılır. 1000 kg'lık bigbag (bb) çuvallarında muhafaza edilir. Fazla kilogramlarda kullanıldığı için çamur ağırlığında etkilidir.



Şekil 5.18. KCl örneği

- **NaCl:** Sofra tuzu olarakta bilinen sodyum klorür (NaCl) (Şekil 5.19) hem inhibisyon sağlamakta hem de ağırlık malzemesi olarak kullanılmaktadır. Uygun fiyatlı olmasından ve çok amaçlı olmasından dolayı sondaj çamurunun tuza doygunluğunu NaCl ile sağlanır.



Şekil 5.19. NaCl örneği

- **Modifiye Nişasta:** En sık kullanılan sıvı kaybı malzemesidir. Modifiye edilmesi ile nişastanın (Şekil 5.20) sudaki çözünürlüğü artırılmış, viskozitesi azaltılmıştır.



Şekil 5.20. Modifiye Nişasta örneği

- **XCD:** Ksantan sakızı (XCD) (Şekil 5.21) çok iyi viskozite yapıcı malzemedir. Başka herhangi bir özellik için kullanılmaz. Belirli sertlik değerlerine karşı duyarlıdır. Jelleşmeyi kontrol eder.



Şekil 5.21. XCD örneği

- **CaCO₃ ince:** Kalsiyum karbonat (CaCO₃) ince (Şekil 5.22), kek yapısı desteklemesi ağırlık malzemesi olması ve sıvı kaybı önlemesine adı çok amaçlı bir malzemedir. 1000 kg'lık bigbag (bb) çuvallarında muhafaza edilir.



Şekil 5.22. CaCO_3 örneği

- **Pac LV:** Polianyonik selüloz-Düşük Viskoziteli (Pac LV) (Şekil 5.23), sıvı kaybı için kullanılır. Bununla beraber viskozite yapıcı etkileri vardır. Pac HV (Yüksek Viskoziteli) türevi yüksek viskozite değerleri de sağlayabilir.



Şekil 5.23. Pac LV örneği

- **Soda Külü:** Sodyum karbonat (Na_2CO_3) (Şekil 5.24), sondaj çamuru hazırlanmasında kullanılan sudaki (sondaj çamurunda kullanılan su lokasyona en yakın su kaynağından elde edilmektedir) ve kesilen formasyonda karbonatlı kayalardan kaynaklı kalsiyum (Ca^{++}) kirliliğini önlemek amaçlı kullanılır.



Şekil 5.24. Soda Külü örneği

- **Kostik Soda:** Kostik Soda (NaOH) havadaki nemle kolay reaksiyona girerek ısı çıkmasına neden olur. Şekil 5.25 kostik soda örneği gösterilmektedir. Kostik soda, sondaj çamurunun pH'nı korumak veya arttırmak için kullanılır. Kostik soda ile pH'nın arttırılması, deniz suyu gibi yüksek sertlikteki sularda magnezyumun (Mg^{++}) çökmesine ve kalsiyumun (Ca^{++}) baskılanmasına neden olur, korozyonu azaltır ve karbondioksit (CO_2) ve hidrojen sülfür (H_2S) gibi asit gazlarını nötralize eder.



Şekil 5.25. Kostik Soda örneği

5.4. KCl Polimer Çamur Hazırlama Süreci

KCl polimer çamurların hazırlanması klasik lignosülfanat çamurlarına göre daha karmaşıktır ve hazırlanma sürecinde hassas olmak gerekmektedir. Bu nedenle Türkiye'deki uygulamalarda standart lignosülfanat çamur ile yapılan sondajlarda sadece sondaj çamuru

teknikeri sahada bulunurken KCl polimer çamurla yapılan sondajlar sırasında sondaj akışkanları mühendisleri sahada kuyubaşında çalışır. Bu tezde çalışılan kuyularda (A-1 ve B-1) kullanılan KCl polimer çamuru aşağıdaki prosedüre göre hazırlanmıştır:

- Hopper tankına kullanılacak kimyasalların yaratacağı artış miktarı göz önüne alınarak su alınmalıdır. MR8000 kulelerinin tank sisteminde bulunan hopper tankı genellikle 320 bbl'dir. Örnek çamur hazırlığında 300 bbl baz alınmaktadır.
- Kullanılan suyu sertliği gidermek için 0,5 ppb (lb/bbl)'luk soda külü 68 kg kullanılır.
- Alkali değerleri sağlamak için 0,35 ppb'luk kostik 48 kg kullanılır.
- İyonik inhibisyon ve ağırlık kontrolü için KCl ve NaCl tuzları verilir. 33,3 ppb'luk KCl tuzundan 4540 kg kullanılır. 66 ppb'luk NaCl tuzundan 9000 kg kullanılır.
- Reolojik özellikleri sağlaması adına 4 ppb'luk Pac LV 545 kg, 0,75 ppb'luk XCD 102 kg kullanılır. Polimerler suya ilavelerinde topaklaşma yaptığı her bir torba 20 dakikalık sürelerde ilave edilir.
- Bu aşamalardan sonra yapılan çamurun iyice karışması ve homojen bir yapı oluşturması için çamur tanklarındaki jetleme etkisi yaratan tabanca hatları ile çamur iyice karıştırılır.
- Homojen hale gelen çamurun ağırlık ölçümü yapılır. İstenilen değerin altında ise ağırlık malzemeleri kullanır.
- Hidrostatik basınçları dengelemek için ağırlık malzemesi olarak 15 ppb'luk CaCO_3 ince 2045 kg, 5 ppb'luk barit 680 kg kullanılır.
- Sistem çamuru tek seferlik kullanılmak üzere sirkülasyon sistemindeki dizi malzemelerini, tankları, pompa sarf malzemelerini tuzdan kaynaklı oluşacak korozyonu önlemek için korozyon önleyici 55 gal/drum (bidon) kullanılır.

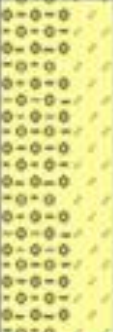
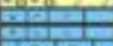
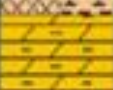
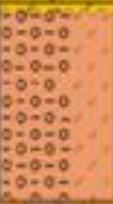
BÖLÜM 6

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu tezin inceleme alanı olan Batman ve Diyarbakır çevresindeki A sahasından A-1 kuyusu ve B sahasından B-1 kuyusunda gerçekleştirilmiştir. Özellikle kuyu ölçekli sistemlerde yapılan sondaj deneyleri küçük ölçekli laboratuvarlarda yapılan varsayımsal deneylere göre daha gerçekçi sonuçlar içermektedir. A ve B bölgesinin genel litolojik özellikleri ve formasyon yapısı sırasıyla Çizelge 6.1 & Çizelge 6.2 & Şekil 6.1 ve Çizelge 6.3 & Çizelge 6.4 & Şekil 6.2’de belirtilmiştir. Bu çizelgeler değerlendirildiğinde şeyli ve killi formasyonların sondajının kaçınılmaz olduğu ve uygun sondaj çamuru tasarımının bu tür formasyonların sondajında kullanılması gerekmektedir. Batman ve Diyarbakır civarında yer alan A ve B bölgelerinin yaygın olarak gözlemlenen sondaj problemlerinin (örneğin, vibrasyon, tork, kaçak, takım sıkışması, matkap sarması, takım oturması, sapma vb.) varlığı görülmektedir.

Çizelge 6.1. A bölgesinde formasyona göre yaşanan muhtemel problemler (TPAO, 2017)

Formasyon	Litoloji	Tahmini Derinlik Aralığı, m	Muhtemel Problemler
Şelmo	Çakıltaş, kumtaş, şeyl	0-500 0-700	Vibrasyon, tork
Germik	Jips	700-1000 700-1200	Kaçak takım sıkışması, vibrasyon
Hoya	Kireçtaş	1200-1400	Kaçak
Gerçüş	Çakıltaş, kumtaş, şeyl	1400-1800	Ağırlık alma (AA), matkap sarma
Üst Sinan	Dolomit, kireçtaş, şeyl	1800-2100	Oturma, kaçak, ağırlık alma
Alt Sinan	Dolomit, kireçtaş	2100-2200	Ağırlık alma, oturma, takım kopması
Germav	Şeyl	2200-2700	Oturma, ağırlık alama, stabilite, yıkıntı, takım sıkışması, tork, sapma
Garzan	Killi kireçtaş	2700-2800	Ağırlık alma

YAŞ	FORMASYON	LİTOLOJİ	KALINLIK	DERİNLİK	AÇIKLAMALAR
MİYOSEN	ŞELMO		760		ŞEYL, ÇAKILTAŞI, KUMTAŞI
	FIRAT		50	760	KİREÇTAŞI, BİOKLASTİK KİREÇTAŞI
	GERMİK		440	810	ÇAKILTAŞI, KİLTAKI, KİREÇTAŞI, JİPS
EOSEN	HOYA		220	1250	KİREÇTAŞI, BİOKLASTİK KİREÇTAŞI
PALEOSEN	GERCÜŞ+ANTAK		390	1470	ŞEYL, ÇAKILTAŞI, KUMTAŞI
	Ü. SİNAN		270	1860	BİOKLASTİK KİREÇTAŞI
	GERMAV		580	2130	MARN
KRETASE	GARZAN		170	2710	ŞEYL
	KIRADAS		10	2880	BİOKLASTİK KİREÇTAŞI
	BELONA		309	2890	ŞEYL, KUMTAŞI
S.D:2920 +/- 100 m.					BİOKLASTİK KİREÇTAŞI

Şekil 6.1. A bölgesine ait formasyon litolojik kesitler (TPAO, 2017)

Çizelge 6.2. A Bölgesinde A-1 kuyusundaki litoloji verileri

Formasyon	Derinlik Aralığı, m
Şelmo	0-450 m
Germik	450-980 m
Hoya	980-1102 m
Gercüş	1102-1308 m
Üst Sinan	1308-1446 m
Alt Sinan	1446-2100 m
Germav	2100-2154 m
Garzan	2154-2209 m

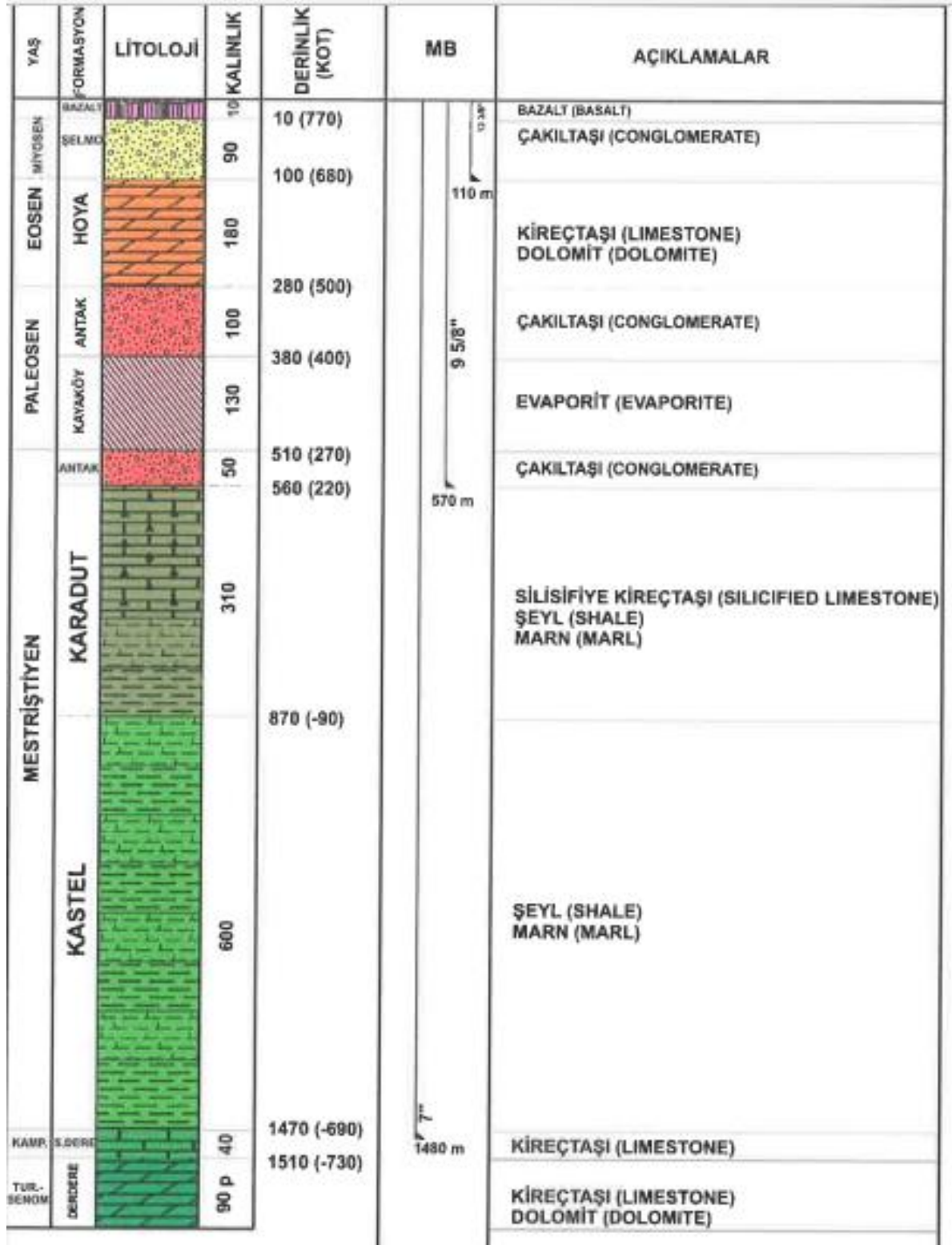
Çizelge 6.3. B bölgesinde formasyona göre yaşanan muhtemel problemler (TPAO, 2017)

