



**KOLEMANİT KULLANILARAK ÜRETİLEN ALKALİ
AKTİVE HARÇLARIN NÖTRON SOĞURMA
ÖZELLİKLERİNE YÜKSEK SICAKLIĞIN ETKİSİ**

Muhammet Sami TÜRETKEN

**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

**KOLEMANİT KULLANILARAK ÜRETİLEN ALKALİ AKTİVE HARÇLARIN
NÖTRON SOĞURMA ÖZELLİKLERİNE YÜKSEK SICAKLIĞIN ETKİSİ**

(The Effect of High Temperature on the Neutron Attenuation Properties
of Alkali- Activated Mortars Produced by Using Colemanite)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammet Sami TÜRETKEN

Danışman: Doç. Dr. H. Süleyman GÖKÇE

Bayburt
Temmuz, 2021

KABUL VE ONAY TUTANAĐI

Doç. Dr. H. Süleyman GÖKÇE danışmanlığında, 182002004 numaralı Muhammet Sami TÜRETKEN tarafından hazırlanan “Kolemanit Kullanılarak retilen Alkali Aktive Harçların Nötron Soğurma zelliklerine Yüksek Sıcaklığın Etkisi” başlıklı bu çalışma 07.07.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Programında Yüksek Lisans Tezi olarak oy birliği ile başarılı kabul edilmiştir.

Bařkan: Dr. Öėr. Üyesi aėlar 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 ėretim Yönetmeliėi’nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

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

Doç. Dr. Fatih GÜRBÜZ

Enstitü Müdürü

ETİK VE BİLDİRİM SAYFASI

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Kolemanit Kullanılarak Üretilen Alkali Aktive Harçların Nötron Soğurma Özelliklerine Yüksek Sıcaklığın Etkisi” başlıklı çalışmanın tarafımdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını ve yararlandığım eserleri kaynakçada gösterdiğimi beyan ederim.

... / ...2021

İmza

Muhammet Sami TÜRETKEN

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde bana her türlü desteği sağlayan motivasyonumu hep üst düzeyde tutmama yardımcı olan, beni her daim güler yüzle karşılayan ve tez sürecimde yalnız bırakmayan çok değerli danışman hocam Doç. Dr. H. Süleyman GÖKÇE'ye teşekkür ederim.

Laboratuvar donanımı hakkında teknik destek olan ve deneylerin yapılışı konusunda bilgi ve tecrübeleriyle desteğini ve bilgisini benimle paylaşmaktan hiçbir zaman çekinmeyen, her zaman destek olan güler yüzlü ve samimiyetini her daim hissettiğim 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 destek veren Erzurum Aşkale Çimento Sanayi T.A.Ş. firmasına teşekkür ederim.

Yüksek lisans tezimin her aşamalarında maddi ve manevi destek, sevgi ve dualarını benden esirgemeyen kıymetli annem Melek TÜRETKEN, ağabeyim Ahmet Burak TÜRETKEN ve bende yeri çok ayrı olan lisans ve lisansüstü dönemde hep benimle birlikte olan Süreyya KÖK'e teşekkür ederim.

Maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen sevgili dayılarım Prof. Dr. Hasan GÜRBÜZ, Süleyman GÜRBÜZ ve çok değerli eşlerine, yine tez sürecimde benden dualarını esirgemeyen ve sürekli yanımda hissettiğim kuzenlerim Muhammet Halit GÜRBÜZ, Muhammet Enes GÜRBÜZ ve Ömer Faruk GÜRBÜZ'e teşekkür ederim.

Bu tezi başta her zaman kişiliğini ve karakterini örnek aldığı onun yürümüş olduğu akademi yolundan yürümek için çabaladığım ve şu an hayatta olmasa bile her zaman yanımda hissettiğim babam İlyas TÜRETKEN olmak üzere tüm aileme ithaf ediyorum.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KOLEMANİT KULLANARAK ÜRETİLEN ALKALİ AKTİVE HARÇLARIN NÖTRON SOĞURMA ÖZELLİKLERİNE YÜKSEK SICAKLIĞIN ETKİSİ

Muhammet Sami TÜRETKEN

Temmuz 2021, 66 Sayfa

Son yıllarda yapılarda yüksek sıcaklığa dayanıklı kimyasal ve mineral katkıların kullanımı ile betonlar üretilmeye başlanmıştır. Bu amaçla tez çalışmasında da alkali aktive malzeme ve çimento olmak üzere iki farklı bağlayıcı kullanılarak hazırlanan harçların fiziksel ve mekanik özellikleri yüksek sıcaklık sonrası nötron soğurma performanslarına kolemanitin etkisi incelenmesi amaçlanmıştır. Bağlayıcı malzemeye %5 ve 10 oranlarında ikame edilen kolemanit tozu ile uygun kür şartlarında üretilen harç numuneleri 300°C ve 500°C sıcaklıklara tabi tutulmuştur. Ayrıca çalışma kapsamında, yüksek sıcaklığın, termal nötron (25,4 meV) soğurma performansına etkisi *NGCal* programı ile teorik olarak lineer soğurma katsayıları araştırılmıştır. Bağlayıcı malzemelerde %5 ve 10 kolemanit kullanımı çimento serileri için priz başlangıç sürelerini %11,8 ve 88,2 oranında ve priz bitiş sürelerini de %90,8 ve 182,9 oranında artırmıştır. Alkali aktive hamur serilerinde ise priz başlangıç süreleri %66,7 ve 22 oranında, priz bitiş sürelerinin de %6,7 ve 9,1 oranında azaldığı gözlemlenmiştir. Çimento harç numunelerinde kolemanitin kullanımı su emme değerlerini %30'a varan oranda artırırken basınç dayanımı değerlerini %21'e varan oranda düşürmüştür. Alkali aktive harç numunelerinde ise su emme değerleri %8'e varan oranda artmış ve basınç dayanım değerlerini %41'e varan oranda düşürmüştür. Kolemanit ikamesinin çimento harç serilerinde basınç dayanımı bakımından daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. %5 ve 10 kolemanit kullanımı termal nötron soğurma faktörlerini çimento harç karışımlarında sırasıyla %10 ve 18, alkali aktive harç karışımlarında ise %6 ve 10 oranında artırmıştır. 500 °C'de yüksek sıcaklığa maruz kalan harçların basınç dayanımı %10 kolemanit katkısında çimento serileri için %20 azalırken, alkali aktive harç serileri için %33 oranında azalmıştır. Buna paralel olarak nötron soğurma performanslarında da benzer kayıplar gözlemlenmiştir. Termal nötron soğurma performansı daha düşük olan çimento harçlarının lineer soğurma faktörleri, yüksek sıcaklıkta %11'e varan kayıpla 1,76 cm⁻¹'den 1,55 cm⁻¹'e düşerken, alkali aktive harçlarda bu değer %17'e varan kayıpla 2,87 cm⁻¹'den 2,38 cm⁻¹'e düşmüştür. Bu tez çalışmasının sonucunda, ülkemizde önemli bir bor cevheri olan kolemanitin çimento ve alkali aktive bağlayıcılarda nötron soğurma performansları bakımından katkı malzemesi olarak kullanılabileceği ve kullanım alanlarının bu çerçevede genişletilebileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Alkali aktive malzeme, çimento harcı, kolemanit, nötron soğurma performansı, yüksek sıcaklık.

ABSTRACT

MASTER'S THESIS

THE EFFECT OF HIGH TEMPERATURE ON THE NEUTRON ATTENUATION PROPERTIES OF ALKALI ACTIVATED MORTARS PRODUCED BY USING COLEMANITE

Muhammet Sami TÜRETKEN

July 2021, 66 Pages

In recent years, concrete has started to be produced with the use of chemical and mineral additives resistant to high temperatures in buildings. For this purpose, in the thesis study, it was aimed to examine the effect of colemanite on the physical and mechanical properties of mortars prepared by using two different binders, alkali-activated material and cement, on their neutron attenuation performance after high temperature. For this purpose, the mortar samples produced by substitution of colemanite powder at 5 and 10% into the binder at suitable curing conditions were exposed to the temperatures of 300 and 500°C. In addition, within the scope of the study, the effect of high temperature on thermal neutron (25.4 MeV) attenuation performance was investigated theoretically with the NGCal program and the linear attenuation coefficients. The use of 5 and 10% colemanite in binding materials increased the initial setting times by 11,8 and 88,2%, and the final setting times by 90,8 and 182,9% for cement series. In the alkaline activated paste series, it was observed that the initial setting times reduced by 66,7 and 22,0%, and the final setting times by 6,7 and 9,1%. Although the use of colemanite increased the water absorption values by up to 30%, decreased the compressive strength values by up to 21,8% in cement mortar samples. In the alkali-activated mortar samples, the water absorption values increased by up to 8%, and the compressive strength values reduced by up to 41,1%. It is seen that the colemanite substitution presents more satisfactory compressive strength results in cement mortar series. The 5 and 10% colemanite increased the thermal neutron attenuation factors by %10,81 and %18,91 in cement mortar mixtures, and by 6,15 and 10,3% in alkali-activated mortar mixtures, respectively. At %10 colemanite substitution, while the compressive strength values of mortars exposed to 500-°C high temperature decreased by %20,2 for cement series, reduced by 33,3 for alkali-activated mortar series. In parallel with these results, similar losses were observed in neutron attenuation performances. At the high temperature, while the linear attenuation factors of cement mortars which have lower thermal neutron attenuation performance decreased from $1,76\text{ cm}^{-1}$ to $1,55\text{ cm}^{-1}$ with a loss of 11,9%, reduced from $2,87\text{ cm}^{-1}$ to $2,38\text{ cm}^{-1}$ with a loss of 17,1% in alkali-activated mortars. It decreased from. As a result of the thesis study, it has been seen that the colemanite which has been and important boron ore in our country can be used as an substitution material in cement and alkali-activated binders in terms of neutron attenuation performance, and its existing usage area can be expanded in this respect.

Keywords: Alkali-activated material, cement mortar, colemanite, neutron attenuation performance, high temperature.

İÇİNDEKİLER

ETİK VE BİLDİRİM SAYFASI.....	i
TEŞEKKÜR.....	ii
ÖZ	iii
ABSTRACT	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
TABLolar DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ. HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.	i

BİRİNCİ BÖLÜM

Giriş.....	1
------------	---

İKİNCİ BÖLÜM

Kaynak Özetleri.....	3
Çimento	3
Çimentonun tarihçesi.....	3
Çimento çeşitleri.....	3
Çimento bileşenleri.....	4
Dikalsiyum silikat (C_2S).....	4
Tri-kalsiyum silikat (C_3S).....	4
Tri-kalsiyum alüminat (C_3A).....	4
Kalsiyum alüminoferrit (C_4AF).....	5
Çimento üretimi.....	5
Geopolimer	6
Geopolimer kimyası.....	6
Geopolimer bileşenleri.....	8
Hammaddeler.....	8
Alkali sıvılar.....	9
Sodyum silikat ($Na_2(SiO_2)_nO$).....	9
Sodyum hidroksit (NaOH).....	9
Kalsiyum hidroksit ($Ca(OH)_2$).....	9
Potasyum hidroksit (KOH).....	10
Bor Elementi.....	10
Önemli bazı bor mineralleri.....	11
Kolemanit.....	11

Üleksit.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Kernit (Razorit).....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Tinkal (Boraks).....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Probertit.	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Borik Asit.	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Radyasyon Hakkında Bilgilendirme.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Radyasyon tanımı ve çeşitleri.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Partiküler radyasyon.	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Alfa parçacıkları (ışını).....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Beta Işını (β).	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Nötronlar.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Nötronların madde ile etkileşimi.	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Esnek saçılma.	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Esnek olmayan saçılma.	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Yakalanma reaksiyonları.	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Elektromanyetik radyasyon (Fotonlar).....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
X – ışınları.	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Gama ışını.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Gama ışınlarının madde ile etkileşimi.	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Fotoelektrik etki.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Compton olayı.	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Çift oluşumu.	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Soğurma.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
X ve gama ışınları soğurma.	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Nötron radyasyonu.	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Literatürdeki Bazı Çalışmalar.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

Malzeme Yöntem	25
Malzemeler	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Metakaolin.	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Uçucu kül.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Alkali aktivatörler.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Sodyum hidroksit (NaOH).....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Sodyum silikat (Na_2SiO_3).....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Çimento.	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Rilem-Cembureau standart kumu	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Kolemanit.	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Karma Suyu.	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Yöntem	31
Karışım özellikleri.	31
Alkali çözeltilerin hazırlanması.....	32
Çimento ve alkali aktive harçlarının üretimi.	33
Karışımların kür yöntemleri	34
Deneyssel çalışmalar.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Alkali aktive ve çimento hamurları üzerinde yapılan deneyler.	36
Kıvam tayini deneyi.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

Priz süresi tayini deneyi.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Alkali aktive ve çimento harçları üzerinde yapılan deneyler.	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
İşlenebilirlik deneyi.	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Boşluk oranı, su emme, birim hacim ağırlık deneyleri.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Basınç dayanım testi.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Yüksek sıcaklık direnci testi.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Numunelerin lineer soğurma katsayılarının NGCal yazılımı ile hesaplanması.	43

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

Araştırma Bulguları ve Tartışma.....	46
Çimento ve Alkali Aktive Hamurlar Üzerinde Yapılan Deneylerin Sonuçları	46
Priz başlangıç, priz bitiş deneyi sonuçları.	46
Çimento ve Alkali Aktive Harçlar Üzerinde Yapılan Deneylerin Sonuçları	47
Yayılma tablası deneyi sonuçları.....	47
Birim hacim ağırlık, boşluk oranı ve ağırlıkça su emme sonuçları	48
Kolemanit katkısının Portland çimento harç serilerinde basınç dayanım sonuçlarına etkisi	50
Yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası çimento serilerin basınç dayanım sonuçları.. Hata! Yer işareti tanımlanmamış.	
Yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası alkali aktive harç serilerinin basınç dayanım sonuçları	53
Kolemanit katkısının alkali aktive harç serilerinde basınç dayanım sonuçlarına etkisi ...	54
Numunelerin lineer soğurma katsayılarına yüksek sıcaklığın etkisi	54

BEŞİNCİ BÖLÜM

Sonuçlar ve Öneriler	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Kaynakça.....	60
Öz Geçmiş.....	66

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Çimentonun Ana Bileşenleri.....	4
Tablo 2. Çimento Ana Bileşenlerinin Özellikleri.....	5
Tablo 3. Bor Elementinin Özellikleri.....	11
Tablo 4. Metakaolin Kimyasal Bileşenlerinin Analizi.....	25
Tablo 5. Uçucu Kül Kimyasal Bileşenlerinin Analizi.....	26
Tablo 6. Sodyum Silikatın Kimyasal Özellikleri.....	28
Tablo 7. Portland Çimentosu Kimyasal Bileşenlerinin Analizi.....	29
Tablo 8. Rilem-Cembureau Standart Kum Kimyasal Bileşenlerinin Analizi	30
Tablo 9. Kolemanit kimyasal bileşenlerinin analizi	31
Tablo 10. Alkali Aktive Harçların Karışım Oranları	32
Tablo 11. Çimento Harçları Karışım Oranları	32
Tablo 12. Alkali Aktive Hamur Karışım Oranı.....	37
Tablo 13. Çimento Hamuru Karışım Oranı.....	37
Tablo 14. Alkali Aktive Serilerin Oksit Analiz Değerleri	44
Tablo 15. Çimento Serilerin Oksit Analiz Değerleri	45
Tablo 16. Hamurlar Üzerinde Yapılan Deneyler ve Sonuçları	46
Tablo 17. Bor Katkılı Portland Çimento Harçların Yayılma Tablası Deney Sonuçları	47
Tablo 18. Bor Katkılı Alkali Aktive Harçların Yayılma Tablası Deney Sonuçları.....	48
Tablo 19. Ç. Numunelerinin Su Emme, Yoğunluk ve Boşluk Oranı Deneyi Sonuçları	48
Tablo 20. Alkali Aktive Harç Numunelerin Ağırlıkça Su Emme, Birim Hacim Ağırlık, Boşluk Oran Sonuçları	49

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Geopolimer oluşumunun denklemleri.	7
Şekil 2. Geopolimer türleri.....	8
Şekil 3. Geopolimer zincir yapı modeli.	8
Şekil 4. Elektromanyetik radyasyonun enerji spektrumu.	13
Şekil 5. Nötronun bir çekirdekten elastik saçılması.....	16
Şekil 6. Nötronun inelastik saçılması.....	17
Şekil 7. Nötron yakalanması.	17
Şekil 8. Gama ışınlarının maddeler ile etkileşme mekanizması.	18
Şekil 9. Foto Elektrik Olay.	19
Şekil 10. Compton Olayı.....	19
Şekil 11. Çift oluşum olayı.	20
Şekil 12. Metakaolin.	26
Şekil 13. Uçucu kül.....	27
Şekil 14. Sodyum hidroksit.....	27
Şekil 15. Sodyum silikat.	28
Şekil 16. Portland çimento 42,5R.	29
Şekil 17. . Rilem-Cembureau standart kum	30
Şekil 18. Kolemanit.....	31
Şekil 19. 50×50×50 mm küp kalıplara dökülen alkali aktive numuneler.	33
Şekil 20. 50×50×50 mm küp kalıplara dökülen numuneler.....	34
Şekil 21. İki aşamalı laboratuvar tipi mikser.	34
Şekil 22. Laboratuvar tipi etüv.....	35
Şekil 23. Alkali aktive numunelerin kürlenmesi.....	35
Şekil 24. Çimento numunelerinin kürlenmesi.....	36
Şekil 25. Vicat aleti ve kıvam deneyi yapılan numune.....	38
Şekil 26. Vicat aleti ve priz başlangıç ve bitiş deneyleri yapılan hamur	39
Şekil 27. Yayılma tablası ile kıvam tayini deneyi	39
Şekil 28. Basınç deneyi ara yüzü	41
Şekil 29. Basınç deneyi düzeneği	41
Şekil 30. Yüksek sıcaklık fırını.....	42
Şekil 31. Fırına konulan numuneler.....	42
Şekil 32. Isınma rejimleri.....	44
Şekil 33. NGCal ekran arayüzü.....	44

Şekil 34. Portland çimentosunda kolemanit katkısının basınç dayanımına etkisinin sonuçları	51
Şekil 35. 28 günlük portland çimento numunelerinin yüksek sıcaklığa bağlı olarak basınç dayanım sonuçları.....	522
Şekil 36. Alkali aktive harç numunelerin yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası basınç dayanım sonuçları.....	53
Şekil 37. %0 kolemanit katkılı portland çimento lineer soğurma katsayıları	55
Şekil 38. %5 kolemanit katkılı portland çimento lineer soğurma katsayıları	55
Şekil 39. %10 kolemanit katkılı portland çimento lineer soğurma katsayıları	56
Şekil 40. %0 kolemanit katkılı alkali aktive lineer soğurma katsayıları.....	57
Şekil 41. %5 kolemanit katkılı alkali aktive lineer soğurma katsayıları.....	57
Şekil 42. %10 kolemanit katkılı alkali aktive lineer soğurma katsayıları.....	58



KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

Kısaltmalar

ASTM : American Society for Testing and Materials (Amerikan Test ve Materyal Topluluğu)

DPT : Devlet Planlama Teşkilatı

HVL : Yarı Kalınlık

MK : Metakaolin

NGCal : A Calculator For Transmission Properties of Neutrons and Photons (Nötronların ve Fotonların İletim Özellikleri için Bir Hesap Makinesi)

PÇ : Portland Çimento

PÇK : Portland Çimento Kolemanit

TMMOB : Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği

TSE : Türk Standartları Enstitüsü

UK : Uçucu Kül

Simgeler

A_c : Deney Numunesi Kesit Ortalama Alanını

Al₂O₃ : Alüminyum Oksit

B : Bor

BaSO₄ : Baryum Sülfat

B₂O₃ : Borik Asit

CaO : Kalsiyum Oksit

CaCO₃ : Kalsiyum Karbonat

Ca(OH)₂ : Kalsiyum Hidroksit

C-S-H : Tobermorit

C₂S : Belit

C₃S : Alit

C₃A : Trikalsiyum Alüminat

C₄AF : Tetrakalsiyum Alüminoferrit

E_γ	: Fotonun Enerjisi
E_b	: Elektronun Bağlanma Enerjisi
E_k	: Elektronun Kinetik Enerjisi
E_γ'	: Saęılan Fotonun Enerjisi
eV	: 1 Elektron Volt
F	: Kırılma Yüğü
f_c	: Deney Numunesi Basınę Dayanımını
Fe_2O_3	: Demir Oksit
G	: Görünen Porozite
K	: Kolemanit
keV	: Kilo Elektron Volt
K_2O	: Potasyum Oksit
$m_e c^2$	: Elektronun Durgun Kütle Enerjisi
MeV	: Milyon Elektron Volt
MgO	: Magnezyum Oksit
MPa	: Megapascal
NaOH	: Sodyum Hidroksit
Na_2O	: Sodyum Oksit
Na_2SiO_3	: Sodyum Silikat
S	: Kütlece Su Emme
SiO_2	: Silisyum Dioksit
SO_3	: Kükürt Trioksit
T	: Saęılan Elektronun Enerjisi
β^+	: Pozitron
γ	: Gama Işını
σ	: Compton Oluşumu
κ	: Çift Oluşumu

τ	: Fotoelektrik Oluşumu
Θ	: Fotonun Saçılma Açısı
X	: Numune Kalınlığı
M	: Lineer Soğurma Katsayısı
$x_{(1/2)}$	: Yarı Değer Kalınlığı
μ	: Toplam Doğrusal Zayıflatma Belirtmektedir
$^{\circ}\text{C}$	: Santigrat Derece
%	: Yüzde



BİRİNCİ BÖLÜM

Giriş

Yaşamımızda radyasyonun kullanımı ve etkileri çok önemli bir yer tutar. Teknolojinin gelişimi ile radyoaktif kaynaklar tıp, enerji, endüstri gibi alanlarda sıkça kullanılmaya başlanmıştır. Günlük hayatta iyonize radyasyonlara maruz kalınması sağlık açısından ölümcül bir risk oluşturabilir. Bu da radyasyonun zarar verici etkilerinden korunmak için çözüm yolları aranmasına neden olmaktadır. Bu nedenle son zamanlarda radyasyonla ilgili çalışmalar artmaktadır. Özellikle radyasyonun canlılar için zararlı olmasından dolayı, radyasyondan korunma yöntemleri önem kazanmıştır. Bu yöntemler içerisinde en önemlisi olan zırhlama, radyasyondan korunacak canlı ile radyasyon kaynağı arasına engel (soğurucu) konulmasına dayanmaktadır. Bu nedenle araştırmacılar radyasyonun zırhlanmasına yönelik farklı beton malzemeler üreterek bu malzemelerin radyasyon soğurma özelliklerini incelemişlerdir (Akkurt, Altındağ, Günoğlu, & Sarıkaya, 2012).

