



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

ÇEŞİTLİ TARIMSAL ATIKLARIN KAYIP ÖNLEYİCİ MALZEME OLARAK
KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EBRAHİM THABİT MOHAMMED ALADRAN

DANIŞMAN
PROF.DR. İNCİ TÜRK TOĞRUL

OCAK-2024
BATMAN
HER HAKKI SAKLIDIR

TEZ KABUL VE ONAYI

Prof. Dr. İnci TÜRK TOĞRUL danışmanlığında Ebrahim Thabit Mohammed ALADRAN tarafından hazırlanan “*ÇEŞİTLİ TARIMSAL ATIKLARIN KAYIP ÖNLEYİCİ MALZEME OLARAK KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI*” adlı tez çalışması 17/01/2024 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği/~~oy çokluğu~~ ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Anabilim/~~Anasanat~~ Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Muhammet Şaban TANYILDIZI

.....

Üye

Prof. Dr. İnci TÜRK TOĞRUL(Danışman)

.....

Üye

Doç. Dr. Şükrü MEREY

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Ömer Murat ÖTER
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış/akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez ve Seminer Yazım Kılavuzu 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/ethical conduct and Batman University Institute of Social Sciences' Thesis and Seminar Writing Guide. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all materials and results that are not original to this work.

Ebrahim Thabit Mohammed ALADRAN

Tarih:17.01.2024

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇEŞİTLİ TARIMSAL ATIKLARIN KAYIP ÖNLEYİCİ MALZEME OLARAK KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

Ebrahim Thabit Mohammed ALADRAN

BATMAN ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
PETROL VE DOĞALGAZ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman: Prof.Dr. İnci TÜRK TOĞRUL

2024, Sayfa: 88

Jüri

Prof. Dr. Muhammet Şaban TANYILDIZI

Prof.Dr. İnci TÜRK TOĞRUL

Doç. Dr. Şükrü MEREY

Sirkülasyon kaybı, sondaj operasyonları sırasındaki en büyük sorunlardan biridir ve bir sondaj operasyonu sırasında sondaj çamurunun, kuyu cidarından formasyona geçmesi durumunu ifade eder. Sirkülasyon kaybı, kuyu cidarının çökmesi, ekipman hasarı ve sondaj süresinin uzaması, bileşiminin bozulması ve sirkülasyon çamuru ile birlikte taşınan kesintilerin çökerek birikmesi gibi bir dizi zorluğa neden olabilir. Oluşan tüm bu sorunlar sondaj operasyon maliyetlerini de olumsuz etkilemektedir. Bu nedenlerden dolayı, sondaj operasyonunun, öncesinde dikkatlice planlanması ve sirkülasyon kaybı için gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

Sirkülasyon kaybını önlemek veya azaltmak için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Kuyu cidarı güçlendirme teknikleri, çamur keki özelliklerini iyileştirmek veya sondaj sıvısına kayıp önleyici malzemeler ekleyerek çamur ağırlığını arttırmak iyi bilinen ve çokça karşılaşılan uygulamalardır. Atıkların petrol sektöründe kayıp önleyici malzeme olarak kullanılması ise son yıllarda üzerinde çokça durulmaya başlanan bir konu olmuştur.

Bu çalışmada hem maliyet hem de kuyu stabilitesi açısından sorun yaratmayan KCl çamuru kullanıldı. Çeşitli tarımsal atıkların, hazırlanan KCl çamurunda kayıp önleyici malzeme olarak kullanılabilirliği araştırıldı. Tarımsal atık olarak ay çekirdeği, ceviz, Siirt fıstığı, yer fıstığı, fındık gibi çeşitli kuruyemişlerin kabukları, buğday samanı, limon kabuğu ve kereviz sapı tozu kullanıldı. Çamurun fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla deneyler yapılmış, eklenen malzemelerin reolojik özelliklere ve filtrasyon özelliklerine etkileri incelenmiştir. Farklı maddelerin, tanecik çapının, madde miktarının ve çamur tipinin etkileri çalışıldı. Ayrıca çamura farklı miktarlarda XCD, nişasta ve pektin eklemenin çamur özelliklerinde ne tür bir değişim yaptığı da incelendi.

Genel olarak eklenen tüm malzemeler çamurun reolojik ve filtrasyon özelliklerinde iyileşmeye sebep olmuştur. İncelenen maddelerin çamura eklenen miktarının artması hem viskoziteleri, kopma noktasını ve jel mukavemetini artırmış hem de sıvı kaybını ve filtre keki kalınlığını artırmıştır. İncelenen tüm deney koşullarında jel mukavemet değerlerinde bir miktar değişiklik gözlenmesine rağmen çamurun genel özelliklerinde herhangi bir değişiklik olmamıştır. Siyah ayçiçeği kabuğu, limon kabuğu tozu ve kereviz sapı tozu, çamurun reolojik özelliklerini bu çalışmada kullanılan diğer katkı maddelerine göre daha fazla geliştirmiştir. Başta limon kabuğu tozu olmak üzere buğday samanı ve ceviz kabuğu hem düşük sıvı kaybı hem de ince filtre keki oluşturarak çamurun filtrasyon özelliklerini geliştirici etki yapmıştır. Çamura eklenen XCD, nişasta ve pektin miktarlarının atması hem reolojik özelliklerin hem de filtrasyon özelliklerinin artmasına neden olmuştur. Bu maddeler içinde çamura XCD ilavesinin etkisi çok büyüktür.

Anahtar Kelimeler: Filtrasyon, Kayıp Önleyici Malzemeler, Kuruyemiş Kabukları, LCM, Reolojik Özellikler, Sondaj Çamuru,

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF THE USE OF VARIOUS AGRICULTURAL WASTE AS LOST CIRCULATION MATERIALS

Ebrahim Thabit Mohammed ALADRAN

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
BATMAN UNIVERSITY THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN
PETROLUEM AND NATURAL GAS ENGINEERING**

Advisor: Prof.Dr. İnci TÜRK TOĞRUL

2024, Pages: 88

Jury

Prof. Dr. Muhammet şaban TANYILDIZI

Prof.Dr. İnci TÜRK TOĞRUL

Doç. Dr. şkr MEREY

Loss of circulation is one of the biggest problems during drilling operations and refers to the situation in which drilling mud passes from the well wall to the formation during a drilling operation. Loss of circulation can cause a number of difficulties, including borehole collapse, equipment damage and prolonged drilling time, decomposition and collapse of cuttings carried along with the circulating mud. All these problems also negatively affect drilling operation costs. For these reasons, the drilling operation must be planned carefully beforehand and necessary precautions must be taken to prevent circulation loss.

Various methods are used to prevent or reduce circulation loss. Wellbore strengthening techniques, improving mud cake properties or increasing mud weight by adding anti-loss materials to the drilling fluid are well-known and common practices. The use of waste as loss prevention material in the petroleum industry has been a subject that has become much emphasized in recent years.

In this study, KCl mud, which does not cause any problems in terms of both cost and well stability, was used. The usability of various agricultural wastes as anti-loss material in the prepared KCl sludge was investigated. As agricultural waste, nutshells such as sunflower seeds, walnuts, Siirt pistachios, peanuts, hazelnuts, wheat straw, lemon peel and celery stalk powder were used. Experiments were carried out to determine the physical properties of the sludge, and the effects of the added materials on the rheological properties and filtration properties were examined. The effects of different substances, particle diameter, and substance amount and sludge type were studied. In addition, it was also examined what kind of changes adding different amounts of XCD, starch and pectin to the sludge caused in the sludge properties.

In general, all added materials caused improvements in the rheological and filtration properties of the sludge. Increasing the amount of the examined substances added to the sludge not only increased the viscosity, breaking point and gel strength, but also increased water loss and filter cake thickness. Although some change was observed in gel strength values for all experimental conditions studied, there was no change in the general properties of the sludge. Black sunflower shell, lemon peel powder and celery stalk powder the more improved the rheological properties of the sludge than the others additive used in this study. Wheat straw and walnut shells, especially lemon peel powder, had an effect on improving the filtration properties of the sludge by creating both low water loss and a fine filter cake. Increasing the amounts of XCD, starch and pectin added to the sludge caused an increase in both rheological properties and filtration properties. Among these substances, the effect of adding XCD to sludge is very large.

Keywords: Filtration, Lost circulation materials, LCM, Mud, Nut shells, Rheological properties

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın hayata geçirilmesi sürecinde bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım, her aşamasında desteğini hissettiğim çok değerli danışman hocam Sayın **Prof. Dr. İnci TÜRK TOĞRUL**'a teşekkürlerimi sunarım. Yine tecrübe ve bilimsel altyapısı ile desteklerini esirgemeyen Sayın **Prof. Dr. Hasan TOĞRUL** hocama teşekkürü borç bilirim. Tez çalışmamda gerek kimyasal desteği ve gerekse kalibrasyon işlemlerindeki desteklerinden dolayı Türkiye Petrolleri Batman Bölge Müdürlüğü ve çalışanlarına ayrıca teşekkür ederim. Tezimin deneysel çalışmaları sırasında yardım ve desteklerini esirgemeyen Türkiye Petrolleri Uluslararası Anonim Şirketi (TPIC)'nde Baş Mühendis olarak çalışan **Enes BİRLİK'e** ve Türkiye Petrolleri Batman Bölge Müdürlüğünde üretim mühendisi olan **Mehmet Zeki ERİNCİK'e**, teşekkürlerimi sunarım. Bu tez çalışmamın hazırlanma aşamasında eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, bana her koşulda güvenen, yanımda olan, bugünlere gelmemi sağlayan aileme ve tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Ebrahim Thabit Mohammed ALADRAN

Batman -2024

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. SONDAJ ÇAMURU.....	3
2.1. Sondaj Çamuru Türleri	4
2.1.1. Su Bazlı Çamurlar	4
2.1.2. Yağ Bazlı Çamurlar	6
2.1.3. Hava Bazlı Çamurlar	7
2.2. Sirkülasyon Kaybı (LC).....	7
2.3. Sirkülasyon Kaybını Azaltmada Önleyici ve İyileştirici Yöntemler.....	8
2.3.1. Önleyici yöntemler.....	9
2.3.2. İyileştirici yöntemler.....	10
2.3.3. Kayıp Önleyici Maddeler (LCM).....	13
2.3.4. Kayıp Önleyici Malzemelerin Sınıflandırılması	14
2.3.4.1. Granül Malzemeler.....	16
2.3.4.2. Pul Pul Malzemeler.....	17
2.3.4.3. Lifli Malzemeler.....	17
2.3.4.4. Lifli, pul pul ve/veya granül karışımı.....	18
2.3.4.5. Asitte Çözünür / Suda Çözünür.....	18
2.3.4.6. Yüksek sıvı kayıplı önleyici malzeme sıkıştırıcıları.....	19
2.3.4.7. Şişebilir/Hidratlanabilir Malzeme Kombinasyonları.....	19
2.3.4.8. Nanopartiküller.....	19
3. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	21
3.1. Tarımsal atıkların petrol ve gaz endüstrisinde kullanımının tarihçesi	21
3.2. Selülozik tarımsal atıkların sondaj çamurlarında sıvı kaybı kontrol maddesi olarak kullanımına yönelik çalışmalar.....	25
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	31
4.1. Kayıp Önleyici Malzeme Hazırlama Plânı.....	32
4.2. Kayıp Önleyici Olarak Kullanılan malzemeler.....	34

4.3. KCl Çamuru.....	36
5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	40
5.1. Madde Miktarının Etkisi.....	40
5.2. Farklı Çamur Etkisi.....	46
5.3. Tanecik Büyüklüğünün Etkisi.....	47
5.4. Farklı Malzeme etkisi.....	52
5.5. XCD ve Nişasta etkisi.....	56
5.6. XCD miktarının etkisi.....	62
5.7. Nişasta miktarının etkisi.....	64
5.8. Pektin miktarının etkisi.....	65
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	68
KAYNAKLAR.....	72

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

API: Amerikan Petrol Enstitüsü,
Bbl: Varil,
CMC: Karboksimetil Selüloz,
CWD: Sondaj Sırasında Muhafaza
CTD: Sarmal Boru Delme
ECD: Eşdeğer sirkülasyon yoğunluğu
Gal: Galon
HHP: Hidrolik güç
HP: Yüksek basınç
HT: Yüksek sıcaklık
İn : İnç
KCl: Potasyum Klorür
lb: Libre
LC: Sirkülasyon kaybı
LCM: Sirkülasyon kaybı önleyici madde
MM: Milli mikron, mili micron
MPD: Yönetilen Basıncılı Sondaj
MW : Çamur ağırlığı, lb/ft³
Pac Lv : Düşük Viskoziteli Polianyonik Selüloz
Psi : Basınç birimi, lbf/inç²
PPb : lb/varil
RPM : Viskometre dönme hızı, devir/dk
TP: Türkiye Petrolleri
TPIC: Türk Petrol Uluslararası Şirketi
UBD: Dengesiz Sondaj
US : Amerika Birleşik Devletleri
XCD: Ksantam Sakızı

1. GİRİŞ

Sondaj akışkanları, petrol ve gaz kuyularındaki sondaj operasyonlarının önemli bir parçasıdır. Bileşimleri değişebilir ancak işlevleri büyük ölçüde aynıdır. Sondaj akışkanlarının sondaj operasyonlarında, formasyon basıncını kontrol etmek, kesintileri askıda tutmak, kuyu deliği stabilitesini korumak, geçirgen oluşumları kapatmak, formasyon hasarını azaltmak, soğutma, yağlama ve korozyonun önlenmesi gibi birçok işlevi vardır. Sondaj sıvıları genellikle su bazlı çamur, petrol bazlı çamur ve invert (hava bazlı) emülsiyon sıvıları olarak üç kategoriye ayrılabilir. Su bazlı çamurlar petrol bazlı çamurlara göre daha ucuzdur, kullanımı çok yaygındır ve kullanım sırasında daha az problemle karşılaşılır. Petrol bazlı çamurla ilişkili pek çok çevresel sorun vardır ve bu durum da uygulanabilirliğini sınırlamaktadır.

Sondajda karşılaşılan en yaygın sorunlardan biri sirkülasyon kaybıdır (çamur kaçağıdır). Formasyonda çamurun kaybolmasına ve sondajda geçirilen zamanın boşa harcanmasına neden olur. Kuyu deliğinin çökmesi, formasyon hasarı, diferansiyel/mechanik yapışma, sirkülasyon kaybı ile ilişkili sorunlar arasındadır (Rabia, 2002; Hassani ve diğerleri, 2016; AlAwad, 2022). Mekanizma ve yöntem bakımından değerlendirildiğinde, sızıntı tıkama yöntemleri genellikle fiziksel ve kimyasal olarak iki kategoriye ayrılabilir. Sızıntılarda tıkamanın ana yöntemi olarak fiziksel sızıntı tıkama yöntemleri kullanılmaktadır. Ancak yer altı formasyonu karmaşıktıkça, mevcut fiziksel kayıp önleyici malzemeler sahanın ihtiyaçlarını karşılayamadığında tıkama yöntemine daha fazla gereksinim duyulmaktadır (Pu ve diğerleri, 2022).

Sirkülasyon kaybını azaltmak için çok sayıda yöntem, teknik ve malzeme bulunmaktadır. Sirkülasyon kaybı oluşmadan önce önleyici tedbirler, oluşuktan sonra iyileştirici teknikler uygulanır. İyileştirici teknikte kullanılan yöntemlerden biri de, formasyondaki çatlakları kapatmak için sondaj çamuruna eklenen kayıp önleyici malzemelerin (LCM) kullanılmasıdır.

Petrol ve gaz endüstrisinde sirkülasyon kaybını azaltmak için kuyudaki yaşam döngüsüne bağlı olarak köprüleme, jelleştirme ve çimentolama maddeleri olarak üç yöntem kullanılır. Görünümlerine bağlı olarak lifli, pul pul, granüller veya bu üçünün bir karışımı malzemeler köprüleme maddeleridir (Canson, 1985). Köprüleme materyalleri, gözenekli ve geçirgen olan kumtaşı oluşumlarında kuyu deliği duvarı üzerinde mat benzeri köprü oluşturarak sirkülasyon kaybını azaltmaktadır. Ancak kırıklı ve

geçirgenliği yüksek formasyonlarda kırıkları tıkayabilen, kapatabilen ve çatlakların büyümesini önleyecek malzemelerin kullanılması gerekir.

Çevre açısından zararsız, ekonomik ve doğal olarak parçalanabilen malzemeler, sirkülasyon kaybını azaltmak için kullanılır. Son dönemde, selülozik tarımsal atık maddelerin kullanımına yönelik çalışmalar, düşük maliyetleri, biyolojik olarak yenilenebilir olmaları ve kolay bulunabilirlikleri nedeniyle önemli bir boyut kazanmıştır (Belgacem ve Gandini, 2008). Bu alandaki çalışmalardan elde edilen sonuçlar, tarımsal atık malzemelerin sondaj çamurlarında filtrasyon hızını kontrol amaçlı kullanılmasının mümkün ve etkili olabileceğini göstermektedir. Ceviz kabuğu, testere tozu, pamuk tohumu kabukları, nişastalar (mısır, manyok, darı, tapyoka, patates), talaş, pamuk çekirdeği kabukları, pirinç kabuğu, muz kabukları, yerfıstığı kabuğu, mısır koçanları, fındık kabuğu, bir çamur sistemine eklenmiş ve kayıp önleyici malzeme olarak kullanılmıştır (Agwu ve Akpabio, 2018; Alsaba ve diğerleri, 2014; İsmail ve İdris, 1997; İşcan ve Kök, 2007; Adebayo ve diğerleri, 2012; Egun ve Abah, 2013; Okon ve diğerleri, 2014; Dagde ve Nmegbu, 2014; Nyeche ve diğerleri, 2015; Seteyeobot ve diğerleri, 2017).

Bu çalışma, sondaj sırasında görülen sirkülasyon kaybını iyileştirici ve önleyici yöntemler olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Sondaj çamuruna eklenen çeşitli tarımsal atıklarının sirkülasyon kaybını iyileştirici malzeme olarak kullanılabilme performansları incelendi. Ayrıca yarıkları ve çatlakları bulunan bir kuyu modeli oluşturularak özel hazırlanan kayıp önleyici malzeme çamurunun çatlakları tıkaması deneysel olarak gözlemlendi.

Sondaj çamuru olarak su bazlı bir çamur olan ve çok yaygın kullanımı bulunan KCl çamuru kullanıldı. Her ne kadar KCL çamuru içerisinde kaçak önleyici malzemeler bulunduran ve çatlaklı fromasyonlarda da yaygın kullanımı olan bir çamur olsa da eklenen tarımsal atıklar ile performansında iyileşmeye sağlayıp sağlamadığı görülmek istendi. Tarımsal atık olarak maliyetleri düşük ve kolay bulunabilir malzemeler seçildi. Bu amaçla ay çekirdeği, ceviz, Siirt fıstığı, yer fıstığı, fındık gibi çeşitli kuruyemişlerin kabukları, buğday samanı, limon kabuğu ve kereviz sapı tozu kullanıldı. KCl çamuruna eklenen atık malzemelerin çamurun fiziksel özelliklerini (Çamur ağırlığı, Viskozite, Jel Mukavemeti, kek kalınlığı, sıvı kaybı ve PH) nasıl etkilediği incelendi. Çamurun reolojik ve filtrasyon özelliklerine, eklenen madde miktarının, tanecik büyüklüğünün, farklı malzemenin, nişasta kullanımının ve miktarının, XCD kullanımı ve miktarının ayrıca pektin miktarının tek başına ve kombine etkileri çalışıldı.

2. SONDAJ ÇAMURU

Sondaj genellikle yüksek basınçlı su veya materyali taşıyan bir karışımın (çamurun) kullanıldığı özel ekipmanlar aracılığıyla yer altına delik açma işlemidir. Bu delikler, yeraltındaki kaynaklara ulaşmak, petrol üretim ve enjeksiyon kuyuları oluşturmak, maden çıkarmak, su temin etmek veya inşaat projeleri için kullanılabilir.

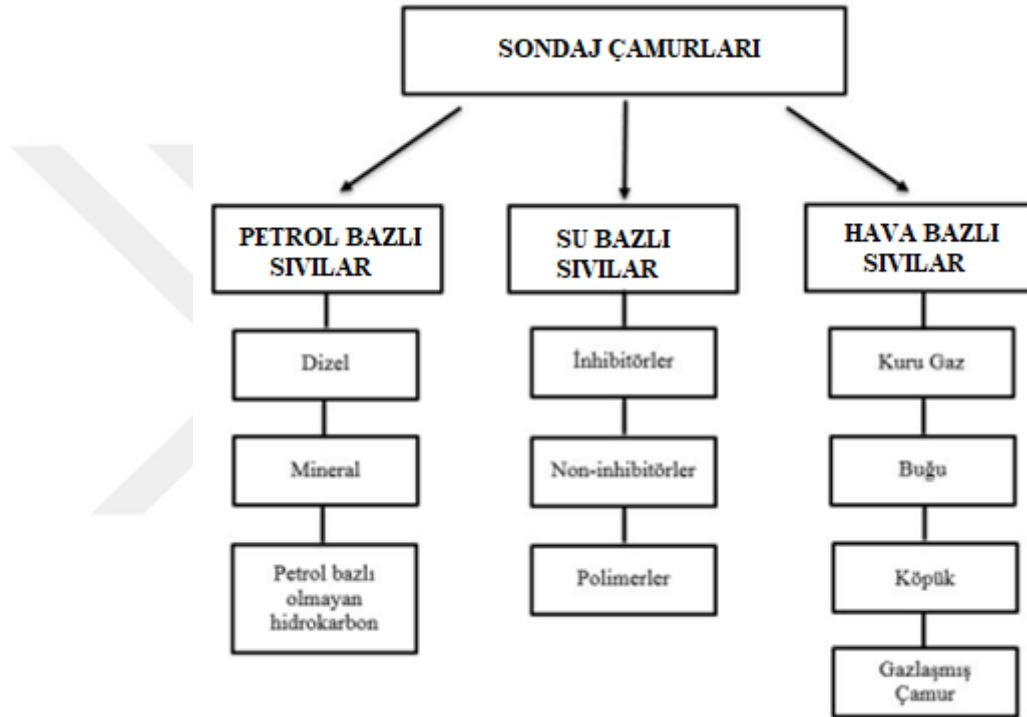
Sondaj çamuru, sondaj operasyonları sırasında kullanılan özel bir sıvı karışımıdır, bileşimleri değişebilir ancak işlevleri büyük ölçüde aynı kalır. Formasyon basıncının dengelenmesi, kuyu dibinden çıkan kırıntıların yüzeye taşınması, yüzey hidrolik gücünün matkaba taşınması, matkap uçlarının ve sondaj dizisinin soğutulması, çamur sirkülasyonu durduğunda kesintilerin askıda tutulması ve formasyon sıvılarının kuyuya zamanından önce ulaşmasını önleme gibi görevleri vardır.

Sondaj çamurları aynı zamanda formasyondaki süzüntü kaybını azaltmak, formasyona minimum sıvı kaybı sağlamak için kuyu cidarını kaplayan ince filtre kekleri oluşturmak ve açılan kuyunun stabilitesini desteklemek üzere tasarlanmıştır. Sondaj işleminde geçirimli bir formasyona gelindiğinde, çamurun sıvı bileşenler formasyona doğru akarken, katı bileşenleri kuyu duvarlarında ince bir kek tabakası oluşturur. Bu ilk filtrelemeye hızlı kayıp adı verilir (Kumar ve diğerleri, 2010). Çamur keki oluştuktan sonra filtrat kaybına sürekli sıvı kaybı denir ve sondaj operasyonları için zararlıdır (Azar ve Samuel, 2007). Dengeli sondaj işlemi sırasında, filtre keki oluşumu sürecinde statik ve dinamik olarak iki mekanizmadan bahsedilir (Bageri ve diğerleri, 2013). Dinamik filtrasyonun çamur dolaşımı devam ederken, statik filtrasyonun ise çamur dolaşımı durduğunda gerçekleştiği düşünülmektedir (Annis ve Smith, 1996). Her iki filtrasyon türü arasında net bir ayrım vardır. Dinamik filtrasyonda çamur akışı sırasında kek kalınlığını azaltırken, statik filtrasyon sırasında çamur keki kalınlığı artar. Statik filtrasyonun keki kalınlaştırmaya devam ettiği, dinamik filtrasyonun ise kekin büyümesini geciktirici etki yaptığı düşünülmektedir (Dewan ve Chenevert, 2001).

Çamurun düşük geçirgenlik değerlerine sahip ince bir çamur keki oluşturma yeteneğinin, açılan kuyu deliğinin kullanılabilirliği ve işlevselliği ile doğrudan ilişkilidir. Diğer taraftan, kuyuda dönüş durdurulduğunda ve kuyu deliğinde uzun süre dönmeden bırakıldığında, kuyuda kalın bir filtre keki oluştuğunda, diferansiyel basınç yapışması, dolaşım kaybı, kütük sorunları, yüksek tork ve yüksek sürtünme sorunları, kuyu içi muhafazaların kurulumundaki sorunlar ve hatalı çimentolama işleri gibi birçok sorunla karşı karşıya kalınabilir (Annis ve Smith, 1996).

Petrol sondaj işleminin toplam masrafının yaklaşık %15 ile %18'i sondaj sıvılarına ait olduğundan bu sıvıların kullanımlarının kolay olması, pahalı olmaması ve çevre dostu olmaları istenir. (ASME, 2011)

Sondaj çamuru dağılmış ve sürekli faz olmak üzere iki bölümden oluşur. Çamur tipleri genellikle sürekli fazı oluşturan akışkan tipine ve kimyasal özelliklerine göre su bazlı, petrol bazlı ve hava bazlı olmak üzere üçe ayrılır. Sınıflandırma Şekil 2.1.'de görülmektedir.



Şekil 2.1. Sondaj akışkanlarının sınıflandırılması (ASME, 2011).

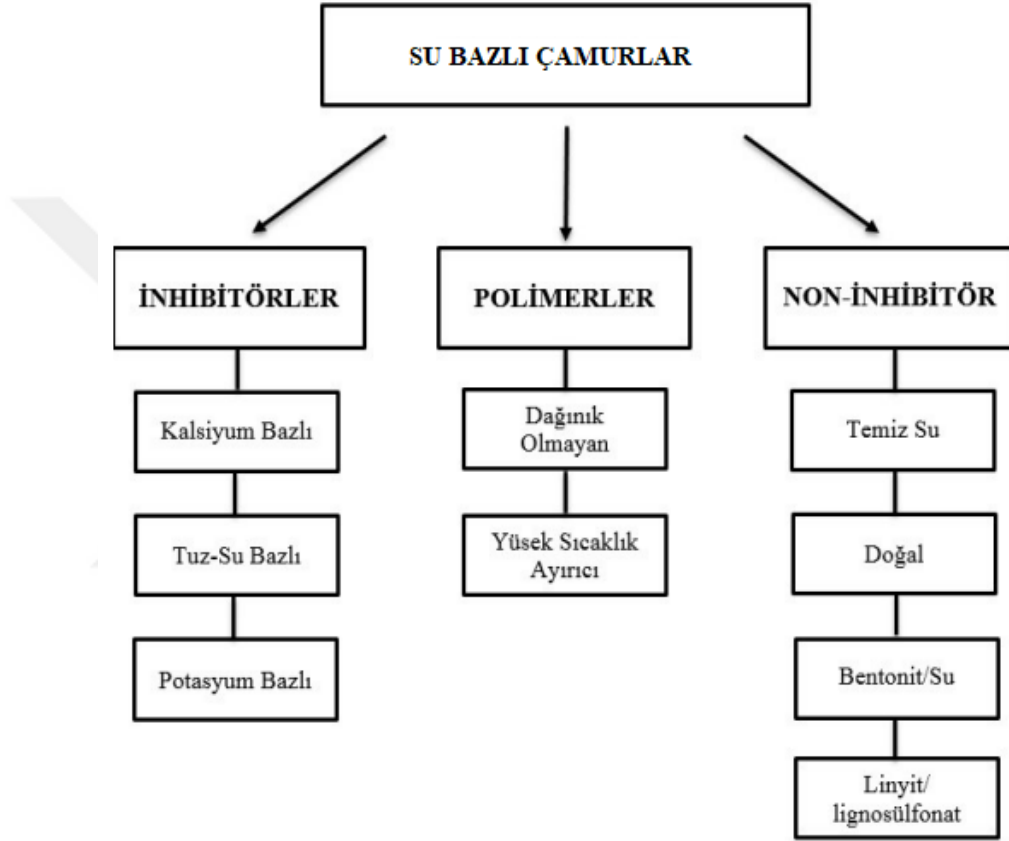
2.1. Sondaj Çamuru Türleri

2.1.1. Su bazlı çamurlar

Çamur sistemleri içinde en yaygın kullanılan çamur tipi su bazlı olanlardır. Genellikle petrol çamurlarından daha ekonomik, bakımları ve koruma için kullanımları daha kolaydır. Bileşimi ve içeriği birçok sondaj sorununu çözmek için ayarlanabilir. Su bazlı sıvıların geniş bir yelpazesi vardır. Şekil 2.2 de görüldüğü gibi inhibitörler, non-inhibitörler ve polimerler olmak üzere üç ana sınıfa ayrılırlar:

Non-inhibitör çamurların sürekli fazı genellikle sudur ve kimyasal olarak aktif olmayan ve kuyu stabilitesi sorunu yaratmayan formasyonların delinmesinde yaygın olarak kullanılırlar.

İnhibitör çamurlar ise, çamurla kimyasal ve fiziko kimyasal tepkimelere girebilen ve kuyu stabilitesi sorunu oluşturabilecek formasyonların delinmesi için tasarlanmış sistemlerdir (TP, 2007).



Şekil 2.2. Su bazlı çamurların sınıflandırılması (ASME, 2011)

Çeşitli su bazlı çamur sistemleri için özellikleri ve kullanım alanları Tablo 2.1’ de özetlenmiştir.

Tablo 2.1. Su bazlı çamur sistemi (ASME, 2011)

Çamur sistemi	Temel Bileşenleri	Genel Özellikleri	Kullanımı
Tatlı su	Tatlı su	Düşük maliyet	Kararlı formasyonlarda hızlı sondaj, kesinti taşınmasını sağlamak için topaklanma kimyasalları kullanılabilir.
Deniz suyu	Deniz suyu	Düşük maliyet	Deniz sondajlarında kullanılır.
Spud Çamuru	Bentonit, su	Düşük maliyet	Geniş çaplı formasyon problemsiz yüzey sondajlarında kullanılır.
Tuzlu su	Deniz suyu, brine veya doymuş tuzlu su, kil, nişasta ve polimerler	Orta maliyet	Tuz sondajları veya kuyu tamamlama sıvılarında kullanılır.
Kireç veya Jips Çamuru	Tatlı veya tuzlumsu su, bentonit, kireç veya jips, lignosülfonat	Orta maliyet	Şeyl sondajlarında ve düşük sıcaklıklarda kullanılır. Bakımı kolaydır. Tuz, anhidrit ve çimentoya karşı tolerans sağlar.
Ligno sülfonat Çamuru	Tatlı veya tuzlumsu su, bentonit, kostik, kromsuz lignosülfonat	Orta maliyet	Şeyl sondajlarında ve düşük sıcaklıklarda kullanılır. Bakımı kolaydır. Tuz, anhidrit ve çimentoya karşı dayanıklılık gösterir.
Potasyum Klorür (KCl) Çamuru	KCl, akrilik, bio veya selülozik polimer, Bentonit	Orta maliyet	Yüksek PH, kuyu stabilitesi sağlamak için kullanılır, kesintilere karşı toleransı düşüktür.

2.1.2. Petrol bazlı çamurlar

Petrol bazlı çamur bir petrol içinde su emülsiyonudur. Bu emülsiyonun sürekli fazı mineral yağı, mazot veya ham petrolden, dağılmış fazı ise sudan oluşur. Suyun aktivitesi ise kalsiyum klorür veya sodyum klorür ile ayarlanır.

Petrol bazlı çamurlar, artan kayganlık, gelişmiş şeyl inhibisyonu (yatay şeyl oluşumlarının çok aşamalı kırılması için sondaj yapılırken kritik öneme sahiptir) ve daha az viskoziteyle daha yüksek temizleme yetenekleri nedeniyle kullanılırlar. Petrol bazlı çamurlar daha fazla ısıya dayanır, tekrar kullanılabilirler, sondaj çamurları içinde koruyucu özelliği en yüksek olan çamur tipidir ancak maliyetleri su bazlı çamuruna oranla çok yüksektir ve çevreyi kirletme potansiyelleri vardır.

Yağ bazlı sıvılar, delme problemlerini azaltarak delik kararlılığını artırır. Yüksek dirençli deliklerde kayganlık artırıcı ve kil hidrasyonunu engelleyici özellikleri vardır. Petrol bazlı sıvıları aynı zamanda, anhidrit, tuz ve CO₂ ve H₂S asit gazları gibi yabancı maddelere karşı dirençlidirler (ASME, 2011).