Formasyon	Litoloji	Tahmini Derinlik Aralığı, m	Muhtemel Problemler
Bazalt	Bazalt	0 - 15	Büyük çaplı-vibrasyon, Düşük ROP
Şelmo	Şeyl, çakıltası, kumtaşı, kıltaşı	15-100	Matkap sarması
Hoya	Kireçtaşı, dolomit	100-200	Tam veya tedrici kaçak
Antak	Şeyl, kumtaşı, çakıltası, jips	200-350	Tedrici kaçak, yüksek tork, oturma
Kayaköy	Evaporit	350-500	Ağırlık alma, oturma, yüksek tork
Karadut	Silisifiye kireçtaşı, marn, şeyl	500-800	Ağırlık alma
Kastel	Şeyl	800-1400	Ağırlık alma, oturma, yüksek tork
Sayındere	Killi kireçtaşı	1400-1500	Tedrici kaçak
Derdere	Dolomit, kireçtaşı	1500-1600	Tam veya tedrici kaçak

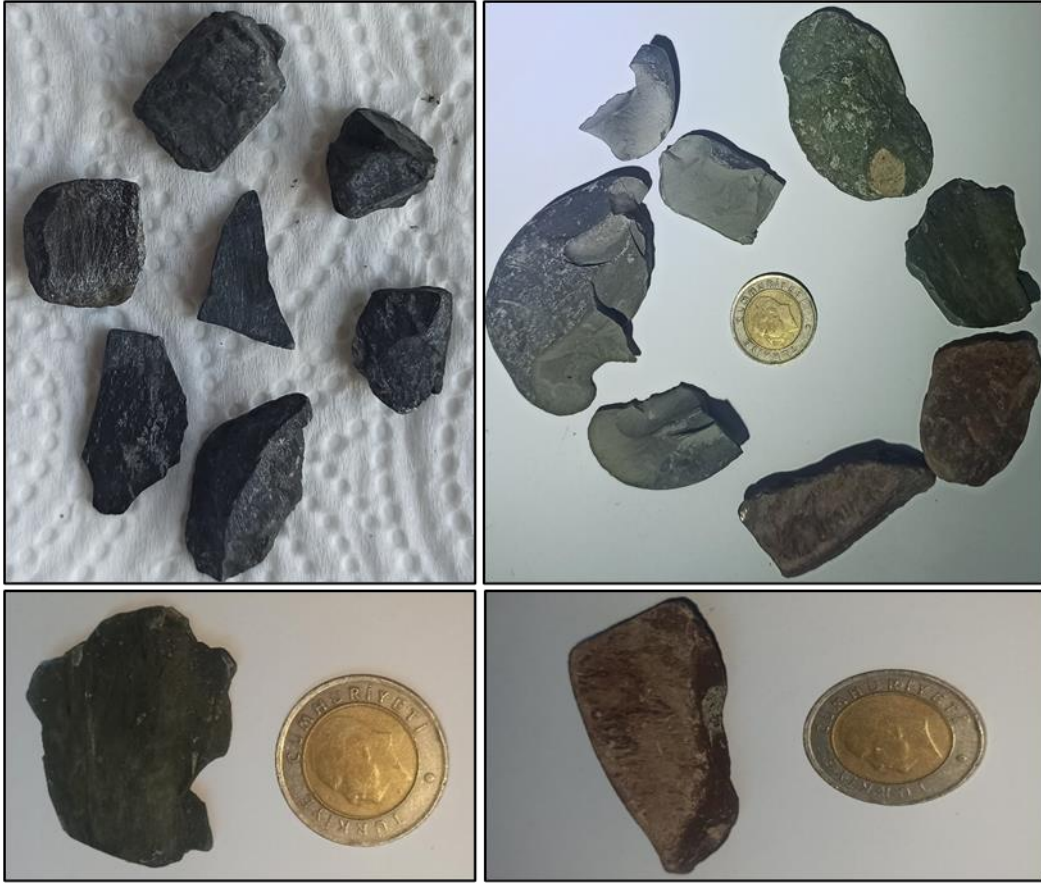
Çizelge 6.4. B Bölgesinde B-1 kuyusundaki litoloji verileri

Formasyon	Derinlik Aralığı, m
Bazalt	0-15 m
Şelmo	15-350 m
Hoya	350-425 m
Antak	425-530 m
Karaköy	530-629 m
Karadut	629-995 m
Kastel	995-1469 m
Sayındere	1469-1690 m
Derdere	1690-1800 m

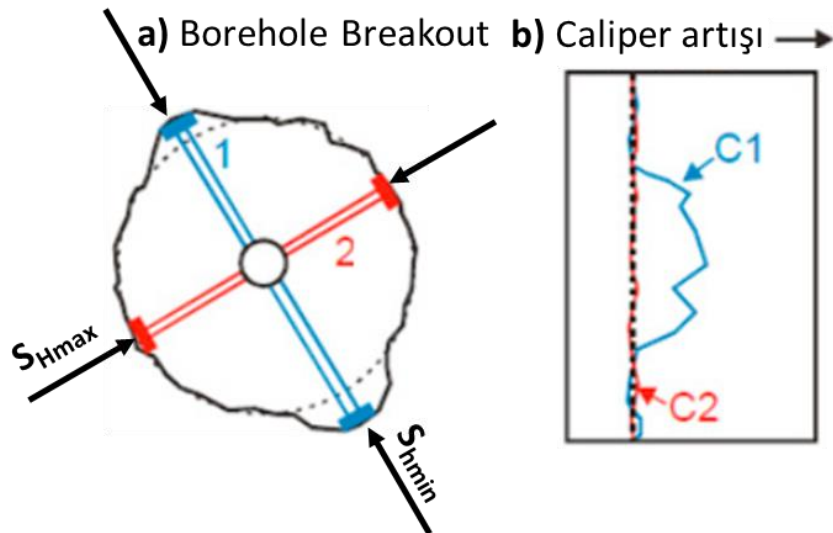
Şekil 6.3’de B Bölgesi B-1 kuyusu sondajında elekte gözlenen şeyl yıkıntılarına ait kayaç parçaları gösterilmektedir. Bu şekilde örnek olarak gösterilen şeyl yıkıntıları B bölgesi B-1 kuyusuna ait şeyl yıkıntılarının yıkıntı mekanizması, köşeli yıkıntılar olarak tabir edilir. Bu yıkılmalar tektonik stresin meydana getirdiği yıkıntı tipidir. Maksimum yatay stressin (S_{Hmax}) minimum yatay stress (S_{Hmin}) arasındaki farkın büyük olduğu tektonik sistemlerde kuyu silindirik şeklini kaybeder ve kuyu cidarında ‘borehole breakout (BB) (kuyu yıkıntıları)’lar gelişir. Bu durum Şekil 6.4’de özetlenmektedir. BB’ler sonucu gelişen yıkıntılar köşeli olarak karşımıza çıkar (Şekil 6.3). Yıkıntılar genellikle üçgenimsi ve sivri görünümlüdür. Yıkıntı yüzeylerinde taze kırıklar olabilir. Enine kesitte, yıkıntılar genelde konik ve kama şeklindedir. Bu tarz yıkıntıların olduğu formasyonların formasyona göre çamur türü değiştirildikten sonra formasyon çatlatma gradyanı dikkate alınarak çamurun ağırlığı yükseltilmelidir. Çamurun ağırlaştırılmadığı koşullarda kesinti ve yıkıntılardan meydana gelen anülüs ve kuyu dibi malzemelerinin temizliği önem kazanır. Bu durumlarda anülüs ve kuyu tabanının temizliği ilerleme hızının düşürülmesi ile sağlanır.



Şekil 6.2. B bölgesine ait formasyon litolojik kesitler (TPAO, 2017)



Şekil 6.3. B bölgesi B-1 kuyusu sondajında Kastel formasyonundan Sayındere formasyonuna ani geçiş sonrası elekte gözlenen şeyl yıkıntıları



Şekil 6.4. a) Borehole breakout (Kuyu Yıkıntıları) **b)** Caliper log değerinde C1 nolu caliper ayağında kuyuda örnek bir genişleme (C1: 1 nolu caliperlog ayağı; C2: 2 nolu caliper ayağı) (Tingay vd., 2008)

Bu tezde yapılan deneyler (Şekil 6.5) ve deneylerde kullanılan katkı malzemeleri aşağıdaki çizelgelerde hem A Bölgesindeki A-1 kuyusu için hem de B Bölgesindeki B-1 kuyusu için özetlenmektedir. Deney sonuçları detaylı bir şekilde tartışılmaktadır. Özellikle bu deneylerin gerçek kuyularda büyük ölçekli bir sistemde yapılması laboratuvar ölçekli küçük deneylere kıyasla daha gerçekçi koşulları yansıtmaktadır. Bu durum bu tezin en önemli özgün tarafını oluşturmaktadır. Sondaj çamuru hazırlanmasında kullanılan katkı malzemeleri (soda külü, kostik, CaCO_3 , nişasta, barit, KCl, XCD, Pac LV, korozyon önleyici, biocide) (API-13a, 1993) standartlarındadır. Benzer şekilde yapılan tüm deneyler (API-13b, 2003) standartlarına uygun olarak Bölüm 5'deki deneysel prosedürlere uygun olarak kuyu koşullarında yapılmıştır.



Şekil 6.5. Çamur deney barakasında sondaj çamuru deney setleri tez yazarı Ayşe Orhan tarafından gerçekleştirilirken

6.1 A-1 Kuyusu Sondaj Çamuru Deney Verileri ve Analizi

Çalışma alanı olan A bölgesinde (Şekil 6.1 & Çizelge 6.1 & Çizelge 6.2) bulunan A-1 kuyusunda 2209 metreye kadar sondaj yapılmıştır. 1308-2154 metreleri arasındaki kısım $12\frac{1}{4}$ " matkap ile kazıldıktan sonra $9\frac{5}{8}$ " casing (kuyu muhafaza borusu) inişi ile tamamlanmıştır. Bu kısmın sondajı sırasında Germav formasyonun (çoğunlukla şeyl içeren formasyon) etkinliğinden kaynaklı olarak KCl polimer çamuru kullanılmıştır. Çizelge 6.5'de A-1 kuyusunda kullanılan sondaj çamurunun (1308 m-2154 m) hazırlanmasında eklenen katkı malzemelerinin miktarları ve kullanım amaçları listelenmektedir.

