



**Jeotermal Kuyu Sondajlarında Kaçak ve Buru
Problemlerinin Sondaj Sıvısı Yönünden İncelenmesi**

Program Kodu: 1001

Proje No: 215M766

Proje Yürütücüsü:

Prof. Dr. Mustafa Verşan KÖK

Araştırmacılar:

Doç. Dr. İ. Hakkı Gücüyener

Gökhan Bağatır

Bursiyerler:

Ahmet Sönmez

Berk Bal

TEMMUZ 2018

ANKARA

ÖNSÖZ

Bu rapor Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenen 215M766 no'lu "Jeotermal Kuyu Sondajlarında Kaçak ve Buru Problemlerinin Sondaj Sıvısı Yönünden İncelenmesi" adlı projenin çalışmaları sırasında elde edilen bilgi ve sonuçları kapsamaktadır.

Bu proje jeotermal kuyu sondajlarında sıkça karşılaşılan kaçak ve buru problemlerini en aza indirecek sondaj sıvısı kompozisyonların bulunması amacı ile yapılmıştır. Yüksek sıcaklık ve yüksek basınca dayanımı olan sondaj sıvılarının kaçak tıkama performansları, kayganlaştırma performansları, fiziksel ve kimyasal analizleri deneysel olarak detaylıca incelenmiştir.

TÜBİTAK 1001 Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projelerini Destekleme Programı kapsamında yapılmış olan bu proje, Orta Doğu Teknik Üniversitesi ve GEOS Enerji A.Ş.'nin işbirliği ile tamamlanmıştır.

Proje ekibi adına, bu projenin gerçekleştirilmesine olanak sağlayan ve projeyi destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumuna (TÜBİTAK) içten teşekkürlerimizi sunarım.

Prof. Dr. Mustafa Verşan KÖK

İÇİNDEKİLER

ÖZET	viii
ABSTRACT	ix
TERİMLENDİRME	x
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ANALİZİ	2
3. DENEY YÖNTEMİ	5
3.1. Sondaj Sıvısı Seçimi	5
3.2. Sondaj Sıvılarının Hazırlanması	5
3.2.1. Sondaj Sıvısı Katkı Maddeleri	8
3.2.1.1. Katkısız Bentonit (GEOBEN NT)	8
3.2.1.2. HT Polimer (TEMPROL)	8
3.2.1.3. POLYTS P	8
3.2.1.4. HT İnceltici (GEOTHIN HT)	8
3.2.1.5. Sodyum Hidroksit (KOSTİK SODA).....	8
3.2.1.6. PAC-LV (REOPAC LV)	8
3.2.1.7. XCD Polimer (REOZAN D).....	9
3.2.1.8. Kalsiyum Karbonat (GEOCARB F/M/C).....	9
3.2.1.9. Barit (GEOBAR)	9
3.2.1.10. Soda Külü (Na_2CO_3).....	9
3.2.1.11. Sodyum Bikarbonat (NaHCO_3)	9
3.2.1.12. Kireç ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)	10
3.2.1.13. Alçı (CaSO_4).....	10
3.2.1.14. Köpük Kırıcı (DEFOAM SB)	10
3.2.1.15. Kayganlaştırıcı (SLIDE L).....	10
3.3. API RP-13B Su Bazlı Sondaj Sıvıları Analizleri	10

3.3.1. Yoğunluk.....	10
3.3.2. Viskozite ve Jel Mukavemeti	11
3.3.3. Sıvı Kaybı Miktarı ve Çamur Keki Kalınlığı	11
3.3.3.1. Düşük Basınç ve Düşük Sıcaklık	12
3.3.3.2. Yüksek Basınç ve Yüksek Sıcaklık.....	12
3.3.4. pH.....	13
3.3.5. Cl ⁻ İyonu İçeriği	13
3.3.6. Ca ²⁺ İyonu İçeriği	13
3.4. Geçirgenlik Tıkama Deneyi (Permeability Plugging Test).....	14
3.5. Kayganlaştırma Performansı Analizi	16
4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	17
4.1. Geçirgenlik Tıkama Performansı Analizleri.....	17
4.2. Kayganlaştırma Performansı Analizleri.....	21
4.2.1. 30 lb/bbl CaCO ₃ A İçeren Sondaj Sıvısı Kayganlaştırma Analizleri	22
4.2.2. 50 lb/bbl CaCO ₃ A İçeren Sondaj Sıvısı Kayganlaştırma Analizleri	24
4.2.3. 50 lb/bbl CaCO ₃ C İçeren Sondaj Sıvısı Kayganlaştırma Analizleri	26
4.2.4. 50 lb/bbl CaCO ₃ B İçeren Sondaj Sıvısı Kayganlaştırma Analizleri	28
4.2.5. Köpük Oluşumu	30
4.2.6. Yağlanma (Greasing) ve Peynirsi Tabaka Oluşumu (Cheesing).....	32
4.3. Sondaj Sıvısı Fiziksel ve Kimyasal Analizleri.....	32
4.4. Sondaj Sıvısı Özelliklerinin Kayganlaştırma Performansı Üzerindeki Etkileri.....	35
4.4.1. Kireç (Ca(OH) ₂) Etkisi	36
4.4.2. Jips (CaSO ₄ .2H ₂ O) Etkisi	36
4.4.3. Tuzluluk Etkisi.....	36
4.4.4. Barit Etkisi.....	36
4.5. Tekrarlanabilirlik Testleri	43

5. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	45
6. SONUÇLAR.....	47
7. KAYNAKÇA.....	49

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil-1:Döner Fırın (Roller Oven).....	7
Şekil-2: Geçirgenlik Tıkama Ölçüm Cihazı	15
Şekil-3: Kayganlık Ölçüm Cihazı	16
Şekil-4: Geçirgenlik Tıkama Deneyi, 20 mikron	18
Şekil-5: Geçirgenlik Tıkama Deneyi, 50 mikron	19
Şekil-6: Geçirgenlik Tıkama Deneyi, 120 mikron	20
Şekil-7: Geçirgenlik Tıkama Deneyi, 150 mikron	21
Şekil-8: Talol Bazlı (Sol) ve Ester Bazlı (Sağ) Kayganlaştırıcılar	22
Şekil-9: Kayganlaştırma Performansı Analizleri, 30 lb/bbl CaCO ₃ A	23
Şekil-10: Kayganlaştırma Performansı Analizleri, 50 lb/bbl CaCO ₃ A	25
Şekil-11: Kayganlaştırma Performansı Analizleri, 50 lb/bbl CaCO ₃ C	27
Şekil-12: Kayganlaştırma Performansı Analizleri, 50 lb/bbl CaCO ₃ B	29
Şekil-13: Sondaj Sıvılarının İçerisine Eklenen Köpük Kırıcı	31
Şekil-14: %1 LUBE-2 Köpük Kırıcı Eklenmeden Önce ve Sonra	31
Şekil-15: % 2 LUBE-2 Köpük Kırıcı Eklenmeden Önce ve Sonra	31
Şekil-16: %3 LUBE-2 Köpük Kırıcı Eklenmeden Önce ve Sonra	32
Şekil-17: Kayganlaştırma Katsayısı Karşılaştırması (30 ppb CaCO ₃ A + %2 LUBE-1)	41
Şekil-18: Kayganlaştırma Katsayısı Karşılaştırması (50 ppb CaCO ₃ A + %2 LUBE-1)	41
Şekil-19: Kayganlaştırma Katsayısı Karşılaştırması (50 ppb CaCO ₃ B + %2 LUBE-1)	42
Şekil-20: Kayganlaştırma Katsayısı Karşılaştırması (50 ppb CaCO ₃ C + %3 LUBE-1)	42

TABLULAR LİSTESİ

Tablo-1: Yüksek Basınç Yüksek Sıcaklık (HPHT) Su Bazlı Sondaj Sıvısı Konsantrasyonları	6
Tablo-2: Kullanılan CaCO ₃ Boyut Analizi	6
Tablo-3: API RP-13B Önerilen Karşıt Basınç Değerleri	7
Tablo-4: API RP-13B Önerilen Karşıt Basınç Değerleri	13
Tablo-5: 20 mikron Geçirgenlik Tıkama Deneyi Sonuçları	17
Tablo-6: 50 mikron Geçirgenlik Tıkama Deneyi Sonuçları	18
Tablo-7: 120 mikron Geçirgenlik Tıkama Deneyi Sonuçları	19
Tablo-8: 150 mikron Geçirgenlik Tıkama Deneyi Sonuçları	20
Tablo-9: En İyi Tıkama Performansına Sahip Sondaj Sıvısı Kompozisyonları	21
Tablo-10: Kayganlaştırıcı Numuneleri ve Özellikleri.....	22
Tablo-11: Sondaj Sıvıları Kayganlaştırma Testi Sonuçları, 30 lb/bbl CaCO ₃ A	24
Tablo-12: Sondaj Sıvıları Kayganlaştırma Testi Sonuçları, 50 lb/bbl CaCO ₃ A	26
Tablo-13: Sondaj Sıvıları Kayganlaştırma Testi Sonuçları, 50 lb/bbl CaCO ₃ C	28
Tablo-14: Sondaj Sıvıları Kayganlaştırma Testi Sonuçları, 50 lb/bbl CaCO ₃ B	30
Tablo-15: En İyi Tıkama ve Kayganlaştırma Performansına Sahip Sondaj Sıvısı Kompozisyonları	32
Tablo-16: Sondaj Sıvıları Fiziksel ve Kimyasal Deney Sonuçları (20-50-120-150 mikron)	34
Tablo-17: Şebeke Suyu ve Saf Su Kimyasal Özellikleri	34
Tablo-18: Sondaj Sıvısı Özelliklerinin Kayganlaştırma Üzerine Etkileri (30 ppb CaCO ₃ A + %2 LUBE-1)	37
Tablo-19: Sondaj Sıvısı Özelliklerinin Kayganlaştırma Üzerine Etkileri (50 ppb CaCO ₃ A + %2 LUBE-1)	38
Tablo-20: Sondaj Sıvısı Özelliklerinin Kayganlaştırma Üzerine Etkileri (50 ppb CaCO ₃ B + %2 LUBE-1)	39
Tablo-21: Sondaj Sıvısı Özelliklerinin Kayganlaştırma Üzerine Etkileri (50 ppb CaCO ₃ C + %3 LUBE-1)	40

Tablo-22: Sondaj Sıvıları Fiziksel ve Kimyasal Tekrarlanabilirlik Testleri	43
Tablo-23: Sondaj Sıvıları Kayganlaştırma Tekrarlanabilirlik Testleri	44
Tablo-24: Geçirgenlik Tıkama Deneyi Tekrarlanabilirlik Testleri	44

ÖZET

Jeotermal kuyu sondajlarında yaşanan olası bir çamur kaçağının neden olduğu kuyu stabilitesi problemleri sonucunda oluşan yüksek buru değerleri, sondaj dizisinin ağırlık almasına, takım sıkışmalarına ve bazı durumlarda ise kuyunun terk edilmesine varan sorunlara yol açmaktadır. Bu sorunları en aza indirmek için çamur kaçağını kapatmaya yönelik çamur kompozisyonları ile etkin kayganlaştırma performansı, yüksek sıcaklık ve yüksek basınç dayanımı olan sondaj sıvısı kompozisyonları kullanılmalıdır. Bilinen en yüksek kayganlaştırma performansını, petrol/sentetik bazlı sondaj sıvıları vermektedir. Ancak hem ekonomik açıdan hem de çevresel nedenlerden dolayı bu sondaj sıvısı sistemlerinin kullanımı problem yaratmaktadır. Bu noktada, kayganlaştırma performansı yüksek, yüksek sıcaklık ve yüksek basınç (YSYB) koşullarına dayanıklı, kaçaklı formasyonlarda etkin su bazlı sondaj sıvısı kompozisyonlarının bulunması araştırılmıştır.

Proje kapsamında, Türkiye ve Dünya'da Jeotermal sondajlarda kullanılmakta olan yüksek performanslı HTHP sondaj sıvısı üzerine çeşitli kayganlaştırıcılar (kimyasal ticari lubrikantlar) eklenerek, petrol/sentetik bazlı sondaj sıvısı sistemlerine en yakın kayganlaştırma performansını veren kompozisyonlar belirlenmiştir. Yaşanacak olası çamur kaçaklarını kapatmak ve basınç farkından dolayı oluşan dizi sıkışması problemini minimuma indirmek amacıyla çeşitli boyutlarda kaçak malzemeleri kullanılmış, formasyonun özellikleri göz önüne alınarak yeni ve geçerli formülasyonlar oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: sondaj sıvısı, jeotermal, kaçak, kayganlaştırma, YSYB, buru

ABSTRACT

Potential loss circulation problems in geothermal wells cause wellbore instability and so high torque and friction. Excessive torque causes overpulls, pipe stuck and severe problems to abandon the well in some cases. To minimise these problems; drilling fluids with proper loss circulation materials and high lubricity performance should be used. Known fact is that, oil/synthetic based drilling fluids have the best lubricity performance. However, application of these drilling fluid systems is limited because of the high cost and environmental problems. At this point, water based drilling fluid compositions with high lubricity performance, high temperature-high pressure (HTHP) resistant, high loss circulation zones plugging performance will be investigated.

In our project, HTHP drilling fluid system; frequently used in Turkey and worldwide, is selected for the experiments. Several lubricants (chemical commercial lubricants) are mixed in this fluid system, in order to find the compositions for the best lubricity performances nearest to the oil/synthetic based drilling fluid systems. Also, considering the formation characteristics; best fluid compositions are formulated to plug the potential loss zones and decrease the differential-sticking problem by using proper lost circulation materials.

Keywords: drilling fluid, geothermal, loss circulation, lubricity, HTHP, torque

TERİMLENDİRME

API	American Petroleum Institute (Amerikan Petrol Enstitüsü)
Dev/dk	Dakikadaki Devir Sayısı
HPHT	High Pressure High Temperature (Yüksek Basınç Yüksek Sıcaklık)
ppb veya lb/bbl	Pound Per Barrel
PPA	Permeability Plugging Apparatus (Geçirgenlik Tıkama Cihazı)
PPT	Permeability Plugging Test (Geçirgenlik Tıkama Testi)
PV	Plastic Viscosity (Plastik Viskozite)
YP	Yield Point (Akma Noktası)

1. GİRİŞ

Jeotermal sondaj endüstrisinin en önemli problemlerinden olan kaçak ve buru problemleri; sondaj operasyonunun tamamlanamayıp kuyunun terk edilmesine varan sorunlara yol açabildiği bilinmektedir. Bu problemleri en aza indirecek sondaj sıvısı kompozisyonları; olası bir çamur kaçağının neden olduğu kuyu stabilitesi bozulmaları sonucunda oluşan yüksek buru değerlerini en aza indirecek, bu problemler sonucunda oluşabilecek sondaj dizisi sıkışması, kopması ve kuyu kaybetme risklerini düşürecektir. Bilinen en yüksek kayganlaştırma performansını, petrol/sentetik bazlı sondaj sıvıları vermektedir. Ancak hem ekonomik açıdan hem de çevresel nedenlerden dolayı bu sondaj sıvısı sistemlerinin kullanımı tercih edilmemektedir. Bu proje kapsamında, yüksek basınç ve yüksek sıcaklık (HPHT) koşullara dayanıklı, kayganlaştırma performansı yüksek, kaçaklı formasyonlarda etkin tıkama potansiyeline sahip su bazlı sondaj sıvısı kompozisyonlarının bulunması araştırılmıştır.

Projenin ilk aşamasında, yüksek basınç ve yüksek sıcaklığa dayalı baz sondaj sıvısı hazırlanmış ve bu sıvı içerisine üç farklı miktarda (10 ppb, 30 ppb, 50 ppb) ve üç farklı tane boyutu dağılımına sahip CaCO_3 eklenmiştir. Geçirgenlik Tıkama Cihazı (Permeability Plugging Apparatus) kullanılarak, hazırlanmış olan bu sondaj sıvılarının kaçak tıkama performansları değerlendirilmiştir. Deneyler 1000 psi normal basınç ve 100 psi ters basınç altında 300 °F (149 °C) sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Farklı formasyonları temsil etmesi amacıyla 20, 50, 120 ve 150 mikron gözenek boyutlarına sahip seramik diskler kullanılmıştır. 7,5 dakika ve 30 dakika sıvı kaybı değerleri her sondaj sıvısı için kaydedilmiştir.

En iyi kaçak tıkama performansı sergileyen sondaj sıvısı kompozisyonun içerisine iki farklı kayganlaştırıcı, farklı oranlarda (%1, %2, %3) eklenerek kayganlaştırma deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler için sondaj dizisini simüle eden Kayganlık Ölçme Cihazı (Lubricity Tester) kullanılmıştır.

Bu deneyler sonucunda en iyi tıkama ve kayganlık performansına sahip sondaj sıvısı kompozisyonunun fiziksel (yoğunluk, reoloji, API/HPHT sıvı kaybı, peynirsi tabaka oluşumu) ve kimyasal (pH, Ca^{2+} iyonu, Cl^- iyonu) testleri gerçekleştirilmiş ve sonuçlar analiz edilmiştir.

Bu deneylere ek olarak en iyi tıkama ve kayganlık performansına sahip sondaj sıvısı kompozisyonlarına; Barit, NaCl, Jips ve Kireç ile ayrı ayrı müdahale edilmiş ve bu müdahalelerin sondaj sıvısı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Ayrıca; her cihaz için tekrarlanabilirlik testleri yapılmış ve araştırmacıların bilgisine sunulmuştur.

