

**T.C.**  
**RECEP TAYYIP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÖĞÜTÜLMÜŞ PİRİT, KROM VE MAGNETİT İLAVELİ**  
**HARÇLARIN MEKANİK VE RADYASYON SOĞURMA**  
**ÖZELLİKLERİNİN TAYİNİ**

**HASRET YAVAŞI**

**TEZ DANIŞMANI**

**DOÇ. DR. İLKER USTABAŞ**

**II. DANIŞMAN**

**PROF. DR. ŞAKİR ERDOĞDU**

**TEZ JÜRİLERİ**

**PROF. DR. HASAN BALTAŞ**

**DOÇ. DR. MURAT YAYLACI**

**DOÇ. DR. AHMET BEYÇİOĞLU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**RİZE-2018**

**Her Hakkı Saklıdır**

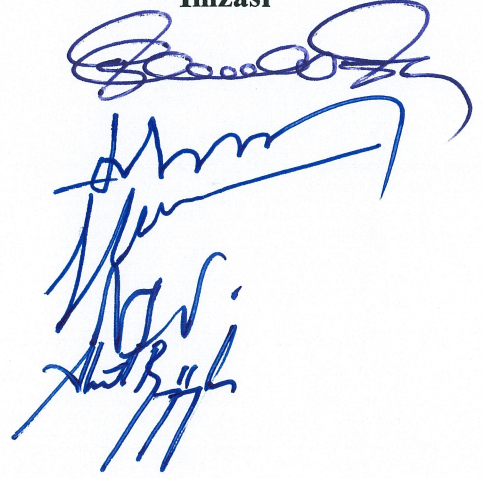
T.C.  
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

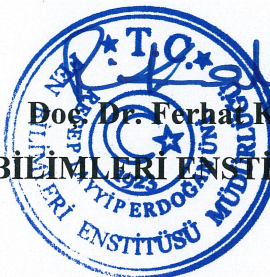
**ÖĞÜTÜLMÜŞ PİRİT, KROM VE MAGNETİT İLAVELİ HARÇLARIN  
MEKANİK VE RADYASYON SOĞURMA ÖZELLİKLERİNİN TAYİNİ**

Doç. Dr. İlker USTABAŞ danışmanlığında, Hasret YAVAŞI tarafından hazırlanan bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulu kararıyla oluşturulan jüri tarafından 28/08/2018 tarihinde İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS** tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Unvanı Adı Soyadı
Başkan	: Prof. Dr. Şakir ERDOĞDU
Üye	: Prof. Dr. Hasan BALTAŞ
Üye	: Doç. Dr. İlker USTABAŞ
Üye	: Doç. Dr. Murat YAYLACI
Üye	: Doç. Dr. Ahmet BEYÇİOĞLU

İmzası



  
Doç. Dr. Ferhat KALAYCI  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

## ÖNSÖZ

Beton, çok yaygın kullanım alanı bulan bir yapı malzemesidir. İnşaat sektöründe gerek yapı taşıyıcı elemanlarında gerekse yalıtım gibi detay elemanlarında değişik tür betonlar kullanılmaktadır. Günümüzde gelişen teknolojiyle birlikte radyasyon kaynakları insanların günlük hayatlarının içerisine kadar girmiştir. Radyasyonun çevreye verdiği zararlardan korunmak için ağır beton kullanılmaktadır. Ağır beton yoğunluğu fazla olan agregalar ile üretilmektedirler. Pirit, krom ve magnetit ağır agrega üretimi için uygun yoğunluğa sahip minerallerdir.

Geçmişe dönük bakıldığında radyasyon kaynaklarının sayısındaki azlık, her geçen yıl bu kaynaklardaki artış ve bunların insan sağlığı üzerinde oluşturduğu olumsuz etkiler bu konu üzerinde yoğunlaşmış bir çalışma hazırlamamızın ilk adımı olmuştur. Bu kapsamda literatür araştırması yapıldı. Literatürde radyasyon soğurmak için magnetitin harçlarda ve betonlarda yaygın olarak kullanıldığı görüldü. Pirit ve kromlu agregalarla üretilen harçların radyasyon soğurma özellikleri üzerine yeteri kadar çalışmanın olmadığı tespit edildi. Bu çalışma ile pirit, krom ve magnetitin çimento özelliklerini nasıl etkilediği ve pirit, krom ve magnetitli harçların radyasyonu nasıl soğurduğu incelendi. Bu sayede birçok veri bir araya toparlanmıştır. Çalışmamızda ve elde ettiğimiz verilerin bundan sonraki projelere ışık tutacağını düşünmekteyiz.

Yüksek lisans öğrenimim boyunca derslerime giren çok değerli hocalarıma, tez konumdaki çalışmalarına yardımcı olan yüksek lisans arkadaşlarıma, tez çalışmam süresince her zaman yardımcı olmaya çalışan Sayın Prof. Dr. Hasan BALTAŞ, Doç. Dr. Murat YAYLACI ve Doç. Dr. Ahmet BEYÇİOĞLU'na, deney çalışmalarımda yardımcı olan Doktor Öğretim Üyeleri Sayın Ahmet ÇELİK ve M. Batın Memiş'e ve danışman hocalarım Sayın Prof. Dr. Şakir ERDOĞDU ile Doç. Dr. İlker USTABAŞ'a ve son olarak desteğini benden hiç esirgemeyen Sevgili eşim Cemil YAVAŞI'ye teşekkür ederim.

Hazırlanan bu Yüksek lisans tezi RTEÜ BAP Birimi tarafından 2015.53001.109.03.02 nolu proje ile desteklenmiştir.

**Hasret YAVAŞI**

## TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Tarafımdan hazırlanan ‘‘Öğütölmüş Pirit, Krom ve Magnetit İlaveli Harçların Mekanik ve Radyasyon Soğurma Özelliklerinin Tayini’’ başlıklı bu tezin, Yükseköğretim Kurulu Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğı Yönergesindeki hususlara uygun olarak hazırlandığıımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal işlemleri kabul ettiğimi beyan ederim.  
28/08/2018

Hasret YAVAŞI

*Uyarı: Bu tezde kullanılan özgün ve/veya başka kaynaklardan sunulan içeriğın kaynak olarak kullanımı, 5856 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.*

## ÖZET

### PİRİT, KROM VE MAGNETİT AGREGALI HARÇLARIN MEKANİK VE RADYASYON SOĞURMA ÖZELLİKLERİNİN TAYİNİ

Hasret YAVAŞI

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi  
Danışmanı: Doç. Dr. İlker USTABAŞ

Bu çalışmada, yapılarda sıva malzemesi olarak kullanılan harçlara çimento kütlelerinin %10, %20, %30 ve %40 oranlarında standart kum, pirit, krom ve magnetit tozu ilave edilerek prizmatik harç numuneler üretilmiştir. Numunelerin eğilme ve basınç dayanımları, hacim sabitlikleri, priz başlama-bitiş süreleri belirlenmiştir. Çimento kütlelerinin %40'ı oranında standart kum, pirit, krom ve magnetit tozu ilave edilerek hazırlanan numunelerin ve malzemelerin saf hallerinin 122 KeV ve 834 KeV foton enerjilerinde gama ışını kullanarak kütle soğurma özellikleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda, %10, %20, %30 ve %40 oranlarında eklenen mineral katkıların, eğilme ve basınç dayanımı, hacim sabitliği ve priz başlama-bitiş süresinde bir olumsuzluğa sebep olmadığı gözlemlenmiştir. Artan enerji seviyesi ile kütle soğurma katsayısının azaldığı ve magnetit tozu içeren harçların radyasyonu en iyi soğurduğu gözlemlenmiştir.

2018, 49 sayfa

**Anahtar Kelimeler:** Pirit, Krom, Magnetit, Kütle Soğurma Katsayısı, Basınç Dayanımı.

## **ABSTRACT**

### **THE DETERMINATION OF THE MECHANICAL AND RADIATION ABSORPTION PROPERTIES OF MORTARS SUPPLEMENTED WITH GRANULATED PYRITE, CHROMIUM AND MAGNETIC**

**Hasret YAVAŞI**

**Recep Tayyip Erdoğan University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Civil Engineering  
Master Thesis  
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. İlker USTABAŞ**

In this study, prismatic mortar samples were produced by adding standard sand, pyrite, chrome and magnetite powder at the rates of %10, %20, %30 and %40 of the cement mass to the mortars used as plaster material in the constructions. The flexural and compressive strengths, volume constants initial and final setting time of the samples were determined. The mass absorption characteristics of the pure state of the samples and materials prepared by adding standard sand, pyrite, chromium and magnetite dust at the rate of %40 of cement mass were investigated by using gamma ray in 122 KeV and 834 KeV photon energies. As a result of the study it was observed that mineral additions added at the rates of %10, %20, %30 and %40 did not cause any adverse effects on the bending and compressive strength, volume stability and initial and final setting time. It was observed that increasing energy level and mass absorption coefficient decrease and the mortars containing magnetite dust absorbs the radiation best.

**2018, 49 pages**

**Keywords:** Pyrite, Chromium, Magnetite, Mass Absorption Coefficient, Pressure resistance.

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	I
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	II
ÖZET.....	III
ABSTRACT.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
TABLolar DİZİNİ.....	IX
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	X
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Literatür Özeti.....	2
1.3. Radyasyon.....	4
1.3.1. Elektromanyetik Spektrum.....	5
1.3.2. Radyasyon Çeşitleri ve Malzemelere Göre Giricilikleri.....	5
1.3.3. Gama Işınları.....	6
1.3.4. Radyoizotop Kaynaklar.....	7
1.3.5. Soğurma.....	7
1.3.6. Kütle Soğurma Katsayısı.....	8
1.3.7. Radyasyondan Korunma Yöntemleri.....	8
1.4. Kullanılan Malzemeler.....	9
1.4.1. Krom Cevheri ve Özellikleri.....	9
1.4.2. Pirit Cevheri ve Özellikleri.....	10
1.4.3. Magnetit Cevheri ve Özellikleri.....	12
1.5. Harçlar ve Sıvalar.....	13
1.6. Çimentonun Kimyasal Özellikleri.....	13
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	16
2.1. Harç Numunelerinin Hazırlanması.....	16
2.2. Kütle Soğurma Katsayısı Tayini.....	22
3. BULGULAR.....	26
4. TARTIŞMA.....	29
5. SONUÇ.....	45

KAYNAKLAR .....	46
ÖZGEÇMİŞ .....	49





## ŞEKİLLER DİZİNİ

<b>Şekil 1.</b>	Elektromanyetik Spektrum (Ertaş, 2014).....	5
<b>Şekil 2.</b>	Farklı radyasyon türlerinin malzemelere göre gericilikleri (Tüysüz, 2004). ....	6
<b>Şekil 3.</b>	Radyasyondan korunma yöntemleri. ....	8
<b>Şekil 4.</b>	Krom Cevheri Örneği. ....	10
<b>Şekil 5.</b>	Pirit Cevheri Örneği. ....	11
<b>Şekil 6.</b>	Magnetit Cevheri Örneği (Artıg,2016).....	12
<b>Şekil 7.</b>	Kullanılan pirit, krom, magnetit kayaçları ve standart kum. ....	16
<b>Şekil 8.</b>	Pirit, krom ve magnetit kayaçlarının çeneli kırıcıda kırılıp 200 nolu elekten elenmiş agrega görüntüsü .....	17
<b>Şekil 9.</b>	Numune yoğunlukları. ....	19
<b>Şekil 10.</b>	Standart kum tozu, magnetit tozu ,pirit tozu, krom tozu elek analizi.....	19
<b>Şekil 11.</b>	40x40x160 mm'lik ebatlara sahip prizmatik harç numuneleri.....	21
<b>Şekil 12.</b>	Elde edilen numunelere uygulanan işlem aşamaları. ....	22
<b>Şekil 13.</b>	Halkalı öğütücü görünüşü.....	23
<b>Şekil 14.</b>	Pelletlere basılmış numune örnekleri. ....	23
<b>Şekil 15.</b>	Kütle soğurma katsayılarının ölçümünde kullanılan dar ışın geometrisi. ....	24
<b>Şekil 16.</b>	Standart kum tozu ilaveli numunelerin basınç dayanımları. ....	30
<b>Şekil 17.</b>	Krom tozu ilaveli numunelerin basınç dayanımı.....	31
<b>Şekil 18.</b>	Pirit tozu ilaveli numunelerin basınç dayanımları. ....	32
<b>Şekil 19.</b>	Magnetit tozu ilaveli harç numunelerinin basınç dayanımları. ....	33
<b>Şekil 20.</b>	CEM I 42,5 R çimentosu ve standart kum tozu ilaveli çimentoların priz başlama ve bitiş süreleri. ....	34
<b>Şekil 21.</b>	CEM I 42,5R çimentosunun ve magnetit tozu ilaveli çimentoların priz başlama süreleri.....	35
<b>Şekil 22.</b>	CEM I 42,5 R çimentosu ve pirit tozu ilaveli çimentoların priz başlama ve bitiş süreleri. ....	36
<b>Şekil 23.</b>	CEM I 42,5 R çimentosu ve krom tozu ilaveli çimentoların priz başlama ve bitiş süreleri. ....	37
<b>Şekil 24.</b>	CEM I 42,5 R çimentosu ve %40 oranında toz ilaveli çimentoların priz başlama ve bitiş süreleri. ....	38
<b>Şekil 25.</b>	CEM I 42,5 R tipi çimento ile standart kum tozu ilaveli çimentoların hacim sabitliği. ....	39

<b>Şekil 26.</b> CEM I 42,5R tipi çimento ile magnetit tozu içeren çimentoların hacim sabitliği. ....	40
<b>Şekil 27.</b> CEM I 42,5R tipi çimento ile pirit tozu içeren çimentoların hacim sabitliği. ....	41
<b>Şekil 28.</b> CEM I 42,5R tipi çimento ile krom tozu içeren çimentoların hacim sabitliği. ....	42
<b>Şekil 29.</b> Malzemelerin 122 ve 834 keV enerji seviyesinde kütle soğurma katsayısı grafiği. ....	43
<b>Şekil 30.</b> %40 oranında katkı malzemesi eklenerek elde edilen numunelerin 122 ve 834 keV enerji seviyesinde kütle soğurma katsayısı grafiği. ....	44



## TABLolar DİZİNİ

<b>Tablo 1.</b>	Krom Cevherinin Özellikleri .....	9
<b>Tablo 2.</b>	Pirit cevherinin Özellikleri.....	11
<b>Tablo 3.</b>	Çimento, prit, krom, magnetit ve CEN standart kumunun kimyasal bileşimi.....	18
<b>Tablo 4.</b>	Harç numunelere katılan malzeme miktarları (gram) ve yoğunlukları.....	20
<b>Tablo 5.</b>	Radyoaktif nokta kaynaklar. ....	25
<b>Tablo 6.</b>	Ortalama Eğilme ve Basınç Dayanımları. ....	26
<b>Tablo 7.</b>	Standart kum tozu ilaveli numunelerin priz başlama, priz bitiş süreleri ve hacim sabitlikleri.....	27
<b>Tablo 8.</b>	Magnetit tozu ilaveli numunelerin priz başlama, priz bitiş süreleri ve hacim sabitlikleri.....	27
<b>Tablo 9.</b>	Pirit tozu ilaveli numunelerin priz başlama, priz bitiş süreleri ve hacim sabitlikleri.....	27
<b>Tablo 10.</b>	Krom tozu ilaveli numunelerin priz başlama, priz bitiş süreleri ve hacim sabitlikleri.....	27
<b>Tablo 11.</b>	Malzemelerin Deneysel ve Teorik Kütle Soğurma Kat Sayıları .....	28
<b>Tablo 12.</b>	Malzemelerin saf halleri, çimentonun ve %40 oranında hazırlanmış numunelerin yoğunluk tablosu.....	42

## SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

I	Soğurulup Geçen Fotonun Şiddeti
$I_0$	Gelen Fotonun Şiddeti
$I_\gamma$	Gama Işını Salma Hızı
X	Kalınlık
A	İnce Yapı Sabiti
$\Lambda$	Dalga Boyu
$\mu$	Lineer Soğurma Katsayısı
$\mu/\rho$	Kütle Soğurma Katsayısı
P	Yoğunluk
$\nu$	Frekans
ACME	Analitik Laboratuvar Hizmetleri Ltd. Şti.

