



**İSKENDERUN TEKNİK**  
ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK  
LİSANS  
TEZİ**

**PİRİNÇ KABUĞU KÜLÜNÜN  
SONDAJ UYGULAMALARINDA  
ÇİMENTO ŞERBETİ KATKISI  
OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**Elif Semin CEYLAN**

**PETROL VE DOĞALGAZ MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**NİSAN 2021**



**PİRİNÇ KABUĞU KÜLÜNÜN SONDAJ UYGULAMALARINDA ÇİMENTO  
ŞERBETİ KATKISI OLARAK KULLANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Elif Semin CEYLAN**

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

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NİSAN 2021**

Elif Semir CEYLAN tarafından hazırlanan “PİRİNÇ KABUĞU KÜLÜNÜN SONDAJ UYGULAMALARINDA ÇİMENTO ŞERBETİ KATKISI OLARAK KULLANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / ~~OY ÇOKLUĞU~~ ile İskenderun Teknik Üniversitesi Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Dr. Öğr. Üyesi Bayram Ali MERT

.....  
.....

Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

**Başkan:** Dr. Öğr. Üyesi Bayram Ali MERT

.....  
.....

Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

**Üye:** Dr. Öğr. Üyesi Meryem YEŞİLOT KAPLAN

.....  
.....

Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

**Üye:** Doç. Dr. Ahmet TEYMEN

.....  
.....

Maden İşletmesi Anabilim Dalı, Niğde Ömer Halis Demir Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 15 / 04 / 2021

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr. Ersin BAHÇECİ  
Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülediğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İmza

Elif Semir CEYLAN

...../...../.....

PIRİNÇ KABUĞU KÜLÜNÜN SONDAJ UYGULAMALARINDA ÇİMENTO ŞERBETİ  
KATKISI OLARAK KULLANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI  
(Yüksek Lisans Tezi)

Elif Semin CEYLAN

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Nisan 2021

ÖZET

Sondaj kuyularındaki olası yüksek sıcaklık ve basınç faktörleri hem çimentolama operasyonu esnasında hem de sonrasında çimentonun yapısında birtakım olumsuzluklara sebep olabilmektedir. Bu sebeple, iyi bir çimentolama operasyonu ve kuyu muhafazası için çimento şerbeti içerisine bir takım katkı malzemeleri ilave edilir. Bu katkı malzemelerinin miktar ve çeşitliliği derinlik, sıcaklık, formasyon basınçları ve tipine göre değişiklik göstermektedir.

Bu çalışmada, çimento şerbeti içerisine pirinç kabuğu külü (RHA) katkı malzemesi olarak eklenmiş, elde edilen şerbetin ve prizlenme sonrası elde oluşan betonun reolojik ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Çalışma kapsamında çimento şerbeti içerisine çimento ağırlığınca %5, 10, 15 ve 20 oranlarında pirinç kabuğu külü eklenip, elde edilen numunelerin basınç dayanımları araştırılmıştır. Deneyler için biri kontrol numunesi olmak üzere toplam beş grup çimento şerbeti numunesi, belirlenen oranlarda pirinç kabuğu külü ilave edilerek hazırlanmıştır. Her grubun deneyleri 3'er kez tekrar edilerek 7, 14 ve 28 günlük eğilme ve basınç mukavemetleri tespit edilmiştir. Çimento şerbetinin reolojik ve mekanik dayanım analiz çalışmaları yapılarak çimentonun iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Pirinç kabuğu külü katılmış çimento şerbet numunelerinin plastik viskozite (PV), görünür viskozite (AV) gibi reolojik özellikleri viskometre gibi filtrasyon özellikleri ise sıvı kaybı test aletleri kullanılarak detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Çalışmada yapılan tüm ölçümler Amerikan Petrol Enstitüsü 10A (ISO 10426-1) standartlarına göre yapılmıştır.

Çalışmadan elde edilen deneysel bulgular, pirinç kabuğu külü katkısının çimento harcının mekanik özelliklerinin gelişmesinde oldukça etkili olduğu ve oranlardaki artışla birlikte harcın eğilme ve basınç mukavemetinde kayda değer artışlar meydana getirdiği belirlenmiştir. Sonuç olarak; bundan sonraki yapılacak çalışmalarda RHA'nın tane boyutunu azaltarak %10-%15 aralığındaki deneylerin sıklaştırılması ve çok kez tekrarlanması önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler : G sınıfı çimento, pirinç kabuğu külü, sondaj, çimentolama, reolojik Özellikler

Sayfa Adedi : 65

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Bayram Ali MERT

# INVESTIGATION OF THE USABILITY OF RICE HUSK ASH AS CEMENT SLURRY ADDITIVE IN DRILLING APPLICATIONS

(M. Sc. Thesis)

Elif Semin CEYLAN

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY  
ENGINEERING AND SCIENCE INSTITUTE

April 2021

## ABSTRACT

Possible high temperature and pressure factors in the drilling wells can cause some negativities in the structure of the cement both during and after the cementing operation. For this reason, some additives are added to the cement slurry for a good cementing operation and well preservation. The amount and variety of these additives vary according to depth, temperature, formation pressures and type.

In this study, rice husk ash (RHA) was added to cement slurry as an additive material, and the rheological and mechanical properties of the slurry obtained and the concrete formed after setting were investigated. Within the scope of the study, the rice husk ash 5, 10, 15 and 20% by weight of the cement was added to the cement slurry and compressive strength of the samples were investigated. For the experiments, a total of five groups of cement slurry samples, one of which was a control sample, were prepared by adding rice husk ash in the specified ratios. Flexural and compressive strengths of these samples were determined by repeating 3 times at 7, 14 and 28 days after curing in water at  $21 \pm 1$  ° C. The experimental findings obtained from this study showed that the addition of rice husk ash was highly effective in improving the mechanical properties of cement slurry. The results also indicated that there was a significant increase in the flexural and compressive strength of slurry with the increase of rice husk ash. Rheological properties such as plastic viscosity (PV) and apparent viscosity (AV) of cement slurry samples with rice husk ash were analyzed in detail using fluid loss test instruments. All measurements made in the study were made according to American Petroleum Institute 10A (ISO 10426-1) standards.

The experimental findings obtained from this study showed that the addition of rice husk ash was highly effective in improving the mechanical properties of cement slurry. The results also indicated that there was a significant increase in the flexural and compressive strength of slurry with the increase of rice husk ash. As a result; In future studies, it has been suggested to increase the frequency of the experiments in the range of 10-15% and to repeat them multiple times with reducing of grain size of the RHA.

Key Words : G class cement, rice husk ash, drilling, cementing, rheological properties

Page Number : 65

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Bayram Ali MERT

## TEŞEKKÜR

Öncelikle, bu tez çalışmasının hazırlanmasında bana yol gösteren, bilimsel birikim ve deneyimleri ile çalışmamın her aşamasında desteğini esirgemeyen danışman hocam **Dr. Öğr. Üyesi Bayram Ali MERT**' e sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarım boyunca bana her konuda yardımcı olan, tecrübeleri ile desteğini hiç esirgemeyen **Arş. Gör. Murat ÖZTÜRK**' e ve **Arş. Gör. Onur Eser KÖK**' e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında desteğini ve bilgilerini hiçbir zaman esirgemeyen, yanımda olan Petrol ve Doğalgaz Mühendisi **Ali Fırat AYDIN**' a ve Petrol ve Doğalgaz Mühendisi **Çağlar EKER**' e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca deneysel çalışmalarım için gerekli laboratuvar imkânlarını sağlayan İskenderun Teknik Üniversitesi Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Bölümü'ne ve İskenderun Teknik Üniversitesi Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Bölüm Başkanı **Prof. Dr. Yakup KAR**' a sonsuz teşekkür ve minnettarlığımı sunarım.

Eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, bana her koşulda güvenen, yanımda olan, bugünlere gelmemi sağlayan annem **Nefise CEYLAN**' a, ve varlığına minnettar olduğum ağabeyim **Dr. Muhammed Emir CEYLAN**' a sonsuz saygı, teşekkür ve minnettarlığımı sunarım.

Manevi varlığını her zaman hissettiğim, kızı olmaktan şeref duyduğum canım babam **Mustafa CEYLAN**' a sonsuz saygı, teşekkür ve minnettarlığımı sunarım.

Bu tezi sevgili anneme ve babama ithaf ediyorum.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. ÇİMENTO ve RHA .....	3
2. 1. Çimentonun Reolojik Özellikleri.....	3
2. 2. Çimentoyu Etkileyen Faktörler.....	10
2. 3. Çimento Harcında Kullanılan Katkı Maddeleri.....	12
2. 4. Pirinç Kabuğu Külü (RHA) .....	14
2. 4. 1. RHA özellikleri.....	14
3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	16
3. 1. Çimento Dayanımının Artırılması .....	16
4. MATERYAL ve METOD .....	19
4. 1. Materyal .....	19
4. 1. 1. Çalışmada kullanılan malzemeler .....	19
4. 1. 2. Çalışmada kullanılan ekipmanlar.....	21
4. 2. Metod .....	24
4. 2. 1. Laboratuvar çalışmaları .....	27
5. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	33
5. 1. Viskozite Analizleri .....	33
5. 2. Yoğunluk Analizleri.....	38
5. 3. Sıvı Kaybı Analizleri .....	39



5. 4. Yayılma Tablası Analizleri .....	42
5. 5. Mekanik Dayanım Analizleri.....	43
5. 5. 1. Eğilme ve basınç analizleri .....	43
5. 5. 2. Sıcaklık analizleri.....	46
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	50
KAYNAKÇA.....	55
ÖZGEÇMİŞ .....	59
DİZİN.....	60



## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2. 2. Türkiye'nin en sıcak jeotermal kuyuları .....	11
Çizelge 2. 3. Bazı katkı maddelerinin fiziksel özellikleri .....	13
Çizelge 2. 4. Pirinç kabuğu külünün kimyasal özellikleri .....	15
Çizelge 2. 5. Pirinç kabuğu külünün fiziksel özellikleri .....	15
Çizelge 4. 1. Çimento numunelerinde kullanılan malzeme ve miktarları.....	25
Çizelge 5. 1. Çimento şerbetinin yoğunluk değerleri .....	38
Çizelge 5. 2. Çimento numunelerinin sıvı kaybı miktarları.....	40
Çizelge 5. 3. Çimento şerbetinin yayılma deneyi sonuçları.....	42
Çizelge 5. 4. Çimento hamurlarının ortalama eğilme ve ortalama basınç değerleri .....	44
Çizelge 5. 5. Çimento hamur numunelerinin sıcaklık değerleri .....	47

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2. 1. Blok tabakalar arasında kayma hızı gerilimi .....	3
Şekil 2. 2. Kayma hızının şematik gösterimi .....	4
Şekil 2. 3. Newtoniyen akış türünde MG – MH ilişkisi.....	5
Şekil 2. 4. Newtoniyen akış türünde viskozite – MH ilişkisi .....	6
Şekil 2. 5. Non- Newtoniyen akış türünden MG – MH ilişkisi .....	6
Şekil 2. 6. Non- Newtoniyen akış türünde viskozite – MH ilişkisi .....	7
Şekil 2. 7. Akışkanların reolojik davranış sınıflandırılması .....	7
Şekil 2. 8. Newtoniyen ve non-newtoniyen akışlarda viskozite-kayma hızı grafiği.....	9
Şekil 2. 9. Reopektik ve tiksotropik akışkanın zaman-kayma gerilmesi grafiği .....	9
Şekil 4. 1. G sınıfı çimento ve pirinç kabuğu külü .....	20
Şekil 4. 2. Elektronik hassas terazi .....	21
Şekil 4. 3. Mikser.....	22
Şekil 4. 4. Çamur / çimento terazisi.....	23
Şekil 4. 5. Ofite-Model 800 marka fann viskozimetresi .....	23
Şekil 4. 6. Sıvı kaybı düzeneği.....	24
Şekil 4. 7. Çalışmanın genel olarak şematik gösterimi.....	26
Şekil 4. 8. Çalışmada kullanılan pirinç kabuğu külü ve çimento oranı .....	27
Şekil 4. 9. Numunelerin kalıba dökülmesi.....	28
Şekil 4. 10. Yayılma tablası .....	31
Şekil 5. 1. % 0 RHA eklenen çimento şerbetinin viskozite kadran okumaları .....	34
Şekil 5. 2. % 5 RHA eklenen çimento şerbetinin viskozite kadran okumaları .....	35
Şekil 5. 3. % 10 RHA eklenen çimento şerbetinin viskozite kadran okumaları .....	35
Şekil 5.4. % 15 RHA eklenen çimento şerbetinin viskozite kadran okumaları .....	36
Şekil 5. 5. % 20 RHA eklenen çimento şerbetinin viskozite kadran okumaları .....	36
Şekil 5. 6. PV, AV ve YP değerleri .....	37
Şekil 5. 7. % RHA oranına göre yoğunluk deney grafiği .....	39
Şekil 5. 8. % RHA oranlarına göre sıvı kaybı değerleri .....	41
Şekil 5. 9. Çimento şerbetinde farklı % RHA karışımlarının sıvı kaybı.....	41
Şekil 5. 10. % 0, % 5, %10, %15, %20 RHA ikameli numunelerin yayılma değerleri.....	43
Şekil 5. 11. Kürlenme günlerine göre basınç dayanım grafiği.....	44

Şekil 5. 12. Kürlenme günlerine göre eğilmede çekme dayanım grafiği.....	46
Şekil 5. 13. %0, %5, %10, %15, %20 RHA ikameli harç numunelerinin � farklı sıcaklık değerine göre eğilme ve basınç değerler grafiği .....	49



## SİMGELER VE KISALTMALAR

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

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklamalar</b>
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	Alüminyum Oksit
<b>As<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	Arsenik Tri Oksit
<b>BaO</b>	Beryum Oksit
<b>°C</b>	Derece Celsius
<b>CaCO<sub>3</sub></b>	Kalsiyum Karbonat
<b>CaO</b>	Kalsiyum Oksit
<b>C</b>	Klor
<b>CdO</b>	Kadmiyum Oksit
<b>CO<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	Kobalt Oksit
<b>Cp</b>	Santipoiz
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	Kronyum (III) Oksit
<b>CSH</b>	C-S-H Jeli – Hidratasyon Ürünleri
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	Demir (III) Oksit
<b>Ft</b>	Feet
<b>K<sub>2</sub>O</b>	Potasyum Oksit
<b>kN</b>	Kilonewton
<b>lb</b>	Libre
<b>mL</b>	Mililitre
<b>MnO</b>	Mangan (II) Oksit
<b>Mo</b>	Molibden
<b>MPa</b>	Megapascal
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	Sodyum Oksit
<b>Ni</b>	Nikel
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	Di Fosfor Penta Oksit
<b>PbO</b>	Kurşun (II) Oksit
<b>Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	Antimon Tri Oksit
<b>SF</b>	Silika florür (BWOC)

<b>SiO<sub>2</sub></b>	Silisyum Dioksit
<b>SnO<sub>2</sub></b>	Kalay Oksit
<b>SO<sub>3</sub></b>	Kükürt Tri Oksit
<b>TiO<sub>2</sub></b>	Titanyum Dioksit
<b>V<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	Vanadyum Pentoksit
<b>ZnO</b>	Çinko oksit
<b>τ</b>	Kayma Gerilimi

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>API</b>	Amerikan Petrol Enstitüsü
<b>AV</b>	Görünür Viskozite
<b>MG</b>	Makaslama Gerilmesi
<b>MH</b>	Makaslama Hızı
<b>PV</b>	Plastik Viskozite
<b>RHA</b>	Rice Husk Ash (Pirinç Kabuğu Külü)
<b>RPM</b>	Rotary Per Minute
<b>SEM</b>	Taramalı Elektron Mikroskobu
<b>TPAO</b>	Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
<b>XRF</b>	X- Işını Floresans Spektrometresi
<b>YP</b>	Akma Noktası
<b>YSYB</b>	Yüksek Sıcaklık Yüksek Basınç

## 1. GİRİŞ

Yapı sektöründe çimento harçlarında kullanılan katkı maddelerine yönelim olmuştur. Çimento harçlarının mekanik ve dayanım özelliklerini iyileştirip geliştirmek amacıyla katkı maddelerine yönelim her geçen gün hızla artan çalışmalarla devam etmektedir.

Sondaj uygulamalarında yüksek sıcaklıklarda çimento mukavemetinde azalma veya kaybolma meydana gelmesi katkı madde kullanımına yönelim sağlamıştır. Gawel, Reed, Wright (2009), tarafından yapılan jeotermal kuyuların çimentolama operasyonunda yüksek sıcaklık parametresinin çimento mukavemeti üzerindeki etkiyi azaltmasını önlemek için % 35 oranında silika unu çimento harcına karıştırılarak sondaj uygulamalarında kullanımı ön görülmüştür.

Literatür çalışmaları yapıldığında çimento harcının doğal puzolan, yapay puzolan ve çeşitli katkı maddeleri ile entegrasyonu ile belirli deneylere tabii tutulduğu gözlemlenmiştir. Araştırma kapsamında yapılan deneylerin araştırma amaçları ile örtüştüğü sonucuna varılmıştır. Örneğin; Gürbüz (2009), C tipi uçucu kül ve CEM I 42.5 çimentosu kullanarak harç numuneleri elde etmiştir. W/C oranları ve basınç dayanımları hesaplanmıştır. Aynı zamanda Gökdemir ve Demirel (2014) tarafından hazırlanan çalışmada CEM I 42.5 R çimento içerisine ağırlığınca % 10 oranında yer değiştirilerek uçucu kül ve perlit eklenmiştir. Çimento harç prizmalarının mekanik dayanımları değerlendirilmiştir. Perlit ve uçucu külün birlikte çimento katkı maddesi olarak kullanabileceği görülmüştür.

Sevim (2003) ise uçucu külün çimento ve beton harç dayanımında kullanılabilirliği araştırarak çekme, basma, aşınma, karbonatlaşma, boşluk oranı ve kapiler basınç etkilerini incelemiştir. Uçucu küllerin % 10 oranında kullanılmasında daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir.

Yapılan bu araştırmalar neticesinde pirinç kabuğu külünün de çimento ve beton harçlarında katkı maddesi olarak kullanıldığı görülmüştür. Örneğin; Yıldız, Balaydın, Ulucan (2007), belirli oranlarda pirinç kabuğu külünü çimento ağırlığınca yer değiştirilerek beton harç numunelerinin içerisine katılarak basınç ve eğilmede çekme deneylerini yapmıştır. Çalışma sonucu pirinç kabuğu külünün puzolanik aktiviteye sahip olduğu görülmüştür.

P.K. Mehta, pirinç kabuğu külünü katkı maddesi olarak kullanılmasında öncü isim olmuştur. Ardından Smith vd. (1986) çimento içerisine RHA ikame ederek 7 ve 28 günlük basınç dayanım deneyleri yapmıştır. Öte yandan Anderson V. Vidal, Romero G.S. Araujo ve Julio C.O. Freitas, petrol kuyularında kullanılan G sınıfı çimento şerbetine pirinç kabuğu külü ikame edilmiştir. Çimento hamurlarına 7 ve 28 günlük basınç dayanım deneyleri yapılmıştır. Verilere bakıldığı zaman belirli oranlarda beton numunelerinde RHA' nın dayanım arttırdığı gözlenmiştir.

Önceki çalışmalar kısmında pirinç kabuğu külünün çimento şerbetine ikame edilip puzolan olarak kullanması hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

Bu çalışmada sondajlarda kullanılan çimento içerisine tarımsal bir atık malzemesi olan pirinç kabuğu külü ikame edilerek reolojik ve mekanik deneyler yapılarak puzolanik özelliği araştırılmıştır. Pirinç kabuğu külünün, çimento hamurlarının mekanik özelliğine etkisi araştırılarak % 0, 5, 10, 15, 20 oranlarında RHA ikame edilerek 40x40x160 mm boyutlarında çimento harç numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan her bir grup çimento hamur numunesi için 7 ve 28 günlük sıcaklık ve basınç dayanımları tespit edilmiştir. Aynı zamanda pirinç kabuğu külü ikameli çimento şerbetinin viskozite, sıvı kaybı, yoğunluk ve yayılma deneyleri yapılmıştır. Sondaj çimentosunun iyileştirilmesi hedeflenmiştir.