Çizelge 6.5. A-1 kuyusuna ait çamur katkı malzemelerinin birim boyutu, miktarı, konsantrasyonu ve kullanım amaçları

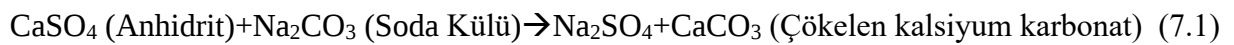
Malzeme	Sembol	Özgöl Ağırlık	Birim Boyutu	Miktarı	Konsantrasyon, lb/bbl (ppb)	Kullanım Amacı
Soda Külü	Na ₂ CO ₃	2,51	25 kg/tr	26	0,5	Kalsiyum kirlenmesine karşı kullanılır.
Kostik	NaOH	2,13	25 kg/tr	33	0,35	Çamurun pH'nın kontrol etmek için kullanılır.
İnce kalsiyum karbonat	CaCO ₃ ince	2,8	1000 kg/bb (big bag)	45	15-20	Çamur ağırlığını ayarlamak & kaçakları önlemek için kullanılır.
Modifiye Nişasta	-	-	25 kg/torba	267	6	Sıvı kaybını önlemek için kullanılır
Barit	BaSO ₄	4,5	1000 kg/bb	25	5	Çamuru ağırlaştırmak için kullanılır.
Potasyum Klorür	KCl	1,162	1000 kg/bb	33	33,3	Potasyum inhibisyonu için potasyum kaynağı sağlar.
Ksantan sakızı (XCD)	C ₈ H ₁₄ Cl ₂ N ₂ O ₂	1,5	25 kg/torba	50	0,5-1	Çamurun viskozitesini ayarlama ve kesintilerin etkin transferinde kullanır.
Tuz	NaCl	2,17	1000 kg/bb	79	66	Çamurlara ağırlık sağlamak ve şeyilli kısımlarda kontrol sağlamak için kullanılır
Polianyonik Selüloz	Pac LV	1,6	25 kg/torba	225	4	Sıvı kaybı kontrolünü sağlar. Ayrıca kesintileri kaplama özelliği vardır.
Korozyon önleyici	-	-	55 gal/bidon	1	Yok sayılacak ölçekte	Sondaj dizisindeki ve diğer sirkülasyon ekipmanlarında korozyon etkisini azaltır.
Kalsiyum Karbonat	CaCO ₃ orta	2,8	25 kg/torba	70	1,5-2	Formasyona kaçaklarda kaçak tapası olarak kullanılır.
Biocide	-	1,06	5 gal/bidon	1	0,1	Çamurda bakteri üremesini ve kimyasal bozulmayı önlemek için kullanılır.

A-1 kuyusunun 1308 m-2154 m'lik kısmının sondajı sırasında 12 saatte bir elekten alınan sondaj çamurunda Bölüm 5'da verilen prosedürlere göre sondaj çamuru deneyleri yapılmıştır.

Toplamda 24 çamur deney seti (A.1.1, A.1.2, A.2.1, A.2.2, A.3.1, A.3.2, A.4.1, A.4.2, A.5.1., A.5.2, A.6.1, A.6.2, A.7.1, A.7.2, A.8.1, A.8.2, A.9.1, A.9.2, A.10.1, A.10.2, A.11.1, A.11.2, A.12.1 ve A.12.2), 12 günde yapılmıştır. Deney sonuçları Çizelge 6.6 ve Çizelge 6.7’de özetlenmektedir.

A-1 kuyusunda 1307. metrede 13^{3/8}” casing çimento operasyonu tamamlandıktan sonra lignosülfanat çamuru, KCl polimer çamur ile değişimi yapılmıştır. 17^{1/2}” kuyu sondajından kalan Hoya formasyonun kireçtaşı etkinliği 12^{1/4}” kuyu sondajı devam etmiştir. Bundan kaynaklı kısmi kaçak gözlenmiş ilk yapılan KCl polimer çamurda reoloji ve sıvı kaybı değerlerinin kontrolü yapılmıştır. % 9’luk K⁺ ile hazırlanan çamurda, henüz kil formasyonuna giriş yapılmamış olduğundan dolayı MBT değeri 0 olarak ölçülmüş ve K⁺ oranında değişim gözlenmemiştir (Çizelge 6.6’de Deney A.1.1 ve Deney A.1.2). Reolojik özellikleri sağlaması için XCD ve bunla beraber sıvı kaybı kontrolü sağlaması için Pac-LV kullanılmıştır. Çamurun kek yapısı daha çok modifiye nişasta ve kalsiyum karbonat ince ile sağlanmıştır (Çizelge 6.5).

1353-1372 metreleri (Çizelge 6.6’de Deney A.2.1 ve Deney A.2.2) arası yapılan 12^{1/4}” kuyu sondajında kireçtaşı etkinliğinden dolayı kalsiyum (Ca⁺⁺) artışına karşı soda külü (Na₂CO₃) kullanılmıştır. Çünkü soda külü, Ca⁺⁺ iyonun CaCO₃ olarak çökmesini (örnek olarak reaksiyon 7.1’de verildiği gibi) sağlar ve kalsiyum kirlenmesini önlemektedir. Temel olarak bakıldığında kalsiyum kirlenmesi (Şekil 5.13) çamurun YP değerini, jel mukavemeti ve su kaybının artmasına neden olur. Bir önceki testte sağlanan reolojik özellikler XCD ile devam ettirilmiştir.



1446-1485 metreleri (Çizelge 6.6’de Deney A.3.1 ve Deney A.3.2) arası Gerçüş formasyonuna giriş yapması ile kil minerallerinden kaynaklı K⁺ değerinde düşüş gözlenmiştir. Stabilité sorunu yaşanmasına müsaade etmemek adına 700 bbl olan sistem çamuruna 3,15 ppb kadar yani 1 bb (bigbag) kadar KCl verilmiştir. Çünkü potasyum (K⁺) iyonların kil yüzeylerine yapışarak (absorblanarak) (Şekil 4.2) şeylerin stalitesini sağlar. Ayrıca kesintileri bir arada tutarak daha küçük parçalara ayrılarak çamurun kimyasal yapısını bozması engellenir. Tüm bunlardan dolayı çamurdaki K⁺ iyon miktarının düzenli olarak deneylerle takip edilmesi gerekir.

Çizelge 6.6. A-1 kuyusunda yapılan KCl çamur deneylerinin sonuçları (Deney A.1.1-Deney A.6.2)

Deney No:	A.1.1	A.1.2	A.2.1	A.2.2	A.3.1	A.3.2	A.4.1	A.4.2	A.5.1	A.5.2	A.6.1	A.6.2
Gün	1.	1.	2.	2.	3.	3.	4.	4.	5.	5.	6.	6.
Derinlik, m	1308	1340	1353	1372	1446	1485	1513	1528	1553	1603	1628	1683
Litoloji	Kireçtaşı	Kireçtaşı	Kireçtaşı	Kireçtaşı	Kumtaşı Çakıtaşı Şeyl	Kumtaşı Çakıtaşı Şeyl	Kumtaşı Çakıtaşı Şeyl	Kumtaşı Çakıtaşı Şeyl	Kumtaşı Çakıtaşı Şeyl	Kumtaşı Çakıtaşı Şeyl	Kumtaşı Çakıtaşı Şeyl	Kumtaşı Çakıtaşı Şeyl
Sıcaklık, C°	40	40	46	47	50	54	50	50	57	57	58	58
Ağırlık, ppcf	70	70	71	72	72	72	72	72	72	73	75	78
Humi viskozite, sn/qt	63	64	52	56	49	46	51	50	49	53	54	60
PV, cp	10	18	18	22	20	17	18	18	19	21	22	26
YP, lb/100 ft²	5	8	17	20	15	20	19	20	16	21	21	24
Jel 10 sn, lb/100 ft²	2	2	2	3	2	2	3	3	3	3	4	4
Sıvı kaybı, ml/30dk	3	4	3	3	4	3	3,5	3	4	4	4	2,5
Kum miktarı, % hacim	0,10	0,10	0,10	0,10	0,15	0,2	0,2	0,2	0,2	0,15	0,25	0,25
MBT, lb/bbl	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
pH	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	8
Cl⁻, mg/l	90000	90000	90000	90000	90000	80000	85000	85000	80000	80000	80000	135000
K⁺, % ağırlık	9	9	9	9	8,07	7,62	8,07	8,98	8,98	8,07	8,07	8,98
Ca⁺⁺, mg/l	80	80	120	160	120	80	80	120	80	80	80	80

Çizelge 6.7. A-1 kuyusunda yapılan KCl çamur deneylerinin sonuçları (Deney A.7.1-Deney A.12.2)

Deney No:	A.7.1	A.7.2	A.8.1	A.8.2	A.9.1	A.9.2	A.10.1	A.10.2	A.11.1	A.11.2	A.12.1	A.12.2
Gün	7.	7.	8.	8.	9.	9.	10.	10.	11.	11.	12.	12.
Derinlik, m	1726	1770	1836	1956	1983	2030	2039	2100	2101	2122	2144	2154
Litoloji	Dolomit Şeyl Kireçtaşı	Dolomit Şeyl Kireçtaşı	Dolomit Şeyl Kireçtaşı	Dolomit Şeyl Kireçtaşı	Dolomit Şeyl Kireçtaşı	Dolomit Şeyl Kireçtaşı	Dolomit Şeyl Kireçtaşı	Dolomit Şeyl Kireçtaşı	Dolomit Şeyl Kireçtaşı	Dolomit Şeyl Kireçtaşı	Dolomit Şeyl Kireçtaşı	Dolomit Şeyl Kireçtaşı
Sıcaklık, C°	53	58	53	53	58	58	53	58	53	53	60	60
Ağırlık, ppcf	78	80	81	81	82	83	83	83	83	86	85	86
Humi viskozite, sn/qt	56	55	55	56	53	53	51	53	56	55	55	55
PV, cp	25	25	27	25	26	27	27	27	27	29	21	25
YP, lb/100 ft²	20	20	20	20	22	19	19	21	26	27	29	25
Jel 10 sn, lb/100 ft²	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	3	3
Sıvı kaybı, ml/30dk	3,2	3	2,5	2,2	2,3	2,5	2,5	2,5	2,8	3	2	2,5
Kum miktar, % hacim	0,25	0,25	0,3	0,25	0,3	0,2	0,2	0,25	0,3	0,25	0,3	0,25
MBT, lb/bbl	0	0	0	0	0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
pH	9	10	9	9,5	10	10	9,5	10	10	9	10	9
Cl⁻, mg/l	130000	125000	130000	140000	140000	135000	135000	135000	120000	115000	115000	125000
K⁺, % ağırlık	8,98	8,98	8,07	8,07	8,07	8,07	8,07	8,98	8,07	8,07	8,07	8,07
Ca⁺⁺, mg/l	80	40	40	80	80	80	80	80	80	80	80	80

Deney A.3.2 (Çizelge 6.6)'den sonra sistem çamuruna verilen KCl tuzu K^+ değerini yükselttiği (Deney A.4.1 & Deney 4.2) gözlemlenmiştir. Kuyu sondajı devam ettikçe kil minerali ile etkileşimden kaynaklı çamurdaki K^+ oranı düştüğü (Şekil 4.2) gibi Cl miktarında da düşüş gerçekleşmiştir.

