

**T.C.  
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KİMYASAL KATKI İÇEREN ALKALİ İLE AKTİVE  
EDİLMİŞ CÜRUF HARÇLARININ FARKLI KÜR  
KOŞULLARI ALTINDAKİ ÖZELLİKLERİ**

**Hazırlayan  
Serhan İLKENTAPAR**

**Danışman  
Prof. Dr. Cengiz Duran ATİŞ  
Doç. Dr. Cahit BİLİM**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Temmuz 2013  
KAYSERİ**

**T.C.  
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KİMYASAL KATKI İÇEREN ALKALİ İLE AKTİVE  
EDİLMİŞ CÜRUF HARÇLARININ FARKLI KÜR  
KOŞULLARI ALTINDAKİ ÖZELLİKLERİ  
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan  
Serhan İLKENTAPAR**

**Danışman  
Prof. Dr. Cengiz Duran ATİŞ  
Doç. Dr. Cahit BİLİM**

**Temmuz 2013  
KAYSERİ**

## BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Serhan İLKENTAPAR

İmza :



## YÖNERGEYE UYGUNLUK

Kimyasal Katkı İçeren Alkali ile Aktive Edilmiş Cüruf Harçlarının Farklı Kür Koşulları Altındaki Özellikleri adlı Yüksek Lisans / Doktora tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

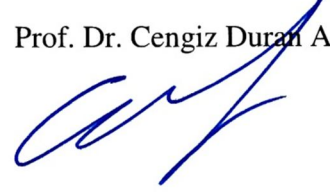
Tezi Hazırlayan

Serhan İLKENTAPAR



Danışman

Prof. Dr. Cengiz Duran ATİŞ



Anabilim Dalı Başkanı

Prof. Dr. Mehmet ARDIÇLIOĞLU



Prof. Dr. Cengiz Duran ATİŞ danışmanlığında **Serhan İLKENTAPAR** tarafından hazırlanan “**Kimyasal Katkı İçeren Alkali İle Aktive Edilmiş Curuf Harçlarının Farklı Kür Koşulları Altındaki Özellikleri**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği** Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

18.07.2013

**JÜRİ:**

Başkan :Prof. Dr. Tefaruk HAKTANIR

Üye :Prof. Dr. Cengiz Duran ATİŞ

Üye :Doç. Dr. Okan KARAHAN



**ONAY:**

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulunun 23/08/2013 tarih ve 2013/37-09 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

23/08/2013



Prof. Dr. Kazım KEŞLİOĞLU  
Enstitü Müdürü

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez programının yürütülmesi esnasında, çalışmalarına yön vererek yardım ve bilgi konusunda bana her türlü desteği sağlayan danışman hocam Prof. Dr. Cengiz Duran ATIŞ' e içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince her türlü desteğini ve ilgisini, bilgi ve deneyimlerini benden esirgemeyen hocalarım Doç. Dr. Okan KARAHAN' ve Doç. Dr. Cahit BİLİM' e teşekkür ederim.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim süresince bana emeği geçen Erciyes Üniversitesi inşaat Mühendisliği Bölümü'nde görev yapan değerli hocalarıma teşekkür ederim.

Azimle ve gayretle çalışmama sahip çıkarak emek veren Yapı Malzemeleri Laboratuvarında çalışan öğrencilere çok teşekkür ederim.

Ayrıca tüm öğrenim hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme çok teşekkür ederim.

**Serhan İLKENTAPAR**

**Temmuz 2013, Kayseri**

# KİMYASAL KATKI İÇEREN ALKALİ İLE AKTİVE EDİLMİŞ CÜRUF HARÇLARININ FARKLI KÜR KOŞULLARI ALTINDAKİ ÖZELLİKLERİ

Serhan İLKENTAPAR

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Temmuz 2013

Danışman: Prof. Dr. Cengiz Duran ATIŞ, Doç. Dr. Cahit BİLİM

## ÖZET

Çalışmada, alkali ile aktive edilmiş cürufllu bağlayıcıların uygulamalardaki kullanımlarına engel teşkil eden hızlı priz alma ve yüksek kuruma rötresi gibi problemlerinin çözümünde, kimyasal katkıların ve kür koşullarının etkileri araştırılmıştır. Bu kapsamda, öncelikle, normal Portland çimentosu için geliştirilmiş olan “rötre azaltıcı” ve “süper akışkanlaştırıcı ve priz geciktirici” kimyasal katkıların, sodyum silikat kullanılarak aktive edilmiş çimentosuz cüruf harçlarının işlenebilirlik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Daha sonra bu harçların, farklı kür koşulları altındaki mekanik mukavemet ve rötre özellikleri gözlemlenerek, “rötre azaltıcı” ve “süper akışkanlaştırıcı ve priz geciktirici” kimyasal katkı ilavelerinin, bu mekanik özelliklerde meydana getirdiği değişiklikler araştırılmıştır. Kimyasal katkıların karışım içerisine %1 oranında eklendiği çalışmada, cürufun aktivasyonu için, ağırlıkça cüruf miktarına göre %4 ve %6 Nakonsantrasyonlarına sahip sıvı sodyum silikat ve toz formundaki sodyum meta silikat kullanılmıştır. Karışımların, yayılma değerleri, başlangıç ve bitiş priz süreleri, basınç ve eğilme dayanımları, karbonatlaşma derinlikleri ve rötrelere belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, kullanılan kimyasal katkıların, cürufllu karışımların taze haldeki özelliklerinde bir miktar iyileşme sağlamalarına karşın, normal Portland çimentolu karışımlardaki kadar etkili olmadıklarını, ancak, rötre deformasyonlarının azaltılmasında yararlı olduklarını göstermiştir. Ayrıca, alkali ile aktive edilmiş cüruf harçlarının sertleşmiş haldeki özelliklerinin iyileştirilmesi açısından, kür koşullarının oldukça önemli olduğu ve sıcak kür işlemine maruz bırakıldıklarında, aktive edilmiş cüruf harçlarının erken dönem mukavemet gelişiminin, portland çimentolu karışımlardan çok daha hızlı olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Alkali ile aktive edilmiş cüruf harçları; Kimyasal katkıları; Kür; Priz;Rötre

# THE PROPERTIES OF ALKALI-ACTIVATED SLAG MORTARS COMPAIN CHEMICAL ADMIXTURES UNDER DIFFERENT CURING CONDITIONS

**Serhan İLKENTAPAR**

**Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**M.Sc. Thesis, July 2013**

**Supervisor: Prof. Dr. Cengiz Duran ATIŞ, Doç. Dr. Cahit BİLİM**

## ABSTRACT

In this study, the effects of chemical admixtures and curing conditions on the solution of the problems such as high drying shrinkage and fast setting that constitute an obstacle for the use of alkali-activated slag binders were investigated. Within the scope of study, first of all, the effects of “shrinkage-reducing” and “superplasticizing and set-retarding” chemical admixtures developed for normal Portland cement were investigated on the workability properties of cementless slag mortars activated by sodium silicate. Then the mechanical strength and shrinkage properties of these mortars under different curing conditions were observed and then the changes that “shrinkage-reducing” and “superplasticizing and set-retarding” chemical admixtures produced on these mechanical properties were examined. In the study where the dosage of chemical admixtures used in the mixes was 1% by mass of binder, two types sodium silicates, liquid sodium silicate and powdered sodium meta silicate, were used in the alkali activation of the slag and two different concentrations of Na were used, 4% and 6% by mass of slag. Setting times, flow values, flexural and compressive strengths, carbonation depths and shrinkages of the mixes were determined. The test results showed that even though chemical admixtures generated a little improvement in the fresh properties of the mixes with slag, they were not as effective as in normal Portland cement mixes, but, they were useful in reducing of shrinkage of slag mortars. Additionally, it was observed that the curing conditions were very important in terms of improvement of hardened properties of alkali-activated slag mortars, and that the early term strength development of alkali-activated slag mortars was very fast compared to normal Portland cement mortars when subjected to elevated temperature.

**Keywords:** Alkali-activated slag mortars; Chemical admixtures; Curing; Setting time; Shrinkage



## İÇİNDEKİLER

### KİMYASAL KATKI İÇEREN ALKALİ İLE AKTİVE EDİLMİŞ CÜRUF HARÇLARININ FARKLI KÜR KOŞULLARI ALTINDAKİ ÖZELLİKLERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK.....	i
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	ii
KABUL ONAY .....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT .....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	x

## 1. BÖLÜM

### GİRİŞ

## 2. BÖLÜM

### GENEL BİLGİLER

2.1. Amaç ve Kapsam.....	4
2.2. Araştırmanın Önemi.....	5

## 3. BÖLÜM

### YÖNTEMLER

3.1. Kullanılan Malzemeler .....	6
3.1.1. Alkali Aktivatörler .....	6
3.1.2. Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cürufu .....	6
3.1.3. Çimento .....	6

3.1.4. Kimyasal Katkılar .....	8
3.1.5. Kum .....	8
3.1.6. Su.....	8
3.2. Deneysel Çalışma.....	8
3.2.1. Taze Haldeki Karışımlar Üzerinde Yürütülen Deneyler.....	9
3.2.2. Karışımların Sertleşmiş Haldeki Özelliklerini Belirlemek Amacıyla Yapılan Deneyler .....	11

#### 4. BÖLÜM

##### BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Karışımların Taze Haldeki Özelliklerinin Belirlenmesi.....	16
4.1.1.Yayıma Tablası ile Harç Karışımlarının İşlenebilirlik Kayıplarının Ölçülmesi.....	16
4.1.2. Bağlayıcı Hamurlar Üzerinde Gerçekleştirilen Priz Süresi Ölçümleri.....	20
4.2. Karışımların Sertleşmiş Haldeki Özelliklerinin Belirlenmesi.....	23
4.2.1. Harç Karışımlarının Basınç Dayanımları .....	23
4.2.2. Harç Karışımlarının Eğilme Dayanımları .....	27
4.2.3. Harç Karışımlarının Karbonatlaşma Derinlikleri .....	31
4.2.4. Harç Karışımlarının Rötresi .....	36

#### 5. BÖLÜM

##### SONUÇLAR ve ÖNERİLER

KAYNAKLAR .....	51
ÖZ GEÇMİŞ.....	55

## TABLolar LİSTESİ

<b>Tablo 3.1.</b>	Çimento ve öğütölmüş granüle yüksek fırın cürufunun kimyasal ve fiziksel özellikleri .....	7
<b>Tablo 3.2.</b>	Karışım notasyonları .....	9
<b>Tablo 4.1.</b>	Harç karışımının yayılma değerleri.....	19
<b>Tablo 4.2.</b>	Bağlayıcı hamurlardan elde edilen başlangıç ve bitiş priz süreleri .....	22
<b>Tablo 4.3.</b>	Harç karışımının basınç dayanımları .....	26
<b>Tablo 4.4.</b>	Harç karışımının eğilme dayanımları.....	30
<b>Tablo 4.5.</b>	Harç karışımının karbonatlaşma derinlikleri.....	35
<b>Tablo 4.6.</b>	Kür 1 rejimine maruz bırakılan harçların rötne değerleri .....	41
<b>Tablo 4.7.</b>	Kür 2 rejimine maruz bırakılan harçların rötne değerleri .....	42
<b>Tablo 4.8.</b>	Kür 3 rejimine maruz bırakılan harçların rötne değerleri .....	43

## ŞEKİLLER LİSTESİ

<b>Şekil 3.1.</b>	Cüruf ve Portland çimentosunun lazer kırınım yöntemi ile belirlenen tane boyutu dağılımları .....	7
<b>Şekil 3.2.</b>	Harç yayılma tablası.....	10
<b>Şekil 3.3.</b>	Otomatik Vicat cihazı.....	11
<b>Şekil 3.4.</b>	İklimlendirme kabini .....	12
<b>Şekil 3.5.</b>	Ön kür devresi .....	13
<b>Şekil 3.6.</b>	Isıtmalı küçük kür tankı.....	13
<b>Şekil 3.7.</b>	Harç presi .....	14
<b>Şekil 3.8.</b>	Karbonatlaşma ölçümünde kullanılan harç numuneler .....	14
<b>Şekil 3.9.</b>	Rötre ölçüm test seti .....	15
<b>Şekil 4.1.</b>	Kimyasal katkı içermeyen harçların yayılma değerleri.....	16
<b>Şekil 4.2.</b>	WRRe içeren harçların yayılma değerleri.....	17
<b>Şekil 4.3.</b>	SHR içeren harçların yayılma değerleri .....	17
<b>Şekil 4.4.</b>	Kimyasal katkı içermeyen karışımların priz süreleri .....	20
<b>Şekil 4.5.</b>	WRRe içeren karışımların priz süreleri.....	20
<b>Şekil 4.6.</b>	SHR içeren karışımların priz süreleri.....	21
<b>Şekil 4.7.</b>	Herhangi bir kimyasal katkı içermeyen harçların basınç dayanımları .....	23
<b>Şekil 4.8.</b>	WRRe içeren harçların basınç dayanımları.....	23
<b>Şekil 4.9.</b>	SHR içeren harçların basınç dayanımları.....	24
<b>Şekil 4.10.</b>	Herhangi bir kimyasal katkı içermeyen harçların eğilme dayanımları .....	27
<b>Şekil 4.11.</b>	WRRe içeren harçların eğilme dayanımları .....	27
<b>Şekil 4.12.</b>	SHR içeren harçların eğilme dayanımları .....	28
<b>Şekil 4.13.</b>	Herhangi bir kimyasal katkı içermeyen harçların karbonatlaşma derinlikleri .....	31
<b>Şekil 4.14.</b>	WRRe içeren harçların karbonatlaşma derinlikleri.....	32
<b>Şekil 4.15.</b>	SHR içeren harçların karbonatlaşma derinlikleri .....	32

- Şekil 4.16.** 23°C sıcaklık ve %95 bağıl nem altında kür edilmiş herhangi bir kimyasal katkı içermeyen harçların rötre-zaman ilişkisi ..... 36
- Şekil 4.17.** 23°C sıcaklık ve %95 bağıl nem altında kür edilmiş WRRe içeren harçların rötre-zaman ilişkisi ..... 36
- Şekil 4.18.** 23°C sıcaklık ve %95 bağıl nem altında kür edilmiş SHR içeren harçların rötre-zaman ilişkisi ..... 37
- Şekil 4.19.** 23°C sıcaklık ve %50 bağıl nem altında kür edilmiş herhangi bir kimyasal katkı içermeyen harçların rötre-zaman ilişkisi ..... 37
- Şekil 4.20.** 23°C sıcaklık ve %50 bağıl nem altında kür edilmiş WRRe içeren harçların rötre-zaman ilişkisi ..... 38
- Şekil 4.21.** 23°C sıcaklık ve %50 bağıl nem altında kür edilmiş SHR içeren harçların rötre-zaman ilişkisi ..... 38
- Şekil 4.22.** 65°C sıcaklıktaki suda 5 saat ön bir kür işlemine tabi tutulduktan sonra 23°C sıcaklık ve %50 bağıl nem altında kür edilmiş herhangi bir kimyasal katkı içermeyen harçların rötre-zaman ilişkisi ..... 39
- Şekil 4.23.** 65°C sıcaklıktaki suda 5 saat ön bir kür işlemine tabi tutulduktan sonra 23°C sıcaklık ve %50 bağıl nem altında kür edilmiş WRRe içeren harçların rötre-zaman ilişkisi ..... 39
- Şekil 4.24.** 65°C sıcaklıktaki suda 5 saat ön bir kür işlemine tabi tutulduktan sonra 23°C sıcaklık ve %50 bağıl nem altında kür edilmiş SHR içeren harçların rötre-zaman ilişkisi ..... 40

# 1. BÖLÜM

## GİRİŞ

Üretim maliyetlerini azaltmasının yanı sıra, betonun dayanım ve dayanıklılığı üzerindeki olumlu katkılarından dolayı, günümüz beton teknolojisinde mineral katkıların kullanımı geniş bir yer tutmaktadır. Kullanılan bu mineral katılardan birisi de öğütülmüş granüle yüksek fırın cüruflarıdır.

Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufları, su ile birleştirildiği takdirde, küçük de olsa belirli bir miktar bağlayıcı özellik göstermektedir. Ancak, cürufların kendi başlarına suyla olan reaksiyonları, Portland çimentolarının hidrasyonu ile karşılaştırıldığında, oldukça yavaş geliştiğinden, cürufun bu tarz kullanımı pratikte çok fazla yaygın değildir. Dolayısıyla araştırmacılar, ağır seyreden bu hidrasyon hızını yükseltebilmek için bu reaksiyonları hızlandırabilecek bir takım çalışmalara yönelmişlerdir. Yapılan çalışmalar, cürufların alkali aktivatörlerle birlikte kullanıldığı zaman, inşaat uygulamalarında kullanılacak tarzda güçlü bir bağlayıcı hamur yapısı meydana getirebileceğini göstermiştir.

Çimento ilave etmeksizin, kimyasal aktivatör ve %100 cüruf kullanmak suretiyle elde edilen alkali ile aktive edilmiş cüruf lu bağlayıcılar, sahip oldukları özellikler göz önüne alındığında, Portland çimentosuna alternatif modern bir bağlayıcı malzeme tipi olarak görülmektedir. 1957 senesinde SSCB'den Glukhovsky tarafından bulunmasına rağmen, dünya çapında ilgi görmesi birkaç yıl öncesine dayanmaktadır [1]. Artık günümüzde ABD, Kanada, İngiltere, Avustralya, Rusya ve Çin gibi ülkelerde üzerinde önemli çalışmalar yapılan bu yeni yapı malzemeleri, endüstriyel yan ürünlerin değerlendirilmesine imkân sağlamasının yanında, yüksek mekanik mukavemet, düşük enerji maliyeti ve normal Portland çimentosuna kıyasla daha az kirletici gaz ( $CO_2$ ,  $SO_2$ ,  $NO_x$  v.b.) emisyonu gibi avantajları ile karakterize edilmektedir [2].

Cürufların kimyasal aktivasyonu için kullanılan aktivatörleri, (1) Alkaliler (soda, kireç, sodyum karbonat, sodyum silikat, vb) ve (2) Sülfatlar (alçı, anhidrit, fosfojips, vb) olmak üzere iki ayrı başlık altında toplamak mümkündür. Her iki grup malzeme de, cürufların hidrasyon ürünlerinin oluşumunu hızlandırmaktadır. Ancak, verilen bu malzeme grupları arasında granüle yüksek fırın cüruflarının aktivasyonu için kullanılan en iyi kimyasal aktivatör, mukavemet ve diğer özellikler açısından bakıldığında, sodyum silikat çözeltisidir.

Çok hızlı mekanik özellikler geliştirebilmeleri bakımından inşaat işlerindeki beklemeden ileri gelen kesinti ve aksaklıkları azaltma potansiyeli bulunan ve dolayısıyla, esas uygulama alanları onarım ve önceden dökülmüş yapı elemanları (beton borular, beton bloklar, ön gerilmeli beton kirişler ve betondan yapılmış duvar panelleri) olan alkali ile aktive edilmiş cüruflu bağlayıcılar konusunda yapılan çeşitli araştırmalar, bu bağlayıcıların, normal Portland çimentolarına göre, kimyasal atak ve donma-çözülme döngüleri gibi agresif ortam koşulları altında dahi üstün performans sergilediklerini göstermektedir [2,3,4]. Ancak, bu yeni tip bağlayıcıların hızlı priz ve yüksek kuruma rötresi gibi problemlere sahip olması, bu tarz bağlayıcı kullanımının önünde bir engel teşkil etmekte ve yaygınlaşmasını sınırlandırmaktadır. Bu malzemelerin ticari bir şekilde kullanılabilmesi için öncelikli olarak karşılaşılan bu problemlerin çözümlenmesi gerekmektedir.

## 2. BÖLÜM

### GENEL BİLGİLER

Demir çelik ve bazı metallerin üretiminde olduğu gibi, elde edilmek istenen esas ürünün yanında, dışarı atılmak üzere bazı yan ürünler de ortaya çıkmaktadır. Yan ürün veya atık madde olarak elde edilen ve büyük miktarlara ulaşan bu malzemelerden kurtulmak, bunları depolamak veya atmak, çoğu kez büyük güçlükler yaratmakta ve bu durum, toplum ve çevre sağlığı için yeni sorunların kaynağını oluşturmaktadır. Ancak, atık olarak elde edilen bu ürün gruplarından bazılarının sahip oldukları özelliklerin araştırılması ve büyük hacimlerde malzemelerin değerlendirilmesinde elverişli bir sektör olan inşaat endüstrisinde kullanılması, atıkların neden olduğu ekonomik ve çevresel sorunların azaltılabilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Çeşitli metalürji tesislerinden elde edilen yan ürünlerden birisi de, ham demirin üretimi esnasında atık madde olarak ortaya çıkan yüksek fırın cüruflarıdır. Yüksek fırın cüruflarının, çimento ve beton sektörlerinde çok çeşitli kullanım alanları bulunmaktadır. Geleneksel çelik üretim tekniklerinden yararlanmak suretiyle elde edilen cüruflar, kristal yapıya sahip kütleler halinde ortaya çıktıklarından, ya hiç kullanılmaz ya da dolgu malzemesi olarak yollarda ve betonda kullanılırlar. Buna karşılık, modern çelik üretimi yapan tesislerden irili ufaklı granüller halinde elde edilen yüksek fırın cürufları ise, sahip oldukları camsı (amorfe) yapılarından dolayı, öğütülerek ince taneli duruma getirildiklerinde puzolanik özellik göstermekte ve böylelikle, Portland çimentosu ile kısmi yer değiştirilerek mineral katkılı beton üretiminde ya da çimento endüstrisinde cürüflü çimento imalinde kullanılmaktadır [5].

Çimento sektöründe, önemli miktarlarda cüruf tüketilmesine karşılık hala geride değerlendirilmeyi bekleyen büyük hacimlerde cüruf bulunduğundan, bu endüstriyel yan ürünlerin bağlayıcı malzeme olarak değişik tarzlarda kullanılmasına yönelik bilimsel



çevreler tarafından çeşitli araştırmalar yürütülmektedir. Yürütülen bu çalışmalardan birisi de, cürufun sodyum hidroksit, sodyum karbonat veya sodyum silikat (cam suyu) gibi çeşitli kimyasal aktivatörler kullanılarak aktive edilmesi sonucunda elde edilen alkali ile aktive edilmiş cürufllu bağlayıcılardır.