Bu malzemeler içerisinde en önemli bileşen olan çimento, hidrolik bir bağlayıcı malzeme olarak tanımlanır (Akkurt, Akyıldırım, Mavi, Kılıncarslan, & Basyigit, 2010). Hidrolik bağlayıcı maddelerden çimento, su ile reaksiyon sonucu sert bir kütle oluşturur ve genel olarak beton hacminin hamur olarak %25 ile %35 aralığını oluşturmaktadır (Mehta, & Monteiro, 2006). Hidrojenli ürünlerin karışımlarından oluşan malzemelerin genel olarak etkin bir nötron soğurma performansı olduğu bilinmektedir (El-Khayatt, 2011).

Geopolimer ise son yıllarda yüksek performanslı kompozit ve seramik gibi malzemelerin üretiminde özellikle çimento esaslı bağlayıcılar yerine kullanılabilen ve sentetik alüminosilikat sınıfına giren bir malzemedir (El-Khayatt, 1999). *Alüminosilikatlar*, ana oksitleri alüminyum oksit (Al_2O_3) ve silisyum oksit (SiO_2) olan, doğal ya da sonradan ısıtılma sonucu amorf yapıya sahip malzemelerdir. Doğada bulunan ve atık olarak ortaya çıkan pek çok alüminosilikat malzeme bulunmaktadır. Bu açıdan, bu malzemelerin bağlayıcı olarak kullanımı çevre etkisi ve inşaat sektörü açısından daha da önem kazanmaktadır. Geopolimer beton üretiminde en yaygın olarak kullanılan alüminosilikat malzemeleri uçucu kül ve yüksek fırın cürufudur (Pacheco-Torgal vd., 2015).

Radyasyon kaynaklarının soğrulma özelliklerine göre alfa, ince bir kâğıt tabakası veya cildimiz tarafından soğrulur. Beta ince bir metal tabakası tarafından soğrulur. Gama giricilik özelliği daha fazla olup kurşun ve beton gibi yoğun malzemelerde soğrulur. Nötron ise, parafin,

beton, su gibi hidrojenle zengin ortamlarda etkin bir şekilde soğurulduğu bilinmektedir. Farklı bağlayıcı tiplerinin nötronların soğurulma performanslarına etkisini araştıran çalışmaya rastlanılmamıştır.

Bu nedenle araştırmada, bor mineralleri kullanılarak üretilen alkali aktive harçlarda yüksek sıcaklığın, termal nötron (25,4 *meV*) soğurma performansına etkisinin incelenmesi hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen bağlayıcı harçlarda, teorik olarak nötron soğurma katsayıları hesaplanacaktır.



İKİNCİ BÖLÜM

Kaynak Özetleri

Çimento

Çimento, içeriğinde belirli oranlarda Al_2O_3 , SiO_2 , CaO ve Fe_2O_3 bulunan hammaddelerin kalsine edilmesi sonucunda elde edilen klinkerin alçıtaşı da ilave edilerek öğütülmesiyle elde edilen bağlayıcı türüdür. Hidrolik bağlayıcı olan çimento su ile karıştırıldığında hava ve suyun etkisiyle katılaştıran ve katılaştıktan sonra da olumsuz şartlara karşı dayanıklı olan bir malzemedir (Ünsal, & Şen, 2008; Tekin, 2014). Yürürlükte bulunan TS EN 197-1 çimento standardına göre çimento su ile karıştırıldığında bazı prosesler ve gerçekleştirdiği hidrasyon reaksiyonları sebebiyle priz alan, sertleşen sonrasında da dayanım kazanan malzemelerdir (TS EN 197-1 – Çimento – Bölüm 1. TSE, Mart 2002). TS EN 197-1 standardına göre çimentolar CEM I, CEM II, CEM III, CEM IV ve CEM V olmak üzere beş gruba ayrılmıştır.

Çimentonun tarihçesi.

Çimento adlandırılması bağlayıcı anlamına gelen Latince de ki *caementum* kelimesinden gelmektedir. Betonarme yapılar ilk 1852 yıllarında yapılmaya başlanmış olsa da tarihte bağlayıcı olarak kullanılan malzemeler kireç ve alçıtaşı olmuştur. Kireç ve alçıtaşı bağlayıcı olarak kullanan ilk toplumlar ise Eski Yunanlılar ve Romalılar olmuştur. İngiltere de 1824 tarihinde Joseph Aspdin adındaki bir duvar ustasının kil ve kalkerini karıştırarak pişirdikten sonra öğütürerek bağlayıcı malzeme üretmiştir. Çimento üretiminin patentini alan kişi ise 1824'te Aspdin almıştır. İngiltere'nin Portland adasından temin edilen ve yapı taşlarına benzetilmesinden kaynaklı Portland çimentosu adı verilmiştir. Çimentonun esas üretim işlemi ise 1845'te Isaac Johnson tarafından belirlenmiştir. Çimento fabrikası ilk kez İngiltere' de 1848 yılında kurulmuştur. Çimento standardı 1860 da Almaya' da oluşturulmuştur (Bilge, 2008; Nas, 2012; Şafak, 2014).

Çimento çeşitleri.

TS EN 197-1'e göre çimentolar beş farklı sınıfta incelenmiştir. CEM I- Portland Çimentosu, CEM II -Portland Kompoze Çimento, CEM III- Yüksek Fırın Cürufu Çimento, CEM IV- Pozolanlı Çimento, CEM V- Kompoze Çimento olmak üzere beş gruba ayrılır.

CEM I Portland çimentosu sadece klinker ve alçıtaşından elde edilen tek tip katkısız çimentodur. CEM II Portland kompoze çimento uçucu kül, cüruf, pişmiş şist, silis dumanı gibi farklı puzolanik katkılardan sadece birini belirli oranlarda içeren çimentodur. %35 dan fazla cüruf barındıran çimentolar için CEM III tipi çimento olarak tanımlanmıştır. CEM IV ve CEM V tipi çimentolar ise birden fazla mineral katkıyı ihtiva eden çimento tipleridir.

Çimento bileşenleri.

Çimento dört ana bileşenli karma oksitlerden oluşur. Çimento içerisinde bulunan bu dört ana bileşen çimentonun mekanik ve fiziksel özelliklerinin oluşmasında ana etkindir. Çimento ana bileşenleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Çimentonun Ana Bileşenleri

Ana Bileşenler	Çimentodaki formülü	Kimyasal Formülü
Dikalsiyum silikat	C ₂ S	2CaO.SiO ₂
Trikalsiyum silikat	C ₃ S	3CaO.SiO ₂
Trikalsiyum alüminat	C ₃ A	3CaO.Al ₂ O ₃
Tetrakalsiyum alüminoferrit	C ₄ AF	4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃

Dikalsiyum silikat (C₂S).

Su ile etkileşimi yavaştır ve düşük oranda ısı açığa çıkarır. Yüksek bağlayıcılık özelliği vardır. Çimentonun nihai dayanım kazanmasını sağlar ve ileriki yaşlarda etkisini gösterir (Demirer, 2009; Tekin, 2014).

Trikalsiyum silikat (C₃S).

Çimentonun mukavemet özelliğini belirleyen, klinkerin önemli minerali olan Alittir. Bu bileşen çimentoya erken dayanım kazandırır ve bağlayıcılık özelliği oldukça fazladır (Demirer, 2009; Tekin, 2014).

Trikalsiyum alüminat (C₃A).

Çimento karakteristiğinin oluşmasında önemli rolü vardır. Çimento içerisindeki miktarı genellikle %9-12 civarındadır. Açık gri renkte ve amorf yapı halindedir. Nihai dayanım üzerine etkisi yoktur. Su ile çok hızlı reaksiyona girerek ısı açığa çıkarır. Çimentonun hızlı priz

almasına sebep olur, bunun önüne geçmek içinde klinkere belirli oranlarda alçıtaşı katılır (Demirer, 2009; Tekin, 2014).

Kalsiyum alüminoferrit (C_4AF).

Çimentonun renginin oluşmasını sağlayan bileşendir. Çimentonun eren dayanım kazanmasını sağlar. Su ile reaksiyonu fazla değildir ve bağlayıcılık değeri azdır (Demirer, 2009; Tekin, 2014). Çimento ana bileşenlerinin özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. *Çimento Ana Bileşenlerinin Özellikleri*

Etki Mekanizmaları	CS_2	C_3S	C_3A	C_4AF
Reaksiyon Hızı	Yavaş	Orta	Hızlı	Orta
Hidratasyon Isısı	Az	Orta	Çok	Orta
Erken Bağlayıcılık Değeri	Düşük	Yüksek	Düşük	Düşük
İleri Bağlayıcılık Değeri	Yüksek	Yüksek	Düşük	Düşük

Çimento üretimi.

Çimento belirli oranlarda kalker ve kil malzemesinin kalsinasyonu il elde edilen beyaz ve gri renkli olan hidrolik bağlayıcı malzemedir (Ersoy, 2001, s.11). Kil ve kalker belirli oranlarda karıştırıldıktan sonra $1650^{\circ}C$ ’de kalsine edilmesiyle klinker elde edilir. Kalker yüksek sıcaklıkta kalsine edilmesiyle CaO , kilin kalsine edilmesiyle Al_2O_3 , SiO_2 ve Fe_2O_3 bileşenleri meydana gelir. SiO_2 ve Fe_2O_3 bileşiklerinin yetersizliğinde kil malzemesine kuvars kumu ve demir cevheri ilave edilir (Ramachandran, 1995). Kalsine işleminin devam etmesiyle silikat ve alüminatlar meydana gelir. Sonrasında klinker adında gri renkli küçük taneler oluşur. Bu oluşan klinker çimentonun ana hammaddesidir. Klinker soğutma işleminden sonra öğütme işlemine tabi tutulur. Klinkerin öğütme esnasında çimento priz süresini ayarlamak için klinkerin %3-5 civarında alçıtaşı ilave edilir. Öğütme işlemine tabi tutuşan bu malzemeler 90 mikronun altında olduğunda çimento halini almış olur (Postacıoğlu, 1986; Özkul, Taşdemir, & Topyay, 1999; Tekin, 2005).

Çimento üretimi aşama olarak anlatılması gerekirse, hammaddeler ilk önce konkasörlerde kırılarak homojen hale getirilir. Daha sonra homojen hale getirilen bu malzeme döner fırınlarda $1500^{\circ}C$ sıcaklığa maruz bırakılır. Malzemeler ısıya maruz bırakıldıkça çimento

oksitleri oluşmaya başlar. Çok kompoze yapıya sahip olan kil 500°C ile 600°C sıcaklıklarda ayrışmaya başlar ve SiO₂ ile Al₂O₃ oksitleri oluşur. 600°C de meydana gelen Al₂O₃, SiO₂ ve Fe₂O₃ ile 900°C de oluşan CaO bileşenleri 1200°C deki sıcaklıklarda reaksiyona girerler. 1250-1300°C de sıvılaşmaya, 1400°C de çimentonun ana bileşenleri oluşmaya başlar. Bu işlemler sonucunda koyu renkte, sert yapılı, 1mm ile 25mm çapa sahip klinkerler meydana gelir. (Erdoğan, 2007, s.13). Klinker elde edilmesinde sonra alçıtaşı ile öğütülmesiyle CEM-I Portland çimentosu üretilmiş olur. Farklı çimento tipleri üretmek içinse klinker ve alçıtaşının öğütülmesinin yanında mineral katkı maddeleri ilave edilir.

Geopolimer

Geopolimerler inorganik bağlayıcı bir eko malzemedir. İlk olarak 1978 yılında Davidovits tarafından sunulmuştur. Geopolimerlerin bağlayıcı sistemi, amorf yapıda ki alüminosilikat malzemelerin kimyasal çözeltilerle (potasyum hidroksit, potasyum silikat veya sodyum hidroksit, sodyum silikat karışımı şeklinde) aktive edilmesine dayanmaktadır, reaksiyon Si-Al-O bağları içeren bir yapıya sahiptir ve 3-D polimer zinciri üretir (Davidovits, 2008, s.6).

Geopolimerin, kalsiyum karbonata bağlı olmadığı belirtilmiştir ve bu nedenle üretim esnasında daha az CO₂ üretilir. CO₂ salınımında ki azalma %40 ile %80-90 arasında olabilmektedir (Davidovits, 2013, s.13).

Geopolimerlerin çeşitli özellikleri mevcuttur ve bu özellikler diğer bağlayıcılara göre tercih edilmesini sağlamaktadır. Bu özelliklerden bazıları şunlardır, yan ürünlerden üretilmesinden dolayı düşük maliyetli olması, alkali aktivasyonu sebebiyle hızlı basınç dayanımı gelişimi, düşük enerji tüketimi sağlaması ve yüksek sıcaklık dayanımına sahip olması, ayrıca geopolimerizasyon reaksiyonunun oda sıcaklığında meydana gelmesi önemli avantajlarındandır, bu özelliklerin yanında geopolimer üretiminin artışı sera gazı salınımını büyük ölçüde azaltmıştır (Davidovits, 1991; Krivenko vd., 2014).

Geopolimer kimyası.

Geopolimerin oluşumu kimyasal olarak Şekil 1’de ki gibidir.

Alkali Sıvılar.

Alkali çözeltilerin kullanım amacı, bağlayıcı malzemeleri aktive etmektir. Reaksiyonun oranı, alkali sıvı içinde çözünür silikat ile artar, dolayısıyla silikat ile hidroksitin karıştırılması sadece çözeltilerin maliyetini düşürmez, aynı zamanda aktivasyonunu da hızlandırır (Yip vd., 2008, s.4).

Geopolimer betonların üretiminde genel kullanılan alkali aktivatörler;

- Sodyum Silikat
- Sodyum Hidroksit
- Kalsiyum Hidroksit
- Potasyum Silikat

Sodyum silikat ($Na_2(SiO_2)_nO$).

En çok bulunan ve mineral grupları içinde en geniş gruba sahip olan malzemelerdir. Yeryüzünde ki mineral hacminin %90'lık kısmını oluştururlar. Bu yüzden yeryüzünde en çok bulunan iki element silisyum (Si) ve oksijen (O) elementleridir. Bu elementlerle birlikte oksijen-silisyum bileşikleri yeryüzünün yaklaşık olarak %95'ini oluştururlar. Aynı zamanda yaklaşık olarak bilinen 600 civarında ki silikat mineralleri bulunmaktadır. Doğal olarak bulunan silikat mineralinin temel yapısında, merkezinde bir Si atomu olmak üzere köşelerinde ise Si atomuna bağlanmış olarak 4 adet O atomu bulunmaktadır (Kantarcı, 2013, s.44).

Sodyum hidroksit (NaOH).

Kostik olarak ta adlandırılan sodyum hidroksit (NaOH), beyaz renkte olup katı bir malzemedir. Su içinde çözünürken ısı açığa çıkarır yani su içerisinde ısı yayınımlı yaparak çözünürler. NaOH nem kapması durumunda bozulur. Özellik olarak potasyum hidroksite (KOH) benzer ancak KOH'a göre daha az yakıcı güçlü bir baz malzemedir. Kolay ulaşılabilirliği, ucuz olması ve istenilen miktarda kolayca bulunulabilmesi sodyum hidroksitin avantajlarından (Elibol, 2012, s.14).

Kalsiyum Hidroksit ($Ca(OH)_2$).

Kalsiyum hidroksit yani diğer adıyla sönmüş kireç ($Ca(OH)_2$), sönmemiş kirecin (CaO) içine su eklenmesiyle oluşan kimyasal bir bileşiktir. Beyaz renkte ve kristal toz halinde bulunur. Su ile karıştırıldığında çözünerek hamur bir hal alan alkali malzemedir. Bilinen ismi ile hidratik kireçtir veya sönmemiş kireç olarak da adlandırılır. 512°C'de ısıtıldığı zaman yapısı bozulur ve kalsiyum oksit ile suya dönüşür (Gomes vd., 2003).

Potasyum hidroksit (KOH).

Potas kostik olarak ta adlandırılan potasyum hidroksit kimyasal formül olarak (KOH) ile gösterilir. Beyaz renge sahip katı bir kimyasal malzemedir. Su ile tepkimeye girdiğinde sodyum hidroksitte olduğu gibi ısı açığa çıkar. Potasyum hidroksitin nem tutma gibi iyi bir özelliğiyle bilinmektedir. Potasyum hidroksit mevcut ortamda bulunan nemi emer ve yavaş bir şekilde erimeye başlar (Mermerdaş, & Ekmen, 2018).

Bor Elementi

Bor elementi periyodik sistemin 3A grubunun başında yer almaktadır ve ametal tek elementtir. B simgesi ile gösterilir. Atom numarası 5, özgül ağırlığı $2,30 - 2,46 \text{ g/cm}^3$, ergime noktası ise 2300°C 'dir. Yüksek sıcaklıklarda yeşil alev vererek yanma özelliğine sahiptir. Doğada serbest halde bulunmazlar. Genellikle kalsiyum, sodyum ve magnezyum ve tuzları halinde bulunurlar. Doğada yüz elliden fazla minerallerin yapısında bor elementi olduğu bilinmektedir. Bor elementi oda sıcaklığında elektriksel iletkenliği zayıf olduğu gibi yüksek sıcaklıklarda ise iyi bir iletkenliğe sahiptir. Kristal yapıda olan bor elementi kırılgan ve sert yapıya sahip olup siyah renklidir. Amorf yapıda olanlarda ise siyah ya da kahverengi renge sahip olup toz haldedirler. Bor elementinin özellikleri Tablo 3'te verilmiştir. (Kavas, 1997; Elbeyli, 2000; Ayyıldız, 2003; Sümer, 2003).

Tablo 3. Bor Elementinin Özellikleri

Bor Elementinin	Özellikleri
Atom ağırlığı	10,811 ± 0.005 g/mol
Kaynama noktası	2500 °C
Yoğunluğu	2,34 g/cm ³
Oksidasyon sayısı	3
Elektronegatifliği	2,0
İyonlaşma enerjisi	191 kcal/g atom
Mohs sertliği	9,3
Atom yarıçapı	0,98
Füzyon ısısı	5,3 kcal/g atom
Buharlaşma ısısı	128 kcal/g atom
Kristal yapısı	Hexagonal

Önemli bazı bor mineralleri.

Sonsuz sayıda, basitten karmaşığa farklı molekül yapıya sahip bor oksijen bileşimlerine bilim dünyası borat adını vermiştir. Borun bu çeşitliliğinden kaynaklı 230'a yakın farklı tipte bor mineralleri bulunmaktadır. Bor minerallerinin arasında en önemlileri; kolemanit, üleksit ve tinkaldir. Bor ürünleri yapısındaki B₂O₃ içeriği önemli olmasından kaynaklı birbirlerinin yerine kullanabilirler (Ayyıldız, 2003; Sümer, 2003).

Kolemanit.

Kimyasal formülü Ca₂B₆O₁₁.5H₂O'dur. İçeriğindeki bor oranı %15,7, bor oksit içeriği %50,8'dir. Doğada renksiz ve saydam şekilde bulunurlar. Sertliği 4,0 – 4,5, özgül ağırlığı ise 2,42. Asitte çok kolay çözünmesine karşılık fakat suda zor çözünürler (Bayar, 2001).

Üleksit.

Kimyasal formülü Na₂Ca₂B₁₀O₁₈.16H₂O'dur. Üleksit şeffaf ve beyaz renkli olmasından kaynaklı pamuk gülü olarak da adlandırılmıştır. Genellikle uzun lifli demetler halinde bulunur. Sertliği 2,5, özgül ağırlığı 1,96 'dır. Genelde hidroboroksit, kolemanit ve probertit ile birlikte bulunurlar. B₂O₃ içeriği %43'tür (DBT, 2001).

Kernit (Razorit).

Kimyasal formülü $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 'dur. Doğada saydam, renksiz ve lifli demetler halinde bulunurlar. Sertliği 2,5 – 3,0 olup özgül ağırlığı 1,95'dir. Yapısında ki bor içeriği %15,8'dir (Bayar, 2001).

Tinkal (Boraks).

Tinkal genellikle doğada saydam ve renksiz halde bulunur. Fakat içeriğindeki bazı maddeler sebebiyle sarımsı, pembe ve gri renkte de bulunabilirler. Sertliği 2- 2.5, özgül ağırlığı 1,7 g/cm³ B₂O₃ içeriği %36, 5'dir. Tinkalkonit ve üleksit ile beraber bulunur (DBT, 2001).

