



**YÜKSEK SICAKLIĞA MARUZ KALAN BARİT  
AGREGALI ÇİMENTO VE ALKALİ AKTİVE  
HARÇLARIN GAMA IŞINI SOĞURMA  
ÖZELLİKLERİNE KOLEMANİTİN ETKİSİ**

**Süreyya KÖK**

**Yüksek Lisans Tezi  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Doç. Dr. H. Süleyman GÖKÇE  
2021  
(Her Hakkı Saklıdır)**

T.C.  
BAYBURT ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI

**YÜKSEK SICAKLIĞA MARUZ KALAN BARİT AGREGALI ÇİMENTO VE  
ALKALİ AKTİVE HARÇLARIN GAMA IŞINI SOĞURMA  
ÖZELLİKLERİNE KOLEMANİTİN ETKİSİ**

(The Effect of Colomanite on the Gamma Ray Attenuation Properties of Barite  
Aggregate Cement and Alkali- Activated Mortars Exposed to High Temperature)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Süreyya KÖK

Danışman: Doç. Dr. H. Süleyman GÖKÇE

Bayburt  
Temmuz, 2021

## KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Doç. Dr. H. Süleyman GÖKÇE danışmanlığında, 182002006 numaralı Süreyya KK tarafından hazırlanan “Yüksek Sıcaklığa Maruz Kalan Barit Agregalı imento ve Alkali Aktive Harçların Gama Işını Soğurma zelliklerine Kolemanitin Etkisi” adlı bu çalışma 07.07.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnaaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Programında Yüksek Lisans Tezi olarak oy birliği ile başarılı kabul edilmiştir.

Başkan: Dr. Öğr. Üyesi ağlar YALÇINKAYA

İmza:

Jüri yesi: Doç. Dr. H. Süleyman GÖKÇE

İmza:

Jüri yesi: Doç. Dr. Ali MARDANI AGHABAGLOU

İmza:

Bu tezin Bayburt Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve ğretim Yönetmeliği’nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

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

Doç. Dr. Fatih GÜRBÜZ

Enstitü Müdürü

## ETİK VE BİLDİRİM SAYFASI

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Yüksek Sıcaklığa Maruz Kalan Barit Agregalı Çimento ve Alkali Aktive Harçların Gama Işını Soğurma Özelliklerine Kolemanitin Etkisi” başlıklı çalışmanın tarafımdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını ve yararlandığım eserleri kaynakçada gösterdiğimi beyan ederim.

... / ...2021

İmza

Süreyya KÖK

## TEŞEKKÜR

Tez aşamasında değerli bilgileri ve tecrübesiyle çalışmamın her anında desteğini esirgemeyen Tez Danışmanım Sayın Doç. Dr. H. Süleyman GÖKÇE başta olmak üzere, laboratuvar donanımı hakkında teknik destek olan ve deneylerin yapılışı konusunda bilgi ve tecrübeleriyle desteğini esirgemeyen değerli hocam Arş. Gör. Nurullah ÖKSÜZER' e teşekkür ederim.

Tez çalışmasında kullanılan bor mineralinin temininde destek sağlayan Eti Maden A.Ş firmasına ve çimento temininde desteğini esirgemeyen Erzurum Aşkale Çimento Sanayi T.A.Ş. firmasına teşekkür ederim.

Teşekkürlerin az kalacağı, hayatım boyunca kazandırdıkları her şey için minnettar olduğum ve benim bu günlere gelmemde en büyük rolü oynayan her daim ilgilerini ve sevgilerini gördüğüm bu hayattaki en büyük şansım olan başta annem Nezaket KÖK, babam İbrahim KÖK, ablalarım Rüveyde AYDIN ve Hümeysra KÖK'e ayrıca lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca desteğini hiçbir zaman esirgemeyen abim Doç. Dr. Metin Mutlu AYDIN' a teşekkür ederim.

## ÖZ

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### YÜKSEK SICAKLIĞA MARUZ KALAN BARİT AGREGALI ÇİMENTO VE ALKALİ AKTİVE HARÇLARIN GAMA IŞINI SOĞURMA ÖZELLİKLERİNE KOLEMANİTİN ETKİSİ

Süreyya KÖK

Temmuz 2021, 69 Sayfa

Yangın veya yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan beton ve bileşenlerinin yapılarında çeşitli değişimler meydana gelerek kompozitlerin yapısını bozmaktadır. Bu nedenle meydana gelen fiziksel ve mekanik özelliklerdeki değişimler oldukça önemlidir. Çalışma kapsamında ısıtım işlem safhasında yüksek sıcaklık etkisinde kalan harç numunelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimler ile gama ışını soğurma performanslarına kolemanitin etkisi incelenmesi amaçlanmıştır. Hazırlanan alkali aktive ve çimento esaslı barit agregalı harç numuneleri 300 ve 500 °C sıcaklıklara tabi tutulmuştur. Kolemanit ikamesi ile oluşturulan hamurlarda kıvam ve priz süresi, harçlarda ise yayılma tablası, yoğunluk, su emme ve basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca çalışma kapsamında,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{60}\text{Co}$  radyonüklitlerinin ilgili gama ışını enerji seviyelerinde (662 keV, 1173 keV ve 1332 keV), *NGCal* programı ile teorik olarak belirlenen lineer soğurma katsayıları araştırılmıştır. Çimento harç numunelerinde kolemanitin kullanımı ile su emme değerleri %27,7'e varan oranda, alkali aktive harçlarda ise %13,8'e varan oranda artmıştır. Yüksek sıcaklık, basınç dayanımları üzerinde çimento harçlarında %33,1'e ve alkali aktive harçlarda ise %39,3'e varan kayıplara yol açmıştır. Buna paralel olarak gama ışını soğurma performanslarında benzer kayıplar gözlemlenmiştir. Gama ışını soğurma performansı daha yüksek olan çimento harçlarının lineer soğurma katsayıları, yüksek sıcaklıkta 1332 keV'lik enerji seviyesi için %24,7'e varan kayıpla 0,159 cm<sup>-1</sup>'den 0,141 cm<sup>-1</sup>'e düşerken, alkali aktive harçlarında bu değer %17,8'e varan kayıpla 0,135 cm<sup>-1</sup>'den 0,111 cm<sup>-1</sup>'e düşmüştür. Sonuç olarak, kolemanitin dayanım ve gama ışını soğurma özelliklerinden çok fazla kayıp vermeden barit agregalı harçlarda bağlayıcı yerine ağırlıkça %5 oranında eklenebileceği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Alkali aktive malzeme, çimento, kolemanit, barit agregası, yüksek sıcaklık, gama ışını soğurma performansı.

## ABSTRACT

### MASTER'S THESIS

#### THE EFFECT OF COLEMANİTE ON THE GAMMA RAY ATTENUATION PROPERTIES OF BARİTE AGGREGATE CEMENT AND ALKALİ ACTIVATED MORTARS EXPOSED TO HIGH TEMPERATURE

Süreyya KÖK

July 2021, 69 Pages

Various changes occur in the structures of the concrete and its components, which are exposed to the effects of fire or high temperature, and disrupt the structure of the composites. For this reason, changes in physical and mechanical properties are very important. Within the scope of the study, it was aimed to examine the changes in the physical and mechanical properties of the mortar samples exposed to high temperature during the heat treatment phase and colemanite effect on their gamma ray attenuation performance. The prepared alkali-activated and cement-based barite aggregate mortar samples were exposed to 300 and 500 °C temperatures. The tests of consistency and setting time in paste samples, and flow table, density, water absorption and compressive strength in mortars were performed. In addition, linear attenuation coefficients theoretically determined by NGCal software were investigated at the gamma ray energy levels (662 keV, 1173 keV and 1332 keV) of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{60}\text{Co}$  radionuclides. With substitution of colemanite, the water absorption values increased by up to 26,8% in cement mortar samples and by up to 6,54% in alkali-activated mortar. The high temperature caused losses on compressive strength by up to 33,1 in cement mortars and by up to 39,3% in alkali-activated mortars. In parallel with these results, similar losses were observed in gamma ray attenuation performances. At high temperature for 1332 keV energy level, while the linear attenuation coefficients of cement mortars having higher gamma ray attenuation performance decreased from  $0.159\text{ cm}^{-1}$  to  $0.141\text{ cm}^{-1}$  with a loss of up to 24,7%, those of alkali-activated mortars reduced from  $0.135\text{ cm}^{-1}$  to  $0.111\text{ cm}^{-1}$  with a loss of up to 17,8%. In conclusion, it is seen that the colemanite up to 5% can be used instead of binder, by weight, in barite aggregate mortars without causing much loss of strength and gamma ray attenuation properties.

**Keywords:** Alkali-activated material, cement, colemanite, barite aggregate, high temperature, gamma ray attenuation performance.

## İÇİNDEKİLER

|                                  |                                  |
|----------------------------------|----------------------------------|
| ETİK VE BİLDİRİM SAYFASI.....    | i                                |
| TEŞEKKÜR.....                    | HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ. |
| ÖZ .....                         | HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ. |
| ABSTRACT .....                   | HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ. |
| İÇİNDEKİLER.....                 | V                                |
| TABLolar DİZİNİ.....             | viii                             |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....             | ix                               |
| KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ.. | HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ. |

## BİRİNCİ BÖLÜM

|            |                                  |
|------------|----------------------------------|
| Giriş..... | Hata! Yer işareti tanımlanmamış. |
|------------|----------------------------------|

## İKİNCİ BÖLÜM

|                                               |                                   |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------|
| Literatür Bilgileri .....                     | 3                                 |
| Çimento .....                                 | Hata! Yer işareti tanımlanmamış.  |
| Çimentonun tarihçesi.....                     | Hata! Yer işareti tanımlanmamış.  |
| Dünya’ da ve Türkiye’de çimento sektörü. .... | Hata! Yer işareti tanımlanmamış.  |
| Çimento hammaddeleri.....                     | 6                                 |
| Kalker. ....                                  | 7                                 |
| Kil. ....                                     | 7                                 |
| Marn.....                                     | 7                                 |
| Çimento ana bileşenleri. ....                 | 8                                 |
| Çimento hidratasyonu.....                     | 9                                 |
| Çimento çeşitleri.....                        | 10                                |
| Çimento üretimi.....                          | Hata! Yer işareti tanımlanmamış.1 |
| Geopolimer .....                              | Hata! Yer işareti tanımlanmamış.2 |
| Geopolimer bileşenleri. ....                  | Hata! Yer işareti tanımlanmamış.  |
| Hammaddeler.....                              | Hata! Yer işareti tanımlanmamış.  |
| Alkali sıvılar. ....                          | Hata! Yer işareti tanımlanmamış.  |
| Bor Elementi.....                             | Hata! Yer işareti tanımlanmamış.  |

|                                                           |                                         |
|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Bor elementinin mühendislikte kullanımının tarihçesi..... | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Dünya bor mineralleri rezervleri ve üretimi. ....         | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Boraks (Tinkal).....                                      | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Üleksit.....                                              | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Kolemanit. ....                                           | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Pandermit (Priseit).....                                  | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Kernit (Razorit).....                                     | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Probertit. ....                                           | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Szajbelite (Asharite). ....                               | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Datolit. ....                                             | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Göl Suları.....                                           | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Hidroborasit. ....                                        | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Türkiye bor rezervlerinin genel değerlendirilmesi. ....   | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Bor ürünlerinin kullanım alanları. ....                   | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Barit .....                                               | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Baritin kullanım alanları.....                            | 20                                      |
| Radyasyon Hakkında Bilgilendirme.....                     | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Gama radyasyonu. ....                                     | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Fotoelektrik etkileşme. ....                              | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Compton etkileşmesi. ....                                 | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Çift oluşumu. ....                                        | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Gama ışınlarına karşı zırlama. ....                       | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Lineer soğurma katsayısı. ....                            | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Yarı değer kalınlığı (HVT). ....                          | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Onda bir değer kalınlığı (TVT). ....                      | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Radyasyon enerjisi birimi (eV, keV, MeV).....             | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Literatürde Yapılmış Bazı Çalışmalar .....                | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |

### ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

|                               |                                          |
|-------------------------------|------------------------------------------|
| <b>Materyal Metot .....</b>   | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.9</b> |
| Materyal.....                 | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.9</b> |
| Uçucu kül (UK). ....          | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.9</b> |
| Metakaolin (MK). ....         | 30                                       |
| Aktivatörler.....             | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.1</b> |
| Sodyum Hidroksit (NaOH). .... | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.1</b> |

|                                                                                       |                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----|
| Sodyum Silikat ( $Na_2SiO_3$ ). .....                                                 | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> | 2  |
| Çimento. ....                                                                         | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> | 2  |
| Kolemanit (K).....                                                                    | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> | 3  |
| Agrega. ....                                                                          | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> | 4  |
| Karma suyu.....                                                                       | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> | 5  |
| Metot.....                                                                            | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> | 5  |
| Alkali çözeltilerin hazırlanması.....                                                 |                                         | 35 |
| Alkali aktive harçlar ve çimento harçlarının üretimi                                  | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> | 5  |
| Karışımların kür yöntemleri. ....                                                     | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> | 7  |
| Tez kapsamında yapılan deneysel çalışmalar. ....                                      | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> | 8  |
| Çimento ve alkali aktive hamurları üzerinde yapılan deneyler. ....                    | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> | 9  |
| Kıvam tayini deneyi.....                                                              | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> | 9  |
| Priz süresi tayini deneyi.....                                                        |                                         | 40 |
| Çimento ve alkali aktive harçlar üzerinde yapılan deneyler.....                       | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> | 1  |
| Boşluk oranı, su emme ve birim hacim ağırlık deneyleri.....                           | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> | 1  |
| Yayılma tablası deneyi. ....                                                          | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> | 2  |
| Basınç dayanım testi.....                                                             | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> | 2  |
| Yüksek sıcaklık direnci testi.....                                                    | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> | 4  |
| Numunelerin gama radyasyon soğurma özelliklerinin NGCal yöntemi ile hesaplanması..... |                                         | 45 |

## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

|                                                                                                                      |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Araştırma Bulguları .....</b>                                                                                     | <b>48</b> |
| Çimento ve Alkali Aktive Hamurlar Üzerinde Yapılan Deneylerin Sonuçları.....                                         | 48        |
| Priz başlangıç ve priz bitiş tayini deney sonuçlarının değerlendirmesi.....                                          | 48        |
| Çimento ve Alkali Aktive Harçlar Üzerinde Yapılan Deneylerin Sonuçları .....                                         | 49        |
| Yayılma tablası deneyi sonuçları.....                                                                                | 49        |
| Birim hacim ağırlık, boşluk oranı ve ağırlıkça su emme sonuçları. ....                                               | 51        |
| Basınç dayanım deney sonuçları. ....                                                                                 | 53        |
| Yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış ve bırakılmamış çimento ve alkali aktive numunelerinin mukavemet özellikleri. .... | 53        |
| Alkali aktive harç ve çimento harç numunelerinde bor katkısının basınç dayanıma etkisi.....                          | 55        |

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| Lineer soğurma katsayıları ..... | 56 |
|----------------------------------|----|

## **BEŞİNCİ BÖLÜM**

|                                |           |
|--------------------------------|-----------|
| <b>Sonuç ve Öneriler .....</b> | <b>61</b> |
| <b>Kaynakça .....</b>          | <b>63</b> |
| <b>Öz geçmiş .....</b>         | <b>69</b> |



## TABLÖLAR DİZİNİ

|                                                                                          |                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Tablo 1. <i>Dünya Çimento İhracatı</i> .....                                             | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Tablo 2. <i>Dünya Çimento İthalatı</i> .....                                             | 5                                       |
| Tablo 3. <i>Türkiye Çimento Sektörü Üretim ve Tüketim Miktarları</i> .....               | 6                                       |
| Tablo 4. <i>Çimento Ana Bileşenleri</i> .....                                            | 8                                       |
| Tablo 5. <i>Portland Çimentolarının Hidratasyonu</i> .....                               | 9                                       |
| Tablo 6. <i>Bor Elementinin Atomik Özellikleri</i> .....                                 | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Tablo 7. <i>Bor Elementinin Fiziksel Özellikleri</i> .....                               | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Tablo 8. <i>Önemli Bor Mineralleri ve Bulunduğu Yerler</i> .....                         | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Tablo 9. <i>Dünya Bor Rezervleri</i> .....                                               | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Tablo 10. <i>Türkiye Bor Rezervlerinin Dağılımı</i> .....                                | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Tablo 11. <i>Uçucu Kül Kimyasal Bileşenlerinin Analizi</i> .....                         | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Tablo 12. <i>Metakaolin Kimyasal Bileşenlerinin Analizi</i> .....                        | 30                                      |
| Tablo 13. <i>Sodyum Silikat Kimyasal Bileşenleri</i> .....                               | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Tablo 14. <i>Portland Çimentosu Kimyasal Bileşenlerinin Analizi</i>                      | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Tablo 15. <i>Kolemanit Kimyasal Bileşenlerinin Analizi</i> .....                         | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Tablo 16. <i>Barit Agregası Kimyasal Bileşenlerinin Analizi</i>                          | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Tablo 17. <i>Alkali Aktive Harçların Karışım Oranları</i> .....                          | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Tablo 18. <i>Çimento Harçları Karışım Oranları</i> .....                                 | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Tablo 19. <i>Hamur Deneyleri İçin Hazırlanan Çimento Karışım Oranı</i>                   | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Tablo 20. <i>Hamur Deneyleri İçin Hazırlanan Alkali Aktive Karışım Oranı</i>             | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Tablo 21. <i>Portland Çimento Serilerinin Oksit Analiz Değerleri</i> .....               | 46                                      |
| Tablo 22. <i>Alkali Aktive Serilerinin Oksit Analiz Değerleri</i> .....                  | 47                                      |
| Tablo 23. <i>Hamurlar Üzerinde Yapılan Deneyler ve Sonuçları</i> .....                   | 48                                      |
| Tablo 24. <i>Bor Katkılı ve Katkısız Harçların Yayılma Tablası Deney Sonuçları</i> ..... | 50                                      |
| Tablo 25. <i>PÇ. Numunelerinin Su Emme Deneyi Sonuçları</i> .....                        | 51                                      |
| Tablo 26. <i>Alkali Aktive Numunelerin Su Emme Deneyi Sonuçları</i> .....                | 52                                      |
| Tablo 27. <i>Alkali Aktive Numunelerin Borun Basınç Dayanıma Etkisi</i> .....            | 56                                      |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                   |                                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Şekil 1. Çimento hamurundaki karma oksitlerin dayanım artışındaki rolleri.....                    | 9                                       |
| Şekil 2. Barit madeni.....                                                                        | 20                                      |
| Şekil 3. Türkiye barit yatakları haritası.....                                                    | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Şekil 4. Gama ışınlarının madde ile etkileşme mekanizmalar.....                                   | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Şekil 5. Fotoelektrik etkileşmenin tasviri .....                                                  | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Şekil 6. Compton saçılmasının tasviri.....                                                        | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Şekil 7. Uçucu kül.....                                                                           | 30                                      |
| Şekil 8. Metakaolin. ....                                                                         | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Şekil 9. Sodyum hidroksit.....                                                                    | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Şekil 10. Sodyum silikat. ....                                                                    | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Şekil 11. Portland Çimento CEM I 42,5 R. ....                                                     | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Şekil 12. Kolemanit.....                                                                          | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Şekil 13. 50 x 50 x 50 mm küp kalıplara dökülen numuneler.....                                    | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Şekil 14. İki aşamalı laboratuvar tipi mikser. ....                                               | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Şekil 15. Alkali aktive numunelerin kürlenmesi.....                                               | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Şekil 16. Çimento numunelerinin kürlenmesi.....                                                   | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Şekil 17. Vicat aleti ve kıvam tayini yapılan numune. ....                                        | 40                                      |
| Şekil 18. Vicat aleti ve priz başlangıç ve bitiş deneyi yapılan numune.....                       | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Şekil 19. Yayılma tablası deneyinin yapılışı.....                                                 | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Şekil 20. Basınç testi ekran görüntüsü .....                                                      | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Şekil 21. Basınç dayanımı testinin küp numunelerde uygulanması.....                               | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Şekil 22. Yüksek sıcaklık fırını.....                                                             | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Şekil 23. Fırına konulan numuneler.....                                                           | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Şekil 24. a) 300 °C ve b)500°C'lik ısınma rejimleri .....                                         | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Şekil 25. NGCal Programının açılış penceresi.....                                                 | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
| Şekil 26. Alkali aktive harç numunelerin yüksek sıcaklık etkisinde basınç dayanım sonuçları. .... | 53                                      |
| Şekil 27. Çimento harç numunelerin yüksek sıcaklık etkisinde basınç dayanım sonuçları.....        | 54                                      |
| Şekil 28. Çimento harç numunelerinde borun basınç dayanıma etkisi. ....                           | 55                                      |

|                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 29. Yüksek sıcaklığın PÇ numunelerine göreceli lineer soğurma ve lineer soğurma katsayılarına etkisi. ....            | 58 |
| Şekil 30. Yüksek sıcaklığın alkali aktive numunelerine göreceli lineer soğurma ve lineer soğurma katsayılarına etkisi. .... | 60 |



## KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

### Kısaltmalar

|              |                                                                                                                                           |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>AAK</b>   | : Alkali Aktive Kolemanit                                                                                                                 |
| <b>ASTM</b>  | : American Society for Testing and Materials (Amerikan Test ve Materyal Topluluğu)                                                        |
| <b>DPT</b>   | : Devlet Planlama Teşkilatı                                                                                                               |
| <b>HVL</b>   | : Yarı Kalınlık                                                                                                                           |
| <b>MK</b>    | : Metakaolin                                                                                                                              |
| <b>NGCal</b> | : A Calculator For Transmission Properties of Neutrons and Photons (Nötronların ve Fotonların İletim Özellikleri için Bir Hesap Makinesi) |
| <b>PÇ</b>    | : Portland Çimento                                                                                                                        |
| <b>PÇK</b>   | : Portland Çimento Kolemanit                                                                                                              |
| <b>TMMOB</b> | : Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği                                                                                                  |
| <b>TSE</b>   | : Türk Standartları Enstitüsü                                                                                                             |
| <b>UK</b>    | : Uçucu Kül                                                                                                                               |

### Simgeler

|                                    |                                         |
|------------------------------------|-----------------------------------------|
| <b>A<sub>c</sub></b>               | : Deney Numunesi Kesit Ortalama Alanını |
| <b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | : Alüminyum Oksit                       |
| <b>B</b>                           | : Bor                                   |
| <b>BaSO<sub>4</sub></b>            | : Baryum Sülfat                         |
| <b>B<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>  | : Borik Asit                            |
| <b>CaO</b>                         | : Kalsiyum Oksit                        |
| <b>CaCO<sub>3</sub></b>            | : Kalsiyum Karbonat                     |
| <b>Ca(OH)<sub>2</sub></b>          | : Kalsiyum Hidroksit                    |
| <b>C-S-H</b>                       | : Tobermorit                            |
| <b>C<sub>2</sub>S</b>              | : Belit                                 |
| <b>C<sub>3</sub>S</b>              | : Alit                                  |

|                                      |                                                   |
|--------------------------------------|---------------------------------------------------|
| <b>C<sub>3</sub>A</b>                | : Trikalsiyum Alüminat                            |
| <b>C<sub>4</sub>AF</b>               | : Tetrakalsiyum Alüminoferrit                     |
| <b>E<sub>γ</sub></b>                 | : Fotonun Enerjisi                                |
| <b>E<sub>b</sub></b>                 | : Elektronun Bağlanma Enerjisi                    |
| <b>E<sub>k</sub></b>                 | : Elektronun Kinetik Enerjisi                     |
| <b>E<sub>γ'</sub></b>                | : Saçılan Fotonun Enerjisi                        |
| <b>eV</b>                            | : 1 Elektron Volt                                 |
| <b>F</b>                             | : Kırılma Yüğü                                    |
| <b>f<sub>c</sub></b>                 | : Deney Numunesi Basınç Dayanımını                |
| <b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>   | : Demir Oksit                                     |
| <b>G</b>                             | : Görünen Porozite                                |
| <b>K</b>                             | : Kolemanit                                       |
| <b>keV</b>                           | : Kilo Elektron Volt                              |
| <b>K<sub>2</sub>O</b>                | : Potasyum Oksit                                  |
| <b>mc<sup>2</sup></b>                | : Elektronun Durgun Kütle Enerjisi                |
| <b>MeV</b>                           | : Milyon Elektron Volt                            |
| <b>M<sub>fp</sub></b>                | : Ortalama Serbest Yol                            |
| <b>MgO</b>                           | : Magnezyum Oksit                                 |
| <b>MPa</b>                           | : Megapascal                                      |
| <b>NaOH</b>                          | : Sodyum Hidroksit                                |
| <b>Na<sub>2</sub>O</b>               | : Sodyum Oksit                                    |
| <b>Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub></b> | : Sodyum Silikat                                  |
| <b>N<sub>0</sub></b>                 | : Numune Yokken Alınan Sayım Değeri               |
| <b>N<sub>x</sub></b>                 | : İlgili Numune Kalınlığında Alınan Sayım Değeri, |
| <b>S</b>                             | : Kütlece Su Emme                                 |
| <b>SiO<sub>2</sub></b>               | : Silisyum Dioksit                                |
| <b>SO<sub>3</sub></b>                | : Kükürt Trioksit                                 |

|                          |                                             |
|--------------------------|---------------------------------------------|
| <b>T</b>                 | : Saçılan Elektronun Enerjisi               |
| <b>w<sub>0</sub></b>     | : Numunenin Etüv Kuru Ağırlığı              |
| <b>w<sub>1</sub></b>     | : Numunenin Suya Doygun Ağırlığı            |
| <b>w<sub>2</sub></b>     | : Numunenin Su İçindeki Ağırlığı            |
| <b>β<sup>-</sup></b>     | : Negatron                                  |
| <b>β<sup>+</sup></b>     | : Pozitron                                  |
| <b>γ</b>                 | : Gama Işını                                |
| <b>σ</b>                 | : Compton Oluşumu                           |
| <b>κ</b>                 | : Çift Oluşumu                              |
| <b>τ</b>                 | : Fotoelektrik Oluşumu                      |
| <b>Θ</b>                 | : Fotonun Saçılma Açısı                     |
| <b>X</b>                 | : Numune Kalınlığı                          |
| <b>M</b>                 | : Lineer Soğurma Katsayısı                  |
| <b>x<sub>(1/2)</sub></b> | : Yarı Değer Kalınlığı                      |
| <b>μ</b>                 | : Toplam Doğrusal Zayıflatma Belirtmektedir |
| <b>x<sub>1/10</sub></b>  | : Onda Bir Değer Kalınlığı                  |
| <b>°C</b>                | : Santigrat Derece                          |
| <b>%</b>                 | : Yüzde                                     |

## BİRİNCİ BÖLÜM

### Giriş

Radyasyon bir ortamda geçen enerji transferi, elektro manyetik dalgaların yayını veya radyoaktif parçacıkların yayınladığı parçacık akımıdır (Johns, & Cunningham, 1983). Dünya üzerindeki canlılar ve cansızlar suda, havada, toprakta ve yahut kendi vücutlarında dahi doğal radyasyon kaynaklarının ışınlamına maruz kalmaktadırlar (TAEK, 1999). Günümüzde radyasyon modern teknoloji çağının en temel konularından olmuştur. Öyle ki tıp, tarım, endüstriyel ve nükleer güç santralleri gibi alanlarda kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Farklı radyasyon tiplerinin tanımlanması ile bunların faydalarının anlaşılmasının yanı sıra, radyasyondan oluşabilecek zararlar da ortaya konulmuştur (Kılınçarslan vd., 2011).