1553-1603 (Çizelge 6.6'de Deney A.5.1 ve Deney A.5.2) metreleri arasında sistem çamuruna, sondajın ilerlemesi ile 1308 metreden 1528 metreye kadar 117 bbl lik oluşan çamur ihtiyacına hopper tankından ilave edilmesi için 50 bbl yeni çamur hazırlanarak tank hacmi 117 bbl ye çıkartılmış ve sisteme ilave edilmiştir. Yeni çamurun sisteme ilave edilmesinin ardından çamurda reolojik özelliklerde düşüş gözlemlenmiştir. 5 ppb Modifiye nişasta, 0,75 ppb XCD ve 3 ppb PAC-LV ile sistem çamuruna müdahale edilmiştir. Deney A.5.2'den sonra çamura yapılan müdahale sonucu reolojik ve sıvı kaybı özellikleri kontrol altında tutulmuştur (Deney A.6.1 ve Deney 6.2). K^+ düşüşüne 3,15 ppb KCl ve 6,3 ppb NaCl ile müdahale edilmiştir. Kuyu içi hidrostatik basınçları dengelemek için çamur ağırlığı kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) ince ve NaCl ile artırılmıştır.

Deney 6.2'den sonra yapılan müdahale sonrasında K^+ ve Cl^- değerinde artış gözlenmiştir. Kuyu içi stabilitesinde sorun çıkmaması için K^+ oranı % 9 yakın tutulmaya çalışılmıştır (Çizelge 6.7'de Deney 7.1 ve Deney 7.2). Artan sıvı kaybını düşürmek için sisteme 0,25 ppb Pac-LV verilmiştir. Sistem ağırlığı artırılmaya devam etmiştir.

Deney 7.2'den sonra yapılan müdahale sonucunda sıvı kaybı kontrolü sağlanmıştır. 1836-1956 (Çizelge 6.7'de Deney 8.1 ve Deney 8.2) metreleri arası yapılan kuyu sondajında ilerleme hızının artması ile K^+ oranında düşüş olmasından dolayı stabilite sorunu yaşamamak adına sisteme 1,5 ppb KCl verilmiştir.

1983-2030 metreleri (Çizelge 6.7'de Deney 9.1 ve Deney 9.2) arası kil mineralli formasyonun etkinliğinin artması ile MBT değeri okunmaya başlamıştır. Bu da sistem çamuruna kil bulaştığını gösterir. Kil miktarındaki artışın sebep olduğu K^+ oranındaki düşüşe 1,5 ppb KCl ile müdahale edilmiştir. Çamur ağırlığı kalsiyum karbonat ile artırılmaya devam etmiştir.

2039-2100 metreleri (Çizelge 6.7'de Deney 10.1 ve Deney 10.2) arası sondaj hızının artması ve kil minerallerinin bulaşımı hızının artması ile sistem çamuruna 50 bbl yeni çamur ilave edilmiştir. Bunla beraber reolojide düşüş gözlenmiştir. Sisteme yeni çamur ile 1 ppb modifiye nişasta ve 0,2 ppb XCD verilmiştir.

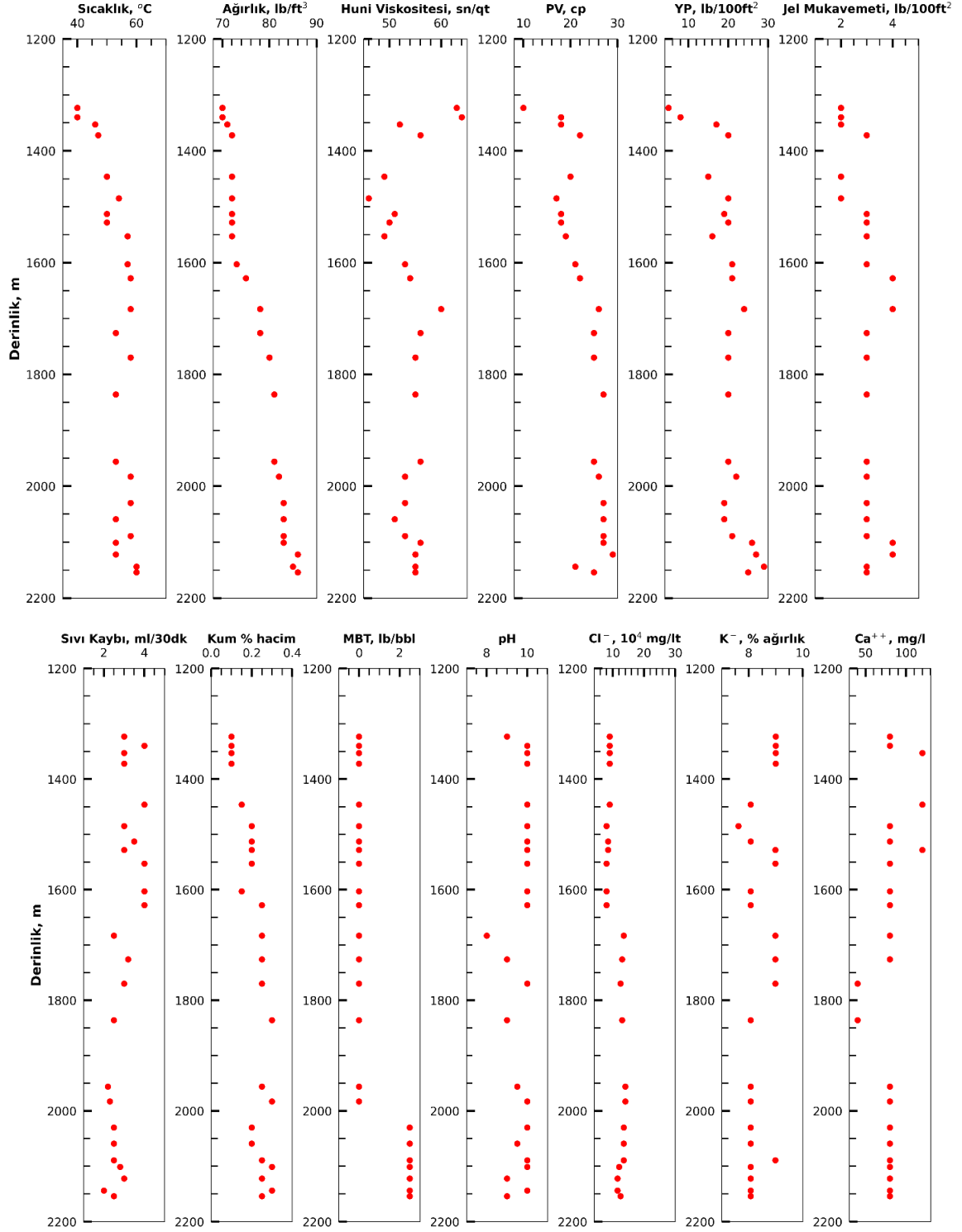
Deney 10.2'den sonra yapılan müdahale ile reolojinin kontrol edildiği gözlemlenmiştir. 2101-2122 (Çizelge 6.7'de Deney 11.1 ve Deney 11.2) metreleri arası tamamen şeyl içerikli killi Germav formasyonunun sondajı yapıldığı için MBT ve K^+ değerinin kontrolü sağlanmıştır. MBT kontrolü için katı madde kontrol ekipmanlarından decander devreye alınmıştır. Sistem çamuruna belirli aralıklar ile KCl verilmiştir. Sıvı kaybı kontrolü için kalsiyum karbonat ince verilmiştir. Sistem çamurunun ağırlığı kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) ince ile artırılmıştır. Sıvı kontrolü deneylerinde filtre kağıdında kuyu sondajı başlangıcında 1-1,5 mm, sondaj ilerledikçe ağırlık malzemelerinin artışı ile 1,5-2 mm kalınlığında çamur keki gözlemlenmiştir. Bu da çamur kekinin optimum kalınlıklarda olduğunun göstergesidir.

1308-2154 metreleri (Çizelge 6.7'de Deney 12.1 ve Deney 12.2) arası yapılan 12^{1/2}'' kuyu sondajı tamamlanmıştır. 9^{5/8}'' casing operasyonu öncesi kuyu içi hidrostatik basınç dengesi için sisteme $CaCO_3$ ince verildi. Operasyon öncesi belli süre kuyu içinde stabil kalmasından kaynaklı çamurda oluşacak reolojik sorunları kontrol etmek için çamura Pac LV, modifiye nisaşta ve XCD ile müdahale edilmiştir.

A-1 kuyusunda yapılan toplamda 24 çamur deney setinden kum % (hacim) (Çizelge 6.6 ve Çizelge 6.7) değerlerinin % 0,1 ila % 0,3 arasında değiştiği görülmektedir. Bu değer için maksimum izin verilen değer % 1 olarak düşünüldüğünde A-1 kuyusunda katı madde kontrolünün (desander, decander, desilter gibi) etkin bir şekilde yapıldığı görülmektedir. Gerek sirkülasyon sistemini ekipmanları ve sondaj çamur pompasının aşınmasına gerekse çamurun kimyasal özelliklerinin korunmasında çamurdaki kum %'nin kontrolü büyük önem taşımaktadır.

Özet olarak bu tez çalışmasında A-1 kuyusun 1308-2154 metreleri arasındaki sondaj çamuruna ait 12 günde toplamda 24 sondaj akışkanları deney seti (12 saate bir) (Çizelge 6.5, Çizelge 6.6 ve Çizelge 6.7) yapılmıştır. Sondajı başarılı bir şekilde tamamlanan A-1 kuyusunda kuyu içi yıkılma, şişme, ağırlık alma, oturma gibi problemler ciddi oranda gözlenmemiştir. Yukarıdaki bulgu ve tartışmalardan anlaşılacağı üzere sondaj dinamik bir prostestir ve kazılan formasyonun sondaj çamuru üzerinde değişim etkisi vardır. Bu süreçte deney sonuçlarına göre anlık kararlar vererek çamurun kimyasal özelliği gerekli kimyasallar eklenerek istenilen değerlerde tutulmaya çalışılmaktadır. Bu nedenle laboratuvar ortamında 1 lt çamur hazırlanarak elde edilen yapay sondaj çamurunda yapılan küçük ölçekli deneyler saha ortamını tam olarak temsil etmemektedir. Bu tezin en önemli özgün tarafı dinamik bir ortamda kuyu şartlarında yapılmış olmasıdır. Şekil 6.6'de Çizelge 6.6 ve Çizelge'de yapılan çamur deney sonuçlarının (çamur sıcaklığı, çamur ağırlığı, huni viskozitesi, PV, YP, jel mukavemeti, sıvı kaybı, kum

oranı, MBT değeri, pH, Cl^- iyonu miktarı ve K^+ iyonu miktarı) kuyu derinliğine göre değişimi görselleştirilmiştir.



Şekil 6.6. A-1 kuyusunda yapılan çamur deney sonuçlarının (Çizelge 6.6 ve Çizelge 6.7) derinliğe göre değişimi

6.2 B-1 Kuyusu Sondaj Çamuru Deney Verileri ve Analizi

Tezin bu bölümünde B bölgesindeki B-1 kuyusundaki (Çizelge Çizelge 6.3, Çizelge 6.4 ve Şekil 6.2) sondaj çamuru deneylerinin bulgular ve tartışma kısmına yer verilmektedir. B-1 kuyusunun sondajı 1800 metreye kadar yapılmıştır. 629-1469 metreleri arası 81^{1/2}” kuyu sondajı tamamlandıktan sonra 7” casing (kuyu muhafaza boruşu) inişi ile tamamlandı. Bu kısım boyunca (629-1469 m) Kastel formasyonun kil etkinliğinden kaynaklı olarak KCl polimer çamur kullanılmıştır.

Çizelge 6.8’de B-1 kuyusunda KCl polimer çamur hazırlanmasında kullanılan kimyasal miktarları ve konsantrasyonları listelenmektedir. B-1 kuyusunda 629-1469 m’leri arasında 8 günde toplamda 16 sondaj çamuru deney seti (B.1.1, B.1.2, B.2.1, B.2.2, B.3.1, B.3.2, B.4.1, B.4.2., B.5.1, B.5.2, B.6.1, B.6.2, B7.1, B.7.2, B.8.1 ve B.8.2) gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları Çizelge 6.9’da verilmektedir. Hazırlanan bu sondaj çamurunun kimyasal durumu 12 saatte bir denetlenmiş ve gerekli görüldüğünde çamur özelliklerini istenilen aralıklarda korumak için müdahaleler yapılmıştır. Çünkü sondaj dinamik bir prosestir ve çamur özellikleri kazılan formasyona göre hızla olumsuz yönde değişebilmektedir. Eğer zamanında çamura müdahale edilmezse sıvı kaybı, kesinti transferi, vb. konularda problem olabilir ve bu durumun sonunda takım (sondaj dizisi) sıkışması, kuyu yıkılması olabilir. Tüm bunların sonundan kuyu terki bile söz konusu olabilir. Tüm bunlardan dolayı bu tez dinamik sondaj sırasında yapılan deneyler ve müdahaleler literatüre önemli bir katkı sunmaktadır.