2. LİTERATÜR ANALİZİ

Quigley ve diğerleri (1990), yüksek açılı kuyularda (45-90°) sondaj dizisinin kuyu cidarına sürtünerek yarattığı buruyu ölçmek için “kuyu içi sürtünme simülatörü” adı verilen bir cihaz kullanmışlardır. Simülasyonda sadece ağırlaştırılmamış Lignosülfonat Sondaj Sıvısı, kayganlaştırıcı ve kayganlaştırıcısız olarak kullanılmakta ve kayganlaştırma performansları hesaplanmaktadır. Tyldsley ve diğerleri (1979), gerçekleştirdikleri çalışmada bitkisel yağ bazlı bir kayganlaştırıcının Kuzey Denizindeki yönlü kuyularda buru değerlerine ve sondaj sıvısı özelliklerine etkilerini incelemiştir. Çevreye duyarlı, toksik olmayan bir kayganlaştırıcı olan bu kayganlaştırıcı, Kuzey Denizinde, yüksek sıcaklıklarda başarılı olarak çalışmış, sondaj sıvısındaki oranı %3 olarak kullanıldığında olumlu sonuçlar ortaya koymuştur. 10000 ft’i aşan metrajlarda bu oran buru değerlerinde %30 düşme sağlamıştır. Ayrıca bu kayganlaştırıcının Kuzey Denizinde kullanılan Lignosülfonat Sondaj Sıvısı sistemi üzerinde reolojik özelliklerden biri olan kopma noktası değerini arttırdığı ve sıvı kaybı değerini düşürdüğü gözlemlenmiştir. ***Biz ise çalışmamızda jeotermal sondaj sektöründe kullanılmakta olan HPHT koşullara dayanıklı sondaj sıvısı sistemi üzerinde testlerimizi yaptık.***

Schamp ve diğerleri (2006); yönlü ve uzun kuyularda yaşanan buru problemlerini minimum indirme teknikleri üzerine çalışmalar yapmışlardır. 9-11 km uzunluğuna ulaşan bu kuyularda buru değerlerini düşürmek amacıyla çeşitli yöntemler denenmiştir. Sıvı kayganlaştırıcı kullanılan en uzun kuyularda bile, buru değerlerinde %5 ve %15 arasında düşümler sağlamıştır. Sıvı kayganlaştırıcılar sondaj sıvısına %2-6 oranında eklendiğinde olumlu etki gösterdiği, %6’yı aşan durumlarda buru düşürmede faydasının artmadığı gözlemlenmiştir. Quigley ve diğerleri ise (1989), gerçekleştirdikleri araştırmada çeşitli ağırlıkta ve çeşitli kayganlaştırıcılar içeren, değişik kompozisyonlardaki sondaj sıvılarının kayganlaştırma performansları karşılaştırmışlardır. Çalışmanın sonucunda bazı kayganlaştırıcıların sadece laboratuvarında testi yapılan, kuyu ve dizi arasındaki sürtünme katsayısını düşürmede etkili olduğu görülmüştür. Ancak bazı kayganlaştırıcıların, bu görevinin yanı sıra, kuyuyu stabilize etmek, matkap sarmasını azaltmak, daha iyi çamur keki oluşmasını sağlamak gibi ekstra pozitif etkileriyle, buruyu azaltmada yardımcı olduğu görülmüştür. ***Biz ise projemizde kimyasal ticari kayganlaştırıcılar ile birlikte değişik boyutlarda kaçak önleme kimyasalları kullanarak fiyat/performans oranı en verimli kompozisyonları belirledik ve sektörün kullanımına sunduk.***

Argillier ve diğerleri (1996); çalışmalarında, çevresel kısıtlamalardan dolayı su bazlı sondaj sıvısına eklenen sadece ester bazlı bir kayganlaştırıcının, değişik formülasyona sahip sondaj

sıvılarında performanslarını ölçülmüşlerdir, Bu kayganlaştırıcı sondaj sıvısı reolojisini olumsuz yönde etkilemediği gibi, sıvı kaybı değerlerinin düşürülmesinde olumlu rol oynamıştır. En iyi kayganlaştırma performansının kayganlaştırıcının sondaj sıvısına %3 oranında eklendiğinde ortaya çıktığı görülmüştür. ***Biz ise çalışmamızda değişik bazlı çevreye duyarlı birkaç farklı kimyasal ticari kayganlaştırıcı kullandık.***

Foxenberg ve diğerleri (2008); çevreye duyarlı yeni bir kayganlaştırıcının, sürtünmeyi düşürmede ve formasyona uyumluluğunda etkisi saha çalışmalarıyla gözlemlenmiştir. Bu kayganlaştırıcının en önemli özelliği, yüksek yoğunluklu Kalsiyum Bromür (CaBr_2) de dahil olmak üzere, kuyu tamamlama sıvılarında tamamen çözülebilir olması olarak gösterilmiştir. Ayrıca, Whitfill ve diğerleri (2003), Petrol bazlı sondaj sıvısı sistemleri üzerinde kaçak tapası kompozisyonları üzerinde çalışmış, kaçağı oluşmadan önleyecek sondaj sıvısı kompozisyonları üzerinde durmuşlardır. ***Ancak bu iki çalışmada da bizim çalışmamızda kullandığımız jeotermal sondaj sektöründe kullanılan su bazlı sondaj sıvıları üzerinde herhangi bir çalışma yapılmamıştır.***

Bauer ve diğerleri (2005), jeotermal kuyularda karşılaşılan ciddi kaçak problemlerinin yarattığı zaman kaybını en aza indirmek için, silikat bazlı kaçak tapası dizaynı üzerinde çalışmıştır. Bu tapanın sıcaklık dayanımı ve kullanılabilirliği incelenmiştir. Ancak kayganlaştırmaya etkisi üzerinde durulmamıştır. Suyan ve diğerleri (2007), kaçak tapası olarak çapraz bağlanmış polimerler üzerinde çalışmışlardır. Tam kaçaklı formasyonlarda alışlagelmiş kaçak tapalarından daha iyi bir performans sergiledikleri gözlenmiştir. Ancak bu tapaların asitte çözünebilirliği ve sıcaklığın üzerindeki etkileri konularında bir bilgi verilmemiştir. Qureshi ve diğerleri (2008), Potasyum Format (HCOOK) rezervuar sondaj sıvıları üzerinde fiber kaçak malzemesi kullanarak tapa uygulamaları planlamış ve başarılı olmuşlardır. ***Biz ise jeotermal sondajlar için özel dizayn edilmiş sondaj sıvısı üzerine kaçak tıka malzemesi olarak çeşitli boyutlarda asitte çözünebilir Kalsiyum Karbonat (CaCO_3) ekledik.***

Growcock ve diğerleri. (1998) su bazlı sondaj sıvıları için belli başlı kayganlaştırıcıların kayganlaştırma potansiyellerini araştırmışlardır. Bentonit-su karışımı, polimer bazlı ve lignosülfonat bazlı sondaj sıvıları üzerine çeşitli oranlarda ve özelliklerde kayganlaştırıcılar eklenmiş, bu kayganlaştırıcıların kayganlaştırma potansiyelleri sürtünme katsayıları hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Bu çalışma sonucunda kullanılan kayganlaştırıcıların hiçbirinin Lignosülfonat Sondaj Sıvısında etkili olmadığı görülmüştür. Knox ve diğerleri (2005) araştırmalarında kuyu tamamlama sıvıları, düşük katı madde içeren su bazlı sondaj sıvıları ve tuz bazlı rezervuar sondaj

sıvılarına eklenen kayganlaştırıcıların performans analizi yapılmıştır. Kayganlaştırıcı içeren su bazlı Lignosülfonat Sondaj Sıvısı ile ilgili bir çalışma ve bu çalışmaların fiyat/performans analizleri gerçekleştirilmemiştir. ***Biz ise çalışmamızda jeotermal sondajlara uygun olarak güçlendirilmiş Lignosülfonat Sondaj Sıvısının üzerine çeşitli oranlarda kayganlaştırıcılar ekleyip en yüksek kayganlaştırma performansını veren kompozisyonları sektörün kullanımına sunduk.***

3. DENEY YÖNTEMİ

3.1. Sondaj Sıvısı Seçimi

Proje kapsamında yapılacak olan deneyler için baz sondaj sıvısı kompozisyonu seçimi yapılırken saha uygulamaları dikkate alınmıştır. Türkiye’de jeotermal sahalarda kaçak problemlerinin en çok yaşandığı formasyonlarda kullanılan sondaj sıvıları dikkatle incelenerek, deneylerde kullanılacak olan sondaj sıvısının içeriği belirlenmiştir.

Kaçak tıkama için kullanılacak olan katkı maddesi Kalsiyum Karbonat (CaCO_3) olarak seçilmiştir. Kalsiyum Karbonat, asitte çözünebilir bir kaçak tıkama malzemesi olduğundan, yapılacak bir asitleme operasyonu ile çözünecek ve olası bir rezervuar kirlenmesini minimuma indirecektir. Ayrıca, kullanılan Kalsiyum Karbonat tane boyutları, kullanılacak seramik disk gözenek boyurlarına uygun olarak, sondaj sektöründe sıklıkla kullanılmakta olan ticari karışımlardan seçilmiştir.

Kayganlaştırma performansı için kullanılacak kimyasal ticari kayganlaştırıcılar, yüksek sıcaklık ve yüksek basınç koşullarına dayanıklı ve çevreye duyarlı kimyasallar olarak seçilmiştir.

3.2. Sondaj Sıvılarının Hazırlanması

Sondaj sıvısının içeriği Tablo-1 de gösterilmektedir. Sondaj sıvıları saha şartlarında olduğu gibi şebeke suyu kullanılarak hazırlanmıştır. Daha sonra hassas terazi yardımı ile tartılmış olan katkı maddeleri sırası ile karışmakta olan su içerisine atılmıştır. Topaklanmayı önlemek amacı ile bu işlem yavaş bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Toplamda karıştırma süresi 20 dakika olarak seçilmiştir. Bu süre homojen bir karışım elde etmek için yeterlidir. Bu sürenin daha uzun tutulması, sondaj sıvısı içerisinde bulunan ve yapılmakta olan deneylerin asıl amacını teşkil eden CaCO_3 ’ün parçacık boyutunun değişmesine neden olabilmektedir. Bu sebeple hazırlanan bütün sondaj sıvılarının karıştırma süresi aynı olacak şekilde ayarlanmıştır.

Tablo-1’de kompozisyonları verilen sondaj sıvılarının hazırlanmasında aşağıda verilen sıra takip edilmelidir. İlk 8 sıra Baz sondaj sıvısının hazırlanma prosedürü olup, 9. Sıra ile S1 numaralı sondaj sıvısı numunesi hazırlanmaktadır.

1. Karıştırma kabına yeterli miktarda su alınır.
2. Bentonit 10 ppb / 5 dakika hızında ilave edilir ve 20 dk karıştırılır.
3. Bentonit tam olarak şişip viskoz bir süspansiyon oluşuncaya kadar 16 saat dinlendirilir
4. PAC LV 2 ppb / 5 dakika hızında ilave edilir.

5. POLYTS P 1.75 ppb / 5 dakika hızında ilave edilir.
6. HT İnceltici %0.08 / 2 dakika hızında ilave edilir.
7. HT Polimer 3 ppb / 10 dakika hızında ilave edilir.
8. XCD 1.75 ppb / 10 dakika hızında ilave edilir.
9. CaCO₃ A 10 ppb / 5 dakika hızında ilave edilir.

Tablo-1: Yüksek Basınç Yüksek Sıcaklık (HPHT) Su Bazlı Sondaj Sıvısı Konsantrasyonları

Katki Maddeleri	SONDAJ SIVILARI									
	BAZ	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
Bentonit, ppb	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
PAC LV, ppb	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
XCD, ppb	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75
POLYTS P, ppb	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75
HT İnceltici, %	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
HT Polimer, ppb	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
CaCO ₃ A, ppb		10	30	50						
CaCO ₃ B, ppb					10	30	50			
CaCO ₃ C, ppb								10	30	50

Tablo 1’de görüldüğü gibi baz sondaj sıvısı hazırlandıktan sonra içerisine üç farklı tane boyuttunda satın alınmış olan Kalsiyum Karbonat, üç farklı miktarda eklenmiştir. Kalsiyum Karbonat miktarları her tane boyutu için 10 ppb, 30 ppb ve 50 ppb olarak belirlenmiştir. Kalsiyum Karbonat içermeyen baz sondaj sıvısı ile birlikte HPHT sondaj sıvıları hazırlanmış ve bu sıvıların geçirgenlik tıkama testleri yapılmıştır. En iyi tıkama performansına sahip olan sondaj sıvısının içerisine %1, %2, %3 oranlarında iki farklı kayganlaştırıcı eklenmiş ve kayganlaştırma performans deneyleri yapılmıştır.

Tablo-2: Kullanılan CaCO₃ Boyut Analizi

ELEK BOYUTU (Mikron)	ELEK ÜZERİNDE KALAN (CaCO ₃ A)	ELEK ÜZERİNDE KALAN (CaCO ₃ B)	ELEK ÜZERİNDE KALAN (CaCO ₃ C)
600		%0	%0
500		%0	%5 ± 5
400		%0	%10 ± 5
300		%5 ± 5	%15 ± 5
200		%30 ± 5	%20 ± 5
100		%20 ± 5	%15 ± 5
<100		%50 ± 5	%40 ± 5
45	%10 ± 5		
15	%70 ± 5		
<2	%20 ± 5		

Hazırlanmış olan sondaj sıvıları yaşlandırma hücresine (Aging Cell) konmuş ve yüksek sıcaklıkta buharlaşmasını önlemek amacı ile 100 psi basınç verilmiştir. Basınç değeri API RP-13B kitapçığındaki tablodan sıcaklık dikkate alınarak seçilmiştir (Tablo-3). Hazırlanan yaşlandırma hücreleri 300 °F (149 °C) sıcaklığa ayarlanmış olan döner fırına (Roller Oven) yerleştirilmiş ve saha koşullarını simüle etmek amacı ile 16 saat fırında bekletilmiştir (Şekil-1).

Tablo-3: API RP-13B Önerilen Karşıt Basınç Değerleri

Test Sıcaklığı		Buhar Basıncı		Karşıt basınç	
°C	°F	kPa	psi	kPa	psi
100	212	101	14,7	690	100
120	250	207	30	690	100
150	300	462	67	690	100

Fırından çıkarılan sondaj sıvıları yaşlandırma hücrelerinden karıştırma kabına boşaltılmıştır. Topaklanma ve çökelmenin önüne geçmek amacı ile çoklu karıştırıcıya (Multimixer) yerleştirilmiş ve tekrar homojen hale gelmesi sağlanmıştır. Yapılacak olan deneyler, sondaj sıvısı hazırlandıktan hemen sonra gerçekleştirildiği için bu süre zarfında sondaj sıvısının yapısında bir bozulma gözlenmemiştir.



Şekil-1:Döner Fırın (Roller Oven)

3.2.1. Sondaj Sıvısı Katkı Maddeleri

Bu bölümde sondaj sıvısı hazırlamak için kullanılan katkı maddeleri ve bu katkı maddelerinin özellikleri belirtilmiştir. Tüm katkı maddeleri GEOS Enerji AŞ firmasından temin edilmiş olup, MSDS formları EK-1'den görülebilir.

3.2.1.1. Katkısız Bentonit (GEOBEN NT)

Bentonit tatlı su bazlı sondaj sıvılarının kompozisyonunu oluşturan temel katkı maddesi olup, sondaj sıvısının sıvı kaybı ve akış özelliklerini kontrol eder. Sistemde yeterli miktarda ve belli kalitede Bentonitin bulunması ince, sağlam ve geçirgen olmayan bir kek oluşturmanın birincil şartıdır. Dizi sıkışmaları ve formasyon kirlenmesi yönünden söz konusu kek özellikleri önem kazanır. 10,000 mg/l'ten yüksek Cl⁻ iyonu ve 240 mg/l'ten yüksek Ca²⁺ iyonu konsantrasyonlarında etkisi azalır. Tüm deneylerde API 13A standardına uygun Katkısız Bentonit (Non-Treated Bentonite) kullanılmıştır.

3.2.1.2. HT Polimer (TEMPROL)

Yüksek sıcaklık beklenen kuyularda sıvı kaybını düşürme ve kesintileri sarma özelliğini arttırmak için kullanılan yüksek sıcaklığa dayanımlı sentetik bir polimerdir.

3.2.1.3. POLYTS P

Yüksek sıcaklık beklenen kuyularda pH tamponu sağlamak için kullanılır.

3.2.1.4. HT İnceltici (GEOTHIN HT)

Yüksek sıcaklık incelticisi; yüksek sıcaklığa sahip kuyularda sondaj sıvısının reolojisini kontrol etmek için kullanılan sentetik bir incelticidir.

3.2.1.5. Sodyum Hidroksit (KOSTİK SODA)

Sodyum Hidroksit su bazlı sondaj sıvılarının pH'sını ayarlamak için kullanılır.

3.2.1.6. PAC-LV (REOPAC LV)

Polianyonik Selüloz (PAC-LV) özellikle yüksek konsantrasyonda tuz içeren sistemlerde veya doymuş tuzlu su sistemlerinde sıvı kaybı kontrolünde kullanılır. Sıcaklık stabilitesi CMC-LV ile aynı olan PAC-LV genellikle bütün bulaşımara karşı Karboksimetil Selüloz (CMC)'a göre daha toleranslıdır. PAC-LV tatlı suda 0.25 - 3.0 lb/bbl, tuzlu su sistemlerinde 0,5 - 4.0 lb/bbl olarak kullanılır. PAC-LV'nin kesintileri sarma özelliğinden yararlanabilmek için yüksek konsantrasyonda kullanılması gerekir. PAC-LV Kalsiyum (Ca²⁺) kirlenmesine duyarlı olup, maksimum Kalsiyum (Ca²⁺) konsantrasyonu 500 mg/l'tyi aşmamalıdır. Tüm deneylerde API 13A standardına uygun

PAC-LV kullanılmıştır.

3.2.1.7. XCD Polimer (REOZAN D)

XCD (Ksantan Sakızı) polimer düşük kayma gerinmesi hızlarında viskozite sağlayarak kuyu temizliğine yardımcı olur. Ayrıca sirkülasyonun kesildiği durumlarda kesintilerin süspansiyonda tutulmasını sağlar. Yüksek moleköl ağırlıklı doğal bir polimer olan XCD polimer genellikle 0.25 – 2 ppb aralığında kullanılır. Bu polimer, sondaj sıvısına doğrudan ilave edilebileceği gibi, kuyu temizliğinden emin olunmadığı, anölüste kesinti veya yıkıntı birikmesinden şüphelenildiğinde kuyuyu temizlemek amacıyla viskoz tapa hazırlanmasında da kullanılır. Tüm deneylerde API 13A standardına uygun XCD (Ksantan Sakızı) polimer kullanılmıştır.

3.2.1.8. Kalsiyum Karbonat (GEOCARB F/M/C)

Formasyon kirlenmesini önlemek amacıyla üretim zonlarının delinmesi için planlanan drill-in sıvılarının ağırlığını arttırmak için kullanılan Kalsiyum Karbonat ($CaCO_3$), Hidroklorik Asit (HCl)'te tamamen çözünmektedir. Bu özelliğinden ötürü üretim zonları geçilirken gerek ağırlaştırıcı gerekse kaçak önleyici olarak bütün sondaj sıvısı tiplerinde kullanılabilir. Özgöl ağırlığı 2.7'dir.

3.2.1.9. Barit (GEOBAR)

Drill-in sıvılarının ağırlığını arttırmak için kullanılan Barit, ağırlaştırıcı olarak bütün sondaj sıvısı tiplerinde kullanılabilir. Özgöl ağırlığı 4.2'dir.

3.2.1.10. Soda Külü (Na_2CO_3)

Sondaj sıvısı hazırlama suyunun Kalsiyum (Ca^{2+})'a bağlı sertliğinin giderilmesinde ve sondaj sıvısının Kalsiyum (Ca^{2+}) kirlenmesi nedeniyle özelliklerinde meydana gelen olumsuzlukları düzeltmek amacıyla kullanılan bir katkı maddesidir. Sondaj sıvısında bulunan her mg/lit Kalsiyum (Ca^{2+})'u çöktürmek için 0,000928 ppb Soda Külü (Na_2CO_3) ilave edilmesi gerekir.

3.2.1.11. Sodyum Bikarbonat ($NaHCO_3$)

Sodyum Bikarbonat su bazlı sıvılarda iki nedenle kullanılır; Kalsiyum (Ca^{2+})'un çökeltilmesi için gerekli olan Karbonat (CO_3^{2-}) iyonu için kaynak sağlamak ve sistem pH'sını düşürmek. Kimyasal formölü $NaHCO_3$ olan Sodyum Bikarbonat kolayca Na^+ ve HCO_3^- iyonlarına ayrışan zayıf bir baz olarak özellikle çimento kirlenmesinden kaynaklanan Kalsiyum (Ca^{2+})'un sisteme zarar vermesini engellemek için kullanılır. Konsantrasyonu, çimento bulaşımına bağlı olarak değişmekle beraber genel olarak 0.5 - 2.0 ppb'dir. Sisteme Sodyum Bikarbonat verilirken Bikarbonat (HCO_3^-) ve Karbonat (CO_3^{2-}) flokülasyonu ihtimaline karşı dikkatli olunmalıdır.

3.2.1.12. Kireç (Ca(OH)₂)

Kireç, sondaj sıvılarında Karbonat (CO₃²⁻) ve/veya Bikarbonat (HCO₃⁻) kirlenmelerinin ıslahı için kullanılmaktadır. İçeriğindeki Ca²⁺ iyonu ile fazla CO₃⁻ iyonlarını çökeltirken, OH⁻ sondaj sıvısının pH'ını arttırmaktadır. Bu yüzden dikkatli kullanılmalıdır. Ayrıca Karbon Dioksit (CO₂) ve Sülfürik Asit (H₂SO₄) riski bulunan kuyularda. Kireç bazlı sondaj sıvısının bir katkı maddesidir.