Gelişen teknoloji ile radyasyon zırhlaması alanında geniş bir kullanım alanına sahip olan malzemelerden bir tanesi de beton olmuştur (Başyigit, Akkaş, & Kurtarıcı, 2012). Canlıların radyasyonla olan etkileşimleri artmış, radyasyondan korunmak için inşaat sektörünün ana malzemesi olan betonların radyasyon soğurma özelliklerinin ölçülmesi de önemli bir konu haline gelmiştir (Yarar, 1994).

Radyasyondan korunmanın üç temel faktörü zaman, mesafe ve zırhlama kuralıdır. İnsan ile radyasyon kaynağı arasına zırhlama malzemesi konulması maruz kalınacak doz miktarını azaltılır. Gama ışınları, betalardan 100 ve alfalardan 10000 kat daha fazla giriciliğe sahip olduğu için yüksek yoğunlukta ve yüksek atom numaralı malzemelerle zırhlanmalıdır (Kılınçarslan vd., 2011). X ve gama ışınları, maddenin atomik kütlesi ve zırh malzemelerinin yoğunluğunun artması ile daha etkin olarak soğurulur (Walker, & Grotenhuis, 1961). Genel olarak beton malzemelerin yoğunluklarındaki artış kullanılan agrega tipinin değiştirilmesi ile (normal ağırlıklı agregalar yerine barit, ilmenit, hematit, limonit ve demir cürufu gibi agregaların kullanılması) sağlanabilmektedir (Gökçe, 2018). Bunun yanında bağlayıcı hamur tipinde olan değişiklikler de soğurma performansları üzerinde etkili olabilecektir.

Son yıllarda çimentolu sistemlerin sürdürülebilirliği bakımından geopolimer esaslı alternatif bağlayıcılar da sıklıkla çalışılmaktadır (Gholampoura, & Ozbakaloglu, 2019).

Köprü, tünel gibi yapılar, konut, işyeri, fabrika, okul gibi binalar işlevlerinden kaynaklı yangın nedeni ile yüksek sıcaklık etkisinde kalabilirler. Bundan kaynaklı yangın ve yüksek sıcaklığın beton ve bileşenlerine etkisi günümüze kadar araştırılan konular arasında olmuştur. Günümüzde de endüstri yapılarında, modern yapılarda, tünellerde veya özel hizmet amaçlı inşa

edilen yapılarda yüksek sıcaklığa dayanıklı kimyasal ve mineral katkıların kullanımı ile betonlar üretilmeye başlanmıştır. (Khoury, 2003). Bundan dolayı bu çalışma kapsamında da 300 °C ve 500 °C sıcaklığa tabi tutulmuş %0, %5 ve %10 kolemanit katkılı bağlayıcıların (alkali aktive esaslı ve çimento esaslı) gama ışını soğurma performansı üzerindeki etkisi araştırılacaktır.  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{60}\text{Co}$  radyonüklitlerinin gama ışını enerji seviyelerinde (662 keV, 1173 keV ve 1332 keV), *NGCal* programı ile teorik olarak belirlenen lineer soğurma katsayıları karşılaştırılacaktır.



## İKİNCİ BÖLÜM

### Literatür Bilgileri

#### Çimento

Dünya'daki gelişmeler ve nüfusun hızla artışından kaynaklı fazla yapıya, bu yapılaşma ile birlikte daha fazla betona buna bağlı olarak da çimentoya ihtiyaç duyulmuştur. Yapılarda bağlayıcı malzeme olarak dünyada en çok çimento kullanılmıştır. Yıllar geçtikçe de kullanım miktarında artışlar meydana gelmiştir (Koçak, 2008; Nas, 2012; Köleli, 2015).

#### Çimentonun tarihçesi.

Çimento kelimesi, yontulmuş taş kırıntısı anlamında Latince' de ki "cementum" sözcüğünden türetilmiştir (Erdoğan, 1995, s.3; Akçansa, 2004). İlk çimento, 1824 yılında İngiltere'nin Leeds kentinde Joseph Aspdin tarafınca ince taneli kalker ve kil karıştırılıp pişirilmesi ve ardından öğütülmesi ile elde edilmiştir (Kapkaç, 2012). Bağlayıcı malzemelerin kullanımı konusunda ise 18. yy.' da önemli bir gelişme gösterilmiştir. 1756 yılında Eddystone Lighthouse' u yeniden inşa etmekle vazifelendirilen John Smeaton kirecin kimyevi niteliklerini ilk anlayan kişi olarak tarihe geçmiştir. Sonraki yıllarda ise "Roman Cement" (Roma Çimentosu), ismi ile bilinen bağlayıcının Joseph Parker' ce elde edilmesiyle oluşturulmuştur. (Bilge, 2008, s.4; Nas, 2012; Şafak, 2014). İlk Alman Çimento Standardı 1860 yılında oluşturulmuştur. İlk Çimento Fabrikası İngiltere' de 1848 yılında kurulmuştur (Bilge, 2008, s.5).

#### Dünya' da ve Türkiye'de çimento sektörü.

2018 yılında Küresel Çimento Tüketimi ivme kazanmıştır. Büyüme bazı Asya ve Afrika piyasalarında hızlanmış; ancak Avrupa'da talep, artan ticari ve siyasi sorunlarla beraber düşüşe sebebiyet vermiştir. Ortadoğu ve Latin Amerika'da piyasa güçlükler içindeyken bu iki bölgedeki çimentoya rağbet daha da düşmüştür. ABD'deki çimento tüketimi ise %2- %3'lük civarında büyüme ile orantılı olarak sürmüştür. Ortadoğu Çimento piyasası ise 2018'de zorlu bir yıl geçirmiş, art arda gerçekleşen dört zorlu yılın yaşanmasına sebep olmuştur.

2018 yılında dünya çimento ihracatı 10,14 milyar dolar olmuştur. Türkiye'nin dünya çimento ihracatı içindeki payı ise bu gelişmelerle beraber 2017' de %5,4 iken 2018' de %6,06'ya yükselmiştir. Dünya çimento ihracatı ve dünya çimento ithalatı sırasıyla Tablo 1'de ve Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. *Dünya Çimento İhracatı (1.000 ABD Doları) (International Trade Center, Trade Map, 2020 (Kod:2523))*

| İhracatçılar              | 2015      | 2016      | 2017      | 2018       | 2019       |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|
| Vietnam                   | 667,328   | 560,173   | 706,665   | 1,159,196  | 1,396,585  |
| Türkiye                   | 549,460   | 494,787   | 530,641   | 614,327    | 876,450    |
| Tayland                   | 657,171   | 612,540   | 551,113   | 634,233    | 677,410    |
| Kanada                    | 367,893   | 368,768   | 444,494   | 539,069    | 542,765    |
| Almanya                   | 516,308   | 489,144   | 504,591   | 553,130    | 542,120    |
| İspanya                   | 489,125   | 477,171   | 442,099   | 436,043    | 367,265    |
| Çin                       | 776,189   | 692,376   | 580,367   | 491,676    | 347,282    |
| Japonya                   | 395,701   | 391,716   | 358,455   | 326,915    | 341,067    |
| Endonezya                 | 62,923    | 82,341    | 129,423   | 237,774    | 283,453    |
| Pakistan                  | 345,245   | 296,086   | 210,762   | 266,068    | 261,155    |
| Kore                      | 279,382   | 162,938   | 106,248   | 190,546    | 256,790    |
| Suudi Arabistan           | 38,113    | 43,002    | 11,607    | 152,437    | 243,410    |
| Belçika                   | 172,442   | 154,364   | 213,891   | 195,986    | 236,210    |
| İrlanda                   | 147,465   | 156,724   | 154,548   | 177,567    | 221,008    |
| Yunanistan                | 250,446   | 248,625   | 230,916   | 226,941    | 220,336    |
| ABD                       | 249,497   | 205,859   | 201,606   | 172,479    | 169,848    |
| Birleşik Arap Emirlikleri | 352,547   | 277,281   | 380,430   | 552,191    | 166,694    |
| İtalya                    | 174,402   | 135,437   | 142,202   | 165,449    | 153,547    |
| Mısır                     | 69,793    | 67,536    | 96,978    | 144,829    | 151,672    |
| Hindistan                 | 212,373   | 267,013   | 271,503   | 295,006    | 150,130    |
| Dünya Toplamı             | 10,953,86 | 9,877,305 | 10,150,61 | 11,556,006 | 10,925,021 |

Tablo 2. *Dünya Çimento İthalatı (1.000 ABD Doları) (International Trade Center, Trade Map, 2020 (Kod:2523))*

| İthalatçılar   | 2015       | 2016       | 2017      | 2018       | 2020       |
|----------------|------------|------------|-----------|------------|------------|
| ABD            | 940,519    | 1,038,928  | 1,158,719 | 1,360,138  | 1417,351   |
| Çin            | 17,269     | 14,842     | 52,291    | 652,068    | 1,154,474  |
| Bangladeş      | 754,387    | 433,576    | 475,493   | 616,078    | 646,730    |
| Filipinler     | 173,323    | 335,856    | 395,479   | 540,607    | 543,941    |
| Fransa         | 353,116    | 343,038    | 387,822   | 412,075    | 420,629    |
| Hollanda       | 267,285    | 249,944    | 299,673   | 342,202    | 320,675    |
| Gana           | 458,841    | 414,735    | 915,402   | 323,382    | 319,662    |
| İsrail         | 151,262    | 168,795    | 215,356   | 235,324    | 232,986    |
| Singapur       | 343,283    | 244,598    | 188,808   | 195,677    | 216,254    |
| Avustralya     | 161,875    | 153,848    | 164,389   | 207,645    | 209,490    |
| Sri Lanka      | 486,719    | 536,188    | 526,052   | 238,327    | 186,167    |
| Almanya        | 181,586    | 184,606    | 202,302   | 215,049    | 170,663    |
| Hong Kong      | 179,443    | 150,655    | 260,343   | 316,322    | 170,090    |
| Fildişi Sahili | 146,967    | 139,649    | 157,086   | 172,023    | 169,514    |
| Umman          | 356,444    | 415,198    | 270,530   | 215,526    | 167,690    |
| İtalya         | 104,714    | 103,698    | 110,929   | 152,930    | 163,568    |
| Özbekistan     |            |            | 22,538    | 176,671    | 153,502    |
| Belçika        | 136,214    | 122,804    | 130,350   | 135,221    | 145,378    |
| Kamboçya       | 109,553    | 84,617     | 89,588    | 90,224     | 133,076    |
| Mali           |            | 200,938    | 212,490   | 148,788    | 129,967    |
| Dünya Toplam   | 13,441,762 | 11,848,135 | 12,441,91 | 13,046,201 | 12,454,141 |

Türkiye'nin çimento dış alım yaptığı ülkeler arasında ilk sırada Fransa bulunmaktadır. İngiltere ve Hollanda ise ikinci ve üçüncü sırada yer almaktadır. Ülkemiz Çimento sektöründe, ihracatta ise dünya pazarında 3.sıradadır.

2018 yılı itibari ile Türkiye çimento sektöründe 52 entegre kuruluş ve 20 öğütme tesisi bulunmaktadır. Üretim alanında 2018 yılında 12.039 kişi istihdam edilmiştir. 2018 yılında çimento sektöründe kurulu üretim kapasitesi 141,88 milyon ton olup %53,0 kapasite kullanımı ile üretim 75,24 milyon ton olmuştur. Klinker üretim kapasitesi ise 89,86 milyon ton olup %78,3 kapasite kullanımı ile üretim 70,34 milyon ton olmuştur.

Dünyada çimento tüketiminde Türkiye ilk 10 ülke içinde yer almıştır. 2014 ve 2015 yıllarında durgun kalan iç tüketim 2016 ve 2017'de ise büyüme göstermiştir. İç tüketim 2018

yılında yeniden düşüş göstermiştir. 2018 yılında iç tüketim %10,5 düşerek 67,78 milyon ton olarak gerçekleşmiştir.

Türkiye halen çimento üretiminde Avrupa’da birinci, dünyada ise 4. sıradadır. Türkiye aynı zamanda Avrupa’ya en yüksek ihracatı yapan ülkeler sıralamasında birinci, dünyada ise 3. sıradaki konumunu korumaktadır (Sanayi ve Verimlilik Genel Müdürlüğü Sektörel Raporlar ve Analizler Serisi, 2020). Türkiye çimento sektörü üretim ve tüketim miktarları Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. *Türkiye Çimento Sektörü Üretim ve Tüketim Miktarları (1.000 ABD Doları) (TÇMB,2020)*

| Yıllar | Üretim (milyon ton) | Tüketim (milyon ton) |
|--------|---------------------|----------------------|
| 1980   | 12,98               | 12,08                |
| 1990   | 24,42               | 22,65                |
| 2000   | 35,95               | 31,51                |
| 2001   | 29,96               | 25,08                |
| 2002   | 32,76               | 26,81                |
| 2003   | 35,10               | 28,11                |
| 2004   | 38,80               | 30,67                |
| 2005   | 42,79               | 35,08                |
| 2006   | 47,40               | 41,61                |
| 2007   | 49,26               | 42,46                |
| 2008   | 51,43               | 40,57                |
| 2009   | 53,97               | 39,96                |
| 2010   | 62,74               | 47,72                |
| 2011   | 63,40               | 52,25                |
| 2012   | 63,88               | 53,93                |
| 2013   | 71,34               | 60,94                |
| 2014   | 71,24               | 63,18                |
| 2015   | 71,24               | 63,70                |
| 2016   | 75,40               | 66,80                |
| 2017   | 80,55               | 72,23                |
| 2018   | 72,54               | 64,36                |
| 2019   | 56,97               | 45,41                |

#### **Çimento hammaddeleri.**

Çimento üretiminde kullanılan esas ham maddeler jeolojide sedimenter kayaç olarak da geçen kireçtaşı, kil ve marndır (DPT, 2001). Bununla birlikte hammadde karışımında demir

oksit miktarı yetersiz olduğu durumlarda telafi etmek amacıyla demir cevheri veya pirit külü de hammadde bileşeni olarak kullanılmaktadır. Aynı şekilde hammadde karışımında silisyum dioksit miktarı yetersiz olduğunda karşılamak için yüksek silisli kum kullanılmaktadır (Kula, 2000).

### ***Kalker.***

Kimyasal bileşiminde en az %90 oranında  $\text{CaCO}_3$  içeren kayalara “kalker” ya da “kireçtaşı” denmektedir (Rende, 2013). Kireçtaşı çimentonun yüzde olarak en yüksek miktarda kullanılan hammaddesidir (Duda, 1985).

Kalkerler çoğunlukla çok miktarda kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ) ve az miktarda da kuvars ( $\text{SiO}_2$ ) bulundurulur. Kalkerlerin sertliği 1,8-3,0 Mohs aralığındadır ve yoğunlukları ise 2,6-2,8 g/cm<sup>3</sup> arasında değişir (Duda, 1985).

### ***Kil.***

Kil tanım olarak doğal, topraklı, ince taneli ve su ile karıştırıldığında plastik özellik gösteren maddeleri içine almaktadır (Anon, 1998).

Killerin kimyasal analizleri incelendiğinde  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_3$  ve kızdırma kaybı % miktarlarının tespit edilmesi gerekir. Mineralojik analizleri de aynı şekilde kil minerallerinin dışında bulunan safsızlıkları oluşturan unsurlar ve bunların yüzdece miktarları saptanır.

Çimento yapımı için kullanılacak kilin kimyasal modülünde  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$  oranının 2/1 oranında,  $\text{SiO}_2$ ’ in ise %’ce miktarının makul bir üst sınırdan olması istenir. Ayrıca alkali oksitlerin miktarı ise %1’in altında olması gereklidir (TMMOB, 2016).

Çimento yapımı için elverişli olan kil, kimyasal bileşiminden anlaşılır. Çimento sektöründe kullanılacak olan hammadde killer; su, rüzgâr, buz veya yerçekimi gibi hareketli faktörlerce fiziksel olarak yerinin değiştirilmiş metal oksit ürünlerin taşınıp depolanma havzasında birikmesinden oluşmuş çoğu killi ve kireçli topraklardır (Anon, 1998).

### ***Marn.***

Kalkerden %50–70 ve kilden %30–50 oranındaki karışımından meydana gelmiş kayalara marn denilmektedir. Çimento klinkeri, yaklaşık %70 kalker ve %30 kil içeren hammadde karışımının öğütüldükten sonra yüksek sıcaklıklarda kalsine edilmesi ile temin edilmektedir. Marn, doğal olarak bu bileşimi karşıladığından ideal çimento hammaddesidir; ayrıca kalkerden daha yumuşak özellik göstermesi nedeniyle kolay öğütülebilmekte ve kırma-

öğütme işlemleri sırasında düşük enerji harcanmaktadır. Bu yüzden çimento yapımında klinkerin bileşimine yakın olmasından kaynaklı ve kolay sökülebilir, yumuşak, işletme- öğütme kolaylığı, yakıttan tasarruf sağladığı için marn tercih edilir (TMMOB, 2016).

### Çimento ana bileşenleri.

Çimento yapısında bazı oksitler bulundurulur. Bu oksitler klinkeri üretme esnasında belli sıcaklık değerinde meydana gelirler ve ilerleyen sıcaklıklarda oksitler birleşerek çimentonun ana bileşenlerini oluştururlar. Bu oksitlerde CaO, çimentonun hammaddesi olan kalkerden gelirken, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gibi oksitlerde kilden gelmektedir. Oksitler belirli sıcaklıkta bir araya geldikten sonra ana bileşenleri meydana getirdiği için oksit miktarlarının belirli değer aralığında olması istenir. Bunun için silika modülü, demir modülü, kireç doygunluk oranı gibi bazı faktörler göz önüne alınmaktadır (Baradan vd., 2012, s.81). Karma oksitler diye bilinen ana bileşenlerin en önemlileri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Çimento Ana Bileşenleri (Teknik Notlar 3, Akçansa)

|                          | Silikatlar                 |                               | Alüminatlar                         |                                                                     |
|--------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| <b>Kimyasal Bileşim</b>  | 3CaO.SiO <sub>2</sub>      | 2CaO.SiO <sub>2</sub>         | 3CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| <b>Ana</b>               | Trikalsiyum                | Dikalsiyum                    | Trikalsiyum                         | Tetrakalsiyum                                                       |
| <b>Bileşen</b>           | Silikat (C <sub>3</sub> S) | Silikat<br>(C <sub>2</sub> S) | Alüminat<br>(C <sub>3</sub> A)      | Alüminoferrit<br>(C <sub>4</sub> AF)                                |
| <b>Reaksiyon Hızı</b>    | Orta                       | Az                            | Yüksek                              | Orta                                                                |
| <b>Hidratasyon Isısı</b> | 120                        | 62                            | 207                                 | 100                                                                 |
| <b>(kalori/gr)</b>       |                            |                               |                                     |                                                                     |
| <b>İlk Gün Dayanımı</b>  | Yüksek                     | Düşük                         | Düşük                               | Düşük                                                               |
| <b>Nihai Dayanım</b>     | Yüksek                     | Yüksek                        | Düşük                               | Düşük                                                               |

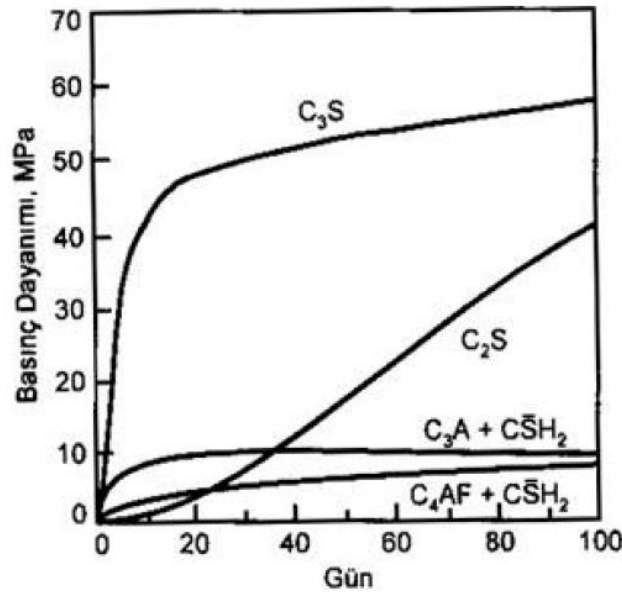
Çimentonun %90'ını meydana getiren bu ana bileşenler dikalsiyum silikat (Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>=C<sub>2</sub>S), trikalsiyum silikat (Ca<sub>3</sub>SiO<sub>5</sub>=C<sub>3</sub>S), trikalsiyum alüminat (Ca<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>O<sub>6</sub>=C<sub>3</sub>A) ve tetrakalsiyum alüminoferrit (Ca<sub>4</sub>Al<sub>2</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>10</sub>=C<sub>4</sub>AF)'tir. %10 luk kısım ise serbest halde bulunan CaO, MgO, SO<sub>3</sub>, alkali oksitler ve minör oksitlerdir (Tokyay, & Dilek, 2003). Standart Portland çimento klinkeri ağırlıkça %15–30 C<sub>2</sub>S, %45–65 C<sub>3</sub>S, %6–12 C<sub>3</sub>A ve %6–8 C<sub>4</sub>AF oranında ana bileşenler içerir (Baradan, Yazıcı, & Ün, 2002, s.81).

## Çimento hidratasyonu.

Çimento hidratasyonlarının ana bileşenleri  $C_3S$ ,  $C_2S$ ,  $C_3A$  ve  $C_4AF$  karma oksitleri ile alçının ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ) u ile reaksiyonu olarak tanımlanabilir. Hidratasyon reaksiyonu ısı açığa çıkaran ve belirli bir zaman diliminde değil sürekli gerçekleşen bir olaydır. Çimento hamurunun dayanım kazanması hidratasyon reaksiyonu ile başlar, prizle devam eder ve sertleşme adımı ile son bulur. Portland çimentosu 28 günde dayanımı %90 tamamlamaktadır. Bu sürede hidratasyon çok hızlı gerçekleşmektedir. Çimento hidratasyon reaksiyon sürecinde iyi kür edilmiş ise dayanıklı bir yapı sergiler (Erdoğan, 2003; Postacıoğlu, 1986). Portland çimentolarının hidratasyon ürünleri Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 5. Portland Çimentolarının Hidratasyonu (Postacıoğlu, 1986)

| Bileşen        | Kimyasal Gösterim                  | Hidratasyon Ürünleri                                                   |
|----------------|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| $C_3S$ (Alit)  | $3CaO \cdot SiO_2$                 | $3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O + 3Ca(OH)_2$<br>(C-S-H jeli=Tobermorit) |
| $C_2S$ (Belit) | $2CaO \cdot SiO_2$                 | $3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O + Ca(OH)_2$<br>(C-S-H jeli=Tobermorit)  |
| $C_3A$         | $3CaO \cdot Al_2O_3$               | $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$                                       |
| $C_3A + Alç$   |                                    | $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 31H_2O$ (Etrenjit)             |
| $C_4AF$        | $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ | $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O + CaO \cdot Fe_2O_3 \cdot nH_2O$       |
| Serbest CaO    |                                    | $Ca(OH)_2$                                                             |
| Serbest MgO    |                                    | $Mg(OH)_2$                                                             |



Şekil 1. Çimento hamurundaki karma oksitlerin dayanım artışındaki rolleri (Erdoğan, 2003).

Hidratasyon oluşumunda kalsiyum silikatların ( $C_3S$ - $C_2S$ ) reaksiyonları sonucunda C-S-H jelleri (Tobermorit) oluşur ve çimento hamuruna bağlayıcılık niteliğini kazandırır. Başka bir ürün olan  $Ca(OH)_2$  (portlandit) in ise bağlayıcılık özeliği yoktur ancak yapıda dolgu görevi görür. Reaksiyon sonucunda meydana gelen C-S-H jelleri ne kadar fazla ise çimento hamurunun dayanımı o kadar yüksek olur (Erdoğan, 2003; Neville, 1981; Mehta, & Monteiro, 2014).

Çimento ana bileşenlerinden olan  $C_3A$ 'nın su ile reaksiyonu hızlıdır ve çok yüksek ısı açığa çıkarır. İlk aşamada  $C_4AH_{14}$  ve  $C_2AH_8$  gibi ürünler elde edilir ve bu ürünler kararlı yapıda değildir. Bu sırada ani priz oluşur ve işlenebilirlik kaybedilir. Priz alan çimento hamurunda çatlaklar meydana gelir ve dayanım oluşmaz. Bu reaksiyonun gerçekleşmemesi için klinker ile alçı taşı birlikte öğütülür (Aruntaş, 1996; Yeğınobalı, 1999; Koçak, 2008).

Kalsiyum alüminat olan  $C_3A$  alçıtaşı ile reaksiyonu sonucunda etrenjit ( $C_3A + 3CSH + 26H \rightarrow C_6AS_3H_{32}$ ) reaksiyonu meydana gelmektedir. Etrenjit kısa iğneler halinde kristalleşerek hacim genişlemesine sebep olmaktadır.  $C_3A$ 'nın hidratasyon sürecinde zamanla yapıda sülfat azalmakta ve etrenjit monosülfat hidrata ( $C_6AS_3H_{32} + 2C_3A + 4H \rightarrow 3C_4ASH_{12}$ ) dönüşmektedir (Aruntaş, 1996; Yeğınobalı, 1999; Griesser, 2002; Koçak, 2008).

Çimento hamuru plastikken, etrenjitin reaksiyonu sırasında hacim genişmesi meydana getirmesi herhangi bir sorun oluşturmamaktadır. İleriki yaşlarda beton sertleştikten sonra ortama sülfatlar girerse ve monosülfat hidrat yeniden etrenjite dönüşürse hacim genişmesi meydana gelmekte ve çatlamalara yol açmaktadır (Yeğınobalı, 1999; Koçak, 2008).