# 1. GENEL BİLGİLER

## 1.1. Giriş

Gelişen teknolojiyle birlikte radyoaktif cihazlar, endüstri, bilimsel araştırma yapan yerler, tarım, tıp gibi birçok sektörde kullanılmaktadır (Oto vd., 2016). Radyoaktif cihazların kullanıldığı binalarda cihazın bulunduğu bölümler kurşun levhalarla veya ağır betonlarla çevrilmekte ve radyasyon ışınının etrafına zarar vermesi önlenmeye çalışılmaktadır. Betonun radyasyon soğurmasını artırmak için birim hacim ağırlığı 2600 kg/m<sup>3</sup>'ten büyük olan betonlar kullanılmaktadır. Ağır beton ismiyle adlandırılan bu betonlar radyasyon soğurma açısından uygun bir yapı malzemesidir fakat ağır betonlar yapı taşıyıcı elemanlarına daha fazla yükün etkimesine neden olmaktadır. Özellikle depreme maruz yapılarda yapı ağırlığının fazla olması istenmeyen bir durumdur. Ağır beton kullanılarak radyasyondan koruyuculuk yanında yapılarda kullanılan sıvaların yoğunluğu artırılarak radyasyondan korunmada sıvalardan yararlanılabilir. Sıvaların radyasyondan koruyuculuğu betonlar kadar olmayacaktır ancak yaklaşık 2 ile 4 cm kalınlığında yapılan bir sıvanın yoğunluğunun fazla olması beton kalınlığının azaltılmasına katkı sağlayacaktır.

Sıvalar, yapılarda kullanım alanı bulan çimento bağlayıcılı kompozitler arasında yer alırlar. Taşıyıcı yapı elemanlarının korunmasında, pürüzlü yüzeylerin düzeltilmesiyle görünümü güzel yüzeylerin elde edilmesinde, ısı yalıtımında ve benzeri uygulamalarda sıvalardan yararlanılmaktadır. Sıva yapımında çimento, su ve ince agrega karışımından oluşan harçlar kullanılmaktadır.

Bu çalışma çerçevesinde standart kuma standart kum tozu, pirit tozu, krom tozu ve magnetit tozu ilave edilerek harç numuneler üretilmiştir. Yapılarda sıva malzemesi olarak kullanılan bu harçların eğilme ve basınç dayanımları ölçülmüştür. Harç üretiminde kullanılan çimentoya pirit, krom ve magnetit tozu ilave edilerek elde edilen numunelerin eğilme ve basınç dayanımları, hacim sabitlikleri, priz başlama-bitiş süreleri tespit edilmiştir. Toz haline getirilerek peletlere basılan harç numunelerde gama ışını kullanarak 122 ve 834 keV foton enerjilerinde kütle soğurma özellikleri incelenmiştir.

## 1.2. Literatür Özeti

Pirit farklı kayaç türleriyle atık ürün olarak açığa çıktığından literatürde özellikle çimentoda kullanımına dair bilgiler bulunmaktadır (Guo vd., 2016; Alp vd., 2009). Guo vd., (2016) yaptıkları araştırmada pirit içeren kaolin atığını çimentoda puzolan olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Guo vd. (2016) kaolin pirit atığını 700 ile 900 °C’de ısıtıp kaolinin metakaoline dönüşmesini sağlamışlardır. Piritli metakaolinin puzolanik aktivite indeksinin %122’ye çıktığını, %20 metakaolin pirit karışımının harç numune dayanımını 53 MPa’dan 63 MPa’ya yükselttiğini tespit etmişlerdir. Piritin çimentoda veya harçlarda herhangi bir olumsuz etkisine rastlamamışlardır. Pirit ( $FeS_2$ ) içerisinde sülfür ihtiva etmesinden dolayı sülfürik asit üretiminde kullanılmaktadır. Alp vd., (2009) yaptıkları çalışmada atık pirit cürufunu klinker ve alçıtaşı ile öğütürerek pirit cürufu çimentolar üretmişlerdir. Aynı klinkeri kullanarak CEM I 42,5 R çimentosu ve demir oksitli iki farklı tip çimento daha üretmişlerdir. Ürettikleri bu üç farklı çimentonun özelliklerini kıyasladılar. Pirit cürufu içeren çimentoların 2 ve 7 günlük harç dayanımları CEM I 42,5 R sınıfı çimentoya göre daha yüksek, 28 günlük dayanımlarının ise CEM I 42,5R çimentosuna eşit olduklarını tespit etmişlerdir. Alp vd., (2009) yaptıkları çalışmalarda pirit cürufunun çimento özellikleri üzerinde herhangi olumsuz bir etkisine rastlamamışlardır.

Yapılan çalışmalarda krom oksit kullanarak ürettiği harçların yüzey aşınma direncini incelemiştir. %98 saflığında  $Cr_2O_3$  ‘i kireçtaşı filleri ile birlikte kullandı. Krom oksit ve kireçtaşı filleri miktarına göre harçların eğilme dayanımı ve yüzey aşınma direncinin artırdığını tespit etmiştir (Çolak, 2008)

Trezza ve Scian (2007) yaptıkları araştırmada, kromun hidratasyon reaksiyonlarına çok kolay girdiğini, belit’in ( $C_2S$ ) reaksiyonunu etkilediğini, reaksiyonlarda kalsiyumun yerine kromun çok kolay geçebildiği, çimentonun priz başlama ve bitiş sürelerini uzattığı, Cr-C-S- H ve Na-Cr-Aft şeklinde Cr’un hidratasyon reaksiyonlarında yer aldığını belirtmişlerdir. Trezza ve Scian (2007), yaptıkları çalışmada miligram düzeyinde klinkere krom ilave edip elde ettikleri çimentoların basınç dayanımlarını hesaplamışlardır. Bu basınç dayanımlarının 7 ve 14 günlük basınç dayanımlarında standart numuneye göre daha az ancak 28 günlük basınç dayanımlarına eşit olduğunu bulmuşlardır.

Trezza ve Scian (2007) 1kg klinkere 398 miligram kadar krom ilave etmesi 28 günlük basınç dayanımlarında belirgin bir fark meydana getirmediğini, çimentoda % 0,6 oranında krom bulunması harçların boşluk dağılımı ve mukavemeti açısından en uygun değeri verdiğini belirtmişlerdir.

Literatürde radyoaktif ışımalarından korunmak için zırhlama malzemesi olarak magnetit agregalı betonlara yaygın olarak rastlanmaktadır (Sharifi vd., 2013). Yapmış oldukları çalışmada normal agregalı, serpantin, barit ve magnetit agregalı betonlarda 511, 662 ve 1332 keV enerjiye sahip kaynaklarla radyasyon soğurma değerlerini ölçmüşlerdir. En iyi kütle soğurma katsayısına magnetitli betonlarda rastlamışlardır (Sharifi vd., 2013).

Guo vd., (2016) elektromagnetik kalkanlama için magnetit ( $Fe_3O_4$ ) ile  $SiO_2$ 'li nano parçacıkları kullandılar.  $Fe_3O_4$  yüksek doğurma ve düşük maliyeti sayesinde elektromanyetik kalkanlama performansı yüksek malzemedir (Singh vd., 2013; Chaudhuri and Paria, 2012). Magnetit betonda veya diğer malzemelerin içine katılarak elektromanyetik kalkanlama özelliği yüksek malzemelerin üretiminde kullanılmaktadır. Yapılan literatür araştırmasında beton ve harçlarda pirit, krom ve magnetit kullanımına dair olumsuz bir bulguya rastlanmamıştır.

Gökçe vd., (2018) barit ilaveli ağır betonlara mineral katkıları katarak ürettikleri betonlarda sezyum ve kobalt kaynaklarını kullanarak gama ışını soğurma katsayısını hesaplamışlardır. Gökçe ve diğerleri barit katkılı ağır betonlarda 662 keV enerji seviyesinde kütle soğurma katsayısını 0,07871-0,07996  $cm^2/g$ , 1332 keV enerji seviyesinde 0,05274-0,05478  $cm^2/g$  aralığında olduğunu belirtmişlerdir.

Shams vd., (2018) hematit ve barit agregalı ağır betonlarda 1173 ve 1332 keV iki enerji seviyesinde radyasyon soğurmasını çalışmışlardır. En fazla radyasyon soğuran ağır betonun yoğunluğu en fazla olan hematitli betonlar olduğunu tespit etmişlerdir. Shams vd., (2018) 1332 keV'teki hematitli betonlarda lineer soğurma katsayısını 0,18  $\mu^{-1}$ , 1173 keV'teki lineer soğurma katsayısını 0,19  $\mu^{-1}$  civarlarında hesaplanmıştır.

662, 1173, ve 1332 keV enerji seviyelerinde baritli ağır betonlarda radyasyon soğurma özellikleri incelemiştir. 663 keV enerji seviyesinde baritli betonların lineer soğurma katsayısını 0,1381 ile 0,1408  $\mu^{-1}$  aralığında hesapladı ve baritli betonlarla normal betonlara göre daha fazla radyasyon soğurulduğunu belirlenmiştir (Akkurt, 2010).

Yılmaz vd., (2011) gama ve nötron ışınlarına karşı mineral katkılı harçlarla zırhlama yapmak için radyasyon soğurma özelliklerini çalıştı ve 662 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısını 0,184 ile 0,1870  $\mu^{-1}$  aralığında olduğunu tespit etmişlerdir.

### **1.3. Radyasyon**

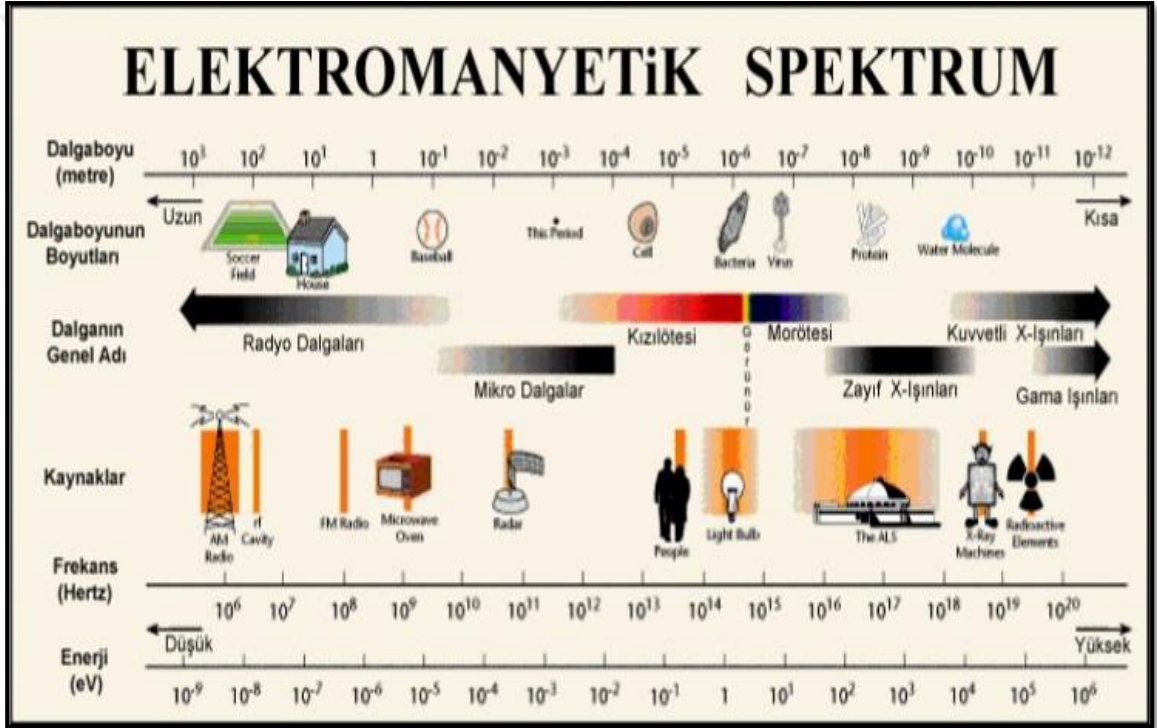
Doğada bulunan elementlerin bir kısmı kararlı iken bir kısmı ise kararsızdır. Kararsız olanlar her zaman kararlı hale geçmek isterler. Kararlı hale geçerken çekirdeğin parçacık ya da dalga olarak yaydığı enerjiye “radyasyon” denir. Görünen ışık, radyo dalgaları, mikro dalgalar, kızıl ötesi, mor ötesi, X ışınları, gama ışınları, alfa ve beta parçacıkları ve kozmik ışınlar radyasyona örnek olarak verilebilir (Günoğlu, 2012).

Radyasyonlar, ışık hızına eşit hıza sahiptirler. Geçtikleri tüm ortamlara enerji verirler. Dalga boyları ile ters enerji frekansları ile doğru orantılıdır. Boşlukta düz bir çizgi boyunca yayılım yaparlar. Maddeyi geçerken enerjileri azalır (Emilme olur). Radyasyonlar uzun mesafede etkili olabilir. Radyoaktif ışınlar herhangi bir canlı yapıyla karşılaşırsa onun yapısına zarar verir. Radyoaktif ışınlar yumuşak dokulardan geçerken kemik gibi sert cisimlerden geçemezler. Radyoaktif ışınlar karanlıkta röntgen filmindeki gibi etki ederler. Radyoaktivite kontrol altında tutulamayan bir olaydır. Yavaşlatılamaz, durdurulamaz ve radyoaktif madde bitinceye kadar sürer (Erdoğan Güneş, 2014)



### 1.3.1. Elektromanyetik Spektrum

Dalga'nın herhangi bir noktasından, diğer dalga'nın aynı noktasına kadar olan uzaklığına dalga boyu denir. Dalgaların saniyede kaç kez tekrarlandığı ölçülerek frekansı bulunur (URL-1, 2017). Işığın renklerinin dalga boylarına göre dizilişi anlamında kullanılan spektrum, en genel manada, parçacık ve fotonların enerjilerine, frekanslarına, dalga boylarına veya saçılma açılarına göre şiddet dağılımlarının oluşturduğu desenler olarak tanımlanır (Kuloğlu, 2014). Şekil 1'de elektromanyetik spektrum görülmektedir (Ertaş, 2014).

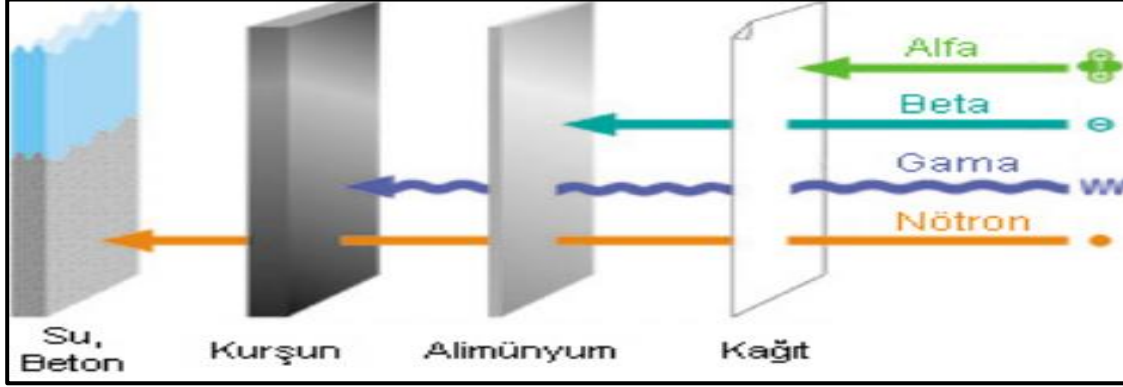


Şekil 1. Elektromanyetik spektrum (Ertaş, 2014).

### 1.3.2. Radyasyon Çeşitleri ve Malzemelere Göre Giricilikleri

Alfa, beta, gama ve nötron ışınları radyasyon çeşitlerini oluşturmaktadır. Bu ışınların malzeme çeşitlerine göre giricilikleri farklılıklar göstermektedir. Radyasyonların madde içerisine giricilik kabiliyetleri karşılaştırıldığında en tehlikeli radyasyon türlerinin gama ve nötronlar olduğu ortaya çıkar. Çünkü nötronlar yüksüz, gama ışınları ise hem

yüksüz hem de kütsüzdür. Sekil 2'de farklı radyasyon türlerinin farklı materyallerdeki girciliği gösterilmiştir (Tüysüz, 2004).



şekil 2. Farklı radyasyon türlerinin malzemelere göre gircilikleri (Tüysüz, 2004).

### 1.3.3. Gama Işınları

Atomun çekirdeği gama ışınlarının kaynağıdır. Bu ışınlar atom çekirdeğinin enerji seviyelerindeki farklılıklarından oluşurlar. Radyoaktif bir çekirdek alfa veya beta ışınmasından sonra çoğu zaman kararlı halde kalmayabilir. Bir başka deyişle, radyoaktif parçalanmadan sonra geride kalan çekirdek uyarılmış olarak kalabilir. Bu çekirdek, oluştuktan çok kısa bir zaman sonra bir veya birkaç gama ışını yayınlıyarak üzerindeki fazla enerjiyi atar ve kararlı hale gelir. Çekirdek ne kadar yüksek enerji seviyesinde uyarılmış olarak kalmışsa, çıkacak gama ışınları o kadar yüksek enerjili olacaklardır (Damla, 2009).