3.2.1.13. Alçı (CaSO₄)

Alçı, sondaj sıvılarında Karbonat (CO₃²⁻) ve/veya Bikarbonat (HCO₃⁻) kirlenmelerinin ıslahı için kullanılmaktadır. İçeriğindeki Ca²⁺ iyonu ile fazla Karbonat (CO₃²⁻) iyonlarını çökeltmektedir.

3.2.1.14. Köpük Kırıcı (DEFOAM SB)

Polimer sondaj sıvılarında karşılaşılan, köpük sorununa karşı kullanılır. Sondaj sıvısı yapımında tank üzerinde oluşacak köpük ¼ bidon köpük kırıcı serpilmesi veya direk sondaj sıvısına ilavesi ile önlenir.

3.2.1.15. Kayganlaştırıcı (SLIDE L)

Takım sıkışması riskini azaltmak, oluşacak buruların önüne geçmek ve yüzeysel sıkışma olasılığını en aza indirmek için kuyu içinde yağlama amacı ile kullanılır. Kuyu içindeki dizi ve formasyon arasında kayganlık sağlayan bir film oluşturur. Ham petrol, mazot ve özel kimyasal kayganlaştırıcılar, kayganlaştırıcı olarak kullanılmaktadır.

3.3. API RP-13B Su Bazlı Sondaj Sıvıları Analizleri

3.3.1. Yoğunluk

Bu test için Sondaj Sıvısı Terazisi (Mud Balance Instrument) kullanılmıştır. Öncelikle hazırlanan sondaj sıvısı, terazinin haznesine yerleştirilmiştir. Burada önemli olan nokta, haznenin içerisinde bulunan sondaj sıvısının içinde hiç hava kalmayacak şekilde tamamen doldurulmasıdır. Haznenin kapağı kapatılıp, taşan sondaj sıvısı temizlenmiş ve terazi düz bir yüzeye yerleştirilip, üzerindeki küçük karşıt ağırlık terazi dengeye gelene kadar hareket ettirilmiştir. Terazi dengeye geldiği zaman sondaj sıvısının yoğunluğu lb/gal cinsinden okunmuştur. Eğer istenirse, yoğunluk birimi aşağıdaki katsayılar kullanılarak değiştirilebilir.

$$1 \text{ lb/gal} = 0,119826 \text{ g/cm}^3 = 119,826 \text{ kg/m}^3 = 7,480519 \text{ lb/ft}^3 \quad (1)$$

3.3.2. Viskozite ve Jel Mukavemeti

Viskozite testi, Marsh Hunisi (Marsh Funnel) ve Fann 35SA viskometresi (Fann 35SA Viscometer) ile yapılabilir. Marsh Hunisi, sondaj operasyonları sırasında sahada kullanılmaktadır. Fann viskometresi ise sondaj sıvısının viskozitesini ölçmek için en yaygın kullanılan alettir ve bu deneyde de Fann 35SA viskometre kullanılmıştır. Homojen haldeki sondaj sıvısı sıcaklığı sabitlemek amacı ile Ofite marka ısıtıcı (Ofite Heat Cup) içerisine konmuştur. Daha sonra ısıtıcı viskometreye yerleştirilmiş ve ölçümler 120 °F (49 °C) sıcaklıkta alınmaya başlanmıştır. Her sondaj sıvısının 600, 300, 200, 100, 6 ve 3 dev/dk değerlerindeki okumaları not alınmıştır. Sondaj sıvısı yerleştirilen viskometre 600 dev/dk'da çalıştırılıp değer okunmuştur (θ_{600}). Sonra rotor hızı 300 dev/dak'ya düşürülüp değer tekrar okunmuştur (θ_{300}). Bu yöntem yukarıda belirtilen dönme hızları için de tekrarlanmıştır. 600 dev/dk'daki değer ile 300 dev/dk'daki değer arasındaki fark Plastik Viskoziteyi (Plastic Viscosity, PV) verirken, Akma Noktası (Yield Point, YP) bulmak için ise 300 dev/dk'da okunan değerden Plastik Viskozite (PV) değeri çıkarılmıştır.

Jel mukavemeti de aynı aletle ölçülmüş fakat farklı bir yöntem uygulanmıştır. Viskometre 600 dev/dk'da 10 saniye çalıştırdıktan sonra durdurulup 10 saniye beklenmiş ve ardından 3 dev/dk'da 10 saniye çalıştırılıp ekranda görünen en yüksek değer okunmuştur. Aynı yöntem 10 dakika için de uygulanmış olup, 10 saniye ve 10 dakika jel mukavemet değerleri her sondaj sıvısı için bulunmuştur.

Plastik Viskozite (PV) ve Akma Noktası (YP)'ni bulmak için aşağıdaki formüller kullanılmıştır.

$$PV (cp) = \theta_{600} - \theta_{300} \quad (2)$$

$$YP (lb/100ft^2) = \theta_{300} - YP \quad (3)$$

3.3.3. Sıvı Kaybı Miktarı ve Çamur Keki Kalınlığı

Su kabı miktarını ve çamur keki kalınlığını ölçmek için düşük basınç ve düşük sıcaklık ve yüksek basınç ve yüksek sıcaklıkta iki farklı deney yapılmıştır. Düşük basınç ve düşük sıcaklıkta yapılacak olan deney için API Sıvı Kaybı (API Filter Press) cihazı kullanılmıştır. Yüksek sıcaklık ve yüksek basınç deneyi için ise Yüksek Basınç Yüksek Sıcaklık Süzme (HPHT Filter Press) cihazı kullanılmıştır.

3.3.3.1. Düşük Basınç ve Düşük Sıcaklık

İlk olarak süzgeç kağıdı (API Filter Paper) cihazın alt haznesine yerleştirilmiştir. Alt hazne kapatıldıktan sonra, üst hazne sondaj sıvısı ile doldurulup ve kapağı kapatılıp cihaza yerleştirilmiştir. Daha sonra, süzüntüyü toplayabilmek için mezür haznenin altına yerleştirilmiş ve cihaz 100 psi basınç vermesi için ayarlanarak 30 dakika boyunca çalıştırılmıştır. 30 dakikanın sonunda mezürün içerisinde biriken süzüntü miktarı sıvı kaybı olarak kaydedilmiştir. Son olarak, alt haznede yer alan süzgeç kağıdı çıkarılıp, üzerinde yer alan çamur kekinin kalınlığı ve kalitesi incelenmiştir.

3.3.3.2. Yüksek Basınç ve Yüksek Sıcaklık

API RP-13B kitabında bu deney 300 °F (150 °C) sıcaklıktan düşük ve yüksek olmak üzere iki farklı yöntem yazmaktadır. Proje kapsamında gerçekleştirmiş olduğumuz deneyler 300 °F(150 °C) sıcaklıkta aşağıdaki yöntem uygulanmıştır.

Normal saha şartları için en yüksek sıcaklık 300 °F (150 °C) olarak kabul edilmektedir. Normal saha şartlarının üstünde sıcaklıklar kullanıldığı zaman karşı basınç değerleri ve uygulanan son basınç değişmektedir. Karşıt basınç değerleri Tablo-4 de gösterilmektedir. Deneylerde net basınç değeri 500 psi, sıcaklık değeri yukarıda belirtildiği gibi 300 °F (150 °C) olarak seçilmiştir.

Düşük basınç ve düşük sıcaklık testinde olduğu gibi ilk olarak süzgeç kağıdı cihazın alt haznesine yerleştirilmiş ve alt hazne kapatılmıştır. Bu deney için kullanılan süzgeç kağıdının yüzey alanı düşük basınç düşük sıcaklıkta kullanılan süzgeç kağıdının yarısı kadardır. Deney koşulları yüksek sıcaklık da olacağı için kullanılan süzgeç kağıdı yüksek sıcaklıklara dayanmalıdır. Sondaj sıvısı cihaza yerleştirilmeden önce diğer deneylerde olduğu gibi homojen hale gelmesi için karıştırılmıştır. Karışım aşaması tamamlanınca, sondaj sıvısı üst hazneye yerleştirilmiş ve kapağı kapatılmıştır. Daha sonra hazne cihaza yerleştirilmiş ve gerekli bağlantılar sağlanmıştır. Test edilmek istenen sıcaklık cihaza girildikten sonra üst taraftan buharlaşmayı önlemek amacı ile 100 psi'lık karşıt basınç uygulanmıştır. Hazne istenilen sıcaklığa ulaştıktan sonra, uygulanan üst basınç 650 psi'a çıkarılmıştır. Alt taraftan ise 150 psi basınç verilmiş, net basınç olarak 500 psi değeri sağlanmıştır. Bu arada haznenin altına cam mezür yerleştirilmiş ve haznenin altındaki valf açılmıştır. 500 psi net basınç 30 dakika boyunca sürdürülmüştür. 30 dakikanın sonunda cihaza verilen basınç sıfırlanmış ve cam mezür içerisinde biriken sıvı miktarı ölçülmüştür. Bu miktar sondaj sıvısının sıvı kaybı olarak kayıt edilmiştir. Son olarak, alt haznenin içerisine yerleştirilen süzgeç kağıdı çıkarılmış, su ile hafifçe yıkanmış ve çamur kekinin kalınlığı

ve kalitesi gözlemlenmiştir.

Tablo-4: API RP-13B Önerilen Karşıt Basınç Değerleri

Test Sıcaklığı		Buhar Basıncı		Karşıt basınç	
°C	°F	kPa	psi	kPa	psi
100	212	101	14,7	690	100
120	250	207	30	690	100
150	300	462	67	690	100

3.3.4. pH

Hazırlanan sondaj sıvılarının pH'sı, ilk hazırlandıkları zaman ve döner fırında 16 saat bekletildikten sonra ölçülmüştür. Beklendiği üzere yaşlandırılmış sondaj sıvısında pH değeri düşüş göstermiştir. Sondaj sıvısının pH'sını ölçmek için üç farklı noktada kalibrasyonu yapılmış elektronik pH Metre kullanılmıştır.

3.3.5. Cl⁻ İyonu İçeriği

Düşük basınç düşük sıcaklık süzme deneyinden elde edilen 1 ml hacmindeki süzüntü titrasyon kabına konmuştur. Üzerine 2 ya da 3 damla Fenolftalein indikatörü eklenmiştir. Süzüntünün pembe renge dönüşmesi durumunda, pembe rengi kaybolana kadar üzerine damla damla 0,2N Sülfürik Asit (H₂SO₄) eklenmiş ve karıştırılmıştır. Süzüntü orijinal renginde kalması durumunda ise 2 ml Sülfürik Asit veya eklenmiş ve tekrar karıştırılmıştır. Daha sonra, karışıma 1 gr Kalsiyum Karbonat eklenmiş ve karıştırma işlemi tekrarlanmıştır. Karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra elde edilen karışıma 25 ml saf su ve 5 ila 10 damla arasında Potasyum Kromat indikötörü eklenmiştir. Karıştırma işlemi tekrarlanırken, karışıma dereceli pipet yardımıyla damla damla Gümüş Nitrat (AgNO₃) eklenmiştir. Karışımın renginin sarıdan turuncu veya kırmızıya dönmesi için harcanan Gümüş Nitratın hacmi (V_{sn}) not edilmiştir. Deney sonucunda, sondaj sıvısının içerisinde bulunan Klorür (Cl⁻) iyonu miktarı aşağıda verilen formül ile hesaplanmıştır.

$$[Cl^-] (mg/lt) = 1000 \times V_{sn} / V_f \quad (4)$$

V_{sn}: Harcanan gümüş nitrat hacmi (ml)

V_f: Başlangıçta kullanılan filtrat hacmi (ml)

3.3.6. Ca²⁺ İyonu İçeriği

Süzme deneyinden elde edilen 1 ml süzüntüye 50 ml saf su ve 10 ila 15 ml Kalsiyum Tampon Çözeltisi eklenmiş ve karışım homojen hale getirilmiştir. Daha sonra 0,1 ila 0,2 g arasında Kalsiyum İndikatörü eklenmiş ve karıştırma işlemi tekrarlanmıştır. Karışımın şarap

kırmızısı rengini alması, içerisinde Ca^{2+} bulundurduğu anlamına gelmektedir. Son olarak, karışımın rengi kırmızıdan maviye dönüşene kadar EDTA çözeltisi eklenmiş ve karışımın maviye dönüşmesi için gereken EDTA çözelti miktarı (V_{EDTA}) not edilmiştir. Sondaj sıvısının Ca^{2+} içeriği aşağıdaki formül kullanılarak bulunmuştur.

$$\text{Kalsiyum miktarı (mg/lt)} = 400 * V_{EDTA} / V_f \quad (5)$$

V_{EDTA}: Harcanan EDTA hacmi (ml)

V_f: Başlangıçta kullanılan filtrat hacmi (ml)

Kullanılan çözelti içerikleri aşağıda verilmiştir.

EDTA Çözeltisi: (CAS No: 6381 – 92 – 6) 0,01 mol/lt;

Kalsiyum Tampon Çözeltisi: 1 mol/lt sodyum hidroksit (NaOH) (CAS No: 1310 – 73 – 2)

Kalsiyum İndikatörü: Calver ® II5 veya C20H11N2Na3O11S3 (CAS No: 63451 – 35 – 4)

3.4. Geçirgenlik Tıkama Deneyi (Permeability Plugging Test)

Bu deney kapsamında FANN marka Geçirgenlik Tıkama Cihazı (Permeability Plugging Apparatus) (Şekil-2) kullanılmıştır.

Geçirgenlik Tıkama Cihazı (PPA), kuyu dibi durağan süzmeyi simüle etmek ve dizi sıkışmasını önlemeye yardımcı olacak yarı geçirgen bir çamur kekini oluşturma kabiliyetini tahmin etmek için tasarlanmış yüksek basınçlı, yüksek sıcaklık koşullarında çalışma kapasitesi olan bir ekipmandır. PPA, kuyu koşullarını temsil eden sıcaklık ve basınçlarda çalışır ve süzme ortamı numune akışkanının üstünde konumlandırılır.

Süzgeç ortamı seramik bir disklerdir. Bu diskler, formasyonun yapısını simüle ederek, formasyon duvarı üzerinde fiilen geliştirilen çamur kekinin daha otantik bir temsilini sağlar. Seramik diskler çeşitli gözenek boyutlarında mevcuttur.

Basınç hücre tabanından uygulanır ve süzüntü üstten toplanır. Bu düzenleme, durağan test sırasında yerleşen parçacıkların çamur kekinin oluşmasına katkıda bulunmasını önler. Diğer bir deyişle, çökeltme nedeni ile sonucun etkilenmesinin önüne geçilmektedir. Bu önemlidir, çünkü yerleşim normalde bir kuyuda gerçekleşmez. Süzme haznesinin üzerinde ise buharlaşmayı önlemek amacı ile ters basınç aparatı bulunmaktadır.

Deney öncesinde kullanılacak olan seramik disk su içerisinde 5 dakika bekletilmiştir. Döner fırından çıkarılmış ve karıştırılarak homojen hale getirilmiş sondaj sıvısından 275 ml alınıp

test hücresi içerisine boşaltılmıştır. İçerisi sondaj sıvısı ile dolu olan test hücresi cihaza yerleştirilip hidrolik pompa kullanılarak hücre içerisindeki sondaj sıvısının hücre ağzına kadar yükseltilmesi sağlanmıştır. Hücre ağzına seramik disk yerleştirilip hücrenin ağzı kapatılmıştır. Test hücresinin üzerine süzüntü toplama haznesi yerleştirilmiştir ve sabitlenmesi sağlanmıştır. Süzüntü toplama haznesinin üzerine ise karşıt basınç sağlamak amacıyla yapılmış olan aparat bağlanmıştır. Cihaz 300 °F (150 °C) sıcaklığa ayarlandıktan sonra hidrolik basınç ve karşıt basınç değerleri 100 psi olacak şekilde bırakılmıştır. Hidrolik basıncın yavaş yavaş 1000 psi'a artması beklenmiş ve cihaz 300 °F (150 °C) sıcaklığa ulaştığında deneye başlamak amacı ile süzüntü toplama vanası açılmıştır. Deney başladıktan 7,5 dakika ve 30 dakika sonra sıvı kaybı değerleri ölçülmüş ve not edilmiştir.



Şekil-2: Geçirgenlik Tıkama Ölçüm Cihazı

Süzgeç ortamı, geleneksel API süzgeç kağıdının alan boyutunun genellikle yarısı olduğundan öncü sıvı kaybı ve toplam süzüntü miktarı hesaplamaları düzeltilmelidir. PPT'de cevaplar iki katına çıkarılmalıdır. Verilerin çizimi yerine, süzme parametrelerinin tahminleri 7,5 ve 30 dakikalık aralıklarla toplanan verilerden aşağıdaki formüller kullanılarak yapılabilir.

$$\text{Öncü Su Kaybı, ml} = 2 \times (V_{f_{7,5}} - (V_{f_{30}} - V_{f_{7,5}})) \quad (6)$$

$$\text{Toplam Su Kaybı, ml} = 2 \times V_{f_{30}} \quad (7)$$

$$\text{Statik Filtrasyon Hızı, ml/min}^{1/2} = \frac{2 \times (V_{f_{30}} - V_{f_{7,5}})}{2,739} \quad (8)$$

3.5. Kayganlaştırma Performansı Analizi

Çeşitli malzemelerin değerlendirilmesi sondaj dizisi üzerinde gerçekçi olarak yapılamadığından, sondaj borusunun dönüş hızını ve borunun kuyu duvarı ile temas ettiğinde oluşan basıncı simüle etmek için bu kayganlaştırma testi tasarlanmıştır. OFITE EP (Aşırı Basınç) ve Kayganlık Test Cihazı, sondaj sıvılarının kayganlık kalitesini ölçmek, gerekli olabilecek kayganlık katkılarının türünü ve miktarını değerlendirmek için veri sağlamak ve mekanik parçaların aşınma oranlarını tahmin etmek için kullanılan test cihazıdır (Şekil-3).



Şekil-3: Kayganlık Ölçüm Cihazı

Deney öncesinde cihaz 15 dakika boyunca buru vermeden 60 dev/dk'da çalıştırılmış ve buru değeri sıfırlanmıştır. Sonrasında cihazın sıvı haznesine saf su yerleştirilmiş ve cihaz 5 dakika boyunca 60 dev/dk ve 150 inç pound buru altında çalıştırılmıştır. Okunan buru değerleri daha sonra yapılacak olan matematiksel hesaplar için kaydedilmiştir. Saf su için yapılmış olan yöntem, sondaj sıvıları için de tekrarlanmıştır.