### **Çimento çeşitleri.**

Dünyada en çok kullanılan çimentolar Portland çimentolarıdır. Zaman ilerledikçe farklı kimyasal katkıları ve mineraller klinkere katılmasıyla farklı tip çimentolar üretilmeye başlanmıştır. Çimento çeşitleri ve ölçülendirilmesi TS EN 197 (2002) çimento standardı ile standartlaştırılmıştır. TS EN 197-1 (2002) yürürlüğe girdiğinde ise özel amaçlı üç çimento dışındaki tüm standartlar kaldırılmıştır. Çimentolar TS EN 197-1 (2002)'ye göre "CEM çimentosu" olarak adlandırılmaya başlanmıştır. TS EN 197-1 (2002) standardı çimentoları 5 ana çeşit içerisinde tanımlamaktadır (Karakurt, 2008).

CEM I Portland Çimentosu

CEM II Portland Kompoze Çimento

CEM III Portland Yüksek Fırın Cürufu Çimento

CEM IV Puzolanik Çimento

## CEM V Kompoze Çimento

CEM I Portland Çimentosu klinker ve alçı taşının belirli oranlarda öğütülmesi ile elde edilen çimento tipidir. Erken yaşlardaki yüksek dayanımlı olanlar (R) ve normal erken dayanımlı olanlara ise (N) eki ile tanımlanmıştır. Ülkemizde inşaat sektöründe en çok kullanılan çimento çeşididir. Özellikle havaların soğuk olduğu dönemlerde, erken kalıp alınması istendiği zamanlarda yüksek hidrasyon ısısı sebebiyle inşaat uygulamalarında çokça tercih edilmektedir (Karakurt, 2008).

CEM II Portland Kompoze Çimentosu klinkerin %35' e kadar çeşitli mineraller ile öğütülmesi ile elde edilir. Çevre dostu çimento olarak bilinmektedir ve Avrupa' da yaygın olarak kullanılmaktadır. Portland kompoze çimentoları yüksek dayanımın gerekli olmadığı beton uygulamalarında tercih edilmektedir. Hidrasyon ısıları düşüktür bu sebeple kütle betonlarda kullanıma uygundur (Karakurt, 2008).

CEM III Portland Yüksek Fırın Cürufu Çimentosu klinker ve yüksek fırın cürufunun öğütülmesi ile elde edilen çimento çeşididir. Cüruf miktarına bağlı olarak kendi içinde A (%36-65), B (%66-80) ve C (%81-95) olmak üzere üçe ayrılır. CEM III/A ve CEM III/B çimentoları hidrasyon ısılarının düşük olması ve dayanımları yüksek olması sebebiyle kimyasal etkilere karşı dayanıklı betonlar için tercih edilir. CEM III/C çimentosu ise  $C_3A$  miktarı %5'in altına olup sülfata karşı dayanıklı beton üretimi için geliştirilmiştir (Karakurt, 2008).

CEM IV Puzolanik Çimento, klinker ile %11-55 oranında puzolanik katkının öğütülmesi ile elde edilen çimento çeşididir. Kimyasal etki altında olan betonlarda kullanıma uygundur. Hidrasyon ısılarının düşük olmasından kaynaklı kütle betonlarında kullanılabilir (Karakurt, 2008).

CEM V Kompoze Çimento, klinker ile birden fazla puzolanın öğütülmesi ile elde edilen çimento çeşididir. Çeşitli puzolanların bir araya gelmesiyle sebebiyle puzolanik etkisi yüksek ve çevresel etkilere dayanıklı çimento tipidir. Çevre dostu, ekonomik ve hidrasyon ısısının düşük olması sebebiyle tercih edilen çimentodur (Karakurt, 2008).

## Çimento üretimi.

Portland çimentolarının ana hammaddesi kireçtaşı (kalker) ve kildir. Portland çimentolarının üretiminde, ilk olarak belirli oranlarda kireç ( $CaO$ ), silisyum di oksit ( $SiO_2$ ), alüminyum oksit ( $Al_2O_3$ ) ve demir II oksit ( $Fe_2O_3$ ) içeren hammaddeler karıştırılarak fırınlarda  $1450^{\circ}C$  veya  $1650^{\circ}C$  ye kadar kalsine edilirler. Yüksek sıcaklıklarda kalkerin ve  $CaO_3$  kilin ayrışmasında  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$  ve  $Fe_2O_3$  oluşur. Sonrasında bu maddeler sıcaklığın artmasıyla tekrar bütünleşip silikatları ve alüminatları meydana getirirler. Bu işlemlerden sonra fırından gri

renkte fındık büyüklüğündeki “klinker” adı verilen malzeme oluşur. Klinker soğutulma işleminden sonra öğütülür. Öğütme işlemi esnasında çimentonun priz sürelerini ayarlayabilmek için %3-5 oranında alçıtaşı ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) katılır. 90  $\mu$  'un altında öğütülen bu toz haldeki malzeme çimentodur (Postacıoğlu, 1986; Özkul vd., 1999; Tekin, 2005).

## **Geopolimer**

Son yıllarda çimento özelliğine sahip malzemelerin başka bir şekli geopolimer adı altında gelişmektedir (Rattanasak ve Chindaprasirt 2009). Geopolimerler, alkalide çözünebilen alüminosilikat tabanlı inorganik bağlayıcı eko bir malzemedir. Geopolimer ilk 1978 yılında Davidovits tarafından çimentosuz bir malzeme olarak bulunmuştur. Geopolimer bağlayıcı sistemi, amorf alümino-silikat malzemelerin kimyasal çözeltilerle aktive edilmesine dayanır. Reaksiyon Si-O-Al-O bağları içeren yapıdadır ve 3-D polimer zinciri üretir (Davidovits, 2008, s.6).

Geopolimerin özellikleri fazladır. Genellikle diğer bağlayıcılarla karşılaştırılarak daha çok tercih edilirler. Geopolimerin yan ürünlerle kullanılmasındaki sebepler; alkali aktivasyon sebebiyle hızlı basınç dayanım sağlaması, yüksek sıcaklığa karşı dayanıklı olması, düşük maliyetli olması ve ayrıca geopolimer reaksiyonu oda sıcaklığında gelişebilmesi gibi avantajlarının olmasıdır. Bu sağladığı özellikler geopolimer üretimin artmasına buna bağlı olarak da sera gaz salınımı büyük ölçüde azalmıştır (Davidovits, 1991; Palmo, & Krivenko, 2014).

### **Geopolimer bileşenleri.**

#### ***Hammaddeler.***

Geopolimerin ana malzemeleri, amorf formda silikat (Si) ve Alüminat (Al) partiküllerinin bulunduğu alkali çözünür alüminosilikat malzemelerdir. Bu yan ürün malzemeler; F-C sınıfı uçucu kül, metakaolin, uçucu kül birleşimi, granüle yüksek fırın cürufu, doğal mineraller, kalsine edilmiş mineral ve kalsine edilmemiş malzemelerin birleşimi ve metakaolin birleşimi test edilmiş kaynak malzeme olarak belirlenmişlerdir (Palmo, & Grutzeck, 1999).

#### ***Alkali sıvılar.***

Geopolimer üretmek için en çok kullanılan çözeltiler, potasyum hidroksit (KOH) ile potasyum silikat ( $\text{KSi}_2\text{O}_3$ ) karışımı veya sodyum hidroksit (NaOH) ile sodyum silikat ( $\text{NaSi}_2\text{O}_3$ ) karışımıdır (Palmo, & Grutzeck, 1999). Alkali çözeltilerin görevi, bağlayıcı malzemeyi aktif hale getirmektir. Reaksiyonun hızı, alkali sıvı içindeki silikatın varlığında

artar, doğal olarak sodyum silikatın sodyum hidroksite ilavesi yalnızca çözeltinin maliyetini düşürmez, ayrıca aktivasyonu da hızlandırmış olur (Yip, & Lukey, 2008, s.4).

Geopolimerlerin basınç dayanımlarına etki eden en önemli etken aktivatör konsantrasyonudur. İyi ayarlanmış aktivatör derişğı geopolimerin mukavemetinde artış gerçekleştirmektedir. Aktivatör derişğinin ötesinde malzemenin geopolimer bünyesinde bozabilecek alkali aktifleştirilmiş matris de bulunan serbest OH<sup>-</sup> iyonlarından kaynaklı malzemenin mekanik özelliklerini olumsuz yönde etki etmektedir. Geopolimerlerin kür sıcaklığı ve yaşı dayanım da etkili olan diğer faktörlerdendir. Ayrıca bu parametrelerin etkili olabilmesi için geopolimerizasyon esnasında ortamda yeteri kadar aktivatör konsantrasyonu bulunması gereklidir (De Vargas vd., 2011).

### Bor Elementi

Kökeni Arapça da Buraq/Baurach ve Farsça da Burah kelimelerinden gelir. Simgesi: B, Atom Ağırlığı: 10.81, Yoğunluğu: 2.84 g/cm<sup>3</sup>, Ergime noktası: 2300 °C, Kaynama noktası: 4002 °C' dir (BOREN, 2018). Bor elementinin atomik özellikleri Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. *Bor Elementinin Atomik Özellikleri (BOREN, 2018)*

| Atomik Durumu     |                                                |
|-------------------|------------------------------------------------|
| Atomik Çapı       | 1,17 Å                                         |
| Atomik Hacmi      | 4,6 cm <sup>3</sup> /mol                       |
| Elektron Dizilimi | 1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>1</sup> |
| İyonik Çapı       | 0,23 Å                                         |
| Proton Sayısı     | 5                                              |
| Nötron Sayısı     | 6                                              |

Periyodik sistemde üçüncü grupta başta yer almaktadır ve doğada bulunan borun kütle numaraları 10 (%19,8)-11 (%80,2) arasında olan iki karalı izotopun karışımından oluşmaktadır (Eyüboğlu, 2013). Doğada serbest şekilde bulunmaz ve bor minerallerinde elde edilen elementel bor da iki şekilde olabilir. Amorf halde olan sarı renkli yeşilimsi, kokusuz, tatsız ve toz haldedir; kristal halde olan ise sert ve parlak siyah renklidir (Anonymous, 1982). Oksijenle 700 °C' de, hidrojenle 840 °C' de ve su ile de 100 °C üzerinde reaksiyona girer. Endüstride element olarak neredeyse hiç kullanılmaz (Yıldız, 2008). Bor elementinin fiziksel özellikleri Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Bor Elementinin Fiziksel Özellikleri (BOREN, 2018)

| Fiziksel Durumu     |                                |
|---------------------|--------------------------------|
| Atomik Kütlesi      | 10,811 u                       |
| Kaynama Noktası     | 4002°C                         |
| Ergime Noktası      | 2300°C                         |
| Görünüş             | Sarı-Kahverengi Ametal Kristal |
| Mohs Sertliği       | 9,3                            |
| Buharlaştırma Isısı | 489,7 kJ/mol                   |
| Molar Hacmi         | 4,68 cm <sup>3</sup> /mol      |
| Fiziksel Durumu     | Katı                           |

#### **Bor elementinin mühendislikte kullanımının tarihçesi.**

Bor tuzları tarihte ilk kez 4 bin yıl önce Tibet'te kullanıldığı, Babiller tarafından ise değerli eşyalarının ergitilmesinde kullanıldığı görülmüştür. Mısırlılar mumyalamada, Eski Yunan ve Romalılar ise temizlik ürünü olarak kullanıldığı saptanmıştır. Araplar ise ilk kez ilaç yapımında kullanmışlardır (BOREN, 2018).

Modern anlamda Bor Endüstrisi, Marco Polo'nun Tibet'ten Avrupa'ya getirmesiyle başlamıştır. 1830' da İtalya'da borik asit üretilmeye başlanmıştır. 1852' de ise Şili' de ilk defa boraks madenciliği endüstriyel anlamda başlamıştır. Daha sonraki yıllarda California, Caliko Moutain ve Kramer bölgesindeki yataklar keşfedilmiş işletmeye alınmasıyla birlikte ABD dünyanın bor gereksinimini karşılayan lider ülke haline gelmiştir (BOREN, 2018).

1927 yılına kadar 624 yabancı şirkete imtiyaz tanınmış, 1944' de ise şirketlerin büyük çoğunluğu millileştirilmiştir (BOREN, 2018).

MTA ve Etibank gibi yerli kuruluşlar 1935 yılında arama ruhsatlarını alıp, 2. Dünya Savaşı'ndan sonra arama faaliyetlerini yaygınlaştırmışlardır (BOREN, 2018).

1950 yıllarında Bigadiç'te, iki yıl sonra da Mustafa Kemal Paşa mevkiinde kolemanit yatakları bulunmuştur. 1956'da ise MTA Enstitüsünce Kütahya Emet bölgesinde linyit etütleri yapılırken Hisarcık ve Hamamköy yörelerinde kolemanit yataklarına rastlanmıştır. 1958 yılında da bu yatakları işletme hakkı Etibank'a verilmiştir (BOREN, 2018).

Başlangıçta yabancı şirketlerce çalıştırılan bor madenlerimiz, 1968 yılında yabancı şirketlerin hakları devlete devredilmesiyle yerli şirketler tarafından çalıştırılmaya başlanmıştır. 1978 yılında bor madenleri devlet tarafından işletilmesi kararıyla birlikte belirli sektörlerde ki aktiviteler Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü tarafından yerine getirilmiştir (BOREN, 2018).

### Dünya bor mineralleri rezervleri ve üretimi.

Bor doğada serbest olarak bulunmaz. Bor elementi, doğada farklı değerlerde bor oksit ( $B_2O_3$ ) ile 150'den fazla mineralin bünyesinde yer almaktadır. Bor mineralleri kalsiyum, sodyum ve magnezyum elementleri ile hidrat bileşikler halinde bulunur. Bor bileşiklerinden endüstriyel değere sahip olanları; kolemanit, üleksit, tinkal, pandemit, probertit, hidroborasit, borasit, szyabelit ve kernit'tir. Kalsiyum kökenli olanları kolemanit, sodyum kökenli olanları tinkal, sodyum-kalsiyum kökenli olanları ise üleksit olarak adlandırılır (Taşcı,1993).

Bor mineralleri farklı oranlarda  $B_2O_3$  içeren minerallerdir. Bor minerali kaynakları dünyada özellikle 3 kuşakta oluşmuş olup bunlar ABD'nin Güneybatı bölgesi Mojave Çölü, Güney-Orta Asya Alp Kuşağı (Türkiye dahil) ve Güney Amerika And Kuşağı'dır.

Önemli bor minerallerinin bulunduğu yerler ve dünya bor rezervleri ülkeler bazında sırasıyla Tablo 8'de ve Tablo 9'da gösterilmiştir.

Tablo 8. Önemli Bor Mineralleri ve Bulunduğu Yerler (TMMOB Bor Raporu,2016, Mayıs)

| Mineral Adı             | Kimyasal Formülü                    | Bulunduğu Ülkeler    |
|-------------------------|-------------------------------------|----------------------|
| Tinkal                  | $Na_2 B_4 O_7 \cdot 10H_2 O$        | Türkiye-ABD-Arjantin |
| Kernit                  | $Na_2 B_4 O_7 \cdot 4H_2 O$         | ABD-Arjantin         |
| Kolemanit               | $Ca_2 B_6 O_{11} \cdot 5H_2 O$      | Türkiye-ABD-Meksika  |
| Üleksit                 | $NaCaB_5 O_9 \cdot 8H_2 O$          | Türkiye-ABD          |
| Probertit               | $NaCaB_5 O_9 \cdot 5H_2 O$          | ABD                  |
| Szyabelit               | $MgBO_2 (OH)$                       | Kazakistan-Çin       |
| Pandemit                | $Ca_4 B_{10} O_{19} \cdot 7H_2 O$   | Türkiye              |
| Datolit                 | $Ca_2 B_4 Si_2 O_{12} \cdot 2H_2 O$ | Kazakistan-Rusya     |
| Sasolit (Doğal B. Asit) | $H_3 BO_3$                          | İtalya               |
| Göl Suları              | Erimiş Tuzlar                       | ABD-Şili-Bolivya     |

Bor rezervinde ilk sırayı Türkiye alırken, ikici sırada ABD, üçüncü sırada ise Rusya takip etmektedir.

Tablo 9. Dünya Bor Rezervleri (TMMOB Bor Raporu, 2016, Mayıs)

| Ülkeler    | Toplam Rezerv (Bin Ton B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) | Dağılım (%) |
|------------|--------------------------------------------------------|-------------|
| Türkiye    | 953.300                                                | 72,8        |
| ABD        | 80.000                                                 | 6,1         |
| Rusya      | 100.000                                                | 7,6         |
| Çin        | 47.000                                                 | 3,6         |
| Arjantin   | 9.000                                                  | 0,7         |
| Bolivya    | 19.000                                                 | 1,5         |
| Şili       | 41.000                                                 | 3,1         |
| Peru       | 22.000                                                 | 1,7         |
| Kazakistan | 15.000                                                 | 1,1         |
| Sırbistan  | 24.000                                                 | 1,8         |
| Toplam     | 1.310.300                                              | 100         |

#### **Boraks (Tinkal).**

Doğada genellikle saydam ve renksiz halde bulunur. Ama bazı maddeler sebebiyle pembe, gri ve sarımsı renklerde de bulunabilirler.

Sertliği: 2-2,5

Özgül Ağırlığı: 1,7 gr/cm<sup>3</sup>

B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriği: %36,6

Tinkal suyunu kaybedip tinkalkonite dönüşebilir.

Tinkal dünyada en yaygın bulunan bor mineralidir ve dünyanın en büyük tinkal rezervi Türkiye’de Kırka/ Eskişehir’dir (DPT, 2001).

#### **Üleksit.**

Doğada masif, lifsi ve sütun şeklinde bulunur. Saf olanı beyaz renktedir ve ipek patlaklığında olanları da vardır. Üleksit genellikle kolemanit, probertit ve hidroboroksit ile birlikte bulunurlar. B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranı %43’tür. Türkiye’ de Bigadiç, Kırka ve Emet bölgelerinde bulunur. Dünya da ise Arjantin’ de bulunur (DPT, 2001).

#### **Kolemanit.**

Bor bileşikleri arasında en yaygın olanıdır. Asitte hızlı çözünürler su da ise yavaş çözünürler.

Sertliği: 4-4,5

Özgöl ağırlığı: 2,42

B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriği: %50,8

Çeşitli kalsiyum borat çeşitlerinde en önemli olan kolemanittir. Dünyanın en geniş kolemanit yatakları Türkiye’ de Emet, Bigadiç ve Kestelek yöresinde bulunmaktadır (DPT, 2001).

#### ***Pandermit (Priseit).***

Masif ve beyaz renkte bulunurlar ayrıca kireçtaşına benzerler. Türkiye’de Sultançayırı ve Bigadiç yöresinde bulunmaktadır. B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriği %49,8'dir (DPT, 2001).

#### ***Kernit (Razorit).***

Doğada saydam, renksiz ve iğne şeklinde bulunur. Sertliği 3, özgül ağırlığı 1,95 gr/cm<sup>3</sup> olup B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriği ise %51’ dir.

Soğuk su da az çözölme özelliği vardır. Dünyada Arjantin ve A.B.D.'de bulunur. Türkiye’ de ise Kırka yöresinde Na-borat kütlelerinin alt bölgelerinde yer alır (DPT, 2001).

#### ***Probertit.***

Krem, sarımsı renklerde olup lifli şekilli kristal halde bulunur. Kristal boyutları 5 mm- 5 cm aralığında değişir. B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriği %49,6' dir. Emet’ te tekdüze ve tabakalı halde birincil olarak, Doğanlar İğdeköy civarında kalın tabakalı halde Kestelek yataklarında ise üleksit ikincil mineral olarak bulunur. Üleksit ve probertit oluşumları Türkiye’ de ki borat yataklarında, dünyada ise Kaliforniya’ da yer almaktadır. Geçmiş yıllarda önemli hammadde kaynağı olarak tercih edilen probertit uzun yıllardan beri işlenmemektedir (DPT, 2001).

#### ***Szajbelite (Asharite).***

Bu mineral çoğunluk olarak Kazakistan’ da bulunmaktadır.

#### ***Datolit.***

Bu mineral çoğunluk olarak Kazakistan-Rusya da bulunmaktadır. Sovyetler birliğinin dağılmasından önce temel bor ürün kaynağı olarak kullanılmıştır (DPT, 2001).

#### ***Göl Suları.***

Deniz ve okyanus sularında belirli oranda bor bulunmaktadır. Deniz suyunda ortalama 4,6 ppm bor içermektedir. Kaliforniya Searles Lake suyu bor üretiminde kullanılan tek su

kaynağı olarak bilinmektedir. Sebebi ise içeriğindeki bor değil diğer minerallerinde ekonomik yönde geri kazanabilir orandaki varlığıdır (DPT, 2001).

### ***Hidroborasit.***

Lifli bir dokuya sahip olup ışınsal ve iğne şeklinde kümeler halinde bulunur. Beyaz, sarı ve kırmızımsı renklerde olup tunalit, probertit, kolemanit ve üleksitle birlikte bulunur. Türkiye’ de Emet, İğdeköy, Doğanlar ve Kestelek mevkiinde yatakları bulunmaktadır. B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriği %50,5’ tir (DPT, 2001).

### **Türkiye bor rezervlerinin genel değerlendirilmesi.**

Türkiye’ de borat yataklarının hepsi Batı Anadolu’ da bulunmaktadır. Bu zamana kadar saptanmış olan bor yatakları Marmara Denizi’nin güneyinde Sultançayırı, Kestelek, Emet, Bigadiç ve Kırka mevkiinde bulunmaktadır. Borat yataklarını oluşturan göllerinin etrafında genellikle volkanik hareketler yaygın olup, volkanitlerin yanında, tortullarla ardışık olarak bulunan piroklastik kayalar gözlenir. Bunlar genellikle çakıl taşı, kumtaşı, tuf, tüfit, kil taşı, marn ve kireçtaşlarından oluşur. Borat yataklarının bulunduğu mevkilerde volkanik kayaların bulunması, borat oluşumu için volkanizmanın gerekliliğini ayrıca asidik volkanik kayalara bağlı olduğunu gösterir. Diğer yönden borat havzalarındaki kayaçların çoğunluğunun volkanik kayalardan oluştuğu bu hipotezi destekler yöndedir (Helvacı, 1983; Helvacı, & Orti, 1998; Helvacı, & Alonso, 2000). Bu tez çalışmasında da ülkemizde bor rezervlerin değerlendirilmesi ve inşaat sektöründe yeni alternatiflerin oluşturulması amacıyla bor minerali olan kolemanit kullanılmıştır. Türkiye bor rezervlerinin dağılımı Tablo 10’da verilmiştir.

Tablo 10. *Türkiye Bor Rezervlerinin Dağılımı (BOREN, 2018)*

| <b>Bölge</b>  | <b>Cevher Cinsi</b>         | <b>Toplam (Ton)</b>  |
|---------------|-----------------------------|----------------------|
| Emet          | Kolemanit-Üleksit-Probertit | 1.811.072.520        |
| Kırka         | Tinkal                      | 824.720.950          |
| Bigadiç       | Kolemanit-Üleksit           | 628.350.480          |
| Kestelek      | Kolemanit                   | 5.254.920            |
| <b>Toplam</b> |                             | <b>3.269.398.870</b> |

Tabloda da görüldüğü üzere ülkemiz rezervlerinin ağırlıklı olarak Kolemanit ’ten oluştuğunu görülmektedir.

### **Bor ürünlerinin kullanım alanları.**

Dünyada bor mineralinin yaklaşık %10'u öğütme işleminden sonra doğrudan mineral olarak tüketilmektedir. Gelişen teknolojiyle birlikte çeşitli kullanım alanları çıkmış ve uygun olarak da farklı bor ürünlerinin üretimi ortaya çıkmıştır (TMMOB Bor Raporu, 2016, Mayıs).

Bor kullanımda insanlara, hayvanlara ve çevreye karşı herhangi bir risk taşımadığı için, kullanım alanlarında alternatifinin olmayışı ve daha avantajlı olmasından kaynaklı geniş kullanım alanına sahiptir (TMMOB Bor Raporu, 2016, Mayıs).

Sanayinin tuzu olarak da adlandırılan bor ürünleri çok fazla kullanım alanına sahip olmakla birlikte cam ve cam elyafı, seramik, tarım, deterjan ve ağartıcılar gibi birçok alanda kullanılmaktadır (TMMOB Bor Raporu, 2016, Mayıs).

Bunlara örnek olarak cam sanayisinde borosilikat camlar, laboratuvar camları, uçak camları, borcam vb., enerji sektöründe LCD ekranları, CD-sürücüler, akım levhaları, bilgisayar ağlarında vb., ilaç ve kozmetik sanayi dezenfekte ediciler, antiseptikler, diş macunları, lens solüsyonları vb., nükleer sanayi de reaktör aksamaları, nötron emiciler, reaktör kontrol çubukları, nükleer kazalarda güvenlik amaçlı ve nükleer atık depolayıcı olarak, tekstil sektörü kimyasallarında ise gübreler, böcek-bitki öldürücüler, yabancı otlar gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. (TMMOB Bor Raporu, 2016, Mayıs)

### **Barit**

Doğal baryum sülfat içeriğine sahip barit minerali çok eskiden bu yana özgül ağırlığının fazla olmasından kaynaklı insanlığın dikkatini çekmiştir. Kökeni Yunanca 'da Barus kelimesinden gelmiştir. Doğada lamelli fibröz, lamelli kütleler, konkresyonlar halinde bulunur ve hatta bazen ince taneli, toprağımsı görünümlü olanlarına da rastlanır. Yarı saydam halde olan barit camsı ve reçine parlaklığına sahiptir. Ancak bazen yarı saydam şekline de rastlanır. (Durmuş, Gürsoy, & Ayvaz, 1996).

Genellikler beyaz renkli olup sarı, pembe, açık yeşil, siyah ve gri renklerinde olanlarına da rastlanmaktadır. Atom ağırlığı 137,06 olan baryum elementi yer kabuğunda fazlaca bulunmaktadır (Ayan,1979).

Sertliği: 2,5-3,5

Özgül Ağırlığı: 3,9- 4,6 kg/dm<sup>3</sup>

Erime Noktası: 1580°C

Kimyasal Bileşimi: BaSO<sub>4</sub> (%65,7 BaO-%34,30 SO<sub>3</sub>)



Şekil 2. Barit madeni (MTA Genel Müdürlüğü, 2020).