Probertit.

Kimyasal formülü $\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dur. İçeriğindeki B₂O₃ oranı %49,6'dır. Tabiatta krem ve açık sarı renklerde bulunurlar. Lifli yapıya sahiptirler (Bayar, 2001).

Borik Asit.

Kimyasal formülü H₃BO₃'tür. Yapısındaki B₂O₃ %56,4, bor oranı ise %17,5'tir. Sertliği 1,0 olup özgül ağırlığı 1,48'dir. Doğada yağlı parlak görünümlü olup kristaller şeklinde bulunurlar. Yapay borik asit çoğunlukla kolemanitten temin edilir (Sarız, & Nuhoglu, 1992; Elbeyli, 2000; Önem, 2000).

Radyasyon Hakkında Bilgilendirme

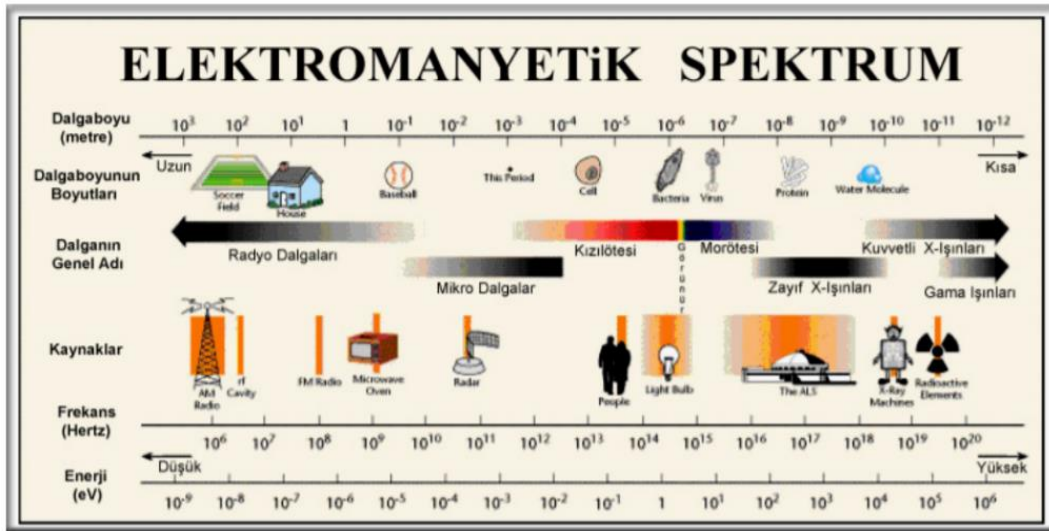
Radyasyon tanımı ve çeşitleri.

Radyasyon madde içine nüfuz edebilen elektromanyetik dalgalar veya parçacık halindeki enerjini emisyonu veya aktarımı olarak ifade edilir. Radyasyon hayatımızın her yerinde olan ve birlikte yaşadığımız bir tür olgudur. Doğal radyoizotoplar, doğal radyasyonun önemli bir kaynağıdır. Ağır elementler (çekirdeğinde 83 ten fazla protona sahip olanlar) kararsız bir yapıda oldukları için daha küçük elementlere dönüşmek isterler. Bu dönüşüm gerçekleşirken çeşitli enerjiler açığa çıkar. Bu yolla enerji veren elementlere radyoaktif elementler adı verilmektedir. Radyo aktif elementler temel olarak alfa bozunumu, beta bozunumu ve gama bozunumu olmak üzere 3 ana tip enerji salınımında bulunurlar. Ayrıca radyasyon kaynakları arasında nötronlar ve hızlandırıcılarda bulunmaktadır (Knoll, 2010).

Kaynakları ve cinsleri farklı olan ışınların ortak yönü maddeye veya insan vücuduna nüfuz edebilmeleridir. Radyasyonların giricilikleri çeşitlerine göre farklılık gösterir. Radyasyonlarda giricilik özelliği radyasyonun enerjisine bağlıdır. Düşük enerjili yani görünür ışınlar girici değildir. Fakat gama ışını ve x ışınının özellikleri görünür ışınla benzer olmasına

rağmen giricilik yönünden ondan ayrılmaktadırlar. Enerjileri yüksek ve dalga boyları kısadır. Radyasyonlar madde içine nüfus ederek cismi oluşturan atomları iyonlaştırma ve iyonlaştırmama durumuna göre 2 sınıfa ayrılırlar. Bunlar iyonlaştıran radyasyon (Nötron, proton, alfa, beta tanecikleri, gama ışınları ve x ışınları) ve iyonlaştırmayan radyasyon (elektromanyetik radyasyonlar) olarak bilinirler.

Düşük enerjili ya da diğer bir adıyla iyonize olmayan radyasyon ise etkileşime girdiği materyal içindeki atomları yeteri kadar enerjiye sahip olmadığı için iyonize edemez ve sadece uyarmakla yetinir. Görünür ışık, mikro dalgalar, radyo dalgaları, kızıl ötesi ve mor ötesi (çok kısa dalga boyutları hariç olmak üzere) iyonize olmayan radyasyona örnektir. Radyoaktif çekirdekler kendiliğinden bozunuma uğramaktadırlar. Radyo aktif bozunma olaylarında, radyo aktif atomların yarıya inmesi için geçen zaman yarılanma süresi olarak ifade edilir ve her bir radyoaktif atom için bu süre farklılık göstermektedir (Evans, 1955). Elektromanyetik spektrum Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Elektromanyetik radyasyonun enerji spektrumu (Tüysüz, 2004).

Radyasyonun çeşitlerini şu şekilde özetleyebiliriz;

- Partiküller Radyasyon;

Alfa parçacıkları (ışını)- α

Beta ışını - β

Nötronlar- N

- Elektromanyetik Radyasyon (Fotonlar)

X- ışınları -X

Gama ışını - γ

Partiküler radyasyon.

Alfa parçacıkları (ışını).

Atomun çekirdeğinde meydana gelen reaksiyonlardan kaynaklanır. Alfa parçacıkları iki nötron ve iki protondan oluşmuş yüksek enerjili helyum (${}^4_2\text{He}$) çekirdeği olup pozitif yüke sahiptirler. Menzilleri kısadır ve giricilikleri düşüktür. Çekirdeğin, alfa yayınlayarak parçalanması olayı atom numarası büyük olan izotoplarda rastlanmaktadır. Genel olarak doğal radyoaktif atomlarda oluşmaktadır. Alfa parçacıklarını kalınlığı ince olan maddeler ile durdurmak mümkündür. Örnek olarak ince bir kâğıt tabaka verilebilir. Sahip oldukları bu elektrik yükleri, alfa parçacıklarının bir madde içerisinden geçerken yolda yoğun bir iyonlaştırma oluşturmalarına ve buna bağlı olarak enerjilerini hızlıca tüketmelerine neden olur. Enerjilerini bu şekilde hızlıca kaybeden alfa parçacıklarının varış mesafeleri de kısadır. Bu yüzden normal olarak dış radyasyon riski oluşturmazlar. Ancak, inhalasyonla vücut içine alındıklarında zaman tehlikeli olabilirler (Çek, 2016; Maxwell, 2013).

Beta ışını (β).

Çekirdekten salınan bu ışınlar elektrona eşdeğer bir kütleye sahiptirler. Beta ışınları pozitif yüklü (pozitron) veya negatif (negatron) yüklü olabilirler. Daha düşük kütleye sahip olmaları, tek yüklü ve daha hızlı olmaları nedeniyle beta parçacığının dokudaki ve havadaki oranı alfa ışınlarına göre daha yüksektir. Beta ışınları atom çekirdeklerine yakın geçtikleri zaman çekirdeğin pozitif yükü ile etkileşime girerek ani hız kaybına uğrar ve sahip oldukları kinetik enerjiyi bremsstrahlung radyasyon olarak ta bilinen x- ışını şeklinde salınırlar. Bu tür radyasyonlar büyük atom numaralı maddelerle etkileşim sonucu daha fazla meydana geldiğinden, beta ışınlarından korunmak için düşük atom numaralı maddeler tercih edilir. Beta ışınları yeterli enerjilere sahip olduklarından hem vücut içinde hem de vücut dışında tehlikelidir. Vücut dışı radyasyon kaynakları özellikle cilt ve göz sağlığı için büyük tehlikeler oluşturmaktadır.

Nötronlar.

Nötronların ilk deneysel olarak gözlemlenmesi 1930 yılında gerçekleşmiştir. Bothe ve Becker, Berilyumu alfa (α) parçacıkları ile bombardımana tabi tutmuşlardır. Giriciliği yüksek olan fakat iyonlaşma gücü olmayan bir ışınım elde etmişlerdir. Fazla bir süre geçmeden Curie ve Joliot, bu ışınların, parafin materyalinden geçerken yüksek enerjili bir protonun yayınladığını bulmuşlardır. Protonların parafin içerisindeki menzillerini kullanarak bu ışının enerjisinin 5.3 MeV olduğu saptadılar. Bu ışın eğer gerçekten gama ışını olsaydı, protonlar

parafinden Compton olayına benzer bir çarpışma ile koparlardı. Compton saçılması formülleri kullanılarak yapılan hesaplara göre bu kadar yüksek enerjili bir protonu koparabilecek gama ışınının enerjisi en düşük 52 MeV olmalıydı. Bu kadar yüksek enerjili gama ışını son derece gerçek dışı gözüküyordu. Chadwick 1932 yılında bilinmeyen bu ışının, kütlesi yaklaşık protonun ki kadar olan nötr bir parçacığa (iyonlaştırmayan ve girici) ait olduğunu ileri sürdü. Chadwick nötronlarla başka saçılma deneyleri yapmış ve hipotezini doğrulamıştır. (Krane, 2011).

Nötronların yükleri olmadığı için çekirdek ile etkileşimleri nükleer kuvvetler ile gerçekleşmektedir. Çekirdeğe yaklaştıkları zaman, tıpkı yüklü parçacıklarda olduğu gibi Coulomb engeli ile karşılaşmamaktadırlar. Nötronlar düşük enerjilerde ve oldukça yüksek verimlilikle dedekte edilebilirler. Nötronları dedekte edebilmek için nötron-atom etkileşmesi ile yüklü parçacıkların üretilmesi gerekmektedir. Bu sebeple nötronları yavaşlatmak için çok sayıda protonu olan malzemeler tercih edilmelidir. Bu durumlarda nötronlar enerjilerinin büyük bir bölümünü çarpışma ile benzer parçacığa aktarırlar.

Nötronlar sahip oldukları enerjilere göre;

- Soğuk nötronlar: ($T < 20$ °C); $< 0,0253$ eV
- Termal nötronlar: $0,0253$ Ev
- Yavaş nötronlar: $0,0253 \sim 100$ eV
- Orta enerjili nötronlar: $0,5 - 10^4$ Ev
- Hızlı nötronlar: $0,01 - 10$ MeV
- Yüksek enerjili nötronlar: > 10 MeV

Sınıflandırılabilirler (Martin, 2013).

Nötronların madde ile etkileşimi.

Nötronlardan korunmak için şu 3 tip etkileşimi göz önünde bulundurmak gerekir; Bunlar,

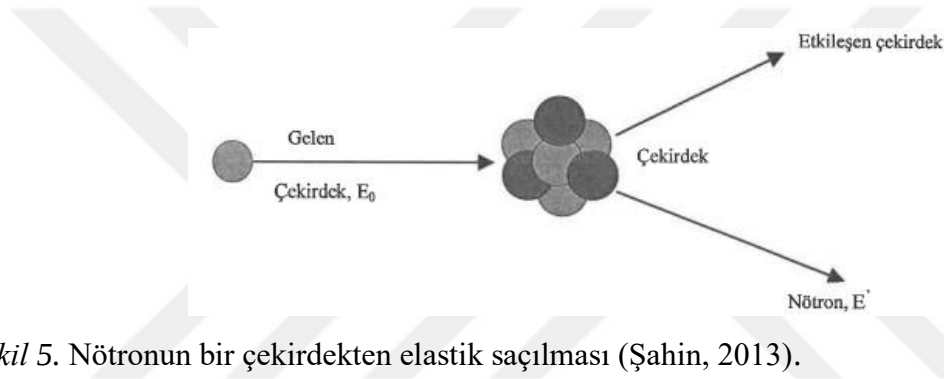
- 1) Esnek saçılma
- 2) Esnek olmayan saçılma
- 3) Nötron yakalamadır

Bu etkileşimlerin her birisi hedef çekirdek ile nötron arasında meydana gelir. Atomların elektronları ise nadir olarak birincil etkileşimde yer alırlar.

Esnek saçılma.

Nötronların yavaşlatılmasında özellikle hidrojen gibi hafif elementler oldukça etkilidir. Bu türde ki saçılma reaksiyonları gelen demet içindeki nötronları yavaşlatırlar ve doğal olarak enerji spektrumlarında önemli değişiklikler meydana gelir. Serbest halde bulunan bir nötron ilerleyen safhada bulunduğu bir ortam tarafından yakalanır ve soğrulur. Serbest nötronlar ise kararsız bir yapıda olduğundan bazıları yakalanmadan önce bir beta parçacığı ve bir hidrojen iyonu üreterek radyoaktif dönüşüme uğrayabilirler. Nötronların dönüşmesi ile meydana gelen hidrojen iyonu ve beta parçacığı yakın bir civarda soğrulurlar.

Şekil 5’de nötronun atom çekirdeği ile elastik olarak çarpışması verilmiştir ve bu durum mertebe olarak mega elektron volt (MeV) enerjisine sahip nötronların temel enerji kaybetme mekanizmasını göstermektedir.

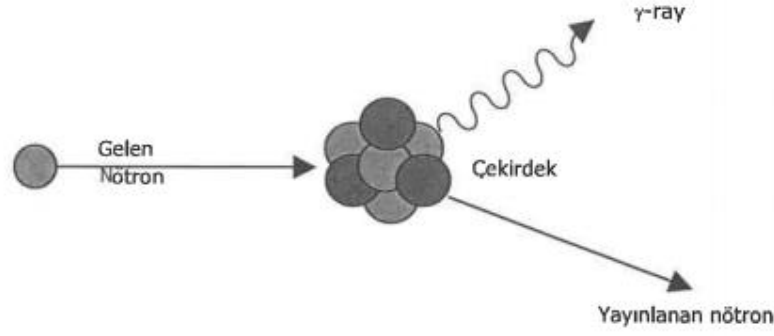


Şekil 5. Nötronun bir çekirdekten elastik saçılması (Şahin, 2013).

Bu reaksiyonda iki parçacığın çarpışması sonucunda toplam kinetik enerji korunur. Nötron atom çekirdeğine çarpar ve kinetik enerjisinin bir miktarını çekirdeğe aktarır. Sonrasında kendi gelmiş olduğu doğrultudan farklı bir doğrultuya saparak çekirdekten uzaklaşır. Bu olaylarda çekirdeğin yapısında herhangi bir değişiklik olmaz.

Esnek olmayan saçılma.

Esnek olmayan saçılmalarda nötron, soğurucu ortamda bulunmakta olan çekirdeklerin uyarılmasına neden olur ve sonrasında bu uyarılma enerjisinin büyük bir kısmı foton olarak yayınlanır. Esnek olmayan saçılma etkileşimi hızlı nötronlar ve ağır çekirdekli atomlar için etkindir dolayısıyla hızlı nötronlardaki etkileşimler özellikle 1-2 MeV’in üzerinde ki nötron enerjilerinde ve büyük atom numaralarına sahip soğurucu ortamlarda gama ışını kaynağı oluştururlar (Şekil 6). Nötron zırhları, esnek olmayan saçılma etkileşimi sonucunda yayınlanan fotonları genellikle soğururlar. Çünkü nötronları soğurmak için gerekli olan zırh kalınlığı, uyarılmış çekirdeğin yayınladığı herhangi bir gama ışınını soğurmak içinde yeterlidir.



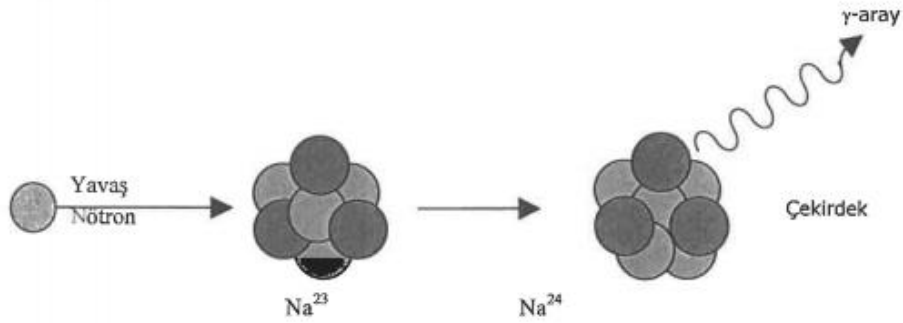
Şekil 6. Nötronun inelastik saçılması (Şahin, 2013).

Yakalanma reaksiyonları.

Yakalanma reaksiyonları nötronun atom çekirdeği tarafından yutulması olarak ifade edilmektedir. Nötron yakalanma olaylarını ifade eden formül denklem (1)'de gösterilmiştir.



Nötronların hızlarına bağlı olarak nötron yakalanması için tesir kesiti (σ) $\cong 1/v$ ile değişir. Düşük enerjilerde nötron yakalama olasılığı yüksektir. Yakalama reaksiyonları, nötronların yavaşlatılmalarının ardından belirli olasılıklar dahilinde oluşabilir. Yavaşlatılmış nötronlar böylece soğurucu ortamlardaki hedef çekirdekler tarafından soğurulabilirler. Yakalama gama ışınlarının enerjileri oldukça yüksektir ve enerjilerinin bu denli yüksek olması kullanılan zırh malzemelerine bağlı olarak ayrıca dikkate alınmalıdır (Şekil 7).



Şekil 7. Nötron yakalanması (Şahin, 2013).

Elektromanyetik radyasyon (Fotonlar).

X – ışınları.

X-ışınlarını 8 Kasım 1895'te Röntgen keşfetmiştir. İlk başlarda bu ışınların ne olduğunu bilmediği için bilinmeyen anlamına gelen 'X' olarak adlandırmıştır. X-ışınları, gama radyasyonun benzeyen yüksek enerjili fotonlardır. Elektron demetinin çok hızlı bir şekilde

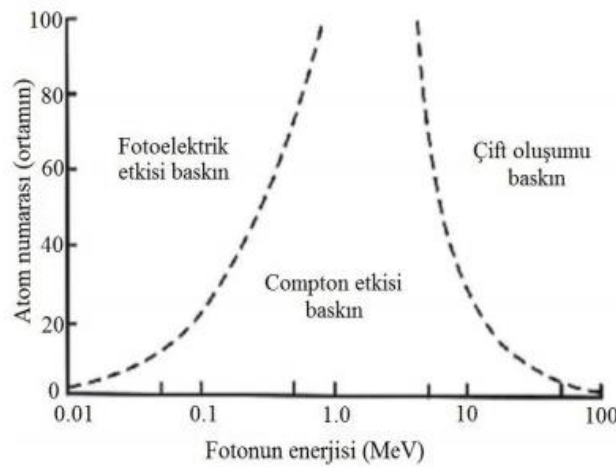
yavaşlatılması ile açığa çıkarlar. Gamalardan farkı olarak, atom çekirdeklerinden değil atomların iç elektron kılıflarından salınmalarıdır. (Ertaş, 2014, s.17)

Gama ışını.

Gama ışınları atom çekirdeğinin enerji seviyelerindeki farklılıklardan meydana gelirler. İlk olarak Paul Villard isimli Fransız fizikçi-kimyager, radyum ile çalışırken gama ışınlarını fark etmiştir. Villard'ın fark etmiş olduğu bu ışınlar daha sonrasında Rutherford gama ışınımı adını vermiştir. Atom çekirdeği bir alfa veya bir beta parçacığı salınımı yaptığı için genellikle kararlı bir halde kalmaz. Geriye kalan çekirdek enerjisi elektromanyetik dalgalar ($\lambda > 10^{-12}$ m) biçiminde salınır ve γ ile sembolize edilir. Gama ışınlarının, diğer elektromanyetik ışınlarla karşılaştırıldığında en yüksek frekansa ve en düşük dalga boyuna sahip oldukları görülmektedir. Yüksüzdürler ve yüksek enerjilere sahiptirler. Taşıdıkları bu enerji düzeyi sebebiyle canlı hücrelere ciddi zararlar verirler. Gama ve X-ışınlarının madde içine nüfuz edebilme kabiliyetleri alfa ve beta parçacıklarına göre çok daha fazladır. İyonlaşmaya çok daha az sebep olurlar bu yüzden iyonize etme güçlerinin düşük olması bu ışınların kalın cisimlerden kolayca geçebilmesini sağlar (Krane, 2011).

Gama ışınlarının madde ile etkileşimi.

Gama ışınları maddelerden geçerken ya soğrulurlar ya da saçılırlar. Enerjilerine bağlı olarak madde ile çeşitli etkileşimler oluştururlar. Bu etkileşimler fotoelektrik olayı, Compton olayı ve çift oluşumu olaylarıdır. Maddenin atom numarasına (0'dan 100'e kadar) ve gelen gama fotonlarının enerjilerine (0.01 MeV'den 100 MeV'e kadar) bağlı olarak bu 3 etkileşim Şekil 8'de ifade edilmektedir (Knoll, 1999; Tsoulfanidis, 1995).