Cürufların alkali ile aktivasyonunun mümkün olabileceğine yönelik olarak yapılan çalışmalar 1940'lara kadar uzanmasına rağmen alkali aktive edilmiş cürufllu çimento ve betonlar, ilk kez 1957'de Ukrayna'da bulunmuştur. Bunu takiben, 1970'lerden sonra cürufun alkali ile aktivasyonu konusunda diğer ülkelerde de belirgin bir şekilde çalışmalar yapılmış ve artık son yıllarda, alkali ile aktive edilmiş cürufllu çimento ve betonlar tüm dünya üzerinde büyük bir dikkat çekmeğe başlamıştır [6].

Alkali ile aktive edilmiş cürufllu bağlayıcıların mikro yapısal gelişimi, büyük oranda, öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufundaki anyonlar ile aktivatördeki katyonların sentezinden ileri gelmektedir. Cürufun silikat anyonları ile aktivatörün katyonları arasındaki iyon değişimi ile ortaya çıkan kimyasal reaksiyonlar, silika jel formasyonunu meydana getirmekte ve bu silika jeli, cüruftaki kalsiyum iyonlarının ilave tepkimesiyle birlikte silikat bakımından zengin CSH jeline dönüşmektedir [7]. Cürufun aktivasyonu için, yakıcı alkaliler (ROH), zayıf asitlerin silis içermeyen tuzları ( $R_2CO_3$ ,  $R_2SO_3$ ,  $R_2S$ ,  $R_3PO_4$  veya RF) veya  $R_2O(n)SiO_2$  formundaki silis tuzları, kullanılan en etkili kimyasallardır ve burada yer alan R terimi; Na, K ve Li gibi alkali metal iyonlarını göstermektedir [6,8].

## 2.1. Amaç ve Kapsam

Yürütülen bu çalışmanın amacı, alkali ile aktive edilmiş cürufllu bağlayıcıların uygulamalardaki kullanımlarına engel teşkil eden hızlı priz ve yüksek kuruma rötresi gibi problemlerinin çözümünde, kimyasal katkıların ve kür şartlarının etkilerini araştırmaktır.

Gerçekleştirilen deneysel çalışma kapsamında, öncelikle, normal Portland çimentosu için geliştirilmiş olan "rötresiz azaltıcı" ve "süper akışkanlaştırıcı ve priz geciktirici" kimyasal katkıların, sıvı ve toz olmak üzere iki tip sodyum silikat kullanılarak aktive edilmiş çimentosuz cüruf harçlarının işlenebilirlik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Daha sonra bu harçların, farklı kür koşulları altındaki mekanik

mukavemet, karbonatlaşma ve rötre özellikleri gözlemlenerek “rötre azaltıcı” ve “süper akışkanlaştırıcı ve priz geciktirici” kimyasal katkı ilavelerinin, söz konusu bu mekanik ve durabilite özelliklerinde meydana getirdiği değişiklikler araştırılmıştır.

## **2.2. Araştırmanın Önemi**

Akademik alanda ortaya koyulan çalışmaların birçoğunda bu bağlayıcı malzemelerin taze ve sertleşmiş haldeki bazı özellikleri ele alınmakta, içyapıları ile aktivasyon mekanizmaları araştırılmaktadır. Dolayısıyla, bu yeni tip bağlayıcıların yaygınlaşmasına engel teşkil eden problemlerinin çözümü ile ilgili olarak yeterli bilgi bulunmamaktadır. Bununla beraber literatürde, farklı dozaj ve modüllere sahip sodyum silikat ile aktive edilmiş cürufllu bağlayıcılar için kimyasal katkıların ve farklı kür şartlarının etkisini birlikte araştıran sistemli bir çalışma yer almamaktadır. Bu açıdan bakıldığında, yürütülmüş olan söz konusu bu deneysel çalışmanın, konuya ilişkin mevcut bilgi düzeyine katkı sağlaması beklenmektedir. Ayrıca bu çalışma 109M661 proje numaralı Tübitak araştırma projesinden türetilmiştir.

## **3. BÖLÜM**

### **YÖNTEMLER**

Bu bölümde, deneysel çalışmada kullanılan malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri, harç karışımlarında kullanılan malzemelerin miktarları, hazırlanan numune boyutları ve bu numuneler üzerinde yürütülen deneyler hakkında bilgi verilmektedir.

#### **3.1. Kullanılan Malzemeler**

##### **3.1.1. Alkali Aktivatörler**

Yürütülen çalışmada, öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun aktivasyonu için, alkali aktivatör olarak, 2.0 modül sıvı sodyum silikat ve 1.0 modül toz formundaki sodyum meta silikat kullanılmıştır.

##### **3.1.2. Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cürufu**

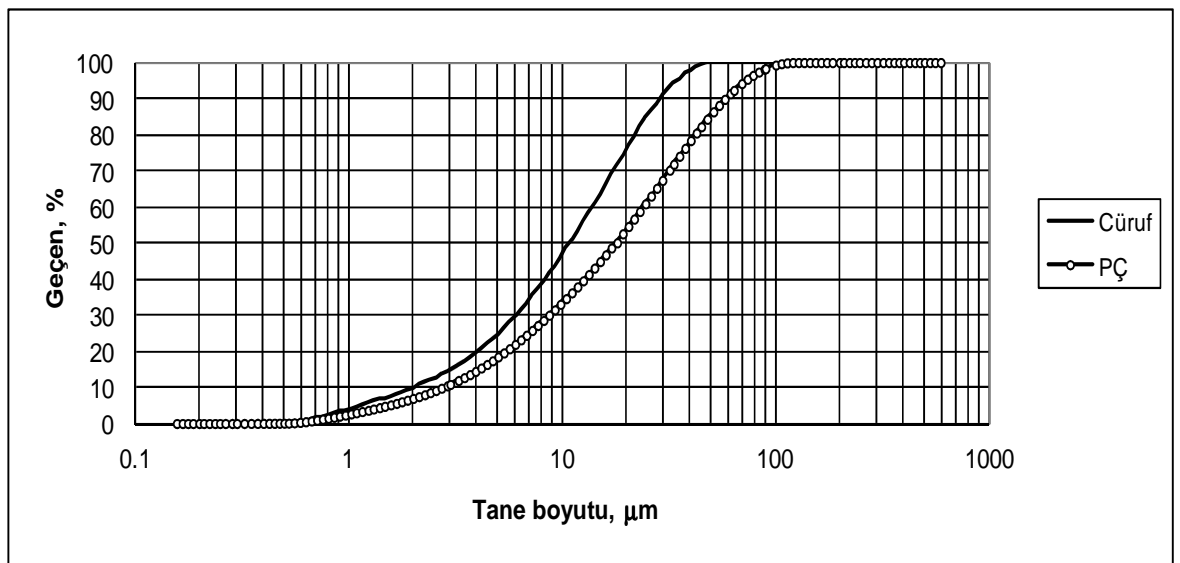
Deneylerde, OYAK Adana Çimento Sanayi'nden temin edilen öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu kullanılmıştır. Kimyasal kompozisyonu ve fiziksel özellikleri Tablo 1'de verilen öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun, lazer kırınım yöntemi ile elde edilen tane boyut dağılımı ise Şekil 1'de sunulmuştur.

##### **3.1.3. Çimento**

Araştırmada, TS EN 197-1 [9] ile uyumlu CEM I 42.5R tipi Portland çimentosu kullanılmıştır. Tüm deneysel çalışma boyunca, taze olarak kullanılmasına özen gösterilen Portland çimentosunun nem alarak topaklaşma göstermemesi için de özel koruyucu kaplar içerisinde muhafaza edilmesi sağlanmıştır. Kullanılan çimentonun kimyasal kompozisyonu ve fiziksel özellikleri Tablo 3.1.'de, lazer kırınım yöntemi ile elde edilen tane boyut dağılımı ise Şekil 3.1.'de verilmiştir.

**Tablo 3. 1.** Çimento ve öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun kimyasal ve fiziksel özellikleri

Kimyasal Kompozisyon (%)	Çimento	Cüruf	Çimentonun fiziksel özellikleri	
SiO <sub>2</sub>	18.69	33.78	Özgül ağırlık	3.12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.61	9.55	Priz başlangıcı (dk)	190
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.52	0.88	Priz sonu (dk)	225
CaO	62.68	39.80	Hacim genişmesi (mm)	1.0
MgO	2.63	6.80	Blaine özgül yüzey (cm <sup>2</sup> /g)	3200
Na <sub>2</sub> O	0.13	0.32	2 günlük basınç dayanımı (MPa)	27.2
K <sub>2</sub> O	0.77	0.88	7 günlük basınç dayanımı (MPa)	41.0
SO <sub>3</sub>	2.73	1.66	28 günlük basınç dayanımı (MPa)	51.2
Cl <sup>-</sup>	0.01	0.03	Cürufun fiziksel özellikleri	
Kızdırma Kaybı	2.88	2.89	Özgül ağırlık	2.78
Çözünmeyen Kalıntı	0.96	-	Blaine özgül yüzey (cm <sup>2</sup> /g)	5200
Serbest CaO	0.93	-	Dayanım aktivite indeksi-7 gün (%)	62
			Dayanım aktivite indeksi-28 gün (%)	94



**Şekil 3.1.** Cüruf ve Portland çimentosunun lazer kırınım yöntemi ile belirlenen tane boyutu dağılımları

### 3.1.4. Kimyasal Katkılar

Kimyasal katkı ihtiva eden karışımların hazırlanmasında, ağırlıkça bağlayıcı madde miktarına göre, %1 oranında modifiye polimer esaslı “süper akışkanlaştırıcı ve priz geciktirici” ve polipropilen glikol türevi “rötre azaltıcı” kullanılmıştır.

### 3.1.5. Kum

Harç karışımlarının hazırlanmasında TS EN 196-1 [10] ile uyumlu CEN standart kumu kullanılmıştır.

### 3.1.6. Su

Karışım suyu olarak şehir şebekesinden alınan içilebilir musluk suyundan yararlanılmıştır.

## 3.2. Deneysel Çalışma

Hazırlanan harç karışımlarının su/bağlayıcı madde oranı 0.5 ve kum/bağlayıcı madde oranı 3.0'tür. Aktivasyonlu harç karışımlarının üretiminde, çimento yerine %100 oranında ikame edilen öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu kullanılmış, cürufun aktive edilmesinde ise, ağırlıkça cüruf miktarına göre %4 ve %6 Nakonsantrasyonlarına sahip sıvı sodyum silikat ve toz formundaki sodyum meta silikattan yararlanılmıştır. Sodyum meta silikat (SMS) için silikat modülü  $M_s=1.0$  ( $M_s=SiO_2/Na_2O$ ) olup, 2.0 modül olarak temin edilen sıvı sodyum silikat(SSS) ise, toz formundaki sodyum meta silikat ile özdeş kimyasal kompozisyon elde edilebilmesi açısından sodyum hidroksit ilavesi yapılmak suretiyle 1.0 ve bunun dışında, 0.75 modüllerine indirgenerek kullanılmıştır.

Aktivatörlerin, su içerisinde çözülmek suretiyle karışımlara eklendiği deneylerde, karışımların 0.50 olan su/bağlayıcı madde oranının sabit tutulması için,aktivatör çözeltisinin ihtiva ettiği su miktarı göz önüne alınmış ve karışımlara eklenecek su miktarlarında eksiltme yoluyla ayarlamaya gidilmiştir.

Kimyasal katkı içeren harç karışımlarının üretilmesinde ise, bağlayıcı madde miktarının %1'i oranında “süper akışkanlaştırıcı ve priz geciktirici (WRRe)” ve “rötre azaltıcı

(SHR) kullanılmıştır. Çalışmada, 3 tanesi referans Portland çimentolu karışım olmak üzere, toplam 21 grup karışım serisi hazırlanmıştır.

Araştırma kapsamında yürütülen deneyler için kullanılan karışım oranları ve notasyonları, Tablo 3. 2.'de özetlenmiştir.

**Tablo 3. 2.** Karışım notasyonları

Grup No	Kimyasal Katkı	Çimento	Cüruf	Alkali Aktivatör	Aktivatör Dozajı	Modül (Ms)
1	-	% 100	-	-	-	-
2	-	-	% 100	SMS	% 4 Na	1.00
3	-	-	% 100	SMS	% 6 Na	1.00
4	-	-	% 100	SSS	% 4 Na	0.75
5	-	-	% 100	SSS	% 6 Na	0.75
6	-	-	% 100	SSS	% 4 Na	1.00
7	-	-	% 100	SSS	% 6 Na	1.00
8	% 1 WRRe	% 100	-	-	-	-
9	% 1 WRRe	-	% 100	SMS	% 4 Na	1.00
10	% 1 WRRe	-	% 100	SMS	% 6 Na	1.00
11	% 1 WRRe	-	% 100	SSS	% 4 Na	0.75
12	% 1 WRRe	-	% 100	SSS	% 6 Na	0.75
13	% 1 WRRe	-	% 100	SSS	% 4 Na	1.00
14	% 1 WRRe	-	% 100	SSS	% 6 Na	1.00
15	% 1 SHR	% 100	-	-	-	-
16	% 1 SHR	-	% 100	SMS	% 4 Na	1.00
17	% 1 SHR	-	% 100	SMS	% 6 Na	1.00
18	% 1 SHR	-	% 100	SSS	% 4 Na	0.75
19	% 1 SHR	-	% 100	SSS	% 6 Na	0.75
20	% 1 SHR	-	% 100	SSS	% 4 Na	1.00
21	% 1 SHR	-	% 100	SSS	% 6 Na	1.00

### 3.2.1. Taze Haldeki Karışımlar Üzerinde Yürütülen Deneyler

“Rötre azaltıcı” ve “süperakışkanlaştırıcı ve priz geciktirici” kimyasal katkıların, sodyum silikat ile aktive edilmiş cüruf harçlarının taze haldeki özelliklerine yapacağı etki, harç karışımlarının geçen zaman karşısındaki işlenebilirlik kayıplarının ölçülmesi ve bağlayıcı hamurlarda priz sürelerinin tayin edilmesi suretiyle tespit edilmiştir.

Harç karışımlarının,1 saatlik zaman dilimi içerisinde 15 dakika ara ile yapılan işlenebilirlik kaybı ölçümlerinde, TS EN 1015-3 [11]'te belirtilen yayılma tablası metodundan yararlanılmıştır. Söz konusu deneylerde, her bir harç karışımının; mikser ile karıştırmanın bittiği 0 anındaki, 15.dakikadaki, 30. dakikadaki, 45. ve 60. dakikadaki yayılma değerleri tespit edilmiştir. Bu amaçla, yayılma tablasının konisi içerisine yerleştirilerek tablada 15 vuruş sonrasında yayılması sağlanan harcın 4 farklı yönden yayılma çapı değeri ölçülmüş ve bu ölçülen 4 değerin aritmetik ortalaması, “mm” bazında o ana tekabül eden yayılma değeri olarak ifade edilmiştir. Deneyde, harcın ilk hazırlanması esnasında geçen süre, 60 dakikalık ölçümlere dahil edilmemiş ve homojen bir harç karışımının elde edilmesinin ardından kronometre çalıştırılarak 0, 15, 30, 45 ve 60 dakikadaki yayılma ölçümleri alınmıştır. Herhangi bir anda yapılan yayılma tablası ölçümünden sonra, yayılma tablasından mümkün olan en az kayıpla düzgün bir şekilde geri alınan harç kütlesi, mikser kabı içerisine yeniden koyulmuş ve mikser, bir sonraki ölçüm zamanına kadar düşük devirde yavaşça çalıştırılmıştır. Ölçümlerde kronometre, hiçbir şekilde durdurulmamış ve kronometrenin ölçüm zamanını gösterdiği an, karıştırma sonlandırılarak o ana tekabül eden yayılma ölçümü alınmıştır. Deneylerde kullanılan harç yayılma tablası Şekil 3. 2.'de gösterilmiştir.



**Şekil 3.2.** Harç yayılma tablası

Diğer taraftan, harç karışımlarınıniki ile aynı olması amacıyla 0.5 su/bağlayıcı oranında hazırlanan bağlayıcı madde hamurlarının başlangıç ve bitiş priz süresi ölçümleri, TS EN 196-3 [12] doğrultusunda, otomatik Vicat cihazı kullanılarak tayin edilmiştir. Deneyleerde, Vicat iğnesinin hamur tabanından 3-5 mm mesafede olduğu süre, priz başlangıcı; 39 mm mesafede olduğu süre ise, priz bitişi olarak değerlendirilmiştir. Kullanılan otomatik Vicat cihazı Şekil 3.3.'te gösterilmiştir.



**Şekil 3.3.** Otomatik Vicat cihazı

### **3.2.2. Karışımların Sertleşmiş Haldeki Özelliklerini Belirlemek Amacıyla Yapılan Deneyleer**

Araştırmada, alkali ile aktive edilmiş cürüflu bağlayıcıların sahip oldukları yüksek kuruma rötresinin azaltılmasında, farklı kür koşullarının ve kimyasal katkıların etkinliğinin incelenmesi amacıyla bir dizi deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, hazırlanan karışımlardan, 40x40x160 mm boyutlarında prizmatik harç numuneleri ile birlikte 25x25x285 mm ebadında rötne numuneleri üretilmiştir. Hazırlanan numuneler, kalıpları içerisinde ve 24 saat boyunca 23°C sıcaklıktaki laboratuvar koşullarında bekletildikten sonra, aşağıda belirtilen 3 farklı kür koşuluna maruz bırakılmışlardır:



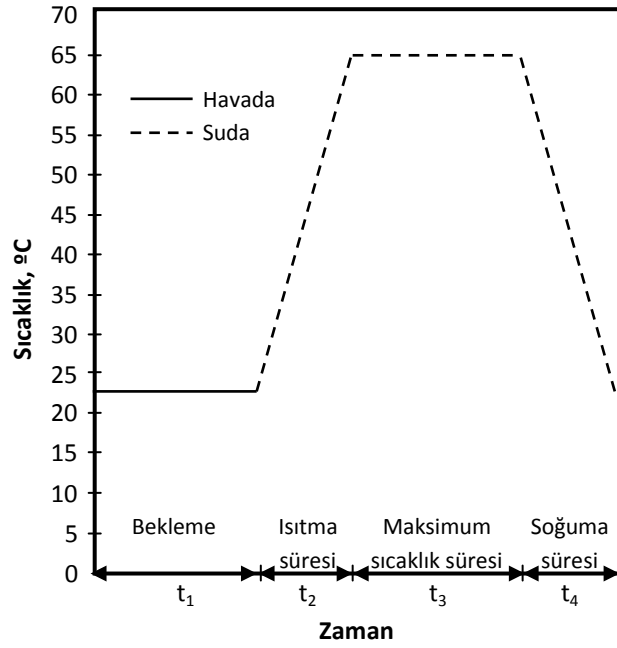
**Kür 1:**Kalıplarından çıkartılan numuneler, 23°C sıcaklıkta ve %95 bağıl nem altında belirlenen deney günlerine kadar Şekil 3. 4.'te gösterilmiş olan iklimlendirme kabini içerisinde kür edilmişlerdir.

**Kür 2:**Kalıplarından çıkartılan numuneler, 23°C sıcaklıkta ve %50 bağıl nem altında belirlenen deney günlerine kadar söz konusu iklimlendirme kabini içerisinde kür edilmişlerdir.



**Şekil 3. 4.** İklimlendirme kabini

**Kür 3:**İleri yaş dayanımlarının çok düşük olmasını önlemek amacıyla, 24 saatlik ( $t_1$ ) bir bekleme süresinin ardından kalıplarından çıkartılan numuneler, ısıtmalı kür havuzundaki suya daldırılmış ve ısıtıcının açılıp yaklaşık 2 saat ( $t_2$ ) içinde 65°C sıcaklığa gelmesi ile birlikte bu sıcaklık altında tam 5 saat ( $t_3$ ) boyunca ön bir kür işlemine tabi tutulmuştur. Belirtilen süre sonunda ısıtıcı kapatılmış ve numunelerin ortam sıcaklığına kadar ortalama 4 saat ( $t_4$ ) kadar soğuması beklenmiştir. Söz konusu bu işlemler, daha anlaşılır olması açısından Şekil 3. 5.'te bir grafik üzerinde verilmiş olup, sıcak su kürü işleminde kullanılan ısıtmalı küçük kür tankı ise Şekil 3. 6.'da gösterilmiştir. Daha sonra sudan çıkartılan numuneler, 23°C sıcaklıkta ve %50 bağıl nem altında belirlenen deney günlerine kadar kür edilmişlerdir.



**Şekil 3.5.** Ön kür devresi



**Şekil 3.6.** Isıtmalı küçük kür tankı

Belirtilen 3 farklı kür koşuluna maruz bırakılan harç numunelerinin 2, 7 ve 28 günlük sürelerdeki eğilme mukavemeti, basınç mukavemeti ve karbonatlaşma derinlikleri ölçülmüş, 180 günlük kuruma rötreleri takip edilmiştir. TS EN 1015-11 [13] doğrultusunda yürütülen mukavemet ölçümlerinde, tek noktadan yükleme deneyi altında harç numunenin kırıldığı gerilme değeri, eğilme mukavemeti olarak alınmış; eğilme deneyinden çıkan kırılmış numunelerin çimento test presinde 40x40 mm başlık

altındaki kırılma değeri ise basınç mukavemeti olarak değerlendirilmiştir. Eğilme deneylerinde her bir karışım için 3 adet prizma numune kullanılırken, basınç deneylerinde ise eğilme deneyinden geriye kalan 6 adet yarım prizma teste tabi tutulmuştur. Mukavemet ölçümlerinde kullanılan harç presi deney düzeneği Şekil 3.7.'de gösterilmiştir.



