

**T.C.**  
**GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAFİF AGREGALAR İÇEREN HARÇLARDA FARKLI AGREGA,  
ÇİMENTO VE ELYAF TİPİNİN ISI İLETKENLİK VE YANGIN  
DAYANIM PERFORMANSINA ETKİSİ**

**FERDİ ESER**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GEBZE**  
**2022**

**T.C.**  
**GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAFİF AGREGALAR İÇEREN**  
**HARÇLARDA FARKLI AGREGA,**  
**ÇİMENTO VE ELYAF TİPİNİN ISI**  
**İLETKENLİK VE YANGIN DAYANIM**  
**PERFORMANSINA ETKİSİ**

**FERDİ ESER**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMANI**  
**DOÇ. DR. TAYFUN ALTUĞ SÖYLEV**

**GEBZE**  
**2022**

**T.R.**  
**GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY**  
**GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

**THE EFFECT OF DIFFERENT  
AGGREGATE, CEMENT AND FIBER  
TYPES ON THERMAL CONDUCTIVITY  
AND FIRE RESISTANCE  
PERFORMANCE IN MORTARS  
CONTAINING LIGHT AGGREGATE**

**FERDİ ESER**  
**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF SCIENCE**  
**DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING**

**THESIS SUPERVISOR**  
**ASSOC.PROF.DR. TAYFUN ALTUĞ SÖYLEV**

**GEBZE**  
**2022**



## YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 23/06/2022 tarih ve 2022/31 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 28/06/2022 tarihinde tez savunma sınavı yapılan FERDİ ESER'in tez çalışması Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

### JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI)

: DOÇ. DR. TAYFUN ALTUĞ SÖYLEV

ÜYE

: DR. ÖĞR. ÜYESİ ÖZGÜN YÜCEL

ÜYE

: DR. ÖĞR. ÜYESİ İSMAİL KILIÇ

### ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
...../...../..... tarih ve ...../..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

## ÖZET

Bu çalışmada farklı boyutlarda ve tiplerde agrega, çimento ve elyaf tipleri kullanımları ile çimento esaslı hafif ağırlıklı sıva hazırlanmıştır. Çalışmada, yangın performansına etkisi Avrupa Normları (EN) dikkate alınmıştır. Tüm formüllerde hafif agrega olarak vermikülit ve perlit içeren hacmen aynı oranlarda kullanılmıştır. Çimento tipleri olarak, Cem I tip gri renk portland çimento, Cem I tipi beyaz renk portland çimento, kalsiyum alüminatlı çimento ve kalsiyum alüminatlı refrakter çimentolar kullanılmıştır. Çalışmalarda, farklı boyutlarda kalsiyum karbonat agregalar kullanılarak, agreganın etkisi gözlenmiştir. Kalsiyum karbonat agrega çalışmalarına ek olarak, benzer agrega boyutunda silis kumu agregası kullanılarak test performansları incelenmiştir. Son olarak da, farklı elyaf ürünleri formülasyona eklenerek, yangın dayanımına etkisi incelenmiştir. Basınç dayanımı sonuçları yanında EN 998-1 standardında yer alan diğer testler de gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, tüm çalışmalarda, 800 °C derecelik ısıya 2 saat boyunca maruz kalmaları sonrasında kütle kayıpları olduğu ve basınç dayanım değerlerinin başlangıç değerlerine göre daha düşük basınç dayanımı performansı gösterdikleri görülmüştür. Ürünlerin performansına en yüksek etkinin elyaf kullanımı olan ürünlerde olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler: Elyaf Katkı, Hafif Termal Sıva, Yangın Dayanımı, Portland Çimento, EN-998-1.**

## SUMMARY

In this study, cement based light weight plaster was prepared by using different sizes and types of aggregate, cement and fiber types. In the study, the effect of the European Norms (EN) on the fire performance was taken into account. In all formulas, vermiculite and perlite containing light aggregates were used in the same proportions by volume. As cement types, Cem I type gray color portland cement, Cem I type white color portland cement, calcium aluminate cement and calcium aluminate refractory cements were used. In the studies, the effect of the aggregate was observed by using calcium carbonate aggregates of different sizes. In addition to calcium carbonate aggregate studies, test performances were investigated using silica sand aggregate with similar aggregate size. Finally, different fiber products were added to the formulation and their effect on fire resistance was investigated. In addition to the compressive strength results, other tests in the EN 998-1 standard were also carried out. As a result, in all studies, it was observed that after being exposed to 800 °C heat for 2 hours, mass losses occurred and their compressive strength values showed lower compressive strength performance than the initial values. It has been observed that the highest effect on the performance of the products is in the products with fiber use.

**Key Words: Fiber Additive, Lightweight Thermal Plaster, Fire Resistance, Portland Cement, EN-998-1.**

# TEŞEKKÜR

Başta, yüksek lisans eğitimimde ve akademik hayatımda desteğini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyip bilgisi ile bu çalışmanın oluşmasının yolunu açan danışmanım Doç Dr. Tayfun Altuğ SÖYLEV'e,

Tez çalışmamı desteklemelerinden ve her türlü imkanı sağlamalarından dolayı başta değerli yöneticim Sayın Hasan ŞEREFHAN ve Eski Yöneticim Handan AYDIN KESKİNEL'e ve Dyo Boya Fabrikaları'na,

Çalışma Arkadaşlarım Kenan SABAK, Fidan BAL, Cangül GÜMÜŞ, Metin KARAKAYA'ya,

Akademik desteklerinden dolayı Dr. Sadullah ÇELİK'e,

ve göstermiş olduğu sabır ve desteklerinden dolayı sevgili eşim Sinem ESER'e, oğlum Musab Yiğit ESER'e ve minik kızım Ayşegül ESER'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

# İÇİNDEKİLER

|                                                       | <b>Sayfa</b> |
|-------------------------------------------------------|--------------|
| ÖZET                                                  | v            |
| SUMMARY                                               | vi           |
| TEŞEKKÜR                                              | vii          |
| İÇİNDEKİLER                                           | viii         |
| SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ                        | x            |
| ŞEKİLLER DİZİNİ                                       | xii          |
| TABLolar DİZİNİ                                       | xiv          |
| <br>                                                  |              |
| 1. GİRİŞ                                              | 1            |
| 1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği                  | 3            |
| 2. GENEL BİLGİ                                        | 5            |
| 2.1. Sıva                                             | 5            |
| 2.2. Çimento Esaslı Sıva Performans Testleri          | 7            |
| 2.3. Yangın Performansları                            | 11           |
| 2.3.1. Yangına Tepki ve Yangına Dayanım               | 11           |
| 3. MATERYAL VE METOT                                  | 13           |
| 3.1. Çimento Esaslı Sıva Bileşenleri                  | 14           |
| 3.1.1. Çimentolar                                     | 14           |
| 3.1.2. Hafif Agregalar                                | 16           |
| 3.1.2.1. Perlitler                                    | 16           |
| 3.1.2.2. Vermikülitler                                | 17           |
| 3.1.3. Agregalar                                      | 18           |
| 3.1.4. Polimerler                                     | 19           |
| 3.1.5. Diğer Kimyasallar                              | 22           |
| 3.2. Deneylerde Kullanılan Hammaddeler ve Kimyasallar | 24           |
| 3.2.1. Çimentolar                                     | 24           |
| 3.2.1.1. Portland Gri Çimento                         | 24           |
| 3.2.1.2. Portland Beyaz Çimento                       | 26           |
| 3.2.1.3. Kalsiyum Alüminatlı Çimento                  | 27           |

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| 3.2.1.4. Kalsiyum Alüminatlı Refrakter Çimento                | 27 |
| 3.2.2. Agregalar                                              | 29 |
| 3.2.2.1. Genleştirilmiş Hafif Vermikülit Agregası             | 29 |
| 3.2.2.2. Genleştirilmiş Hafif Perlit Agregası                 | 30 |
| 3.2.2.3. Kalsiyum Karbonat Agregası                           | 32 |
| 3.2.2.4. Silis Agregası                                       | 33 |
| 3.2.3. Kimyasal Katkılar                                      | 35 |
| 3.2.3.1. Toz Polimerler                                       | 35 |
| 3.2.4. Diğer Kimyasallar                                      | 36 |
| 3.2.4.1. Selüloz Eter                                         | 36 |
| 3.2.4.2. Polipropilen ve Poliakrilamid (Polyamid) Elyaf Katkı | 36 |
| 3.3. Kullanılan Cihazlar ve Karakterizasyon Metodları         | 37 |
| 3.3.1. Retsch Elek Analiz Cihazı                              | 37 |
| 3.3.2. Harç Karıştırma Mikseri                                | 38 |
| 3.3.3. Viskozimetre ve Flow Table                             | 39 |
| 3.3.4. Taze Harç Yoğunluğu ve Harç Hava İçerik Cihazı         | 41 |
| 3.3.5. Nüve MF 106T Model Kül Fırını                          | 42 |
| 3.3.6. TA Fox 314 Model Isı Akış Ölçer                        | 43 |
| 3.3.7. Malvern Mastersize 2000 Model Partikül Sayacı          | 45 |
| 3.3.8. Zwick Z050 Model Universal Test Cihazı                 | 46 |
| 3.4. Çimento Esaslı Hafif Sıva Formülasyonları                | 48 |
| 4. BULGULAR VE TARTIŞMA                                       | 55 |
| 4.1. Harç Yoğunluk Sonuçları                                  | 55 |
| 4.2. Sertleşmiş Yoğunluk ve Termal Performans Değerleri       | 57 |
| 4.3. Aderans Değerleri                                        | 62 |
| 4.4. Basınç Dayanımları                                       | 64 |
| 4.5. Basınç Dayanımlarında ve Kütlelerde Değişimler           | 67 |
| 5. SONUÇLAR                                                   | 83 |
| KAYNAKLAR                                                     | 85 |
| ÖZGEÇMİŞ                                                      | 90 |
| EKLER                                                         | 91 |

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler ve    Acıklamalar Kısaltmalar

|                      |                                                       |
|----------------------|-------------------------------------------------------|
| A                    | : Deney parçasının tanımlanan ölçme alanı             |
| d                    | : Isı iletkenlik numunesinin kalınlığı                |
| D <sub>10</sub>      | : %10 Kümülatif Yüzde Değerinde Parçacık Boyutu       |
| D <sub>50</sub>      | : %50 Kümülatif Yüzde Değerinde Parçacık Boyutu       |
| D <sub>90</sub>      | : %90 Kümülatif Yüzde Değerinde Parçacık Boyutu       |
| D <sub>100</sub>     | : %100 Kümülatif Yüzde Değerinde Parçacık Boyutu      |
| F                    | : Kuvvet                                              |
| $\lambda$            | : Isı İletkenlik Katsayısı                            |
| sn                   | : Saniye                                              |
| mm <sup>2</sup>      | : Milimetre kare                                      |
| N                    | : Newton                                              |
| N/mm <sup>2</sup>    | : Newton/milimetre kare                               |
| $\rho_{\text{Toz}}$  | : Görünür Toz Yoğunluk                                |
| $\rho_{\text{Harç}}$ | : Harç Yoğunluk                                       |
| $\rho$               | : Sertleşmiş Yoğunluk                                 |
| $\pi$                | : Pi sayısı                                           |
| $\mu$                | : Su Buharı Geçirgenlik Katsayısı                     |
| W <sub>c1</sub>      | : Su Absorbsiyon Sınıfı                               |
| T <sub>1</sub>       | : Deney parçasının sıcak yüzeyinin ortalama sıcaklığı |
| T <sub>2</sub>       | : Deney parçasının soğuk yüzeyinin ortalama sıcaklığı |
| CR                   | : Renkli Dış Sıva Harcı                               |
| EN                   | : Avrupa Normu                                        |
| GP                   | : Genel Amaçlı Dış/İç Sıva Harcı                      |
| ISO                  | : Uluslararası Standart Organizasyonu                 |
| LW                   | : Hafif Dış/İç Sıva Harcı                             |
| OC                   | : Tek Kat Harici Kullanım Dış Sıva Harcı              |

R : Renovasyon Sıva Harcı  
S : Alan  
T : Termal Sıva Harcı  
TS : Türk Standartları  
T.S.E. : Türk Standartları Enstitüsü



# ŞEKİLLER DİZİNİ

| <b><u>Sekil No:</u></b>                                                                                                          | <b><u>Sayfa</u></b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 1.1: Yangın Dayanımı Uygulamaları Yapılmayan Çelik Yapıların Yüksek Isı Karşısında Davranışı.                                    | 1                   |
| 1.2: Taşıyıcılarda Yangın Yalıtımının Sıva İle Uygulanması.                                                                      | 2                   |
| 1.3: Kolonda Sıva İle Yapılan Yangın Yalıtımı Örneği.                                                                            | 2                   |
| 3.1: Alite Fazın Kahverengi Olduğu, Belite Fazın Mavi Renk Olduğu Mikroskopik Faz Görüntüleri                                    | 15                  |
| 3.2: Molekül Selülozun Kimyasal Yapısı ( $DP'si = 2n+2$ ).                                                                       | 22                  |
| 3.3: Genleştirilmiş Vermikülit Agregası.                                                                                         | 29                  |
| 3.4: Genleştirilmiş Perlit Agregası Görşeli.                                                                                     | 31                  |
| 3.5: Retsch Marka Elek Sarsma Cihazı.                                                                                            | 38                  |
| 3.6: Mikser Marka Standart Harç Karıştırma Makinesi.                                                                             | 39                  |
| 3.7: Düşük, Orta Ve Yüksek Kesme Akışı İçin Viskozimetre Cihazları (Brookfield, Krebs Unit Ve İc1 Cone Viskozimetreleri.).       | 39                  |
| 3.8: Flowtable Taze Harç Yayılma Tablası (TS EN 1015-3'e Göre).                                                                  | 40                  |
| 3.9: Formtest Harç Hava İçerik Test Ekipmanı.                                                                                    | 41                  |
| 3.10: Nüve MF 106T Marka Kül Fırını.                                                                                             | 43                  |
| 3.11: TA Instruments Fox 314 Isı İletkenlik Katsayısı Ölçüm Cihazı İç Mekanizma Görüntüsü.                                       | 44                  |
| 3.12: TA Instruments Fox 314 Isı İletkenlik Katsayısı Ölçüm Cihazı İçin Numune Hazırlanması Ve Numunenin Cihaza Yerleştirilmesi. | 45                  |
| 3.13: Malvern Mastersizer 2000 Model Malvern Partikül Sayacı.                                                                    | 46                  |
| 3.14: Zwick Z050 Model Universal Test Cihazında Yapılan Çekme,Eğilme Ve Basınç Dayanımı Testleri.                                | 47                  |
| 4.1: 28 Günün Sonunda Genel Basınç Dayanımı Test Değerleri Görünümü.                                                             | 64                  |
| 4.2: Farklı Çaplardaki Kalsiyum Karbonat Agregası Kullanımında Basınç Dayanımı Test Değerleri.                                   | 65                  |

|       |                                                                                                                                                                                    |    |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.3:  | Benzer Çaplardaki Kalsiyum Karbonat Agregası Veya Silis Kullanımında Basınç Dayanımı Test Değerleri.                                                                               | 66 |
| 4.4:  | Aynı Çapta Kalsiyum Karbonat Agregası Kullanımında Farklı Tip Elyaf Kullanımında Basınç Dayanımı Test Değerleri.                                                                   | 67 |
| 4.5:  | Kül Fırınında 800 °C'ye Maruz Kalan Numunelerde Oluşan Çatlak Görüntüsü.                                                                                                           | 68 |
| 4.6:  | Kül Fırınında 800 °C'ye Maruz Kaldıktan Sonraki Basınç Dayanımı Değerleri.                                                                                                         | 68 |
| 4.7:  | Kül Fırınında 800 °C'ye Maruz Kaldıktan Sonraki Genel Kütle Değişimleri.                                                                                                           | 69 |
| 4.8:  | Farklı Çaplardaki Kalsiyum Karbonat Agregası Kullanımında Basınç Dayanım Test Değerlerinin 800 °C Isıya Maruziyeti Sonrası Genel Test Sonuçları.                                   | 70 |
| 4.9:  | Farklı Çaplardaki Kalsiyum Karbonat Agregası Kullanımında 800 °C Isıya Maruziyeti Sonrası Kütle Değişimleri Oranı.                                                                 | 70 |
| 4.10: | Benzer Çaplardaki Kalsiyum Karbonat Agregası Veya Silis Kullanımında Basınç Dayanımı Test Değerlerinin 800 °C Isıya Maruziyeti Sonrası Test Sonuçları.                             | 76 |
| 4.11: | Benzer Çaplardaki Kalsiyum Karbonat Agregası Veya Silis Kullanımında 800 °C Isıya Maruziyeti Sonrası Kütle Değişimleri Oranı.                                                      | 76 |
| 4.12: | Aynı Çapta Kalsiyum Karbonat Agregası Kullanımının, Farklı Tip Elyaf Kullanımında, 800 °C Isıya Maruziyetleri Sonrası Basınç Dayanımı Değerleri (Çimento Tiplerinin Kıyaslanması). | 80 |

## TABLÖLAR DİZİNİ

| <b><u>Tablo No:</u></b>                                                                                           | <b><u>Sayfa</u></b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 2.1: Avrupa Direktifi EN 998-1'e Göre Sıva Türleri.                                                               | 6                   |
| 2.2: Avrupa Direktifi EN 998-1'e Göre Performans Kategorileri.                                                    | 8                   |
| 2.3: Avrupa Direktifi EN 998-1'e Göre Performans Gerekleri.                                                       | 10                  |
| 2.4: Yapı Elemanlarının Yangına Dayanım Süreleri (Dakika).                                                        | 12                  |
| 3.1: Çeşitli Sıvaların Birim Ağırlıkları ve Isı İletkenlikleri.                                                   | 17                  |
| 3.2: Selülozların Son Kullanım Alanları.                                                                          | 23                  |
| 3.3: Doğal ve Doğal Olmayan Yapay Elyaf Çeşitleri.                                                                | 23                  |
| 3.4: Gri Portland Çimento Kimyasal ve Fiziksel Analiz Değerleri.                                                  | 25                  |
| 3.5: Beyaz Portland Çimento Kimyasal ve Fiziksel Analiz Değerleri.                                                | 26                  |
| 3.6: Kalsiyum Alüminat Çimentoları Kimyasal ve Fiziksel Analiz Değerleri.                                         | 28                  |
| 3.7: Genleştirilmiş Vermikülitin Kimyasal Analiz Değerleri.                                                       | 30                  |
| 3.8: Genleştirilmiş Vermikülitin Fiziksel Özellikleri.                                                            | 30                  |
| 3.9: Genleştirilmiş Perlitin Kimyasal Analiz Değerleri.                                                           | 31                  |
| 3.10: Genleştirilmiş Perlitin Fiziksel Değerleri.                                                                 | 32                  |
| 3.11: Kalsiyum Karbonat ve Silis Kumu İçin Malvern Analiz Değerleri.                                              | 33                  |
| 3.12: Silis Kumu Kimyasal Analiz Değerleri..                                                                      | 34                  |
| 3.13: Silis Kumu Fiziksel Analiz Değerleri.                                                                       | 35                  |
| 3.14: Disperse Olabilen Toz Polimer Genel Karakteristikleri.                                                      | 36                  |
| 3.15: Polipropilen Elyafaların Özellikleri.                                                                       | 37                  |
| 3.16: Polyamid Elyafaların Özellikleri.                                                                           | 37                  |
| 3.17: TS EN 1015-2'ye Göre Harç Karışım Hacmi ve Katı Bileşen Muhtevası.                                          | 38                  |
| 3.18: Taze Harcın Boşluklu Birim Hacim Kütlesinin Tayini Metoduna Göre Ürünlerde Aranılan Harç Yayılma Değerleri. | 40                  |
| 3.19: Taze Harcın Boşluklu Birim Hacim Kütlesine Göre Harç Yayılma Limit Değerleri.                               | 41                  |
| 3.20: Farklı Boyutlardaki Kalsiyum Karbonat Agregası Denemeleri (Ağırlıkça %).                                    | 49                  |

|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                         |    |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.21: | Farklı Çimento Tipleri Kullanımında Kalsiyum Karbonat Agregası ile Silis Agregası Denemeleri (Ağırlıkça %).                                                                                                                                                                             | 51 |
| 3.22: | Farklı Çimento Tipleri Kullanımında Farklı Elyaf Tipi Denemeleri (Ağırlıkça %).                                                                                                                                                                                                         | 52 |
| 3.23: | Avrupa Direktifi (EN) 13501-1'e Göre A1 ve A2 sınıf Gereklilikleri                                                                                                                                                                                                                      | 54 |
| 4.1:  | Avrupa Direktifi (EN) 1015-3'e Göre Uygun Harç Yayılma Değerindeki Çalışmaların Harç Yoğunluk Değerleri.                                                                                                                                                                                | 55 |
| 4.2:  | Farklı Çaplardaki Kalsiyum Karbonat Agregası Kullanımının Sertleşmiş Harcın Boşluklu Birim Hacim Kütlelerine, Isı İletkenlik Katsayısına Ve Numunelerin 800 °C'ye Maruziyetleri Sonrası Kütle Değişimine Etkisi.                                                                        | 57 |
| 4.3:  | Farklı Çaplardaki Kalsiyum Karbonat Agregası Kullanımının Sertleşmiş Harcın Boşluklu Birim Hacim Kütlelerine, Isı İletkenlik Katsayısına Ve Numunelerin 800 °C'ye Maruziyetleri Sonrası Kütle Değişimine Etkisi (Çimento Tiplerinin Kıyaslanması İle Gösterimi).                        | 58 |
| 4.4:  | Benzer Çaplardaki Kalsiyum Karbonat Agregası Veya Silis Kullanımının Sertleşmiş Harcın Boşluklu Birim Hacim Kütlelerine, Isı İletkenlik Katsayısına Ve Numunelerin 800 °C'ye Maruziyetleri Sonrası Kütle Değişimine Etkisi.                                                             | 59 |
| 4.5:  | Benzer Çaplardaki Kalsiyum Karbonat Agregası Veya Silis Kullanımının Sertleşmiş Harcın Boşluklu Birim Hacim Kütlelerine, Isı İletkenlik Katsayısına Ve Numunelerin 800 °C'ye Maruziyetleri Sonrası Kütle Değişimine Etkisi (Çimento Tiplerinin Kıyaslanması İle Gösterimi).             | 60 |
| 4.6:  | Aynı Çapta Kalsiyum Karbonat Agregası Kullanımında Farklı Tip Elyaf Kullanımının Sertleşmiş Harcın Boşluklu Birim Hacim Kütlelerine, Isı İletkenlik Katsayısına Ve Numunelerin 800 °C'ye Maruziyetleri Sonrası Kütle Değişimine Etkisi.                                                 | 61 |
| 4.7:  | Aynı Çapta Kalsiyum Karbonat Agregası Kullanımında Farklı Tip Elyaf Kullanımının Sertleşmiş Harcın Boşluklu Birim Hacim Kütlelerine, Isı İletkenlik Katsayısına Ve Numunelerin 800 °C'ye Maruziyetleri Sonrası Kütle Değişimine Etkisi (Çimento Tiplerinin Kıyaslanması İle Gösterimi). | 62 |

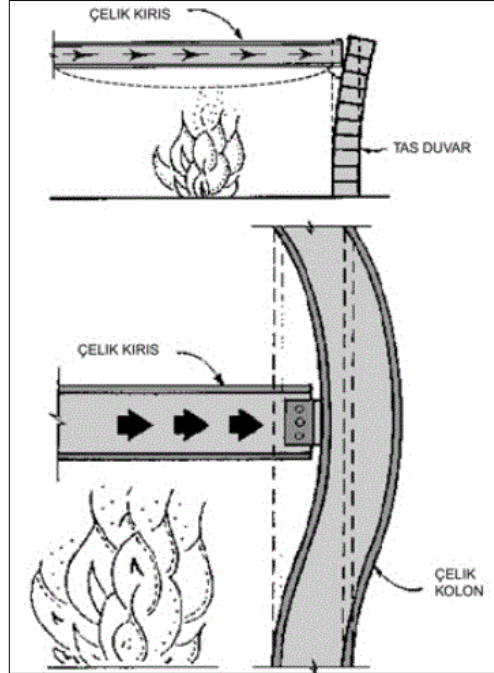
|       |                                                                                                                                                                                                       |    |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.8:  | Betona Aderans Genel Test Sonuçları.                                                                                                                                                                  | 63 |
| 4.9:  | Farklı Çaplardaki Kalsiyum Karbonat Agregada Kullanımında Portland Gri Çimentolu Denemelerin Kül Fırınında 800 °C'ye Maruz Kaldıktan Sonraki Basınç Dayanımları.                                      | 71 |
| 4.10: | Farklı Çaplardaki Kalsiyum Karbonat Agregada Kullanımında Portland Beyaz Çimentolu Denemelerin Kül Fırınında 800 °C'ye Maruz Kaldıktan Sonraki Basınç Dayanımları.                                    | 72 |
| 4.11: | Farklı Çaplardaki Kalsiyum Karbonat Agregada Kullanımında En Az %40 Alüminat İçeren Kalsiyum Alüminat Çimentolu Denemelerin Kül Fırınında 800 °C'ye Maruz Kaldıktan Sonraki Basınç Dayanımları.       | 73 |
| 4.12: | Farklı Çaplardaki Kalsiyum Karbonat Agregada Kullanımında En Az %50 Alüminat İçeren Kalsiyum Alüminat Çimentolu Denemelerin Kül Fırınında 800 °C'ye Maruz Kaldıktan Sonraki Basınç Dayanımları.       | 74 |
| 4.13: | Farklı Çaplardaki Kalsiyum Karbonat Agregada Kullanımında En Az %50 Alüminat İçeren Kalsiyum Alüminat Çimentolu Denemelerin Kül Fırınında 800 °C'ye Maruz Kaldıktan Sonraki Basınç Dayanımları.       | 75 |
| 4.14: | Benzer Çaplardaki Kalsiyum Karbonat Agregada Veya Silis Kullanımının Portland Gri Çimento İçeren Çalışmalarda 800 °C Isıya Maruziyetleri Sonrası Kütle Değişimi Oranı.                                | 77 |
| 4.15: | Benzer Çaplardaki Kalsiyum Karbonat Agregada Veya Silis Kullanımının Portland Beyaz Çimento İçeren Çalışmalarda 800 °C Isıya Maruziyetleri Sonrası Kütle Değişimi Oranı.                              | 77 |
| 4.16: | Benzer Çaplardaki Kalsiyum Karbonat Agregada Veya Silis Kullanımının En Az %40 Alüminat İçeren Kalsiyum Alüminat Çimento İçeren Çalışmalarda 800 °C Isıya Maruziyetleri Sonrası Kütle Değişimi Oranı. | 78 |
| 4.17: | Benzer Çaplardaki Kalsiyum Karbonat Agregada Veya Silis Kullanımının En Az %50 Alüminat İçeren Kalsiyum Alüminat Çimento İçeren Çalışmalarda 800 °C Isıya Maruziyetleri Sonrası Kütle Değişimi Oranı. | 78 |

- 4.18: Aynı Çapta Kalsiyum Karbonat Agregada Kullanımında, Farklı Tip Elyaf 79  
Kullanımının Portland Gri Çimento İçeren Çalışmalarda 800 °C Isıya  
Maruziyetleri Sonrası Kütle Değişimi Oranı.
- 4.19: Aynı Çapta Kalsiyum Karbonat Agregada Kullanımında, Farklı Tip Elyaf 81  
Kullanımının Portland Beyaz Çimento İçeren Çalışmalarda 800 °C  
Isıya Maruziyetleri Sonrası Kütle Değişimi Oranı.
- 4.20: Aynı Çapta Kalsiyum Karbonat Agregada Kullanımında, Farklı Tip Elyaf 81  
Kullanımının En Az %40 Alüminat İçeren Kalsiyum Alüminat  
Çimento İçeren Çalışmalarda 800 °C Isıya Maruziyetleri Sonrası Kütle  
Değişimi Oranı.
- 4.21: Aynı Çapta Kalsiyum Karbonat Agregada Kullanımında, Farklı Tip Elyaf 82  
Kullanımının En Az %50 Alüminat İçeren Kalsiyum Alüminat  
Çimento İçeren Çalışmalarda 800 °C Isıya Maruziyetleri Sonrası Kütle  
Değişimi Oranı.

# 1. GİRİŞ

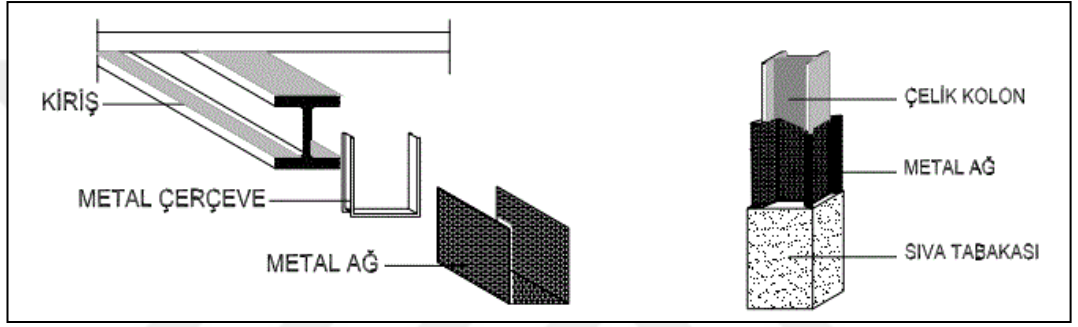
Dayanımı yüksek olan betonların normal betonlara göre kusurlarından birisinin de mekanik davranış olarak gevrek özellik gösterdiği bilinmektedir. Davranış gevrek olduğunda, betondaki basınç dayanımı yüksek olsa bile, enerji yutma kapasitesi düşük seviyede kalır. Gevreklik zafiyeti ise betonların yangın durumundan düşük performans sergilemesine yol açmaktadır [1].

Başta gelişmiş ülkeler olmak üzere, yapılarda çeliklerin daha çok tercih edildiği bilinse de, ülkemizde kullanım alanı olarak daha çok endüstriyel yapılarda rastlanır. Son zamanlarda, inşa süresine getirilen hız ve depreme karşı dayanım sebepleri ile orta ölçekli bina yapımlarında da sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Yüksek sıcaklıklarda, çelik yapıların dayanımlarını yitirmesi Şekil 1.1’de görüldüğü gibi yapının taşıyıcı elemanların statatığının bozulmasına sebep olması ve plastikleşmesi çelik yapıların olumsuz özelliklerindendir [2]. Çelik bu yönleriyle avantajlı bir olsa da, sıcaklıkların yüksek olduğu durumlarda direncin yeterli olmaması, en olumsuz tarafını oluşturur. Yapısal çeliklerin 540 °C’de kritik sıcaklık değerinde olduğu, ön gerilimli çeliklerin ise 400-450 °C kritik sıcaklık değerine sahip olduğu kabul edilmektedir [3].