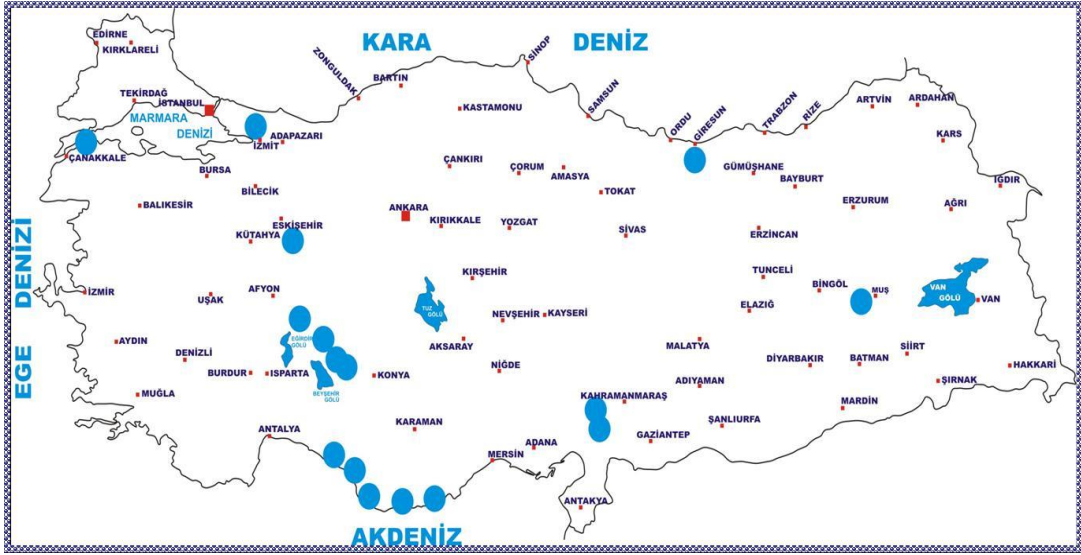
Kimyasal bileşiminde %94' ü saf  $\text{BaSO}_4$ , geri kalan ise demir oksit, silis ve pritten oluşmaktadır. Literatüre bakıldığında teknik olarak bu agregalar %85' inden fazla  $\text{BaSO}_4$  bulundurması ve özgül ağırlığı  $4000\text{--}4300\text{ kg/m}^3$  olması iyi barit olarak görülmektedir (Durmuş vd., 1996).

#### **Baritin kullanım alanları.**

İlk kullanımı beyaz olma özelliğinden ve özgül ağırlığından kaynaklı cam endüstrisi, kâğıt imalatında olmuştur. 1926'dan sonra tabii gaz aramalarında ve petrol aramalarında kullanılmıştır. Son yıllarda ise barit ile üretilen ağır beton, nükleer santrallerde gama ışınlarını soğurma özelliğinin yüksek olmasından kaynaklı tüketilmeye başlanmıştır. (Kıran, 2004, s.42)

Dünya barit üretiminde %85-90'ı petrol sondajlarında, geriye kalanında ise baryum kimyasalları üretiminde ve dolgu endüstrilerinde kullanır. Barit kâğıt, cam, seramik, boya, plastik ve kauçuk elemanları endüstrisinde kullanılmaktadır. (MTA Genel Müdürlüğü, 2020)

Türkiye' de ise çok fazla sayıda barit yataklarına rastlanmaktadır. Bu yataklar arasında en önemlileri Konya: Beyşehir, Hüyük, İlmen ilçeleri, Mersin: Silifke- Anamur yöresi, Antalya: Gazipaşa, Alanya, Gündoğmuş ilçeleri ve Eğrikaya yatakları, Muş: Bilir, Kasar, Kızıl kilise ilçesi, Kahramanmaraş: Türkoğlu ilçesi ve Çanakkale, Eskişehir, Giresun, Trabzon, Gümüşhane, Diyarbakır, Hakkâri, Kütahya ve Aydın illerindeki yataklarıdır (Kıran, 2004, s.45).



Şekil 3. Türkiye barit yatakları haritası (MTA Genel Müdürlüğü, 2020).

### Radyasyon Hakkında Bilgilendirme

Radyasyon parçacıklar haindeki enerjinin veya elektro manyetik dalgaların aktarımı olarak adlandırılır. Maddenin temel yapısı atomdur. Atom da nötronlardan ve protonlardan meydana gelen çekirdek ile etrafında dönmekte olan elektronlardan oluşur. Maddenin atom çekirdeğinde proton sayısı nötron sayısından fazlaca az olduğu durumda maddeler kararsız hale gelir ve çekirdeğindeki nötronlar dönüşerek  $\beta^-$  (negatron) yayarlar. Eğer nötronlar protonlardan az ise protonlar dönüşerek  $\beta^+$  (pozitron) yayarlar. Atom çekirdeğinden uzaklaşan protonlar ve nötronlar ise kararlı halde olmayan atom çekirdeği gama ışını ( $\gamma$ ) yayar. Tepkimeler sonucunda parçalanana maddelere radyoaktif madde, etrafa yayılan beta, gama, alfa gibi ışınlara ise radyasyon tanımı yapılmaktadır. (Çek, 2016, s.158).

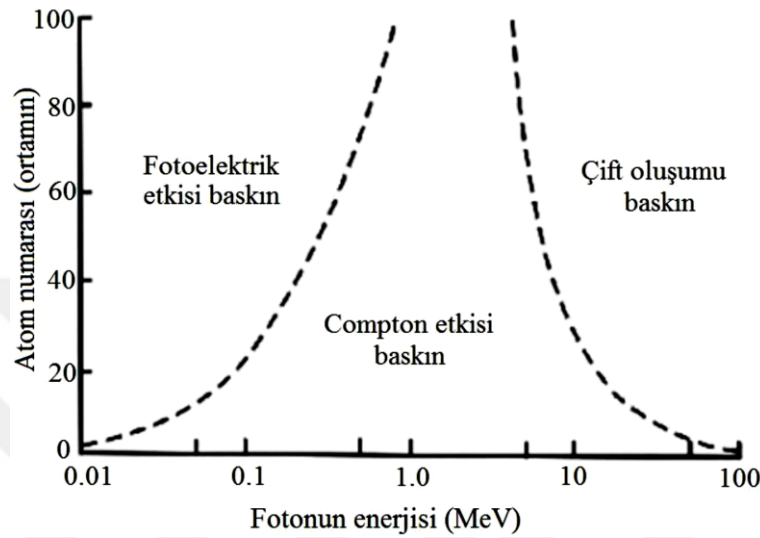
#### Gama radyasyonu.

Gama radyasyonu, beta( $\beta$ ) ve Alfa( $\alpha$ ) ışıması yaptıktan sonra kararlı hale geçemeyen çekirdeğin, kararlı hale geçebilmek için yaydığı dalgalara denir. Yüksüzdürler ve enerjileri birkaç yüz keV ile birkaç MeV arasında değişiklik gösteren yüksek enerjilere sahiptirler. Gama ışınları alfa( $\alpha$ ) ve beta( $\beta$ ) ışınlarından çok daha fazla enerjiye sahiptirler ve bundan kaynaklı madde içine daha rahat geçerler. Diğer elektromanyetik ışınlarla kıyasla en düşük dalga boyuna ve en yüksek titreşime sahiptirler. Fazla enerjiye sahip olmalarından kaynaklı insan sağlığına zararlıdır. Yüksüz oldukları için elektrik ve manyetik ortamlarda sapma göstermezler (Leo, 1994).

Gama ışınları geçtikleri ortamın atomları ile yaptıkları etkileşimler sonucunda soğurulduğu gibi saçılmaya da uğrayabilirler. Elektro manyetik radyasyonun madde ile

etkileşiminde ki enerjilerine bağlı olarak madde ile fotoelektrik olay, compton olayı ve çift oluşumu olayı gerçekleşir (Kaçar, 2006).

Compton, çift oluşumu ve fotoelektrik oluşumu etkileşimleri  $\sigma$ ,  $\kappa$  ve  $\tau$  sembolleri ile temsil edilirler. Bu etkileşimler birer kısmi zayıflatma katsayısı verir ve toplam zayıflatma katsayısı  $\mu$  bu üç etkileşimin her birinden gelen zayıflatma katsayılarının toplamına denktir (Jaeger, 1965; Hubbell, 1982).



Şekil 4. Gama ışınlarının madde ile etkileşme mekanizmaları (Knoll, 1999; Tsoulfanidis, 1995).

#### ***Fotoelektrik etkileşme.***

Fotoelektrik etkileşme  $h\nu$  enerjili ( $h$ : Planck sabiti;  $\nu$ : frekans) bir fotonun bir atomla etkileşerek enerjisinin tamamını atomun kabuklarındaki elektrona aktarması ve onu koparması olayına denir. Elektronun bağlanma enerjisi ve kinetik enerjisinin toplamı fotonun enerjisini ( $h\nu$ ) verir. Foton enerjisi formülü denklem (1)'de gösterilmiştir.

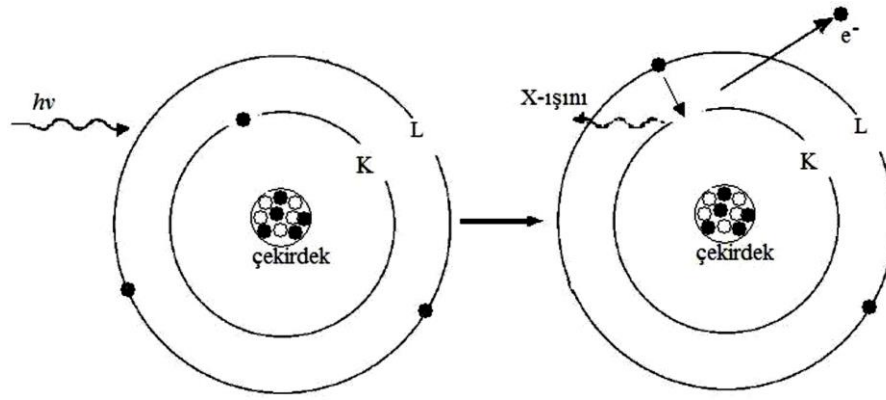
$$E_\gamma = E_b + E_k \quad (1)$$

$E_\gamma = h\nu$ : Fotonun enerjisi,

$E_b$ : Elektronun bağlanma enerjisi,

$E_k$ : Elektronun kinetik enerjisi (kopan elektron) belirtmektedir.

Bir atom ile fotonun meydana getirdiği bütün fotoelektrik süreçler dikkate alındığında etkileşmelerin bütünü atomun en içteki K kabuğundan kaynaklandığı belirtmek iyi bir kabuldür. Çünkü hafif çekirdeklerde (alüminyum) etkileşmelerin neredeyse tamamı, ağır çekirdeklerde (kurşun) ise etkileşmelerin %80 gibi büyük oranı K kabuğunda gerçekleşmektedir (Shultis, & Faw, 2002).



Şekil 5. Fotoelektrik etkileşmenin tasviri (Shultis, & Faw, 2002).

### **Compton etkileşmesi.**

Fotoelektrik ve çift oluşumu dışındaki fotonların atomdaki elektronlar ile girdiği etkileşim Compton saçılmasıdır. Compton etkileşimi esnek olmayan ve  $h\nu$  enerjili ( $h$ : Planck sabiti;  $\nu$ : frekans) olan fotonun bir elektronla etkileşime girip enerjisinin belirli bir kısmını bu elektrona aktarması yoluyla oluşur. Compton etkileşimine uğrayan elektronlar enerji seviyelerine göre madde tarafında kolayca soğrulabilir ve maddeyi iyonlaştırabilirler (Jaeger, 1965). Elektrona aktarılan enerji formülü denklem (2) ile saçılan fotonun enerji formülü ise denklem (3)'de gösterilmiştir.

$$T = E\gamma - E\gamma' \quad (2)$$

$$E\gamma' = \frac{E\gamma}{1 + (1 - \cos\theta)E\gamma/m_e c^2} \quad (3)$$

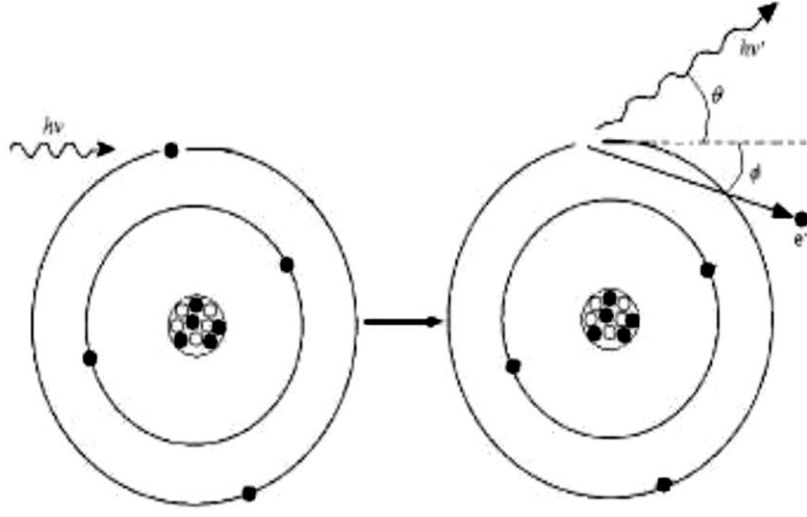
T: Saçılan elektronun enerjisi,

$E\gamma$ : Gelen fotonun enerjisi,

$E\gamma'$ : Saçılan fotonun enerjisi,

$\theta$ : Fotonun saçılma açısı,

$m_e c^2$ : Elektronun durgun kütle enerjisi belirtmektedir.



Şekil 6. Compton saçılmasının tasviri (Jaeger, 1965).

### **Çift oluşumu.**

Çift oluşumu bir çekirdek ile fotonun etkileşmesine denir. Etkileşmenin sonucunda foton yok olur, elektron-pozitron çifti meydana gelir. Pozitronun ve elektronun durgun kütle enerjileri ( $m_e c^2$ ) 0.511 MeV' dir ve çift oluşumun gerçekleşmesi fotonun pozitronun ve elektronun en düşük durgun kütle enerjisinin iki katı olan ( $2m_e c^2$ ) 1.022 MeV' e sahip olması gerekir (Tsoulfanidis, 1995).

### **Gama ışınlarına karşı zırhlama.**

Gama ışınlarına karşı korunmak için en az miktarda ışına maruz kalmaya bağlıdır ve radyasyon kaynağı ile radyasyona maruz kalan kişi arasında en elverişli kalınlıkta zırhlama yapılmalıdır. Bu kalınlık hesaplaması yapılırken zırh maddesinin yoğunluğu, bileşimi, kalınlığının yanında radyasyon kaynağının enerjisi, şiddeti ve parçacık türü de göz önüne alınır (Kurudirek, Türkmen, & Özdemir, 2009, s.753).

### **Lineer soğurma katsayısı.**

Malzemeden geçen ışıının şiddetinin gelen ışıının şiddetine zayıflatma oranı denir. Lineer soğurma katsayısı formülü denklem (4)'de gösterilmiştir.

$$\mu = \frac{\ln\left(\frac{N_0}{N_x}\right)}{x} \quad (4)$$

$N_0$  : Numune yokken alınan sayım değeri,

$N_x$  : İlgili numune kalınlığında alınan sayım değeri,

$x$  : Numune kalınlığı (cm),

$\mu$  : Lineer soğurma katsayısı ( $\text{cm}^{-1}$ ) belirtmektedir.

### **Yarı değer kalınlığı (HVT).**

Geçen ışının şiddetini malzemeye gelen ışınım şiddetinin yarısına düşürebilmek için gereken malzeme kalınlığıdır. Yarı değer kalınlık formülü denklem (5)'de gösterilmiştir.

$$x_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu} \quad (5)$$

$x_{1/2}$  = Yarı değer kalınlığı,

$\mu$  = Lineer soğurma katsayısı ( $\text{cm}^{-1}$ ) belirtmektedir.

### **Onda bir değer kalınlığı (TVT).**

Geçen ışınım şiddetini malzemeye gelen ışınım şiddetinin onda birine düşürebilmek için gereken malzeme kalınlığıdır. Onda bir değer kalınlık formülü denklem (6)'da gösterilmiştir.

$$x_{1/10} = \frac{\ln 10}{\mu} \quad (6)$$

$x_{1/10}$  = Onda bir değer kalınlığı,

$\mu$  = Lineer soğurma katsayısı ( $\text{cm}^{-1}$ ) belirtmektedir.

### **Radyasyon enerjisi birimi (eV, keV, MeV).**

1 Elektron Volt (eV) tanım olarak bir elektronun, boşlukta, bir voltluk elektrostatik potansiyel farkı kat ederek kazandığı kinetik enerji miktarıdır. 1 elektron volt düşük değere sahip olduğundan kaynaklı bunun bin katı ve milyon katı olan kilo elektron (keV) volt ve milyon elektron volt (MeV) daha çok olarak kullanılır (Berber, 2007, s.462).

### **Literatürde Yapılmış Bazı Çalışmalar**

Davidovits (1999) tarafından yapılan çalışmada Si/Al oranına bağlı olarak geopolimerlerin performanslarını ve uygulama alanlarını incelediği görülmüştür. Düşük bir Si/Al oranı (1, 2 veya 3), rijit bağları olan üç boyutlu bir ağı başlattığını, yüksek bir Si/Al oranı ise, (15'den yüksek), geopolimer üzerinde lineer polimerik karakter verdiğini göstermiştir.

Koyuncu ve arkadaşları (2004) çimento ağırlığının %10, %30 ve %50 oranında Boraks ekleyerek hazırlanan beton numunelerinin bazı mühendislik özelliklerini, Portland çimentosu 42,5 R ile hazırlanan kontrol beton numuneleri ile karşılaştırmışlardır. 28 günlük basınç dayanımları

-Portland Çimentosu: 61 MPa

-%10 Boraks katılan: 43 MPa

-%30 Boraks katılan: 35 *MPa*

-%50 Boraks katılan: 23 *MPa* olarak bulunmuştur.

Sonuç olarak boraks oranı arttıkça dayanım düştüğünü, işlenebilirliğin boraksın su emme oranının çok daha yüksek olmasından dolayı %85'e kadar azaldığını saptamışlardır. Çimento ağırlığının %10'u kadar boraks katkısının ise betonda mühendislik açısından güvenle kullanılabilir olduğunu belirtmişlerdir.

Kılınçarslan (2004) yaptığı çalışmada BS20, BS30 ve BS40 tipi betonları mekanik ve radyasyon zırhlama özellikleri açısından incelemiştir. Tamamı normal agregadan üretilmiş kontrol betonları temel alınarak BS20, BS30 ve BS40 tipi betonları için en uygun karışım miktarları araştırılmıştır. Barit oranı basınç dayanımı açısından en uygun olanın BS20 tip beton olduğu tespit edilmiştir. Çalışma da agrega miktarları belirli oranlarda değiştirilerek betonların mekanik özelliklerinin yanı sıra gama zayıflatma özelliklerinin değişimi incelenerek barit kullanılarak üretilen ağır betonların 0,662 ve 1,25 *MeV* enerjili gamalar iyi bir zırlayıcı olduğu sonucuna varmıştır.

Rovnanik (2010) yaptığı çalışmada 1,3, 7 ve 28 günlerin sonundaki metakaolin tabanlı geopolimer numunelerin üzerinde kür süresi etkisini ve sıcaklık etkisini incelemiştir. Numuneler 4 saat boyunca 10°C, 20°C, 40°C, 60°C ve 80°C küre tabii tutulmuş ve daha sonra oda sıcaklığındaki %45 nem ile saklanmıştır. Sonuç olarak ise yüksek kür sıcaklığının reaksiyonu erken yaşlarda bile yapının oluşumunu hızlandırdığını gözlemlemiştir. Tam tersi düşük sıcaklıklarda ise dayanım gelişmesinde gecikme olduğunu, hedef dayanımın ise 28 günde kazandığını belirtmiştir.

Sağlık ve arkadaşları (2009) kolemanit cevheri kullanılarak üretilen borlu aktif belit çimentosunda (BAB) yaptıkları araştırmada; alit ( $C_3S$ ) fazı içermeyen borlu aktif belit çimentosunun hidrasyon ısısının çok düşük olması nedeniyle özellikle baraj betonlarında başarıyla uygulanabileceği, bu çimento ile üretilen betonların nihai dayanımının Portland çimentosu ile üretilen betondan daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Kong ve Sanjayan (2010) yaptıkları çalışmada metakaolin ve uçucu külü bir arada yüksek sıcaklığa tabii tutarak aktif hale getirmişlerdir. Bunun sebebini ise uçucu külün yüksek oranda alümin ve silika içerdiğinden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Metakaolinin yaklaşık 800 °C' ye kadar amorf bir yapıda kaldığını ve aktif alümina-silikata dönüştüğünü belirtmiştir. Çalışmalarında agreganın, akışkanlaştırıcının ve sıcaklığın geopolimer üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Numunelerin boyutları büyüdükçe basınç dayanımlarının düştüğünü bunun nedeninin ise termal çatlaklarda kaynaklandığını belirtmişlerdir. Agrega tane çapındaki

büyüklik ise 10 mm'den küçük olduğunda kabuk atmanın daha çok olduğunu, 10 mm'den büyük olması durumunda ise bu sorunun önlenebileceğini düşünmüşlerdir. Akışkanlaştırıcının geopolimerde mukavemeti düşürdüğünü işlenebilirlikte ise herhangi bir katkısının olmadığını belirtmişlerdir.

Demir (2010) yaptığı çalışmada borun üç önemli kaynağı olan tinkal, üleksit ve kolemanit minerallerinin kütleli zayıflatma katsayılarını gama ışınları için 241Am (59,54 keV) kaynağı kullanarak deneysel yöntemle ve XCOM kodu kullanarak kuramsal yöntemle incelemiştir. Bu minerallerin gama radyasyonu zırlamasında kullanılabileceği yargısına varmıştır.

Akkurt ve arkadaşları (2010a) tarafından barit kullanılarak üretilen ağır betonlar ve kursun (Pb, Z=82) üzerine  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{60}\text{Co}$  kaynakları NaI (Tl) sintilasyon detektörü kullanarak yapılan çalışmada toplam doğrusal zayıflatma katsayıları 0,662 MeV, 1,172 MeV ve 1,332 MeV enerjileri için belirlenmiştir. Deneysel sonuçlar 1 keV-100 GeV aralığından elde edilen XCOM değerleriyle kıyaslanmıştır. Kurşun kadar olmasa da baritin ve barit agregalı ağır betonların iyi birer gama soğurucu olduğu bilgisine ulaşılmıştır.

Akkurt ve arkadaşları (2010b) yaptıkları çalışmada farklı oranlarda barit içeren betonların üç gama enerjisi için (662, 1172 ve 1332 keV) toplam doğrusal zayıflatma katsayıları incelenmiştir. Ayrıca betonların HVL (yarı kalınlık) ve mfp (ortalama serbest yol) özellikleri incelenmiştir. Sonuçlar XCOM kodu kullanılarak  $10^{-3}$ - $10^{-5}$  MeV enerji aralığında hesaplananlarla kıyaslanmıştır. Sonuçta barit oranının artmasıyla betonun zayıflatma kabiliyetinin arttığı gözlenmiştir.

Pehlivanoglu ve arkadaşları (2013) bor bileşiklerinin çeşitli çimentolarda hidratasyon prosesine etkileri ve bu etkilerin kontrol edilebilme imkanlarını incelemişlerdir. Bu amaçla, Portland çimentosu kullanarak ve çimento ağırlığının %0.25-1.00 oranında bor oksit katılarak harç karışımları hazırlanmıştır.

Harçlardaki bor oksit konsantrasyonu artıkça, priz süreleri oldukça arttığı görülmüştür. Bor oksidin hidratasyon süresinin uzamasını engellemek amacıyla kalsiyum klorür, sodyum alüminat ve sodyum hidroksit gibi kimyasal katkı maddeleri de karışıma ilave edilmiştir. Sonuç olarak;

- Kalsiyum klorür kullanılan harçlar: 40-80 dk.
- Sodyum hidroksit kullanılan harçlarda: 80-130 dk.
- Sodyum alüminat kullanılan harçlarda: 140-240 dk olarak ölçülmüştür.

Karışımlarda  $B_2O_3$  arttıkça hidratasyonun yavaşlama sebebinin  $B(OH)_3$  (borik asit) iyonları ile  $OH$  anyonlarını reaksiyona girerek  $B(OH)_4$  (tetrahidroksibrat) bileşiğini oluşturduğu sonrasında  $Ca$  katyonları  $B(OH)_4$  anyonları ile tepkiyerek  $CBH_6$  (kalsiyum di borat) olduğu, bu bileşiminde çimento tanelerine çökerek hidratasyonu yavaşlattığını belirtmişlerdir. Sonuç olarak bu çalışmada karşılaşılan en yüksek  $B_2O_3/c$  (0.3) oranı için priz başlama ve priz sonu süreleri göz önüne alındığında, PÇ örneklerine en yakın işlenebilirlik özelliklerini sodyum alüminat stabilizörü sağladığı görülmüştür

Chen ve arkadaşları (2016) kür koşullarının metakaolin tabanlı geopolimerin basınç dayanımları ve mikro yapıları üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Numuneler  $20^\circ C$ ,  $40^\circ C$ ,  $60^\circ C$ ,  $80^\circ C$  ve  $100^\circ C$  gibi farklı sıcaklık ve 24, 72 ve 168 gibi farklı saatlerde küre tabi tutmuşlardır. İlk 12 saat içinde  $\pm 5\%$ 'e eşit olacak şekilde bağıl nem uygulamışlardır. En iyi dayanım sonucunun  $60^\circ C$ 'de 168 saat kür edilen numunelerde olduğu görülmüş. Kür sıcaklığının artması ile alüminosilikatın çözünme hızı artmış ve bu da jel oluşumunu hızlandırmıştır. Ancak yüksek sıcaklık geopolimerizasyon süreci için gerekli nemi kaybetmesine sebep olmuştur.

Kaman ve arkadaşları (2017) bor atıklarının çimento harcında kullanılabilirliğini araştırmışlardır. İlk olarak atıkların mineralojik ve ayrıntılı termal karakterizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Isıl işlem sıcaklığını  $600^\circ C$  olarak belirlemişlerdir. Bor atığını çimentoya oranla %5, %15 ve %25 olarak çimento ile yer değiştirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlarda %5 bor katkılı numunenin referans numunesine göre daha yüksek dayanım verdiğini belirtmişlerdir.

Bideci ve arkadaşları (2018) kolemanit katkısının çimento harç özelliklerine etkisini incelemişlerdir. %0, %1, %3, %5 ve %7 oranlarında öğütülmüş kolemanit katkılı harçların özgül yüzey, özgül ağırlık, kıvam tayini, priz başlama ve sona erme deneylerinin yanı sıra harç numunelerinin basınç dayanım değerleri referans numunesi ile karşılaştırmışlardır. Kolemanit ikame oranının artışıyla priz başlangıç ve priz sona erme sürelerinin uzadığı görülmüştür. Çimento harçlarının TS EN 197-1 standardınca istenilen en düşük mekanik özelliği sağladığı ve %1, %3, %5 oranında kolemanitin çimento ikame malzemesi olarak kullanılabileceğini tespit etmişlerdir.

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### Materyal Metot

Bu bölümde malzemelerin kimyasal özellikleri, geopolimer ve çimento harçların üretim süreçleri ve kür koşulları hakkında bilgiler verilmiştir.

#### Materyal

Kaolin kilinin kalsine edilmesiyle üretilen metakaolin tabanlı geopolimer harçlarda metakaolin, uçucu kül, kolemanit, alkali çözeltiler, agrega olarak barit agregası; çimento harçlarında ise PÇ 42,5 R çimento, kolemanit, agrega olarak barit agregası kullanılmıştır.