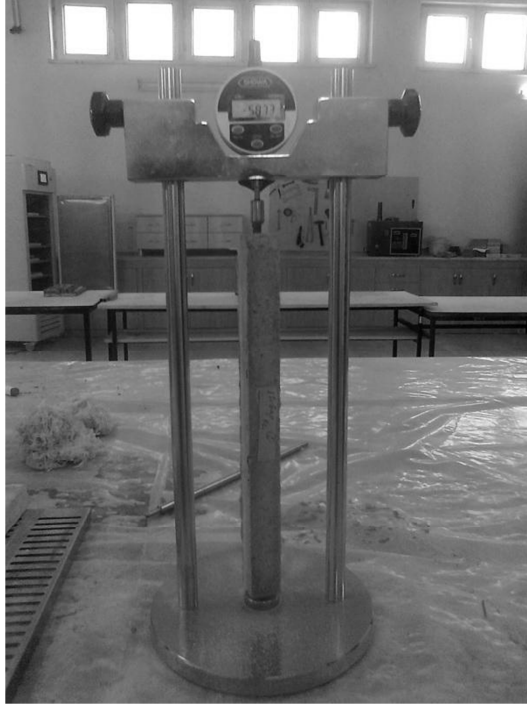
**Şekil 3.7.** Harç presi

Numunelerdeki karbonatlaşma miktarı, eğilme deneyi sonunda kırılarak ikiye bölünmüş parçalarda, kırılma yüzeyine püskürtülen fenolfitalein çözeltisinin renk değişimi göstermeyen bölgelerinin dış yüzeyden olan maksimum derinliklerinin ölçülüp ortalaması alınması suretiyle tayin edilmiştir. Karbonatlaşma ölçümleri için kullanılan numuneler, Şekil 3. 8.'de gösterilmiştir.



**Şekil 3.8.** Karbonatlaşma ölçümünde kullanılan harç numuneler

ASTM C596 [14] doğrultusunda yürütülen rötre deneylerinde ise, kalıplarından çıkartılarak başlangıç boyları ölçülen numunelerin, belirli dönemlere ait boy değişimleri takip edilmiştir. Her bir karışım için 2 adet numunenin üretildiği deneylerde kullanılan rötre ölçüm test seti, Şekil 3. 9.'da verilmiştir.



**Şekil 3. 9.** Rötre lm test seti

## 4. BÖLÜM

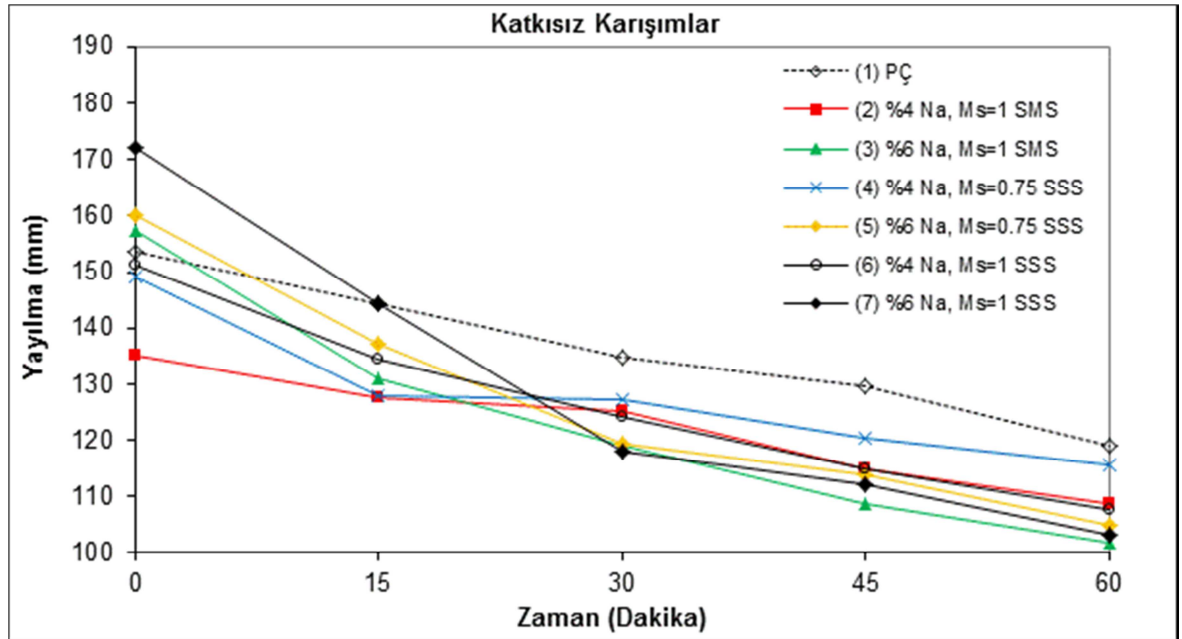
### BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu bölümde, karışımların taze ve sertleşmiş haldeki özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan deney metotları ve bunlardan elde edilen sonuçlar sunulmuş ve irdelenmiştir.

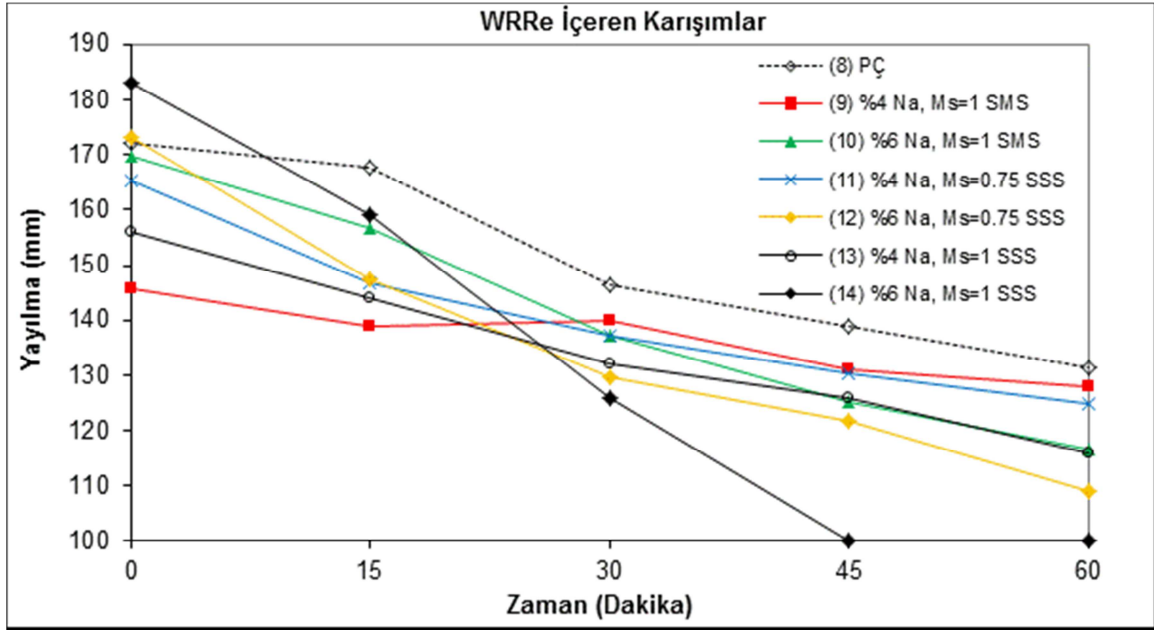
#### 4.1. Karışımların Taze Haldeki Özelliklerinin Belirlenmesi

##### 4.1.1. Yayılma Tablası ile Harç Karışımlarının İşlenebilirlik Kayıplarının Ölçülmesi

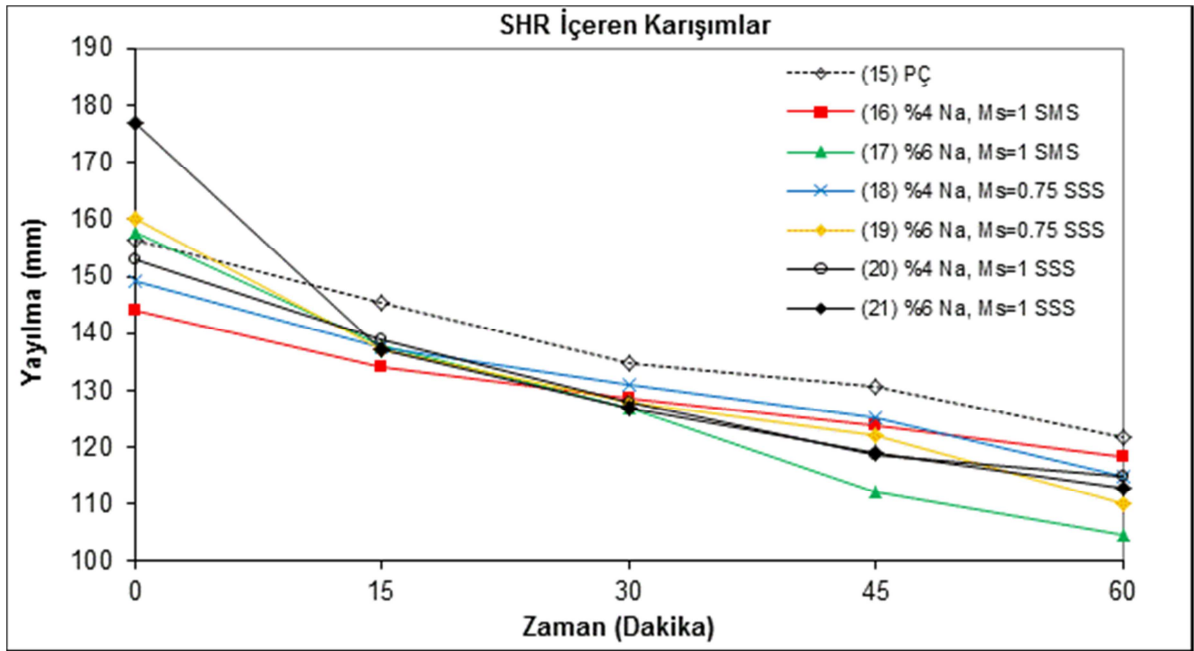
Kimyasal katkıların, alkali ile aktive edilmiş cüruf harçlarının işlenebilirliklerine olan etkisini gözlemlemek amacıyla hazırlanan 21 adet karışım üzerinde yürütülmüş yayılma tablası deneylerinden elde edilen sonuçlar Şekil 4. 1., Şekil 4. 2. ve Şekil 4. 3. 'de sunulmuştur.



Şekil 4. 1. Kimyasal katkı içermeyen harçların yayılma değerleri



**Ş ekil 4. 2.** WRRe içeren harç ların yayılma değ erleri



**Ş ekil 4.3.** SHR içeren harç ların yayılma değ erleri

Verilen tüm Şekillerden görüldüğü gibi ortam koşulları, karışım suyunun buharlaşması ve prizlenme gibi nedenler, karışım larına ait yayılma değ erlerinin zamanla birlikte azalmasına yol açmıştır. Ayrıca, aktivatör olarak kullanılan sodyum silikatlardaki Na

dozajının artması ya da sıvı sodyum silikat ile aktive edilmiş cüruf harçlarında silikat modülünün 0.75'ten 1.0'e yükselmesi, ilk 15 dakika içerisindeki işlenebilirliği olumlu etkilemesine rağmen, kimyasal reaksiyonları hızlandırdığı için sonrasında düşürmüştür. Bu durum literatürde de bildirilmekte olup, alkali ile aktive edilmiş cüruf lu bağlayıcılarda işlenebilirlik, aktivatör dozajındaki ve silikat modülündeki değişimlere karşı oldukça hassastır [15,16].

Kimyasal katkı içermeyen harç karışımlarına ait yayılma değerlerinin yer aldığı Şekil 10'a göre, sıvı ve toz formundaki sodyum silikat ile aktive edilmiş cüruf harçlarının işlenebilirlikleri, normal Portland çimentolu karışıma kıyasla daha az olmuştur. Çünkü sodyum silikatlar yüksek mukavemet sağlamalarına karşın, hemen reaksiyon yaparak hızlı bir şekilde sertleşmeye yol açmakta ve işlenebilirliğin süratle azalmasına neden olmaktadır [17]. Aktivasyonlu cüruf harçlarının işlenebilirliğini iyileştirmek amacıyla karışımlara %1 oranında WRRe katkısının yapılması, Şekil 11'den de anlaşılacağı üzere, kimyasal katkı içermeyen harçlara kıyasla, işlenebilirliği olumlu yönde etkileyerek yayılma değerlerini arttırmıştır. Dolayısıyla, normal Portland çimentolu harcın akıcılığını, önemli oranda arttırdığı gözlenen WRRe katkısının, aktivasyonlu cüruf harçları içerisinde kullanıldığında da işlenebilirliği iyileştirebildiği ve yayılma değerlerini, herhangi bir kimyasal içermeyen%0 katkı oranındaki normal Portland çimentolu karışım (Grup 1) ile kıyaslanabilecek bir düzeye getirebildiği görülmüştür. WRRe katkısının kullanılması ile beraber aktivasyonlu cüruf harçlarının işlenebilirliklerinde sağlanan bu gelişme, literatürdeki bir başka araştırmanın sonuçları ile de uyumluluk taşımaktadır [17]. Ancak, silikat modülü 1.0 olan ve %6 Na dozajına sahip sıvı sodyum silikat ile aktive edilmiş cüruf harcı (Grup 14) için yapılan WRRe katkısı, başlangıçtaki işlenebilirliği oldukça olumlu etkilemesine karşılık, yarım saat sonrasında priz hızlandırıcı gibi davranarak akıcılığın tamamen ortadan kalkmasına ve ölçüm sonucu alınamamasına neden olmuştur. Bu durumun, yüksek alkaline ortama maruz kalan kimyasal katkının formülasyonunda ortaya çıkan değişikliklerden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir [18].

Diğer taraftan Şekil 12'den, normal Portland çimentolu harcın yayılma değerlerinde, herhangi bir değişiklik meydana getirmediği gözlenen SHR kimyasal katkısının, aktivasyonlu cüruf harçları içerisinde kullanıldığında ise bir miktar artış sağlayabildiği, ancak, bu artışın yeterli olmadığı görülmüştür. Dolayısıyla, %1 oranında

SHR katkısı içeren aktive edilmiş cüruf harçlarına ait yayılma değerleri, 1 numaralı grup ile gösterilen ve herhangi bir katkı ihtiva etmeyen normal Portland çimentolu karışımından daha düşük olmuştur. Ulaşılan bu sonuç, literatürdeki bir başka çalışmanın sonuçları ile de uyum içerisindedir [19].Çalışmadaki harç karışımlarının yayılma değerleri Tablo 4.1’de gösterilmiştir.

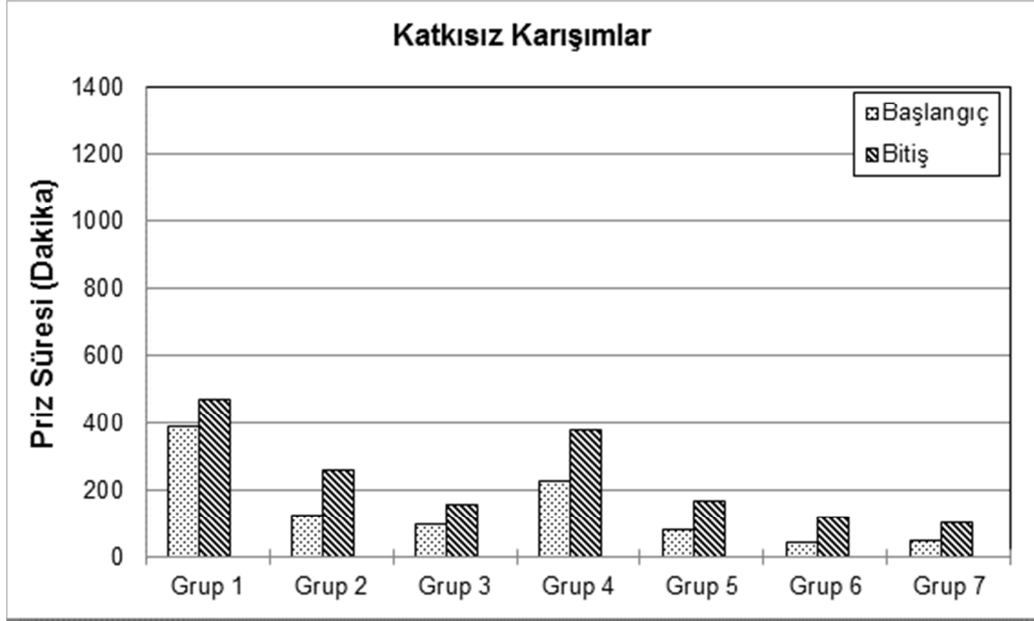
**Tablo 4. 1.** Harç karışımlarının yayılma değerleri

Grup No	Yayılma Değerleri (mm)				
	0'	15'	30'	45'	60'
1	154	144	135	130	119
2	135	128	125	115	109
3	157	131	119	109	102
4	149	128	127	120	116
5	160	137	120	114	105
6	151	135	124	115	108
7	172	145	118	112	103
8	172	168	146	139	131
9	146	139	140	131	128
10	170	157	137	125	117
11	165	147	137	130	125
12	173	148	130	122	109
13	156	144	132	126	116
14	183	159	126	100	100
15	157	145	135	131	122
16	144	134	129	124	118
17	158	138	127	112	105
18	149	138	131	125	115
19	160	137	128	122	110
20	153	139	128	119	115
21	177	137	127	119	113

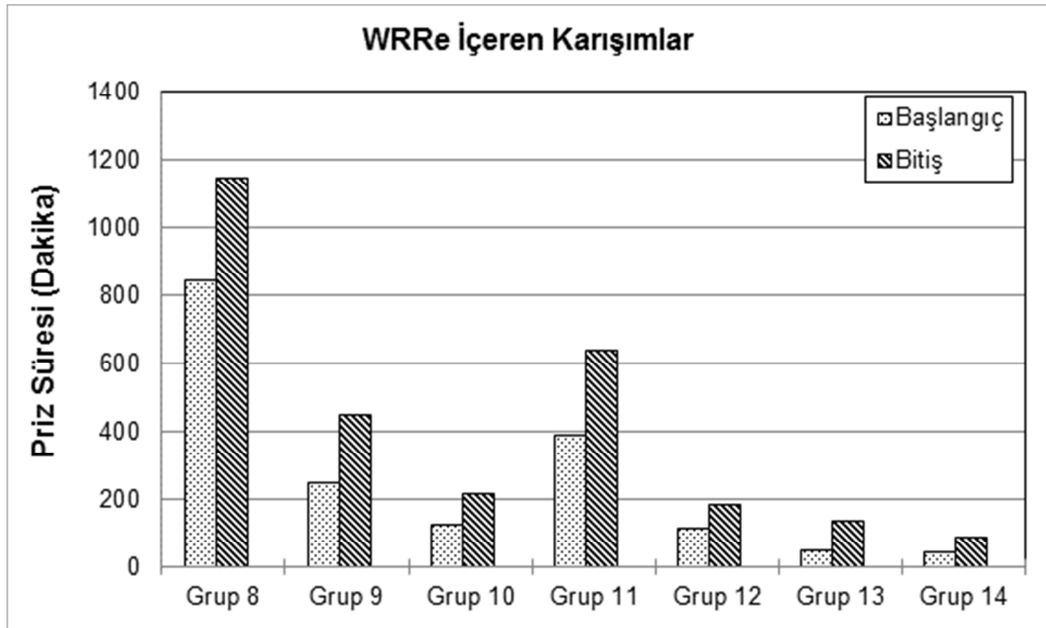


#### 4.1.2. Bağlayıcı Hamurlar Üzerinde Gerçekleştirilen Priz Süresi Ölçümleri

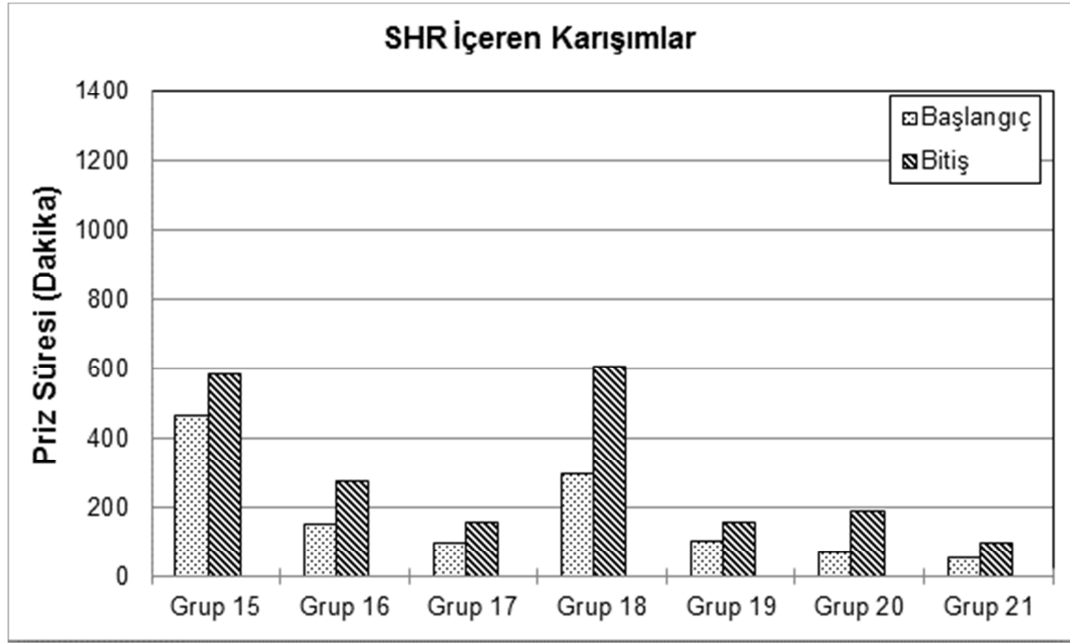
Alkali ile aktive edilmiş cürüflü bağlayıcılarda görülen hızlı priz probleminin giderilmesinde kimyasal katkıların etkisini gözlemlemek amacıyla hazırlanan 21 grup bağlayıcı hamurdan elde edilen priz süresi ölçümleri Şekil 4. 4., Şekil 4. 5. ve Şekil 4. 6. 'te sunulmuştur.