Gama ışınlarının dalga boyları  $10^{-10}$  m ile  $10^{-14}$  m arasındadır. Bu ışınlar yüksek derecede gircilik özelliğine sahiptirler. Bu nedenle canlı doku ile karşılaştıklarında ciddi zarara neden olurlar. Gama ışınları maddeyle girdiklerinde değişik şekillerde atomla etkileşebilirler. Bunlar fotoelektrik soğurma, Compton saçılması ve çift oluşumudur. Üç durumun tümünde serbest elektronlar üretilir ve bu elektronlar madde içinde yolları üzerinde yavaşlatıldığından elektron-iyon veya elektron-delik çiftleri oluşturur. Birçok foton detektöründe ya bir fotonun geçişini de dekte etmede ya da yüklü parçacığın miktarını ölçmeyle onun enerjisini tayin etmede bu yüklü parçacıklar kullanılır (Damla, 2009).

### 1.3.4. Radyoizotop Kaynaklar

X-ışını analizinde genellikle radyoizotop kaynaklar kullanılır. Radyoizotop kaynaklar, X-ışını spektrometrik uygulamalarında dört temel özellikleri ile karakterize edilebilirler.

- Radyoaktif bozunma ve yayımlanan radyasyonun tipi ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  yayımlama, K veya L elektronu yakalama)
- Yayımlanan radyasyonun enerjisi
- Kaynak aktivitesi
- Kaynağın yarı-ömrü

Radyoaktif bozunma, radyoaktif özelliğe sahip olan atomların kararsız olan çekirdeklerinin parçalanmasıyla yeni bir çekirdek oluşması ve atom çekirdeklerindeki bu değişiklikler sonucu radyasyon yayımlanması olayıdır.

Kararsız bir atom, kararlı hale gelinceye kadar bir seri dönüşüme uğrar ve böylece meydana gelen seriye bozunma zinciri denir. Bu bozunma esnasında dışarı radyoaktif parçacıklar ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) ve  $\gamma$ -ışını yayımlanır. Radyoizotopların aktivitesi, radyoaktif atomların parçalanması ile orantılıdır. Bir kaynağın aktivitesi, saniyedeki bozunma sayısı olarak tanımlanır ve bu Becquerel olarak isimlendirilir. Becquerel (Bq) yerine SI birim sisteminde Curie (Ci) kullanılır. Bir Curie  $3,7 \times 10^{10}$  Bq'dir (Yılmaz, 2011).

### 1.3.5. Soğurma

Enerjiye sahip ışınlar herhangi bir maddeyle etkileştiğinde, bu ışınların bir miktarı maddenin diğer kısmına geçerken bir miktarı da soğurulur. Bu olay, ışınların maddedeki atomlarla etkileşmesi ile gerçekleşmektedir.

### 1.3.6. Kütle Soğurma Katsayısı

Kütle soğurma katsayısının değeri, soğurucu materyalin fiziksel özelliğine bağlı olmadığından dolayı lineer soğurma katsayısından çok daha önemlidir. Kütle soğurma katsayısı direkt olarak soğurucu materyalin yapısını yansıtır. Bu nedenle; lineer soğurma katsayısından kütle soğurma katsayısını ölçmek çok daha uygundur (Yılmaz, 2011).

Kütle soğurma Katsayısı;

$$I=I_0e^{-(\mu/\rho)\rho.x} \quad (1)$$

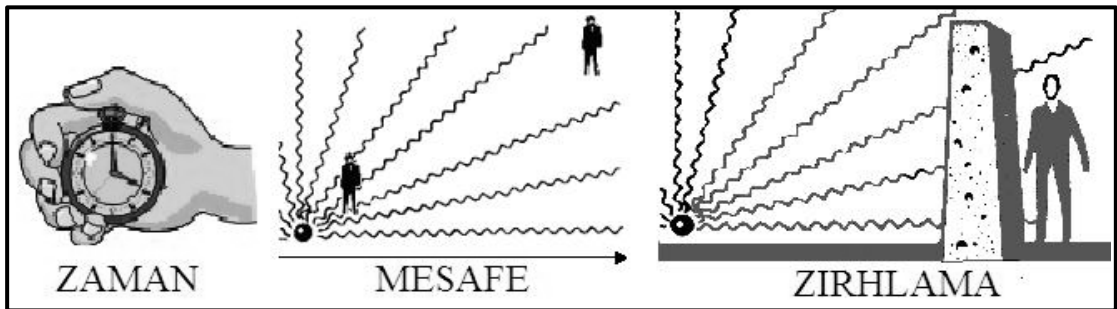
Burada;

$\rho$ : soğuran maddenin yoğunluğunu,

x: kalınlığını ifade etmektedir.

### 1.3.7. Radyasyondan Korunma Yöntemleri

İnsanlar günlük hayatta herhangi bir radyasyon kaynağının yaydığı enerjiye sürekli maruz kalmaktadırlar. Maruz kalınan radyasyon dozu izin verilen seviyelerin altında veya olabildiği kadar düşük tutulmalıdır. Radyasyonun zararlı etkilerinde korunmanın üç temel yolu zaman, mesafe ve zırhlama kuralı olarak sıralanmaktadır. Bunlar Şekil 3'te sembolize edilmiştir. Radyasyondan en iyi korunma yöntemi Şekil 3'teki üç kuralın aynı anda uygulanabilmesidir (Günoğlu, 2012).



Şekil 3. Radyasyondan korunma yöntemleri.

Zırhlama, radyasyonun etkilerini yok etmek veya en aza indirmek için radyasyon kaynağı ile radyasyondan korunması amaçlanan sistem arasına engel koymaktır. Zırhlamanın temel amacı; radyasyon ışınlarının zırh malzemesinin atomları ile etkileşerek, enerjilerinin tamamını veya bir miktarını soğurmaktır. Bu amaçla kullanılacak zırhlama malzemesinin seçiminde radyasyon ışınlarının türü ve enerjisi önemlidir. Çünkü nükleer radyasyonların maddeyle etkileşme mekanizmaları sahip oldukları yüke, kütle ve enerjilerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

#### 1.4. Kullanılan Malzemeler

##### 1.4.1. Krom Cevheri ve Özellikleri

Ülkemizde, Amerika'daki Maryland yataklarının tükenmesini takiben Amerikalı Jeolog Laurance Smith tarafından (Bursa Harmancık bölgesinde) yüksek tenörlü krom yataklarının bulunmasıyla 1850'li yıllarda krom madenciliği başlamıştır. Krom, parlak çelik gri renğinde sert bir metaldir. Krom cevheri Şekil 4'te görülmektedir. Kimyasal etkenlerle aşınmaz, özellikle havada oksitlenmez ve parlaklığını korur. Yüksek sıcaklıklarda oksijen ve klorla yanabilir. Hidroklorik asit içerisinde erir. Krom doğada en çok bileşik halde bulunur. Krom yer kabuğun doğal bileşenlerinden olup 200 ppm'lik bir dağılıma sahiptir (Serter, 1998). Krom cevherinin özellikleri Tablo 1'de görülmektedir.

**Tablo 1.** Krom Cevherinin Özellikleri.

Parametre	Özellik
Sembol	Cr
Atom Numarası	24
Atom Ağırlığı	51,996
Atom Çapı	1,18 Å
Elastisite Modülü	19.000 kg/mm <sup>2</sup>
Ergime Noktası	1.857 ± 20 °C
Kaynama Noktası	2.672 °C
Özgül Ağırlığı	7,18-7,20 gr/cm <sup>3</sup> (20 °C'de)
Özgül Isı	0.108 cal/gr



**Şekil 4.** Krom cevheri örneği.

#### **1.4.2. Pirit Cevheri ve Özellikleri**

Pirit dünyada en çok bulunan ve değişik çevrelerde görülen minerallerdendir. Sıcak kayaların sularla temas etmesi ile ortaya çıkan kayalarda daha sık bulunur. Şekil 5'te pirit cevheri görülmektedir. Bu kayalar yer ilimciler tarafından hidrotermal olarak adlandırılır. En zengin yatakları başlıca; İspanya, Norveç, İsveç, Almanya, Fransa, Doğu Alpler ve Slovakya'da bulunur. Türkiye'de başlıca Kastamonu iline bağlı Küre dolaylarından çıkarılmaktadır. Ülkemizdeki en verimli pirit yatakları Karadeniz ve Doğu Anadolu bölgesindedir. Bu yatakların büyük bir kısmı bakır içerir. Türkiye'de başlıca Pirit yatakları; Artvin, Rize, Trabzon, Giresun, Elazığ ve Siirt illerindedir. Yalnız Artvin ilindeki bakırlı pirit mineralinin görünür rezervi yaklaşık 53 milyon tondur. Tablo 2'de pirit cevherinin özellikleri görülmektedir.

**Tablo 2.** Pirit cevherinin özellikleri.

Parametre	Özellik
Grubu	Sülfürik
Kristallik Sistemi	Kübik
Alışkı	Kübik, Pritohedra,oktahedra,yada bu formların kombinasyonları
Kimyasal Formülü	FeS <sub>2</sub>
Sertlik	6,5
Yoğunluk	5 gr/cm <sup>3</sup>
Bölünüm	Yok
Kırılma	Konkav
Renk	Sarı
Çizgi	Siyah/Yeşilimsi Siyah
Parlaklık	Metalik
Işınrlık	Yok



**Şekil 5.** Pirit cevheri örneği.

### 1.4.3. Magnetit Cevheri ve Özellikleri

Magnetit, kimyasal formülü  $Fe_3O_4$  olan,  $Fe_{+2}$  ve  $Fe_{+3}$  iyonlarını birlikte içeren ferromanyetik bir mineraldir. % 72 demir, % 28 oksijen içeren bu cevher manyetik özellikleri ile diğer demir cevherlerinden ayrılır.  $570\text{ C}^\circ$  civarında bu manyetik özelliği kaybolur,  $FeO.Fe_2O_3$  olarak da gösterilebilir. Yüksek oranda demir içermesi ve indirgeme işleminin kolay olması en önemli özellikleridir. Magnetit nem ve oksijen sayesinde kolayca oksitlenir (Asil, 2007). Demir siyah renğinde, yağlı metal parlaklığında, porselen üzerinde siyah çizgi bırakan, gevrek yapılı, güçlü manyetik özelliğe sahip, elektriği çok iyi ileten bir mineraldir. Magnetit cevheri Şekil 6'da görülmektedir. Sertliği 5,5 ve yoğunluğu  $4,9-5,2\text{ g/cm}^3$  arasındadır. Oksitleyici alevde manyetik özelliğini kaybederek spekülarite' ye dönüşür. Manyetit yüksek sıcaklıklarda oluşur ve tipik yüksek sıcaklık minerali olarak kabul edilir. Mağma kayalarında yaygın olarak bulunur (Coşar, 2006).



Şekil 6. Magnetit cevheri örneği (Artiğ, 2016).



## 1.5. Harçlar ve Sıvalar

Harç, çimento, ince agrega ve suyun belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen bir yapı malzemesidir. Harçlar, yapılarda tesviye işlerinde ve sıva işlerinde kullanılmaktadır. Sıvalar, yapı elemanlarını dış etkilere karşı korumak, dayanımını artırmak, düzgün yüzey elde etmek, güzel görünüm sağlamak ve boyaya hazır hale getirmek için kullanılır. Sıvalar iç ve dış sıvalar olmak üzere iki ana kısımda incelenebilir. Yapılarda kullanılan kaba ve ince sıvalar çimentolu harçlardır. Bu harçların üretimi değişiklik göstermesine rağmen üretimde kullanılan maddeler yaklaşık oran olarak ince agrega 3, çimento 1, su ½ oranında katılmaktadır. Bu oranlar TS EN 196-1'e göre üretilen harçlarda kullanılan oranlardır. Karışımda kullanılan çimento oranı harcın dayanım ve priz alma süresi gibi birçok özelliğini etkilemektedir. Düz sıvalar, hazır sıva, perlitli sıva, alçı sıva, suni taş (mozaik) sıva, doğal taş (edelputz) sıva, püskürtme sıva, bağdadi sıva, serpme sıva isminde sıva çeşitleri mevcuttur.

## 1.6. Çimentonun Kimyasal Özellikleri

Portland çimentosu, öğütülmüş kalker ve kil karışımının pişirilmesi ile ortaya çıkan klinkerin çok az miktarda alçıtaşı ile öğütülmesi sonunda elde edilen hidrolik bağlayıcıdır (Erdoğan, 2003).

Portland çimentosunun başlıca oksitleri kireç (CaO), silika(SiO<sub>2</sub>), alümin (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ve demir oksitir (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Bu bileşenler döner fırında yüksek sıcaklıkta (1350-1450 °C) pişirildiğinde kendi aralarında birleşerek daha kompleks ürünler meydana getirirler. Karma oksit adı verilen ve çimentonun birçok özelliğini belirleyen bu bileşenlerden en önemlileri; trikalsiyum silikat (C<sub>3</sub>S), dikalsiyum silikat (C<sub>2</sub>S), trikalsiyum alüminat (C<sub>3</sub>A) ve tetrakalsiyum alüminoferrittir (C<sub>4</sub>AF). Tipik bir portland çimentosu klinkeri ağırlıkça % 45-65 C<sub>3</sub>S, % 15-30 C<sub>2</sub>S, % 6-12 C<sub>3</sub>A ve % 6-8 C<sub>4</sub>AF içerir (Baradan vd.,2010). Ancak kalsiyum silikatlar az miktarda safsızlıklar da içerebilir. Safsızlık içeren C<sub>3</sub>S alite, C<sub>2</sub>S ise belit olarak adlandırılır. Karma oksitlerin hidratasyon hızları birbirinden oldukça farklıdır. C<sub>3</sub>A ve C<sub>4</sub>AF büyük oranda ilk günlerde hidrate olurken, C<sub>3</sub>S'nin hidratasyonu C<sub>2</sub>S'ye kıyasla oldukça hızlıdır (Baradan vd., 2010).

Çimentodaki silikatların su ile reaksiyonu sonucu  $C_3S_2H_3$  (Tobermorit jeli) ve CH (Kalsiyum Hidroksit) oluşur. Tobermorit jeli çimento hamuruna ve betona bağlayıcılık özelliğini kazandıran üründür. CH'nin bağlayıcılık özelliği olmayan kararsız yapıdaki bir üründür. Çimento hamurunun dayanımı  $C_3S$  ve  $C_2S$  ana bileşenlerinin hidratasyonu ile ortaya çıkan C-S-H jelinin miktarına bağlıdır. Hidratasyon olayı devam ettikçe C-S-H jellerinin oluşumu artar. Böylelikle çimento hamurunun dayanımı da artar (Erdoğan, 2003).

$C_3A$  ve su arasındaki reaksiyonlar çok hızlı gelişen ve kalsiyum alimüno hidratların oluşumuna yol açan reaksiyonlardır.



Yukarıdaki kalsiyum alümino hidratlar kararlı değildir ve kısa süre sonra kararlı formdaki kübik hidrogarnet ( $C_3AH_6$ ) yapısına dönüşmektedir.  $C_3A$  ile su arasındaki reaksiyonlar hızlı gelişmeleri yanında büyük miktarda ısı açığa çıkaran reaksiyonlardır. Bu durum çimentonun ani prizine yol açar. Çimento hamurunun ani prizini önlemek için çimento üretimi sırasında klinkere bir miktar (%3-%6) alçıtaşı ( $C\bar{S}H_2$ ) katılır ve iki malzeme birlikte öğütülür. Çimento yapısındaki  $C_3A$ , alçıtaşı ve su ile birlikte reaksiyona girerek çimentonun prizini yavaşlatır.  $C_3A$ , su ve alçıtaşı arasında aşağıdaki reaksiyonlar meydana gelir.



Yukarıdaki ifadelerden de görüldüğü gibi  $C_3A$ , su ve alçıtaşının reaksiyonu sonucu  $C_4A\bar{S}H_{12}$  ve  $C_6A\bar{S}_3H_{32}$  ürünleri meydana gelmektedir.  $C_4A\bar{S}H_{12}$  (kalsiyum-alumino-monosülfohidrat) oluşması çimento hamurunda bir miktar hacim artışına sebep olmaktadır. Fazla sülfatın bulunduğu ortamlarda  $C_4A\bar{S}H_{12}$   $C_6A\bar{S}_3H_{32}$ 'ya dönüşür.



$C_6A\bar{S}_3H_{32}$  calsiyum-alumino-trisülfohidrat, Candlot tuzu veya daha çok bilinen ismiyle etrenjit olarak bilinir. Hekzagonal kesitli ve çubuk şekilli etrenjit kristalleri oldukça kararludur ve çimento hamurunda fazla miktarda hacim artışı meydana getirir. Çimento içerisinde ne miktarda etrenjit oluşacağı ortamdaki sülfat miktarına bağlıdır.

$C_4AF$  ana bileşenin hidratasyonu  $C_3A$ 'nın hidratasyon mekanizmasına benzemektedir.  $C_3A$ 'nın yapısında bulunan bir kısım alüminanın yerini demir oksit almaktadır. Ortaya çıkan kalsiyum-alümino-sülfohidrat ürünleri  $C_4(A,F)\bar{S}H_{12}$  ve  $C_6(A,F)\bar{S}_3H_{32}$  bileşimine sahip olmaktadır. Bu ürünlerin yanı sıra bir miktar  $(A,F)H_3$  meydana gelmektedir. Ortamdaki demir oksidin fazlalaşması reaksiyonun yavaşlamasına yol açmaktadır (Erdoğan, 2003).