Çeşitli petrol bazlı çamur sistemlerinin özellikleri ve kullanım alanları Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2. Petrol bazlı çamur sistemi (ASME, 2011)

Çamur sistemi	Temel Bileşenleri	Genel Özellikleri	Kullanımı
Petrol	Oksitlenmiş ham petrol, sabun, 2-5% su	Orta maliyet	Düşük basınçlı sıg sondajlarda ve kuyu tamamlamalarında kullanılır. Çevreye verilebilecek zarardan dolayı kullanımı kısıtlıdır. Ağırlığı ve taşıma kapasitesini arttırmak amacıyla su kullanılır.
Asfaltik	Dizel, asfalt, emilgator, 2-5% su	Orta maliyet	600 F a kadar ki sıcaklıklarda kullanılabilir, çevreye zarar verir.
Invert Emülsiyon	Dizel, asfalt, kil, reçine, sabun, 5-40% su	Yüksek maliyet	450 F a kadar ki sıcaklıklarda kullanılabilir, çevreye zarar verir, bakımı kolaydır
Sentetik	Sentetik hidrokarbon veya esterler, kil, reçine, sabun, 5-40 % su	Çok yüksek maliyet	450 F a kadar ki sıcaklıklarda kullanılabilir. Çevreye zararı yoktur.

2.1.3. Hava Bazlı Çamurlar

Hava bazlı çamurlar, gaz veya hava ile birlikte, su içeren köpük veya hava ile karıştırılmış sıvılardan türetilir. Bu çamurlarda; dış faz tatlı su, tuzlu su ve organik sıvılardan oluşurken, iç faz katı madde, tuzlu su ve hava veya gazdan oluşmaktadır.

Hava bazlı çamurlarda katı madde içeriğinin artması çamurun stabilitesinin azalmasına ve çamur özelliklerinin kontrol edilmesinin zorlaşmasına neden olmaktadır. Bu tip çamurlar, tükenmiş bölgelerde veya aşırı düşük oluşum basınçlarının gözlemlendiği yerlerde hızlı ve kaçak sorunu olmadan delme işleminin yapılmasını ve yüksek delme hızlarının elde edilmesini sağlarlar. Kullanımı formasyon basıncına bağlı olmakla birlikte genellikle başarı ile uygulanabilirler. Hava bazlı çamurlar, büyük sıvı hacmi isteyen alanlara ve derin kuyulara uygun değildir. (ASME, 2011; TP, 2007)

2.2. Sirkülasyon Kaybı (LC)

Sondaj operasyonları sırasındaki en zorlu sorunlardan biri sirkülasyon kaybıdır. Bu durum, üretken olmayan sürenin ve sondaj maliyetinin artmasına yol açabilecek çeşitli sorunlar oluşturabilir. Kuyu deliği güçlendirme teknikleri, çamur keki özelliklerini iyileştirmek veya sondaj sıvısına kayıp önleyici malzemeleri (LCM'ler) ekleyerek çamur ağırlık penceresini arttırmak sirkülasyon kaybını önlemek için uygulanan yöntemler arasındadır. Saha çalışması sırasında iyileştirici veya önleyici çözümlerin başarılı olup olmaması, büyük ölçüde kuyu deliği güçlendirme stratejisinin seçimine bağlıdır. Genellikle deneme yanılma ile ve operasyonel uygulamalar ile yapılan

alışmalar, kayıp önleyici malzemelerin temel mekanizmaları ve performansı hakkında net bir bilgi vermemektedir (Mirabbasi vd, 2022).

Sondaj çamurundaki sıvı fazın formasyona hareketi ve yüzeyde kek oluşumu sirkülasyon kaybı olarak değeriendirilmezken, gözenekli ve kavernöz oluşumlara doğru kontrolsüz bir şekilde sıvı akışı sirkülasyon kaybı olarak adlandırılmaktadır (Devereux, 1999) ve birçok sondaj probleminin doğrudan sirkülasyon kaybıyla ilişkili olduğu ortaya çıkmıştır (Byrom, 2014).

Sirkülasyon kaybıyla ilişkili karşılaşılan sorunlar arasında kuyu deliğinin çökmesi (Rabia, 2002; Hassani ve diğeri, 2016; AlAwad, 2022), ciddi formasyon hasarı, diferansiyel ve/veya mekanik yapışma (Growcock ve diğeri, 2009; Magzoub ve diğeri, 2020a) ve kontrolsüz geri tepme (Cook ve diğeri, 2011) sayılabilir.

Sondaj operasyonlarında sirkülasyon kaybı çok karşılaşılan bir sorundur ve Amerikan Petrol Enstitüsünün (API) raporlarına göre bazı bölgelerde kuyuların % 40-80'inde bu sorunla karşılaşıldığı bildirilmektedir (Sweatman ve diğeri, 1997).

Kayıp bölgelerine bağılı olarak, doğal kırıklara bağılı sirkülasyon kaybı ve indüklenmiş kırıklara bağılı sirkülasyon kaybı olmak üzere iki tip sirkülasyon kaybı tanımlanabilir. Önceden mevcut kırıklar, sondaj sıvısının formasyona girmesi için yol görevi gören doğal kırıklardır. Bu tip kırıklara geçirgen ve gözenekli formasyonlarda, doğal kırıklı formasyonlarda veya kavernöz formasyonlarda rastlanmaktadır. İndüklenmiş kırıklar ise yüksek çamur ağırlığından kaynaklanan hidrolik basıncın neden olduğu kırıklardır. Uyarılmış sıvı kaybı ise çoğunlukla, güvenli çamur penceresinin normalden daha fazla daraldığı tükenmiş bölgelerde, derin su oluşumlarında ve sapmış kuyularda meydana gelir (Wang ve diğeri, 2007 ; Contreras Puerto, 2014).

Doğal çatlakların kapatılması veya sondaj sıvısının ağırlığının azaltılması sirkülasyon kaybının azaltılması için etkin yöntemlerdendir (Devereux, 1999 ; Rabia, 2002 ; Mostafavi Toroqi, 2012 ; Ghalambor ve diğeri, 2014 ; Feng ve Gray, 2017a , Mitchell ve Miska, 2017).

2.3. Sirkülasyon Kaybını Azaltmada Önleyici ve İyileştirici Yöntemler

Kırık veya geçirgen formasyonlardaki sıvı kayıplarını en aza indirmek ve sondaj sırasında oluşan çatlakların meydana gelmesini önlemek amacıyla, sirkülasyon kaybı

üzerinde çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Whitfill ve diğerleri, 2007; Growcock ve diğerleri, 2009; Ghalambor ve diğerleri, 2014; Alhameedi ve diğerleri, 2018).

Kayıpların şiddetine ve kaybın giderileceği bölgelerin türüne göre, en iyi sondaj uygulaması, sondaj akışkanı seçimi, kuyu deliği güçlendirici malzeme seçimi ve kullanımı gibi önleyici ve kayıp önleyici malzeme uygulaması gibi iyileştirici tedbirler alınabilir (Cook ve diğerleri, 2011). Bazen birkaç yöntemin birlikte uygulanması, yalnızca birini uygulamadan daha etkili olabilmektedir (Ghalambor ve diğerleri, 2014).

Formasyon bütünlüğünü korumak ve kayıp kaçakları kontrol altına alabilmek için zorlu formasyonların sondajında uygulanan tekniklere ‘Kuyu Güçlendirmesi (WBS)’ adı verilir. Mekanizmaları açısından farklılık gösteren kuyu güçlendirme teknikleri aslında aynı amaca hizmet etmektedir (Cook ve diğerleri 2011; Benyeogor ve diğerleri, 2016; Shen ve Shen, 2016; Shen, 2016).

Sondaj sektöründe kuyu güçlendirmesi, “Önleyici” veya “Kırılma Esaslı Olmayan” kuyu güçlendirme ve “İyileştirici” veya “Kırılmaya Dayalı” kuyu deliğinin güçlendirilme olarak iki farklı yaklaşımla ele alınmaktadır (Shahri, 2015; Feng ve Gray, 2017b). Endüstriyel uygulamalara göre, önleyici yöntemler iyileştirici yöntemlere göre hem daha kolay hem de daha etkilidir (Cook ve diğerleri, 2011; Ghalambor ve diğerleri, 2014).

2.3.1. Önleyici yöntemler

Sirkülasyon kaybı olaylarının olasılığını azaltan teknikler ve operasyonel önlemler, önleyici yöntemler olarak tanımlanır. Sirkülasyon kaybını önleyici yöntemler Tablo 2.3’ de özetlenmiştir. Bunlar arasında, hidrostatik basıncı en aza indirmek için çamur ağırlığının azaltılması, eşdeğer sirkülasyon yoğunluğunu azaltmak için çamur viskozitesinin, jel kuvvetinin ve akma noktasının kontrol edilmesi, dalgalanma ve swab basıncının izlenmesi, kuyu planlama ve muhafaza yuvası seçimi optimizasyonu, yeni sondaj teknolojilerinin uygulanması ve son olarak uygun kayıp önleyicilerin kullanılması sayılabilir (Mostafavi Toroqi, 2012).

Tablo 2.3. Sirkülasyon Kaybını Önleyici Yöntemler (Mirabbasi vd, 2022)

Yöntem	Örnekler
Yeni sondaj teknolojilerinin uygulanması	• Yönetilen Basıncılı Sondaj (MPD) (Mccaskill ve diğerleri, 2006; Yan ve diğerleri, 2015). • Dengelenmemiş Sondaj (UBD) (Qutob, 2004). • Sondaj Sırasında Muhafaza (CWD) (Karimi ve diğerleri, 2011; Arlanoğlu, 2011). • Sarmal Boru Delme ve Geniştirilebilir Gömlekler (Growcock ve diğerleri, 2009; Ghaleb ve diğerleri, 2014 ; Razavi, 2016).
Modern sondaj sıvılarının kullanılması	• Aphron (Ivan ve diğerleri, 2001, Gaurina-Medimurec ve PAŠIĆ, 2009). • Silikat ve alüminat içerikli sondaj çamurları (Xiang, 2009). • Polimer çamurları (Horton ve diğerleri, 2006 ; Aston ve diğerleri, 2007 ; Hashmat ve diğerleri, 2016 ; Hamza ve diğerleri, 2019). • Nano akışkanlar (Mostafavi ve diğerleri, 2011; Mostafavi Toroqi, 2012).
Termal yöntemlerin uygulanması	• Kuyu deliği sıcaklığının artırılması, daha yüksek kırılma basıncına yol açabilecek kuyu deliği teğet geriliminin (çember gerilimi) yükseltilmesine yardımcı olabilir (Gonzalez ve diğerleri, 2004; Growcock ve diğerleri, 2009, Hoxha ve diğerleri, 2016 ; Wang ve diğerleri, 2017).
Kimyasal yöntemlerin uygulanması	• Bir kırıkta kimyasal bir sızdırmazlık oluşturmak veya bir formasyonun kimyasal bileşimini değiştirmek, bir şeyl oluşumundaki bir kuyu deliği etrafındaki gözenek basıncını ve teğetsel stresi değiştirebilecektir (Aston ve diğerleri, 2007 ; Growcock ve diğerleri, 2009). • Midye ayağı proteinleri ile benzer kayıp önleyici maddeler ile şeyl hidrasyonunu engellemek için, kaya yüzeyinde mikrobiyolojik bir ağ jeli oluşturmuşlardır. (Jiang ve diğerleri, 2021)
Uygun kayıp önleyici maddelerin kullanımı	• Parçacık boyutu dağılımı optimizasyonu (Growcock ve diğerleri, 2009; Cook ve diğerleri, 2011; Alsaba ve diğerleri, 2014; Mitchell ve Miska, 2017; Alkinani ve diğerleri, 2018). • Kayıp önleyici malzemeler uygulayarak, gözenek basıncı artışını önlemek, yeni çatlakların başlamasını önlemek ve kırılmanın başladığı basıncını arttırmak ve düşük geçirgenliğe sahip esnek bir filtre keki oluşturmak hedeflenmiştir. (Mostafavi ve diğerleri, 2010).

2.3.2. İyileştirici yöntemler

Sıvı kayıpları başladıktan sonra, kırıkların kapatılması ve ağız tıkanması için kayıp önleyici malzemeler kullanılarak iyileştirici kuyu güçlendirme yapılmaktadır.

Bu uygulama, formasyonun maksimum izin verilen direnç basıncını artırarak çatlak ve kırıkların ilerlemesini durdurmakta ve böylece kayıpları iyileştirmektedir. Önceki çalışmalara göre, bir kuyu deliğinin sıvı basıncına dayanma yeteneği, aşağıdaki yöntemlerden biri veya birkaçının kombinasyonu ile geliştirilmektedir (Mirabbasi vd, 2022):

- Açıklığa karşı kırılma mukavemetini arttırmak için kırık ağzı köprüleme ve kompresif çember geriliminin artırılması (Aston ve diğerleri, 2007, Alberty ve Mclean, 2004);

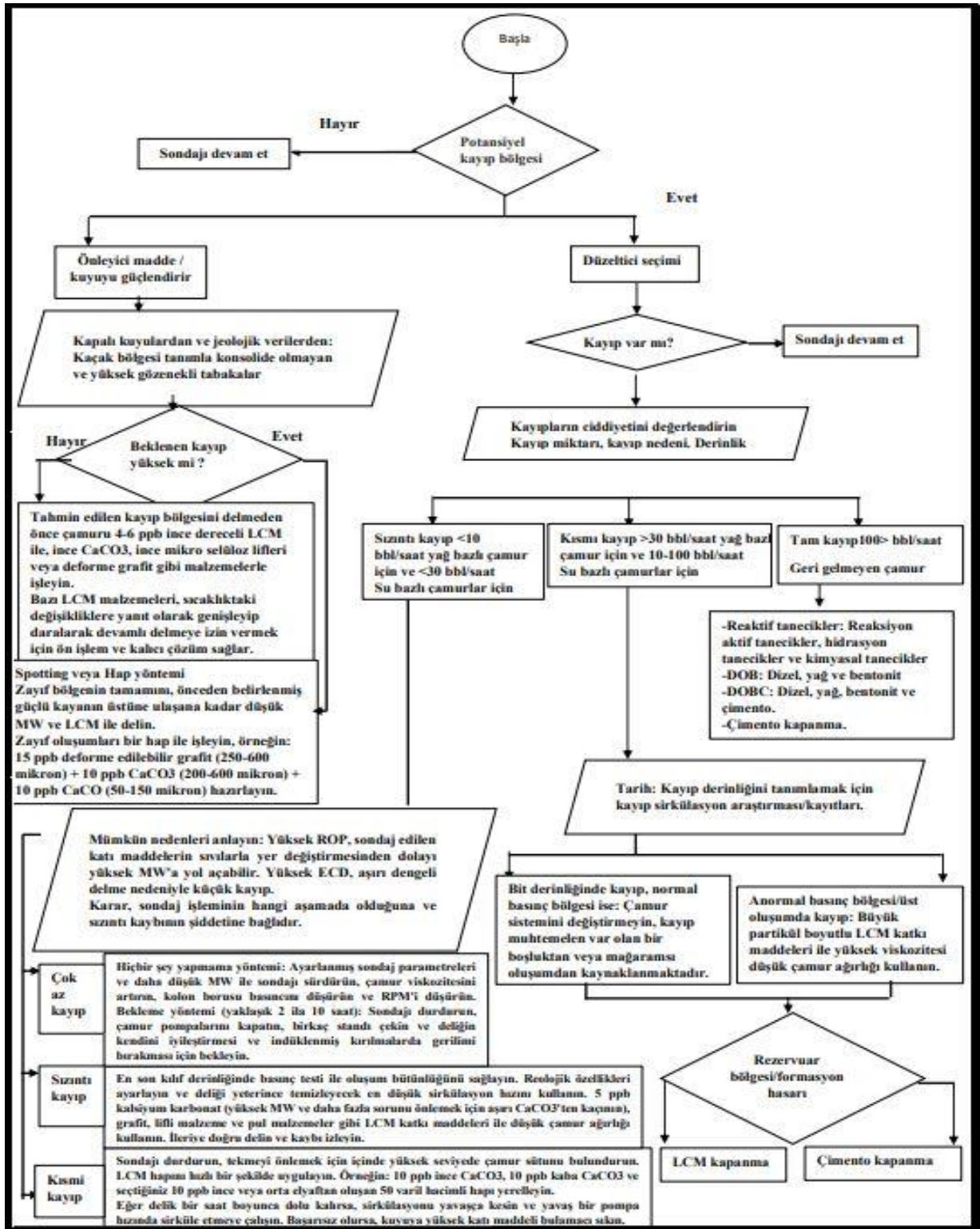
- Kırığı genişletmek ve sonuç olarak kırığı kapatmaya etki eden kapanma stresini arttırmak için kırık içinde hareketsiz bariyer oluşumu (Dupriest, 2005);

- Kırığı kuyu deliği sıvı basıncından izole etmek ve son olarak kırılmanın ilerlemesine karşı kırılma mukavemetini arttırmak için kırık içinde (özellikle kırık ucunun yakınında) çamur keki oluşumu (Morita ve diğerleri, 1996; Van Oort ve diğerleri, 2011; Razavi, 2016)

Literatürde çeşitli tipteki kayıp önleyici malzemelerin köprüleme veya tıkama malzemeleri olarak kullanımına yönelik araştırmalar bulunmaktadır (Alsaba ve diğerleri, 2014).

Sirkülasyon kaybının giderilmesinde etkili olacak temel bir çözüm bulabilmek için, sıvı kaybı oranı, formasyon litolojisi, kaçağın olduğu bölgenin yeri, güvenli çamur ağırlığı ve operasyonel uygulamalar gibi konularda net bir bilgiye sahip olmak gerekmektedir. Şekil 2.3, önleyici ve düzeltici eylemler için sirkülasyon kaybı problemini iyileştirmenin genel sırasını göstermektedir (Magzoub ve diğerleri, 2020b). Görüldüğü gibi kayıp bölgeyi kapatmak için çimento tıkaçı koymak bu sekanslarda en son operasyonel seçenektir (Devereux, 1999).

Kuyu güçlendirmesi ile ilgili deneysel araştırmalar, sayısal simülasyonlar, analitik modellemeler ve önerilen çözümler ile ilgili yapılan çok sayıda çalışmaya rağmen, elde edilen sonuçların saha uygulamaları ile doğrulanması yetersizdir ve önerilen çözümlerin pratikte uygulanabilirliğiyle ilgili hâlâ bir takım sorunlar vardır.



Şekil 2.3. Sirkülasyon kaybını gidermeye yönelik önleyici ve iyileştirici eylemler için genel akış şeması (Magzoub ve diğerleri, 2020b; Mirabbasi ve diğerleri, 2022)

2.3.3. Kayıp Önleyici Maddeler (LCM)

Mekanizma ve yöntem açısından fiziksel ve kimyasal olmak üzere iki tür sızıntı önleme yöntemi vardır. Yeraltı formasyonunun yapısı karmaşıklaştıkça mevcut fiziksel kayıp önleyici malzemelerin sahanın ihtiyaçlarını karşılayamaması nedeniyle tıkama yöntemine olan gereksinimler de artmaktadır.

Fiziksel olarak sirkülasyon kaybını önleyen malzemeler, bitkisel, kimyasal ve mineral olarak üç gruba ayrılmaktadır. Genellikle bitki materyalleri yüksek sıcaklıkta termal ayrışmaya uğrar ve mekanik özellikleri ciddi şekilde düşer. Seçilen sıcaklığa dayanıklı, sızdırmaz, kayıp önleyici malzemelerinin, günümüz ihtiyaçlarını karşılayamayacak şekilde bazı kusurları olabilmektedirler. Örneğin, plastiğin ve kauçuğun yüksek sıcaklıkta görünümü değişmez ancak moleküler zincir pirolize olur, içyapı zarar görür ve mekanik özellikler tamamen azalır. Mineral malzemelerin sıcaklık dirençleri iyi olmasına rağmen yoğunlukları ve kırılgenlikleri nedeniyle derin formasyonlarda oluşan yüksek gerilim nedeniyle kırılmaya meyillidirler. Fiziksel olarak kayıp önleyen malzemeler, giderek elastik grafit gibi mükemmel mineral malzemelere ya da sentetik, ısıya ve yüksek basınca dayanıklı polimer malzemelere dönüşmektedir. Fiziksel kayıp önleyici malzemelerle mukayese edildiğinde kimyasal kayıp önleyici malzemelerin kullanımı sıcaklıkla büyük ölçüde sınırlanmaktadır (Pu ve diğerleri, 2022).

Kimyasal tıkaçlamanın; kimyasal konsolidasyon tıkaçlaması, su genleşmeli tıkaçlama, çimentolu tıkaçlama gibi farklı yöntemleri vardır. Kimyasal tıkaç yönteminin, kaçak tabakasını konsolide etme, güçlü sıkıştırma ve kayma direnci olması, yüksek kaliteli bir tıkaç tabakası oluşturması ve formasyonun basınç taşıma kapasitesini artırması gibi olumlu özellikleri olmasına rağmen sıcaklık dayanımı iyi değildir. Temel olarak yüksek sıcaklığın, kimyasal malzemelerin matrisi ve kullanılan arıtma maddeleri (çapraz bağlama maddeleri, geciktiriciler, çimentolama maddeleri, takviye maddeleri vb.) üzerinde güçlü bir etkisi vardır. Sıcaklık, çamur içindeki konsolidasyon gücünü etkilediği için özelliklerin kontrol etmek güçleşir. Tablo 2.4' te yüksek sıcaklık ve yüksek basınç kaybını durdurmak için kullanılan malzeme örnekleri ve farklı kayıp önleyici malzemelerinin delik tıkama mekanizması verilmiştir. (Sun ve diğerleri, 2021).

Tablo 2.4.Yüksek Sıcaklık Yüksek Basınçta kayıp önleyici malzemeler ve ana çalışma mekanizmaları
(Pu ve diğerleri, 2022)

Tip	Mod	Kullanılan kayıp önleyici malzemeler	Mekanizma	Referans
Fiziksel kayıp önleyici malzemeler	Köprüleme ve takma	Kuvars kumu, mika pulları, kabuklar, vermikülit, mineral lifler vb.	İnert malzeme köprüleme, takviye, doldurma	Kang ve diğerleri, 2019a
	Son derece etkili kayıp Dolaşım Malzemesi	Uçucu kül, asbest lifi, diyatumlu toprak, deniz köpüğü	Hızlı sıvı kaybı, katı fazdaki parçacıkların hızlı birikerek sızıntı kanalını tıkaması ve sızıntı yerinde sıkı birikme	Li ve diğerleri, 2009
	Geçici olarak bloke	Kalsiyum karbonat, mermer, seramik granülleri	Asitte çözünebilen parçacıklar köprü oluşturur, çatlakları doldurur ve kapatır	Zhang ve diğerleri, 2020
Kimyasal kayıp önleyici malzemeler	Jel takma	Monomer olarak akrilamid ile modifiye edilmiş yüksek sıcaklığa dayanıklı kopolimer, organik çapraz bağlayıcı polietilenimin	Düşük viskoziteli jeller kuyu deliğine enjeksiyondan sonra güçlü jeller oluşturmak için çapraz bağlanır	(Hamza ve diğerleri, 2019; Yongbin ve diğerleri, 2019)
	Şişen sızıntı tıkanması	Hidrofilik/oleofilik reçineler, önceden çapraz bağlanmış jel parçacıkları	Sızıntı anında malzeme suyu/petrolü emer ve hacmi genişleterek kanalı dolduran bir elastomer oluşturur.	Zhong ve diğerleri, 2018; Liu ve diğerleri, 2017
	Reçine Takma	Epoksi, üre-formaldehit ve fenolik reçineler	Çapraz bağlı küreme takma	Luo, 2019; Cui ve diğerleri, 2020
	İnorganik jel tıkanması	Çimento, silikat malzemeleri, cüruf malzemeleri	Çimento, silikat malzeme, zemine yapıştırılan yüksek mukavemetli katı bir tıkaç oluşturmak üzere kalınlaşır ve sertleşir	Yang ve diğerleri, 2020
Akıllı kayıp önleyici malzeme	Şekil hafızalı polimerler, şekil hafızalı metaller, akıllı jeller vb.	Epoksi reçine çapraz bağlanmasından sonra ısıyla sertleşen polimerler, Ni-Ti, Cu-Zn-Al vb. alaşım malzemeleri, akrilamid kopolimerleri	Sızıntıyı kapatmak için çevresel uyaranlarla kendiliğinden etkinleşen fizikokimyasal reaksiyon	Jiang ve diğerleri, 2019; Magzoub ve diğerleri, 2020b

2.3.4. Kayıp Önleyici Malzemelerin Sınıflandırılması

Kayıp önleyici malzemelerin sınıflandırması, sirkülasyon kaybı olaylarını önlemek ve iyileştirmek için, karar verme süreçlerinde önemli bir faktördür.

Kayıp önleyici malzemeler, fiziksel görünümlerine göre lifli, pul pul, granüler ve bu üç tip malzemenin bir karışımı olmak üzere dört grupta incelenir. Kayıp önleyici malzemeler için geleneksel sınıflandırma Şekil 2.4’de görülmektedir.

Mevcut kaçak önleyici malzemelerin çok sayıda olması, farklı özelliklerinin bulunması ve bu özelliklerin çeşitli uygulamalara farklı katkılarda bulunması nedeniyle, hem fiziksel, kimyasal özelliklere hem de bunların uygulanmasına dayanan yeni bir sınıflandırma geliştirilmiştir (Alsaba ve diğerleri, 2014).

Fiziksel özellikler, bu parçacıkların görünümünü ve boyutunu içerirken, kimyasal özellikler, malzemenin asitlerdeki çözünürlüğünü, şişebilirliğini ve karışımı aktive etmek için diğer kimyasallarla reaktiviteyi içerir.

Yeniden yapılan sınıflandırmada önceki dört sınıfa ilave olarak asitte çözünen, yüksek sıvı kayıplı kayıp önleyici malzemelerin sıkışmaları, şişebilen/hidratlanabilen ve nanopartiküller olarak üç kategori daha ilave edilmiştir (Alsaba ve diğerleri, 2014).



Şekil 2.4. Kayıp önleyici malzemeler için geleneksel sınıflandırma (Jaf ve diğerleri, 2023)

2.3.4.1. Granül Malzemeler

Granüller malzemeler, formasyon yüzeyindeki kayıpları önlemek için formasyon yüzeyinde veya kırık içerisinde sızdırmazlık oluşturabilen katkı maddeleri olarak tanımlanır (Nayberg ve Petty, 1986) ve (Howard ve Scott, 1951). Geniş bir parçacık boyutu dağılımına sahiptirler. Sertliklerinden dolayı bu tür malzemeler kuyu deliği güçlendirme uygulamalarında sıklıkla kullanılır. Diğer türlere göre ezilme dirençleri daha yüksektir ve aynı zamanda asitte çözünürler.

Yapılarında granüller parçacıklar bulunan bu kayıp önleyici malzemelerde iki köprüleme maddesi bulunur; biri formasyonun girişinde veya yüzeyinde kalır, diğeri ise formasyonun matrisinde depolanır (Howard ve Scott, 1951; Nasiri ve diğerleri, 2018).

Boyut ve şekil granüler malzemelerin temel özelliklerindendir. Granül malzemeler, şekilleri ve parçacık boyutu dağılımının geniş olması nedeniyle formasyonun gözenekleri içine yerleşerek sızıntıyı iyi bir şekilde giderebilmektedirler. Sertliğinin ve ezilme direncinin yüksek olması nedeniyle kuyu deliği güçlendirme uygulamalarında tercih edilmektedir (Alsaba ve diğerleri, 2014; Savari ve diğerleri, 2012). Granüler malzemelerin parçacık boyutu dağılımına karar verilirken içerisinde, hem küçük hem de büyük parçacıkların bulunmasına dikkat edilmelidir. Büyük parçacıklar kırık üzerinde bir köprü oluştururken küçük parçacıklar büyüklerin arasındaki boşlukları doldurarak iki kat etki yaratmaktadır.

2.3.4.2. Pul Pul Malzemeler

Pul pul malzemeler “geniş yüzey alanına sahip, ince ve düz şekilli bir kayıp önleyici malzeme türü” olarak tanımlanmaktadır. Bu malzemeler formasyonda bulunan çatlakları, büyük gözenekleri ve geçirgen boşlukları doldurarak sızıntıya karşı güçlü bir bariyer oluşturmaktadırlar. (Nasiri ve diğerleri, 2018). Pul pul malzemelerin sertlikleri düşüktür oldukça düz ve ince parçacık yapıları ile geniş bir yüzey alanları vardır.

Bu malzeme, formasyon yüzü üzerindeki ince parçaları birleştirmek için kullanılabilir, bununla birlikte sertliğinin ve mukavemetinin az olmasından dolayı çatlaklara yerleşerek optimum kapsama alanı sağlar bu özelliği de sızıntıyı önlemede onu son seçenek haline getirir (Feng ve Gray, 2018).

Selofan, mika, pamuk tohumu kabukları, vermikülit, mısır koçanları ve pul pul kalsiyum karbonat pul pul malzemelere örnek olarak verilebilir.

2.3.4.3. Lifli Malzemeler

Lifli malzemeler “uzun, ince ve esnek olan ve çeşitli boyutlarda ve uzunluklarda liflerden oluşan bir kayıp önleyici malzeme türü” olarak tanımlanabilir (Schlumberger, 2014). Lifli malzemeler, boşluklar ve çatlaklar üzerinde geçirimsiz bir tabaka oluşturabildiklerinden gözenekli formasyonlarda çamur kaybını önlemede kullanılabilecek en iyi malzemelerdendir. Çamurdaki kolloidal parçacıkların çatlak üzerine entegre olmuş bu tabakanın üzerine hızla çökmesinden dolayı gözenekli yapıların yüzeyinde yapışkan bir tabaka oluşmaktadır (McKinley ve Applegath, 1985; Wu, 2016 ; Wagle ve diğerleri, 2016; Nasiri ve diğerleri, 2018).

Başka bir deyişle, etkili bir sızdırmazlık oluşturmak için lifli malzeme, çukur ve çatlak oluşumları arasında mat benzeri bir köprü oluşturabilir (Feng ve Gray, 2018). Bu nedenle aşırı derecede geçirgen gözenekli oluşumlarda dolaşım kaybını yönetmek için yaygın olarak kullanılır.

Lifli malzemeler çok çeşitli derecelerde/boyutlarda mevcuttur ve Magma lifi gibi bazı lifli malzeme türleri asitte çözünür. Lifli malzemeler hem su bazlı çamurda hem de petrol bazlı çamurda sıklıkla kullanılır, ancak bu malzemelerin bazılarının petrol bazlı çamurda kullanımlarını sınırlıdır. Selüloz lifleri, naylon lifler, mineral lifler, testere tozu ve kıyılmış kâğıt gibi maddeler lifli malzemelere örnek olarak verilebilir.

2.3.4.4. Lifli, pul pul ve/veya granül karışımı

İki veya daha fazla kayıp önleyici malzemenin karıştırılmasıyla, bu malzemelerin farklı özellikleri ve parçacık boyutları nedeniyle kayıpların azaltılmasında daha iyi bir performans sağlayacağı gözlemlenmiştir (Kumar ve Savari, 2011; Nayberg ve Petty, 1986; Withfill, 2008).

Farklı sirkülasyon kaybı senaryoları için tasarlanmış çeşitli kayıp önleyici malzeme karışımları mevcuttur. Bu karışımlar, çok çeşitli boyutlardaki kırıkları kapatabilmeleri için laboratuvar testleri ile optimize edilmiş türleri ve parçacık boyutu dağılımını içermektedir. Bununla birlikte, harmanlanmış kayıp önleyici malzemelerinin uygun olmayan parçacık boyutu dağılımı, performansın düşük olmasına neden olabilir (White, 1956).

2.3.4.5. Asitte Çözünür / Suda Çözünür

Geleneksel kayıp önleyici malzemelerin rezervuar bölümünde kullanıldığında formasyona zarar verme gibi bir dezavantajı vardır. Asitte yada suda çözünebilen kayıp önleyici malzemeler, rezervuarda karşılaşılan sirkülasyon kayıplarını iyileştirilmesinde kullanılabilecek özelliktedirler. Bunlar zarar vermeyen kayıp önleyiciler olarak adlandırılmaktadırlar. Kalsiyum karbonat ve mineral lifler asitte çözünebilen malzemeler arasında sayılabilir. Boyutlandırılmış tuzlar ise suda çözünebilen kayıp önleyici malzemelerdir (Alsaba ve diğerleri, 2014).

2.3.4.6. Yüksek sıvı kayıplı önleyici malzeme sıkıştırmaları

Geleneksel kayıp önleyici malzemelerle düzeltilemeyen daha yüksek kayıp oranları için, yüksek sıvı kayıplı, yüksek katı maddeli sıkıştırmalar, reaktif sıkıştırmalar veya ayarlanabilir sıkıştırmalar gibi işlemler uygulanabilir. Sirkülasyon kaybına yönelik uygulamalar, kayıpların hâlihazırda meydana geldiği durumlarda iyileştirici yöntemler veya kayıpları önlemek için sıvıların veya ürünlerin kullanıldığı önleyici yöntemler olabilir.

İyileştirici yöntemlere örnek, geleneksel LCM' nin kayıp sonrası uygulaması, yüksek sıvı kayıplı yüksek katı maddeli sıkıştırmalar ve reaktif veya ayarlanabilir bulamaçlar verilebilir. Önleyici yöntemlere örnek olarak, sirkülasyon kaybı önleyici malzemenin kayıp öncesinde çamura ilave edilmesi veya genellikle kuyu deliği güçlendirme teknikleri (WBS) olarak adlandırılan, stres kafesi tipi sıkıştırma işlemleri veya kayıp önleyici materyallerin sirkülasyon halindeki sondaj sıvısında bulunduğu ileri sondaj yöntemleri gibi yöntemler verilebilir. Genellikle, kırık veya önemli derecede geçirgen olan formasyonlarda ciddi kayıpları iyileştirmek için bu tip kayıp önleyici kombinasyonu kullanılmaktadır. Filtrasyon işlemi sonucunda kayıp bölgesini kapatan bir kek tabakası oluşmaktadır (Alsaba ve diğerleri, 2014).