#### Uçucu kül (UK).

Bu tez çalışmasında, puzolanik malzeme olan endüstriyel atıklardan Sivas Kangal termik santralden temin edilen uçucu kül kullanılmıştır. Kangal uçucu külü, ASTM C 618'e göre  $CaO > \%10$  olduğu için bu kül C sınıfı (yüksek kireçli) uçucu kül kapsamına girmektedir. Uçucu kül bileşeninin kimyasal analizi ve uçucu kül sırasıyla Tablo 11'de ve Şekil 7'de verilmiştir.

Tablo 11. *Uçucu Kül Kimyasal Bileşenlerinin Analizi*

| Bileşenler     | %    |
|----------------|------|
| $Al_2O_3$      | 11,0 |
| CaO            | 32,5 |
| $Fe_2O_3$      | 4,5  |
| $K_2O$         | 0,7  |
| MgO            | 3,7  |
| MnO            | <0,1 |
| $Na_2O$        | 0,4  |
| $P_2O_5$       | 0,3  |
| $SiO_2$        | 25,3 |
| $TiO_2$        | 0,5  |
| $SO_3$         | 13,6 |
| Kızdırma kaybı | 7,05 |
| Özgül ağırlık  | 2,41 |



Şekil 7. Uçucu kül.

### **Metakaolin (MK).**

Kaolin kilinin kalsine edilmesiyle üretilen MK, beyaz renkli, amorf yapılı bir alümina silikattır. Kimyasal olarak metakaolin mineralinin temel bileşenleri  $SiO_2$  ve  $Al_2O_3$ 'tir. Tezde kullanılan metakaolin AVS Mineral firmasından temin edilmiştir. Metakaolin bileşeninin kimyasal analizi ve metakaolin sırasıyla Tablo 12'de ve Şekil 8'de verilmiştir.

Tablo 12. *Metakaolin Kimyasal Bileşenlerinin Analizi*

| Bileşenler     | %    |
|----------------|------|
| $Al_2O_3$      | 42,5 |
| CaO            | 0,4  |
| $Fe_2O_3$      | 0,6  |
| $K_2O$         | 0,1  |
| MgO            | 0,2  |
| $Na_2O$        | 0,1  |
| $P_2O_5$       | 0,1  |
| $SiO_2$        | 53,7 |
| $TiO_2$        | 1,5  |
| Kızdırma kaybı | 0,40 |



Şekil 8. Metakaolin.

#### **Aktivatörler.**

Aktivasyon işleminde kullanılan alkali çözelti, sodyum hidroksit çözeltisi ve sodyum silikat çözeltileri karıştırılarak hazırlanmıştır.

#### **Sodyum hidroksit (NaOH).**

Deneyisel çalışmalarda Solvay (Fr) marka pelet halde en az %99,9 NaOH içeren kostik adıyla da bilinen malzeme kullanılmıştır. Sodyum hidroksit Şekil 9’da verilmiştir. 1 litre suda 360 g pelet halindeki sodyum hidroksit çözülerek 9 mol olacak şekilde sodyum hidroksit çözeltisi hazırlanmıştır.



Şekil 9. Sodyum hidroksit.

### **Sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ).**

Silmaco silikatlarından elde edilen sodyum meta silikatın modülü (ağırlıkça  $\text{SiO}_2:\text{Na}_2\text{O}$ )(Ms)=2,02 olan sıvı formu kullanılmıştır. Sodyum silikatın kimyasal bileşenleri ve Sodyum Silikat sırasıyla Tablo 13'te ve Şekil 10'da verilmiştir.

Tablo 13. Sodyum Silikat Kimyasal Bileşenleri

| Kimyasal formül                              | $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Derece                                       | 38-40                                               |
| Yoğunluk ( $\text{g/cm}^3$ )                 | 1,355-1,385                                         |
| $\text{Na}_2\text{O}$ (% ağırlıkça)          | 10,5-11,5                                           |
| $\text{SiO}_2$ (% ağırlıkça)                 | 21,0-23,0                                           |
| Modül ( $\text{SiO}_2:\text{Na}_2\text{O}$ ) | 2,02                                                |



Şekil 10. Sodyum silikat.

### **Çimento.**

Tüm deneylerde Erzurum Aşkale Çimento fabrikasının üretimi olan PÇ 42,5 R tipi çimento kullanılmıştır. Çimentonun üretici fabrikadan alınan kimyasal içeriği ve çimento sırasıyla Tablo 14'te ve Şekil 11'de verilmiştir. PÇ 42,5 R için TS EN 197-1 de belirtilen standardına uygundur.

Tablo 14. *Portland Çimentosu Kimyasal Bileşenlerinin Analizi*

| Bileşenler                     | %    |
|--------------------------------|------|
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4,2  |
| CaO                            | 60,2 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3,1  |
| K <sub>2</sub> O               | 0,8  |
| MgO                            | 3,1  |
| MnO                            | 0,1  |
| Na <sub>2</sub> O              | 0,3  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,1  |
| SiO <sub>2</sub>               | 20,7 |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,4  |
| SO <sub>3</sub>                | 2,7  |
| Kızdırma kaybı                 | 2,05 |
| Özgöl ağırlık                  | 3,1  |



Şekil 11. Portland Çimento CEM I 42,5 R.

#### **Kolemanit (K).**

Kolemanit, Eti Maden Bor işletmesinden elde edilmiştir. Mohs sertlik sınıflandırmasına göre sertliği 4-4,5 özgül ağırlığı 2,42 gr/cm<sup>3</sup>'tür. Kolemanitin kimyasal analizi ve kolemanit sırasıyla Tablo 15'te ve Şekil 12'de gösterilmiştir.

Tablo 15. *Kolemanit Kimyasal Bileşenlerinin Analizi*

| Bileşenler                     | %     |
|--------------------------------|-------|
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,4   |
| CaO                            | 27,2  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,1   |
| K <sub>2</sub> O               | <0,1  |
| MgO                            | 2,3   |
| MnO                            | <0,1  |
| Na <sub>2</sub> O              | 0,4   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | <0,1  |
| SiO <sub>2</sub>               | 6,1   |
| TiO <sub>2</sub>               | <0,1  |
| B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 17,22 |
| Kızdırma kaybı                 | 24,10 |



Şekil 12. Kolemanit.

### **Agrega.**

Bu tez çalışmasında, ASTM C 637 ve ASTM C 638 standartlarında tanımlanan ve radyasyon zırhlama betonları için uygun olduğu belirtilen barit agregası kullanılmıştır. Isparta-Şarkikaraağaç mevkiinde bulunan Başer Madenciliği 0-5 mm ve 5-20 mm elek aralığında temin edilmiştir. Barit agregası kimyasal analizi Tablo 16'da ayrıntılı olarak verilmiştir.

Tablo 16. *Barit Agregası Kimyasal Bileşenlerinin Analizi*

| Bileşenler                     | %     |
|--------------------------------|-------|
| BaSO <sub>4</sub>              | 74.31 |
| SiO <sub>2</sub>               | 14.80 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.53  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4.67  |
| CaO                            | 1.06  |
| K <sub>2</sub> O               | 0.85  |
| MgO                            | 0.42  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.07  |
| MnO                            | 0.25  |
| SrO                            | 0.75  |
| V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 1.17  |
| Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.01  |
| Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 0.01  |
| Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.09  |
| Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.08  |
| Toplam                         | 99.89 |

#### **Karma suyu.**

Harçların karma suyu ve numunelerin kür suları Bayburt şehir şebekesinden içilebilir su kullanılmıştır.

#### **Metot**

##### **Alkali çözeltilerin hazırlanması.**

Aktivatör çözeltisi için bu çalışmada Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> çözeltisi ve NaOH tercih edilmiştir. Aktivatör çözeltisini hazırlamak için sodyum hidroksit peletleri suda çözündürülmüş, oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Bu çalışmada kullanılan NaOH çözeltisinin molaritesi 9M olarak yapılmıştır. Çözeltinin hazırlanması NaSi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> çözeltisinin NaOH çözeltisi ile kütle olarak yaklaşık 2'ye 1 oranla karıştırılarak oluşturulmuştur.

##### **Alkali aktive harçlar ve çimento harçlarının üretimi.**

Bu çalışmada alkali aktive harçlar hazırlanırken öncelikle Sivas Kangal termik santralinden temin edilen uçucu kül, agrega, metakaolin ve ilaveten belli oranlarda kolemanit 45-60 sn. 140 rpm de mikserde homojen olacak şekilde karıştırılmıştır. Daha sonra

NaOH+Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> aktivatörleri ile ilave su 45-60 sn. 140 rpm de karıştırılıp kaşık vurulduktan sonra 45-60 sn. 280 rpm hızlı olacak şekilde karışımlar hazırlanmıştır. Çimento harçları hazırlanırken de aynı şekilde öncelikle toz malzemeler 45-60 sn. 140 rpm de mikserde homojen karıştırılmıştır. Sonrasında su ilavesi yapılmış 45-60 sn. 140 rpm yavaş karışım yapıp kaşık vurulduktan sonra 45-60 sn. 280 rpm hızlı karışım yapılmıştır. Hazırlanan harçlar, 50 × 50 × 50 mm’lik küp kalıplara dökülmüştür. Hazırlanan harçların karışım oranları alkali aktive esaslı karışımlar için Tablo 17’de ve çimento esaslı karışımlar için Tablo 18’de sunulmaktadır. 50×50 ×50 mm küp kalıplara dökülen numuneler ve karışımların yapıldığı mikser sırasıyla Şekil 13’te ve Şekil 14’de verilmiştir.

Alkali aktive serilerin isimlendirmeleri AAK0 (alkali aktive kolemanit %0), AAK5 (alkali aktive kolemanit %5) ve AAK10 (alkali aktive kolemanit %10), çimento serilerinde ise PÇK0 (portland çimento kolemanit %0), PÇK5 (portland çimento kolemanit %5) ve PÇK10 (portland çimento kolemanit %10) olacak şekilde kodlanmıştır.

Tablo 17. Alkali Aktive Harçların Karışım Oranları (g)

| Seriler | Uçucu kül | Metakaolin | Kolemanit | Agrega | Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> Çözeltisi | NaOH | Su  | Ms   |
|---------|-----------|------------|-----------|--------|--------------------------------------------|------|-----|------|
| AAK0    | 180       | 120        | 0 (%0)    | 600    | 130                                        | 70   | 184 | 0,45 |
| AAK5    | 171       | 114        | 15 (%5)   | 600    | 130                                        | 70   | 184 | 0,45 |
| AAK10   | 162       | 108        | 30 (%10)  | 600    | 130                                        | 70   | 184 | 0,45 |

Tablo 18. Çimento Harçları Karışım Oranları (g)

| Seriler | Çimento | Kolemanit | Agrega | Su |
|---------|---------|-----------|--------|----|
| PÇK0    | 450     | 0 (%0)    | 1350   | 95 |
| PÇK5    | 427,5   | 22,5 (%5) | 1350   | 95 |
| PÇK10   | 405     | 45 (%10)  | 1350   | 95 |



Şekil 13. 50 × 50 × 50 mm küp kalıplara dökülen numuneler.



Şekil 14. İki aşamalı laboratuvar tipi mikser.

#### **Karışımların kür yöntemleri.**

Alkali aktive numunelerde kalıba yerleştirme işleminden sonra numuneler kalıpla beraber kür işlemi için 24 saat boyunca etüvde 90 °C' de kür edilmiştir. Bu işlemden sonra numuneler kalıptan çıkarılmış ve bu çalışmanın amaçlanan testleri uygulanmıştır.

Çimentolu numunelerde ise kalıba yerleştirme işleminden sonra 24 saat boyunca oda sıcaklığında üstü nemli bezle örtülerek bekletilmiştir. Daha sonra kalıptan çıkarılan numuneler

bu çalışmanın amaçlanan testleri için kirece doymun su da 1,7, 14 ve 28 günlük küre tabi tutulmuştur. Alkali aktive numunelerin etüvde kürlenmesi ve imento numunelerinin suda ki kr sırasıyla şekil 15'te ve şekil 16'da verilmiştir.



şekil 15. Alkali aktive numunelerin kürlenmesi.



şekil 16. Çimento numunelerinin kürlenmesi.

#### **Tez kapsamında yapılan deneysel alışmalar.**

Tez kapsamında basınç dayanımı için 50×50×50 mm'lik küp numuneler kullanılmıştır. Üretilen alkali aktive harç numunelere ve imento harç numunelere basınç dayanım, boşluk oranı, birim hacim ağırlık, su emme, yayılma tablası ve yüksek sıcaklık direnci, deneylerine tabi tutulmuştur. Ayrıca hamurlara kıvam deneyi ve priz tayini testleri yapılmıştır.

### ***Çimento ve alkali aktive hamurları üzerinde yapılan deneyler.***

Çalışmada hazır edilen çimento ve alkali aktive pastalarına hamur deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çimentonun fiziksel özelliklerini tayin etmek için TS EN 196-3'e göre standart kıvam tayini ve priz süresi deneyleri yapılmıştır.

Çimento ve alkali aktive hamurlarının hazırlığında öncelikle toz malzemeler mikserle konulduktan sonra cihaz 90 saniye düşük hızla (140 rpm) çalıştırılıp toz malzemelerin homojen karışımı sağlanmıştır. Daha sonra mikser 90 saniye düşük hızla (140 rpm) tekrar çalıştırılıp su ilavesi yapılmıştır. Çimento ve alkali aktive hamurları spatula ile toplandıktan sonra 90 saniye yüksek hızda (280 rpm) tekrar karıştırılmıştır. Böylelikle hamurlar toplamda 180 saniye homojen karışımı sağlanmıştır.  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ ' de ki laboratuvar ortamında önceden hazır edilen cam levha üzerine vicat kalıbı içerisine yerleştirilip kıvam ve priz deneylerine tabi tutulmuştur. Hamur deneyleri için hazırlanan çimento ve alkali aktive karışım oranları Tablo 19'da ve Tablo 20'de verilmiştir.

Tablo 19. Hamur Deneyleri İçin Hazırlanan Çimento Karışım Oranı

| Bağlayıcı Tipi | Bağlayıcı Miktarı | Katkı Miktarı | Katkı Oranı (%) |
|----------------|-------------------|---------------|-----------------|
| PÇK0           | 500               | 0             | 0               |
| PÇK5           | 475               | 25            | 5               |
| PÇK10          | 450               | 50            | 10              |

Tablo 20. Hamur Deneyleri İçin Hazırlanan Alkali Aktive Karışım Oranı

| Bağlayıcı Tipi | Uçucu kül | Metakaolin | Katkı Miktarı | Katkı Oranı (%) |
|----------------|-----------|------------|---------------|-----------------|
| AAK0           | 180       | 120        | 0             | 0               |
| AAK5           | 171       | 114        | 15            | 5               |
| AAK10          | 162       | 108        | 30            | 10              |

### ***Kıvam tayini deneyi.***

Kıvam tayini deneyinin amacı çimentonun priz başlangıç ve bitiş süre deneyinde çimento pastası hazırlığı için gerekli suyun tayin edilmesine dayanmaktadır. Ancak gerekli su miktarının tayini için birçok deneme yapılması gerekmektedir.

Bu deney standart bir kıvamda pasta hazırlamak için gerekli su miktarı, farklı oranlarda su kullanılarak hazırlanan pastaların içine sondanın batırılmasıyla yapılır. Bu deneyi uygulamak için de vikat aleti kullanılmaktadır.

Bu çalışmada çimentoların kıvam tayini deneyleri, TS EN 196-3'e göre yapılmıştır. Hazırlanan numuneler üzerinde vicat sondası ile kıvam tayini yapılmıştır. Hamur halkaya konulmadan önce vicat halkası ve tabana yerleştirilen cam yağlanmıştır. Hamur vicat halkasına konulduktan sonra vicat halkası sonda altına konumlandırılmıştır. Sonda hamura teğet olacak halde hamurun üstüne getirilmiştir. Daha sonra hamurun hazırlanması ile birlikte  $240 \pm 10$  saniyeyi geçmeyecek şekilde vicat sondası serbest bırakılmıştır. Sonda ucu ile taban arası 30 saniye içinde 5-7 mm mesafe de olduğunda kıvam belirlenmiştir. Kıvam tayini deneylerinin yapıldığı vicat aleti Şekil 17'de verilmiştir.



Şekil 17. Vicat aleti ve kıvam tayini yapılan numune.

#### ***Priz süresi tayini deneyi.***

Priz süresi tayini deneyi de TS EN 196-3 standardına göre yapılmaktadır. Bu deney bir iğnenin standart kıvamı belirlenmiş pastanın içerisinde belirlenmiş bir derinliğe kadar batmasını gözlemleyerek tayin edilir.

Priz süresini belirlemek için vicat aletinin sonda kısmına uzunluğu minimum 45 mm ve çapı  $1,13 \pm 0,05$  mm olan iğne takılır. Hazırlanan hamurlar vicat halkası içine yerleştirilir ve vicat aletinin altına konulmuştur. Numunelerin karışma başladığı andan itibaren her 10 dakikada vicat iğnesi kendi ağırlığı ile hamur üzerine serbest düşürülerek göstergeden batma miktarı ölçülmüştür. Hamura batan iğne cam levhaya  $4 \pm 1$  mm uzakta kaldığı andan itibaren priz başlangıcı olarak kabul edilmiştir ve kayıt altına alınmıştır. Daha sonra 30 dakika arayla iğnenin hamur içine batması aynı yere gelmeyecek şekilde sağlanmış ve numune çevrilerek okumalara devam edilmiştir. Priz bitiş süresi ise iğne numunenin üstünde ilk 0,05 mm'ye kadar

batabildiği an olarak belirlenmiştir. Hamurların priz başlangıç ve bitiş deneylerinin yapıldığı vicat aleti Şekil 18’de verilmiştir.



Şekil 18. Vicat aleti ve priz başlangıç ve bitiş deneyi yapılan numune.

#### ***Çimento ve alkali aktive harçlar üzerinde yapılan deneyler.***

##### ***Boşluk oranı, su emme ve birim hacim ağırlık deneyleri.***

Bu üç deney yöntemi numunelerin mikro yapılarını analizini yapmak için kullanılmıştır.

Alkali aktive harç numuneleri küre tabi tutulduktan sonra 20°C, 300°C ve 500°C etüv sıcaklığından sonra etüv kurusu ağırlığı belirlendi. Daha sonra numuneler 24 saat oda sıcaklığında su içinde tutulup çıkarıldıktan sonra yüzeyi kurutulup doygun kuru yüzey ağırlığı tespit edilip, Arşimed yöntemi ile de su içindeki ağırlığı (Arşimed ağırlık) tespit edilmiştir.

Çimento harç numunelerinde ise 28 günlük kür sonunda yüzeyi kurutulup doygun kuru yüzey ağırlığı tespit edilip, Arşimed yöntemi ile de su içindeki ağırlığı (Arşimed ağırlık) tespit edildi. Bu numuneler 20°C, 300°C ve 500°C etüv sıcaklığından sonra da etüv kurusu ağırlığı belirlendi. Kütlece su emme formülü ve görünen porozite formülü sırasıyla denklem (7) ve denklem (8)’de gösterilmiştir.

$$S = \frac{w_1 - w_0}{w_0} \times 100 \quad (7)$$

$$G = \frac{w_1 - w_0}{w_1 - w_2} \times 100 \quad (8)$$

G: Görünen porozite (%),

S: Kütlece su emme (%),

$w_0$ : Numunenin etüv kurusu ağırlığı (g),

$w_1$ : Numunenin suya doygun ağırlığı (g),

$w_2$ : Numunenin su içindeki ağırlığı (g) belirtmektedir.

### ***Yayılma tablası deneyi.***

Haçların karışım işleminden sonra taze haldeki kıvamını ve yayılma değerinin belirlenmesi esasına dayanır.

Bu deneyde öncelikle yağlanmış kalıp tablanın orta yerine yerleştirilmiştir. Hazırlanan harçtan belirli bir miktar alınıp kesik koni şeklindeki kalıba iki tabaka şeklinde doldurulup her tabaka sıkıştırma çubuğu ile 16 defa çarpma işlemine tabii tutularak sıkıştırılmıştır. Kalıbın üst yüzeyi düzeltildikten sonra kalıp yavaşça ve tam düşey olacak şekilde yukarıya doğru kaldırılmıştır. Tablanın yan tarafında bulunan kol yardımıyla numuneye 5 saniyede bir vuruş olmak üzere toplamda 25 vuruş yapılarak harcın yayılması sağlanmıştır. Vuruş işlemi bittikten sonra tablaya yayılan harcın çapı cetvelle birbirine dik olacak şekilde iki doğrultu ölçülüp ortalaması alınarak yayılma değeri bulunmuştur. Yayılma tablası deneyinin yapılışı aşamalar halinde Şekil 19’da verilmiştir.



Şekil 19. Yayılma tablası deneyinin yapılışı.

### ***Basınç dayanım testi.***

Basınç dayanımı testi ASTM C 109’a göre çimento 1, 7, 14 ve 28 günlük küre tabi tutulan küp numuneler ve 24 saat 90 °C etüv kürüne tabi tutulan alkali aktive küp numuneler 20 °C, 300 °C, 500 °C sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra teste tabi tutulmuşlardır. Her karışım

için basınç dayanımı testinde üç küp numune kullanılmış ve üç test sonucunun ortalaması alınmıştır. Basınç dayanım formülü denklem (9)'da gösterilmiştir.

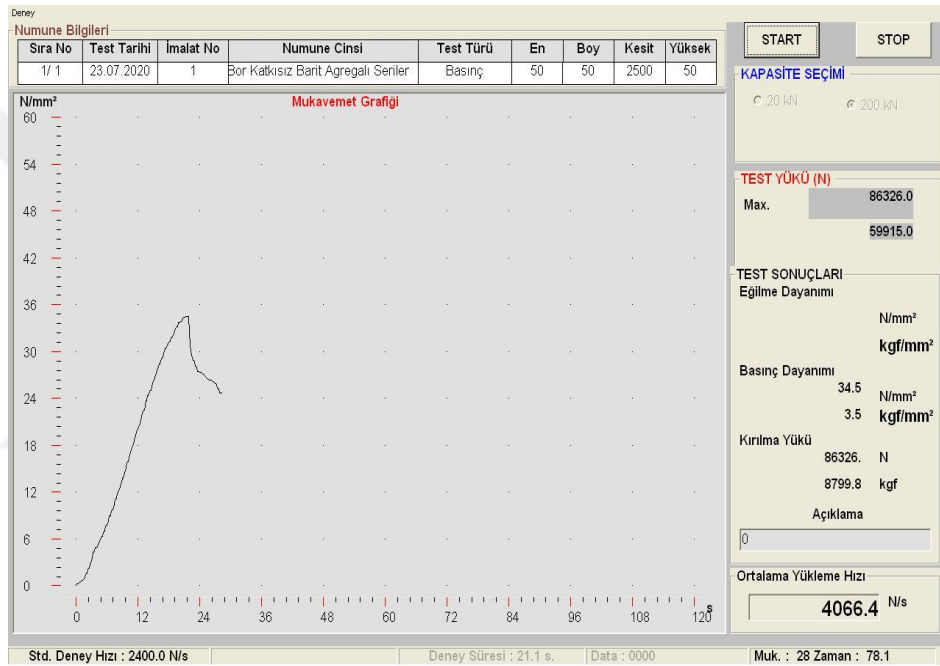
$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad (9)$$

$f_c$ : Deney numunesi basınç dayanımını (MPa),

F: Kırılma yükü (N),

$A_c$ : Deney numunesi kesit ortalama alanını (mm<sup>2</sup>) belirtmektedir.

Basınç testi ekran görüntüsü ve küp numunelere basınç dayanımı testinin uygulanması sırasıyla Şekil 20 ve Şekil 21' de verilmiştir.



Şekil 20. Basınç testi ekran görüntüsü.



Şekil 21. Basınç dayanımı testinin küp numunelerde uygulanması.

### ***Yüksek sıcaklık direnci testi.***

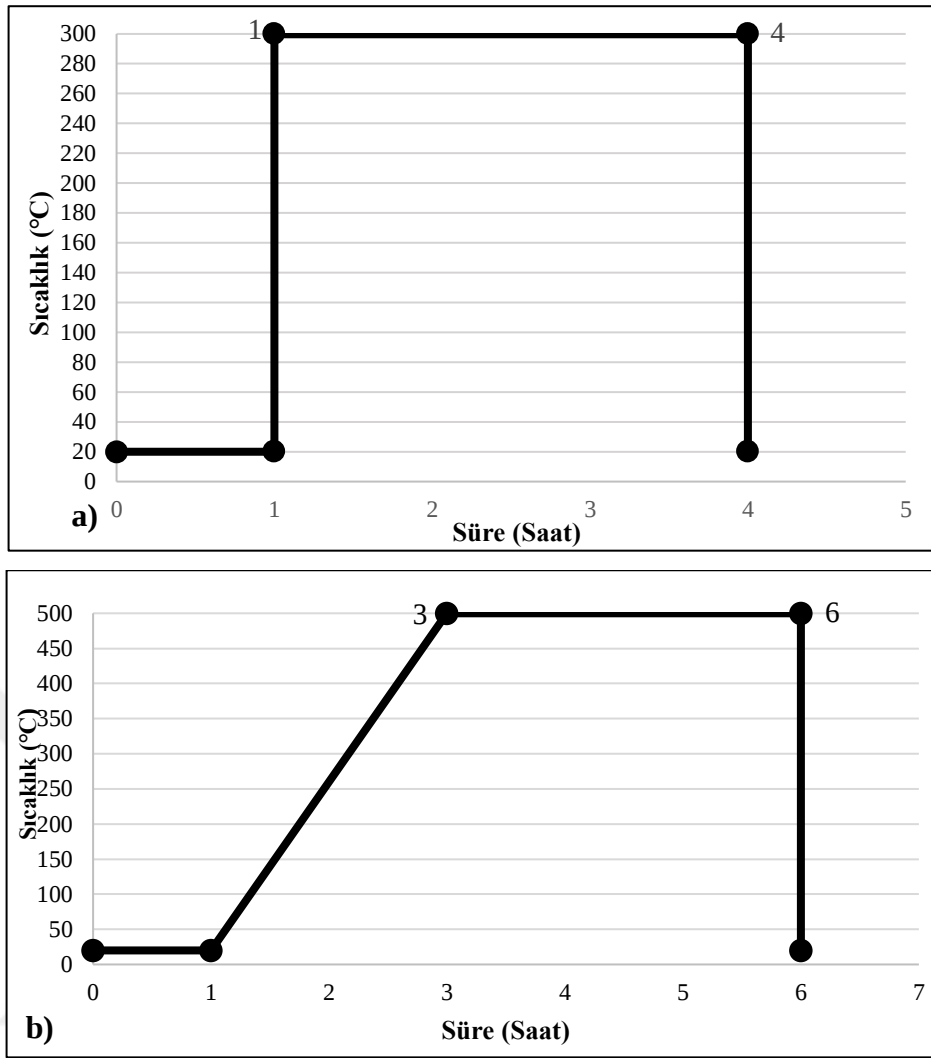
Alkali aktive harç numuneleri 90°C kür işleminden sonra, çimento harç numuneleri ise 28 günlük su küründen çıkarıldıktan sonra yüksek sıcaklık fırınına (20°C, 300°C ve 500°C) üçer saat boyunca yüksek sıcaklık direncine tabi tutulmuşlardır. Daha sonra numuneler oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Numuneler 20°C, 300°C ve 500°C'ye maruz bırakıldıktan sonra basınç mukavemeti deneyine tabii tutulmuştur. Numunelerin yüksek sıcaklığa tabi tutulduğu etüv Şekil 22 ve Şekil 23'de ısınma rejimi ise Şekil 24'de verilmiştir.