Çimento üretiminde alçıtaşı kullanılmadığı veya gereğinden az kullanıldığı takdirde  $C_4AF$  ana bileşenin göstereceği hidratasyon  $C_3A$ 'nın kadar şiddetli olmasa bile oldukça hızlıdır ve açığa büyük miktarda ısı çıkaran türdendir. Ani prize yol açabilmektedir.  $C_3A$  oranı düşük  $C_4AF$  oranı yüksek olan çimentolarla yapılan betonların sülfat etkisine oldukça dayanıklı olduğu bilinir (Erdoğan, 2003).

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Harç Numunelerinin Hazırlanması

Bu çalışmada, yapılarda sıva malzemesi olarak kullanılan harçlara çeşitli oranlarda pirit, krom ve magnetit ekleyerek hazırlanan harçlarda mekanik ve radyasyon soğurma özellikleri belirlenmiştir. Çalışma kapsamında Bayburt ilinin Kop ilçesindeki krom madeninden krom içeren kayaçlar, Artvin ilinin Murgul ve Bayburt ilinin Kop ilçesindeki bakır madeninden pirit içeren kayaçlar ve Trabzon ilinin Araklı ilçesinden magnetit içeren kayaçlar temin edilmiştir. Bu kayaçlar çeneli kırıcılarda kırılmıştır. Kullanılan kayraçkar ve standart kum Şekil 7’de görülmektedir. No 200 eleğinden geçen malzemeden pirit, krom ve magnetit tozu alınarak standart kuma katılarak TS EN 196-1’e göre 40x40x160 mm ebatlarına sahip harç numuneler hazırlanmıştır.



Şekil 7. Kullanılan pirit, krom, magnetit kayaçları ve standart kum.

Çalışma kapsamında Şekil 8’de görülen pirit, krom ve magnetitli kayaçlar çeneli kırıcıda kırma işlemi uygulandıktan sonra sarsma cihazında 200 mikron elekten elenmişlerdir.



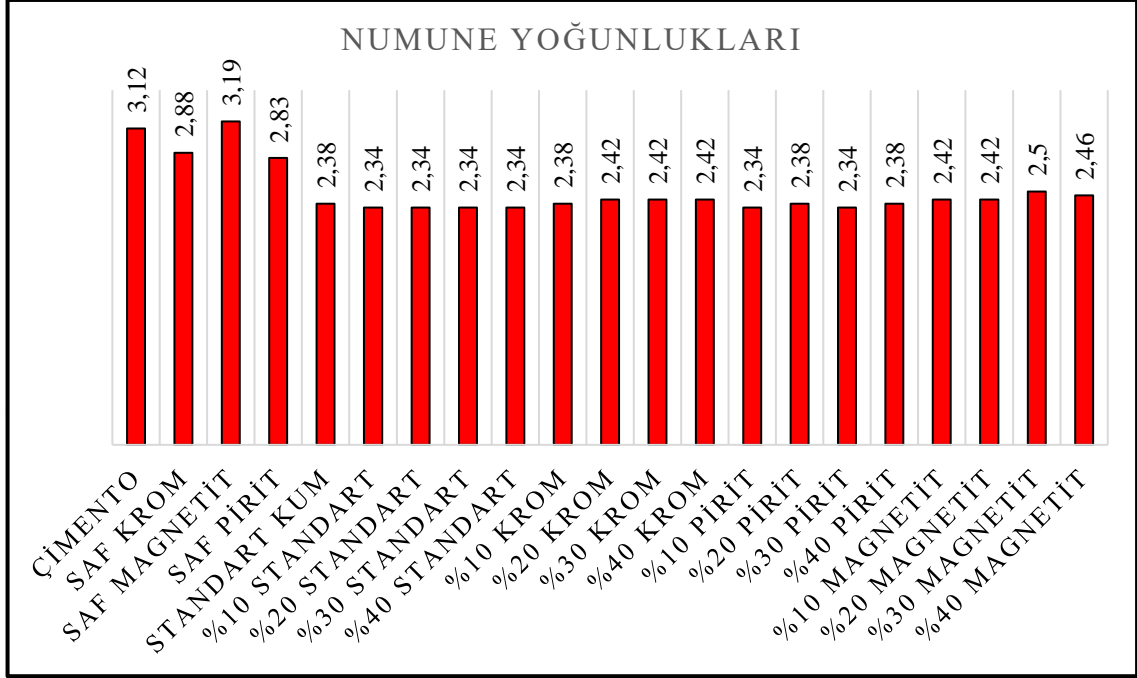
**Şekil 8.** Pirit, krom ve magnetit kayaçlarının çeneli kırıcıda kırılıp 200 nolu elekten elenmiş agrega görüntüsü

Çalışmada kullanılan CEM I 42,5 R tipi çimento, pirit, krom, magnetit ve CEN standart kumunun kimyasal bileşimi Tablo 3’te görülmektedir. Tablo 3’teki kimyasal bileşimi görülen maddelerin analizleri ACME Analitik Laboratuvarı’nda (Kanada) yaptırılmıştır.

**Tablo 3.** Çimento, pirit, krom, magnetit ve CEN standart kumun kimyasal bileşimi.

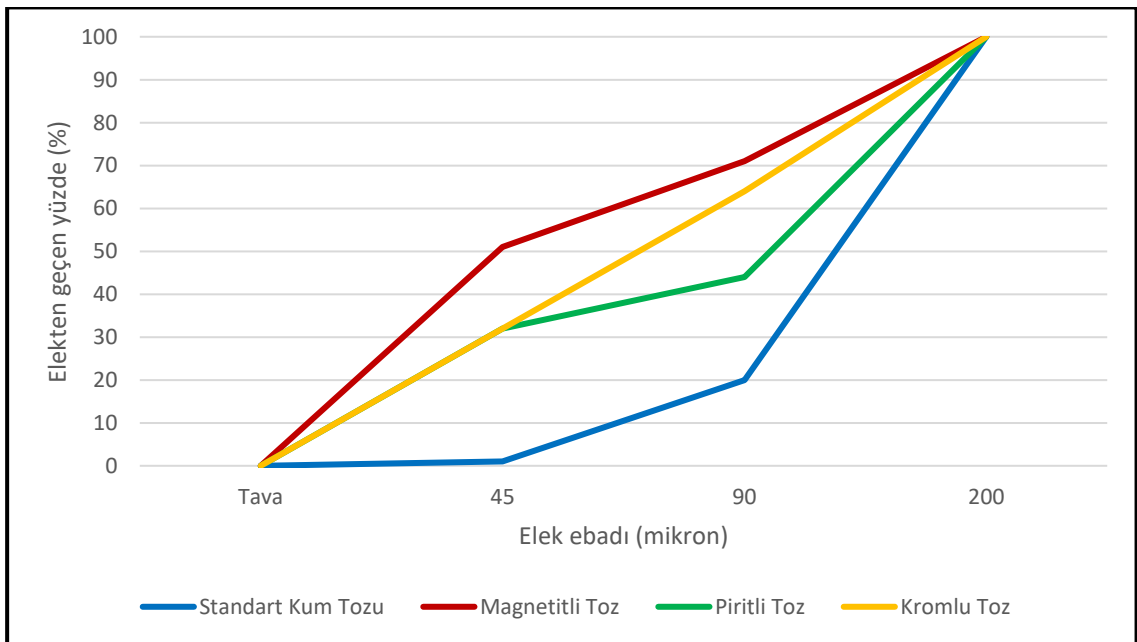
	Kimyasal Bileşim Oranları (%)				Standart kum
	Çimento	Krom	Magnetit	Pirit	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,24	7,15	1,76	3,11	12,5
BaO	0,06	0	0,02	0,024	0,05
CaO	61,2	0,5	20,5	0,385	0,9
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,021	35,8	0,082	0,23	0,01
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,66	16,9	35,8	12,87	3,18
K <sub>2</sub> O	1,06	0,01	0,02	0,84	1,23
MgO	1,05	23	2,17	0,46	0,98
MnO	0,17	0,19	1,05	0,016	0,08
Na <sub>2</sub> O	0,4	0	0,21	0,049	4,59
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,131	0,001	0,23	0,018	0,063
SO <sub>3</sub>	3,36	0,06	0,24	17,28	0,04
SiO <sub>2</sub>	19,6	10,9	31,8	56,9	74,7
TiO <sub>2</sub>	0,16	0,1	0,04	0,074	0,31
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,061	0,083	0,006	0,005	0,005
ZnO	0,007	0,066	0,954	0,02	0,002
ZrO <sub>2</sub>	0,06	0	0	0,02	0,03
Kızdırma kaybı	3,8	5,1	5,2	6,72	1
Toplam	100,54	99,86	100,02	99,021	99,62

Şekil 9’da malzemelerin saf hallerinin ve harç numunelerinin yoğunlukları görülmektedir.



Şekil 9. Numune yoğunlukları.

Şekil 10’da pirit, krom, magnetit ve standart kum tozuna ait granülometri eğrisi görülmektedir.



Şekil 10. Standart kum tozu, magnetit tozu, pirit tozu, krom tozu elek analizi.

Tablo 4’te harç numuneye katılan malzeme miktarları görülmektedir. TS EN 196-1’e göre üretilen harç numunelere çimento kütlelerinin %10, % 20, %30 ve % 40 oranında ilave olarak pirit, krom, magnetit ve CEN standart kumu tozu katılmıştır. Tablo 4’teki malzemelerle TS EN 196-1’e göre 40x40x160 mm’lik ebatlarda prizmatik harç numuneler üretilmiştir (Şekil 11).

**Tablo 4.** Harç numunelere katılan malzeme miktarları (gram).

Numune ismi	Çimento	Su	Standart kum	Standart kum tozu	Krom	Magnetit	Pirit
Standart numune	450	225	1350	0	0	0	0
Standart-%10	450	225	1350	45	0	0	0
Standart-%20	450	225	1350	90	0	0	0
Standart-%30	450	225	1350	135	0	0	0
Standart-%40	450	225	1350	180	0	0	0
Krom-%10	450	225	1350	0	45	0	0
Krom-%20	450	225	1350	0	90	0	0
Krom-%30	450	225	1350	0	135	0	0
Krom-%40	450	225	1350	0	180	0	0
Magnetit-%10	450	225	1350	0	0	45	0
Magnetit-%20	450	225	1350	0	0	90	0
Magnetit-%30	450	225	1350	0	0	135	0
Magnetit-%40	450	225	1350	0	0	180	0
Pirit-%10	450	225	1350	0	0	0	45
Pirit-%20	450	225	1350	0	0	0	90
Pirit-%30	450	225	1350	0	0	0	135
Pirit-%40	450	225	1350	0	0	0	180





Şekil 11. 40x40x160 mm'lik ebadında prizmatik harç numuneleri.

Şekil 11'de görülen harç numuneler Şekil 12'de görülen iklimlendirme kabininde 24 saat tutulduktan sonra kalıbından çıkarıldı ve kür havuzuna konuldu. Harç numunelere 2, 7 ve 28 günlük eğilme ve basınç testleri uygulandı.



Şekil 12. Elde edilen numunelere uygulanan işlem aşamaları.

## 2.2. Kütle Soğurma Katsayısı Tayini

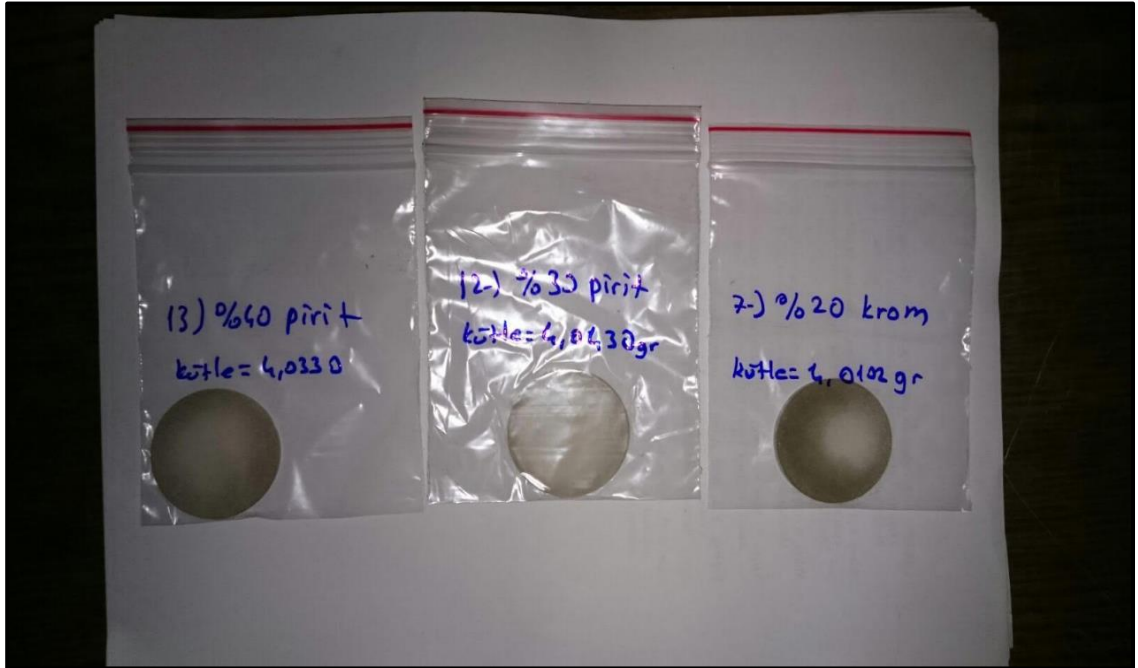
450 gr çimento, 225 gr su, 1350 gr standart kum ve çimentonun %40 oranlarında standart kum, pirit, krom ve magnetit tozu eklenerek 40x40x160 mm ebatlarında numuneler TS EN 196-1 standartlarında prizmatik şekilde hazırlandıktan sonra her numuneden ayrı parçalar kesilmiştir. Bu parçalar halkalı öğütücülerde toz haline getirilmiştir.

Üretilen beton numunelerden kesilen beton parçaları ve beton karışımında kullanılan saf malzemeler Şekil 13'te görülen halkalı öğütücüde öğütülerek toz haline getirildi.



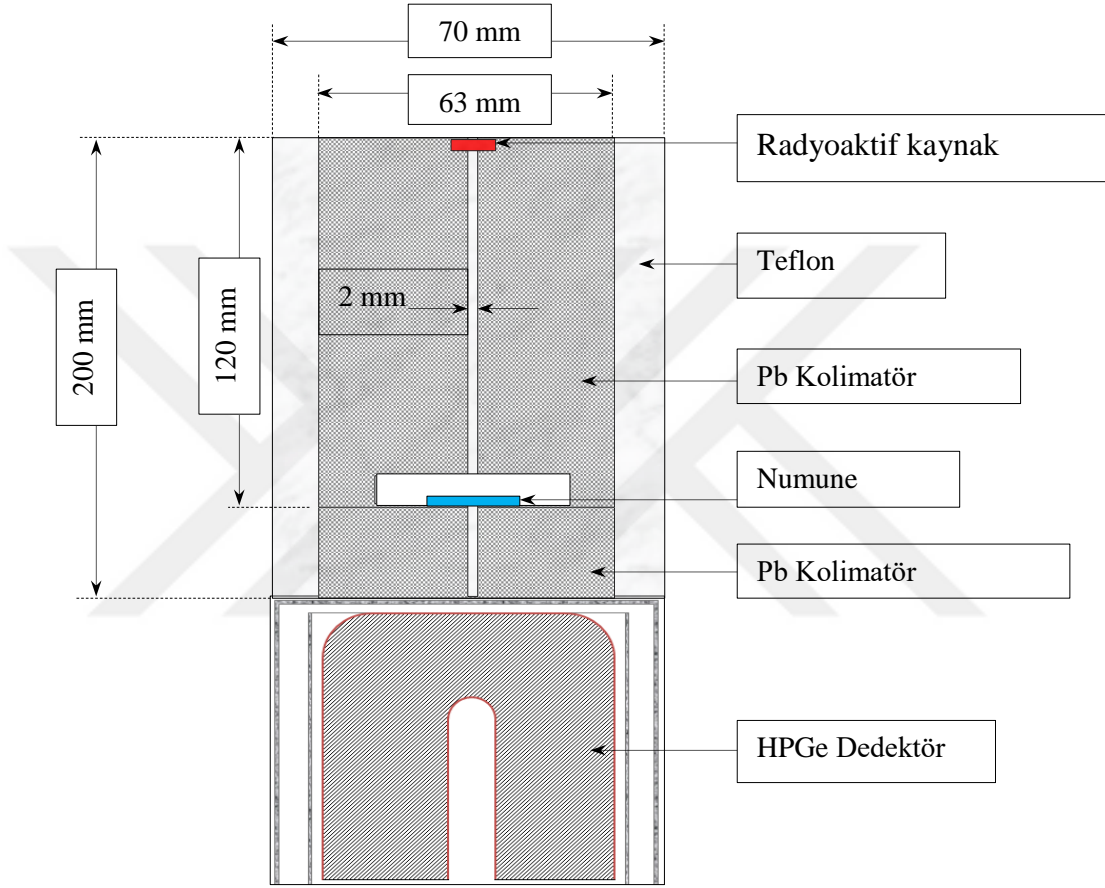
Şekil 13. Halkalı öğütücü.