2.3.4.7. Şişebilir/Hidratlanabilir Malzeme Kombinasyonları

Ayarlanabilir/Hidratlanabilir işlemler, temel olarak kayıp önleyici malzemelerin polimer gibi oldukça reaktif bir malzemeyle karışımıdır. Bu işlemler ya kimyasal reaktiflerle ya da sondaj sıvıları ya da formasyon sıvılarıyla temas ettiklerinde etkinleştirilecektir; bunun sonucunda kayıp bölgesi içerisinde bir tıkaç oluşacaktır. Bu tür

uygulamalar genellikle özel yerleştirme prosedürlerini gerektirir (Alsaba ve diğerleri, 2014).

2.3.4.8. Nanopartiküller

Silika, demir hidroksit ve kalsiyum karbonat uygulaması olan nanopartiküllerdir (Contreras ve diğerleri, 2014). Nanopertiküller ex-situ veya in-situ işlemlerle hazırlanabilmektedirler. Ex-situ, daha sonra çamura eklenen sulu bir çözelti halinde oluşan nanopartiküllerin hazırlanması anlamına gelir. Pratik saha uygulamaları için, çamurun su içeriğinin dolaşım sistemine önemli ölçüde artmasını önlemek için yerinde uygulamaları önerilmektedir.

Alüminyum ve titanyumdan elde edilen nanopartiküller, su bazlı çamurda geçirgenliğin azaltılması için kullanılmıştır (Chenevert ve Sharma, 2009). Bağlı yoğunluğu 1,9 ile 2,1 arasındaki karbon siyahı nanopartiküller, çamur keki azaltmak amacıyla kullanılmışlardır (Païaman ve Al-Anazi, 2008).

3. KAYNAK ARAŞTIRMASI

3.1. Tarımsal atıkların petrol ve gaz endüstrisinde kullanımının tarihçesi

Petrol ve doğal gaz endüstrisinde, sirkülasyon kaybıyla mücadele etmek için köprüleme, jelleştirme ve çimentolama maddeleri olarak üç tür aracı kullanılmaktadır. Bu üç türden hangisinin kullanılacağı, kuyu ömrünün hangi aşamasında olduğuna bağlıdır.

Tarımsal atıkların kullanılabilir bir ürüne dönüştürülme potansiyeli vardır. İnşaat mühendisliği, bina inşaatı, ahşap işleri vb. gibi çok çeşitli alanlarda kullanımı bulunmaktadır. Petrol ve doğal gaz endüstrisinde tarımsal atıkların kullanımının çoğu sirkülasyon kaybının önlenmesi alanında olmuştur. Kayıp önleyici malzemelerin kullanımı çok eskilere dayanmakla birlikte, ilk kullanılanlar daha çok üretim süreçlerinden kaynaklanan atıklardır. Ucuz olmaları, sondaj sahalarının yakınında ve kolayca bulunabilmeleri nedeniyle seçilmişlerdir.

Laboratuvarda veya sahada, akla gelebilecek hemen hemen her malzeme kayıp dolaşım malzemesi olarak kullanılmıştır (Culver, 2007). Laboratuvarlarda saha koşulları simüle edilmeye çalışılmaktadır ancak sahada deneyimlenecek tüm dinamikler tam olarak oluşturulamamaktadır. Sondaj çamurlarına yönelik herhangi bir ürün veya katkı maddesinin kullanılabilirliğini, etkinliğini, gerçek etkisini görmek için en güvenilir yaklaşım sahadaki performansdır.

Tablo 3.1’de ceviz kabukları, talaş, tarımsal atık karışımı ve pamuk tohumu kabukları olmak üzere dört tarımsal atık materyaline ait sonuçlar verilmiştir (Agwu ve Akpabio, 2018). Tablo 3.1’den, ceviz kabuklarının bozulmaya karşı dirençli olmaları nedeniyle kayıp önleyici olarak etkili oldukları görülmektedir. Çamur pompalarının kauçuk parçalarını aşındırabilmeleri dezavantajına rağmen sahada iyi bir kayıp önleyici malzemesi olduğu bildirilmiştir. Öte yandan, testere tozunun ucuz ve reaktif olmayan yapısına rağmen petrol bazlı çamurlarda kullanımının uygun olmadığı ve sahada kayıp önleyici olarak tek başına kullanımının etkili olmayacağı düşünülmektedir. Tarımsal atıkların karışımının birçok açıdan yararlı olup sahadaki sirkülasyon kaybını önlemede, bireysel tarımsal atıkların kullanılmasına göre daha iyi performans göstermektedirler (Agwu ve Akpabio, 2018). Çeşitli kayıp önleyici malzemelerin spesifik örneklerini, dolaşım kayıplarını önleme mekanizmalarını, avantajlarını, dezavantajlarını ve uygulama senaryolarını gösteren bir özet Tablo 3.2a ve Tablo 3.2b 'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Kayıp önleyici olarak kullanılan tarımsal atıkların kullanımına genel bakış.

Ceviz kabuğu	Saha uygulaması	4000 psi aşırı dengeye sahip tükenmiş bir bölgeyi delmek için 8,8 lbm/gal çamura 40 lbm/varil cevizin eklenmiş 5 günlük delme ve sirkülasyon periyodu boyunca, boyutun yalnızca %4' ünün bozulduğu görülmüş, bu da cevizlerin bozulmaya karşı oldukça dirençli olduğunu göstermiştir. (Scott ve diğerleri, 2012) Teksas'ın Duval County bölgesinde açılan wildcat kuyusunda 50 lb/varil öğütülmüş ceviz kabuğu içeren 75 varil çamurun bir kayıp bölgesine sıkıştırıldığında sirkülasyon kaybının iyileştirildiği bildirmiştir. (Scott ve Lummus, 1955)
	Artıları	Yüksek basınca karşı dayanımlı ve kırılmaya karşı dirençlidir. Çamurun bozulma, uç topaklanması sorununu ortadan kaldırmaktadırlar. (GEO Sondaj Sıvıları Inc., 2010). Sondaj borusunun ve manşonlarının torkunu ve sürtünmesini azaltarak, dönme hızını ve delme hızlarını arttırmaktadırlar. (Scott ve Lummus, 1955).
	Eksileri	İri ceviz kabukları kullanıldığında çamur pompalarında valf yapışmasına, kauçuk parçaların hızlı aşınmasına ve yıpranmasına neden olduğu görülmüştür (Scott ve Lummus, 1955).
Testere tozu	Saha uygulaması	Gorter ve diğerleri (1982) , Avustralya'da Wallaby-1 adlı bir kuyuda 17,5 inçlik delik açılırken meydana gelen dolaşım kaybını iyileştirmek için jel kostik çamur sisteminin bir parçası olarak testere tozu kullanıldı. Çamur sistemi kapsamında toplam 820 kg testere tozu harcandı
	Artıları	Testere tozu ucuz ve reaktif olmayan bir kayıp önleyicidir. Farklı tanecik boyutlarından oluşmuş olması çok çeşitlik kırık ve çatlakları tıkamada yararlı olmaktadır. (GEO Sondaj Sıvıları Inc., 2010).
	Eksileri	Testere tozunun emici özelliği nedeniyle petrol bazlı çamurlarda ekonomik olmadığı kanıtlanmıştır (Adams ve Eustes, 2011); Yüksek sıcaklıklarda bozunur (Kandarpa ve Vetter, 1980).
Tarımsal atık karışımları	Saha uygulaması	Pamuk tohumu kabukları, talaş, çapraz bağlı polimer ve mısır nişastası karışımı bir çamur sistemine eklendiğinde sirkülasyon kaybını durdurmada başarılı olmuştur. (Cremeans ve Cremeans, 2003)
	Artıları	Çoklu uygulamalara elverişli olduğu, geçirgenliği ve sıçrama kayıplarını azalttığı (Luzardo ve diğerleri, 2015), sıvı kayıplarını önlemede performanslarının yüksek olduğu bildirilmiştir. (Almagro ve diğerleri, 2014 , Kumar ve Savari, 2011).
	Eksileri	Belirtilmemiş
Pamuk tohumu kabukları	Saha uygulaması	Bozuk ve kırıklı yapıli formasyonda yaşanan sirkülasyon kaybı Pamuk tohumu kabukları ve diğer malzemelerden oluşan tabletlerin formasyona pompalanmasıyla giderilmiş ve sirkülasyon yeniden sağlanmıştır. Kinchen ve diğerleri (2001),
	Artıları	Belirtilmemiş
	Eksileri	Yüksek sıcaklıklarda bozunur (Kandarpa ve Vetter, 1980).

Tablo 3.2a. Kayıp önleyici malzeme türlerinin gözden geçirilmesi (Agwu ve Akpabio, 2018).

Kayıp Önleyici Malzeme Türü	Lifli malzemeler	Örnekler	Testere tozu, Kıyılmış kağıt, Selüloz, Naylon ve Mineral lifler (Alsaba ve diğerleri, 2014)
		Kayıp önleme mekanizması	Kuyu deliği duvarı üzerinde mat benzeri bir köprü oluşturarak daha küçük parçacıkların birikmesi ve bir kek oluşturmaya için bir filtreleme ortamı sağlar (Howard ve Scott, 1951 , Nayberg ve Petty, 1986).
		Avantajları	Düşük maliyetli, doğası gereği reaktif olmayan (GEO Sondaj Sıvıları Inc., 2010); aşındırıcı olmayan; oluşumların mekanik mukavemetini artırır (Luzardo ve diğerleri, 2015); Doğası gereği daha az serttir, büyük açıklıklara pompalanması kolaydır ve kuyu deliğinin güçlendirilmesi için kullanışlıdır (Adams ve Eustes, 2011)
		Dezavantajları	Yüksek sıcaklıklarda bozunur; Çoğunun emici olması nedeniyle OBM'lere uygulanamaz (Adams ve Eustes, 2011); Nemin varlığında liflerin şişmesi ve büzülmesi meydana gelebilir (Luzardo ve diğerleri, 2015); sarmal boru nozüllerinin portlarını kapatabilirler (Nayberg ve Linafelter, 1984)
		Uygulama alanı	Gözenekli ve yüksek geçirgenliğe sahip oluşumlara uygulanabilir
	Pul pul malzemeler	Örnekler	Pamuk çekirdeği kabukları, Mısır koçanları, Selofan, Mika, Vermikülit, Pullanmış CaCO ₃ (Alsaba ve diğerleri, 2014)
		Kayıp önleme mekanizması	Delğin duvarında mat benzeri bir yapı oluşturur (Howard ve Scott, 1951 , Nayberg ve Petty, 1986) .
		Avantajları	Belirtilmemiş
		Dezavantajları	Yüzeydeki ve kuyu dibindeki çimentolama ekipmanı tıkalı olabilir, dolayısıyla normalde çimentoda kullanılmaz; çimentonun kalınlaşma süresini uzatan kimyasallar içerebilir (Adams ve Eustes, 2011)
		Uygulama alanı	Oldukça gözenekli oluşumlara uygulanabilir (Luzardo ve diğerleri, 2015)
	Granül malzemeler	Örnekler	Fındık kabuğu, Grafit, ebatlı, CaCO ₃ , Perlit, Glisonit, Kaba bentonit (Alsaba ve diğerleri, 2014)
		Kayıp önleme mekanizması	Kuyu deliği duvarında veya çatlak içerisinde bir sızdırmazlık oluşturur (Howard ve Scott, 1951 , Nayberg ve Petty, 1986).
		Avantajları	Sert ve ezilmeye karşı dirençli olması nedeniyle kuyu deliğinin güçlendirilmesinde kullanılabilir. (Mansour ve diğerleri, 2017)
		Dezavantajları	Belirtilmemiş
		Uygulama alanı	Kırıklarda veya geçirgenliği yüksek formasyonlarda kullanılabilirler. (Schlumberger, 2017)
	Nanopartiküller	Örnekler	Kalsiyum Karbonat, Silika, Demir Hidroksit (Contreras ve diğerleri, 2014)
		Kayıp önleme mekanizması	Belirtilmemiş
		Avantajları	Gözenek girişlerini tıkamada etkili oldukları, fişkırmayı ve sıvı kaybını kontrol edebilmeleri sayesinde oluşum hasarını, sürtünmeyi ve aşınmayı azaltabildikleri ayrıca çamur reolojisini iyileştirdikleri belirtilmiştir. (Luzardo ve diğerleri, 2015)
		Dezavantajları	Ucuz olmamaları (Luzardo ve diğerleri, 2015)
		Uygulama alanı	Belirtilmemiş

Tablo 3.2b. Kayıp önleyici malzeme türlerinin gözden geçirilmesi devamı (Agwu ve Akpabio, 2018).

Kayıp Önleyici Malzeme Türü	Yüksek sıvı kaybı önleyici malzeme sıkışması	Örnekler	Çeşitli çimento karışımları (bentonitle, gilsonit ile ve dizel+bentonit ile) (Economides ve diğerleri, 1998).
		Kayıp önleme mekanizması	Kayıp gözlenen bölgeyi kapatan bir tıkaç gibi davranırlar (Alsaba ve diğerleri, 2014)
		Avantajları	Sirkülasyon kaybını kalıcı olarak çözebildikleri bu sayede ciddi ve yoğun kayıplara karşı etkili oldukları bildirilmiştir. (Luzardo ve diğerleri, 2015).
		Dezavantajları	Üretim bölgelerine uygulanamaz, Geri dönüşü olmayan bir süreç, karıştırma, pompalama ve sertleşme süreleri sondaj işleminin gecikmesine neden olur (Luzardo ve diğerleri, 2015).
		Uygulama senaryoları	Kırıklı veya yüksek geçirgenliğe sahip oluşumlarda tam kayıpların iyileştirilmesinde kullanılır (Alsaba ve diğerleri, 2014); Üretim yapmayan bölgelere uygulanır (Luzardo ve diğerleri, 2015)
	Karışım	Örnekler	Lifli, pul pul ve granüler LCM'lerin karışımları
		Kayıp önleme mekanizması	Kırıklara ve boşluklara nüfuz eder ve bunları kapatır (Luzardo ve diğerleri, 2015)
		Avantajları	Çoklu uygulamalarda kullanılabilir, geçirgenliği ve sıçrama kayıplarını azaltır (Luzardo ve diğerleri, 2015), kayıpları önlemede daha iyi performans sağlar (Almagro ve diğerleri, 2014 , Kumar ve Savari, 2011 , Nayberg ve Petty, 1986 , Whitfill, 2008 , Van Oort ve diğerleri, 2011).
		Dezavantajları	Katı madde kontrol ünitesinde granül malzemelerin uzaklaştırılması imkanı; çamurun yoğunluğu ve viskozitesi parçacık boyutuna bağlı olarak değişebilir; parçacık boyutu seçimi zor olabilir (Luzardo ve diğerleri, 2015)
		Uygulama senaryoları	Yüksek geçirgenliğe sahip bölgelere, kırıklara ve vügar oluşumlara uygulanabilir (Luzardo ve diğerleri, 2015)
	Asit/Suda Çözünür	Örnekler	CaCO ₃ , Mineral lifler, Ebatlanmış tuzlar
		Kayıp önleme mekanizması	Belirtilmemiş
		Avantajları	Farklı oluşum türleri için kullanılabilir, Rezervuar bölümlerine zarar vermez, sert ve asitte çözünebilen filtre keki oluşturma kabiliyetine sahiptir (Luzardo vd., 2015).
		Dezavantajları	Giderilmesi için asitleştirme uygulamaları formasyon hasarına yol açabilir. Optimum sızıntı kaybı kontrolünü sağlamak için çok daha yüksek katı madde yüklemesi gerektirir (Luzardo ve diğerleri, 2015)
		Uygulama senaryoları	Rezervuar bölümlerindeki kayıp dolaşımı iyileştirmek için kullanılır (Luzardo ve diğerleri, 2015)
	Hidratlanabilir kayıp önleyici kombinasyonu	Örnekler	LCM'lerin polimerler gibi reaktif malzemelerle karışımları (Alsaba ve diğerleri, 2014)
		Kayıp önleme mekanizması	Kayıp bölgesini kapatan bir tıkaç oluşturlar (Alsaba ve diğerleri, 2014)
		Avantajları	Uç ağızlarının tıkanma riski yoktur, çok çeşitli kırılma genişliklerini kapsayabilir (Luzardo ve diğerleri, 2015)
		Dezavantajları	Doğru yere ulaşmak için özel yerleştirme teknikleri gerektirir (Alsaba ve diğerleri, 2014 , Luzardo ve diğerleri, 2015)
		Uygulama senaryoları	Belirtilmemiş

Tablo 3.1, 3.2a ve 3.2b incelendiğinde, kayıp önleyici malzemelerin nasıl ve nerede kullanılacağını etkileyen faktörlerin; doku, ısıl stabilite, basınç dayanımı, maliyet

ve bunların rezervuar bölgesindeki etkileri arasındaki farklılıkların olduğu görülmektedir. Ayrıca, doğal olarak gözenekli ve geçirgen olan kumtaşı oluşumlarının, sirkülasyon kaybı ile mücadele etmek için, sondaj deliği duvarı üzerinde mat benzeri bir köprü oluşturan lifli ve pul pul malzemelere ihtiyaç duyulabileceği görülmektedir. Ancak kırıklı ve geçirgenliği yüksek oluşumlarda kırıkları tıkayabilen, kapatabilen ve çatlakların büyümesini sınırlandırabilen, yüksek sıvı kaybı önleyici malzeme sıkışması, kayıp önleyici malzeme karışımı kullanılır.

3.2. Selülozik tarımsal atıkların sondaj çamurlarında sıvı kaybı kontrol maddesi olarak kullanımına yönelik çalışmalar

Selülozik tarımsal atık maddelerin kullanımı, düşük maliyet, biyo-yenilenebilirlik ve bulunabilirliğin kolay oluşu nedeniyle yaygın bir boyut kazanmış ve araştırmacıların büyük ilgisini çekmiştir (Belgacem ve Gandini, 2008). Tarımsal atık malzemelerin sondaj çamurlarında kayıp önleyici malzeme olarak kullanılmasına yönelik araştırmalar altmış yılı aşkın bir geçmişe sahiptir. Yer fıstığı kabukları (Lummus ve Ryals, 1971), öğütülmüş şeftali tohumları (Morris, 1962) ve ağaç kabuğu (Nestle, 1952) gibi selülozik malzemeler filtrasyon kontrolü amacıyla kullanılmışlardır.

Çeşitli tarımsal atık malzemelerinin sondaj çamurunda kayıp önleyici olarak kullanımına yönelik çalışmalar süreklilik göstermemektedir. Son zamanlarda polimerlerin kullanımı daha yaygındır. Son 30 yılda selülozik malzemelerin tekrar kullanılmaya başlamasıyla bu eğilimin tersine döndüğü Tablo 3.3' de görülmektedir.

Bu süre zarfında manyok, mısır, darı, patates vb. farklı bitkilerden elde edilen nişastaların uygunluğu test edildi (Ademiluyi ve diğerleri, 2011; Amanullah ve Yu, 2004; Nyeche ve diğerleri, 2015; Ukachukwu ve diğerleri, 2010). Bununla birlikte, geriye dönüp ilk araştırmacıların çalışmalarına bakılması, konuyu daha geniş bir perspektifte ele almaya ve belirsizlikleri aydınlatmaya yardımcı olacaktır. Bu alanda yapılan son araştırmaların bir özeti, yazarların kullandıkları selülozik malzeme, inceledikleri malzemenin özellikleri ve önemli bulguları Tablo 3.3a - Tablo 3.3c' de verilmiştir (Agwu ve Akpabio, 2018).

Tablo 3.3a. Sondaj sıvılarında tarımsal atıkların kayıp önleyici madde olarak kullanımına ait çalışmalar

Kullanılan malzeme	İncelenen parametre	Önemli bulgular
Portakal mezokarp	Filtrasyon özellikleri	Portakal mezokarp selülozundan, sondaj çamurlarında arzu edilen temel özellikleri kazandırmada ticari sınıf CMC ile karşılaştırılabilir nitelikte karboksimetillenmiş ürünler üretmek mümkündür. (Akaranta ve Osuji, 1997)
Sago ve tapyoka nişastaları	Filtrasyon özellikleri	Sondaj çamurunda sago ve tapyoka nişastasının bulunması sıvı kaybını %90 oranında azaltabildiği, PAC ve tapyoka ile karşılaştırıldığında sagoda daha az sıvı kaybı yaşandığı ancak PAC'ın oluşturduğu viskoziteye ulaşmak için çok daha fazla miktarlarda sago ve tapyoka kullanılması gerektiği bildirilmiştir. (İsmail ve İdris, 1997)
Karboksimetillenmiş Aspen ağacı	Reoloji, sıvı kaybı ve pH	Karboksimetillenmiş Aspen ağacının, viskoziteleri değiştirmeden, filtrasyon indeksini, jel mukavemetini ve akma noktasını azalttığı bildirilmiştir. Bu özelliği ile bu tür kompozitlerin sondaj sıvılarının hazırlanmasında kullanılmasına mümkün olacağı da belirtilmiştir. (Bazarnova ve diğerleri, 2001)
Mısır bazlı nişasta	Filtrasyon özellikleri	Geliştirilen mısır bazlı nişasta, daha iyi sıvı kaybı kontrol özelliklerine sahipti. (Amanullah ve Yu, 2004)
Ceviz kabukları	Reoloji ve Filtrasyon özellikleri	6 mm'lik toz haline getirilmiş ceviz kabuğu sıvı kaybını azaltmada etkili oldu. (İşcan ve Kök, 2007)
Darı nişastası	Reoloji ve Filtrasyon özellikleri	Darı nişastasının sirkülasyon kaybını önlemede uygun ve yüksek sıcaklıklarda stabil olduğu bildirilmiştir. (Ukachukwu ve diğerleri, 2010)
Mumsu kabuksuz arpa (WHB)	Filtrasyon özellikleri	WHB, özellikle tuzlu ve yüksek sıcaklıktaki ortamlarda mükemmel filtreleme kontrolü özellikleri sergiledi. (Hamida ve diğerleri, 2010)
Manyok nişastası	Filtrasyon özellikleri ve viskozite	Manyok nişastasının sirkülasyon kaybını önlemede uygun olduğu ve kullanılabileceği bildirilmiştir. (Ademiluyi ve diğerleri, 2011)
Talaş	Sıvı kaybı ve kek kalınlığı	Talaş kullanımı ile reolojik özellikler geliştirdiği ancak kek kalınlığını arttırmak için kaolin eklenmesinin gerektiği bildirilmiştir. (Adebayo ve diğerleri, 2012)
Talaş	Filtrasyon özellikleri ve yoğunluk	Büyük parçacık boyutlarıyla elde edilen kekler kararsız olmasına rağmen, sıvı kaybında küçük boyutlu parçacıklara göre daha sonuçlar verdi. Farklı boyutlardaki talaş karışımlarının kullanımı tavsiye edildi. (Adebayo ve Chinoyere, 2012)
Arap sakızı	Filtrasyon jel, reoloji	Arap zatkı filtre kaybı katkı maddesi olarak kullanılabilir. (Olatunde ve diğerleri, 2012)
Gine mısır nişastası	Filtrasyon özellikleri	Gine mısır nişastasının, sıvı kaybını azaltıcı etkisi nedeniyle sirkülasyon kaybını önlemede bir alternatif olabileceği bildirilmiştir. (Chike-Onyegbula ve diğerleri, 2012)
Agarwood atığı	Filtrasyon özellikleri	Agarwood atığının kayıp önleyici malzeme olarak kullanılabileceği bildirilmiştir. (Azizi ve diğerleri, 2013)

Tablo 3.3b. Sondaj sıvılarında tarımsal atıkların kayıp önleyici madde olarak kullanımına ait çalışmalar devamı

Kullanılan malzeme	İncelenen parametre	Önemli bulgular
Manyok nişastası	Filtrasyon özellikleri	Manyok nişastası kayıp önleyici katkı maddesi olarak kullanılabilir. (Egun ve Abah, 2013)
Asitle modifiye edilmiş Fufu nişastası	Filtrasyon özellikleri, reoloji	Asitle modifiye edilmiş fufu nişastası kayıp önleyici katkı maddesi olarak büyük potansiyel gösterdi. (Samavati ve diğerleri, 2014)
Pirinç kabuğu	Sıvı kaybı ve filtre keki kalınlığı	Polianyonik selüloz ve karboksimetil selüloz ile mukayese edilebilir düzeyde, pirinç kabuğunun sıvı kaybını azalttığı bildirilmiştir. (Okon ve diğerleri, 2014)
Yer fıstığı kabuğu	Filtrasyon özellikleri	Çamur içindeki yer fıstığı kabuğu miktarının artmasıyla polianyonik selüloz ile rekabet edebilecek bir kayıp önleyici malzeme olabileceği belirtilmiştir. (Dagde ve Nmegbu, 2014)
Mısır koçanı selülozu	Filtrasyon, pH, reoloji	Mısır koçanından elde edilen selüloz, sıvı kaybını azaltmada oldukça etkili olmuştur. (Nmegbu ve Bari-Agara, 2014)
Pirinç kabuğu ve talaş	Filtrasyon özellikleri, pH viskozite, yoğunluk	İstenen çamur keki kalınlığını elde etmek için petrol bazlı çamurda hafif modifikasyonlar ile pirinç kabuğunun kayıp önleyici katkı maddesi olarak kullanılabilir. (Anawe Paul ve diğerleri, 2014)
Mısır nişastası	Filtrasyon özellikleri	Mısır nişastasının çamur içindeki miktarının artmasıyla sıvı kaybının azaldığı böylece sirkülasyon kaybını önlemede kullanılabilir. (Ghazali ve diğerleri, 2015)
Patates nişastası	Filtrasyon özellikleri	Patates nişastası ve polianyonik selülozun yaklaşık eşit oranda karışımı, çamurun sıvı kaybı kontrol özelliklerinin iyileştirilmesi için uygundur. (Nyeche ve diğerleri, 2015)
Mısır nişastası	Filtrasyon özellikleri	Mısır nişastasının farklı formülasyonlarda kullanımı ile geleneksel ürüne alternatif olabileceği bildirilmiştir. (Dias ve diğerleri, 2015)
Çimen	Reoloji ve Filtrasyon özellikleri	Tanecik büyüklüğünün ve konsantrasyonun etkisi incelenmiş, bentonit sondaj sıvısının viskozitesini, jel mukavemetini ve filtrasyon özelliklerini geliştirebileceği bulunmuştur. (Hossain ve Wajheuddin, 2016)
Ubi kayu nişastası	Filtrasyon özellikleri, reoloji	Numunelerin reolojik değerleri çamur ağırlığıyla artarken, sıcaklık artışıyla azaldı. Ubi kayu, sırasıyla 1,4, 0,8 ve 0,4 ml değerleriyle hafif, ortalama ve ağır çamur ağırlıkları için 250 °F sondaj sıcaklığında 2 ml'nin altında yeterli bir sıvı kaybı sergiledi 275 °F'de yalnızca ortalama ağırlıktaki çamur örnekleri kabul edilebilir sıvı kaybı hacmi (0,4 ml) verdi. Ancak 300 °F sıcaklığa (hacim 60 ila 250 ml arasında değişen) maruz bırakıldığında kayıp önleyici katkı maddesi olarak başarısız oldu. (Samavati ve Abdullah, 2016)
Pleurotus tuber-regium (Kral yumru mantarı)	Sıvı kaybı ve kek kalınlığı	Sondaj sıvılarının hazırlanmasında kullanılmak üzere ticari olarak kullanılabilir değildir ancak çevre dostudur. (Chinwuba ve diğerleri, 2016)

Tablo 3.3c. Sondaj sıvılarında tarımsal atıkların kayıp önleyici madde olarak kullanımına ait çalışmalar devamı

Kullanılan malzeme	İncelenen parametre	Önemli bulgular
Psyllium kabuğu	Reoloji ve filtrasyon özellikleri	Psyllium kabuğunun, ağırlıkça %5 bentonit ile karşılaştırılabilecek yeterli reolojik özelliklere sahip olduğu, ayrıca, psilyum kabuğunun su bazlı çamurlarda viskozite ve kayıp önleyici katkı maddesi olarak kullanıma potansiyelinin olduğu görülmektedir. (Salamachi ve diğerleri, 2016)
Manyok nişastası	Filtrasyon özellikleri ve reoloji	Nano boyutlu tapyoka nişastasının su bazlı çamurda sıvı kaybını önlemede oldukça etkili olduğu, filtre keki kalınlığını azalttığı bildirilmiştir. (Zoveidavianpoor ve Samsuri, 2016)
Manyok nişastası	Viskozite, sıvı kaybı, Nişasta XRD'si	Kayıp önleyici malzeme olarak kullanımının uygun olduğu belirtilmiştir (Harry ve diğerleri, 2016)
Hurma çekirdeği tozu	Filtrasyon özellikleri	Hurma çekirdeği tozu, kil içermeyen su ve tuzlu su bazlı çamurlarda kayıp önleyici katkı maddesi olarak kullanılabilir. (Amanullah ve Lu, 2004)
Yağı alınmış achi (B. eurycoma), hindistancevizi lifi ve mısır nişastası lifi	Filtrasyon özellikleri	Achi, hindistancevizi lifi ve mısır nişastası lifi kombinasyonu, sondaj çamurunda sıvı kaybını azaltan bir madde olarak iyi performans gösterdi. Bu sonucu elde etmek için, iki lifin 0,25 g'lık düşük lif içeriğine ihtiyaç duyulurken, achi kısmında 1,25 g'lık yüksek bir konsantrasyona ihtiyaç duyulur. (Salawudeen ve diğerleri, 2016)
Şeker kamışı küspesi külü	Filtrasyon özellikleri	Şeker kamışı küspesi külü, süzüntü kaybını azalttı ve ince ve tutarlı kekler üretti; ancak artan sıcaklıkla birlikte kek kalınlığı ve kaybolan suyun hacimleri arttı. (Saengdee ve Terakulsatit, 2017)
Pirinç kabuğu ve muz kabukları	Reoloji ve Filtrasyon özellikleri	Pirinç kabuğu ve muz kabuklarının bir karışımı, sondaj çamurlarında reoloji ve filtrasyon kontrol katkı maddesi olarak kullanılabilir. (Seteyeobot ve diğerleri, 2017)
Hindistan cevizi kabuğu ve mısır koçanı	Filtrasyon özellikleri	Mısır koçanı filtre kaybını hindistancevizi kabuğundan daha iyi önler, ancak her ikisi birleştirildiğinde sıvı kaybı kontrol maddesi olarak performansları tek başına kullanılmaya göre artar. (Onuh ve diğerleri, 2017)
Annona muricata ve Carica papaya	Filtrasyon özellikleri	Annona muricata ve Carica papaya, su bazlı çamurlarda kayıp önleyici katkı maddesi olarak kullanılabilir, ancak ikisi mukayese edildiğinde Annona muricata, sıvı kaybının kontrolünde Carica papayadan daha iyi performans gösterdi. (Igwill ve diğerleri, 2017)

Tablo 3.3a - Tablo 3.3c, incelendiğinde, çoğu araştırmacının farklı bitkilerden elde edilen nişasta ekstraktlarını incelediği, ancak çimen, portakal mesokarpı, psyllium kabuğu, şeker kamışı küspesi külü, Annona muricata ve Carica papaya gibi bazı yeni malzemelerin de kullanıldığı görülmektedir. Kayıp önleyici malzeme olarak bu yeni

malzemelerin denemeleri olumlu sonuçlar verdiğiinden, araştırmaların bu yönde devam ettiğini görölmektedir.

Araştırmacıların kayıp önleyici malzeme olarak test ettikleri malzemeye göre eğilimlerini incelendiğinde, araştırmaların %38' inin nişasta, %23' ünün kabuklar, %18' inin odun, %6 'sının kayıp önleyici malzeme kombinasyonunun, %3'ünün ise yalnızca bir araştırmacının denemeler yaptığı ve başarılı bulduğu çimen olduğu görölmektedir (Agwu ve Akpabio, 2018).

Nişasta, bozulması büyük bir dezavantaj olmasına rağmen, muhtemelen jelleşme özelliklerinden dolayı en çok çalışılan malzeme olmuştur. Nişastaların kaynakları, patates kabukları, manyok kabukları vb. gibi gıda atıkları olduğundan, gıdalarla rekabet etmediğinden, bunların olası kayıp önleyici malzeme olarak kullanımına ilişkin çalışmalar uygun bir dayanak noktasına sahiptir. Öte yandan, ahşabın araştırmalarda fazla ilgi görmemesinin en olası nedeni, çok sayıda uygulama alanının olması, emici, aşındırıcı, lif, izolatör gibi çeşitli başka amaçlarla kullanılması nedeniyle kolaylıkla elde edilememesi olabilir. Mısırın, manyok ve patatesin kuru kabukları yüksek nişasta içeriğı nedeniyle kayıp önleyici malzeme olarak kullanımları diğeri atık malzemelere kıyasla daha etkilidir.

Tablo 3.3a - Tablo 3.3c' den göröldüğü üzere, kayıp önleyici malzeme etkinliğinin incelendiğı çalışmalarda genel olarak sıvı kaybı ve kek kalınlığı olarak filtrasyon özellikleri ve çamurun reolojisi çalışılmıştır. Ancak çoğu çalışmada filtre kekinin özellikleri, mikroskobik yapısı ve elde edilen çamurların ekonomik analizine yer verilmemiştir. Bu alanlar filtre kaybı çalışmalarında oldukça önemlidir. Birincisi, filtre kekinin özellikleri sadece kalınlığıyla sınırlı olmayıp kek gözenekliliğı, geçirgenlik, kayganlık, doku vb. gibi parametrelere de bağılıdır.