Deney sırasında buru değerleri bulunurken yalnızca 5. dakikadaki değer alınmamış bunun yerine hata payının önüne geçilmesi amacı ile 04:40, 04:50, 5:00, 5:10 ve 5:20 değerlerinin aritmetik ortalaması alınmıştır. Bu ortalama ile elde edilen buru değeri aşağıdaki hesaplamaları yapmak için kullanılmıştır.

$$\text{Düzeltilme Faktörü} = \frac{34}{\text{Saf Su ile Yapılan Okuma}} \quad (9)$$

$$\text{Kayganlaştırma Katsayısı} = \frac{\text{Tork Okuması} \times \text{Düzeltilme Faktörü}}{100 \text{ pound}} \quad (10)$$

4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Geçirgenlik Tıkama Performansı Analizleri

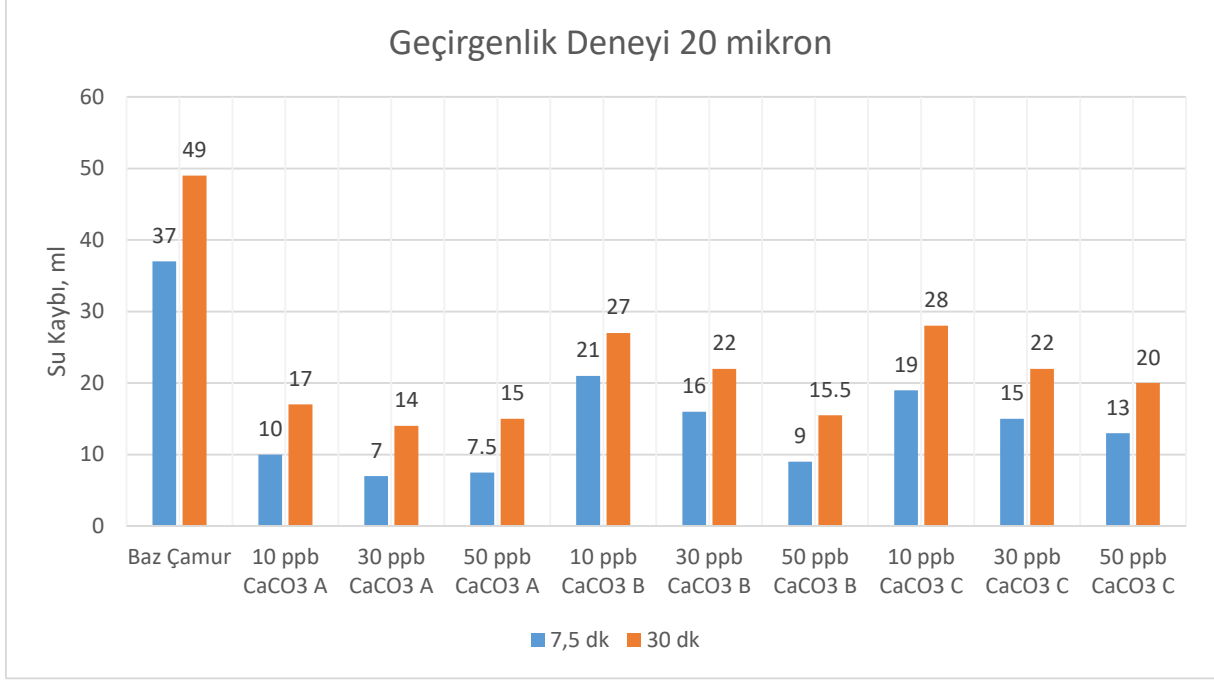
Proje kapsamında 20, 50, 120 ve 150 mikron olmak üzere dört farklı gözenekli seramik disk seçilmiş ve bu seramik diskler kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Projenin ilk aşamasında 20 mikron testlerinin tümü tamamlanmış ve 1. Gelişme Raporu'nda sunulmuştur. Diğer geçirgenlik deneylerinin tamamı ise 2. Gelişme Raporu'nda sunulmuştur.

Proje kapsamında yapılan bütün geçirgenlik deney sonuçları aşağıdaki tablolarda ve şekillerde görülebilir. 30 dk ve 7.5 dk PPT su kaybı değerleri kullanılarak Öncü Sıvı Kaybı, Toplam Sıvı Kaybı ve Durağan Süzme Hızı miktarları 3.4 Geçirgenlik Tıkama Deneyi kısmında paylaşılan formüller (6-7-8) yardımıyla hesaplanmış ve tablolarda belirtilmiştir.

Tablo-5 ve Şekil-4'te görüleceği üzere 20 mikron gözenekli seramik disk ile yapılan geçirgenlik tıkama deneylerinden çıkan sonuçlar arasında en verimli kaçak tıkama kompozisyonu; baz sondaj sıvısına 30 lb/bbl CaCO₃ A eklenmesi ile oluşan kompozisyon olarak belirlenmiştir. 30 dk geçirgenlik tıkama analizi sonucunda oluşan toplam sıvı kaybı değerinin en düşük olması ile kaçak tıkama potansiyeli en yüksek olarak yorumlanmıştır.

Tablo-5: 20 mikron Geçirgenlik Tıkama Deneyi Sonuçları

Seramik Disk Gözenek Boyutu	CaCO ₃ Tane Boyutu	CaCO ₃ Konsantrasyonu (lb/bbl)	PPT Sıvı Kaybı (ml)		Öncü Sıvı Kaybı (ml)	Toplam Sıvı Kaybı (ml)	Durağan Süzme Hızı (ml/dk ^{1/2})
			7.5 dk	30 dk			
20	-----	0	37	49	50	98	8,76
20	A	10	10	17	6	34	5,11
20	A	30	7	14	0	28	5,11
20	A	50	7,5	15	0	30	5,48
20	B	10	21	27	30	54	4,38
20	B	30	16	22	20	44	4,38
20	B	50	9	15,5	5	31	4,75
20	C	10	19	28	20	56	6,57
20	C	30	15	22	16	44	5,11
20	C	50	13	20	12	40	5,11

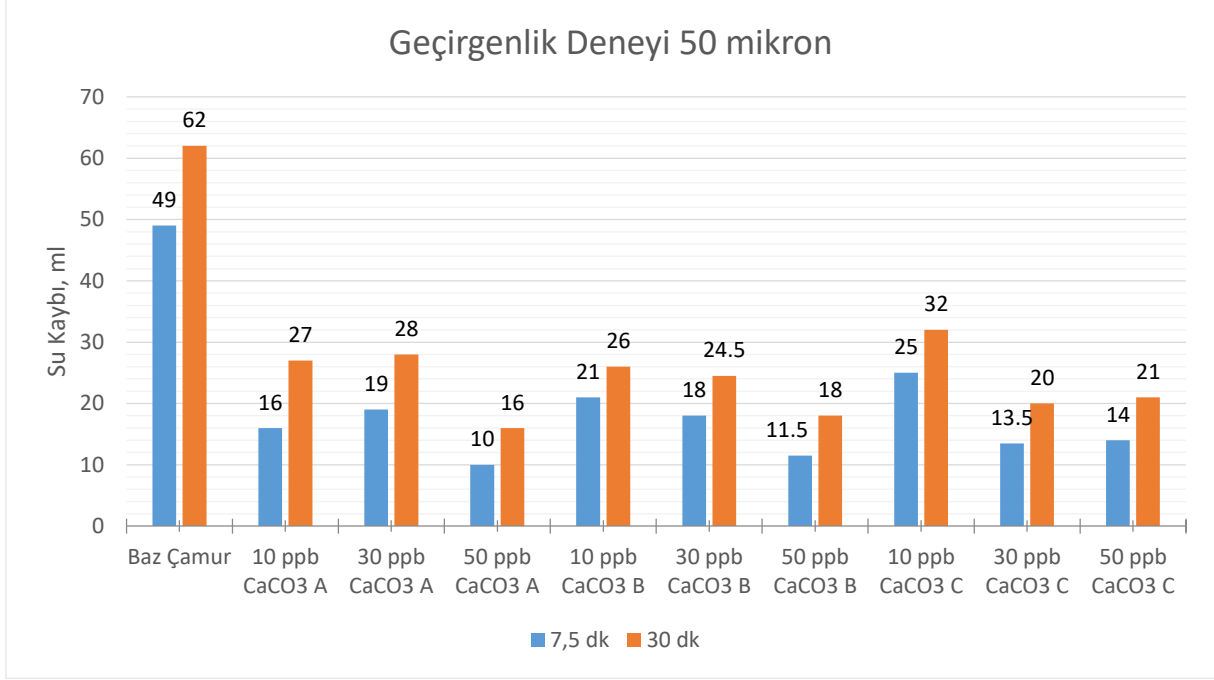


Şekil-4: Geçirgenlik Tıkama Deneyi, 20 mikron

Geçirgenlik tıkama deneylerinde 50 mikron gözenekli seramik disk kullanıldığında ise en iyi sonuçlar 50 lb/bbl CaCO₃ A içeren kompozisyon ile elde edilmiştir. Tablo-6 ve Şekil-5 de verilmiş olan sonuçlar incelendiğinde; 30 dk toplam sıvı kaybı değerlerinin diğer kompozisyonlara kıyasla düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo-6: 50 mikron Geçirgenlik Tıkama Deneyi Sonuçları

Seramik Disk Gözenek Boyutu	CaCO ₃ Tane Boyutu	CaCO ₃ Konsantrasyonu (lb/bbl)	PPT Sıvı Kaybı (ml)		Öncü Sıvı Kaybı (ml)	Toplam Sıvı Kaybı (ml)	Durağan Süzme Hızı (ml/dk ^{1/2})
			7.5 dk	30 dk			
50	-----	0	49	62	72	124	9.49
50	A	10	16	27	10	54	8.03
50	A	30	19	28	20	56	6.57
50	A	50	10	16	8	32	4.38
50	B	10	21	26	32	52	3.65
50	B	30	18	24.5	23	49	4.75
50	B	50	11.5	18	10	36	4.75
50	C	10	25	32	36	64	5.11
50	C	30	13.5	20	14	40	4.75
50	C	50	14	21	14	42	5.11

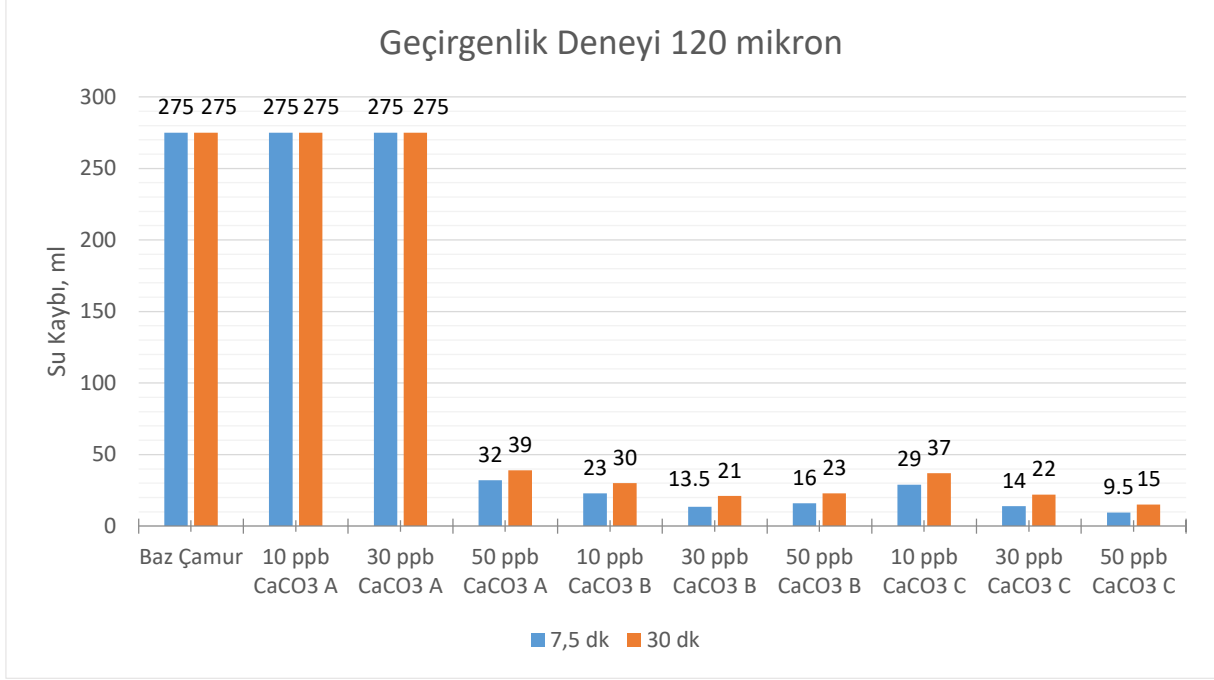


Şekil-5: Geçirgenlik Tıkama Deneyi, 50 mikron

Seramik disk gözenek boyutu 120 mikrona çıkarıldığında, geçirgenlik tıkama deneylerinde en verimli sonuçlar baz sondaj sıvısına 50 lb/bbl CaCO₃ C eklenmesi ile elde edilmiştir (Tablo-7 ve Şekil-6). Diğer kompozisyonlar ile karşılaştırıldığında; 30 dk sonucunda en düşük sıvı kaybı değerini bu kompozisyon vermiştir. 50 lb/bbl CaCO₃ C içeren kompozisyon 120 mikron gözenek boyutu için kaçak tıkama potansiyeli en yüksek olarak yorumlanmıştır.

Tablo-7: 120 mikron Geçirgenlik Tıkama Deneyi Sonuçları

Seramik Disk Gözenek Boyutu	CaCO ₃ Tane Boyutu	CaCO ₃ Konsantrasyonu (lb/bbl)	PPT Sıvı Kaybı (ml)		Öncü Sıvı Kaybı (ml)	Toplam Sıvı Kaybı (ml)	Durağan Süzme Hızı (ml/dk ^{1/2})
			7.5 dk	30 dk			
120	-----	0	275	275	550	550	0.00
120	A	10	275	275	550	550	0.00
120	A	30	275	275	550	550	0.00
120	A	50	32	39	50	78	5.11
120	B	10	23	30	32	60	5.11
120	B	30	13.5	21	12	42	5.48
120	B	50	16	23	18	46	5.11
120	C	10	29	37	42	74	5.84
120	C	30	14	22	12	44	5.84
120	C	50	9.5	15	8	30	4.02

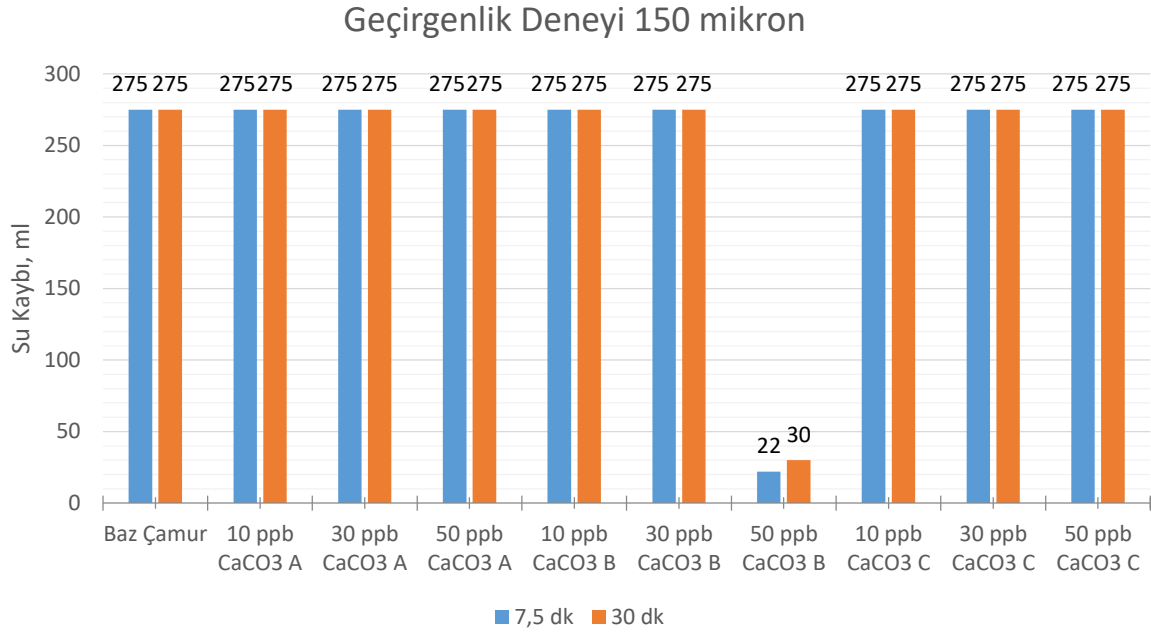


Şekil-6: Geçirgenlik Tıkama Deneyi, 120 mikron

En büyük gözenek boyutuna sahip 150 mikron gözenekli seramik disk kullanılarak yapılmış olan geçirgenlik tıkama deney sonuçları incelendiğinde; baz sondaj sıvısına 50 lb/bbl CaCO₃ B eklenmesi ile oluşan kompozisyon dışındaki hiçbir kompozisyon 150 mikron boyutundaki gözenekleri tıkayamamıştır (Tablo-8 ve Şekil-7). Tek kaçak tıkama potansiyeline sahip kompozisyonun 50 lb/bbl CaCO₃ B içeren kompozisyon olduğu görülmüştür.

Tablo-8: 150 mikron Geçirgenlik Tıkama Deneyi Sonuçları

Seramik Disk Gözenek Boyutu	CaCO ₃ Tane Boyutu	CaCO ₃ Konsantrasyonu (lb/bbl)	PPT Sıvı Kaybı (ml)		Öncü Sıvı Kaybı (ml)	Toplam Sıvı Kaybı (ml)	Durağan Süzme Hızı (ml/dk ^{1/2})
			7.5 dk	30 dk			
150	-----	0	275	275	550	550	0.00
150	A	10	275	275	550	550	0.00
150	A	30	275	275	550	550	0.00
150	A	50	275	275	550	550	0.00
150	B	10	275	275	550	550	0.00
150	B	30	275	275	550	550	0.00
150	B	50	22	30	28	60	5.84
150	C	10	275	275	550	550	0.00
150	C	30	275	275	550	550	0.00
150	C	50	275	275	550	550	0.00



Şekil-7: Geçirgenlik Tıkama Deneyi, 150 mikron

Yukarıda belirtilen deneylerde en iyi tıkama performansına sahip sondaj sıvısı kompozisyonları Tablo 9'da özetlenmiştir. Belirlenmiş olan bu kompozisyonlar daha sonra kayganlaştırma deneyleri için kullanılmıştır.

Tablo-9: En İyi Tıkama Performansına Sahip Sondaj Sıvısı Kompozisyonları

Gözenek Boyutu, mikron	Sondaj Sıvısı Kompozisyonu
20	BAZ + 30 lb/bbl CaCO ₃ A
50	BAZ + 50 lb/bbl CaCO ₃ A
120	BAZ + 50 lb/bbl CaCO ₃ C
150	BAZ + 50 lb/bbl CaCO ₃ B

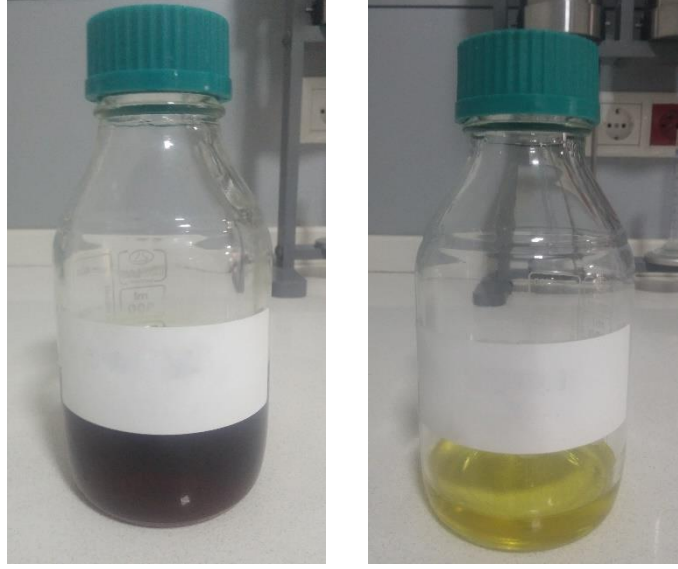
4.2. Kayganlaştırma Performansı Analizleri

Kayganlaştırma performansı analizi için *OFITE Lubricity Tester* cihazı kullanılmıştır. Bu cihazdan elde edilen test sonuçları ile 3.5 *Kayganlaştırma Performansı Analizi* kısmında paylaşılan formüller (9-10) kullanılarak Kayganlık Katsayıları (K.K.) hesaplanmıştır.