Hazırlanan numunelerin tozları hidrolik baskı makinesinde 40 mm çapındaki pelletlere basılmıştır (Şekil 14).



Şekil 14. Pelletlere basılmış numune örnekleri.

Malzemelerin kütle soğurma katsayılarını belirlemeye yönelik deneysel çalışmalar, %25'lik bağlı verime ve 1,33 MeV'de 1,70 keV'lik ayırma gücüne sahip ORTEC marka GEM25P4-76 model HPGe yarıiletken gama dedektörü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar için Şekil 15'te gösterilen dar ışın geometrisi (narrow beam geometry) oluşturuldu.



Şekil 15. Kütle soğurma katsayılarının ölçümünde kullanılan dar ışın geometrisi.

Deney geometrisinde, numune ve kaynak değiştirme esnasında meydana gelebilecek geometrik etkileri ortadan kaldırmak için birbirinden bağımsız pencereler bırakılmıştır. Kütle soğurma katsayıları 122 – 834 keV aralığındaki iki farklı enerji değeri için ölçüldü. Bu enerji değerleri Tablo 5'te gösterilen radyoaktif nokta kaynaklar kullanılarak elde edildi. Kararlı hale dönüşümleri sırasında radyoizotopların birçok farklı enerjiye sahip gama ışınları yayınladığı bilinmektedir. Dolayısıyla Tablo 5'te belirtilen gama ışınlarının seçiminde, yayınlanma olasılıkları ve çalışma aralığındaki enerji dağılımının homojenliği dikkate alındı.

**Tablo 5.** Radyoaktif nokta kaynaklar.

Çekirdek	Enerjisi (keV)	Olasılığı (%)	Yarı ömrü	Aktivitesi	Çekirdek
<sup>57</sup> Co	122,0	85,51	271,80 gün	387,40 kBq	<sup>57</sup> Fe
	81,0	32,90	10,54 yıl	360,60 kBq	
<sup>54</sup> Mn	834,8	99,97	312,13 gün	351,40 kBq	<sup>54</sup> Cr <sup>54</sup> Fe

Malzemelerin kütle soğurma katsayıları Lambert-Beer yasası kullanılarak hesaplandı.

$$I=I_0e^{-\frac{\mu}{\rho}d} \quad (7)$$

Burada  $\mu/\rho$  numunenin kütle soğurma katsayısını ( $\text{cm}^2/\text{g}$ ),  $d$  numunenin yüzeysel yoğunluğunu ( $\text{g}/\text{cm}^2$ ) temsil etmektedir.  $I_0$  ve  $I$  nicelikleri ise sırasıyla dar ışın geometrisindeki katı açıda kaynaktan yayınlanıp ve numuneyi geçip detektöre ulaşan demetlerin şiddetidir. Kaynaktan yayınlanıp detektöre ulaşan demetin şiddetini ( $I_0$ ) belirleyebilmek için kaynak ile detektör arasına soğurucu numune yerleştirilmeden ölçüm işlemi gerçekleştirildi. Daha sonra araya soğurucu numune yerleştirilerek yapılan ölçüm işlemi ile numuneyi geçip detektöre ulaşan demetin şiddeti ( $I$ ) belirlendi. Her bir ölçüm işlemi 5000 s'lik sürelerde üçer kez tekrarlanarak gerçekleştirildi.

### 3. BULGULAR

TS EN 196-1'e göre üretilen harç numunelerin 2, 7 ve 28 günlük eğilme ve basınç dayanımları Tablo 6'da görülmektedir. Tablo 6'da verilen her bir eğilme dayanımı üç numunenin ortalama değeridir. Tablo 6'da verilen her bir basınç dayanımı ise eğilme dayanımı testine tabi tutulduktan sonra altı parça olan harçlardan elde edilen ortalama basınç dayanımlarıdır.

**Tablo 6.** Ortalama eğilme ve basınç dayanımları.

Numune ismi	Eğilme dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )			Basınç dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )		
	2 GÜN	7 GÜN	28 GÜN	2 GÜN	7 GÜN	28 GÜN
Standart Harç	5,67	7,38	8,36	25,72	42,53	46,01
Standart Kum Tozu %10	5,36	6,79	8,45	25,22	43,48	46,24
Standart Kum Tozu %20	5,86	7,52	7,85	27,86	40,84	47,79
Standart Kum Tozu %30	6,40	7,66	8,27	29,46	39,87	45,52
Standart Kum Tozu %40	5,46	6,97	6,50	27,89	41,87	45,73
Magnetit Tozu %10	5,68	7,78	8,52	29,35	42,68	49,36
Magnetit Tozu %20	6,99	7,97	8,15	34,89	47,18	54,81
Magnetit Tozu %30	6,89	8,93	8,53	37,76	48,02	55,86
Magnetit Tozu %40	6,06	7,91	8,35	34,73	46,23	51,26
Krom Tozu %10	7,19	7,21	8,50	25,91	40,51	48,27
Krom Tozu %20	6,41	7,57	8,49	28,48	42,01	44,53
Krom Tozu %30	5,92	6,72	8,18	26,70	38,46	44,04
Krom Tozu %40	5,92	6,72	8,18	26,70	38,46	44,04
Pirit Tozu %10	5,87	8,06	8,86	30,90	45,40	54,18
Pirit Tozu %20	5,87	8,06	8,86	30,90	45,40	54,18
Pirit Tozu %30	6,23	7,49	8,53	32,07	43,84	49,93
Pirit Tozu %40	5,69	5,62	7,04	28,60	42,50	44,95

Tablo 7, Tablo 8, Tablo 9 ve Tablo 10’da CEM I 42,5 R sınıfı çimentonun ve CEM I 42,5 R tipi çimentoya çimento kütlelerinin %10, % 20, %30 ve % 40 oranında standart kum, pirit, krom ve magnetit tozu ilave edilerek hazırlanan numunelerin priz başlama, priz bitiş ve hacim sabitlikleri görülmektedir.

**Tablo 7.** Standart kum tozu ilaveli numunelerin priz başlama, priz bitiş süreleri ve hacim sabitlikleri.

Çimento Tipi	Priz süresi (dakika)		Hacim Sabitliği (mm)
	Başlama	Bitiş	
CEM I 42,5 R	230	380	0,5
SK10%	230	330	1
SK20%	230	340	0,5
SK30%	220	345	1
SK40%	220	355	0.5

**Tablo 8.** Magnetit tozu ilaveli numunelerin priz başlama, priz bitiş süreleri ve hacim sabitlikleri.

Numune Tipi	Priz süresi (dakika)		Hacim Sabitliği (mm)
	Başlama	Bitiş	
M10%	205	500	1,5
M20%	210	550	0,5
M30%	210	585	0,5
M40%	225	600	0,5

**Tablo 9.** Pirit tozu ilaveli numunelerin priz başlama, priz bitiş süreleri ve hacim sabitlikleri.

Numune Tipi	Priz süresi (dakika)		Hacim Sabitliği (mm)
	Başlama	Bitiş	
P10%	210	350	0,4
P20%	200	350	0,5
P30%	195	355	0,5
P40%	180	365	0,5

**Tablo 10.** Krom tozu ilaveli numunelerin priz başlama, priz bitiş süreleri ve hacim sabitlikleri.

Numune Tipi	Priz süresi (dakika)		Hacim Sabitliği (mm)
	Başlama	Bitiş	
K10%	180	360	0,5
K20%	170	350	0,5
K30%	160	370	0
K40%	155	355	0,5

Tablo 11 de 122 keV ve 834 keV enerji seviyelerinde çimento, saf krom, saf magnetit, saf pirit, normal agrega ve %40 malzeme tozu ile hazırlanmış tüm harç numunelerinin kütle soğurma katsayı değerleri hem deneysel ve hem de XCOM bilgisayar programı yardımı ile teorik olarak hesaplanmıştır.

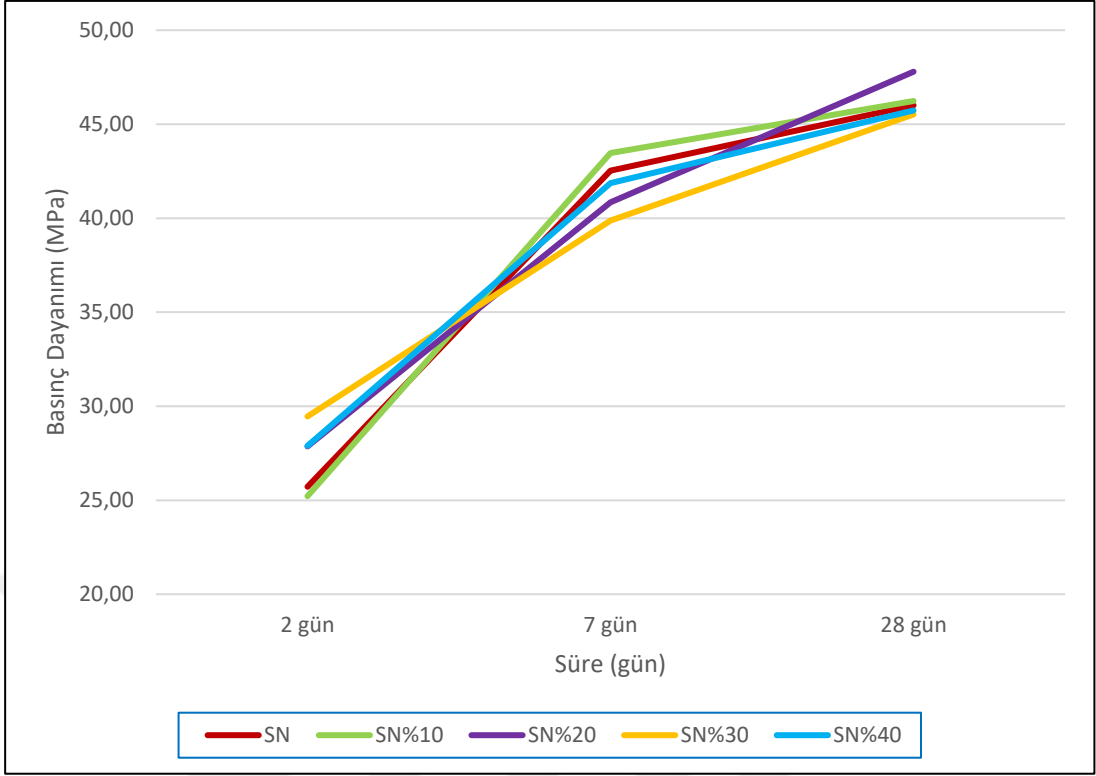
**Tablo 11.** Malzemelerin deneysel ve teorik kütle soğurma Katsayıları

Numune	Kütle soğurma katsayıları (cm <sup>2</sup> /g)			
	122 keV		834 keV	
	Deneysel	Teorik	Deneysel	Teorik
Çimento	0,180 ± 0,004	0,178	0,068 ± 0,001	0,068
Saf Krom	0,187 ± 0,004	0,185	0,068 ± 0,001	0,068
Saf Magnetit	0,192 ± 0,004	0,190	0,068 ± 0,001	0,068
Saf Pirit	0,166 ± 0,004	0,165	0,069 ± 0,001	0,069
Normal Agrega	0,158 ± 0,004	0,156	0,069 ± 0,001	0,069
Standart Harç	0,162 ± 0,005	0,161	0,069 ± 0,001	0,069
% 40 Standart Harç	0,161 ± 0,004	0,160	0,068 ± 0,002	0,069
% 40 Kromlu Harç	0,163 ± 0,003	0,162	0,070 ± 0,002	0,069
% 40 Piritli Harç	0,162 ± 0,005	0,160	0,069 ± 0,002	0,069
% 40 Magnetitli Harç	0,164 ± 0,004	0,163	0,071 ± 0,002	0,069



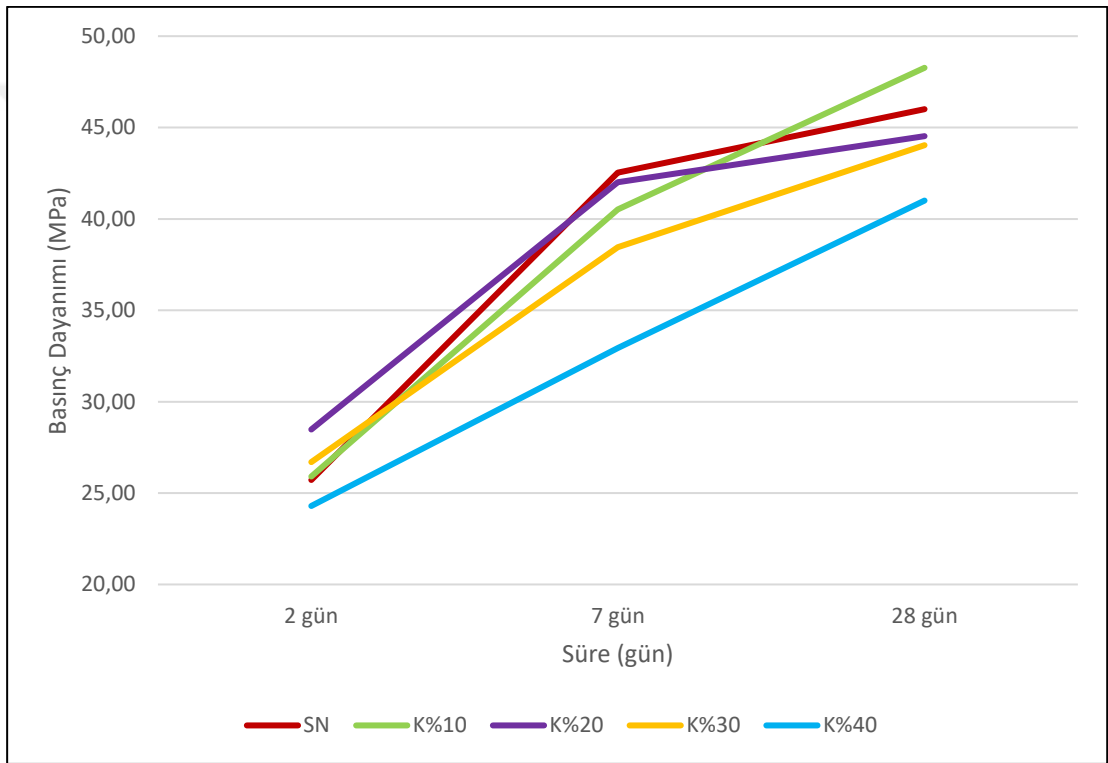
#### 4. TARTIŞMA

Şekil 16’da standart harç numunesi ile % 10, % 20, %30 ve % 40 standart kum tozu ilaveli harç numunelerinin basınç dayanımları görülmektedir. Çimento miktarı sabit tutulup standart kum tozu ilave edilmesi durumunda agrega yüzey alanının artmasından dolayı harçların basınç dayanımında değişiklik görülmemiştir. Ancak Şekil 16’daki standart kum tozu ilaveli harçların 28 günlük basınç dayanımları incelendiğinde standart kum tozu miktarının artması durumunda standart kum tozu ilave edilmemiş numunelere göre basınç dayanımlarında belirgin bir fark oluşmamıştır. Şekil 16’daki karışıma katılan standart kum tozu çimento kütlelerinin en fazla %40 oranında kullanıldı. %40 oranında katılan standart kum tozu harç numunelerin üretiminde kullanılan 1350 gram CEN standart kumuna oranladığında ilave olarak katılan en fazla standart kum tozu % 13,3 oranında olmaktadır. Bu miktarın bir kısmı da prizmatik kalıp üzerindeki fazla malzemenin sıyırılması ile kalıba girmeden numuneden uzaklaşmaktadır. Harç numuneye katılan ince malzeme agrega yüzey alanını arttırmasına karşılık harcın kıvamının azalmasına yol açmaktadır. Bu durumda bu çalışmada kullanılan oranlarda standart kum tozu ilavesinin harç numunelerin basınç dayanımlarında belirgin bir azalmaya yol açmamasına neden olmuştur. Bu çalışmaya benzer araştırmada Bunamis ve Bajere iki farklı incelikte kuvars ve dolomit mineral filleri ile %10 ve %20 oranlarında ilave ederek hazırladığı harçlarda 28 günlük basınç dayanımlarında %2 ile %3 oranında bir azalma, 2 ve 7 günlük basınç dayanımlarında ise %13’e varan oranlarda basınç dayanımlarında artış tespit etmiştir. Bunamis ve Bajere kullandığı mineral filler miktarına göre harçların basınç dayanımındaki değişimler bu çalışmaya benzer şekilde bulunmuştur (Bumanis, 2017). Ramyar ve vd. yapmış oldukları çalışmada taş unu miktarındaki artışın betonun çökmesi ve dayanımı üzerindeki etkisine baktığında %15 oranına kadar taş unu miktarındaki artışın beton çökmesinde ve dayanımında belirgin bir azalmaya neden olmadığını belirtti (Ramyar vd., 1995). Özgan çalışmasında ince malzeme miktarında %10 oranında kullandığı taş unu miktarında basınç dayanımında belirgin bir azalmanın olmadığını belirtmiştir (Özgan, 2005).