Yapılan bu çalışma sonucunda pirinç kabuğu külünün özgül yüzey ağırlığı etkisiyle ikame edilen miktar arttıkça referans çimentoya göre su ihtiyacı arttığı gözlenmiştir. Katı madde miktarı artışı yoğunluk değerleriyle doğru orantılı olarak artış göstermiştir. Pirinç kabuğu külünün özellikle % 10 ve % 15 RHA katkılı çimento harç numunelerinin mekanik dayanımı artırıcı yönde etkili olduğu tespit edilmiştir.

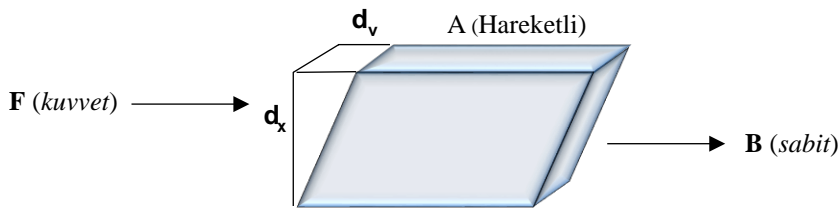


## 2. ÇİMENTO ve RHA

### 2. 1. Çimentonun Reolojik Özellikleri

Maddenin akış ve deformasyonunu inceleyen bilim dalına reoloji denir. Viskozite, kayma gerilmesi, kayma deformasyonu ve zaman arasındaki ilişkileri inceler (Tattersall, 1983; Tattersall, 1991). Reolojik özelliklerin başlıca konuları elastise, plastise ve viskozitedir (Barnes ve diğerleri, 1989).

Viskozite, bir sıvının akmaya karşı gösterdiği dirençtir. Viskozite ve direnç doğru orantılıdır. Viskozite arttıkça direnç artar. Viskozite kısaca şu şekilde tanımlanabilir. Paralel molekül tabakalarından oluşan yüzeyi  $1\text{cm}^2$  ve yüksekliği  $1\text{cm}$  olan blok bir sıvı tabaka düşünelim. Sıvı tabakasının en alt kısmını sabit kabul edildiği takdirde en üstte bulunan sıvı tabakası sabit bir hız ile harekete geçirildiğinde diğer bütün tabakalar en altta bulunan sabit tabakaya orantılı harekete geçer. Her tabaka farklı ivmeye sahip olur. Kuvvetin uygulandığı tabakaya yakın olan tabakalar hızlı, uzak olan tabakalar yavaş hareket edecektir. Kuvvetin uygulandığı sıvı tabakaya  $F$  kuvvetinin tersi yönde ve eşit değerde bir kuvvet uygulanması gerekir. Kuvvetin uygulandığı yüzey alanına  $A$ , hareketi başlatan kuvvet  $F$  ise sıvı bloğun birim alanına düşen kuvvet  $F / A$  şeklinde olur. Aynı zamanda buna kayma gerilimi (shear stress) denilir (Çelebi, 2009).



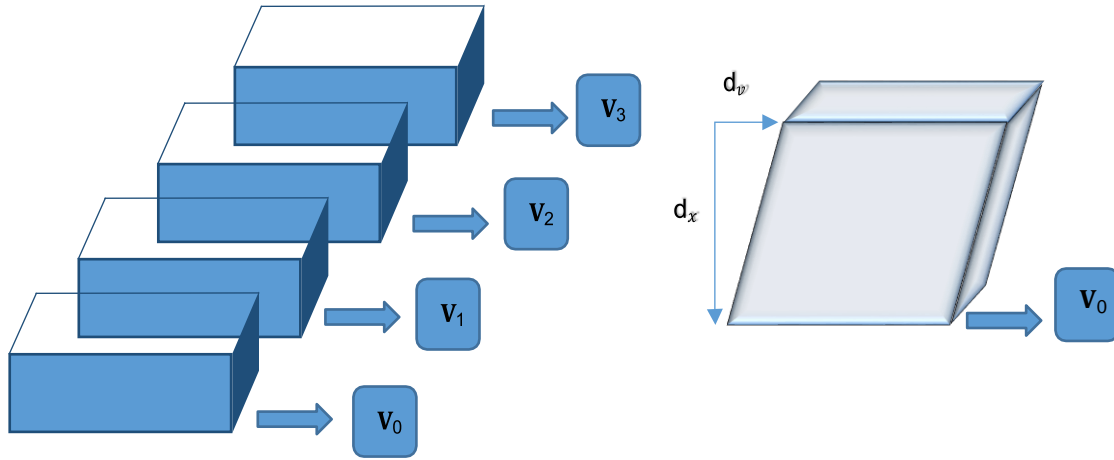
Şekil 2. 1. Blok tabakalar arasında kayma hızı gerilimi (Çelebi, 2009).

$$\tau = F/A \quad (1. 1)$$

Sıvı tabaka arası yer değiştirme işleminde düzlemler arası dik uzaklığa  $x$ , kayma hızını  $dv$  kabul edildiğinde;  $dv / dx$  kayma deformasyon değişme hızı veya kayma hızı oranı olarak tanımlanır. “Eş 2. 2” ile ifade edilir. Şekil 2. 2’de kayma deformasyon değişme hızı gösterilmiştir (Çelebi, 2009).

$$\gamma = dv/dx$$

(2. 2)



Şekil 2. 2. Kayma hızının şematik gösterimi (Çelebi, 2009).

- **Görünür Viskozite:** Akışkanın belli bir kuvvet veya belli bir hız altında akışındaki viskozitesidir (Özüdoğru ve Babür, 2001: APC, 1994).
- **Plastik Viskozite:** Akmaya karşı direncin mekanik sürtünmeden dolayı oluşan bileşenidir. Bu sürtünme çamur içinde bulunan katı maddeler arasında, katı maddeler ile çevrelerini saran sıvı arasında ve sıvının kendi içindeki kayma nedenleriyle oluşmaktadır (Özüdoğru ve Babür, 2001: APC, 1994).
- **Akma Noktası (Yield Point):** Akmaya karşı direncin parçacıklar arası çekme kuvvetinden dolayı oluşan bileşenidir. Bu çekme kuvveti akışkan içerisindeki askıdaki katıların yüzeylerindeki elektrik yüklerinden oluşur. Bu gücün yüksekliği; katıların tipi ve buna bağlı olan yüzey yüklerine, katı miktarına ve çamurun sıvı fazının içerdiği tuzun iyon konsantrasyonuna bağlıdır (Özüdoğru ve Babür, 2001: APC, 1994).
- **Jel Kuvveti:** Çamur hareketliken çekici güçlerin oluşturduğu kuvvet akma noktası iken, jel kuvveti de çamur hareketsiz iken aynı güçlerin oluşturduğu kuvvet şeklinde tanımlanmıştır (Özüdoğru ve Babür, 2001: APC, 1994).

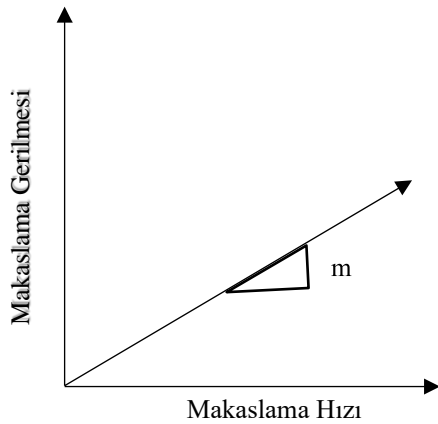
Reolojiyi Etkileyen Etmenler;

1. Sıcaklık: Akışkanın reolojisi sıcaklık faktörü ile değişir. Sıcaklık artması ile viskozite düşer. Fakat yüksek sıcaklıklarda örneğin kalsiyum çamurlarında jelleşme ve 149 C° sıcaklıklarda da çimentolaşma başlar (Özüdoğru ve Babür, 2001: APC, 1994).
2. Basınç: Su bazlı çamurlar üzerinde basıncın etkisi az iken petrol bazlı çamurlar üzerinde etkisi daha fazladır (Özüdoğru ve Babür, 2001: APC, 1994).
3. Zaman: Sondaj akışkanının reolojisi zamana bağlıdır (Özüdoğru ve Babür, 2001: APC, 1994).

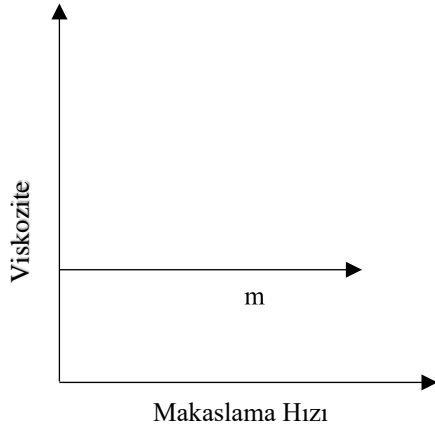
Newtoniyen Akışkanlar ve Özellikleri: Şekil 2. 3 ve Şekil 2. 4'de görüldüğü gibi makaslama gerilmesi makaslama hızı ile doğru orantılıdır. Viskozitenin sabit olduğu akışkanlara Newton iyen akışkan denir. Newton tipi akışkanlara örnek olarak su ve gliserini gösterebilir. Newton iyen akışkan matematiksel denklem ile ifade edilir (Özüdoğru ve Babür, 2001).

Denklem: Makaslama Gerilmesi =  $m \cdot$  Makaslama Hızı şeklinde hesaplanır.

Buradaki  $m$  ifadesi sabit bir değer olup makaslama gerilmesinin makaslama hızına oranıdır, viskoziteyi temsil eder.

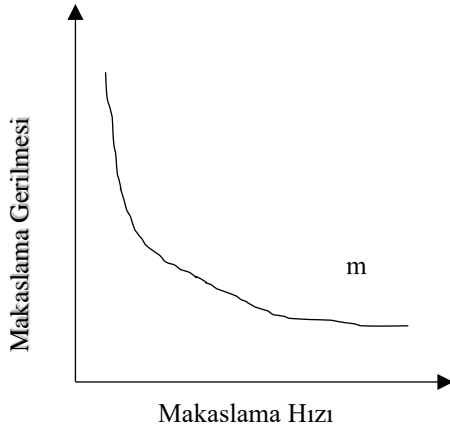


Şekil 2. 3. Newtoniyen akış türünde MG – MH ilişkisi (Özüdoğru ve Babür, 2001).

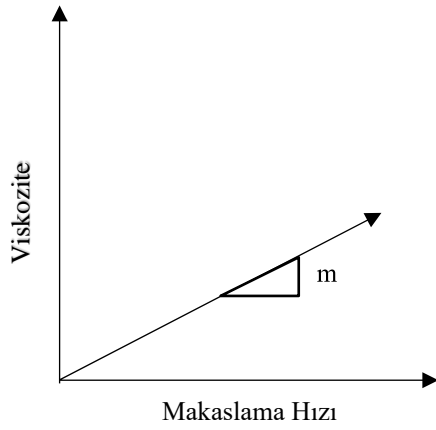


Şekil 2. 4. Newtoniyen akış türünde viskozite – MH ilişkisi (Özüdoğru ve Babür, 2001).

Non- Newtoniyen Akışkanlar: Makaslama hızının makaslama gerilmesine göre farklılık gösterdiği yani viskozitenin sabit olmadığı akışkan türüdür. Şekil 2. 5 ve şekil 2. 6'da gösterilmiştir. Bu akışkanda iki farklı durum göze çarpmaktadır. Birinci olarak iki değişken arasındaki ilişki doğru yerine eğridir. İkinci olarak, akışkan akışa geçmeden yenilenmesi gereken bir başlangıç gerilmesine sahiptir yani eğri orijinden başlamamaktadır (Özüdoğru ve Babür, 2001).

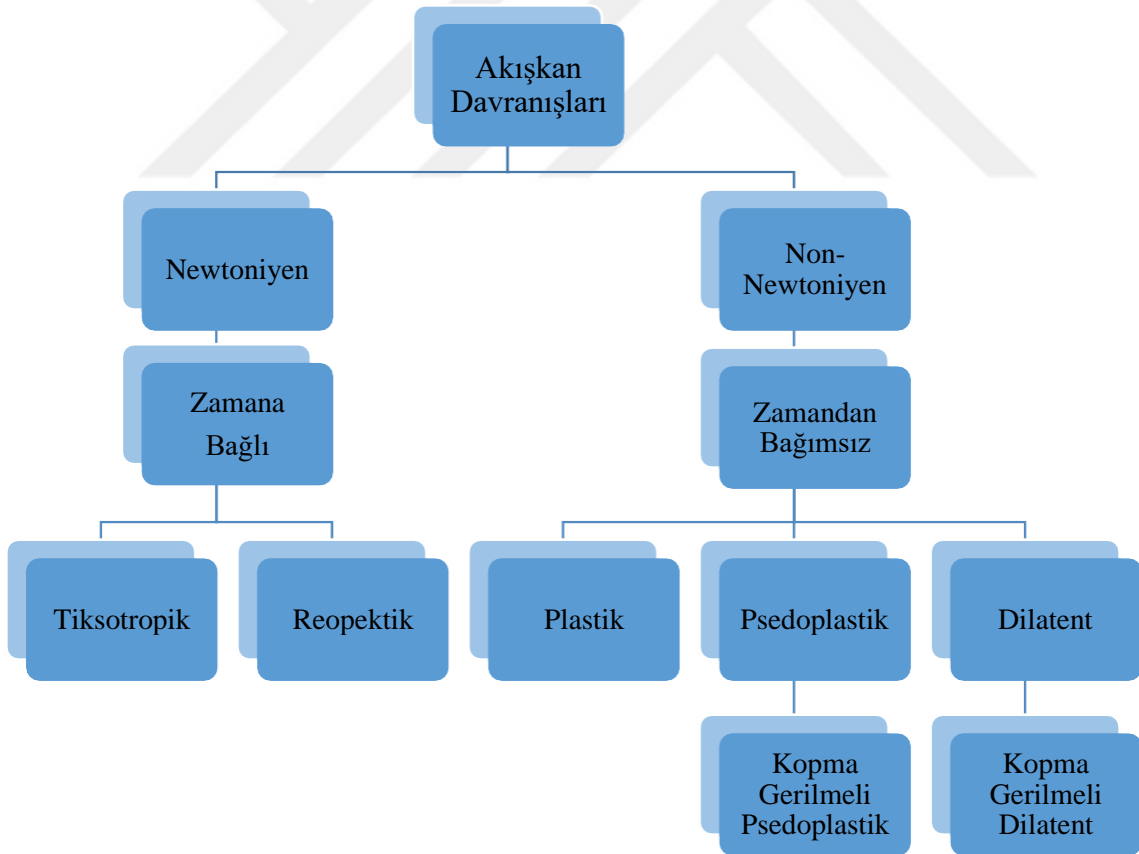


Şekil 2. 5. Non- Newtoniyen akış türünden MG – MH ilişkisi (Özüdoğru ve Babür, 2001).



Şekil 2. 6. Non- Newtoniyen akış türünde viskozite – $m\dot{\gamma}$  ilişkisi (Özüdoğru ve Babür, 2001).

Non – Newtoniyen akışkanlar sıcaklık ve basınç yanı sıra makaslama hızıyla değişim gösterir. Herhangi bir makaslama hızı değerinde akışkanın gösterdiği viskozite değerine görünür viskozite (apparent viscosity) denir (Özüdoğru ve Babür, 2001).



Şekil 2. 7. Akışkanların reolojik davranış sınıflandırılması Barnes ve diğerleri, (1989)'dan modifiye edilmiştir.

Newton olmayan sıvılar; plastik, psedoplastik ve dilatent akışkanlar olarak adlandırılır.

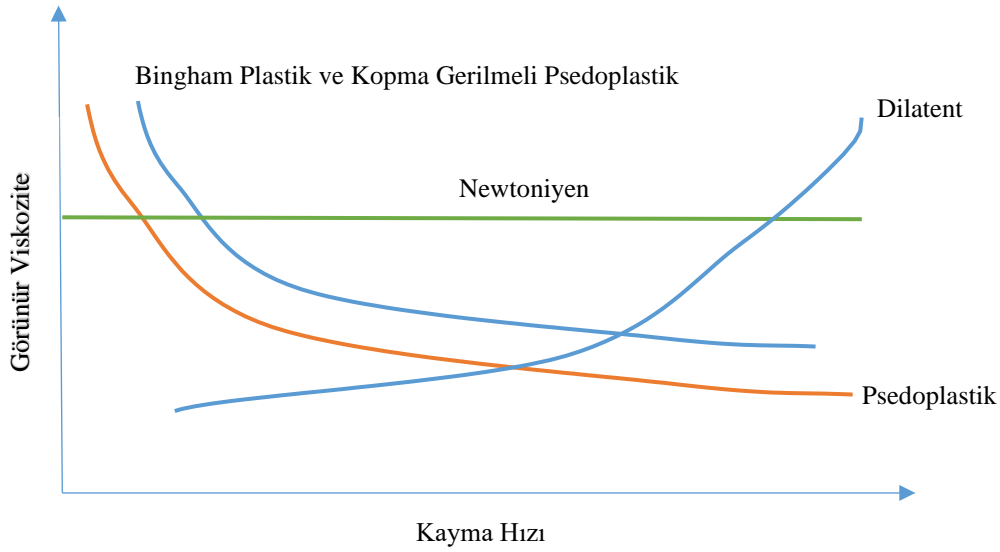
Plastik Akışkanlar (Bingham Plastic Fluids): Bu akış tipi modern reolojinin araştırmacılarından olan Bingham'ın adına izafeten Bingham akış türü olarak da adlandırılır. (Schott, 2000; Martin, 1993). Bu akışkanlarda akış eğrisinin kayma gerilmesi eksenini kestiği nokta Bingham kopma gerilmesi, eğimi ise plastik viskoziteyi verir. Plastik akışkanlarda deformasyon ancak kopma gerilmesi yenildikten sonra başlar (Martin, 1993).

Psedoplastik Akışkanlar (Pseudoplastic Fluids): Psedoplastik akış reogramı doğrusal olmayıp, görünür viskozitenin makaslama hızının yükselmesi ile düştüğü akışkan türüdür (Özüdoğru ve Babür, 2001). Görünür viskozitenin azaldığı bu davranışa “kayma hızında incelmeye” denir (Şekil 2. 8).

Dilatent Akışkanlar (Dilatant Fluids): Psedoplastik akışkan türünün tam tersi davranış gösterir. Hız gradyanının artması ile akışa karşı direnç artar (Emsap ve diğerleri., 2002). (Şekil 2. 6) Görünür viskozitenin makaslama hızı ile arttığı akış türüdür. (Özüdoğru ve Babür, 2001). Görünür viskozitenin arttığı bu davranışa “kayma hızıyla kalınlaşma” denir (Şekil 2. 8).

Kopma Gerilmeli Psedoplastik Akışkanlar (Yield-Pseudoplastic Fluids): Bu akışkan tipinin deformasyonları kopma gerilmesi aşıldıktan sonra başlar. Kopma gerilmeli psedoplastik akışkanlar kayma hızı ile incelen akışkan olup, görünür viskoziteleri artan kayma hızıyla azalır (Nguyen ve Boger, 1992) (Şekil 2. 8).

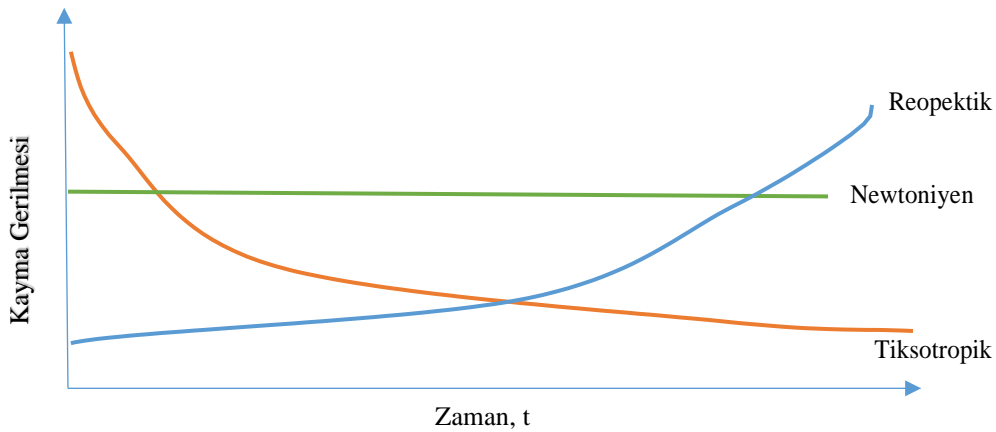
Kopma Gerilmeli Dilatent Akışkanlar (Yield-Dilatant Fluids): Bu tip akışkanlar akış eğrisi kopma gerilmesinin yenilenmesinden sonra dilatent davranış gösterir (Nguyen ve Boger, 1992) (Şekil 2. 8).