Analizler için; talol bazlı ve ester bazlı olarak iki çeşit kimyasal ticari kayganlaştırıcı, su bazlı HPHT sondaj sıvısına eklenmiştir. Bu çalışmada kullanılan kayganlaştırıcı numuneleri için kullanılan isimler ve özellikleri Tablo 10'da gösterilmiştir.

Tablo-10: Kayganlaştırıcı Numuneleri ve Özellikleri

Numune İsmi	Özellikleri
LUBE-1	Talol Bazlı
LUBE-2	Ester Bazlı



Şekil-8: Talol Bazlı (Sol) ve Ester Bazlı (Sağ) Kayganlaştırıcılar

Talol bazlı; LUBE-1 ve ester bazlı LUBE-2; bu çalışma için özel olarak hazırlanan su bazlı HPHT sondaj sıvısına, %1, %2 ve %3 oranlarında eklenmiştir. %3'ten yüksek oranlar; üretici firmalar tarafından önerilmediği için test edilmemiştir.

4.2.1. 30 lb/bbl CaCO₃ A İçeren Sondaj Sıvısı Kayganlaştırma Analizleri

20 mikron seramik disk için en iyi kaçak tıkama kompozisyonunu veren 30 lb/bbl CaCO₃ A içeren sondaj sıvısı üzerine, %1-2-3 oranlarında LUBE-1 ve LUBE-2 ayrı ayrı eklenmiş; en iyi kayganlaştırma performanslarını veren kompozisyonlar incelenmiştir. *OFITE Lubricity Tester* cihazı kullanılarak hesaplanan kayganlık katsayıları Şekil 9'da gösterilmektedir.

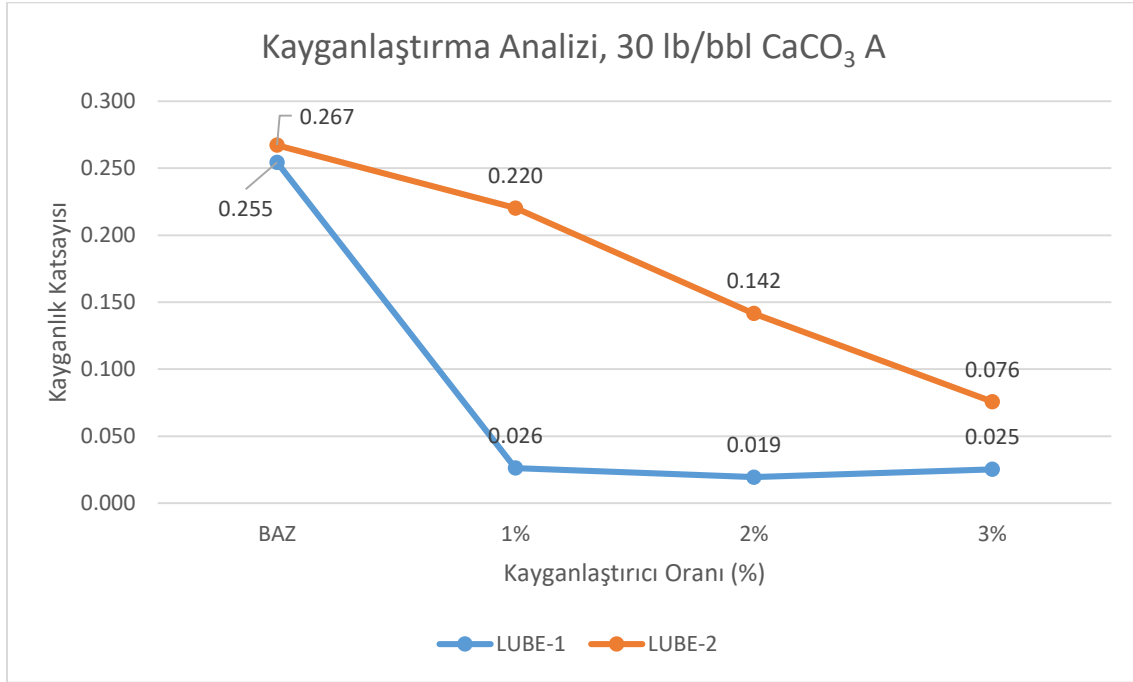
Şekil-9 ve Tablo-11'de görüldüğü üzere, baz sondaj sıvısına eklenen LUBE-1 oranını arttırmak, %2 oranına kadar, sondaj sıvısının kayganlaştırma performansına pozitif yönde etki yapmaktadır. %3 oranına gelindiğinde ise kayganlaştırma performansında düşme eğilimi

görülmüştür. Bu yüzden, % 2'den yüksek oranlarda LUBE-1 eklemek hem performans hem de ekonomik anlamda önerilmemektedir.

Baz sondaj sıvısına eklenen LUBE-2 oranını arttırmak, %3 oranına kadar, sondaj sıvısının kayganlaştırma performansına pozitif yönde etki yapmaktadır (Şekil-9 ve Tablo-11).

LUBE-1 ve LUBE-2 kayganlaştırıcıları kendi aralarında karşılaştırıldığında ise LUBE-1'in performansının LUBE-2'ye kıyasla çok daha yüksek olduğu görülmektedir.

20 mikron seramik disk için en verimli kaçak tıkama kompozisyonunu veren 30 lb/bbl CaCO₃ A içeren sondaj sıvısına eklenen kayganlaştırıcılar arasında; en yüksek kayganlaştırma performansını veren kompozisyon ise % 2 LUBE-1 içeren kompozisyon olarak belirlenmiştir.



Şekil-9: Kayganlaştırma Performansı Analizleri, 30 lb/bbl CaCO₃ A

Tablo-11: Sondaj Sıvıları Kayganlaştırma Testi Sonuçları, 30 lb/bbl CaCO₃ A

KİMYASAL	NUMUNE						
	1	2	3	4	5	6	7
Bentonit (ppb)	10	10	10	10	10	10	10
PAC LV (ppb)	2	2	2	2	2	2	2
XCD (ppb)	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75
POLYTS P (ppb)	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75
HT İnceltici (%)	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
HT Polimer (ppb)	3	3	3	3	3	3	3
CaCO₃ A (ppb)	30	30	30	30	30	30	30
LUBE-1 (%)		1%	2%	3%			
LUBE-2 (%)					1%	2%	3%
Karıştırma Süresi (dk)	30 dk						
Döner Fırın	300 F @ 16 saat						
TEST SICAKLIK (°F)	120	120	120	120	120	120	120
Kayganlaştırma Testi	SONUÇLAR						
	1	2	3	4	5	6	7
Test Süresi	5 dk	5 dk	5 dk	5 dk	5 dk	5 dk	5 dk
dev/dk	60	60	60	60	60	60	60
Verilen Buru (in-lb)	150	150	150	150	150	150	150
Ölçülen Buru (@ 5 dk)	26,2	2,7	2,0	2,6	22,1	14,2	7,6
Kalibrasyon Buru Okuması	35,0	35,0	35,0	35,0	34,1	34,1	34,1
Düzeltilme Sayısı	0,971	0,971	0,971	0,971	0,997	0,997	0,997
Kayganlık Katsayısı	0,255	0,026	0,019	0,025	0,220	0,142	0,076

4.2.2. 50 lb/bbl CaCO₃ A İçeren Sondaj Sıvısı Kayganlaştırma Analizleri

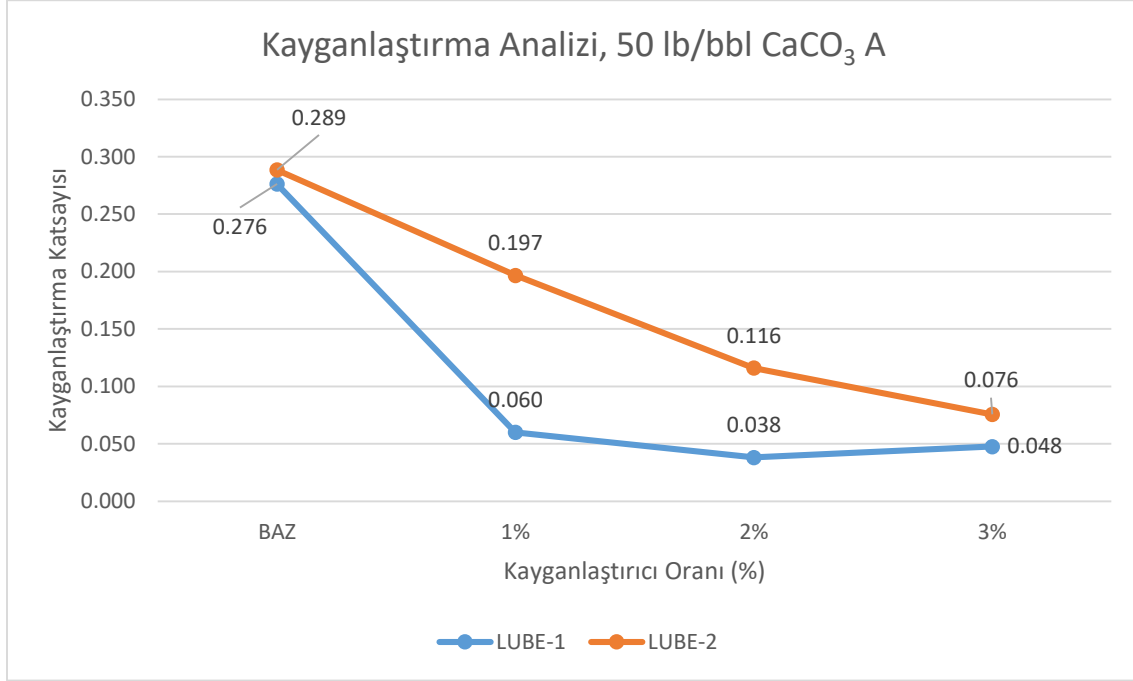
50 mikron seramik disk için en iyi kaçak tıkama kompozisyonunu veren 50 lb/bbl CaCO₃ A içeren sondaj sıvısı üzerine, %1-2-3 oranlarında LUBE-1 ve LUBE-2 ayrı ayrı eklenmiş; en iyi kayganlaştırma performanslarını veren kompozisyonlar incelenmiştir. *OFITE Lubricity Tester* cihazı kullanılarak hesaplanan kayganlık katsayıları Şekil 10'da gösterilmektedir.

Şekil-10 ve Tablo-12'de görüldüğü üzere, LUBE-1 oranını %2 oranına kadar attırmak kayganlaştırma performansına pozitif yönde etki ederken miktarın daha da artırılması kayganlaştırma performansını düşürmüştür. Bu sebeple, LUBE-1 miktarının %2'den fazla kullanılması önerilmemektedir.

Öte yandan LUBE-2 oranını %3'e kadar arttırmak sondaj sıvısının kayganlaştırma performansını pozitif yönde etkilemiştir (Şekil-10 ve Tablo-12).

LUBE-1 ve LUBE-2 kayganlaştırıcıları kendi aralarında karşılaştırıldığında ise LUBE-1'in performansının LUBE-2'ye kıyasla çok daha yüksek olduğu görülmektedir.

Bu deney grubu için en yüksek kayganlaştırma performansını %2 LUBE-1 içeren kompozisyon vermiştir.



Şekil-10: Kayganlaştırma Performansı Analizleri, 50 lb/bbl CaCO₃ A

Tablo-12: Sondaj Sıvıları Kayganlaştırma Testi Sonuçları, 50 lb/bbl CaCO₃ A

KİMYASAL	NUMUNE						
	1	2	3	4	5	6	7
Bentonit (ppb)	10	10	10	10	10	10	10
PAC LV (ppb)	2	2	2	2	2	2	2
XCD (ppb)	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75
POLYTS P (ppb)	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75
HT İnceltici (%)	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
HT Polimer (ppb)	3	3	3	3	3	3	3
CaCO₃ A (ppb)	50	50	50	50	50	50	50
LUBE-1 (%)		1%	2%	3%			
LUBE-2 (%)					1%	2%	3%
Karıştırma Süresi (dk)	30 dk						
Döner Fırın	300 F @ 16 saat						
TEST SICAKLIK (°F)	120	120	120	120	120	120	120
Kayganlaştırma Testi	SONUÇLAR						
	1	2	3	4	5	6	7
Test Süresi	5 dk	5 dk	5 dk	5 dk	5 dk	5 dk	5 dk
dev/dk	60	60	60	60	60	60	60
Verilen Buru (in-lb)	150	150	150	150	150	150	150
Ölçülen Buru (@ 5 dk)	29.0	6.3	4.0	5.0	19.5	11.5	7.5
Kalibrasyon Buru Okuması	35.7	35.7	35.7	35.7	33.7	33.7	33.7
Düzeltilme Sayısı	0.952	0.952	0.952	0.952	1.009	1.009	1.009
Kayganlık Katsayısı	0.276	0.060	0.038	0.048	0.197	0.116	0.076

4.2.3. 50 lb/bbl CaCO₃ C İçeren Sondaj Sıvısı Kayganlaştırma Analizleri

120 mikron seramik disk için en iyi kaçak tıkama kompozisyonunu veren 50 lb/bbl CaCO₃ C içeren sondaj sıvısı üzerine, %1-2-3 oranlarında LUBE-1 ve LUBE-2 ayrı ayrı eklenmiş; en iyi kayganlaştırma performanslarını veren kompozisyonlar incelenmiştir. *OFITE Lubricity Tester* cihazı kullanılarak hesaplanan kayganlık katsayıları Şekil 11'de gösterilmektedir.

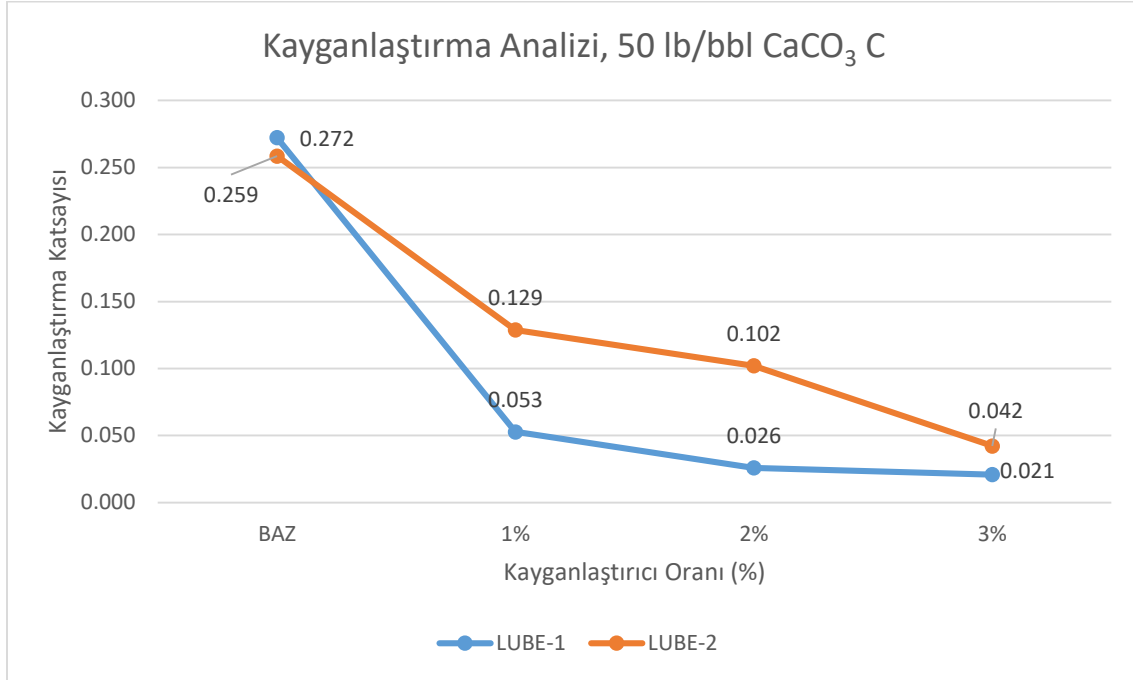
Daha önceki deneylerin aksine sondaj sıvısı içerisine %3 oranına kadar LUBE-1 eklemek sondaj sıvısının kayganlaştırma performansına pozitif yönde etki yapmaktadır (Şekil 11 ve Tablo 13).

LUBE-1 ile benzer sonuçlar veren LUBE-2'nin de sondaj sıvısına %3 oranına kadar eklenmesi, sondaj sıvısının kayganlaştırma performansını kayganlaştırıcı miktarı ile doğru orantılı olarak etkilemiştir (Şekil 11 & Tablo 13).

Fakat bu iki kayganlaştırıcı kendi aralarında kıyaslandığında ise LUBE-1'in performansının LUBE-2'ye kıyasla çok daha yüksek olduğu görülmektedir.

Her iki kayganlaştırıcı da %3 oranında en iyi sonuçları vermiş olmasına rağmen Şekil-11'de de görüleceği üzere en yüksek kayganlaştırma performansını veren kompozisyon % 3 LUBE-1 içeren kompozisyon olarak belirlenmiştir.

Şekil-11: Kayganlaştırma Performansı Analizleri, 50 lb/bbl CaCO₃ C



Tablo-13: Sondaj Sıvıları Kayganlaştırma Testi Sonuçları, 50 lb/bbl CaCO₃ C

KİMYASAL	NUMUNE						
	1	2	3	4	5	6	7
Bentonit (ppb)	10	10	10	10	10	10	10
PAC LV (ppb)	2	2	2	2	2	2	2
XCD (ppb)	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75
POLYTS P (ppb)	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75
HT İnceltici (%)	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
HT Polimer (ppb)	3	3	3	3	3	3	3
CaCO₃ C (ppb)	50	50	50	50	50	50	50
LUBE-1 (%)		1%	2%	3%			
LUBE-2 (%)					1%	2%	3%
Karıştırma Süresi (dk)	30 dk						
Döner Fırın	300 F @ 16 saat						
TEST SICAKLIK (°F)	120	120	120	120	120	120	120
Kayganlaştırma Testi	SONUÇLAR						
	1	2	3	4	5	6	7
Test Süresi	5 dk	5 dk	5 dk	5 dk	5 dk	5 dk	5 dk
dev/dk	60	60	60	60	60	60	60
Verilen Buru (in-lb)	150	150	150	150	150	150	150
Ölçülen Buru (@ 5 dk)	27.4	5.3	2.6	2.1	12.5	9.9	4.1
Kalibrasyon Buru Okuması	34.2	34.2	34.2	34.2	33	33	33
Düzeltilme Sayısı	0.994	0.994	0.994	0.994	1.030	1.030	1.030
Kayganlık Katsayısı	0.272	0.053	0.026	0.021	0.129	0.102	0.042

4.2.4. 50 lb/bbl CaCO₃ B İçeren Sondaj Sıvısı Kayganlaştırma Analizleri

150 mikron seramik disk için en iyi kaçak tıkama kompozisyonunu veren 50 lb/bbl CaCO₃ B içeren sondaj sıvısı üzerine, %1-2-3 oranlarında LUBE-1 ve LUBE-2 ayrı ayrı eklenmiş; en iyi kayganlaştırma performanslarını veren kompozisyonlar incelenmiştir. *OFITE Lubricity Tester* cihazı kullanılarak hesaplanan kayganlık katsayıları Şekil 12'de gösterilmektedir.