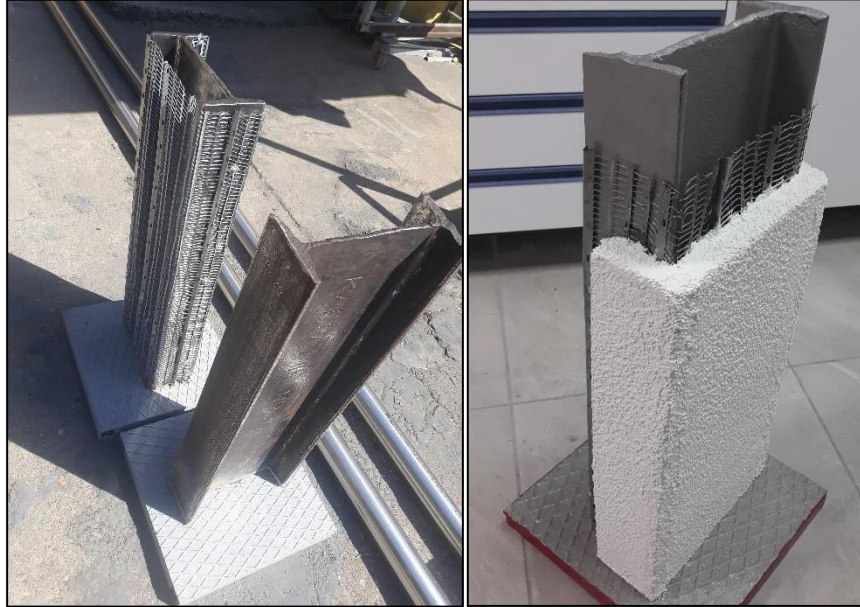


Şekil 1.1: Yangın Dayanımı Uygulamaları Yapılmayan Çelik Yapıların Yüksek Isı Karşısında Davranışı.

Bunların yanında, yıkılma sınırı olarak çelik yapılara boyutu, alaşımı, geometrik dizaynı ve taşıdığı yük de dahil olacak şekilde birçok etken vardır. Yangından korunması olmayan çeliklerin yangın dayanımları en fazla 1 saat olup, normal şartlar altında bu değer daha da düşük olduğu bilinmektedir [4]. Çelik yapısına eklenen krom vb. madenler ile bu sürelerde artış sağlanmaktadır. Çelikleri yangından koruma için yapılan uygulamalardan birisi de çeliğin çevresinin ve dış yüzeyinin yalıtım sağlayan malzemeler ile kaplanarak korunmasıdır. Uygulamalarda kullanılan malzemeler, sıcaklık altında şişen intümesen boya şeklinde veya püskürtme/elle uygulanan yalıtım özellikli sıva şeklinde yapılır [5].



Şekil 1.2: Taşıyıcılarda Yangın Yalıtımının Sıva İle Uygulanması.



Şekil 1.3: Kolonda Sıva İle Yapılan Yangın Yalıtımı Örneği.

Sıva ile yapılan yangın yalıtım uygulamalarında, çimento, alçı taşı, kum ve hafif agregalar (vermikülit, perlit) malzemelerin karışımları ile elde edilen harç, hazırlanmış

olan yüzeye mala ile Şekil 1.2'deki gibi sürme şeklinde uygulanır. Uygulamalarda, hazırlanan harcın daha iyi tutunabilmesini sağlamak için çelik yapı etrafına Şekil 1.3'te gösterildiği gibi metal file giydirilmektedir. Vermikülit ve alçının kullanıldığı karışımlarda çoğu yangın dayanımı süreleri ulaşılmaktadır. Bu karışımlarda, kum yerine perlit ve vermikülit gibi hafif agrega kullanımı olan çalışmalarda yangın dayanım sürelerinin yükseldiği bilinmektedir. Bu sürenin 1 ile 2 saat arasında değişiklik göstermektedir [4,5].

Bu çalışmaların yanında elyaf katkıların da yangın dayanımlı ürünlerde kullanıldığı bilinmektedir. Serrano ve arkadaşları; polipropilen elyaf katkı içeren çalışmalarda yangına karşı dayanımı araştırmış, Yermak ve arkadaşları; birbirlerinden farklı yapıda doğal agrega kullanımları ile basınç dayanımı yüksek betonlar için polipropilen elyafların daha faydalı olacağını bildirmişlerdir. Nili ve Afroughsabet ise çalışmalarında, Propilen elyafların ve silis dumanının, değişen su/polimer oranlarında Polipropilen elyaf oranı artışı ile orantılı olacak şekilde mekanik dayanımların betonlarda arttığını ifade etmişlerdir [6,7,8].

## **1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği**

Çelik yapılardaki avantajların yanında, yangına karşı olan dezavantajları da düşünüldüğünde, yangın güvenliği açısından pasif koruma önlemleri alınmasının önemini vurgulamak da bu çalışmanın diğer bir amacını oluşturmaktadır.

Su-Jin Lee ve arkadaşlarının yapmış oldukları gibi çalışılan numunelerin 28 gün sonraki başlangıç basınç dayanımı değerleri ile 800 °C derecede yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin kalan basınç dayanımları kontrol edilmek istenmiştir.

Buna göre bir yangın ortamını simüle eden yüksek bir sıcaklığa maruz kaldıktan sonra, ilk (28 günlük) mukavemeti ile 800 °C sonrası basınç mukavemeti karşılaştırılmıştır [9]. Fırın sıcaklığı en yüksek 800 °C'ye yükseltilmiş ve bu sıcaklık 120 dakika boyunca sabit kalmıştır. Ürünler 800 °C'de 2 saat boyunca kül Nüve MF106 model kül fırını kullanılmıştır. 40x40x160 mm ebatlarındaki çelik kalıplarda hazırlanan numuneler, iki eşit parçaya ayrılarak yaklaşık 80 mm uzunluğunda 2 numune haline getirilmiştir. Bu numunelerin hem basınç dayanımları hem de kütle kayıpları not alınmıştır.

Çalışmada içerisinde vermikülit ve perlit bulunan çalışmaların, farklı çimento tipleri kullanılarak, farklı çimento kullanımının etkisi 800 °C derecede incelenmesinin

yanında; agregası tipi değiştirilerek, sinterleşme sıcaklığı 1600 °C derece olan fakat yalıtım performansı iyi olmayan silis agregası kullanılarak bu etki incelenmiştir. En son olarak uygun görülen farklı çimento tipindeki çalışmalara, farklı elyaf tipleri eklenerek, hangi çimento tipinin hangi elyaf tipi ile daha uyumlu çalıştığı incelenmiştir.

Farklı malzemelerin yangın karşısındaki davranışlarının incelendiğı bu çalışmada, ilerleyen zamanlarda ülkemizde çok çalışması bulunmayan bu tür ürünlerin çalışmalarına katkı sağlaması düşünülmektedir.



## 2. GENEL BİLGİ

### 2.1. Sıva

Sıvalar, yapısında bulunan kireç, çimento, alçı gibi bağlama özellikli malzemeler ile kalsit, kum, silis, perlit vb. agrega ve katkı malzemelerinden oluşan kuru bir karışımdır. Su ile karışım haline getirildiğinde, uygulanan yüzeyi düzeltmenin yanında, dış etkenlere karşı da duvar bileşenini koruma amacıyla bir malzemedir [10].

Sıva ve sıva harçlarının özellikleri esas olarak kullanılan bağlayıcıların tipine veya türlerine ve bunların oranlarına bağlıdır. Kullanılan agregaların, katkı maddelerinin ve/veya ilavelerin türü ile özel özellikler elde edilebilir.

Sıva/sıva harçları, uygulamadan sonra uygun şekilde sertleşmedikçe nihai özelliklerini kazanmazlar. Bir sıva/sıva harcının gerçekleştirdiği işlevler, kullanılan malzeme türlerinin özelliklerine, katların kalınlığına ve uygulama şekline bağlıdır. Ayrıca sıva/sıva harçları da yapının yüzeyini belirler. İnşaat uygulamaları ve iklimdeki bölgesel farklılıklar ve sıva/sıva harçlarının farklı bileşenleri, tüm Avrupa'da geçerli olacak öngörülen harç için standart karışım oranlarının oluşturulmasına izin vermemektedir. Kullanılan agregaların, katkı maddelerinin ve/veya ilavelerin türü ile özel özellikler elde edilebilir. Dış cephe (render)/ iç cephe sıva harçlarının tanımlamaları konseptte göre, imalat şekline göre ve özellikleri/kullanım alanlarına göre olarak 3 farklı şekilde yapılmıştır.

Konsepte göre harçlar, tasarlanmış sıva harçları ve öngörülen sıva harçları olarak ikiye ayrılmaktadır. Tasarlanmış sıva harçları, belirli özelliklerin elde edilmesi için üretici tarafından üretim yöntemi ve bileşimi seçilen harçlardır. Belirli bir performans elde edilmek için kullanılır. Öngörülen sıva harçları ise özellikleri bileşenlerin belirtilen oranında kabul edilen, oranları önceden belirlenmiş tarif kavramı içeren harçtır.

İmalat şekline göre sıva harçları iki şekilde görülmektedir. Birincisi, bir fabrika yapımı sıva harcı olup, bir fabrikada harmanlanmış ve karıştırılmış harçtır. Sadece su ilavesi gerektiren kuru harç olabilirken ya da kullanıma hazır, su ilavesi istemeyen yaş olarak temin edilen harç da olabilir. İmalat şekline göre ikinci sıva tipi ise yarı bitmiş sıva harçlarıdır. Bu ürünler ise bileşenleri tamamıyla bir fabrikada harmanlanan ve şantiyeye temini sağlanan ve şantiyede imalatçının şartnamesine ve koşullarına göre karıştırılan harçlar olabileceği gibi bileşenleri bir tesiste tamamen harmanlanmış ve

kariştırılmış, fabrika tarafından belirtilen veya sağlanan diğer bileşenlerin(örneğin imento vb.) şantiyede eklenmesi sonucu oluşan harçlar da olabilir.

Özelliklerine ve/veya kullanımına göre EN-998 Avrupa Direktifi'nde sıvalar 6 bölümde incelenmektedir. Bu nedenle, bu tür karişım oranlarının (tarifler) ve uygulama alanlarının özellikleri, kullanım yerinde mevcut olan uygulama ve deneyime dayanmalıdır. Genel amaçlı iç/dış sıva harcı, hafif iç/dış sıva harcı, renkli sıva harcı, tek kat olarak uygulanan dış cephelerde kullanılan sıva harcı, renovasyon işlemlerinde kullanılan sıva harcı ve ısı yalıtım özellikli sıva harcı olmak üzere Tablo 2.1'de belirtildiği gibi 6 sınıfta incelenmekte ve değerlendirilmektedir.

Tablo 2.1: Avrupa Direktifi EN 998-1'e Göre Sıva Türleri.

| SEMBOL | TANIM                                                                                            |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| GP     | Genel Amaçlı Dış/İç Sıva Harcı<br>(General Purpose rendering/plastering mortar)                  |
| LW     | Hafif Dış/İç Sıva Harcı<br>(Light-Weight rendering/plastering mortar)                            |
| CR     | Renkli Dış Sıva Harcı<br>(Coloured Rendering mortar)                                             |
| OC     | Harici(Dış) kullanım için tek kat Dış Sıva Harcı<br>(One-Coat rendering mortar for external use) |
| R      | Renovasyon Harcı<br>(Renovation mortar)                                                          |
| T      | Termal Yalıtım Harcı<br>(Thermal insulating mortar)                                              |

Bu sıvalardan genel amaçlı sıvalar (GP), özel niteliklere sahip olmayan, öngörülebilir veya tasarlanabilir olan sıvalardır. Genel amaçlı sıvalar için, EN 998-1 standardında tarif edilen 4 tip basınç dayanımı değerine de sahip olabilirler. Hafif sıva (LW) harçları, öngörülen bir sertleşmiş yoğunluk değerinin altında bir değere sahip olan tasarlanmış sıvalar için kullanılmaktadır. Renkli sıva (CR) harçları, özel pigmentlerle ve renkli agregalar ile özel olarak renklendirilen sıvalara denmektedir. Harici kullanım için tek kat sıva (OC) harçları, kullanılan çok katlı sıva sisteminin tüm fonksiyonlarını yerine getiren tek kat olarak uygulanan tasarlanmış sıvalar için

kullanılmaktadır. Dış cepheler için kullanılan tek kat harçlar, normal veya hafif malzemelerden oluşan agregalar kullanılarak üretilebilmektedirler. Yenileme harçları, içerisinde suda çözünür tuzlar içeren nemli duvarlarda kullanım için tasarlanan sıva harçlarıdır. Bu harçlar, yüksek gözenek açıklığına, yüksek buhar geçirgenliğine, yüksek nefes alma kabiliyetine ve düşük kapiler su emme kapasitesine sahiptirler. Isı yalıtım harçları, belirli bir ısı iletkenlik katsayısının altındaki özel yalıtım sıvaları için tanımlanan tasarlanmış harçlara denmektedir. Termal özelliklere sahip bu sıvalar için, ısı iletkenlik katsayısı 0,10 W/m.K'den düşük değerde olan ürünler T1 sınıfı olarak, 0,20 W/m.K'den düşük değerde olanlar için ise T2 sınıfı yer almaktadır. EN 998-1 standardında yer alan diğer sıvalar için, sertleşmiş harç yoğunluğu ile ısı iletkenlik katsayısı arasında bir korrelasyon aranırken, termal ürünler için ısı iletkenlik katsayısı ölçülerek kontrol edilmektedir. Termal sıvalarda, diğer sıvaların aksine kapiler su emme test değeri  $W_{c0}$  Aranmaz sınıfı gösterilememektedir. Ürünün su buharı geçirgenlik katsayısı olarak en fazla 15 değer belirlenmiş olup, belirli bir nefes alma kapasitesine sahip olunması istenmektedir. Ürün yalıtım amaçlı kullanıldığından, ürünün yüksek su emme kapasitesi ısı iletkenlik performansını olumsuz etkilemektedir. EN 998-1 standardı, Termal ürünlerin su emme kapasitelerinin çok düşük sınıf olmasını talep etmese de, belirli bir değer altında olmasını şart koşturmuştur. Buna göre kapiler su emme test değeri en fazla  $0,40 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0.5})$  değerinde olmalıdır. Termal sıvalar için basınç dayanımı  $0,4 \text{ N}/\text{mm}^2$  ile  $2,5 \text{ N}/\text{mm}^2$  aralığında olan CS I sınıfı veya  $1,5 \text{ N}/\text{mm}^2$  ile  $5,0 \text{ N}/\text{mm}^2$  aralığında olan CS II sınıfı basınç dayanımı değerinde olması talep edilmektedir. Ürünün zemine yapışma performansını gösteren adhezyon değeri ise, üreticinin beyanına bırakılmıştır. Buna göre termal ürünleri yapışma performansı en az üretici beyanını karşılayacak değerde olmalıdır [11]. Üreticiler tarafından özellikleri beyan edilen sıvalar, Avrupa Direktifi'nin 998-1 numaralı standardında belirtilen test değerlerini sağlamak ile sorumludurlar [12].

## 2.2. Çimento Esaslı Sıva Performans Testleri

Bu çalışmada, yangına karşı dayanım göstermesi istenen sıvaların özellikle basınç dayanımları ve ısı iletkenlik performansları kontrol edilecektir. Farklı boyutta agrega kullanımının basınç dayanımına ve ısı yalıtım performansına etkisi

incelenirken TS EN 998-1 standardındaki test değerleri kriter olarak alınmıştır. Isı yalıtım performansı ısı iletkenlik katsayısı düştükçe iyileşmekte olup, çalışmalarda ısı iletkenlik katsayısı düştükçe basınç dayanımı değerleri TS EN 998-1'e göre kontrol edilirken, TS EN 13501-1 yangına tepki performansına göre de kütle kayıpları incelenecektir. Bunların yanında 800 °C derece sonrasında basınç dayanımlarındaki değişim de kontrol edilecektir. Hazırlanan çimento esaslı hafif sıva denemeleri Avrupa Direktifi EN 998-1'e göre performanslarının uygunları EN 998-1 standardı ile test edilmektedir. Bu standara göre ürünlerin sağlamaları gereken test performans değerleri Tablo 2.2'de belirtilmiştir.

Tablo 2.2: Avrupa Direktifi EN 998-1'e Göre Performans Kategorileri.

| Özellikler                          | Kategoriler      | Değerler                                                     |
|-------------------------------------|------------------|--------------------------------------------------------------|
| Basınç Dayanım Aralıkları,<br>28gün | CS I             | 0,4 N/mm <sup>2</sup> ile 2,5 N/mm <sup>2</sup>              |
|                                     | CS II            | 1,5 N/mm <sup>2</sup> ile 5,0 N/mm <sup>2</sup>              |
|                                     | CS III           | 3,5 N/mm <sup>2</sup> ile 7,5 N/mm <sup>2</sup>              |
|                                     | CS IV            | ≥ 6,0 N/mm <sup>2</sup>                                      |
| Kapiler Su Absorpsiyon              | W <sub>c</sub> 0 | Aranmaz                                                      |
|                                     | W <sub>c</sub> 1 | $C \leq 0,40 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0.5})$ |
|                                     | W <sub>c</sub> 2 | $C \leq 0,20 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0.5})$ |
| Termal İletkenlik                   | T 1              | ≤ 0,1 W/m.K                                                  |
|                                     | T 2              | ≤ 0,2 W/m.K                                                  |

Kuru birim yoğunluk testi: Üretici firma tarafından belirli bir aralıkta beyan edilmesi zorunlu bir değerdir. Standardına uygun şekilde hazırlanan harçların TS EN 1015-10 standardında belirtildiği gibi 40x40x160mm ebatlarındaki çelik kalıplara dökülerek hazırlanmaktadır.

Basınç dayanımı testi: Standardına uygun şekilde hazırlanan harç numuneler yine 40x40x160mm ebatlarındaki çelik kalıplara dökülerek hazırlanmaktadır. Daha sonra numuneler, eğilme cihazı ile iki eşit parçaya ayrıldıktan sonra, TS EN 1015-11 standardına göre basınç dayanımı test sonuçları tespit edilmektedir. Termal ürün grupları için TS EN 998-1 standardına göre basınç dayanımı test sonuçlarının, CSI ve CSII sınıfından bulunma zorunluluğu bulunmaktadır.

Adhezyon testi: Belirli standarttaki alt beton tabakalara TS EN 1015-12 standardının belirtildiği şekilde harç haline getirilen numuneler uygulanmaktadır. TS EN 998-1 standardına göre, geçilmesi gereken sabit bir değer olmayıp, üretici beyanı sağlanması zorunludur.

Kapiler su emme testi: Standarda uygun olarak hazırlanan harç numuneler 40x40x160mm ebatlarındaki çelik kalıplarda hazırlandıktan sonra, şartlandırmaların sonunda 40x40x80 ebatlarında olacak şekilde iki eşit parçaya ayrılır ve TS EN 1015-18 standardında belirtildiği gibi parafin wax ile kaplanarak test tabi tutulur. Test sonucunun  $0,40 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0.5})$  değerini geçmemesi beklenmektedir.

Su buharı geçirgenlik katsayısı ( $\mu$ ) testi: TS EN 1015-19 standardına göre belirli çap ve yükseklikteki kalıplara dökülerek hazırlanmaktadır. Standardında belirtilen şartlandırmaların sonunda, kalıbı içerisine doymuş potasyum nitrat çözeltisi hazırlanarak, günlük kütle kaybı kontrol edilmektedir. Sabit kütle kaybına geldikten sonra, EN 1015-19 standardına belirtilen hesaba göre kütle kaybının katsayısı hesaplanmaktadır. Buna göre ürünlerin su buharı geçirgenlik katsayısının ( $\mu$ ) 15'i geçmemesi aranmaktadır.

Termal iletkenlik ortalama  $\lambda_{10, \text{dry}, \text{mat}}$  ( $\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$ ) testi : Uygun kıvamda hazırlanan harç numuneleri, belirli bir kare veya dikdörtgen ebatlarındaki çelik kalıplara dökülerek, laboratuvar şartlarından şartlanmaları sağlanır. Şartlanmasını tamamlayan numuneler  $60^\circ\text{C}$  etüv içerisinde sabit kütleye gelinceye kadar bekletilmekte ve daha sonra da termal iletkenlik cihazı içerisine yerleştirilerek iletkenlik katsayısı ölçülmektedir. TS EN 998-1 standardına göre termal sıva grubu ürünler için ısı iletkenlik katsayısı en fazla  $0,100 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K}$  olmalıdır.

Ürünlerin yangına tepki testlerinin tayininde kullanılan TS EN 13501-1 standardında göre, A1 sınıfı ve A sınıfı, homojen ve homojen olmayan ürünlerde EN ISO 1182 standardına göre kütle kaybı olarak  $\leq \%50$  değerinin altında olması dikkate alınmıştır [13].

Avrupa Direktifi EN 998-1'e göre performans gerekleri Tablo 2.3'te verilen tablodaki test değerlerini sağlamalıdır.

Tablo 2.3: Avrupa Direktifi EN 998-1'e Göre Performans Gereklileri.

| No. | Test Parametresi                                                                                                                                                      | Test Metodu              | T                                          |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------|
| L1  | Kuru birim yoğunluk ( $\text{kg/m}^3$ )                                                                                                                               | EN 1015-10               | Deklare edilen değerler                    |
| L2  | Basınç dayanımı (kategoriler)                                                                                                                                         | EN 1015-11               | CSI ile CSII                               |
| L3  | Adhezyon ( $\text{N/mm}^2$ ve kopma şekli)                                                                                                                            | EN 1015-12               | $\geq$ Deklare edilen değer ve kopma şekli |
| L4  | İklimlendirme Çevrimlerinden Sonra Adhezyon ( $\text{N/mm}^2$ ve kopma şekli)                                                                                         | EN 1015-12               | -                                          |
| L5  | Kapiler su emme (kategoriler) (harici olarak kullanılması amaçlanan harçlar için elementler)                                                                          | EN 1015-18               | $W_{cl}$                                   |
| L6  | Kapiler su emiliminden sonra su penetrasyonu test ( $\text{mm}$ olarak)                                                                                               | EN 1015-18               | -                                          |
| L7  | Ayrışma döngülerinden sonra ilgili yüzeylerde su geçirgenliği (48 saat sonra $\text{ml/cm}^2$ )                                                                       | EN 1015-21               | -                                          |
| L8  | Su buharı geçirgenlik katsayısı ( $\mu$ ) (dış elemanlarda kullanılması amaçlanan harçlar için)                                                                       | EN 1015-19               | $\leq 15$                                  |
| L9  | Termal iletkenlik ortalama $\lambda_{10,dry,mat}$ - değerleri ( $\text{W/m}\cdot\text{K}$ ) (ısı gerekliliklere tabi elemanlarda kullanılması amaçlanan harçlar için) | EN 1745:2012, Tablo A.12 | -                                          |
| L10 |                                                                                                                                                                       | EN 1745:2012, 4.2.2.     | T 1: $\leq 0.10$<br>T 2: $\leq 0.20$       |

## 2.3. Yangın Performansları

Gelişmiş ülkelerdeki gibi, ülkemizde de, vatandaşların yangın karşısında güvenliğin sağlanması için yönetmelikler ile sorumluluklar üstlenilmiştir. 2002 yılında kabul edilen “Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik” ile binalardaki eksiklikler giderilmek istenmiştir.

Aktif yangın güvenlik tedbirleri ve pasif yangın güvenlik tedbirleri olmak üzere yangın güvenliği için iki şekilde tedbir alınmaktadır. Aktif yangın tedbirleri, yangın esnasında alarm, itfaiyenin müdahalesi gibi tedbirler iken, pasif yangın tedbirleri binaların tasarım aşamasındayken alınan tedbirlerdir. Bu tedbirler ile şu durumlar hedeflenmektedir;

- Zehirleyici dumanın bina içerisinden uzaklaştırılması,
- Yangın esnasında çıkış rotasında planlanması,
- Binalarda yangın geçirimsiz kompartımanların dizaynı,
- Yangın karşısında tepki vermeyen,
- Yangına karşı performanslı inşaat malzemelerinin kullanılması ve
- Kolonlarda ve kirişlerde yüksek ısıya maruz kalırsa bile dayanımlı olmasını sağlayan sistemlerin uygulanması [14].

### 2.3.1. Yangına Tepki ve Yangına Dayanım

Bakanlar kurulu tarafından 2002 yılında kabul edilen “Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik”te, binaların yangın karşısında ne kadar süre dayanması gerektiği ve kullanılacak ürünlerin yangına tepki sınıfları belirtilmiştir [15]. Buna göre, bu sürelerin 30 dakika ile 120 dakika arasında değiştiği görülmüştür. Tablo 2.4’te verilen bu yangın dayanım sürelerinin yapıların kullanım amaçlarına göre ayrıldığı görülmektedir. Yapılar; konutlar, konaklama amaçlı binalar, kurumsal binalar, büro binaları, endüstriyel yapılar, toplanma amaçlı binalar,depolama amaçlı tesisler, depolar ve otoparklar şeklinde sınıflandırılmıştır. Yükseklik olarak 5 metre uzunluğa kadar olan yapılar, 21,50 metreye kadar olan yapılar, 30,50 metreye kadar olan yapılar ve 30,50 metreden yüksek olan yapılara göre dayanım süreleri değişmektedir. Yüksekliği 30,50 metreden uzun olan binalarda yağmurlama sistemi

olmadığında izin verilmediği ve Tablo 2.4'e göre yangın dayanımı sürelerinin en fazla 120 dakikaya göre sınıflandırıldığı görülmektedir.

Tablo 2.4: Yapı Elemanlarının Yangına Dayanım Süreleri (Dakika).

|                                                |                           | 5m'den<br>az | 21,50m'den<br>az | 30,5m'den<br>az | 30,5m'den<br>fazla |
|------------------------------------------------|---------------------------|--------------|------------------|-----------------|--------------------|
| Konutlar                                       | Bir-İki<br>Ailelik Evler  | 30           | 60               | -               | -                  |
|                                                | Apartmanlar               | 30           | 60               | 90              | 120                |
| Konaklama<br>Amaçlı<br>Binalar                 | Yağmurlama<br>Sistemi Yok | 60           | 60               | 90              | İzin<br>Verilmez   |
|                                                | Yağmurlama<br>Sistemi Var | 30           | 60               | 90              | 120                |
| Kurumsal<br>Binalar                            | Yağmurlama<br>Sistemi Yok | 60           | 60               | 90              | İzin<br>Verilmez   |
|                                                | Yağmurlama<br>Sistemi Var | 30           | 60               | 90              | 120                |
| Büro<br>Binaları                               | Yağmurlama<br>Sistemi Yok | 30           | 60               | 90              | İzin<br>Verilmez   |
|                                                | Yağmurlama<br>Sistemi Var | 30           | 30               | 60              | 120                |
| Endüstriyel<br>Yapılar                         | Yağmurlama<br>Sistemi Yok | 60           | 90               | 120             | İzin<br>Verilmez   |
|                                                | Yağmurlama<br>Sistemi Var | 30           | 60               | 90              | 120                |
| Toplanma<br>Amaçlı<br>Binalar                  | Yağmurlama<br>Sistemi Yok | 60           | 60               | 90              | İzin<br>Verilmez   |
|                                                | Yağmurlama<br>Sistemi Var | 30           | 60               | 60              | 120                |
| Depolama<br>Amaçlı<br>Tesisler -<br>Depolar    | Yağmurlama<br>Sistemi Yok | 60           | 90               | 120             | İzin<br>Verilmez   |
|                                                | Yağmurlama<br>Sistemi Var | 30           | 60               | 90              | 120                |
| Depolama<br>Amaçlı<br>Tesisler -<br>Otoparklar | Açık<br>Otoparklar        | 15           | 15               | 15              | 60                 |
|                                                | Diğer<br>Otoparklar       | 30           | 60               | 90              | 120                |

### 3. MATERİYAL VE METOT

Yapılan çimento esaslı sıva çalışmalarının performanslarının belirlenmesinde ana referans olarak Avrupa Direktifi (EN) 998-1 standardı dikkate alınsa da, bu standardın atıf yapmış olduğu diğer standartlarda değerlendirme çalışmalarında dikkate alınmıştır.

Özet olarak Avrupa Direktifi (EN) 998-1 standardı, yapılacak çalışmalarda sonuçların uygunluğu ile ilgili olsa da, atıf yapmış olduğu diğer Avrupa Normu(EN) standartları ilgili testin nasıl hazırlanması gerektiğini, hangi şartlarda şartlandırılması gerektiğini, test işlemleri sırasında kullanılacak olan ekipman ve cihazların özelliklerine ve diğer dikkat edilmesi gereken hususlara dikkat çekmektedir.

Bu çalışmada Avrupa Normu(EN) 998-1 standardı tarafından atıf yapılan ve test değerleri incelenecek diğer Avrupa Normları (EN) şu şekildedir:

Performans testleri olarak; TS EN 1015-2, “Kâgir harcı - Deney metotları - Bölüm 2: İmalatta kullanılan harç yığınlarından numune alma ve deney için hazırlama” [16], TS EN 1015-3, “Kâgir harcı- Deney metotları- Bölüm 3: Taze harç kıvamının tayini (yayılma tablası ile)”[17], TS EN 1015-6, “Kâgir harcı - Deney metotları - Bölüm 6: Taze harcın boşluklu birim hacim kütlelerinin tayini”[18] , TS EN 1015-7, “Kâgir harcı - Deney metotları - Bölüm 7: Taze harcın hava muhtevasının tayini”[19], TS EN 1015-10, “Kâgir harcı-Deney metotları- Bölüm 10: Sertleşmiş harcın boşluklu kuru birim hacim kütlelerinin tayini”[20], TS EN 1015-11 “Kâgir harcı - Deney yöntemleri - Bölüm 11: Sertleşmiş harcın eğilmede çekme ve basınç dayanımının tayini”[21], TS EN 1015-12 “Kâgir harcı- Deney metotları-Bölüm 12: Sertleşmiş sıva ve örgü harcının alt tabakaya yapışma dayanımının tayini”[22] standartları kullanılmıştır.

Yangına tepki testleri olarak kullanılan standart bilgileri TS EN 13501-1, 2019. “Yapı mamulleri ve yapı elemanları, yangın sınıflandırması bölüm 1: Yangın karşısındaki davranış deneylerinden elde edilen veriler kullanılarak sınıflandırma”[13], TS EN ISO 1182, 2020.” Mamullerin yangına tepki deneyleri - Tutuşmazlık deneyi”[23] şeklindedir.

Isı iletkenlik katsayısı performansı olarak TS EN 1745, 2020. “Kâgir ve kâgir mamuller - Isıl özelliklerinin tayini yöntemleri”[24], TS EN 12667, 2009. “Yapı malzemeleri ve mamulleri - Isıl direncin, korumalı tablalı ısıtıcı ve ısı akı ölçerinin

kullanıldığı metotlarla tayini - Isıl direnci orta ve düşük seviyede olan kuru ve rutubetli mamuller”[25] standartları ve testleri dikkate alınmıştır.