Şekil 2. 8. Newtoniyen ve Non-newtoniyen akışlarda viskozite-kayma hızı grafiği (TPAO, 2007).

Tiksotropik Akışkanlar (Thixotropic Fluids): Newtoniyen olmayan sıvının görünür viskozitesi sabit kayma gerilmesi altında zamanla azalma göstermesine denir (Özüdoğru ve Babür, 2001) (Şekil 2. 9).

Reopektik Akışkanlar (Rheopectic Fluids): Tiksotropik akışkanların davranışının tersi yönde davranış gösterir. Görünür viskozite sabit kayma hızı altında zamanlar artar ve belli bir süre sonra denge konumuna ulaşır, bu aşamadan sonra kararlı bir davranış sergiler. (Caenn ve diğerleri., 2011). (Şekil 2. 9). Sondaj sıvıları ve çimento karışımları genel olarak reopektik akışkandır (Bourgoyne, 1991).



Şekil 2. 9. Reopektik ve Tiksotropik Akışkanın Zaman-Kayma Gerilmesi Grafiği (TPAO,

2007).

## 2. 2. Çimento Etkileyen Faktörler

### *Sıcaklık:*

Yüksek sıcaklık ve basınç parametreleri sondaj çalışmaları esnasında son derece teknik ve düzenli çalışmayı gerekli kılmıştır. Bu faktörler çimento ve çimentolamayı doğrudan etkiler (Özüdoğru, 1996: 97).

Yüksek sıcaklığın çimento hamuruna etkisi çimento hamurunun hidrasyon derecesine ve nem içeriğine bağlıdır. Sıcaklık arttıkça çimento hamuru içerisindeki jel suyu, kapiler su ve serbest su ortamdan ayrılır.

300 °C sıcaklıkta CSH ara yüzeyinde bulunan su ve sülfaminattan gelen kimyasal bağ suyunun bir kısmı kaybedilir (Mehta ve Monterio, 1997). 300 °C sıcaklıkta çimento hamurunda mikro çatlak oluşumları başlar. Sıcaklık değerinin 400 °C ve 600 °C sıcaklığa ulaşması ile çimento hamurunda birtakım tepkimeler oluşmaya başlayabilir. (Lin ve diğerleri., 1996).

Rezervuar sistemlerinde yüksek sıcaklık ortamlarında çimento mukavemetini kaybetmemesi ve uzun ömürlü çimento şerbeti için katkı malzemeleri kullanılmıştır. API spesifikasyonlarına göre çimento ağırlığınca % 40 oranında silika unu (BWOC) çimento şerbeti içerisine katılması öngörülmüştür (Hole, 2008).

Jeotermal kuyuların en bilinen sorunlarından biri olan yüksek sıcaklık parametresi çimento mukavemetinin kaybolmasına neden olur. Kuyu şartlarında bu durumu önlemek amacıyla çimento içerisine % 35 oranında silika unu katılmaktadır (Serpen, 2005). Silika unu, çimento içerisinde bulunan mineraller ile tepkimeye girerek tobermorit, truskotit ve ksonolit gibi sıcaklığa dayanıklı yeni mineraller oluşturur. Yeni oluşan bu mineraller çimentonun yüksek sıcaklıktaki ortamlarda bozulmasına engel olur (Serpen, 1990). Sondaj kuyularında her 100 ft (30 m) sıcaklık 0,8 °C artar (Mehta ve Monterio, 2001; 104).

Diğer katkı malzemelerinin yanı sıra çimentonun yüksek sıcaklıklarda güçlü bir bağ yapması için içerisine silika florür (SF) belli oranlarda katılmaktadır. Çimentolama işlemi yüksek sıcaklık ve donma süresinden etkilenmektedir (Tekin, 2011).



Türkiye’de sıcaklık rekoru Nevşehir - Bozköy Ruhsatı’nda açtığı bir keşif kuyusunda, 3816 metre derinliğinde taban sıcaklığı 295 C° ‘ye ulaşarak “Türkiye’nin en sıcak kuyu” unvanını 2750 metre 287 C° olan Manisa Salihli – Köseali MAK2010 kuyusundan aldığı görülmektedir (T.C. Enerji kentleri birliği, 2020).

Çizelge 2. 2. Türkiye’nin en sıcak jeotermal kuyuları (T.C. Enerji Kentleri Birliği, 2020).

Türkiye’nin En Sıcak Jeotermal Kuyuları		
Şehir	Bölge	Sıcaklık °C
1. Nevşehir	Bozköy	295
2. Manisa	Salihli-Köseali	287
3. Manisa	Alaşehir-Göbekli	250
4. Denizli	Kızıldere	242
5. Aydın	Germencik	232

Bir sondaj kuyusunun sıcaklığı 370 C° sıcaklığa kadar çıkabilir. Jeotermal kuyularda çimentolamada ana problemler genellikle yüksek sıcaklık, kayıp sirkülasyon ve çimento bulamacının kirlenmesinden kaynaklanır. Kuyuda bu sebeplerden dolayı zorluklar ortaya çıktıkça en iyi yol gerekli teknik ve malzemeler kullanarak teşhis ve doğru müdahale etmek olur (Nelson, 1990).

#### *Basınç:*

Basınç, sondajlar için önemli bir parametre olup kuyuyu doğrudan etkiler. Rezervuar içerisinde bulunan basınç, sıvı akışı için itici bir güçtür. Kolayca ölçülebilen bir parametredir (Steingrímsson, 2013).

Yüksek basınç ve yüksek sıcaklığa (YBYS) sahip kuyulara çimentolama işlemini gerçekleştirmek genellikle zor bir kuyu tamamlama işlemidir. Kullanılan çimento sistemleri, karıştırılabilir ve pompalanabilir bir çimento şerbeti için basınç dayanım testleri, gözeneklilik (porozite) ve geçirgenlik (permeabilite) çimentonun mekanik özelliklerini belirlemede etkili olmuştur (Berg, Noor, Barnett, Nawaz, 2008).

### 2. 3. Çimento Harcında Kullanılan Katkı Maddeleri

Günümüzde yapı malzemelerinde yaygın olarak kullanılan çimentonun yüksek maliyeti göz önüne alındığı zaman katkı maddesi kullanımına yönelim sağlamıştır. Ekolojik yapı malzemeleri elde edilmesi, işlenmesi, bakım onarımı ve en önemlisi insan sağlığı açısından zararlı olmayan maddelerdir. (Taban ve diğerleri., 2912).

Sondajlarda çimento şerbeti kazılacak olan kuyunun sorunlarına göre hazırlanır. Kuyuların derinlik, sıcaklık ve basınç parametreleri değerlendirilerek hazırlanan çimento şerbetine katkı malzemeleri çimento şerbeti içerisine ilave edilir. Kuyuda kullanılan katkı malzemeleri kuyu içerisinde karşılaşılan problemi ortadan kaldırmaya çalışırken kullanılan katkı malzemesinin ters etkileri diğer özellikleri değiştirebilir (Asodov, 2017).

Yüksek sıcaklıklarda olan jeotermal kuyular için kullanılacak olan çimento şerbetinin ömrünü uzatmak için şerbet içerisine katkı malzemeleri eklenmelidir. API spesifikasyonlarına göre retrogresyonu önlemek amacıyla çimento harcının ağırlıkça % 40 oranında silika unu katılır (Hole, 2008).

Günümüzde kuyu şartları ve çimento tipleri için farklı amaçlarda 40'ın üzerinde çimento katkı malzemesi mevcuttur. Bu malzemeler katı ve toz halinde bulunur. Özellikle G ve H sınıfı çimento çeşitleri için geliştirilmiş katkı malzemeleri bulunur. Kullanılan katkı malzemeleri kullanım alanları göre sıvı kaybı, donma zamanı, yoğunluk, reoloji ve farklı problemler için geliştirmiş malzemeler olarak sınıflandırılır (Özyurtkan, 2012: 15).

Jeotermal sondajlarda kullanılan katkı malzemeleri miktarları kuyu şartlarına ve yapılması istenen çimento özelliklerinin değişik olması durumunda iyi bir çimentolama işlemi için kullanılan katkı malzemesinin miktarı da değişir (Kurt, 2013: 59).

Çizelge 2. 3. Bazı katkı maddelerinin fiziksel özellikleri (Özyurtkan, 2012: 16).

Malzeme Adı	Özgül Ağırlık	Yığın Yoğunluğu (lbm/cuft)	Özellik
Barite	4,23	135	Ağırlaştırma
Bentonit	2,65	60	Çimento şerbeti hacmi artırma ve ağırlığı azaltma
Kalsiyum Klorür	0,84	51	Hızlandırıcı-Donma zamanı azaltma
Cal-Seal60	2,7	75	Hızlandırıcı-Donma zamanı azaltma
CFR-3	1,17	38	Viskozite kontrol
CFR-6	1,3	43	Viskozite kontrol
HALAD-9	1,22	37,2	Su kaybı kontrol
HALAD-322	1,28	35,2	Su kaybı kontrol
HR-800	1,85	48	Donma zamanı geciktirici
NF-6	1,28	48	Köpük önleyici
Tuz	2,17	71	Donma zamanı azaltma
Silika Unu	2,63	70	Dayanım arttırıcı

## 2. 4. Piriñ Kabuğu Külü (RHA)

### 2. 4. 1. RHA özellikleri

Piriñ, çeltik bitkisinden elde edilen kapçıklı tane halinde bulunan ürünün çeltik fabrikalarında piriñ tanelerinin kabuk ve saplarından ayrılması ile elde edilir. Piriñ taneleri üzerinde iki kabuk bulunur. Birinci kabuk rengi sarımsı olmakla beraber kepek denilen piriñ tanelerinin etrafını saran kabuktur. İkinci kabuk kapçık veya kavuz olarak bilinen dış kısımda bulunan kabuktur. Yapısında organik ve inorganik bileşenler bulunduran bu kabuk yüksek miktarda % 92-%93 oranlarından silika içerir (Cook, 1985: 1986). Silikanın yanı sıra kül içerisinde küçük yüzdelerde bulunan alümina, kalsiyum oksit, demir oksit, magnezyum oksit ve alkalilerde bulunmaktadır (Erdoğan ve Erdoğan 2007: 273).

Piriñ kabuğu, 600 °C fırınlarda kontrollü bir şekilde yakılarak puzolanik bir malzeme olan RHA' yı meydana getirir. Yakılan küllerin rengi açık grimsidir. Yakılan küller tam soğuması için 24 saat bekletilir. Yakılma işlemi kontrollü yapıldığında soğuma işlemi ise hızlı bir şekilde gerçekleştiğinde külün içinde bulunan silika amorf bir yapıya sahip olur (Erdoğan ve Erdoğan, 2007: 273).

Piriñ kabuğu külünün amorf silis bir yapıya sahip olması bilinen en önemli özelliğidir. Külün gözenekli yapıda olması, silika amorf yapısı ve özgül yüzeyinin büyük olması külün puzolanik özellikte olduğunu kanıtlar. Piriñ kabuğu külünün puzolanik yapıya sahip olması çimento ve kireç içerisinde katılarak harç üretiminde kullanılabilir (Mazlum, 1989: 13).

Tarımsal ürün atığı olan piriñ kabuğu külü kimyasal içeriği olarak ele alındığı zaman içerisinde %81-95 oranında silis olduğu görülmüştür (Kıvrak, 2012: 11). Cam yapımında ve seramik imalatlarında kullanılan silisin dayanım artırıcı özelliğinin çimento şerbeti için yapılacak olan bu çalışmada aynı reaksiyonları göstermesi hedeflenmiştir.

Bu çalışmada kullanılan piriñ kabuğu külünün kimyasal özellikleri ve fiziksel özellikleri Çizelge 2. 4 ve Çizelge 2. 5'de verilmiştir.

Çizelge 2. 4. Pirinç kabuğu külünün kimyasal özellikleri

Parametre	Sonuç (%)	Parametre	(%) Sonuç
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0897	CO <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0059
SiO <sub>2</sub>	91,6	CuO	0,0049
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,505	ZnO	0,009
SO <sub>3</sub>	0,211	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0012
Cl	0,161	CdO	---
K <sub>2</sub> O	5,14	SnO <sub>2</sub>	0,0059
CaO	1,38	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0007
TiO <sub>2</sub>	0,0321	BaO	----
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	---	PbO	0,0056
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0056	Ni	0,0022
MnO	0,222	Mo	---
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,641	Na <sub>2</sub> O	---

Çizelge 2. 5. Pirinç kabuğu külünün fiziksel özellikleri

Pirinç Kabuğu Külünün Fiziksel Özellikleri		
Birim Hacim Ağırlığı (g/cm <sup>3</sup> )	Özgül Ağırlığı (g/cm <sup>3</sup> )	İncelik (Blaine)(cm <sup>2</sup> /g)
0.685	1.97	10857

### 3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

#### 3. 1. Çimento Dayanımının Artırılması

Eski yıllarda kerpiç ve tuğla yapımında pirinç kabuğu külü kullanılmıştır. 1924 yılında Almanya’da pirinç kabuğu külünün betonda kullanılmasına dair iki patent alınmıştır (Cook, 1986).

1950 – 1960 yılları arasında Pakistanlı Ahsanullah çimento / kül oranı 5: 1 – 1: 20 arasında olan karışımlar ile portland çimento blokları oluşturmuşlardır. Ancak pirinç kabuğu külünün çimento ve beton içerisine katılmasına dair yapılan araştırmalar 1970’li yılların sonuna kadar yapılmamıştır (Cook, 1986).

ABD’de bulunan Kaliforniya Üniversitesi’nin öğretim üyelerinden P.K. Mehta, kontrollü olarak pirinç kabuğu külünün yakılması için yakma fırınının tasarlanmasına ve RHA’nın katkı malzemesi olarak kullanılabilmesi için öncü isim olmuştur (Cook, 1986).

Smith vd. (1986) tarafından hazırlanan çalışmada, pirinç kabuğu külü çimentoya ilave edilerek elde edilen numuneler 7 ve 28 günlük harç basınç deneyine tabii tutulmuş ve pirinç kabuğu külünün aktif bir puzolan olabileceği belirtilmiştir.

Natalini vd. (1986) tarafından hazırlanan çalışmada, çimento ve beton harcına pirinç kabuğu külü ilave edilerek çimento hamurunda terleme deneyi yapılmıştır. Çalışma sonucunda çimento hamurunun su tutma kabiliyetinin kül miktarı artışı ile doğru orantılı olduğu belirtilmiştir.

Yıldız vd. (2007) tarafından hazırlanan çalışmada, pirinç kabuğu 600 C°' de kontrollü olarak yakılmış ve pirinç kabuğu külü elde edilmiştir. Beton numunelerinde çimento yerine kül ikame edilmiştir. Numunelerin sıcaklık ve basınç dayanımları karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmada aynı zamanda pirinç kabuğu külünün puzolanik aktivitesi de araştırılmıştır. Yapılan deneylerden hareketle % 10 oranında RHA katılan beton numunelerinin sıcaklık ve basınç dayanımı kontrol numunelerinden daha büyük olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Güner ve Öztürk (2015) tarafından ele alınan çalışmada G sınıfı çimento belirli standartlar çerçevesinde hazırlanarak 2, 7 ve 14 gün olmak üzere 3 farklı kür süresine tabii tutulmuştur. Çimentoların kür süresindeki artış tek eksenli basma değeri (TEBD) ve E değerlerinde 2-3 kat arttırdığı görülmüş ve logaritmik eşitliklerle açıklanmıştır.

Zaki ve Sola (2020) tarafından ele alınan çalışmada çimento yerine ağırlığınca pirinç kabuğu külü %0, %2, %4, %6, %8, %10, %15 oranlarında harç numunesi üretilmiştir. 28, 56 ve 90 günlük kür sürelerinin sonunda basınç dayanımı ölçülmüştür. 56 günlük kür sürelerinin sonunda donma- çözünme ve ultrasonik hız tayini ölçümü yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonunda %8 RHA katılan harç numunelerinin daha yüksek dayanım ve dayanıklılık sonuçları verdiği tespit edilmiştir. Kül ilavesinin %8 oranından sonra dayanımda azalma meydana geldiği görülmüştür.

Zhang ve Malhotra (1996) tarafından yapılan deneysel çalışmada taze beton içerisine pirinç kabuğu külü katılarak betonun işlenebilirliği, sıcaklık artışı, basınç dayanımı, beton numunelerinin elastisite modülü, kuruma büzülmesi, klor iyonu geçirgenliği, donma ve büzülmeye karşı dirençleri ölçülmüştür. RHA yüzdesi ve çimento esaslı malzemeler üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda pirinç kabuğu külünün yüksek oranda puzolanik yapıda olduğu ve çimento katkı maddesi olarak kullanabileceği öngörülmüştür.

Vidal, Araujo ve Julio (2018) tarafından hazırlanan çalışmada, söz konusu yüksek sıcaklığın etkili olduğu petrol kuyusunda kullanılan G sınıfı çimento şerbetine % 40 oranında pirinç kabuğu külü eklenmiştir. 7 ve 28 günlük kür döngüleri tamamlanmıştır. Çalışmalar sonucu RHA ilavesinin %30,55 dayanım artırdığını göstermiştir. Bu çalışma ile pirinç kabuğu külünün katkı malzemesi olarak kullanabileceği öne sürülmüştür ve silika ununa alternatif olduğunu öngörülmüştür.



Yiğiter (2014) tarafından yapılmış bu çalışmada, pirinç kabuğu külleri ve atık kâğıt lifleri ile sıva harcı hazırlanmıştır. Çimento ağırlığınca orantılı yer değiştirilerek numuneler % 10, % 15, % 20, % 30 pirinç kabuğu külü ve % 2, % 4, % 6, % 8 oranlarında atık kâğıt lifi içerecek şekilde hazırlanmıştır. Numuneler basınç dayanımı, su tutma kapasitesi, 3 nokta basma deneyine, renklendirme deneylerine ve XRF ve XRD analizleri yapılarak külün iç ve dış sıva harcı olarak kullanılabilceği görülmüştür.

Chao- Lung ve diğeri (2011) pirinç kabuğu külünün çimentoya eklenmesinin etkilerini araştırmıştır. Betonun basınç dayanımı, elektrik direnci ve ultrasonik darbe hızı gibi özellikleri araştırılmıştır. Öğütülmemiş pirinç kabuğu külünün puzolanik bir malzeme olarak kullanılabilceği öngörülmüştür.

Saraswathy ve Song (2007) tarafından ele alınan bu çalışmada portland çimentosu içerisine %5, %10, %15, %20, %25 ve %30 oranlarında RHA ilave etmiştir. Sıkıştırma deneyi, çekme deneyi, gözeneklilik, su emme, hızlı klorür iyon penetrasyon deneyleri yapılmıştır. 28 gün kür dayanımı sonrasında harç numuneleri teste tabi tutulmuştur. RHA ikamesi % 25 oranına kadar öngörülmüştür.

İşbilir (2012) tarafından hazırlanan bu çalışmada 600 C°, 700 C°, 800 C° sıcaklıklarda yakma işlemi ile pirinç kabuğu külü elde edilmiştir. Bu kül içerisine % 0, % 5, % 10, % 15, % 20 oranlarında çimento ikame ederek çimento numuneleri hazırlanmıştır. Her bir grup için priz süresi ve genleşme değerleri hesaplanmıştır. Çimento harçları elde edilerek 2, 7, 28, 56 ve 90 günlük basınç dayanım testi yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda kullanılan katkı maddesinin basınç dayanımında etkili olduğu görülmüştür.