Şekil 4. 4. Kimyasal katkı içermeyen karışımların priz süreleri



Şekil 4. 5. WRRe içeren karışımların priz süreleri



**Şekil 4. 6.** SHR içeren karışımların priz süreleri

Sunulan priz süresi ölçümlerine göre, aktive edilmiş cüruf harçlarında aktivatör Na dozajının %4'ten %6'ya artması veya sıvı sodyum silikat ile aktivasyon durumunda, sabit bir Na dozajı için aktivatör silikat modülünün 0.75'ten 1.0'e yükselmesi, aktivasyonu hızlandırdığından, başlangıç ve bitiş priz sürelerini kısaltmıştır [17]. Ayrıca, cürufun toz formundaki sodyum meta silikat ile aktivasyonu sonucunda elde edilen başlangıç ve bitiş priz süreleri, aynı modül ( $M_s=1.0$ ) ve dozaja sahip sıvı sodyum silikata göre biraz daha uzun olmuştur. Bu durum, sıvı sodyum silikata göre, bağlayıcı matris içerisine daha yavaş alkali salan sodyum meta silikatın düşük hızlı başlangıç reaksiyonlarından kaynaklanmaktadır [15]. Şekil 13'ten görüldüğü üzere, aktive edilmiş cürufli karışımların priz süreleri, çok hızlı cereyan eden aktivasyon reaksiyonlarına bağlı olarak, normal Portland çimentolu karışımlardan daha düşük olmuştur. Bu durum literatürde de bildirilmektedir [17,18,19,20]. Diğer taraftan, karışımların priz süreleri üzerinde WRRe ve SHR katkılarının etkilerinin sunulduğu Şekil 14 ve Şekil 15'e göre, Grup 11 hariç, %1 oranında kimyasal katkı içeren bütün aktive edilmiş cüruf karışımları, normal Portland çimentolu kontrol karışımına (Grup 1) kıyasla, daha kısa priz süreleri göstermiştir. Grup 11'in başlangıç ve bitiş priz süreleri ise sırasıyla 392 ve 638 dakika olup bu değerler, katkısız Portland çimentolu hamurunkinden daha uzundur. Dolayısıyla, normal Portland çimentolu kontrol karışımının priz sürelerini uzatabilen SHR ve özellikle WRRe kimyasal katkılarının, cüruf ihtiva eden karışımlar içerisinde

kullanıldığında da küçük bir miktar artış sağlayabildikleri, ancak, söz konusu bu artışın, aktivatör tipi ve parametrelerine bağlı olduğu gözlenmiştir. Başka bir deyişle, kullanılan bu kimyasal katkılar, özellikle, yükselen Na dozajı altında ve sıvı sodyum silikat aktivatörünün artan silikat modülü (Ms) karşısında, etkinliklerini yitirmeye başlayarak herhangi bir katkı içermeyen aktive edilmiş cürüflü karışımların sonuçlarına yakın değerler vermişlerdir. Ulaşılan bulgular, çalışma kapsamında kullanılan bu kimyasal katkıların, aktivasyonlu cüruf karışımları üzerinde, normal Portland çimentolu karışımlardaki kadar verimli olmadığını göstermektedir. Zira%1 oranında kullanıldıklarında normal Portland çimentolu hamurun priz sürelerini belirgin bir biçimde değiştirebilen bu katkılar cürüflü karışımlara ilave edildiklerinde aynı etkileri gösterememişlerdir. Katkıların performansında ortaya çıkan bu farklılığın sebebi olarak, sodyum silikat gibi yoğun alkalın ortamın, katkıların kimyasal yapısında meydana getirdiği değişiklik görülmektedir [19].Çalışmadaki bağlayıcı hamurlarının başlangıç ve priz süreleri Tablo 4. 2. de verilmiştir.

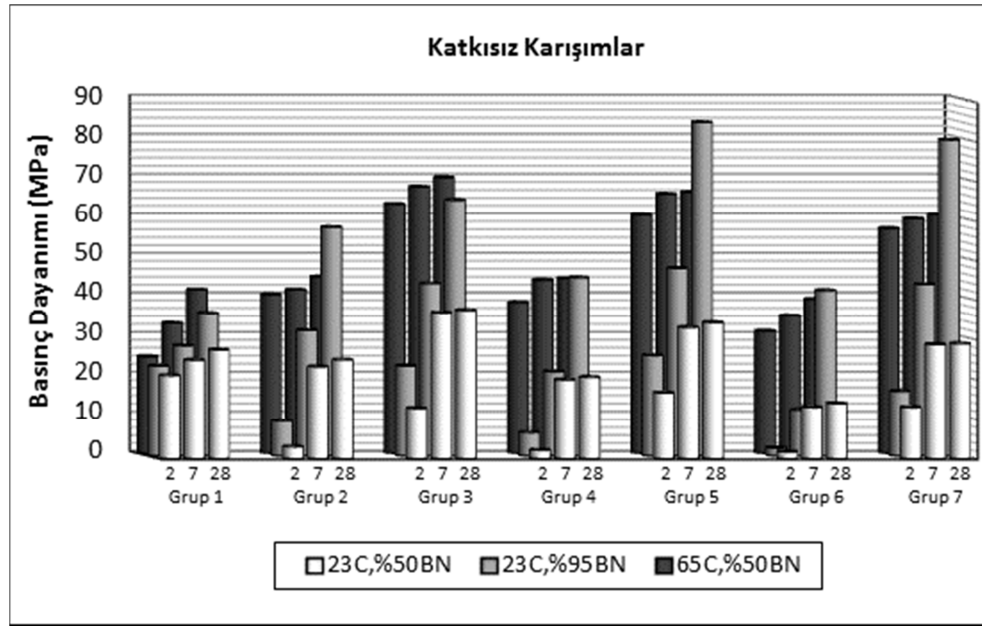
**Tablo 4. 2.** Bağlayıcı hamurlardan elde edilen başlangıç ve bitiş priz süreleri

Grup No	Kimyasal Katkı	Çimento	Cüruf	Alkali Aktivatör	Aktivatör Dozajı	Ms	Priz Başlangıcı (dakika)	Priz Bitişi (dakika)
1	-	%100	-	-	-	-	390	475
2	-	-	%100	SMS	%4 Na	1.00	125	263
3	-	-	%100	SMS	%6 Na	1.00	101	157
4	-	-	%100	SSS	%4 Na	0.75	228	378
5	-	-	%100	SSS	%6 Na	0.75	83	167
6	-	-	%100	SSS	%4 Na	1.00	47	123
7	-	-	%100	SSS	%6 Na	1.00	51	102
8	%1 WRRe	%100	-	-	-	-	845	1150
9	%1 WRRe	-	%100	SMS	%4 Na	1.00	250	450
10	%1 WRRe	-	%100	SMS	%6 Na	1.00	126	220
11	%1 WRRe	-	%100	SSS	%4 Na	0.75	392	638
12	%1 WRRe	-	%100	SSS	%6 Na	0.75	116	184
13	%1 WRRe	-	%100	SSS	%4 Na	1.00	50	135
14	%1 WRRe	-	%100	SSS	%6 Na	1.00	47	90
15	%1 SHR	%100	-	-	-	-	468	588
16	%1 SHR	-	%100	SMS	%4 Na	1.00	155	275
17	%1 SHR	-	%100	SMS	%6 Na	1.00	98	161
18	%1 SHR	-	%100	SSS	%4 Na	0.75	302	608
19	%1 SHR	-	%100	SSS	%6 Na	0.75	105	160
20	%1 SHR	-	%100	SSS	%4 Na	1.00	70	190
21	%1 SHR	-	%100	SSS	%6 Na	1.00	55	100

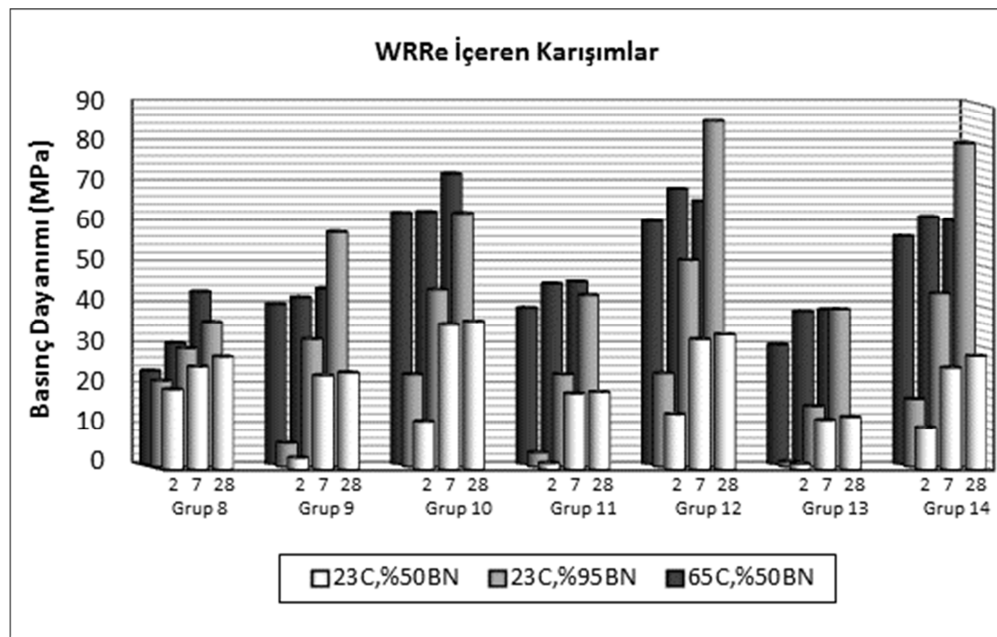
## 4.2. Karışımların Sertleşmiş Haldeki Özelliklerinin Belirlenmesi

### 4.2.1. Harç Karışımlarının Basınç Dayanımları

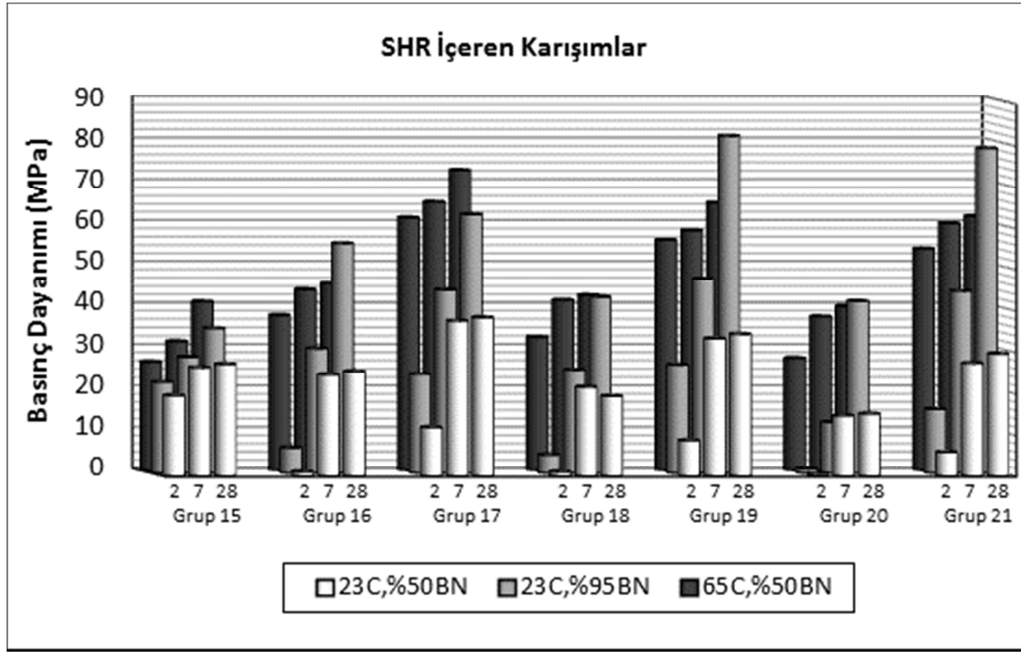
Deneysel çalışma kapsamında üretilen harçların, 3 farklı kür rejimine bırakılmaları sonrasında ölçülen 2, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları, herhangi bir kimyasal katkı içermeyen karışımlar ile birlikte,%1 oranında WRRe ve SHR ihtiva eden karışımlar için sırasıyla Şekil 4. 7., Şekil 4. 8. ve Şekil 4. 9.'de sunulmuştur.



Şekil 4. 7. Herhangi bir kimyasal katkı içermeyen harçların basınç dayanımları



Şekil 4. 8. WRRe içeren harçların basınç dayanımları



Şekil 4. 9. SHR içeren harçların basınç dayanımları

Verilen tüm şekillerden görüldüğü gibi, kür koşulları ne olursa olsun, cüruf harçlarında belirli bir kür yaşı için aktivatör Na dozajının artması, basınç dayanımlarını genel olarak arttırmıştır. Örneğin Şekil 16'ya bakıldığında, 23°C sıcaklık ve %50 bağıl nem altında kür edilen %4 Na dozajındaki sodyum meta silikat ile aktive edilmiş cüruf harcının (Grup 2) 28 günlük basınç dayanımı 24.88 MPa iken, %6 Na dozajındaki sodyum meta silikat ile aktive edilen cüruf harcının (Grup 3) 28 günlük basınç dayanımı 37.38 MPa olmuştur. Aktivatör konsantrasyonundaki artış sonucunda, aktivasyon reaksiyonlarındaki hızlanmaya bağlı olarak ortaya çıkan bu durum, cürufun daha çok çözülerek daha fazla bağlayıcı bileşenin meydana gelmesi ile açıklanabilir. Zira cürufun aktivasyonunda kullanılan kimyasal aktivatörler, cürufun yapısında bulunan bağların çözünmesinde rol oynamakta ve cüruftan gelen  $Ca^{+2}$  ile kimyasal olarak reaksiyona girerek hidratasyon ürünlerini meydana getirmektedir [21,22]. Na konsantrasyonundaki artış ile birlikte harç basınç dayanımlarında gözlenen bu gelişme, literatürde yer alan başka çalışmaların sonuçlarıyla da uyum içerisindedir [17,20,23,24]. Cürufun, toz formundaki sodyum meta silikat kullanılarak aktive edilmesi de, 1.0 modül sıvı sodyum silikat ile aktivasyona kıyasla, basınç dayanımlarında artış meydana getirmiştir. Ancak, cüruf harçlarının sıvı sodyum silikat ile aktivasyonunda, sabit Na dozajı için aktivatör

silikat modülünün (Ms) 0.75'ten 1.0'e yükselmesi ise, basınç dayanımlarını düşürmüştür.

%1 oranında kimyasal katkı içeren harçlara ait basınç dayanımlarının verildiği Şekil 17 ve Şekil 18'den, Portland çimentosu içeren harçların basınç dayanımlarında herhangi bir kür koşulu için kayda değer bir farklılık ortaya çıkarmadıkları gözlenen WRRe ve SHR kimyasal katkılarının, aktivasyonlu cüruf harçları içerisine dahil edildiklerinde ise, 2 günlük erken dönem basınç mukavemetlerinde biraz düşüşe neden oldukları, ancak, sonrasında da önemli bir değişiklik meydana getirmedikleri görülmüştür. Bu bulgular, diğer araştırmacılar tarafından rapor edilen sonuçlar ile de uyum içerisindedir [17,19].

Kimyasal katkı içersin ya da içermesin, 23°C sıcaklıkta %50 bağıl neme maruz bırakılan bütün harçlar, diğer kür koşullarındaki harç karışımlarına göre, en düşük dayanımları sergilemiş ve özellikle 7. gün sonrasında fazla bir dayanım gelişimi gösterememişlerdir. Bu durum, hidrasyon için gerekli olan karışım içerisinde kisuyun bir kısmının, düşük bağıl nemli kür şartlarından dolayı buharlaşarak kaybolmasından kaynaklanmaktadır [25]. Bununla birlikte, numunelerin, %50 bağıl nemli kuru kür koşuluna maruz bırakılmadan evvel, 65°C sıcaklıktaki su içerisinde 5 saatlik ön bir küre tabi tutulması ise hidrasyonu hızlandırarak erken dönem basınç dayanımlarını önemli oranda arttırmıştır. Dolayısıyla, çalışmada ele alınan kür koşulları arasında 2 ila 7 gün için en yüksek dayanımlar, bu kür koşuluna maruz bırakılan harçlardan elde edilmiştir. Ayrıca, sıcak kür işlemine maruz bırakıldıklarında, aktive edilmiş cüruf harçlarının erken dönem mukavemet gelişiminin, Portland çimentolu karışımlardan çok daha hızlı olduğu görülmüştür. Ulaşılan bu sonuçlar, literatürde daha önce yapılan bir diğer çalışmanın sonuçları ile de uyum içerisindedir [26]. Ancak, uygulanan sıcak su kürü işleminden sonra, numunelerin yeniden 23°C sıcaklıktaki %50 bağıl nemli kuru kür koşullarına maruz bırakılması, numunelerin ilerleyen dönemlerdeki dayanım kazanma hızlarını olumsuz yönde etkilemiştir. Bu sebeple, en yüksek 28 günlük mukavemetlerin, genellikle, deney müddeti boyunca sürekli olarak 23°C sıcaklık ve %95 bağıl nemli ortamda tutulan harç numunelerinden elde edildiğini söylemek mümkündür.

Diğer taraftan, gerçekleştirilen testler sonrasında karışımlardan elde edilen basınç dayanımı sonuçları, kür koşullarının sodyum silikat ile aktive edilmiş cüruf harçlarının mukavemet gelişimi açısından büyük bir önem arz ettiğini göstermektedir. Sunulan

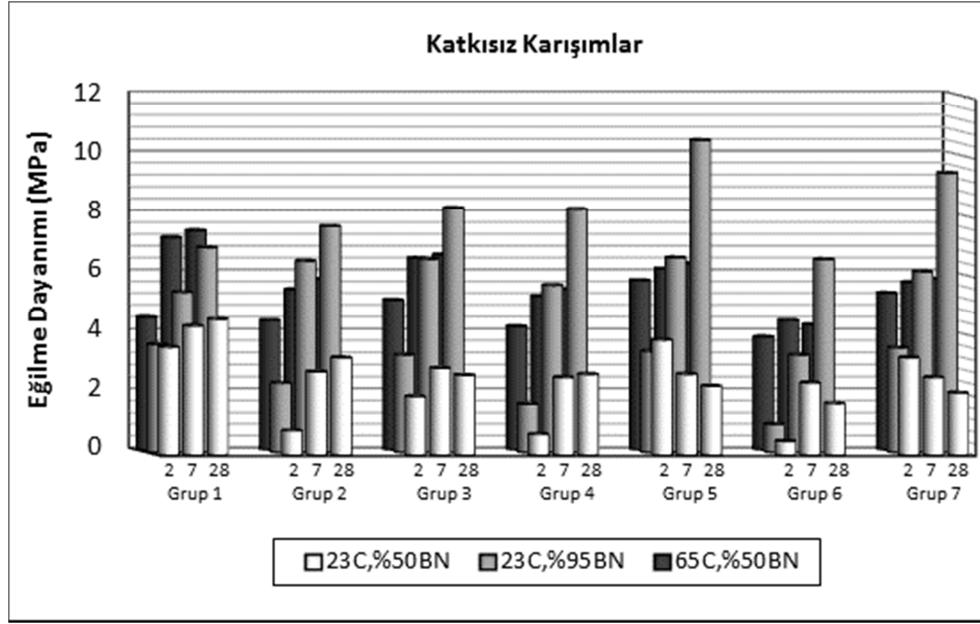
şekillerin tümünden de görüleceği gibi, 23°C sıcaklık ve %50 bağıl neme sahip kuru kür koşulları altında, cürufun aktivasyonu için kullanılan %4 Na dozajı, 2, 7 ve 28 günlük kür yaşları için Portland çimentolu kontrol karışımının (Grup 1) basınç mukavemetine eşdeğer bir dayanım elde edilebilmesi açısından yeterli olmamıştır. Fakat cüruf harçları için aktivatör Na dozajının %6'ya çıkması, 7. günden itibaren Grup 1'den daha yüksek harç basınç dayanımlarının elde edilmesinde etkili olmuştur. Kuru kür koşulları altında cüruf harçlarının basınç dayanımlarında dozaj artışı ile sağlanan bu iyileşme, benzer şekilde, sabit aktivatör dozajı için kür koşulların iyileşmesi sonrasında da gözlenmiştir. Dolayısıyla, bağıl nemin %95'e çıkmasıyla birlikte, %4 Na dozajı ile aktive edilmiş cüruf harçları da, 2 ve 7 günlük mukavemetlerinin düşüklüğüne rağmen, 28 gün sonunda Grup 1'den daha yüksek dayanımlara ulaşmıştır. Elde edilen bu sonuçlar, alkali ile aktive edilmiş cüruf harçların mekanik mukavemet gelişimlerinde kürün önemli bir faktör olduğunu rapor eden literatürdeki başka çalışmalar ile de uyumluluk taşımaktadır [3,27]. Çalışmadaki harç karışımlarının basınç dayanımları Tablo 4. 3. de verilmektedir.