Çimento esaslı hafif sıvalarda, portland gri ve beyaz çimento kullanımlarının yanında, yangına karşı dayanımlı olarak bilinen kalsiyum alüminatlı çimentolar(CAC) da kullanılarak çimento esaslı hafif sıvalarda performansı ve 800 °C sonrasına etkileri incelenmiştir. Farklı boyutlardaki kalsiyum karbonat agregalar denenerek, farklı çimento tiplerinin kullanıldıkları çalışmalarda farklı boyutun etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmalarda kullanılan kalsiyum karbonat agrega ile benzer agregaya sahip silis agrega kullanılarak, silis agreganın çimento esaslı sıva performansına etkisi hem de yangın performansına etkisi incelenmiştir. Kalsiyum karbonat agreganın kullanıldığı denemelerde, formülasyonlara ek olarak elyaf katkıları eklenerek, mekanik ve 800 °C sonrasına etkileri incelenmiştir.

### **3.1. Çimento Esaslı Sıva Bileşenleri**

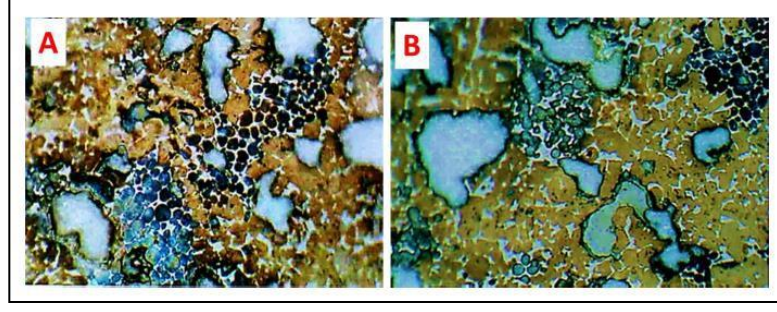
#### **3.1.1. Çimentolar**

Çimento tesislerinde klinkerin öğütölme kabiliyetinin yanında, mineralojik yapı, kimyasal bileşim, tane boyutu dağılımı ve çimentonun yüzey alanı, çimentonun performansını etkilemektedir. Portland çimentosu klinkeri üretiminde kullanılan hammaddeler ve proses koşulları da önemli rol oynamakta olup, üretim esnasında %65’e kadar olan öğütmede kullanılan enerji maliyetleri de diğer etkenleri oluşturmaktadır [26,27].

Portland çimentosu klinkerinin %90’ından fazlasını dört temel bileşen oluşturur. Yüksek sıcaklıklarda (ortalama 1400 °C’de) sanayi tipi döner fırınlarda reaksiyonları gerçekleşen aşağıdaki fazlar oluşmaktadır.

- i)  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 = (\text{C}_3\text{S})$  (alite),
- ii)  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 = (\text{C}_2\text{S})$  (belite),
- iii)  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 = (\text{C}_3\text{A})$  (trikalsiyum alüminat)
- iv)  $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 = (\text{C}_4\text{AF})$  (tetrakalsiyum alümina ferrit)

Oluşan fazlara ait görüntüler Şekil 3.1’de gösterilmiştir [28].



Şekil 3.1: Alite Fazın Kahverengi Olduğu, Belite Fazın Mavi Renk Olduğu Mikroskopik Faz Görüntüleri.

Klinker işleminde ilk faz eriyik olarak 1260-1310 °C dereceleri arasında meydana gelir. Yüksek sıcaklıklara çıkıldıkça klinker eriyiğın oranı yükselmekte olup 1450 °C’de kütlece %30’a kadar ulaşır. Portland çimentosunun asıl fazı alit fazı (C<sub>3</sub>S) olup, bu faz 1450 °C’de oluşmaktadır.

Yüksek oranda serbest CaO oluşumu sinterleşme süreci ile birlikte belit (C<sub>2</sub>S) fazın yanında oluşmaya başlar. Klinkerin faz olarak iki gruba ayrılması ise, eriyik fazlarla, belit fazının (C<sub>2</sub>S) ve serbest CaO’lerin katı çözeltiye geçmesiyle başlar. Böylece silikat fazları (C<sub>3</sub>S-Alit ve C<sub>2</sub>S-Belit) ve katı eriyik fazları (C<sub>3</sub>A-Tri kalsiyum alüminat, C<sub>4</sub>AF-Tetrakalsiyum alüminaferrit) olmak üzere fazlar iki gruba ayrılmış olur. [29] .

Yumuşak klinkere kıyasla klinkerin sertliğı %80 daha fazla öğütme enerji demek olup, bazı çalışmalarda yapısından yüksek oranda silikat modülü ve alüminyum modülü bulunan klinkerlerin, öğütülebilirliğinin daha az olduğu görülmüştür. Alite fazlarını belit fazlara oranı azaldığında veya alite ve belit fazlarının toplamının katı eriyik fazları toplamına oranı azaldığında öğütülebilirlik zorlaşmaktadır. Öğütülebilir özelliğini etkileyen bir diğer etken de klinkerin mikro yapısıdır. Fazların oluşturduğu bu mikro yapı, bu fazların oluşumuna etki eden fırın pişirme sıcaklığının ve klinkerin soğutulma hızının etkisi büyüktür [30].

Alite (C<sub>3</sub>S) fazı, klinkerin yapısında %40 ile %70 oranları arasında bulunmakta olup, temel olarak hidrasyon ısıyı kontrol eden ve çimentonun dayanımı oluşturan faz olarak bilinir. Bu faz, soğutma hızı sabit olması halinde kararlılığını korur. Soğutma hızının aşırı yavaş olması halinde ise alite fazının bir kısmı belit fazına dönüşmektedir.

Bir diğer etken de silikatların eşdeğer çaplarıdır. Bir silikat kristalinin ağırlık merkezinden geçen en kısa ve en uzun uzaklıkların ortalaması ile belirlenen eşdeğer

ap, klinkerin tlmesinin kolaylaştırılmasında ve imento erken dayanımında olumlu katkı için 15-20 µm eşdeğer çapta olduğu görülmüştür. Düşük eşdeğer çaptaki alite kristalleri tme verimini arttırırken, eşdeğer çapı küçük olmatan kristaller hem tlmeyi zorlaştırmakta hem de kırılma alan sayısını arttırmaktadır [31].

Klinkerlerin tlmesinde harcanan yüksek enerjiyi azaltmak için tlebilirliğin azaltılması önemli bir etkindir. Alite kristalleri, hızlı soğutma işlemine tabi olması ile birlikte, termal presleme oluşmaktadır. Böylece alite kristallerinde tmeyi kolaylaştıran çatlaklar oluşmaya başlar. Ek olarak, klinker içerisinde sıvı haldeki fazların yüksek oranda bulunması da tmeyi zorlaştıran diğer etmenlerdir. Bu sebeple, tme işlemlerinde enerji maliyetlerini azaltmak için sıvı faz oranları da kontrol edilmelidir. Bu da kimyasal yapının, mineral yapısının ve mikro yapıların imento mukavemetinde birlikte etkin bir rolde olduğunu gösterir [32,33].

### **3.1.2. Hafif Agregalar**

#### **3.1.2.1. Perlitler**

Tarım vb sektörlerde de kullanılan perlitler, inorganik yapıda doğada bulunurlar. Maden ocağından çıkarılan perlit, tlme işlemi ile istenen tane büyüklüğüne getirilmektedirler. 760°C - 982°C sıcaklıkları arasında genleştirme işlemine tabi tutulan bu perlitler, genleştirme işlemi sonrasında hacmen 20 katına kadar büyümektedirler. Hem genleştirilmemiş doğal haldeki madene hem de genleştirilmiş ürüne perlit denilmekte olup, bu çalışmada genleştirilmiş perlit için perlit ifadesi kullanılmıştır. Keşfedilen en genç madenlerden olan perlit, ilk olarak 1836 yılında bulunmuş olup, Türkiye’de 1970 yılında ilk kez kullanılmıştır. Yapılarda agrega amacı ile 80-128 kg/m<sup>3</sup> yoğunlukta genleşmiş perlit tanecikleri kullanılmakta olup, perlit içermeyen sıvalara göre 10kata kadar daha iyi ısı yalıtımı sağlamaktadır [34]. TS 825 standardında belirtilen çeşitli sıvaların birim ağırlıkları ve ısı iletkenlikleri değerlerine göre perlitli sıvaların ısı iletkenlik katsayılarının, perlit içermeyen imento harcı, alçı harcı ve kireç harcı malzemelere göre daha düşük ısı iletkenlik katsayılarına sahip oldukları Tablo 3.1’de de görülmektedir. Tabloya göre perlitli sıvaların ve harçlarının yoğunluk değerleri 400 kg/m<sup>3</sup> ile 800 kg/m<sup>3</sup> değerleri arasında olup, ısı iletkenlik katsayısı olarak 0,14 W/m.K değerine kadar dşebildikleri görülmektedir.

Tablo 3.1: Çeşitli Sıvaların Birim Ağırlıkları ve Isı İletkenlikleri

| Malzeme veya bileşenin çeşidi                      | Birim Hacim Kütlesi (kg/m <sup>3</sup> ) | Isı İletkenlik Hesap Değeri $\lambda_{10}$ (W/m.K) |
|----------------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Çimento harcı                                      | 2000                                     | 1,60                                               |
| Kireç harcı, kireç+çimento harcı                   | 1800                                     | 1,00                                               |
| Alçı harcı, kireçli alçı harcı                     | 1400                                     | 0,70                                               |
| Sadece alçı kullanılarak (agregasız) yapılmış sıva | 1200                                     | 0,51                                               |
| Perlüt Sıvası ve harç                              | 800                                      | 0,29                                               |
|                                                    | 700                                      | 0,24                                               |
|                                                    | 600                                      | 0,20                                               |
|                                                    | 500                                      | 0,16                                               |
|                                                    | 400                                      | 0,14                                               |

### 3.1.2.2. Vermikülitler

Vermikülitler 2:1 fillosilikal yapıda olan, genelde mika ve kloritin alterasyonu sonunda oluşmuş minerallerdir. Doğal halde sanayide kullanımı sınırlı olsa da, işleme tabi tutulması sonrası genleştirilmiş yapıda olduğunda ısı yalıtım amacı ile dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır[35]. Vermikülitler, görünüşte mika benzeyen parlak pullardan oluşan doğal olarak oluşan minerallerdir. Esas olarak, bozuşma, hidrotermal etki, sızan yeraltı suyu veya bu üç faktörün bir kombinasyonunun bir sonucu olarak mikali minerallerin değişmesiyle oluşurlar. Yüksek sıcaklıklara ısıtıldığında, vermikülit pulları, ara tabakanın ve yapısal suyun buhara dönüşmesi nedeniyle orijinal boyutlarına göre 8-30 kat kadar genişler [36].

Genleştirilmiş vermikülit, yapraklar arasındaki hava çizgileri sayesinde yeni hacmini korumaktadır. Genleştirilmiş vermikülit son görünüm olarak ince tabakalar halinde görünmektedir. Vermikülitin dökme yoğunluk değeri 60 ile 180 kg/m<sup>3</sup> arasında değişmekte olup, yüksek ısı yalıtım performansı, yangına karşı yüksek dayanım ve ses absorpsiyonu gibi önemli özellikleri bulunmaktadır.

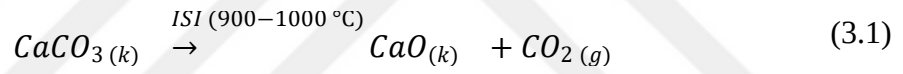
Eriyik metaller tarafından ısıtılmasının zor olmasından dolayı 1100 °C dereceye kadar dayanabilen bir ısı yalıtım malzemesi olarak karşımıza çıkar. Malzemenin biyolojik olarak kararlı olması ve asit saldırılarına karşı nötr davranması, ürünü daha da değerli kılmaktadır. İnşaat sanayinde yapı malzemeleri içerisinde kullanılmasının yanında, plastiklerde, boyalarda ve gübrelerde agrega maddesi veya toprak değiştirici olarak da kullanılmaktadır [37].

### 3.1.3. Agregalar

Kalsiyum karbonat agregası, ülkemizde neredeyse her bölgemizde bulunan kalsit, modern teknolojiler sayesinde istenilen inceliklerde öğütülebilmekte böylece sanayi kullanımına imkan sağlanmaktadır.

Yapısında kalsiyum karbonat veya kalsiyum/magnezyum karbonat bileşikleri bulunduran karbonatlı tortul kayaçlara ve fosillere genel olarak kireçtaşı veya kalker denilmektedir. Bu yapıların içerisinde alüminyum, kükürt, silisyum ve demir gibi safsızlıklar da bulunmaktadır. Dolomit ile kalsitin birbirinden ayıran fark, dolomit içerisinde %20 ile %40 arasında magnezyum karbonat ( $MgCO_3$ ) bulunan kireçtaşlarına denilmektedir.

Kalsinasyon kireçtaşının özel fırınlarda ısı ile tepkimeye girmesi (yakılması) ile CaO elde etme yöntemidir. Elde edilen CaO ya sönmemiş veya yanmış kireç denir. Bu tepkimenin formülü (3.1)'deki gibidir.



Ana bileşeni kalsiyum (Ca) olan kireçtaşı, yeryüzünde bulunan elementler arasında en sık rastlanan elementlerden olup[38], kireçtaşları yeryüzünde çok çeşitli mineral yapılarında ve formasyonlarında bulunur. Bunları birbirlerinden ayıran temel özellikler orijin, jeolojik formasyon, mineralojik yapı, kristal yapısı, kimyasal bileşim, renk ve sertlik gibi özelliklerdir [39].

Kireçtaşının safsızlığının bir ölçüm birimi olarak da renkler kullanılmaktadır. Saflık oranı yükseldikçe, renk olarak beyazlık artmaktadır. Karbondan kaynaklanan safsızlıkların ve demir sülfid içermesinin bir işareti ise gri tondaki renklerdir. Mangan ve demir gibi içeriklerin işareti ise kırmızı, kahverengi, açık sarı ve yeşil renklerdir. Dolomitik yapı işareti olarak da pembemsi renk oluşumları gözlenir.

Kireçtaşının bir diğer ölçüm birimi olarak kristal yapısı da değerlendirilmektedir. Kristal yapıdaki dizimlimlerin farklılığı, kireçtaşında yoğunluk ve sertlik olarak farklı özellikler göstermelerine sebep olurlar. Kalsit türündeki kireçtaşları rhombohedral yapıdadırlar.

Kireçtaşlarında su emilim kabiliyetleri de bir gösterge olup, yüksek su emme değeri gösteren kireçtaşlarında %30'a kadar gözenekliliğe sahip olabilmektedir.

Kireçtaşlarında özgül ağırlık da başka bir gösterge olup, kalsit, dolomit ve aragonit arasında en düşük özgül ağırlığa kalsit sahiptir. Aragonit ise en yüksek özgül ağırlık değerine sahiptir [40].

Silis agrega ise kuvars kumu olarak da bilinen silis kumu olup, ana elementi silisyum olan ve sertlik değerinin yüksek olması ile bilinen bir agregadır. Silis kumu bulunduğu bölgelere göre kimyasal yapısı ve içeriğinde silis oran değişmekte olup, bu da sertlik değerinin değişmesi ile sonuçlanır. Cam üretiminde kullanıldığı gibi döküm kumu ve filtre kumu gibi kullanım alanları da bulunur. Renk olarak sarı tonlarında bulunmaktadır.

Elek analizi, silis kumu tanelerinin irilik ve dağılımlarını belirlemek için kullanılan bir yöntem de AFS sistemidir. AFS sisteminde, elekler üzerinde kalan numune oranları hesaplanmalıdır. Eleklerde kalan yüzde ile o elek aralığı için belirtilen AFS faktörü ile çarpılarak her eleğin AFS değeri hesaplandıktan sonra, tüm AFS değerleri toplandığında, ürünün bu sisteme göre hangi incelikte olduğu sayısal olarak hesaplanmış olur [41].

#### **3.1.4. Polimerler**

Disperse Olan Toz Polimerler (RDP): Kaplamalarda ve su bazlı lateks kaplamalarda VOC emisyonlarına ilişkin artan katı düzenlemeler, zamanla çok fazla gelişme sağlayarak organik solvent sisteminin yerini almıştır [42,43]. Bu zorluğu çözmek için, düşük VOC veya VOC içermeyen özelliklere sahip kuru karışım kaplama hazırlamak için inşaat alanına RD polimer tozu formülüne edilmiştir [44, 45].

Genel olarak beton ve harçlarda kullanılan polimerin dört ana kısmı vardır.

- i) Polimer lateks
- ii) Disperse olabilen toz polimer
- iii) Suda çözünür polimer
- iv) Sıvı polimer

Polimer lateks, lateksin sulu bir ortamda polimer mikro parçacıklarının kararlı bir dağılımıdır (emülsiyon). Doğada bulunur, ancak sentetik lateks, sürfaktanlarla emülsifiye edilen stiren gibi bir monomerin polimerleştirilmesiyle yapılabilir.

Disperse olabilen toz polimer (RDP), çeşitli işlemlerle hazırlanan, İlk aşamada emülsiyon polimerizasyonundan hammaddeler (polimer lateks) yapılan ve bu hammaddeler sprey kurutucu kullanılarak kurutulan ve son olarak toz olarak elde edilen polimerdir. İnşaat sektöründe kullanılır ve çeşitli çimento esaslı bileşimlerle karıştırılabilir. RD polimer tozu, çimentoların çeşitli özelliklerini geliştirmek için kullanılır. Kil silika ve kalsiyum karbonat gibi bazı blokaj önleyici yardımcı maddeler, RD tozunun kekleşmesini önlemek için spreyle kurutma sırasında veya sonrasında toza eklenmektedir. Örneğin PVAc bazlı RD, VeoVa bazlı RD, poli EVA bazlı RD, PAE bazlı RD.

Suda çözünür polimerler olarak polimer bazlı katkıları, PVOH, poliakrilamid, akrilatlar vb. gibi suda çözünür tozlu polimerlerdir. Bu suda çözünür polimerler, karıştırma süresi boyunca toz veya çözelti şeklinde beton veya çimento harçlarına eklenir.

Sıvı polimerler, doymamış polyester ve epoksi reçinesi gibi viskoz polimer malzeme olduğundan polimer bazlı katkıdır. Ayrıca karıştırma süresi boyunca çimento harcı veya betona katalizör/sertleştirici ve hızlandırıcı ile eklenirler [46].

Polimer tozları (RDP), seramik karo yapıştırıcıları, duvar macunu, seramik derz dolgusunda, kendiliğinden yayılan harçlarda, dekoratif sıvalarda, dış cephe yalıtım harçlarında, su geçirmez özellikli harçlarda, kuru karışım harcı içerisinde kullanılmaktadır [47]. Disperse olabilen polimer tozları (RDP), polimer emülsiyonlarının yüksek sıcaklık, basınç vb. çeşitli parametrelerde toz haline dönüştürüldüğü püskürtmeli kurutma işlemi ile hazırlanmaktadır. RDP'ler su ile karıştırıldığında, emülsiyon polimere benzer temel özelliklere sahip yeni bir emülsiyon halinde su içinde yeniden dağılmaktadır [48]. Harçlar ve betonlar için polimerin etki mekanizmasının iki teorisi vardır [49].

- Birinci teori, beton ile polimer arasında herhangi bir etkileşim yoktur. Hidratasyon işlemi sırasında, polimerin hidrofilik kısmı su fazına doğru yönlendirilirken, polimerin hidrofobik kısmı hava fazına doğru yönlendirilir (kılcal

damarlar ve gözenekler su ile yıgılmaz). Kurutma işleminde suyun uzaklaşmasından sonra hidrofobik partiküllerin birleşimi esnasında film oluşur.

- İkinci teori, reaktif polimerin partikül yüzeyi ile agregalar üzerindeki silikat veya katı yüzeyler arasında bazı kimyasal reaksiyonlar vardır. Bu, betonda yarı geçirgen membran yapacak bir tür donatıya yol açmaktadır [50]. Suyun buharlaşmasından sonra polimer film oluşturup, yüksek esneklik ve suya karşı durabilite özellikleri gösterir. Farklı temel malzemelerle, harçlarda yapışma dayanımını, basınç mukavemetini, aşınma direncini, su tutma ve inşa edilebilirlik özelliklerini geliştirmektedir [51].

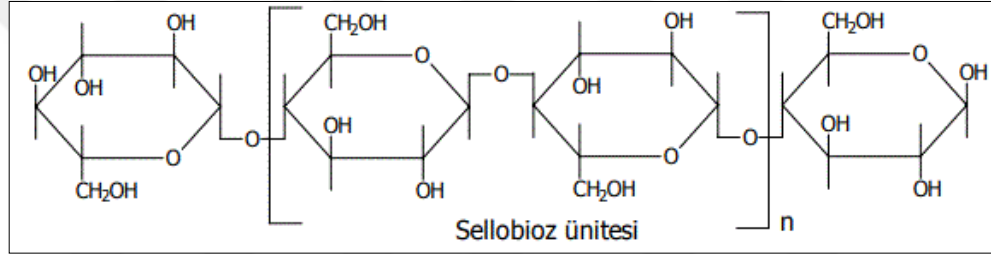
RDP'lerin bazı genel özellikleri aşağıdaki gibidir:

- Bağ dayanımını arttırmak için de kuru harç ürünlere rdp eklenir. Çimentonun hidrasyonundan sonra, matris delikleri ve polimer partikülün çimento formuna kılcal penetrasyonu mükemmel yapışma mukavemeti ile sonuçlanmaktadır.
- Eğilme (tensile) dayanımını iyileştirilme için sert yapılardaki çimento harçlarının hidrasyonunda, polimer filmin elastikiyeti ve sağlamlığı, stresi azaltmakta, gerilimi geliştirmekte ve bağ dayanımı direncini iyileştirmektedir.
- Darbe direncini artırma için, rd polimer tozu, darbe direncini artırır. Termoplastik reçine madde olan rdp'ler, harç parçacıklarının kaplanmış yüzeyleri, dış kuvvet etkisine maruz kalarak, harcın darbe direncini geliştirmektedir.
- Su absorpsiyonunun azaltılması ve hidrofobikliğin geliştirilmesi için çimentonun mikroskobik yapısı, rd polimer tozunun eklenmesiyle geliştirilmektedir.
- Durabilite ve su dayanım özelliğinin geliştirilmesi için harca eklenmesi, bağ dayanımı güçlendirilmekte, shear stress-taşıma kapasitesi geliştirilmekte sonuç olarak aşınma oranı düşürülmektedir.

- Malzemelerin çatlamasını önleme ve donma çözülme stabilitesini iyileştirme için rdp'nin termo plastisite özelliği, malzemenin çatlaması önlenmekte, malzemeyi uzun süre stabilize için daha esnek hale getirmektedir [47].

### 3.1.5. Diğer Kimyasallar

Selüloz eterler, temel kullanım alanı olan kağıt sanayinde kullanılmasının yanında, polimerik bir yapıda olmasından dolayı da farklı amaçlarla da kullanılmaktadır. Doğrusal bir yapıda ve doğal polimerik bir yapı olan selüloz eterler üzerinde oksitlenme karşı hassas olan olan suyu seven hidroksil grupları yer alır (Şekil 3.2) [52,53].



Şekil 3.2: Molekül selülozun kimyasal yapısı (DP'si = 2n+2).

Selülozun kimyasal değişikliklere uğraması sonucu selüloz türevleri oluşmaktadır. Selüloz, türevlerine dönüşürken hidroksil grupları reaksiyona girmektedirler[54].

Selülozlar sıradan çözücülerde çözünmemektedirler, bu sebeple türevler oluşturulmaktadır. Böylece selüloz bileşiğinin genel çözeltiler içerisinde çözünmesi sağlanmaktadır. Bu çözünürlüğü, elyaf, film ve plastiklerin uygun bir teknoloji ile oluşumu mümkün kılmaktadır. İlaç sanayinden, boya sektörüne kadar çeşitli sektörlerde kullanıldığı, Tablo 3.2'de nihai kullanım alanları, bazı selüloz türevlerine göre gösterilmektedir. Karboksimetilselüloz tipi selüloz eterlerin kağıt endüstrisinde ve temizlik malzemeleri üretiminde kullanıldıkları, hidroksietilselüloz tipi selüloz eterlerin son kullanım alanı olarak boyalar ve boyaya benzer vizkosite değerlerindeki ürünlerde kullanıldığı görülmektedir. Etilselüloz tipi selüloz eterler ise mürekkep ve kaplama gibi son kullanım alanlarında kullanılmaktadır. Gıda ve özellikle ilaç sanayinde de metilselüloz ve hidroksipropilselüloz tipi selüloz eterler kullanılmaktadır. [55]

Tablo 3.2: Selülozların Son Kullanım Alanları

| Selüloz Eter Tipleri                                                    | Kullanım Alanları                                        |
|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| CMC (Karboksimetilselüloz)<br>HMHEC (Karboksimetil-Hidroksietilselüloz) | Kağıt endüstrisinde ve temizlik malzemelerinde           |
| HEC (Hidroksietilselüloz)                                               | Boyalar ve boyaya benzer viskozite değerindeki ürünlerde |
| MC (Metilselüloz), HPC (Hidroksipropilselüloz)                          | Gıda ve ilaç sanayinde                                   |
| EC (Etilselüloz)                                                        | Kaplama, mürekkepler                                     |

Elyaf katkıları, doğal kaynaklardan elde edilebileceği gibi, endüstriyel olarak da belirli bir esneklik ve dayanımda elde edilen maddelerdir. Elyaf, doğal olan ve doğal olmayan olmak üzere iki grupta sınıflandırılabilir. Doğal elyaf, hayvan, bitki ve mineral kaynaklı elyaf iken, endüstriyel olarak tarif edilen yapay elyaf istenilen özellikleri karşılayacak şekilde geliştirilip üretilen elyaflardır. Tablo 3.3.'te bu çeşitler gösterilmiştir [56].

Tablo 3.3: Doğal ve Doğal Olmayan Yapay Elyaf Çeşitleri

| Doğal Elyaf             |                 |                | Doğal Olmayan Elyaf |               |
|-------------------------|-----------------|----------------|---------------------|---------------|
| Bitkisel Elyaf          | Hayvansal Elyaf | Madensel Elyaf | Cam Elyaf           | Polimer Elyaf |
| Akwara                  | Yün             | Asbest         | E                   | Akrilik       |
| Bambu                   | İpek            | Metal Elyaf    | S                   | Aramid        |
| Hindistan cevizi kabuğu | Kıl             | Karbon         | C                   | Naylon        |
| Keten, Kenevir          |                 |                | Cem-fil             | Polyester     |
| Şeker kamışı posası     |                 |                |                     | Poliüretan    |

Doğal olmayan elyaflar (yapay elyaflar), istenilen spektleri karşılayan endüstriyel malzemelerdir. Petrol türevi ürünlerden elde edilen sentetik ürünlerdir. Yapı olarak polietilen, polipropilen, poliamid ve polyester yapıda olabilirler. Doğal elyaflara göre daha dayanıklı, daha kolay üretilme ve daha uygun maliyetli olmaları sebebiyle hem inşaat sektöründe hem de farklı sektörlerde kullanımı tercih edilmektedir.

Yapay elyaflar istenilen özellikleri karşılayacak şekilde insan tarafından üretilen endüstriyel maddelerdir. Yapay elyaflar genellikle polietilen, poliamid, polipropilen ve polyester gibi petrol esaslı sentetik polimerlerden üretilir. Doğal elyaflara göre kimyasal reaksiyonlara daha dayanıklı olup dayanımları da yüksektir. Polimer kökenli yapay elyaflar, kolay elde edilebilmeleri ve maliyetlerinin düşük olması sebebiyle farklı sektörler yanında inşaat mühendisliği alanlarında da kullanılmaktadır [57].

Poliakrilamit kullanımı yaygın olan sentetik polimerlerden olup, çapraz bağlanan akrilamit monomerleri ile elde edilmektedir. Bünyesinde su tutabilen bir hidrojeldir. Bağları çapraz olması sebebiyle yüksek su tutma kabiliyetindedir. Hidrojel olmasının yanında inert yapıda da olması kompozit malzemelerle kullanımına olanak sağlar. En çok kullanılan sentetik polimerlerin başında gelmektedir [58][59].

## **3.2. Deneylerde Kullanılan Hammaddeler ve Kimyasallar**

### **3.2.1. Çimentolar**

Çalışmalarda, çimento olarak 4 tip çimento kullanılmıştır. Portland gri çimento, portland beyaz çimento, en az %40 alüminat içeren kalsiyum alüminatlı ısıya dayanıklı çimento (CAC) ve en az %50 alüminat içeren kalsiyum alüminatlı ısıya dayanıklı refrakter çimento ürünleri Çimsa, Mersin'den temin edilmiştir.

#### **3.2.1.1. Portland Gri Çimento**

Yapısında %36 alite içeren gri renkli portland çimentosudur. 3850 g/cm<sup>2</sup> yüzey alanı ve 2.96 g/cm<sup>3</sup> yoğunluğa sahip gri renk Çimentaş, İzmir'den tedarik edilen Tip 2 Portland çimentosu özellikleri Tablo 3.4'te gösterilmiştir. Tabloda kimyasal analiz değerleri ve fiziksel analiz değerleri görülmekte olup, test değerleri EN 197-1 standardına göre elde edilen sonuçları içermektedir. EN 197-1 standardına göre basınç

dayanımı değerleri 2 gün, 7 gün ve 28 gün test sonuçları görülmektedir. 28 gün basınç dayanımının 54 N/mm<sup>2</sup> değerinde olduğu görülmektedir.

Tablo 3.4: Gri Portland imento Kimyasal ve Fiziksel Analiz Değerleri.

| Kimyasal Analiz (%) |                                | Standart Limiti<br>[EN 197-1] | Portland imento<br>- Gri |
|---------------------|--------------------------------|-------------------------------|---------------------------|
|                     | SiO <sub>2</sub>               |                               | 22,64                     |
|                     | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |                               | 6,94                      |
|                     | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |                               | 3,33                      |
|                     | CaO                            |                               | 54,97                     |
|                     | MgO                            |                               | 1,70                      |
|                     | Na <sub>2</sub> O              |                               | 0,44                      |
|                     | K <sub>2</sub> O               |                               | 0,90                      |
|                     | SO <sub>3</sub>                | Maks. 4,0                     | 3,44                      |
|                     | Serbest Kireç                  |                               | 2,50                      |
|                     | Cl                             | Maks. 0,100                   | 0,012                     |
|                     | Kızdırma Kaybı                 | Maks. 5,0                     | 3,78                      |
| Fiziksel Analiz (%) | Basınç Dayanımı<br>2 gün       | N/mm <sup>2</sup>             | 28,7                      |
|                     | Basınç Dayanımı<br>7 gün       | N/mm <sup>2</sup>             | 42,0                      |
|                     | Basınç Dayanımı<br>28 gün      | N/mm <sup>2</sup>             | 54,0                      |
|                     | zgl Ağırlık                  | g/cm <sup>3</sup>             | 2,96                      |
|                     | Yüzey Alanı                    | cm <sup>2</sup> /gr           | 3850                      |
|                     | 0,09 mm Elek<br>Kalan Bakiye   | %                             | 0,50                      |
|                     | 0.032 mm Elek<br>Kalan Bakiye  | %                             | 15,50                     |
|                     | Hacim Sabitliği                | Max. 10 mm                    | 1,20                      |
|                     | Priz Başlangıç                 | Dakika                        | 195                       |
|                     | Priz Bitiş                     | Dakika                        | 305                       |
|                     | Su                             | %                             | 30,1                      |

### 3.2.1.2. Portland Beyaz Çimento

Çimsa'dan temin edilen 4500g/cm<sup>2</sup> yüzey alanı ve 3.06 g/cm<sup>3</sup> yoğunluğa sahip Superbeyaz model çimentoya ait özellikleri Tablo 3.5'te gösterilmiştir. EN 197-1 standardına göre basınç dayanımı değerleri 2 gün, 7 gün ve 28 gün test sonuçları görülmektedir. 28 gün basınç dayanımının 60 N/mm<sup>2</sup> değerinde olduğu görülmektedir. Tabloda firmaya ait Eko Beyaz model beyaz çimento özellikleri de belirtilmiş ve karşılaştırma amacı ile yer verilmiştir.