Doku duruma göre sert, sert, sağılam, yumuşak veya lastiksi gibi tanımlamalar ile ifade edilsede de genellikle subjektif bir kavram olması nedeniyle değerlendirme dışı tutulmaktadır. Sahada formasyona en az zarar verecek sondaj çamurlarının seçimi çamur filtre kekinin karakterizasyonuna bağılıdır (Blkoo ve Fattah, 2013). Ancak literatürde bu alanda gözlenen boşluk büyük ihtimalle bu açıklamaları çevreleyen subjektifliğe bağlanabilir.

İkinci olarak, filtre keki analizinde, farklı katkı maddelerinin etkileri hakkında fikir vermesi açısından çamur keklerinin mikroskobik yapısı ve dokusu hakkında bilgi sahibi olmak önemlidir. Ayrıca, çamur mühendisine filtre kekinin kimyasal bileşimlerini niceliksel olarak belirleyebilme yeteneğı kazandıracaktır. Bu da çamur mühendisinin,

kayıp önleyici malzemenin etkili bir şekilde çalışmasını sağlamak için ne yapılması gerektiğini bilmesi ve çimentolama gibi işlemler yapılacağı zaman, keki etkili bir şekilde nasıl çıkarması gerektiği konusunda yararlı olacaktır (Bageri ve diğerleri, 2013). Çamur keklerinin mikroskopik yapısı ve dokusunun belirlenmesinde, x-ışını kırınımı, bilgisayarlı tomografi, taramalı elektron mikroskobu ve x-ışını floresansı kullanılabilir.

Kayıp önleyici malzeme olarak polimerlerin kullanıldığı çalışmalarda çamur keklerinin yapısı ve dokusu üzerine literatürde çok sayıda mikroskopik çalışma bulunmaktadır (Chenevert ve Huycke, 1991; Elkatatny ve diğerleri, 2011; Nasir-El-Din ve diğerleri, 2007; Overveldt ve diğerleri, 2012; Plank ve Gossen, 1991). Ancak selüloz içeren tarımsal atıkların kayıp önleyici olarak kullanımına ait çok az çalışma vardır.

Üçüncü olarak, belirli bir sondaj çamuru katkı maddesinin yerine kullanılacak alternatif bir malzemenin seçiminde, kimyasal ve fiziksel özelliklerinin değerlendirilmesinin ötesinde, bu alternatif malzemenin kullanımının ekonomik olması da zorunludur. Literatürde de görüldüğü gibi çoğu araştırmacı, ekonomik analizlerini dışarıda bırakarak yalnızca tarımsal atıkların fiziksel ve kimyasal özelliklerine odaklanmıştır. Bu konu da fiziksel testlerden sonra uygun olam malzemeler için yapılması gereken bir analizdir.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada sirkülasyon kaybını azaltmak için çeşitli tarımsal atıkların kayıp önleyici malzeme olarak kullanılabilirliği araştırıldı. Bu amaçla sondaj çamuruna farklı konsantrasyonlarda ve farklı tanecik büyüklüğünde çeşitli kuru yemiş kabukları ve tarımsal atıklarının ilave edilmesiyle fiziksel özelliklerinde meydana gelen değişim incelendi. Tarımsal atık olarak ay çekirdeği, ceviz, Siirt fıstığı, yer fıstığı, fındık gibi çeşitli kuruyemişlerin kabukları, buğday samanı, limon kabuğu ve kereviz sapı tozu kullanıldı.

Tarımsal atıkların kayıp önlemedeki performansını araştırmak amacıyla taşıyıcı sıvı olarak, su bazlı bir çamur olan ve kullanımı çok yaygın olan KCl çamuru kullanıldı. TPIC (Turkish Petroleum International Company)'den temin edilen çamur ile başlanan deneylere daha sonrasında aynı bileşimde laboratuvarda hazırlanan çamur ile devam edildi. Çalışılan malzemelerin sondaj çamuruna ilave edilmesiyle fiziksel özelliklerinde meydana gelen değişim, çamur ağırlığı, pH, filtrasyon özellikleri (sıvı kaybı, filtre keki) ve reolojik özellikleri (görünür viskozite, plastik viskozite, kopma noktası ve jel mukavemeti) ölçülerek belirlenmeye çalışıldı. Tüm deneyler oda sıcaklığında yürütüldü.

Deneyler Batman Üniversitesi Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Laboratuvarlarında gerçekleştirildi. Tüm cihazların kalibrasyonu TPIC 'den gelen saha ekibi tarafından kontrol edildi.

Çamur yoğunluğu , $\pm 0,1$ lb/gal veya $\pm 0,5$ lb/ft³ hassasiyete sahip çamur terazisi ile belirlendi.

Çamurun pH değerinin belirlenmesinde pH kâğıtları kullanıldı. Sondaj sıvılarında 8 ile 10 arasında olması gereken pH değerinin eklenen maddeler ile değişime uğrayıp uğramadığı belirlendi.

6 hızlı (600, 300, 200, 100, 6 ve 3 rpm) döner viskometre cihazı (Fann model 35 SA), görünür viskozite, plastik viskozite, kopma noktası ve jel mukavemetini belirlemek için kullanıldı. Görünür viskozite Formül 4.1'den, plastik viskozite Formül 4.2'den ve kopma noktası 600 ve 300 rpm okumaları kullanılarak Formül 4.3'den hesaplandı. Viskoziteler cP, kopma noktası ise lb/100 ft² biriminde elde edildi.

$$\text{Görünür Viskozite} = [600 \text{ rpm okuması}]/2 \quad (4.1)$$

$$\text{Plastik Viskozite} = [600 \text{ rpm okuması}] - [300 \text{ rpm okuması}] \quad (4.2)$$

$$\text{Kopma Noktası} = [300 \text{ rpm okuması}] - \text{Plastik Viskozite} \quad (4.3)$$

Jel mukavemetini ölçmek için, sondaj çamuru döner viskozimetrede 600 rpm de 10 saniye çalıştırıldıktan sonra 10 saniye hareketsiz bekletildi. Sonra cihaz 3 rpm 'de çalıştırılıp ölçülen maksimum jel kuvvetinin lbf/100ft² olarak kaydedilmesi ile belirlendi. Aynı işlem 10 dakika için de tekrarlandı bu sayede 10 saniye ve 10 dakika jel mukavemeti değerleri elde edildi.

Çamurun sıvı kaybı ve kek kalınlığı gibi filtrasyon özelliklerini belirlemek için düşük basınç düşük sıcaklık filtrasyon cihazı (OFİTE) kullanıldı. Sondaj sıvısı tanımlanmış basınçta 30 dakika süreyle süzölmeye bırakıldı. Süre sonunda süzöntü hacmi ve filtre kâğıdında biriken katı madde kalınlığı ölçüldü. Süzölen sıvı miktarı formasyonda kaybedilen sıvı miktarını gösterirken ve filtre kâğıdında oluşan kek ise geçirgen kuyu cidarında biriken kekin göreceli bir göstergesidir. Çok ince olan kek kalınlığı ise dijital kumpas ile belirlendi.

4.1. Kayıp Önleyici Malzeme Hazırlama Planı

Sondaj çamuruna kayıp önleyici malzeme ya kısmi kaçak ya da tam kaçak oluştuğu zaman ilave edilir. Çamur mühendisleri kaçak oluştuğu zaman saatte kaç varil sıvı kaybı olduğuna bakarak uygulama prosedürüne karar verirler.

Genelde sirkülasyon kaybı olunca önce eski çamura bazı kayıp önleyici malzemeler ilave edilir, kaçak önlenmediği zaman ise yeni bir çamur hazırlanır ve o çamura kayıp önleyici malzeme çamuru denir. Bu çalışmada önce büyük çatlaklı bir kuyu modeli oluşturularak, tam kaçak ve önüne geçilemeyen, miktarı azaltılamayan kaçak durumunda kullanılan kayıp önleyici malzeme çamurun çatlakları nasıl kapadığı deneysel olarak incelendi.

Kayıp önleyici olarak kullanacak ana katkı maddelerinin (XCD, mika, selüloz ve CaCO₃) farklı boyutları vardır ve kaçağa göre boyutlar seçilmektedir. Kaçağı durdurmak için farklı şekle sahip tapa malzemelerini karıştırıp kaçak bölgesine bırakılır. Tapanın çatlaklara geçmesi için 6-8 saat beklenir. Hazırlanan kompozisyon sirkülasyon kaybını önlemezse ince mika yerine kalın mika kullanılır veya CaCO₃ miktarı artırılır.

Ön çalışma olarak, 4 litre kaçak kompozisyonu için Tablo 4.1'deki kayıp önleyici malzemelerden oluşan çamur hazırlandı. Hammaddeler ve hazırlanışı Şekil 4.1' de görülmektedir. Laboratuvardaki hazırlanan kayıp önleyici malzeme çamuru ve yapılan kuyu örneği içine dökülen ve çoğu petrol şirketlerinin sıvı kaybı için kullandıkları çamurdur.

Tablo 4.1. Laboratuvarda hazırlanan kayıp önleyici malzeme çamuru

Kayıp önleyici malzeme bileşimi	ppb(lb/varil)	Hesaplama işlemi	Miktar
Su		$0.006 * \text{kaç litre} * \text{ppb} * 453.6$	4 litre
XCD	4 ppb	$0.006 * 4 * 4 * 453.6 = 43.5$	43.5 g
CaCO ₃	20 ppb	$0.006 * 4 * 20 * 453.6 = 217.7$	217.7 g
İnce Mika	20 ppb	$0.006 * 4 * 20 * 453.6 = 217.7$	217.7 g
Orta mika	10 ppb	$0.006 * 4 * 10 * 453.6 = 108.8$	108.8 g
Orta Selüloz	10 ppb	$0.006 * 4 * 10 * 453.6 = 108.8$	108.8 g



Şekil 4.1. Kayıp önleyici çamurun hammaddeleri ve hazırlanışı

Laboratuvarda, yanlarında gözenek ve çatlaklar bulunan örnek bir kuyu prototipi yapıldı. Sonra hazırlanan, su, mika, kalsiyum karbonat, selüloz ve XCD den oluşan bileşimi Tablo 4.1’de verilen, kayıp önleyici malzeme çamuru deliğe döküldü. Şekil 4.2’den görüldüğü üzere ve çamur gözenekleri ve çatlağı kapatacak şekilde birkaç saat

beklendi. Bu sayede tam kaçaklar kapanarak sonrasında sondaj akışkanının gönderileceği uygun ortam oluşturulmuş oldu.



Şekil 4.2. Kayıp önleyici malzeme çamuru kullanılan kuyu örneği

4.2. Kayıp Önleyici Olarak Kullanılan malzemeler

Çalışmanın ikinci bölümünde ise kaçak gözlemlendiğinde sondaj çamuruna ilk olarak kayıp önleyici malzeme olarak eklenen tarımsal atıklar ile kaçakların azaltılabilirliği araştırıldı. Kuru yemiş kabukları, limon kabuğu ve buğday samanı bilyalı değirmende öğütüldükten sonra 0.125 - 2 mm aralığında eleklerden oluşan elek setinde sınıflandırıldı ve Tablo 4.2’de görüldüğü gibi 4 farklı tanecik büyüklüğü elde edildi. Kereviz sapı tozu ise bir ticari marketten elde edildi. Şekil 4.3’de bilyalı değirmende öğütülen kabuklar, Şekil 4.4’de eleme işlemi sonrasında sınıflandırılan kabuklar görülmektedir. Bu malzemelerden 0,125 mm ve 0,250 mm büyüklüğünde olanlar kayıp önleyici olarak KCl çamuruna farklı miktarlarda eklendikten sonra fiziksel özellikleri belirlendi.

Katı madde kontrol felsefesinde önemli olan, matkabın kesip, çamurun yüzeye getirdiği sondaj kesintilerinin tekrar sisteme girmeden kontrol edilebilmesidir. Çünkü, bir kez sisteme giren katı madde, sirkülasyon sisteminde yer almaya devam ettiği süre

içerisinde daha da küçük boyutlu hale geleceğinden sistemden atılması güçleşir. Katı maddenin boyutu küçüldükçe, çamur özellikleri üzerindeki etkisi daha fazla olacağından sistemden atmak ve çamur özellikleri üzerindeki etkisini kontrol etmek güçleşeceğinden çamur içerisinde yer alan katı madde boyut dağılımı önemlidir.



Şekil 4.3. Öğütülen kuruyemiş kabukları tarımsal atıklar

Tablo 4.2. Atık malzemelerin tanecik büyüklükleri

Atık malzeme	Kategori	Tanecik büyüklüğü mm
Ceviz kabuğu	Çok ince	0,125
Ay çekirdeği kabuğu	İnce	0,250
Siirt fıstık kabuğu		
Yer fıstığı kabuğu	Orta	1
Limon kabuğu	Kalın	2
Buğday samanı		
Fındık kabuğu		



Yer fıstığı kabuğu

Ceviz kabuğu



Siyah çekirdek kabuğu

Şekil 4.4. Öğütülen kabukların tanecik büyüklük dağılımı

4.3. KCl Çamuru

Bu çalışmada 2 tür KCl çamuru kullanıldı:

- TPIC şirketinden alınan KCl çamur
- Laboratuvarda hazırlanan KCl çamur

KCl çamuru, özellikle şeyl ve kil içerikli formasyonların sondajında kullanılan ve klasik (lignosülfanat, bentonitli çamur gibi) su bazlı çamurlara göre pahalı ve karmaşık ancak kullanımı çok yaygın bir su bazlı çamurdur. Deneylere TPIC şirketinden alınan, kuyuya basılmak için hazırlanmış, çamurla başlandı ancak sonrasında laboratuvarında hazırlanan çamurla devam edildi. TPIC'den alınan çamurun bileşimi Tablo 4.3' de verilmiştir. Tüm fiziksel özellikler oda şartlarında yapıldı.

Tablo 4.3. TPIC' den alınan KCl çamurun bileşimi

Çamur bileşimi	ppb
Soda külü	2,54
NaOH	1,25
KCl	3,6
Nişasta	5,34
XCD	0,82
PAC-LV	4,03
NaCl	50,93
CaCO ₃	7,19
Barit	11,68
CMC LV	0,3
Diğer (Glikol Penetrex, H ₂ S Scavenger, biosid, Spot sıvısı)	% 0,7935

KCl çamurunu hazırlamak için eklenecek bileşenlerin miktarı aşağıdaki dönüşüm kullanılarak belirlendi.

$$varil \times kompozisyon (ppb) \times 0.4536 \text{ kg} = varil/kg \text{ eklenir} \quad (4.4)$$

Laboratuvarında milli litre ve g cinsinden ölçüm yapıldığı için varil ve kg birimleri mili litre ve g birimlerine dönüştürüldü.

$$1 \text{ varil} = 159 \text{ litre} \text{ ise ve } 1 \text{ Litre} = 1000 \text{ milli litre}$$

$$\text{O zaman } 1000 \text{ milli litre} = 0.006 \text{ varil} \quad 500 \text{ milli litre için} = 0.003 \text{ varil}$$

$$\text{Ve } 0.4536 \text{ kg} = 453.6 \text{ g olacaktır}$$

$$1000 \text{ mL} \times \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}} \times \frac{1 \text{ varil}}{159 \text{ L}} = 0.006 \text{ varil} \quad (4.5)$$

$$mili \text{ Litre} \times kompozisyon (ppb) \times 453.6 \text{ g} = \text{mL/g eklenir}$$

Örneğin 1000 ml çamur için eklenecek soda külü miktarı bulunmak istensin. Soda külünün çamurdaki bileşimi 0.5 ppb olacaktır.

$$1000 \text{ mL} = 0.006 \text{ varil} \text{ böylece eklenecek soda külü miktarı}$$

$$0.006 \times 0.5 (ppb) \text{ soda külü} \times 453.6 \text{ g} = 1.36 \text{ gram olarak bulunur.} \quad (4.6)$$

Tablo 4.4’de TPIC’den alınan çamurla uygunluk gösterecek şekilde laboratuvarda hazırlanan KCl çamurunun bileşimi aşağıda verilmiştir. Eğer ağırlık yetmiyorsa barit eklenebilirdi ama bu çalışmada eklenmedi.

Çamur hazırlanırken önce 1 Litre su alınıp karıştırılmaya başlandı bu aşamada yavaşça diğer maddeler eklendi. Maddelerin eklenmesi sırasında karıştırıcı açık tutuldu ve tüm maddeler ekledikten sonra iyice karıştığını görüldüğü zaman karıştırıcıyı kapatıp ve testler yapıldı.

Tablo 4.4. Laboratuvarda hazırlanan KCl çamurun bileşimi

Bileşen	Miktar
Su	1000 mL
Soda külü	1,5 g
NaOH	1,5 g
KCl	88 g
Nişasta	13,6 g
XCD	1,5 g
PAC-LV	8 g
NaCl	140 g
CaCO ₃	27 g
Barit	0 g

Deneylerde aşağıdaki çalışma planı uygulandı.

a) Madde miktarının etkisi: TPIC çamurunun 500 mL ‘sinde 5 g, 7,5 g ve 10 g olacak şekilde, 0,125 mm büyüklüğünde sitah çekirdek kabuğu, ceviz kabuğu ve Siirt fıstığı kabuklarının eklenmesiyle çalışıldı.

b) Farklı Malzeme etkisi: Laboratuvarda hazırlanan çamurun 500 mL’ sine 0,250 mm büyüklüğündeki tüm malzemelerden 7,5 g eklenmesi ile çalışıldı.

c) Tanecik büyüklüğünün etkisi: Laboratuvarda hazırlanan çamurun 500 mL’ sine 0,125 mm ve 0,250 mm çapındaki yer fıstığı kabuklarının 5 g, 7,5 g ve 10 g eklenmesiyle çalışıldı.

d) XCD ve nişasta etkisi: Jelleşme özelliği gösteren malzemelerin etkisini incelemek amacıyla laboratuvarda 3 tip çamur hazırlandı.

- İçerisinde XCD ve nişasta olmayan çamur
- İçerisinde nişasta olmayıp 1,5 g XCD içeren çamur
- Klasik KCl çamuru (1,5 g XCD ve 13,6 g Nişasta)

Bu üç çamurun içerisine 0,125 mm çapında yer fıstığı kabuklarından 5 g, 7,5 g ve 10 g eklendikten sonra fiziksel özellikleri incelendi.

e) XCD miktarının etkisi: Laboratuvarında hazırlanan ve içerisinde XCD bulunmayan ancak 10 g 0,125 mm çapında yer fıstığı kabuğu bulunan çamura 1,2,3 g XCD eklenmesiyle çalışıldı.

f) Nişasta miktarının etkisi: Laboratuvarında hazırlanan, içerisinde nişasta olmayan ancak 1,5 g XCD ve 0,125 mm çapında 10 g yer fıstığı kabuğu bulunan çamura 6, 12 ve 18 g nişasta eklenmesiyle çalışıldı.

g) Pektin miktarının etkisi: Laboratuvarında hazırlanan içerisinde 7,5 g 0,125 mm çapında Siirt fıstığı kabuğu bulunan KCl çamurunun 500 mL'sine 1g, 1,5 g ve 2 g pektin ilave edilerek fiziksel özelliklere etkisi araştırıldı.



5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

5.1. Madde Miktarının Etkisi

TPIC (Turkish Petroleum International Company)' den alınan çamurun fiziksel özellikleri (çamur yoğunluğu, pH, reolojik ve filtrasyon özellikleri) Tablo 5.1' de görülmektedir. Bileşimi verilen çamur aktif olarak sondaj işlemlerinde kullanılan bir çamur olduğu için tüm değerleri ideal aralıktadır.

TPIC 'ten alınan ve bileşimi Tablo 5.1'de verilen KCl çamuruna, 0,125 mm tanecik büyüklüğünde siyah çekirdek kabuğu, ceviz kabuğu ve Siirt fıstığı kabuğu eklendikten sonra çamurun fiziksel özelliklerindeki değişimler ile kayıp önleyici malzeme olarak kullanılabilme özellikleri incelendi.

Viskozite genel olarak akışa karşı gösterilen direnç olarak tanımlanır. Görünür viskozite belirli bir kuvvet altındaki sıvının viskozitesidir. Plastik viskozite esas olarak katılar ve sıvı arasındaki sürtünmeye bağlıdır. Plastik viskozite aynı zamanda matkap ucunda karşılaşılan yüksek kesme hızı viskozitelerini de temsil etmektedir.

Çamur viskozitesinin optimum değerde tutulması kuyu stabilitesini ve sıvı kaybı kontrolünü sağlamak için önemlidir. İnce çamur, ucu temizleme ve delme hızını optimize etme konusunda tercih edilmesine rağmen delikten kaba çakılı çıkarmak için de kalın çamurlara ihtiyaç vardır.

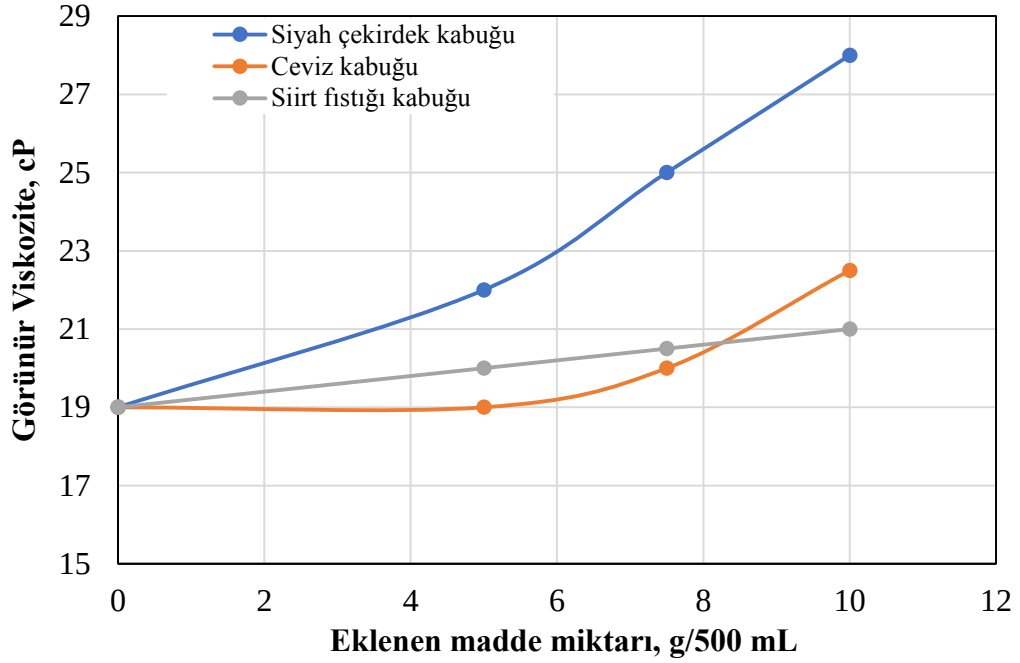
Kopma noktası ise sıvıyı harekete geçiren kuvvettir. Yüksek kopma noktasına sahip sondaj çamuru kullanmak yüksek sirkülasyon basıncına yol açar. Ayrıca kopma noktası çamurun kuyu temizleme kapasitesini de gösterir.

Viskozite ve kopma noktası değerlerinin statik durumda optimum tutulması, çamurdaki kırıntıları askıda tutmada oldukça fayda sağlamaktadır. Ancak sondaja devam edilirken yüksek pompa gücü gerektirdiğinden ve sondaj ilerleme hızını düşürdüğünden dolayı bu özelliklerin uygun değerlerde tutulması önem arz etmektedir.

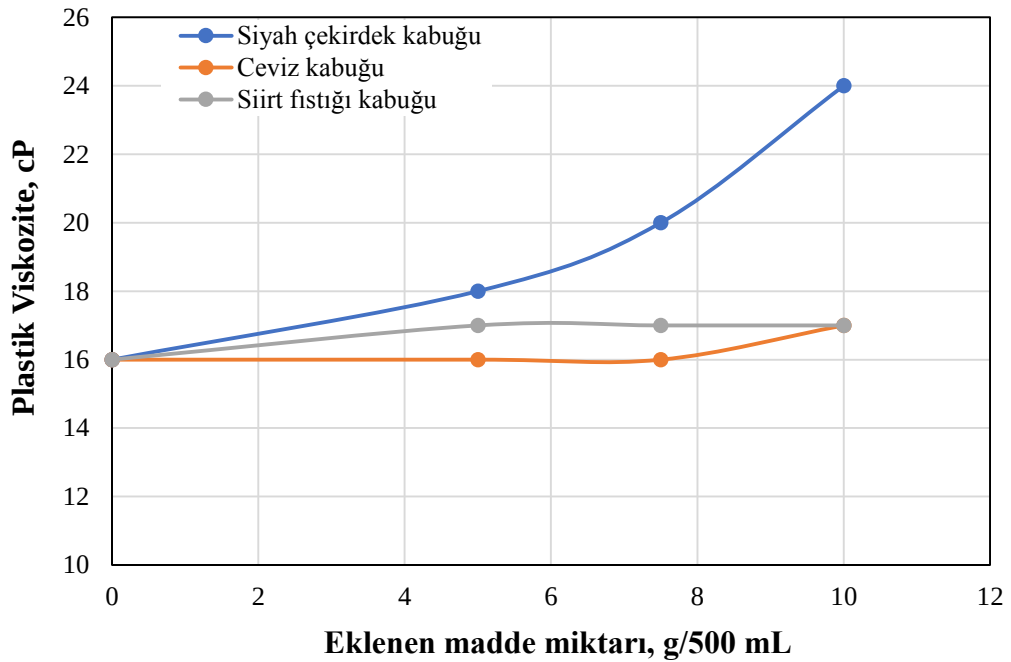
Tablo 5.1. TPIC'den temin edilen KCl çamurunun fiziksel özellikleri

Özellik	Değer	Özellik	Değer
Çamur yoğunluğu, lb/ft ³	76	Jel Mukavemeti(10s), lb _f /100 ft ²	2
Görünür viskozite, cP	19	Jel Mukavemeti(10dk), lb _f /100 ft ²	3
Plastik viskozite, cP	16	Kek kalınlığı, mm	0,5
Kopma noktası, lb _f /100ft ²	6	Sıvı kaybı, mL	4
		pH	10

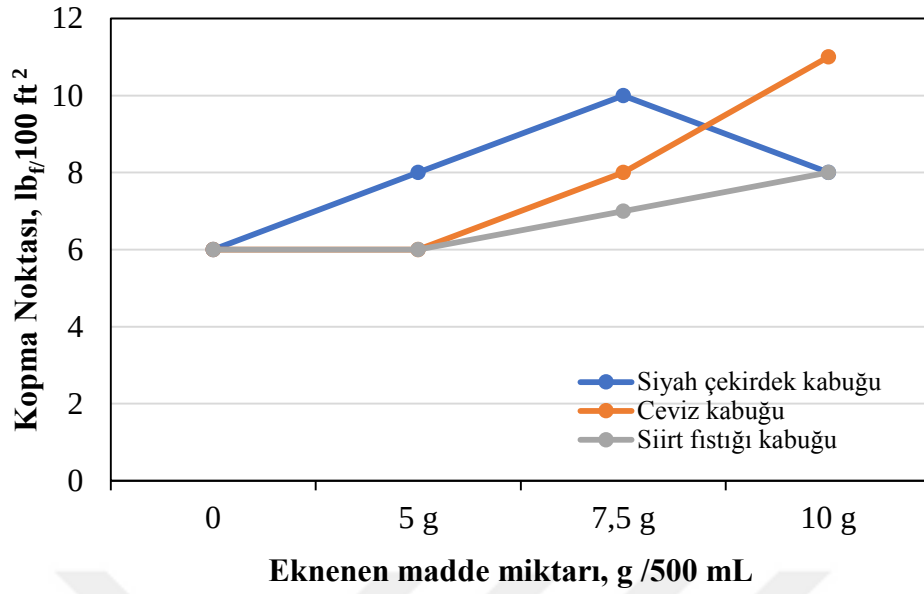
Çamurun her 500 mL 'sine 0,125 mm çaplı siyah çekirdek, ceviz ve Siirt fıstığı kabuklarının sırasıyla 5 g, 7,5 g ve 10 g eklenmesiyle elde edilen çamurun reolojik ve filtrasyon özellikleri incelendi. Reolojik özellikler olarak Şekil 5.1'de görünür viskozite, Şekil 5.2'de plastik viskozite, Şekil 5.3'te kopma noktası değerleri görülmektedir.



Şekil 5.1. KCl çamuruna eklenen kayıp önleyici malzeme madde miktarının görünür viskoziteye etkisi



Şekil 5.2. KCl çamuruna eklenen kayıp önleyici malzeme madde miktarının plastik viskoziteye etkisi



Şekil 5.3. KCl çamuruna eklenen kayıp önleyici malzeme madde miktarının kopma noktasına etkisi

Şekil 5.1, 5.2 ve 5.3’de görüldüğü gibi genel olarak çamura ilave edilen kayıp önleyici malzeme miktarı arttıkça; görünür viskozite, plastik viskozite ve kopma noktası artmaktadır. Viskoziteleri en çok etkileyen siyah çekirdek kabuğudur ve genel olarak madde miktarındaki artış ile viskozite değerlerinde eksponansiyel bir artış gözlenmektedir. Viskozite değerleri Siirt fıstığı kabuğunda eklenen madde miktarıyla önemsiz bir artış gösterirken ceviz kabuğunda görünür viskozitedeki artışın 5 g’dan, plastik viskozitede ise 7,5 g’dan sonra başladığı görülmektedir.

Plastik viskozitenin madde miktarına bağlı olarak artması kuyu içerisine ilerleme hızını (penetrasyon) zorlaştıracaktır. Fakat kırıntıları yüzeye çıkarmak için avantaj sağlayacaktır. Yüksek viskoziteye sahip çamurlarda sürtünme kuvvetinden dolayı pompa gücünü arttırmak gerektiğinden, verimlilik ve ekonomik açıdan olumsuz etkiler doğacaktır. API standartlarına göre optimal bir sondaj operasyonunda sondaj çamurunun görünür viskozitesinin min 12-15 cP aralığında plastik viskozitenin ise minimum 6-8 cP aralığında olması gerektiği için çalışmada belirlenen viskozite ve görünür viskozite değerleri standartlara uygundur (API SPEC 13A, 2010) .

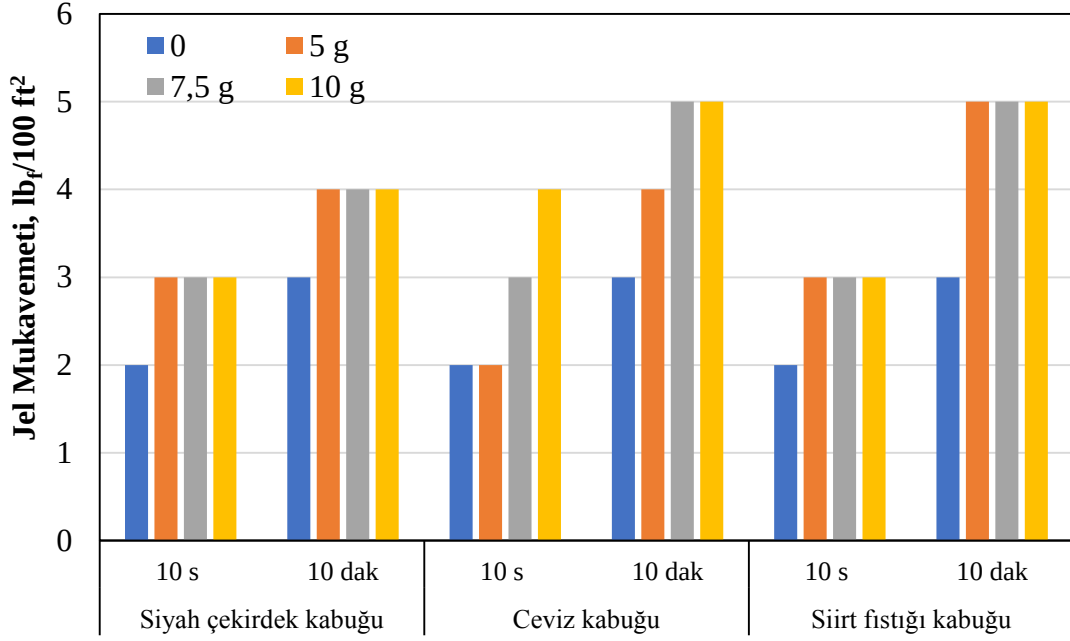
Yine API standartlarına göre kopma noktasının sayısal değeri plastik viskozitenin maksimum yaklaşık üç katı kadar olmalı veya 50 lbf/100 ft² değerinden büyük olmamalıdır. Bu değerler ile mukayese edildiğinde sondaj çamuruna eklenen atık malzemelerin miktarının artması kopma noktasını artırmıştır ama bu artış kabul edilebilir bölgededir.