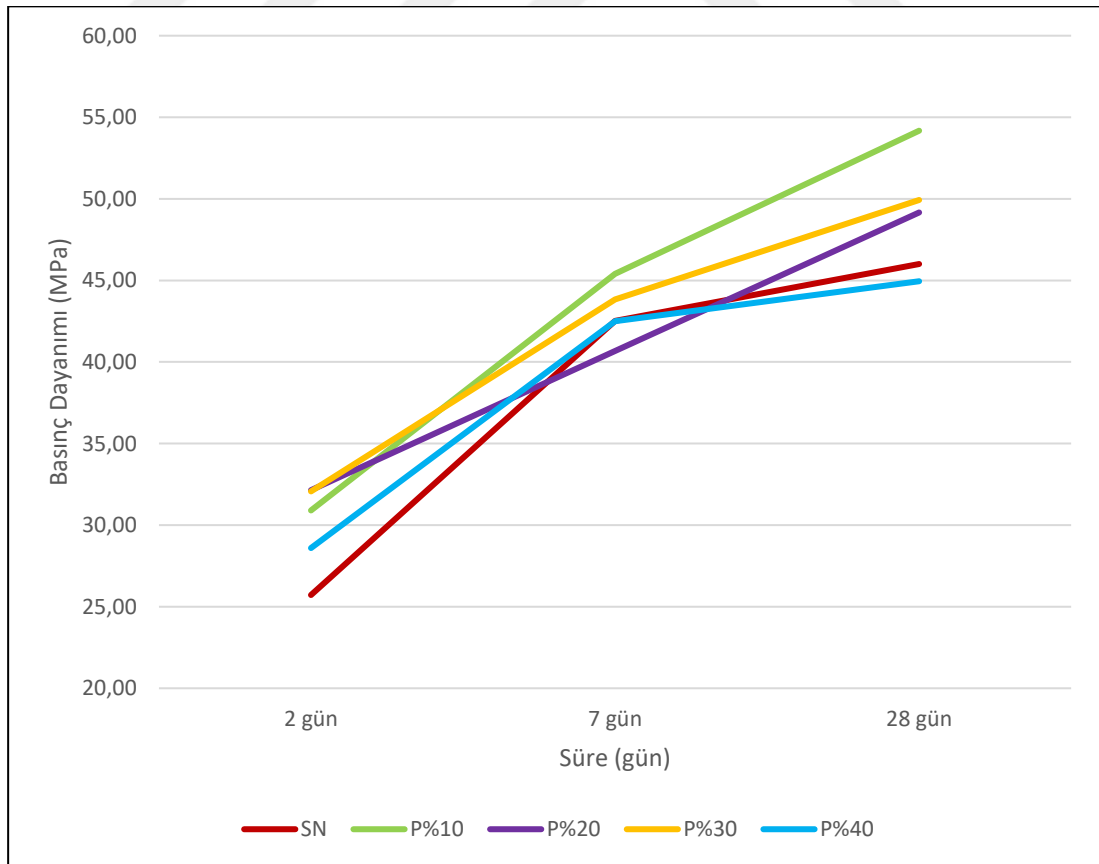
Şekil 16. Standart kum tozu ilaveli numunelerin basınç dayanımları.

Şekil 17’de standart harç numuneler ile % 10, % 20, %30 ve %40 krom tozu ilaveli harç numunelerin basınç dayanımları görülmektedir. %40 krom tozu ilavesi harç numunelerin basınç dayanımlarında standart numunelere göre %4,6 oranında azalma yol açmıştır. Bu oran Bunamis ve Bajere’nin çalışmasındaki kuvars tozu ve dolomit tozu ilaveli harçlardaki azalmayla benzer orandadır (Bumanis, 2017). Bu durum krom tozundaki krom cevherinden dolayı harç numunelerinin basınç dayanımı olumsuz etkilenmediğini göstermektedir.



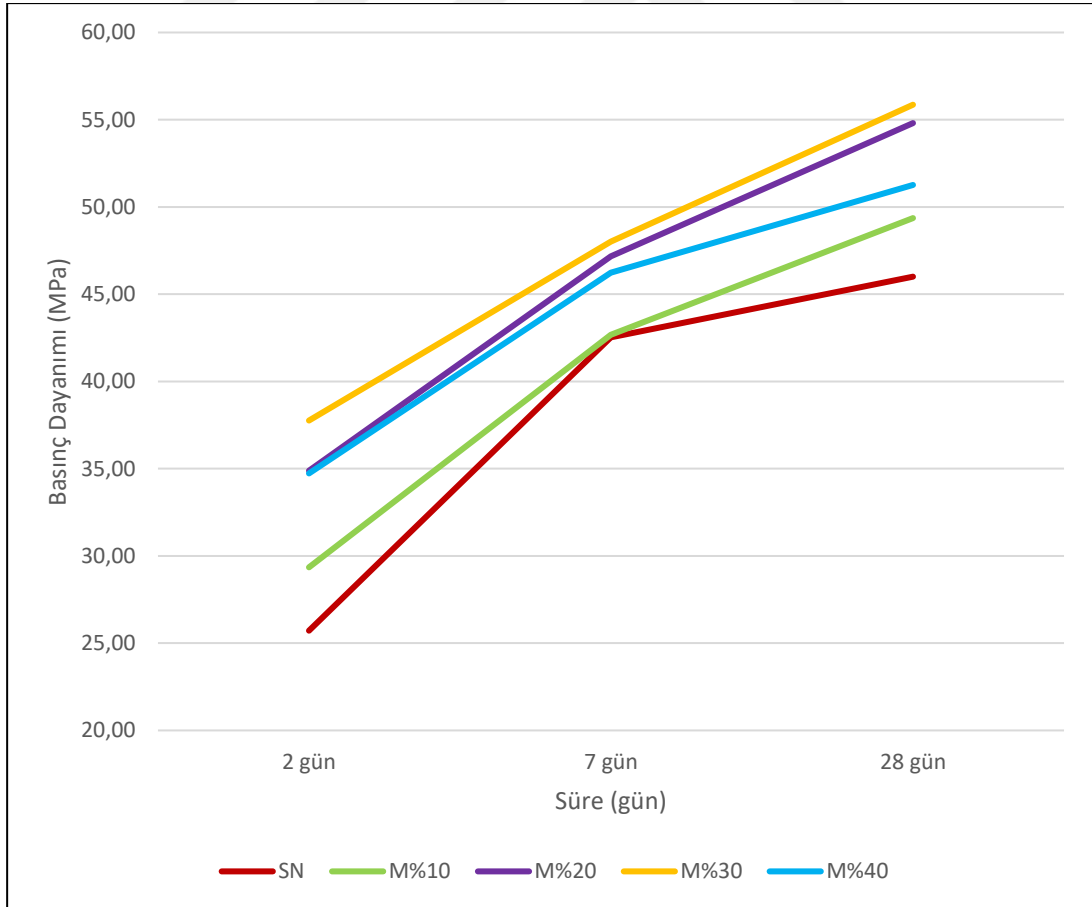
Şekil 17. Krom tozu ilaveli numunelerin basınç dayanımı.

Şekil 18’de standart harç numunesi ile %10, % 20, %30 ve %40 pirit tozu ilaveli numunelerin basınç dayanımları görülmektedir. %10 ve %20 oranında pirit tozu ilaveli harç numunelerinin basınç dayanımı standart numunelerinin basınç dayanımından %17,7, %30 pirit tozu ilaveli harçların ise %8,5 oranında fazla olduğu görülmektedir. %40 pirit tozu ilaveli harçların basınç dayanımı standart harç numunelerinin basınç dayanımından ise %2,3 oranında azdır. Şekil 18’deki bu durum pirit tozu ilavesi harç numunelerinin dayanımında artışa neden olduğunu göstermektedir. Pirit tozu ilaveli numunelerdeki basınç dayanımındaki artış standart kum tozu ve krom tozu ilaveli numunelerde görülmemiştir. %40 pirit tozu ilaveli harç numunesinin basınç dayanımının standart harç numunesinin basınç dayanımına oranının %97,6 olduğu görülmektedir. Tablo 2’deki piritin kimyasal analizinde  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  minerallerinin toplamının % 72,88’dir. Bu durum değerlendirildiğinde pirit tozunun puzolanik etkisi basınç dayanımındaki artışın nedeni olabilir. Guo ve diğerleri çalışmalarında piriti klinkere katarak çimentonun basınç dayanımında artış ile bu çalışmadaki piritli harçların basınç dayanımındaki artış benzer bulgulardır (Guo vd., 2016).



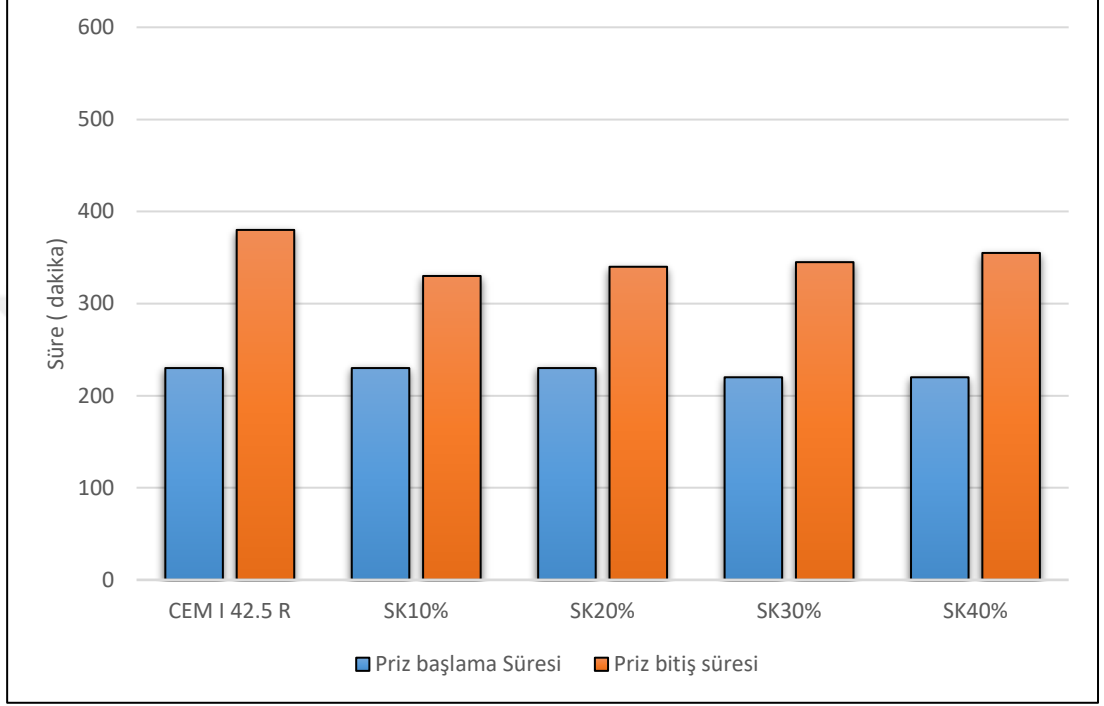
**Şekil 18.** Pirit tozu ilaveli numunelerin basınç dayanımları.

Şekil 19’de standart harç numuneleri ile %10, % 20, %30 ve %40 magnetit tozu ilaveli numunelerin basınç dayanımlarını görülmektedir. Magnetit tozu ilavesi pirit tozuna benzer şekilde harçların basınç dayanımını artırmaktadır. Magnetit tozu ilavesinin harçların basınç dayanımında artışının nedeni magnetit tozunun su emmesinin yüksek oluşundan dolayı harcın kıvamı düşürmesi ve magnetit tozunun bir miktar puzolanik özellik göstermesidir. Magnetit tozundaki CaO miktarının yüksek olması da magnetit tozu ilaveli harçların basınç dayanımının artışına neden olmuş olabilir. TS EN 197-1’de çimento klinkerindeki CaO/SiO<sub>2</sub> miktarının 2’nin altına düşmemesi ve çimentodaki reaktif CaO ve SiO<sub>2</sub> miktarının % 50’nin altına düşmemesi istenmektedir (TS EN 197-1, 2012). Magnetit tozundaki CaO’ oranının % 20 civarında olması çimentoda belirtilen durumlar göz önüne alındığında harç numunenin dayanımının artışında etkili olabilir. Bu çalışmada kullanılan pirit tozu ve magnetit tozu harç numunelerin basınç dayanımını artırmıştır.



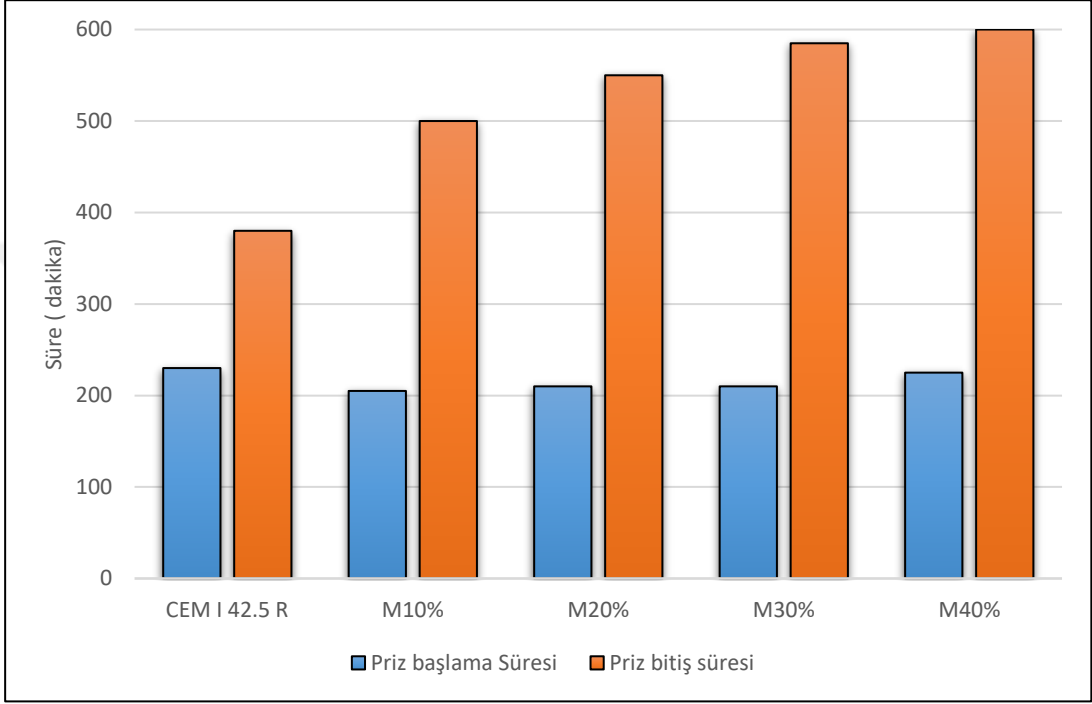
Şekil 19. Magnetit tozu ilaveli harç numunelerinin basınç dayanımları.

Şekil 20’de CEM I 42,5 R çimentosu ve standart kum tozu ilaveli çimentoların priz başlama ve bitiş süreleri görülmektedir. Standart kum tozu ilavesi çimentonun priz başlama ve bitiş süresini etkilememiştir.