Çizelge 6.8. B-1 kuyusuna ait çamur katkı malzemelerinin birim boyutu, miktarı ve konsantrasyonu

Malzeme	Sembol	Birim Boyutu	Miktarı	Konsantrasyon, lb/bbl (ppb)
Soda Külü	Na ₂ CO ₃	25 kg/tr	20	0,25
Kostik	NaOH	25 kg/tr	24	0,25
İnce kalsiyum karbonat	CaCO ₃ ince	1000 kg/bb	40	15-20
Modifiye Nişasta	-	25 kg/torba	280	6-8
Barit	BaSO ₄	1000 kg/bb	20	5
Potasyum Klorür	KCl	1000 kg/bb	22	31
Ksantan sakızı (XCD)	C ₈ H ₁₄ Cl ₂ N ₂ O ₂	25 kg/torba	44	0,5-1
Tuz	NaCl	1000 kg/bb	60	66
Polianyonik Selüloz	Pac LV	25 kg/torba	200	3-4
Korozyon önleyici	-	55 gal/bidon	1	1 drum (bidon)
Kalsiyum Karbonat	CaCO ₃ orta	25 kg/torba	20	1,5-2
Biocide	-	5 gal/bidon	1	0,1

Çizelge 6.9. B-1 kuyusunda yapılan KCl çamur deneylerinin sonuçları (Deney B.1.1-Deney B.8.2)

Deney No:	B.1.1	B.1.2	B.2.1	B.2.2	B.3.1	B.3.2	B.4.1	B.4.2	B.5.1	B.5.2	B.6.1	B.6.2	B.7.1	B.7.2	B.8.1	B.8.2
Gün	1.	1.	2.	2.	3.	3.	4.	4.	5.	5.	6.	6.	7.	7.	8.	8.
Derinlik, m	629	640	771	775	790	879	955	1034	1112	1221	1302	1395	1436	1469	1469	1469
Litoloji	Şeyl, Marn, Silisifiye kireçtaşı	Şeyl, Marn, Silisifiye kireçtaşı	Şeyl, Marn, Silisifiye kireçtaşı	Şeyl, Marn, Silisifiye kireçtaşı	Şeyl, Marn, Silisifiye kireçtaşı	Şeyl, Marn, Silisifiye kireçtaşı	Şeyl, Marn, Silisifiye kireçtaşı	Şeyl, Marn, Silisifiye kireçtaşı	Şeyl, Marn, Silisifiye kireçtaşı	Şeyl, Marn, Silisifiye kireçtaşı	Şeyl, Marn, Silisifiye kireçtaşı	Şeyl, Marn, Silisifiye kireçtaşı	Şeyl, Marn, Silisifiye kireçtaşı	Şeyl, Marn, Silisifiye kireçtaşı	Şeyl, Marn, Silisifiye kireçtaşı	Şeyl, Marn, Silisifiye kireçtaşı
Sıcaklık, C°	48	50	50	50	50	50	50	52	52	52	54	54	55	55	52	52
Ağırlık, ppcf	77	77	77	77	77	78	78	78	78	78	81	81	84	80	78	79
Humi viskozite, sn/qt	55	53	56	58	58	55	53	56	54	56	60	60	60	52	51	50
PV, cp	19	21	20	20	22	21	21	23	22	25	27	24	26	19	18	19
YP, lb/100 ft²	25	21	22	24	24	25	23	26	24	26	23	27	24	23	22	20
Jel 10 sn, lb/100 ft²	5	4	5	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6
Sıvı kaybı, ml/30dk	1,7	1,8	2,7	2,4	2,5	2,2	2,1	2,2	3	2,4	3	2,2	1,7	3,4	3,4	3,1
Kum miktarı, % hacim	~0	~0	~0	~0	0,25	0,25	0,25	0,5	0,25	0,35	0,25	0,25	~0	~0	0,5	0,4
MBT, lb/bbl	1,25	1,25	2,5	2,5	3,75	2,5	2,5	2,5	3,75	6,25	6,25	6,25	7,5	3,75	5	5
pH	10	10	11	10,5	10,5	10	10,5	10	10	9	9	10	10	9,5	10,5	10,5
Cl ⁻ , mg/l	110.000	130.000	105.000	110.000	110.000	120.000	125.000	125.000	125.000	170.000	170.000	170.000	170.000	125.000	102.000	117.000
K ⁺ , % ağırlık	6,5	6,5	6,5	6,5	5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	4	3	2,5
Ca ⁺⁺ , mg/l	120	120	120	160	120	80	80	80	80	80	80	80	40	40	40	40

B-1 kuyusunda 628 metrede 9^{5/8}” casing çimento operasyonu tamamlandıktan sonra lignosülfanat çamuru, KCl polimer çamur ile değişimi yapılmıştır. 629-1469 metreleri arasında 8^{1/2}” matkap ile yapılan sondaj sırasında bu tezde KCl polimer çamurunun özelliklerindeki değişim takip edilmiştir ve gerektiğinde sondaj çamuruna müdahale edilmiştir. Bu aralığında sondajında 8 günden toplamda 16 çamur deneyi (12 saatte bir) yapılmıştır ve tüm sonuçlar Çizelge 6.9’da özetlenmektedir.



Şekil 6.7. Bu tezde çalışılan B-1 kuyusuna ait polimer (Pac LV ve XCD) etkinliği ile topaklaşan formasyon kesitleri

12^{1/4}” kuyu sondajından kalan Karadut formasyonun kireçtaşı, marn etkinliği 8^{1/2}” kuyu sondajında da devam etmiştir. Karadut formasyonu kil bantları şeklinde şeyl içerdiği için yaklaşık %7’luk K⁺ ile hazırlanan çamurda ilk deneyler (Çizelge 6.9’da Deney B.1.1 ve Deney B.1.2) sonrası MBT değeri ölçülmüştür. Aktif şeyl tabakaları ile direk etkileşim gerçekleştiği için K⁺ oranı %7 oranına yakın tutulmaya çalışılmıştır. Reolojik özellikleri sağlaması için XCD ve bunla beraber sıvı kaybı kontrolü sağlaması için PAC-LV kullanılmıştır. Çamurun kek yapısı

daha çok modifiye nişasta ve kalsiyum karbonat ince ile sağlanmıştır. Şekil 6.7’da Pac LV ve XCD etkinliği sonrası topaklaşan formasyon kesintileri B-1 kuyusunda yüzeyde eleklerde toplanmıştır. Şekil 6.7’de polimerin kaplama etkinliği açık bir şekilde görülmektedir.

Kastel formasyonun girişinde bulunduğu (Çizelge 6.9’da Deney B.2.1 ve Deney B.1.1) için MBT değeri okunmuştur. Katı madde ekipmanları (desilter, desander, decander) aktif kullanılmıştır. Çamura kil bulaşımı olduğu için K^+ oranı, reolojik özellikler ve sıvı kaybı kontrolü Pac-LV ve modifiye nişasta ile sağlanmıştır.

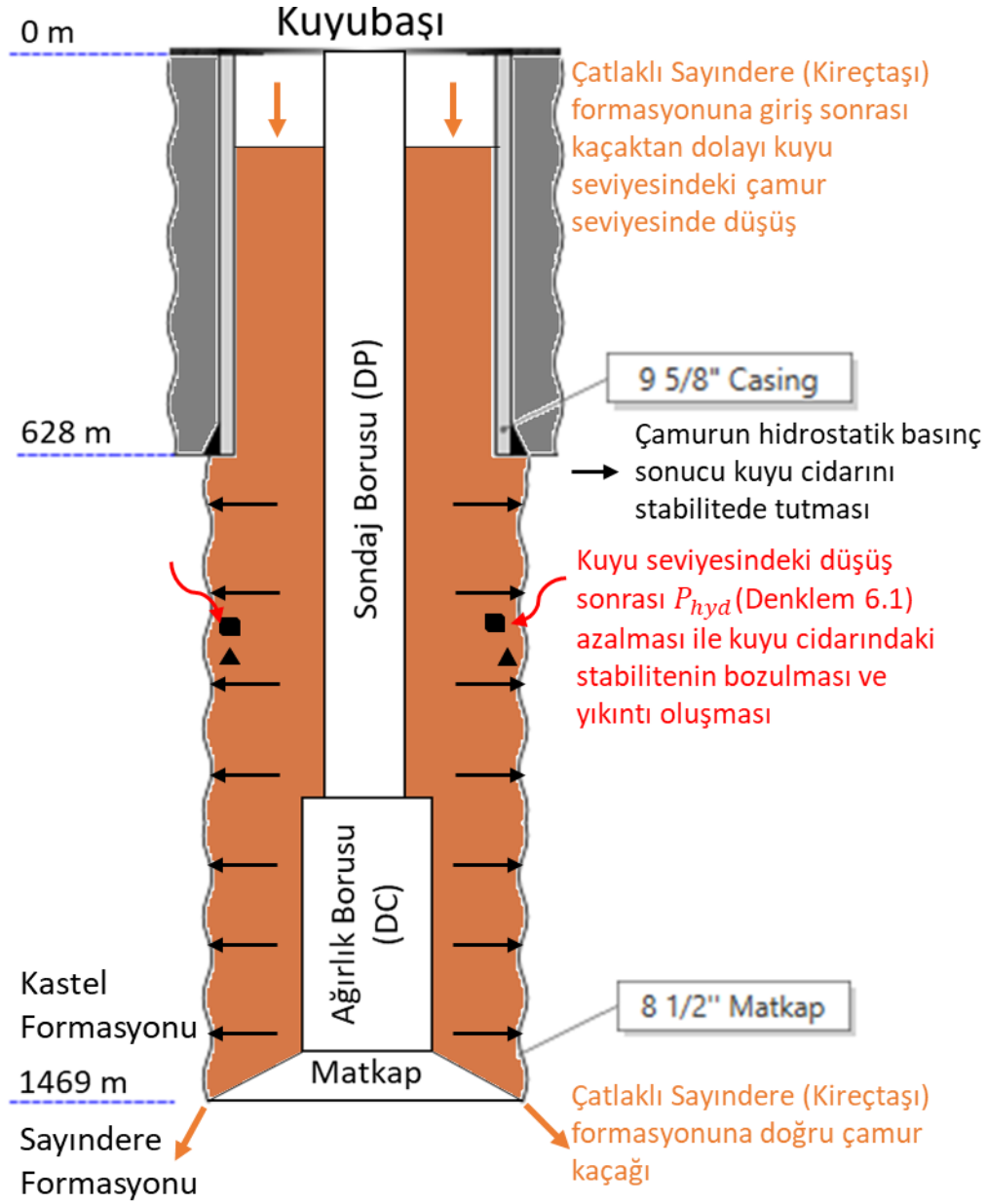
Kastel formasyonuna (Çizelge 6.3) giriş yapıldığı için (Çizelge 6.9’da Deney B.3.1) MBT değerinde artış (3,75 lb/bbl değerine kadar) gözlenmiştir. Bilindiği üzere MBT değeri (Denklem 6.8) çamurdaki kil miktarı hakkında bilgi verir. Bu nedenden dolayı sisteme 50 bbl yeni KCl çamuru (Çizelge 6.8’deki konsantrasyon ile aynı) verilmiştir. Yeni çamur ile reoloji ve sıvı kaybı kontrolünde sorun olmaması adına 4-4,5 ppb (lb/bbl) miktarında Pac-LV ile müdahale devam ettirilmiştir. Hidrostatik basınçları kontrol etmek için kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) ince ile çamur ağırlığı 77 ppcf’den 78 ppcf’ye (Çizelge 6.9’da Deney B.3.1-Deney 3.2) artırılmıştır.