Bir sondaj akışkanının, akışın kesilmesinden sonra parçacıkları süspansiyon halinde tutabilme kapasitesinin ölçüsüne, jel mukavemeti denilmektedir. Jel mukavemeti aynı zamanda statik koşullar altında sıvı içindeki elektrokimyasal kuvvetlerin de ölçüsüdür. Çamur hareketsiz bırakıldıktan 10 saniye ve 10 dakika sonra ölçülerek ilgili zamanlara ait jel mukavemeti olarak kaydedilir. Çamur tipine ve bileşimine bağlı olarak 10 saniye ve 10 dakika jelleri farklı davranış sergilemektedir ve aralarındaki farka göre sınıflandırılmaktadır (TP, 2007). 10 saniye ve 10 dakika jelleri, birbirine yakın ve çok küçük olup 1/1,2/2, 2/3 gibi değerler alır ve kırılğan jel olarak isimlendirilir. Bu jel mukavemetine sahip çamurlar sondaj kırıntılarını, kesinti parçalarını iyi bir şekilde askıda tutulamaz. 10 saniye jeli düşük veya orta değerlerde seyrederken 10 dakika jeli hızla yükselen değerler alması (örneğin 3/20, 7/32 ve 10/58 gibi oranlara ulaştığında) artan jel olarak isimlendirilir. Artan jel, sahip olduğu riskler nedeniyle istenmeyen bir jel tipidir. Yüksek basınç değişimlerine neden olabilir, hareketsiz dönemden sonra tekrar sirkülasyon başlatılmak istendiğinde yüksek pompalama basınçlarına ihtiyaç duyabilir. Bu durum zayıf formasyonların çatlatılması riskini yükseltebilir. 10 saniye jeli ve 10 dakika jelinin düşük veya orta büyüklükte olduğu çamurlar, 2/4, 3/6, 4/8, 5/10 gibi değerlere sahip olup, herhangi bir sorun yaratmadan kesintileri iyi şekilde askıda tutabilme becerisine sahiptirler. Bunların dışında 10 saniye ve 10 dakika jel değerlerinin 13/15, 20/21, 30/32 gibi değerler aldığı jeller düz jel olarak tanımlanır, bu jeller çok yüksek jel mukavemetine ulaşmadığı sürece uygun bir jel tipidir. (TP, 2007).

KCl çamuruna farklı miktarlarda siyah çekirdek kabuğu, ceviz kabuğu ve Siirt fıstığı kabuğu eklenerek okunan 10 s ve 10 dakika için jel mukavemeti değerleri Şekil 5.4' de verilmiştir.

Şekil 5.4 incelendiğinde eklenen kuru yemiş kabuklarının miktarındaki artış ile jel mukavemeti bir miktar artmaktadır. Malzemeler mukayese edildiğinde ceviz kabuğunun madde miktarındaki artışla jel mukavemetinin daha belirgin bir şekilde arttığı görülmektedir. Siirt fıstığı ilavesinin jel mukavemetini özellikle 10 dakika jeline daha fazla artırdığı, ancak madde miktarındaki artışdan bağımsız olduğu ve 5 g eklenmesinin yeterli olduğu görülmektedir. Siyah çekirdeğin ise jel mukavemeti üzerine madde miktarından bağımsız az bir etkisinin olduğu görülmektedir.

Kuruyemiş kabuğu ilave edilmesi genel olarak jel mukavemetini artırmaktadır. Bu artış kesintiler yönünde değerlendirildiğinde oluşan jel mukavemeti değerleri, kesintilerin askıda tutabilme özelliğinin gelişeceğini göstermektedir.



Eklenen madde ve miktarı, g/500 mL

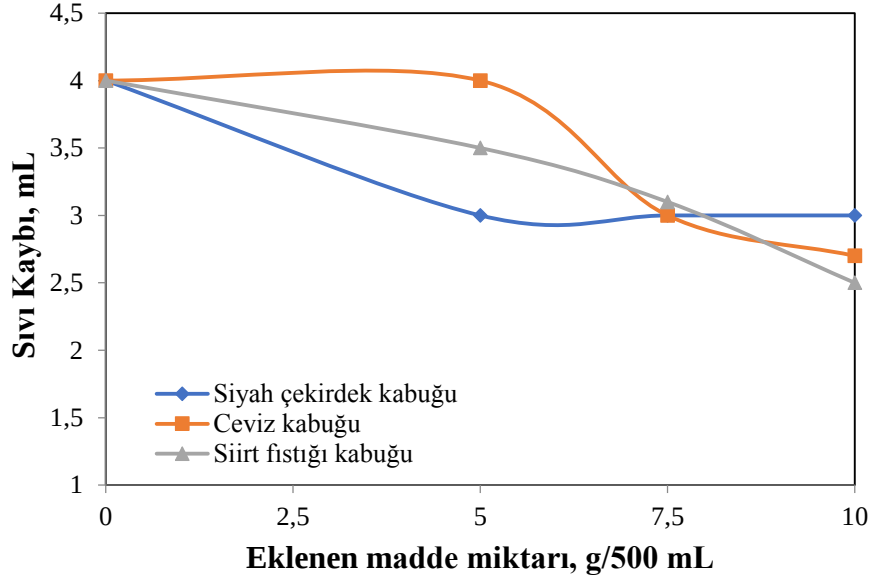
Şekil 5.4. KCl çamuruna eklenen kayıp önleyici malzeme madde miktarının jel mukavemeti üzerine etkisi

Filtrasyon yeteneği, çamurdaki katıların kuyu duvarlarında birikmesiyle formasyondaki sıvı kaybını azaltılmasının bir ölçüsünü ifade etmektedir. Sondaj işlemleri sırasında sondaj sıvısı, delik içinde formasyona göre daha büyük olan hidrostatik basınç nedeniyle sondaj deliğinden formasyona doğru hareket eder. Sondaj sıvısı akışı meydana geldikçe, sondaj sıvısı katıları sondaj deliğinin duvarlarında birikir ve filtre keki adı verilen su geçişini nisbeten azaltan bir tabaka oluşur. İdeal olarak, filtre kekinin belli bir kalınlığı aşmaması ve bariyer direncinin yüksek olması istenir. Filtre kekinin kalınlığı genellikle formasyonun geçirgenliğinin bir fonksiyonu olarak düşünülür.

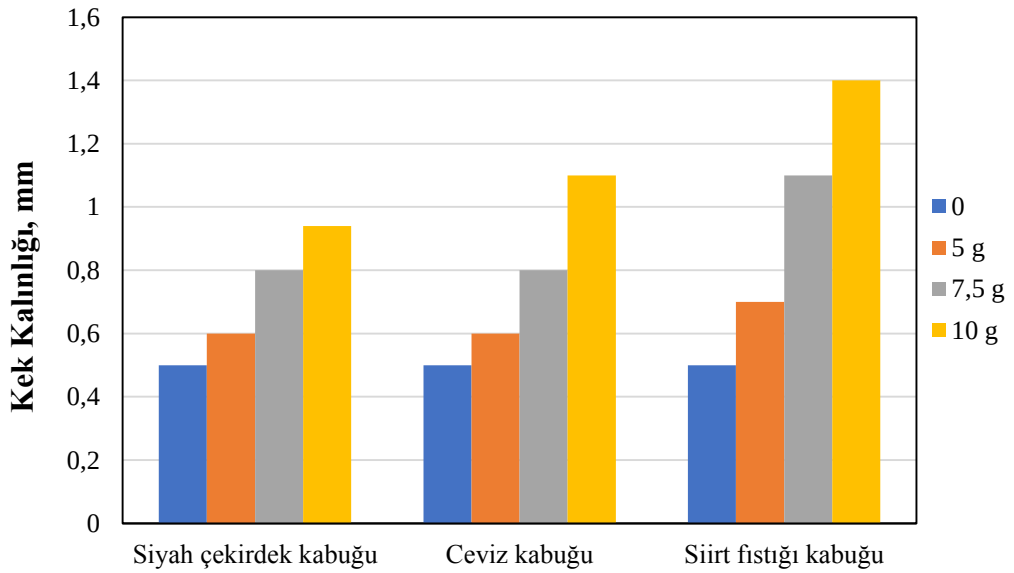
KCl çamuruna eklenen siyah çekirdek kabuğu, ceviz kabuğu ve Siirt fıstığı kabuğu miktarının çamurun filtrasyon özelliklerine etkisi sıvı kaybı olarak Şekil 5.5’de, kek kalınlığı olarak Şekil 5.6’da verilmiştir.

Şekil 5.5’de görüldüğü, gibi eklenen malzemenin miktarının artmasıyla sıvı kaybı azalmaktadır. Bu istenen bir durumdur. Atık olarak değerlendirilen kuru yemiş kabuklarının iyi nitelikteki bir sondaj çamuruna ilave edilmesiyle filtrasyon özelliklerine artı özellik kazandırması önemli bir bulgudur. İlave edilen Siirt fıstığı kabuğu miktarındaki artışla sıvı kaybında düzenli bir azalma gerçekleşirken, siyah çekirdek kabuğu eklenmesi (5g) ile sıvı kaybında önemli düşüş gözlenmiş ancak madde

miktarındaki değişim ile bu düşüş devam etmemiştir. Ceviz kabuğu 5 g ilave edildiğinde sıvı kaybını etkilememiş 7,5 ve 10 g ilave edildiğinde sıvı kaybında belirgin bir azalmaya sebep olmuştur.



Şekil 5. 5. Farklı Miktarlarda ceviz kabuğu, siyah çekirdek kabuğu ve Siirt fıstığı kabuğu ekledikten sonraki su kayıpları



Şekil 5.6. Farklı Miktarlarda ceviz kabuğu, siyah çekirdek kabuğu ve Siirt fıstığı kabuğu ilavesi ile oluşan filtre keki kalınlıkları

Şekil 5.6’ da filtrasyon sonucu elde edilen kek kalınlıkları incelendiğinde tüm malzemelerde madde miktarındaki artışla beklendiği gibi artış gerçekleşmektedir. En kalın filtre keki Siirt fıstığı ile elde edilmiştir. Siirt Fıstığından 5 g eklemek bile kek kalınlığında % 40 artışa neden olmuştur.

API standartları gereği, sondaj operasyonlarında kek kalınlığının 1-2 mm civarında veya maksimum 4 mm olması istenir. Kek kalınlığının fazla olması maliyet, stabilite zorluğu ve sondaj ekipmanlarının sıkışmasına neden olabildiği için istenmeyen bir durumdur. Siirt fıstığı kabuğunun 10 g eklenmesi ile elde edilen 1,4 mm kek kalınlığı bile üst sınırların çok altına kaldığı için uygundur. Kayıp önleyici malzeme ekleme ile sıvı kaybını azaltmak amaçlanırken beraberinde ince ve geçirimsiz bir kek oluşması da istenmektedir.

Filtrasyon işlemi sonunda oluşan keklerin fotoğrafları Şekil 5.7’de verilmiştir. Elde edilen kekler TPIC’ ten gelen çamura ilgili malzemelerin 7,5 g eklenmesi sonucunda oluşan keklerdir.



Şekil 5.7. Ceviz kabuğu, siyah çekirdek kabuğu ve siirt fıstık kabuğu ekledikten sonraki kek kalınlıkları

5.2. Farklı Çamur Etkisi

İlk bölüm deneylerden sonra laboratuvarında hazırlanan çamurlar ile deneylere devam edildi. Farklı özellik gösteren bu çamurlara 0,125 mm çaplı Siirt fıstığından 7,5 g/500 mL eklenmesi ile ölçülen fiziksel özellikleri Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2. TPIC’den alınan ve laboratuvarıda hazırlanan KCl çamurlarının oda sıcaklığındaki fiziksel özellikleri (0,125 mm çaplı Siirt fıstığından 7,5 g/500 mL)

Çamurun fiziksel özellikleri	TPIC’den alınan KCl	Laboratuvarıda hazırlanan KCl
Çamur yoğunluğu, lb/ft ³	77	72
Görünür viskozite, cP	20,5	25
Plastik viskozite, cP	17	20
Kopma noktası, lb _f /100ft ²	7	10
Jel Mukavemeti(10s), lb _f /100 ft ²	3	4
Jel Mukavemeti (10dk), lb _f /100 ft ²	5	5
Kek kalınlığı, mm	1,1	0,8
Sıvı kaybı, mL	3,1	4
pH	10	9

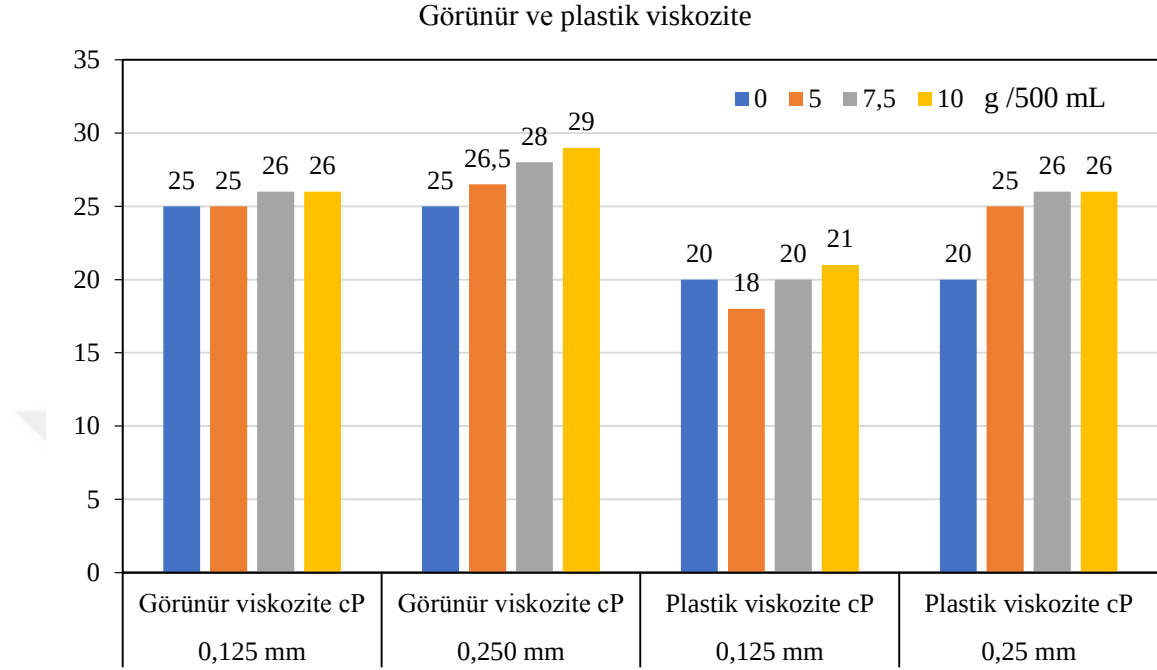
Laboratuvarıda hazırlanan çamurun daha yüksek viskozite ve kopma noktası gösterdiği, jel mukavemetinin birbirine yakın olduğu, sıvı kaybının TPIC’den gelen çamura kıyasla biraz daha yüksek, kek kalınlığının ise biraz daha düşük olduğu Tablo 5.2’de görülmektedir.

5.3. Tanecik Büyüklüğünün Etkisi

Laboratuvarıda hazırlanan KCl çamuruna 0,125 mm ve 0,250 mm çapındaki öğütülmüş yer fıstığı kabuklarının 500 mL çamura 5 g, 7,5 g ve 10 g olacak şekilde ilave edilmesiyle tanecik büyüklüğünün etkisi çalışıldı. Reolojik özellikler; Şekil 5.8’de görünür viskozite ve plastik viskozitenin, Şekil 5.9’de jel mukavemetinin, Şekil 5.10’de ise kopma noktasının değişimi olarak incelendi.

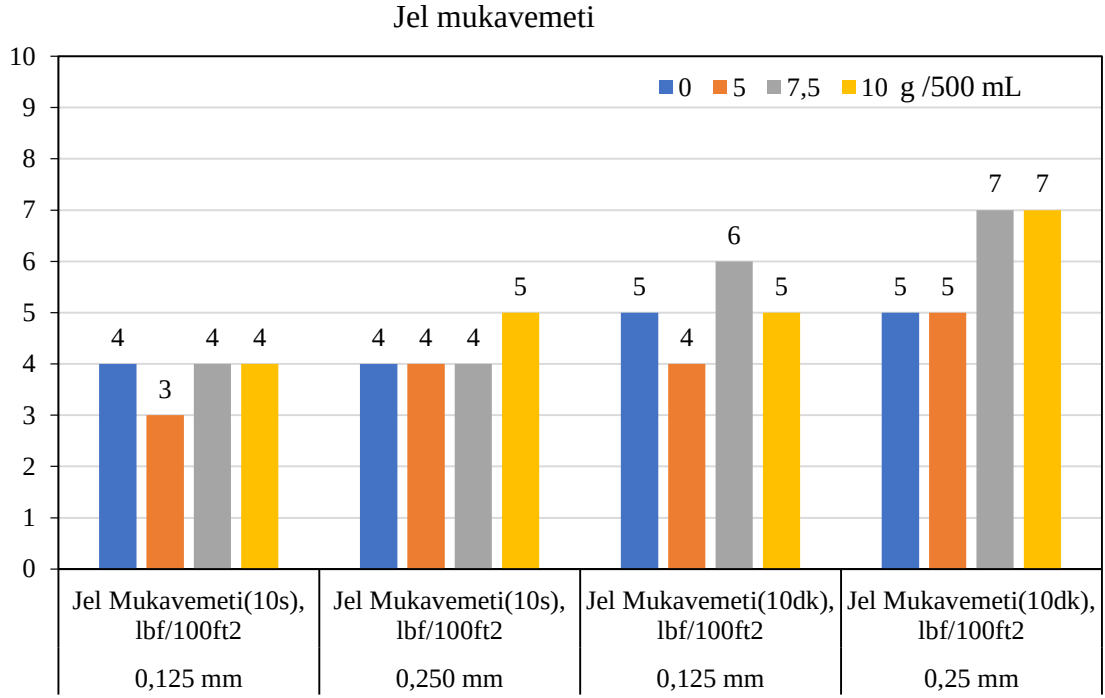
Şekil 5.8’den görüldüğü üzere, 0,125 mm çaplı malzemelerde madde miktarındaki artış ile görünür viskozitede çok az bir değişim olurken 0,250 mm çaplı malzemeler kullanıldığında görünür viskozite ayırt edilir ölçüde yükselmiştir. 0,125 mm çaplı tanecikler Plastik viskozite üzerinde önemli bir etki yaratmazken 0,250 mm çaplı tanecikler madde miktarından bağımsız plastik viskoziteyi artırmıştır. Tane boyutunun artması yerçekimi etkisi ile taneleri çökmeye zorlayan kuvvetin artmasına neden olur. Küçük boyutlu tanecikler çamur içerisinde homojen bir dağılımda kararlı olarak bulunurken, büyük çaplı tanecikler yatayda alt cidara, dikeyde ise tabana doğru daha büyük bir kuvvet ile çökme eğiliminde olur. Çökme esnasında taneler arası etkileşim ve belli bir zamanda tanelerin çökerek birikme eğilimi akamaya karşı ek bir direnç

oluşturabilir. Bu yüzden kullanılan tane boyutunun API standartlarına uygun çamur özellikleri verecek şekilde seçilmesi gerekir.



Şekil 5.8. Kayıp önleyici malzemenin tanecik boyutunun çamur viskozitesine etkisi

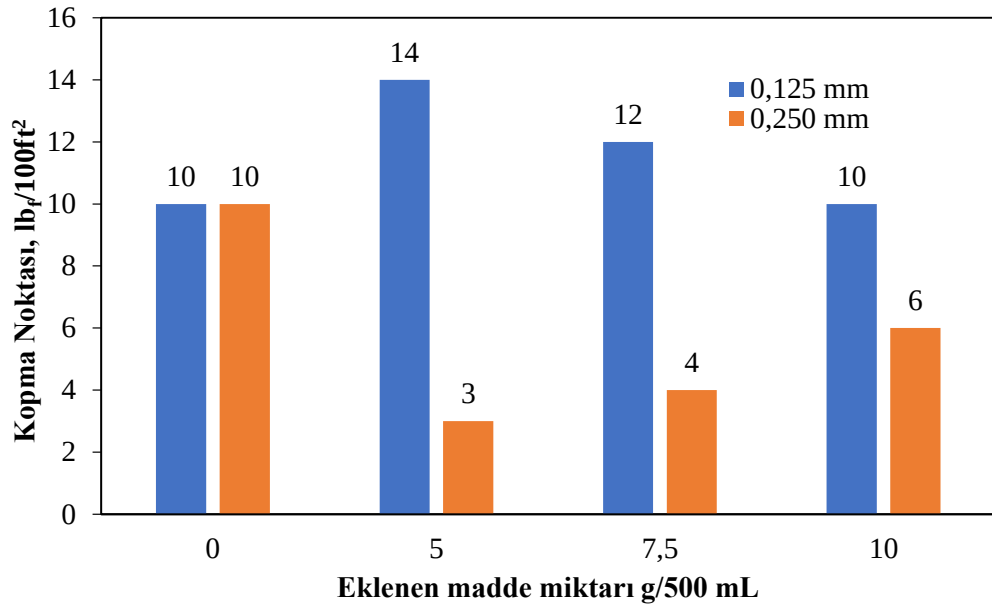
Genellikle pompalama zorluğundan dolayı sondaj sıvılarında plastik viskozitenin yüksek olması tercih edilmez. Ancak hidrostatik basıncı iyileştirmek için sondaj sıvısının uygun yoğunluğa sahip olması gerekir. Buna göre, çamur viskozitesinin düşük olması, çamur yoğunluğunun da düşük olmasına ve bu hidrostatik basıncının da düşük olmasına neden olur ki, bu her zaman istenen bir durum değildir. Bu nedenle, güvenli sondaj operasyonları için tüm çalışma koşulları ve çamurun gerekli özellikleri dikkate alınarak optimum bir plastik viskozite değeri elde edilmelidir (Piroozian ve diğerleri, 2012). Deneylerle elde edilen viskozite değerleri API standartlarının kabul sınırları içindedir (API SPEC 13A, 2010).



Şekil 5.9. Kayıp önleyici malzemenin tanecik boyutunun jel mukavemetine etkisi

Tanecik büyüklüğünün 10 s de jel mukavemeti üzerine bariz bir etkisi görülmemiştir. 10 dakika da jel mukavemetinde ise düzenli olmamakla birlikte bir miktar artış olmuştur (Şekil 5.9). Tanecik büyüklüğüne bağlı olarak 10 s ve 10 dakika jel mukavemeti değerlerinin birbirine yakın olması, iyi bir jel oluşturduğu (TP, 2007), herhangi bir sorun yaratmadan kesintileri iyi şekilde askıda tutacak çamur özelliği gösterdiğini düşündürmektedir.

Şekil 5.10'da eklenen malzemenin çapının artmasıyla farklı yönelimler görülmektedir. Kayıp önleyici olarak eklenen yerfıstığı kabuklarının 0,125 mm çaplı olanları kopma noktasını yükseltmekle birlikte asıl artış düşük madde miktarlarında gerçekleşmiştir. Madde miktarındaki artış ile kopma noktası eski haline gelme eğilimi göstermiştir. Yerfıstığı kabuklarının çapı yükseldikçe (0,25 mm) kopma noktasının ciddi düştüğü ve bu düşüşün madde miktarının artmasıyla yeniden yükselmeye başladığı Şekil 5.10'da görülmektedir.



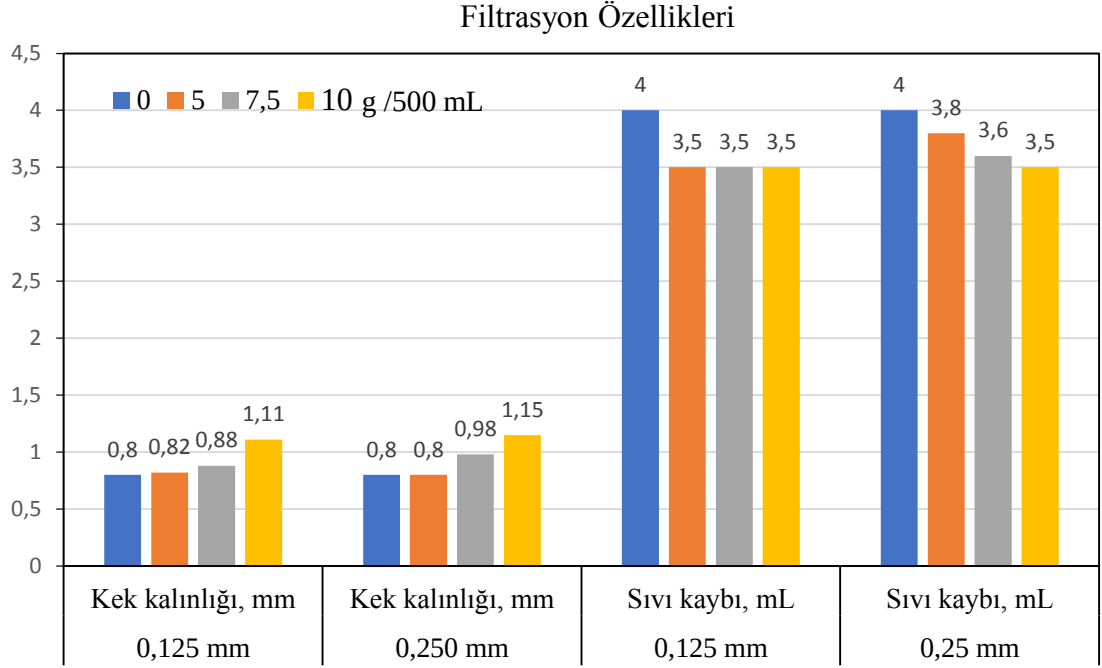
Şekil 5.10. Kayıp önleyici malzemenin tanecik boyutunun kopma noktasına etkisi

Tane boyutu 0.125 mm değerinde kontrol örneğine göre daha büyük kopma noktası, 0.250 mm de ise kontrol örneğine göre daha düşük kopma noktasının olması tane boyutunun kopma noktası üzerinde önemli bir parametre olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum tane boyutu ayarlanarak kopma noktasının ayarlanabileceğini göstermektedir. Belli bir tane boyutuna kadar çamur bileşenlerinin, ilave edilen katkı maddesini iç faza alması çamur bileşenleri arası etkileşimin yükselmesi ve yapışkan bir çamurun oluşmasına, tane boyutu arttıkça çamur bileşenleri arasındaki etkileşimin azalıp yapışma özelliğinin düşmüş olabileceğini göstermektedir.

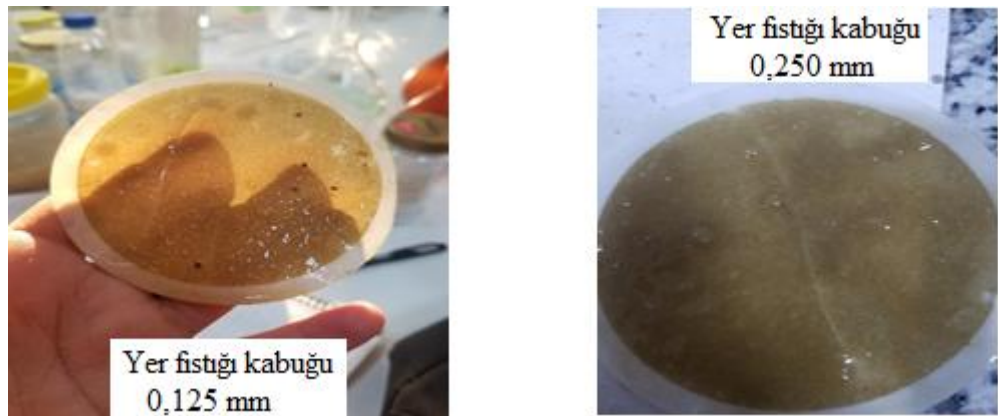
Kopma noktası, sondaj çamurunun delinmiş kesimi kuyu deliğinden yüzeye doğru kaldırma yeteneğinin bir ölçüsüdür. Sondaj çamurunun kesme kaldırma verimliliği kopma noktasının artmasıyla daha da yükselir. Ayrıca sondaj işlemi sırasında kopma noktasının çalışma aralığı dışında olması swabı ve basınç dalgalanmalarını artırabilir.

Filtrasyon özellikleri Şekil 5.11’de oluşan keklerin fotoğrafları Şekil 5.12 ‘da verilmiştir. Şekil 5.11’den görüldüğü üzere yerfıstığı kabuğunun tane büyüklüğündeki artış ile gerek sıvı kaybı gerekse kek kalınlığında önemli bir değişim olmadığı söylenebilir. Hem sıvı kaybı hem de kek kalınlığı yönünden değerlerin oldukça yakın olması, filtrasyon testlerinden düşük miktarda sondaj çamuru ile yapılan işlemlerde katkı maddesi etkisinin tam olarak ortaya konulamayacağını, sıvı kaybı önleyici maddelere yönelik çalışmaların farklı gözenekliliğe sahip formasyon koşulları oluşturularak yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Sıvı kaybının azalması ilave edilen katkıların

ıslanma ve rehidrasyona uğrayarak az miktarda sıvıyı kendi yapılarına almış olabileceğini göstermektedir. Her iki tane boyutunda eşit miktarda ilave edildiğinde küçük tanelerin daha büyük bir yüzeyden rehidrasyona açık olması ve ıslanabilir yüzeyin artması tanelerin sıvıyı kendi bünyelerine almaları sonucunda süzüntü hacminde kısmi azalma gerçekleşmiş olabilir.



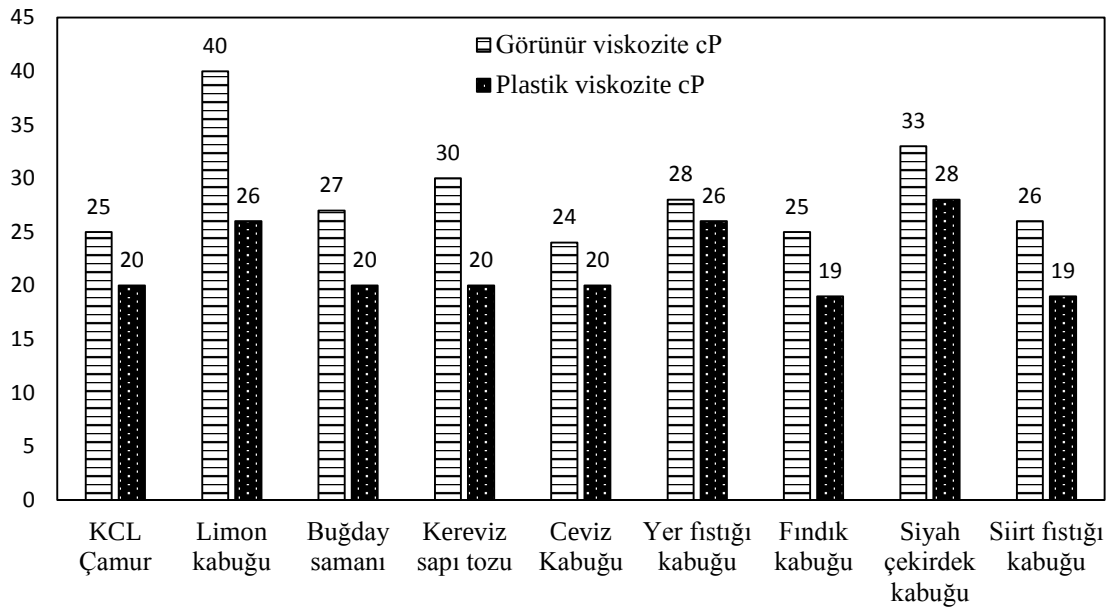
Şekil 5.11. Kayıp önleyici malzemenin tanecik boyutunun filtrasyon özelliklerine etkisi



Şekil 5.12. Farklı tanecik boyutlarına kayıp önleyici malzemenin kullanımı ile elde edilen keklerin fotoğrafı

5.4. Farklı Malzeme etkisi

0,250 mm büyüklüğünde tüm malzemelerin laboratuvarında hazırlanan KCl çamurunun 500 mL' sine 7,5 g eklenmesi ile farklı malzeme etkisi çalışıldı. Kayıp önleyici malzeme olarak limon kabuğu, fındikkabuğu, sitah çekirdek kabuğu, ceviz kabuğu, yer fıstığı kabuğu, buğday samanı, Siirt fıstığı kabuğu ve kereviz sapı tozu kullanıldı. Reolojik özelliklerden plastik ve görünür viskozite Şekil 5.13'de, jel mukavemeti Şekil 5.14'de, kopma noktası ise Şekil 5.15'da incelendi.