Şekil 22. Yüksek sıcaklık fırını.



Şekil 23. Fırına konulan numuneler.



Şekil 24. a) 300 °C ve b)500°C’lik ısınma rejimleri.

***Numunelerin gama radyasyon soğurma özelliklerinin NGCal yöntemi ile hesaplanması.***

Gökçe, Güngör ve Yılmaz (2021) tarafından geliştirilen NGCal programı bileşiklerin, elementlerin veya elementlerin oluşturduğu karışımların 0.002 MeV ile 20 MeV enerji aralığındaki gama ve X ışınlarının enerjileri ile termal (25.4 MeV) ve hızlı nötronların (4 MeV) kütle soğurma katsayıları, lineer soğurma katsayıları, ortalama serbest yol, yarı ve onuncu değer katmanlarını teorik olarak hesaplayan web tabanlı bir yazılımdır.

Çalışmamızda da hazırlanan alkali aktive karışımlar ve çimento karışımlarının kimyasal içerikleri dikkate alınarak oksit içerikleri ve yoğunlukları hesaplandıktan sonra NGCal programına veri olarak girilip lineer soğurma katsayıları hesaplanmıştır. NGCal programının ara yüzü Şekil 25’de verilmiştir.

How to Cite

Contact Us

Desired Properties

☐ Mass attenuation coefficient/factor, cm<sup>2</sup>/g  
☒ Linear attenuation coefficient/factor, cm<sup>-1</sup>  
☐ Mean free path, cm  
☐ Half-value layer, cm  
☐ Tenth-value layer, cm

Neutrons

☐ Thermal Neutron (25.4 meV)  
☐ Fast Neutron (4 MeV)

Photons

Energy, MeV

|          |       |
|----------|-------|
| Energy 1 | 0,662 |
| Energy 2 | 1,173 |
| Energy 3 | 1,332 |

Samples

\*Please be sure on writing full and correct notations in element/oxide/compound names. Otherwise, it could be resulted in incorrect calculations.

Sample Name

1. Karşın 20C

Density (g/cm<sup>3</sup>)

2,954

Sample Name

1. Karşın 300C

Density (g/cm<sup>3</sup>)

2,670

Sample Name

1. Karşın 500C

Density (g/cm<sup>3</sup>)

2,629

Sample Name

Density (g/cm<sup>3</sup>)

Element/Oxide/Compound

Fraction

MgO

0,962944785

MnO

0,165644172

Na2O

0,066257669

P2O5

0,068466258

SiO2

14,37791411

TiO2

0,088343558

SO3

0,596319018

SrO

0,496932515

H2O

12,10920245

☒ by Weight  
☐ by Empirical/Molecular Formula

Element/Oxide/Compound

Fraction

MgO

0,962944785

MnO

0,165644172

Na2O

0,066257669

P2O5

0,068466258

SiO2

14,37791411

TiO2

0,088343558

SO3

0,596319018

SrO

0,496932515

H2O

12,10920245

☒ by Weight  
☐ by Empirical/Molecular Formula

Element/Oxide/Compound

Fraction

MgO

0,962944785

MnO

0,165644172

Na2O

0,066257669

P2O5

0,068466258

SiO2

14,37791411

TiO2

0,088343558

SO3

0,596319018

SrO

0,496932515

H2O

12,10920245

☒ by Weight  
☐ by Empirical/Molecular Formula

Element/Oxide/Compound

Fraction

MgO

0,962944785

MnO

0,165644172

Na2O

0,066257669

P2O5

0,068466258

SiO2

14,37791411

TiO2

0,088343558

SO3

0,596319018

SrO

0,496932515

H2O

12,10920245

☒ by Weight  
☐ by Empirical/Molecular Formula

Σ COMPUTE

Clear All Data

Şekil 25. NGCal Programının açılış penceresi.

Çimento ve alkali aktive serilerinin NGCal yazılımı ile teorik olarak lineer soğurma katsayılarını bulabilmek için hesaplanan oksit analiz değerleri Tablo 21 ve Tablo 22’de verilmiştir.

Tablo 21. Portland Çimento Serilerinin Oksit Analiz Değerleri

| Kimyasal Formül                | PÇK0     | PÇK5     | PÇK10    |
|--------------------------------|----------|----------|----------|
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4,02184  | 3,97987  | 3,93791  |
| CaO                            | 13,99803 | 13,63361 | 13,26920 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1,035828 | 1,00269  | 0,96957  |
| B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 0        | 0,37976  | 0,75953  |
| BaSO <sub>4</sub>              | 49,23607 | 49,23607 | 49,23607 |
| K <sub>2</sub> O               | 0,739877 | 0,73104  | 0,72220  |
| MgO                            | 0,962944 | 0,95411  | 0,94527  |
| MnO                            | 0,165644 | 0,16564  | 0,16564  |
| Na <sub>2</sub> O              | 0,066257 | 0,06736  | 0,06846  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,068466 | 0,06736  | 0,06625  |
| SiO <sub>2</sub>               | 14,37791 | 14,21668 | 14,05546 |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,088343 | 0,08392  | 0,07950  |
| SO <sub>3</sub>                | 0,596319 | 0,56650  | 0,53668  |
| SrO                            | 0,496932 | 0,49693  | 0,49693  |
| H <sub>2</sub> O               | 12,10920 | 12,35269 | 12,59619 |

Tablo 22. *Alkali Aktive Serilerinin Oksit Analiz Değerleri*

| <b>Kimyasal Formül</b>             | <b>AAK0</b> | <b>AAK5</b> | <b>AAK10</b> |
|------------------------------------|-------------|-------------|--------------|
| <b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | 7,69386     | 7,42292     | 7,15197      |
| <b>CaO</b>                         | 5,08720     | 5,17525     | 5,26331      |
| <b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | 0,93428     | 0,90112     | 0,86795      |
| <b>B<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>  | 0           | 0,40162     | 0,80325      |
| <b>BaSO<sub>4</sub></b>            | 34,71348    | 34,71348    | 34,71348     |
| <b>K<sub>2</sub>O</b>              | 0,50451     | 0,49914     | 0,49377      |
| <b>MgO</b>                         | 0,73341     | 0,73341     | 0,73341      |
| <b>MnO</b>                         | 0,11678     | 0,11678     | 0,11678      |
| <b>Na<sub>2</sub>O</b>             | 5,51276     | 5,51417     | 5,51557      |
| <b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>  | 0,08408     | 0,08151     | 0,07894      |
| <b>SiO<sub>2</sub></b>             | 17,92587    | 17,56898    | 17,21208     |
| <b>TiO<sub>2</sub></b>             | 0,21021     | 0,19970     | 0,18919      |
| <b>SO<sub>3</sub></b>              | 1,90594     | 1,81065     | 1,71535      |
| <b>SrO</b>                         | 0,35035     | 0,35035     | 0,35035      |
| <b>H<sub>2</sub>O</b>              | 23,05699    | 23,28717    | 23,51736     |

## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

### Araştırma Bulguları

#### Çimento ve Alkali Aktive Hamurlar Üzerinde Yapılan Deneylerin Sonuçları

Çimento ve alkali aktive hamurları üzerinde standart kıvam ve priz başlangıç bitiş deney sonuçları Tablo 23’de verilmiştir.

Tablo 23. *Hamurlar Üzerinde Yapılan Deneyler ve Sonuçları*

| Bağlayıcı Tipi | Katkı Oranı<br>(%) | Standart Kıvam<br>Suyu<br>(%)<br>(Göreceli) | Priz Başlangıç<br>(Dk) | Priz Bitiş<br>(Dk) |
|----------------|--------------------|---------------------------------------------|------------------------|--------------------|
| <b>PÇK0</b>    | 0                  | 31,6(%100)                                  | 170                    | 228                |
| <b>PÇK5</b>    | 5                  | 32,4(%102,53)                               | 190                    | 435                |
| <b>PÇK10</b>   | 10                 | 32,6(%103,16)                               | 320                    | 645                |
| <b>AAK0</b>    | 0                  | 20(%100)                                    | 45                     | 105                |
| <b>AAK5</b>    | 5                  | 21,8(%109)                                  | 35                     | 75                 |
| <b>AAK10</b>   | 10                 | 22(%110)                                    | 15                     | 45                 |

#### Priz başlangıç ve priz bitiş tayini deney sonuçlarının değerlendirilmesi.

Üretilen çimento ve alkali aktive hamurların priz başlangıç ve priz bitiş süreleri bor ikame oranına bağlı olarak sonuçları Tablo 23’de verilmiştir.

Çimento yerine bor kullanımının priz başlangıç bitiş süreleri ile doğru orantılı bir ilişki olduğu görülmektedir. Bor ikameli çimento hamurlarında priz başlangıç ve bitiş süreleri kontrol çimento hamuruna göre;

Kolemanit katkısız Portland çimento kontrol numunesi olan PÇK0’a göre, katkı miktarı %5 olan numunede prizi başlangıç 20 dakika sonra başlarken prizi 207 dakika sonra bitmiş, %10 numune de ise priz başlangıç 150 dakika sora başlarken, prizi 417 dakika sonra sona ermiştir

Elde edilen sonuçlara bakıldığında üretilen bor katkılı çimentoların TS EN 196-3’ de belirtildiği üzere “çimentonun priz başlangıç 1 saatten az olamaz, çimentonun priz bitiş 10 saatten geç olamaz.” (TS EN 196-3, s.8) kuralını %5 bor ikameli çimentonun sağladığı ancak

%10 bor ikameli çimentonun sağlamadığı görülmüştür. Böylece %10 bor ikameli çimentolarda erken kalıp alma süresinin uzatılabileceği düşünülebilir.

Bu çalışmada priz süresi deneylerinde elde edilen sonuçlar Pehlivanoğlu, Davraz ve Kılıçarslan (2013) tarafınca yapılan çalışmalarda da elde edilen bor katkısının priz sürelerini uzattığı şeklindeki sonuçlar ile benzerlik göstermiştir. Özdemir ve Öztürk (2003) ve Erdoğan vd., (1998) yaptıkları çalışmalarda bor mineralinin çimentoya ağırlıkça %5 oranına kadar eklenebileceğini belirtmişlerdir.

Pehlivanoğlu vd., (2013) yaptıkları çalışmada bor bileşiklerinin çeşitli çimentolarda hidratasyon sürecine etkileri ve bu etkilerin kontrol edilebilme olanaklarını araştırmışlardır. Bu amaçla, Portland çimentosu kullanarak ve çimento ağırlığının %0.25-1.00 oranında bor oksit katılarak harç karışımlar hazırlanmıştır. Karışımlarda  $B_2O_3$  arttıkça hidratasyonun yavaşlama sebebinin  $B(OH)_3$  (borik asit) iyonları ile OH anyonlarını reaksiyona girerek  $B(OH)_4$  (tetrahidroksibrat) bileşiğini oluşturduğu sonrasında Ca katyonları  $B(OH)_4$  anyonları ile tepkiyerek  $CBH_6$  (kalsiyum di borat) olduğu, bu bileşiğinde çimento tanelerine çökerek hidratasyonu yavaşlattığını belirtmişlerdir.

Tablo 23’de Alkali aktive hamurlarda kullanılan toz malzeme yerine bor kullanımının priz başlangıcı bitiş süreleri ile ters orantılı bir ilişki olduğu görülmektedir. Bor ikameli alkali aktive hamurlarında priz başlangıcı ve bitiş süreleri kontrol alkali aktive hamuruna göre; kolemanit katkısız kontrol numunesi olan AAK0’a göre, katkı miktarı %5 olan numunede prizi başlangıcı 10 dakika önce başlarken prizi 30 dakika önce bitmiş, %10 numune de ise priz başlangıcı 30 dakika önce başlarken, prizi 60 dakika önce sona ermiştir.

Görüldüğü üzere alkali aktive hamur örneklerinde çimento örneklerinden olduğundan ziyade tam tersi gerçekleşmiştir. Bor oranı arttığında priz alma süresi kısaldığı gözlemlenmiştir.

### **Çimento ve Alkali Aktive Harçlar Üzerinde Yapılan Deneylerin Sonuçları**

Bu bölümde bor katkılı ve bor katkısız alkali aktive ve çimento harç numuneleri üzerinde yapılan deney sonuçları incelenmiştir.

#### **Yayılma tablası deneyi sonuçları.**

Bor katkılı harçlar üzerinde gerçekleştirilen yayılma tablası deneyi sonucunda elde edilen yayılma değerleri Tablo 24’de verilmiştir.

Tablo 24. *Bor Katkılı ve Katkısız Harçların Yayılma Tablası Deney Sonuçları*

| Bağlayıcı Tipi | Katkı Oranı, % | Yayılma (mm) |
|----------------|----------------|--------------|
| <b>PÇK0</b>    | 0              | 230          |
| <b>PÇK5</b>    | 5              | 234          |
| <b>PÇK10</b>   | 10             | 239          |
| <b>AAK0</b>    | 0              | 112          |
| <b>AAK5</b>    | 5              | 123          |
| <b>AAK 10</b>  | 10             | 126          |

Tablo 24'e göre bor katılı taze çimento ve geopolimer harçların yayılma çaplarında artış gözlemlenmiştir.

Kontrol harcı olan PÇK0' da yayılma değeri 230 mm iken kolemanit katkılı PÇK5 harç örneğinde yayılma değeri 234 mm, PÇK10 örneğinde ise yayılma değeri 239 mm olarak bulunmuştur. Böylece üretilen çimento harç örneklerinde yayılma değerinin arttığı belirlenmiştir. Bunun sebebi ise bağlayıcılık özelliği gösteren çimento toz malzemenin yüzdece 5-10 oranında azalıp, bağlayıcılık özelliği olmayan kolemanitin yüzdece 5-10 oranında artması olarak düşünülmüştür.

Kolemanit katkılı çimento harçlarında PÇK5 numunesinde işlenebilirlik, kontrol numunesine göre %1,73 oranında, PÇK10 numunesinde ise %3,91 oranında artış olduğu gözlemlenmiştir.

Alkali aktive kontrol harç örneği olan AAK0' da yayılma değeri 112 mm iken kolemanit katkılı AAK5 örneğinde yayılma değeri 123 mm, AAK10 örneğinde ise yayılma değeri 126 mm olarak bulunmuştur. Böylece üretilen alkali aktive harç örneklerinde yayılma değerinin arttığı belirlenmiştir. Bunun sebebi ise çimento harç örneklerinde olduğu gibi bağlayıcılık özelliği gösteren alkali aktive toz malzemelerinin yüzdece 5-10 oranında azalıp, bağlayıcılık özelliği olmayan kolemanitin %5 ila %10 oranında artması olarak düşünülmüştür.

Kolemanit katkılı alkali aktive harçlarında AAK5 numunesinde işlenebilirlik, kontrol numunesine göre %9,82 oranında, AAK10 numunesinde ise %12,5 oranında artış olduğu gözlemlenmiştir.

**Birim hacim ağırlık, boşluk oranı ve ağırlıkça su emme sonuçları.**

Tablo 25'te ve Tablo 26'da üretilen numunelerin fiziksel özelliklerini göstermektedir.

Tablo 25. *PÇ. Numunelerinin Su Emme Deneyi Sonuçları*

| Numune | Sıcaklık<br>(°C) | Su Emme (%) | Porozite (%) | Yoğunluk<br>(kg/dm <sup>3</sup> ) |
|--------|------------------|-------------|--------------|-----------------------------------|
| PÇK0   | 20               | 0,090       | 0,246        | 2,95                              |
| PÇK0   | 300              | 0,105       | 0,285        | 2,67                              |
| PÇK0   | 500              | 0,112       | 0,310        | 2,62                              |
| PÇK5   | 20               | 0,092       | 0,252        | 3,00                              |
| PÇK5   | 300              | 0,106       | 0,292        | 2,69                              |
| PÇK5   | 500              | 0,114       | 0,314        | 2,66                              |
| PÇK10  | 20               | 0,115       | 0,293        | 2,83                              |
| PÇK10  | 300              | 0,115       | 0,606        | 2,53                              |
| PÇK10  | 500              | 0,123       | 0,328        | 2,50                              |

Çimento karışım harç numunelerinin 28 günlük su emme deney sonuçları elde edilen bulgular değerlendirildiğinde:

Kontrol çimento numunesine göre %5 ve 10 kolemanit katkısı su emme oranında sırasıyla %2,22 ve %27,77 oranında artışa yol açmıştır. Kontrol çimento numunesine göre %5 ve %10 kolemanit katkı etkisi ağırlıkça porozite oranının da ise sırasıyla %2,43 ve %19,10 oranında artış göstermiştir. Kolemanit katkısının etkisi incelendiğinde su emme ve boşluk oranında artış meydana getirdiği görülmüştür. Kontrol çimento numunesine göre sıcaklık etkisi incelendiğinde 300°C ve 500°C sıcaklıklara maruz bırakılan numuneler de su emme oranı sırasıyla %16,66 ve %24,44 oranında artış göstermiştir. Kontrol çimento numunesine göre sıcaklık etkisi incelendiğinde 300 °C ve 500°C sıcaklıklara maruz bırakılan numuneler de porozite oranında ise sırasıyla %15,85 ve %26,01 oranında artış göstermiştir.

Tablo 26. Alkali Aktive Numunelerin Su Emme Deneyi Sonuçları

| Numune | Sıcaklık<br>(°C) | Su Emme (%) | Porozite (%) | Yoğunluk<br>(kg/dm <sup>3</sup> ) |
|--------|------------------|-------------|--------------|-----------------------------------|
| AAK0   | 20               | 0,144       | 0,329        | 2,46                              |
| AAK0   | 300              | 0,168       | 0,354        | 2,09                              |
| AAK0   | 500              | 0,187       | 0,393        | 2,02                              |
| AAK5   | 20               | 0,163       | 0,340        | 2,41                              |
| AAK5   | 300              | 0,177       | 0,368        | 2,04                              |
| AAK5   | 500              | 0,188       | 0,390        | 2,00                              |
| AAK10  | 20               | 0,164       | 0,346        | 2,45                              |
| AAK10  | 300              | 0,178       | 0,370        | 2,05                              |
| AAK10  | 500              | 0,190       | 0,391        | 2,02                              |

Alkali aktive karışım harç numunelerinin su emme deney sonuçları elde edilen bulgular değerlendirildiğinde:

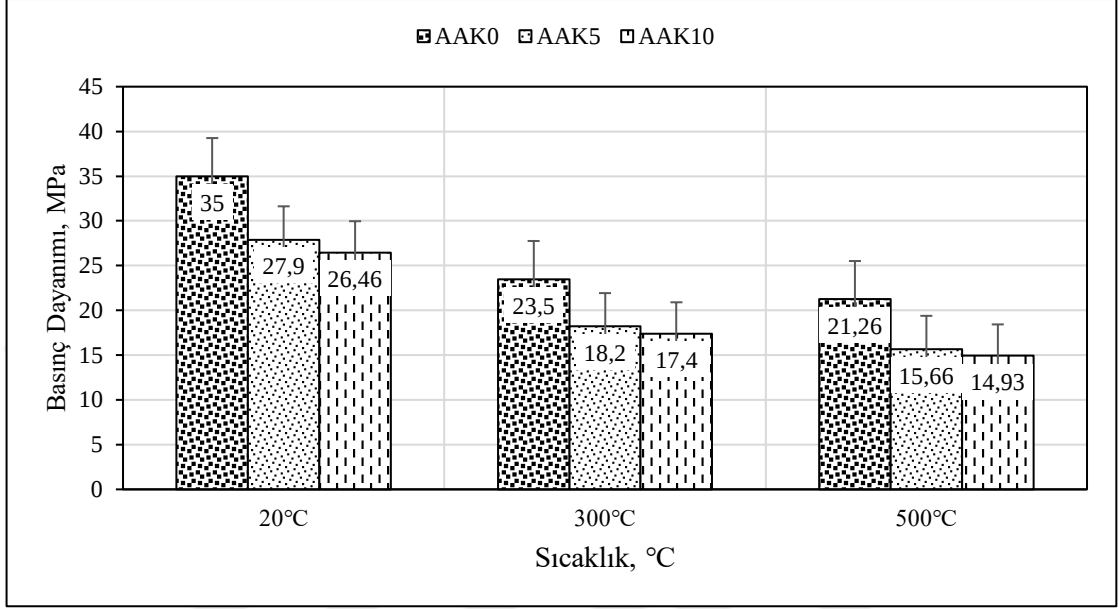
Kontrol alkali aktive numunesine göre %5 ve %10 kolemanit katkı etkisi ağırlıkça su emme oranına sırasıyla %13,19 ve %13,88 oranında artış göstermiştir. Kontrol alkali aktive numunesine göre %5 ve %10 kolemanit katkı etkisi ağırlıkça porozite oranına ise sırasıyla %3,34 ve %5,16 oranında artış göstermiştir. Kolemanit katkısının etkisi incelendiğinde su emme ve boşluk oranında artış meydana getirdiği görülmüştür. Kontrol alkali aktive numunesine göre sıcaklık etkisi incelendiğinde 300°C ve 500 °C sıcaklıklara maruz bırakılan numuneler de su emme oranı sırasıyla %16,66 ve %29,86 oranında artış göstermiştir. Kontrol alkali aktive numunesine göre sıcaklık etkisi incelendiğinde 300 °C ve 500 °C sıcaklıklara maruz bırakılan numuneler de porozite oranı sırasıyla %7,59 ve %19,45 oranında artış göstermiştir.

Çimento ve alkali aktive kontrol numuneler arasında su emme, boşluk oran kıyaslaması yapıldığında ise çimento numunelerinde oranın daha az olduğu görülmüştür. Bunun sebebi ise çimento hidratasyon ürünlerinin harç boşluklarını kapatması ile harç içindeki katı hacmin artmasından kaynaklanmaktadır (Mehta vd., 1981).

### Basınç dayanım deney sonuçları.

#### *Yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış ve bırakılmamış çimento ve alkali aktive numunelerinin mukavemet özellikleri.*

Alkali aktive ve çimento numunelerinin basınç dayanım deneylerinin sonuçları sırasıyla Şekil 26’da ve Şekil 27’de verilmiştir.

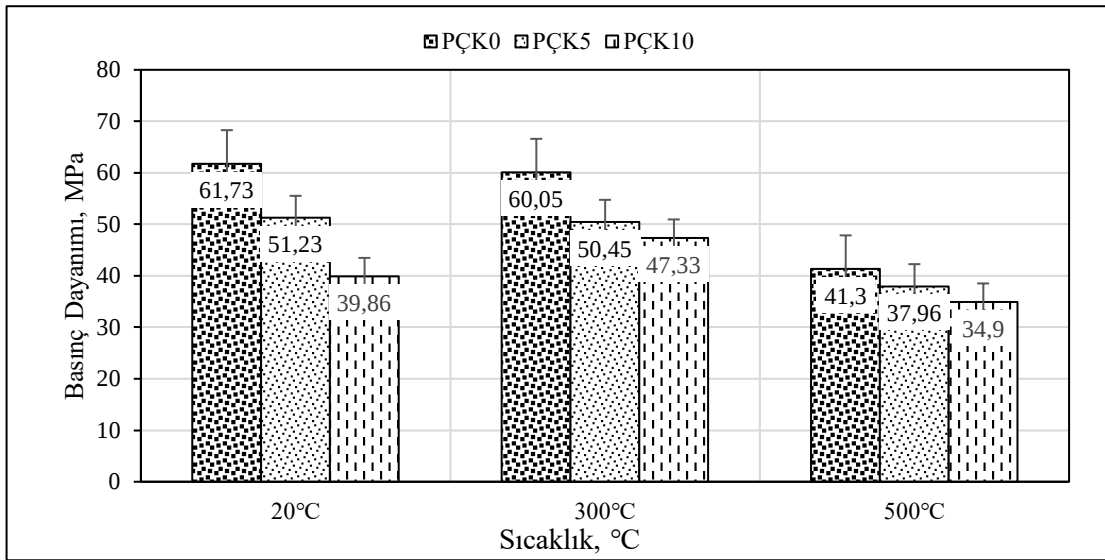


Şekil 26. Alkali aktive harç numunelerin yüksek sıcaklık etkisinde basınç dayanım sonuçları.

Kontrol numunesi baz alındığında 20 ° C’ de 35 MPa elde edilirken 300°C ve 500 °C’ lere tabi tutulan numunelerde yüzdece sırasıyla %32,85 ve %39,25 oranında dayanım kaybı olduğu gözlemlenmiştir.

Alkali aktive kompozitlerinin basınç dayanımları yüksek sıcaklığa bağlı olarak matriste ki dehidrasyon ve serbest suyun buharlaşması sebebiyle önemli ölçüde azalmıştır (Zhang, Y.J., 2012).

%5, %10, ikame oranlarında kolemanit ile üretilen çimentolarla hazırlanan standart harç örnekler üzerinde gerçekleştirilen yüksek sıcaklık deneyi sonrası basınç dayanımı deney sonuçları Şekil 27’de verilmiştir.



Şekil 27. Çimento harç numunelerin yüksek sıcaklık etkisinde basınç dayanım sonuçları.

Çimento harçlar üzerinde yapılan basınç dayanımı deneyleri sonucunda 20 °C’ den itibaren bütün gruplarda azalmalar meydana gelmiştir.

28 günlük tüm gruplar göz önüne alındığında basınç dayanımları 34,9 ile 61,73 MPa arasında değişiklik göstermektedir. Basınç dayanımları kontrol numuneleri ile karşılaştırıldığında yüksek sıcaklık etkisi basınç dayanımını olumsuz etkilemiş ve sıcaklığın artmasıyla birlikte dayanımlarda genel olarak düşüşler görülmüştür. Kontrol numunesi baz alındığında 20 °C’ de 61,73 MPa elde edilirken 300°C ve 500 °C’ lere tabi tutulan numunelerde yüzdece sırasıyla %2,72 ve %33,09 oranında dayanım kaybı olduğu gözlemlenmiştir.

Azalış nedeni olarak numunelerde meydana gelen makro ve mikro seviyelerindeki çatlaklar, hacim genleşmesi, yapıdaki kalsiyum silika bağlarının bozulması, bünyesindeki su kaybı olarak gösterilebilir.