Şekil 6.8. B-1 kuyusuna ait çamur değişikliği sonrası manevra esnasında yıkılan şeyl parçalarının Tez Yazarı Ayşe Orhan tarafından elek başında gösterilmesi

1112-1221 metreleri arası (Çizelge 6.9’da Deney 5.1 ve Deney 5.2) sondaj hızının artması ile çamura bulaşan kil mineralleri ile MBT değerinde 6,25-7,5 lb/bbl’ye kadar ciddi bir artış

gözlenmiştir. Kuyu içi hidrostatik dengelemek için NaCl ve kalsiyum karbonat ile çamur ağırlığı 81-84 ppcf'ye kadar artırılmıştır. Çamur ağırlığının artışı ile artan katı madde miktarının istemsiz bir kek yapısı oluşturmasını önlemek adına sisteme aralıklı olarak 0,25 ppb yoğunluğunda bir sirkülasyon zamanı aralığında XCD verilmiştir.



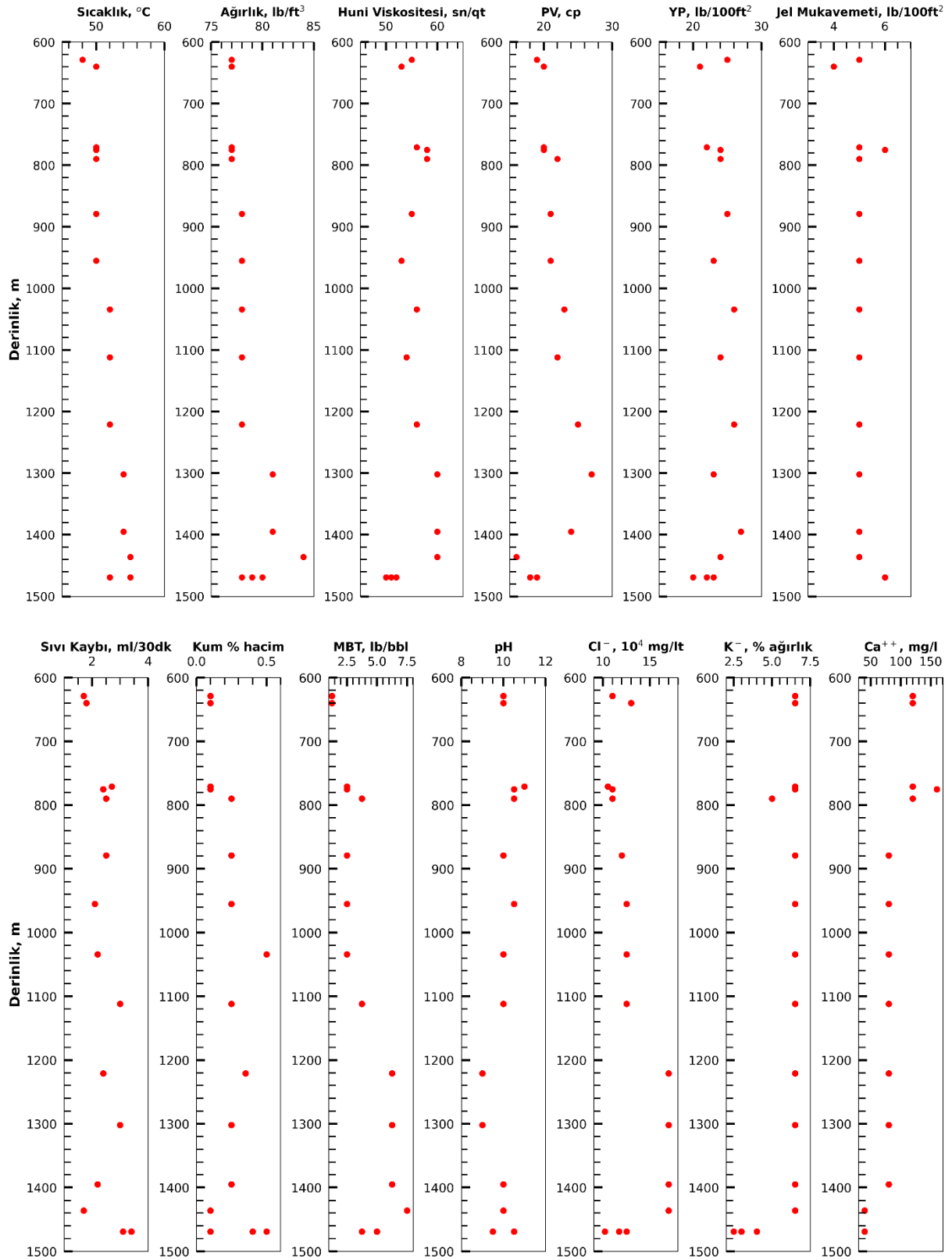
Şekil 6.9. B-1 kuyusunda 1469 m’de sondaj sırasında şeyl yıkıntı oluşma sürecini tasvir eden görsel

1469 metrede Kastel formasyonundan (şeyl), Sayındere formasyonuna (kireçtaşı) (Çizelge 6.3) ani geçiş olması ile kaçak gözlenmiş ve yeni yapılan KCl polimer çamur (30 ppb KCl, 60 ppb NaCl, 3-4 ppb Pac LV, 0,50 ppb XCD, 0,25 ppb kostik, 0,25 soda külü, 7 ppb m.nişasta, 18 ppb CaCO₃ ince, 2 ppb CaCO₃ orta ve 5 ppb barit içeriğinde) (Çizelge 6.9’da Deney 7.2, Deney 8.1 ve Deney 8.2) ile kuyudaki çamur arasında farklılık gözlenmiştir. En belirgin farklılık K⁺ (Çizelge 6.9’da Deney 7.2, Deney 8.1 ve Deney 8.2) yüzdesindedir. Kuyu sonu olmasından dolayı sistem hacmine yetecek kadar çamur hazırlığı yapılmaya başlanmıştır. Yaşanan zaman kaybından dolayı yapılan çamurdaki K⁺ oranı %7 olarak hazırlanamamıştır.

Kuyu içindeki iyonik inhibisyonunu bozulmaya başlaması ve halen sondajın devam etmesi ile çamura formasyondan kil minerali bulaşımı olmuştur. Kil minerallerinin artması ile iyonik inhibisyon artmış ve K⁺ oranında düşüş gözlenmiştir. Aynı zamanda yaşanan zaman kaybı ile 84 ppcf den 79 ppcf’e düşmesi ile hidrostatik denge sağlanamamıştır. Bunu takip eden süreçte kuyu içi stabilite sağlanamamış ve yıkılmalar başlamıştır. Şeyl formasyonundan kireçtaşı formasyonuna ani geçişte kaçağın etkisi ile kuyu içi hidrostatik basınçlar (P_{hyd}: Denklem 6.1) değişmiş (düşmüş) ve kuyu içi geometri de sorun yaşanmıştır (Şekil 6.8 ve Şekil 6.9). Bu durum aktif şeyl tabakalarında oluşan yıkılmalar Şekil 6.8’de ve Şekil 6.9’da net bir şekilde gösterilmektedir. Yıkıntı sonrasında sondaj çamurunun polimer ile ıslahı gerçekleşmesi ile yıkıntılar topaklaşmış ve kuyu stabil hale getirildikten sonra casing inişi işlemine geçilmiş ve sonrasında casing çimentosu işlemi gerçekleşmiştir.

B-1 kuyusunda yapılan toplamda 16 çamur deney setinden kum % (hacim) (Çizelge 6.9’da) değerlerinin % 0,1 ila % 0,5 arasında değiştiği görülmektedir. Bu değer için maksimum izin verilen değer % 1 olarak düşünüldüğünde B-1 kuyusunda katı madde kontrolünün (desander, decander, desilter gib) etkin bir şekilde yapıldığı görülmektedir.

1469 metrede 8^{1/2}” kuyu sondajı başarılı bir şekilde tamamlanmıştır. Kuyu sonunda yaşanan kaçaktan kaynaklanan yıkılmayı önlemek için sistem çamurunun ağırlığı kalsiyum karbonat ince ile artırılmıştır. 7” casing operasyonu öncesi kuyu içi reolojik özellikler sağlanması için XCD ve Pac-LV ile müdahale yapılmıştır.

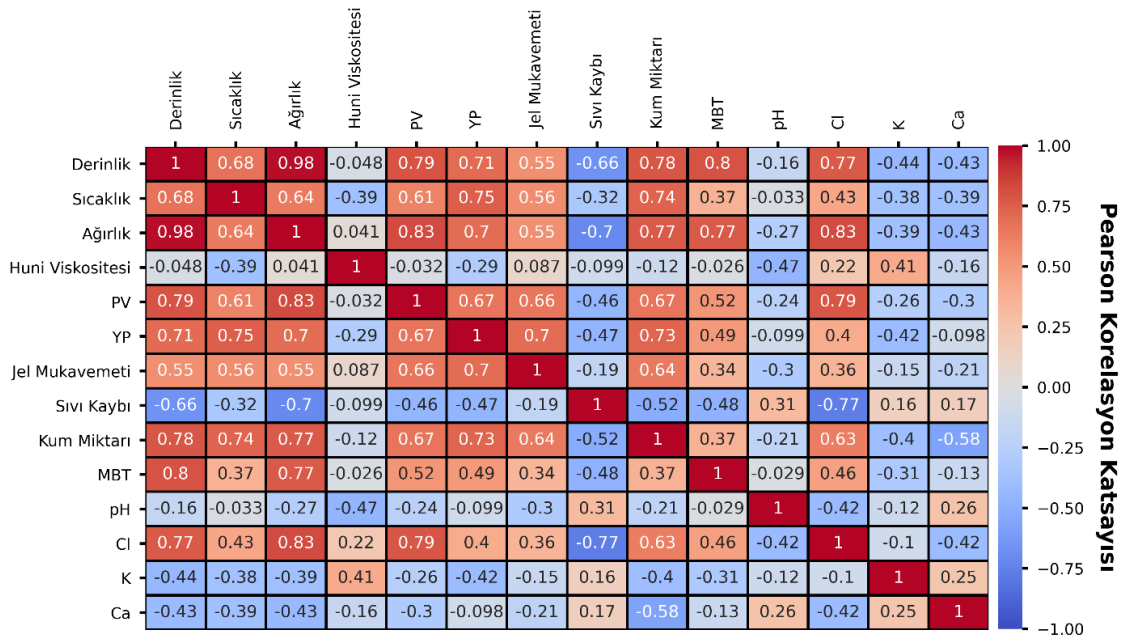


Şekil 6.10. B-1 kuyusunda yapılan çamur deney sonuçlarının (Çizelge 6.9) derinliğe göre değişimi