**Tablo 4. 3.** Harç karışımlarının basınç dayanımları

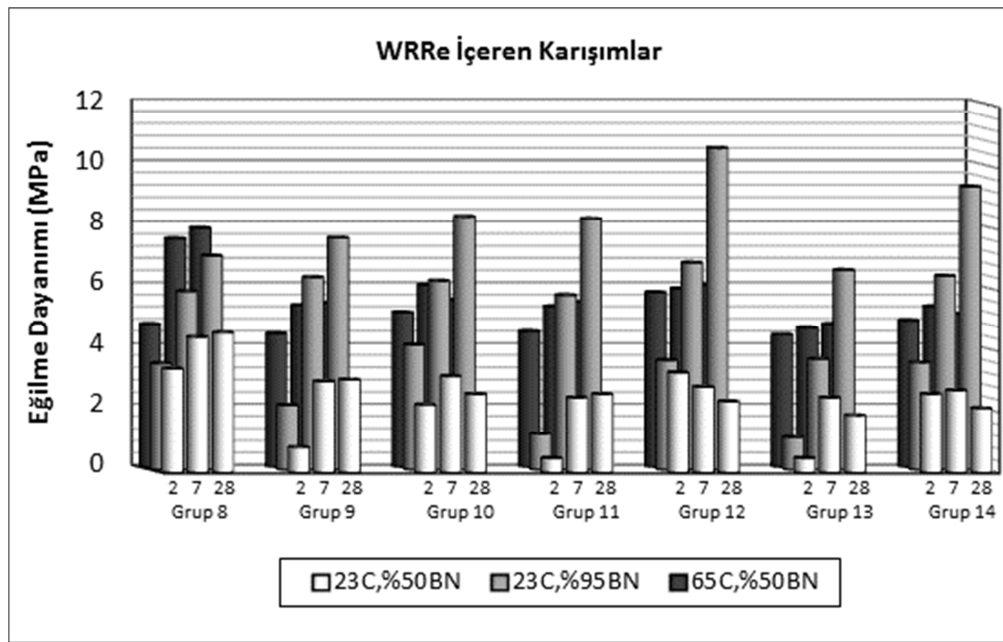
Grup No	Basınç Dayanımı (MPa)								
	2 gün			7 gün			28 gün		
	Kür 1	Kür 2	Kür 3	Kür 1	Kür 2	Kür 3	Kür 1	Kür 2	Kür 3
1	22.63	20.94	24.31	27.72	24.81	32.69	35.91	27.39	41.19
2	8.81	3.00	39.99	31.59	23.16	41.19	57.72	24.88	44.45
3	22.66	12.72	62.94	43.47	36.75	67.25	64.63	37.38	69.63
4	5.88	2.19	37.94	21.22	19.88	43.69	44.97	20.53	44.09
5	25.28	16.59	60.19	47.34	33.00	65.44	84.09	34.25	65.88
6	2.03	1.72	30.72	11.63	12.98	34.58	41.72	13.94	38.81
7	16.25	12.97	56.72	43.25	28.75	59.19	79.69	28.94	60.25
8	21.47	20.01	23.19	29.53	25.66	30.09	36.00	28.09	42.84
9	5.97	2.97	39.73	31.78	23.46	41.42	58.19	24.15	43.56
10	22.97	12.03	62.19	44.03	36.13	62.47	62.81	36.88	71.97
11	3.56	1.63	38.84	23.03	19.00	44.84	42.69	19.38	45.32
12	23.28	13.88	60.16	51.31	32.45	68.22	85.75	33.63	65.19
13	1.31	1.44	29.72	15.16	12.38	37.94	39.22	13.16	38.41
14	16.94	10.50	56.45	43.13	25.38	61.22	80.19	28.25	60.44
15	21.93	19.41	26.19	28.04	26.22	31.13	34.94	27.03	40.66
16	6.19	1.03	37.44	30.09	24.47	43.59	55.56	25.25	45.09
17	23.84	11.78	61.09	44.22	37.44	64.88	62.56	38.28	72.63
18	4.44	1.03	32.19	24.94	21.44	41.06	42.53	19.28	42.22
19	26.18	8.63	55.66	46.88	33.19	58.00	81.59	34.28	64.72
20	1.09	0.63	27.09	12.34	14.56	37.06	41.50	15.04	39.56
21	15.44	5.81	53.53	43.91	27.23	59.69	78.59	29.53	61.44

#### 4.2.2. Harç Karışımlarının Eğilme Dayanımları

Deneysel çalışma kapsamında üretilen harçların, 3 farklı kür rejimine bırakılmaları sonrasında ölçülen 2, 7 ve 28 günlük eğilme dayanımları, herhangi bir kimyasal katkı içermeyen karışımlar ile birlikte, %1 oranında WRRe ve SHR ihtiva eden karışımlar için sırasıyla Şekil 4. 10., Şekil 4. 11. ve Şekil 4. 12.'de sunulmuştur.

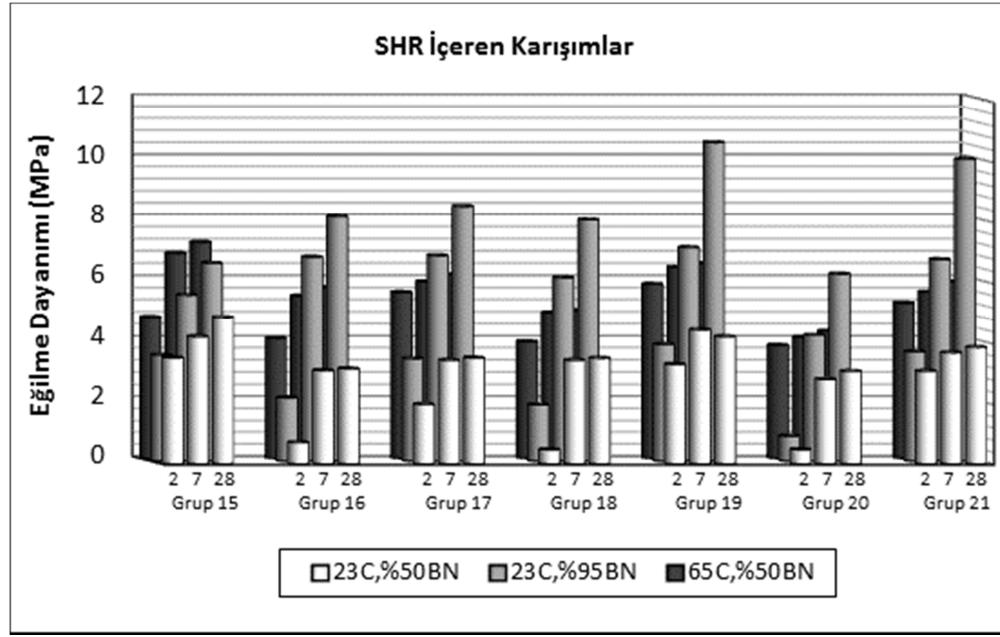


Şekil 4. 10. Herhangi bir kimyasal katkı içermeyen harçların eğilme dayanımları



Şekil 4. 11. WRRe içeren harçların eğilme dayanımları





Şekil 4. 12. SHR içeren harçların eğilme dayanımları

Verilen tüm şekillerden de görüldüğü üzere, incelenen kür koşulları arasında 2, 7 ve 28 günlük en düşük eğilme dayanımları, %50 bağıl nemli kuru kür koşuluna maruz bırakılan harçlardan elde edilmiştir. Bununla birlikte, numunelerin, %50 bağıl nemli kuru kür koşuluna maruz bırakılmadan evvel, 65°C sıcaklıktaki su içerisinde 5 saatlik ön bir küre tabi tutulması ise hidrasyonu hızlandırmış ve en yüksek 2 günlük erken dönem eğilme mukavemetleri, Kür 3 koşuluna tabi tutulan harçlardan sağlanmıştır. Ayrıca, söz konusu bu sıcak kür koşulları altında, alkali ile aktive edilmiş cüruf harçlarının erken dönemdeki dayanım gelişimleri, normal Portland çimentolu karışım ile karşılaştırıldığında oldukça hızlı olmuştur. Diğer taraftan, en yüksek 7 ve 28 günlük eğilme mukavemetleri ise, genellikle, deney müddeti boyunca sürekli olarak 23°C sıcaklık ve %95 bağıl nemli ortamda tutulan harç numunelerinden elde edilmiştir.

Herhangi bir kimyasal katkı içermeyen harç karışımları için eğilme dayanımlarının yer aldığı Şekil 19'a bakıldığında, aktivasyonlu cüruf harçlarına ait eğilme dayanımlarının, düşük bağıl nemli kuru kür şartlarından basınç dayanımlarına kıyasla daha fazla etkilendiği gözlenmiştir. Çünkü yüksek Na dozajı altında cüruf harçlarının eğilme mukavemetlerinde beklenenin aksine düşüşler meydana gelmiştir. Örneğin, Şekil 19'da, 23°C sıcaklık ve %50 bağıl nem altında kür edilen %4 Na dozajındaki 0.75 modül sıvı

sodyum silikat ile aktive edilmiş cüruf harcının (Grup 4) 2, 7 ve 28 günlük eğilme dayanımları sırasıyla 0.70 MPa, 2.62 MPa ve 2.73 MPa olurken, aynı kuru kür koşullarına maruz bırakılan %6 Na dozajındaki 0.75 modül sıvı sodyum silikat ile aktive edilen cüruf harcının (Grup 5) 2, 7 ve 28 günlük eğilme dayanımları ise azalarak sırasıyla 3.87 MPa, 2.73 MPa ve 2.34 MPa olmuştur. Ancak, kür şartlarının iyileşmesi ile birlikte, bu olumsuzluğun ortadan kalktığı ve harçların zamanla olan dayanım gelişiminin de normal seyrinde devam ettiği görülmüştür. Örneğin, yine Şekil 19'a göre, 23°C sıcaklık ve %95 bağıl nem altında kür edilen %4 Na dozajındaki 0.75 modül sıvı sodyum silikat ile aktive edilmiş cüruf harcının (Grup 4) 2, 7 ve 28 günlük eğilme dayanımları sırasıyla 1.64 MPa, 5.63 MPa ve 8.20 MPa olarak ölçülmüştür. Aynı kür koşulları altında %6 Na dozajındaki 0.75 modül sıvı sodyum silikat ile aktive edilen cüruf harcının (Grup 5) 2, 7 ve 28 günlük eğilme dayanımları ise herhangi bir düşme olmadan sırasıyla 3.40 MPa, 6.56 MPa ve 10.51 MPa olmuştur. Dolayısıyla, yüksek rötre deformasyonlarından dolayı, bu tip bağlayıcı malzemelerde görülen ve kuru kür şartlarına bağlı olarak daha da şiddetlenen mikro çatlak gelişimlerinin sağlam kesit alanını azaltarak eğilme dayanımlarındaki bu dramatik düşüşlerde rol oynamış olabileceği düşünülmektedir [29,30]. Diğer taraftan, Şekil 20'de verilen sonuçlara göre, WRRe kimyasal katkısının eklenmesi, aktivasyonlu cüruf karışımlarına ait 2 günlük erken dönem eğilme dayanımlarında genellikle önemsiz miktarda bir düşüş meydana getirmiş, buna karşılık, daha sonrası için ciddi bir değişiklik ortaya çıkarmamıştır. WRRe katkısı, %1 oranında dahil edildiğinde, Portland çimentosu içeren karışımların eğilme dayanımlarında ise önemli bir farklılık yaratmamıştır. Bununla birlikte, Şekil 21'e bakıldığında, aktive edilmiş cüruf harçlarına ilave edilen SHR katkısı, herhangi bir katkı içermeyen kontrol karışımlarına kıyasla, 7 ve 28 günlük eğilme dayanımlarında bir miktar iyileşme sağlamıştır. Kullanılan SHR kimyasal katkısının, büzülme çatlaklarını kısıtlamadaki olumlu etkisinin böyle bir davranış için muhtemel sebep olabileceği düşünülmüştür. %1 oranında SHR içeren Portland çimentolu karışımların eğilme dayanımlarında ise herhangi bir olumsuz etki görülmemiştir. Bu sonuçlar, tarafından rapor edilen sonuçlar ile de benzerlik taşımaktadır [19].

Harç karışımlarına ait eğilme dayanımlarının sunulduğu tüm şekillerden de görüldüğü üzere, herhangi bir kür koşulu için cürufun, toz formundaki sodyum meta silikat kullanılarak aktive edilmesi, aynı Na dozajına sahip 1.0 modül sıvı sodyum silikat ile

aktivasyona kıyasla, eğilme dayanımlarını arttırmıştır. Ancak, sıvı sodyum silikat ile aktivasyonda sabit Na dozajı için, artan silikat modülü (Ms) ise eğilme dayanımlarını düşürmüştür. Bu durumun, yükselen silikat modülü sonrasında artış gösteren büzülme çatlaklarından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Çalışmadaki harç karışımlarının eğilme dayanımı sonuçları Tablo 4. 4. da verilmektedir.

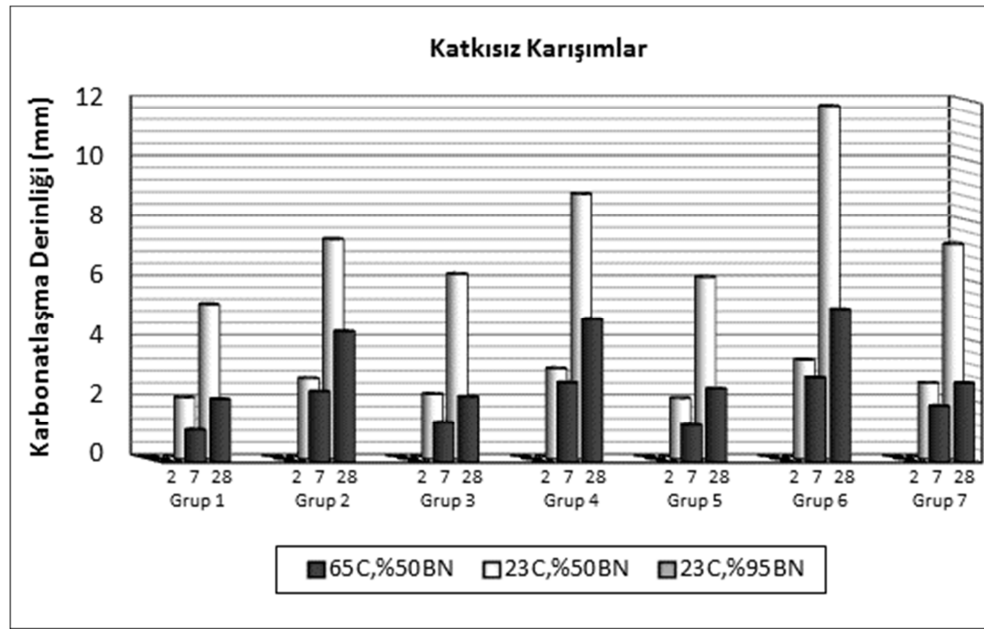
**Tablo 4. 4.** Harç karışımlarının eğilme dayanımları

Grup No	Eğilme Dayanımı (MPa)								
	2 gün			7 gün			28 gün		
	Kür 1	Kür 2	Kür 3	Kür 1	Kür 2	Kür 3	Kür 1	Kür 2	Kür 3
1	3.63	3.63	4.45	5.39	4.34	7.15	6.90	4.57	7.38
2	2.34	0.82	4.34	6.45	2.81	5.39	7.62	3.28	5.74
3	3.28	1.99	5.04	6.51	2.93	6.45	8.24	2.70	6.56
4	1.64	0.70	4.14	5.63	2.62	5.16	8.20	2.73	5.39
5	3.40	3.87	5.70	6.56	2.73	6.09	10.51	2.34	6.26
6	0.94	0.47	3.79	3.28	2.44	4.34	6.50	1.76	4.20
7	3.52	3.28	5.27	6.09	2.62	5.63	9.41	2.11	5.76
8	3.48	3.41	4.69	5.86	4.45	7.50	7.03	4.59	7.85
9	2.12	0.82	4.38	6.33	2.99	5.31	7.62	3.05	5.40
10	4.10	2.23	5.08	6.21	3.16	5.98	8.32	2.58	5.48
11	1.17	0.47	4.45	5.74	2.46	5.27	8.25	2.58	5.43
12	3.59	3.28	5.74	6.80	2.81	5.86	10.55	2.34	5.98
13	1.06	0.47	4.34	3.63	2.46	4.57	6.56	1.88	4.69
14	3.52	2.58	4.81	6.37	2.70	5.27	9.30	2.11	5.04
15	3.52	3.52	4.69	5.51	4.22	6.79	6.56	4.87	7.15
16	2.11	0.70	3.98	6.76	3.10	5.39	8.09	3.16	5.66
17	3.40	1.99	5.51	6.81	3.44	5.86	8.44	3.52	6.09
18	1.88	0.47	3.87	6.09	3.44	4.84	7.98	3.51	4.92
19	3.87	3.31	5.78	7.07	4.45	6.33	10.55	4.22	6.45
20	0.82	0.47	3.75	4.18	2.81	4.02	6.21	3.08	4.22
21	3.63	3.08	5.16	6.68	3.69	5.52	10.00	3.87	5.86

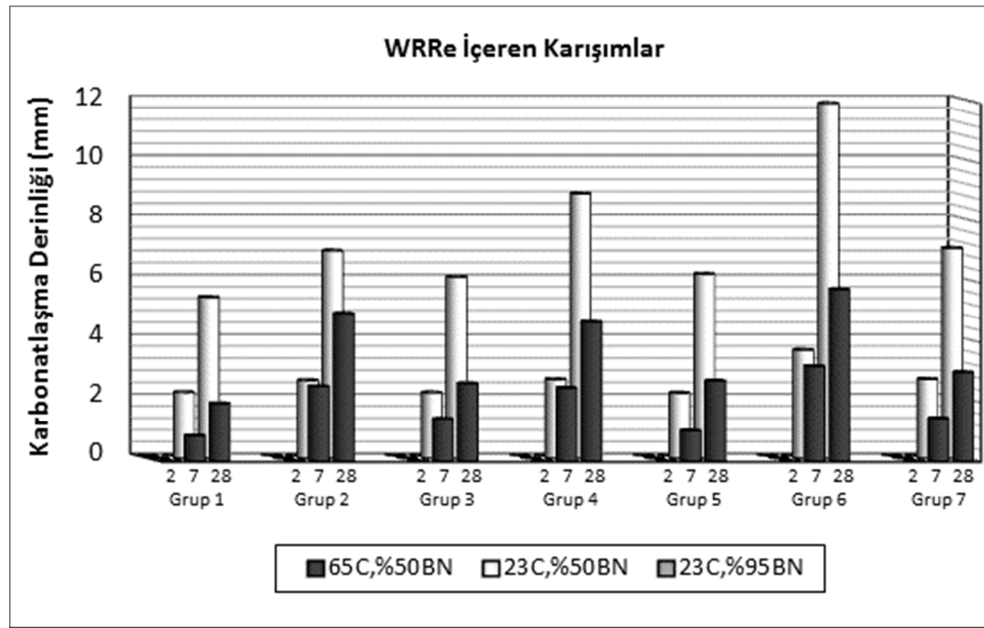
#### 4.2.3. Harç Karışımlarının Karbonatlaşma Derinlikleri

Deneysel çalışma kapsamında üretilen harçların, 3 farklı kür rejimine bırakılmaları sonrasında ölçülen 2, 7 ve 28 günlük karbonatlaşma derinlikleri, herhangi bir kimyasal katkı içermeyen karışımlar ile birlikte, %1 oranında WRRe ve SHR ihtiva eden karışımlar için sırasıyla Şekil 4. 13., Şekil 4. 14 ve Şekil 4. 15.'te sunulmuştur.

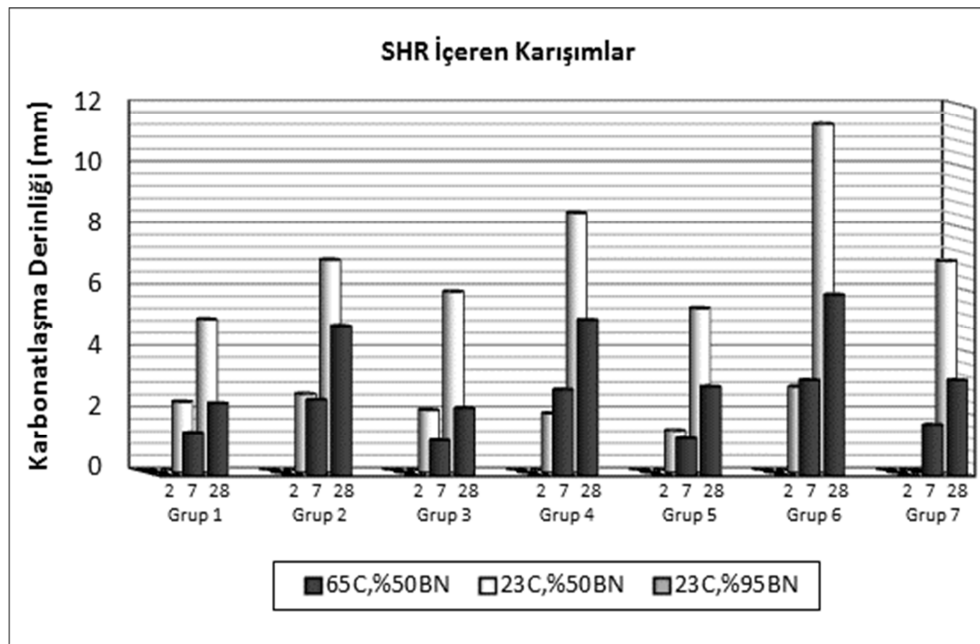
Eğilme testi sonunda kırılarak ikiye bölünen parçalar üzerinde gerçekleştirilen karbonatlaşma deneylerinde, kırılma yüzeyine püskürtülen %1'lik fenolftalein çözeltisinin renk değişimi göstermeyen bölgelerinin dış yüzeyden olan derinlikleri ölçülmüştür. Harç numunelerinde en çok karbonatlaşma, perdelama yüzeyinin altındaki iç kısımlarda görülmüştür. Kalıplara yerleştirilen harç numunesi vibrasyona tabi tutulduğu zaman, harç içerisindeki karışım suyu, yer çekiminin etkisiyle aşağı doğru inen kum ve çimento taneleri arasından hareket ederek üst yüzeye çıkma eğilimi göstermektedir. Bu durumda, su/bağlayıcı oranı nispeten daha yüksek hale gelen prizmanın üst yüzeyi, harç numunelerin sertleşip dayanım kazanmasından sonra daha gözenekli bir yapı kazanmakta ve CO<sub>2</sub> girişine daha müsait bir duruma gelmektedir.



Şekil 4. 13. Herhangi bir kimyasal katkı içermeyen harçların karbonatlaşma derinlikleri



**Şekil 4. 14.** WRRe içeren harçların karbonatlaşma derinlikleri



**Şekil 4. 15.** SHR içeren harçların karbonatlaşma derinlikleri

Sunulan bütün şekillerden de görüldüğü üzere, harç karışımları 2 günlük yaşta iken henüz bir karbonatlaşma yapmamıştır. Ayrıca, bağlayıcı madde hamuru içerisindeki gözenekler, CO<sub>2</sub>'in numune içerisine girişini güçleştirecek şekilde büyük ölçüde su ile dolu olduğundan, 28 günlük deney süresi boyunca %95 bağıl nem altında kür edilen harç numunelerinde herhangi bir karbonatlaşma olayı meydana gelmemiştir. Ancak,

bağıl nemin %95'den %50'ye düşmesi ile birlikte, CO<sub>2</sub>'in numune içerisine nüfuz etmesi kolaylaştığından, harçların da 7.günden itibaren karbonatlaşma yapmaya başladıkları gözlenmiştir. Bununla birlikte, %50 bağıl nemli kuru kür koşuluna maruz bırakılmadan evvel, 65°C sıcaklıktaki su içerisinde 5 saatlik ön bir küre tabi tutulan harç numunelerinin karbonatlaşma derinliği değerleri ise, salt kuru kür koşuluna bırakılan numunelere kıyasla düşüş göstermiştir. Dolayısıyla, sıcak kürün numunelerin karbonatlaşma direncinin gelişmesinde etkili olduğunu söylemek mümkündür. Bu durumun, uygulanan sıcak kür işlemi sonrasında hızlanan hidrasyon reaksiyonlarının boşlukları tıkayarak CO<sub>2</sub> girişini azaltacak yönde bağlayıcı bileşen meydana getirmesi ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, sıcak küre maruz bırakılan harç numunelerinin büzülme deformasyon ve çatlaklarında gözlenen azalmanın, karbonatlaşmanın daha düşük değerler almasındaki bir diğer faktör olduğu tahmin edilmektedir.