Özdemir ve Yılmaz (2020) tarafından ele alınan bu çalışmada, pirinç kabuğu külünün ağırlıkça % 0, % 2,5, % 5, % 7,5 ve % 10 oranlarında portland çimento yerine ikame edilmiştir. Bu çalışmada pirinç kabuğu külü ikameli çimentoda su ihtiyacı, hacim genişmesi, priz süresi ve basınç dayanımı etkileri araştırılmıştır. Yapılan çimento standartları deneyi ile pirinç kabuğu külünün çimento sektöründe kullanılması ekonomik ve ekolojik yarar sağlayacağı öne sürülmüştür.

Targab, (2002) tarafından hazırlanan bu çalışmada doğal puzolan ve atıkları çimento katkı maddesi olarak kullanarak çimento üretiminde enerji tasarrufu sağlanması hedeflenmiştir. Kula cürufu, bentonit ve kolemanit atıklar katkı maddelerinin ağırlığınca % 5, % 10, % 15, % 20, % 25 ve % 30 çimento içerisine katılmıştır. Çalışma kapsamında çimentonun priz süresi, eğme dayanımı, basınç dayanımı, hacim genişmesi deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre bu katkı maddelerinin çimento üretiminde kullanılabilirliği görülmüştür.

## 4. MATERYAL ve METOD

Bu bölümde deneyde kullanılan malzeme, alet ve ekipmanlar ile birlikte yapılan deneysel çalışmalar anlatılmıştır.

### 4. 1. Materyal

#### 4. 1. 1. Çalışmada kullanılan malzemeler

Bu çalışmada G sınıfı çimento, saf su ve pirinç kabuğu külü (RHA) kullanılarak API standartları baz alınarak 5 farklı oranda çimento şerbeti hazırlanmıştır.

##### *G sınıfı Çimento:*

Amerikan Petrol Enstitüsü (API) standartlarına göre kuyu derinliği ve sülfat direnç derecelerine göre 8 çeşit çimento tipi bulunmaktadır. Bu çimentolar A, B, C, D, E, F ve G sınıfı çimentolar olmak üzere sınıflandırılmıştır. G sınıfı çimento yüzeyden 2440 m derinliğe kadar tasarlanıp çok çeşitli kuyu derinlikleri ve sıcaklıkları kapsayacak şekilde kullanılır (Ramazanoğlu, 2014: 8-9). Sondaj kuyularında da G sınıfı çimento tercih edildiğinden dolayı bu çalışmada da G sınıfı çimento kullanılması ön görülmüştür.

Bu çalışmada kullanılan G sınıfı çimento Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO)'dan temin edilmiştir. G sınıfı çimentonun özgül ağırlığı  $3.14 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Çizelge 4. 1'de kullanılan çimento miktarı ve katkı maddesi miktarı ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.



Şekil 4. 1. G sınıfı çimento ve pirinç kabuğu külü

*Pirinç Kabuğu Külü (RHA):*

Doğada bir atık olarak bulunan pirinç kabuğu külü, yapılan deneysel çalışmada G sınıfı çimento ve saf su ile homojen bir şerbet numunesi hazırlanmıştır. Amerikan Petrol Enstitüsü (API) standartlarına göre 5 farklı oranda çimento ağırlığınca RHA ilave edilmiştir. Hazırlanan çimento numuneleri üzerinde reolojik ve mekanik deneyler yapılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan pirinç kabuğu külü Edirne’de bulunan Erdoğanlar Gıda A.Ş. tarafından üretimi gerçekleştirilen pirinç işleme fabrikasından sağlanmıştır. Kül, bahsedilen fabrikada atık bir malzeme olarak üretilmekte ve paketlenerek satılmaktadır. Kontrollü olarak yakılmış pirinç kabuğu külü; düşük maliyeti, yüksek puzolanik aktiviteye sahip olması ve % 91,6 oranında silisyum oksit içermesi çimento şerbetinde katkı malzemesi olarak kullanılması cazip gelmiştir.

*Saf Su:*

Bu çalışmada kullanılan su laboratuvar koşullarında üretilen distile veya deiyonize su kullanılır. Distile su temiz ve kuru karışım kabında tartılmaktadır. Suyun pH derecesi 7’dir. Numuneler için kullanılacak su miktarı su / çimento (W/C) oranı ile API standartlarına göre belirlenmiştir.

Çimento şerbeti hazırlanırken karışım uygunluğu açısından su oranına dikkat edilir. Su; çimento şerbet davranışını ve çimentonun nihai özelliklerini önemli ölçüde etki eder.

#### 4. 1. 2. Çalışmada kullanılan ekipmanlar

Çimento şerbeti için hazırlanan numuneler Çizelge 4. 1’de belirlenen miktarlarda kullanılmaktadır. Çimento numunelerini hazırlamak için hassas terazi kullanılmıştır. Laboratuvar ortamında sıklıkla kullanılan hassas terazi ağırlık ölçmek için kullanılan bir alettir. Şekil 4. 2’ de gösterildiği gibi Desis hassas terazisi kullanılmıştır.



Şekil 4. 2. Elektronik hassas terazi

Çimento numunelerinin hazırlanmasında ilave edilen pirinç kabuğu külü ve saf su ile homojen bir karışım için Utest–Material Testing marka mikseri kullanılmıştır. Şekil 4. 3’de bu deneyde kullanılan mikser gösterilmektedir.



Şekil 4. 3. Mikser

Sondaj uygulamalarında önemli parametrelerinden biri de yoğunluk faktörüdür. Yoğunluk/ağırlık ölçümlerinde çamur ağırlığını da ölçen hassas terazi kullanılmıştır. Terazinin bir tarafında çimento şerbetinin doldurulacağı sabit hacimli bir kap ile karşı ağırlıktaki kolundan ve kol üzerinde hareket eden ölçüm ağırlığından oluşur. Terazinin denge halinde bulunduğu konum çimento şerbetinin yoğunluğunu bildirmektedir. Terazi lb/gal, lbs/ft<sup>3</sup> ve psi/1000 ft birimleri bulunan ve istenilen birimden yoğunluğu kaydedilebilen bir alettir. Boyutu 55×11×10 cm olup ağırlığı 1,9 kg'dır. Şekil 4. 4'de terazi gösterilmiştir.



Şekil 4. 4. Çamur / çimento terazisi

Çimento şerbetinin reolojisi için 600, 300, 200, 100, 6 ve 3 rpm hızlarında genel olarak ölçülür. Viskozite ölçümünde birçok cihaz kullanılır. Bu çalışmada 6 devirli Ofite-model 800 marka FANN viskozimetresi kullanılmıştır.



Şekil 4. 5. Ofite-Model 800 marka fann viskozimetresi

Numunelerin ortam sıcaklığında sıvı kaybını ölçmek için API standart filtre presi kullanılmıştır.  $100\pm 5$  psi basınç ve 30 dakikalık zaman çimento şerbetinin sıvı kaybını ölçmeye yarar.



Şekil 4. 6. Sıvı kaybı düzeneği

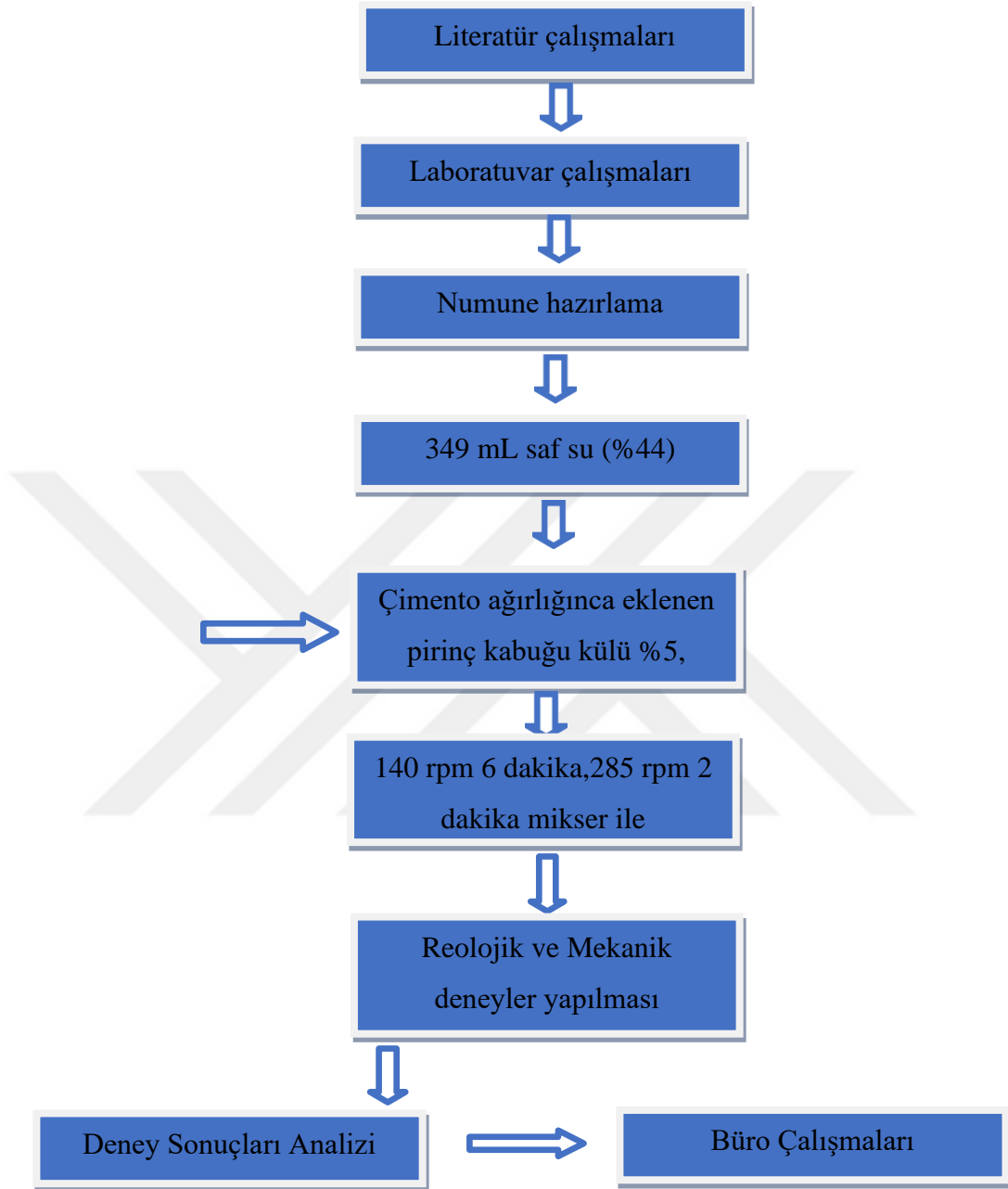
#### 4. 2. Metod

Bu çalışmada önce literatür çalışmaları yapıp incelendikten sonra ardından laboratuvar çalışmalarına geçilmiştir. Öncelikle yapılan çalışmada G sınıfı çimento, pirinç kabuğu külü (RHA) ve saf su kullanılarak sondajlarda kullanılan çimento şerbet numunesi hazırlanmıştır. Bu araştırmada gerçekleştirilen deneysel çalışmalar, Şekil 4. 7’de belirtilen aşamalardan hareketle tasarlanmıştır.

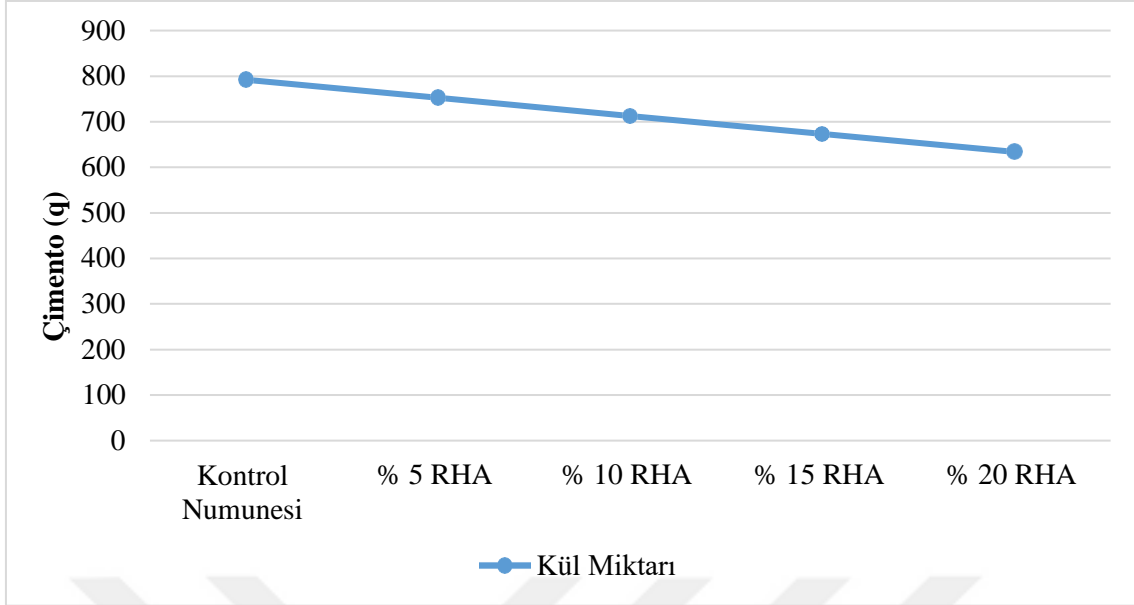


Çizelge 4. 1. Çimento numunelerinde kullanılan malzeme ve miktarları

<b>Numunelerde Kullanılan Malzeme ve Miktarları</b>			
Çimento şerbetine eklenen RHA miktarı	İyonize su miktarı (mL)	Pirinç kabuğu külü (RHA) (g)	G sınıfı çimento (g)
% 0 RHA eklenen çimento şerbeti (Kontrol)	349 mL	-	792 g
% 5 RHA eklenen çimento şerbeti	349 mL	39.2 g	752.8 g
% 10 RHA eklenen çimento şerbeti	349 mL	79.2 g	712.8 g
% 15 RHA eklenen çimento şerbeti	349 mL	118.8 g	673.2 g
% 20 RHA eklenen çimento şerbeti	349 mL	158.4 g	633.6 g



Şekil 4. 7. Çalışmanın genel olarak şematik gösterimi



Şekil 4. 8. Çalışmada kullanılan pirinç kabuğu külü ve çimento oranı

Bu çalışmada Çizelge 4.1’de belirtilen su ve çimento oranları Amerikan Petrol Enstitüsü 10A (ISO 10426-1) standartlarına uygun olarak hazırlanmıştır. Çimento ağırlığına ikame edilen pirinç kabuğu kül oranı arttıkça deneyde kullanılan çimento miktarı azalmıştır. RHA miktarı çimento ağırlığının yüzde (%) oranında hesaplanarak eklenmiştir.

#### 4. 2. 1. Laboratuvar çalışmaları

##### *Numune Hazırlama:*

Çimento şerbet numunelerinin hazırlanması API standartlarına uygun olarak 349 ml saf su (% 44) ile 792 g G sınıfı çimento (% 56) karıştırılarak sondaj uygulamalarında kullanılan çimento şerbeti hazırlanmıştır. Çimento ve pirinç kabuğu külünün su ile homojen bir karışım sağlanabilmesi için Utest–Material Testing Equipment marka mikser kullanılmıştır. Hacimce % 5, % 10, % 15 ve % 20 oranlarında pirinç kabuğu külü çimento ile yer değiştirmiştir. Su / Çimento (W/C) oranında su miktarı sabit kalmıştır. Pirinç kabuğu külü ve G sınıfı çimento miktarı iki önemli değişken olarak belirlenmiştir. Kontrol amacıyla pirinç kabuğu külü katkısız kontrol numuneleri hazırlanmıştır. Çizelge 4. 1’ de verilen oranlarda her deney için 3’er tane olmak üzere 5 grup numune için 60 tane çimento harç örneği hazırlanmıştır. Bütün karışımlar için aynı karıştırma metodu uygulanmıştır. Çimento numunelerinin hazırlanması sırasıyla belirtilmiştir.

- Çimento şerbeti speed 1 (140 rpm) hızında 6 dakika ve speed 2 (285 rpm) hızında 2 dakika çalıştırılmıştır.
- Reoloji deneyleri için çimento şerbet numuneleri hazırlanıp deney aletlerine alınırken mekanik dayanım ölçmek için hazırlanan çimento şerbeti kalıplara dökülmüştür.
- Hazırlanan çimento şerbeti, 40×40×160 mm numune kalıplarına dökülmüştür.
- Kullanılan numune kalıpları petrol esaslı yağ kullanılarak su sızdırmayacak şekilde kapatılmıştır. Bu kalıplarının su emmez özelliğe olması ve aynı zamanda alınan numunenin standartlara uygun olması gerekmektedir. Uygun olmayan numune kalıpları basınç dayanım testinde farklılıklar gösterebileceğinden teknik açıdan kullanılmamıştır.
- Numuneler kalıplara döküldükten sonra kalıbın üst yüzeyinden taşan çimento şerbeti numuneye zarar verilmeden mala yardımı ile alınmıştır.
- Numuneler, oda sıcaklığında rüzgârdan ve nemden uzak tutularak Şekil 4. 8'de gösterildiği gibi 1 gün boyunca (24 saat) boyunca kuruması beklenmiştir. Kalıptan çıkarılan harç numuneleri test günlerine kadar su küründe bekletilmiştir.



Şekil 4. 9. Numunelerin kalıba dökülmesi

### *Viskozite Ölçümü:*

Çimento şerbetinin reolojik özelliklerini ölçmek için 6 hızlı (600, 300, 200, 100, 6 ve 3) döner viskometre kullanılmıştır. 600 ve 300 rpm okumaları görünür viskozite (AV), plastik viskozite (PV) ve kopma noktası (YP) değerlerinin hesaplanmasında kullanılır. Viskozite ölçümü aşağıdaki gibidir.

- Viskometre kabı içerisindeki işaretli seviyeye kadar çimento şerbeti ile doldurulur ve rotor üzerindeki çizgiye kadar şerbete batırılır.
- Viskozimetrenin hızı 600 rpm'e getirilerek rotor döndürülmeye başlar.
- Viskozimetre üzerinde bulunan kadradaki ibre sabit duruma geldiği zaman 600 rpm'deki değer okunur.
- Sırasıyla 300, 200, 100, 6 ve 3 rpm'de rotor döndürülür, ibrenin sabitlendiği değer okunur.
- Görünür viskozite(cp):  $AV = 600 \text{ rpm okuması} / 2$
- Plastik viskozite(cp):  $PV = 600 \text{ rpm okuması} - 300 \text{ rpm okuması}$
- Kopma noktası ( $\text{lb}/100 \text{ ft}^2$ ):  $YP = 300 \text{ rpm okuması} - PV$

### *Ağırlık (Yoğunluk) Tayini:*

Sondaj uygulamalarında önemli parametrelerden biri de çimentonun yoğunluğu/ağırlığıdır. Çimento şerbeti yoğunluğu  $\pm 0,1 \text{ lb/gal}$  ya da  $\pm 0,5 \text{ lb/ft}^3$  hassasiyet sınırları içinde doğru ölçüm yapılmasını sağlayacak herhangi bir alet kullanarak tespit edilebilir. Sondaj çimentosunun yoğunluğuna genellikle çimento ağırlığı denir ve birimi  $\text{g/cm}^3$ ,  $\text{lb/gal}$ ,  $\text{Psi}/1000\text{ft}$  olarak ifade edilir. Çimento yoğunluğu sondajın ilerleme hızını etkiler.

Çimento yoğunluğunun ölçümü sırasıyla belirtilmiştir.