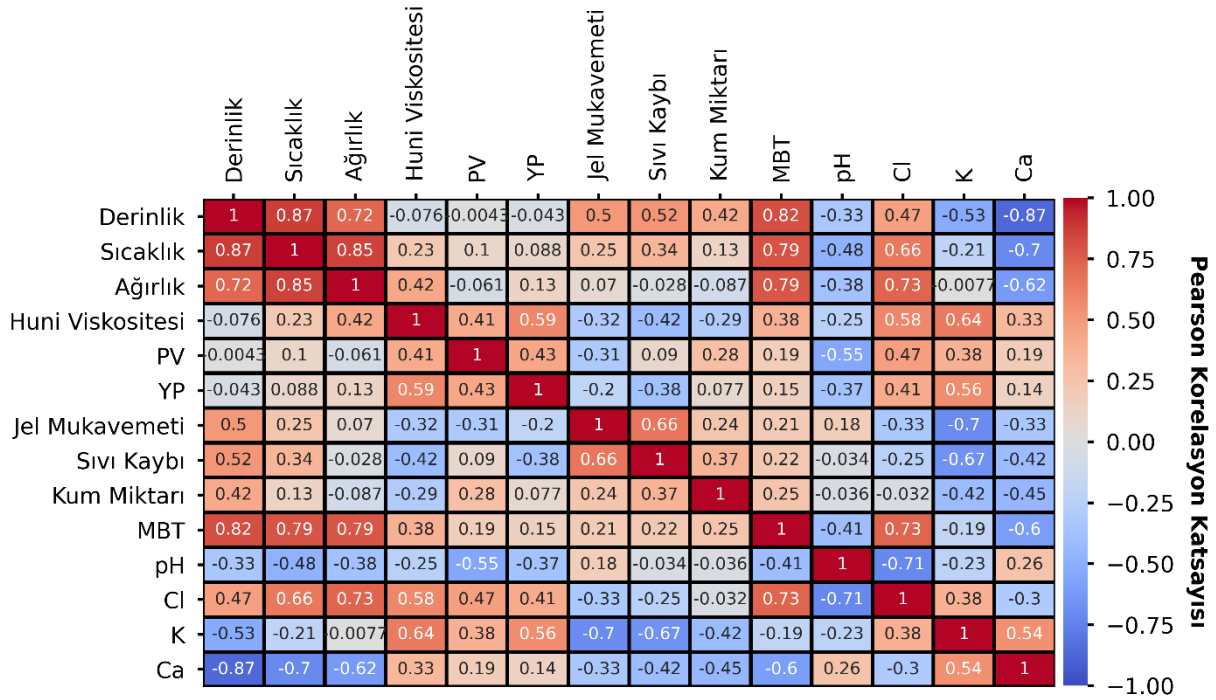
Şekil 6.6'deki veriler (A-1 kuyu sondaj çamur deney sonuçları) ve Şekil 6.10'de veriler (B-1 kuyu sondaj çamur deney sonuçları) arasından pratik olarak bir istatistiksel bir ilişki kurmak için Python programlama dilinin Seaborn kütüphanesi (Seaborn, 2024) yardımı ile Pearson korelasyon katsayısı (PCC) ile A-1 ve B-1 kuyularındaki çamur deney parametreleri arasında bir genel bir istatistiksel ilişki kurulmaya çalışılmıştır (Şekil 6.11 ve Şekil 6.12). İstatistikte, Pearson korelasyon katsayısı (PCC), iki veri kümesi arasındaki doğrusal korelasyonu ölçen bir korelasyon katsayısıdır (Liu, 2021). Çizelge 6.10'da görüldüğü üzere PCC değeri 1'e yaklaştıkça lineer korelasyon artar, 0'a yaklaştıkça lineer korelasyon azalır. Eğer PCC değeri negatif ise parametreler arasında ters lineer ilişki var demektedir.

Çizelge 6.10. PCC değerinin korelasyon derecesi (Liu, 2021)

PCC değeri	Korelasyon Derecesi
0,8-1	Yüksek lineer korelasyon
0,6-0,8	Güçlü lineer korelasyon
0,4-0,6	Orta lineer korelasyon
0,2-0,4	Zayıf lineer korelasyon
0-0,2	Lineer korelasyon yok



Şekil 6.11. A-1 kuyusunda elde edilen deney sonuçları arasındaki Pearson korelasyon katsayı (PCC) ısı haritası



Şekil 6.12. B-1 kuyusunda elde edilen deney sonuçları arasındaki Pearson korelasyon katsayı (PCC) ısı haritası

Şekil 6.11’de A-1 kuyusu için, Şekil 6.12’de ise B-1 kuyusu için çamur deneyler sonuçları arasındaki parametreler arasındaki istatistiksel bağlantı hızlı bir şekilde görmek için Pearson

korelasyon katsayıları (PCC) verilmektedir. Bu katsayı değerlerini kullanırken saha koşullarına göre temkinli davranmak gerekmektedir. Örneğin, kuyu derinliği ile çamur sıcaklığı arasında doğrusal bir ilişki olduğu bilinmektedir ve bunun sonucunda kuyu derinliği- çamur sıcaklığı arasındaki PCC değeri A-1 kuyusu için 0.68 (Güçlü lineer korelasyon-Çizelge 6.10) ve B-1 kuyusu için ise 0.87 (Yüksek lineer korelasyon-Çizelge 6.10)'dır. A-1 kuyusunda derinlik- çamur sıcaklığı ilişkisindeki PCC değerinin B-1 kuyusundaki PCC değerine göre daha düşük olmasının nedeni A-1 kuyusunun B-1 kuyusundan daha derin olması ve çamurun yüzeye ulaşana kadar daha hızlı soğuması olarak yorumlanabilir. Diğer sondaj çamuru parametreleri ile derinlik arasında PCC ile bağlantı kurmak pek olası değildir.

Şekil 6.11 ve Şekil 6.12'deki PCC analizi ile deney sırasında çamur deney parametrelerinin nasıl değiştiği genel bir yaklaşımla gösterilmektedir. Bu çalışmadaki 2 kuyu verisi ile daha detaylı veri analizi yapmak pek mümkün olmamak ile birlikte, ilerideki bilimsel çalışmalarda bir bölgedeki onlarca kuyudan toplanan sondaj çamuru deney sonuçları ile bir veri havuzu oluşturarak yapay zeka & istatistik uygulamalarından faydalanılabilir.

6.3 Laboratuvar Ölçeklerinde KCl Çamurunun Deneysel Verileri ve Analizi

Gerçek kuyu verileri ile yapılan deneyler ile laboratuvar koşullarında hazırlanan yapay sondaj çamuru sonuçları bu bölümde kıyaslanmaktadır. Pilot KCl polimer çamuru 1 lt su içerisinde Çizelge 6.11'de verilen kimyasal katkı malzemeleri kullanılarak hazırlanmıştır. Bu pilot çamur için yapılan çamur seti deney sonuçları Çizelge 6.12'de listelenmektedir. Laboratuvar koşullarında gerçekleştirilen bu pilot deneyinde kuyu basınç ve sıcaklık şartları sağlanamadığından çamurda kullanılan polimerlerin (Pac LV ve XCD) etkinliği düşük olarak ölçülmüş ve bu bağlamda reolojik ve sıvı kaybı özellikleri sağlanamamıştır. Polimer çamurların etkinliği için sıcaklık ve iyon inhibisyonunun uygun bir şekilde hazırlanması gerekmektedir. Bu pilot deneydeki sıcaklık 23°C civarında ölçülmüştür. MBT, kum miktarı, ağırlık gibi kuyu şartlarında artış gösteren parametreler düşük olarak ölçülmüştür. Cl^- ve K^+ gibi parametreler kuyu içi kil inhibisyonunu sağlamak adına tankta hazırlanırken önceden oluşturulan sondaj programına göre uygunluk seviyesine yakın tutulmuştur.

Çizelge 6.11. 1 lt su içerisinde laboratuvar ölçeklerinde hazırlanan pilot çamuru içeriği

Malzeme	Sembol	Miktarı, gr	Konsantrasyon, lb/bbl (ppb)
Soda Külü	Na_2CO_3	0,7	0,25
Kostik	NaOH	0,7	0,25
İnce kalsiyum karbonat	CaCO_3 ince	42	15
Modifiye Nişasta	-	15	5
Potasyum Klorür	KCl	95	33,3
Ksantan sakızı (XCD)	$\text{C}_8\text{H}_{14}\text{Cl}_2\text{N}_2\text{O}_2$	1,5	0,5
Tuz	NaCl	188	66
Polianyonik Selüloz	Pac LV	8,5	3

Bu duruma göre özellikle laboratuvar ölçeğinde yapılan polimer sondaj çamurlarını deneyinde sondaj çamurunun örnek kuyu sıcaklığında ve kuyu basıncındaki koşullarda hazırlanarak çamur deney setlerinin bundan sonra ölçülmesi daha gerçekçi koşulları yansıtabilir.

Çizelge 6.12. KCl polimer çamur ile yapılan laboratuvar pilot deneyi

Deney No:	L-1
Sıcaklık, °C	23
Ağırlık, ppcf (lb/ft³)	63
Huni viskozite, sn/qt	39
PV, cp	12
YP, 100 lb/ft²	8
Jel Mukavemeti, 10 sn 100 lb/ft²	2
Sıvı kaybı, ml/30dk	5,5
Kum miktarı, % Hacim	0,1
MBT, lb/bbl	0
pH	9,5
Cl⁻, mg/lt	130.000
K⁺, % Ağırlık	7

BÖLÜM 7

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada API standartlarına göre KCl polimer çamur deneyleri A-1, B-1 ve laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. Toplamda 41 sondaj çamur deney seti deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu tez çalışması sırasında elde edilen sonuçlar ve öneriler şu şekilde özetlenebilir:

- A-1 kuyusu için hazırlanan sondaj programı kapsamında ve yapılan pilot deney sonucunda hazırlanan KCl polimer çamuru, özellikle yüksek kil içerikli Germav formasyonu sondajında başlangıç değerlerini korumuş ve kuyu sondajı boyunca herhangi bir aksaklık yaşanmamıştır. Doğru ıslah yöntemleri, yerinde ve zamanında uygulandığında KCl polimer çamurların Germav formasyonu sondajında başarılı olduğu gözlemlenmiştir.
- B-1 kuyusu için hazırlanan kuyu programı ve yapılan pilot deney analizleri ile hazırlanmaya çalışılan KCl polimer çamur lojistik kaynaklı yaşanan aksaklıklardan dolayı hazırlanamamıştır. Potasyum klorür tedarikinde yaşanan aksaklıktan dolayı %7'lik K+ ile hazırlanması planlanırken %6,5'lik olarak hazırlanmıştır. Bundan dolayı kuyu sondajının başından itibaren kil bulaşımı MBT değerlerinde gözlemlenmiştir. B-1 kuyusunun arama kuyusu olmasıyla, kil içerikli Kastel formasyonu sonrasında beklenen Sayındere Formasyon 'unun erken gelmesi çamur kaçağına sebep olmuştur. Kireçtaşı litolojisine sahip olan Sayındere Formasyonu gözenekli ve geçirgen yapıya sahip olması ani kaçak oluşmasına neden olmuştur. Yaşanan çamur kaybı ile sistem hacminde azalan çamur miktarını tamamlamak için ilave edilen 50 bbl KCl polimer çamur kuyu içindeki KCl polimer ile aynı değerleri sağlanamamasından kaynaklı kuyu içi dengesizlik oluşarak kuyunun yıkılmasına sebebiyet vermiştir. Sirkülasyon ve çamur katkı malzemelerinin ilavesi ile kuyu içi denge sağlanmıştır. Hem kaçak hem yıkıntı bu şekilde engellenmiştir. Öngörülmeleyen aksaklıklar ile yaşanan zaman kaybı, maddi kayıp olarak yansımıştır. Bu durum sondaj planlamasında ve başarısında lojistik faktörlerinin ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.
- Laboratuvar ortamında oda sıcaklığında yapılan deneylerde polimerlerin etkin bir şekilde çalışmadığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle bu tezde olduğu kuyu şartlarında yapılan deneylerin daha gerçekçi sonuçlar ortaya koyduğu gözlemlenmiştir.

- Özellikle Güney Doğu Anadolu Bölgesinde yoğun bir şekilde sondaj yapıldığı düşünülürse bu sondajlardan elde edilen çamur verilerinin bir veri merkezinde toplanmasıyla birlikte yapay zekâ uygulamalarının da çamur özelliklerinin seçilmesinde yarar sağlayacağı ilerideki çalışmalar için tavsiye edilmektedir.