Herhangi bir kimyasal katkı içermeyen harçlara ait karbonatlaşma derinliklerinin sunulduğu Şekil 22'den görüldüğü üzere, cürufun toz ya da sıvı sodyum silikat kullanılarak aktive edilmesi sonrası elde edilen karbonatlaşma derinliği değerleri, deney süresi boyunca Portland çimentolu kontrol harcından (Grup 1) daha yüksek olmuştur. Örneğin, Kür 2 durumu için normal Portland çimentolu harcın 7. ve 28. günlerdeki karbonatlaşma derinlikleri sırasıyla 2.07 mm ve 5.19 mm olurken, aktivasyonlu cüruf harçlarının karbonatlaşma değerleri 7. günde 2.18-3.32 mm arasında ve 28. günde ise 6.10 mm-11.80 mm arasında yer almıştır. Alkali ile aktive edilmiş cüruf içeren bağlayıcıların, geleneksel çimento ile karşılaştırıldığında karbonatlaşmaya karşı daha yüksek hassasiyet gösterdikleri literatürde yer alan diğer çalışmalarda da belirtilmiştir [29,30]. Bu durum şöyle açıklanabilir: Bilindiği üzere, betonun kalitesi için belirleyici parametre, gözenek yapısına bağlı olan permeabilitedir. Alkali aktivatör kullanılarak aktive edilmiş cürufllu bir beton, karbondioksit açısından zengin bir ortama maruz bırakıldığında, malzeme içerisine nüfuz eden CO<sub>2</sub> boşluk suyu içerisinde çözülür ve karbonik asidi oluşturur. Karbonik asit, daha sonra kalsiyum içeren fazlara (C-S-H, Ca(OH)<sub>2</sub> ve C-A-S-H) hücum ederek CaCO<sub>3</sub>'ü meydana getirir. Cürufllu betonda Ca içeriği düşük olduğundan, yüzeye yakın bölgelerdeki CaCO<sub>3</sub> tortuları daha seyreklerdir. Bu durum, betonun difüzyonunu ve CO<sub>2</sub>'in iç kısımlara girişini daha da kolaylaştırdığından, matrisin porozitesi artar ve yüzeyde cereyan eden karbonatlaşma

reaksiyonları, derinlere doğru daha hızlı bir şekilde ilerler. Bu yüzden, alkali ile aktive edilmiş cürüflü betonların, karbonatlaşmaya karşı direnci normal Portland çimentolu bir betona göre daha düşüktür [31,32].

Çalışma kapsamında ele alınan kimyasal katkıların harç karışımlarının karbonatlaşma derinliklerine olan etkilerinin sunulduğu Şekil 23 ve Şekil 24'ten, WRRe ve SHR katkılarının Portland çimentosu içeren harçların karbonatlaşma değerlerinde Kür 2 ve Kür 3 durumları için önemli bir değişiklik ortaya çıkarmadığı görülmüştür. Diğer taraftan, söz konusu bu kimyasal katkılar, sodyum silikat ile aktivasyona uğratılmış cüruf harçları içerisine dahil edildiklerinde ise nispeten farklı etkiler meydana getirmiştir. Zira Şekil 23'e bakıldığında, sodyum silikat ile aktive edilmiş cüruf harçlarına %1 oranında eklenen WRRe katkısının, her iki kür koşulunda da karbonatlaşmaya çok fazla bir etkisinin olmadığı görülürken, Şekil 24 incelendiğinde ise, özellikle Kür 2 koşulu için SHR katkısının aktivasyonlu cüruf harçlarının karbonatlaşma derinliklerini biraz düşürdüğü gözlenmiştir. Kullanılan SHR katkısının, aktivasyonlu cüruf harçlarındaki büzülme çatlaklarını bir miktar sınırlandırmak suretiyle karbonatlaşmaya yol açacak CO<sub>2</sub> girişini bir ölçüde engellemesinin, bu durumun muhtemel sebebi olabileceği düşünülmektedir.

Bunun yanı sıra, verilen bütün şekiller incelendiğinde, aktive edilmiş cüruf harçlarında, belirli bir kür yaşı için Na dozajında yapılan artışın, karbonatlaşmaya karşı bir direnç meydana getirerek numunelerin karbonatlaşma derinliklerini düşürdüğü görülmektedir. Benzer şekilde, cürufun toz formundaki sodyum meta silikat ile aktivasyonu, aynı modül (1.0) sıvı sodyum silikat ile kıyaslandığı zaman, daha düşük karbonatlaşma değerlerinin elde edilmesini sağlamıştır. Ancak, sıvı sodyum silikat ile aktive edilmiş cüruf harçlarında, sabit Na dozajı için silikat modülünün artması ise, karbonatlaşma derinliklerinde bir miktar artış meydana getirmiştir. Harçların mukavemet değerleriyle de paralellik gösteren bu bulgulardan anlaşılmaktadır ki, aktivasyon derecesine bağlı olarak ortaya çıkan boşluklu (veya daha yoğun) içyapı, karbonatlaşma yapan tabakaların kalınlığını da, artırma (veya azaltma) yönünde etkilemektedir. Aktive edilmiş cüruf harçlarının mukavemet ve karbonatlaşma sonuçları arasında gözlenen bu ilişki, literatürde yer alan bir başka çalışmanın sonuçlarıyla da benzerlik taşımaktadır [31]. Çalışmadaki harç karışımlarının karbonatlaşma derinlikleri Tablo 4. 5. de verilmektedir.

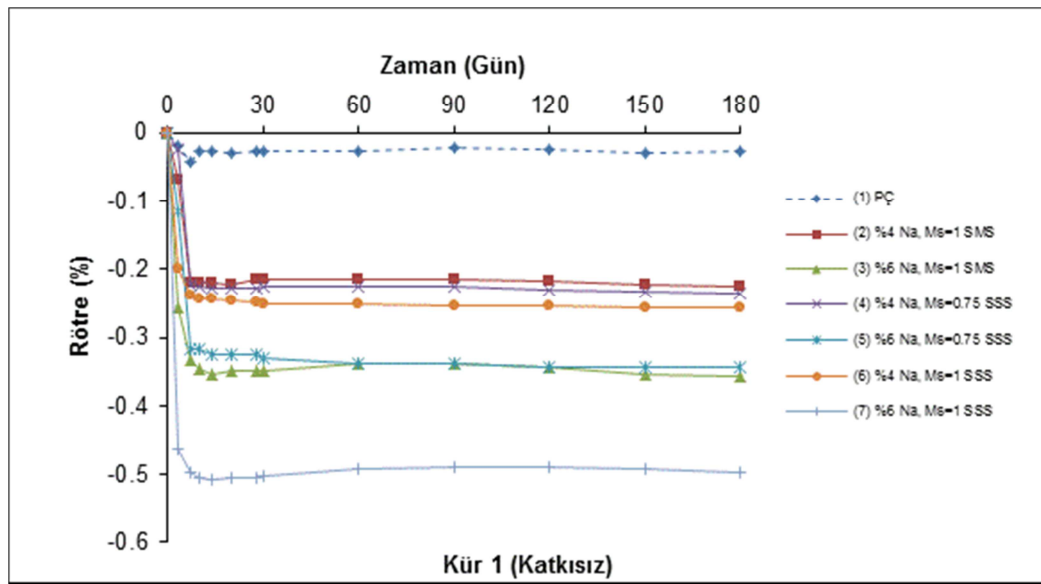
**Tablo 4. 5.** Harç karışımlarının karbonatlaşma derinlikleri

Grup	Karbonatlaşma Derinlikleri (mm)								
	2 gün			7 gün			28 gün		
	Kür 1	Kür 2	Kür 3	Kür 1	Kür 2	Kür 3	Kür 1	Kür 2	Kür 3
1	0	0	0	0	2.07	1.06	0	5.19	2.10
2	0	0	0	0	2.70	2.36	0	7.36	4.36
3	0	0	0	0	2.18	1.30	0	6.20	2.18
4	0	0	0	0	3.03	2.65	0	8.89	4.77
5	0	0	0	0	2.04	1.23	0	6.10	2.45
6	0	0	0	0	3.32	2.82	0	11.80	5.11
7	0	0	0	0	2.55	1.87	0	7.19	2.64
8	0	0	0	0	2.22	0.85	0	5.40	1.94
9	0	0	0	0	2.62	2.51	0	6.95	4.95
10	0	0	0	0	2.21	1.42	0	6.08	2.61
11	0	0	0	0	2.65	2.46	0	8.88	4.66
12	0	0	0	0	2.20	1.02	0	6.18	2.70
13	0	0	0	0	3.63	3.18	0	11.90	5.76
14	0	0	0	0	2.66	1.44	0	7.04	2.98
15	0	0	0	0	2.32	1.39	0	5.01	2.36
16	0	0	0	0	2.57	2.48	0	6.94	4.88
17	0	0	0	0	2.05	1.14	0	5.91	2.20
18	0	0	0	0	1.94	2.80	0	8.48	5.08
19	0	0	0	0	1.38	1.21	0	5.37	2.90
20	0	0	0	0	2.81	3.11	0	11.36	5.90
21	0	0	0	0	0	1.66	0	6.90	3.11

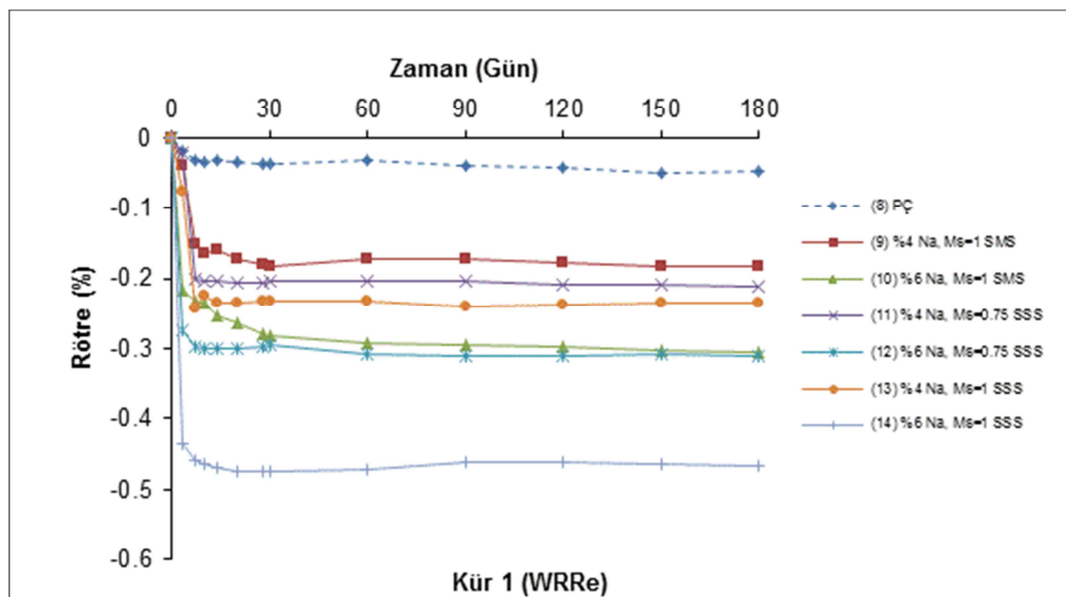


#### 4.2.4. Harç Karışımlarının Rötresi

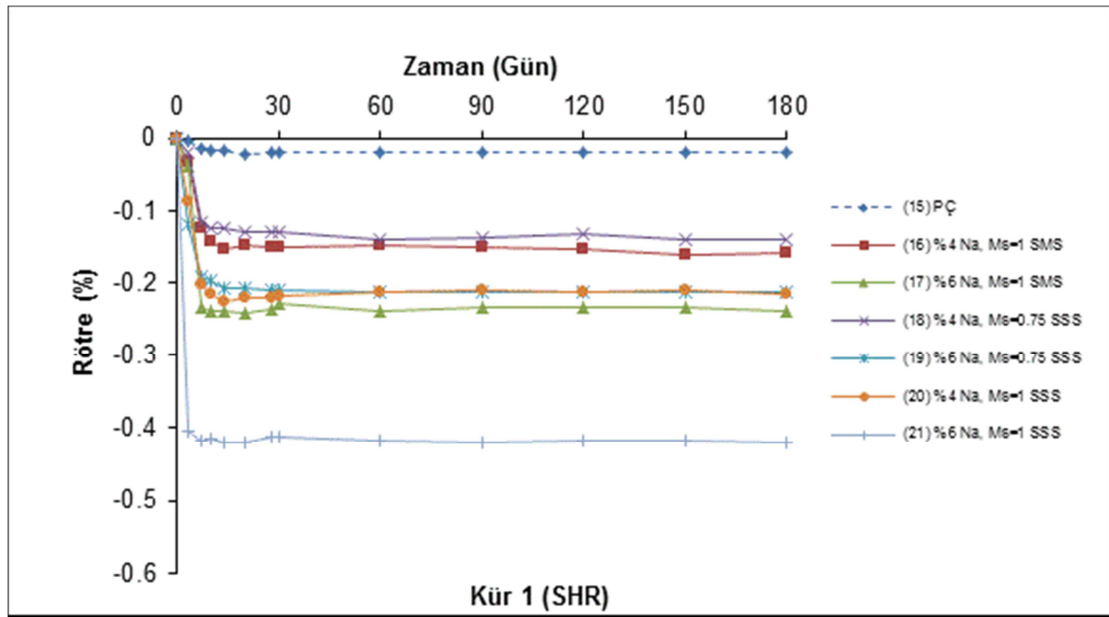
Çalışma kapsamında üretilmiş 21 grup harç karışımının 3 farklı kür koşulu altında 180 gün boyunca ölçülen rötre değerleri, Şekil 4. 16., Şekil 4. 17., Şekil 4. 18., Şekil 4. 19., Şekil 4. 20., Şekil 4. 21., Şekil 4. 22., Şekil4. 23 ve Şekil 4. 24.'te sunulmuştur. Çalışmadaki rötre değerlerinin sonuçları da Tablo 4. 6., Tablo 4. 7. ve Tablo 4. 8. de verilmiştir.



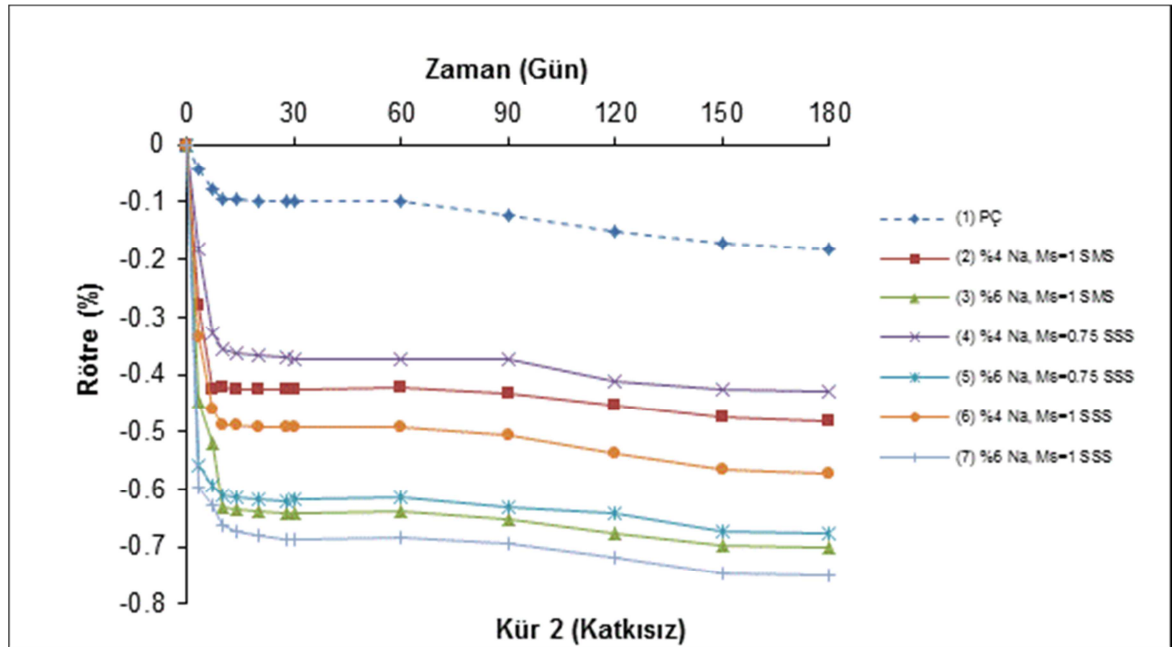
Şekil 4. 16. 23°C sıcaklık ve %95 bağıl nem altında kür edilmiş herhangi bir kimyasal katkı içermeyen harçların rötre-zaman ilişkisi



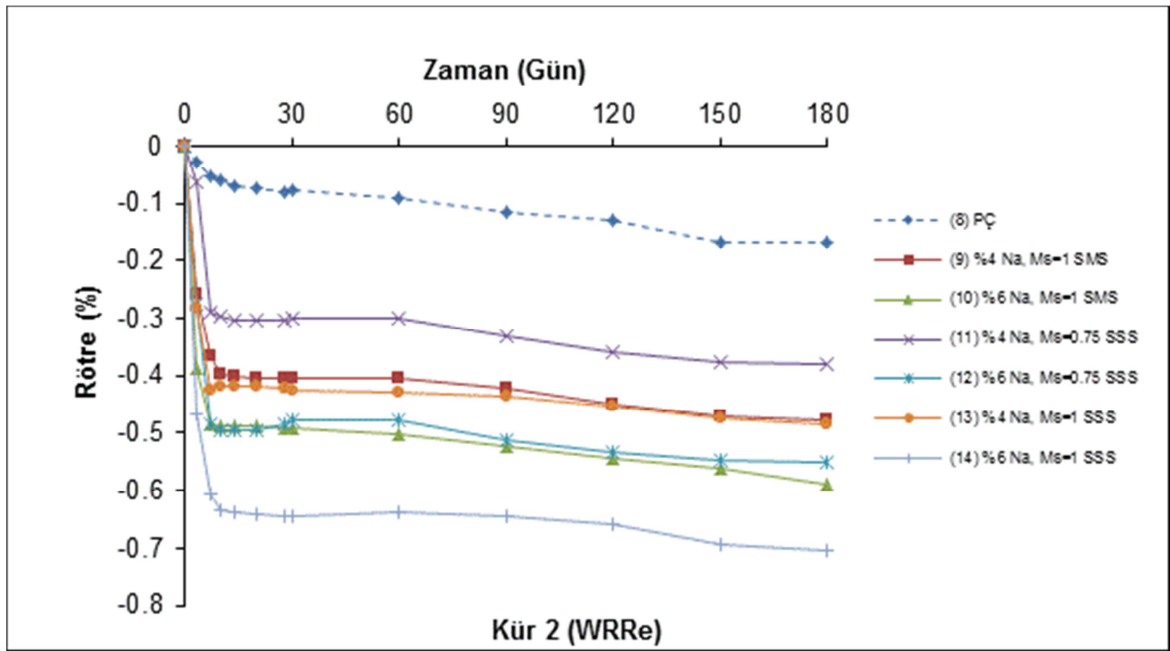
Şekil 4. 17. 23°C sıcaklık ve %95 bağıl nem altında kür edilmiş WRRe içeren harçların rötre-zaman ilişkisi



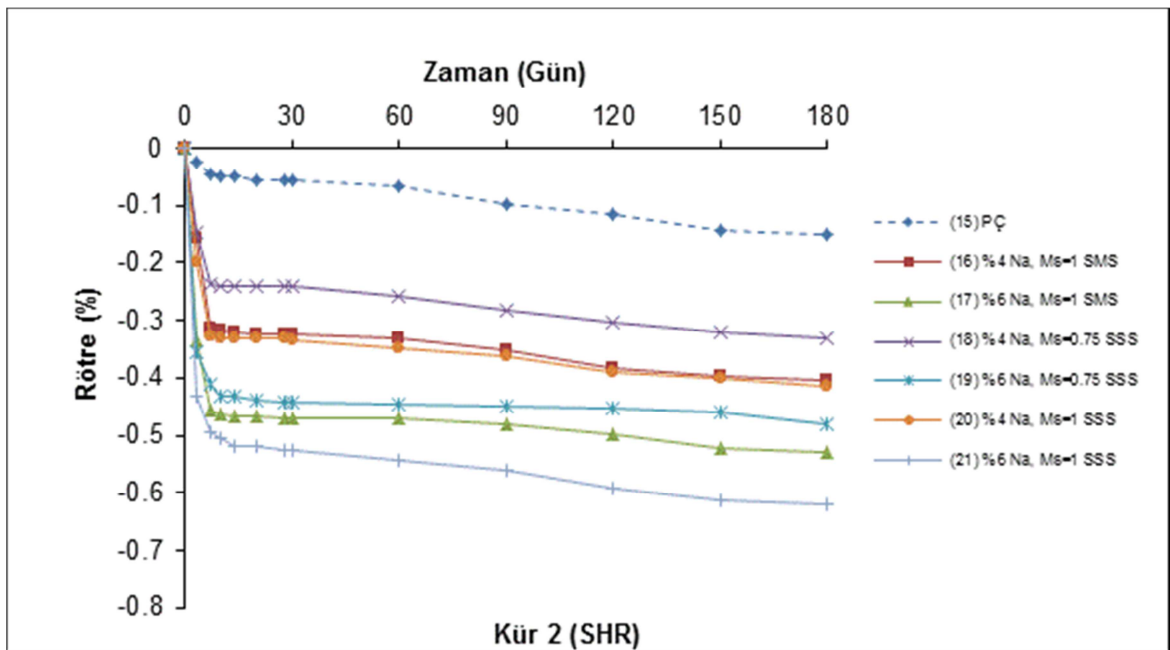
Şekil 4. 18. 23°C sıcaklık ve %95 bağıl nem altında kür edilmiş SHR içeren harçların rötre-zaman ilişkisi