Tablo 3.5: Beyaz Portland Çimento Kimyasal ve Fiziksel Analiz Değerleri.

| Kimyasal Analiz (%) |                                | Standart Limiti<br>[EN 197-1] | Portland Çimento<br>Super Beyaz |
|---------------------|--------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
|                     | SiO <sub>2</sub>               | %                             | 21,6                            |
|                     | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | %                             | 4,05                            |
|                     | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | %                             | 0,26                            |
|                     | CaO                            | %                             | 65,7                            |
|                     | MgO                            | %                             | 1,30                            |
|                     | Na <sub>2</sub> O              | %                             | 0,30                            |
|                     | K <sub>2</sub> O               | %                             | 0,35                            |
|                     | SO <sub>3</sub>                | Maks. 4.0                     | 3,50                            |
|                     | Serbest Kireç                  | %                             | 1,60                            |
|                     | Cl                             | Maks. 0.100                   | 0,010                           |
|                     | Kızdırma Kaybı                 | Maks. 5.0                     | 3,50                            |
| Fiziksel Analiz (%) | Basınç Dayanımı<br>2 gün       | N/mm2                         | 37,0                            |
|                     | Basınç Dayanımı<br>7 gün       | N/mm2                         | 50,0                            |
|                     | Basınç Dayanımı<br>28 gün      | N/mm2                         | 60,0                            |
|                     | Özgül Ağırlık                  | g/cm3                         | 3,06                            |
|                     | Yüzey Alanı                    | Cm2/gr                        | 4600                            |
|                     | 0,09 mm Elek<br>Kalan Bakiye   | %                             | 0,10                            |
|                     | 0,045 mm Elek<br>Kalan Bakiye  | %                             | 1,0                             |
|                     | Hacim Sabitliği                | Max. 10 mm                    | 1,0                             |
|                     | Priz Başlangıç                 | Dakika                        | 100                             |
|                     | Priz Bitiş                     | Dakika                        | 130                             |
|                     | Su                             | (%)                           | 30,0                            |

### 3.2.1.3. Kalsiyum Alüminatlı Çimento

Çimsa, Mersin'den temin edilen Çimsa Aluminates ürünleri özel soğutma sistemine sahip füzyon yöntemiyle L-tip fırınlarda imal edilmektedir. Klinker, soğutma işlemi sonrasında öğütme işlemi geçilir ve paketleme işlemi gerçekleştirilir. Öğütme işlemi bilyalı değirmenlerde yapılmaktadır. Çimsa Aluminates ürünleri EN 14647 standartlarına uygun olarak üretilmektedir.

Alüminatlı çimento, Çimsa'dan temin edilen 3000 g/cm<sup>2</sup> yüzey alanından büyük ve en fazla 3,20 g/cm<sup>3</sup> yoğunluğa sahip Recipro 40 model Kalsiyum Alüminat Çimentonun özellikleri Tablo 3.6'da gösterilmiştir. Recipro 40 ürünü, bünyesinden en az %40 oranında alüminat içermektedir. EN 196-1 standardına göre 6 saat sonraki mukavemeti en az 20,0 MPa ve 24 saat sonraki basma mukavemeti en az 60 MPa değerinde olduğu görülmektedir. Geleneksel portland çimentoların fiziksel test değerleri ile kıyaslandığında, daha kısa sürelerde daha yüksek dayanım elde ettikleri görülmektedir. Erken dayanım sağlama özelliği sayesinde fonksiyonel çalışmalarda kullanılabilir. Recipro 40 çimentosu, yapı kimyasalları uygulamalarına yönelik çeşitli avantajlar sunmaktadır. Yüksek erken ve nihai mukavemet sağlamada, ayarlanabilir priz süresi işlemlerinde, hızlı kuruma süresi talep edilen çalışmalarda, -5 °C hava sıcaklıklarında bile kolay uygulama avantajı istenen alanlarda, ayarlanabilir işleme süresi istenen ürünlerde ve yüksek aşınmanın gerektiği bölgelerde kullanılmaktadır. Boru kaplamalar ve madencilik uygulamalarında, grout harçlarında, hızlı priz alan seramik yapıştırıcı ve derz dolgu üretimlerinde, su tıkaç harçlarında, tamir harçlarında ve kendiliğinden yayılan tesviye şaplarında ürünlere fonksiyonel özellik katmasından dolayı tercih edilmektedir.

### 3.2.1.4. Kalsiyum Alüminatlı Refrakter Çimento

Çimsa'dan temin edilen 1450 °C'ye kadar dayanım sağlayan Refro 50 model Kalsiyum Alüminat Çimentonun özellikleri Tablo 3.3'te gösterilmiştir. EN 196-1 standardına göre 6 saat sonraki mukavemeti en az 18,0 MPa ve 24 saat sonraki basma mukavemeti en az 60 MPa değerinde olduğu Tablo 3.6'te gösterilmiştir. Recipro 40

tipi kalsiyum alüminatlı çimentoya göre, daha yüksek oranda alüminat içeriğine sahip olup orta çimentolu refrakter harç uygulamalarını geliştirmeye yardımcı olarak kullanılmaktadır. Kalsiyum alüminatlı refrakter çimentodaki alüminat oranı yaklaşık %50 olarak beyan edilmektedir.

Tablo 3.6: Kalsiyum Alüminat Çimentoları Kimyasal ve Fiziksel Analiz Değerleri.

| Kimyasal Analiz (%) |                                | Standart Limiti<br>[EN 197-1] | Kalsiyum<br>Alüminatlı<br>Çimento<br>Recipro 40 | Kalsiyum<br>Alüminatlı<br>Refrakter<br>Çimento<br>Refro 50 |
|---------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
|                     | SiO <sub>2</sub>               | -                             | ≤ 5,0                                           | ≤ 6,0                                                      |
|                     | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | -                             | ≥ 38,0                                          | ≥ 49,0                                                     |
|                     | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | -                             | ≤ 19,0                                          | ≤ 3,0                                                      |
|                     | CaO                            | -                             | ≤ 40,0                                          | ≤ 40,0                                                     |
|                     | MgO                            | -                             | ≤ 1,0                                           | ≤ 1,0                                                      |
|                     | SO <sub>3</sub>                | Maks. 4.0                     | ≤ 0,2                                           | ≤ 0,2                                                      |
|                     | TiO <sub>2</sub>               | -                             | ≤ 3,0                                           | ≤ 4,0                                                      |
|                     | Na <sub>2</sub> Eq Alkali      | -                             | ≤ 0,3                                           | ≤ 0,3                                                      |
|                     | Çözünmeyen Kalıntı             | -                             | -                                               | -                                                          |
| Fiziksel Analiz (%) | 6 saat                         | -                             | ≥ 20,0                                          | ≥ 18,0                                                     |
|                     | 24 saat                        | -                             | ≥ 60,0                                          | ≥ 60,0                                                     |
|                     | Özgül Ağırlık                  | g/cm <sup>3</sup>             | ≤ 3,2                                           | ≤ 3,0                                                      |
|                     | Yüzey Alanı                    | cm <sup>2</sup> /gr           | ≥ 3000                                          | -                                                          |
|                     | 0,09 mm Elek Kalan Bakiye      | %                             | ≤ 4,0                                           | -                                                          |
|                     | 0,045 mm Elek Kalan Bakiye     | %                             | ≤ 14,0                                          | -                                                          |
|                     | Hacim Sabitliği                | Max. 10 mm                    | -                                               | -                                                          |
|                     | Priz Başlangıç                 | Dakika                        | ≥ 150                                           | ≥ 120                                                      |
|                     | Priz Bitiş                     | Dakika                        | ≤ 400                                           | ≥ 150                                                      |
|                     | Su                             | %                             | 28,1                                            |                                                            |

### 3.2.2. Agregalar

Bu çalışmada çimento esaslı hafif sıva formülasyonunda, hafif agregalar olarak geliştirilmiş perlit agregası ve pellet formunda geliştirilmiş vermikülit agregaları kullanılmış ve ilgili maddeler Bergama Madencilik,,İzmir'den ve Organik Madencilik,Sivas'tan temin edilmiştir. Kalsiyum karbonat agregaları Omya ve Esen Kalsit'ten; silis kumu ise Çeliktaş'tan temin edilmiştir.

#### 3.2.2.1. Genleştirilmiş Hafif Vermikülit Agregası

Yoğunluğu  $190\text{kg/m}^3$  olan parlak sarı renkte pellet formunda olan geliştirilmiş vermikülit agregasıdır. Ürünlerde düşük yoğunluğu sağlamaktadır. Genleştirilmiş vermikülit, Sivas, Yıldızeli'deki Organik Madencilik'e ait Karakoç vermikülit yatağından temin edilmiştir. Genleştirilmiş vermikülit, ham vermikülitin,  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 10 saniye süreyle tavlama ile elde edilir. Genleştirilmiş vermikülitin kimyasal özellikleri Tablo 3.7'de ve fiziksel özellikleri Tablo 3.8'de sunulmuştur. Vermikülit tablo 3.8'de görülebileceği gibi sinterleşme sıcaklığı  $1170\text{ }^{\circ}\text{C}$  olup yapı olarak yanmaz özelliktedir.



Şekil 3.3: Genleştirilmiş Vermikülit Agregası.

Tablo 3.7: Genleştirilmiş Vermikülitin Kimyasal Analiz Değerleri.

|                                | Genleştirilmiş Vermikülit (%) |
|--------------------------------|-------------------------------|
| Çözünmeyen Kalıntı             | -                             |
| SiO <sub>2</sub>               | 34,1                          |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 17,2                          |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 14,7                          |
| CaO                            | 6,4                           |
| MgO                            | 16,3                          |
| K <sub>2</sub> O               | 4,52                          |
| Diğerleri                      | 0,68                          |

Tablo 3.8: Genleştirilmiş Vermikülitin Fiziksel Özellikleri.

|                                      |                         |
|--------------------------------------|-------------------------|
| Renk                                 | Sarımtırak              |
| Şekli                                | Akordeon şekilli granül |
| Su Emme Kapasitesi (%)               | 240 (Kütlece)           |
| Isı İletkenlik Katsayısı (W/m.K)     | 0,063                   |
| Sinterleşme Sıcaklığı ( °C)          | 1170                    |
| Yanma Özelliği                       | Yanmaz                  |
| Özgül Isı Kapasitesi (kJ.kg-1°C-1)   | 0,92                    |
| Kütle Yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> ) | 190                     |

### 3.2.2.2. Genleştirilmiş Hafif Perlit Agregası

Yoğunluğu 110kg/m<sup>3</sup> olan beyaz renk toz formda genleştirilmiş hafif agregadır. Ürünlerde düşük yoğunluğu sağlamaktadır. Bergama Madencilik, İzmir'den temin edilmiştir. Bu çalışmada, yangına dayanıklı sıva üretimi için volkanik tabanlı

alüminosilikat malzemesi olan Perlit, geliştirilmiş olarak 100-110 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğunda Bergama Madencilik, İzmir'den temin edilmiştir. Ürüne ait özellikler kimyasal analizler ve elek dağılım değerleri Tablo 3.9'da ve Tablo 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.4: Geliştirilmiş Perlit Agrega Görseli.

Tablo 3.9: Geliştirilmiş Perlitin Kimyasal Analiz Değerleri.

|                                |       |
|--------------------------------|-------|
| SiO <sub>2</sub>               | 76,8  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 12,8  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,6   |
| CaO                            | 0,5   |
| MgO                            | 0,1   |
| Na <sub>2</sub> O              | 3,7   |
| K <sub>2</sub> O               | 5,3   |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,1   |
| Kızdırma Kaybı (1000 C)        | < 1,0 |

Tablo 3.10: Genleştirilmiş Perlitin Fiziksel Değerleri.

| Elekler (mm)        | Genleştirilmiş Perlit (%) |
|---------------------|---------------------------|
| +1,4 mm             | 2                         |
| -1,4 / + 0,8 mm     | 10 – 12                   |
| 0,8 / +0,3 mm       | 45 – 50                   |
| -0,3 mm / + 0,15 mm | 25 – 35                   |
| -0,15/ 0,074 mm     | 5 – 15                    |
| - 0,074 mm          | 0 – 5                     |

### 3.2.2.3. Kalsiyum Karbonat Agrega

Kullanılan agrega örneğinin %50’sinin elek altına geçtiği çap (d50) değeri 6,5-9,5 mikron aralığında; 19-36 mikron aralığında; 55-100 mikron aralığında; ve 300-450 mikron aralığında olan 4 tip kalsiyum karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) yapıda agrega malzemesi kullanılmıştır.

Numuneler içerisinde agrega olarak Esen Kalsit ve Omya firmalarından temin edilen farklı inceliklerde kalsiyum karbonatlar kullanılacak olup, bu kalsiyum karbonatlara ait Malvern cihazında yapılan incelik değerleri Tablo 3.11’de gösterilmiştir.

Bu tabloya göre;

- i) Agrega örneğinin %10’unun elek altına geçtiği çap (d10) değeri,  $D(v, 0,1)$  olarak;
- ii) Agrega örneğinin %50’sinin elek altına geçtiği çap (d50) değeri,  $D(v,0,5)$  olarak;
- iii)Agrega örneğinin %90’ının elek altına geçtiği çap (d90) değeri,  $D(v,0,9)$  olarak;
- iv)Agrega örneğinin %98’inin elek altına geçtiği çap (d98) değeri,  $D(v,0,98)$  olarak ve agrega örneğinin %100’nn elek altına geçtiği çap (d100) değeri,  $D(v,1)$

olarak gösterilmiştir.

Farklı agregalardaki kalsiyum karbonatın yanında, D50 değeri 300-375 mikron olan silis kumu da kullanılarak karşılıklı kontrol edilecektir.

Tablo 3.11: Kalsiyum Karbonat ve Silis Kumu İçin Malvern Analiz Değerleri

| Malzeme Adı    | Tedarikçi | D(v, 0,1) | D(v, 0,5) | D(v, 0,9) | D(v,0,98) | D(v, 1)   |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Omyacarb 5-GZ  | OMYA      | 1,4 – 3,0 | 6,5 - 9,5 | 18 - 23   | 26 - 32   | 33 - 45   |
| Omyacarb 40-KP | OMYA      | 2,5 - 4   | 19 - 24   | 65 - 85   | 95 - 130  | 140 - 180 |
| Omya Akr-GZ    | OMYA      | 8 - 30    | 55 - 85   | 120 - 160 | 155 - 225 | 195 - 300 |
| Esen O-5S      | ESEN      | 120 - 250 | 300 - 375 | 480 - 590 | 590 - 720 | 720- 875  |
| Silis Kumu     | ÇELİKTAŞ  | 120 - 280 | 315 - 400 | 470 - 650 | 700 - 815 | 900 - 950 |

#### 3.2.2.4. Silis Agrega

Silis agrega seçiminde D50 değeri 300-375 ve D90 değeri 480-590 olan kalsiyum karbonata karşılık en benzer olan silis kumu seçilmiştir. Yapılan kontrollerde, Çeliktaş Madencilik'ten alınan silis agreganın Malvern parçacık analizine göre test değerleri D50 değeri 315-400 ve D90 değeri 470-650 olarak tespit edilmiş olup, kullanıma uygun olduğu görülmüştür. Sinterleşme sıcaklığı 1600 °C'den yüksek olup, diğer kimyasal özellikleri Tablo 3.12'de gösterilmiştir. Silis kumunun

yapı olarak %98,85 oranında silis içerdiği görülmektedir. Bunun yanında 1000 °C’de yapılan kızdırma kaybına göre %0,2 oranında kızdırma kaybı değerine sahiptir.

Temin edilen silis kumunun fiziksel özellikleri Tablo 3.13’te gösterildiği gibi 355 mikron üzerinde silis taneciği yer almamaktadır. Amerikan Döküm Derneği (AFS) kriterlerine göre 60-65 afs silis kumu deneylerde kullanılmış olup AFS değeri hesaplarında elek aralığı boyutu olarak 710mikron, 500 mikron, 355mikron, 250 mikron, 180 mikron, 125 mikron, 90 mikron ve 63 mikron değerlere sahip eleklerin kullanıldığı görülmüştür.

Çeliktaş Sinai Kumu San.ve Tic. A.Ş. /Şile İstanbul’dan temin edilmiştir. AFS değerleri aşağıdaki tabloda belirtilmiştir. Analiz sonucu AFS değeri 61,7 olarak tespit edilmiştir [26].

Tablo 3.12: Silis Kumu Kimyasal Analiz Değerleri.

|                                             |       |
|---------------------------------------------|-------|
| SiO <sub>2</sub>                            | 98,85 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>              | 0,32  |
| CaO                                         | 0,03  |
| MgO                                         | 0,015 |
| Na <sub>2</sub> O                           | 0,771 |
| K <sub>2</sub> O                            | 0,054 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ve Diğerleri | 1,187 |
| Kızdırma Kaybı (1000 C)                     | 0,2   |

Tablo 3.13: Silis Kumu Fiziksel Analiz Değerleri.

| Elek Boyutu (um) | Üretim Aralığı (%) | Analiz Sonucu (%) |
|------------------|--------------------|-------------------|
| +710 um          | %0 ile 0,2 arası   | 0,0               |
| +500 ile -710 um | %0 ile 1,5 arası   | 0,0               |
| +355 ile -500 um | %0 – 8 arası       | 0,0               |
| +250 ile -355 um | %10 – 30 arası     | 0,3               |
| +180 ile -250 um | %40 – 65 arası     | 20,3              |
| +125 ile -180 um | %10 – 25 arası     | 41,7              |
| +90 ile -125 um  | %0 – 6 arası       | 20,3              |
| +63 ile -90 um   | %0 – 2 arası       | 8,5               |
| -63 um           | %0 – 0,3 arası     | 9,0               |

### 3.2.3. Kimyasal Katkılar

#### 3.2.3.1. Toz Polimerler

Çalışmalarda kullanılan Vinnapas® 4042 H, özellikle ETICS ve su yalıtım membranları için uygun, kuru karışım harçları için orta derecede hidrofobik dağılıbilir toz halde bir polimerdir. Orta hidrofobik etkiye sahip alt Tg aralığında dağılıbilir bir polimer tozudur. Reolojiye etkisi yoktur. Vinil asetat ve etilenden oluşan çok esnek bir kopolimer bazlı olup, ürünlerin farklı şartlandırmalarında, uygulama yapılan yüzeylerde bağ dayanımını (aderans) artırır. VINNAPAS® 4042 H ile modifiye edilmiş harçlar çok iyi işlenebilirlik sergiler ve kürlendiğinde yüksek mukavemete ulaşır. Ayrıca, sertleşmiş harç içinde hidrofobiklik sağlamaktadır.

Vinnapass marka 4042H model su itici yapıda kopolimer kullanılmış, bu da temel özelliklerin yapışma ve esnekliğine ek olarak hidrofobik bir etki sağladığı anlamına gelir.. Wacker Chemie'den temin edilmiştir.

İnorganik bağlayıcılarla karıştırılan toz polimer, çok iyi işlenebilirlik sağlamaktadırlar. Toz polimer ile kürlenmiş harçlar, geliştirilmiş yapışma, esneklik, düşük deformasyon ve belirli bir aşınma direncine sahip olmaktadır. Yüksek etilen içeriği ve dolayısıyla düşük cam geçiş sıcaklığı (T<sub>g</sub>) nedeniyle bu kopolimer oldukça

esnektir. Minimum film oluşturma sıcaklığı Tablo 3.14'te de görüldüğü gibi 0  C derecedir. Vinnapas  4042 H ile modifiye edilmiş harçlar, su emme ve su iticilik üzerinde kalıcı bir etkiye sahip olmaktadır. Toz polimer, genel önerilen kullanım dozajlarında su buharı geçişi üzerine herhangi bir olumsuz etkiye sahip olmamaktadır. Ürünün kendine has özellikleri olarak m kemm l durabilite, hidrofobik özellik ve köpük oluşumunu engelleme olarak ön plana çıkmaktadır.

Tablo 3.14: Disperse Olabilen Toz Polimer Genel Karakteristikleri.

|  zellik                              | Yöntem      | şartlar  | Değer                        |
|--------------------------------------|-------------|----------|------------------------------|
| Genel Görünüm                        | G rsel      | -        | Beyaz ile açık bej arası toz |
| Dökme Yoğunluk                       | EN ISO 60   | -        | 400 – 550 kg/m <sup>3</sup>  |
| Koruyucu<br>Kolloid/Emulsifer Sistem | -           | -        | Polivinil alkol              |
| Minimum Film<br>Olulşturma Sıcaklığı | ISO 2115    | -        | 0  C                         |
| Partikül Boyutu                      | EN ISO 4610 | > 400  m | Max. %4,0                    |
| Katı  zerik                          | EN ISO 3251 | -        | Min. %98                     |
| K l  zerik                           |  zel Metod  | 1000  C  | Max. %15                     |

### 3.2.4. Diğer Kimyasallar

#### 3.2.4.1. Selüloz Eter

Toz halde bulunan beyaz renkte modifiye hidroksi propil metil selülozdur (HPMC).  r nlerdeki ana reolojiyi oluşturur. Methocel 327 (Yeni adı: Walocel 327) orta yüksek molekül ağırlıklı su ile taşınan sistemlerin genel kalınlaşması için yararlı olan yüksek kıvamlaştırma etkinliğine sahip selüloz eter kullanılmıştır. Dow Chemical Company'den tedarik edilmiştir.

#### 3.2.4.2. Polipropilen ve Poliakrilamid (Polyamid) Elyaf Katkı

Elyaf formda 6mm uzunluktaki polipropilen ve poliakrilamid (polyamid) yapıda üründür. Kordsa'dan temin edilmiştir. Çalışmalarda yangına dayanıma katkısı bilinen

polipropilen ve polyamid yapıda elyaf kullanılarak mekanik dayanımlara ve yangın dayanımına katkıları incelenecektir. Kordsa,Kocaeli’nden temin edilen polipropilen elyaflara ait özellikler Tablo 3.15’te ve polyamid elyaflara ait özellikler Tablo 3.16’da gösterilmiştir.

Tablo 3.15: Polipropilen Elyafların Özellikleri

| Şekil                              | Stabil Elyaf |
|------------------------------------|--------------|
| Boyut (mm)                         | 6 mm         |
| Özgöl Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> ) | 0,92         |
| Elastisite Modülü (GPa)            | 3,15         |
| Çekme Dayanımı (MPa)               | 620          |
| Maksimum Uzama (%)                 | 22           |
| Elektrik Geçirgenliği              | Düşük        |

Tablo 3.16: Polyamid Elyafların Özellikleri

|                                   | Metod / Standart | Polyamid Elyaf Tip1 | Polyamid Elyaf Tip2 |
|-----------------------------------|------------------|---------------------|---------------------|
| Çap (mic)                         | EN 14889-2       | 27                  | 27                  |
| Boyut (mm)                        | EN 14889-2       | 6                   | 6                   |
| Özgöl Ağırlık(g/cm <sup>3</sup> ) | ASTM D 792       | 1,14                | 1,14                |
| Çekme Dayanımı (MPa)              | EN 14889-2       | 962                 | 962                 |
| Maksimum Uzama (%)                | EN 14889-2       | 17,55               | 17,55               |
| Erime Noktası ( C)                | EN 14889-2       | 255 - 260           | 260                 |
| İplik Sayısı/kg (adet)            | -                | -                   | 222lyon             |

### 3.3. Kullanılan Cihazlar ve Karakterizasyon Metodları

#### 3.3.1. Retsch Elek Analiz Cihazı

Hafif agregalar genişletilmiş perlit ve genişletilmiş vermikülit ürünlerin tanecik dağılımlarının analizi için kullanılan elek sarsma cihazıdır. Aynı zamanda çalışmalarda kullanılan silis kumunun AFS değerinin hesaplanmasında da elek analiz cihazı kullanılmaktadır. Belirli periyottaki titreşimler ile Şekil 3.5’te görülen en üst

elek içerisine eklenen numuneler, elek analiz cihazı sayesinde ayrıştırılır ve terazi yardımı ile kütlece oranları tespit edilmektedir.



Şekil 3.5: Retsch Marka Elek Sarsma Cihazı

### 3.3.2. Harç Karıştırma Mikseri

Kuru karışım halindeki, su eklenerek kullanıma hazır hale getirilen numuneler aksi belirtilmedikçe Tablo 3.17’de de belirtildiği gibi, TS EN 1015-2’ye göre karıştırılarak hazırlanmalıdır. Buna göre TS EN 196-1’e uygun karıştırıcı kullanılmaktadır. Uygun kıvamda getirilen numuneler daha sonra TS EN 1015-3’e göre uygun kıvamdaki oldukları kontrol edilmelidir. TS EN 196-1’e uygun karıştırıcı ile karışı hazırlanması metoduna göre önceden belirlenmiş miktarda su, Şekil 3.6’da görülen karıştırma mikserinin çelik hazne içerisine konulduktan sonra, düşük hızda çalıştırılan karıştırıcıya kuru harç karışımı 15 saniye içerisinde eklenmelidir. İmalatçı tarafından aksi belirtilmedikçe aynı düşük hızda 75 saniye daha karıştırarak karışım işlemi tamamlanır.

Tablo 3.17: TS EN 1015-2’ye Göre Harç Karışım Hacmi ve Katı Bileşen Muhtevası.

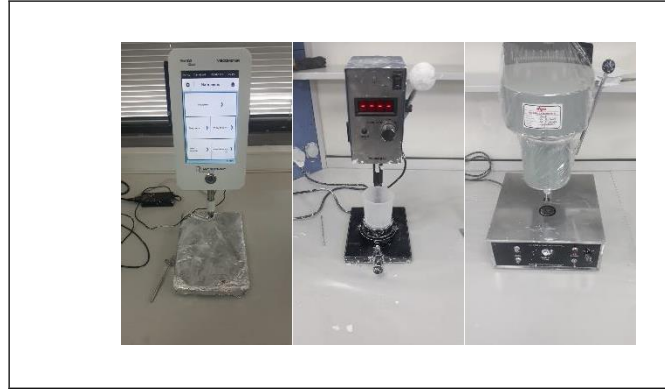
| Taze Harç Karışımı          | EN 196-1’e Uygun Karıştırıcı |
|-----------------------------|------------------------------|
| Katı Bileşen Muhtevası (kg) | 1,8 – 3,0                    |
| Hacim (dm <sup>3</sup> )    | 0,5 – 2,5                    |



Şekil 3.6: Mikser Marka Standart Harç Karıştırma Makinesi

### 3.3.3. Viskozimetre ve Flow Table

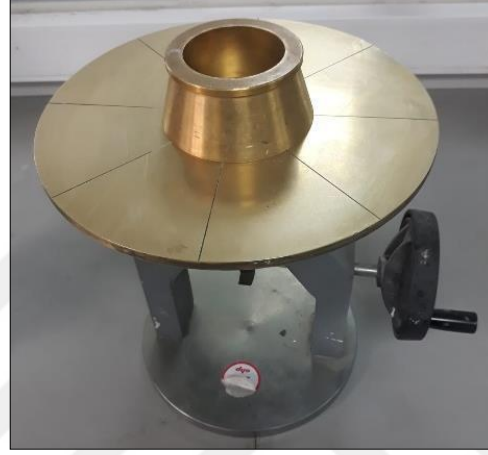
Boya vb. sıvı bileşenlerin kıvamının tayininde düşük kesme akışı için Brookfield Model DV-II, orta kesme akışı ölçmek için Krebs Units KU-2 Stormer, yüksek kesme akışını ölçmek için ICI Cone&Plate viskozimetresi kullanılmaktadır. Hammadde olarak temin edilen ve kullanılan selüloz eter Methocel 327'nin viskozitesini ölçmek için Şekil 3.7'de yeralan Brookfield Model DV-II kullanılmaktadır.



Şekil 3.7: Düşük, Orta ve Yüksek Kesme Akışı İçin Viskozimetre Cihazları (Brookfield, Krebs Unit ve ICI Cone Viskozimetreleri.)

Bu durum kagır harcı gibi harçlarının taze harç kıvamlarının tayininde flowtable denilen bir yayılma tablası zemini üzerinde yapılmaktadır. TS EN 1015-3 Kagır Harcı-Deney Metotları-Bölüm 3: Taze Harç Kıvamının Tayini (Yayılma Tablası ile) standardına göre, hazırlanan tüm numunelerinin harç kıvamları Şekil 3.8'deki harç yayılma tablası ile tespit edilmektedir. Bu standarta göre, yayılma zemini ve harcın

ekleneceği pirinçten imal halka içeri hazırlanan taze harç ile doldurulmakta, daha sonra pirinç kalıp çıkarılarak yayılma tablasında yer alan çevirme kolu kullanılarak her saniyede bir tam tur çevirme olacak şekilde 15 defa olacak şekilde çevrilerek numunenin yayılması sağlanır. Alınan test değeri mm olarak kaydedilir. Reoloji ölçüm ve takibi için harçlarda EN 1015-3 olan Avrupa Direktifi dikkate alınmaktadır. Hazırlanan çimento esaslı sıvaların kıvamları için flowtable ekipmanı kullanılmış ve harçların yayılma değeri belirlenmiştir.



Şekil 3.8: Flowtable Taze Harç Yayılma Tablası (TS EN 1015-3'e Göre).

TS EN 1015-6 Kagit Harcı İçin Deney Metotları - Bölüm 6: Taze Harcın Boşluklu Birim Hacim Kütlesinin Tayini metoduna göre ürünlerde aranan harç yayılma değerleri tablo 3.18'de verilmiştir.

Tablo 3.18: Taze Harcın Boşluklu Birim Hacim Kütlesinin Tayini Metoduna Göre Ürünlerde Aranan Harç Yayılma Değerleri.

| Kullanılacak Kıvam         | Harç Yayılma (mm) |
|----------------------------|-------------------|
| Katı formdaki harç için    | < 140 mm          |
| Plastik formdaki harç için | 140– 200 mm       |
| Yumuşak formdaki harç için | > 200 mm          |

TS EN 1015-2 standardına göre ise harç yayılma değerlerinin limitleri, yoğunluk değerlerine göre Tablo 3.19 gösterildiği gibi plup, TS EN 1015-6 ile çelişmemelidir.