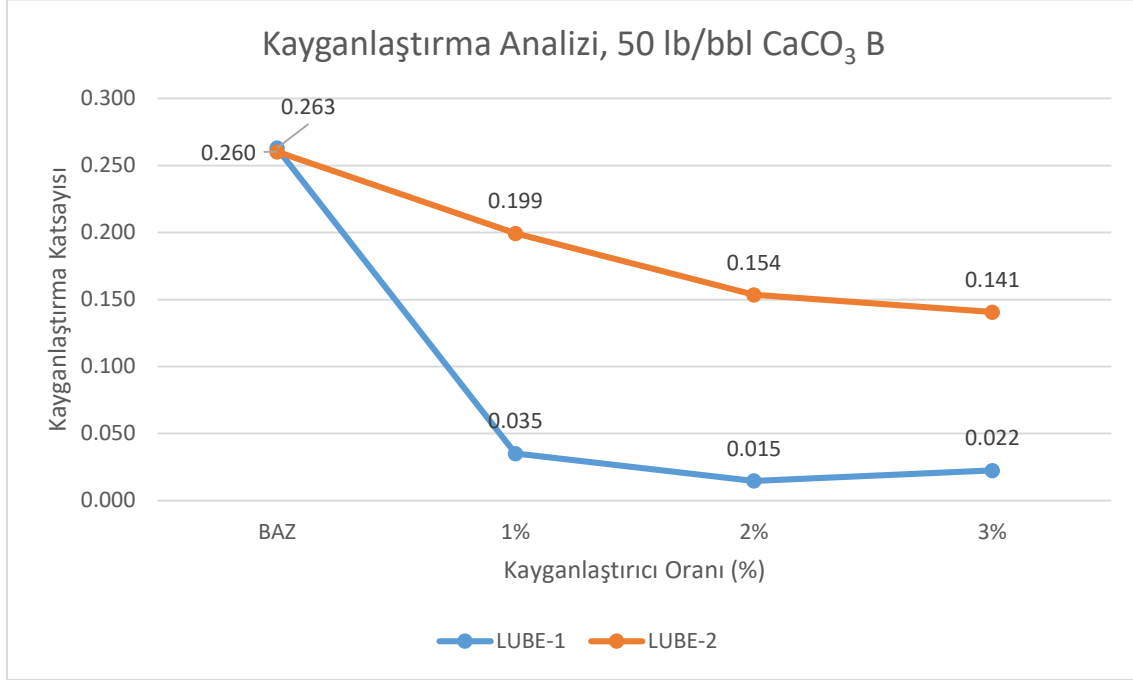
Şekil 12 ve Tablo 14'den görüldüğü üzere, baz sondaj sıvısına eklenen LUBE-1 oranını arttırmak, %2 oranına kadar, sondaj sıvısının kayganlaştırma performansına pozitif yönde etki yapmaktadır. %3 oranına gelindiğinde ise kayganlaştırma performansında düşme eğilimi görülmüştür. Bu yüzden, % 2'den yüksek oranlarda LUBE-1 eklemek önerilmemektedir.

Baz sondaj sıvısına eklenen LUBE-2 oranını arttırmak, %3 oranına kadar, sondaj sıvısının kayganlaştırma performansına pozitif yönde etki yapmaktadır (Şekil 12 & Tablo 14).

LUBE-1 ve LUBE-2 kayganlaştırıcıları kendi aralarında karşılaştırıldığında ise LUBE-1'in performansının LUBE-2'ye kıyasla çok daha yüksek olduğu görülmektedir.

150 mikron seramik disk için en verimli kaçak tıkama kompozisyonunu veren 50 lb/bbl CaCO₃ B içeren sondaj sıvısına eklenen kayganlaştırıcılar arasında; en yüksek kayganlaştırma performansını veren kompozisyon ise % 2 LUBE-1 içeren kompozisyon olarak belirlenmiştir.

Şekil-12: Kayganlaştırma Performansı Analizleri, 50 lb/bbl CaCO₃ B

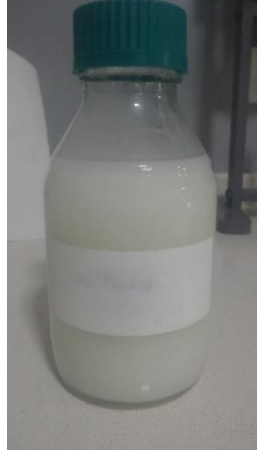


Tablo-14: Sondaj Sıvıları Kayganlaştırma Testi Sonuçları, 50 lb/bbl CaCO₃ B

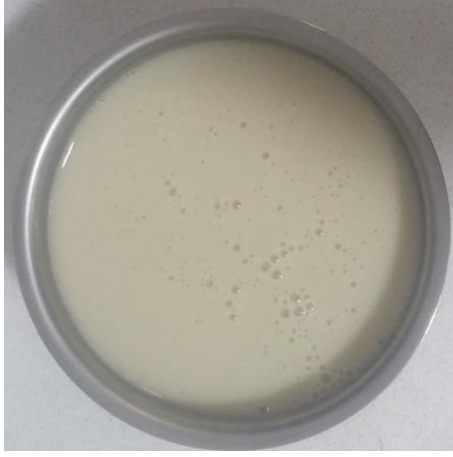
KİMYASAL	NUMUNE						
	1	2	3	4	5	6	7
Bentonit (ppb)	10	10	10	10	10	10	10
PAC LV (ppb)	2	2	2	2	2	2	2
XCD (ppb)	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75
POLYTS P (ppb)	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75
HT İnceltici (%)	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
HT Polimer (ppb)	3	3	3	3	3	3	3
CaCO₃ B (ppb)	50	50	50	50	50	50	50
LUBE-1 (%)		1%	2%	3%			
LUBE-2 (%)					1%	2%	3%
Karıştırma Süresi (dk)	30 dk						
Döner Fırın	300 F @ 16 saat						
TEST SICAKLIK (°F)	120	120	120	120	120	120	120
Kayganlaştırma Testi	SONUÇLAR						
	1	2	3	4	5	6	7
Test Süresi	5 dk	5 dk	5 dk	5 dk	5 dk	5 dk	5 dk
dev/dk	60	60	60	60	60	60	60
Verilen Buru (in-lb)	150	150	150	150	150	150	150
Ölçülen Buru (@ 5 dk)	27.0	3.6	1.5	2.3	20.0	15.4	14.1
Kalibrasyon Buru Okuması	34.9	34.9	34.9	34.9	34.1	34.1	34.1
Düzeltilme Sayısı	0.974	0.974	0.974	0.974	0.997	0.997	0.997
Kayganlık Katsayısı	0.263	0.035	0.015	0.022	0.199	0.154	0.141

4.2.5. Köpük Oluşumu

Hazırlanan baz sondaj sıvılarında yaşlandırma öncesi ve sonrası herhangi bir köpük oluşumu gözlenmezken, içerisine kayganlaştırıcı eklendiğinde yaşlandırma öncesi herhangi bir köpük oluşmamakla birlikte, yaşlandırma sonrası eser miktarda kırılabilir köpük oluşmuştur. Bu oluşum her iki kayganlaştırıcıda da meydana geldiği gibi kayganlaştırıcı miktarı arttığında da köpük miktarı artmıştır. Sondaj operasyonlarında köpük istenmeyen bir durum olduğu için ve kayganlaştırma performans deneylerini etkilememesi amacı ile sondaj sıvılarının içerisine köpük kırıcı eklenmiş (% 1 oranında) ve oluşan köpüğün tamamen yok olması sağlanmıştır. Görsel olarak incelenebilmesi için ester bazlı (LUBE-2) kayganlaştırıcı eklenmiş sondaj sıvılarının köpüklü ve köpük kırıcı eklenmiş hallerinin örnek resimleri aşağıda verilmiştir (Şekil 13-16).



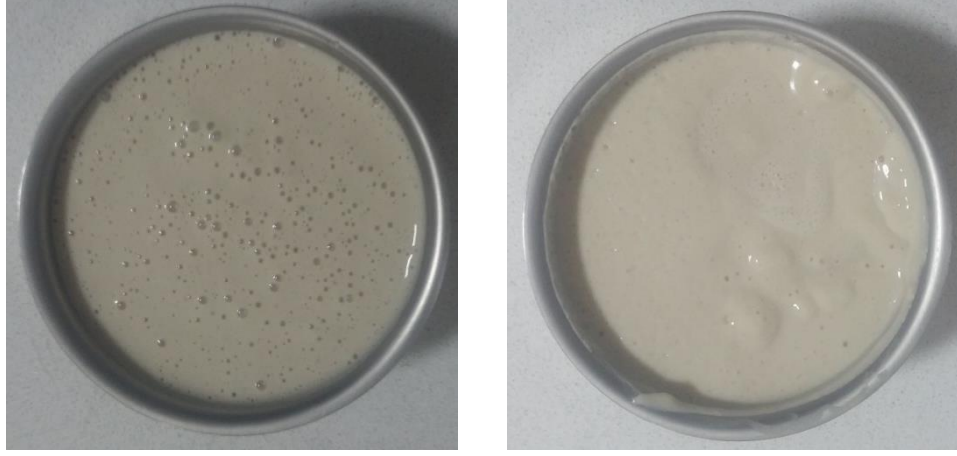
Şekil-13: Sondaj Sıvılarının İçerisine Eklenen Köpük Kırıcı



Şekil-14: %1 LUBE-2 Köpük Kırıcı Eklenmeden Önce ve Sonra



Şekil-15: % 2 LUBE-2 Köpük Kırıcı Eklenmeden Önce ve Sonra



Şekil-16: %3 LUBE-2 Köpük Kırıcı Eklenmeden Önce ve Sonra

4.2.6. Yağlanma (Greasing) ve Peynirsi Tabaka Oluşumu (Cheesing)

Hazırlanan baz sondaj sıvıları, LUBE-1 ve LUBE-2 eklenmiş sondaj sıvılarında yaşlandırma öncesi ve sonrası yüzey tabakalarında herhangi bir yağlanma ve peynirsi tabaka oluşumu gözlenmemiştir.

Yukarıda belirtilen deneylerde en iyi tıkama ve kayganlaştırma performansına sahip sondaj sıvısı kompozisyonları Tablo 15'te özetlenmiştir.

Tablo-15: En İyi Tıkama ve Kayganlaştırma Performansına Sahip Sondaj Sıvısı Kompozisyonları

Gözenek Boyutu, mikron	Sondaj Sıvısı Kompozisyonu
20	BAZ + 30 lb/bbl CaCO ₃ A + %2 LUBE-1
50	BAZ + 50 lb/bbl CaCO ₃ A + %2 LUBE-1
120	BAZ + 50 lb/bbl CaCO ₃ C + %3 LUBE-1
150	BAZ + 50 lb/bbl CaCO ₃ B + %2 LUBE-1

4.3. Sondaj Sıvısı Fiziksel ve Kimyasal Analizleri

Her bir seramik disk boyutu için en verimli kaçak tıkama performansını veren sondaj sıvıları üzerine eklenen; en yüksek kayganlaştırma potansiyeline sahip kompozisyonların fiziksel ve kimyasal sondaj sıvısı testleri yapılmıştır.

Fiziksel test kapsamında yoğunluk ölçümü, reolojik özelliklerin ölçümü ve sıvı kaybı ölçüm

deneyleri yapılmıştır. Kimyasal testler ile ise kalsiyum iyonu, pH ve klorür iyonu miktarları belirlenmiştir (Tablo-16). Bunların yanı sıra sondaj sıvısı hazırlamak için kullanılan şebeke suyunun ve kimyasal testlerin ölçümünde kullanılan saf suyun özellikleri de belirlenmiş ve Tablo-17'da belirtilmiştir.

Tablo-16'da kompozisyonları verilen sondaj sıvılarının hazırlanmasında aşağıda verilen sıra takip edilmelidir. İlk 9 sıra 1 (20µ) numaralı sondaj sıvısı numunesinin hazırlanma prosedürü olup, 10. Sıra ile 2 (20µ) numaralı sondaj sıvısı numunesi hazırlanmaktadır.

1. Karıştırma kabına yeterli miktarda su alınır.
2. Bentonit 10 ppb / 5 dakika hızında ilave edilir ve 20 dk karıştırılır.
3. Bentonit tam olarak şişip viskoz bir süspansiyon oluşuncaya kadar 16 saat dinlendirilir
4. PAC LV 2 ppb / 5 dakika hızında ilave edilir.
5. POLYTS P 1.75 ppb / 5 dakika hızında ilave edilir.
6. HT İnceltici %0.08 / 2 dakika hızında ilave edilir.
7. HT Polimer 3 ppb / 10 dakika hızında ilave edilir.
8. XCD 1.75 ppb / 10 dakika hızında ilave edilir.
9. CaCO₃ A 30 ppb / 15 dakika hızında ilave edilir.
10. LUBE-1 %2 / 2 dakika hızında ilave edilir.

Tablo-16: Sondaj Sıvıları Fiziksel ve Kimyasal Deney Sonuçları (20-50-120-150 mikron)

KİMYASAL	NUMUNE							
	1 (20µ)	2 (20µ)	3 (50µ)	4 (50µ)	5 (120µ)	6 (120µ)	7 (150µ)	8 (150µ)
BENTONİT (ppb)	10	10	10	10	10	10	10	10
PAC LV (ppb)	2	2	2	2	2	2	2	2
XCD (ppb)	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75
POLYTS P (ppb)	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75
HT İnceltici (%)	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
HT Polimer (ppb)	3	3	3	3	3	3	3	3
CaCO ₃ A (ppb)	30	30	50	50				
CaCO ₃ B (ppb)							50	50
CaCO ₃ C (ppb)					50	50		
LUBE-1 (%)		2%		2%		3%		2%
Karıştırma Süresi (dk)	30 dk							
Döner Fırın	300 F @ 16 saat							
TEST SICAKLIK (°F)	120							
TESTLER	SONUÇLAR							
	1	2	3	4	5	6	7	8
600 rpm	79	102	68	114	43	106	46	99
300 rpm	50	69	44	77	28	70	31	66
200 rpm	38	54	33	61	20	54	21	50
100 rpm	23	35	20	40	12	35	15	33
6 rpm	4	6	3	7	3	6	3	5
3 rpm	2	4	2	5	2	4	2	4
PV	29	33	24	37	15	36	15	33
YP	21	36	20	40	13	34	16	33
Jel (10sn/10dk)	4/8	5/14	3/8	6/18	2/2	4/10	2/4	4/10
API Su Kaybı (cc)	6.4	5.2	5	4.8	3,7	3,3	4.1	3.9
HTHP Su Kaybı (cc)	26	17	22	18	30	26	26	24
MW (ppg)	9.1	9.1	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3
Ca (mg/lit)	148	180	200	160	224	120	200	180
Cl (mg/lit)	480	900	1600	1500	1400	1200	900	1000
pH	9	8.3	8.5	7.9	8.5	8.0	8.7	7.8

Tablo-17: Şebeke Suyu ve Saf Su Kimyasal Özellikleri

KİMYASAL ÖZELLİKLER	Şebeke Suyu	Saf Su
Cl (mg/lit)	20	<10
Ca (mg/lit)	25	<10
Toplam Sertlik (mg/lit)	35	<10
pH	7.2	6.8

Yapılan fiziksel ve kimyasal sondaj sıvısı testleri sonucunda gözlenen değerlerin, sondaj parametrelerine uygun olduğu ve kayganlaştırıcının sondaj sıvısının fiziksel ve kimyasal özelliklerine olumsuz bir etkisi olmadığı gözlenmekle beraber, kayganlaştırıcı eklenmesiyle, API ve HTHP sıvı kaybı değerlerinde; olumlu bir etki olarak, düşme gözlenmiştir. Bununla birlikte reoloji değerlerinde görülen artış kontrol edilebilir parametreler aralığındadır.

Sondaj sıvısının hazırlanması ve kimyasal testlerde kullanılan şebeke suyu ve saf su analiz sonuçları; sondaj sıvısı performansını etkilemeyecek aralıklarda bulunmaktadır.

4.4. Sondaj Sıvısı Özelliklerinin Kayganlaştırma Performansı Üzerindeki Etkileri

Bilindiği üzere sondaj operasyonları sırasında; formasyon ve çimentolama gibi dış etkenler sebebiyle, sondaj sıvısı fiziksel ve kimyasal özelliklerinde istenmeyen değişimler ile karşılaşmaktadır. Bu gibi etkenleri yansıtmak için ana sondaj sıvısı kompozisyonuna müdahaleler yapılmış ve sondaj sıvısı özelliklerinin kayganlaştırma performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Detaylı test sonuçları ve kayganlaştırma analizleri karşılaştırması Tablo 18-21 ve Şekil.17-20'de görülebilir.

Tablo-18'de kompozisyonları verilen sondaj sıvılarının hazırlanmasında aşağıda verilen sıra takip edilmelidir. İlk 10 sıra 1 numaralı sondaj sıvısı numunesinin hazırlanma prosedürü olup, 11. Sıra ile 2 (11-a), 3 (11-b), 4 (11-c), ve 5 (11-d), numaralı sondaj sıvısı numuneleri hazırlanmaktadır.

1. Karıştırma kabına yeterli miktarda su alınır.
2. Bentonit 10 ppb / 5 dakika hızında ilave edilir ve 20 dk karıştırılır.
3. Bentonit tam olarak şişip viskoz bir süspansiyon oluşuncaya kadar 16 saat dinlendirilir
4. PAC LV 2 ppb / 5 dakika hızında ilave edilir.
5. POLYTS P 1.75 ppb / 5 dakika hızında ilave edilir.
6. HT İnceltici %0.08 / 2 dakika hızında ilave edilir.
7. HT Polimer 3 ppb / 10 dakika hızında ilave edilir.
8. XCD 1.75 ppb / 10 dakika hızında ilave edilir.
9. CaCO₃ A 30 ppb / 15 dakika hızında ilave edilir.
10. LUBE-1 %2 / 2 dakika hızında ilave edilir.
11. Kullanılacak kimyasala göre aşağıdaki şekilde devam edilmelidir..
 - a. Barit 125 ppb / 15 dakika hızında ilave edilir.

- b. NaCl 5 ppb / 5 dakika hızında ilave edilir.
- c. Kireç 2.5 ppb / 5 dakika hızında ilave edilir.
- d. Jips 2 ppb / 5 dakika hızında ilave edilir.

4.4.1. Kireç (Ca(OH)₂) Etkisi

Sondaj operasyonlarında; koruma borusu arkasına yapılan veya kaçak tıkama amacıyla tapa olarak bırakılan çimentolama operasyonları ile birlikte yaşanan sondaj sıvısı kirliliklerini yansıtmak amacıyla; belirlenen en iyi kompozisyonlara 2.5 ppb oranında Kireç eklenmiş; çamurun kalsiyum iyonu ve pH değerleri yükseltilmiştir. Değişen bu kimyasal özellikler ile birlikte kayganlaştırıcıların performansının ve çamurun kayganlaştırma potansiyelinin negatif yönde etkilendiği görülmüştür.

4.4.2. Jips (CaSO₄.2H₂O) Etkisi

Sondaj sırasında kesilen jips formasyonundan gelen kalsiyum iyonu sondaj sıvısına karıştığında sistemin fiziksel özelliklerini negatif yönde etkileyebilmektedir. Bu durumu yansıtmak için; belirlenen en iyi kompozisyonlara 2 ppb Jips eklenmiş ve sondaj sıvısı kalsiyum kirliliğine maruz bırakılmıştır. Bu kirliliğin sonucunda çamurun kayganlaştırma performansı olumsuz yönde etkilenmiştir.

4.4.3. Tuzluluk Etkisi

Sondaj operasyonları sırasında kesilen tuz formasyonu ve yüksek tuzluluğu olan formasyon akışkanlarına maruz kalan sondaj sıvısının kimyasal özelliklerindeki Cl⁻ iyonu artışı; sondaj sıvısının fiziksel özelliklerine olumsuz yönde etki etmektedir. Bu durumu yansıtmak için belirlenen en verimli kompozisyonlara 5 ppb NaCl eklenmiş ve sistemin Cl⁻ iyonu miktarı 10,000 mg/lit değerinin üzerine çıkarılmıştır. Bu müdahale sondaj sıvısının kayganlaştırma performansını olumsuz yönde etkilemiştir.