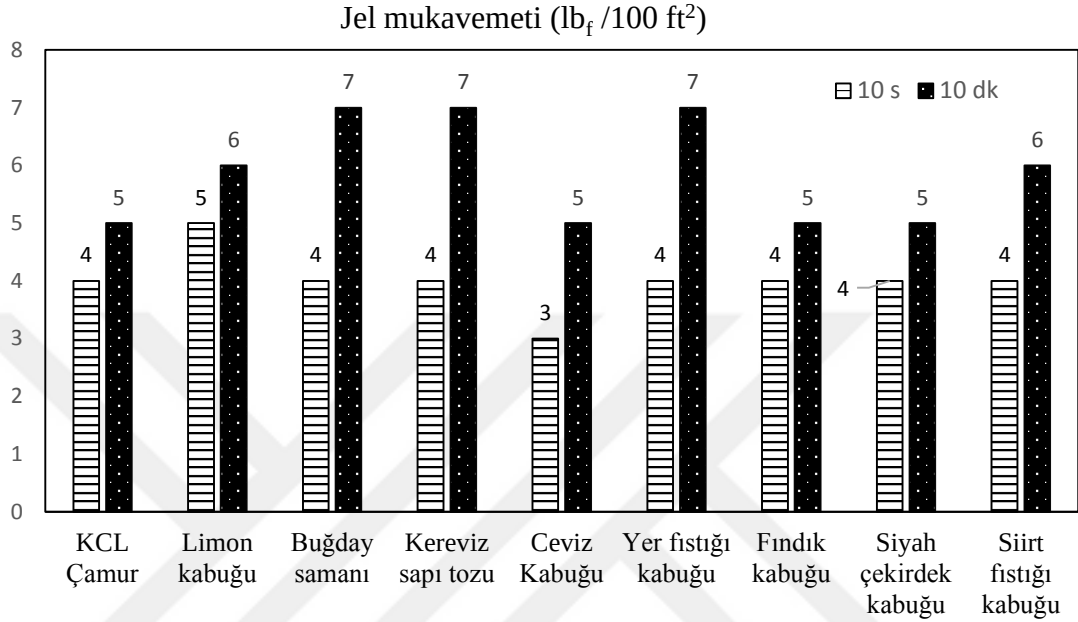


Şekil 5.13. Kayıp önleyici olarak eklenen farklı maddelerin görünür ve plastik viskoziteye etkisi

Şekil 5.13 incelendiğinde, genel olarak ceviz kabuğu ve fındikkabuğu hariç bütün eklenen maddelerin ya plastik viskoziteyi ya da görünür viskoziteyi yükselttiği görülmüştür. En büyük etkiyi limon kabuğunun kullanıldığı örnekte görülmüştür. Siyah çekirdek kabuğu hem görünür hem de plastik viskoziteyi artırmıştır. Kereviz sapı tozu ise sadece görünür viskoziteyi artırmış plastik viskoziteyi artırmamıştır.

Sondaj akışkanlarında viskozitenin uygun bir değerde olması istenir. Sondaj çamurunun yüksek plastik viskoziteye sahip olması istenmez. Kuyu deliğindeki sıvıyı pompalamak için daha yüksek pompa basınçlarına ihtiyaç uyulur bu da eşdeğer dolaşım yoğunluğunun artmasına neden olabilir (Nicora ve diğerleri, 2001). Yüksek plastik viskoziteye sahip bir akışkanın diğer bir olumsuz etkisi de penetrasyon hızının azalmasıdır (Beck ve diğerleri, 1995). Plastik viskozitenin düşük ve akma noktasının yüksek olması, akma noktası/plastik viskozite oranının yükselmesine neden olur bu da

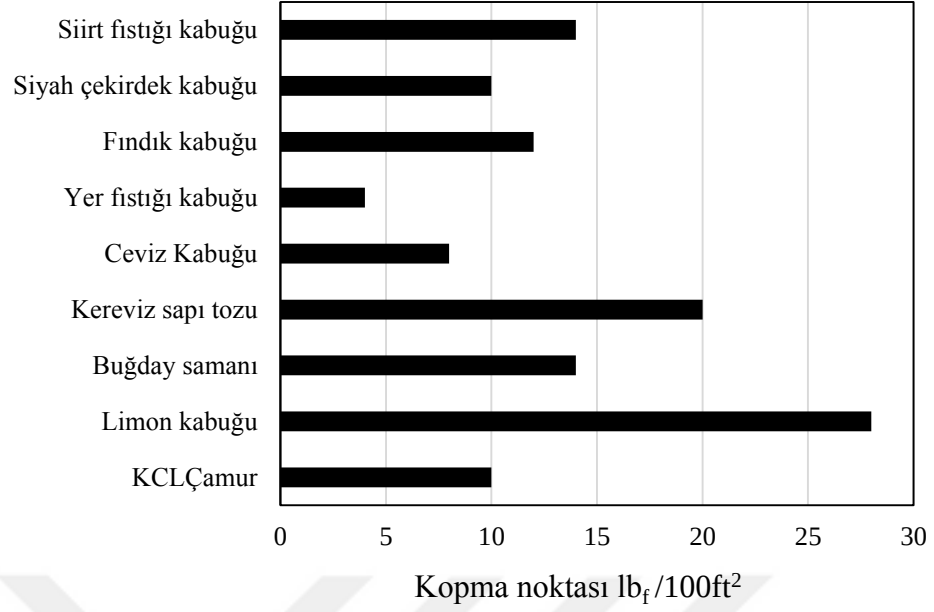
sondaj kesintilerinin daha iyi taşınmasını sağlar (Okrajni ve Azar, 1986). Sıvıyı pompalamak için gereken enerji de viskozitenin artması ile birlikte artar. Bununla birlikte pompalama basıncının formasyonun çatlama basıncını yeni çamur kaçaklarına neden olabilir.



Şekil 5.14. Kayıp önleyici olarak eklenen farklı maddelerin jel mukavemetine etkisi

Ceviz kabuğu ve limon kabuğu dışındaki tüm maddelerde 10 s deki jel mukavemeti değerleri aynı kalmıştır. Ceviz kabuğunda düşme, limon kabuğunda ise yükselme gözlenmiştir. Şekil 5.14'den görüleceği gibi 10 dakikadaki jel mukavemeti değerlerine bakıldığında ceviz kabuğu, fındıkkabuğu ve siyah çekirdek kabuğu ilavesi jel mukavemetini değiştirmemiş, diğerleri bir miktar artırmakla birlikte buğday samanı, kereviz sapı tozu ve yer fıstığı kabuğu belirgin yükselmeye neden olmuştur.

Jel mukavemeti akışın olmadığı durumda ve bağlantılar sırasında matkap kesiklerini ve ağırlık yapıcı malzemeleri askıya tutulabilmesi için yeterli büyüklükte olmalıdır. Hatta birçok ciddi delme probleminden kaçınmak için yüksek jel mukavemeti gereklidir (Bayat ve diğerleri, 2018). API standartlarına göre jel mukavemetinin kabul edilebilir üst sınırı 10 sn için 15, 10 dk için 31 dir. Bu değerlerle mukayese edildiğinde denenen her maddenin jel mukavemeti bu değerlerden düşük olduğu için, sondaj çamuruna olumsuz yönde herhangi bir etki söz konusu olmayacaktır. Oluşan jellerin de iyi özellikte olduğu ve kesintileri en iyi şekilde askıda tutacağı söylenebilir.

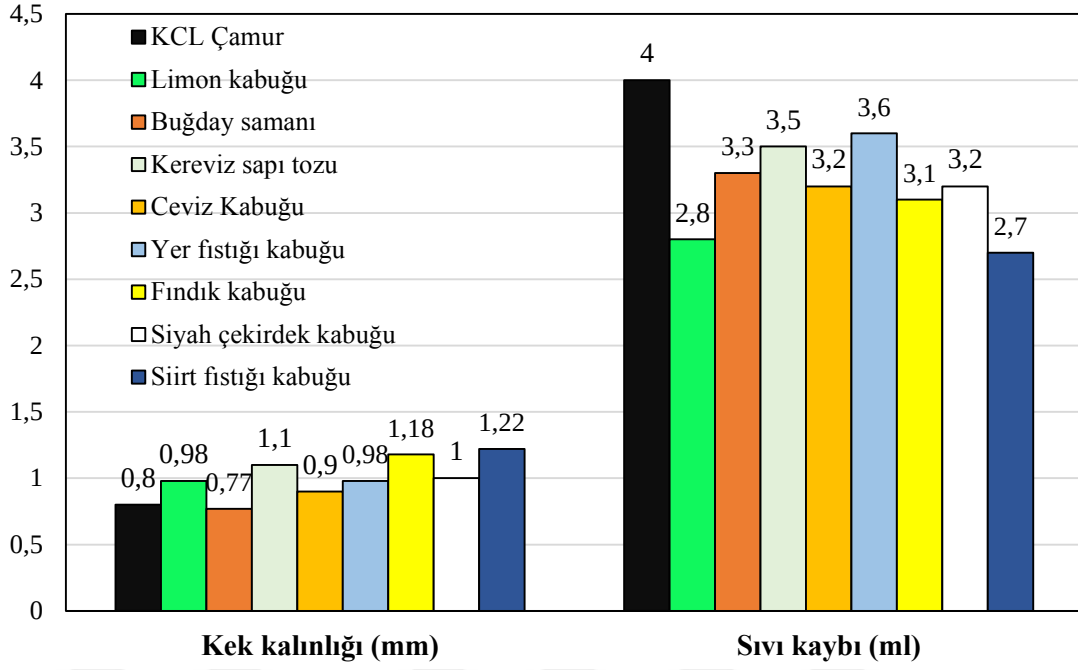


Şekil 5.15. Kayıp önleyici olarak eklenen farklı maddelerin kopma noktasına etkisi

Şekil 5.15’de kopma noktaları incelendiğinde limon kabuğunun 2,5 kat, kereviz sapı tozunun 2 kat artırdığı görülmektedir. Buğday samanı ve fındık kabuğu az bir artışa, ceviz kabuğu çok az bir azalışa neden olurken siyah çekirdek kabuğunda değişim gözlenmemiştir. Yer fıstığı kabuğunun ise kopma noktasını belirgin bir şekilde düşürdüğü görülmektedir.

Kopma noktası, akışkan içindeki reaktif parçacıkların yüzeyinde bulunan elektrik yüklerinden kaynaklanan elektrokimyasal kuvvetlerin oluşturduğu akışkan akış direncinin bir göstergesidir (Ramesh, 2009). Genel olarak kopma noktası değerinin artması sondaj kesimlerinin daha hızlı taşınmasına ve zemin yüzeyine doğru taşınmasına yol açmaktadır (Noah ve diğerleri, 2017). Kopma noktasının, kesiklen parçaları delikten dışarı taşıyabilcek kadar yüksek olması, ancak bunu yaparken pompa basıncını artıracak kadar da büyük olmaması istenir (Agarwal ve diğerleri, 2011). Yine API standartlarına göre kopma noktasının 50 lb/100 ft² değerinden küçük olması gereği tüm malzemelerde sağlanmaktadır.

Kayıp önleyici olarak eklenen malzemelerin filtrasyon özellikleri Şekil 5.16’da oluşan keklerin görüntüsü Şekil 5.17’ de verilmiştir.



Şekil 5. 16. Kayıp önleyici olarak eklenen farklı maddelerde sıvı kaybı miktarları ve filtre keki kalınlıkları



Şekil 5.17. Kayıp önleyici olarak eklenen farklı maddelerde oluşan filtre keklerinin görüntüleri

Şekil 5.16'dan görüldüğü üzere, eklenen bütün malzemeler sıvı kaybını azaltıcı, buğday samanı dışındaki tüm malzemeler kek kalınlığını artırıcı etki göstermişlerdir. En yüksek sıvı kaybı limon kabuğu ve Siirt Fıstığı kabuğu ile elde edilirken bunu fındık kabuğu, siyah çekirdek kabuğu ve ceviz kabuğu izlemektedir. Siirt Fıstığı kabuğu ve fındık kabuğunun kek kalınlığını en çok artıran malzemeler olduğu Şekil 5.16'dan

görülen diğer bir sonuçtur. Şekil 5.17’ de görüldüğü gibi tüm atık malzemelerin, ince filtre keki oluşturmaları yönü ile uygun oldukları söylenebilir.

5.5. XCD ve Nişasta etkisi

Jelleşme özelliği gösteren malzemelerin etkisini incelemek amacıyla laboratuvarında 3 tip çamur hazırlandı:

- i. İçerisinde XCD ve nişasta olmayan çamur
- ii. İçerisinde nişasta olmayıp 1,5 g XCD içeren çamur
- iii. Klasik KCl çamuru (1,5 g XCD ve 13,6 g Nişasta)

Bu üç çamurun, içerisinde kayıp önleyici malzeme olmadan ve kayıp önleyici olarak 0,125 mm çapında yerfıstığı kabuklarının 500 mL’lik çamura 5 g, 7,5 g ve 10 g ilave edildiği durum için, fiziksel özellikleri incelendi. Tüm fiziksel özellikler oda sıcaklığında yapıldı. Hazırlanan üç farklı KCl çamurun fiziksel özellikleri Tablo 5.3’de verilmiştir.

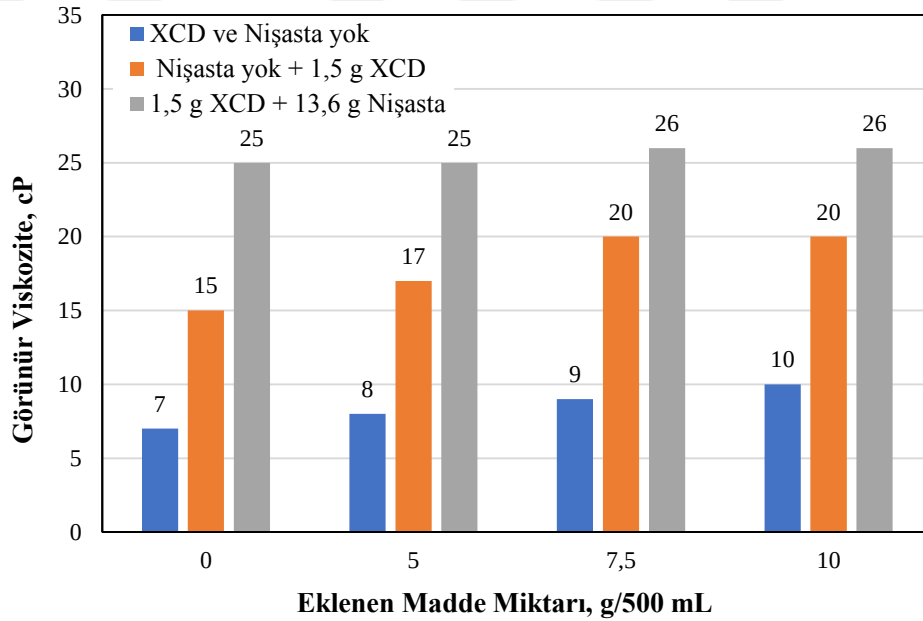
Tablo 5.3. Laboratuvarında hazırlanan çamurların fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikler	XCD ve Nişasta olmayan KCl çamur	Nişastanın olmadığı 1,5 gr XCD’ in olduğu KCl çamur	Klasik KCl çamuru (1,5 g XCD, 13,6 g Nişasta)
Çamur yoğunluğu, lb/ft ³	72.5	70	72
Görünür viskozite, cP	7	15	25
Plastik viskozite, cP	6	12	20
Kopma noktası, lb _f /100ft ²	2	6	10
Jel mukavemeti (10s), lb _f /100 ft ²	2	4	4
Jel mukavemeti (10dk), lb _f /100 ft ²	3	6	5
Kek kalınlığı, mm	0.4	1,1	0,8
Sıvı kaybı, mL	66	15,7	4
pH	9	9	9

KCl çamurunda bulunan nişasta ve XCD’ nin sıvı kaybı üzerinde çok önemli bir etkisinin olduğu Tablo 5.3’deki özelliklerden görülebilir. Nişasta ve XCD bulunmayan çamurda 30 dakikada 66 mL sıvı kaybı oluşurken XCD eklendiğinde bu değer 15,7’ ye düşmüştür. XCD’ nin sıvı kaybı üzerine nişastadan daha etkili olduğu söylenebilir. Nişasta ve XCD jelleşme özelliği gösteren malzemeler olduğundan çamurda

bulunmadıkları durumda viskoziteler ve kopma noktası oldukça düşük bulunmuştur ve çamur kolay akabilen ince bir çamur özelliğindedir. Görünür ve Plastik viskozite değerleri az miktarda XCD eklenmesiyle iki katlık bir artış göstermiştir sonrasında eklenen nişasta bu artışın devam etmesine neden olmuştur. Kopma noktası XCD ve nişasta ilavesi ile hemen hemen aynı derecede artmıştır.

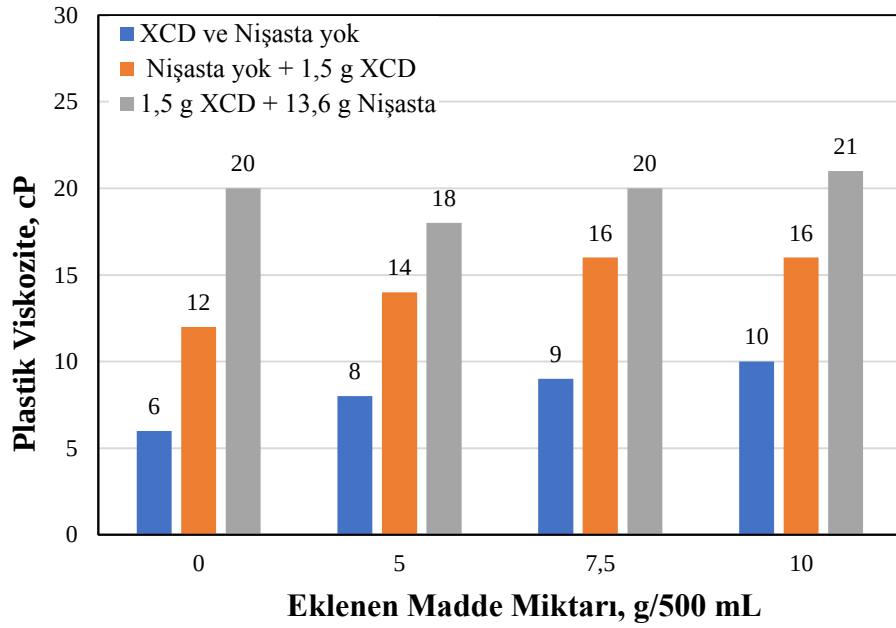
Nişasta ve XCD etkisinin başka kayıp önleyici malzeme kullanıldığı durumdaki davranışlarını da ortaya koyabilmek amacıyla, hazırlanan bu üç çamur içine farklı gajlarda yerfistığı kabuğu eklendikten sonra fiziksel özellikleri incelenmiştir. Reolojik özelliklerden görünür viskozite Şekil 5.18’de, plastik viskozite Şekil 5.19’de, kopma noktası Şekil 5.20’de, jel mukavemeti (10s) Şekil 5.21’de, jel mukavemeti (10 dk) ise Şekil 5.22’de görülmektedir.



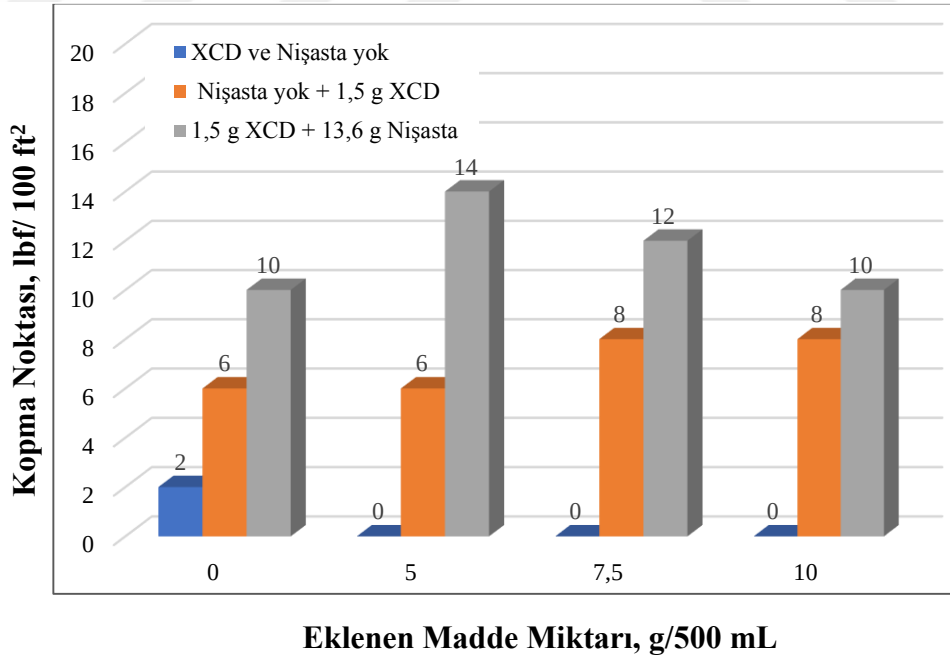
Şekil 5.18. Farklı çamurlarda kayıp önleyici malzeme miktarının görünür viskoziteye etkisi

Şekil 5.18’ den XCD ve nişastanın olmadığı çamura, kayıp önleyici olarak eklenen malzemenin miktarındaki artış ile görünür ve plastik viskozitede lineer ancak küçük bir artış görülmektedir. Viskozitelerdeki en önemli artışı XCD göstermiş olup özellikle görünür viskozitede 2 katlık artışa neden olmuştur. Bunun üzerine ilave edilen nişasta, artışı devam ettirmiştir ancak etkisi, kayıp önleyici malzeme miktarındaki artış ile belirgin değişim göstermemiştir. Şekil 5.19’de XCD ve nişasta ilavesinin plastik viskozite üzerine etkisi incelendiğinde ayırıcı bir etki gözlemlendiği söylenebilir. Kayıp

önleyici olarak eklenen yerfıstığı miktarı ile nişasta ve XCD ilavesi birlikte sinerjistik bir etkiye neden olmadığı hem Şekil 18’den hem de Şekil 5. 19’den görülmektedir.



Şekil 5.19. Farklı çamurlarda kayıp önleyici malzemenin miktarının plastik viskoziteye etkisi

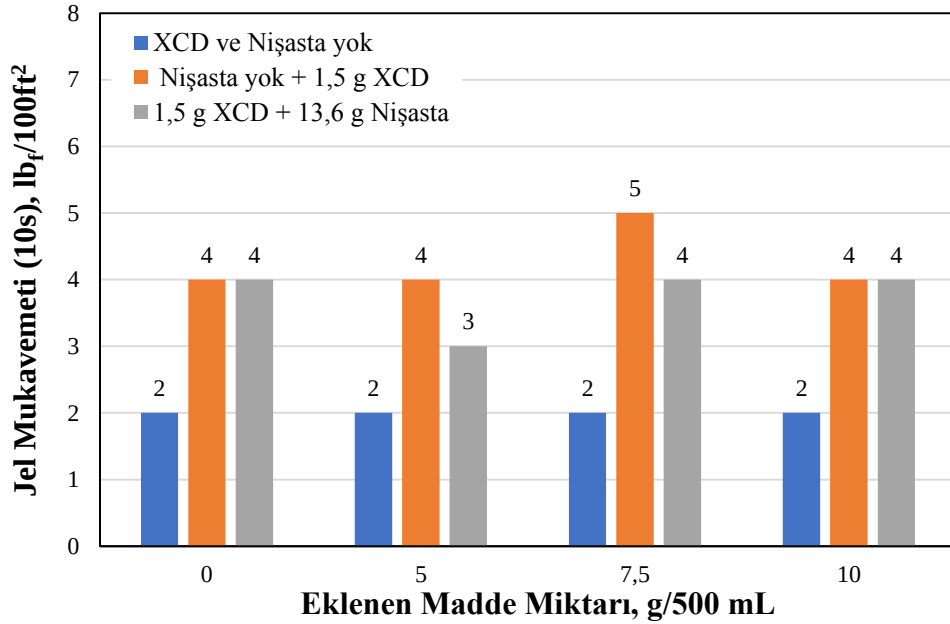


Şekil 5.20. Farklı çamurlarda kayıp önleyici malzeme miktarının kopma noktasına etkisi

Sondaj çamurları için akma noktası, sıvının ilk akış direncini veya başka bir deyişle sıvının hareketini başlatmak için gereken gerilimi ifade eder. Sondaj çamurundaki

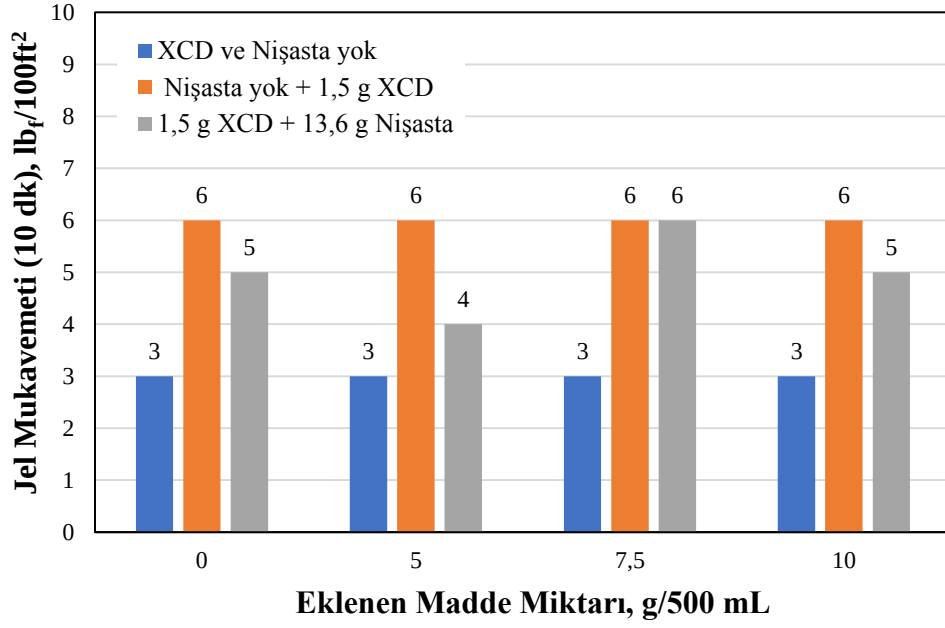
kolloidal parçacıklar arasındaki çekim kuvvetleri, gerekli gerilim uygulanana kadar sıvının akmasını engelleyecektir. Kopma noktası, sondaj çamurunun halkadaki kesikleri kaldırma veya çıkarma yeteneğinin bir göstergesidir.

Şekil 5.20’den görüldüğü gibi içerisinde XCD ve nişasta bulunmayan çamura yerfıstığı kabuğu ilave edilmesiyle kopma noktası 0’a düşmektedir. Çamurda ilk akış direnci bulunmamakta, kolaylıkla akan ve halkadaki kesikleri tutma yeteneği olmayan, sürtünmeden dolayı basınç düşüşünün min olduğu bir çamur özelliği taşımaktadır. Bu istenen bir çamur özelliği değildir. XCD ilavesi ile beraberinde nişasta ilavesi olduğunda çamurun süspansiyon özelliği dolayısıyla artık kırıntıları askıda tutma özelliği artmaktadır.



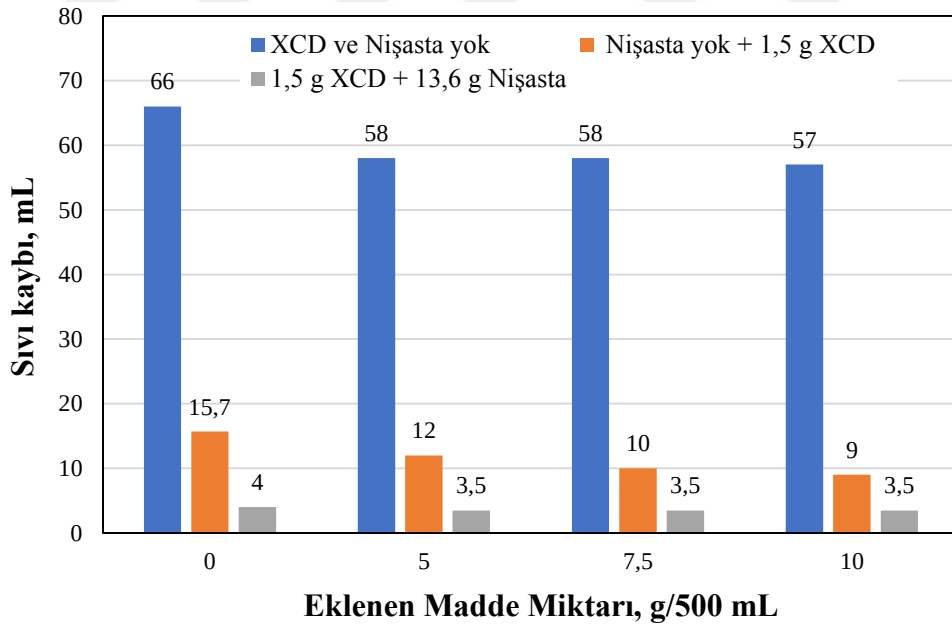
Şekil 5.21. Farklı çamurlarda kayıp önleyici malzeme miktarının jel mukavemetine (10s) etkisi

Şekil 5.21 ve 5.22’de jel mukavemeti olarak incelendiğinde XCD ve nişasta ilavesi hem 10 s hem de 10 dakikada çamurların jel mukavemetini artırıcı yönde etki etmiştir. Yerfıstığı kabuğu madde miktarının nişastasız çamurlarda jel mukavemetine etkisinin önemsiz olduğu söylenebilir. Nişasta bulunan çamurlarda ise özellikle 10 dakika jel mukavemetinde küçük etkiler yaptığı görülmüştür. 10 s ve 10 dakika jel mukavemetlerinin birbirine yakın olması iyi, kesintileri askıda tutabilecek uygun bir jel tipi gösterdiklerini düşündürmektedir (TP, 2007).



Şekil 5.18. Farklı çamurlarda kayıp önleyici malzeme miktarının jel mukavemetine (10 dk) etkisi

Nişasta ve XCD bulunmayan çamurların filtrasyon özellikleri incelendiğinde sıvı kaybı Şekil 5.23’de kek kalınlığı Şekil 5.24’de görülmektedir.



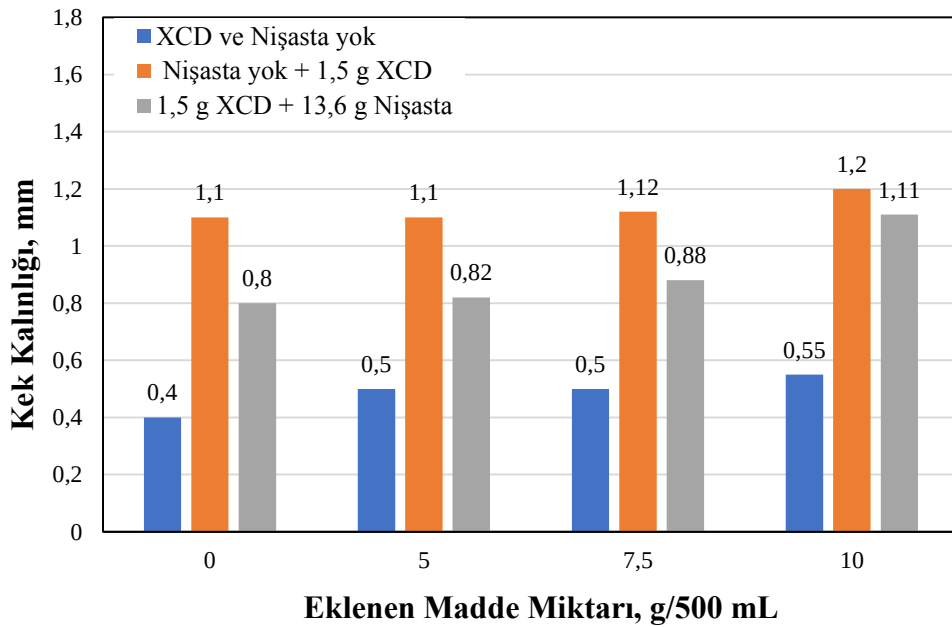
Şekil 5.19. Farklı çamurlarda kayıp önleyici malzeme miktarının sıvı kaybına etkisi

Sıvı kaybı hacmi ve çamur keki kalınlığı filtrasyon özelliklerinin incelendiği iki parametredir. Yüksek hacimli sıvı kaybı, formasyon kararsızlığı ve formasyon hasarı gibi bazı sorunlara neden olabileceğinden sondaj çamuru için arzu edilen bir özellik değildir.

Sondaj işleminde önemli faktörlerden biri olan filtre keki kalitesi, çamurun tokluğu, kayganlığı ve sertliğine bakılarak değerlendirilir. Kalite, sıvı kaybı miktarını temsil eden bir faktördür ve sondaj işleminde kuyu deliğinin stabilitesini garanti etmek için sıvı kaybının önlenmesi gerekir.

Şekil 5.23’de çamura XCD ve nişasta eklemeyen önce sıvı kaybı 66 ml olarak ölçüldü. Bu çok fazla sıvı kaybı oluştuğunun göstergesidir ve sondaj mühendisi için çok sorun oluşturabilir. Nişasta ve XCD bulunmayan çamura yerfıstığı kabuğu ilave edildiğinde madde miktarından bağımsız olarak sıvı kaybında azalma görülmüştür ancak bu jelleştirici özellikte maddeler yerine kullanılabilecek ölçüde değildir. XCD ilavesiyle sıvı kaybında muazzam bir düşüş görülmüştür. Nişastasız çamura eklenen yerfıstığı kabuğunun miktarının artmasıyla sıvı kaybındaki bu düşüş belirgin bir şekilde devam etmiştir. Nişastanın ilave edilmesi XCD’ den daha az bir etki göstermekte birlikte nişastalı çamura yerfıstığı kabuğu ilave etmenin bütün miktarlarda önemli bir etki yapmadığı görülmüştür.

Literatüre bakıldığında API standart sıvı kaybının üst limitinin 15 ml/30dk olduğu ve aşılmaması gerektiği bildirilmiştir (API SPEC 13A, 2010). Bu bağlamda XCD ve nişastanın su bazlı bir çamurda vazgeçilmez bileşenler olduğu söylenebilir.