Tablo 3.19: Taze Harcın Boşluklu Birim Hacim Kütlesine Göre Harç Yayılma Limit Değerleri

| Taze Harcın Boşluklu Birim Hacim Kütlesi (kg/m <sup>3</sup> ) | Harç Yayılma (mm) |
|---------------------------------------------------------------|-------------------|
| '> 1200                                                       | 175 ± 10          |
| 600 < X ≤ 1200                                                | 160 ± 10          |
| 300 < X ≤ 600                                                 | 140 ± 10          |
| ≤ 300                                                         | 120 ± 10          |

### 3.3.4. Taze Harç Yoğunluğu ve Harç Hava İçerik Cihazı

Hazırlanan ürünlerin harç hava içerikleri Şekil 3.9’da gösterilen Formtest marka harç hava içerik cihazı ile ölçülmüştür. Ekipman alt metal haznesi 1000 mL hacme sahip olup ürünlerin taze harç yoğunluklarının tespit edilmesinde kullanılmaktadır. TS EN 1015-6 metoduna göre yapılan bu test ile, numuneden en az 1,5 katı oranında alınması gerekmektedir. Daha sonra hazırlanan harç, standartta bahsedildiği gibi düşük devirli bir karıştırıcıda su kullanılarak harç haline getirildikten sonra yoğunluğu tespit edilir.



Şekil 3.9: Formtest Harç Hava İçerik Test Ekipmanı

Aynı ekipmanın üst manometre kısmı da kullanılarak, ürünler içerisinde oluşan hava içeriklerinin tayininde de kullanılmaktadır. TS EN 1015-7 Kâgir harcı - Deney metotları - Bölüm 7: Taze harcın hava muhtevasının tayini test metoduna göre %20'ye kadar olan harç hava içeriklerinin tespitinde kullanılmaktadır. Alt metal haznesine numune taze harç halinde iken eklenerek yüzeyi bir metal cetvel vasıtasıyla düzeltilmelidir. Daha sonra manometre kısmı cihaza oturtularak manometrenin yerleştirilmesi sağlanır.

Sağ ve sol tarafta yer alan vanalar açılarak içerisine piset yardımı ile su eklenir, eklenen suyun diğer vanadan çıkışı görülene kadar su eklenilmeye devam edilir ve ardından iki vana da kapatılır. Manometre üzerinde yeralan gri renkteki yuvarlak metal ekipman çevrilerek hava çıkışı tamamen kapatılır. Manometre üzerindeki siyah plastik başlıklı pompa vasıtasıyla ürün içerisine hava eklenir ve pompa ekipmanı da çevrilerek sıkıştırılır. Bu kez gri renkteki metal disk tekrar kullanılarak, manometre göstergenin kırmızı kalibrasyonu yapılmış bölüme getirilerek test alınmaya hazırlanmış olunur. Manometre üstünde yeralan hava çıkış koluna bir kez basılarak, ürün içerisindeki harç hava içeriği manometre üzerindeki göstergeden okunarak yüzde olarak kaydedilir.

### **3.3.5. Nüve MF106 Model Kül Fırını**

Yapılan çalışmalarda, numunelerin yangına dayanıklılığı, kalan basınç mukavemetlerinin karşılaştırılması, Şekil 3.10'da gösterilen Nüve marka kül fırını kullanılarak sağlanmıştır. Buna göre bir yangın ortamını simüle eden yüksek bir sıcaklığa maruz kaldıktan sonra, ilk (28 günlük) mukavemeti ile 800 °C sonrası basınç mukavemeti karşılaştırılmıştır. Fırın sıcaklığı en yüksek 800 °C'ye yükseltilmiş ve bu sıcaklık 120 dakika boyunca sabit kalmıştır. Ürünler 800 °C'de 2 saat boyunca kül Nüve MF106 model kül fırını kullanılmıştır. 40x40x160 mm ebatlarındaki çelik kalıplarda hazırlanan numuneler, iki eşit parçaya ayrılarak yaklaşık 80 mm uzunluğunda 2 numune haline getirilmiştir. Bu numunelerin hem basınç dayanımları hem de kütle kayıpları not alınmıştır.



Şekil 3.10: Nüve MF 106T Marka Kül Fırını.

### 3.3.6. TA Fox 314 Model Isı Akış Ölçer

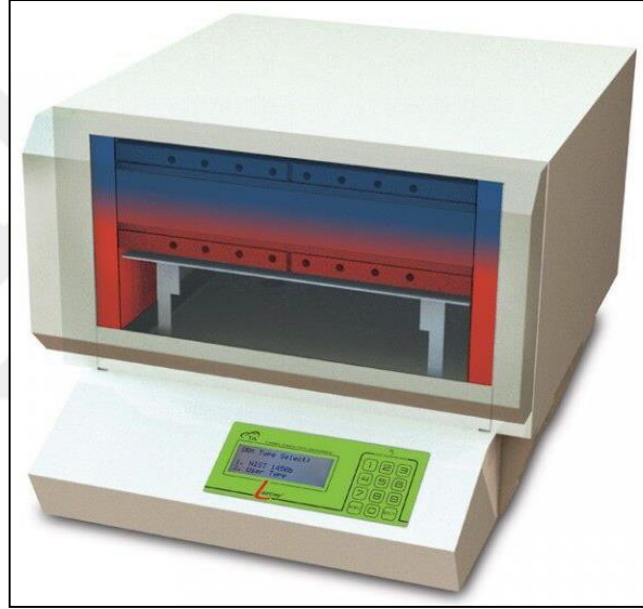
Isıl direnci  $0,5 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ 'dan daha düşük olmayan numunelerin ısııl direncinin tayini için uygulanan deney işlemleri, mahfazalı sıcak plaka ve ısı akış sayacı metodu ile TS EN 12667 standardı olan “Yapı Malzemeleri ve Mamüllerinin Isıl Performansı- Mahfazalı Sıcak Plaka ve Isı Akış Sayacı metotlarıyla Isıl Direncin Tayini-Yüksek ve Orta Isıl Dirençli Mamüller” standardına göre yapılmaktadır.

Deney parçaları, kütleleri belirlendikten sonra ilgili ürün standardı olan EN 998-1'e göre uygun olan sabit kütleyle gelinceye kadar şartlandırılır. Numuneler cihaza yerleştirilmeden hemen önce tartılarak kütleleri  $\%0,5$ 'ten daha iyi bir doğrulukla belirlenmiştir. Mahfazalı sıcak plaka cihazı ölçmelerinde, Şekil 3.11'de görüldüğü gibi

plakalar arası sıcaklık farklılıkları oluşturulmaktadır. Isıl Direnç,  $R$ , ölçümü ise plakalar arası sıcaklık farklılıkları, numunenin ısı değişimine maruz kaldığı alan ve numuneye ait kalınlık bilgileri ile Eşitlik 1.1 kullanılarak elde edilir. Daha sonra da ısı iletkenlik katsayısı,  $\lambda$ , Eşitlik 1.2 kullanılarak hesaplanır.

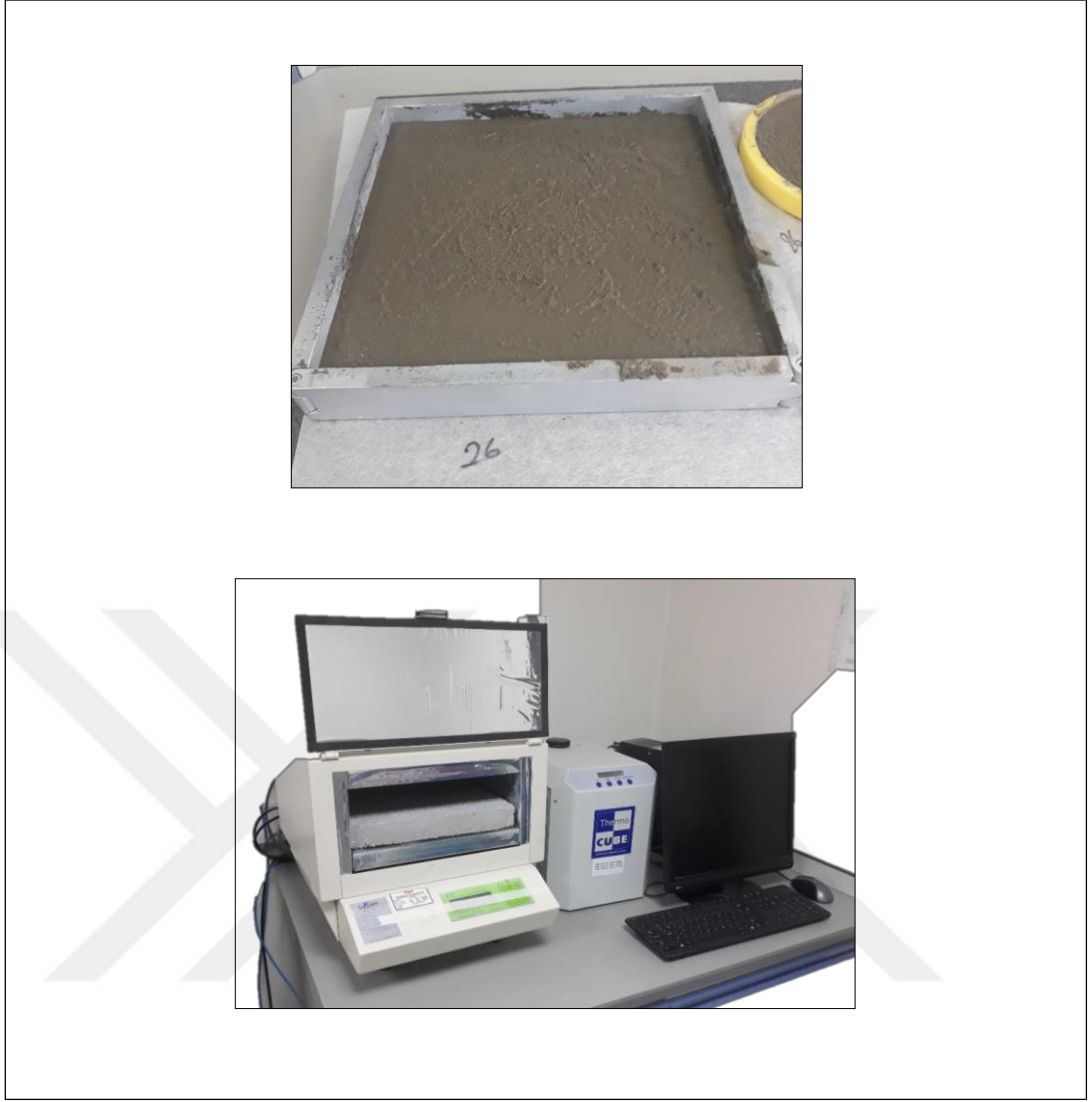
$$R = \frac{(T1 - T2)}{\Phi} \times A \quad (3.2)$$

$$\lambda = \frac{\Phi d}{A (T1 - T2)} \quad (3.3)$$



Şekil 3.11: TA Instruments Fox 314 Isı İletkenlik Katsayısı Ölçüm Cihazı İç Mekanizma Görüntüsü.

Standartta göre, gevşek agregalı malzeme kullanımı olan numunelerde, test numunesi kalınlıkları, ortalama dane, boncuk veya pul boyutunun en az 10 katı olması gerektiğinde, standartta belirtilen uygun kalınlık değerine göre numuneler hazırlanmıştır. Buna göre, Şekil 3.12’de gösterildiği gibi 300 x 300 mm ebatlarında çelik kalıplar, hazırlanan harç karışımları için kullanılmıştır.



Şekil 3.12: TA Instruments Fox 314 Isı İletkenlik Katsayısı Ölçüm Cihazı İçin Numune Hazırlanması ve Numunenin Cihaza Yerleştirilmesi

Cihazda farklı zamanlardaki ısı akışlarını ölçerek, belirlenen sıcaklıklarda kullanılan hafif agregaların hacimce ve kütlece oranları farkının, ısı iletkenliğe etkisi incelenmiştir.

### 3.3.7. Malvern Mastersizer 2000 Model Partikül Sayacı

Tane dağılımları toz ürünlerin birçok özelliğini etkileyebileceği gibi, aynı zamanda, üründen alınacak performansın da kalitenin de bir göstergesidir. Mikronize boyuttaki numunelerin boyutunda genelde en çok kullanılan 3 parametre Dv10, Dv50, and Dv90 parametreleridir. Bu ifadeler, numune içerisindeki taneciklerin yüzde olarak

nerede yer aldığını gösterir. Dv50 değeri 150 mikron olan bir ürünün hacmen %50'si 150 mikron büyüklüğünün altındayken, Dv90 değeri 150 mikron olan bir ürünün ise hacmen %90'ı 150 mikron büyüklüğünün altındadır. Kullanılan agregaların tane boyut dağılımları analizleri, tane boyut dağılımı ölçümlerini lazer kırınım tekniği ile ölçüm alan Malvern Mastersizer 2000 Model Malvern Partikül Sayacı kullanılarak belirlenmiştir. Dolayısıyla, kullanılan agregaların optimum tane boyut dağılımları bilinen agregalar kullanılarak, ürünlerin final test sonuçlarına etkisi incelenmiştir.

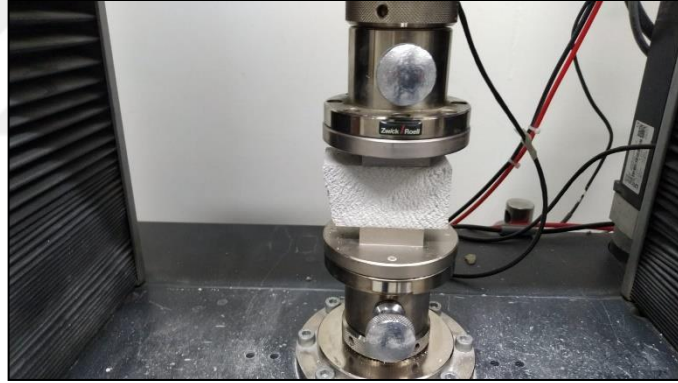


Şekil 3.13: Malvern Mastersizer 2000 Model Malvern Partikül Sayacı.

### 3.3.8. Zwick Z050 Model Universal Test Cihazı

TS EN 1015-11 Kagit Harcı- Deney Metotları Bölüm 11: Sertleşmiş Harcın Basınç ve Eğilme Dayanımı Tayini test metoduna göre 40 x 40 x 160 mm çelik kalıplarda hazırlanan çimento esaslı hafif sıvaların basınç dayanım testleri ile TS EN 1015-12 Kagit Harcı- Deney metotları Bölüm 12: Sertleşmiş sıva ve örgü harcının alt tabakaya yapışma dayanımının tayini test metoduna göre, EN 1323'e uygun alt beton tabakaya yapılan bağ dayanımı(adhezyon) testleri Zwick Z050 model cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

Basınç dayanımı testlerinde standartta belirtildiği gibi şartlandırılan numuneler 28gün boyunca 23 °C ve %50 bağıl nemde şartlandırmanın sonrasında cihazda testleri gerçekleştirilir.



Şekil 3.14: Zwick Z050 Model Universal Test Cihazında Yapılan Çekme, Eğilme ve Basınç Dayanımı Testleri

### 3.4. Çimento Esaslı Hafif Sıva Formülasyonları

Formüllerin hazırlanmasında, her bir formülden diğerine geçiş yapılırken sadece bir kimyasal değiştirilerek bu kimyasal ilk çalışmaya göre oluşturmuş olduğu etkiler incelenmek istenmiştir. Farklı agrega büyüklüklerinde kalsiyum karbonat agregalar kullanılmış olup, kalsiyum karbonatlar 900 °C derecede dekompozasyona uğramamasına dikkat edilmiştir. Daha sonra da, d50 değeri silis agrega ile benzer olan çalışmalarda farklı çimento oranları kontrol edilmiştir. Son olarak da, farklı elyaf katkıların 800 °C derece sonrasında üründe oluşturduğu etkiler incelenmiştir. Ağırlıkça hazırlanan formüller Tablo 3.20, Tablo 3.21 ve Tablo 3.22’de aşağıda belirtilmiştir.

Hazırlanan çimento esaslı hafif sıva denemeleri Avrupa Direktifi EN 998-1’e göre performanslarının test edilmesi için Tablo 3.20, Tablo 3.21 ve Tablo 3.22’ye göre hazırlanan formülasyonların TS EN 998-1 Avrupa Direktifine uygun olması istenmiştir. EN 998-1 Avrupa Direktifi’nde yer alan hafif sıvalar (LW) ve termal sıvalar (T) birbirlerine benzer görülse de ayrıştığı yönler bulunur. Ürünlerin birbirlerinden ayrışan özelliklerinde, basınç dayanımlarının LW tip sıvalar için CS I, CS II sınıfında basınç dayanımlarının yanında CS III tip sınıfta yer almaktadır.

Tablo 3.23’e göre EN 13501-1’e göre A1 ve A2 sınıf gereklerinde yer alan EN ISO 1182 standardına göre sınıflandırılması gerekmekte olup, çalışmada A1 sınıfı ve A sınıfı, homojen ve homojen olmayan ürünlerde EN ISO 1182 standardına göre kütle kaybı olarak  $\leq$  %50 değerinin altında olması dikkate alınmıştır. Tablo 3.23’te A1 ve A2 sınıfı ürünler için gereken özellikler gösterilmiştir.

Tablo 3.20 Farklı Boyutlardaki Kalsiyum Karbonat Agregası Denemeleri (Ağırlıkça %).

| Hammaddeler (Ağırlıkça %)                 | #01   | #02   | #03   | #04   | #05   | #06   | #07   | #08   |
|-------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Portland Gri Çimento (Cem I 42,5R)        | 50,0  | -     | -     | -     | 50,0  | -     | -     | -     |
| Portland Beyaz Çimento (Cem I 42,5R)      | -     | 50,0  | -     | -     | -     | 50,0  | -     | -     |
| Kalsiyum Alüminatlı Çimento               | -     | -     | 50,0  | -     | -     | -     | 50,0  | -     |
| Kalsiyum Alüminatlı Refrakter Çimento     | -     | -     | -     | 50,0  | -     | -     | -     | 50,0  |
| Kalsiyum Karbonat Agregası (D50: 19-36)   | 28,3  | 28,3  | 28,3  | 28,3  | -     | -     | -     | -     |
| Kalsiyum Karbonat Agregası (D50: 6,5-9,5) | -     | -     | -     | -     | 28,3  | 28,3  | 28,3  | 28,3  |
| Kalsiyum Karbonat Agregası (D50: 55-100)  | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| Kalsiyum Karbonat Agregası (D50: 300-450) | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| Genleştirilmiş Perlit                     | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  |
| Genleştirilmiş Vermikülit                 | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  |
| Methocel 327                              | 0,2   | 0,2   | 0,2   | 0,2   | 0,2   | 0,2   | 0,2   | 0,2   |
| Wacker 4042H                              | 1,5   | 1,5   | 1,5   | 1,5   | 1,5   | 1,5   | 1,5   | 1,5   |
| Toplam                                    | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

Tablo 3.20 Farklı Boyutlardaki Kalsiyum Karbonat Agregası Denemeleri (Ağırlıkça %)  
(Devam)

| Hammaddeler<br>(Ağırlıkça %)              | #09   | #10   | #11   | #12   | #13   | #14   | #15   | #16   |
|-------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Portland Gri Çimento (Cem I 42,5R)        | 50,0  | -     | -     | -     | 50,0  | -     | -     | -     |
| Portland Beyaz Çimento (Cem I 42,5R)      | -     | 50,0  | -     | -     | -     | 50,0  | -     | -     |
| Kalsiyum Alüminatlı Çimento               | -     | -     | 50,0  | -     | -     | -     | 50,0  | -     |
| Kalsiyum Alüminatlı Refrakter Çimento     | -     | -     | -     | 50,0  | -     | -     | -     | 50,0  |
| Kalsiyum Karbonat Agregası (D50: 19-36)   | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| Kalsiyum Karbonat Agregası (D50: 6,5-9,5) | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| Kalsiyum Karbonat Agregası (D50: 55-100)  | 28,3  | 28,3  | 28,3  | 28,3  | -     | -     | -     | -     |
| Kalsiyum Karbonat Agregası (D50: 300-450) | -     | -     | -     | -     | 28,3  | 28,3  | 28,3  | 28,3  |
| Genleştirilmiş Perlit                     | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  |
| Genleştirilmiş Vermikülit                 | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  |
| Methocel 327                              | 0,2   | 0,2   | 0,2   | 0,2   | 0,2   | 0,2   | 0,2   | 0,2   |
| Wacker 4042H                              | 1,5   | 1,5   | 1,5   | 1,5   | 1,5   | 1,5   | 1,5   | 1,5   |
| Toplam                                    | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

Tablo 3.21: Farklı Çimento Tipleri Kullanımında Kalsiyum Karbonat Agregası ile Silis Agregası Denemeleri (Ağırlıkça %)

| Hammaddeler<br>(Ağırlıkça %)              | #13   | #14   | #15   | #16   | #17   | #18   | #19   | #20   |
|-------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Portland Gri Çimento (Cem I 42,5R)        | 50,0  | -     | -     | -     | 50,0  | -     | -     | -     |
| Portland Beyaz Çimento (Cem I 42,5R)      | -     | 50,0  | -     | -     | -     | 50,0  | -     | -     |
| Kalsiyum Alüminatlı Çimento               | -     | -     | 50,0  | -     | -     | -     | 50,0  | -     |
| Kalsiyum Alüminatlı Refrakter Çimento     | -     | -     | -     | 50,0  | -     | -     | -     | 50,0  |
| Kalsiyum Karbonat Agregası (D50: 300-450) | 28,3  | 28,3  | 28,3  | 28,3  | -     | -     | -     | -     |
| Silis Agregası                            | -     | -     | -     | -     | 28,3  | 28,3  | 28,3  | 28,3  |
| Genleştirilmiş Perlit                     | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  |
| Genleştirilmiş Vermikülit                 | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  |
| Methocel 327                              | 0,2   | 0,2   | 0,2   | 0,2   | 0,2   | 0,2   | 0,2   | 0,2   |
| Wacker 4042H                              | 1,5   | 1,5   | 1,50  | 1,50  | 1,50  | 1,50  | 1,50  | 1,50  |
| Toplam                                    | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

Tablo 3.22: Farklı Çimento Tipleri Kullanımında Farklı Elyaf Tipi Denemeleri (Ağırlıkça %).

| Hammaddeler (Ağırlıkça %)                  | #01   | #02   | #03   | #04   | #21   | #22   | #23   | #24   |
|--------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Portland Gri Çimento (Cem I 42,5R)         | 50,0  | -     | -     | -     | 50,0  | -     | -     | -     |
| Portland Beyaz Çimento (Cem I 42,5R)       | -     | 50,0  | -     | -     | -     | 50,0  | -     | -     |
| Kalsiyum Alüminatlı Çimento                | -     | -     | 50,0  | -     | -     | -     | 50,0  | -     |
| Kalsiyum Alüminatlı Refrakter Çimento      | -     | -     | -     | 50,0  | -     | -     | -     | 50,0  |
| Kalsiyum Karbonat Agrega No:1 (D50: 19-36) | 28,3  | 28,3  | 28,3  | 28,3  | 28,2  | 28,2  | 28,2  | 28,2  |
| Genleştirilmiş Perlit                      | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  |
| Genleştirilmiş Vermikülit                  | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  |
| Methocel 327                               | 0,2   | 0,2   | 0,2   | 0,2   | 0,2   | 0,2   | 0,2   | 0,2   |
| Wacker 4042H                               | 1,5   | 1,5   | 1,5   | 1,5   | 1,5   | 1,5   | 1,5   | 1,5   |
| Polipropilen Elyaf                         | -     | -     | -     | -     | 0,1   | 0,1   | 0,1   | 0,1   |
| Poliakrilamid Elyaf Tip1                   | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| Poliakrilamid Elyaf Tip2                   | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| Toplam                                     | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

Tablo 3.22: Farklı Çimento Tipleri Kullanımında Farklı Elyaf Tipi Denemeleri (Ağırlıkça %) (Devam)

| Hammaddeler (Ağırlıkça %)                    | #25   | #26   | #27   | #28   | #29   | #30   | #31   | #32   |
|----------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Portland Gri Çimento (Cem I 42,5R)           | 50,0  | -     | -     | -     | 50,0  | -     | -     | -     |
| Portland Beyaz Çimento (Cem I 42,5R)         | -     | 50,0  | -     | -     | -     | 50,0  | -     | -     |
| Kalsiyum Alüminatlı Çimento                  | -     | -     | 50,0  | -     | -     | -     | 50,0  | -     |
| Kalsiyum Alüminatlı Refrakter Çimento        | -     | -     | -     | 50,0  | -     | -     | -     | 50,0  |
| Kalsiyum Karbonat Agregası No:1 (D50: 19-36) | 28,2  | 28,2  | 28,2  | 28,2  | 28,2  | 28,2  | 28,2  | 28,2  |
| Genleştirilmiş Perlit                        | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  |
| Genleştirilmiş Vermikülit                    | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  |
| Methocel 327                                 | 0,2   | 0,2   | 0,2   | 0,2   | 0,2   | 0,2   | 0,2   | 0,2   |
| Wacker 4042H                                 | 1,5   | 1,5   | 1,5   | 1,5   | 1,5   | 1,5   | 1,5   | 1,5   |
| Polipropilen Elyaf                           | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| Poliakrilamid Elyaf Tip1                     | 0,1   | 0,1   | 0,1   | 0,1   | -     | -     | -     | -     |
| Poliakrilamid Elyaf Tip2                     | -     | -     | -     | -     | 0,1   | 0,1   | 0,1   | 0,1   |
| Toplam                                       | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

Tablo 3.23: Avrupa Direktifi (EN) 13501-1'e Göre A1 ve A2 Sınıf Gerekleri.

| Sınıf | Deney Yöntemi | Sınıflandırma Kriteri                                                                                                                                                                        | Testi sağlamalı                                            |
|-------|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| A1    | EN ISO 1182   | - $\Delta T \leq 30$ (Fırın sıcaklığının 30 C Derecenden fazla değişmemesi)<br>- $\Delta m \leq \%50$ (Initial kütleinin %50'den fazla kaybı olmaması)<br>- $t(f) = 0$ (yanmaya devam etmez) | Testi sağlamalı                                            |
|       | EN ISO 1176   | $PCS \leq 2,0 \text{ MJ/kg}$                                                                                                                                                                 | EN ISO 1182 veya EN ISO 1176 testlerinden birini sağlamalı |
| A2    | EN ISO 1182   | - $\Delta T \leq 30$ (Fırın sıcaklığının 30 C Derecenden fazla değişmemesi)<br>- $\Delta m \leq \%50$ (Initial kütleinin %50'den fazla kaybı olmaması)<br>- $t(f) \leq 20$ saniye            |                                                            |
|       | EN ISO 1176   | $PCS \leq 3,0 \text{ MJ/kg}$                                                                                                                                                                 | Testi sağlamalı                                            |
|       | EN 13823      | $FIGRA \leq 120 \text{ W/s}$<br>$LFS < \text{numunenin kenarı}$<br>$THR 600s \leq 7,5 \text{ MJ}$                                                                                            | Testi sağlamalı                                            |

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan bu çalışmada toplam 32 adet formülasyon çalışılmıştır. 01 nolu çalışmadan 16 nolu çalışmaya kadar farklı boyutlarda kullanılan agrega tiplerinin tek tek Portland Çimentolar ve Isıya dayanıklı çimentolarda yapmış olduğu etki incelenmiştir. Ayrıca; çalışma, aynı agreganın kullanımı olduğu denemelerde, farklı tip çimento kullanımındaki etkisini de yorumlamaya yardımcı olmaktadır.

13 nolu çalışmadan 20 nolu çalışmaya kadar, aynı boyutlarda kalsiyum karbonat agrega ile silis agrega kullanımındaki etkiler değerlendirilmiştir.

21 nolu çalışmadan 32 nolu çalışmaya kadar, denemelere farklı tip ve modellerde eklenen elyaf katkıların etkileri görülmek istenmiştir.

### 4.1. Harç Yoğunluk Sonuçları

Ürünler testlere alınırken, EN 1015-3'e uygun olacak şekilde harç yayılma değerleri  $\geq 175\text{mm}$  olacak şekilde kıvamları hazırlanmıştır. Buna göre final çalışmalara eklenen su oranları (%) ve çalışmaların harç yoğunluk değerleri  $\text{kg/m}^3$  olarak Tablo 4.1'de iletilmiştir.

Harç yoğunluk değerlerinin 946 ile 1093  $\text{kg/m}^3$  arasında oldukları görülmüştür.

Tablo 4.1: Avrupa Direktifi (EN) 1015-3'e Göre Uygun Harç Yayılma Değerindeki Çalışmaların Harç Yoğunluk Değerleri.

| Çalışma | Eklenen Su Oranı (%) | Harç Yoğunluk ( $\text{kg/m}^3$ ) |
|---------|----------------------|-----------------------------------|
| #01     | 70,0                 | 1069                              |
| #02     | 70,0                 | 1015                              |
| #03     | 70,0                 | 946                               |
| #04     | 70,0                 | 972                               |
| #05     | 70,0                 | 1022                              |
| #06     | 70,0                 | 1026                              |
| #07     | 70,0                 | 1010                              |

Tablo 4.1: Avrupa Direktifi (EN) 1015-3'e Göre Uygun Harç Yayılma Değerindeki Çalışmaların Harç Yoğunluk Değerleri (devam).

| Çalışma | Eklenen Su Oranı (%) | Harç Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> ) |
|---------|----------------------|------------------------------------|
| #08     | 70,0                 | 1046                               |
| #09     | 69,7                 | 1093                               |
| #10     | 69,5                 | 1088                               |
| #11     | 70,0                 | 995                                |
| #12     | 70,0                 | 1015                               |
| #13     | 70,0                 | 975                                |
| #14     | 70,7                 | 972                                |
| #15     | 70,5                 | 981                                |
| #16     | 70,2                 | 992                                |
| #17     | 68,2                 | 992                                |
| #18     | 69,1                 | 1003                               |
| #19     | 69,5                 | 954                                |
| #20     | 69,5                 | 957                                |
| #21     | 72,5                 | 1039                               |
| #22     | 73,0                 | 1042                               |
| #23     | 73,0                 | 1033                               |
| #24     | 73,0                 | 1023                               |
| #25     | 73,0                 | 1007                               |
| #26     | 73,0                 | 999                                |
| #27     | 73,0                 | 1027                               |
| #28     | 73,0                 | 1019                               |
| #29     | 73,0                 | 1044                               |
| #30     | 73,0                 | 1032                               |
| #31     | 73,0                 | 1039                               |
| #32     | 73,0                 | 1027                               |

## 4.2. Sertleşmiş Yoğunluk ve Termal Performans Değerleri

Farklı d50 değerinde kalsit kullanımı olan çalışmalar aynı tip çimentonun kullanımı olan çalışmalarda incelendiğinde, ısı iletkenlik değerleri düşük olan çalışmaların, yopğunluğu düşük olan çalışmalarda olduğu görülmüştür. Aynı şekilde yüksek termal performans düşük ısı iletkenlik katsayısı olan numunelerde genel olarak kütle kayıplarının daha az olduğu Tablo 4.2’de görülmektedir.