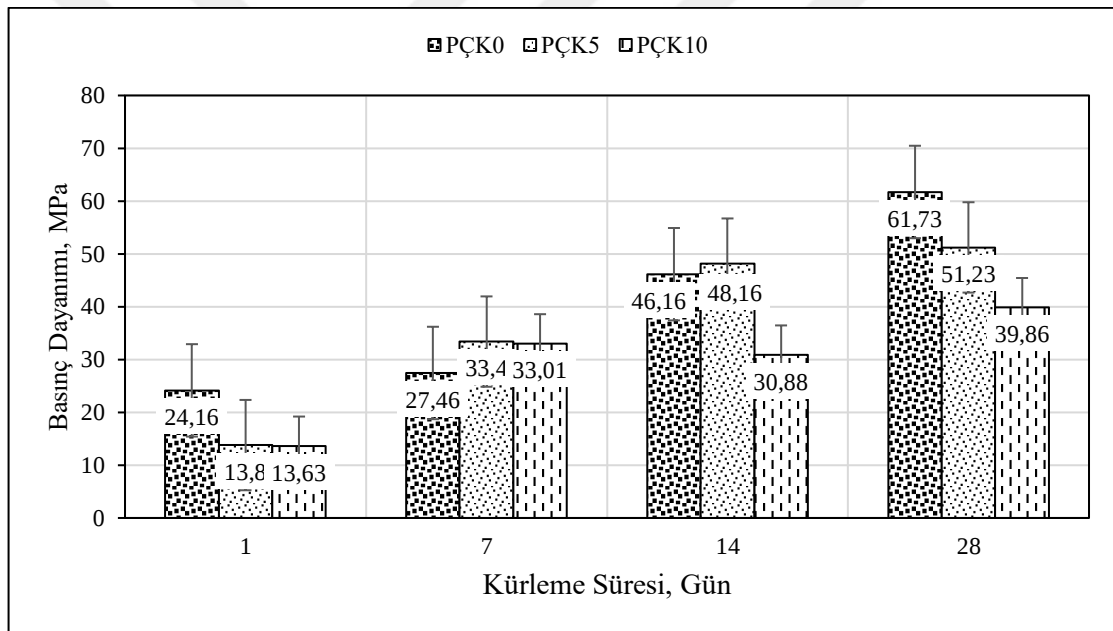
Literatür incelendiğinde yüksek sıcaklığın harçların dayanım üzerindeki etkisi şu şekilde kısaca özetlenebilir; basınç dayanımı 90°C’de azalmaya başlar ve bu azalma %10-35 oranlarındadır. 90°C sıcaklıktan sonra 200°C’ye kadar dayanımda cüzi miktarda artışlar gözlemlenirken 200°C’den sonraki sıcaklıklarda harç dayanımları sürekli olarak azalır. 800°C’de dayanım kaybı gerçekleşir ve %20-50 arasında değişiklik gösterir. Yüksek sıcaklığa tabii tutulan harçların basınç dayanımlarına su/çimento oranı, çimento tipi, agrega gibi kullanılan malzeme özelliklerinin yanı sıra sıcaklıkta kalma süresi, ısınma ve soğuma hızı, nem durumu ve yükleme hızı gibi faktörler etkili olmaktadır (Neville, 2000).

Çimento hamurundaki jel yapısını meydana getiren kalsiyum silika hidratenin (CSH) katı öğeleri tutulan su (absorbsiyon) yardımıyla birbirine bağlanır ve 110°C’den itibaren su kaybı (dehidrate) meydana gelir. Kılcal boşluklardaki serbest halde bulunan su 100°C

sıcaklıklarda, dehidratasyonla serbest halde kalan su ve absorpsiyon suyu 300°C sıcaklıktan sonra buharlaşabilir. Buharlaşan su yapıda büzülme neden olur. Bu büzülme olayından kaynaklı da buhar basıncından kaynaklı çatlamalara ve parça atmalara sebep olur (Andrade, Alonso, & Khoury, 2003; Neville, 2000).

***Alkali aktive harç ve çimento harç numunelerinde bor katkısının basınç dayanıma etkisi.***

Kolemanit minerali içeren çimento örneklerin 1,7, 14 ve 28 günlük basınç dayanım sonuçları Şekil 28’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kolemanit katkısının %10 oranında kullanılması basınç dayanımını oldukça düşürmüştür. PÇK5 örneği 28. Günde 51,23 MPa dayanımını, PÇK10 örneği ise 28. Günde 39,86 MPa vermiştir. Böylece kontrol örneğinden PÇK5 %17 ve PÇK10 %35,42 dayanımda düşüş göstermişlerdir. Yapılan basınç deneylerine sonucuna göre %5 oranında katkı oranının uygun olduğu belirlenmiştir.



Şekil 28. Çimento harç numunelerinde borun basınç dayanıma etkisi.

Targan vd., (2002) tarafından yapılan çalışmada bentonit ile kolemanit atığı bir arada kullanılmıştır. Çalışmaya göre erken yaşlarda dayanımlarda etkileyici bir düşüş meydana gelmiştir. Bu durum kolemanitin bu yaştaki düşük pozolanik katkısıyla ve kolemanitin bor içeriğiyle açıklanmış, kolemanit çimentonun sertleşmesine engel olmuştur. Ancak sonraki yaşlarda numunelerin dayanımları yavaş yavaş artmıştır

Ustaş'ın (2011) yaptığı çalışma da kolemanitin çimento da kullanılabilirliği hakkında çimentoya ikame malzeme olarak kolemanit ve üleksit mineralleri %0,5, %1, %2, %3, %4 ve

%5 oranlarında kullanılmıştır. Elde edilen verilere göre basınç dayanım sonuçlarında önemli bir artış meydana gelmediği görülmüştür.

Özdemir ve Öztürk (2003) ve Erdoğan vd., (1998) yaptıkları çalışmalarca en yüksek bor katkı oranı olarak %5' e kadar eklenilmesini uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Aynı şekilde alkali aktive harçlarında borun dayanıma etkisi Tablo 27'de verilmiştir.

Tablo 27. Alkali Aktive Numunelerin Borun Basınç Dayanıma Etkisi

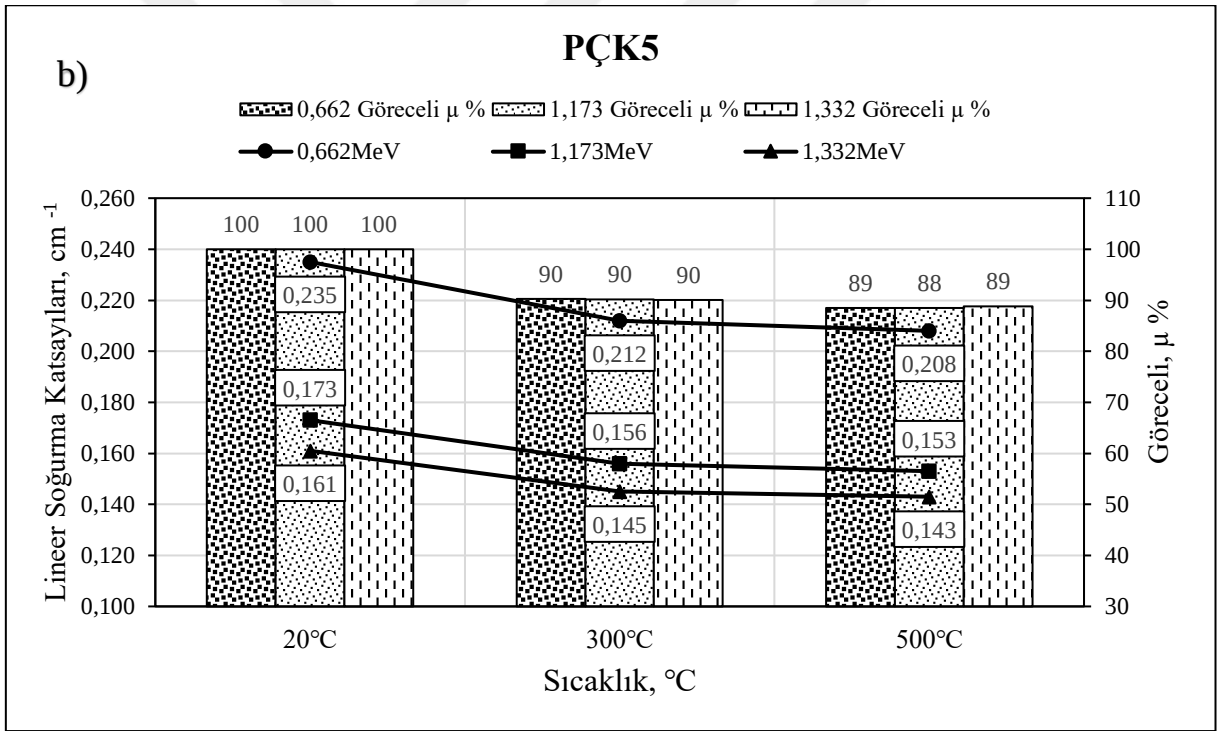
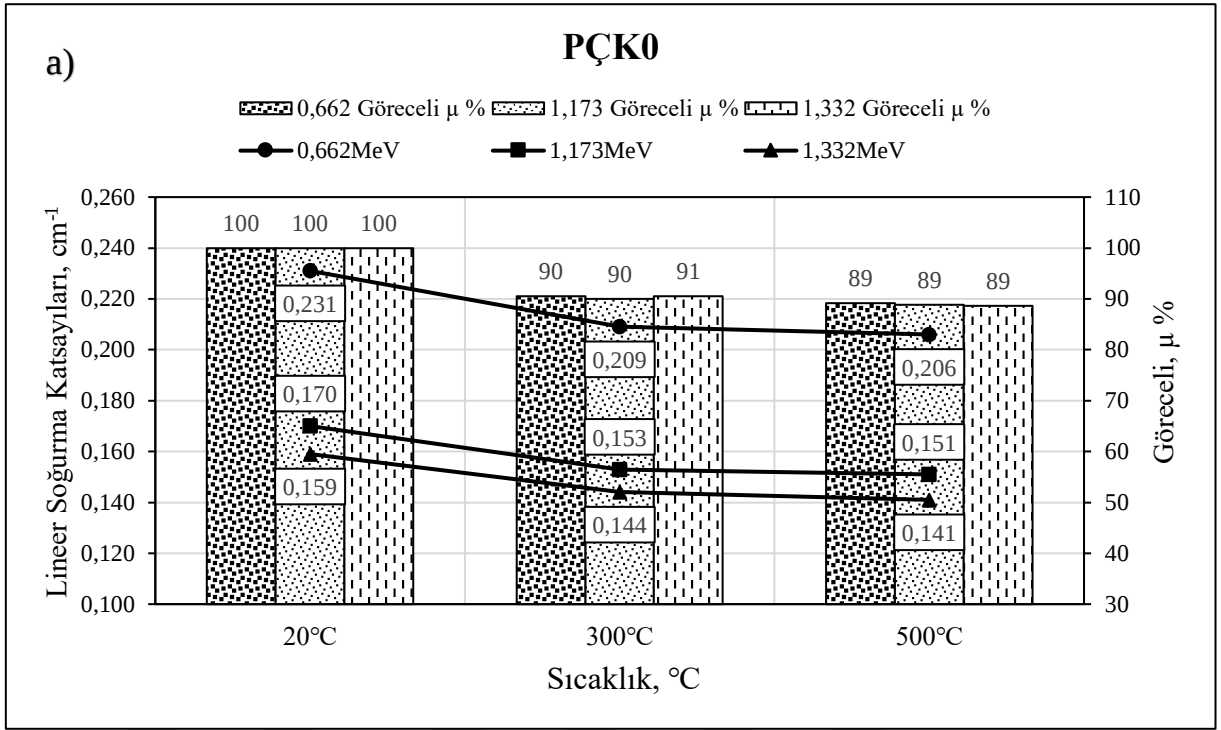
| Bağlayıcı Tipi | Katkı (%) | Dayanım (MPa) |
|----------------|-----------|---------------|
| AAK0           | 0         | 35            |
| AAK5           | 5         | 27,9          |
| AAK10          | 10        | 26,46         |

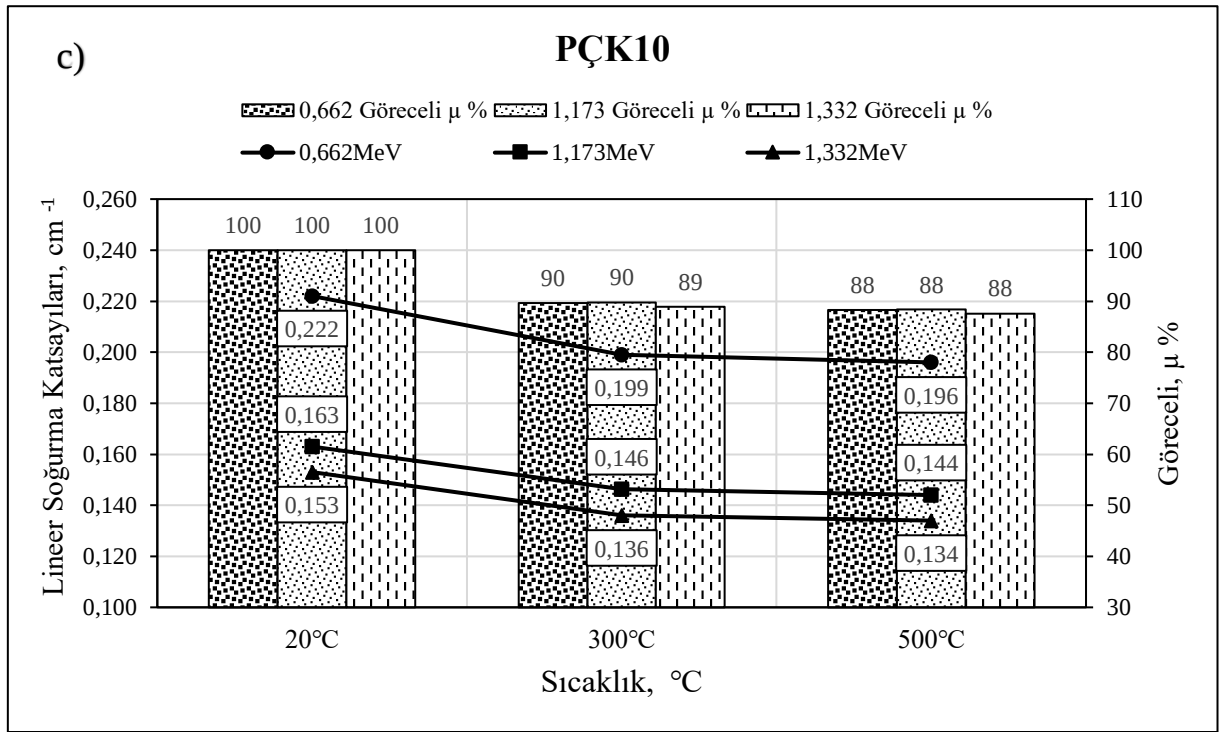
Tablo 27'de görüldüğü üzere kolemanit katkılı örnekler genel olarak kontrol örneğinden daha düşük dayanımlar vermiştir. %5 katkı oranında itibaren katkı oranındaki artış dayanımı düşürmüştür. Bor katkısız örnek 35 MPa dayanım verirken %5 ve %10 örnekleri sırasıyla 27,9-26,46 MPa dayanım sergilemişlerdir. Bu da demek oluyor ki kontrol örneğine kıyasla %5 ve %10 katkılı örnekler sırasıyla %20,28 ve %24,4 düşüş göstermiştir.

Kolemanit atığının daha fazla ikame edilmesi kontrol numunesine kıyasla daha düşük performans göstermiştir. Bu durum kolemanit atığının belirli içeriğe kadar geopolimer bağlayıcılarda kullanılabilirliğini göstermiştir.

#### Lineer soğurma katsayıları.

Tez çalışması kapsamında hazırlanan çimento ve alkali aktive numunelerinin kürlleme sıcaklıklarına bağlı olarak karışım kodlarına göre  $^{137}\text{Cs}$  (662 keV) ve  $^{60}\text{Co}$  (1173 ve 1332 keV) kaynakları için belirlenen lineer soğurma katsayısı değişimleri Şekil 29'da ve Şekil 30'da verilmektedir.

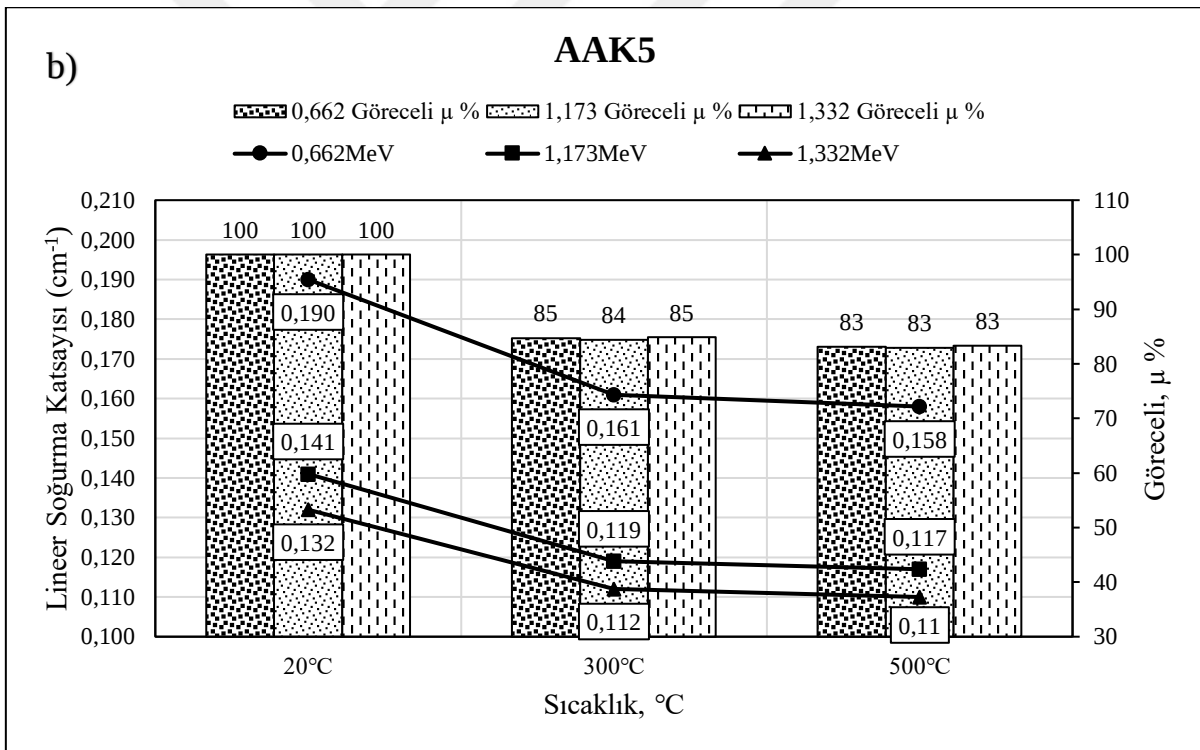
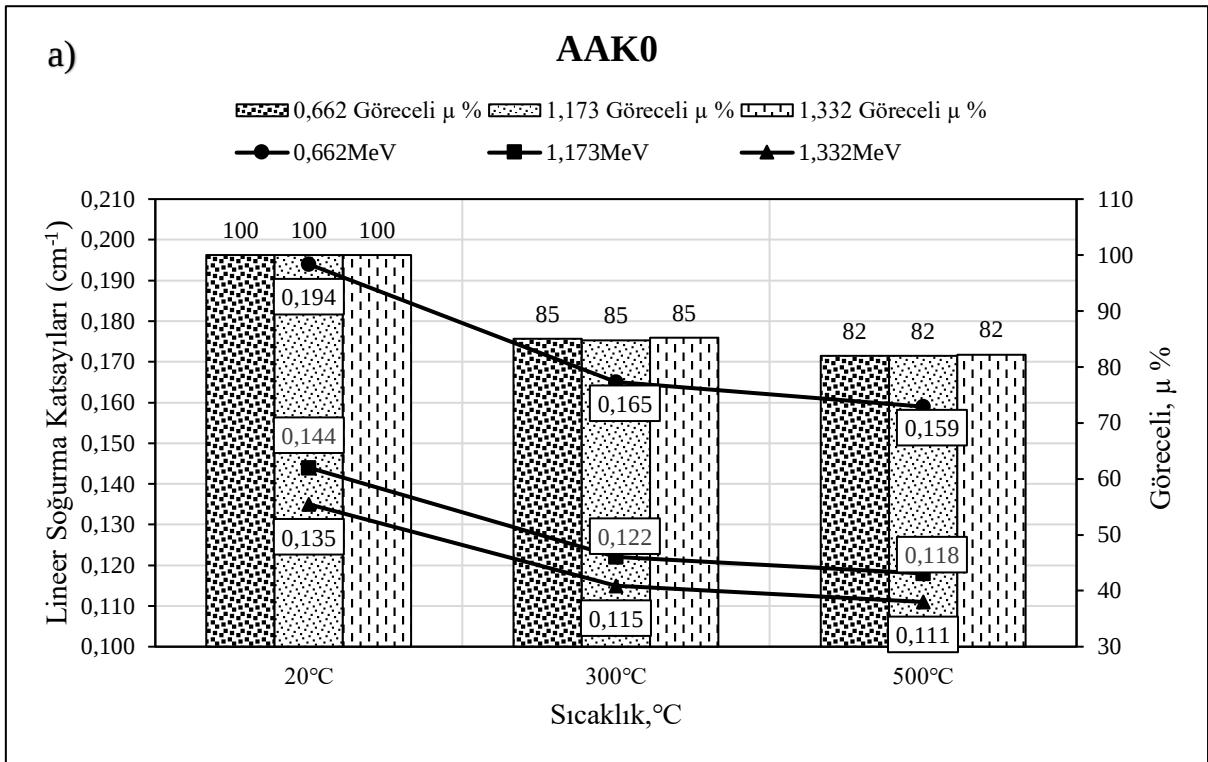


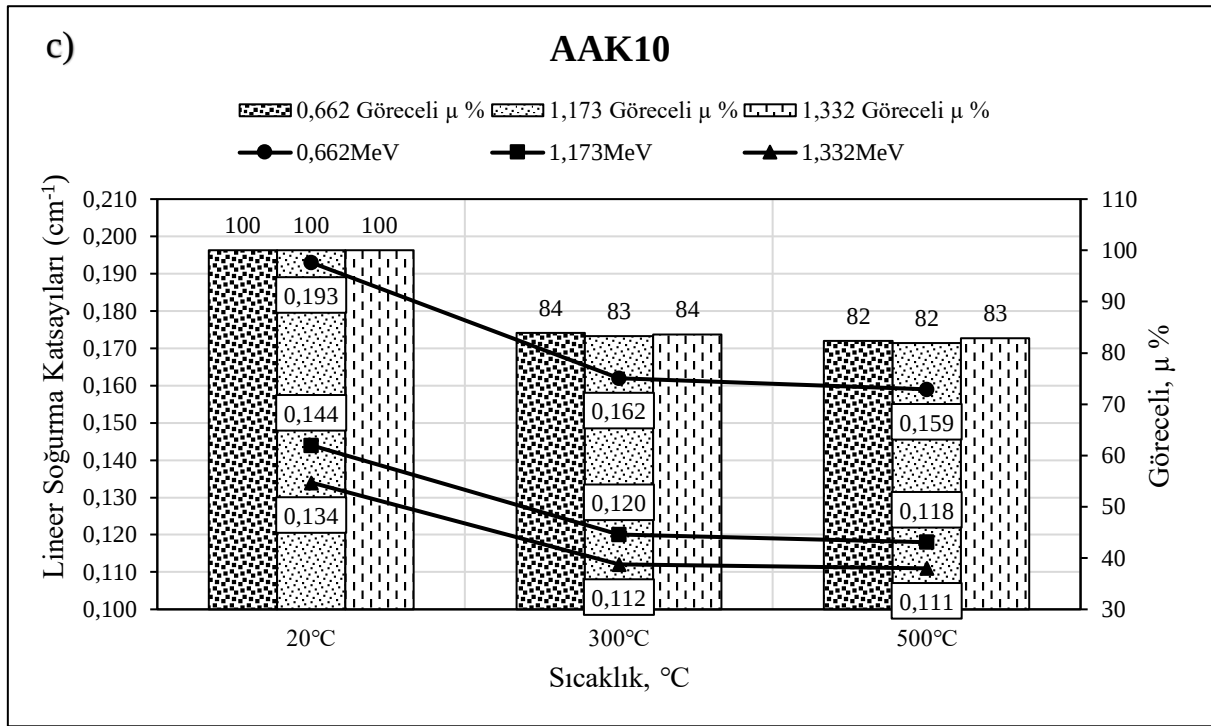


Şekil 29. Yüksek sıcaklığın PÇ numunelerine göreceli lineer soğurma ve lineer soğurma katsayılarına etkisi.

Şekil 29’de sırasıyla PÇK0, PÇK5 ve PÇK10 serilerinin kütleme sıcaklığına bağlı olarak kullanılan gama enerjilerine göre değişimleri görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi lineer soğurma katsayıları ( $\mu$ ) sıcaklık etkisi incelendiğinde sıcaklığın artışıyla lineer soğurma performansının düştüğü görülmüştür. Kontrol numunelerinde 20 °C’ de 0,662 MeV’lik enerji seviyesinde 0,231cm<sup>-1</sup> iken 300 °C ve 500 °C için sırasıyla 0,209 cm<sup>-1</sup>- 0,205 cm<sup>-1</sup> olarak 20 °C’ de 1,173 MeV’lik enerji seviyesinde 0,170 cm<sup>-1</sup> iken 300 °C ve 500 °C için sırasıyla 0,153 cm<sup>-1</sup>- 0,151 cm<sup>-1</sup> olarak, 20 °C’ 1,332 MeV’lik enerji seviyesinde ise 0,159 cm<sup>-1</sup> iken 300 °C ve 500 °C için sırasıyla 0,144 cm<sup>-1</sup> ve 0,141 cm<sup>-1</sup> olarak tespit edilmiştir. Görüldüğü üzere enerji seviyelerinin artışıyla da soğurma performansında düşüşler meydana gelmiştir.

Lineer soğurma performansına katkı etkisi incelendiğinde ise PÇK5 numunelerinde soğurma performansı kontrol numunesine göre artış gösterirken, PÇK10 numunelerinin kontrol numunesine göre radyasyonu daha fazla geçirdiği görülmüştür. PÇK10 numunelerinin lineer soğurma performanslarının düşük çıkma sebebi olarak ana matrise katılan kolemanit ile malzeme yoğunluğunda ki düşüşler, katkı maddesi ile ana matris malzemesinin etkileşiminin zayıf olması ve kütle içerisinde muhtemel boşlukların olmuş olma ihtimali düşünülmüştür.