4.4.4. Barit Etkisi

Kuyu stabilitesi problemlerinin yaşandığı veya yüksek basınç ihtiva eden formasyonlarda, kontrolü sağlamak amacıyla sondaj sıvısının yoğunluğu artırılır. Bununla birlikte çamurun fiziksel özelliklerinde (PV, çamur kek kalitesi vb) olumsuz etkiler meydana gelebilir. Bu artışı sağlamak için belirlenen en verimli sondaj sıvılarına 4.2 özgül ağırlığı olan barit eklenmiş ve çamur yoğunluğu 11.0 ppg'ye çıkarılmıştır. Ağırlştırma sonrası yapılan kayganlaştırma analizlerinde artan yoğunluğun kayganlaştırma performansını negatif yönde etkilediği görülmüştür.

Tablo-18: Sondaj Sıvısı Özelliklerinin Kayganlaştırma Üzerine Etkileri (30 ppb CaCO₃ A + %2 LUBE-1)

KİMYASAL	30 ppb CaCO ₃ A + %2 LUBE-1				
	1	2	3	4	5
BENTONİT (ppb)	10	10	10	10	10
PAC LV (ppb)	2	2	2	2	2
XCD (ppb)	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
POLYTS P (ppb)	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
HT İnceltici (%)	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
HT Polimer (ppb)	3	3	3	3	3
Barit (ppb)		125			
NaCl (ppb)			5		
Kireç (ppb)				2,5	
Jips (ppb)					2
CaCO₃ A (ppb)	30	30	30	30	30
LUBE-1 (%)	2	2	2	2	2
Karıştırma Süresi (dk)	30 dk				
Döner Fırın	300 F @ 16 saat				
Test Sıcaklığı (°F)	120				
Kirlenme Sonrası Karıştırma (dk)	15 dk				
Kirlenme Sonrası Döner Fırın	300 F @ 4 saat				
TESTLER	SONUÇLAR				
	1	2	3	4	5
600 rpm	102	92	35	65	40
300 rpm	69	57	21	37	22
200 rpm	54	42	15	26	16
100 rpm	35	26	8	16	10
6 rpm	6	4	3	5	3
3 rpm	4	3	2	4	2
PV	33	35	14	28	18
YP	36	22	7	9	4
Jel (10sn/10dk)	5/14	2/4	2/3	9/35	3/10
API Su Kaybı (cc)	5.2	4,5	5,3	18,4	6,0
MW (ppg)	9.1	11.0	9.1	9.1	9.1
Ca (mg/lt)	180	200	240	420	820
Cl (mg/lt)	900	1500	13000	1300	1200
pH	8.3	8,2	7,8	12,2	7,7
Pm				3,0	
KAYGANLAŞTIRMA TESTİ					
Test Süresi	5 dk	5 dk	5 dk	5 dk	5 dk
dev/dk	60	60	60	60	60
Verilen Buru (in-lb)	150	150	150	150	150
Ölçülen Buru (@ 5 dk)	2	21.5	19.9	29.6	22.8
Kalibrasyon Buru Okuması	35.0	34.8	34.8	34.8	34.8
Düzeltilme Sayısı	0.971	0.977	0.977	0.977	0.977
Kayganlık Katsayısı	0.019	0.210	0.194	0.289	0.223

Tablo-19: Sondaj Sıvısı Özelliklerinin Kayganlaştırma Üzerine Etkileri (50 ppb CaCO₃ A + %2 LUBE-1)

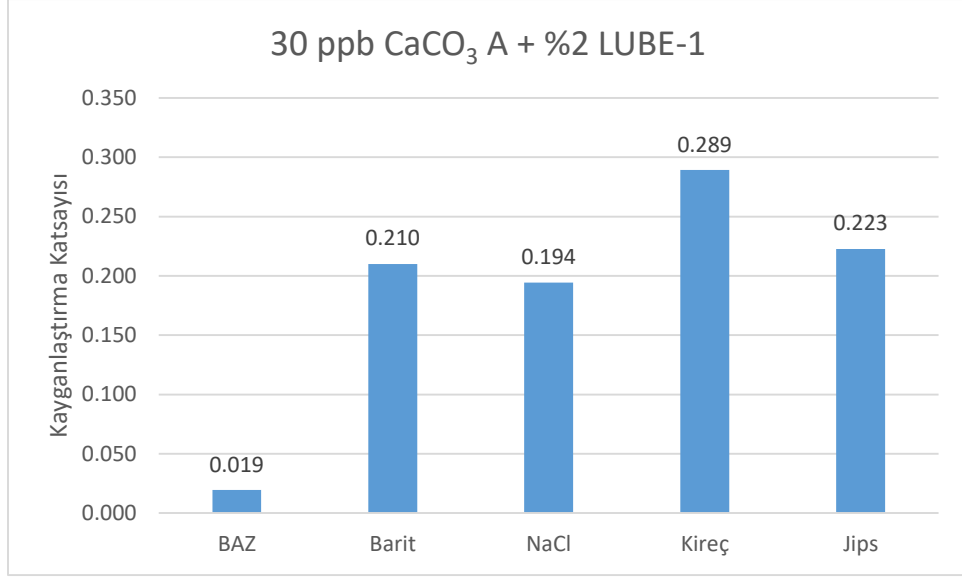
KİMYASAL	50 ppb CaCO ₃ A + %2 LUBE-1				
	1	2	3	4	5
BENTONİT (ppb)	10	10	10	10	10
PAC LV (ppb)	2	2	2	2	2
XCD (ppb)	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
POLYTS P (ppb)	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
HT İnceltici (%)	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
HT Polimer (ppb)	3	3	3	3	3
Barit (ppb)		110			
NaCl (ppb)			5		
Kireç (ppb)				2,5	
Jips (ppb)					2
CaCO ₃ A (ppb)	50	50	50	50	50
LUBE-1 (%)	2	2	2	2	2
Karıştırma Süresi (dk)	30 dk				
Döner Fırın	300 F @ 16 saat				
Test Sıcaklığı (°F)	120				
Kirletme Sonrası Karıştırma (dk)	15 dk				
Kirletme Sonrası Döner Fırın	300 F @ 4 saat				
TESTLER	SONUÇLAR				
	1	2	3	4	5
600 rpm	114	72	68	52	54
300 rpm	77	44	43	31	35
200 rpm	61	31	33	22	24
100 rpm	40	18	21	13	15
6 rpm	7	3	4	3	3
3 rpm	5	2	2	2	2
PV	37	28	25	21	19
YP	40	16	18	10	16
Jel (10sn/10dk)	6/18	2/4	3/6	2/14	2/8
API Su Kaybı (cc)	4,8	3,8	4,2	5,4	4,6
MW (ppg)	9.3	11.0	9.3	9.3	9.3
Ca (mg/lt)	160	240	260	360	680
Cl (mg/lt)	1500	1600	11000	1600	1600
pH	7,9	8,3	8,0	10,1	7,7
Pm				2,6	
KAYGANLAŞTIRMA TESTİ					
Test Süresi	5 dk	5 dk	5 dk	5 dk	5 dk
dev/dk	60	60	60	60	60
Verilen Buru (in-lb)	150	150	150	150	150
Ölçülen Buru (@ 5 dk)	4.0	22.2	20.4	32.8	20.0
Kalibrasyon Buru Okuması	35.7	35.0	35.0	35.0	35.0
Düzeltilme Sayısı	0.952	0.971	0.971	0.971	0.971
Kayganlık Katsayısı	0.038	0.216	0.198	0.319	0.194

Tablo-20: Sondaj Sıvısı Özelliklerinin Kayganlaştırma Üzerine Etkileri (50 ppb CaCO₃B + %2 LUBE-1)

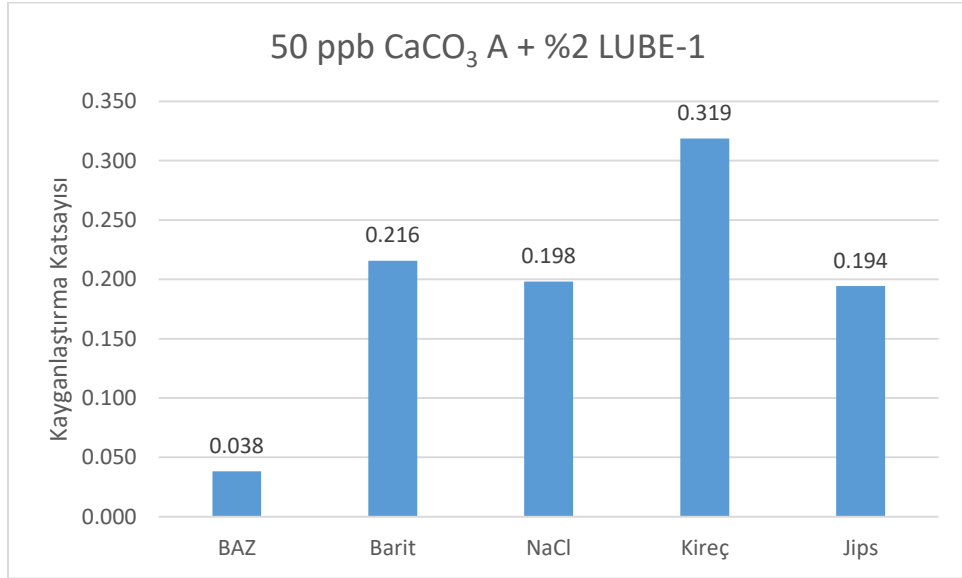
KİMYASAL	50 ppb CaCO ₃ B + %2 LUBE-1				
	1	2	3	4	5
BENTONİT (ppb)	10	10	10	10	10
PAC LV (ppb)	2	2	2	2	2
XCD (ppb)	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
POLYTS P (ppb)	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
HT İnceltici (%)	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
HT Polimer (ppb)	3	3	3	3	3
Barit (ppb)		110			
NaCl (ppb)			5		
Kireç (ppb)				2,5	
Jips (ppb)					2
CaCO ₃ B (ppb)	50	50	50	50	50
LUBE-1 (%)	2	2	2	2	2
Karıştırma Süresi (dk)	30 dk				
Döner Fırın	300 F @ 16 saat				
Test Sıcaklığı (°F)	120				
Kirletme Sonrası Karıştırma (dk)	15 dk				
Kirletme Sonrası Döner Fırın	300 F @ 4 saat				
TESTLER	SONUÇLAR				
	1	2	3	4	5
600 rpm	99	76	59	73	58
300 rpm	66	46	36	43	33
200 rpm	50	33	27	30	26
100 rpm	33	20	16	18	16
6 rpm	5	3	3	3	3
3 rpm	4	2	2	2	2
PV	33	30	23	30	25
YP	33	16	13	13	8
Jel (10sn/10dk)	4/10	3/4	3/4	3/18	3/9
API Su Kaybı (cc)	3,9	3,4	3,8	7,5	4,3
MW (ppg)	9.3	11.0	9.3	9.3	9.3
Ca (mg/lt)	180	200	260	400	800
Cl (mg/lt)	1000	1500	12000	1400	1500
pH	7.8	8.3	7.8	11.5	7.6
Pm				2.8	
KAYGANLAŞTIRMA TESTİ					
Test Süresi	5 dk	5 dk	5 dk	5 dk	5 dk
dev/dk	60	60	60	60	60
Verilen Buru (in-lb)	150	150	150	150	150
Ölçülen Buru (@ 5 dk)	1.5	19.2	18.3	29.8	21.9
Kalibrasyon Buru Okuması	34.9	34.8	34.8	34.8	34.8
Düzeltilme Sayısı	0.974	0.977	0.977	0.977	0.977
Kayganlık Katsayısı	0.015	0.188	0.179	0.291	0.214

Tablo-21: Sondaj Sıvısı Özelliklerinin Kayganlaştırma Üzerine Etkileri (50 ppb CaCO₃ C + %3 LUBE-1)

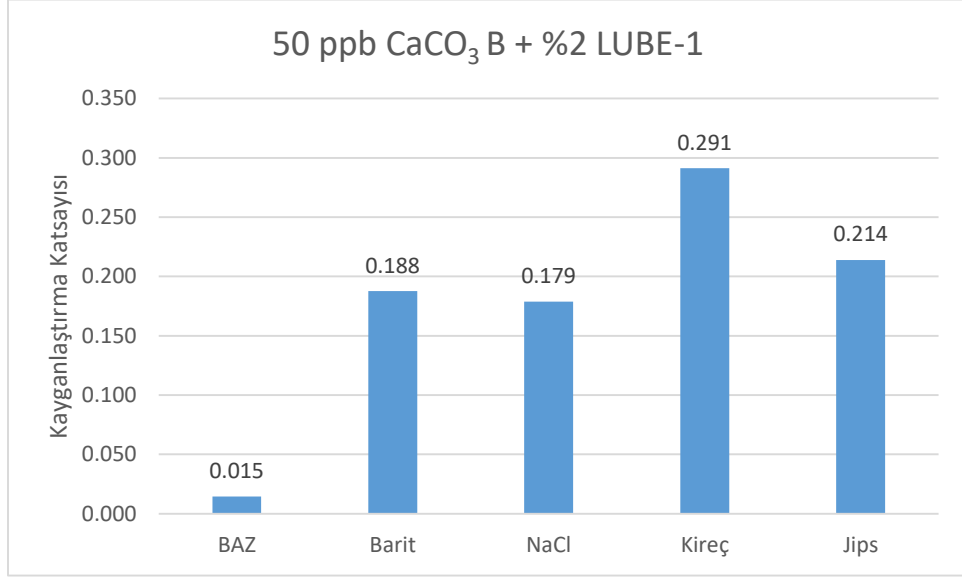
KİMYASAL	50 ppb CaCO ₃ C + %2 LUBE-1				
	1	2	3	4	5
BENTONİT (ppb)	10	10	10	10	10
PAC LV (ppb)	2	2	2	2	2
XCD (ppb)	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
POLYTS P (ppb)	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
HT İnceltici (%)	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
HT Polimer (ppb)	3	3	3	3	3
Barit (ppb)		110			
NaCl (ppb)			5		
Kireç (ppb)				2,5	
Jips (ppb)					2
CaCO ₃ C (ppb)	50	50	50	50	50
LUBE-1 (%)	3	3	3	3	3
Karıştırma Süresi (dk)	30 dk				
Döner Fırın	300 F @ 16 saat				
Test Sıcaklığı (°F)	120				
Kirletme Sonrası Karıştırma (dk)	15 dk				
Kirletme Sonrası Döner Fırın	300 F @ 4 saat				
TESTLER	SONUÇLAR				
	1	2	3	4	5
600 rpm	106	79	43	50	30
300 rpm	70	49	27	31	19
200 rpm	54	34	20	22	16
100 rpm	35	20	12	13	11
6 rpm	6	3	2	2	3
3 rpm	4	2	1	2	3
PV	36	30	16	19	11
YP	34	19	11	12	7
Jel (10sn/10dk)	4/10	3/4	2/3	3/12	3/13
API Su Kaybı (cc)	3.3	4.5	4.4	3.0	2.8
MW (ppg)	9.3	11.0	9.3	9.3	9.3
Ca (mg/lt)	120	880	480	200	220
Cl (mg/lt)	1200	1400	1500	11700	1400
pH	8,0	8,3	7,9	10,6	7,3
Pm				2,5	
KAYGANLAŞTIRMA TESTİ					
Test Süresi	5 dk	5 dk	5 dk	5 dk	5 dk
dev/dk	60	60	60	60	60
Verilen Buru (in-lb)	150	150	150	150	150
Ölçülen Buru (@ 5 dk)	2.1	19.7	20.4	24.5	18.2
Kalibrasyon Buru Okuması	34.2	36.0	36.0	36.0	36.0
Düzeltilme Sayısı	0.994	0.944	0.944	0.944	0.944
Kayganlık Katsayısı	0.021	0.196	0.203	0.244	0.181



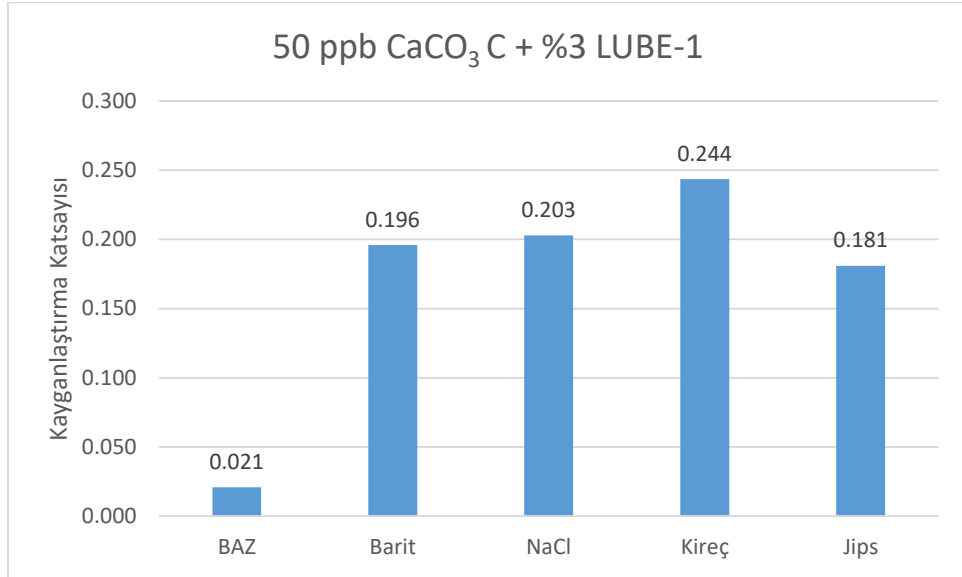
Şekil-17: Kayganlaştırma Katsayısı Karşılaştırması (30 ppb CaCO₃ A + %2 LUBE-1)



Şekil-18: Kayganlaştırma Katsayısı Karşılaştırması (50 ppb CaCO₃ A + %2 LUBE-1)



Şekil-19: Kayganlaştırma Katsayısı Karşılaştırması (50 ppb CaCO₃ B + %2 LUBE-1)



Şekil-20: Kayganlaştırma Katsayısı Karşılaştırması (50 ppb CaCO₃ C + %3 LUBE-1)

4.5. Tekrarlanabilirlik Testleri

Deneylerin güvenilirliğini sağlamak amacıyla tekrarlanabilirlik testleri yapılmış ve araştırmacıların bilgisine sunulmuştur. Tablo 22-24'te; kayganlaştırma performansı testleri, geçirgenlik tıkama testleri, sondaj sıvısının fiziksel ve kimyasal tüm özelliklerinin karşılaştırmalı tekrarlanabilirlik testleri görülebilir.