- Terazinin tüm parçaları deneyin doğruluğu için temizlenir, terazinin haznesi, çimento şerbeti ile doldurulur ve rotor üzerindeki çizgiye kadar çimentoya batırılır.
- Çimento şerbetinin içinde kalan havanın giderilmesi için hazneye yavaşça vurulur.
- Haznenin üzerine hazne kapağı konulur ve yavaşça çevrilerek yerine oturtulur.
- Hazne kapağında bulunan delikten bir miktar çimento dışarı çıkar.
- Bu delik parmak yardımı ile kapatılarak çimento bulaşmış kısım yıkanarak temizlenir.
- Kapakta bulunan delik kapatılarak terazi yıkanıp kurutulur.
- Terazi dayanma noktasına yerleştirilir ve terazinin kolu üzerindeki ağırlık hareket ettirilerek terazinin dengede kalması sağlanır.
- Kadrandaki ibre sabit duruma geldiği okuma döndürülen hızdaki okuma olarak kaydedilir.
- Çimento yoğunluğu değeri lb/gal, lb/ft<sup>3</sup>, S.G. veya psi/1000 olarak okunabilir ve sonuç olarak çimento şerbetinin (Kontrol numunesi) bu değer 1,89 lb/ ft<sup>3</sup> olarak okunmuştur.
- API standartlarına göre G sınıfı çimento şerbeti değeri 1,89 lb / ft<sup>3</sup> olarak bilinmektedir.

#### *Filtrasyon Ölçümü (Sıvı Kaybı):*

Çimento şerbetinin sıvı kaybının test edilmesi için sıvı kaybı düzeneği kullanılır. Çimento şerbeti tanımlanmış basınç ve zaman şartlarında bu düzende sıkıştırılır. API filtre press ile filtrasyon ölçümü aşağıdaki gibidir.

- Ölçüm yapılmadan önce düzener iyi bir şekilde hazırlanmalıdır.
- API filtre cihaz parçaları ve filtrasyon kâğıdı kullanılarak ölçümler yapılır.
- Kuru ve temiz durumdaki pres parçaları ve kuru Watman No.50 filtre kâğıdı kullanılarak filtrasyon cihazı hazırlanır.

- Hazne üstten ½ inç kalacak şekilde şerbet ile doldurulur.
- Hücre gövdesine 350 ml çimento şerbeti doldurulur.
- Bu düzenekte regülatör (basınç azaltıcı) bulunur. Basınç vermek için regülatör vanası ve basıncı kaldırmak için tahliye vanası kullanılır.
- Regülatör vasıtasıyla 100±5 psi basınç uygulanır.
- 30 dakika sonra basınç tahliye edilir ve tüpte biriken filtrat su kaybı olarak okunur.
- Ölçüm yapılmadan önce düzenek iyi bir şekilde hazırlanmalıdır.

#### *Yayılma Tablası Deneyi:*

Çimento şerbetinin mikser yardımı ile karıştırılma işleminin tamamlanmasından sonra hazırlanan şerbetin işlenebilirliğini test etmek amacıyla yayılma tablası deneyi yapılır. Standartlara uygun yapılan bu deneyin yapılış yöntemi sırasıyla belirtilmiştir.

- Bu yöntemde hazırlanan çimento harç karışımı 30-45 saniye bekletildikten sonra akma tablası kalıbına iki kademeli olarak yerleştirilir.
- Kalıbın üst kısmı temizlenir, numuneyi sarsmadan kalıp yukarı doğru çekilir.
- TS EN 1015-3 standardına uygun olarak hazırlanan harcın manüel kol yardımı ile saniyede bir devir yapacak şekilde çevrilerek yayılma miktarı ölçülür.
- Tokmak yardımı ile 25 vuruş yapılır ve kalıbın diğer yarısı doldurularak tekrar 25 vuruş daha yapılır.
- Deney aletinin kolu 15 saniyede 5 kez çevrilir.
- Yayılan numunenin çapı kumpas yardımı ile ölçülerek karşılaştırılır.



Şekil 4. 10. Yayılma tablası

*Eğilme ve Basınç Deneyi:*

Basınç dayanımı ve eğilmede çekme deneyi için İskenderun Teknik Üniversitesi – İnşaat Mühendisliği bölümündeki Yapı ve Malzeme Laboratuvarında bulunan iki kabinli BESMAK Harç numune press 2010 cihaz aracılığıyla çimento hamurlarının eğilme ve basınç dayanımları ölçülmüştür. Deneyde kullanılan çimento hamurları 7. ve 28. gün ölçümlerine göre numune havuzundan çıkarılmıştır. Deney günü gelen numuneler 1 gün (24 saat) öncesinden numune havuzundan çıkarılmıştır. Eğilme mukavemeti ölçülecek olan 40×40×160 mm boyutuna sahip numune 3 noktadan yüklemeli, en pürüzsüz yüzey metal kırma başlığının üstüne gelecek şekilde dizayn edilmiştir. Daha sonra kırılan numune iki parçaya ayrılarak hamurun eğilme değeri not edilmiş ve basınç dayanım testine geçilmiştir (TS EN 196-1, 2016).

Basınç dayanım testi 40×40×160 mm hamurunun kırılan iki parçası üzerine uygulanarak basınç mukavemet ölçümü yapılır. Bir çimento hamuru üzerinde eğilme deneyinde 1 değer, basınç dayanım deneyinde 2 değer okunur. Eğilme ve basınç dayanım deneyi, deney günü olan hamurlar üzerinde 3'er defa tekrar eder.



Yapılan bu deney ile çimento şerbeti içerisinde % 0 RHA, %5 RHA, %10 RHA, %15 RHA ve % 20 RHA numunelerinin, içerisinde farklı oranlarda katılan pirinç kabuğu külünün eğilmede çekme ve basınç değerlerinin ölçümünün yapılması sağlamıştır.

*Sıcaklık Deneyi:*

28. güne kadar standart su kürü uygulanan 40x40x160 mm boyutlarındaki harç örnekleri yüksek sıcaklık uygulaması yapılmıştır. Her bir sıcaklık değeri için 3'er adet numune olmak üzere toplamda 30 tane çimento harç numunesi 150 C°, 300 C° ve 450 C° farklı sıcaklıklarda ısıtılmak üzere etüv cihazında 3 saat yüksek sıcaklığa bırakılmıştır. Etüvden çıkan numuneler oda sıcaklığında soğutulmaya bırakılmıştır. Soğuma işlemi tamamlanan çimento hamurları eğilmede çekme ve basınç dayanımları ölçülmek üzere eğilme ve basınç pres cihazına alınmıştır.

Yapılan bu deney ile % 0 RHA, % 5 RHA, % 10 RHA, % 15 RHA ve % 20 RHA numunelerini 3 farklı sıcaklıkta ısıtıldıktan sonra sırasıyla dayanım testlerine tabi tutulmuştur. Okunan değerler Çizelge 5. 5'de ayrıntılı bir şekilde verilerle sunulmuştur.

## 5. ARAŞTIRMA BULGULARI

Çizelge 2. 4 ve Çizelge 2. 5’de kimyasal ve fiziksel özellikleri verilen pirinç kabuğu külü ve G sınıfı çimento Şekil 4. 7’de belirtilen aşamalar takip edilerek sondaj çimento numuneleri şerbet halinde iken sırasıyla viskozite, yoğunluk (ağırlık), standart API sıvı kaybı, yayılma tablası testlerine tabi tutulmuştur. Daha sonra 40x40x160 kalıplarda kür almaya bırakılan numunelere ise mekanik dayanım testleri; eğilme, basınç ve sıcaklık deneyleri yapılmıştır. Yapılan çalışmaların sonucu aşağıda ayrıntılı bir şekilde sunulmuştur.

### 5. 1. Viskozite Analizleri

Çimento numunelerinin reolojik özellik ölçümünde viskozite testi döner viskozimetre cihazı kullanılmıştır. Her bir çimento şerbeti için bu çalışmada 600, 300, 200, 100, 60, 30, 6 ve 3 (rpm) hızlarından döndürülmüştür. Kadrandaki ibrenin sabit duruma gelmesi beklenmiş ve ibrenin sabit olduğu değer söz konusu hızdaki değer olarak kaydedilmiştir.

Ölçümlere ait viskozite karşılaştırılması ve artan pirinç kabuğu kül oranı ile değerlerin sonuçları aşağıda verilmiştir. Hazırlanan numunelerde RHA artışı ile birlikte Şekil 5. 2, Şekil

5. 3, Şekil 5. 4 ve Şekil 5. 5’ de verilirken Şekil 5.1’e olan grafiğe göre viskozite değerlerindeki artış ve azalışlar değerlendirilmiştir.

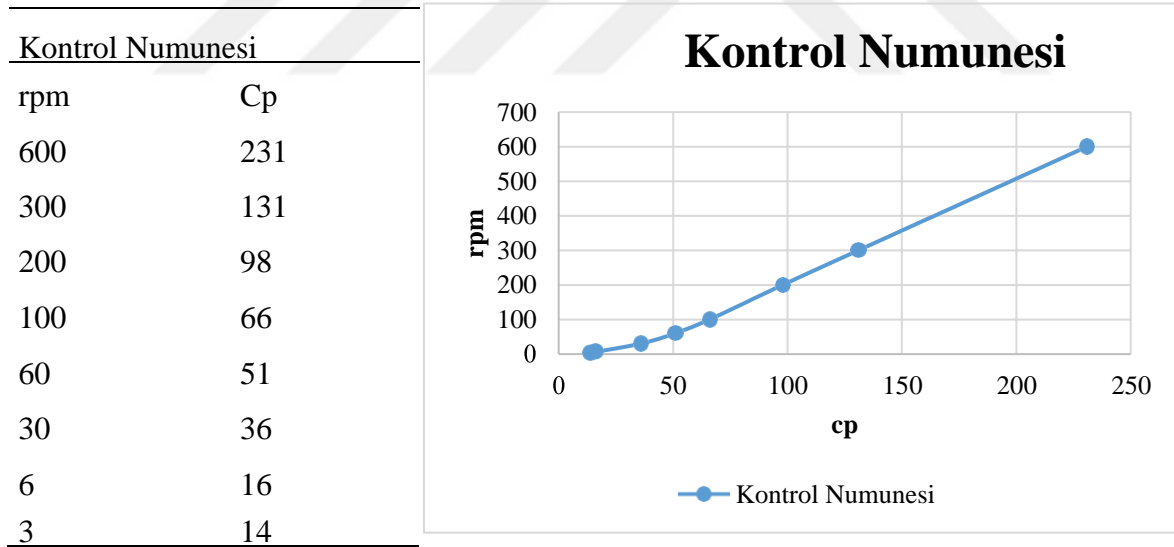
% 5 RHA ikame edilen çimento numunesi kontrol numunesine göre 600 rpm ve 300 rpm hızında artış gösterirken 200 rpm hızında azalış göstermiştir. 100, 60, 30, 6 ve 3 rpm hızlarında kontrol numunesine kıyasla artış göstermiştir.

% 10 RHA ikame edilen çimento numunesinin hız okuma değerleri kontrol numunesine göre kıyaslandığı takdirde hızların genelinde artış gösterirken 3 rpm okumasında 14 cP değeri sabit kalmıştır.

% 15 RHA eklenen çimento numunesinde kontrol numunesine kıyasla genel olarak bir azalış kaydedilmiştir. 600 rpm hızında artış olup diğer hızlardaki okuma değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Kuyu şartlarına göre değerlendirme yapıldığı zaman düşük viskoziteye sahip çimento tercih edilen standartlar arasındadır.

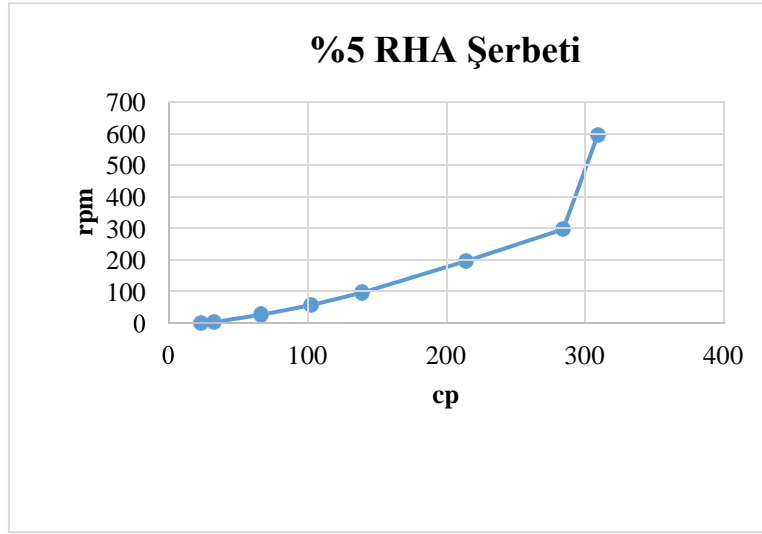
% 20 RHA eklenen çimento numunesi kontrol numunesine göre kıyasla Şekil 5.5' de verilen grafikten de anlaşıldığı gibi hız değerlerinde artış ve azalışlar mevcuttur.

Bilindiği gibi düşük viskoziteli çimento şerbeti pompalanabilirliği kolaylaştırdığından ve daha az pompa gücü gerektirdiğinden maliyet açısından istenilen bir durumdur. Pirinç kabuğu külünün miktar artışa bağlı olarak viskozite değerlerinde dalgalanma görülmekle birlikte %15 kül katkılı numunede en düşük viskozite değeri okuması görülmüştür. Özellikle düşük kayma hızlarındaki viskozite farkı kontrol numunesine kıyasla daha belirgindir. %15 pirinç kabuğu katkılı çimento özellikle düşük kayma hızlarında daha düşük viskoziteye sahip olduğundan ve gerekli çimento miktarını azalttığından kuyu maliyetinin düşmesini sağlayacaktır.



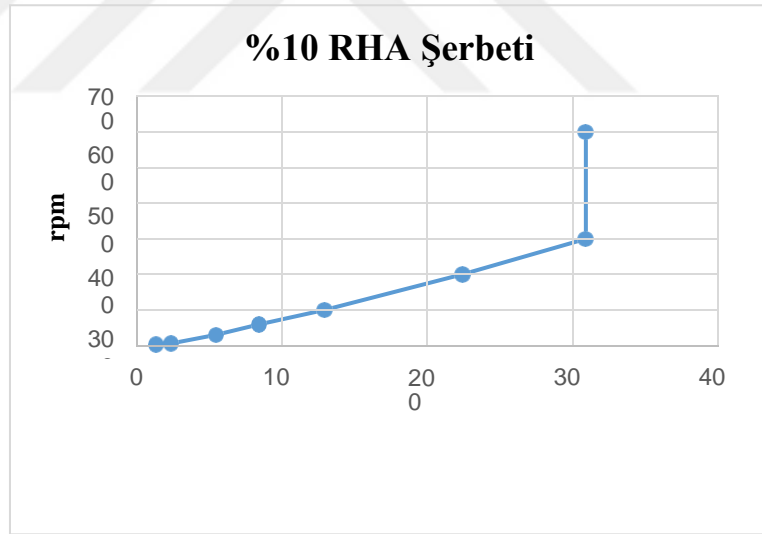
Şekil 5. 1. % 0 RHA eklenen çimento şerbetinin viskozite kadran okumaları

% 5 RHA Şerbeti	
Rpm	Cp
600	310
300	285
200	15
100	140
60	103
30	67
6	33
3	24



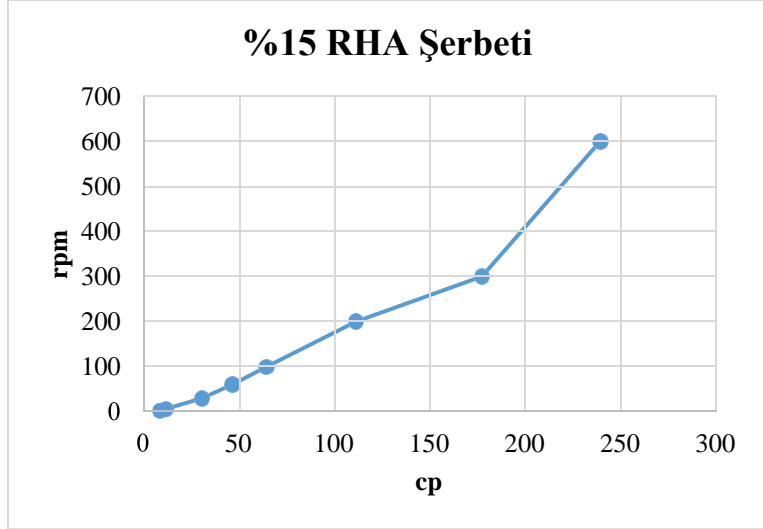
Şekil 5. 2. % 5 RHA eklenen çimento şerbetinin viskozite kadran okumaları

% 10 RHA Şerbeti	
rpm	Cp
600	310
300	310
200	225
100	130
60	85
30	55
6	24
3	14



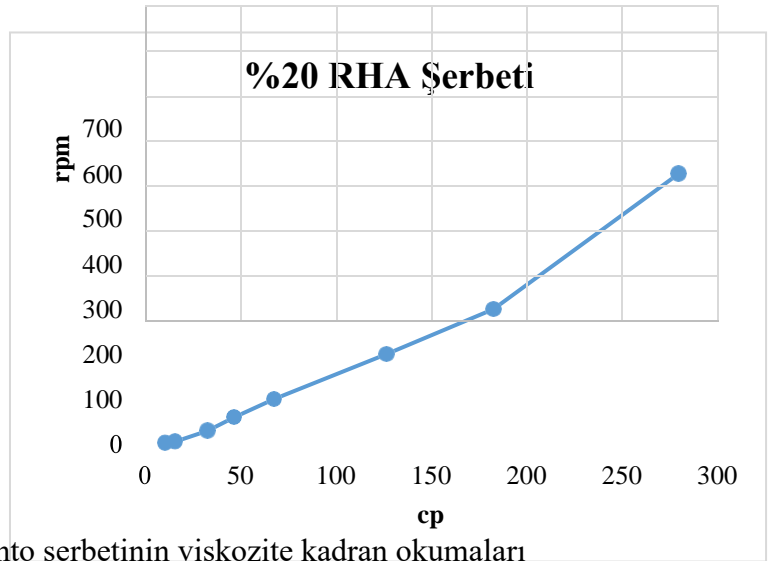
Şekil 5. 3. % 10 RHA eklenen çimento şerbetinin viskozite kadran okumaları

% 15 RHA Şerbeti	
rpm	Cp
600	240
300	178
200	112
100	65
60	47
30	31
6	12
3	9

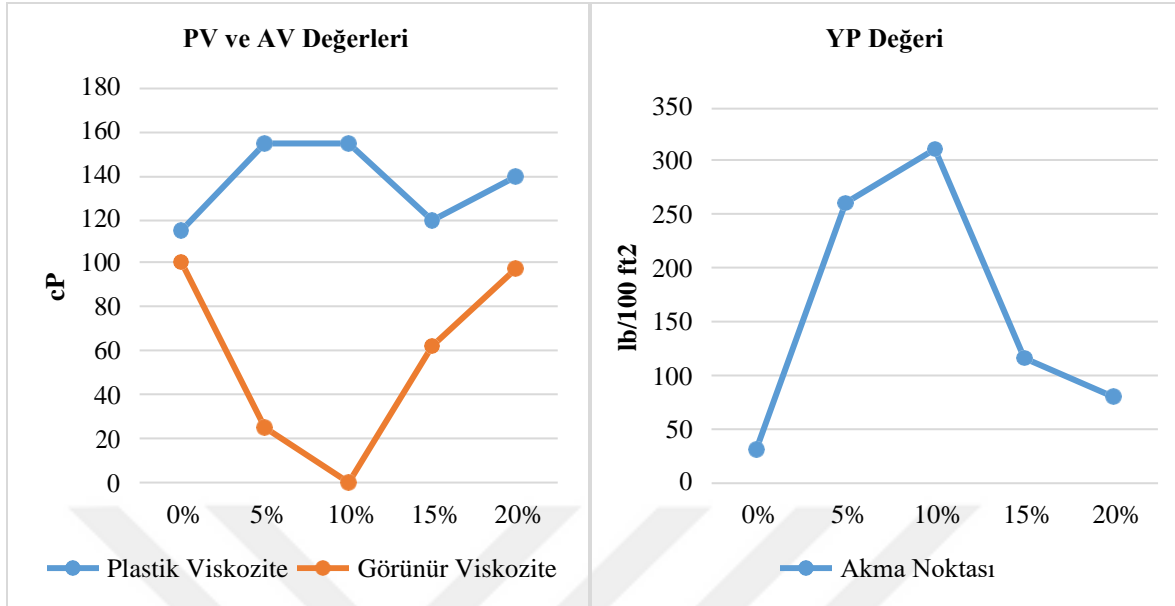


Şekil 5.4. % 15 RHA eklenen çimento şerbetinin viskozite kadran okumaları

% 20 RHA Şerbeti	
rpm	Cp
600	280
300	183
200	127
100	68
60	47
30	33
6	16
3	11



Şekil 5. 5. % 20 RHA eklenen çimento şerbetinin viskozite kadran okumaları



Şekil 5. 6. PV, AV ve YP değerleri

Sondaj çimentosu içerisine eklenen RHA miktarına bağlı olarak viskozite değerleri değişkenlik göstermiştir. Buna bağlı olarak plastik viskozite (PV), görünür viskozite (AV) ve akma noktası (YP) değerlerinde de Şekil 5. 6'da verildiği gibi dalgalanmalar meydana gelmiştir. Şerbet içerisine eklenen katkı maddesi miktarı yoğunluk artırabileceğinden viskoziteyi de arttırabildiği bilinmektedir.