Tablo 4.2: Farklı Çaplardaki Kalsiyum Karbonat Agregası Kullanımının Sertleşmiş Harcın Boşluklu Birim Hacim Kütle’ne, Isı İletkenlik Katsayısına Ve Numunelerin 800 °C’ye Maruziyetleri Sonrası Kütle Değişimine Etkisi.

| Farklı D50 Değerinde Kalsit Agregası Kullanımı | Gri Çimento Çalışmaları                          |                        |                               |                    | Beyaz Çimento Çalışmaları                                  |                        |                               |                    |
|------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------|-------------------------------|--------------------|------------------------------------------------------------|------------------------|-------------------------------|--------------------|
|                                                | Çalışma                                          | Isı İletkenlik (W/m.K) | Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> ) | Kütle Değişimi (%) | Çalışma                                                    | Isı İletkenlik (W/m.K) | Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> ) | Kütle Değişimi (%) |
|                                                | #01                                              | 0,139                  | 779                           | 23,495             | #02                                                        | 0,154                  | 756                           | 20,540             |
|                                                | #05                                              | 0,160                  | 732                           | 19,872             | #06                                                        | 0,166                  | 764                           | 20,185             |
|                                                | #09                                              | 0,119                  | 741                           | 17,029             | #10                                                        | 0,119                  | 740                           | 21,301             |
|                                                | #13                                              | 0,115                  | 637                           | 17,545             | #14                                                        | 0,120                  | 656                           | 19,787             |
|                                                | Isı Dayanımlı %40 Alüminatlı Çimento Çalışmaları |                        |                               |                    | Isı Dayanımlı %50 Alüminatlı Refrakter Çimento Çalışmaları |                        |                               |                    |
|                                                | Çalışma                                          | Isı İletkenlik (W/m.K) | Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> ) | Kütle Değişimi (%) | Çalışma                                                    | Isı İletkenlik (W/m.K) | Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> ) | Kütle Değişimi (%) |
|                                                | #03                                              | 0,163                  | 789                           | 24,000             | #04                                                        | 0,178                  | 732                           | 24,886             |
|                                                | #07                                              | 0,155                  | 757                           | 21,701             | #08                                                        | 0,189                  | 834                           | 22,790             |
|                                                | #11                                              | 0,130                  | 724                           | 23,248             | #12                                                        | 0,133                  | 731                           | 24,419             |
|                                                | #15                                              | 0,127                  | 704                           | 23,441             | #16                                                        | 0,128                  | 714                           | 25,333             |

Çalışmalar, aynı d50 değerine sahip kalsiyum karbonat agregasının farklı tipteki çimento kullanımlarında yorumlandığında, portland gri ve beyaz çimento kullanımlarının genel olarak daha düşük ısı iletkenlik katsayısına sahip oldukları görülmüştür. Portland Gri ve Beyaz çimento kullanımı olan tüm çalışmalarda, 800 °C

sonrasında tüm çalışmalarda daha düşük kütle kaybının termal performansın yüksek olması ile orantılı olduğu Tablo 4.3'te görüldüğü gibi tespit edilmiştir.

Tablo 4.3: Farklı Çaplardaki Kalsiyum Karbonat Agregası Kullanımının Sertleşmiş Harcın Boşluklu Birim Hacim Kütle'sine, Isı İletkenlik Katsayısına Ve Numunelerin 800 °C'ye Maruziyetleri Sonrası Kütle Değişimine Etkisi (Çimento Tiplerinin Kıyaslanması İle Gösterimi).

| Çalışma | Isı İletkenlik (W/m.K) | Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> ) | Kütle Değişimi (%) |
|---------|------------------------|-------------------------------|--------------------|
| #01     | 0,139                  | 779                           | 23,50              |
| #02     | 0,154                  | 756                           | 20,54              |
| #03     | 0,163                  | 789                           | 24,00              |
| #04     | 0,178                  | 732                           | 24,89              |
| #05     | 0,160                  | 732                           | 19,87              |
| #06     | 0,166                  | 764                           | 20,18              |
| #07     | 0,155                  | 757                           | 21,70              |
| #08     | 0,189                  | 834                           | 22,79              |
| #09     | 0,119                  | 741                           | 17,03              |
| #10     | 0,119                  | 740                           | 21,30              |
| #11     | 0,130                  | 724                           | 23,25              |
| #12     | 0,133                  | 731                           | 24,42              |
| #13     | 0,115                  | 637                           | 17,55              |
| #14     | 0,120                  | 656                           | 19,79              |
| #15     | 0,127                  | 704                           | 23,44              |
| #16     | 0,128                  | 714                           | 25,33              |

Silis kumu ile karşılaştırma amacıyla yapılan çalışmalarda da, Tablo 4.4'te görüldüğü gibi, silis agregası kullanımının ısı iletkenlik değerini yükselttiği, termal performansa olumsuz etki ettiği, kütle kayıplarının yükseldiği görülmüştür.

Tablo 4.4: Benzer Çaplardaki Kalsiyum Karbonat Agregası Veya Silis Kullanımının Sertleşmiş Harcın Boşluklu Birim Hacim Kütlesi'ne, Isı İletkenlik Katsayısına Ve Numunelerin 800 °C'ye Maruziyetleri Sonrası Kütle Değişimine Etkisi.

| Benzer D50 Değerinde Kalsit Vs Silis Agregası Kullanımı | Gri Çimento Çalışmaları                          |                        |                               |                    | Beyaz Çimento Çalışmaları                                  |                        |                               |                    |
|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------|-------------------------------|--------------------|------------------------------------------------------------|------------------------|-------------------------------|--------------------|
|                                                         | Çalışma                                          | Isı İletkenlik (W/m.K) | Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> ) | Kütle Değişimi (%) | Çalışma                                                    | Isı İletkenlik (W/m.K) | Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> ) | Kütle Değişimi (%) |
|                                                         | #13                                              | 0,115                  | 637                           | 17,545             | #14                                                        | 0,120                  | 656                           | 19,787             |
|                                                         | #17                                              | 0,240                  | 690                           | 22,581             | #18                                                        | 0,124                  | 720                           | 29,665             |
| Aynı D50 Değerinde Kalsit Vs Silis Agregası             | Isı Dayanımlı %40 Alüminatlı Çimento Çalışmaları |                        |                               |                    | Isı Dayanımlı %50 Alüminatlı Refrakter Çimento Çalışmaları |                        |                               |                    |
|                                                         | Çalışma                                          | Isı İletkenlik (W/m.K) | Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> ) | Kütle Değişimi (%) | Çalışma                                                    | Isı İletkenlik (W/m.K) | Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> ) | Kütle Değişimi (%) |
|                                                         | #15                                              | 0,127                  | 704                           | 23,441             | #16                                                        | 0,128                  | 714                           | 25,333             |
|                                                         | #19                                              | 0,105                  | 703                           | 25,062             | #20                                                        | 0,143                  | 692                           | 29,493             |

Silis kumu ile kalsit kullanımı olan çalışmalarda, Tablo 4.5'te elde edilen test sonuçlarında, silis agregası kullanımının termal performansa olumsuz etkisi ve kütle kayıpları sıralı olarak belirtilmiştir.

Tablo 4.5: Benzer aplardaki Kalsiyum Karbonat Agregas veya Silis Kullanımının Sertleşmiş Harcın Boşluklu Birim Hacim Kütlesi'ne, Isı İletkenlik Katsayısına Ve Numunelerin 800 °C'ye Maruziyetleri Sonrası Kütle Değişimine Etkisi (Çimento Tiplerinin Kıyaslanması İle Gösterimi).

| Çalışma Kodu | Isı İletkenlik | Yoğunluk | Kütle Değişimi |
|--------------|----------------|----------|----------------|
| #13          | 0,115          | 637      | 17,55          |
| #14          | 0,120          | 656      | 19,79          |
| #15          | 0,127          | 704      | 23,44          |
| #16          | 0,128          | 714      | 25,33          |
| #17          | 0,240          | 690      | 22,58          |
| #18          | 0,124          | 720      | 29,66          |
| #19          | 0,105          | 703      | 25,06          |
| #20          | 0,143          | 692      | 29,49          |

Elyaf kullanımı olan çalışmalarda yoğunluk değerlerinin referans çalışmalara göre düştüğü bu etkinin de ısı iletkenlik katsayısını düşürmeye Tablo 4.6'da ve Tablo 4.7'de görüldüğü üzere olumlu etki yaptığı görülmüştür. Isı iletkenlik değerinin düşük

olan çalışmalarda, genel olarak kütle değişiminin referans çalışmalara göre daha düşük olduğu görülmüştür.

Tablo 4.6: Aynı Çapta Kalsiyum Karbonat Agrega Kullanımında Farklı Tip Elyaf Kullanımının Sertleşmiş Harcın Boşluklu Birim Hacim Kütlesi'ne, Isı İletkenlik Katsayısına Ve Numunelerin 800 °C'ye Maruziyetleri Sonrası Kütle Değişimine Etkisi.

|                                                |                                                  |                        |                               |                    |                                                            |                        |                               |                    |
|------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------|-------------------------------|--------------------|------------------------------------------------------------|------------------------|-------------------------------|--------------------|
| Aynı D50 Değerinde Fiber Elyaf Katkı Kullanımı | Gri Çimento Çalışmaları                          |                        |                               |                    | Beyaz Çimento Çalışmaları                                  |                        |                               |                    |
|                                                | Çalışma                                          | Isı İletkenlik (W/m.K) | Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> ) | Kütle Değişimi (%) | Çalışma                                                    | Isı İletkenlik (W/m.K) | Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> ) | Kütle Değişimi (%) |
|                                                | #01                                              | 0,139                  | 779                           | 23,495             | #02                                                        | 0,154                  | 756                           | 20,540             |
|                                                | #21                                              | 0,128                  | 750                           | 13,473             | #22                                                        | 0,151                  | 749                           | 17,660             |
|                                                | #25                                              | 0,150                  | 672                           | 16,691             | #26                                                        | 0,121                  | 683                           | 19,154             |
|                                                | #29                                              | 0,147                  | 732                           | 12,577             | #30                                                        | 0,136                  | 696                           | 15,277             |
|                                                | Isı Dayanımlı %40 Alüminatlı Çimento Çalışmaları |                        |                               |                    | Isı Dayanımlı %50 Alüminatlı Refrakter Çimento Çalışmaları |                        |                               |                    |
|                                                | Çalışma                                          | Isı İletkenlik (W/m.K) | Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> ) | Kütle Değişimi (%) | Çalışma                                                    | Isı İletkenlik (W/m.K) | Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> ) | Kütle Değişimi (%) |
|                                                | #03                                              | 0,163                  | 789                           | 24,000             | #04                                                        | 0,178                  | 732                           | 24,886             |
|                                                | #23                                              | 0,143                  | 750                           | 20,832             | #24                                                        | 0,135                  | 750                           | 24,983             |
|                                                | #27                                              | 0,139                  | 757                           | 20,990             | #28                                                        | 0,121                  | 758                           | 23,906             |
|                                                | #31                                              | 0,135                  | 727                           | 22,665             | #32                                                        | 0,150                  | 749                           | 23,534             |

Tablo 4.7: Aynı Çapta Kalsiyum Karbonat Agrega Kullanımında Farklı Tip Elyaf Kullanımının Sertleşmiş Harcın Boşluklu Birim Hacim Kütlesi'ne, Isı İletkenlik Katsayısına Ve Numunelerin 800 °C'ye Maruziyetleri Sonrası Kütle Değişimine Etkisi (Çimento Tiplerinin Kıyaslanması İle Gösterimi)

| Çalışma | Isı İletkenlik (W/m.K) | Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> ) | Kütle Değişimi (%) |
|---------|------------------------|-------------------------------|--------------------|
| #01     | 0,139                  | 779                           | 23,50              |
| #02     | 0,154                  | 756                           | 20,54              |
| #03     | 0,163                  | 789                           | 24,00              |
| #04     | 0,178                  | 732                           | 24,89              |
| #21     | 0,128                  | 750                           | 13,47              |
| #22     | 0,151                  | 749                           | 17,66              |
| #23     | 0,143                  | 750                           | 20,83              |
| #24     | 0,135                  | 750                           | 24,98              |
| #25     | 0,150                  | 672                           | 16,69              |
| #26     | 0,121                  | 683                           | 19,15              |
| #27     | 0,139                  | 757                           | 20,99              |
| #28     | 0,121                  | 758                           | 23,91              |
| #29     | 0,147                  | 732                           | 12,58              |
| #30     | 0,136                  | 696                           | 15,28              |
| #31     | 0,135                  | 727                           | 22,67              |
| #32     | 0,150                  | 749                           | 23,53              |

### 4.3. Aderans Değerleri

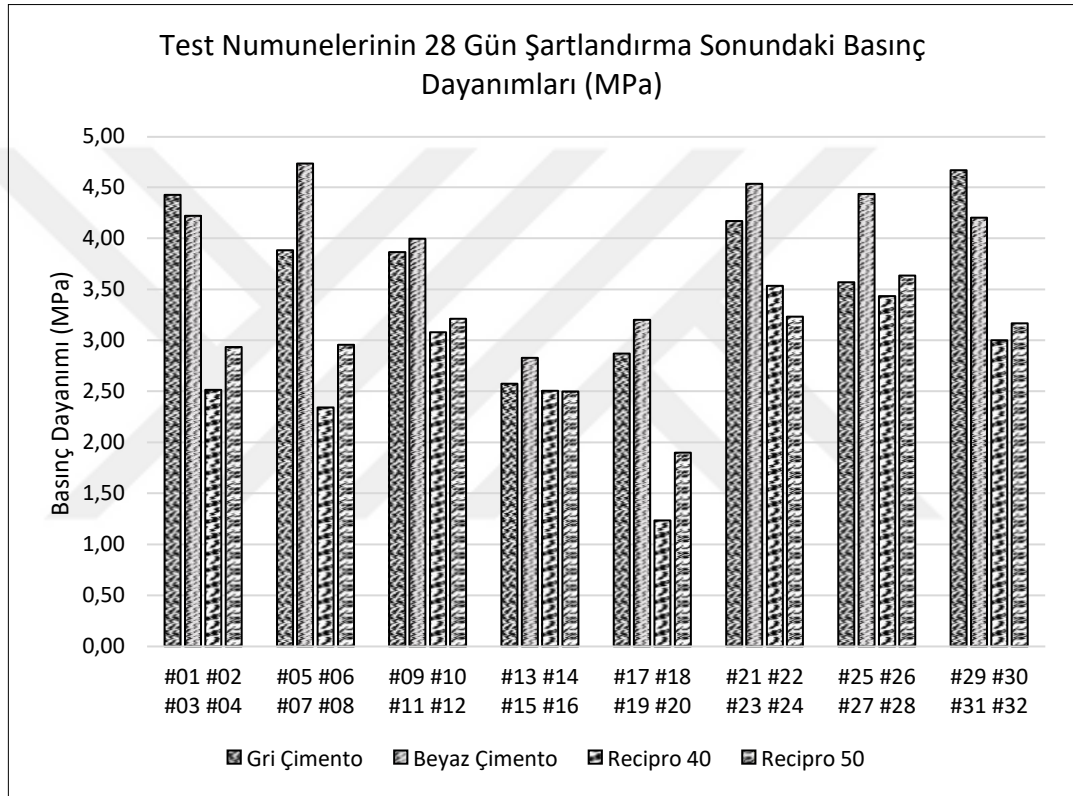
Betona aderans değerleri olarak, aynı tip kalsit agregası kullanımı olan çalışmalarda Portland çimento kullanımı olan çalışmaların daha yüksek yapışma değerleri gösterdiği değerler, Tablo 4.8'de belirtilmiştir. Çalışmalarda kalsiyum karbonatların D50 değerleri yükseldikçe, genel olarak aderans değerlerinde düşüşler görülmüştür. Çalışmalarda, silis agregası kullanımının yapışma test değerlerini yükselttiği görülmüştür. Elyaf kullanımı olan çalışmalarda, çimento tipi olarak Portland çimento kullanımı olan çalışmaların yüksek aderans değerlerinde olduğu görülmüştür.

Tablo 4.8: Betona Aderans Genel Test Sonuçları.

| Çalışma | Betona Aderans (N/mm <sup>2</sup> ) |
|---------|-------------------------------------|
| #01     | 0,283                               |
| #02     | 0,318                               |
| #03     | 0,160                               |
| #04     | 0,120                               |
| #05     | 0,260                               |
| #06     | 0,276                               |
| #07     | 0,087                               |
| #08     | 0,084                               |
| #09     | 0,266                               |
| #10     | 0,233                               |
| #11     | 0,110                               |
| #12     | 0,078                               |
| #13     | 0,160                               |
| #14     | 0,204                               |
| #15     | 0,080                               |
| #16     | 0,070                               |
| #17     | 0,253                               |
| #18     | 0,287                               |
| #19     | 0,102                               |
| #20     | 0,087                               |
| #21     | 0,312                               |
| #22     | 0,213                               |
| #23     | 0,098                               |
| #24     | 0,072                               |
| #25     | 0,307                               |
| #26     | 0,263                               |
| #27     | 0,096                               |
| #28     | 0,075                               |
| #29     | 0,249                               |
| #30     | 0,213                               |
| #31     | 0,100                               |
| #32     | 0,095                               |

#### 4.4. Basınç Dayanımları

Harç haline getirildikten sonra laboratuvar şartlarında 28 gün kürlenmeye bırakılan numunelerin basınç dayanım değerleri alınmıştır. Test sonuçlarının genel olarak Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Tüm çalışmalarda Portland çimentolu çalışmaların, ısıya dayanıklı alüminaatlı çimento kullanımı olan çalışmalara göre daha yüksek basınç dayanımı değerine sahip oldukları görülmüştür.



Şekil 4.1: 28 Günü Sonunda Genel Basınç Dayanımı Test Değerleri Görünümü.

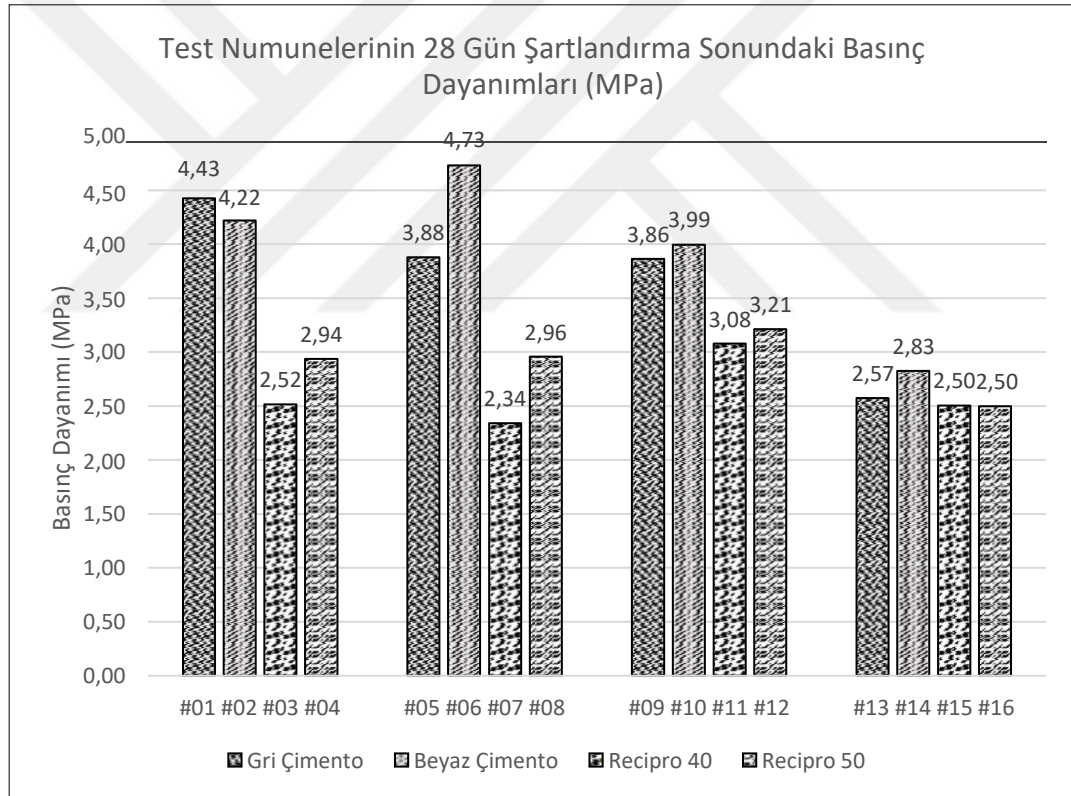
Agrega olarak kullanılan kalsiyum karbonat agreganın farklı D50 değerleri kullanılarak, bu boyut değişiminin gri çimento ile birlikte kullanımdaki etkisinin incelenmesinin yanında; diğer çimento tiplerinde de kullanılarak aynı agreganın çimento tipi değişikçe değişen özellikleri görülmek istenmiştir. Şekil 4.2’de Portland Gri çimento için 01, 05, 09 ve 13 nolu çalışmalar yapılmıştır.

Kullanılan kalsiyum karbonat agregası tüm çalışmalarda 500 mikron altı kullanım olup, bu çalışmalarda kalsiyum karbonat agreganın çimento pastası içerisinde mikro

boşlukları doldurması kaynaklı basınç dayanımlarını arttırmış olduğu düşünülmektedir. Gri portland çimento için başlangıç basınç dayanım testlerinde D50 değeri 19-36 mikron olan kalsit agreganın optimum agrega olduğu görülmüştür.

Beyaz portland çimentosu çalışmalarında, kalsitlerdeki D50 değeri yükseldikçe basınç dayanımının genel olarak düştüğü görülmüştür. Beyaz çimento içerisindeki mikro boşlukların 06 nolu çalışmada 6,5-9,5 mikron aralığında daha fazla miktarda olması kaynaklı olabilmektedir.

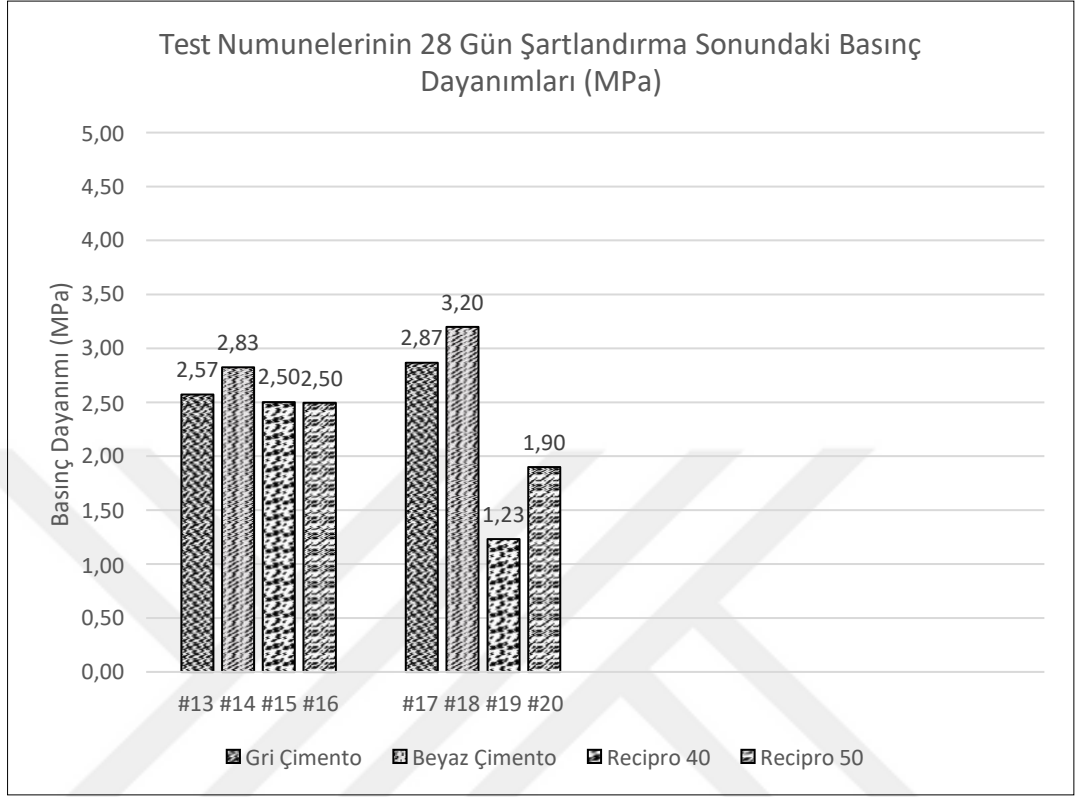
Portland çimentolardaki etki, alüminat içeren ısıya dayanıklı çimentolarda da kontrol edilmiştir. Alüminat oranı en az %40 olan recipro içeren denemede ve en az %50 olan çimento denemelerde, en optimum kalsit agreganın D50değerinin 55-100 mikron aralığı olduğu görülmektedir.



Şekil 4.2: Farklı Çaplardaki Kalsiyum Karbonat Agreganın Kullanımında Basınç Dayanımı Test Değerleri.

D50 değeri 300-450 olan kalsit agregası ile kıyaslama amacıyla D50 değeri bu aralıklarda olan ve piyasada 60-70 AFS model olarak bilinen silis kumu farklı çimento tiplerinde agrega olarak kullanılmıştır. Silis kumu çalışmalarının Şekil 4.3'te görüldüğü gibi,, portland çimentolu çalışmalarda basınç dayanımına olumlu etkisi görülürken;

alüminatlı çimentolarda etkisinin olumsuz yönde olduğu ve başlangıç basınç dayanımı değerlerini düşürdüğü görülmüştür.

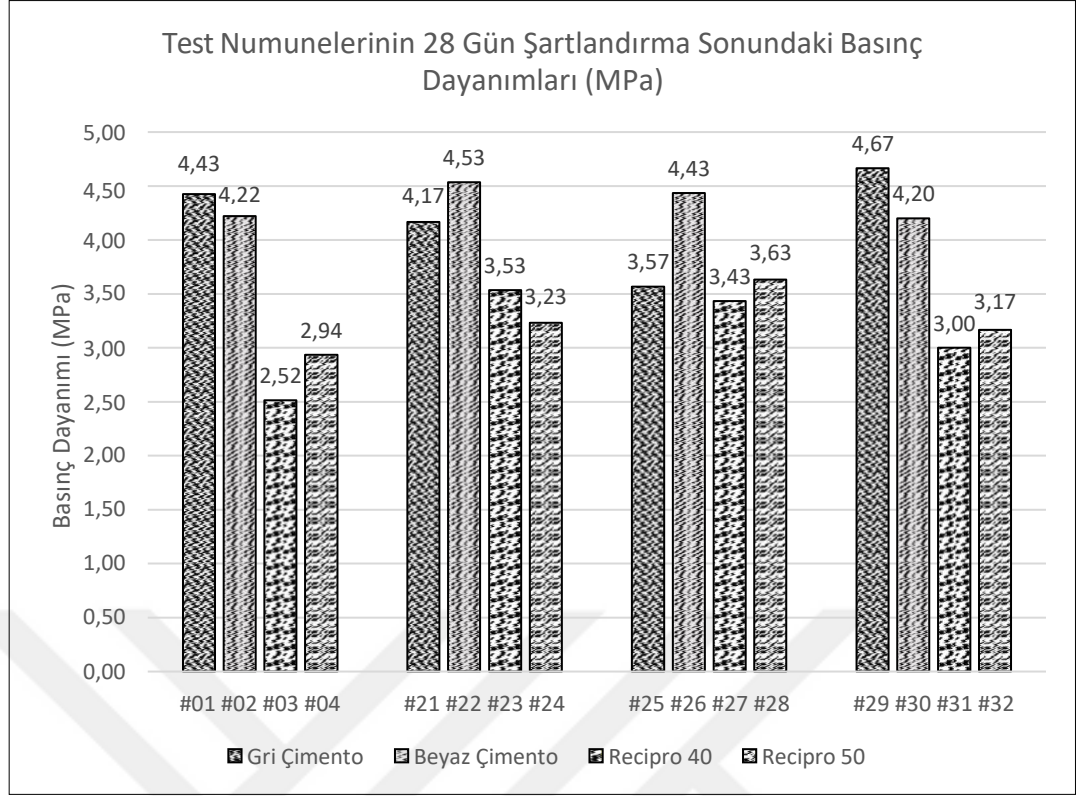


Şekil 4.3: Benzer Çaplardaki Kalsiyum Karbonat Agrega veya Silis Kullanımında Basınç Dayanımı Test Değerleri.

D50 değeri 19-36 mikron olan kalsitlerin kullanılmış oldukları çalışmalara polipropilen (PP) ve polyakrilamid olmak üzere iki tip elyaf eklenerek etkileri görülmek istenmiştir. Poliakrilamid olarak iki farklı model elyaf kullanılarak uygun model de belirlenmek istenmiştir.

Gri renk portland çimentolu çalışmalar için poliakrilamid yapıdaki Tip-2 modelin daha uygun olduğu görülmüşken, beyaz renk portland çimentolu çalışmalarda tip-2 modelin benzer değerlerde basınç dayanıma sahip olduğu görülmüştür. Beyaz renk portland çimento denemelerinde başlangıç basınç dayanımı için en uygun elyafın polipropilen yapıda olduğu görülmüştür.

Alüminatlı çimentolarda tüm elyaf yapıların, Şekil 4.4'te görüldüğü üzer başlangıç basınç dayanım değerini yükselttiği ve en yüksek basınç dayanımı değerinin poliakrilamid yapıdaki tip-1 model elyafıta olduğu görülmüştür.