Şekil 8. Gama ışınlarının maddeler ile etkileşme mekanizması (Knoll, 1999 ve Tsoulfanidis, 1995).

Fotoelektrik etki.

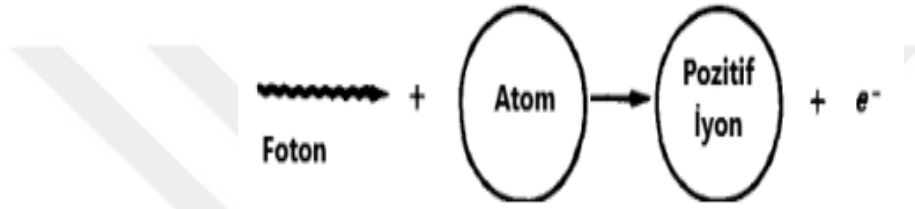
Düşük enerjili bir fotonun yörüngeye bağlı elektronla çarpışarak onu atomdan fırlatması olayına fotoelektrik etki denir. Enerjisinin tamamını elektrona aktararak tamamen yok olur. Denklem (2)'de verilmek üzere; elektronun bağlanma enerjisi (E_b) ile kinetik enerjisi (E_k) olarak harcanırlar (Tsoulfanidis, 1995).

$$E_\gamma = E_b + E_k \quad (2)$$

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

E_b : Elektronun eşik bağlanma enerjisi,

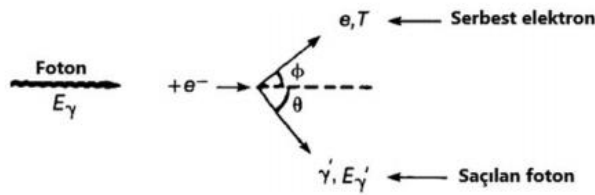
E_k : Foto elektronun (kopan elektron) kinetik enerjisi belirtmektedir.



Şekil 9. Foto elektrik olay (Tsoulfanidis, 1995).

Compton olayı.

Compton saçılma etkileşimi, bir foton ile atomun zayıf bağlı olan bir elektronu arasında gerçekleşen çarpışma olayıdır. Özellikle orta enerjilerde ki (0.5-1.0 MeV) gama ışınları için önemlidir. Gelen foton, etkileşim sırasında enerjisinin bir miktarını saçılan elektrona verdiği için enerjisi azalır. Foton geliş doğrultusuyla θ açısı oluşturarak daha düşük bir enerjiyle yoluna devam eder. Compton olayı Şekil 10'da gösterilmiştir (Tsoulfanidis, 1995).



Şekil 10. Compton olayı (Tsoulfanidis, 1995).

Gerçekleşen bu çarpışma ile hem foton hem de elektron saçılır. Çarpışmadan önce elektron hareketsiz varsayılır ve enerji ile momentum korunumu ilkeleri göz önüne alınarak elektrona aktarılan enerji denklem (3) ile, saçılan fotonun enerjisi denklem (4) ile belirlenmektedir.

$$T = E_\gamma - E_{\gamma'} \quad (3)$$

$$E_{\gamma 1} = \frac{E_{\gamma}}{1 + (1 - \cos\theta)E_{\gamma}/m_e c^2} \quad (4)$$

T: Saçılan elektronun enerjisi

E_{γ} : Gelen fotonun enerjisi,

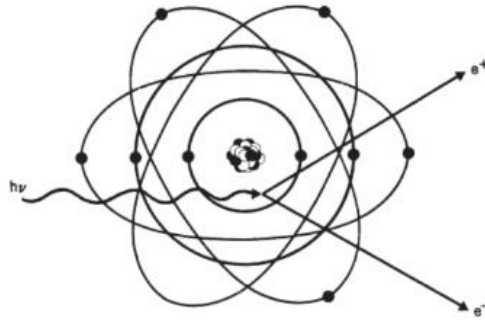
$E_{\gamma 1}$: Saçılan fotonun enerjisi,

θ : Fotonun saçılma açısı,

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

Çift oluşumu.

Yüksek enerjili (>1.022 MeV) bir fotonun, bir çekirdeğin elektromanyetik alanıyla etkileşime girmesi sonucu, enerjinin biri eksi yüklü olan elektron ve diğeri de artı yüklü olan pozitron olmak üzere bir çift elektrona dönüşür. Yani bu etkileşimin sonucunda gelen foton yok olurken bir elektron-pozitron çifti oluşur. Elektron ve pozitronların durgun kütle enerjileri ($m_e c^2$) 0.511 MeV'dir. Çift oluşum olaylarının gerçekleşmesi için ise fotonun sahip olması gereken en düşük enerjinin elektron ve pozitronun durgun kütle enerjilerinin iki katı olan ($2m_e c^2$) 1.022 MeV olması gerekir. Eğer gelen foton enerjisi 1.022 MeV'den düşük ise çift oluşumu meydana gelmez. (Tsoulfanidis, 1995; Martin, 2013)



Şekil 11. Çift oluşum olayı (L'Annunziata, 2003).

Soğurma.

Lineer soğurma katsayısı gama radyasyonunun penetrasyonunu ve difüzyonunu belirleyen en önemli parametredir. Bu parametre gelen ışının, malzemede birim geçiş uzunluğunda ki etkileşimini belirtmektedir. Malzemeye gelen ışınlar zamanla şiddetini ve güçlerini kaybederler. Buna bağlı olarak yarı değer kalınlığı (HVT) ve onda bir değer kalınlığı (TVT) kavramları açığa çıkar. Yarı değer kalınlık, bir malzemeye gelen ışının şiddetini yarıya düşürebilmek için gerekli olan malzeme kalınlığıdır benzer şekilde ışın şiddetini onda bire

düşürebilmek için gerekli olan malzeme kalınlığına da onda bir değer kalınlığı denir. (NCRP Report, 2005).

Kütle soğurma katsayısı ise gelen ışın ile malzemenin birim kalınlık ve birim alanı için kütlelerini oluşturan madde ile arasında ki etkileşimin ortalama değerinin ölçeğidir (Hubbell, 1977). Belirli bir enerjide ki gama ışınının kütle soğurma katsayısı, verilen soğurucu bir malzemenin fiziksel durumuna göre değişmez. Lineer soğurma katsayısının soğurucu malzemenin yoğunluğuna bağlı olması sebebiyle nükleer fizik alanlarında kütle soğurma katsayılarının kullanımı daha yaygındır.

Biyolojik zırhlar tasarlanırken radyasyonun 2 farklı tipi dikkate alınmalıdır (Mehta, & Monteiro, 2006). Bunlar;

- Yüksek giricilik özelliklerine sahip gama ve X ışınları.
- Herhangi bir elektrik yükü taşımayan ve atom çekirdeklerinin ağır kısımları olan nötronlar.

X ve gama ışınları soğurma.

X ve gama ışınları bir malzemenin uygun olan kütlesi ile yeterli şekilde absorbe edilir. Malzemeler radyasyona maruz kaldıkları zaman, birçoğu yaklaşık olarak yoğunluklarıyla orantılı bir şekilde bu yüksek enerjiye ve yüksek frekansa sahip olan elektromanyetik dalgaları soğurur (Mehta, & Monteiro, 2006).

Gama ışınları genel olarak maddenin atomik kütesine bağlıdır ve bu oranda soğrulur. (Walker, & Grotenhuis, 1961). Gama ışınları betalara göre 100 kat, alfalara göre ise 10000 kat daha fazla giriciliğe sahiptir. Buna bağlı olarak gama ışınları zırhlanırken yüksek yoğunluğa ve yüksek atom numarasına sahip malzemeler kullanılmalıdır (Kılınçarslan vd., 2011). Kullanılan bu malzemeler aynı zamanda ekonomik olarak ta mantıklı olacaktır (Walker, & Grotenhuis, 1961).

Radyoaktif koruma amacıyla kullanılacak olan yapı malzemeleri zırhlanacak radyasyon türlerine göre farklılık gösterir (Kılınçarslan vd., 2011). X ve gama ışınlarının yeterli beton zırh kalınlığı kullanılarak soğurulabileceği ifade edilmiştir (STP 169-A, 1966).

Nötron radyasyonu.

Nötronlar elektrik yükü taşımayan aynı zamanda atom çekirdeğinin ağır kısımlarını oluşturan radyasyonlardır. Nötronlar bilindiği üzere elektrik alanlardan etkilenmezler sadece atom çekirdeği ile çarpışma yaparak yavaşlarlar. Etkili bir nötron zırhlaması yapabilmek için 3 farklı malzeme birleştirilmelidir. Oluşturulacak olan bu zırh malzemesinde atom kütlesi 56

veya daha yüksek olan elementler içermelidir. Bu ağır elementler elastik olmayan çarpışma ile hızlı nötronları yavaşlatırlar. Sonrasında hidrojen gibi hafif elementler genellikle bir miktar yavaşlamış olan bu hızlı nötronları elastik çarpışma ile daha fazla yavaşlatırlar. Hidrojenin ağırlığı yaklaşık olarak nötronla aynıdır ve bu yüzden etkilidir. Son olarak yavaş termal nötronlarında yavaşlatılması gerekir. Hidrojen elementi bu konuda yeterli olsa da bu işlem sırasında 2,2 milyon volt gama ışını yayılır. Diğer taraftan bor malzemesi nötron ışınlarını soğurmada etkilidir ve sadece 0.478 milyon volt gama ışını yaymaktadır. (Mehta, & Monteiro, 2006).

Literatürdeki Bazı Çalışmalar

Günümüzde inşaat sektörü için sürdürülebilir kalkınmayı desteklemek ve çevre dostu olan malzemeler üretmek için çok sayıda araştırmalar yapılmış ve yapılmaya da devam etmektedir. Geleneksel Portland çimentosu üretimi yüksek enerji tüketen ve üretimi esnasında atmosfere çok fazla sera gazı salımı yaptığı bilinir. Dünyadaki CO₂ emisyonunun %7'si çimento üretiminin safhası olan klinker sürecinde oluşmaktadır. Bundan kaynaklı çimento sanayisi CO₂ emisyonunun ana nedeni olduğundan çevre dostu olarak sınıflandırılmamaktadır. (Malhotra, 2002).

İnşaat sektörünü yeşil uygulama alanına dönüştürmek amacıyla endüstriyel yan ürünler ya da atık malzemeler ikame edilerek Portland çimentosu miktarı daha az veya hiç kullanılmadan çeşitli bağlayıcı alternatif ürünler pek çok araştırmacı tarafından üretilerek incelemeyi amaçlamışlardır. Bu çalışmalardan biri sanayi sektöründe puzolanik atıkların kullanılmasıyla çeşitli bağlayıcıların üretilmesidir (Chindaprasirt, Chareerat, & Sirivivatnanon, 2007; Nath, & Sarker, 2012). Yapılan birçok çalışma alkali aktive edilmiş çimento veya geopolimer çimento olarak bilinen alkali çözeltilerle alümina silikatlar aktive edilerek çimentolu bir bağlayıcı birleşimi için birincil malzeme olarak kullanılabileceğini kanıtlamıştır. (Al Bakri vd., 2011). Metakaolin alkali çözeltilerle iyi bir işleyiş ve hızlı dayanım kazanması sebebiyle geopolimerin ana bileşenlerinden biri olarak kabul görmüştür. (Belmokhtar, Ammari, & Briguei, 2017; Tippayasam vd., 2016).

Davidovits (1991) yaptığı birçok çalışmada geopolimer üretimindeki ana ürün olarak birçok puzolanik malzemeyi incelemiştir. Yaptığı çalışmalarca da metakaolin-cüruf tabanlı geopolimerlerin dayanıklılık performansı açısından ve çevre dostu olmasından kaynaklı iyi bir kompozit olduğunu belirlemiştir.

Pelisser ve arkadaşları (2013) yaptıkları çalışmada metakaolin tabanlı geopolimer harçların sertlik, basınç, eğilme dayanımı, elastisite modülü ve mikro yapısını incelemek

amacıyla deneyler yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre geopolimer harçların elastisite modülü ve dayanım özellikleri bakımından çimento harçlarından daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya koymuşlardır.

Zhang ve arkadaşlar (2014) yangına karşı olarak özel olarak geliştirilen, ana malzemesi metakaolin ve uçucu kül karışımı olan geopolimer bağlayıcı üzerine deneysel çalışma yapmışlardır. Eğilme ve basınç deneyleri yüksek sıcaklıklara maruz bırakıldıktan sonra gerçekleştirilmiştir. Uygun metakaolin ve uçucu kül karışımının oluşturulması mekanik özellik sonuçlarına göre elde edilmiştir. Metakaolin ve uçucu külün inşaat sektöründe Portland çimentosuna alternatif olarak kullanılabileceği belirtilmiştir.

Girgin (2016) tarafından yapılan çalışmada, NaOH ile aktifleştirilmiş metakaolin (MK) katkılı geopolimer malzeme özellikleri incelenmiştir. En yüksek basınç dayanım değerini %40 MK katkılı geopolimer pastalardan; en düşük basınç dayanım değerini ise %20 MK katkılı geopolimer pastalardan elde etmiştir. Geopolimer pastaların basınç dayanım değerleri 8.4 MPa – 28.9 MPa arasında değişkenlik göstermiştir. Puzolanik aktivite deneylerinden elde edilen sonuçlara göre ise; basınç dayanımı deneylerinde 7, 28 ve 90 günlük su kürü uygulanan harçlarda 1000 °C’de kalsine edilen MK katkılı örneklerin en yüksek basınç dayanım değerini verdiği gözlemlenmiştir

Çelik (2019) yaptığı çalışmada sentetik liflerle güçlendirilmiş bor atığı katkılı metakaolin tabanlı geopolimer kompozitlerin yüksek sıcaklık davranışı ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Geopolimerler malzemelerin yangına maruz kaldığında çatlama olmadan büyük uyum sağladığı yüksek ısı direncine sahip olduğu görülmüştür. Numuneler 300°C 'ye tabi tutulduklarında basınç dayanımında azalma ile fazla bir renk değişikliği olmamıştır. Ancak 600°C 'ye tabi tutulduklarında renk değişimlerinin olduğu görülmüştür. 600°C ile 900°C aralığında basınç kayıplarıyla beraber çatlaklar görülmüş, 900°C'den sonra geopolimer numunelerinde önemli miktarda renk değişikliği olmuş çatlaklar düşük oranda kalmıştır. Bu çalışma sonucunda geopolimer kompozitlerin üretiminde kolemanit atığının başarıyla kullanılmasının mümkün olduğunu ortaya konulmuş, kolemanit atığının %10 oranında metakaolin, geopolimer numunelerine eklenmesi ve sonuçları olumlu yönde etkilediği belirtilmiştir.

Arslan (2019) çalışmasında metakaolin tabanlı geopolimer harçlara farklı kür koşullarının etkisini incelenmiştir. 200°C, 400°C ve 600°C sıcaklık sonrası geopolimer numunelerde oluşan fiziksel ve yapısal değişiklikler incelenmiş, geopolimer numuneler, 400°C'den sonra maruz kaldığı termal reaksiyonlar sonucunda oluşan dehidrasyon ve matrisindeki suyun buharlaşması sebebiyle dayanım kaybı yaşadığı görülmüştür.

Gümüş (2019) çalışmasında yüksek sıcaklığa (20°C, 300°C, 600°C) maruz bırakılan polipropilen lifli ağır betonların gama ışını ve nötron soğurma performansları incelenmiştir. Sıcaklığın artmasıyla nötron soğurma performansının hafif element olan hidrojene bağlı olarak azaldığı ve gama soğurma performansının da betonun yapısı bozulduğu için azaldığını gözlemlemiştir.

Öztürk ve arkadaşları (2020) yaptıkları çalışmada öğütülmüş yüksek fırın cürufu, uçucu kül, metakaolin ve bor içeren atık kil malzemesi kullanarak alkali aktive çimento ile portland çimentosunun (PÇ) radyasyon zırhlama özelliklerinin karşılaştırmasını yapmışlardır. Yavaş ve termal nötronlar için zayıflama katsayısı, bor içeren alkali aktive edilmiş harç karışımlarında, diğer karışımlara göre önemli ölçüde daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Orta ve hızlı nötronlar için ise en yüksek zayıflama katsayısı metakaolin içeren alkali aktive edilmiş harç karışımı ile %100 ve %50 bor içeren alkali aktive edilmiş harç karışımlardan elde edilmiştir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

Malzemeler ve Yöntem

Bu çalışma kapsamında 300 °C ve 500 °C sıcaklığa tabi tutulmuş %0, %5 ve %10 kolemanit katkılı bağlayıcıların (alkali aktive esaslı ve çimento esaslı) yüksek sıcaklık etkisi altında nötron soğurma performansı incelemeyi hedeflemiştir.

Çalışmanın bu bölümünde kullanılan malzemelerin kimyasal birleşimleri, karışım oranları, alkali aktive ve çimento harçlarının üretim süreçleri ve kür koşulları hakkında bilgiler sunulmuştur.

Malzemeler

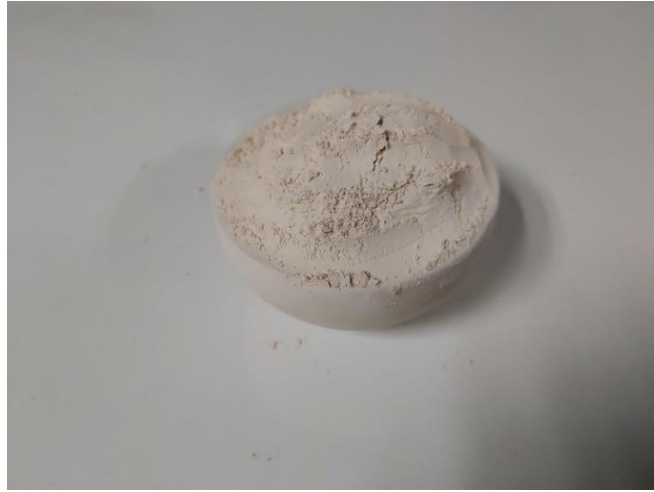
Bor katkılı metakaolin tabanlı alkali aktive harçlar, metakaolin, kolemanit, uçucu kül, alkali çözeltiler ve Rilem-Cembureau standart kumu kullanılarak üretilmiştir. Çimento harçları üretiminde ise CEM I 42,5 R türü Portland çimentosu, kolemanit ve agrega olarak Rilem-Cembureau standart kum kullanılmıştır.

Metakaolin.

Metakaolinler serbest silis ve diğer safsızlıklardan arındırılarak yaklaşık 700 °C de kalsine edilip puzolanik özellik katılmış beyaz ve amorf kaolinlerdir. Kimyasal olarak metakaolinlerin ana bileşenleri Al_2O_3 ve SiO_2 'dir. Bu çalışmada kullanılan metakaolin, AVS Mineral şirketinden elde edilmiştir. 2.6 gr/cm³'lük özgül ağırlığa sahip metakaolinin kimyasal bileşenlerinin analizi Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Metakaolin Kimyasal Bileşenlerinin Analizi

Bileşenler (%)	Metakaolin
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 12. Metakaolin.

Uçucu kül.

Bu çalışmada çalışma da puzolan malzeme olarak uçucu kül kullanılmıştır. Endüstriyel atık olarak Kangal termik santralinden temin edilmiştir. Kangal uçucu külü, TS EN 197-1'e göre, reaktif kireci %10'un üzerinde olduğu için kalkersi uçucu kül sınıfına girmektedir. ASTM C 618'e göre $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > \%50$ miktarı, $\text{CaO} > \%10$ olduğu için bu kül C sınıfı (yüksek kireçli) uçucu kül kapsamındadır. Uçucu külün kimyasal bileşenlerinin analizi Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. Uçucu Kül Kimyasal Bileşenlerinin Analizi

Bileşenler (%)	Uçucukül
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 13. Uçucu kül.

Alkali aktivatörler.

Bu çalışmada aktivatör olarak NaOH ve NaSi_2O_3 kullanılmıştır. Piyasada kostik olarak ta isimlendirilen NaOH ucuz ve kolay temin edilmesi açısından önemli avantajdır. NaSi_2O_3 ise piyasada cam suyu olarak bilinir.

Sodyum hidroksit (NaOH).

Tezimizde kullanmak üzere Aklar Kimya Firmasından %99 saflıkta peletli NaOH temin edilmiştir. 1 litre suda 360gr pelet halindeki sodyum hidroksit çözülerek 9mol olacak şekilde sodyum hidroksit çözeltisi hazırlanmıştır. Bu işlem sırasında sıcaklık artışı gözlemlenmiştir.



Şekil 14. Sodyum hidroksit.

Sodyum silikat (Na_2SiO_3).

Deneyleerde kullanılmak üzere silikat modülü (Ms: ağırlıkça SiO_2 : Na_2O) 2,02 olan ve Aklar Kimya Firmasından temin edilen sodyum silikat kaynağı kullanılmıştır. Kimyasal özellikleri Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. *Sodyum Silikatın Kimyasal Özellikleri*

Kimyasal formül	$\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
Derece	38-40
Yoğunluk (g/cm^3)	1,355-1,385
Na_2O (% ağırlıkça)	10,5-11,5
SiO_2 (% ağırlıkça)	21,0-23,0
Modül (SiO_2 : Na_2O)	2,02



Şekil 15. Sodyum silikat.

Çimento.

Yapılan tüm deneylerde Erzurum Aşkale Çimento fabrikasından temin edilen CEM I 42,5 R Portland çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun kimyasal içeriği Tablo 7’de verilmiştir. PÇ 42,5 R için TS EN 197-1 de belirtilen standardına uygundur.