Yukarıdaki grafikler incelendiği zaman plastik viskozite katkı maddesi eklenmeyen çimento şerbetine göre % 5 ve % 10 RHA ikameli çimento numunelerinde artış gözlemlenirken % 15 ve % 20 pirinç kabuğu külü ikameli çimento şerbet numunelerinde azalma kaydedilmiştir. Pirinç kabuğu külü miktarı % 5 ve % 10 RHA ikameli numunelerde 155 cP olarak sabit kalmıştır. Daha sonra sırasıyla 120, 140 cP olarak azalış göstermiştir. % 15 RHA ikameli çimento şerbetinde % 10 RHA ikameli şerbete kıyasla 35 cP azalış gözlemlenmiştir. Görünür viskozite değerleri ise katkı maddesinin artması ile azalış göstermiştir. Akma noktası, kontrol numuneye göre kıyasla % 5 ve % 10 kül ikameli şerbet numunesinde artış gösterirken % 15 ve % 20 kül ikameli şerbet numunesinde azalış göstermiştir.

## 5. 2. Yoğunluk Analizleri

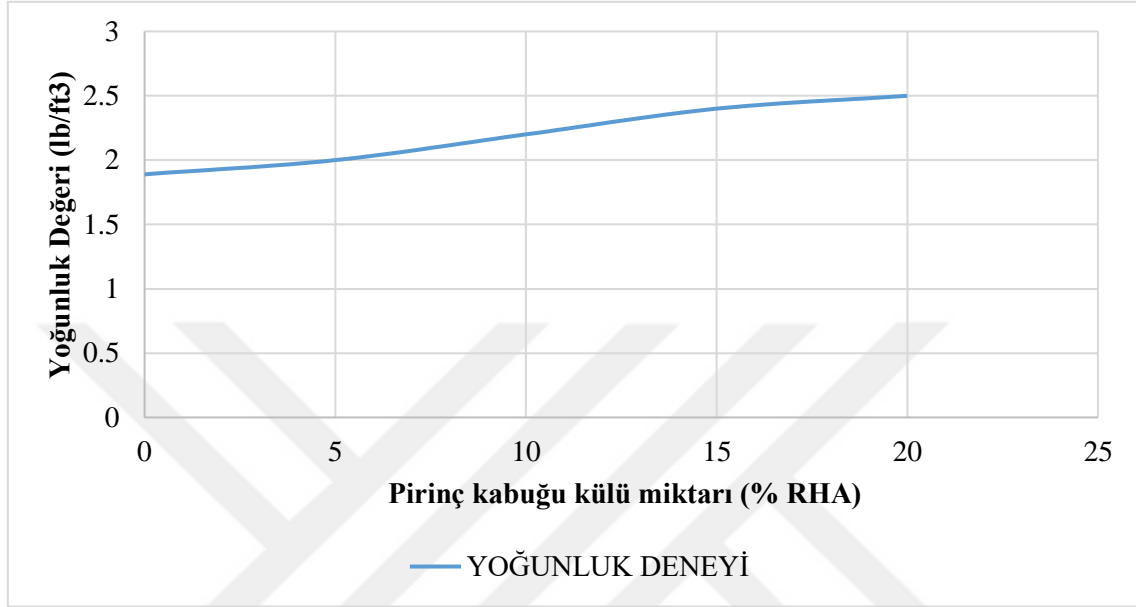
Hazırlanan çimento şerbetlerinin yoğunluğu Şekil 4. 4'te gösterilen çimento / çamur terazisi kullanılarak ölçüm yapılmıştır. Deneye başlamadan önce kullanılacak olan yoğunluk terazisi tatlı su kullanılarak kalibre (tatlı suyun kalibrasyonu baz alınarak, 62.3 lb /ft<sup>3</sup>) edilmiştir. Çimento şerbeti yerleştirilecek kabın temiz ve kuru olmasına dikkat edilmiştir. Kabın içerisine konulacak çimento şerbeti miktarı, kabın doluluğuna emin olmak amacıyla kabın üstündeki delikten bir miktar taşacak şekilde konulmuştur. Şerbet numunesi kaba yerleştirildiğinde oluşan hava kabarcıkları gidene kadar beklenmiş ardından haznenin kapağı ve kapak üzerinde bulunan delik kapatılarak terazi ve terazi koluna bulaşan şerbet yıkanıp kurutulmuştur. Terazi ölçüm yapmak için mekanizmadaki yerini alarak dayanma noktasına getirilmiştir. Terazi üzerinde bulunan ağırlık hareket ettirilerek denge durumuna getirilmesi sağlanmıştır. Denge halinde iken çimento şerbetlerinin ağırlıkları kaydedilmiştir.

G sınıfı çimento şerbetinin API 10A (ISO 10426-1) standartlarına göre yoğunluğu 1,89 lb/ft<sup>3</sup> olduğu bilinmektedir. Deney çalışmalarına ilk başladığı zaman yoğunluk ölçümü yapılan referans çimentonun G sınıfı çimento şerbetinin yoğunluğu 1,89 lb/ft<sup>3</sup> olduğu görülmüştür.

Çizelge 5. 1. Çimento şerbetinin yoğunluk değerleri

Çimento Şerbeti Kontrol (% RHA)	Yoğunluk Değeri (g/cm <sup>3</sup> )
% 0	1,89 g/cm <sup>3</sup>
% 5	2 g/cm <sup>3</sup>
% 10	2,20 g/cm <sup>3</sup>
% 15	2,40 g/cm <sup>3</sup>
% 20	2,50 g/cm <sup>3</sup>

Genel hatlarıyla pirinç kabuğu külü miktarı sondaj çimentosu yoğunluğunu artırdığı bulunmuştur. Katı madde miktarı arttıkça yoğunluk doğru orantılı bir şekilde artış göstermiştir.



Şekil 5. 7. % RHA oranına göre yoğunluk deney grafiği

### 5. 3. Sıvı Kaybı Analizleri

Hazırlanan çimento şerbeti numuneleri ortam sıcaklığında sıvı kaybı deneyine tabii tutulmuştur. Şekil 4. 6'da verilen standart API filtre presi ile 100 psi basınç altında ölçüm yapılmıştır. Yapılan bu deney ortam sıcaklığında gerçekleşmiştir.

Hazırlanan numuneler kapağa öncelikle 60 mesh'lik elek ardından kuru Watman No.50 filtre kâğıdı kullanılarak üstüne contası yerleştirilerek filtrasyon cihazı hazırlanır. Deneyde kullanılacak pres parçalarının kuru ve temiz olmasına dikkat edilir. Hazne içerisine üstten ½ inç kalacak şekilde çimento şerbeti yerleştirilir. Çimento haznesinin ağzı kapatılıp sıkıştırma kolu ile sabitlenip ana gövdeye yerleştirilir. Filtratın toplanacağı mezür yerine yerleştirilir, regülatör vasıtasıyla  $100 \pm 5$  psi basınç uygulanır. 30 dakika sonra basınç tahliye edilir ve tüpte biriken filtrat sıvı kaybı olarak okunur.



Bu çalışmada sıvı kaybı değerleri % 0 (kontrol numunesi) şerbetine kıyasla;

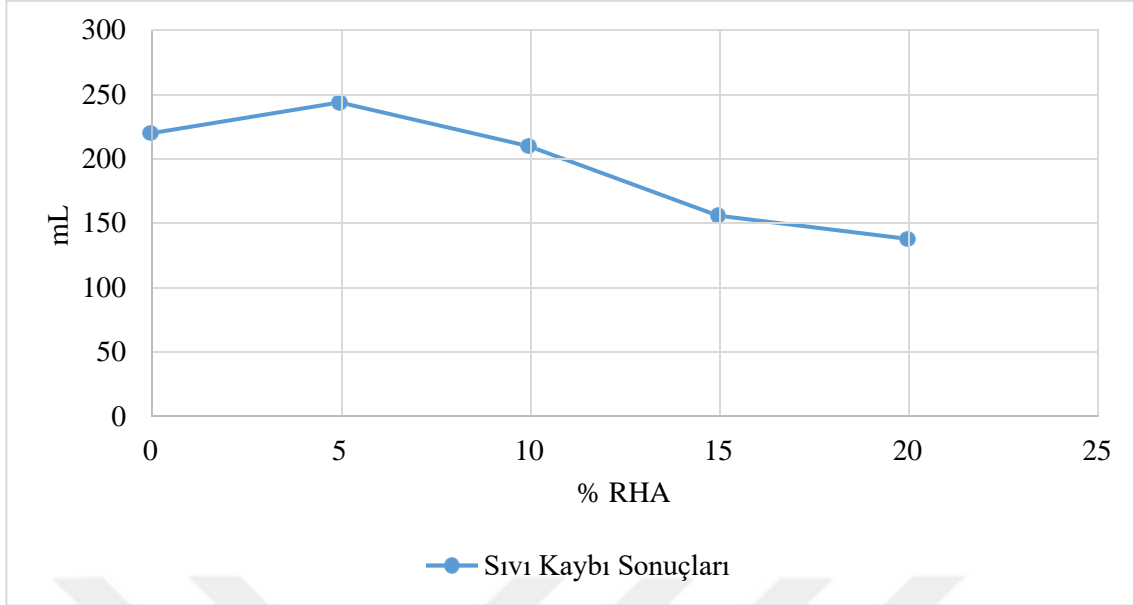
- % 5 pirinç kabuğu külü katkılı çimento şerbetinde 24 mL artış gözlenmiştir.
- % 10 RHA katkılı çimento şerbetinde 10 mL azalış gözlenmiştir.
- % 15 RHA ilave edilmiş çimento şerbetinde 64 mL azalış gözlenmiştir.
- % 20 RHA ilave edilmiş çimento şerbetinde 82 mL azalış göstermiştir.

Külün morfolojik yapısı göz önünde bulundurulduğunda köşeli iskelet ağına sahip içyapısı gereği sıvı kaybı önce artıp ağırlıkça %10 RHA üzerine çıkıldığında tanecikler arası boşluk kapanarak azalışa geçtiği gözlemlenmiştir.

Çizelge 5. 2. Çimento numunelerinin sıvı kaybı miktarları

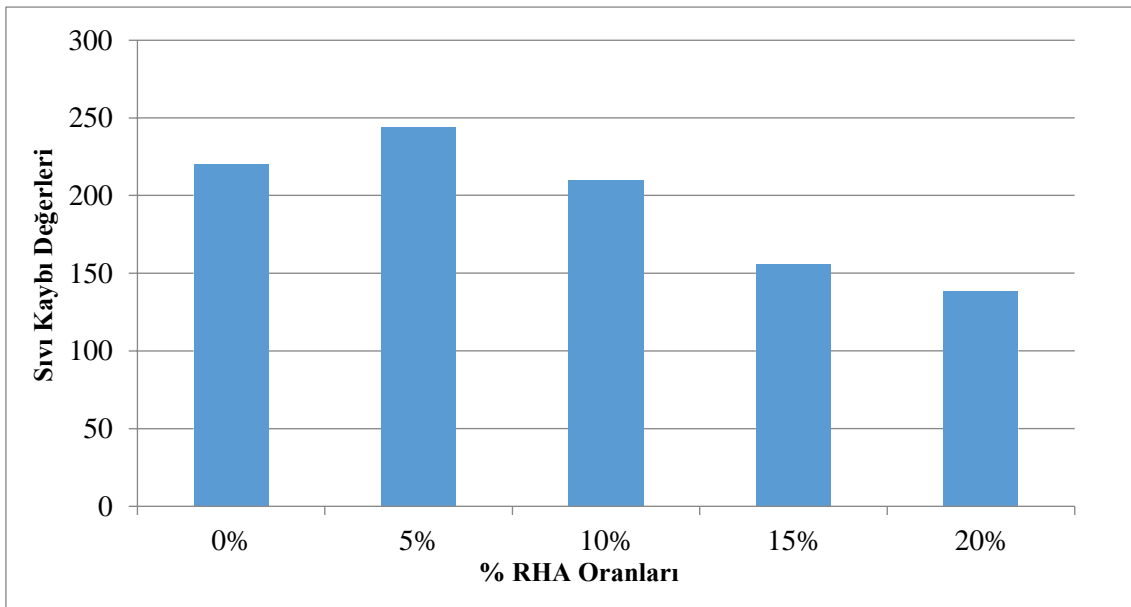
<b>Sıvı Kaybı Sonuçları</b>	
% RHA	mL
0	220 mL
5	244 mL
10	210 mL
15	156 mL
20	138 mL

Sondaj kuyuları için sıvı kaybı değeri minimum seviyede olmalıdır. Sıvı kaybı; sondaj dizisinin kuyuda sıkışmasına ve sondaj operasyonunda daha fazla maliyet ve zaman kaybına neden olur. API standartlarına göre sıvı kaybı miktarı 10-15 mL aralığında olması istenir. Bu deneyde % 10 pirinç kabuğu külü ikameli şerbetin referans şerbete göre değerlendirildiğinde sıvı kaybı 10 mL olup standarda göre öngörülen değer aralığındadır. Şerbet içerisindeki RHA miktarı artarken sıvı kaybı miktarı da referans şerbete göre azalış göstermiştir. (Şekil 5. 8)



Şekil 5. 8. % RHA oranlarına göre sıvı kaybı değerleri

Elde edilen sonuçlara göre sondaj çimento şerbetleri % 5 pirinç kabuğu külü eklenmiş çimento şerbetinde sıvı kaybı miktarında artış gösterirken % 10, % 15 ve % 20 pirinç kabuğu külü katılmış şerbet karışımında sıvı kaybı miktarı düşüş meydana gelmiştir (Şekil 5. 9)



Şekil 5. 9. Çimento şerbetinde farklı % RHA karışımlarının sıvı kaybı

#### 5. 4. Yayılma Tablası Analizleri

Yapılan bu deney Şekil 4. 9’da gösterilen yayılma tablası cihazı ile yapılmıştır. Karıştırma kabına yarısı alınan çimento şerbeti yayılma tablası üzerine yerleştirilir tokmak ile 25 kez vurulur. Ardından geri kalan şerbette tabla üzerine alınarak 25 vuruş daha yapılır. Kalıbın üst yüzeyi mala yardımı ile temizlendikten sonra deney aletinin kola 15 sn’ de 5 kez çevrilerek yayılan numunenin çap değeri kaydedilir. Kullanılan tabla pirinçten imal edilerek, 300 mm çapında çelikten yapılmıştır.

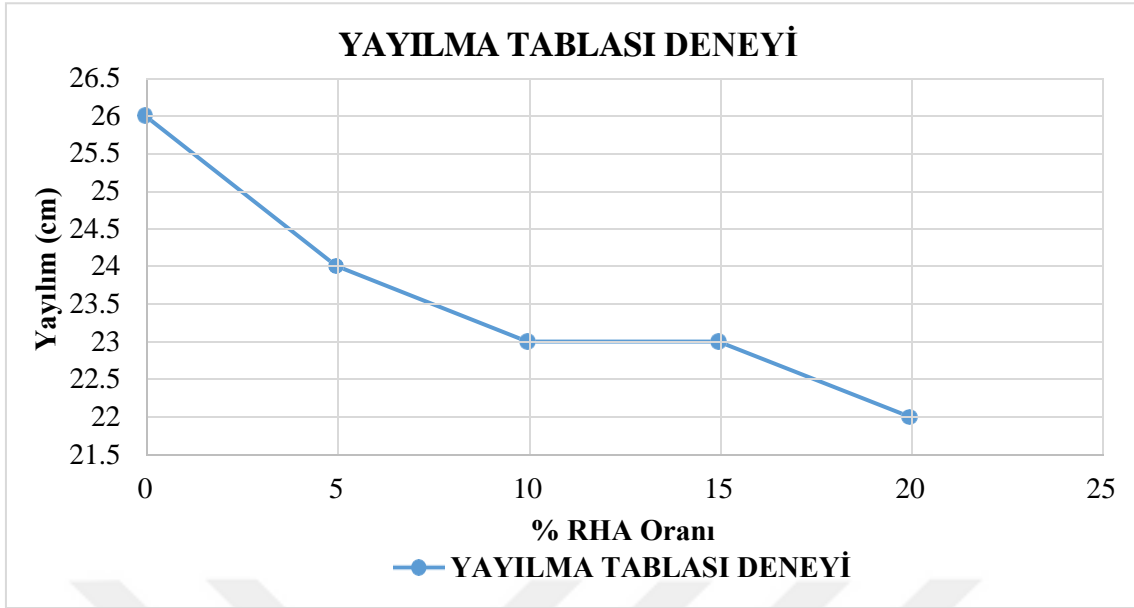
Yapılan bu deney her bir çimento şerbeti için ayrı ayrı yapılp okunan değerler sırasıyla; 26, 24, 23, 23 ve 22 cm olarak kaydedilmiştir.

Çizelge 5. 3. Çimento şerbetinin yayılma deneyi sonuçları

Yayılma Tablası Deneyi	
% RHA Oranı	Yayılm (cm)
0	26 cm
5	24 cm
10	23 cm
15	23 cm
20	22 cm

Harçların kıvamı gösterilen Çizelge 5. 3’de verilen yayılma tablası deney sonuçlarına göre pirinç kabuğu külünün harç numunelerinin kıvamını azalttığı belirlenmiştir. % 10 ve % 15 RHA ikameli harç numunelerinde yayılma miktarı sabit kaldığı gözlenmiştir.

Pirinç kabuğu külü ikameli çimento hamurları, referans çimento hamuruna göre tane boyutları oranına bağlı olarak daha fazla su ihtiyacı gösterir. Çimento hamuru, API standartları referans alınarak hazırlanmakta olup çimento içerisindeki kül miktarı arttıkça çimento şerbetinin daha yoğun bir kıvam aldığı gözlemlenmiş ve yayılım miktarında azalma meydana gelmiştir. Kül miktarı arttıkça su emme kapasitesi yayılma tablası deneyinde kıvamı azaltmıştır.



Şekil 5. 10. % 0, % 5, % 10, % 15, % 20 RHA ikameli numunelerin yayılma değerleri Pirinç kabuğu külünün tane boyutu ve özgül yüzey ağırlığı gibi fiziksel özellikleri referans çimentoya oranla pirinç kabuğu külü ikameli çimentoların daha fazla suya ihtiyaç olduğu gözlemlenmiştir.