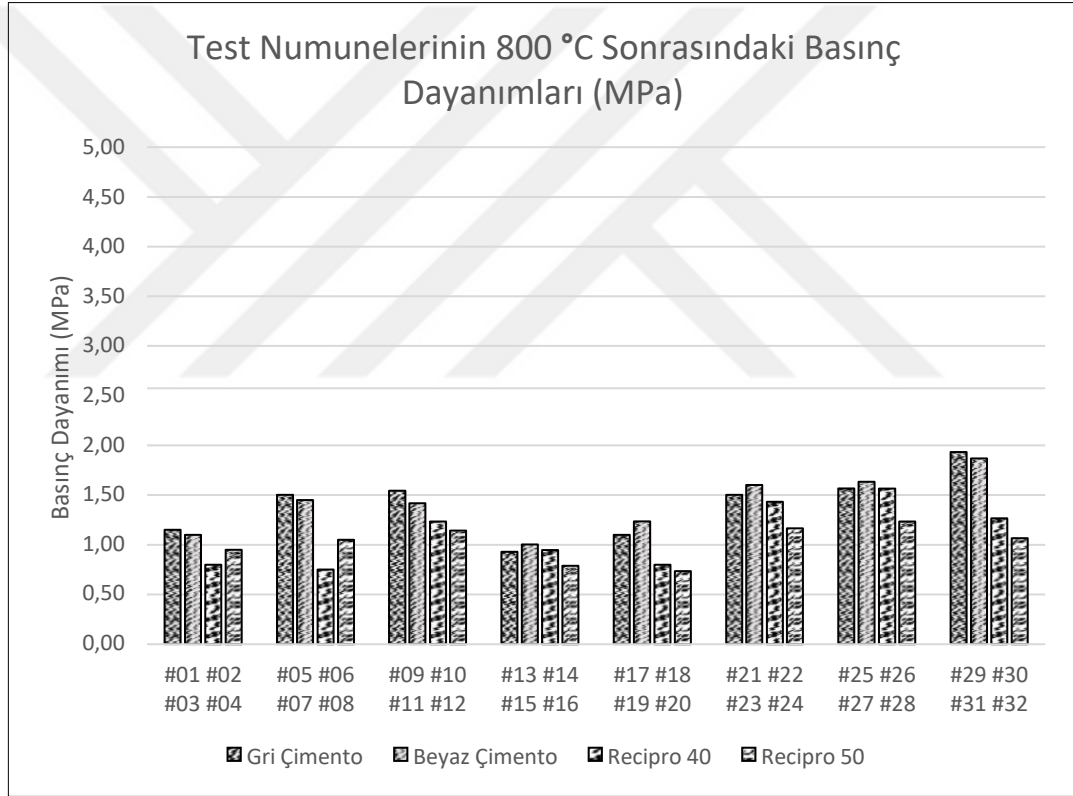
Şekil 4.4: Aynı Çapta Kalsiyum Karbonat agregası Kullanımında Farklı Tip Elyaf Kullanımında Basınç Dayanımı Test Değerleri.

#### 4.5. Basınç Dayanımlarında ve Kütlelerde Değişimler

Laboratuvar şartlarında 28 gün kürlenmeye bırakılan numuneler, kütlelerinin tartımlarından sonra kül fırınında 2 saat boyunca 800 °C derecede bekletilmiş sonra da basınç dayanım testleri gerçekleştirilmiştir. Şartlandırma sonrasında, numunelerin 800 °C dereceden ortam şartları olan 23 °C dereceye alındıklarında numunelerde kütle artışı ve sonrasında çatlama görülmüştür. Ortamdaki nemi bünyesine alarak kütle artışına sebep olduğu ve ani soğuma sonrasında Şekil 4.5'deki gibi çatlama yapmış olabileceği düşünülmektedir. Bu sebeple, kül fırını içerisinde laboratuvar sıcaklık ve nem şartlarına adım adım gelmeleri sağlanarak çatlak oluşumları engellenmiştir. Tüm çalışmalarda basınç dayanım test değerlerinde azalış görülmüş olup, sıcaklık maruziyeti sonrası elde edilen test sonuçları genel olarak Şekil 4.6'da gösterilmiştir.

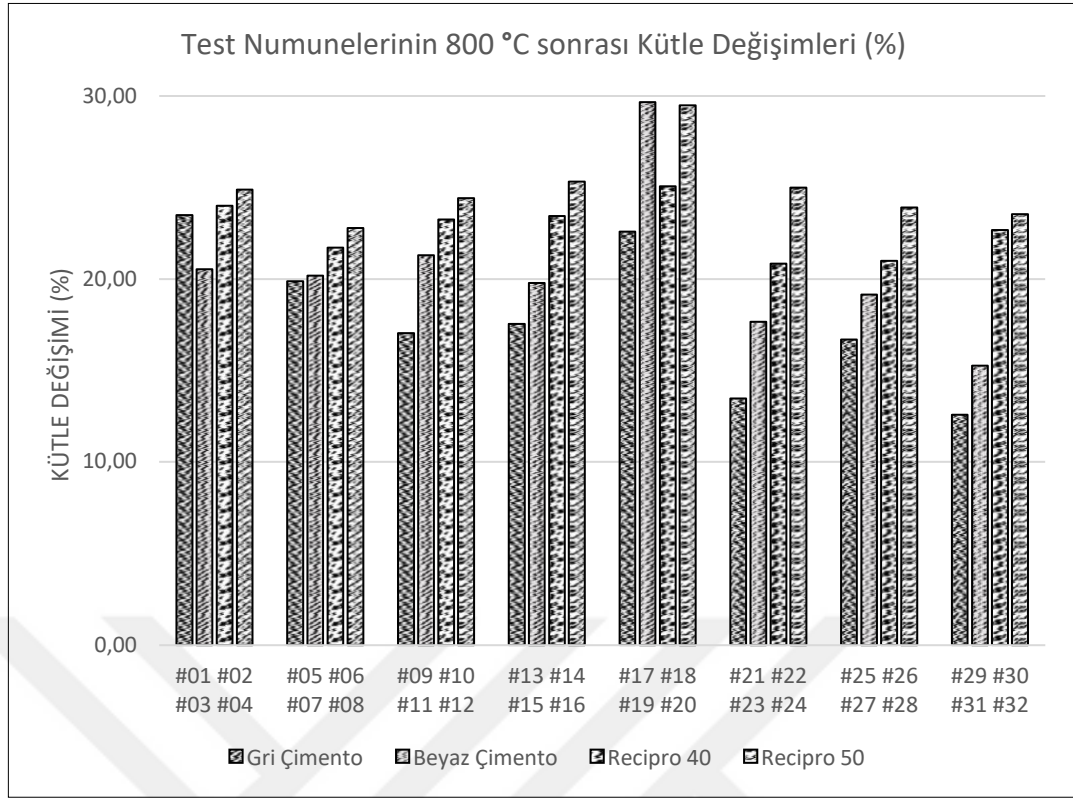


Şekil 4.5: Kül Fırınında 800 °C'ye Maruz Kaldıktan Sonra Denemelerde Oluşan Çatlak Görüntüsü.



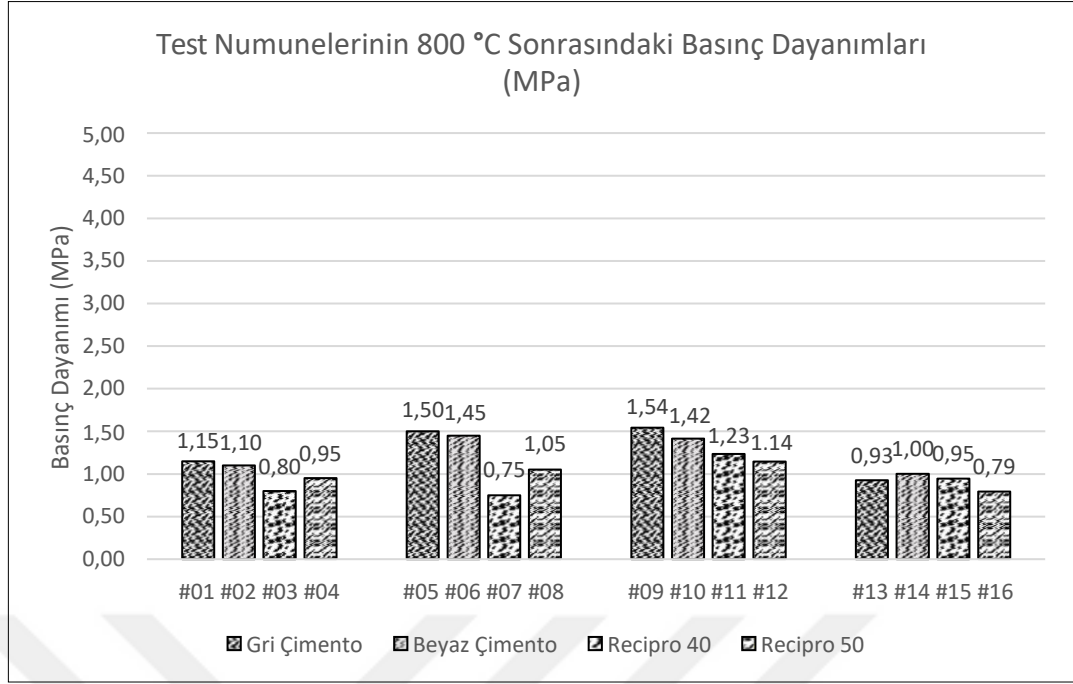
Şekil 4.6: Kül fırınında 800 °C'ye Maruz Kaldıktan Sonraki Basınç Dayanımı Değerleri.

Sıcaklık maruziyeti sonrası kütlelerindeki değişimler Şekil 4.7'de görüleceği üzere, tüm çalışmalarda tespit edilmiştir.

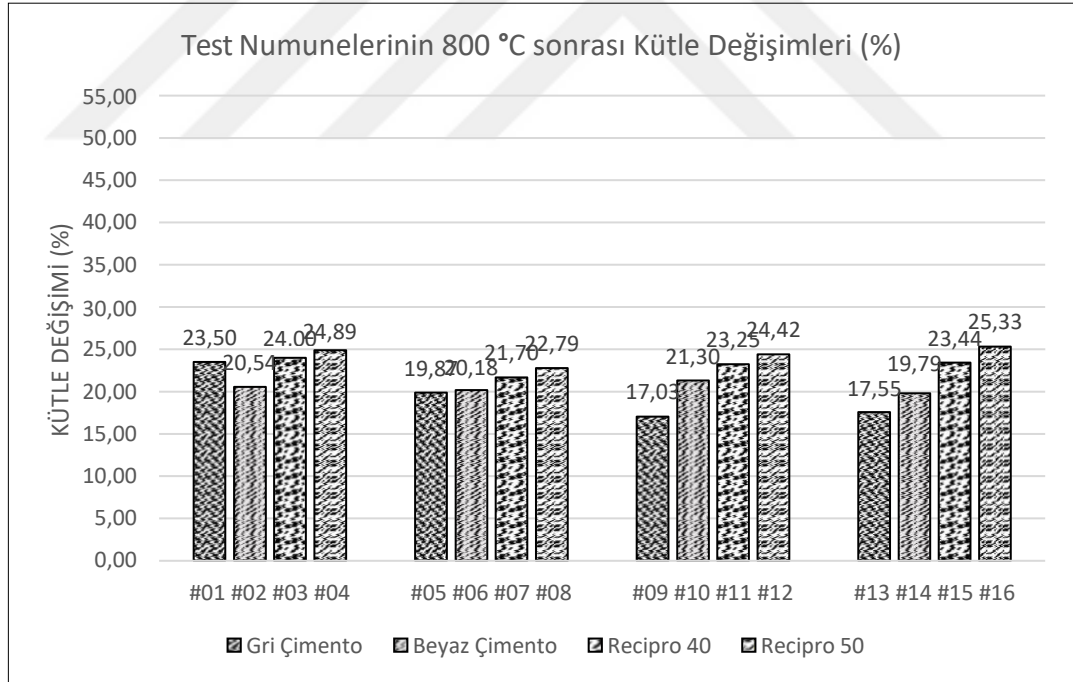


Şekil 4.7: Kül Fırınında 800 °C'ye Maruz Kaldıktan Sonraki Genel Kütle Değişimleri.

Kalsiyum karbonat agregaların karşılaştırmalarında, portland gri çimento için 01, 05, 09 ve 13 nolu yapılan çalışmaların, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da görüleceği gibi 800 °C derece ısıya maruz kalmaları sonrasında kütle kayıplarına uğradıkları ve başlangıç basınç dayanımı değerlerinin %60 ile 74 arası azaldığı görülmüştür. Başlangıç basınç dayanımı test sonuçları ile karşılaştırıldığında, 800 °C derece sıcaklık sonrası numunelerin basınç dayanım değişimleri incelenmiştir. Basınç dayanımında en az değişimin, Tablo 4.9'da görüleceği gibi D50 değeri 55-100 mikron kalsit agrega kullanımı olan 09 nolu deneme ve D50 değeri 6,5-9,5 mikron olan 05 nolu çalışmalar olduğu görülmüştür. 800 °C derece sonrasında basınç dayanımı azalışı olarak kıyaslandığında, en az azalışın 05 nolu ve 09 nolu çalışmalarda elde edildiği görülmüştür. Kütle değişimleri incelendiğinde, en düşük kütle değişiminin, 09 nolu çalışmada olduğu görülmüştür. Gri portland çimento kullanımı olan çalışmalarda D50 değeri 55-100 mikron agrega kullanımında, 800 °C sonrasında en yüksek basınç dayanımı değeri elde edilmektedir.



Şekil 4.8: Farklı Çaplardaki Kalsiyum Karbonat Agrega Kullanımında Basınç Dayanım Test Değerlerinin 800 °C Isıya Maruziyeti Sonrası Genel Test Sonuçları.



Şekil 4.9: Farklı Çaplardaki Kalsiyum Karbonat Agrega Kullanımında 800 °C Isıya Maruziyeti Sonrası Kütle Değişimleri Oranı.

Tablo 4.9: Farklı Çaplardaki Kalsiyum Karbonat Agregada Kullanımında Portland Gri Çimentolu Denemelerin Kül Fırınında 800 °C'ye Maruz Kaldıktan Sonraki Basınç Dayanımları.

| Çalışma No | D50 (%) | Başlangıç Basınç Dayanımı (MPa) | 800 °C Sonrası Basınç Dayanımı (Mpa) | Basınç Dayanımı Değişim (%) | Kütle Değişim (%) |
|------------|---------|---------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| 01         | 19-36   | 4,43                            | 1,15                                 | 74                          | 23,5              |
| 05         | 6,5-9,5 | 3,88                            | 1,50                                 | 61                          | 19,9              |
| 09         | 55-100  | 3,86                            | 1,54                                 | 60                          | 17,0              |
| 13         | 300-450 | 2,57                            | 0,93                                 | 64                          | 17,5              |

Portland Beyaz çimento için 02, 06, 10 ve 14 nolu yapılan çalışmaların, 800 °C derece ısıya maruz kalmaları sonrasında başlangıç basınç dayanımı değerlerinin %65 ile 74 arası azaldığı görülmüştür. Başlangıç basınç dayanımı test sonuçları ile karşılaştırıldığında, 800 °C derece sıcaklık sonrası numunelerin basınç dayanım değişimleri incelenmiştir. Basınç dayanımında en az değişimin, D50 değeri 6,5-9,5 mikron kalsit agregada kullanımı olan 06 nolu çalışmada görülse de, 10 nolu çalışmada kullanılan 55-100 mikron kalsit agregada da benzer sonuç vermiştir. 800 °C derece sonrasında basınç dayanımı değişiminde en düşük değerlerin 10 nolu ve 14 nolu çalışmalarda elde edilmiştir. Kütle değişimleri incelendiğinde, en iyi sonucun, 06 nolu çalışmada ve 14 nolu çalışmada olduğu görülmüştür. 06 nolu çalışmanın kütle değişiminde iyi değerde olduğu ve en yüksek basınç dayanımı değeri vermesinden dolayı, en optimum agregada olduğu görülmüştür.

Beyaz portland çimento kullanımı olan çalışmalarda D50 değeri 6,5-9,5 mikron agregada kullanımında, 800 °C sonrasında en yüksek basınç dayanımı değeri elde edilmektedir. Çalışmaların başlangıç basınç dayanım değerleri, 800 °C Sonrası Basınç Dayanımı değerleri, basınç dayanımı değerlerindeki değişim(%) ve sıcaklık maruziyeti sonrası çalışmalardaki kütle değişimleri Tablo 4.10'da belirtilmiştir.

Tablo 4.10: Farklı Çaplardaki Kalsiyum Karbonat Agrega Kullanımında Portland Beyaz Çimentolu Denemelerin Kül Fırınında 800 °C'ye Maruz Kaldıktan Sonraki Basınç Dayanımları.

| Çalışma No | D50 (%) | Başlangıç Basınç Dayanımı (MPa) | 800 °C Sonrası Basınç Dayanımı (Mpa) | Basınç Dayanımı Değişim (%) | Kütle Değişim (%) |
|------------|---------|---------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| 02         | 19-36   | 4,22                            | 1,10                                 | 74                          | 20,5              |
| 06         | 6,5-9,5 | 4,73                            | 1,45                                 | 69                          | 20,2              |
| 10         | 55-100  | 3,99                            | 1,42                                 | 65                          | 21,3              |
| 14         | 300-450 | 2,83                            | 1,00                                 | 65                          | 19,8              |

İçerisinde en az %40alüminat içeren ısıya dayanıklı özellikli Kalsiyum Alüminat Çimento için 03, 07, 11 ve 15 nolu yapılan çalışmaların, 800 °C derece ısıya maruz kalmaları sonrasında başlangıç basınç dayanımı değerlerinin %60 ile 68 arası azaldığı görülmüştür. Başlangıç basınç dayanımı test sonuçlarına göre, yüzde olarak en az değişim D50 değeri 55-100 mikron kalsit agregası kullanımı olan 11 nolu çalışmada görülmüştür.

800 °C derece sonrasında basınç dayanımı değişiminde en düşük değerlerin 11 nolu ve 15 nolu çalışmalarda elde edilmiştir. Kütle değişimleri incelendiğinde, en düşük kütle değişiminin 6,5-9,5 mikron kalsit kullanımı olan 07 nolu çalışmada olduğu görülmüştür.

%40 alüminat içeren ısıya dayanıklı özellikli çimento kullanımı olan çalışmalarda D50 değeri 55-100 mikron agregası kullanımında, 800 °C sonrasında en yüksek basınç dayanımı değeri elde edilmektedir. Tablo 4.11'de görüleceği gibi farklı çaplardaki kalsiyum karbonat agregası kullanımında en az %40 alüminat içeren kalsiyum alüminat çimentolu denemelerin kül fırınında 800 °C'ye maruz kaldıktan sonraki basınç dayanımları gösterilmiştir.

Tablo 4.11: Farklı Çaplardaki Kalsiyum Karbonat Agrega Kullanımında En Az %40 Alüminat İçeren Kalsiyum Alüminat Çimentolu Denemelerin Kül Fırınında 800 °C'ye Maruz Kaldıktan Sonraki Basınç Dayanımları.

| Çalışma No | D50 (%) | Başlangıç Basınç Dayanımı (MPa) | 800 °C Sonrası Basınç Dayanımı (Mpa) | Basınç Dayanımı Değişim (%) | Kütle Değişim (%) |
|------------|---------|---------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| 03         | 19-36   | 2,52                            | 0,80                                 | 68                          | 24,0              |
| 07         | 6,5-9,5 | 2,34                            | 0,75                                 | 68                          | 21,7              |
| 11         | 55-100  | 3,08                            | 1,23                                 | 60                          | 23,2              |
| 15         | 300-450 | 2,50                            | 0,95                                 | 62                          | 23,4              |

Tablo 4.12’de görüleceği gibi, farklı çaplardaki kalsiyum karbonat agregası kullanımında en az %50 alüminat içeren kalsiyum alüminat çimentolu denemelerin kül fırınında 800 °C’ye maruz kaldıktan sonraki basınç dayanımları. karşılaştırmalarında, içerisinde en az %50 alüminat içeren ısıya dayanıklı özellikli Kalsiyum Alüminat çimento için 04, 08, 12 ve 16 nolu yapılan çalışmaların, 800 °C derece ısıya maruz kalmaları sonrasında başlangıç basınç dayanımı değerlerinin %64 ile 68 arası azaldığı görülmüştür. Başlangıç basınç dayanımı test sonuçlarına göre en yüksek değer D50 değeri 55-100 mikron kalsit agregası kullanımı olan 12 nolu çalışmada görülmüştür.

800 °C derece sonrasında basınç dayanımı değişiminde en düşük değerlerin 08 nolu ve 12 nolu çalışmalarda elde edilmiştir. Kütle değişimleri incelendiğinde, en düşük kütle değişiminin 6,5-9,5 mikron kalsit kullanımı olan 08 nolu çalışmada olduğu görülmüştür.

%50 alüminat içeren ısıya dayanıklı refrakter çimento kullanımı olan çalışmalarda D50 değeri 55-100 mikron agregası kullanımında, 800 °C sonrasında en yüksek basınç dayanımı değeri elde edilmektedir.

Tablo 4.12: Farklı aplardaki Kalsiyum Karbonat Agrega Kullanımında En Az %50 Alüminat İçeren Kalsiyum Alüminat Çimentolu Denemelerin Kül Fırınında 800 °C’ye Maruz Kaldıktan Sonraki Basınç Dayanımları.

| Çalışma No | D50 (%) | Başlangıç Basınç Dayanımı (MPa) | 800 °C Sonrası Basınç Dayanımı (Mpa) | Basınç Dayanımı Değışim (%) | Kütle Değışim (%) |
|------------|---------|---------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| 04         | 19-36   | 2,94                            | 0,95                                 | 68                          | 24,9              |
| 08         | 6,5-9,5 | 2,96                            | 1,05                                 | 64                          | 22,8              |
| 12         | 55-100  | 3,21                            | 1,14                                 | 64                          | 24,4              |
| 16         | 300-450 | 2,50                            | 0,79                                 | 68                          | 25,3              |

Farklı çaplardaki kalsiyum karbonat agregası kullanımında tüm imento tip denemelerinde kül fırınında 800 °C’ye maruz kaldıktan sonraki basınç dayanımları Tablo 4.13’te tüm sonuçlar, tanecik çapına göre sıralanarak iletilmiştir. Alınan test sonuçlarında, kalsit tanecik çapı 55-100 mikron aralığında kullanımı olan malzemelerde, en yüksek basınç dayanımı elde edilmiştir.

Basınç dayanımı değışimi olarak Tablo 4.13 incelendiğinde, en az basınç dayanımı değışimi %60 olduğu görülürken, en fazla basınç dayanımı değışimi %74 olarak görölmektedir.

Basınç dayanımı değışimleri tanecik çapı 6,5-9,5 mikron tanecik çapı aralığındaki kalsit dolgudan, 19-36 mikron tanecik çapı olan dolguya geçişte görölmüştür.

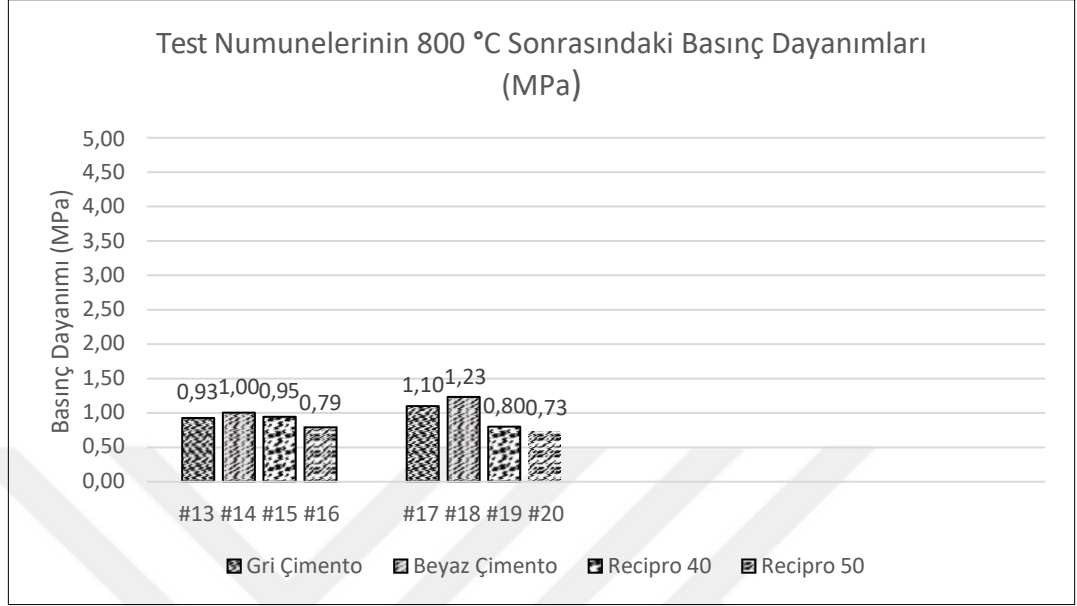
En yüksek basınç dayanımı değışimi 19-36 mikron tanecik çapındaki kalsit malzemelerin kullanımında olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.13: Farklı aplardaki Kalsiyum Karbonat Agrega Kullanımında Tüm imento Tip Denemelerinde Kül Fırınında 800  C’ye Maruz Kaldıktan Sonraki Basınç Dayanımları.

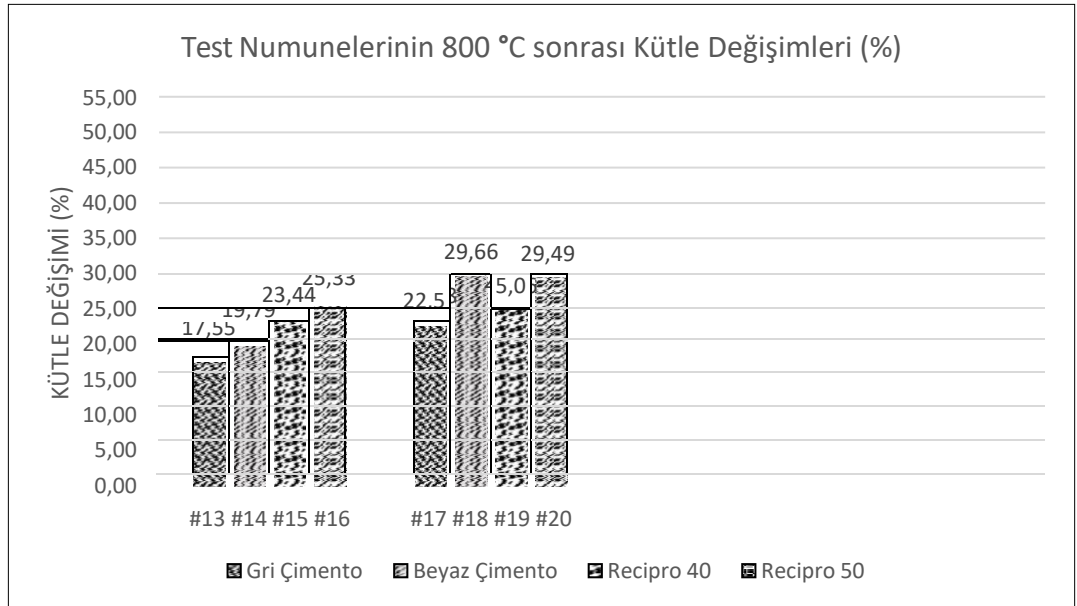
| D50 (%) | alışma No | Başlangıç Basınç Dayanımı (MPa) | 800  C Sonrası Basınç Dayanımı (Mpa) | Basınç Dayanımı Değişim (%) | Kütle Değişim (%) |
|---------|------------|---------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| 6,5-9,5 | 05         | 3,88                            | 1,50                                 | 61                          | 19,9              |
| 6,5-9,5 | 06         | 4,73                            | 1,45                                 | 69                          | 20,2              |
| 6,5-9,5 | 07         | 2,34                            | 0,75                                 | 68                          | 21,7              |
| 6,5-9,5 | 08         | 2,96                            | 1,05                                 | 64                          | 22,8              |
| 19-36   | 01         | 4,43                            | 1,15                                 | 74                          | 23,5              |
| 19-36   | 02         | 4,22                            | 1,10                                 | 74                          | 20,5              |
| 19-36   | 03         | 2,52                            | 0,80                                 | 68                          | 24,0              |
| 19-36   | 04         | 2,94                            | 0,95                                 | 68                          | 24,9              |
| 55-100  | 09         | 3,86                            | 1,54                                 | 60                          | 17,0              |
| 55-100  | 10         | 3,99                            | 1,42                                 | 65                          | 21,3              |
| 55-100  | 11         | 3,08                            | 1,23                                 | 60                          | 23,2              |
| 55-100  | 12         | 3,21                            | 1,14                                 | 64                          | 24,4              |
| 300-450 | 13         | 2,57                            | 0,93                                 | 64                          | 17,5              |
| 300-450 | 14         | 2,83                            | 1,00                                 | 65                          | 19,8              |
| 300-450 | 15         | 2,50                            | 0,95                                 | 62                          | 23,4              |
| 300-450 | 16         | 2,50                            | 0,79                                 | 68                          | 25,3              |

Silis kullanıma göre Karşılaştırmalarda: Portland Gri imento için 13 ve 17 nolu yapılan çalışmaların, 800  C derece ısıya maruz kalmaları sonrasında kütle kayıplarına uğradıkları ve başlangıç basınç dayanımı değerlerinin %64 ile 62 arası azaldığı görülmüştür. Silis kullanım olan 17 nolu çalışmanın, daha çok kütle kaybına

uğramasına rağmen, Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Tablo 4.14’de görüleceği gibi daha yüksek basınç dayanım değeri elde ettiği görülmüştür.



Şekil 4.10: Benzer Çaplardaki Kalsiyum Karbonat Agregası Veya Silis Kullanımında Basınç Dayanımı Test Değerlerinin 800 °C Isıya Maruziyeti Sonrası Test Sonuçları.



Şekil 4.11: Benzer Çaplardaki Kalsiyum Karbonat Agregası Veya Silis Kullanımında 800 °C Isıya Maruziyeti Sonrası Kütle Değişimleri Oranı.

Tablo 4.14: Benzer Çaplardaki Kalsiyum Karbonat Agregası Veya Silis Kullanımının Portland Gri Çimento İçeren Çalışmalarda 800 °C Isıya Maruziyetleri Sonrası Kütle Değişimi Oranı.

| Çalışma No | Başlangıç Basınç Dayanımı (MPa) | 800 °C Sonrası Basınç Dayanımı (Mpa) | Basınç Dayanımı Değişim (%) | Kütle Değişim (%) |
|------------|---------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| 13         | 2,57                            | 0,93                                 | 64                          | 17,5              |
| 17         | 2,87                            | 1,10                                 | 62                          | 22,6              |

Portland Beyaz çimento için 14 ve 18 nolu yapılan çalışmaların, 800 °C derece ısıya maruz kalmaları sonrasında başlangıç basınç dayanımı değerlerinin %65 ile 61 oranında azaldığı görülmüştür. Silis kullanım olan 18 nolu çalışmanın, daha çok kütle kaybına uğramasına rağmen daha yüksek basınç dayanım değeri elde ettiği görülmüştür. Elde edilen test sonuçları Tablo 4.15'te benzer çaplardaki kalsiyum karbonat agregası veya silis kullanımının portland beyaz çimento içeren çalışmalarda 800 °C ısıya maruziyetleri sonrası kütle değişimi oranı olarak gösterilmiştir.