Tablo 7. Portland Çimentosu Kimyasal Bileşenlerinin Analizi

Bileşenler	%
Al ₂ O ₃	4,2
CaO	60,2
Fe ₂ O ₃	3,1
K ₂ O	0,8
MgO	3,1
MnO	0,1
Na ₂ O	0,3
P ₂ O ₅	0,1
SiO ₂	20,7
TiO ₂	0,4
SO ₃	2,7
Kızdırma kaybı	2,05
Özgül ağırlık	3,1



Şekil 16. Portland çimento 42,5R.

Rilem-Cembureau standart kumu.

Bu çalışmada TS EN 196-1 ve Rilem Cembureau standartlarına karşılık gelen kum kullanılmıştır. Kimyasal bileşenlerinin analizi Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. Rilem-Cembureau Standart Kum Kimyasal Bileşenlerinin Analizi

Bileşenler	%
Al ₂ O ₃	0,89
CaO	0,49
Fe ₂ O ₃	1,97
K ₂ O	1,31
MgO	0,96
SiO ₂	92,26



Şekil 17. Rilem-Cembureau standart kum.

Kolemanit.

Deneylerimizde kullandığımız kolemanit, Eti Maden Bor işletmesinden elde edilmiştir. Özgül ağırlığı 2,42 g/cm³ olup Mohs sertlik sınıflandırmasına göre sertliği de 4-4,5'tir. Kolemanit malzemesinin kimyasal analizi Tablo 9'da gösterilmiştir.

Tablo 9. Kolemanit kimyasal bileşenlerinin analizi

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



Şekil 18. Kolemanit.

Karma suyu.

Numunelerin kür suları ve harçlarda kullanılan su Bayburt şehir şebekesinden içilebilir su olarak temin edilmiştir.

Yöntem

Karışım özellikleri.

Bu çalışmada metakaolin tabanlı kolemanit katkılı alkali aktive ve kolemanit katkılı çimento serilerinin performans kriteri olarak basınç dayanımları esas alınmıştır. Alkali aktive

serilerin isimlendirmeleri A0 (alkali aktive kolemanit %0), A5 (alkali aktive kolemanit %5) ve A10 (alkali aktive kolemanit %10) olacak şekilde kodlanmıştır. Çimento serileri de Ç0 (portland çimento kolemanit %0), Ç5 (portland çimento kolemanit %5) ve Ç10 (portland çimento kolemanit %10) olacak şekilde kodlanmıştır. Kolemanit katkı miktarları her iki karışım için de toz malzeme miktarlarının %0, %5 ve %10'u olacak şekilde hesaplanmış ve değerler alınmıştır. Metakaolin ve farklı oranlarda kullanılan bor katkısı olan kolemanit bu harçlardaki performansı etkileyen parametrelerdir. Bu çalışmada uygulanan karışım oranları Tablo 10'da ve Tablo 11'de detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 10. *Alkali Aktive Harçların Karışım Oranları (g)*

Seriler	Uçucu kül	Metakaolin	Kolemanit	Agrega	Na ₂ SiO ₃ Çözeltisi	NaOH	Su	Ms
A0	180	120	0(%0)	600	130	70	184	0,45
A5	171	114	15(%5)	600	130	70	184	0,45
A10	162	108	30(%10)	600	130	70	184	0,45

Tablo 11. *Çimento Harçları Karışım Oranları (g)*

Seriler	Çimento	Kolemanit	Agrega	Su
Ç0	450	0(%0)	1350	95
Ç5	427.5	22.5(%5)	1350	95
Ç10	405	45(%10)	1350	95

Alkali çözeltilerin hazırlanması.

Çalışmanın deneysel aşamalarında aktivasyon işlemi için kullanılmak üzere öncelikle çözelti solüsyonu hazırlanmıştır. Aktivasyon işlemlerinde kullanılan alkali çözeltiler, sodyum silikat (NaSi₂O₃) çözeltisi ve sodyum hidroksit (NaOH) malzemeleri karıştırılarak hazırlanmıştır. Aktivasyon çözeltisini hazırlarken yapılan ön deneyler ve literatür değerlerine bağlı olarak 9M sodyum hidroksit çözeltisi hazırlamak amacıyla pelet halinde bulunan sodyum hidroksit (NaOH) ve su mekanik karıştırıcıda 5 dk süreyle (NaOH tamamen çözülene kadar) karıştırılmıştır. Bu reaksiyon ekzotermik bir reaksiyon olduğu için çözeltinin sıcaklığı 85±5 C'ye kadar yükselmiştir. Hazırlanan bu çözelti normal oda koşullarında bekletilerek bu sıcaklığın normal koşullara gelmesi sağlanmıştır. Karışımdaki toz malzemeye eklenmek üzere

hazırlanan bu alkali solüsyonda sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisi ile 1/2 oranında olacak şekilde sodyum silikat (NaSi_2O_3) çözeltisi karıştırılmıştır.

Çimento ve alkali aktive harçlarının üretimi.

Çalışma kapsamında bor katkısız alkali aktive harçlar üretilirken ilk olarak toz malzemeler belirtilen karışım oranlarında mikser karıştırma haznesine konulup 60 saniye süreyle 140 rpm hızda olacak şekilde homojen olarak karıştırılmıştır. Toz malzeme iyice karıştıktan sonra hazırlanmış olan alkali çözelti solüsyonu bu toz malzemeye eklenmiş olup 45 saniye 140 rpm hız ile karıştırılmıştır. Sonrasında karışım durdurulmuş ve el ile harç bileşenleri yeniden harmanlanmıştır. Son olarak sırasıyla 30 saniye yavaş hızda (140 rpm) ve 90 saniye hızlı (280 rpm) olacak şekilde karıştırıldıktan sonra üretilen harç malzeme önceden yağlanmış olan 50×50×50 mm boyutlu metal kalıplara yerleştirilmiştir. Bor katkılı geopolimer harçların üretiminde ise ek olarak sadece ilk başta hazırlanan toz malzemelere kolemanit eklenmiştir.



Şekil 19. 50×50×50 mm küp kalıplara dökülen alkali aktive numuneler.

Çimento harçları hazırlanırken TS EN 196-1'e uygun olarak hazırlanmıştır. Aynı şekilde karışım oranları belirlenmiş olan su, çimento ve kolemanit malzemeleri mikser haznesine konup 30 saniye karıştırılmıştır. İkinci 30 saniye içerisinde standart kum karışıma ilave edilip ardından yüksek hızda (280 rpm) 30 saniye kadar karıştırılmaya devam edilmiştir. Mikser durdurulup haznenin çeperlerindeki harçlar ortaya toparlanarak 90 saniye beklenmiştir. Son olarak 60 saniye yüksek hızda (280 rpm) devam ederek karıştırma işlemi sonlandırılmıştır. Daha sonra üretilen harç malzeme önceden yağlanmış olan 50×50×50 mm boyutlu metal kalıplara yerleştirilmiştir.



Şekil 20. 50×50×50 mm küp kalıplara dökülen numuneler.



Şekil 21. İki aşamalı laboratuvar tipi mikser.

Karışımların kür yöntemleri

Alkali aktive serilerde, yağlanmış kalıplara yerleştirildikten sonra kalıpla birlikte geopolimerizasyon işlemi için Şekil 22’de görülen etüve konularak 24 saat süreyle 90°C’de Şekil 23’de olduğu gibi kür edilmiştir. Kür süresi tamamlandıktan sonra numuneler etüvden alınarak laboratuvar ortamında soğuması için bekletilmiştir. Numunelerin sıcaklığının oda sıcaklığına gelmesinin ardından amaçlanan diğer testlere geçilmiştir.



Şekil 22. Laboratuvar tipi etüv.



Şekil 23. Alkali aktive numunelerin kürlenmesi.

Çimentolu serilerde, hazırlanan harçlar kalıba döküldükten sonra 24 saat boyunca laboratuvar ortamında oda sıcaklığında üstüne nemli bez örtülerek bekletilmiştir. Daha sonra kalıplardan çıkarılan bu numuneler çalışmanın devamında ki diğer testler için Şekil 24’de ki kirece doymun su havuzunda 1,7,14 ve 28 gün boyunca küre tabi tutulmuştur.



Şekil 24. Çimento numunelerinin kürlenmesi.

Deneysel çalışmalar.

Üretilen alkali aktive ve çimento serileri basınç dayanımı, boşluk oranı, birim hacim ağırlık, su emme, yüksek sıcaklık direnci ve yayılma tablası deneylerine tabi tutulmuştur. Bu kapsamda 50×50×50 mm'lik küp numuneler kullanılmıştır. Aynı zamanda hamurlara priz tayini ve kıvam deneyi testleri de yapılmıştır.

Alkali aktive ve çimento hamurları üzerinde yapılan deneyler.

Bu çalışma kapsamında hazırlanan alkali aktive ve çimento pastalarına hamur deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çimentonun fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla TS EN 196-3'e göre priz süresi deneyi ve standart kıvam tayini deneyleri yapılmıştır.

Alkali aktive ve çimento hamurları hazırlanırken öncelikle belirlenen karışım oranlarında ki toz malzemeler karışım kabına konulmuştur. Karıştırma mikserinde 45 saniye boyunca düşük hızla (140 rpm) karıştırılmıştır. Toz malzemelerin homojen karışımı sağlandıktan sonra tekrar 90 saniye boyunca düşük hızda (140 rpm) karışım devam ederken su eklenmiştir. Daha sonra karıştırma kabının çeperlerindeki hamurlar ortaya toplanarak 90 saniye boyunca yüksek hızda (280 rpm) tekrar karıştırılmıştır. Mikserden alınan hamurlar bekletilmeden öncesinde hazırlanmış ve yağlanmış olan vicat halkalarının içerisine aktarılmıştır. Priz süreleri her bir dakikada bir defa olacak şekilde ölçülmüş ve tayin edilmiştir. Tablo 12'de ve Tablo 13'te geopolimer ve çimento karışım oranları verilmiştir.

Tablo 12. Alkali Aktive Hamur Karışım Oranı

Bağlayıcı Tipi	Uçucu Kül	Metakaolin	Katkı Miktarı	Katkı Oranı (%)
A0	180	120	0	0
A5	171	114	15	5
A10	162	108	30	10

Tablo 13. Çimento Hamuru Karışım Oranı

Bağlayıcı Tipi	Bağlayıcı miktarı	Katkı Miktarı	Katkı Oranı (%)
Ç0	500	0	0
Ç5	475	25	5
Ç10	450	50	10

Kıvam tayini deneyi.

Kıvam tayini deneyi standart kıvamdaki bir hamuru hazırlamak için gerekli olan su miktarının farklı oranlarda kullanılması ile hazırlanan hamurların içine Vicat sondasının batırılmasıyla yapılır. Deneyin amacı, çimentonun priz başlangıcı ve priz bitişi deneylerinde çimento hamuru hazırlığı için gerekli olan suyun belirlenmesine dayanır. Gerekli olan su miktarının belirlenmesi için birçok deneme yapılması gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında çimentoların kıvam tayini deneyleri TS EN 196-3 standartlarına göre yapılmıştır. Hazırlanan hamurlar tabanı yağlanmış olan Vicat haznesinin içerisine yerleştirilmiş olup yüzeyleri bir spatula yardımı ile düzeltilmiştir. Vicat sondası hamurun yüzeyi ile temas edecek şekilde getirilip daha sonra 240 ± 10 saniyeyi geçmeyecek şekilde düşey olarak serbest bırakılmıştır. Sondanın uç kısmı ile taban arası 30 saniye süresince 5-7 mm mesafe de olduğunda kıvam belirlenmiştir. Kıvam deneyi mekanizması Şekil 25’de gösterilmiştir.



Şekil 25. Vicat aleti ve kıvam deneyi yapılan numune.

Priz süresi tayini deneyi.

Priz süresi tayini deneyi TS EN 196-3 standardına uygun olarak yapılmıştır. Bu deney kapsamında priz süresi tayini, vicat iğnesinin hamurların içerisine standartlarda belirtilmiş derinliğe kadar batma miktarlarının gözlemlenmesi sonucu tayin edilir.

Priz süresini belirlemek amacıyla kullanılan vicat aletinin sonda kısmına minimum uzunluğu 45 mm ve çapı $1,13 \pm 0,05$ mm olan Vicat iğnesi takılmıştır. Hazırlanan hamur ile temas edecek şekilde yavaşça indirilip sonrasında iğne birden bırakılmış ve iğnenin düşey bir şekilde hamurun içine girmesi sağlanmıştır. Hamura batan Vicat iğnesinin uç kısmı ile numunenin tabanında bulunan cam levha arasında ki değer 4 ± 1 mm olduğu andan itibaren priz başlangıcı kabul edilmiş olup kayıt altına alınmıştır. Daha sonra 30 dakikalık aralıklarla iğnenin pastaya batırıldığı noktalar arasında ve kalıp kenarlarından en az 10 mm mesafe olacak şekilde batması sağlanmış ve okumalara devam edilmiştir. Priz bitiş süresi belirlenirken standartlara göre Vicat iğnesinin hamurların üstünde ilk 0,05 mm'ye kadar batabildiği zaman dilimi olarak alınmış ve priz bitiş süreleri buna uygun olarak gözlemlenmiş ve kayıt altına alınmıştır. Vicat aleti ve mekanizması Şekil 26'da gösterilmiştir.



Şekil 26. Vicat aleti ve priz başlangıç ve bitiş deneyleri yapılan hamur.

Alkali aktive ve çimento harçları üzerinde yapılan deneyler.

İşlenebilirlik deneyi.

Bu çalışma kapsamında üretilen taze harç serilere, TS EN 1015-3 standardına uygun olacak şekilde kıvam deneyi olarak bilinen deney Şekil 27.'de olduğu gibi yayılma tablası kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Taban çapı 100 mm üst iç çapı 70 mm ve yüksekliği 50 mm olan konik şeklinde ki kap yayılma tablasının merkezine yerleştirilmiştir. Her tabakada 10 vuruş olmak üzere 40 mm çapında 0,250 kg ağırlığına sahip tokmakla 2 tabaka şeklinde sıkıştırma işlemi yapılmıştır. Sonrasında konik kalıp yukarı doğru çekilerek alınmıştır. 1,25 cm yükseklikten her saniye için 1 düşüş olacak şekilde toplam 15 defa yayılma tablasına düşüş yapılmıştır. Düşüş bittikten sonra tablaya yayılan harcın kütlesi kumpas ile ölçülmüştür ve ortalama değerleri mm cinsinden kaydedilmiştir.



Şekil 27. Yayılma tablası ile kıvam tayini deneyi.

Boşluk oranı, su emme, birim hacim ağırlık deneyleri.

Bu deneyler hazırlanan numunelerin mikro yapılarını değerlendirmek amacıyla kullanılmıştır. Alkali aktive harç numuneleri kalıba döküldükten hemen sonra kalıplarla birlikte 24 saat boyunca 90°C'lik etüvde küre tabi tutulmuştur. 24 saatin sonunda etüvden çıkarılan numuneler kalıptan ayrılarak oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Sonrasında bu numuneler yüksek sıcaklık fırınında 20°C, 300°C ve 500°C'lik sıcaklıklara tabi tutulmuş olup etüv kurusu ağırlıkları belirlenmiştir. Daha sonrasında numuneler 24 saat oda sıcaklığında su içerisine bırakılmıştır. 24 saat sonunda çıkarılan numunelerin yüzeyi kurutulup doymuş kuru yüzey ağırlıkları belirlenerek, Arşimet yöntemiyle su içerisindeki ağırlıkları tespit edilmiştir.

Çimento serilerinde ise 28 günlük kür uygulanmıştır. Sonrasında numunelerin yüzeyleri kurutularak doymuş kuru yüzey ağırlıkları tespit edilmiştir. Arşimet yöntemiyle su içerisindeki ağırlıkları da tespit edilmiştir. Bu serilerde 20°C, 300°C ve 500°C'lik sıcaklıklara tabi tutulmuş olup etüv kurusu ağırlıkları belirlenmiştir. Boşluk oranı formülü ve su emme oranı formülü sırasıyla denklem (5) ve denklem (6)'da verilmiştir.

$$\text{Boşluk Oranı (\%)} = \frac{\text{Islak Ağırlık} - \text{Kuru Ağırlık}}{\text{Islak Ağırlık} - \text{Arşimed Ağırlığı}} \times 100 \quad (5)$$

$$\text{Su emme oranı (\%)} = \frac{\text{Islak Ağırlık} - \text{Kuru Ağırlık}}{\text{Kuru Ağırlık}} \times 100 \quad (6)$$

Basınç dayanım testi.

Basınç dayanım deneyleri 50×50×50 mm boyutlarında ki numunelerin ASTM C 109'e bağlı kalınarak 1, 7, 14 ve 28 günlük kürlere tabi tutulan çimento küp numuneler ile 24 saat boyunca 90°C etüv kürü uygulanan geopolimer küp numuneler üzerinde yapılmıştır. Her karışım oranı için üç küp numune kullanılmıştır. Basınç dayanım testi sonucunda açığa çıkan bu üç değerın ortalaması alınmıştır. Standart verilerine göre ± %0,2 mm doğruluk ve bir ±1 mm yer değiştirme ile 35 ton kapasiteli basınç dayanım test makinesi kullanılmıştır. Basınç dayanım ara yüzü ve basınç dayanım makinesi Şekil 28'de ve Şekil 29'da gösterilmiştir.

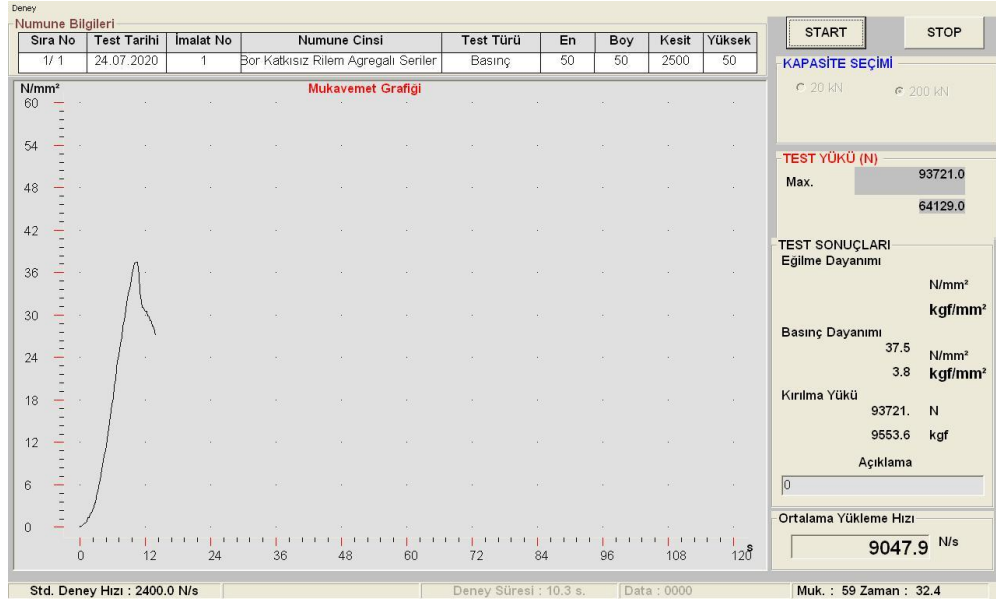
Basınç dayanımı formülü denklem (8) de gösterilmiştir.

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad (8)$$

f_c : Deney numunesi basınç dayanımı (N/mm²),

F: Kırılma yükü (N),

A_c : Deney numunesi kesit ortalama alanını (mm²) belirtmektedir



Şekil 28. Basınç deneyi ara yüzü.



Şekil 29. Basınç deneyi düzeneği.

Yüksek sıcaklık direnci testi.

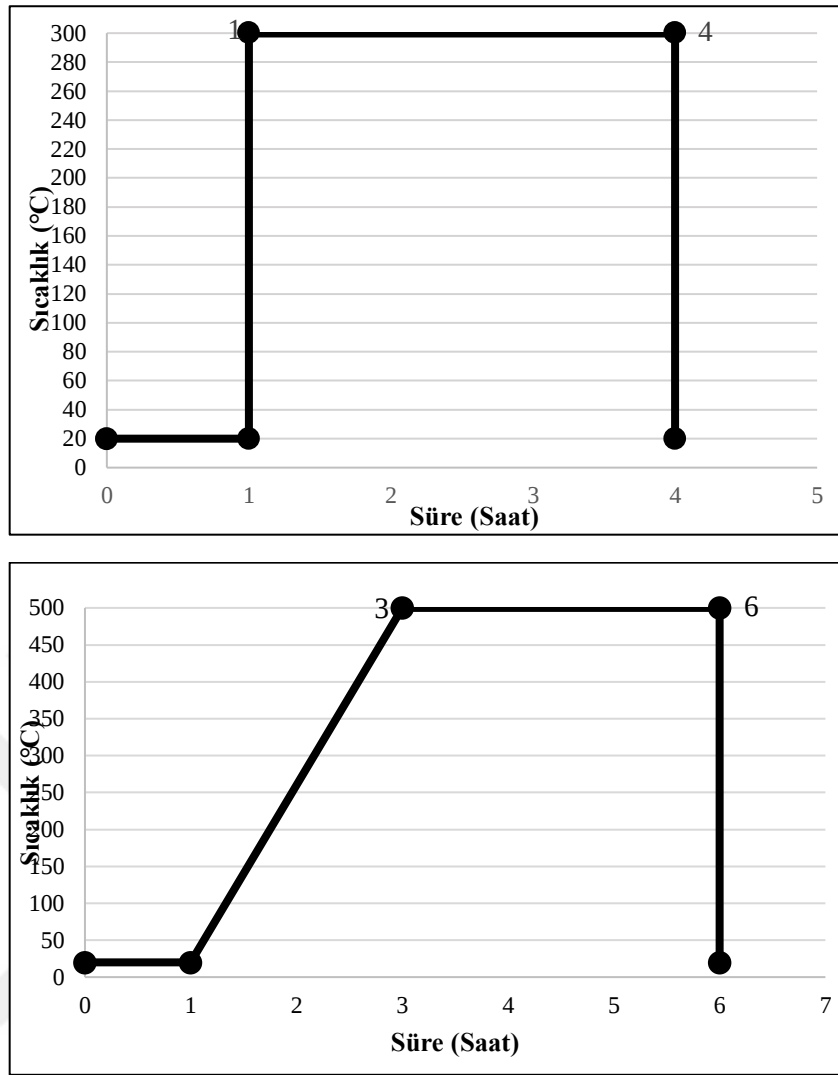
Çimento harçları 28 günlük su küründen, alkali aktive harçlar 90 °C etüv küründen sonra başlangıç sıcaklığı 20°C ile başlayıp 3'er saatlik 300°C ve 500 °C yüksek sıcaklık direncine tabii tutulmuştur. Numunelere daha sonrasında su emme yoğunluk ve basınç dayanım testi uygulanmıştır. Yüksek sıcaklık deneylerinin yapıldığı yüksek sıcaklık fırını Şekil 30'da ve Şekil 31'de gösterilmiştir. Isınma rejimi Şekil 32'de verilmiştir.