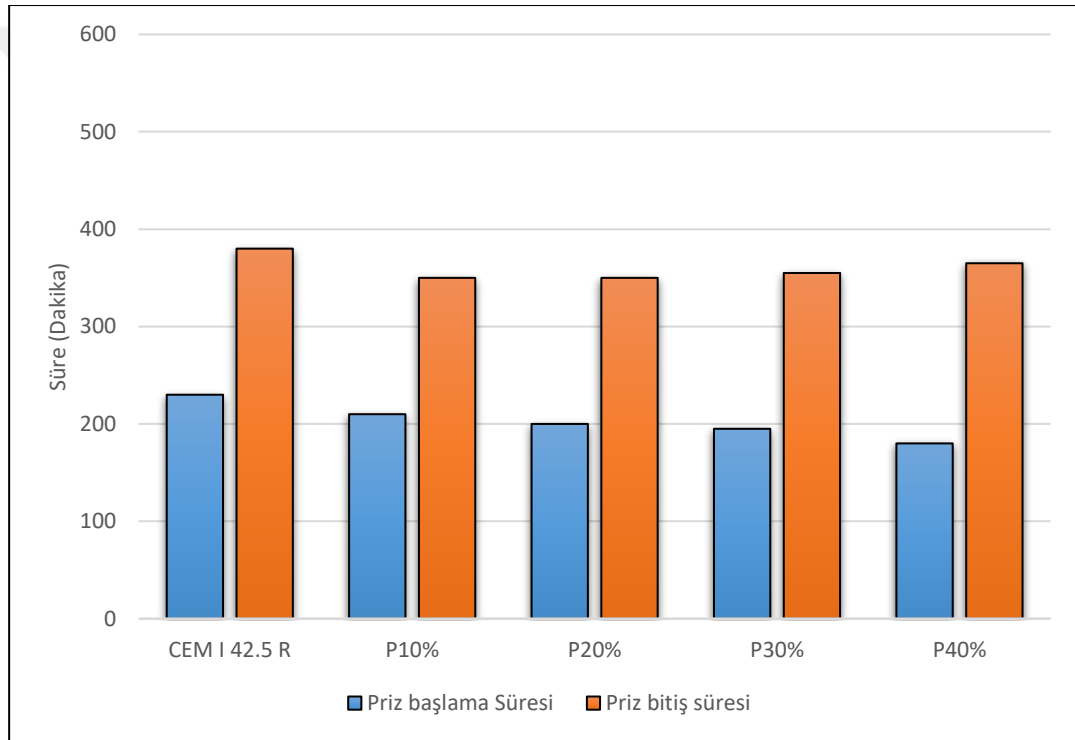
**Şekil 20.** CEM I 42,5 R çimentosu ve standart kum tozu ilaveli çimentoların priz başlama ve bitiş süreleri.

Şekil 21’de CEM I 42,5R çimentosunun ve magnetit tozu ilaveli çimentoların priz başlama ve bitiş süreleri görülmektedir. Magnetit tozu ilavesi çimentonun priz başlama süresini 25 dakika kısaltmıştır. Magnetit tozu çimentonun priz bitiş süresini yaklaşık iki saat uzatmıştır. Magnetitin çimentonun priz süresini bu kadar uzatmasına krom ve piritli çimentolarda rastlanmamıştır. .



Şekil 21. CEM I 42,5R çimentosunun ve magnetit tozu ilaveli çimentoların priz başlama süreleri.

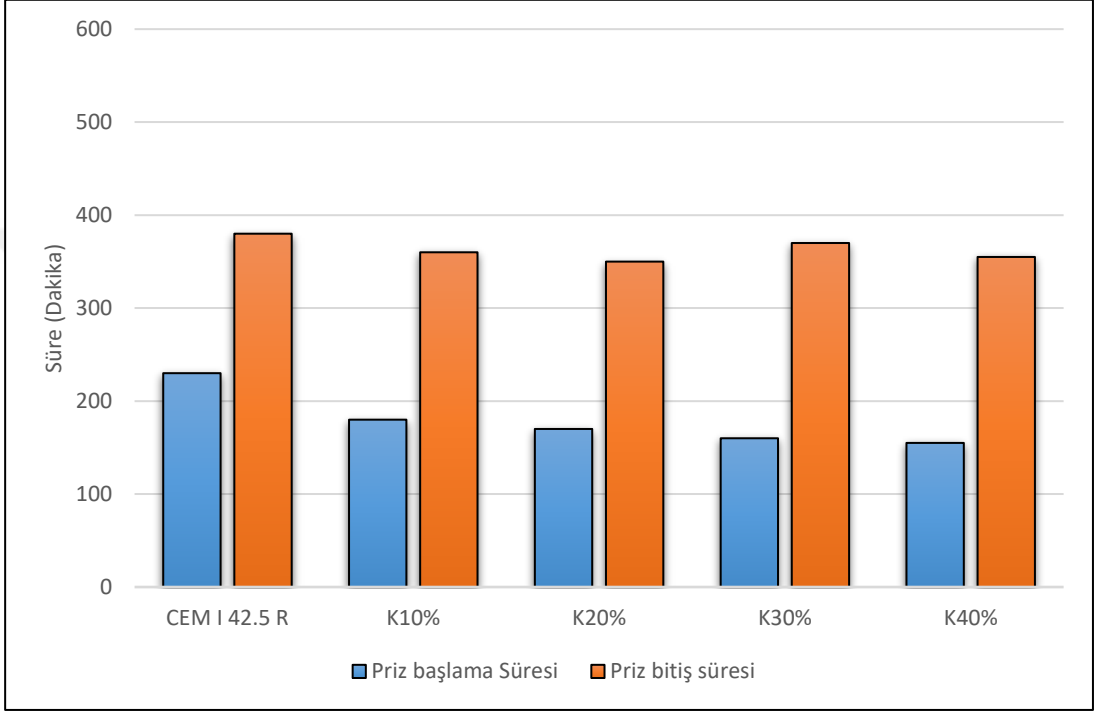
Şekil 22’de CEM I 42,5 R çimentosu ve pirit tozu ilaveli çimentoların priz başlama ve bitiş süreleri görülmektedir. Pirit tozu çimentonun priz başlama süresini kısaltmıştır. Piritin kimyasal bileşimi  $FeS_2$ ’dir. Pirite yapılan kimyasal analizde  $FeS_2$ ’ye bakılmadığından Tablo 2’de piritteki sülfür miktarı  $SO_3$  olarak verilmiştir. Tablo 2’deki  $SO_3$  miktarının yüksek değerde olmasına bakılması durumunda pirit tozunun çimentonun priz başlama ve bitiş süresini aşırı uzatacağı ve bu durumun çimento açısından istenmeyecek durum olması beklenebilirdi. Ancak bu çalışmada pirit tozundaki kükürt demire bağlı olarak bulunmaktadır ve deneysel olarak çimentonun priz başlama ve bitiş süresini normalin dışında uzatmamıştır.



**Şekil 22.** CEM I 42,5 R çimentosu ve pirit tozu ilaveli çimentoların priz başlama ve bitiş süreleri.

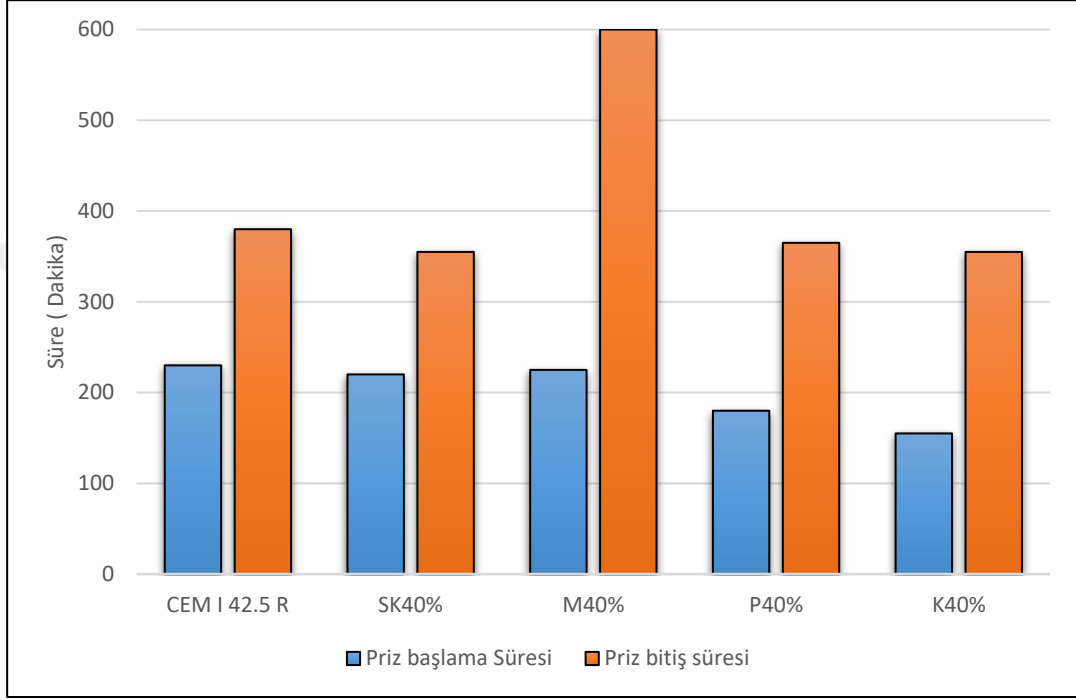


Şekil 23’de CEM I 42,5 R çimentosu ve krom tozu ilaveli çimentoların priz başlama ve bitiş süreleri görülmektedir. Krom tozu ilavesi çimentonun priz başlama süresi katkısız çimentoya göre 50 dakika kısaltmıştır. Çimentoya katılan krom oranı arttıkça priz başlama süresi kısalmıştır.



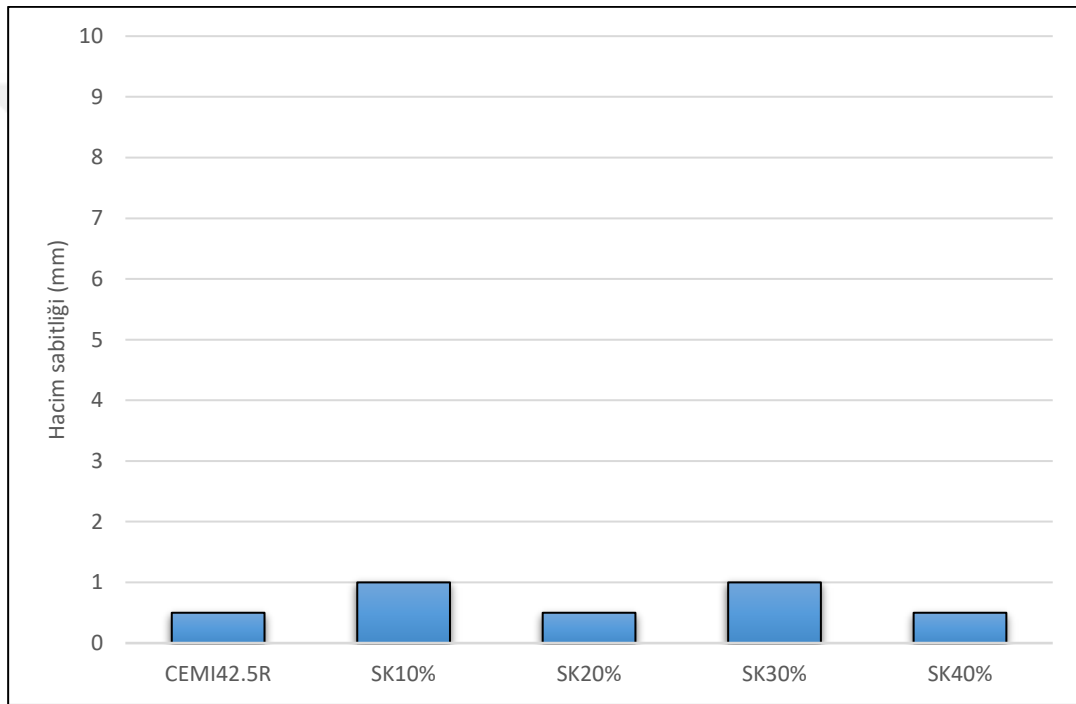
Şekil 23. CEM I 42,5 R çimentosu ve krom tozu ilaveli çimentoların priz başlama ve bitiş süreleri.

Şekil 24'te CEM I 42,5 R çimentosu ve %40 oranında toz ilaveli çimentoların priz başlama ve bitiş süreleri görülmektedir. %40 oranında pirit ve krom ilavesi çimentonun priz başlama süresini kısaltmıştır. %40 magnetit tozu ilavesi çimentonun priz bitiş süresini standart kum tozu, pirit ve kroma göre daha fazla uzatmıştır.



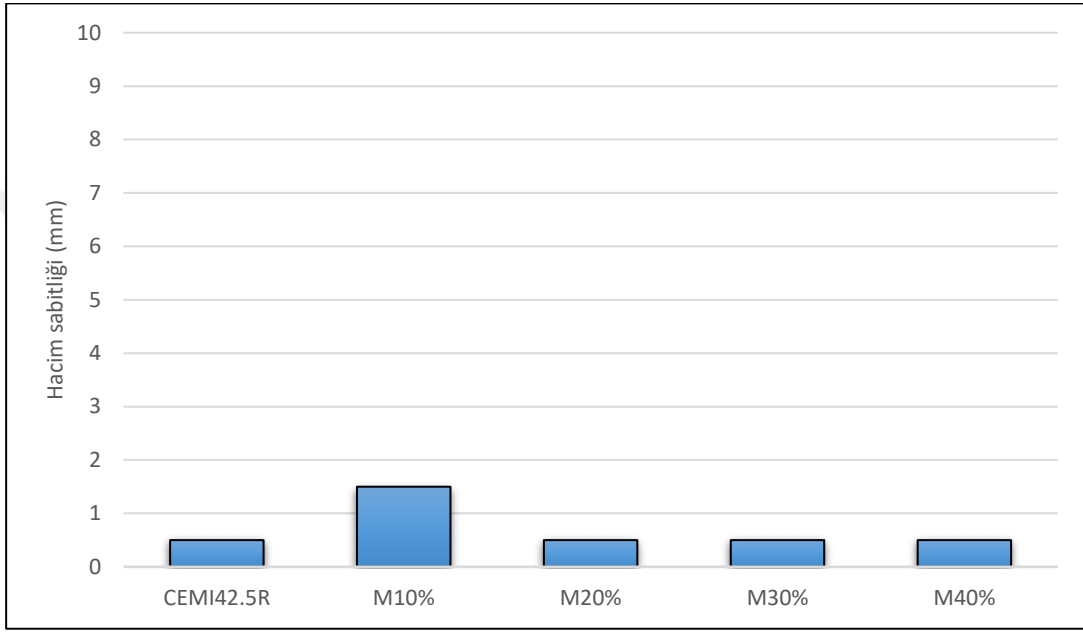
Şekil 24. CEM I 42,5 R çimentosu ve %40 oranında toz ilaveli çimentoların priz başlama ve bitiş süreleri.

Şekil 25'te çalışmada kullanılan CEM I 42,5 R sınıfı çimentoda ve çimento kütlesinin %10, % 20, %30 ve % 40 oranında standart kum tozu ilave edilen çimentolarda TS EN 196-3'e göre ölçülen hacim sabitlikleri görülmektedir. TS EN 197-1'e göre hacim sabitliğinin karakteristik üst limit değeri 10 mm ile kıyaslandığında Şekil 25'teki değerlerin oldukça düşük olduğu görülmektedir. Çimentodaki hacim artışına neden olan başlıca ürünler serbest kireç (CaO) ve MgO'tir. Tablo 2'teki çimento ve standart kumun MgO miktarına bakılırsa sırasıyla %1,05 ve %0,98 olduğu görülmektedir. Şekil 22'deki hacim sabitlikleri de kimyasal analiz sonuçlarıyla uyumlu olduğu anlaşılmaktadır.



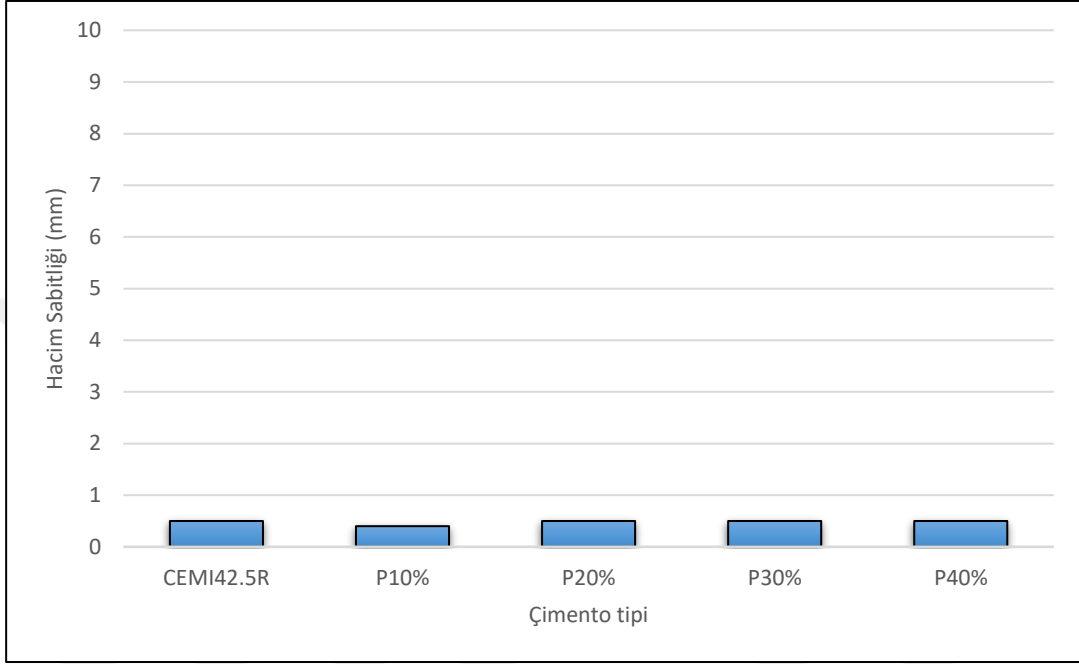
**Şekil 25.** CEM I 42,5 R tipi çimento ile standart kum tozu ilaveli çimentoların hacim sabitliği.