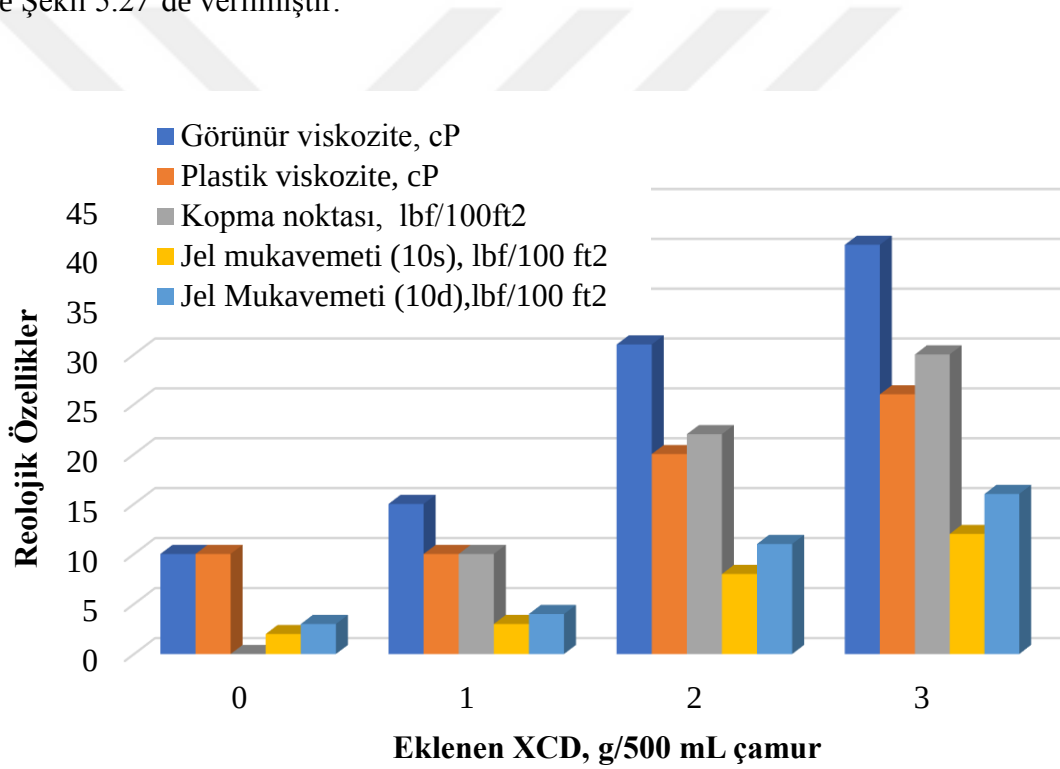


Şekil 5.24. Farklı çamurlarda kayıp önleyici malzeme miktarının kek kalınlığına etkisi

Şekil 5.24’de filtrasyon sonucu oluşan kek kalınlıkları incelendiğinde nişasta ve XCD bulunmayan çamurda minimum kalınlıkta kek oluşurken, jelleşme kapasitesi yüksek olan XCD ilavesi ile kek kalınlığında büyük artış gözlenmiş nişasta ilave edilmesiyle kek kalınlığında gözlenen bu yükselme azalarak 1 mm’den küçük değerlere ulaşmıştır.

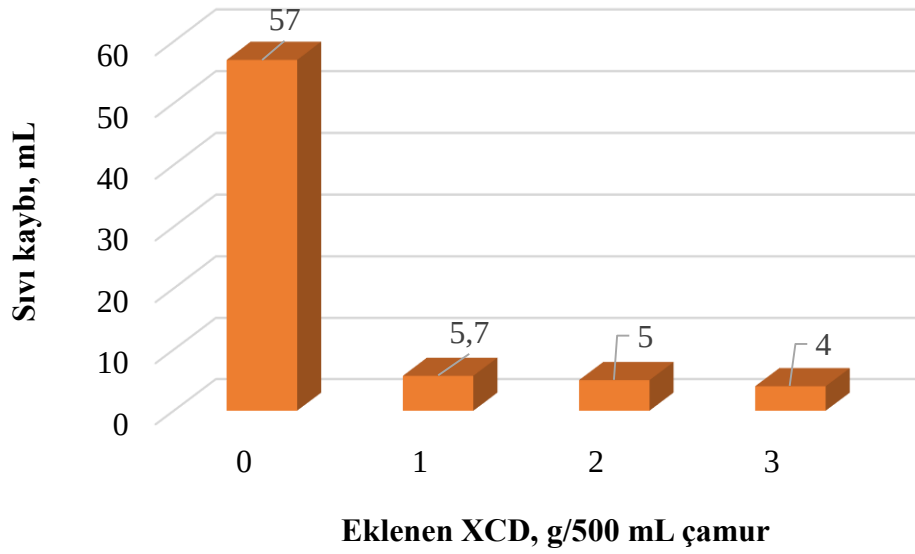
5.6. XCD miktarının etkisi

XCD miktarının etkisi, laboratuvarında hazırlanan içerisinde nişasta ve XCD içermeyen ancak 10 g 0,125 mm çapında yer fıstığı kabuğu bulunan çamura 1, 2, 3 g XCD eklenerek çalışıldı. Reolojik özellikleri Şekil 5.25’de filtrasyon özellikleri ise Şekil 5.26 ve Şekil 5.27’de verilmiştir.

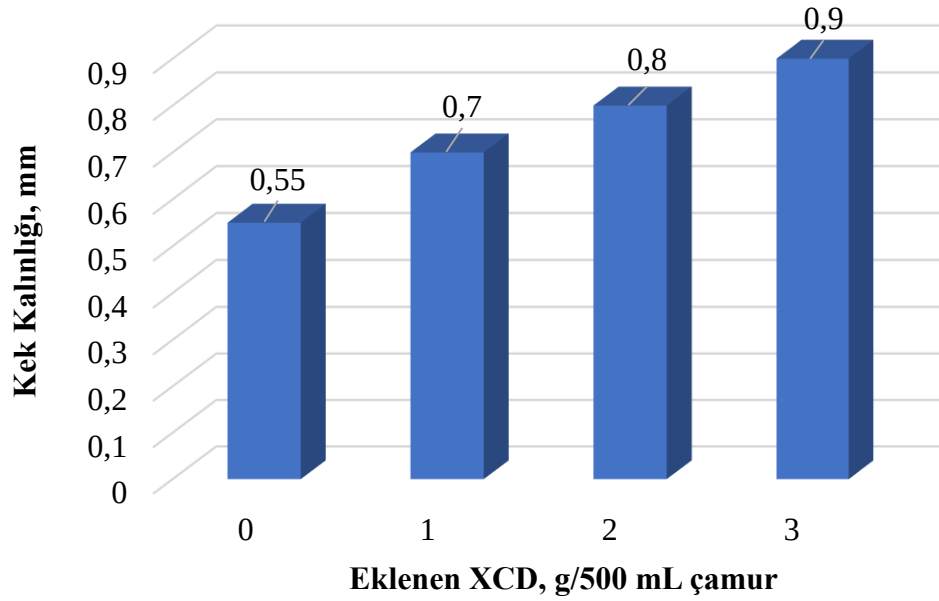


Şekil 5.20. Çamura eklenen XCD miktarının Reolojik özelliklere etkisi

XCD miktarındaki artışın, (özellikle 2 g ve üstü) görünür ve plastik viskozitede, kopma noktasında ve jel mukavemetinde çok ciddi yükselmeye neden olduğu Şekil 5.25’den görülmüştür.



Şekil 5.26. Çamura eklenen XCD miktarının sıvı kaybı üzerine etkisi



Şekil 5.27. Çamura eklenen XCD miktarının kek kalınlığı üzerine etkisi

Şekil 5.26'dan görüldüğü üzere XCD varlığı sıvı kaybında önemli azalma sağlamasında rağmen çamurda bulunan miktarındaki artış ile sıvı kaybındaki azalma önemli seviyede gerçekleşmemiştir. Şekil 5.27'deki gibi kek kalınlığında da bariz yükselmeye neden olmaması olumlu bir sonuçtur.

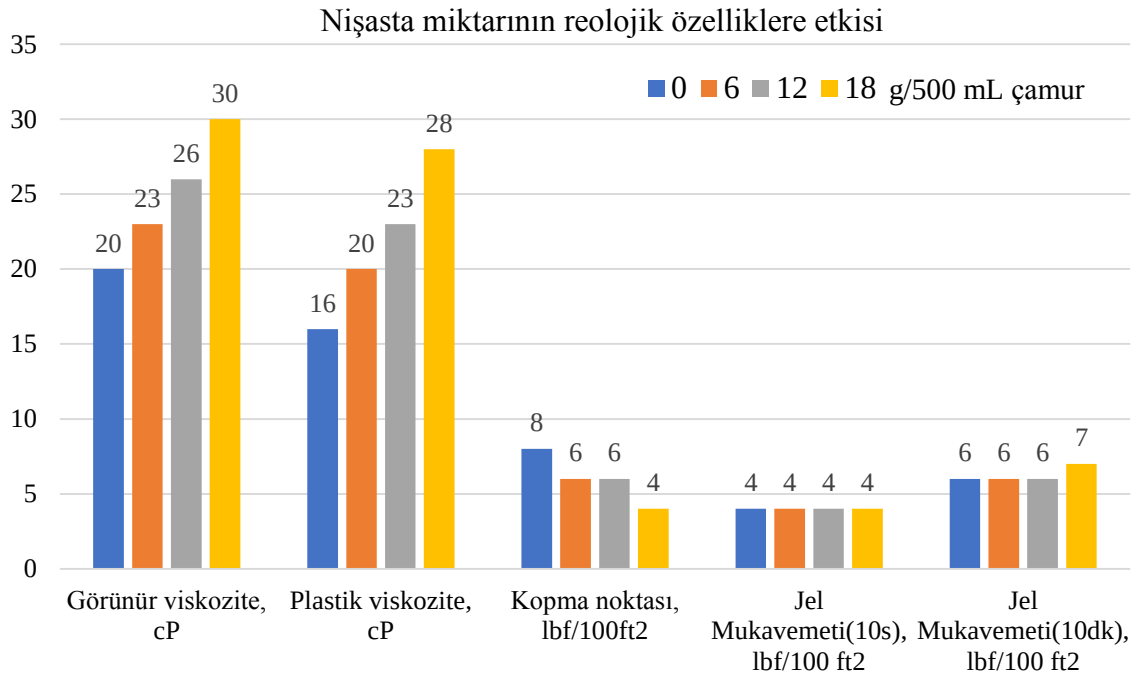
XCD (Ksantan sakızı) doğal bir biyopolimerdir (Amanullah ve Lu 2004 ; Alderman ve diğerleri 1988), viskozite iyileştirmesi gibi özelliklerinden dolayı sondaj

sıvılarında viskozite sağlayıcı olarak çok yaygın bir şekilde kullanılır (Hamed ve Belhadri 2009).

Jel mukavemeti Jel 0/10 (başlangıç 0 s/10 dak), sondaj çamuru belirli bir süre statik kaldıktan sonra düşük kayma hızında ölçülen sondaj çamurunun kayma gerilimidir. Jel mukavemeti, önemli bir sondaj sıvısı özelliğidir çünkü sondajın durdurulması durumunda çamurdaki katıları askıda tutma yeteneğini gösterir. XCD miktarındaki artış ile jel mukavemeti değerleri hem önemli ölçüde artmakta hem de 10 saniye ve 10 dakika jel mukavemeti değerlerinin arası açılmaktadır. Ancak bu oluşan jeli özellik değiştirmesine neden olmamaktadır.

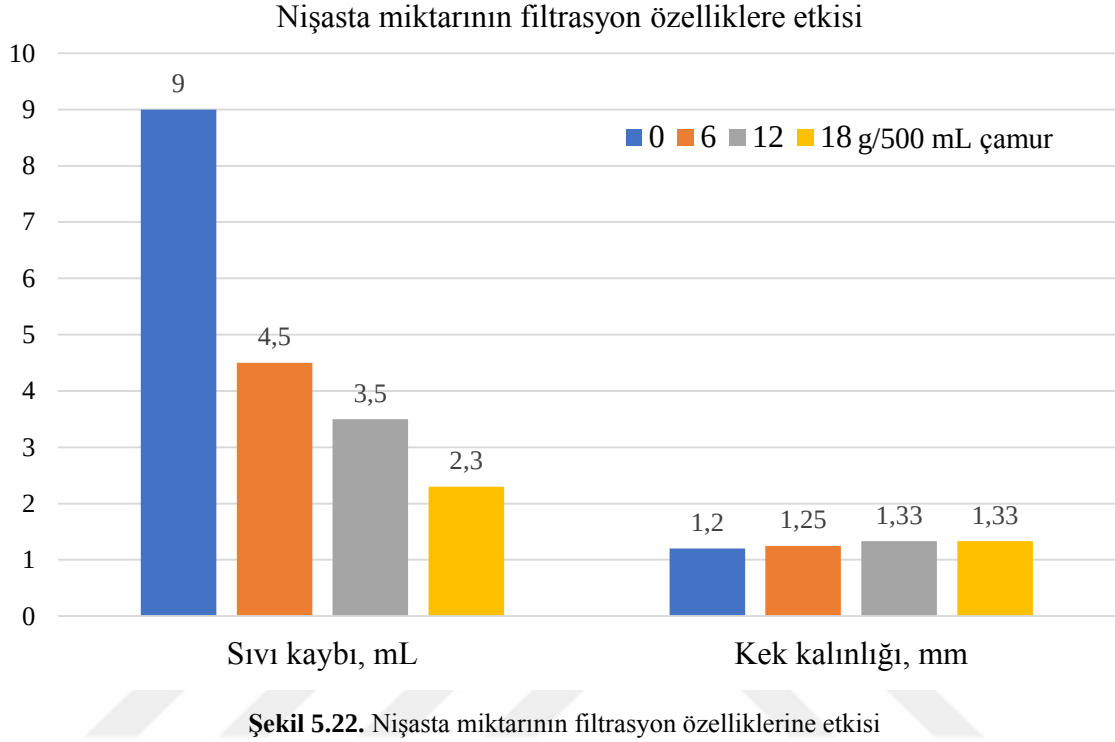
5.7. Nişasta miktarının etkisi

Nişasta miktarının etkisi, laboratuvarında hazırlanan içerisinde nişasta olmayan ancak 1,5 g XCD içeren çamura 10 g 0,125 mm çapında yer fıstığı kabuğu ekledikten sonra 6, 12 ve 18 g nişasta eklenmesiyle çalışıldı. Şekil 5.28’de Reolojik özelliklerdeki değişimi, Şekil 5.29’da filtrasyon özelliklerindeki değişim verilmiştir.



Şekil 5.21. Nişasta Miktarının Çamurun Reolojik özelliklerine etkisi

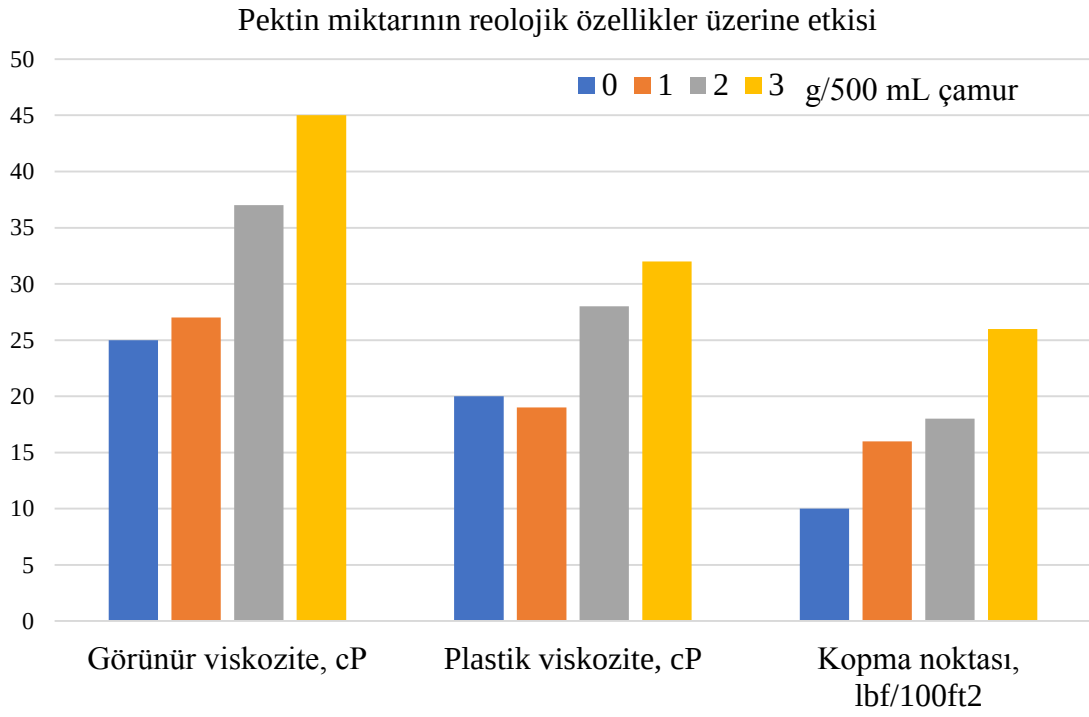
XCD içeren çamura ilave edilen nişasta miktarının artmasıyla viskozitelerde belirgin bir artış, kopma noktasında ise bir miktar düşüş gözlenmiş, jel mukavemetinde ise bir etki oluşturmamıştır.



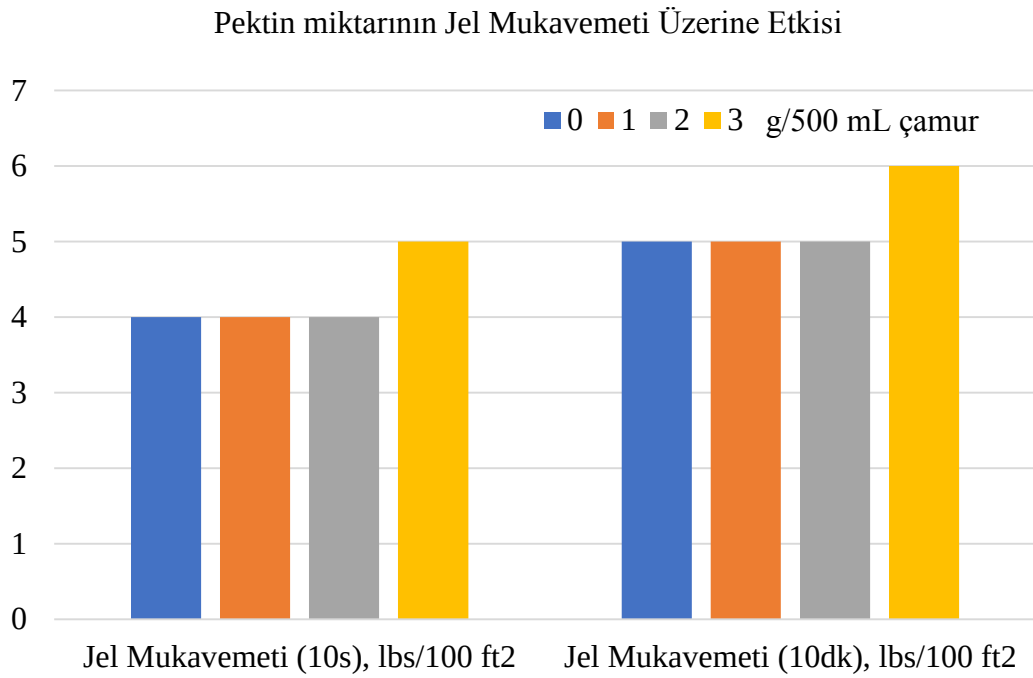
Şekil 5.29’da görüldüğü gibi eklenen nişasta miktarının artmasıyla filtrasyon özelliklerinde iyileşme gözlenmiş, sıvı kaybında görünür etki yaratmasına rağmen kek kalınlığında dikkate değer bir artış meydana getirmemiştir. Bu oldukça olumlu bir gelişmedir.

5.8. Pektin miktarının etkisi

Laboratuvarda hazırlanan klasik bileşimde KCl çamurunun içine 7,5 g 0,125 mm çapında Siirt fıstığı kabuğu eklendikten sonra sırasıyla her 500 mL çamura 1g, 1,5 g ve 2 g pektin ilave edilerek fiziksel özelliklere etkisi araştırıldı. Görünür ve plastik Viskozite ile kopma noktası Şekil 5.30’da, Jel Mukavemeti Şekil 5.31’de, filtrasyon özelliklerine etkisi ise Şekil 5.32’de verilmiştir.

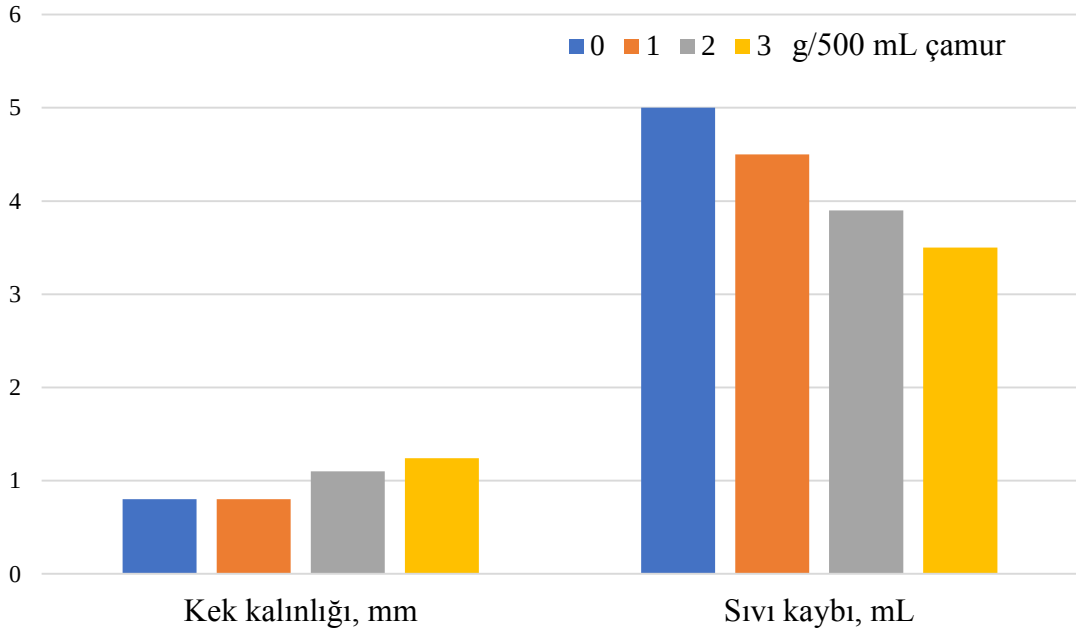


Şekil 5.30. Pektin miktarının çamurun viskoziteleri ve kopma noktası üzerine etkisi



Şekil 5.31. Pektin miktarının jel mukavemeti üzerine etkisi

Pektin Miktarının Filtrasyon Özelliklerine Etkisi



Şekil 5.23. Pektin miktarının çamurun filtrasyon özellikleri üzerine etkisi

Şekil 5.30'dan görüldüğü gibi, ilave edilen pektin miktarının artmasıyla görünür viskozite, plastik viskozite ve kopma noktası önemli ölçüde artarken, Şekil 5.31'den görüldüğü üzere, jel mukavetinde sadece 10 g eklenmesi ile küçük bir değişim gözlenmiştir. Jel oluşturma özelliği olan pektinin çamurdaki miktarı arttıkça filtre keki kalınlığı artarken sıvı kaybı önemli ölçüde azaldığını Şekil 5.32'den görülmektedir. Pektin ilavesinin de hem reolojik hemde filtrasyon özelliklerinde iyileşmeye neden olduğu oluşan jel yapıda ise değişiklik oluşturmadığı görülmektedir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada sirkülasyon kaçaklarını önleme ve iyileştirme amaçlı iki çalışma yapılmıştır. Sirkülasyon kaybını önleme amacıyla çatlaklı bir kuyu modeli oluşturulmuş, kayıp önleyici malzeme çamuru hazırlanmış ve bu çamurun çatlakları nasıl tıkadığı deneysel olarak ortaya koyulmuştur. İkinci çalışmada ise halihazırda sondajda kullanılan bileşiminde kayıp önleyici bileşenler bulunan ve kıymetli bir çamur olan KCl çamurunda, çatlaklı formasyonla karşılaşılması durumunda meydana gelebilecek kaçakları azaltmak amacıyla içerisine çeşitli tarısal atıkların ilave edilmesi ile kayıpların iyileştirilebilme durumu incelendi.

Deneysel plânda farklı malzemelerin, farklı tanecik büyüklüğünün, farklı miktarların etkileri yansira nişasta, XCD ve pektinin varlığı ve miktarı gibi parametrelerin tek başına ve birlikte etkisi incelendi. Tarımsal atık olarak seçilen malzemelerin kolay temin edilebilmelerine, ucuz olmalarına ve ticari değerlerinin yüksek olmamasına dikkat edildi. Bu bağlamda, öğütülmüş kuru yemiş kabukları (Siirt fıstığı, siyah ayçekirdeği, fındikkabuğu, yerfıstığı, ceviz kabuğu), buğday samanı, limon kabuğu, kereviz sapı kullanıldı. Tarımsal atıklarının çamura eklenmesi ile çamurun fiziksel özelliklerinde meydana gelen değişimler ve çamurun reolojik ve filtrasyon özelliklerine katkıları incelendi.

Bu çalışmada laboratuvarında yapılan deneylerin sonuçları ve elde edilen bulgular aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Hazırlanan çamurun 500 mL'si başına 5, 7,5 ve 10 g olarak eklenen madde miktarı ile çamurun reolojik ve filtrasyon özellikleri incelendi.

Siyah çekirdek kabuğunun 5 ve 7,5 g eklenmesi hem viskoziteleri hem de kopma noktasını ceviz kabuğu ve Siirt fıstığı kabuğuna göre çok daha fazla artırdı. Siyah çekirdek kabuğu ilavesi, jel mukavemetinde ve sıvı kaybında madde miktarından bağımsız değişim gösterdiğinden 5 g eklenmesi yeterli olmuştur. Kek kalınlığındaki artış madde miktarı ile doğrusal artmakla birlikte tüm miktarlarda 1 mm'nin altında kalmıştır.

Siirt fıstığı kabuğunda madde miktarını artırmak viskozitelerde ve kopma noktasında az bir artışa neden olurken jel mukavemetinde önemli derecede meydana gelen artış madde miktarından bağımsız gerçekleşmiştir. Sıvı kaybında eklenen madde miktarı ile orantılı düzenli bir azalış gözlenirken kek kalınlığında ise artış miktarı önemli düzeyde gerçekleşmiştir. Madde miktarının etkisinin çalışıldığı kabuklar içerisinde en

çok sıvı kaybı 10 g ekleme ile Siirt fıstığında elde edilmesine rağmen kek kalınlığında iki kat artış meydana gelmiştir.

Ceviz kabuğunda madde miktarındaki artış görünür viskoziteyi, kopma noktasını, jel mukavemetini ve kek kalınlığını doğrusal artırırken sıvı kaybında belirgin azalma görebilmek için 5 g'dan fazla ilave etmek gerektiği fark edilmiştir.

2. Laboratuvarında hazırlanan KCl çamuruna, 0,125 mm ve 0,250 mm çapındaki öğütülmüş yer fıstığı kabuklarının ilave edilmesiyle tanecik büyüklüğünün etkisi incelendi.

Tanecik çapındaki değişimin viskoziteler üzerinde etkisi ancak madde miktarındaki artış ile belirgin hale gelmiş ve eklenen madde miktarı arttıkça tanecik çapının artması viskozitelerde artış gözlenmiştir. Kopma noktasında ise 0,125 mm çaplı taneciklerin ilavesi artan ancak madde miktarı ile azalan değişim gösterirken, 0,250 mm çaplı taneciklerde kopma noktasında azalan ancak madde miktarı ile artan dağılım gözlenmiştir. Tanecik büyüklüğü sıvı kaybında ve oluşan kekin kalınlığında önemli bir fark yaratmamıştır.

3. Hazırlanan KCl çamurunun içine limon kabuğu, fındikkabuğu, sitah çekirdek kabuğu, ceviz kabuğu, yer fıstığı kabuğu, buğday samanı, Siirt fıstığı kabuğu ve kereviz sapı tozu eşit miktarda ilave edilerek farklı malzeme kullanımının çamurun reolojik ve filtrasyon özelliklerine etkisi incelendi.

Fındikkabuğu ve ceviz kabuğu dışında tüm kabuklar viskoziteleri artırıcı etki göstermiştir. En yüksek artış limon kabuğu ve siyah çekirdek kabuğundan sonrasında kereviz sapı tozunda elde edilirken limon kabuğu ve kereviz sapı tozu kopma noktasını da önemli ölçüde artırmıştır.

Tüm malzemelerde jel mukavemeti herhangi bir sorun yaratmadan kesintileri iyi şekilde askıda tutacak seviyededir.

Eklenen malzemelerin filtrasyon özelliklerine etkileri incelendiğinde tüm malzemeler sıvı kaybını azaltmış buğday samanı dışında tüm malzemeler ile daha kalın filtre kekleri elde edilmiştir. Limon kabuğu tozu ve Siirt fıstığı kabuğu tozu ile en düşük sıvı kaybı elde edilmiş yer fıstığı kabuğu ve kereviz sapı tozu ile KCl çamura göre en yakın sıvı kaybı değerleri elde edilmiştir. Hem düşük sıvı kaybı hem de ince filtre keki oluşmasına neden olan malzemeler içinde başta limon kabuğu tozu olmak üzere buğday samanı ve ceviz kabuğu sayılabilir.

4. Hazırlanan KCl çamurunda XCD ve nişastanın ayrı ayrı ve birlikte etkisini incelendi.

İçerisinde XCD ve nişasta bulunmayan çamura tek başına yerfıstığı kabuğu eklenmesiyle madde miktarıyla orantılı viskozitelerde az miktarda bir artış kopma noktasından ise sıfıra düşüş, sıvı kaybında madde miktarından bağımsız %12'lik bir azalma, kek kalınlığında ise önemsiz sayılacak bir artış gözlenmiştir.

Çamura XCD ilavesi yerfıstığı kabuğundaki artışla birlikte görünür viskozitede 2 katlık, plastik viskozitede % 60 - % 75 aralığında, kopma noktasında max %33 artış göstermiş, jel mukavemetinde başlangıç durumuna göre 2 katlık artış gözlenmekle birlikte yerfıstığı kabuğu ilavesinden etkilenmemiştir. Çamura XCD ilavesinin en büyük etkisi sıvı kaybında gözlenmiştir. XCD ilavesi sıvı kaybında %76 azalma sağlamıştır bu azalma beraberinde eklenen yerfıstığı kabuklarının miktarı ile doğrusal olarak azalmaya devam etmiştir. Kek kalınlığını beklendiği üzere 2,18-2,75 kat aralığında artırarak 1 mm seviyesine getirmiştir.

XCD'ye ilave olarak nişasta eklenmesiyle viskozitelerde ve kopma noktasındaki artış devam etmiş jel mukavemetlerinde bir miktar düşüş gözlenmiştir. Çamura nişasta ilavesi sıvı kaybını XCD ilavesindeki kadar fazla olmasa da önemli bir derecede azaltmış ve bu azalma yerfıstığı kabuğu ilavesinden etkilenmemiştir. Nişasta ilavesi ile kek kalınlığı ile XCD ilavesine nazaran azalmıştır.

Çamura XCD ilavesinin son derece önemli olduğu ve nişastanın ise sadece artı değer sağlamada kullanılabileceği görülmektedir.

5. Hazırlanan XCD bulunmayan çamura farklı gajlarda eklenen XCD'nin çamur özelliklerine etkisi incelendi.

Çamura eklenen XCD miktar ile en fazla artış görünür viskozite görülmüş olmakla birlikte, plastik viskozite, kopma noktası, jel mukavemeti ve kek kalınlığı da artmış sıvı kaybı ise eklenen miktar ile azalmıştır. Görünür viskozite dışındaki artış ve azalışlar daha fazla madde ilavesi ile özelliklerdeki iyileşmenin doğrusal devam etmeyeceğini maliyet faktörünün de devreye girmesiyle optimum bir değer bulunması zorunluluğunu beraberinde getirecektir.

6. İçerisinde XCD bulunan çamura farklı miktarlarda nişasta ekleyerek nişasta miktarının etkisi incelendi.

Çamura eklenen nişasta miktarındaki artış ile viskoziteler doğrusal olarak artmış kopma noktası düşmüş, jel mukavemeti değişmemiştir. Sıvı kaybındaki azalma nişasta varlığı ile %50 düzeyinde olup nişasta miktarındaki artış sıvı kaybındaki azalma devam etmiştir. Kek kalınlığında ise eklenen nişasta miktarının çok fazla etkisi görülmemiştir.

7. Laboratuvarıda hazırlanan ve içerisinde farklı miktarlarda Siirt fıstığı bulunan klasik KCl çamuruna farklı miktarlarda pektin ilave etmenin fiziksel özelliklere etkisi incelendi.

Çamura Siirt fıstığı yanı sıra eklenen pektin miktarının artmasıyla viskoziteler ve kopma noktası artmış, jel mukavemeti 3 g/500 mL derişimde kadar sabit kalıp sonra artmıştır. Sıvı kaybında pektin miktarının artışı olumlu etkisini sürdürürken kek kalınlığında sorun olmayacak miktarda artışa neden olmuştur.