Şekil 30. Yüksek sıcaklık fırını.



Şekil 31. Fırına konulan numuneler.



Şekil 32. Isınma rejimleri.

Numunelerin lineer soğurma katsayılarının NGCal yazılımı ile hesaplanması.

Gökçe, Güngör ve Yılmaz (2021) tarafından geliştirilmiş olan NGCal programı elementler, bileşikler ve oksitlerden oluşan çok bileşenli kompozit malzemeler için, 0,002 MeV – 20 MeV enerji aralığında ki fotonlar ile termal nötron (25.4 meV) ve hızlı nötronlar (4 MeV) için lineer soğurma katsayıları, kütle soğurma katsayıları, ortalama serbest yol, yarı ve onuncu değer katmanlarını hesaplayan çevrimiçi bilgisayar yazılımıdır.

Hazırlanan alkali aktive harç ve çimento serilerinde yüksek sıcaklığa tabi tutulmuş ve tutulmamış olan numunelerin oksit içeriği ve yoğunluk değerleri hesaplanarak NGCal programına veri olarak girilip termal nötronlar için lineer soğurma katsayıları hesaplanmıştır. NGCal ara yüzü Şekil 33’te gösterilmiştir.

How to Cite

Contact Us

Desired Properties

☐ Mass attenuation coefficient/factor, cm²/g
☒ Linear attenuation coefficient/factor, cm⁻¹
☐ 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

Energy 2

Energy 3

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/cm³)

2,066

Element/Oxide/Compound

Fraction

MgO

MnO

Na2O

P2O5

SiO2

TiO2

SO3

SiO

H2O

5,92859794

4,82092806

1,60697602

0

0,719402055

0,985674245

0

5,51276808

23,05699159

☒ by Weight
☐ by Empirical/Molecular Formula

Sample Name

1. Karşın 500C

Density (g/cm³)

1,745

Element/Oxide/Compound

Fraction

MgO

MnO

Na2O

P2O5

SiO2

TiO2

SO3

SiO

H2O

0,985674245

0

5,51276808

0,051385861

54,1108689

0,210214886

1,905948303

0

23,05699159

☒ by Weight
☐ by Empirical/Molecular Formula

Sample Name

1. Karşın 500C

Density (g/cm³)

1,718

Element/Oxide/Compound

Fraction

MgO

MnO

Na2O

P2O5

SiO2

TiO2

SO3

SiO

H2O

0,985674245

0

5,51276808

0,051385861

54,1108689

0,210214886

1,905948303

0

23,05699159

☒ by Weight
☐ by Empirical/Molecular Formula

Sample Name

Density (g/cm³)

Element/Oxide/Compound

Fraction

☒ by Weight
☐ by Empirical/Molecular Formula

Σ COMPUTE

Clear All Data

Şekil 33. NGCal ekran ara yüzü.

Alkali aktive ve çimento serilerinin NGCal yazılımı ile teorik olarak lineer soğurma katsayılarını bulmak için oksit analiz değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler Tablo 14 ve Tablo 15’te verilmiştir.

Tablo 14. Alkali Aktive Serilerin Oksit Analiz Değerleri

Kimyasal Formül	A0	A5	A10
Al ₂ O ₃	5,92805	5,65711	5,38617
CaO	4,82092	4,90898	4,99704
Fe ₂ O ₃	1,60697	1,57380	1,54064
B ₂ O ₃	0	0,40162	0,80325
K ₂ O	0,71940	0,71402	0,70865
MgO	0,98567	0,98567	0,98567
Na ₂ O	5,51276	5,51417	5,51557
P ₂ O ₅	0,05138	0,04881	0,04624
SiO ₂	54,11086	53,75390	53,39707
TiO ₂	0,21021	0,19970	0,18919
SO ₃	1,90594	1,81065	1,71535
H ₂ O	23,05699	23,28710	23,51736

Tablo 15. *Çimento Serilerin Oksit Analiz Değerleri*

Kimyasal Formül	Ç0	Ç5	Ç10
Al₂O₃	1,51730	1,47533	1,43337
CaO	13,62036	13,25595	12,89153
Fe₂O₃	1,98993	1,95680	1,92368
B₂O₃	0	0,37976	0,75953
K₂O	1,04466	1,03582	1,02699
MgO	1,32073	1,31190	1,30306
Na₂O	0,06625	0,06736	0,06846
P₂O₅	0,02208	0,02098	0,01987
SiO₂	65,70110	65,53987	65,37865
TiO₂	0,08834	0,08392	0,07950
SO₃	0,59631	0,56650	0,53668
H₂O	12,10920	12,35269	12,59619

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

Araştırma Bulguları ve Tartışma

Çimento ve Alkali Aktive Hamurlar Üzerinde Yapılan Deneylerin Sonuçları

Priz başlangıç, priz bitiş deneyi sonuçları.

Çimento ve alkali aktive hamurları üzerinde yapılan kıvam, priz başlangıç ve priz bitiş deneylerine ait veriler Tablo 16’da gösterilmiştir.

Tablo 16. *Hamurlar Üzerinde Yapılan Deneyler ve Sonuçları*

Bağlayıcı Tipi	Katkı Oranı (%)	Standart Kıvam Suyu, % (Göreceli)	Priz Başlangıç (Dk)	Priz Bitiş (Dk)
Ç0	0	31,2 (%100)	170	228
Ç5	5	32,4 (%103,84)	190	435
Ç10	10	32,6(%104,48)	320	645
A0	0	20 (%100)	45	105
A5	5	21,8(%109)	35	75
A10	10	22(%110)	15	45

Üretilen Portland Çimento serileri için, çimento miktarının %5 ve %10 u kadar kolemanit ikamesinin kullanılması sonucu standart kıvam, priz başlangıç ve priz bitiş süreleri incelendiğinde,

%5 ve %10 kolemanit katkılı Ç5 ve Ç10 numunelerinin standart kıvam suyu değerleri, kontrol numunesi olan %0 kolemanit katkılı Ç0 numunesine göre sırasıyla %3,84 ve %4,48 oranında artmıştır. Kolemanit katkısının priz başlangıç ve priz bitiş sürelerine etkisi incelendiğinde, kolemanit katkısız Portland çimento kontrol numunesi olan Ç0’a göre, katkı miktarı %5 olan numunede prizi başlangıcı 20 dakika sonra başlarken prizi 207 dakika sonra bitmiş, %10 numune de ise priz başlangıcı 150 dakika sora başlarken, prizi 417 dakika sonra sona ermiştir.

Kolemanit katkı miktarının artması sonucu Portland çimento serilerinde standart kıvam suyunda artış meydana gelmiş ve priz başlangıç ile priz bitiş sürelerinin uzadığı gözlemlenmiştir. Karışımlarda ki B_2O_3 konsantrasyonunun artması çimento ve borun reaksiyonu sonucunda CBH_6 (kalsiyum di borat) oluşması ile çimento hidratasyonunun

yavaşladığı ve neredeyse durduğu buna bağlı olarak priz sürelerinin uzadığı belirtilmiştir. (Pehlivanoglu, Davraz, & Kılınçarslan, 2013).

Alkali Aktive hamur serileri için, toz malzeme miktarının %5 ve %10 u kadar kolemanit ikamesinin kullanılması sonucu standart kıvam, priz başlangıç ve priz bitiş süreleri incelendiğinde, %5 ve %10 kolemanit katkılı A5 ve A10 numunelerinin standart kıvam suyu değerleri, kontrol numunesi olan %0 kolemanit katkılı A0 numunesine göre sırasıyla %9 ve %10 oranında artmıştır. Kolemanit katkısının priz başlangıç ve priz bitiş sürelerine etkisi incelendiğinde, kolemanit katkısız kontrol numunesi olan A0'a göre, katkı miktarı %5 olan numunede prizi başlangıcı 15 dakika önce başlarken prizi 30 dakika önce bitmiş, %10 numune de ise priz başlangıcı 30 dakika önce başlarken, prizi 60 dakika önce sona ermiştir.

Çimento ve Alkali Aktive Harçlar Üzerinde Yapılan Deneylerin Sonuçları

Bu bölümde bor katkı kullanılarak üretilen çimento harç ve alkali aktive malzeme numuneleri üzerinde yapılan deney sonuçları yer almıştır.

Yayılma tablası deneyi sonuçları.

Bor katkılı portland çimento harçları için yayılma tablası deneyi sonucunda elde edilen değerler Tablo 17'de verilmiştir.

Tablo 17. *Bor Katkılı Portland Çimento Harçların Yayılma Tablası Deney Sonuçları*

Bağlayıcı Tipi	Katkı Oranı	Yayılma (cm)
Ç0	0	16,2(%100)
Ç5	5	17,1(%105,5)
Ç10	10	18,3(%114,37)

Bor ikameli Portland çimento harçlar üzerinde yapılan yayılma deneyi sonucunda elde edilen bulgular değerlendirildiğinde;

Bor ikamesi ile birlikte çimento harçların yayılma çapları artmıştır. Kontrol numunesi olan Ç0 göre, %5 kolemanit katkılı Ç5 ve %10 kolemanit katkılı Ç10 numunelerinin işlenebilirlik değerleri sırasıyla %5,5 ve %14,3 olarak artmıştır. İşlenebilirlik değerlerinin artmasının sebebi, bağlayıcılık özelliği gösteren çimento miktarının %5 ve %10 oranlarında azalıp, kolemanit miktarının %5 ve %10 oranlarında artması düşünülmektedir.

Bor katkılı alkali aktive harçlar için yayılma tablası deneyi sonucunda elde edilen değerler Tablo 18'de verilmiştir.

Tablo 18. *Bor Katkılı Alkali Aktive Harçların Yayılma Tablası Deney Sonuçları*

Bağlayıcı Tipi	Katkı Oranı	Yayılma (cm)
A0	0	10,3(%100)
A5	5	10,7(%103,88)
A10	10	10,8(%104,85)

Bor ikameli alkali aktive harçlar üzerinde yapılan yayılma deneyi sonucunda elde edilen bulgular değerlendirildiğinde;

Bor ikamesi ile birlikte alkali aktive harçların yayılma çapları çimento serilerinde olduğu gibi artmıştır. Kontrol numunesi olan A0'a göre %5 kolemanit katkı A5 ve %10 kolemanit katkı A10 numunelerinin işlenebilirlik değerleri sırasıyla %3,8 ve %4,8 olarak artmıştır. Alkali aktive harçlarda işlenebilirlik değerlerinin artmasının sebebi, bağlayıcılık özelliği gösteren alkali toz malzeme miktarının ağırlıkça %5 ve %10 olarak azalması ve aynı oranlarda bağlayıcılık özelliği olmayan kolemanitin eklenmesi düşünülmektedir.

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

Kolemanit katkı Portland çimento ve alkali aktive harç numunelerinin farklı sıcaklıklara maruz bırakıldıktan sonra su emme, boşluk oranı ve birim hacim ağırlık değerleri Tablo 19'da ve Tablo 20.'de gösterilmiştir.

Tablo 19. *Ç. Numunelerinin Su Emme, Yoğunluk ve Boşluk Oranı Deneyi Sonuçları*

Numune Kodu	Sıcaklık (°C)	Su Emme (%)	Görünen Porozite (%)	Yoğunluk (kg/dm ³)
Ç0	20	0,084	0,173	2,21
Ç0	300	0,106	0,214	1,99
Ç0	500	0,119	0,240	1,96
Ç5	20	0,091	0,188	2,24
Ç5	300	0,110	0,222	2,01
Ç5	500	0,121	0,244	1,98
Ç10	20	0,113	0,225	2,19
Ç10	300	0,117	0,235	1,97
Ç10	500	0,124	0,242	1,94

Çimento serilerde; Kontrol çimentosu olan Ç0 20°C harç numunesine göre, %5 ve %10 kolemanitin katkı etkisi ağırlıkça su emme oranını sırasıyla %8,33 ve %34,52 artırmıştır. Kontrol çimentosu olan Ç0 20°C harç numunesine göre, %5 ve %10 kolemanitin katkı etkisi ağırlıkça porozite oranını ise sırasıyla %8,67 ve %30,05 artırmıştır. Kontrol çimentosu olan Ç0 20°C harç numunesine göre, %5 kolemanit katkı oranında ağırlıkça yoğunluk değeri %1,35 artarken %10 kolemanit katkı oranında ağırlıkça yoğunluk değeri %0,90 azalmıştır.

Kolemanit katkısının etkisi incelendiğinde, ağırlıkça miktarının artması sonucu hazırlanan Portland çimentosu harç numune serilerinde su emme ve boşluk oranlarında artış meydana getirdiği belirlenmiştir. Bu davranışın sebebi, çimento miktarının azaltılarak %5 ve %10 u kadar kolemanitin eklenmesi gösterilebilir.

Kontrol çimentosu olan Ç0 20°C harç numunesine göre yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numuneler incelendiğinde, sıcaklığın 300°C ve 500°C artması sonucu su emme değerleri sırasıyla %26,19 ve %41,66 oranında artış göstermiştir. Kontrol çimentosu olan Ç0 20°C harç numunesine göre yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numuneler incelendiğinde, sıcaklığın 300°C ve 500°C artması sonucu porozite değerleri sırasıyla %23,69 ve %38,72 oranında artış göstermiştir.

Sıcaklığın etkisi ile serbest ve kimyasal suyun buharlaşması, malzemenin genişterek hacminin artmasına ve birim ağırlığının azalmasına sebep olmaktadır (Fevziye vd., 1995; Anderberg, 2003). Hacim artışı sonucu numunelerdeki boşluk oranı artacağından su emme miktarı da buna bağlı olarak artmaktadır.

Tablo 20. Alkali Aktive Harç Numunelerin Ağırlıkça Su Emme, Birim Hacim Ağırlık, Boşluk Oran Sonuçları

Numune	Sıcaklık (°C)	Su Emme (%)	Görünen Porozite (%)	Yoğunluk (kg/dm ³)
A0	20	0,162	0,288	2,06
A0	300	0,176	0,310	1,74
A0	500	0,184	0,319	1,71
A5	20	0,173	0,307	2,08
A5	300	0,180	0,317	1,76
A5	500	0,186	0,324	1,74
A10	20	0,177	0,309	2,05
A10	300	0,181	0,320	1,74
A10	500	0,190	0,327	1,71

Bor katkılı alkali aktive harç numunelerinin su emme deney sonuçları elde edilen bulgulara göre değerlendirildiğinde:

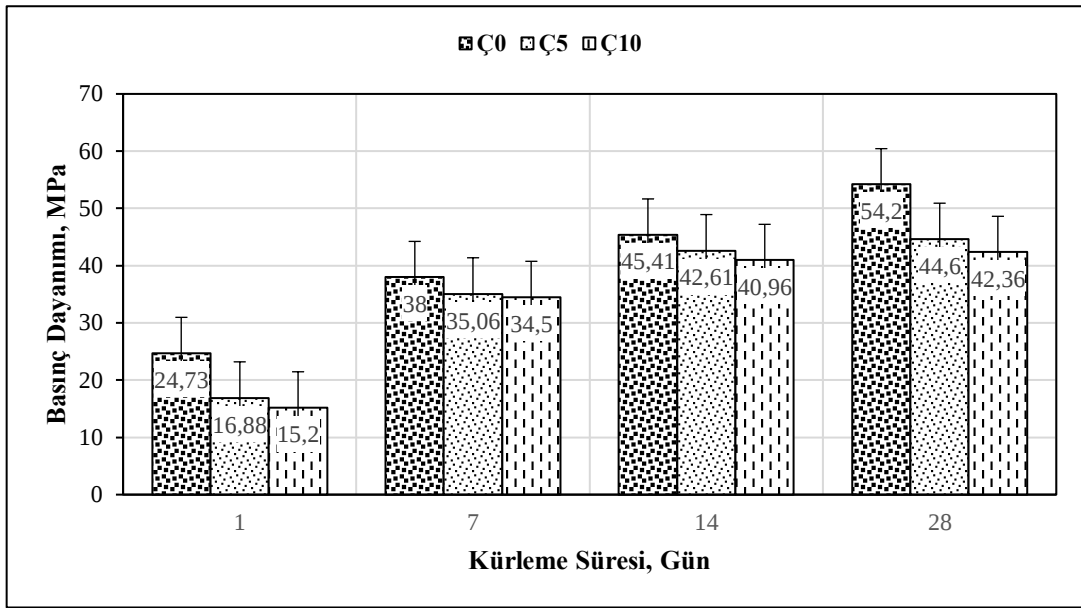
Alkali aktive kontrol numunesi olan kolemanit katkısız A0 20°C harç numunesine göre, %5 ve %10 kolemanitin katkı etkisi, ağırlıkça su emme oranını sırasıyla %6,79 ve %9,25 oranında artırmıştır. Alkali aktive kontrol numunesi olan kolemanit katkısız A0 20°C harç numunesine göre, %5 ve %10 kolemanitin katkı etkisi, ağırlıkça porozite oranını ise sırasıyla %6,59 ve %7,29 artırmıştır. Alkali aktive kontrol numunesi olan A0 20°C harç numunesine göre, %5 kolemanit katkı oranında ağırlıkça yoğunluk değeri %0,97 artarken %10 kolemanit katkı oranında ağırlıkça yoğunluk değeri %0,48 azalmıştır.

Kolemanit katkısının etkisi incelendiğinde, ağırlıkça miktarının artması sonucu hazırlanan alkali aktive harç numune serilerinde birim ağırlık, su emme ve boşluk oranlarında artış meydana getirdiği belirlenmiştir. Bu davranış, alkali aktive matrisinin daha iyi özelliklere sahip olmasını sağlayan uçucu kül ve metakaolin miktarının azalması ve bu toz malzemenin %5 ve %10 u kadar kolemanitin eklenmesi olarak gösterilebilir.

Alkali aktive kontrol numunesi olan kolemanit katkısız A0 20°C harç numunesine göre yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numuneler incelendiğinde, sıcaklığın 300°C ve 500°C artması sonucu su emme olayı sırasıyla %9,00 ve %13,58 oranında artış göstermiştir. Alkali aktive kontrol numunesi olan A0 20°C harç numunesine göre yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numuneler incelendiğinde, sıcaklığın 300°C ve 500°C artması sonucu porozite olayı sırasıyla %7,63 ve %10,776 oranında artış göstermiştir.

Kolemanit katkısının Portland çimento harç serilerinde basınç dayanım sonuçlarına etkisi.

Deney sonuçlarına bakıldığında kolemanit katkı miktarının basınç dayanımına etkisi çimento seriler için Şekil 34.'te yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanım değerleri Şekil 35'te, alkali aktive harç malzemeleri basınç dayanım ve yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanım değerleri Şekil 36'da verilmiştir.



Şekil 34. Portland çimentosunda kolemanit katkısının basınç dayanımına etkisinin sonuçları.

Şekil 34.'de verilen, %0, %5 ve %10 bor katkılı portland çimento harç numunelerde bor katkısının basınç dayanım değerlerine etkisi incelendiğinde;

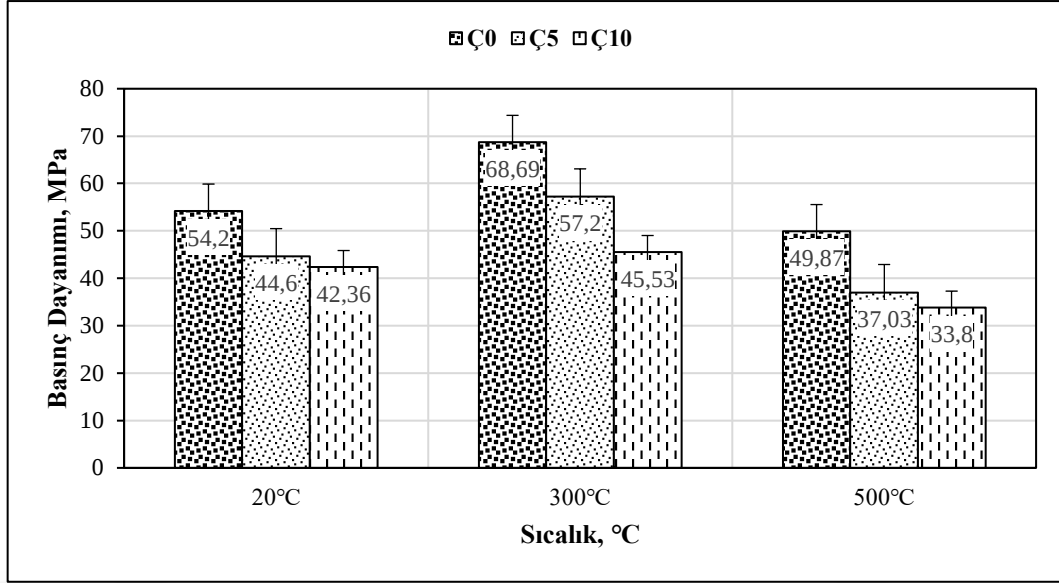
1 günlük serilerde, %5 ve %10 kolemanit katkılı Ç5 ve Ç10 Portland çimento harç numunelerinin basınç dayanım değerleri, 1 günlük portland çimento kontrol harç numunesi olan kolemanit katkısız Ç0'a göre sırasıyla %31,74 ve %38,53 oranlarında değer kaybetmiştir.