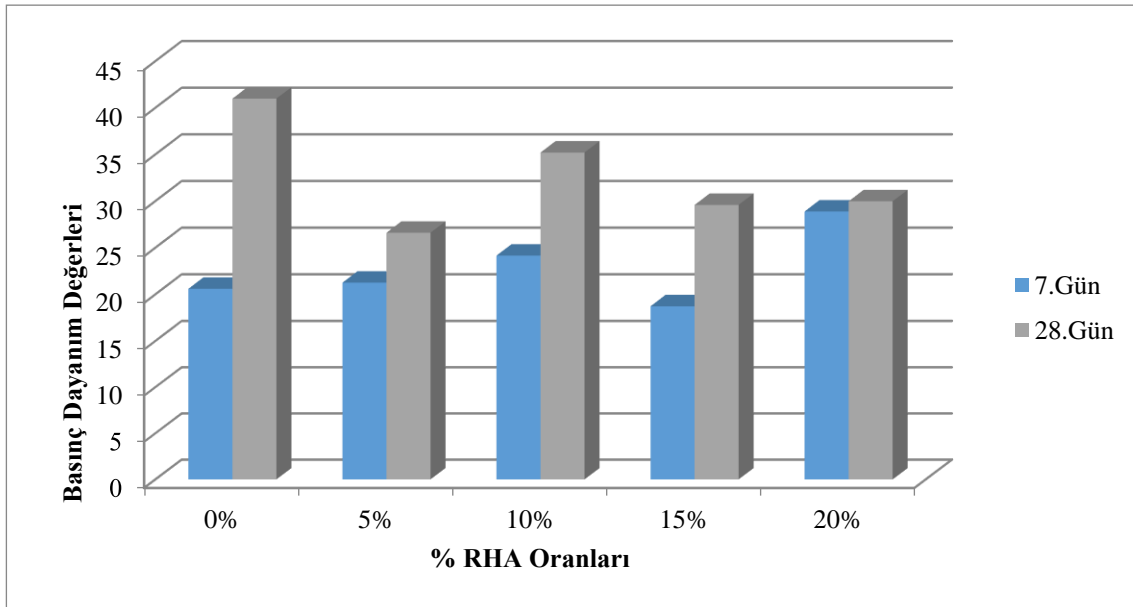
## 5. 5. Mekanik Dayanım Analizleri

### 5. 5. 1. Eğilme ve basınç analizleri

Yapılan bu deneyde kalıplardan alınan çimento numuneleri gruplar halinde 7 ve 28 günlük küre tabi tutulmuştur. Şekil 4. 10'da gösterilen eğilme basınç cihazına alınarak kontrol, % 5, % 10, % 15 ve % 20 RHA içeren numuneler olmak üzere 5 farklı çimento numunesine ait; 5 grup ve her gruba ait 3 adet numunenin eğilme ve basınç dayanımları ölçülmüştür. 40 x 40 x 160 mm ebatlarındaki prizmatik numuneler su havuzundan çıkarılıp 24 saat (1 gün) öncesinden oda sıcaklığında kuruması ardından deney yapılmıştır. Ölçümü yapılacak olan prizmatik numunenin pürüzsüz olmasına dikkat edilmiştir. % 0, % 5, % 10, % 15 ve % 20 oranlarında pirinç kabuğu külü ikame edilmiş çimento harç örneklerinin 7 ve 28 gün hidrasyon örneklerinde her bir gruptan 3'er örnek dâhilinde hesaplamalar yapılmıştır.

Çizelge 5. 4. Çimento hamurlarının ortalama eğilme ve ortalama basınç değerleri

<b>KONTROL NUMUNESİ</b>				
Kürlenme Süreleri	Kırılma Kuvveti (kN)	Eğilme Dayanımı (MPa)	Kırılma Kuvveti (kN)	Basınç Dayanımı (MPa)
7. gün	1,58	3,71	32,94	20,59
28. gün	1,37	5,47	65,58	40,98
<b>%5 RHA NUMUNELERİ</b>				
7. gün	2,22	5,21	34	21,25
28. gün	2,27	5,32	42,65	26,65
<b>%10 RHA NUMUNELERİ</b>				
7. gün	2,57	6,02	38,65	24,15
28. gün	2,09	4,91	56,33	35,20
<b>%15 RHA NUMUNELERİ</b>				
7. gün	1,79	4,20	29,96	18,72
28. gün	1,65	3,88	47,33	29,58
<b>%20 RHA NUMUNELERİ</b>				
7. gün	1,68	3,94	46,22	28,88
28. gün	1,37	3,22	47,96	29,97



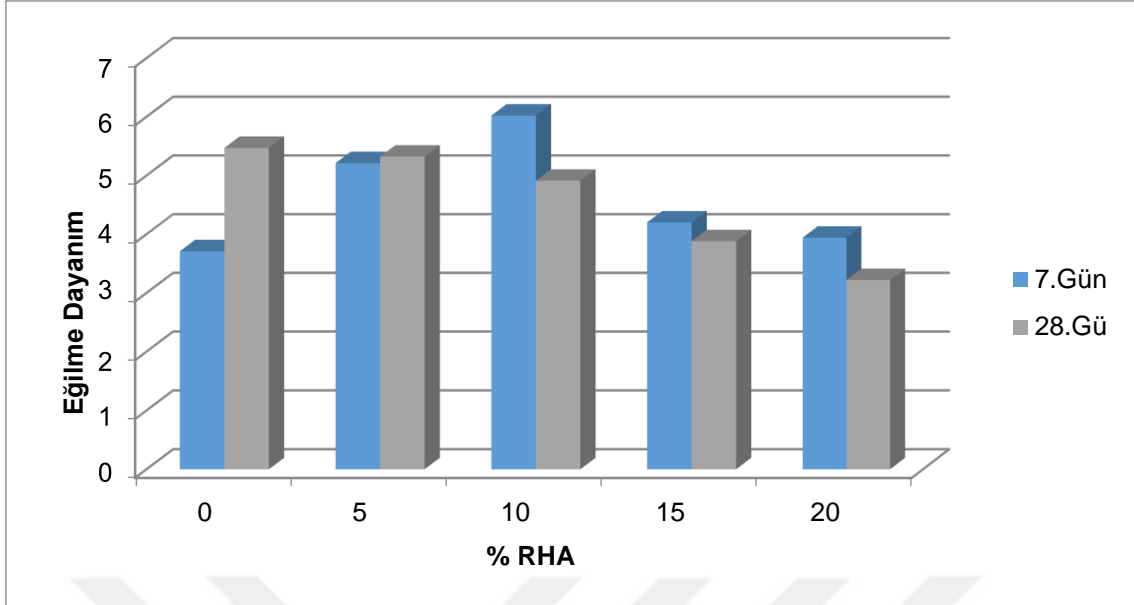
Şekil 5. 11. Kürlenme günlerine göre basınç dayanım grafiği

Basınç dayanım deneyinde 7. hidrasyon günü % 5, % 10 ve % 20 RHA eklenen numunelerde artış gösterirken % 15 RHA ikame edilen numunelerde basınç dayanımı azalış göstermiştir. 28 günlük basınç dayanımları tüm numunelerde kontrol numuneleri referans alındığında azalış gösterdiği görülmüştür.

Basınç dayanımında 7. hidrasyon günü % 15 pirinç kabuğu külü ikameli çimento harç örneğinde en düşük basınç değeri 18,72 MPa sahip olurken, 28. hidrasyon gününde % 10 pirinç kabuğu külü ikameli çimento harç örneğinde 35,20 MPa dayanımı ölçülmüştür. Kürlenme havuzundan 7. gün ölçümü yapılan %10 kül katkılı numune ile 28. gün ölçümü yapılan % 15 kül katkılı numune 16,48 MPa değerinde dayanımda bir artış göstermiştir. Mukavemette artış puzolanik reaksiyon ve RHA kimyasal içeriğinde yüksek oranda silika varlığından kaynaklanabilir. Çimento şerbet içerisinde katkı maddesi miktarı arttıkça gözlemlenen dalgalanmalar % RHA oranı arttıkça çimento şerbetinin işlenebilirliğini azalttığı deney esnasında gözlenmiştir. Bu durum külün puzolanik yapısı ile ilişkilendirilebilir.

7. gün sonunda pirinç kabuğu külü ikameli çimento harç örneklerinin basınç dayanım değerlerinin gelişme hızı, 28. gün sonundaki pirinç kabuğu külü çimento harç örneklerine nispeten % 15 RHA ilaveli örnekler haricinde diğer ikame oranlarında artış gözlemlenmiştir. Mukavemette belirlenen bu artış birçok araştırmacı tarafından bildirildiği gibi kısmen pirinç kabuğu külünün puzolanik reaksiyon gösterdiği kısmen de yüksek özgül yüzey alanına ve reaktif silika varlığına bağlı olduğu düşünülmektedir.

Referans ve pirinç kabuğu külü ikameli çimento harçlarının basınç dayanım değerleri kullanılan çimento ve pirinç kabuğu külünün fiziksel ve kimyasal özelliklerine, kullanılan malzemenin oranlarına ve hidrasyon sürelerine bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir. Çimento harç örneklerinde pirinç kabuğu külü ikameli harç örneklerini dayanımları 7. hidrasyon gün sonunda yavaş ancak artarak gelişmiştir.



Şekil 5. 12. Kürlenme günlerine göre eğilmede çekme dayanım grafiği

Eğilme deneyinde çekme dayanım sonuçları 7. gün sonuçlarına göre % 15 pirinç kabuğu külü ikameli ve % 20 pirinç kabuğu külü ikameli harçlarda referans numuneye yakın eğilim göstermiştir. 28 günlük eğilme dayanımları referans numuneye göre % 15 ve % 20 RHA ikameli harçlarda referans numuneye göre çekme dayanımında azalma göstermiştir. Eğilme dayanımları için daha uzun süreli bir çalışma ve ileri yaşlarda ölçülen dayanımların daha verimli sonuçlara sahip olacağı düşünülmektedir.

### 5. 5. 2. Sıcaklık analizleri

Kürlenme süresi tamamlanan çimento numuneleri 28. gün sonunda su havuzundan çıkartılarak 24 saat ortam sıcaklığında bekletilmiştir. Ardından numuneler ısıtılmak üzere etüv cihazına alınmıştır. 5 grup olan numuneler 150 C°, 300 C° ve 450 C ° de 3 ayrı sıcaklık derecesinden 2'şer saat ısıtılmıştır. Etüv cihazına yerleştirilen her numune kendi grubu içerisinde numaralandırılarak yerleştirilmiştir. Cihazdan alınan numuneler eğilme ve basınç deneyi yapılmak üzere harç numune pres cihazına alınmıştır. Farklı sıcaklıklarda ısıtılan numuneler eğilme ve basınç deneyine tabii tutularak değerleri hesaplanıp kaydedilmiştir. Her bir grubun numunelerinin ortalama değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 5. 5. Çimento hamur numunelerinin sıcaklık değerleri

<b>150 C°</b>				
<b>NUMUNE ÇEŞİTLERİ</b>	<b>Kırılma Kuvveti (kN)</b>	<b>Eğilme Dayanımı (MPa)</b>	<b>Kırılma Kuvveti (kN)</b>	<b>Basınç Dayanımı (MPa)</b>
Kontrol Numunesi	1,51	3,54	48,83	30,52
%5 RHA Numunesi	0,91	2,14	64,60	40,37
%10 RHA Numunesi	1,18	2,77	65,75	41,09
%15 RHA Numunesi	2,07	4,86	57,80	36,12
%20 RHA Numunesi	1,17	2,75	58,81	36,76
<b>300 C°</b>				
Kontrol Numunesi	1,86	4,35	57,16	35,75
%5 RHA Numunesi	1,03	2,42	65,38	40,86
%10 RHA Numunesi	1,28	3,01	57,8	36,12
%15 RHA Numunesi	0,98	2,31	35,08	36,38
%20 RHA Numunesi	0,85	2,00	50,61	31,63
<b>450 C°</b>				
Kontrol Numunesi	1,07	2,51	47,21	29,51
%5 RHA Numunesi	1,39	3,26	63,06	39,41
%10 RHA Numunesi	1,06	2,48	56,20	35,12
%15 RHA Numunesi	1,10	2,59	44,38	27,73
%20 RHA Numunesi	0,87	2,03	26,80	16,75



150 °C' de ısıtılan çimento harç numuneleri kontrol numunesine kıyasla;

- %5 RHA ikame edilmiş çimento numunesinin basınç değeri 9,85 MPa artmış, eğilme değeri 1,4 MPa azalmıştır.
- %10 RHA ikame edilmiş çimento numunesinin basınç değeri 10,57 MPa artmış, eğilme değeri 0,77 MPa azalmıştır.
- %15 RHA ikame edilmiş çimento numunesinin basınç değeri 5,6 MPa artmış, eğilme değeri 1,32 MPa artmıştır.
- %20 RHA ikame edilmiş çimento numunesinin basınç değeri 6,24 MPa artmış, eğilme değeri 0,79 MPa azalmıştır.

300 °C' de ısıtılan çimento harç numuneleri kontrol numunesine kıyasla;

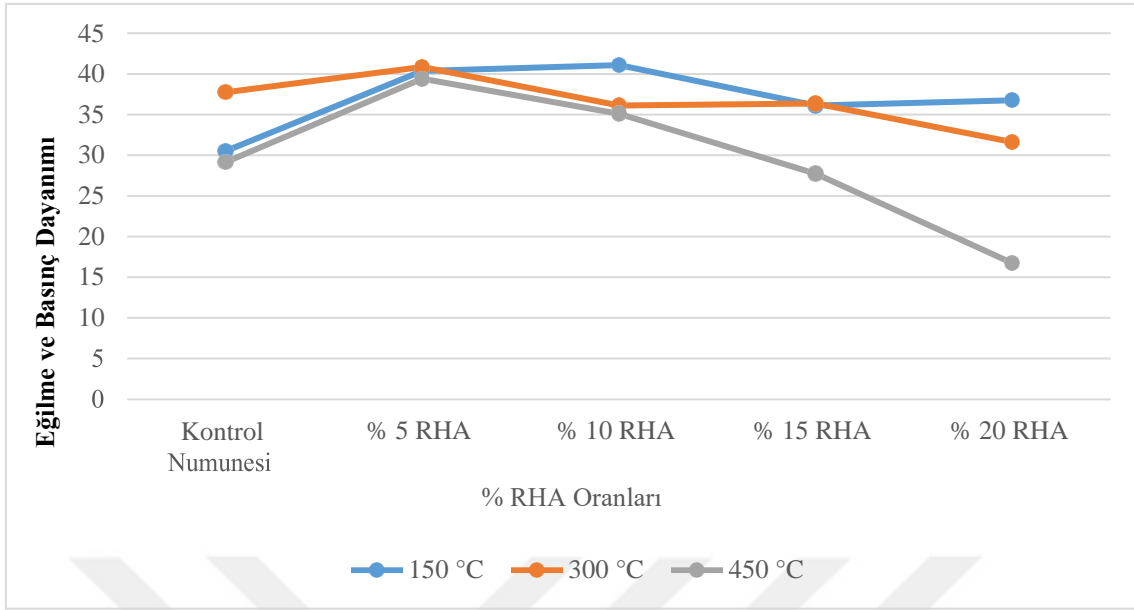
- %5 RHA ikame edilmiş çimento numunesinin basınç değeri 5,11 MPa artmış, eğilme değeri 1,93 MPa azalmıştır.
- %10 RHA ikame edilmiş çimento numunesinin basınç değeri 0,37 MPa artmış, eğilme değeri 1,34 MPa azalmıştır.
- %15 RHA ikame edilmiş çimento numunesinin basınç değeri 0,63 MPa azalmış, eğilme değeri 2,04 MPa artmıştır.
- %20 RHA ikame edilmiş çimento numunesinin basınç değeri 4,12 MPa azalmış, eğilme değeri 2,35 MPa azalmıştır.

450 °C' de ısıtılan çimento harç numuneleri kontrol numunesine kıyasla;

- %5 RHA ikame edilmiş çimento numunesinin basınç değeri 9,9 MPa artmış, eğilme değeri 0,75 MPa artmıştır.
- %10 RHA ikame edilmiş çimento numunesinin basınç değeri 5,61 MPa artmış, eğilme değeri 0,03 MPa azalmıştır.

- %15 RHA ikame edilmiş çimento numunesinin basınç değeri 1,78 MPa azalmış, eğilme değeri 0,08 MPa artmıştır.
- %20 RHA ikame edilmiş çimento numunesinin basınç değeri 12,76 MPa azalmış, eğilme değeri 0,48 MPa azalmıştır.





Şekil 5. 13. % 0, % 5, % 10, % 15, % 20 Rha ikameli harç numunelerinin üç farklı sıcaklık değerine göre eğilme ve basınç değerler grafiği

Çalışmanın 2. 2. Çimentoyu etkileyen faktörler kısmında verilen sıcaklık parametresinde Türkiye’de en sıcak kuyu Nevşehir – Bozköy bölgesinden 295 C° sıcaklık değerine sahip olduğu bilinmektedir. (Çizelge 2. 2) Bozköy bölgesinde bulunan kuyunun sıcaklığına göre değerlendirme yapılırsa; bu çalışmada 300 C° ve 450 C°’ de ortalama basınç değerlerinde kül ikamesi ile artış söz konusudur. 300 C° sıcaklığında % 5 RHA, % 10 RHA ve % 15 RHA ikameli harç numunelerinde basınç değeri artış gösterirken 450 C° sıcaklığında % 5 ve % 10 RHA ikameleri çimento harç numunelerinin mukavemet değerlerinde artış gözlemlenmiştir.

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada sondajlarda kullanılan G sınıfı çimentonun içerisine çimento ağırlığınca % 0,

% 5, % 10, % 15 ve % 20 pirinç kabuğu külü ilave edilmiştir. Karışımların reolojik ve mekanik dayanım deneyleri yapılarak çimento içerisindeki etkileri incelenmiştir. Kontrol numunesi olmak üzere 5 farklı çimento numunesi ve 2 farklı kür süresi için mekanik dayanım deneyleri gerçekleştirilmiştir. Reolojik deneyler için 4 farklı çimento şerbeti hazırlanarak toplamda 4 farklı deneysel çalışma yapılmıştır.

Yapılan çalışma sonucu pirinç kabuğu külünün sondaj çimentosuna etkileri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

**1-** %5 Pirinç kabuğu külü ilave edilen sondaj çimentosu pirinç kabuğu eklenmemiş (%0-katkısız) sondaj çimentosuna göre;

- Görünür viskozite değeri 39,5 cP artmıştır.
- Plastik viskozite değeri 75 cP azalmıştır.
- Akma noktası değeri 229 lb/100 ft<sup>2</sup> artmıştır.
- Sıvı kaybı değeri 24 mL artmıştır.
- Yoğunluk değeri 0,11 g/cm<sup>3</sup> artmıştır.
- Yayılma değeri 2 cm azalmıştır.
- Eğilme değeri 7 günlük kür süresinde 1,5 MPa artmış, 28 günlük kür süresinde 0,15 MPa azalmıştır.
- Basınç değeri 7 günlük kür süresinde 0,66 MPa artmış, 28 günlük kür süresinde 14,3 MPa azalmıştır.

**2-** %10 Pirinç kabuğu külü ilave edilen sondaj çimentosu pirinç kabuğu külü eklenmemiş (%0-katkısız) sondaj çimentosuna göre;

- Görünür viskozite değeri 39,5 cP artmıştır.
- Plastik viskozite değeri 100 cP azalmıştır.
- Akma noktası değeri 279 lb/100 ft<sup>2</sup> artmıştır.
- Sıvı kaybı değeri 10 mL azalmıştır.
- Yoğunluk değeri 0,31 g/cm<sup>3</sup> artmıştır.
- Yayılma değeri 3 cm azalmıştır.
- Eğilme değeri 7 günlük kür süresinde 2,31 MPa artmış, 28 günlük kür süresinde 0,56 MPa azalmıştır.
- Basınç değeri 7 günlük kür süresinde 3,56 MPa artmış, 28 günlük kür süresinde 5,78 MPa azalmıştır.

3- %15 Pirinç kabuğu külü ilave edilen sondaj çimentosu pirinç kabuğu külü eklenmemiş (katkısız) sondaj çimentosuna göre;

- Görünür viskozite değeri 4,5 cP artmıştır.
- Plastik viskozite değeri 38 cP artmıştır.
- Akma noktası değeri 85 lb/100 ft<sup>2</sup> artmıştır.
- Sıvı kaybı değeri 64 mL azalmıştır.
- Yoğunluk değeri 0,51 g/cm<sup>3</sup> artmıştır.
- Yayılma değeri 3 cm azalmıştır.
- Eğilme değeri 7 günlük kür süresinde 0,49 MPa artmış, 28 günlük kür süresinde 1,59 MPa azalmıştır.
- Basınç değeri 7 günlük kür süresinde 1,87 MPa azalmış, 28 günlük kür süresinde 11,4

MPa azalmıştır.