Tablo 4.15: Benzer Çaplardaki Kalsiyum Karbonat Agregası Veya Silis Kullanımının Portland Beyaz Çimento İçeren Çalışmalarda 800 °C Isıya Maruziyetleri Sonrası Kütle Değişimi Oranı.

| Çalışma No | Başlangıç Basınç Dayanımı (MPa) | 800 °C Sonrası Basınç Dayanımı (Mpa) | Basınç Dayanımı Değişim (%) | Kütle Değişim (%) |
|------------|---------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| 14         | 2,83                            | 1,00                                 | 65                          | 19,8              |
| 18         | 3,20                            | 1,23                                 | 61                          | 29,7              |

İçerisinde %40alüminat içeren ısıya dayanıklı özellikli çimento için 15 ve 19 nolu yapılan çalışmaların, 800 °C derece ısıya maruz kalmaları sonrasında başlangıç basınç dayanımı değerlerinin %62 ve %35 azaldığı görülmüştür. Silis kullanım olan 19 nolu çalışmanın, daha çok kütle kaybına uğradığı ve daha düşük basınç dayanım

değeri elde ettiği görülmüştür. Tablo 4.16’da da görüleceği gibi portland çimentolu çalışmalarda da olduğu gibi ters bir korrelasyon görülmemiştir.

Tablo 4.16: Benzer Çaplardaki Kalsiyum Karbonat Agregası Veya Silis Kullanımının En Az %40 Alüminat İçeren Kalsiyum Alüminat Çimento İçeren Çalışmalarda 800 °C Isıya Maruziyetleri Sonrası Kütle Değişimi Oranı.

| Çalışma No | Başlangıç Basınç Dayanımı (MPa) | 800 °C Sonrası Basınç Dayanımı (Mpa) | Basınç Dayanımı Değişim (%) | Kütle Değişim (%) |
|------------|---------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| 15         | 2,50                            | 0,95                                 | 62                          | 23,4              |
| 19         | 1,23                            | 0,80                                 | 35                          | 25,1              |

İçerisinde %50 alüminat içeren ısıya dayanıklı özellikli refrakter çimento için 16 ve 20 nolu çalışmalar yapılmıştır. Çalışmaların, 800 °C derece ısıya maruz kalmaları sonrasında başlangıç basınç dayanımı değerlerinin %68 ve %61 azaldığı görülmüştür. Silis kullanım olan 20 nolu çalışmanın, daha çok kütle kaybına uğradığı ve daha düşük basınç dayanım değeri elde ettiği görülmüştür. Portland çimentolu çalışmalarda, Tablo 4.17’de görüleceği üzere, ters bir korrelasyon görülmemiştir.

Tablo 4.17: Benzer Çaplardaki Kalsiyum Karbonat Agregası Veya Silis Kullanımının En Az %50 Alüminat İçeren Kalsiyum Alüminat Çimento İçeren Çalışmalarda 800 °C Isıya Maruziyetleri Sonrası Kütle Değişimi Oranı.

| Çalışma No | Başlangıç Basınç Dayanımı (MPa) | 800 °C Sonrası Basınç Dayanımı (Mpa) | Basınç Dayanımı Değişim (%) | Kütle Değişim (%) |
|------------|---------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| 16         | 2,50                            | 0,79                                 | 68                          | 25,3              |
| 20         | 1,90                            | 0,73                                 | 61                          | 29,5              |

Elyaf Kullanıma göre Karşılaştırmalarda: Aynı Çapta Kalsiyum Karbonat Agregası Kullanımında, Farklı Tip Elyaf Kullanımının Portland Gri Çimento İçeren

Çalışmalarda 800 °C Isıya Maruziyetleri Sonrası Kütle Değişimi Oranı tablo 4.18’te ve Şekil 4.12’de belirtilmiştir.

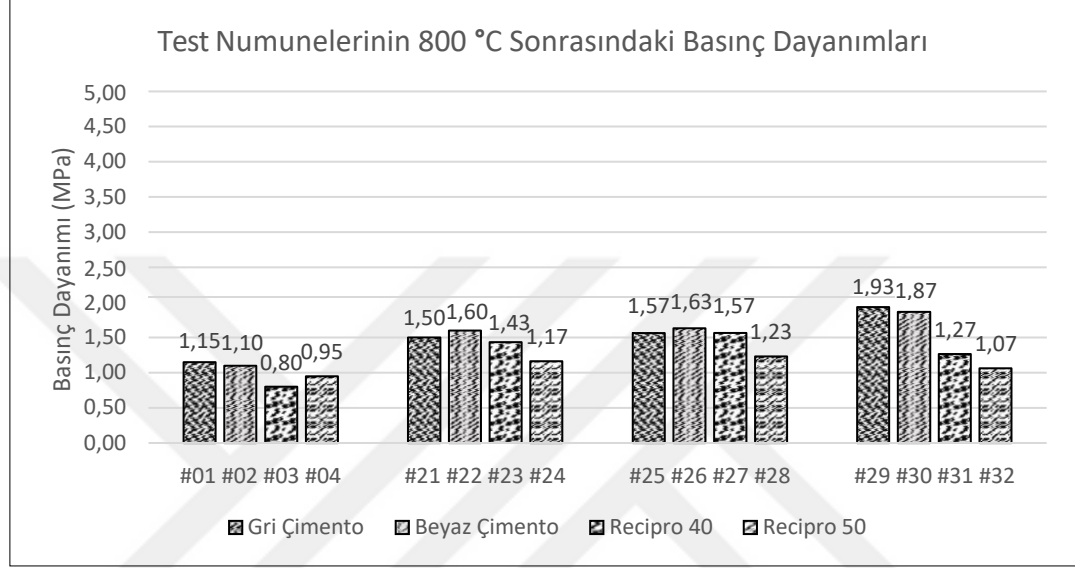
Portland Gri çimento kullanımı olan 01,21,25 ve 29nolu çalışmalar, 800 °C derece ısıya maruz kalmaları sonrasında kütle kayıplarına uğradıkları ve başlangıç basınç dayanımı değerlerinin elyaf kullanımı olmayan 01 nolu çalışmada %74 değiştiği, elyaf kullanımı olan çalışmalarda ise %56 ile 64 arası azaldığı görülmüştür. Elyaf kullanımının 800 °C sonrası basınç dayanımlarına olumlu etkisi görülmüştür. En yüksek basınç dayanımı, kütle değişimi en az olan 29 nolu çalışmada olduğu görülmüştür. Çalışmaların sonuçları Tablo 4.18’de aynı çapta kalsiyum karbonat agrega kullanımında, farklı tip elyaf kullanımının portland gri çimento içeren çalışmalarda 800 °c ısıya maruziyetleri sonrası kütle değişimi oranı verileri iletilmiştir.

Portland Gri çimento kullanımı olan 01,21,25 ve 29nolu çalışmalar, 800 °C derece ısıya maruz kalmaları sonrasında kütle kayıplarına uğradıkları ve başlangıç basınç dayanımı değerlerinin elyaf kullanımı olmayan 01 nolu çalışmada %74 değiştiği, elyaf kullanımı olan çalışmalarda ise %56 ile 64 arası azaldığı görülmüştür. Elyaf kullanımının 800 °C sonrası basınç dayanımlarına olumlu etkisi görülmüştür. En yüksek basınç dayanımı, kütle değişimi en az olan 29 nolu çalışmada olduğu görülmüştür (Tablo 4.18).

Tablo 4.18: Aynı Çapta Kalsiyum Karbonat Agrega Kullanımında, Farklı Tip Elyaf Kullanımının Portland Gri Çimento İçeren Çalışmalarda 800 °C Isıya Maruziyetleri Sonrası Kütle Değişimi Oranı.

| Çalışma No | Başlangıç Basınç Dayanımı (MPa) | 800 °C Sonrası Basınç Dayanımı (Mpa) | Basınç Dayanımı Değişim (%) | Kütle Değişim (%) |
|------------|---------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| 01         | 4,43                            | 1,15                                 | 74                          | 23,50             |
| 21         | 4,17                            | 1,50                                 | 64                          | 13,5              |
| 25         | 3,57                            | 1,57                                 | 56                          | 16,7              |
| 29         | 4,67                            | 1,93                                 | 59                          | 12,6              |

Aynı çapta kalsiyum karbonat agrega kullanımının, farklı tip elyaf kullanımında, 800 °C ısıya maruziyetleri sonrası basınç dayanımı değerleri (çimento tiplerinin kıyaslanması) Şekil 4.12’de görüleceği gibi elyaf kullanımlarının ısıya maruziyet sonrasındaki basınç dayanımı değerlerini, hiç kullanılmayan çalışmalara göre yükseltmiştir.



Şekil 4.12: Aynı Çapta Kalsiyum Karbonat Agregası Kullanımının, Farklı Tip Elyaf Kullanımında, 800 °C Isıya Maruziyetleri Sonrası Basınç Dayanımı Değerleri (Çimento Tiplerinin Kıyaslanması)

Portland Beyaz çimento kullanımı olan 02,22,26 ve 30nolu çalışmalar, 800 °C derece ısıya maruz kalmaları sonrasında kütle kayıplarına uğradıkları ve başlangıç basınç dayanımı değerlerinin elyaf kullanımı olmayan 02 nolu çalışmada %74 değiştiği, elyaf kullanımı olan çalışmalarda ise %56 ile 65 arası azaldığı görülmüştür (Tablo 4.19).

Elyaf kullanımının 800 °C sonrası basınç dayanımlarına olumlu etkisi görülmüştür. En yüksek basınç dayanımı, kütle değişimi en az olan 30 nolu çalışmada olduğu görülmüştür. Aynı Çapta Kalsiyum Karbonat Agregası Kullanımında, Farklı Tip Elyaf Kullanımının En Az %40 Alüminat İçeren Kalsiyum Alüminat Çimento İçeren Çalışmalarda 800 °C Isıya Maruziyetleri Sonrası Kütle Değişimi Oranı Tablo 4.20’de görülmektedir.

Tablo 4.19: Aynı Çapta Kalsiyum Karbonat Agrega Kullanımında, Farklı Tip Elyaf Kullanımının Portland Beyaz Çimento İçeren Çalışmalarda 800 °C Isıya Maruziyetleri Sonrası Kütle Değişimi Oranı.

| Çalışma No | Başlangıç Basınç Dayanımı (MPa) | 800 °C Sonrası Basınç Dayanımı (Mpa) | Basınç Dayanımı Değişim (%) | Kütle Değişim (%) |
|------------|---------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| 02         | 4,22                            | 1,10                                 | 74                          | 20,54             |
| 22         | 4,53                            | 1,60                                 | 65                          | 17,7              |
| 26         | 4,43                            | 1,63                                 | 63                          | 19,2              |
| 30         | 4,20                            | 1,87                                 | 56                          | 15,3              |

İçerisinde %40 alüminat içeren ısıya dayanım özellikli çimento kullanımı olan 03,23,27 ve 31 nolu çalışmalar, 800 °C derece ısıya maruz kalmaları sonrasında kütle kayıplarına uğradıkları ve başlangıç basınç dayanımı değerlerinin elyaf kullanımı olmayan 03 nolu çalışmada %68 değiştiği, elyaf kullanımı olan çalışmalarda ise %54 ile 59 arası azaldığı Tablo 4.20’deki test sonuçlarında görülmektedir.

Tablo 4.20: Aynı Çapta Kalsiyum Karbonat Agrega Kullanımında, Farklı Tip Elyaf Kullanımının En Az %40 Alüminat İçeren Kalsiyum Alüminat Çimento İçeren Çalışmalarda 800 °C Isıya Maruziyetleri Sonrası Kütle Değişimi Oranı.

| Çalışma No | Başlangıç Basınç Dayanımı (MPa) | 800 °C Sonrası Basınç Dayanımı (Mpa) | Basınç Dayanımı Değişim (%) | Kütle Değişim (%) |
|------------|---------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| 03         | 2,52                            | 0,80                                 | 68                          | 24,00             |
| 23         | 3,53                            | 1,43                                 | 59                          | 21,8              |
| 27         | 3,43                            | 1,57                                 | 54                          | 21,0              |
| 31         | 3,00                            | 1,27                                 | 58                          | 22,7              |

Elyaf kullanımının 800 °C sonrası basınç dayanımlarına olumlu etkisi görülmüştür. Kütle değişimleri, portland çimento kullanımlarında görülenin aksine, birbirlerine daha yakın değerlerde görülmüştür. En yüksek basınç dayanımı, kütle değişimi en az olan 27 nolu çalışmada olduğu görülmüştür.

İçerisinde %50 alüminat içeren ısıya dayanım özellikli refrakter çimento kullanımı olan 04,24,28 ve 32nolu çalışmalar, 800 °C derece ısıya maruz kalmaları sonrasında kütle kayıplarına uğradıkları ve başlangıç basınç dayanımı değerlerinin elyaf kullanımı olmayan 04 nolu çalışmada %68 değiştiği, elyaf kullanımı olan çalışmalarda ise %64 ile 66 arası azaldığı görülmüştür. Elyaf kullanımının 800 °C sonrası basınç dayanımlarına olumlu etkisi görülmüştür. Kütle değişimleri, portland çimento kullanımlarında görülenin aksine, birbirlerine daha yakın değerlerde görülmüştür. En yüksek basınç dayanımı, Tablo 4.21’de görüleceği üzere, kütle değişimi en az olan 28 nolu çalışmada olduğu görülmüştür.

Tablo 4.21: Aynı Çapta Kalsiyum Karbonat Agrega Kullanımında, Farklı Tip Elyaf Kullanımının En Az %50 Alüminat İçeren Kalsiyum Alüminat Çimento İçeren Çalışmalarda 800 °C Isıya Maruziyetleri Sonrası Kütle Değişimi Oranı.

| Çalışma No | Başlangıç Basınç Dayanımı (MPa) | 800 °C Sonrası Basınç Dayanımı (Mpa) | Basınç Dayanımı Değişim (%) | Kütle Değişim (%) |
|------------|---------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| 04         | 2,94                            | 0,95                                 | 68                          | 24,89             |
| 24         | 3,23                            | 1,17                                 | 64                          | 25,0              |
| 28         | 3,63                            | 1,23                                 | 66                          | 23,9              |
| 32         | 3,17                            | 1,07                                 | 66                          | 24,5              |

## 5. SONUÇLAR

Yapılan çalışmalar incelendiğinde, sonuçlar birden fazla bakış açısı ile değerlendirilebilmektedir.

Çalışmalarda, aynı agreganın ve aynı elyaf katkının farklı çimento tipi kullanımına etkisi görülebileceği gibi, farklı bir bakış açısı ile aynı tip çimento kullanımı olan çalışmalara farklı D50 değerinde kalsiyum karbonat kullanımı da görülmüştür.

Agregaların sabit bırakılıp çimento tiplerinin değiştirildiği çalışmalarda portland çimento kullanımı olan çalışmaların hem başlangıç basınç dayanım değerlerinin hem de 800 °C sonrası basınç dayanım değerlerinin daha yüksek oldukları ve kütle kayıplarının alüminatlı çimentolara göre daha az oldukları görülmüştür.

Belirlenen formülasyon çalışmalarına göre, çimento tipi olarak portland çimento kullanımı olan çalışmalarda, gri portland çimento ile beyaz portland çimentonun farklı özellikler gösterdiği görülmüştür. Kalsiyum karbonat agrega kullanımları arasındaki ilişkiyi anlatmak için yapılan çalışmalarda, 800 °C sonraki etkileri incelendiğinde her iki tip portland çimentolu çalışmalarda da D50 değeri 6,5-9,5 mikron olan agrega kullanımının ve D50 değeri 55-100 mikron olan agrega kullanımının 800 °C sonrası daha yüksek basınç dayanımı değeri gösterdiği görülmüştür.

Bu çalışmalara benzer D50 değerindeki silis agrega ile değiştirerek yapılan çalışmada ise, silis agrega kullanımı olan çalışmaların 800 °C sonrası daha yüksek basınç dayanımı elde ettikleri görülmüştür. Fakat silis agrega kullanımı olan bu çalışmalarda, kütle kayıplarının yüksek olduğu görülmüştür. Bu etkiye, silisin termal ısı iletkenlik yüksek olması kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

Elyaf katkının ürünlerin basınç dayanımlarına etkisinin incelenmesi için D50 değeri 19-36 mikron olan kalsit kullanımı olan çalışmalara 3 tip elyaf eklenmiştir. Buna göre elyaf kullanımı olan çalışmalarda, 800 °C derece sonrasında kütle kaybının ciddi oranda azaldığı görülmüştür. Tüm çalışmalarda da 800 C derece sonrasında kütle kayıplarının az olduğu çalışmalarda basınç dayanımlarının da yüksek olduğu görülmüştür. Portland çimento tipinin olduğu bu çalışmalarda, tip 2 kodlu poliakrilamid yapıdaki elyafın 800 °C derece sonrasında en yüksek basınç dayanımı değerinde olduğu görülmüştür.

Çimento tipi olarak alüminat içeren ısıya dayanım özellikli çimentoların, portland çimentolardan biraz daha farklı performans gösterdikleri görülmüştür.

Kalsiyum karbonat agrega kullanımları arasındaki ilişkiyi anlatmak için yapılan çalışmalarda, 800 °C sonraki etkileri incelendiğinde her iki tip alüminat içeren çimentolu çalışmalarda da D50 değeri 55-100 mikron agrega kullanımında, 800 °C sonrasında en yüksek basınç dayanımı değeri elde edilmektedir.

Yine bu çalışmalara benzer D50 değerindeki silis agrega ile değiştirerek yapılan çalışmada ise, silis agrega kullanımı olan çalışmaların 800 °C sonrası daha yüksek basınç dayanımı elde ettikleri görülmüştür. Fakat silis agrega kullanımı olan bu çalışmalarda da, kütle kayıplarının yüksek olduğu görülmüştür. Termal iletkenlik olarak yüksek değerde olan silisin ısıyı diğer komponentlere iletme katsayısının yüksek olmasından dolayı, kütle kayıplarının yüksek olduğu düşünülmektedir. Silis agrega içeren çalışmalarda ufalanma vb. etkilerin görülmüş olmasından dolayı da, silis kullanımının uygun olmadığı görülmüştür.

Elyaf katkının ürünlerin basınç dayanımlarına etkisinin incelenmesi için D50 değeri 19-36 mikron olan kalsit kullanımı olan çalışmalara 3 tip elyaf eklenmiştir. Buna göre elyaf kullanımı olan çalışmalarda, 800 °C derece sonrasında kütle kaybını azalttığı fakat ciddi oranda bir azalma olmadığı görülmüştür. Alüminat içeren ısı dayanımlı çimento tiplerinin olduğu bu çalışmalarda, tip 1 kodlu poliakrilamid yapıdaki elyafın 800 °C derece sonrasında en yüksek basınç dayanımı değerinde olduğu görülmüştür. Tip1 poliakrilamid yapıdaki elyafların portland çimentolu çalışmalarda en performanslı değerleri elde ettiği görülürken, tip 2 poliakrilamid yapıdaki elyafların ise alüminat içeren ısı dayanımlı çimentolarda en performanslı değeri elde ettikleri görülmüştür.

## KAYNAKLAR

- [1] Sarı M., (2014), “Farklı tipteki liflerin betonun mekanik davranışına etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [2] Demirel F., Özkan E., (2003), “Çelik Yapı Bileşenleri Ve Yangın Güvenlik Önlemleri” Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 18(4), 89-107.
- [3] Thomas G., Langdon J. (1998), “Fire Safety in Buildings. Principles and Practise”.
- [4] Schleich J. B. (Ed.), (1993), “International fire engineering design for steel structures: State of the art”, International Iron And Steel Institute, Brussels.
- [5] Özkan E., (2002), “Çelik yapı bileşenlerinde alınması gereken yangın güvenlik önlemleri ve bir uygulama örneği”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi.
- [6] Serrano R., Cobo A., Prieto M. I., de las Nieves González M., (2016), “Analysis of fire resistance of concrete with polypropylene or steel fibers”, Construction and building materials, 122, 302-309.
- [7] Yermak N., Pliya P., Beaucour A. L., Simon A., Noumowé A., (2017), “Influence of steel and/or polypropylene fibres on the behaviour of concrete at high temperature: Spalling, transfer and mechanical properties”, Construction and Building Materials, 132, 240-250.
- [8] Nili M., Afroughsabet V., (2010), “The effects of silica fume and polypropylene fibers on the impact resistance and mechanical properties of concrete”, Construction and Building Materials, 24(6), 927-933.
- [9] Lee S. J., Kim S. H., Won J. P., (2017), “Strength and fire resistance of a high-strength nano-polymer modified cementitious composite”, Composite Structures, 173, 96-105.
- [10] Ayberk M., (1995), “Perlitin yapı gereci olarak kullanımı ve yapı maliyetine etkisi”, Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, 203-206.
- [11] TSE, (2017), Kâgir harcı - Özellikler - Bölüm 1: Kaba ve ince sıva harcı, TS EN 998-1, Türk Standartları Enstitüsü.
- [12] Soares A., de Fátima Júlio M., Flores Colen I., Ilharco L. M., de Brito J., (2018), “EN 998-1 performance requirements for thermal aerogel-based renders”, Construction and Building Materials, 179, 453-460.
- [13] TSE, (2019), Yapı mamulleri ve yapı elemanları, yangın sınıflandırması bölüm

1: Yangın karşısındaki davranış deneylerinden elde edilen veriler kullanılarak sınıflandırma, TS EN 13501-1, Türk Standartları Enstitüsü.

- [14] Başdemir H., Demirel F., (2010), “Binalarda Pasif Yangın Güvenlik Önlemleri Bağlamında Bir Literatür Araştırması”, Politeknik Dergisi, 13(2), 101-109.
- [15] ResGaz 1, (2007), Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, 27.11.2007 tarih ve 12937 sayılı Resmi Gazete.
- [16] TSE, (2000), Kâgir harcı - Deney metotları - Bölüm 2: İmalatta kullanılan harç yığınlarından numune alma ve deney için hazırlama, TS EN 1015-2, Türk Standartları Enstitüsü.
- [17] TSE, (2000), Kâgir harcı- Deney metotları- Bölüm 3: Taze harç kıvamının tayini (yayılma tablası ile), TS EN 1015-3, Türk Standartları Enstitüsü.
- [18] TSE, (2000), Kâgir harcı - Deney metotları - Bölüm 6: Taze harcın boşluklu birim hacim kütlelerinin tayini, TS EN 1015-6, Türk Standartları Enstitüsü.
- [19] TSE, (2000), Kâgir harcı - Deney metotları - Bölüm 7: Taze harcın hava muhtevasının tayini, TS EN 1015-7, Türk Standartları Enstitüsü.
- [20] TSE, (2001), Kâgir harcı-Deney metotları- Bölüm 10: Sertleşmiş harcın boşluklu kuru birim hacim kütlelerinin tayini, TS EN 1015-10, Türk Standartları Enstitüsü.
- [21] TSE, (2020), Kâgir harcı - Deney yöntemleri - Bölüm 11: Sertleşmiş harcın eğilmede çekme ve basınç dayanımının tayini, TS EN 1015-11, Türk Standartları Enstitüsü.
- [22] TSE, (2016), Kâgir harcı- Deney metotları-Bölüm 12: Sertleşmiş sıva ve örgü harcının alt tabakaya yapışma dayanımının tayini, TS EN 1015-12, Türk Standartları Enstitüsü.
- [23] TSE, (2020), Mamullerin yangına tepki deneyleri - Tutuşmazlık deneyi, TS EN ISO 1182, Türk Standartları Enstitüsü.
- [24] TSE, (2020), Kâgir ve kâgir mamuller - Isıl özelliklerinin tayini yöntemleri, TS EN 1745, Türk Standartları Enstitüsü.
- [25] TSE, (2009), Yapı malzemeleri ve mamulleri - Isıl direncin, korumalı tablalı ısıtıcı ve ısı akı ölçerinin kullanıldığı metotlarla tayini - Isıl direnci orta ve düşük seviyede olan kuru ve rutubetli mamuller, TS EN 12667, Türk Standartları Enstitüsü.
- [26] Korkmaz A. V., (2021), “Klinker fazlarının farklı öğütme sürelerinde çimento performans özelliklerine etkisinin araştırılması”, Mühendislik ve Yer Bilimleri Dergisi, 6(1), 41-56.
- [27] Young G., Yang M., (2019), “Preparation and characterization of Portland

cement clinker from iron ore tailings”, Construction and Building Materials, 197, 152-156.

- [28] Tsakiridis P. E., Oustadakis P., and Agatzini-Leonardou S., (2014), “Black dross leached residue: an alternative raw material for portland cement clinker”, Waste and Biomass Valorization, V: 5(6), 973-983.
- [29] Bullerjahn F., Schmitt D., and Haha M. B., (2014), “Effect of raw mix design and of clinkering process on the formation and mineralogical composition of (ternesite) belite calcium sulphoaluminate ferrite clinker”, Cement and Concrete Research, V:59, 87-95.
- [30] Wilson W., (2013), “Grinding of cement clinkers: linking multi-scale fracture properties to system chemistry, mineralogy and microstructure”, Doktora Tezi, Massachusetts Institute of Technology.
- [31] Felekoğlu B., Güllü D., (2006), “Klinker incelemelerinde optik mikroskop ve görüntü işleme tekniklerinin kullanılması”, İMO Teknik Dergi, V:3761(3770), Yazı: 247.
- [32] Korkmaz A. V., (2020), “Hammadde ve klinker öğütülebilirliklerinin çimento üretiminde enerji tüketimine etkisinin araştırılması”, Bilimsel Madencilik Dergisi, V: 59(3), 169-181.
- [33] Brueggemann H., Brentrup L., (1990), “Relation-ship between cement strength and the chemico-mineralogical parameters of the clinker”, Beziehungen zwischen der Zementfestigkeit und chemisch-mineralogischen Parametern des Klinkers. ZKG (Zement-Kalk-Gips) International; (Germany, FR), V:43(1), 30-33.
- [34] TSE, (2013), Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, TS 825, Türk Standartları Enstitüsü.
- [35] Toksoy F., (1997), “Vermikülit: Mineraloji, jeolojik oluşum, endüstriyel kullanım ve Türkiye’deki durumu”, 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 16-17.
- [36] Gerard V. M., (2003), “Encyclopedia of sediments and sedimentary rocks”, Cornwall, Kluwer Academic Publishers.
- [37] Akao M., Yamazaki A., Fukuda Y., (2003), “Vermiculite board for novel building material”, Journal of materials science letters, 22(21), 1483-1485.
- [38] Sargın Ş. O., (2008), “Presipite kalsiyum karbonat (PCC) üretim yönteminin incelenmesi”, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi.
- [39] Lokman L., (2000), “Kireç”, KÜB Yayınları.
- [40] AH, J., Oates J. A. H., (1998), “Lime and limestone”, 3rd Edition, Wiley-VCH.

- [41] Korkmaz Y., (2019), “Üniform silis kumların rölatif sıklılığa bağı içsel sürtünme ve dilatasyon açılarının değışiminin deneysel olarak incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Bülent Ecevit Üniversitesi.
- [42] Fan X., Niu L., (2015), “Performance of redispersible polymer powders in wall coatings”, Journal of Adhesion Science and Technology, 29(4), 296-307.
- [43] Topçuoğlu Ö., Altinkaya S. A., Balköse D., (2006), “Characterization of waterborne acrylic based paint films and measurement of their water vapor permeabilities”, Progress in Organic Coatings, 56(4), 269-278.
- [44] Garuti Jr J., Calvo L. M., (2012), “U.S. Patent No. 8,187,375”, Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- [45] Niu L., Lei L., Xia Z., (2013), “Redispersible polymer powder functionalized with NMA and its adhesive properties in dry-mixed coatings”, Journal of adhesion science and technology, 27(13), 1432-1445.
- [46] Gomes C. E. M., Ferreira O. P., (2005), “Analyses of microstructural properties of VA/VeoVA copolymer modified cement pastes”, Polímeros, 15, 193-198.
- [47] Tarannum N., Pooja K., Khan R., (2020), “Preparation and applications of hydrophobic multicomponent based redispersible polymer powder: A review”, Construction and Building Materials, 247, 118579.
- [48] Pak-Harvey H., Mao C. L., (1996), “U.S. Patent No. 5,519,084”, Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- [49] Wang R., Li J., Zhang T., Czarnecki, L., (2016), “Chemical interaction between polymer and cement in polymer-cement concrete”, Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences, 64(4), 785-792.
- [50] Larbi J. A., Bijen J. M., (1990), “Interaction of polymers with Portland cement during hydration: a study of the chemistry of the pore solution of polymer-modified cement systems”, Cement and concrete research, 20(1), 139-147.
- [51] Web 1, (2022), <https://sidleychem.com/product/redispersible-polymer-powder/>, (Erişim Tarihi: 31/05/2022)
- [52] Kırıcı H., (2001), “Selüloz Türevleri ve Kullanım Yerleri”, Fen ve Mühendislik Dergisi, 4(2), 119-130.
- [53] Fengel D., Wegener G., (1989), “Ultrastructure, reactions”, Wood chemistry, 613S.
- [54] Eroğlu H., Usta M., (2000), “Lif Levha Üretim Teknolojisi”, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Genel Yayın, (200), 351.
- [55] Hinck J. F., Casebier R. L., Hamilton J. K., (1985), “Pulp and Paper

Manufacture-Sulfite Science and Technology”, 3rd Edition, Technology Park Atlanta.

- [56] Aral M., (2006), “Karma lif içeren çimento esaslı kompozitlerin mekanik davranışı bir optimum tasarım”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [57] Küçük F., (2021), “Yüksek performanslı polipropilen elyaf katkısının kil zeminin drenajsız kayma direncine etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi.
- [58] Baybaş D., (2009), “Poliakrilamit-aluminosilikat kompozitlerin karakterizasyonu ve toryum için adsorpsiyon özelliklerinin araştırılması”, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 85-88.
- [59] Jesionowski T., Zdarta J., Krajewska, B., (2014), “Enzyme immobilization by adsorption: A review”, Adsorption, 20(5), 801-821.

## ÖZGEÇMİŞ

Ferdi ESER ortaokul ve liseyi, Turhal Anadolu Lisesi'nde okudu. Lisans eğitiminin bir yılını Rovira i Virgili Üniversitesi, Tarragona-İspanya'da olmak üzere, Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği (%100 İngilizce) Bölümünde tamamladı. 2019 yılında yüksek lisans eğitimine, Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında başladı. İş hayatına Tekno Yapı Kimyasalları firmasında Kalite Kontrol ve Arge Uzmanı olarak başlamıştır. Dyo Boya Fabrikaları'nda 2015 yılında Yalıtım Arge mühendisi olarak çalışmaya başlamış olup, 2016 yılında Yalıtım Arge Uzmanı olarak devam etmiştir. Isı yalıtımı, su yalıtımı, ses yalıtım ürünleri ve yangın dayanım malzemeleri ile ilgili arge merkezi projeleri yürütmektedir. Dyo Boya Fabrikaları Arge Merkezi'nde, görevine 2021 yılından itibaren Kıdemli Arge Uzmanı olarak devam etmektedir.

## EKLER

### **Ek A: Tez Çalışması Kapsamında Yapılan Yayınlar**

Eser F., Söylev T.A., (2022), “Hafif Agregalar İçeren Harçlarda Farklı Agregata ve Çimento Tipinin Isı İletkenlik ve Yangın Dayanım Performansına Etkisi”, 6.GTU Lisansüstü Araştırmalar Sempozyumu, Gebze Teknik Üniversitesi, 2022.