7 günlük serilerde, %5 ve %10 kolemanit katkılı Ç5 ve Ç10 Portland çimento harç numunelerinin basınç dayanım değerleri, 7 günlük portland çimento kontrol harç numunesi olan kolemanit katkısız Ç0'a göre sırasıyla %7,73 ve %9,2 oranlarında değer kaybetmiştir.

14 günlük serilerde, %5 ve %10 kolemanit katkılı Ç5 ve Ç10 Portland çimento harç numunelerinin basınç dayanım değerleri, 14 günlük portland çimento kontrol harç numunesi olan kolemanit katkısız Ç0'a göre sırasıyla %6,16 ve %9,7 oranlarında değer kaybetmiştir.

28 günlük serilerde, %5 ve %10 kolemanit katkılı Ç5 ve Ç10 Portland çimento harç numunelerinin basınç dayanım değerleri, 28 günlük portland çimento kontrol harç numunesi olan kolemanit katkısız Ç0'a göre sırasıyla %17,71 ve %21,84 oranlarında değer kaybetmiştir.

Yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası çimento serilerin basınç dayanım sonuçları.



Şekil 35. 28 günlük portland çimento numunelerinin yüksek sıcaklığa bağlı olarak basınç dayanım sonuçları.

Şekil 35’de verilen, yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış ve bırakılmamış portland çimento harç numunelerin basınç dayanım sonuçları değerlendirildiğinde;

28 günlük Portland çimento kontrol harç numunesi olan 20°C kolemanit katkısız Ç0’ın yüksek sıcaklığa bağlı basınç dayanım değerleri, 300°C sıcaklıkta %26,7 artarken 500°C sıcaklıkta %7,9 azalmıştır.

28 günlük Portland çimento harç numunesi olan 20°C %5 kolemanit katkılı Ç5’in yüksek sıcaklığa bağlı basınç dayanım değerleri, 300°C sıcaklıkta %39,9 artarken 500°C sıcaklıkta %9,3 azalmıştır.

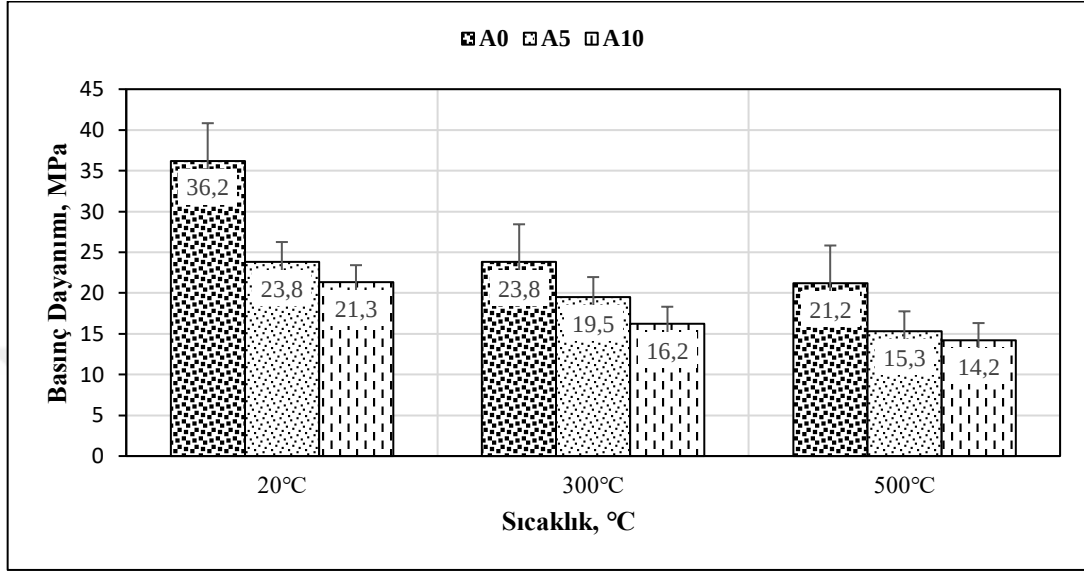
28 günlük Portland çimento harç numunesi olan 20°C %10 kolemanit katkılı Ç10’ın yüksek sıcaklığa bağlı basınç dayanım değerleri, 300°C sıcaklıkta %7,4 artarken 500°C sıcaklıkta %20,2 azalmıştır.

Çimento hamurunda jel yapısındaki kalsiyum silika hidratenin (CSH) katı ögeleri tutulan su yardımıyla birbirine bağlanır. 110°C sıcaklıktan sonra bünyesindeki suyu kaybetmeye başlar. Kılcal boşluklarda bulunan su 100°C sıcaklıkla beraber buharlaşırken, dehidratasyonla serbest halde kalan su ve tutulan su 300°C sıcaklıktan sonra buharlaşır. Buharlaşan su yapıda büzölmeye sebebiyet verir. Bundan kaynaklıda çatlamlar ve parça atmalar meydana gelir (Andrade, Alonso, & Khoury, 2003)

Erken yaşlarda hidratasyon devam ettiği için hidratasyon için gerekli olan su sıcaklığa bağlı olarak buharlaşacağından reaksiyon durma derecesine gelir ve dayanımda düşüşler oluşur.

İleriki yaşlarda ise hidratasyon ürünü olan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yüksek sıcaklık etkisi ile CaO 'ya dönüşür ve buna bağlı olarak büzülme ve çatlamlar meydana gelir. Sıcaklık arttıkça C-S-H yapısı bozulur ve dayanımda %80'lere kadar kayıplar meydana gelir (Baradan, 2010).

Yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası alkali aktive harç serilerinin basınç dayanım sonuçları.



Şekil 36. Alkali aktive harç numunelerin yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası basınç dayanım sonuçları.

Şekil 36.'da verilen yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış ve bırakılmamış alkali aktive numunelerin basınç dayanım sonuçları değerlendirildiğinde;

Alkali aktive kontrol harç numunesi olan 20°C kolemanit katkısız A0'ın yüksek sıcaklığa bağlı basınç dayanım değerleri, 300°C ve 500°C sıcaklıklarda sırasıyla %34,2 ve %41,4 oranında değer kaybetmiştir.

%5 kolemanit katkılı alkali aktive harç numunesi olan 20°C A5'in yüksek sıcaklığa bağlı basınç dayanım değerleri, 300°C ve 500°C sıcaklıklarda sırasıyla %18,06 ve %35,7 oranında değer kaybetmiştir.

%10 Kolemanit katkılı alkali aktive harç numunesi olan 20°C A10'un yüksek sıcaklığa bağlı basınç dayanım değerleri, 300°C ve 500 °C sıcaklıklarda sırasıyla %23,94 ve %33,3 oranında değer kaybetmiştir.

Kolemanit katkısının alkali aktive harç serilerinde basınç dayanım sonuçlarına etkisi.

%0, %5 ve %10 kolemanit katkılı alkali aktive harç numunelerinde, kolemanit katkısının basınç dayanım değerlerine etkisi incelendiğinde;

20°C'lik serilerde %5 ve %10 kolemanit katkılı A5 ve A10 alkali aktive harç numunelerinin basınç dayanım değerleri, alkali aktive kontrol harç numunesi olan kolemanit katkısız A0'a göre sırasıyla %34,2 ve %41,1 oranlarında değer kaybetmiştir.

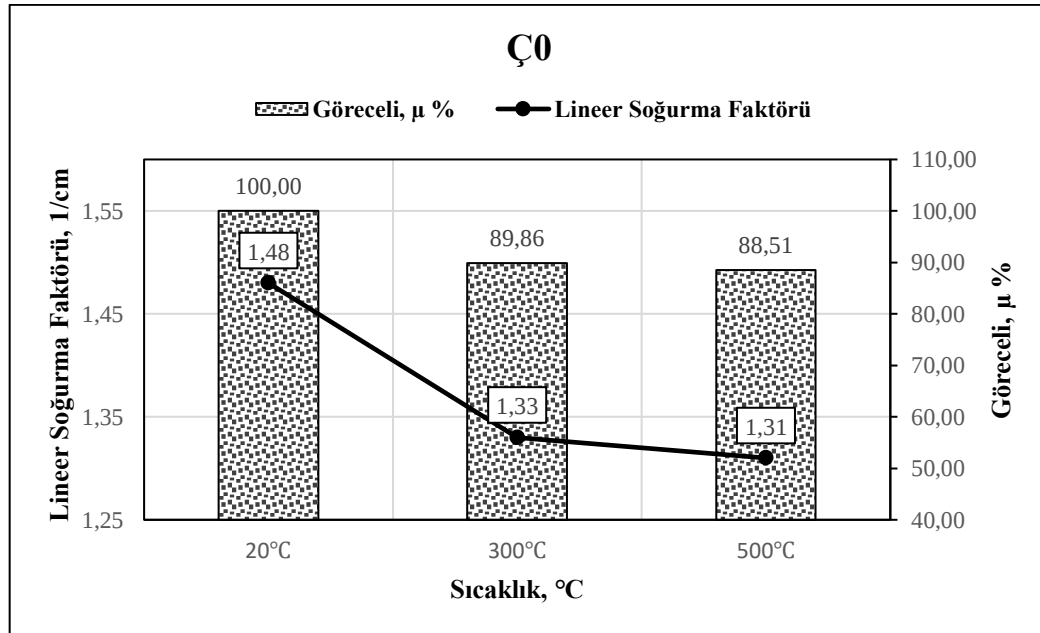
300°C'lik serilerde de aynı şekilde %5 ve %10 kolemanit katkılı A5 ve A10 alkali aktive harç numunelerinin basınç dayanım değerleri, alkali aktive kontrol numunesi olan kolemanit katkısız A0'a göre sırasıyla %18,06 ve %31,93 oranlarında değer kaybetmiştir.

Kolemanit katkılı ve katkısız kompozit yapıdaki alkali aktive harç numunelerin basınç dayanım değerleri yüksek sıcaklığa bağlı olarak yapı matrisindeki dehidrasyon ve serbest suların buharlaşması sonucu önemli ölçüde azaltır (Zhang, 2014).

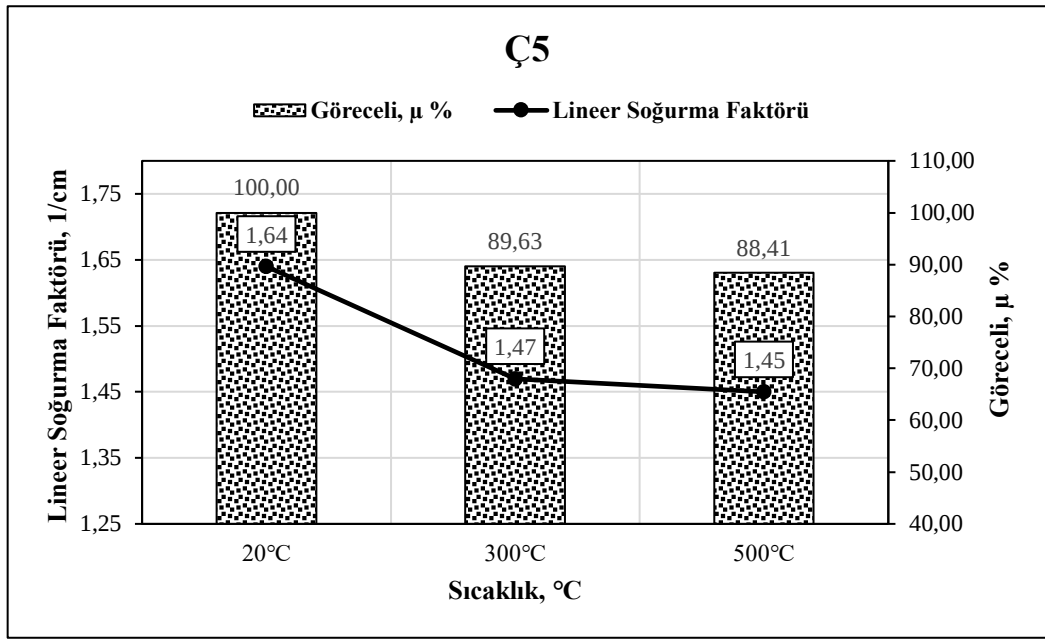
%0, %5 ve %10 kolemanit katkılarının alkali aktive dayanım sonuçlarına etkisine bakıldığında genel olarak kolemanit katkılı numuneler kontrol örneğinden daha düşük basınç dayanım değerlerine sahiptir. Kolemanit miktarının artması alkali aktive serilerde basınç dayanımını olumsuz etkilemiştir.

Numunelerin lineer soğurma katsayılarına yüksek sıcaklığın etkisi.

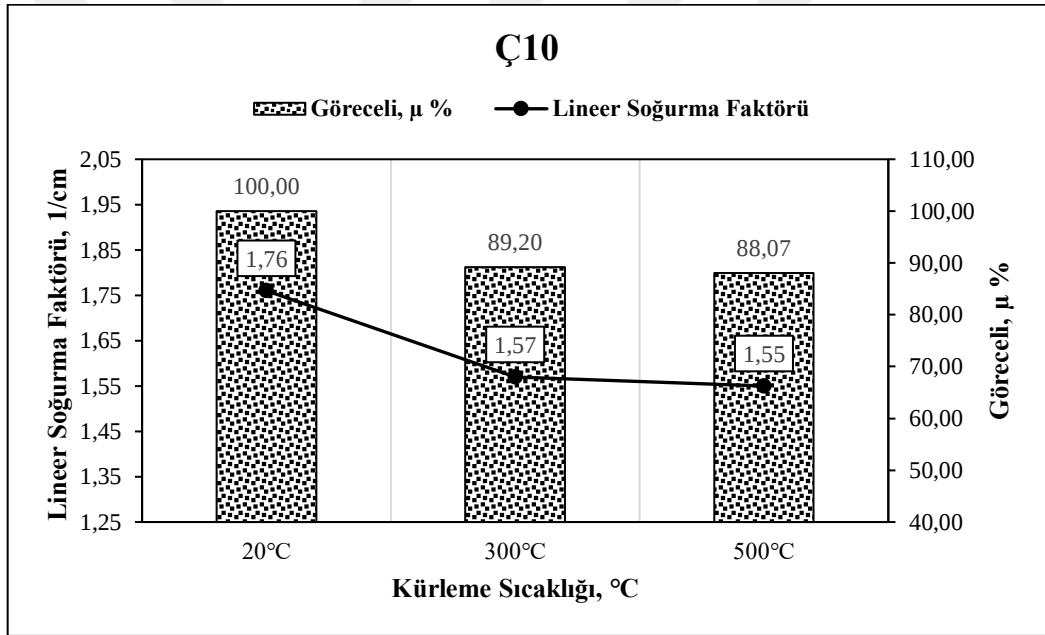
Çalışma kapsamında hazırlanan %0, %5 ve %10 bor katkılı alkali aktive harç ve %0, %5 ve %10 bor katkılı çimento numunelerinin kütleme sıcaklığına bağlı olarak termal nötronlar için belirlenen lineer soğurma katsayıları değişimleri portland çimentoları için Şekil 37, Şekil 38 ve Şekil 39'de geopolimer serileri için Şekil 40, Şekil 41, Şekil 42.'de verilmiştir.



Şekil 37. %0 kolemanit katkılı portland çimento lineer soğurma katsayıları.



Şekil 38. %5 kolemanit katkılı portland çimento lineer soğurma katsayıları.



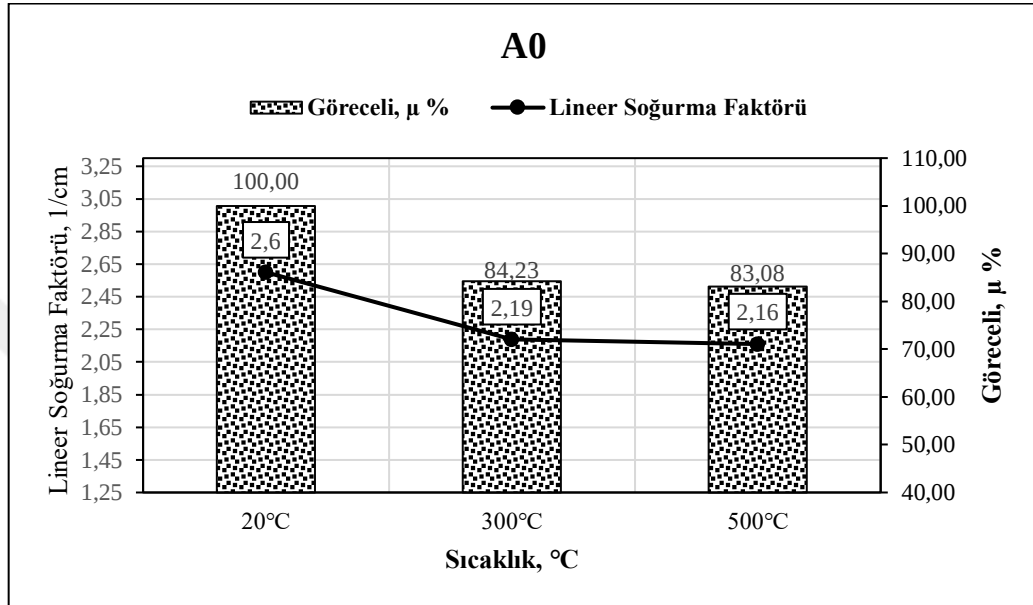
Şekil 39. %10 kolemanit katkılı portland çimento lineer soğurma katsayıları.

Farklı kürleme sıcaklıklarında bor katkı malzemesi kullanarak hazırlanan portland çimentosu serilerinin nötron soğurma performansları için hesaplanan lineer soğurma katsayıları değerlendirildiğinde;

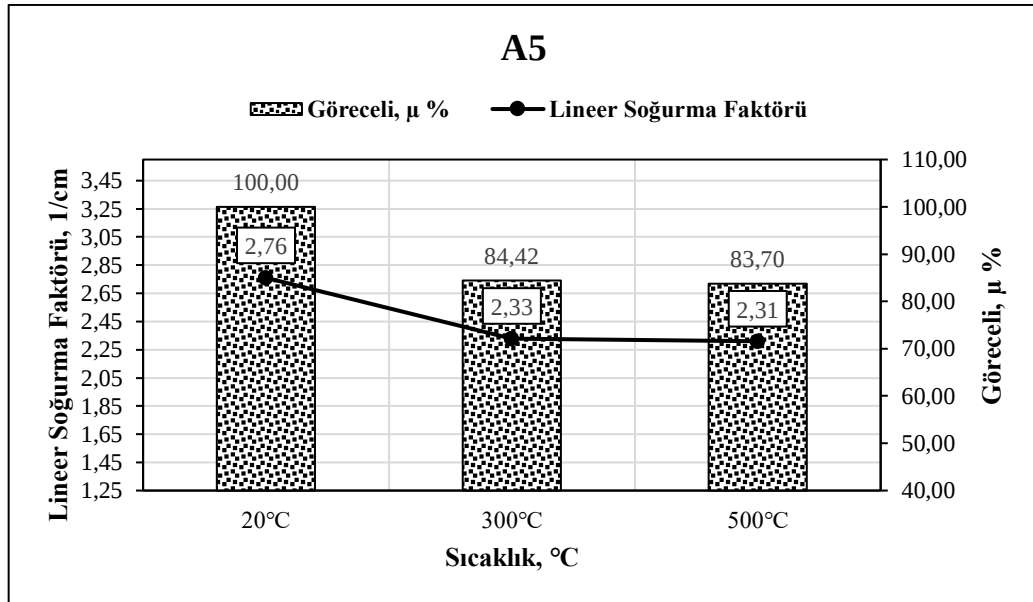
%0 kolemanit katkılı Ç0 numunelerinin 300°C ve 500°C deki lineer soğurma katsayıları, 20°C’de ki lineer soğurma katsayılarına göre sırasıyla %10,14 ve %11,49 oranlarında azalmıştır.

%5 kolemanit katkılı Ç5 numunelerinin 300°C ve 500°C deki lineer soğurma katsayıları, 20°C’de ki lineer soğurma katsayılarına göre sırasıyla %10,37 ve %11,59 oranlarında azalmıştır.