KAYNAKLAR

- Abah, A. M., and Egun, I. L. 2013. Comparative study of polyanionic cellulose (PAC) and starches from two improved cassava species. *Archives of Applied Science Research*, 5(1), 33-39.
- Adams, N. and Eustes, A.W., 2011. In: Mitchell, R.F., Miska, S.Z. (Eds.), *Drilling Problems in Fundamentals of Drilling Engineering*, vol 12, p. 629 (Chapter 10), SPE Textbook Series.
- Adebayo, T. A., and Chinonyere, P. C. 2012. Sawdust as a filtration control and density additives in water-based drilling mud. *Int. J. Sci. Eng. Res*, 3(7), 176-204.
- Adebayo, T.A., Osiwi, A. and Nwafor-Orizu, E.N., 2012. Laboratory study of effect of 1.0mmsawdust with various types of viscosifier additives on properties of oil-based drilling mud. *Int. J. Sci. Eng. Res*. 3 (8).
- Ademiluyi, T., Joel, O.F. and Amuda, A.K., 2011. Investigation of local polymer (Cassava starches) as a substitute for imported sample in viscosity and fluid loss control of water based drilling mud. *Am. J. Eng. Appl. Sci*. 6 (12), 43–48.
- Agarwal, S., Tran, P., Soong, Y., Martello, D., and Gupta, R. K. , 2011. Flow behavior of nanoparticle stabilized drilling fluids and effect of high temperature aging. In *AADE national technical conference and exhibition* (Vol. 2011, pp. 1-6).
- Agwu, O. E., and Akpabio, J. U. 2018. Using agro-waste materials as possible filter loss control agents in drilling muds: A review. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 163, 185-198.
- Akaranta, O. and Osuji, L.C., 1997. Carboxymethylation of orange mesocarp cellulose and its utilization in drilling mud formulation. *Cellul. Chem. Technol*. 31, 193–198.
- AlAwad, M. N. 2022. A new approach for understanding the mechanism of wellbore strengthening theory. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 34(1), 67-76.
- Alberty, M.W. and Mclean, 2004. M. R. A physical model for stress cages. In: *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*. Society of Petroleum Engineers.
- Alderman, N. J., Gavignet, A., Guillot, D., and Maitland, G. C. 1988. High-temperature, high-pressure rheology of water-based muds. In *SPE Annual Technical Conference and Exhibition?* (pp. SPE-18035). SPE.
- Alhameedi, A., Alkinani, H., Norman, S. and Flori, R., 2018. Practical strategies and engineered solutions to minimize the impact of lost circulation problem. *J. Petrol Environ. Biotechnol*. 9, 2.
- Alkinani, H.H., Al-Hameedi, A.T., Flori, R.E., Dunn-Norman, S., Hilgedick, S.A. and Alsaba, M.T., 2018. Updated classification of lost circulation treatments and materials with an integrated analysis and their applications. In: *SPE Western Regional Meeting*. Society of Petroleum Engineers.
- Almagro, S.P.B., Frates, C., Garand, J. and Meyer, A., 2014. Sealing fractures: advances in lost circulation control treatments. *Oilfield Review* Autumn 26 (3).
- Alsaba, M., Nygaard, R., Hareland, G., and Contreras, O., 2014. Review of lost circulation materials and treatments with an updated classification. In *AADE National Technical Conference and Exhibition*, Houston, TX (pp. 1-9).
- Amanullah, M.D. and Yu, L., 2004. Superior corn-based Starches for Oil Field Application. *Proceedings of the 4th International Crop Science Congress*. Brisbane, Australia.

- Anawe Paul, A.L., Efeovbokhan, V.E., Adebayo, T.A. and Nwaogwugwu, M.M., 2014. The effect of rice husk and sawdust on the properties of oil-based mud at varied temperatures. *J. Energy Technol. Pol.* 4 (2).
- Annis, M.R., and Smith, M.V., 1996. *Drilling Fluids Technology*. Exxon Company, U.S.A.
- Arapoglou, D., Varzakas, T., Vlyssides, A., Israilides, C., 2010. Ethanol production from potato peel waste (PPW). *Waste Manag.* 30 (10), 1898–1902. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.04.017>.
- API SPEC 13A, 2010. *Specification for Drilling Fluids – Specifications and Testing*, 18th ed, *Purchasing Guidelines Handbook*, American Petroleum Institute (API),.
- Arlanoğlu, C., 2011. *Casing Drilling and Modeling of Smear Effect*.
- ASME Shale Shaker Committee. 2011. *Drilling fluids processing handbook*. Elsevier.
- Aston, M.S., Alberty, M.W., Duncum, S.D., Bruton, J.R., Friedheim, J.E., Sanders and M.W., 2007. A new treatment for wellbore strengthening in shale. In: *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*. Society of Petroleum Engineers.
- Azar, J.J. and Samuel, G.R., 2007. *Drilling Engineering*. PennWell Books.
- Azizi, A., Ibrahim, M.S.N., Hamid, K.H.K., Sauki, A., Ghazali, N.A. and Mohd, T.A.T., 2013. Agarwood waste as a new fluid loss control agent in water-based drilling fluid. *Int. J. Sci. Eng.* 5 (2), 101–105.
- Bageri, B.S., Al-Mutairi, S.H. and Mahmoud, M.A., 2013. Different Techniques for Characterizing the Filter Cake. Paper SPE-163960-MS presented at the SPE Unconventional Gas Conference and Exhibition, Muscat, Oman. <https://doi.org/10.2118/163960-MS>.
- Bayat, A. E., Moghanloo, P. J., Piroozian, A., and Rafati, R. 2018. Experimental investigation of rheological and filtration properties of water-based drilling fluids in presence of various nanoparticles. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 555, 256-263.
- Bazarnova, N.G., Chubik, P.S., Khmel'nitskii, A.G., Galochkin, A.I. and Markin, V.I., 2001. Carboxymethylated wood as a chemical reagent for preparation of drilling fluids. *Russ. J. Appl. Chem.* 74 (4), 681–686.
- Beck, F. E., Powell, J. W., and Zamora, M. 1995. The effect of rheology on rate of penetration. In *SPE/IADC Drilling Conference and Exhibition* (pp. SPE-29368). SPE.
- Belgacem, M.N. and Gandini, A., 2008. *Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources*. Elsevier Publishers.
- Benyeogor, O., Awe, S., Amah, O., Ugochukwu, O., Erinle, A., Akinfolarin, A. and Oseme, U., 2016. Wellbore strengthening in narrow margin drilling. In: 2016. *Africa Energy and Technology Conference*.
- Blkooor, S.O. and Fattah, K.A., 2013. The Influence of XC-polymer on drilling fluid filter cake properties and formation damage. *J. Petrol Environ. Biotechnol.* 4, 157. <https://doi.org/10.4172/2157-7463.1000157>.
- Byrom, T.G., 2014. *Casing and Liners for Drilling and Completion: Design and Application*. Elsevier.
- Canson, B. E. 1985. Lost circulation treatments for naturally fractured, vugular, or cavernous formations. In *SPE/IADC Drilling Conference and Exhibition* (pp. SPE-13440). SPE.
- Chenevert, M., and Sharma, M. 2009. Maintaining Shale Stability by Pore Plugging. US Patent 0314549.
- Chenevert, M. E., and Huycke, J. 1991. Filter cake structure analysis using the scanning electron microscope. Society of Petroleum Engineers.

- Chike-Onyegbula, C.O., Ogbobe, O. and Nwanonenyi, S.C., 2012. Biodegradable polymer drilling mud prepared from Guinea corn. *J. Brew. Distill.* 3 (1), 6–14.
- Chinwuba, I.K., Princewill, O.N. and Vivian, O.C., 2016. Evaluation of the fluid loss properties of pleurotus and its commercial availability. *Int. J. Appl. Innovat. Eng. Manag.* 5 (5).
- Contreras Puerto, O., 2014. Wellbore Strengthening by Means of Nanoparticle-Based Drilling Fluids. University of Calgary.
- Contreras, O., Hareland G., Husein, M., Nygaard, R., and Alsaba, M. 2014. Application of In-House Prepared Nanoparticles as Filtration Control Additive to Reduce Formation Damage. In SPE 168116 prepared for presentation at the 2014 Int'l Symposium and Exhibition on Formation Damage Control, Lafayette, Louisiana, USA, 26-28 .
- Cook, J., Growcock, F., Guo, Q., Hodder, M. And Van Oort, E., 2011. Stabilizing the wellbore to prevent lost circulation. *Oilfield Rev.* 2012, 4.
- Cremeans, K.S. and Cremeans, J.G., 2003. Lost Circulation Material and Method of Use. United States Patent. US 6630429. <https://www.google.com/patents/US6630429>. (Ziyaret tarihi 5 Ekim 2023).
- Cui, M., Zhang, L., Lou, P., Zhang, X., Han, X., Zhang, Z. and Zhu, S., 2020. Study on thermal degradation mechanism of heat-resistant epoxy resin modified with carboranes. *Polym. Degrad. Stabil.* 176, 109143. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2020.109143>.
- Culver, G., 2007. Drilling and Well Construction. Chapter 6 in *Geothermal Direct-use Engineering and Design Guidebook*. Oregon Institute of Technology.
- Dagde, K.K., Nmegbu, C.G.J., 2014. Drilling fluid formulation using cellulose generated from groundnut husk. *Int. J. Adv. Res. Technol.* 3 (6).
- Devereux, S., S., 1999. *Drilling for Oil and Gas: A Nontechnical Guide*. PennWell.
- Dudley, J., Fehler, D., Zeilinger, S., 2000. Minimizing Lost Circulation Problems with Synthetic Muds. GPRI Project.
- Dewan, J.T. and Chenevert, M.E., 2001. A model for filtration of water-base mud during drilling: determination of mudcake parameters. *Petrophy. J.* 42 (3), 237–250. Society of Petrophysicists and Well-Log Analysts.
- Dias, F.T.G., Souza, R.R. and Lucas, E.F., 2015. Influence of modified starches composition on their performance as fluid loss additives in invert-emulsion drilling fluids. *Fuel J.* 140, 711–716. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.09.074>.
- Drilling manual, 2021, Lost Circulation Material (LCM) In Drilling Oil & Gas, <https://www.drillingmanual.com/2021/01/lost-circulation-lcm-materials-drilling-oil-gas.html>, (Ziyaret Tarihi 8 Temmuz 2023)
- Dupriest, F.E., 2005. Fracture closure stress (FCS) and lost returns practices. In: SPE/ IADC Drilling Conference. Society of Petroleum Engineers.
- Economides, M.J., Watters, L.T. and Dunn-Norman, S., 1998. *Petroleum Well Construction*, first ed. John Wiley and Sons Ltd., West Sussex, England.
- Elkatatny, S. M., Mahmoud, M. A., and Nasr-El-Din, H. A., 2011. A new approach to determine filter cake properties of water-based drilling fluids. In SPE Kingdom of Saudi Arabia Annual Technical Symposium and Exhibition (pp. SPE-149041). SPE.
- Egun, I.L. and Abah, A.M., 2013. Comparative performance of cassava starch to pac as fluid loss control agent in water based drilling mud. *Dent. J.* 3 (9).
- Feng, Y. and Gray, K., 2017a. Modeling lost circulation through drilling-induced fractures. *SPE J.*

- Feng, Y. and Gray, K., 2017b. Review of fundamental studies on lost circulation and wellbore strengthening. *J. Petrol. Sci. Eng.*
- Feng, Y. and Gray, K. E. 2018. Modeling lost circulation through drilling-induced fractures. *Spe Journal*, 23(01), 205-223.
- Gaurina-Medimurec, N. And Pašić, B., 2009. Aphron-based drilling fluids: solution for low pressure reservoirs. *Rudarsko-Geolosko-Naftni Zb.* 21, 65–72.
- GEO Drilling Fluids Inc, 2010. Products – Saw Dust – Product Description. http://www.geodf.com/store/geodf_products/58.pdf. (Ziyaret tarihi 3 Ekim 2023).
- Ghalambor, A., Salehi, S., Shahri, M.P. and Karimi, M., 2014. Integrated workflow for lost circulation prediction. In: SPE International Symposium and Exhibition on Formation Damage Control. Society of Petroleum Engineers.
- Ghazali, N.A., Alias, N.H., Mohd, T.A.T., Adeib, S.I., Noorsuhana, M.Y., 2015. Potential of corn starch as fluid loss control agent in drilling mud. *Appl. Mech. Mater.* 754–755, 682–687.
- Gonzalez, M.E., Bloys, J.B., Lofton, J.E., Pepin, G.P., Schmidt, J.H., Naquin, C.J., Ellis, S. T. and Laursen, P.E., 2004. Increasing effective fracture gradients by managing wellbore temperatures. In: IADC/SPE Drilling Conference. Society of Petroleum Engineers.
- Gorter, J.D., Bellis, C.J., Dee, C.N., Fenton, G.G. and Schroder, R.J., 1982. Well Completion Report. Pancontinental Petroleum Ltd, Wallaby -1, OP 175, Northern Territory, Australia.
- Growcock, F., Kaageson-Loe, N., Friedheim, J., Sanders, M. and Bruton, J., 2009. Wellbore stability, stabilization and strengthening. In: Offshore Mediterranean Conference and Exhibition. Offshore Mediterranean Conference.
- Hamed, S. B., and Belhadri, M., 2009. Rheological properties of biopolymers drilling fluids. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 67(3-4), 84-90.
- Hamida, T., Kuru, E. and Pickard, M., 2010. Filtration loss characteristics of aqueous waxy hull-less barley (WHB) solutions. *J. Petrol. Sci. Eng.* 72 (1–2), 33–41. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2010.02.006>.
- Hamza, A., Shamlooh, M., Hussein, I.A., Nasser, M. and Salehi, S., 2019. Polymeric formulations used for loss circulation materials and wellbore strengthening applications in oil and gas wells: a review. *J. Petrol. Sci. Eng.* 180, 197–214.
- Harry, T.F., Joel, O.F., Ademiluyi, F.T. and Oduola, K., 2016. Performance evaluation of local cassava starches with imported starch for drilling fluid. *Am. J. Energy Res.* 5 (10), 111–120.
- Hashmat, M., Sultan, A.S., Rahman, S. and Hussain, S., 2016. Crosslinked polymeric gels as loss circulation materials: an experimental study. In: SPE Kingdom of Saudi Arabia Annual Technical Symposium and Exhibition. Society of Petroleum Engineers.
- Hassani, A. H., Al-Ajmi, A. M., and Heydari, H., 2016. A novel model for wellbore stability analysis during reservoir depletion. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 35, 935-943.
- Horton, R. L., Prasek, B., Growcock, F. B., Vian, J. W. and Ivan, C. D., 2006. Prevention and treatment of lost circulation with crosslinked polymer material. Google Patents.
- Hossain, M.E. and Wajheeuddin, M., 2016. The use of grass as an environmentally friendly additive in water-based drilling fluids. *J. Pept. Sci.* 13 (2), 292–303. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12182-016-0083-8>
- Howard, G. C., and Scott, P. P. 1951. An Analysis and the Control of Lost Circulation. SPE-951171-G. *Journal of Petroleum Technology*. Vol. 3, No. 6, 171-182.

- Hoxha, B.B., Incedalip, O., Vajargah, A.K., Hale, A. and Oort, E.V., 2016. Thermal wellbore strengthening: system design, testing, and modeling. In: SPE Deepwater Drilling and Completions Conference. Society of Petroleum Engineers.
- Igwilo, K.C., Anawe, P.A.L., Okolie, S.T.A., Uzorchukwu, I. and Charles, O., 2017. Evaluation of the fluid loss property of *Annona muricata* and *Carica papaya*. *Open J. Yangtze Gas Oil* 2, 144–150. <https://doi.org/10.4236/ojogas.2017.23010>.
- Ivan, C., Quintana, J. And Blake, L., 2001. Aphron-base drilling fluid: evolving technologies for lost circulation control. In: SPE Annual Technical Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers.
- İsmail, I. and İdris, A.K., 1997. The Prospect of Using Local Starches as Fluid Loss Control Agents in the Petroleum Industry. *Universiti Teknologi, Malaysia*.
- İşcan, A.G. and Kök, M.V., 2007. Effects of walnut shells on the rheological properties of water-based drilling fluids. *Energy Sources, Part A Recovery, Util. Environ. Eff.* 29 (11), 1061–1068. <https://doi.org/10.1080/00908310600713982>.
- Jaf, P. T., Razzaq, A. A., and Ali, J. A., 2023. The state-of-the-art review on the lost circulation phenomenon, its mechanisms, and the application of nano and natural LCM in the water-based drilling fluid. *Arabian Journal of Geosciences*, 16(1), 32.
- Jiang, G., Deng, Z., He, Y., Li, Z., and Ni, X. 2019. Cross-linked polyacrylamide gel as loss circulation materials for combating lost circulation in high temperature well drilling operation. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 181, 106250.
- Jiang, G., Sun, J., He, Y., Cui, K., Dong, T., Yang, L., Yang, X. and Wang, X., 2021. Novel Water-Based Drilling and Completion Fluid Technology to Improve Wellbore Quality during Drilling and Protect Unconventional Reservoirs (Engineering).
- Kandarpa, V. and Vetter, O.J., 1980. Degradation Characteristics of Cotton Seed Hulls and Sawdust in High Temperature Geothermal Brines. *Geothermal Resources Council, Transactions*, p. 4.
- Kang, Y., Tan, Q., You, L., Zhang, X., Xu, C., and Lin, C. 2019. Experimental investigation on size degradation of bridging material in drilling fluids. *Powder Technology*, 342, 54-66.
- Karimi, M., Petrie, S.W., Moellendick, E. and Holt, C., 2011. A review of casing drilling advantages to reduce lost circulation, augment wellbore strengthening, improve wellbore stability, and mitigate drilling-induced formation damage. In: SPE/IADC Middle East Drilling Technology Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers.
- Kinchen, D., Peavy, M.A., Brookey, T. and Rhodes, D., 2001. Case History: Drilling Techniques Used in Successful Redevelopment of Low Pressure H₂s Gas Carbonate Formation. Paper SPE/IADC 67743 presented at the SPE/IADC Drilling Conference held in Amsterdam, The Netherlands.
- Kumar A, Savari S, Whitfill, DL and Jamison DE., 2010. Wellbore strengthening: the less-studied properties of lost-circulation materials. In SPE Annual Technical Conference and Exhibition. OnePetro
- Kumar, A. and Savari, S., 2011. Lost Circulation Control and Wellbore Strengthening: Looking Beyond Particle Size Distribution. AADE-11-NTCE-21, AADE National Technical Conference and Exhibition, Houston, USA, 12-14 April 2011.
- Lummus, J.L. and Ryals, J.N., 1971. Preventing Loss of Drilling Fluid to Drilled Formations. US Patent 3629102 A. Assigned to Pan American Petroleum Corporation. [https:// www.google.ch/patents/US3629102](https://www.google.ch/patents/US3629102). (Ziyaret tarihi 3 Ağustos 2023).

- Luo, H., 2019. Research on Toughening of High Temperature Resistant Epoxy Resin with Epoxidized Phenoxy Resin. South China University of Technology, Guangdong.
- Luzardo, J., Oliveira, E.P., Derks, P.W.J., Nascimento, R.V., Gatges, A.P., Valle, R., Pantano, I.G., Sbaglia, F. and Inderberg, K., 2015. Alternative Lost Circulation Material for Depleted Reservoirs. Paper OTC-26188-MS presented at the Offshore Technology Conference Brasil, Rio de Janeiro, Brazil.
- Magzoub, M.I., Salehi, S., Hussein, I.A. and Nasser, M.S., 2020a. A comprehensive rheological study for a flowing polymer-based drilling fluid used for wellbore strengthening. In: SPE International Conference and Exhibition on Formation Damage Control. OnePetro.
- Magzoub, M.I., Salehi, S., Hussein, I.A. and Nasser, M.S., 2020b. Loss circulation in drilling and well construction: the significance of applications of crosslinked polymers in wellbore strengthening: a review. J. Petrol. Sci. Eng. 185, 106653.
- Mansour, A.K., Taleghani, A.D. and Li, G., 2017. Smart Expandable LCMs - a Theoretical and Experimental Study. Paper AADE-17-NTCE-074 presented at the 2017 AADE National Technical Conference and Exhibition, Houston, Texas.
- Mccaskill, J., Kinder, J., Goodwin, B. And Chokes, P., 2006. Managing wellbore pressure while drilling. Drill. Contract. 62, 40–42.
- McKinley MJ., and Applegath DD., 1985. U.S. Patent No. 4,526,240. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Mirabbasi, S. M., Ameri, M. J., Alsaba, M., Karami, M., and Zargarbashi, A. 2022. The evolution of lost circulation prevention and mitigation based on wellbore strengthening theory: A review on experimental issues. Journal of Petroleum Science and Engineering, 211, 110149.
- Mitchell, R.F. and Miska, S.Z., 2017. Fundamentals of Drilling Engineering. Society of Petroleum Engineers.
- Morita, N., Fuh, G.-F. and Black, A., 1996. Borehole Breakdown Pressure with Drilling Fluids—II. Semi-analytical Solution to Predict Borehole Breakdown Pressure. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts. Elsevier, pp. 53–69.
- Morris, J.R., 1962. Drilling Fluid. US Patent 3042607. <https://www.google.com/patents/US3042607>. (Accessed 21 September 2017).
- Mostafavi Torogi, S. V. 2012. *Experimental analysis and mechanistic modeling of wellbore strengthening* (Doctoral dissertation, University of Calgary).
- Mostafavi, V., Ferdous, M., Hareland, G. And Husein, M., 2011. Design and application of novel nano drilling fluids to mitigate circulation loss problems during oil well drilling operations. In: Nanotech Conference and Expo, pp. 13–16.
- Mostafavi, V., Hareland, G., Aadnøy, B. and Kustamsi, A., 2010. Modeling of Fracture and Collapse Initiation Gradients in Presence of Mud Cake. ISRM International Symposium-EUROCK 2010. International Society for Rock Mechanics.
- Nasir-El-Din, H.A., Al-Otaibi, M.B. and Al-Qahtani, A.A., 2007. An effective fluid formulation to remove drilling fluid mud cake in horizontal and multilateral wells. SPE Drilling and Completion J. 26–32. <https://doi.org/10.2118/87960-PA>.
- Nasiri A, Shahrabi MA, and Moraveji MK., 2018. Application of new ecofriendly LCMs for combating the lost circulation in heavy-weight and oil-based mud. RSC advances 8(18):9685–9696.
- Nayberg, T.M. and Linafelter, R.L., 1984. Controlling Cement Circulation Loss to Both High Permeability and Fractured Formations. Paper SPE 12905 presented at the 1984 Rocky Mountain Regional Meeting, Casper, WY.

- Nayberg, T.M. and Petty, B.R., 1986. Laboratory Study of Lost Circulation Materials for Use in Both Oil-base and Water-base Drilling Muds. Paper IADC/SPE 14723 presented at the IADC/SPE Drilling Conference, Dallas, USA.
- Nestle, A.C., 1952. Drilling Fluid. US Patent 2601050. Assigned to Texaco Corporation. https://archive.org/stream/us_patent_2601050/us_patent_2601050_djvu.txt. (Ziyaret tarihi 8 Ağustos 2023).
- Nicora, L. F., Pirovano, P., Blomberg, N., and Taugbøl, K. 2001. High-density invert-emulsion system with very low solids content to drill ERD and HPHT wells. In *SPE International Conference on Oilfield Chemistry?* (pp. SPE-65000). SPE.
- Nmegbu, C.G.J. and Bari-Agara, B., 2014. Evaluation of corn cob cellulose and its suitability for drilling mud formulation. *Int. J. Eng. Res. Appl.* 4 (5), 112–117 (Version 7).
- Noah, A. Z., El Semary, M. A., Youssef, A. M., and El-Safty, M. A. 2017. Enhancement of yield point at high pressure high temperature wells by using polymer nanocomposites based on ZnO & CaCO₃ nanoparticles. *Egyptian Journal of Petroleum*, 26(1), 33-40.
- Nyeche, W.E., Nmegbu, C.G.J. and Ifeoma, P.J., 2015. Drilling mud formulation using potato starch (*Ipomoea Batatas*). *Int. J. Eng. Res. Appl.* 5 (9), 48–54.
- Okon, A.N., Udoh, F.D. and Bassey, P.G., 2014. Evaluation of Rice Husk as Fluid Loss Control Additive in Water-based Drilling Mud. Paper SPE 172379 presented at the Nigerian Annual International Conference and Exhibition, Lagos.
- Okrajni, S. S., and Azar, J. J. 1986. The effects of mud rheology on annular hole cleaning in directional wells. *SPE Drilling Engineering*, 1(04), 297-308.
- Olatunde, A.O., Usman, M.A., Oladafenan, O.A., Adeosan, T.A. and Ufot, O.E., 2012. Improvement of rheological properties of drilling fluid using locally based material. *Petrol. Chem.* 54 (1), 65–75.
- Onuh, C.Y., Igwilo, K.C., Anawe, P.A.L., Olakunle, D. and Omotoke, O., 2017. Environmentally friendly fluid loss control agent in water-based mud for oil and gas drilling operations. *Int. J. Appl. Eng. Res.* 12 (8), 1520–1523. Research India Publications.
- Overveldt, A.S., Bedrikovetsky, P. And Zitha, P.I.J., 2012. A CT Scan Study of the Leak off of Oil Based Drilling Fluids. Paper SPE 151856 presented at the SPE International Symposium and Exhibition on Formation Damage Control, Lafayette, Louisiana, USA.
- Païman, M., and Al-Anazi, D. 2008. Using Nanoparticles to Decrease Differential Pipe Sticking and its feasibility in Iranian Oil Field. *Oil and Gas Business*.
- Piroozian, A., Ismail, I., Yaacob, Z., Babakhani, P., and Ismail, A. S. I. 2012. Impact of drilling fluid viscosity, velocity and hole inclination on cuttings transport in horizontal and highly deviated wells. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 2, 149-156.
- Plank, J.P. and Gossen, F.A., 1991. Visualization of fluid-loss polymers in drilling mud filter cakes. SPE-19534-PA SPE Drill. Eng. J. Soc. Petrol. Eng. 6 (3).
- Pu, L., Xu, P., Xu, M., Song, J., and He, M. (2022). Lost circulation materials for deep and ultra-deep wells: A review. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 214, 110404.
- Qutob, H., 2004. Underbalanced drilling; remedy for formation damage, lost circulation, and other related conventional drilling problems. In: Abu Dhabi International Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers.
- Rabia, H. 2002. *Well Engineering & Construction* (pp. 288-289). London: Entrac Consulting Limited.

- Ramesh, K. T. 2009. Nanomaterials (pp. 1-20). Springer US.
- Razavi, S.O., 2016. Experimental Investigation of the Wellbore Strengthening Phenomenon. The University of Texas at Austin. Ph.D. Thesis.
- Saengdee, A. And Terakulsatit, B., 2017. Utilization of Sugarcane Bagasse Ash as Filtration Loss Control Agent in Water Based Drilling Muds. บทความวิจัย วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อ. ปีที่ 10 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2560, pp. 37–48.
- Salamachi, A., Talemi, P. and Tooski, Z.Y., 2016. Psyllium Husk in Water Based Drilling Fluids: an Environmentally Friendly Viscosity and Filtration Agent. Paper SPE 183308 MS presented at the Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference held in Abu Dhabi, UAE.
- Salawudeen, T.O., Arinkoola, A.O., Jimoh, M.O., Salam, K.K. and Ogunmola, E.O., 2016. Effect of inert fibre on performance of B. eurycoma as rheology and filtration control additive in water-based drilling fluid. *Int. J. Pavement Eng.* 2 (3), 191–208.
- Samavati, R., and Abdullah, N., 2016. The experimental assessment and study of Ubi kayu starch as fluid loss control agent in water based drilling fluids. *Int. J. Sci. Res. Chem. Eng.* 3 (1), 1–6. <https://doi.org/10.12983/ijsrcce-2016-p0001-0006>.
- Samavati, R., Abdullah, N., Tahmasbi, N.K., Hussain, S.A. and Awang, B.D.R., 2014. Rheological and fluid loss properties of water based drilling mud containing HClmodified fufu as a fluid loss control agent. *Int. J. Civ. Eng. Appl.* 5 (6), 446–45
- Savari, S., Whitfill, D.L. and Kumar, A., 2012. Resilient Lost Circulation Material (LCM): A Significant Factor in Effective Wellbore strengthening[C]/SPE Deepwater Drilling and Completions Conference. OnePetro.
- Schlumberger, 2017. Granular Lost Circulation Material. Oil Field Glossary. http://www.glossary.oilfield.slb.com/Terms/g/granular_lost-circulation_material.aspx. (Ziyaret tarihi 3 Ağustos 2023).
- Schlumberger. 2014. Oil Field Glossary, <http://www.glossary.oilfield.slb.com> (Ziyaret Tarihi:11 Ekim 2023)
- Scott, P. D., Beardmore, D. H., Wade, Z. D., Evans, E., and Franks, K. D. 2012. Size degradation of granular lost circulation materials. In *IADC/SPE Drilling Conference and Exhibition*. OnePetro.
- Scott, P.P. and Lummus, J.L., 1955. New Developments in the Control of Lost Circulation. Paper 516–G presented at the 30th Annual Fall Meeting of the Petroleum Branch of the American Institute of Mining and Metallurgical Engineers, New Orleans.
- Seteyeobot, I., Uma, J. A., and Enaworu, E. 2017. Experimental Study of the Possible use of Locally Derived Plantain Peelings and Rice Husk as Additives for Oil Based Mud at High Temperature-High Pressure Conditions. In *SPE Nigeria Annual International Conference and Exhibition* (p. D023S025R001). SPE.
- Shahri, M.P., 2015. Quantification of wellbore strengthening mechanisms: comprehensive parametric analysis. In: *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*. Society of Petroleum Engineers.
- Shen, G. and Shen, X., 2016. Widened safe mud window for subsalt well sections: a workflow and case study. In: *Offshore Technology Conference*. Offshore Technology Conference.
- Shen, X., 2016. Widened safe mud window for naturally fractured shale formations: a workflow and case study. In: *IADC/SPE Asia Pacific Drilling Technology Conference*. Society of Petroleum Engineers.

- Sweatman, R., Kessler, C., Hillier, J., 1997. New solutions to remedy lost circulation, crossflows, and underground blowouts. In: SPE/IADC Drilling Conference. Society of Petroleum Engineers.
- Türkiye Petrolleri [TP] (2007). Sondaj akışkanları teknolojisi (lignosülfonat çamuru). Araştırma Merkezi Daire Başkanlığı Sondaj Teknolojisi Müdürlüğü, Ankara.)
- Ukachukwu, C.O., Ogbobe, O. and Umoren, S.A., 2010. Preparation and characterization of biodegradable polymer mud based on millet starch. *Chem. Eng. Commun.* 197 (8), 1126–1139. <https://doi.org/10.1080/00986440903412902>.
- Van Oort, E., Friedheim, J.E., Pierce, T. and Lee, J., 2011. Avoiding losses in depleted and weak zones by constantly strengthening wellbores. *SPE Drill. Complet.* 26, 519–530.
- Yongbin, G., Bangchuan, Y., Yi, H., Lei, L., Guancheng, J. and Zhengqiang, D. 2019. Development and evaluation of a high temperature gelling and degradable polymer lost circulation material. *Drill. Fluid Complet. Fluid*, 36 (3), 293–297.
- Wagle VB., Pal OR., and Kulkarni SD., 2016. U.S. Patent Application No. 15/038,688.
- Wang, H., Towler, B.F. and Soliman, M.Y., 2007. Near Wellbore Stress Analysis and Wellbore Strengthening for Drilling Depleted Formations. Rocky Mountain Oil and Gas Technology Symposium. Society of Petroleum Engineers.
- Wang, Z., Nielsen, J. and Chen, Y., 2017. Analysis of thermally induced stresses for effective remediation of lost circulation through drilling induced fractures. In: ASME 2017 36th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering. American Society of Mechanical Engineers. V008T11A009-V008T11A009.
- White, R. J., 1956. Lost-Circulation Materials and Their Evaluation. API-56-352. Drilling and Production Practice, New York, New York, USA, 1 January 1956.
- Whitfill, D.L., 2008. Lost Circulation Material Selection, Particle Size Distribution and Fracture Modelling with Fracture Simulation Software. Paper IADC/SPE 115039, presented at the IADC/SPE Asia Pacific Drilling Technology Conference and Exhibition, Jakarta, Indonesia.
- Whitfill, D.L., Jamison, D.E., Wang, M. and Angove-Rogers, A., 2007. Preventing lost circulation requires planning ahead. In: International Oil Conference and Exhibition in Mexico. Society of Petroleum Engineers.
- Wu, Q., 2016. Engineering plastic/inorganic fiber blends as lost circulation materials. U. S. Patent 9, 6–14, 366,098[P].
- Xiang, T. 2009. Methods for reducing circulation loss during drilling operations. Google Patents.
- Yan, L., Wu, H. And Yan, Y., 2015. Application of fine managed pressure drilling technique in complex wells with both blowout and lost circulation risks. *Nat. Gas. Ind. B* 2, 192–197.
- Yang, B., Huang, X. and He, L., 2020. Performance evaluation of epoxy resin liquid rubber plug channeling plugging agent system. *Oilfield Chem.* 37 (2), 239–244. <https://doi.org/10.19346/j.cnki.1000-4092.2020.02.010>.
- Zhang, L., Ma, S., Wang, H., Liang, Y., and Zhang, Z. 2020. Research progress of shape memory polymer deformation mode. *Acta Chimica Sinica*, 78(9), 865.
- Zhong, H., Shen, G., Yang, P., Qiu, Z., Jin, J. and Xing, X., 2018. Mitigation of lost circulation in oil-based drilling fluids using oil absorbent polymers. *Materials* 11 (10). <https://doi.org/10.3390/ma11102020>.
- Zoveidavianpoor, M., and Samsuri, A. 2016. The use of nano-sized Tapioca starch as a natural water-soluble polymer for filtration control in water-based drilling muds. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 34, 832-840.