Tablo-22: Sondaj Sıvıları Fiziksel ve Kimyasal Tekrarlanabilirlik Testleri

KİMYASAL	NUMUNE							
	1 (20 μ)	2 (20 μ)	3 (50 μ)	4 (50 μ)	5 (120 μ)	6 (120 μ)	7 (150 μ)	8 (150 μ)
BENTONİT (ppb)	10	10	10	10	10	10	10	10
PAC LV (ppb)	2	2	2	2	2	2	2	2
XCD (ppb)	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75
POLYTS P (ppb)	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75
HT İnceltici (%)	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
HT Polimer (ppb)	3	3	3	3	3	3	3	3
CaCO₃ A (ppb)	30	30	50	50				
CaCO₃ B (ppb)							50	50
CaCO₃ C (ppb)					50	50		
Karıştırma Süresi (dk)	30 dk							
Döner Fırın	300 F @ 16 saat							
TEST SICAKLIK (°F)	120							
TESTLER	SONUÇLAR							
	1	2	3	4	5	6	7	8
600 rpm	79	75	68	68	43	45	46	48
300 rpm	50	49	44	43	28	30	31	32
200 rpm	38	37	33	33	20	19	21	22
100 rpm	23	25	20	20	12	13	15	16
6 rpm	4	4	3	4	3	3	3	4
3 rpm	2	3	2	3	2	2	2	3
PV	29	26	24	25	15	15	15	16
YP	21	23	20	18	13	15	16	16
Jel (10sn/10dk)	4/8	4/12	3/8	3 / 5	2/2	2/3	2/4	3 / 5
API Su Kaybı (cc)	6.4	6.2	5	5.6	3,7	3.8	4.1	4.0
HHP Su Kaybı (cc)	26	24	22	24	30	28	26	27
MW (ppg)	9.1	9.2	9.3	9.2	9.3	9.2	9.3	9.2
Ca (mg/l)	148	160	200	200	224	220	200	210
Cl (mg/l)	480	500	1600	1500	1400	1300	900	900
pH	9	9	8.5	8.8	8.5	8.9	8.8	9

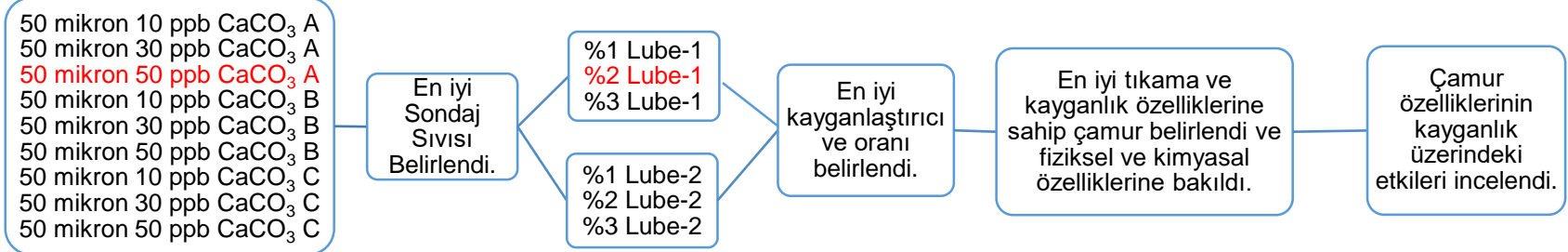
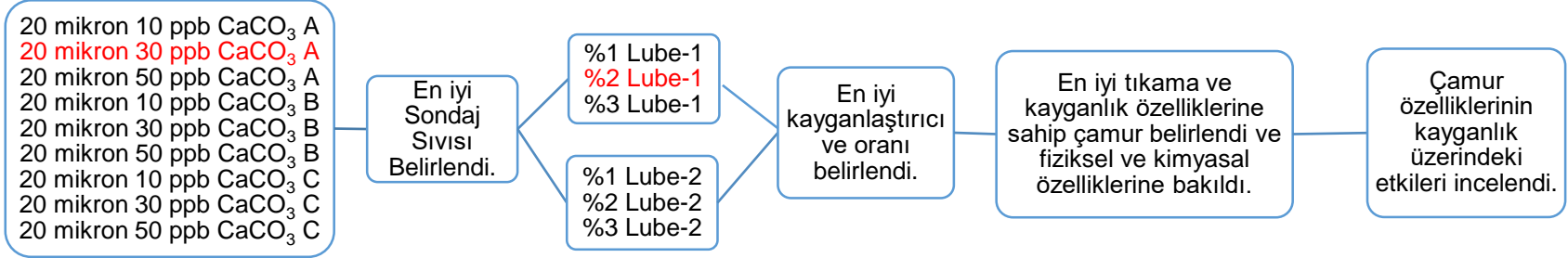
Tablo-23: Sondaj Sıvıları Kayganlaştırma Tekrarlanabilirlik Testleri

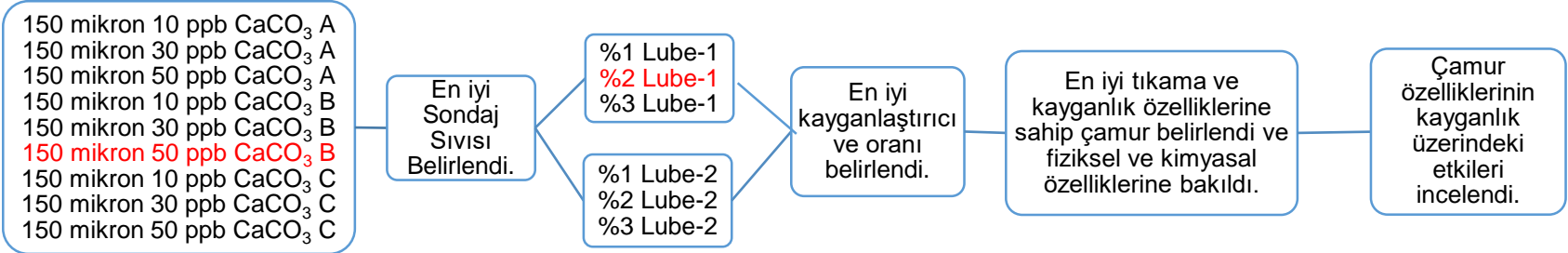
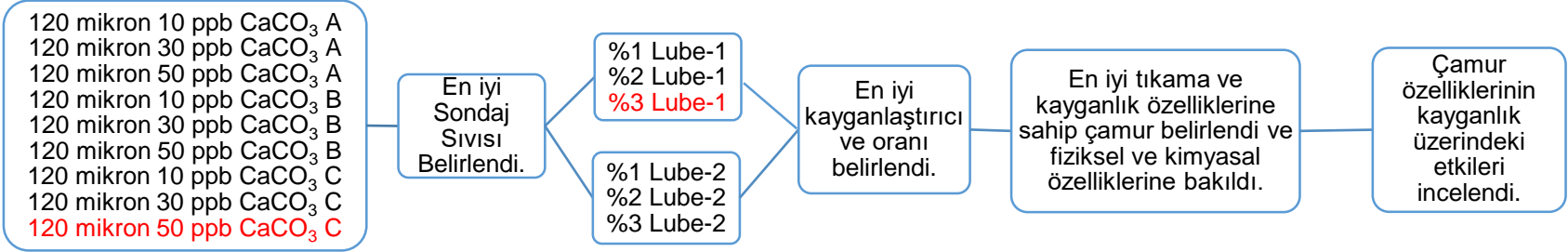
KİMYASAL	NUMUNE							
	1 (20 μ)	2 (20 μ)	3 (50 μ)	4 (50 μ)	5 (120 μ)	6 (120 μ)	7 (150 μ)	8 (150 μ)
Bentonit (ppb)	10	10	10	10	10	10	10	10
PAC LV (ppb)	2	2	2	2	2	2	2	2
XCD (ppb)	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75
POLYTS P (ppb)	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75
HT İnceltici (%)	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
HT Polimer (ppb)	3	3	3	3	3	3	3	3
CaCO₃ A (ppb)	30	30	50	50				
CaCO₃ B (ppb)							50	50
CaCO₃ C (ppb)					50	50		
Karıştırma Süresi (dk)	30 dk							
Döner Fırın	300 F @ 16 saat							
TEST SICAKLIK (°F)	120	120	120	120	120	120	120	
Kayganlaştırma Testi	SONUÇLAR							
Test Süresi	5 dk	5 dk	5 dk	5 dk	5 dk	5 dk	5 dk	5 dk
dev/dk	60	60	60	60	60	60	60	60
Verilen Buru (in-lb)	150	150	150	150	150	150	150	150
Ölçülen Buru (@ 5 dk)	26.2	26.8	29.0	28.6	27.4	25.1	27.0	26.1
Kalibrasyon Buru Okuması	0.971	0.997	0.952	1.009	0.994	1.030	0.974	0.997
Düzeltilme Sayısı	35.0	34.1	35.7	33.7	34.2	33.0	34.9	34.1
Kayganlık Katsayısı	0.255	0.267	0.276	0.289	0.272	0.259	0.263	0.260

Tablo-24: Geçirgenlik Tıkama Deneyi Tekrarlanabilirlik Testleri

Seramik Disk Gözenek Boyutu	CaCO ₃ Tane Boyutu	CaCO ₃ Konsantrasyonu (lb/bbl)	PPT Sıvı Kaybı (ml)		Öncü Sıvı Kaybı (ml)	Toplam Sıvı Kaybı (ml)	Durağan Süzme Hızı (ml/dk ^{1/2})
			7.5 dk	30 dk			
20	A	10	8	16	0	32	5.84
20	A	10	10	17	6	34	5.11
20	A	30	9	16	4	32	5.11
20	A	30	7	14	0	28	5.11
20	A	50	10	17	6	34	5.11
20	A	50	7.5	15	0	30	5.48

5. YAPILAN ÇALIŞMALAR





6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, jeotermal kuyularda sondaj sıvısı kaçağını kapatmak için gerekli kompozisyonlar yüksek sıcaklık ve yüksek basınç altında, Geçirgenlik Tıkama Cihazı (Permeability Plugging Apparatus) yardımıyla deneysel olarak analiz edilmiştir. Ayrıca bu kompozisyonlara çeşitli oranlarda kayganlaştırıcılar eklenmiş ve en yüksek kayganlaştırma performansı sergileyen sondaj sıvısı kompozisyonları belirlenmiş, bu kompozisyonların fiziksel ve kimyasal çamur özellikleri ölçülmüştür. Bütün bunlara ek olarak, en iyi kaçak tıkama ve en iyi kayganlaştırma performansına sahip sondaj sıvılarına Barit, NaCl, Jips ve Kireç ile ayrı ayrı müdahale edilmiş ve bu müdahalelerin sondaj sıvısı özellikleri ve kayganlaştırma performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Geçirgen Tıkama Cihazı yardımıyla yapılan geçirgenlik deneylerinde;

- 20 mikron gözenek boyutuna sahip seramik disk kullanıldığında, en iyi tıkama performansı; baz sondaj sıvısı içerisine 30 ppb CaCO₃ A eklenmesi ile elde edilmiştir.
- 50 mikron gözenek boyutuna sahip seramik disk kullanıldığında, en iyi tıkama performansı; baz sondaj sıvısı içerisine 50 ppb CaCO₃ A eklenmesi ile elde edilmiştir.
- 120 mikron gözenek boyutuna sahip seramik disk kullanıldığında, en iyi tıkama performansı; baz sondaj sıvısı içerisine 50 ppb CaCO₃ C eklenmesi ile elde edilmiştir.
- 150 mikron gözenek boyutuna sahip seramik disk kullanıldığında, en iyi tıkama performansı; baz sondaj sıvısı içerisine 50 ppb CaCO₃ B eklenmesi ile elde edilmiştir.

OFITE Lubricity Tester cihazı kullanılarak gerçekleştirilen kayganlaştırma performansı deneylerinde;

- 20 mikron seramik disk için en iyi tıkama performansını veren; 30 ppb CaCO₃ A içeren sondaj sıvısı kompozisyonuna, % 2 oranında LUBE-1 eklendiğinde en iyi kayganlaştırma performansı sağlanmış, kayganlaştırma katsayısında %92 oranında düşüş görülmüştür.
- 50 mikron seramik disk için en iyi tıkama performansını veren; 50 ppb CaCO₃ A içeren sondaj sıvısı kompozisyonuna, % 2 oranında LUBE-1 eklendiğinde en iyi kayganlaştırma performansı sağlanmış, kayganlaştırma katsayısında %86 oranında düşüş görülmüştür.
- 120 mikron seramik disk için en iyi tıkama performansını veren; 50 ppb CaCO₃ C içeren sondaj sıvısı kompozisyonuna, % 3 oranında LUBE-1 eklendiğinde en iyi kayganlaştırma performansı sağlanmış, kayganlaştırma katsayısında %94 oranında düşüş görülmüştür.

- 150 mikron seramik disk için en iyi tıkama performansını veren; 50 ppb CaCO₃ B içeren sondaj sıvısı kompozisyonuna, % 2 oranında LUBE-1 eklendiğinde en iyi kayganlaştırma performansı sağlanmış, kayganlaştırma katsayısında %92 oranında düşüş görülmüştür.
- En iyi kayganlaştırma performansı LUBE-1 eklenen çamur kompozisyonlarında görülmüştür.
- LUBE-1'in kayganlaştırma performansı her kompozisyon için LUBE-2'den daha fazladır.
- Her iki kayganlaştırıcı da yaşlandırma sonrası eser miktarda kırılabilir köpük oluşturmuştur.
- Kayganlaştırıcı kullanımları peynirsi tabaka oluşumu ve yağlanmaya yol açmamıştır.

Sondaj sıvısı fiziksel ve kimyasal deneylerinde;

- En iyi tıkama ve kayganlaştırma performansını veren kompozisyonların fiziksel ve kimyasal test sonuçları; jeotermal kuyu sondajlarında önerilen ve kullanılan çamur özellikleri aralıklarının içinde yer almıştır.
- Kayganlaştırıcı eklenmesi, reolojik özelliklerin kontrol edilebilir değerler arasında yükselmesine sebep olmuştur.
- Kayganlaştırıcı eklenmesi, API sıvı kaybı değerlerinde; olumlu bir etki olarak düşüş sağlamıştır.
- Kayganlaştırıcı eklenmesi, HTHP sıvı kaybı değerlerinde; olumlu bir etki olarak düşüş sağlamıştır.

Sondaj sıvısı özelliklerinin kayganlaştırma performansı üzerindeki etkileri deneylerinde;

- Yüksek tuzluluk, çamurun fiziksel özelliklerini ve kayganlaştırma performansını olumsuz yönde etkilemiştir.
- Sondaj sıvısına eklenen jips, çamurun kalsiyum iyonu miktarını arttırarak pH'da düşüğe neden olmuş; reolojik özellikleri ve kayganlaştırma performansı olumsuz yönde etkilenmiştir.
- Sondaj sıvısına eklenen kireç, çamurun pH ve kalsiyum iyonu miktarını arttırarak, kayganlaştırma performansını ve fiziksel özelliklerini negatif yönde etkilemiştir.
- Çamur yoğunluğunu barit ile arttırmak, sondaj sıvısının PV değerinin artmasına neden olmuş, kayganlaştırma katsayısını olumsuz yönde etkilemiştir.

7. KAYNAKÇA

Argillier, J-F., Audibert, A., Janssen, M., Demoulin, A., 1996, "Development of a New Non-Polluting Ester Based Lubricant for Water Based Muds: Laboratory and Field Tests Results", SPE, 36862, SPE European Petroleum Conference held in Milan, Italy.

Bauer S., Gronewald P., Hamilton J., LaPlant D., Mansure A. 2005. "High-Temperature Plug Formation With Silicates", SPE, 92339, SPE International Symposium on Oilfield Chemistry held in Houston, Texas, U.S.A.

Foxenberg, W.E., Ali, S.A., Long, T.P., Vian, J., 2008. "Field Experience Shows That New Lubricant Reduces Friction and Improves Formation Compatibility and Environmental Impact", SPE, 112483, SPE International Symposium and Exhibition on Formation Damage held in Louisiana, U.S.A.

Growcock, F.B., Frederick, T.P, Reece, A.R., Green, G.W., Ruffin, M.D., 1998. "Novel Lubricants for Water Based Drilling Fluids" SPE, 50710, SPE International Symposium on Oilfield Chemistry.

Knox, D. and Jiang, P., 2005, "Drilling Further with Water-Based Fluids-Selecting the Right Lubricant", SPE Annual Technical Conference and Exhibition,

Quigley, M.C., 1989, "Advanced Technology for Laboratory Measurement of Drilling Fluid Friction Coefficient", SPE, ,19537, 64th Annual Technical Conference and Exhibition of SPE, San Antonio, TX,

Quigley, M.S., Dzlalowski, A.K., Zamora, M., 1990, "A Full-Scale Wellbore Friction Simulator", SPE, 19958, IADC/SPE Drilling Conference held in Houston, Texas

Qureshi A., Ali M., Preining P., 2008. "Pushing the Limits: Improving Drilling Performance of High Temperature Gas Wells in Thar Desert in Sindh, Pakistan" SPE, 115319, SPE Asia Pacific Oil & Gas Conference and Exhibition held in Perth, Australia.

Schamp, H.J., Estes, B.L., Keller, S.R., 2006, "Torque Reduction Techniques in ERD Wells", SPE, 98969, IADC/SPE Drilling Conference held in Miami, Florida, U.S.A.

Suyan K.M., Dasgupta D., Sanyal D., Sharma V., Jain V.K., 2007. "Managing Total Circulation Losses With Crossflow While Drilling: Case History of Practical Solutions" SPE, 109898, SPE Annual Conference and Exhibition held in Anaheim, California, U.S.A.

Tyldsley, D., 1979, "Lubricant SSP – The Proven Lubricant to Reduce High Downhole Torque", SPE, 8159, SPE Offshore Europe Conference, Aberdeen, Scotland

Whitfill D.L., Hemphill T., 2003. "All Lost-Circulation Materials and Systems Are Not Created Equal", SPE, 84319, SPE Annual Conference and Exhibition held in Denver, Colorado, U.S.A.

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje Yürütücüsü:	Prof. Dr. MUSTAFA VERŞAN KÖK
Proje No:	215M766
Proje Başlığı:	Jeotermal Kuyu Sondajlarında Kaçak Ve Buru Problemlerinin Sondaj Sıvısı Yönünden İncelenmesi
Proje Türü:	1001 - Araştırma
Proje Süresi:	24
Araştırmacılar:	GÖKHAN BAĞATIR, İSMAIL HAKKI GÜCÜYENER
Danışmanlar:	
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:	ORTA DOĞU TEKNİK Ü. MÜHENDİSLİK F. PETROL VE DOĞAL GAZ MÜHENDİSLİĞİ B.
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:	01/05/2016 - 01/05/2018
Onaylanan Bütçe:	279900.0
Harcanan Bütçe:	147822.59
Öz:	<p>Jeotermal kuyu sondajlarında yaşanan olası bir çamur kaçağının neden olduğu kuyu stabilitesi problemleri sonucunda oluşan yüksek buru değerleri, sondaj dizisinin ağırlık almasına, takım sıkışmalarına ve bazı durumlarda ise kuyunun terk edilmesine varan sorunlara yol açmaktadır. Bu sorunları en aza indirmek için çamur kaçağını kapatmaya yönelik çamur kompozisyonları ile etkin kayganlaştırma performansı, yüksek sıcaklık ve yüksek basınç dayanımı olan sondaj sıvısı kompozisyonları kullanılmalıdır. Bilinen en yüksek kayganlaştırma performansını, petrol/sentetik bazlı sondaj sıvıları vermektedir. Ancak hem ekonomik açıdan hem de çevresel nedenlerden dolayı bu sondaj sıvısı sistemlerinin kullanımı problem yaratmaktadır. Bu noktada, kayganlaştırma performansı yüksek, yüksek sıcaklık ve yüksek basınç (HTHP) koşullarına dayanıklı, kaçaklı formasyonlarda etkin su bazlı sondaj sıvısı kompozisyonlarının bulunması araştırılmıştır.</p> <p>Proje kapsamında, Türkiye ve Dünya'da Jeotermal sondajlarda kullanılmakta olan yüksek performanslı HTHP sondaj sıvısı üzerine çeşitli kayganlaştırıcılar (kimyasal ticari lubrikantlar) eklenerek, petrol/sentetik bazlı sondaj sıvısı sistemlerine en yakın kayganlaştırma performansını veren kompozisyonlar belirlenmiştir. Yaşanacak olası çamur kaçaklarını kapatmak ve basınç farkından dolayı oluşan dizi sıkışması problemini minimuma indirmek amacıyla çeşitli boyutlarda kaçak malzemeleri kullanılmış, formasyonun özellikleri göz önüne alınarak yeni ve geçerli formülasyonlar oluşturulmuştur.</p>
Anahtar Kelimeler:	Jeotermal, Sondaj Sıvısı, Yüksek Sıcaklık Yüksek Basınç, Kaçak, Kaçak Tıkama, Buru, Kayganlık
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu Mu?:	Hayır