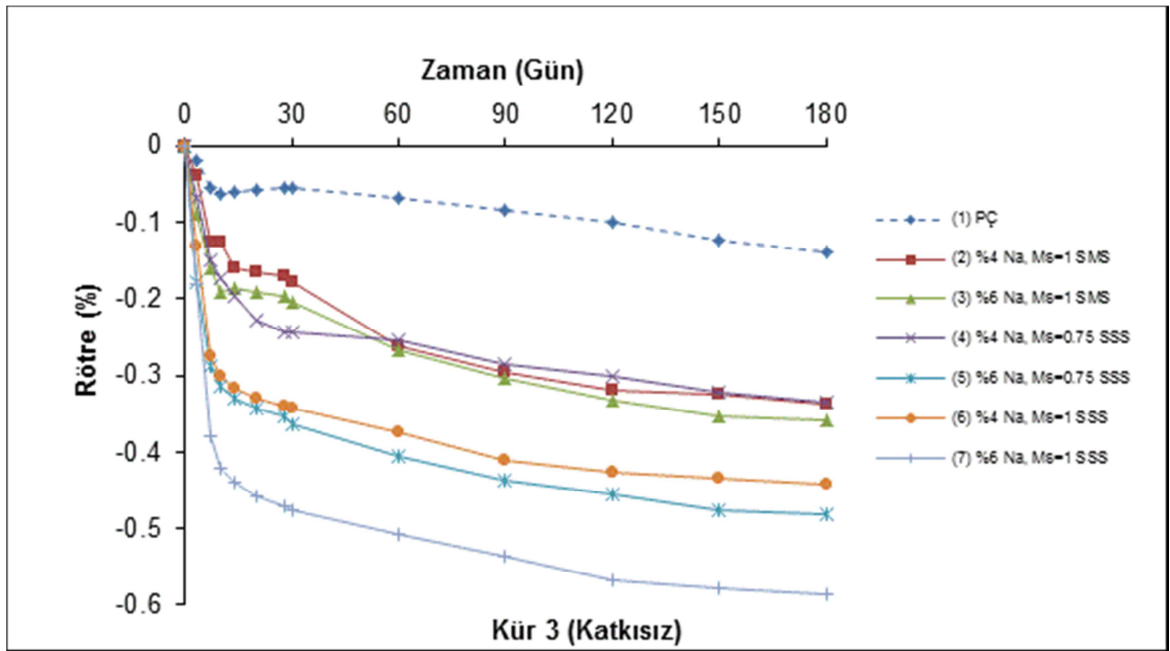
Şekil 4. 19. 23°C sıcaklık ve %50 bağıl nem altında kür edilmiş herhangi bir kimyasal katkı içermeyen harçların rötre-zaman ilişkisi



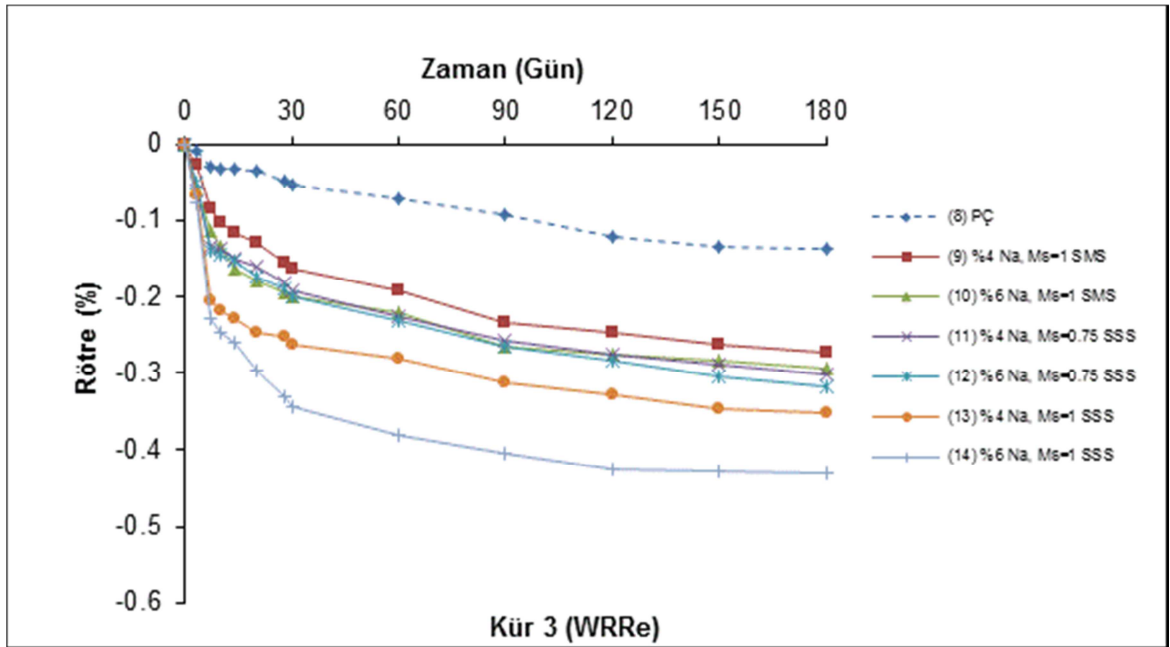
Şekil 4. 20. 23°C sıcaklık ve %50 bağıl nem altında kür edilmiş WRRe içeren harçların rötre-zaman ilişkisi



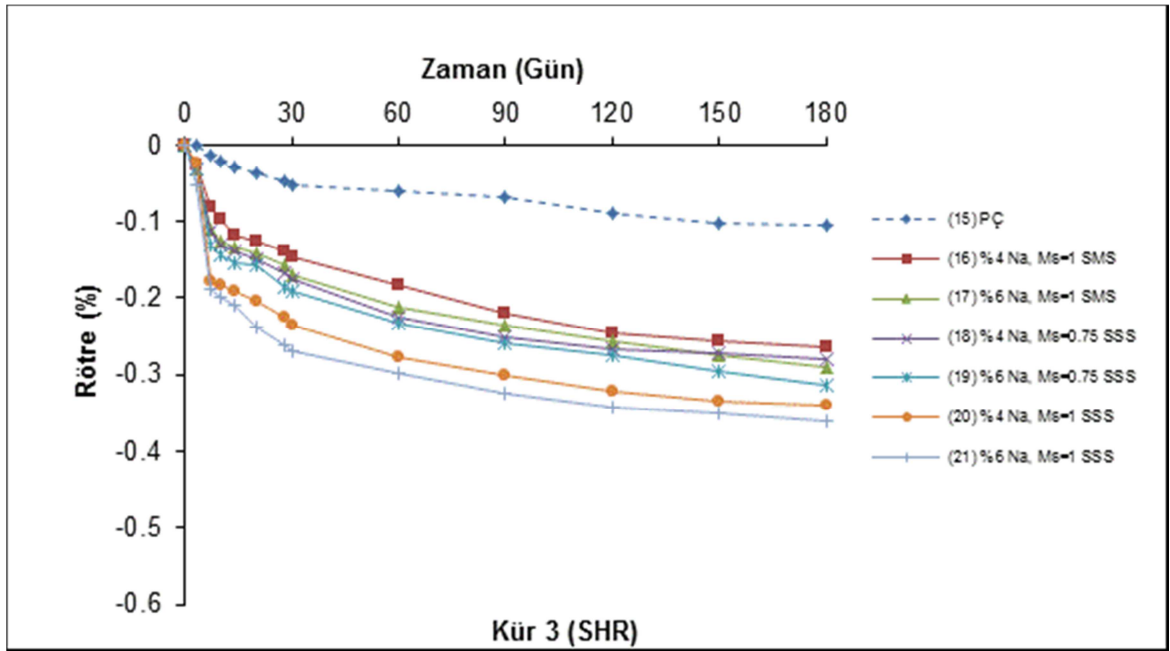
Şekil 4. 21. 23°C sıcaklık ve %50 bağıl nem altında kür edilmiş SHR içeren harçların rötre-zaman ilişkisi



**Şekil 4. 22.** 65°C sıcaklıktaki suda 5 saat ön bir kür işlemine tabi tutulduktan sonra 23°C sıcaklık ve %50 bağıl nem altında kür edilmiş herhangi bir kimyasal katkı içermeyen harçların rötre-zaman ilişkisi



**Şekil 4. 23.** 65°C sıcaklıktaki suda 5 saat ön bir kür işlemine tabi tutulduktan sonra 23°C sıcaklık ve %50 bağıl nem altında kür edilmiş WRRe içeren harçların rötre-zaman ilişkisi



Şekil 4. 24. 65°C sıcaklıktaki suda 5 saat ön bir kür işlemine tabi tutulduktan sonra 23°C sıcaklık ve %50 bağıl nem altında kür edilmiş SHR içeren harçların rötre-zaman ilişkisi

**Tablo 4. 6.** Kür 1 rejimine maruz bırakılan harçların rötire değerleri

Grup	Rötire (%)											
	No	3Gün	7Gün	10Gün	14Gün	20Gün	28Gün	30Gün	60Gün	90Gün	120 Gün	150 Gün
1	-0.0189	-0.0414	-0.0256	-0.0263	-0.0288	-0.0256	-0.0272	-0.0262	-0.0219	-0.0252	-0.0284	-0.0276
2	-0.0691	-0.2200	-0.2193	-0.2204	-0.2218	-0.2154	-0.2137	-0.2140	-0.2154	-0.2179	-0.2225	-0.2242
3	-0.2572	-0.3314	-0.3449	-0.3523	-0.3486	-0.3484	-0.3481	-0.3382	-0.3388	-0.3421	-0.3537	-0.3549
4	-0.0239	-0.2228	-0.2253	-0.2270	-0.2277	-0.2281	-0.2256	-0.2249	-0.2260	-0.2312	-0.2330	-0.2351
5	-0.1165	-0.3163	-0.3165	-0.3246	-0.3246	-0.3246	-0.3298	-0.3367	-0.3382	-0.3421	-0.3425	-0.3430
6	-0.2004	-0.2377	-0.2435	-0.2447	-0.2470	-0.2495	-0.2502	-0.2521	-0.2540	-0.2551	-0.2567	-0.2574
7	-0.4629	-0.4984	-0.5040	-0.5088	-0.5042	-0.5042	-0.5024	-0.4907	-0.4885	-0.4886	-0.4930	-0.4978
8	-0.0186	-0.0312	-0.0349	-0.0321	-0.0349	-0.0375	-0.0379	-0.0326	-0.0388	-0.0430	-0.0485	-0.0464
9	-0.0391	-0.1518	-0.1653	-0.1595	-0.1728	-0.1805	-0.1823	-0.1721	-0.1728	-0.1761	-0.1830	-0.1839
10	-0.2168	-0.2326	-0.2344	-0.2528	-0.2646	-0.2781	-0.2811	-0.2912	-0.2933	-0.2975	-0.3025	-0.3053
11	-0.0213	-0.2015	-0.2027	-0.2042	-0.2049	-0.2050	-0.2033	-0.2034	-0.2035	-0.2086	-0.2097	-0.2109
12	-0.2737	-0.2979	-0.2989	-0.2993	-0.2986	-0.2963	-0.2951	-0.3086	-0.3093	-0.3096	-0.3089	-0.3094
13	-0.0749	-0.2435	-0.2240	-0.2347	-0.2344	-0.2333	-0.2319	-0.2333	-0.2400	-0.2375	-0.2354	-0.2354
14	-0.4356	-0.4581	-0.4632	-0.4689	-0.4742	-0.4754	-0.4744	-0.4705	-0.4614	-0.4612	-0.4653	-0.4667
15	-0.0037	-0.0146	-0.0166	-0.0162	-0.0207	-0.0192	-0.0182	-0.0183	-0.0199	-0.0185	-0.0183	-0.0204
16	-0.0316	-0.1230	-0.1426	-0.1516	-0.1472	-0.1491	-0.1493	-0.1472	-0.1498	-0.1540	-0.1596	-0.1570
17	-0.0386	-0.2342	-0.2381	-0.2400	-0.2410	-0.2375	-0.2300	-0.2382	-0.2351	-0.2342	-0.2351	-0.2387
18	-0.0182	-0.1167	-0.1246	-0.1239	-0.1284	-0.1288	-0.1302	-0.1391	-0.1377	-0.1330	-0.1395	-0.1392
19	-0.1189	-0.1930	-0.1982	-0.2089	-0.2069	-0.2092	-0.2106	-0.2126	-0.2130	-0.2130	-0.2121	-0.2128
20	-0.0867	-0.2014	-0.2154	-0.2260	-0.2200	-0.2207	-0.2193	-0.2132	-0.2102	-0.2137	-0.2102	-0.2147
21	-0.4029	-0.4168	-0.4153	-0.4198	-0.4204	-0.4120	-0.4114	-0.4162	-0.4188	-0.4179	-0.4162	-0.4190

**Tablo 4. 7.** Kür 2 rejimine maruz bırakılan harçların rötre değerleri

Grup	Rötre (%)											
	No	3Gün	7Gün	10Gün	14Gün	20Gün	28Gün	30Gün	60Gün	90Gün	120 Gün	150 Gün
1	-0.0428	-0.0763	-0.0935	-0.0942	-0.0967	-0.0984	-0.0995	-0.0993	-0.1221	-0.1518	-0.1723	-0.1819
2	-0.2793	-0.4260	-0.4240	-0.4247	-0.4260	-0.4270	-0.4274	-0.4216	-0.4323	-0.4528	-0.4739	-0.4807
3	-0.4454	-0.5205	-0.6309	-0.6354	-0.6386	-0.6423	-0.6414	-0.6395	-0.6525	-0.6768	-0.6965	-0.6994
4	-0.1826	-0.3288	-0.3572	-0.3632	-0.3682	-0.3716	-0.3721	-0.3746	-0.3725	-0.4132	-0.4242	-0.4282
5	-0.5582	-0.5935	-0.6102	-0.6130	-0.6168	-0.6193	-0.6181	-0.6140	-0.6307	-0.6433	-0.6725	-0.6752
6	-0.3365	-0.4605	-0.4881	-0.4895	-0.4912	-0.4930	-0.4928	-0.4919	-0.5068	-0.5367	-0.5668	-0.5711
7	-0.5956	-0.6263	-0.6639	-0.6721	-0.6819	-0.6874	-0.6861	-0.6823	-0.6942	-0.7196	-0.7449	-0.7502
8	-0.0274	-0.0514	-0.0595	-0.0689	-0.0739	-0.0798	-0.0758	-0.0918	-0.1154	-0.1296	-0.1689	-0.1691
9	-0.2565	-0.3653	-0.3979	-0.4000	-0.4039	-0.4056	-0.4053	-0.4042	-0.4218	-0.4505	-0.4719	-0.4781
10	-0.3879	-0.4847	-0.4863	-0.4881	-0.4886	-0.4898	-0.4904	-0.5025	-0.5212	-0.5447	-0.5602	-0.5873
11	-0.0642	-0.2882	-0.2967	-0.3026	-0.3046	-0.3037	-0.3004	-0.2991	-0.3312	-0.3600	-0.3754	-0.3783
12	-0.2768	-0.4856	-0.4937	-0.4963	-0.4956	-0.4833	-0.4782	-0.4791	-0.5114	-0.5346	-0.5461	-0.5498
13	-0.2837	-0.4247	-0.4179	-0.4186	-0.4198	-0.4203	-0.4259	-0.4286	-0.4340	-0.4537	-0.4754	-0.4839
14	-0.4653	-0.6068	-0.6335	-0.6381	-0.6416	-0.6440	-0.6437	-0.6389	-0.6435	-0.6595	-0.6921	-0.7025
15	-0.0253	-0.0463	-0.0490	-0.0505	-0.0572	-0.0568	-0.0565	-0.0677	-0.0993	-0.1140	-0.1431	-0.1503
16	-0.1570	-0.3130	-0.3175	-0.3214	-0.3256	-0.3254	-0.3258	-0.3305	-0.3526	-0.3844	-0.3972	-0.4026
17	-0.3337	-0.4577	-0.4644	-0.4653	-0.4665	-0.4688	-0.4704	-0.4691	-0.4796	-0.4988	-0.5237	-0.5296
18	-0.1470	-0.2386	-0.2400	-0.2407	-0.2411	-0.2418	-0.2421	-0.2572	-0.2818	-0.3049	-0.3189	-0.3306
19	-0.3572	-0.4118	-0.4318	-0.4334	-0.4401	-0.4421	-0.4442	-0.4463	-0.4493	-0.4524	-0.4582	-0.4798
20	-0.1989	-0.3289	-0.3302	-0.3316	-0.3319	-0.3326	-0.3330	-0.3495	-0.3625	-0.3904	-0.4002	-0.4157
21	-0.4304	-0.4940	-0.5056	-0.5177	-0.5205	-0.5247	-0.5268	-0.5425	-0.5616	-0.5911	-0.6126	-0.6183

**Tablo 4. 8.** Kür 3 rejimine maruz bırakılan harçların rötire değerleri

Grup	Rötire (%)											
	No	3Gün	7Gün	10Gün	14Gün	20Gün	28Gün	30Gün	60Gün	90Gün	120Gün	150Gün
1	-0.0193	-0.0565	-0.0639	-0.0611	-0.0586	-0.0561	-0.0546	-0.0684	-0.0849	-0.1007	-0.1246	-0.1386
2	-0.0396	-0.1256	-0.1256	-0.1589	-0.1653	-0.1698	-0.1775	-0.2632	-0.2954	-0.3189	-0.3246	-0.3387
3	-0.0895	-0.1593	-0.1905	-0.1874	-0.1912	-0.1979	-0.2039	-0.2660	-0.3046	-0.3337	-0.3541	-0.3594
4	-0.0684	-0.1505	-0.1737	-0.1975	-0.2277	-0.2428	-0.2433	-0.2537	-0.2842	-0.3007	-0.3219	-0.3353
5	-0.1793	-0.2879	-0.3146	-0.3286	-0.3432	-0.3544	-0.3646	-0.4060	-0.4360	-0.4546	-0.4762	-0.4825
6	-0.1325	-0.2744	-0.3000	-0.3174	-0.3305	-0.3409	-0.3437	-0.3749	-0.4100	-0.4270	-0.4354	-0.4418
7	-0.1804	-0.3800	-0.4212	-0.4388	-0.4574	-0.4709	-0.4763	-0.5077	-0.5354	-0.5688	-0.5793	-0.5864
8	-0.0101	-0.0309	-0.0319	-0.0330	-0.0339	-0.0488	-0.0544	-0.0725	-0.0932	-0.1225	-0.1353	-0.1364
9	-0.0279	-0.0846	-0.1042	-0.1174	-0.1286	-0.1551	-0.1625	-0.1925	-0.2337	-0.2470	-0.2641	-0.2735
10	-0.0586	-0.1133	-0.1344	-0.1621	-0.1795	-0.1942	-0.1998	-0.2214	-0.2661	-0.2768	-0.2835	-0.2947
11	-0.0621	-0.1353	-0.1367	-0.1504	-0.1616	-0.1814	-0.1928	-0.2265	-0.2572	-0.2760	-0.2894	-0.3012
12	-0.0509	-0.1396	-0.1449	-0.1539	-0.1737	-0.1898	-0.1989	-0.2325	-0.2660	-0.2828	-0.3051	-0.3169
13	-0.0674	-0.2049	-0.2179	-0.2288	-0.2460	-0.2537	-0.2621	-0.2807	-0.3119	-0.3295	-0.3465	-0.3512
14	-0.0782	-0.2291	-0.2460	-0.2602	-0.2958	-0.3319	-0.3446	-0.3814	-0.4040	-0.4252	-0.4276	-0.4306
15	-0.0016	-0.0125	-0.0202	-0.0289	-0.0379	-0.0463	-0.0518	-0.0592	-0.0677	-0.0884	-0.1025	-0.1061
16	-0.0256	-0.0816	-0.0965	-0.1168	-0.1257	-0.1395	-0.1456	-0.1825	-0.2186	-0.2453	-0.2561	-0.2638
17	-0.0309	-0.1102	-0.1246	-0.1340	-0.1404	-0.1572	-0.1698	-0.2123	-0.2358	-0.2553	-0.2738	-0.2901
18	-0.0326	-0.1128	-0.1314	-0.1377	-0.1489	-0.1677	-0.1749	-0.2242	-0.2516	-0.2677	-0.2719	-0.2803
19	-0.0330	-0.1316	-0.1446	-0.1537	-0.1582	-0.1846	-0.1902	-0.2323	-0.2579	-0.2738	-0.2961	-0.3124
20	-0.0228	-0.1768	-0.1842	-0.1902	-0.2046	-0.2253	-0.2344	-0.2775	-0.3014	-0.3221	-0.3350	-0.3393
21	-0.0537	-0.1891	-0.1989	-0.2102	-0.2377	-0.2613	-0.2686	-0.2991	-0.3239	-0.3432	-0.3514	-0.3595



Elde edilen deneysel bulgular, kullanılan kimyasal katkıların, alkali ile aktive edilmiş cüruf harçlarının hacim sabitliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Dolayısıyla, 3 farklı kür koşulu altında yapılan 180 günlük rötne ölçümleri, %1 oranında kullanılan WRRe katkısının, katkısız karışımlara kıyasla, aktivasyonlu cüruf harçlarının rötne değerlerini belirli bir miktar düşürebildiğini göstermiştir. Bu bulgular, literatürde daha önce yayınlanan bir başka araştırmada da gözlenmiştir [17]. Bunun yanı sıra, söz konusu kimyasal katkının, normal Portland çimentolu harcın rötresine belirgin bir etkisinin olmadığı görülmüş olup bu sonuç, literatürdeki bir başka çalışmanın sonuçları ile de uyum içerisindedir [33]. Diğer taraftan, %1 oranında kullanıldığında, normal Portland çimentolu harcın rötresini azaltan SHR katkısının, aktive edilmiş cüruf harçlarının rötne değerlerini de önemli bir oranda düşürdüğü gözlenmiştir. SHR kimyasal katkısının kullanılması sonucunda rötne değerlerinde gözlenen bu olumlu etkinin, gözeneklerdeki suyun yüzey geriliminin azalmasına bağlı olarak zayıflayan kapiler çekme kuvvetlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. SHR katkısının kullanılması sonrasında, alkali ile aktive edilmiş cürufli bağlayıcıların rötne değerlerinde sağlanan bu iyileşme, literatürde daha önce yapılan başka araştırmaların [17,28] sonuçları ile de uyumluluk taşımaktadır.