4- %20 Pirinç kabuğu külü ilave edilen sondaj çimentosu pirinç kabuğu külü eklenmemiş (katkısız) sondaj çimentosuna göre;

- Görünür viskozite değeri 24,5 cP artmıştır.
- Plastik viskozite değeri 3 cP artmıştır.
- Akma noktası değeri 55 lb/100 ft<sup>2</sup> artmıştır.
- Sıvı kaybı değeri 82 mL azalmıştır.
- Yoğunluk değeri 0,61 g/cm<sup>3</sup> artmıştır.
- Yayılma değeri 4 cm azalmıştır.
- Eğilme değeri 7 günlük kür süresinde 0,23 MPa azalmış, 28 günlük kür süresinde 2,25 MPa azalmıştır.
- Basınç değeri 7 günlük kür süresinde 8,29 MPa artmış, 28 günlük kür süresinde 4,06 MPa azalmıştır.

Bu çalışmada doğal puzolan malzemesi olarak doğada atık halinde bulunan pirinç kabuğu külü katkılı çimento şerbet ve harç numuneleri incelenmiştir. Reolojik ve mekanik dayanım deneyleri yapılarak araştırılmış ve sonuçlar istatistiksel olarak verilmiştir. Yapılan şerbet karışımlarında API standartlarına göre belirlenen su miktarı sabit olup çimento ağırlığına RHA eklenmiştir. Çimento numuneleri 1, 14 ve 28 gün kür süreleri sonunda reolojik ve mekanik dayanım deneyleri yapılmıştır. Bu deneysel çalışma bulgularına dayanılarak aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

Dünya nüfusunun büyük bir kısmının temel besin maddesi olan pirincin, işlenme aşamasında ortaya çıkan pirinç kabuğu çevre kirliliğine neden olmaktadır. Kabukların bertarafı ve çevre kirliliğinin azaltılması açısından değerlendirildiğinde en iyi yollardan biride kabuğun kül haline getirilerek çimento harç malzemesi olarak kullanılması olabilir.

% 5, % 10, % 15 ve % 20 RHA eklenerek hazırlanmış çimento harç numunelerinde kül miktarı artıkça su miktarının da artışına ihtiyaç olduğu gözlemlenmiştir. Yayılma tablası deneyinde referans numuneye göre veriler incelendiğinde % 5 RHA ilavesinde 2 cm, % 10 RHA ilavesinde 3 cm, % 15 RHA ilavesinde 3 cm ve % 20 RHA ilavesinde 4 cm olmak üzere kıvamda azalma meydana gelmiştir. Kül oranı artıkça çimentonun işlenebilirliğinin azaldığı, buna bağlı olarak da özdeş kıvamın elde edilebilmesi için gereken su miktarında artırılması gerektiği gözlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan su miktarı API standartlarına göre G sınıfı çimentonun su oranı % 44 olarak bilindiğinden yapılan bu çalışmada su miktarı sabit tutulmuştur. Su miktarı artışı aynı zamanda bağlayıcı maddenin priz süresini uzamasına yol açacağından artırılmamıştır. İhtiyaç duyulan su miktarlarının artışı tane boyut ve özgül yüzey gibi fiziksel özelliklerine bağlı olarak nispeten artışa sebep olduğu düşünülmektedir.

Pirinç kabuğu külünün özgül ağırlığı  $1.97 \text{ g/cm}^3$  iken G sınıfı çimentonun özgül ağırlığı  $3.14 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Külün özgül ağırlığı G sınıfı çimentonun özgül ağırlığına göre düşük olması elde edilen pirinç kabuğu külü ikameli çimentoların da özgül ağırlığını düşüreceğinden ve özgül ağırlığı düşük çimentolar elde edileceği düşünülmüştür.

Bu çalışmada kontrol numunesi olmak üzere 5 farklı oranda hazırlanan çimento şerbetlerinin mekanik dayanım deneyleri ölçülmüştür. 7 ve 28 günlük hidrasyon süresi tamamlanan numunelerin mukavemette dayanımları verilmiştir. Basınç dayanım deneyinde kontrol numunesine göre 7 günlük kür süresi basınç dayanım değerlerinde genel olarak artış gözlemlenip, 28 günlük kür süresi basınç dayanımda azalma meydana gelmiştir. Basınç ve eğilme dayanım deneylerinde gözlemlenen dalgalanmalar pirinç kabuğu külünün çimento şerbet içerisinde homojen dağılım göstermemesi ve morfolojik olarak değerlendirildiğinde külün köşeli iskelet yapısına sahip olması bununla birlikte su emme kapasitesi artışı dayanımda azalmaya sebep olduğu düşünülmektedir. Çimento ağırlığınca ikame edilen kül oranı % 10 üzerinde ikame edilmesiyle deneyde kullanılan mikserin zorlandığı ve çimentonun şerbet kıvamından harç kıvamına yakın davranış gösterdiği gözlemlenmiştir. Erdoğanlar Gıda tarafından elde edilen bu külün iki defa elekten geçirildiği bilinmektedir. Elek sayısının, külün şerbet içerisindeki dağılımını etkilediği aynı zamanda kül miktarı artışına bağlı olarak hidrasyon sürecinde etkili olduğu tahmin edilmektedir. Kullanılan külün elek sayısının artırılması tane boyutunu küçülteceğinden daha yüksek dayanım değerlerinin elde edileceği düşünülmüştür.

Vidal, Araujo ve Freitas (2018) tarafından yüksek sıcaklıklı petrol kuyuları için yapılmıştır. RHA ikameli çimento harç numunelerinde 7 günlük basınç dayanımında artış gözlemlenip 28 günlük basınç dayanımında % 10.71 oranında azalma meydana gelmiştir. Bu çalışma ile kıyaslandığı takdirde külün puzolanik reaksiyon etkisiyle 28 günlük kür süresi sonunda verilere göre aynı davranış gözlemlendiği söylenebilir. Aynı zamanda Vidal ve ark (2018) ele aldığı çalışma ile RHA katkı malzemesi sürdürülebilir alternatif bir silika unu olarak kullanılabileceğini öngörmüştür. Bu durumda bu çalışmanın Vidal ve ark (2018) çalışması ile örtüştüğü ve sonuçların güvenilir olduğu söylenebilir.

Sıcaklık deneyinde % 5 ve % 10 RHA katkılı çimento harç numunelerinde basınç dayanımlarında mukavemette dayanım artırdığı gözlemlenirken, % 15 ve % 20 RHA ikameli çimento harç numunelerinde basınç dayanımında aynı etki gözlenmemiştir. Eğilme dayanımlarında dalgalanmalar görülmek ile birlikte % 15 RHA ikameli harç numunelerinde üç farklı sıcaklık (150 °C, 300 °C, 450 °C) değerlerinde ısıtılma işleminden sonra eğilme çekme dayanımında artış gözlemlenmiştir. Külün morfolojik yapısı, tane boyutu, harç numunelerinin kür süresi ve ısıtılma derecesi, çimento içerisindeki kül miktarı, külün çimento içerisinde homojen davranış sergilememe durumu sıcaklık deneyin de etkili olduğu düşünülmektedir.

Yapılan bu deneysel çalışmada basınç ve eğilme mukavemet sonuçları göz önüne alındığı takdirde çimento ve külün fiziksel ve kimyasal özelliklerine, katkı oranlarına, çimento ve kül içerisindeki, silika varlığına ve hidrasyon sürelerine bağlı olarak değişim gösterdiği belirlenmiştir.

Çimento şerbet numunelerine bakıldığında kül miktarı arttıkça çimento yoğunluğunun arttığı görülmüştür. Yoğunluk arttığında kıvamın azaldığı yayılma tablası ve yoğunluk deney sonucu ile doğrulanmıştır. Referans çimento şerbetine göre pirinç kabuğu külü ve G sınıfı çimentonun tane boyutları oranına bağlı olarak daha fazla su ihtiyacına gereksinim olduğunu gösterir.

Pirinç kabuğu külünün çimento numunelerinin fiziksel ve mekanik dayanım özellikleri üzerindeki etkisinin daha detaylı araştırılıp incelenmesi için RHA katkılı çimento hamurların hidrasyon gelişimlerinin incelenmesinin yararlı olabileceği düşünülmektedir. Su/çimento (W/C) oranı farklılığı ve kür şartları da çimento hamuru üzerinde farklı bir etki yaratabilir. Bu koşulların değiştirilip incelenmesi de söz konusu olabilir. Bunun birlikte pirinç kabuğu külü XRD ve SEM gibi modern tekniklerle ayrıntılı olarak incelenmesinin faydalı olabileceği düşünülmüştür. Bu çalışmada yürütülmeyen deneyleri de kapsayan (örneğin;



silika reaksiyonu, su emme deneyi, porozite ölçümü vs.) çalışmalar eklenebilir. RHA ilaveli çimentoların 90 gün yaşlarında basınç ve eğilmede çekme dayanımlarının incelenmesi daha kapsamlı bir değerlendirme için uygun görülebileceği düşünülmektedir.

Sonuç olarak G sınıfı çimento şerbeti içerisine % 10 ve % 15 aralığında RHA eklenmesinin reolojik ve mekanik özellikleri iyileştirdiği görülmüştür. Bundan sonraki yapılacak çalışmaların RHA'nın tane boyutunu azaltarak, %10-%15 ilave aralığındaki deneylerin sıklaştırılarak ve çok kez tekrarlanarak yapılması önerilir.



## KAYNAKÇA

- API Specification, 10A (ISO 10426-1) (2005). Specification for Cements and Materials for Well Cementing Petroleum and Natural Gas Industries—Cements and Materials for Well Cementing—Part 1: Specifications, American Petroleum Institute, ABD.
- Asodov, S. (2017). Impact of Additives on Well Cement Setting Temperature and Casin Design, Istanbul Technical Universty, Graduate School of Science Engineering and Technology.
- Barnes, H. A., Hutton, J. F. ve Walters, K. (1989). An Introduction to Rheology. Elsevier Science Publishers. Vol. 3, 199 pp.
- Berg, S., Noor S., Barnett N., Yami H.A. ve Nawaz, K. (2008). Cementing High Pressure Formanitions in the Kingdom of Saudi Arabia, International Petroleum Technology Conference.
- Bourgoyne Jr. A.T., Millheim Keith, K. ve Chenevert Martin E. (1991). Young Jr. F.S. “Applied Drilling Engineering”, SPE, Richardson, TX.
- Caenn, R., Darley, H.C. ve Gray, G.R. (2011). Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids, 6th ed., USA: Gulf Professional Publishing is an Imprint of Elsevier.
- Chao- Lung H, Anh-Tuan B.L. ve Chun- Tsun C. (2011). Effect of Rice Husk Ash on the Strength and Durability Characteristics of Concrete. Constr Build Mater 2011; 25: 3768-72.
- Cook, D.J. (1985). “Rice-Husk Ash Cements: Their Development and Application”, Vienna, Austria.
- Cook, D.J. (1986). Rice Husk Ash Concrete Technology and Design, Cement Replacement Materials, Surrey University Press, vol. 3, 171-196.
- Çelebi, N. (2009). Rheology. Modern Farmasötik Teknoloji, 391-405.
- Çelenk, A. ve Peker, S. (1999). Çimentonun Tarihçesi ve Türkiye Çimento Sektörü, Sabancı Holding Çimento Grubu Yayını.
- Emsap, W.J., Siepmann, J. ve Paeratakul, O. (2002). Disperse Systems in Modern Pharmaceutics, Ed: Banker, GS, Rhodes, CT. Marcel Dekker, inc. New York, 121, 260-261.
- Erdoğan, S.T. ve Erdoğan, T.Y. (2007). Puzolanik Mineral Katkılar ve Tarihi Geçmişleri, II. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, 263-275.
- Gawel, K., Reed, M. ve Wright, M. (1999). Geothermal Energy, the Potential for Clean Power from the Earth, Preliminary Report by GEA.
- Gökdemir A.ve Demirel C. (2014). “Uçucu Kül ve Perlitin Birlikte Kullanımının Portland Çimentosu Özelliklerine Etkisi”, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt: 30 No: 5.
- Güner, D. ve Öztürk, H. (2015). Comparison of Mechanical Behaviour of G Class Cements for Different Curing Time, 24th International Mining Congressand Exhibition of Turkey-IMCET'15 Antalya, Turkey, April 14-17.
- Gürbüz, E. (2009). C Tipi Uçucu Küllerin Etkinliği. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

- Hole, H. M. (2008). Geothermal Well Cementing, Petroleum Engineering Summer School Dubrovnik, Croatia, 9-13,08.
- İnternet: Erdoğanlar Gıda San. ve Tic. LTD. ŞTİ-Enver Piliç (2018). Erişim adresi: <http://www.erdoganlargida.com> / Erişim Tarihi:15.10.2018.
- İnternet: T.C. Enerji Kentleri Birliği. Erişim Adresi: <http://www.jkbb.org.tr/Icerik-41-kapadokyadasıcaksurekoru> Erişim Tarihi: 20.02.2020.
- İşbilir, B. (2012). Pirinç Kabuğu Külü İkameli Çimento Numunelerinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Düzce.
- Kıvrak, S.O. (2012). Çeltik Sapı ve Kavuzu Külünün Puzolanik Özellikleri ve Beton Özelliklerine Etkisinin Araştırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta.
- Kurt, B. (2013). Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki Petrol Kuyularında Yapılan Çimentolama Operasyonları, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Diyarbakır.
- Lin, W.M., Lin, T.D. ve Powers-Couche L.J. (1996) Microstructures of Fire-Damaged Concrete. ACI Materials Journal, vol. 93, No. 3, 199-2045.
- Martin, A. (1993). Rheology. Physical Pharmacy (FourthEd), Eds: A Martin, P Rustamante, A.C. Chun, Lea&Febiger Philadelphia, 453-476.
- Mazlum, F. (1989). Pirinç Kabuğu Külünün Puzolanik Özellikleri ve Külün Çimento Harcının Dayanıklılığına Etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- Mehta, P.K. ve Folliad, K.J. (1995). Rice Husk Ash-a Unique Supplementary Cementing Material: Durability Aspect, *American Concrete Institute*, 154, 531- 542.
- Mehta, P.K. ve P.J.M.Monterio (2001). Concrete-Microstructure, Properties and Materials. Indian Concrete Institute, 548.
- Nelson, E.B. (1990). Well Cementing, Elsevier 340 pp. Amsterdam.
- Nguyen, Q. D. ve Boger, D.V. (1992). Measuring the Flow Properties of Yield Stress Fluids. Annual Review of Fluid Mechanics, 24(1), 47-88.
- Özdemir, İ. ve Koçak, Y. (2020). Pirinç Kabuğu Külü İkameli Çimentoların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, El-Cezeri Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi Cilt: 7 No: 1, 160-168.
- Öztürk, E. (2016). Çimento Sektöründe Alternatif Hammadde ve Alternatif Yakıt Kullanımının Çevresel Yararlarının Değerlendirilmesi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ.
- Özüdoğru, S. (1996). Jeotermal Kuyularda Teçhiz ve Çimentolama. Casing Design and Cementing in Geothermal Wells, Sondaj Sempozyumu'96, İzmir- 1996, ISBN 975- 395-178-7.
- Özüdoğru, S. ve Babür, E. (2001). Jeotermal Akışkan Üretim ve Re-Enjeksiyon Kuyuları, Jeotermal Enerji Doğrudan Isıtma Sistemleri: Temelleri ve Tasarımı, MMO Yayın No: 270. 35-124.

- Özyurtkan, M. H. (2012). Yüksek Basınçlı ve Sıcak Kuyular İçin Geçirimsiz Çimento Harcı Tasarımı. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- Ramazanoğlu, Ö. (2014). An Experimental Study on the Effects of Different Chloride Sources on the Properties of API Class G. Cement, in Partial Fulfilment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Cement Engineering, November.
- Saraswathy V., Song H.W. (2007). Corrosion Performance of Rice Husk Ash Blended Concrete. *Constr Build Mater* 21 (8): 1779-84.
- Schott, H. (2000). Rheology. Remington: The Science and Practice of Pharmacy, (20 th Ed.), Lippincott Williams & Wilkins, Baltimore, Maryland. 335-355.
- Serpen, U. (1990). “Jeotermal Kuyu Çimentolamasındaki Son Gelişmeler”, Türkiye 8. Petrol Kongresi.
- Serpen, U. (1996). Jeotermal Kuyularda Koruma Borusu Tasarımı, Sondaj Sempozyumu’96, İzmir 21-22 Mart, 145-153.
- Serpen, U. (2002). Draft Code for Geothermal Enerji, Erişim Adresi: [www.pmo.org.tr](http://www.pmo.org.tr).
- Serpen, U. (2005). Jeotermal Enerji Seminer Kitabı, MMO Yayınları No: E/ 2005/393-2, İzmir.
- Sevim, U.K. (2003). Afşin-Elbistan Uçucu Külün Beton ve Çimento Katkısı Olarak Kullanılabilirliğinin Çimento Hamuru ve Harçlarının Üzerinde Yapılan Deneylerle Araştırılması. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana.
- Steingrímsson, B. (2013). “Geothermal Well Logging: Temperature and Pressure Logs”, Presented at “Short Course V on Conceptual Modelling of Geothermal Systems”, organized by UNU-GTP and La Geo, in SantaTecla, El Salvador.
- Taban H., Gökçe H.S., Abama H.İ. (2012). “Çimento Katkı Malzemesi Olarak Kullanılan Doğal Puzolanların Ekolojik Etkileri” *Journal of Polytechnic*, vol: 15, no: 4, 185- 190.
- Tattersall, G. H. ve Banfill, P.F.G. (1983). *Rheology of Fresh Concrete*, Pitman, London. Tattersall, G. H. (1991). *Work Ability and Quality Control of Concrete*, Spon, London.
- Tekin, S. (2011). “Jeotermal Sondajı, Maliyet Faktörleri ve Kontratları”, Jeofizik Bülteni. TPAO, Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (2007). *Sondaj Akışkanları Teknolojisi, Araştırma Merkezi Daire Başkanlığı, Sondaj Teknolojisi Müdürlüğü, Ankara.*
- TS EN 1015-3 (200). Taze Harç Kıvam Tayini. (Yayımla Tablası İle). Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 196-1. (2016). Methods of testing cement-Part 1: Determination of strength. Turkish Standard Institute.
- Vidal A.V, Araujo R.G.S ve Freitas J.C.O. (2018). Sustainable Cement Slurry Using Rice Husk Ash for High Temperature Oil Well, *Journal of Cleaner Production*, vol 204, 292 – 297.
- Yıldız S., Balaydın İ. ve Ulucan Ç. (2007). “Pirinç Kabuğu Külünün Beton Dayanımına Etkisi”. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(1): 85-91.
- Zaki A. ve Sola, Ö.Ç. (2020). “Pirinç Kabuğu Külü Katkılı Harçların Dayanım ve Dayanıklılık Özelliklerin Araştırılması”, *ALKÜ Journal of Science*, (2): 54-61.

Zhang M. H ve Malhotra V. M. (1996). "High-performance concrete incorporating rice husk ash as a supplementary cementing material". *ACI Materials Journal*, 93(6), 629–636.



## DİZİN

---

**A**

API- 60, 19, 20, 23, 30,  
38, 39  
Araştırma Bulguları- 33

---

**B**

Barit - 13

---

**C**

CFR – 3 – 13  
CFR – 6 - 13

---

**D**

Dayanıklılık - 17

---

**E**

Elastise - 3

---

**F**

FANN viskozimetresi -  
23

---

**G**

Görünür viskozite – 60,  
4, 7, 8, 9, 28, 37, 51

---

**K**

Kaynakça – 54

---

**M**

Materyal – 19  
Metod – 19, 24, 27

---

**N**

Newtoniyen – 60, 5, 6, 7,  
9

---

**P**

Pirinç Kabuğu Külü – 13,  
20

Ph - 20

---

**R**

RHA - 60, 2, 7, 13, 14,  
16, 17, 18, 20, 24, 26,  
29, 33, 37, 40, 42, 43,  
45, 46, 48, 49, 52, 53

---

**S**

SEM - 60, 53

---

**T**

Tiksotropik Akışkan - 9,  
10



**TEKNOVERSITE**



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

**İSTE**