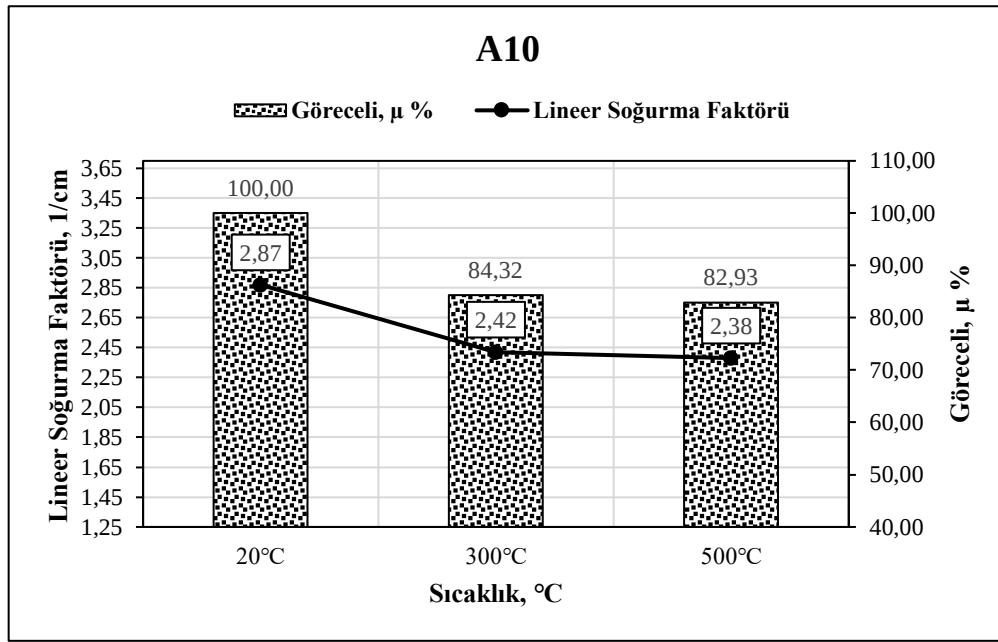
%10 kolemanit katkılı Ç10 numunelerinin 300°C ve 500°C deki lineer soğurma katsayıları, 20°C’de ki lineer soğurma katsayılarına göre sırasıyla %10,8 ve %11,93 oranlarında azalmıştır.



Şekil 40. %0 kolemanit katkılı alkali aktive lineer soğurma katsayıları.



Şekil 41. %5 kolemanit katkılı alkali aktive lineer soğurma katsayıları.



Şekil 42. %10 kolemanit katkılı alkali aktive lineer soğurma katsayıları.

Farklı kürleme sıcaklıklarında bor katkı malzemesi kullanarak hazırlanan geopolimer serilerinin nötron soğurma performansları için hesaplanan lineer soğurma katsayıları değerlendirildiğinde;

%0 kolemanit katkılı A0 numunelerinin 300°C ve 500°C deki lineer soğurma katsayıları, 20°C’de ki lineer soğurma katsayılarına göre sırasıyla 15,77% ve %16,92 oranlarında azalmıştır.

%5 kolemanit katkılı A5 numunelerinin 300°C ve 500°C deki lineer soğurma katsayıları, 20°C’de ki lineer soğurma katsayılarına göre sırasıyla %15,58 ve %16,03 oranlarında azalmıştır.

%10 kolemanit katkılı A10 numunelerinin 300°C ve 500°C deki lineer soğurma katsayıları, 20°C’de ki lineer soğurma katsayılarına göre sırasıyla %15,68 ve %17,07 oranlarında azalmıştır.

BEŞİNCİ BÖLÜM

Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışma kapsamında standart kum kullanılarak uçucu kül ve metakaolin esaslı alkali aktive ve çimento bağlayıcılı harç numuneler kolemanit ikamesi ile üretilmiştir. Üretilen bu numunelerde priz başlangıç ve bitiş süreleri, yoğunluk, su emme, basınç dayanımı ve termal nötron soğurma performansları incelenmiştir.

Kolemanit katkısının çimento ve alkali aktive hamur serilerinin priz başlangıç ve bitiş sürelerine etkisi incelendiğinde, kullanılan katkı miktarına bağlı olarak çimento serilerinde katkı miktarının %5 ve %10 oranlarında artması sonucu priz başlangıç süreleri sırasıyla %11,76 ve %88,23 oranında ve priz bitiş süreleri ise sırasıyla %90,78 ve %182,89 oranında gecikmiştir. Alkali aktive hamur serileri incelendiğinde ise priz başlangıç süreleri sırasıyla %66,66 ve %22 ve priz bitiş süreleri ise sırasıyla %28,58 ve %57,15 oranında kısalmıştır. Kolemanit katkı miktarının artması çimento serilerinde priz süresini uzatırken, alkali aktive harç serilerinde priz sürelerini kısaltmıştır.

Çimento ve alkali aktive harç serilerinin kolemanit katkı miktarına bağlı olarak su emme ve yoğunluk değerleri incelendiğinde; çimento serilerinde katkı miktarının %5 ve %10 oranlarında artması sonucu su emme değerleri sırasıyla %8,33 ve %34,52 oranlarında artmıştır. Alkali aktive harç serilerinde ise su emme değerleri sırasıyla %6,79 ile %9,25 oranlarında artmıştır. Yoğunluk değerleri çimento serilerinde katkı miktarının %5 olması durumunda %1,35 artmış, %10 olması durumunda %0,9 oranında azalmıştır. Alkali aktive harç serilerinde ise katkı miktarının %5 olması durumunda yoğunluk değeri %0,97 artmış, %10 olması durumunda %0,48 azalmıştır.

%5 ve %10 kolemanit katkı miktarının çimento ve alkali aktive harç serilerinin dayanım sonuçlarına etkisi değerlendirildiğinde; 28 günlük çimento serileri için basınç dayanım değerleri sırasıyla %17,71 ve %15,9 azalmıştır. Alkali aktive harç serilerine bakıldığında basınç dayanım değerleri sırasıyla %34,2 ve %41,1 azalmıştır. Kolemanit kullanımının alkali aktive sistemlerin basınç dayanım kayıpları üzerinde çimentolu karışımlara göre daha belirgin olduğu görülmüştür.

Yüksek sıcaklığın kolemanit katkılı çimento ve alkali aktive harç serilerine etkisi değerlendirildiğinde; 28 günlük Portland çimento serilerinde sıcaklığın 300°C'ye çıkması ile dayanım değeri %26,7 artmıştır. 500°C de ise dayanım değeri %7,9 azalmıştır. Alkali aktive

harç serileri için ise sıcaklığın 300°C'ye çıkması sonucu basınç dayanımı %34,2 azalmış ve 500°C'ye çıkması sonucu da %41,4 oranında azalmıştır.

Hazırlanan alkali aktive harç serilerinin termal nötron soğurma performansları, Portland çimento serilerine göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Çimento serilerinde kolemanit miktarının %5 ve %10 artması sonucu lineer soğurma faktörleri sırasıyla %10,8 ve %18,91 olarak artmaktadır. Alkali aktive harç serilerinde ise lineer soğurma faktörleri sırasıyla %6,15 ve %10,3 olarak artmaktadır. Yüksek sıcaklığa tabi tutulan seriler için ise harç numunelerinin serbest ve yapısal suyunu kaybetmesi ile nötron soğurma performansını önemli oranda düşürmüştür. Kolemanit katkısız alkali aktive harç serileri için 20°C'de lineer soğurma faktörü $2,87 \text{ cm}^{-1}$ iken 300°C' de bu değer %15,77 azalarak $2,42 \text{ cm}^{-1}$ 'e, 500°C'de ise %16,92 azalarak $2,3 \text{ cm}^{-1}$ 'e gerilemiştir. Çimento serileri için lineer soğurma faktörü $1,48 \text{ cm}^{-1}$ iken 300°C'de bu değer %10,14 azalarak $1,33 \text{ cm}^{-1}$ 'e, 500°C'de ise %11,49 azalarak $1,31 \text{ cm}^{-1}$ 'e gerilemiştir.

Bu tez çalışmasındaki sonuçlar bütünsel olarak değerlendirildiğinde, yüksek performanslı alkali aktive harçlar ve geopolimer sistemlerde kolemanit ve susuz boraks gibi önemli bor minerallerinin, kompozitlerin yüksek sıcaklık performanslarına ve nötron soğurma özelliklerine etkisinin incelenmesi ve çimentolu sistemlerle performanslarının kıyaslaması önerilmektedir.

Kaynakça

- Al Bakri, MM., Mohammed, H., Kamarudin, H., Niza, IK, & Zarina, Y. (2011). Portland Çimentosu içermeyen uçucu kül bazlı jeopolimer betonun gözden geçirilmesi. *Mühendislik ve teknoloji araştırmaları dergisi*, 3 (1), 1-4.
- Anderberg, Y. (2003). Course on effect of heat on concrete. *International Center for Mechanical Sciences (CISM)*, 9-13.
- 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.
- Arslan, A., A. (2019). *Metakaolin tabanlı jeopolimer harçlara farklı kür koşullarının etkisinin incelenmesi*. (Yüksek lisans tezi, Balıkesir Üniversitesi). <https://scholar.google.com/adresinden edinilmiştir>. (Tez No. 613774)
- Ayyıldız, G. (2003), Borun Harçta Kullanılması, Yapı Lab. Projesi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- Baradan, B., Yazici, H., & Ün, H. (2010). Beton ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite). *Türkiye Hazır Beton Birliği Yayınları, İstanbul*.
- Bayar, D. (2001). *Sulu çözeltilerden adsorbsiyonla bor giderimi ve deney tasarımı*. (Yüksek lisans tezi, Osmangazi Üniversitesi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir.
- Belmokhtar, N., Ammari, M., & Brigui, J. (2017). Comparison of the microstructure and the compressive strength of two geopolymers derived from Metakaolin and an industrial sludge. *Construction and Building Materials*, 146, 621-629.
- Bilge, B. (2008). *Portland çimentosu farinine ilave edilen katkıların çimentonun sinterleşme davranışına etkisi*. (Yüksek lisans tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir.
- Chindaprasirt, P., Chareerat, T., & Sirivivatnanon, V. (2007). Workability and strength of coarse high calcium fly ash geopolymer. *Cement and concrete composites*, 29(3), 224-229.
- Çek N. (2016). Parçacıklar ve Enerji Kaynakları. Lambert Academic Publishing, Saarbrücken, 338 p.
- Çelik, A. (2019). *Sentetik liflerle güçlendirilmiş bor atığı katkılı metakaolin tabanlı jeopolimer kompozitlerin yüksek sıcaklık davranışı ve mekanik özellikleri*. (Doktora tezi, Sakarya Üniversitesi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir.
- Davidovits, J. (1991). Geopolymers: inorganic polymeric new materials. *Journal of Thermal Analysis and calorimetry*, 37(8), 1633-1656.

- Davidovits, J. (1999). Geopolymer '99 2nd International conference. *Saint-Quentin, France*, s.n., pp. 9-39.
- Davidovits, J. (2008). Geopolymer Chemistry and Application. Institute of Geopolymer, Quentin, France – 4th editions,
- Davidovits, J. (2008). *They built the Pyramids*. Geopolymer Institute.
- Davidovits, J. (2013). Geopolymer cement. *A review. Geopolymer Institute, Technical papers*, 21, 1-11.
- Demirer, A. (2009). *Çimento katkısı olarak kullanılan farklı doğal puzolanların (tras) elektrokinetik ve yüzey özelliklerinin belirlenmesi*. (Yüksek lisans tezi, Dumlupınar Üniversitesi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir.
- DPT (2001). *Kimya Sanayi Hammaddeleri: Bor Tuzları-Trona Kaya Tuzu-Sodyum Sülfat-Stronsiyum*, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Raporu Sekizinci Bes Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Ankara.
- Elbeyli, F.Y. (2000). *Boraks ve borik asit üretiminde ortaya çıkan katı atıkların çimento sanayinde değerlendirilmesi*. (Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi). <https://scholar.google.com/> adresinden edinilmiştir. (Tez No. 95086)
- Elibol, C. (2012). *Alkalilerle aktive edilen çimento esaslı malzemelerin basınç dayanımlarının incelenmesi*. (Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir.
- Erdoğan, T. (2007). *Beton*. Ankara: ODTÜ Yayıncılık
- Ersoy, H. Y. (2001). *Kompozit malzeme* (1. Baskı). İstanbul: Literatür Yayıncılık.
- Ertaş, H. (2014). *Kurşun Madeni Atıklarının Radyasyon Zırhlama Etkilerinin Araştırılması* (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi. Gümüşhane). <https://scholar.google.com/> adresinden edinilmiştir. (Tez No. 365475)
- Evans, R. D., & Evans, R. D. (1955). *The atomic nucleus* (Vol. 582). New York: McGraw-Hill.
- Fevziye, A. K. Ö. Z., Yüzer, N., & Koral, S. (1995). Portlant Çimentolu ve Silis Dumanı Katkılı Harçların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Yüksek Sıcaklığın Etkileri. *Teknik Dergi*, 6(26).
- Girgin, S. (2016). *NaOH ile aktifleştirilmiş metakaolin katkılı geopolimer malzeme özelliklerinin araştırılması*. (Yüksek lisans tezi, Afyon Koca Tepe Üniversitesi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir.
- Gomes, B. P. F. A., Souza, S. F. C., Ferraz, C. C. R., Teixeira, F. B., Zaia, A. A., Valdrighi, L., & Souza-Filho, F. J. (2003). Effectiveness of 2% chlorhexidine gel and calcium hydroxide against *Enterococcus faecalis* in bovine root dentine in vitro. *International Endodontic Journal*, 36(4), 267-275.

- 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
- Gümüş, M. (2019). *Yüksek sıcaklığa maruz bırakılan polipropilen lifli ağır betonların gama ışını ve nötron soğurma performansları*. (Yüksek lisans tezi, Kırıkkale Üniversitesi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir.
- Hubbell, J. H. (1977). Photon mass attenuation and mass energy-absorption coefficients for H, C, N, O, Ar, and seven mixtures from 0.1 keV to 20 MeV. *Radiation Research*, 70(1), 58-81.
- Kalinkin, A. M., Kumar, S., Gurevich, B. I., Alex, T. C., Kalinkina, E. V., Tyukavkina, V. V., & Kumar, R. (2012). Geopolymerization behavior of Cu–Ni slag mechanically activated in air and in CO₂ atmosphere. *International Journal of Mineral Processing*, 112, 101-106.
- Kantarcı, F. (2013). *Elâzığ ferrokrom cürufundan alkali aktivasyon metoduyla üretilen geopolimer çimentolu betonların yangın dayanımının araştırılması*. (Yüksek lisans tezi, İnönü Üniversitesi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir.
- Kavas, T. (1997). *Seydişehir kırmızı çamuru ve kırka bor atıkları kullanılarak kaliteli yapı malzemesi üretim imkanlarının araştırılması*. (Yüksek lisans tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir.
- Kılınçarslan, Ş., Başyigit, C., Molla, T., & Sancar, S. (2011). Radyoaktif Işınlardan Korunaklı Ekolojik Yapılar. *Politeknik Dergisi*, 14(2), 93-99.
- Knoll, G. F. (2010). *Radiation detection and measurement*. John Wiley & Sons.
- Knoll, G.F. (1999). *Radiation Detection and Measurement* (3. Edition), John Wiley and Sons Inc., USA, 802p.
- Krane, K.S. (2011). *Nükleer Fizik 1*. Cilt Çeviri Editörü: Prof. Dr. Başar Şarer. Palme Yayıncılık, Ankara, 405 s.
- Krivenko, P., Garcia-Lodeiro, I., Kavalerova, E., Maltseva, O., & Fernández-Jiménez, A. (2014). A review on alkaline activation: new analytical perspectives. *Mater. Construcc*, 64(315), e022.
- L'Annunziata M.F.(2003). *Handbook of Radioactivity Analysis*. Elsevier Science, 2nd Ed, ABD.
- Malhotra, V., M. (2002). Introduction: sustainable development and concrete technology. *Concrete International*, 24(7), 1-22.
- Martin, J.E. (2013). *Radyasyon ve Radyasyondan Korunma Fiziği*, Çeviri Editörleri: Prof.Dr. Güneş Tanır, Doç.Dr. Mustafa Hicabi Bölükdemir, Yrd. Doç. Dr. Kemek Koç, Palme Yayıncılık, Ankara, 822s.

- Maxwell NI., (2013). Understanding Environmental Health. Jones&BartlettPublishers, United States, 450 p
- Mehta, P.K. and Monteiro, P.J.M. (2006): Concrete: Microstructure, Properties, and Materials (3. Edition), McGraw-Hill, USA, 659p.
- Mermerdaş, K., & Ekmen, Ş. (2018). Alkali aktivatör parametrelerinin ve test koşullarının geopolimer betonların büzülme ve sünme davranışı üzerine etkisi. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 3(3), 93-101.
- Nas, S. (2012). *Portland çimento ve uçucu kül ikameli çimentoların hidratasyon gelişimleri ile fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin araştırılması*. (Yüksek lisans tezi, Düzce Üniversitesi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir.
- Nath, P., & Sarker, P. K. (2012). Geopolymer concrete for ambient curing condition. In *Australasian Structural Engineering Conference 2012: The past, present and future of structural engineering* (p. 225). Engineers Australia.
- NCRP Report. (2005). Structural Shielding Design and Evaluation for Megavoltage X- and Gamma-Ray Radiotherapy Facilities, Recommendations of the National Council on Radition Protection and Measurements, NCRP, No. 151, USA, 246p.
- Önem, Y. (2000). Sanayi Madenleri, 2. Basım, Kazan Ofset, Ankara.
- Özkul, H., Taşdemir, M., & Topyay, M. (1999). Çimento Beton. *Türkiye Hazır Beton Birliği*, 18.
- Öztürk, B. C., Kızıltepe, C. Ç., Ozden, B., Güler, E., & Aydın, S. (2020). Gamma and neutron attenuation properties of alkali-activated cement mortars. *Radiation Physics and Chemistry*, 166, 108478.
- 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.
- Pelisser, F., Guerrino, E. L., Menger, M., Michel, M. D., & Labrincha, J. A. (2013). Micromechanical characterization of metakaolin-based geopolymers. *Construction and Building Materials*, 49, 547-553.
- Postacioğlu, B. (1986). Beton-bağlayıcı maddeler. *Teknik Kitaplar Yayınevi*, 39-175, İstanbul.
- Ramachandran, V. S. (1995). Concrete admixtures handbook. *William Andrew*, 114-159, New Jersey, ABD.
- Sarız, K. & Nuhoğlu, F. (1992). Endüstriyel Hammadde Yatakları ve Madenciliği, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.

- STP 169-A. (1966). Significance of tests and properties of concrete and concretemaking materials, ASTM Special Technical Publication, USA, 571p.
- Sümer, G. (2003). Bor bileşikleri. *TMMOB Kimya Mühendisliği Dergisi*, Ekim/Kasım, 164-165.
- Şafak, A. (2014). *Çimento mineralojisinin ve petrografisinin çimento teknolojisine katkısı*. (Yüksek lisans tezi, Niğde Üniversitesi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir.
- Şahin L. (2013). Parçacıklar ve Radyasyonun madde ile etkileşmesi <thm.ankara.edu.tr/tac/YAZOKULU/yazokulu4/dersnotlari/Latife_sahin.doc>
- Tekin, D. (2014). *Farklı inceliklerdeki mineral katkı çimentoların bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi*. (Yüksek lisans tezi, Bayburt Üniversitesi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir.
- Tekin, İ. (2005). *Çimento harçlarının porozitesinin bilgisayarlı tomografi ile belirlenmesi*. (Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir.
- Tippayasam, C., Balyore, P., Thavorniti, P., Kamseu, E., Leonelli, C., Chindaprasirt, P., & Chaysuwan, D. (2016). Potassium alkali concentration and heat treatment affected metakaolin-based geopolymer. *Construction and Building Materials*, 104, 293-297.
- TS EN 197-1.(2012). Genel çimentolar-Bölüm 1: Bileşim ve özellikler. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara.
- Tsoufanidis, N. (1995). *Measurement and Detection of Radiation (2. Edition)*, Taylor and Francis, USA, 614p.
- Tüysüz, M. Z. (2004). Co-60 Teleterapi Kaynağı için Monte Carlo Yöntemiyle Uygun Zırh Tasarımı. Bitirme Ödevi 39 s. Harran Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, Şanlıurfa.
- Ünsal, A., & Şen, H. (2008). Beton ve beton malzemeleri laboratuvar deneyleri. *TC Ulaştırma Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü*.
- Walker, RL ve Grotenhuis, M. (1961). *Beton için perdeleme sabitlerinin bir özeti* (No. ANL-6443). Michigan Kol. Mining and Tech., Houghton, Mi (ABD); Uluslararası Enst. Nükleer Bilim ve Mühendislik Bölümü, Argonne, Ill.(ABD).
- Xu, H., & Van Deventer, J. S. J. (2000). The geopolymerisation of alumino-silicate minerals. *International journal of mineral processing*, 59(3), 247-266.
- Yip, C. K., Lukey, G. C., Provis, J. L., & Van Deventer, J. S. (2008). Effect of calcium silicate sources on geopolymerisation. *Cement and Concrete Research*, 38(4), 554-564.

Zhang, H. Y., Kodur, V., Qi, S. L., Cao, L., & Wu, B. (2014). Development of metakaolin–fly ash based geopolymers for fire resistance applications. *Construction and Building Materials*, 55, 38-45.



Öz geçmiş

Muhammet Sami TÜRETKEN İlkokul ve lise eğitimini Erzurum’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. 07.12.2020’de Antalya’da Aldental Medikal şirketini kurmuş olup kendisi şuan Erzurum Alkazan İnşaat Endüstri Ltd. Şti.’de inşaat mühendisi olarak görev yapmaktadır.