Şekil 30. Yüksek sıcaklığın alkali aktive numunelerine göreceli lineer soğurma ve lineer soğurma katsayılarına etkisi.

Şekil 30’da sırasıyla AAK0, AAK5 ve AAK10 serilerinin kütleme sıcaklığına bağlı olarak kullanılan gama enerjilerine göre değişimleri görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi lineer soğurma katsayıları ( $\mu$ ) sıcaklık etkisi incelendiğinde sıcaklığın artışına bağlı olarak alkali aktive serilerinde de lineer soğurma performansının düştüğü görülmüştür. Kontrol numunelerinde 20 °C’ de 0,662 MeV’lik enerji seviyesinde 0,194 cm<sup>-1</sup> iken 300 °C ve 500 °C için sırasıyla 0,165 cm<sup>-1</sup>- 0,159 cm<sup>-1</sup> olarak 20 °C’ de 1,173 MeV’lik enerji seviyesinde 0,144 cm<sup>-1</sup> iken 300 °C ve 500 °C için sırasıyla 0,122cm<sup>-1</sup>- 0,118 cm<sup>-1</sup> olarak, 20 °C’ 1,332 MeV’lik enerji seviyesinde ise 0,135 cm<sup>-1</sup> iken 300 °C ve 500 °C için sırasıyla 0,115 cm<sup>-1</sup> ve 0,111 cm<sup>-1</sup> olarak tespit edilmiştir. Enerji seviyelerinin artışına bağlı olarak da görüldüğü üzere soğurma performansında düşüşler meydana gelmiştir.

Lineer soğurma performansına katkı etkisi incelendiğinde AAK5 numunelerinde soğurma performansı kontrol numunesine göre azalış gösterirken, AAK10 numunelerinin kontrol numunesine yakın veya aynı değerlerde lineer soğurma performansı sergilediği görülmüştür.

## BEŞİNCİ BÖLÜM

### Sonuç ve Öneriler

Yangın veya yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan yapılarda beton ve bileşenlerinin zarar görmesinden kaynaklı değişimler meydana gelmektedir. Bu yüzden yapıyı maruz kaldığı etkiye karşı dayanıklı hale getirmek için günümüzde kimyasal ve mineral katkılarının kullanımı ile yeni alternatif ürünler üretilmeye başlanmıştır. Yapılan çalışmada bu amaç doğrultusunda 300 °C ve 500 °C sıcaklığa tabi tutulmuş %0, %5 ve %10 kolemanit katkılı bağlayıcıların (alkali aktive esaslı ve çimento esaslı) gama ışını soğurma performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Üretilen harçlara birim hacim ağırlık, boşluk oranı, ağırlıkça su emme, yayılma, basınç yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanım deneyleri yapılmıştır. Ayrıca alkali aktive ve çimento karışımların kimyasal içerikleri dikkate alınarak oksit içerikleri ve yoğunlukları hesaplandıktan sonra NGCal programına veri olarak girilip lineer soğurma katsayıları hesaplanmıştır. Deney sonuçları şu şekilde özetlenebilir:

Kolemanit ikameli çimento hamurlarında kontrol çimento hamuruna göre; %5 ikame oranında priz başlangıç ve bitiş süresi sırasıyla %11,8 ve 51,0, %10 ikame oranında da sırasıyla %88,2 ve 123,9 uzadığı gözlemlenmiştir. Alkali aktive hamurlarda ise kontrol çimento hamuruna göre; %5 ikame oranında priz başlangıç ve bitiş süresi sırasıyla %22,2 ve 28,6, %10 ikame oranında sırasıyla %66,7 ve 57,2 azaldığı görülmüştür. Özetle alkali aktive örneklerinde bor oranı artığında priz alma süresinin önemli oranda kısaldığı belirlenmiştir.

28 günlük çimento harç numuneleri incelendiğinde; kolemanit katkı oranıyla birlikte bütün harç numunelerinin su emme oranlarında artış görülmüştür. Çimento harçlarının kontrol numunesine göre %5 ve 10 kolemanit katkısı ağırlıkça su emme oranını sırasıyla %2,22 ve %27,77 oranında artırmıştır. 300 °C ve 500 °C sıcaklıklara maruz bırakılan katkısız numunelerde su emme oranı sırasıyla %16,66 ve %24,44 oranında artış göstermiştir. Alkali aktive harç örnekleri incelendiğinde ise kontrol serileri, %5 ve 10 kolemanit katkısı ile su emme oranlarında sırasıyla %13,19 ve %13,88 oranında artışlara yol açmıştır. 300 ve 500 °C sıcaklıklara maruz bırakılan katkısız alkali aktive numunelerde su emme oranları sırasıyla %16,66 ve %29,86 oranında artış göstermiştir. Su emme deney sonuçlarına göre kolemanit katkılı numunelerin katkısız numunelere göre daha fazla su emdiği görülmüştür. Çimento ve alkali aktive kontrol numuneler arasında su emme ve boşluk oranı dikkate alındığında, çimento numunelerinde su emme oranlarının daha az olduğu görülmüştür.

Yüksek sıcaklık etkisinde basınç dayanımları incelendiğinde artan sıcaklıkla birlikte azaldığı kaydedilmiştir. Çalışmada alkali aktive harçların basınç dayanımları yüksek sıcaklığa bağlı olarak çimento harçlarınkine göre daha belirgin olarak azalmıştır. Kontrol numunesi dikkate alındığında 20 ° C’de 35 MPa olan basınç dayanımı, 300 ve 500 °C sıcaklıklara bırakılan numunelerde sırasıyla %32,9 ve 39,3 oranında kaybı uğramıştır. Çimento harç örnekleri incelendiğinde ise kontrol numunesinin 20 °C’ de 61,73 MPa elde edilen basınç dayanımı, 300 ve 500 °C ‘lere çıkıldığında sırasıyla %2,72 ve %33 oranında kayba uğramıştır.

Çimento harç numunelerinin lineer soğurma katsayıları 0,662 MeV enerjili gama ışınları için 0,196 ile 0,235 cm<sup>-1</sup> aralığında, 1,173 MeV enerjili gama ışınları için 0,144 ile 0,173 cm<sup>-1</sup> aralığında ve 1,332 MeV enerjili gama ışınları için 0,134 ile 0,161 cm<sup>-1</sup> aralığında değişmektedir. Alkali aktive harçlarda ise, 662 MeV enerjili gama ışınları için 0,158 ile 0,194 cm<sup>-1</sup> aralığında, 1,173 MeV enerjili gama ışınları için 0,117 ile 0,144 cm<sup>-1</sup> aralığında ve 1,332 MeV enerjili gama ışınları için 0,111 ile 0,135 cm<sup>-1</sup> aralığında değişmektedir. Çalışma kapsamında yüksek sıcaklık parametreleri ile lineer soğurma katsayıları üzerinde kayda değer etki olduğu görülmüştür. Genel olarak enerji seviyelerinin, kolemanit katkı oranının ve yüksek sıcaklık etkisinin artması ile harçlarda lineer soğurma katsayıları azaltmaktadır. Harçların yoğunluklarının azalması ile lineer soğurma katsayıları azaldığı anlaşılmaktadır.

Sonuç olarak ilerleyen çalışmalarda; farklı ağır agrega tipi, bor mineral(ler)i ve daha yüksek sıcaklıkların hazırlanacak alternatif bağlayıcılı harçların mekanik özelliklerine ve gama ışını soğurma performanslarına etkisinin araştırılması önerilmektedir.

## Kaynakça

- Akçansa, (2021). Çimento [Çimento özellikleri]. <http://www.akcansa.com.tr/> adresinden edinilmiştir.
- Akçansa, (2004). *Teknik Notlar 3*. Akçansa Yayınları, <http://www.akcansa.com.tr/> adresinden temin edilmiştir.
- Akkurt, I., Akyıldırım, H., Mavi, B., Kilincarslan, S., & Basyigit, C. (2010a). Photon attenuation coefficients of concrete includes barite in different rate. *Annals of Nuclear Energy*, 37(7), 910-914.
- Akkurt, I., Akyıldırım, H., Mavi, B., Kilincarslan, S., & Basyigit, C. (2010b). Gamma-ray shielding properties of concrete including barite at different energies. *Progress in Nuclear Energy*, 52(7), 620-623.
- Andrade, C., Alonso, C., & Khoury, G.A. (2003). Relating Microstructure to Properties, Course on Effect of Heat on Concrete, *International Centre for Mechanical Sciences (CISM)*, Italy.
- Anonymous. (1982). Dünyada ve Türkiye’de metal ve mineral kaynaklarının potansiyeli, ticareti, beklenen gelişmeleri. *M.T.A Enstitüsü Yayınları*, 187, Ankara.
- Anon. (1998). Çimento hammaddeleri ve yapı malzemeleri, *Devlet Planlama Teşkilatı*, Ankara, 62 s.
- Aruntaş, H.Y. (1996). *Diatomitlerin çimentolu sistemlerde puzolanik malzeme olarak kullanılabilirliği* (Doktora tezi, Gazi Üniversitesi). <https://tez.yok.gov.tr> adresinden edinilmiştir. (Tez No. 55243)
- ASTM, C 637. (2014). Standard specification for aggregates for radiation-shielding concrete. Annual Book of ASTM Standard. USA.
- ASTM, C 638. (2014). Standard descriptive nomenclature of constituents of aggregates for radiation-shielding concrete. Annual Book of ASTM Standard. USA.
- ASTM, C109/109M. (2010). Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars. annual book of astm standards (using 2-in. or [50-mm] cube specimens, 1. Chemical Analysis, (C109/C109M –11b), 1-9. *American Society for Testing and Methods*, USA.
- Baradan, B., Türkel, S., Yazıcı, H., Ün, H., Yiğiter, H., Felekoğlu, B., Tosun, K., Aydın, S., Yardımcı, M.Y., Topal, A., Öztürk, A.U. (2012). *Beton*, İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları.
- Baradan, B., Yazıcı, H. & Ün, H. (2002). *Betonarme Yapılarda Kalıcılık*, İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları.
- Başığit, C., Akkaş, A. K., & Kurtarıcı, M. N. (2012). Betonların Radyasyon Zırh Kalınlıklarının Yapay Sinir Ağları ve Çoklu Regresyon Metotları ile Tahmini. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 16(1), 77-81.
- Berber H. (2007). *Radyoaktivite*, Anadolu Üniversitesi Yayınları, Ünite 19, ss. 462-463.
- Bideci, Ö. S., & Bideci, A. (2018). Öğütülmüş Kolemanit Katkısının Çimento Harçlarına Etkisi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30(1), 133-138.
- Bilge, B. (2008). *Portland Çimentosu Farinine İlave Edilen Katkıların Çimentonun Sinterleşme Davranışına Etkisi* (Yüksek lisans tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi). <https://tez.yok.gov.tr> adresinden edinilmiştir. (Tez No. 179976)

- Chen, L., Wang, Z., Wang, Y., & Feng, J. (2016). Preparation and properties of alkali activated metakaolin-based geopolymer. *Materials*, 9(9), 767-779.
- Çek N., (2016). *Parçacıklar ve Enerji Kaynakları*. Lambert Academic Publishing, Saarbrücken, 338 p.
- Davidovits, J. (1991). Geopolymers: inorganic polymeric new materials. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 37(8), 1633-1656.
- Davidovits, J. (2008). *Geopolymer Chemistry and Application*. Institute of Geopolymer, (4th ed.). Quentin, France.
- Davidovits, J., (1999, July). *Chemistry of geopolymeric systems, terminology*, Geopolymer'99 International Conference, France.
- De Vargas, A. S., Dal Molin, D. C. C., Vilela, A. C. F., Da Silva, F. J., Pavao, B., & Veit, H. (2011). The effects of Na<sub>2</sub>O/SiO<sub>2</sub> molar ratio, curing temperature and ge on compressive strength, morphology and microstructure of alkali-activated fly ash-based geopolymers, *Cement & Concrete Composites*, 33, 653-660.
- Demir, F. (2010). Determination of mass attenuation coefficients of some boron ores at 59.54 keV by using scintillation detector. *Applied Radiation and Isotopes*, 68(1), 175-179.
- DPT (2001). *Çimento hammaddeleri, Madencilik Özel İhtisas Komisyon Raporu, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, no.IV*, 54s, Ankara.
- DPT (2001). *Kimya Sanayi Hammaddeleri: Bor Tuzları-Trona Kaya Tuzu-Sodyum Sülfat-Stronsiyum*, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Raporu Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Ankara.
- Duda, H. W. (1985). *Cement data book, Volüme 1: International Process Engineering in the Cement Industry*, Bauverlang GmbH-Wiesbaden und Berlin.
- Durmuş, A., Gürsoy, Y., & Ayvaz, Y. (1996). İnşaat Mühendisliğinde Ağır Betonlar, *İMO Mühendislik Bülteni*, 49, 25-28.
- Erdoğan, T. Y. (2003). *Beton*, Ankara: METU Press Yayınları.
- Erdoğan, Y. T. (1995). *Çimentolar*, (1. Baskı, 120 s.). Ankara: ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü Yayınları.
- Erdoğan, Y., Zeybek, M. S., & Demirbaş, A. (1998). Cement mixes containing colemanite from concentrator wastes. *Cement and Concrete Research*, 28, 605-609
- Eyüboğlu, S. (2013). *Kolemanit konsantratör atıklarının çimento üretiminde değerlendirilmesi* (Yüksek lisans tezi, Balıkesir Üniversitesi). <https://tez.yok.gov.tr> adresinden edinilmiştir. (Tez No. 352068)
- Gholampour, A., Ho, V. D., & Ozbakkaloglu, T. (2019). Ambient-cured geopolymer mortars prepared with waste-based sands: Mechanical and durability-related properties and microstructure. *Composites Part B: Engineering*, 160, 519-534.
- Gökçe, H. S. (2018.) *Yüksek kıvama sahip barit agregalı ağır betonların segregasyon özellikleri ve gama ışını soğurma katsayılarının belirlenmesi* (Doktora tezi, Ege Üniversitesi). <https://tez.yok.gov.tr> adresinden edinilmiştir. (Tez No. 498540)
- Gökçe, H. S., Güngör, O., Yılmaz, H., Malzemelerin nötronlar ve fotonlar için koruma özelliklerini simüle eden çevrimiçi bir yazılım: NGCal, *Radiation Physics and Chemistry* 185 (2021) 109519

- Griesser, A. (2002). *Cement- Superplasticizer Interactions at Ambient Temperatures*, (Doctoral Thesis, Swiss Federal Institute Of Technology). <https://scholar.google.com> Retrieved from Name of Database.
- Helvacı, C. & Orti, F. (1998). Miyosen kolemanit-üleksit yataklarının (Batı Anadolu, Türkiye) sedimantolojisi ve diyajenezi. *Sedimenter Araştırmalar Dergisi*, 68 (5), 1021-1033.
- Helvacı, C. (1983). Türkiye Borat Yataklarının Minerolojisi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 7(2), 37-54.
- Helvacı, C., & Alonso, R. N. (2000). Borate deposits of Turkey and Argentina; a summary and geological comparison. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 9(1), 1-27.
- Hubbell, J. H. (1982). Photon mass attenuation and energy-absorption coefficients. *The International Journal of Applied Radiation and Isotopes*, 33(11), 1269-1290.
- Jaeger, T. (1965). *Principles of Radiation Protection Engineering*, McGraw-Hill Book Comp. 451 p., New York.
- Johns, H. E., & Cunningham, J. R. (1983). *The Physics of Radiology*, C. Thomas Publishers.
- Kaçar, A. (2006). *Yapılarda radyasyon kalkını olarak kullanılan barit agregalı ağır beton elemanların zırh kalınlık hesaplarının belirlenmesi* (Yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi). <http://tez.sdu.edu.tr> adresinden edinilmiştir. (Tez No. 185537)
- Kaman, D. Ö., Köroğlu, L., Ayas, E., & Güney, Y. (2017). The effect of heat-treated boron derivative waste at 600° C on the mechanical and microstructural properties of cement mortar. *Construction and Building Materials*, 154, 743-751.
- Kapkaç F. (2012) *Çimento Çeşitleri, Özellikleri, Hammaddeleri ve Üretim Aşamaları*. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Maden Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığı. <http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/kutuphane/ekonomibultenleri adresinden temin edilmiştir>.
- Khoury G.A. (2003). *Fire & Assessment*, International Centre for Mechanical Sciences, Course on Effect of Heat on Concrete, Udine/Italy.
- Kılınçarslan, S. (2004). *Barit agregalı betonların radyasyon zırlamasındaki özellikleri ve optimal karışımlarının araştırılması* (Doktora tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi). <https://www.tubess.gov.tr/> adresinden edinilmiştir. (Tez No. 184294)
- Kılınçarslan, Ş., Başığit, C., Molla, T., & Sancar, S. (2011). Radyoaktif Işınlardan Korunaklı Ekolojik Yapılar. *Politeknik Dergisi*, 14(2), 93-99.
- Kıran, D. (2004). *Şarkikaraağaç-Isparta ve çevresindeki barit cevherleşmelerinin incelenmesi* (Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi). <https://polen.itu.edu.tr> adresinden edinilmiştir. (Tez No. 151547)
- Knoll, G. F. (1999). *Radiation Detection and Measurement*. (3. Edition), John Wiley and Sons Inc., 802p. USA.
- Koçak, Y. (2008). *Çimento- puzolan etkileşiminde moleküler ve elektrokinetik davranışların araştırılması* (Doktora tezi, Gazi Üniversitesi). <https://tez.yok.gov.tr> adresinden edinilmiştir. (Tez No. 233839)
- Kong, D. L., & Sanjayan, J. G. (2010). Effect of elevated temperatures on geopolymer paste, mortar and concrete. *Cement And Concrete Research*, 40(2), 334-339.
- Koyuncu, H., Bakış, R., Taşpolat, L. T., & Yılmaz, G. (2004, Eylül). *An Investigation on the Use of Borax Mineral as Portland Cement Replacement Material*. 2.Uluslararası Bor Sempozyumu. Eskişehir, Türkiye, 463-475.

- Köleli, Y., & Ülgür, S. Z. (2015). *TR63 Bölgesi Çimento Sektör Raporu*. Doğu Akdeniz Kalkınma Ajansı. (E. Z. Budak ve F. Gökşen Derleyiciler) Hatay, Kahramanmaraş, Osmaniye
- Kula, İ., (2000). *Bor endüstri atıklarının çimento üretiminde katkı maddesi olarak değerlendirilmesi* (Doktora tezi, Sakarya Üniversitesi). <https://tez.yok.gov.tr> adresinden edinilmiştir. (Tez No. 104321)
- Kurudirek, M., Türkmen, İ., & Özdemir, Y. (2009). A study of photon interaction in some building materials: high-volume admixture of blast furnace slag into Portland cement. *Radiation Physics and Chemistry*, 78(9), 751-759.
- Leo, W. R (1994). *Techniques for nuclear and particle physics experiments*. (II. Edition), Springer Verlag, Berlin Heidelberg.
- Maden Tektik ve Arama Genel Müdürlüğü. (2021, 4 Nisan). Baritin fiziksel ve kimyasal yapısı. <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/barit> adresinden edinilmiştir.
- Mehta, P. K., & Manmohan, D. (1981). Influence of pozzolanic, slag, and chemical admixtures on pore size distribution and permeability of hardened cement pastes. *Cement, Concrete and Aggregates*, 3(1), 63-67.
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. (2014). *Concrete: microstructure, properties, and materials*. McGraw-Hill Education, New York, NY. USA.
- Nas, S. (2012). *Portland çimento ve uçucu kül ikameli çimentoların hidrasyon gelişimleri ile fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin araştırılması* (Yüksek lisans tezi, Düzce Üniversitesi). [www.ulusaltezmerkezi.net](http://www.ulusaltezmerkezi.net) adresinden edinilmiştir. (Tez No. 309254)
- Neville, A. M. (1981). *Properties of Concrete*. (3rd ed.). Longman Scientific & Technical, p. 25-39, England.
- Neville, A. M. (2000). *Properties of Concrete*. (Fourth Ed.). Longman Scientific and Technical, pp.581-585, New York, USA.
- Özdemir, M., & Öztürk, N. U. (2003). Utilization of clay wastes containing boron as cement additives. *Cement and Concrete Research*, 33(10), 1659-1661.
- Özkul, H., Taşdemir, M., & Topyay, M. (1999). *Çimento Beton*. Türkiye Hazır Beton Birliği. <http://www.thbb.org/faaliyetlerimiz/yayinlar/> adresinden temin edilmiştir.
- Palmo, A., Krivenko, P., Garcia--Lodeiro, I., Kavalerova, E., Maltseva, O., & Fernandez--Jimenez, A. (2014). A review on alkaline activation: new analytical perspectives. *Construction Materials Journal*, 62(315), e022.
- Palmo, A., Grutzeck, M. W., & Blanco, M. T. (1999). Alkali-activated fly ashes: A cement for the future. *Cement and Concrete Research*, 29(8), 1323-1329.
- Pehlivanoglu, H. E., Davraz, M., & Kılınçarslan, Ş. (2013). Bor Bileşiklerinin Çimento Priz Süresine Etkisi ve Denetlenebilirliği. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 5(3), 39-48.
- Postacıoğlu, B. (1986). *Beton-Bağlayıcı Maddeler*. İstanbul: Teknik Kitaplar Yayınevi.
- Rattanasak, U., & Chindaprasirt, P. (2009). Influence of NaOH solution on the synthesis of fly ash geopolymer. *Minerals Engineering*, 22(12), 1073-1078.
- Rende K. (2013). *Türkiye çimento sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonları* (Yüksek lisans tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Üniversitesi). <https://tez.yok.gov.tr> adresinden edinilmiştir. (Tez No. 341404)

- Rovnanik, P. (2010). Effect of curing temperature on the development of hard structure of metakaolin-based geopolymer. *Construction and Building Materials*, 24(7), 1176-1183.
- Sağlık, A., Sümer, O., Tunç, E., & Kocabeyler, F. (2009). Borlu aktif belit çimentosu ve DSI projelerinde uygulanabilirliği. *DSİ Teknik Bülteni*, 105, 1-26.
- Shultis, J. K., & Faw, R. E. (2002). *Fundamentals of nuclear science and engineering* (3rd ed.). Kansas city: CRC press.
- Şafak, A. (2014). *Çimento mineralojisinin ve petrografisinin çimento teknolojisine katkısı* (Yüksek lisans tezi, Niğde Üniversitesi). <https://tez.yok.gov.tr> adresinden edinilmiştir. (Tez No. 372586)
- TAEK, (1999). *Nükleer Enerji*, Ankara: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu. <https://nuken.tenmak.gov.tr/tr/> adresinden temin edilmiştir.
- Targan Ş, Olgun A, Erdoğan Y, & Sevinç V. (2002). Effect of supplementary cementing materials on the properties of cement and concrete, *Cement and Concrete Research*, 32(10), 1551-1558.
- Taşcı, A. (1993). *Borlanmış çeliklerin aşınma ve korozyon dayanımları* (Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi). <https://www.tubess.gov.tr/> adresinden edinilmiştir. (Tez No. 29155)
- Tekin, İ. (2005, Ağustos). *Çimento harçlarının porozitesinin bilgisayarlı tomografi ile belirlenmesi* (Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi). <https://tez.yok.gov.tr> adresinden edinilmiştir. (Tez No. 165913)
- TMMOB Maden Mühendisleri Odası. (2016). *Bor Raporu*. Ankara: Türkiye Mühendis Mimarlar Odası Maden Mühendisler Odası. <http://www.mining-eng.org.tr/raporlar/borraporu> adresinden temin edilmiştir.
- TMMOB Maden Mühendisleri Odası. (2016). *Madencilik Sektörü*. Ankara: Türkiye Mühendis Mimarlar Odası Maden Mühendisler Odası. <http://www.mining-eng.org.tr> adresinden temin edilmiştir.
- Toktay, M. & Dilek, F. T. (2003). Mineral katkılı çimentolu sistemlerin sülfata dayanıklılığı, *Tübitak Araştırma Projesi Raporu* (İntag-645), Ankara.
- TS EN 196-1.(2012). Çimento deney metotları-Bölüm 1: Deney numunelerinin basınç dayanım tayini. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara.
- TS EN 196-3. (2012). Çimento deney metotları-Bölüm 3: Priz süresi ve hacim genleşme tayini. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara.
- TS EN 197-1.(2012). Genel çimentolar-Bölüm 1: Bileşim ve özellikler. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara.
- Tsoufanidis, N. (1995). *Measurement and Detection of Radiation*. (2nd ed.). Taylor & Francis, p.614, USA.
- Ulusal Bor Araştırma Merkezi. (2021, 3 Haziran). Bor element, özellikleri ve tarihçesi. <https://www.boren.gov.tr> adresinden edinilmiştir.
- Ustaş, İ. (2011). *Kolemanit ve Üleksitin Çimentoda Kullanılabilirliğinin Araştırılması*. Hazır Beton Kongresi, İstanbul, 417501, s.367-375
- Walker, R. L., & Grotenhuis, M. (1961). *A summary of shielding constants for concrete* (No. ANL-6443). Michigan Coll. Of Mining and Tech., Houghton, Mi (US): International Inst. Of Nuclear Science and Engineering, Argonne, Ill. (US).

- Yarar, Y. (1994). *Kolemanitli betonların nötron zırhlama etkinliğinin ve aktivitesinin incelenmesi* (Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi). <https://www.tubess.gov.tr/> adresinden edinilmiştir. (Tez No. 35713)
- Yeğınobalı, A. (1999). *Portland Çimentosu (Bazı Temel Bilgiler)*. Ankara: Türkiye ÇimentoSanayicileriBirliğı. [https://www.turkcimento.org.tr/tr/cimento\\_uretiminin\\_tari\\_hcesi\\_adresinden\\_temin\\_edilmiştir](https://www.turkcimento.org.tr/tr/cimento_uretiminin_tari_hcesi_adresinden_temin_edilmiştir).
- Yıldız, S. (2008). *Emet Bor İşletmesi Hisarcık Konsantratör Atıklarının Portland Çimentosu Özelliklerine Etkisi* (Yüksek lisans tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi). <https://www.ulusaltezmerkezi.net> adresinden edinilmiştir. (Tez No. 179965)
- Yip, C. K., Lukey, G. C., Provis, J. L., & Van Deventer, J. S. J. (2008). Effect of calcium silicate sources on geopolymerisation. *Cement and Concrete Research*, 38(4), 554-564.
- Zhang, Y. J., Li, S., Wang, Y. C., & Xu, D. L., (2012). Microstructural and strength evolutions of geopolymer composite reinforced by resin exposed to elevated temperature, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 358, 620–624.

### Öz geçmiş

..... İlkokul ve lise eğitimini Samsun'da tamamlamıştır. 2018 yılında Bayburt Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. 2019 yılında Bayburt Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Aynı yıl içerisinde Erzurum Atatürk Üniversitesi Acil Durum ve Afet Yönetimi bölümünde eğitimi başlamıştır.