Uygulanan kür koşulları açısından incelendiğinde ise ulaşılan sonuçlar göstermiştir ki, yüksek bağıl nemli kür ortamı, bünyesel su kaybının hızını yavaşlattığından, harç karışımlarını olumlu yönde etkileyerek kuru kür ortamına maruz bırakılanlara kıyasla daha düşük rötne değerlerinin elde edilmesinde yararlı olmuştur. Buna göre, 180 günlük sonuçlar bakımından, en yüksek rötne değerleri, 23°C sıcaklık ve %50 bağıl nem altında bekletilen harçlarından elde edilmiş, düşük bağıl nemli kuru kür ortamı, karışım suyunun gereğinden fazla buharlaşmasına ve rötrenin daha da şiddetlenmesine yol açmıştır. Diğer taraftan, Kür 3 için verilmiş şekillerden de görüldüğü gibi, numunelerin, %50 bağıl nemli kuru kür koşuluna maruz bırakılmadan evvel, 65°C sıcaklıktaki su içerisinde 5 saatlik ön bir küre tabi tutulması, özellikle erken yaşlarda olmak üzere, 180 günlük rötne değerlerini önemli oranda azaltmıştır. Bilindiği üzere, yüksek sıcaklıklarda uygulanan kür işlemi betonu, boyutsal açıdan daha stabil yapmakta ve rötreye karşı daha az duyarlı kılmaktadır [34,35,36]. Sıcak kür işlemi ile hızlanan hidrasyon reaksiyonları sonrasında meydana gelen C-S-H jelinin, rötreyi düşürecek şekilde daha

az su içeriğine sahip olmasının sıcak kür işleminin sonrasında elde edilen daha düşük rötreye değerlerinin muhtemel sebebi olabileceği düşünülmektedir [26].

Verilen bütün şekillerden de görüldüğü üzere, cürufun toz formundaki sodyum meta silikat ile aktivasyonu, aynı modül (1.0) sıvı sodyum silikat ile kıyaslandığında, daha düşük rötreye değerlerinin elde edilmesini sağlamıştır. Diğer taraftan, aktive edilmiş cüruf harçlarında, aktivasyonu hızlandırması bakımından, aktivatör Na dozajının %4'ten %6'ya çıkması, rötreyi daha da şiddetlendirerek arttırmış olup, sıvı sodyum silikat ile aktive edilmiş cüruf harçlarında, sabit Na dozajı için silikat modülünün 0.75'ten 1.0'e doğru yükselmesi de benzer şekilde rötreye değerlerinin artmasına neden olmuştur. Bu bulgular, literatür ile de uyum içerisindedir [17,20,23].

## 5. BÖLÜM

### SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yürütülen deneysel çalışmalar sonrasında elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur:

1. Cürufun, sıvı ya da toz formulu sodyum silikat ile aktivasyonu, işlenebilirlik kaybına neden olmakta ve normal Portland çimentolu harca kıyasla, yayılma değerlerini azaltmaktadır. Karışım içerisindeki Na dozajının artması durumu daha da şiddetlendirmekte olup, benzer durum modül yükselmesine bağlı olarak, sıvı sodyum silikat ile aktive edilmiş cüruf harçlarının yayılma değerlerinde de gözlenmiştir.
2. Aktive edilmiş cüruf lu harç karışımları içerisinde WRRe katkısının kullanılması, 60 dakikalık süre zarfındaki işlenebilirliği olumlu yönde etkilemiş ve yayılma değerlerini, herhangi bir katkı ihtiva etmeyen normal Portland çimentolu karışım ile kıyaslanabilecek düzeye getirmiştir. Kullanılan SHR katkısının da aktivasyonlu cüruf harçlarının yayılma değerlerini bir miktar arttırabildiği görülmüştür.
3. Sodyum silikat ile aktive edilmiş cüruf lu karışımlar, normal Portland çimentolu karışımlara kıyasla daha kısa priz süreleri sergilemişlerdir. Aktivatör Na dozajının %4'ten %6'ya artması veya sıvı sodyum silikat ile aktivasyonda, sabit bir Na dozajı için aktivatör silikat modülünün 0.75'ten 1.0'e yükselmesi, cüruf içeren karışımların başlangıç ve bitiş priz sürelerini kısaltmıştır. Diğer taraftan, cürufun toz formundaki sodyum meta silikat ile aktivasyonu sonucunda elde edilen başlangıç ve bitiş priz süreleri, aynı modül ( $M_s=1.0$ ) ve dozaja sahip sıvı sodyum silikata göre biraz daha uzun olmuştur.
4. SHR ve WRRe kimyasal katkılarının aktive edilmiş cüruf lu karışımlar içerisinde kullanıldıklarında, normal Portland çimentolu karışımlardaki kadar etkili olmadıkları, başlangıç ve bitiş priz sürelerinde küçük bir miktar artış sağlayabilmelerine karşın bu artışın yetersiz kaldığı görülmüştür.

5. Aktivatör Na dozajının artması ile birlikte cüruf içeren harçların basınç dayanımlarında da bir artışın meydana geldiği ve aktivasyon için kullanılan toz formundaki sodyum meta silikatın, 1.0 modül sıvı sodyum silikata kıyasla, daha yüksek basınç dayanımlarının elde edilmesinde daha etkili olduğu görülmüştür. Diğer taraftan, sıvı sodyum silikat ile aktive edilmiş cüruf harçlarında, sabit Na dozajı için aktivatör silikat modülünün 0.75'ten 1.0'e yükselmesi ise, basınç dayanımlarının düşmesine yol açmıştır.
6. WRRe ve SHR kimyasal katkılarının, aktivasyonlu cüruf harçlarının 2 günlük erken dönem basınç mukavemetlerinde çok az bir düşüş meydana getirdikleri, buna karşılık sonrasında ise önemli bir değişiklik yaratmadıkları gözlenmiştir.
7. Uygulanan kür koşulları arasında en düşük basınç dayanımları, 23°C sıcaklıkta %50 bağıl neme maruz bırakılan harçlar tarafından sergilenmiştir. Numunelerin, %50 bağıl nemli kuru kür koşuluna maruz bırakılmadan evvel, 65°C sıcaklıktaki su içerisinde 5 saatlik ön bir küre tabi tutulması ise, 2 ve 7 günlük harç basınç dayanımlarını önemli oranda arttırmıştır. En yüksek 28 günlük basınç mukavemetleri de genellikle, deney müddeti boyunca sürekli olarak 23°C sıcaklık ve %95 bağıl nemli ortamda tutulan harç numunelerden elde edilmiştir.
8. Aktivatör Na dozajının artması, cüruf harçlarının eğilme dayanımlarında artış meydana getirmiştir. Cürufun, toz formundaki sodyum meta silikat kullanılarak aktive edilmesi de, aynı Na dozajına sahip 1.0 modül sıvı sodyum silikat ile karşılaştırıldığında, eğilme dayanımlarını arttırmıştır. Ancak, sıvı sodyum silikat ile aktivasyonda sabit Na dozajı için, artan silikat modülü ise eğilme dayanımlarını düşürme yönünde etkilemiştir.
9. Kür koşulları açısından en yüksek 2 günlük eğilme mukavemetleri, 65°C sıcaklıktaki su içerisinde ön bir küre tabi tutulan harçlardan elde edilirken, en yüksek 7 ve 28 günlük eğilme mukavemetleri ise genellikle, deney müddeti boyunca sürekli olarak 23°C sıcaklık ve %95 bağıl nemli ortamda tutulan harç numunelerden sağlanmıştır. Harçların, %50 bağıl nemli kuru kür koşuluna maruz bırakılması ise, eğilme dayanımlarının tüm yaşlar için çok düşük değerler almasına neden olmuştur.
10. Karışım içerisine %1 oranında eklenen WRRe kimyasal katkısı, aktivasyonlu cüruf harçlarına ait 2 günlük erken dönem eğilme dayanımlarında genellikle önemsiz miktarda bir düşüş meydana getirmiş, buna karşılık daha sonrası için ciddi bir değişiklik ortaya çıkarmamıştır. Ancak, SHR katkısının büzülme çatlaklarını sınırlandırmak

suretiyle aktive edilmiş cüruf harçlarının 7 ve 28 günlük eğilme dayanımlarında bir miktar gelişme sağladığı gözlenmiştir.

11. Kür koşullarının, alkali ile aktive edilmiş cüruf harçlarının mukavemet gelişiminde kritik bir öneme sahip olduğu ve sıcak kür işlemine maruz bırakıldıklarında, aktive edilmiş cüruf harçlarının erken dönem mukavemet gelişiminin, Portland çimentolu karışımlardan çok daha hızlı olduğu belirlenmiştir.

12. Aktive edilmiş cüruf karışımlarında, sabit bir Na dozajı için kür koşullarında yapılacak bir iyileştirmenin, aktivatör dozajında yapılacak bir artış kadar etkili olabileceği ve dayanım gelişimine katkı sağlayabileceği görülmüştür.

13. Cürufun sıvı ya da toz sodyum silikat kullanılarak aktive edilmesi sonrası elde edilen tüm karbonatlaşma derinliği değerleri, deney süresi sonunda Portland çimentolu kontrol harcından daha yüksek olmuştur.

14. Ölçümlerin yapıldığı 28 günlük deney süresi boyunca %95 bağıl nem altında kür edilen harç numunelerinde herhangi bir karbonatlaşma olayı gözlenmemiştir. Ancak, bağıl nemin %95'den %50'ye düşmesi ile birlikte harçların da 7.günden itibaren karbonatlaşma yapmaya başladıkları görülmüştür. Bununla birlikte, harç numunelerinin %50 bağıl nemli kuru kür koşuluna maruz bırakılmadan evvel, 65°C sıcaklıktaki su içerisinde 5 saatlik ön bir küre tabi tutulması, salt kuru kür koşuluna bırakılan numunelere göre, karbonatlaşma yapan kısımlarının kalınlığında düşüş meydana getirmiştir.

15. Aktive edilmiş cüruf harçlarında, belirli bir kür yaşı için Na dozajında yapılan artışın, karbonatlaşma derinliklerini düşürdüğü ve benzer şekilde, cürufun toz formundaki sodyum meta silikat ile aktivasyonunun da aynı modül (1.0) sıvı sodyum silikat ile kıyaslandığı zaman, daha düşük karbonatlaşma değerlerinin elde edilmesinde yararlı olduğu gözlenmiştir. Ancak, sıvı sodyum silikat ile aktivasyonda ise, sabit Na dozajı için artan silikat modülünün karbonatlaşma derinliklerinde bir miktar artış meydana getirdiği belirlenmiştir.

16. Aktive edilmiş cüruf harçlarına %1 oranında eklenen WRRe katkısının, karbonatlaşma değerlerini çok fazla etkilemediği, buna karşılık, SHR katkısının ise karbonatlaşma derinliklerini bir miktar azaltacak yönde bir davranış sergilediği gözlenmiştir.

17. Kullanılan aktivatör türü ne olursa olsun, aktivasyonlu cüruf harçlarından elde edilen rötre değerleri, Portland çimentolu kontrol karışımından daha yüksek olmuştur.

18. Hızlanan aktivasyon reaksiyonlarına bağlı olarak, aktive edilmiş cüruf harçlarında aktivatör Na dozajının %4'ten %6'ya çıkması, rötreyi daha da şiddetlendirerek arttırmıştır. Benzer şekilde, sıvı sodyum silikat ile aktive edilmiş cüruf harçlarında, sabit Na dozajı için silikat modülünün 0.75'ten 1.0'e doğru yükselmesi de, rötreye değerlerinin artmasına neden olmuştur. Cürufun toz formundaki sodyum meta silikat ile aktivasyonu, aynı modül (1.0) sıvı sodyum silikat ile kıyaslandığında, daha düşük rötreye değerlerinin elde edilmesini sağlamıştır.

19. Kuru kür ortamı, karışım suyunun gereğinden fazla buharlaşmasına ve rötrenin daha da şiddetlenmesine yol açtığından, 180 günlük sonuçlar bakımından, en yüksek rötreye değerleri, 23°C sıcaklık ve %50 bağıl nem altında bekletilen harçlarından elde edilmiştir. Bağıl nemin %95'e çıkması ile birlikte harçların rötreye değerlerinde de bir azalma gözlenmiş olup, yüksek bağıl nemli kür ortamı, kuru kür ortamına maruz bırakılanlara kıyasla daha düşük rötreye değerlerinin elde edilmesinde yararlı olmuştur. Diğer taraftan, numunelerin, %50 bağıl nemli kuru kür koşuluna maruz bırakılmadan evvel, 65°C sıcaklıktaki su içerisinde 5 saatlik ön bir küreye tabi tutulması, özellikle erken yaşlarda olmak üzere, harçların 180 günlük rötreye değerlerinde önemli oranda düşüş sağlamıştır.

20. Uygulanan sıcak su kürü işleminden sonra, aktive edilmiş cüruf harçlarının yüksek bağıl nemli bir ortamda tutulmasının, rötrenin tekrar artış göstermesine engel olunması bakımından daha yararlı olacağı düşünülmektedir.

21. Ulaşılan deneysel bulgulardan, kullanılan kimyasal katkıların, alkali ile aktive edilmiş cüruf harçlarının hacim sabitliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüş olup, SHR katkısının, aktive edilmiş cüruf harçlarının rötreye değerlerini önemli bir oranda düşürdüğü, WRRe katkısının da, rötreye değerlerini azaltmada yararlı olabildiği belirlenmiştir. Dolayısıyla, aktivasyonlu cüruf harçlarında meydana gelen rötrenin, WRRe veya SHR kullanımına ek olarak, uygulanacak daha etkili bir kür yöntemi ile birlikte önemli oranda azalabileceği ve normal Portland çimentosu harcınınkine ile kıyaslanabilecek makul bir düzeye yaklaşabileceği düşünülmektedir.

Deneysel araştırma kapsamında elde edilen sonuçlar, bu yeni tip bağlayıcıların hızlı priz alma ve yüksek kuruma rötresi gibi problemlerinin çözümünde, ilave çalışmalar yapılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla, normal Portland çimentosu için geliştirilmiş olan bu katkıların alkali ile aktive edilmiş cürufli bağlayıcılar üzerinde

meydana getireceği etkiler,farklı dozaj ve türler için de kesinlikle araştırılmalı ve ulaşılan bulgular, bu çalışmanın sonuçlarıyla da karşılaştırılmalıdır.Ayrıca, çeşitli tip ve özellikte katkı kullanımının yanı sıra, atmosferik ya da basınçlı buhar kürü gibi daha başka kür koşullarının etkileri de, yine ileride yapılacak diğer çalışmalar kapsamında ele alınması gereken konular arasında görülmelidir.

## KAYNAKLAR

1. Wang, S. D., 2000. The Role of Sodium During The Hydration of Alkali-Activated Slag, **Advances in Cement Research**, (12), 65-69.
2. Puertas, F., Amat, T., Fernández-Jiménez, A., Vázquez, T., 2003. Mechanical and Durable Behaviour of Alkaline Cement Mortars Reinforced with Polypropylene Fibres, **Cement and Concrete Research**, (33), 2031–2036.
3. Palacios, M., Puertas, F., 2007. Effect of Shrinkage-Reducing Admixtures on The Properties of Alkali-Activated Slag Pastes and Mortars, **Cement and Concrete Research**, (37), 691–702.
4. Neto, A.A.M., Cincotto, M.A., Repette, W., 2008. Drying and Autogenous Shrinkage of Pastes and Mortars with Activated Slag Cement, **Cement and Concrete Research**, (38), 565–574.
5. Tokyay, M., 2003. Cürufklar ve Cürufllu Çimentolar, *Araştırmaların Gözden Geçirilmesi ve Durum Değerlendirmesi Raporu*, TÇMB, Ankara,
6. Wang, S.D., Pu, X.C., 1995. Scrivener, K.L., Pratt, P.L., Alkali-Activated Slag Cement and Concrete: A Review of Properties and Problems, **Advances in Cement Research**, (27), 93–102.
7. Yang, K.H., Song, J.K., Ashour, A.F., Lee, E.T., 2008. Properties of Cementless Mortars Activated by Sodium Silicate, **Construction and Building Materials**, (22), 1981–1989,
8. Richardson, I.G., Brough, A.R., Groves, G.W., Dobson, C.M., 1994. The Characterization of Hardened Alkali-Activated Blast-Furnace Slag Pastes and The Nature of The Calcium Silicate Hydrate (C-S-H) Phase, **Cement and Concrete Research**, (24), 813–829,
9. TS EN 197-1, 2002. Çimento - Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
10. TS EN 196-1, 2009. Çimento Deney Metotları - Bölüm 1: Dayanım Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.



11. TS EN 1015-3, 2000. Kâgir Harcı Deney Metotları-Bölüm 3: Taze Harç Kıvamının Tayini (Yayıma Tablası ile), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
12. TS EN 196-3, 2002. Çimento Deney Metotları - Bölüm 3: Priz Süresi ve Genleşme Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
13. TS EN 1015-11, 2000. Kâgir Harcı Deney Metotları-Bölüm 11: Sertleşmiş Harcın Basınç ve Eğilme Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
14. ASTM C596, 2009. Standard Test Method for Drying Shrinkage of Mortar Containing Hydraulic Cement, American Society for Testing and Materials.
15. Caijun, S., Yinyu, L., 1989. Investigation on Some Factors Affecting The Characteristics of Alkali-phosphorus Slag Cement, **Cement and Concrete Research**, (19), 527–533.
16. Douglas, E., Bilodeau, A., Brandstetr, J., Malhotra, V.M., 1991. Alkali Activated Ground Granulated Blast-Furnace Slag Concrete: Preliminary Investigation, **Cement and Concrete Research**, (21), 101–108.
17. Bakharev, T., Sanjayan, J.G., Cheng, Y.B., 2000. Effect of Admixtures on Properties of Alkali Activated Slag Concrete, **Cement and Concrete Research**, (30), 1367–1374.
18. Palacios, M., Puertas, F., 2004. Stability of Superplasticizer and Shrinkage-reducing Admixtures in High Basic Media, **Materiales de Construcción**, (54), 65–86.
19. Palacios, M., Puertas, F., 2005. Effect of Superplasticizer and Shrinkage-reducing Admixtures on Alkali-activated Slag Pastes and Mortars, **Cement and Concrete Research**, (35), 1358–1367,
20. Atış, C.D., Bilim, C., Çelik, Ö., Karahan, O., 2009. Influence of Activator on The Strength and Drying Shrinkage of Alkali-activated Slag Mortar, **Construction and Building Materials**, (23), 548–555,

21. Wang, S.D., Pu, X.C., 1992. The Role of Different Anions and Cations of Alkali Component in The Process of Hydration of Alkali-slag Blend Proceedings, pp: 803-810. *CANMET/ACI Fourth International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, 1996 Istanbul-Turkey.*
22. Bakharev, T., Sanjayan, J.G., Cheng, Y.B., 1999. Alkali Activation of Australian Slag Cements, **Cement and Concrete Research**, (29), 113–120.
23. Krizan, D., Zivanovic, B., 2002. Effects of Dosage and Modulus of Water Glass on Early Hydration of Alkali-Slag Cements, **Cement and Concrete Research**, (32), 1181–1188.
24. Al-Otaibi, S., 2008. Durability of Concrete Incorporating GGBS Activated by Water-glass, **Construction and Building Materials**, (22), 2059–2067.
25. Neville, A.M., Properties of Concrete, *Longman Scientific & Technical*, England,
26. Bakharev, T., Sanjayan, J.G., Cheng, Y.B., 1999. Effect of Elevated Temperature Curing on Properties of Alkali-activated Slag Concrete, **Cement and Concrete Research**, (29), 1619–1625.
27. Collins, F., Sanjayan, J.G., 1999. Strength and Shrinkage Properties of Alkali-activated Slag Concrete Containing Porous Coarse Aggregate, **Cement and Concrete Research**, (29), 607–610.
28. Bakharev, T., Sanjayan, J.G., Cheng, Y.B., 1999. Alkali Activation of Australian Slag Cements, **Cement and Concrete Research**, 29, 113–120.
29. Collins, F., Sanjayan, J.G., 2000. Cracking Tendency of Alkali-activated Slag Concrete Subjected to Restrained Shrinkage, **Cement and Concrete Research**,(30), 791–798.
30. Collins, F., Sanjayan, J.G., 2001. Microcracking and Strength Development of Alkali Activated Slag Concrete, **Cement and Concrete Composites**,(23), 345–352.
31. Bakharev, T., Sanjayan, J.G., Cheng, Y.B., 2001. Resistance of Alkali-activated Slag Concrete to Carbonation, **Cement and Concrete Research**,(31), 1277–1283.

32. Bernal, S.A., Gutiérrez, R.M.D., Pedraza, A.L., Provis, J.L., Rodriguez, E.D., Delvasto, S., 2011. Effect of Binder Content on The Performance of Alkali-activated Slag Concretes, **Cement and Concrete Research**, (41), 1–8.
33. Al-Saleh, S.A., Al-Zaid, R.Z., 2006. Effects of Drying Conditions, Admixtures and Specimen Size on Shrinkage Strains, **Cement and Concrete Research**, (36), 1985–1991.
34. Palacios, M., Puertas, F., 2006. Effect of Carbonation on Alkali-activated Slag Paste, **Journal of American Ceramic Society**, (89), 3211–3221.
35. Kjellsen, K.O., Detwiller, R.J., Gjørsv, O.E., 1990. Backscattered Electron Imaging of Cement Pastes Hydrated at Different Temperatures, **Cement and Concrete Research**, (20), 308–311.
36. Taylor, H.F.W., 1990. *Cement Chemistry*, Academic Press, London,

## ÖZ GEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı : Serhan İLKENTAPAR  
 Uyruğu : Türkiye (TC)  
 Doğum Tarihi ve Yeri: 24 Kasım 1986, Kayseri  
 Medeni Durumu : Bekâr  
 Tel : +90 505 735 07 88  
 e-mail : serhan@erciyes.edu.tr  
 Yazışma Adresi : Erciyes Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü

Talas/KAYSERİ

### EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	ERÜ İnşaat Mühendisliği	2010
Lise	Özel Erciyes Lisesi, Kayseri	2004

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2010- Halen	Erciyes Üniversitesi İnşaat Mühendisliği	Arş.Gör.

### YABANCI DİL

İngilizce

### YAYINLAR

1.Bilim C., Karahan O., Atış C., İlkentapar S., "Influence Of Admixtures On The Properties Of Alkali-Activated Slag Mortars Subjected To Different Curing Conditions", Materials and Design, vol.44, pp.540-547, 2013