KAYNAKLAR

- Ahmed, N., Alam, M., Salam, M. A., 2020, Experimental analysis of drilling fluid prepared by mixing iron (III) oxide nanoparticles with a KCl–Glycol–PHPA polymer-based mud used in drilling operation. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 10(8), 3389–3397.
- Alikaya, T., 2001, *Polimerlerin KCl/ polimer tipi sondaj sıvılarının reolojik özellikleri üzerindeki etkileri*. Yüksek Lisans Tez, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği, Ankara.
- Al-ani, T., Sarapää, O., 2008, *Clay and Clay Mineralogy*.
- Anderson, R. L., Ratcliffe, I., Greenwell, H. C., Williams, P. A., Cliffe, S., Coveney, P. V., 2010, Clay swelling — A challenge in the oilfield. *Earth-Science Reviews*, 98(3–4), 201–216.
- Antia, M., Ezejiyor, A. N., Obasi, C. N., Orisakwe, O. E., 2022, Environmental and public health effects of spent drilling fluid: An updated systematic review. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 7, 100120.
- 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.
- Atagün, M., M., 2015, *Drilling Fluids Intermediate Level Course Manual*. TPAO Ankara, s.19-22.
- Bolgi, T., 1960, *İspandika, Germav Formasyonları tip seksiyonu*. TPAO Arama Grubu, Arşiv no.1482.
- 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.162.52s.
- Bourgoyne, A. T., Millheim, K. K., Chenevert, M. E., Young, F. S., 1991, *Applied Drilling Engineering*. Society of Petroleum Engineers, Vol.2 , ISBN: 978-1-55563-001-0.

- Bridges, S., Robinson, L., 2020, *A Practical Handbook For Drilling Fluids Processing*. Gulf Professional Publishing. ISBN: 978-0-12-821341-4.
- Browning, W. C., Perricone, A. C., 1963, Clay Chemistry And Drilling Fluids. *Drilling and Rock Mechanics Symposium, Austin, Texas, January 1963.*, SPE-540-MS.
- Bybee, K., 2009, Entrance Pressure of Oil-Based Mud Into Shale. *Journal of Petroleum Technology*, 61(11), 63–64.
- Davoodi, S., Al-Shargabi, M., Wood, D. A., Rukavishnikov, V. S., Minaev, K. M., 2023a, Synthetic polymers: A review of applications in drilling fluids. *Petroleum Science*. <https://doi.org/10.1016/j.petsci.2023.08.015>
- Davoodi, S., Al-Shargabi, M., Wood, D. A., Rukavishnikov, V. S., Minaev, K. M., 2023b, Thermally stable and salt-resistant synthetic polymers as drilling fluid additives for deployment in harsh sub-surface conditions: A review. *Journal of Molecular Liquids*, 371, 121117. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2022.121117>
- DF., 2020, *Special Drilling Muds*. <https://drillingfluid.org/drilling-fluids-handbook/special-drilling-muds.html>
- Ghadiri, M., Chrzanowski, W., Rohanizadeh, R., 2015, Biomedical applications of cationic clay minerals. *RSC Advances*, 5(37), 29467–29481.
- Grim, R. E., 1962, *Applied Clay Mineralogy*. McGraw Hill Text, ISBN: 978-0070248335.
- Gucuyener, I. H., Yanik, S., Gurcay, O. K., Ay, A., 2023, New Approaches to Improve Rheological Characterization of KCl/Polymer Muds. *SPE/IADC International Drilling Conference and Exhibition, Stavanger, Norway, March 2023*, SPE-212450-MS. <https://doi.org/10.2118/212450-MS>
- Gueciouer, A., Benmounah, A., Sekkiou, H., Kheribet, R., Safi, B., 2017, Valorization of KCl/PHPA system of water-based drilling fluid in presence of reactive clay: Application on Algerian field. *Applied Clay Science*, 146, 291–296.
- Guo, X., Li, B., Zhang, G., Yan, H., Li, W., Fan, Z., Tong, Q., 2023, Study on instability mechanism of KCl/PHPA drilling waste fluid. *Open Physics*, 21(1).
- Güven, A., Dinçer, A., Tuna, M. E., Çoruh, T., 1991, *Güneydoğu Anadolu Kampaniyen-*

- Paleosen otokton istifinin stratigrafisi*. TPAO Arama Grubu, Rapor no.2828.133s.
- Güven, A., Dinçer, A., Tuna, M. E., Tezcan, Ü. Ş., Çoruh, T., 1988, *Güneydoğu Anadolu’da Mardin ve Midyat Grupları arasında yer alan birimlerin stratigrafisi*. TPAO Arama Grubu, Rapor no.2414,154s.
- Halim, M. C., Hamidi, H., Akisanya, A. R., 2021, Minimizing Formation Damage in Drilling Operations: A Critical Point for Optimizing Productivity in Sandstone Reservoirs Intercalated with Clay. *Energies*, 15(1), 162.
- 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.
- Korucu, Ö., Işık, V., 2023, Güneydoğu Anadolu Orojenezinde Aksu-Samsat (Adıyaman) Profil Hattının Jeolojik Özellikler. *Yerbilimleri*, 2023, 44 (1), 22-63, 11293, 44(1), 22–63, 1129329.
- Kök, M. V., Alikaya, T., 2005, Effect of Polymers on the Rheological Properties of KCl/Polymer Type Drilling Fluids. *Energy Sources*, 27(5), 405–415.
- Liu, H., 2021, *Wind Forecasting in Railway Engineering*. Elsevier, ISBN: 978-0-12-823706-9.
- Luo, D., 2011, *Drilling Equipment*. http://ffden2.phys.uaf.edu/212_spring2011.web.dir/Dan_Luo/web_page/Drilling_rig.html
- Mitchell, R. F., Miska, S. Z., 2010, *Fundamentals of Drilling Engineering*. Society of Petroleum Engineers. ISBN: 978-1555632076.
- Mohammadi, K. M., Riahi, S., Boek, E. S., 2023, An insight review on formation damage induced by drilling fluids. *Reviews in Chemical Engineering*, 39(3), 387–415.
- MTA , 2002, Maden Teknik Arama Türkiye Jeoloji Haritası-Diyarbakır. <https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/doc/DIYARBAKIR.pdf>
- Muhammed, N. S., Olayiwola, T., Elkatatny, S., 2021, A review on clay chemistry, characterization and shale inhibitors for water-based drilling fluids. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 206, 109043.

- Murray, H. H., 2007, *Applied Clay Mineralogy: Occurrences, Processing and Application of Kaolins, Bentonites, Palygorskite-Sepiolite, and Common Clays*. Elsevier, ISBN: 978-0-444-51701-2.
- Özgür, E., 2016, Upstream Petroleum Law and activities in Turkey. *Energy Policy*, 88, 131–137.
- Özgür, E., 2017, *Petrol Rezervuarlarında Uygulanan Üçüncül Üretim Yöntemleri ve Türkiye İçin Öneriler*. Petrol Mühendisleri Odası Yayınları, ISBN: 978-605-01-0.
- Perinçek, D., 1980, Arabistan kıtası kuzeyindeki tektonik evrimin, kıta üzerinde çökelen istifteki etkileri. *Türkiye 5. Petrol Kongresi, Jeoloji-Jeofizik Bildirileri. Nisan 1980, Ankara*.
- Perinçek, D., Özkaya, İ., 1981, Arabistan levhası kuzey kenarı tektonik evrimi. *Yerbilimleri*, 8, 91–102.
- Rehm, B., Haghshenas, A., Paknejad, A., Al-Yami, A., Hughes, J., Schubert, J., 2012, *Flow Drilling: Underbalance Drilling with Liquid Single-Phase Systems*. Gulf Publishing Company, ISBN: 978-1-933762-05-0. <https://doi.org/10.1016/B978-1-933762-05-0.50009-7>
- Rosa, R. C., Rosa, A. L., Farias, S. B., Garcia, M. H., Coelho, A. S., 2005, A New Inhibitive Water-Based Fluid: A Completely Cationic System. *SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference, Rio de Janeiro, Brazil, June 2005*, SPE-94523-MS.
- Saltık, O., Saka, K., 1971, *İnişdere tip stratigrafi kesiti*. TPAO Arama Gubu Arşiv no.4308.
- Schulze, D. G., 2005, Clay Minerals. In D. Hillel (Ed.), *Encyclopedia of Soils in the Environment* (pp. 246–254). Elsevier, ISBN: 9780123485304. <https://doi.org/10.1016/B0-12-348530-4/00189-2>
- Seaborn., 2024, *seaborn.heatmap*. <https://seaborn.pydata.org/generated/seaborn.heatmap.html#seaborn.heatmap>
- Shi, X., Wang, L., Guo, J., Su, Q., Zhuo, X., 2019, Effects of inhibitor KCl on shale expansibility and mechanical properties. *Petroleum*, 5(4), 407–412.
- Steiger, R. P., 1982, Fundamentals and Use of Potassium/Polymer Drilling Fluids To

- Minimize Drilling and Completion Problems Associated With Hydratable Clays. *Journal of Petroleum Technology*, 34(08), 1661–1670.
- Sungurlu, O., 1973, *VI.Bölge Gölge-Gerger arasındaki sahanın jeolojisi*. TPAO Arama Grubu, Rapor no.802,30s.
- Tian, Y., Liu, X., Luo, P., Huang, J., Xiong, J., Liang, L., Li, W., 2021, Study of a Polyamine Inhibitor Used for Shale Water-Based Drilling Fluid. *ACS Omega*, 6(23), 15448–15459.
- Tingay, M., Reinecker, J., Müller, B., 2008, *Borehole breakout and drilling-induced fracture analysis from image logs*. World Stress Map Project.
<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=9ef40ae7070a9120ea9372f481c70e068fd4561b>
- Toka, B., 2022, Karotlu sondaj kulelerinde sorunlu formasyonlar için uygulanan çamur sistemleri. *Bulletin Of The Mineral Research and Exploration*, 168, 67–75.
- TPAO., 1990, *Kastel-2 kuyusu kompozit kuyu logu*. TPAO Arama Grubu, Arşiv no.2194.
- TPAO., 2006, *Sondaj Akışkanları Teknolojisi Kursu (Kil Kimyası)*. TPAO ArGE Sondaj Teknolojisi Müdürlüğü, Ankara.
- TPAO., 2007, *Sondaj Akışkanları Teknolojisi (Lignosülfonat Çamuru)*. Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) Araştırma Merkezi Daire Başkanlığı Sondaj Teknolojisi Müdürlüğü.
- TPAO., 2017, Formasyonların Özellikleri ve Yaşanan Problemler. 22. *Dünya Petrol Kongresi, İstanbul, Temmuz 9-13, 2017*.
- USGS., 2001, *Smectite Group*. U. S. Geological Survey Open-File Report 01-041.
<https://pubs.usgs.gov/of/2001/of01-041/html/docs/clays/smc.htm>
- Usmani, M. A., Khan, I., Ahmad, N., Bhat, A. H., Sharma, D. K., Rather, J. A., Hassan, S. I., 2016, Modification of Nanoclay Systems: An Approach to Explore Various Applications. In *Nanoclay Reinforced Polymer Composites* (pp. 57–83).
https://doi.org/10.1007/978-981-10-1953-1_3
- Uyar, T., T., 2011, *Geomechanical wellbore stability assesment for Sayindere, Karaboğaz*,

Karababa formations in X field. ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

van Oort, E., 1994). A Novel Technique for the Investigation of Drilling Fluid Induced Borehole Instability in Shales. *Rock Mechanics in Petroleum Engineering, Delft, Netherlands, August 1994*, SPE-28064-MS.

van Oort, E., Hale, A. H., Mody, F. K., Roy, S., 1996, Transport in Shales and the Design of Improved Water-Based Shale Drilling Fluids. *SPE Drilling Completion*, 11(03), 137–146.

Yılmaz, E., Duran, O., 1997, *Güneydoğu Anadolu bölgesi otokton ve allohton birimler.* TPAO Araştırma Merkezi Eğitim Yayınları. No.31, 460s.

Yoldemir, O., 1987, *Suvarlı-Haydarlı-Narlı-Gaziantep arasında kalan alanın jeolojisi yapısal durumu ve petrol olanakları.* TPAO Arama Grubu , Rapor no.2275,60s.

YÖK., 2024, *Yüksek Öğretim Başkanlığı Tez İzleme Sistemi.*
<https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>