Şekil 26’da CEM I 42,5 R tipi çimentonun ve aynı çimentoya çimento kütlesinin %10, % 20, %30 ve % 40 oranında magnetit tozu ilave edilerek elde edilen çimentoların hacim sabitliği değerleri görülmektedir. Şekil 26’da çimentodaki magnetit miktarının artması çimentonun hacim sabitliğini etkilemediği anlaşılmaktadır. Literatürde magnetitle ilgili çalışma yapan araştırmacılarda magnetitin çimentonun hacim sabitliğine etkisini bu çalışmadakine benzer bulmuşlardır (Guo vd., 2016; Singh vd., 2013)



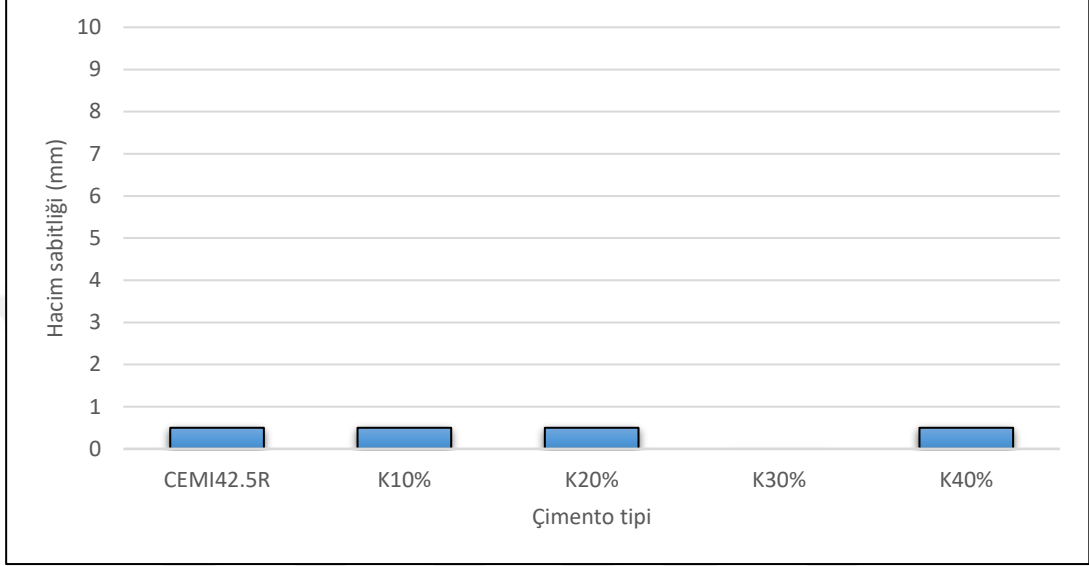
Şekil 26. CEM I 42,5R tipi çimento ile magnetit tozu içeren çimentoların hacim sabitliği.

Şekil 27’de CEM I 42,5 R tipi çimentonun ve aynı çimentoya çimento kütlesinin % 10, % 20, %30 ve %40 oranında pirit tozu ilave edilerek elde edilen çimentoların hacim sabitliği değerleri görülmektedir. Pirit tozu ilavesi çimentoların hacim sabitliğini etkilememektedir.



Şekil 27. CEM I 42,5R tipi çimento ile pirit tozu içeren çimentoların hacim sabitliği.

Şekil 28’de CEM I 42,5 R tipi çimentonun ve aynı çimentoya çimento kütlesinin %10, % 20, %30 ve % 40 oranında krom tozu ilave edilerek elde edilen çimentoların hacim sabitliği değerleri görülmektedir. Krom tozu ilavesi çimentoların hacim sabitliğini etkilememektedir.



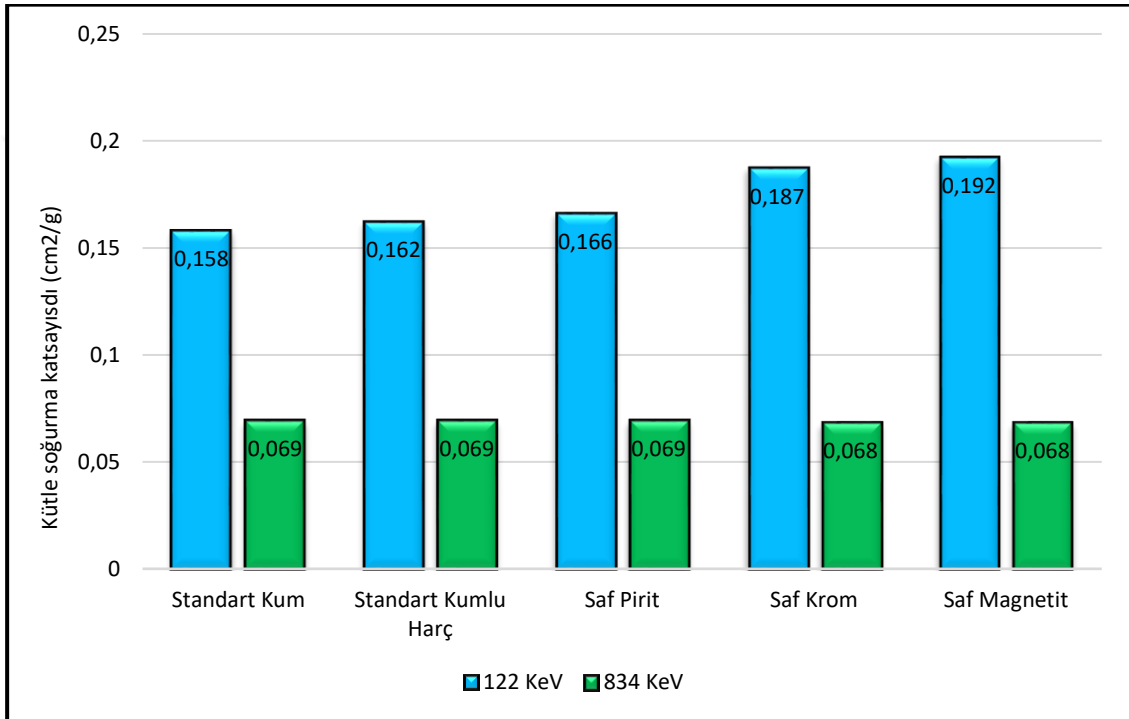
**Şekil 28.** CEM I 42,5R tipi çimento ile krom tozu içeren çimentoların hacim sabitliği.

Bir malzemenin yoğunluğu ne kadar yüksek olursa kütle soğurma katsayısı da o oranda artmaktadır. Tablo 12 de görüldüğü gibi magnetitin hem saf halinin hem de %40 magnetit tozu içeren numunenin yoğunluğu diğer malzemelerin yoğunluğundan daha yüksektir.

**Tablo 12.** Malzemelerin saf halleri, çimentonun ve %40 oranında hazırlanmış numunelerin yoğunluk tablosu.

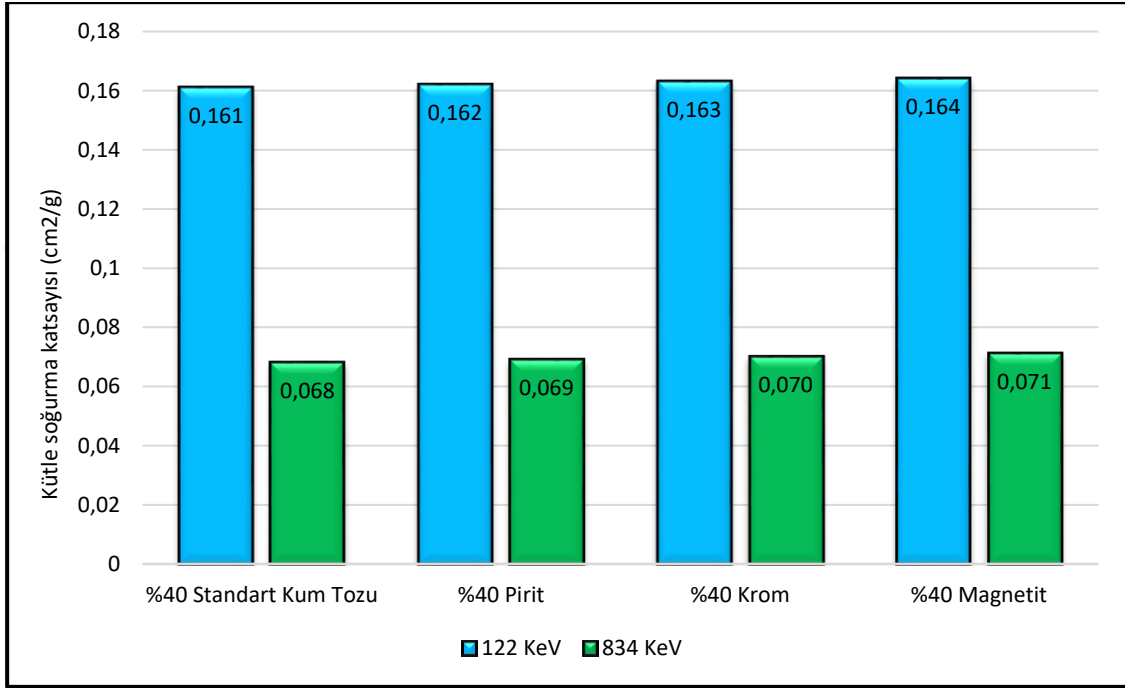
Malzeme	Yoğunluk(g/cm <sup>3</sup> )
Saf Pirit	2,83
Saf Krom	2,88
Saf Magnetit	3,19
Çimento	3,12
Standart Kum Tozu	2,38
%40 Pirit	2,38
%40 Krom	2,42
%40 Magnetit	2,46

Şekil 29' da standart kum, standart kumlu harç, saf pirit, saf krom ve saf magnetitin 112 keV ve 834 keV enerji seviyelerine ait kütle soğurma katsayıları görülmektedir. Artan enerji seviyelerinde kütle soğurma katsayısının azaldığı görülmektedir. 122 keV enerji seviyesinde kütle soğurma katsayısı incelendiğinde en düşük soğurmanın standart kumda, en yüksek soğurmanın da saf magnetitte olduğu gözlemlenmiştir. 834 keV enerji seviyesinde ise kendi aralarında çok fazla fark görülmemesine rağmen en düşük kütle soğurma katsayısı saf magnetite aittir.



Şekil 29. Malzemelerin 122 ve 834 keV enerji seviyesinde kütle soğurma katsayısı grafiği.

Şekil 30 da %40 oranında standart kum tozu, pirit, krom ve magnetit tozu ilaveli numunelerin 122 keV ve 834 keV enerji seviyelerindeki kütle soğurma katsayıları görülmektedir. Artan enerji seviyelerinde kütle soğurma katsayısının azalmaktadır. İki enerji seviyesinde de en yüksek kütle soğurma katsayısının %40 oranında magnetit tozu içeren numuneye ait olduğu tespit edilmiştir.



**Şekil 30.** %40 oranında katkı malzemesi eklenerek elde edilen numunelerin 122 ve 834 keV enerji seviyesinde kütle soğurma katsayısı grafiği.

Tablo 3'te malzemelerin kimyasal analizlerini incelediğimizde Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> ve CaO yüzdelерinin yüksek olduğu görülmektedir. Bileşiklerdeki Fe-Ca ve Si elementlerini kendi arasında incelediğimizde; Fe' in atom numarası 26, yoğunluğu 7,874 g/cm<sup>3</sup> tür. Ca' un atom numarası 20, yoğunluğu 1,55gr/cm<sup>3</sup>'tür. Si'un atom numarası 14 iken yoğunluğu 2,33 g/cm<sup>3</sup> tür. Bir elementin atom numarası arttıkça elektron sayısı artmaktadır. Elektron sayısı yükseldikçe kütle soğurma katsayısı da yükselmektedir. Magnetitin kütle soğurma katsayısının yüksek oluşunun nedenlerinden biride içeriğindeki Fe oranının yüksek olmasıdır. Gökçe ve diğerleri barit katkılı ağır betonlarda 662 keV enerji seviyesinde 0,07871-0,07996 cm<sup>2</sup>/g, 1332 keV enerji seviyesinde 0,05274-0,05478 cm<sup>2</sup>/g aralığında bulduğu kütle soğurma katsayıları bu çalışmada kullanılan enerji seviyelerine göre bulunan kütle soğurma katsayılarıyla değerlendirildiğinde birbirleriyle uyumlu olduğu görülmektedir (Gökçe, 2018).



## 5. SONUÇ

Bu çalışmada aşağıda belirtilen hususlar tespit edilmiştir.

1. Standart harç numunesine çimento kütlesinin %40 oranına kadar katılan standart kum tozu ilavesi harç numunenin basınç dayanımını değişmemektedir.
2. Çimento kütlesinin %30 oranında pirit tozu ve magnetit tozu ilavesi harç numunelerin basınç dayanımını artırmaktadır.
3. Pirit tozu, krom tozu ve magnetit tozu ilavesi çimentonun priz başlama süresini kısaltmaktadır. Pirit ve magnetit tozuna kıyasla çimentonun priz başlama süresini en fazla krom tozu kısaltmaktadır.
4. Pirit, krom ve magnetit ilavesi çimentoların hacim sabitlikleri üzerinde azaltıcı ve artırıcı yönde bir etkisi tespit edilmemiştir.
5. Malzemenin yoğunluğu ve kullanılan kaynağın enerji seviyesi arttıkça malzemenin kütle soğurma katsayısı azalmaktadır. Bu çalışmada yoğunluğu en yüksek olan magnetitin en düşük kütle soğurma katsayısına sahip olduğu tespit edilmiştir. %40 magnetit ilaveli harçlar %40 pirit ve krom ilaveli harçlardan daha fazla radyasyonu soğurmaktadır.
6. Bu çalışmada, pirit, krom ve magnetitli ince agrega ile sıva üretilebileceği ve bu sıvaların radyasyonu soğurması normal sıvalardan daha iyi olduğu görülmüştür.

## KAYNAKLAR

- Akkurt, İ., Akyıldırım, H., Mavi, B., Kılınçarslan, S. and Başığit, C., 2010.** Gamma-ray shielding properties of concrete including barite at different energies. *Progress in Nuclear Energy*, 52, 620-623.
- Alp, I., Deveci, H., Yazıcı, E.Y., Turla, T. and Sungun, Y.H., 2009.** Potential use of pyrite cinders as raw material in cement production: Results of industrial scale trial operations. *Journal of Hazardous Materials*, 166, 144-149.
- Artıg, B., 2016.** Pandermit, Kolemanit Konsantratör Atığı, Hematit, Magnetit ve Limonit İçeren Beton Numunelerinin Nötron Parçacıkları, x ve Gama Işınları için Radyasyon Soğurganlıklarının Belirlenmesi. Doktora Tezi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Van, 163s.
- Asil, S., 2007.** Demir Cevheri Numunelerinde X-ışını Floresans Yöntemiyle Molibden ve Kalay Tayini (yüksek lisans tezi, basılmamış). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 58s.
- Baltaş, H., Kırış, E., Ustabaş, İ., Yılmaz, E., Şirin, M., Kuloğlu, E. and Erdoğan Güneş, B., 2014.** Determination of Natural Radioactivity levels of some concretes and mineral admixtures in Turkey. *Asian Journal of Chemistry*, 26, 3946-3952.
- Baradan, B., Yazıcı, H. ve Ün, H., 2002.** Beton ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite). Türkiye Hazır Beton Birliğı, ISBN: 975-92122-2-6.
- Bumanis, G. and Bajare, D., 2017.** Compressive strength of cement mortar affected by sand microfiller, obtained with collision milling in disintegrator. *Procedia Engineering*, 172, 149 – 156.
- Chaudhuri, R. and Paria, G.S., 2012.** Core/shell nanoparticles: classes, properties, synthesis mechanisms, characterization, and applications. *Chemical Reviews*, 112(4), 2373-2433.
- Coşar, Ş., 2006.** Demir konsantrelerinin peletlenmesinde bor minerallerinin ve atıklarının kullanımının araştırılması (yüksek lisans tezi, basılmamış). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 105s.
- Çolak, A., 2008.** Effects of chrome oxide and limestone filler on the wear characteristics of paste and concretes made with white portland cement. *Construction and Building Materials*, 22, 2276-2280.
- Damla, N., 2009.** Türkiye'deki Bazı Doğal Radyoaktiflik Seviyelerinin ve Kütle Soğurma Katsayılarının Belirlenmesi. Doktora Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 113s.

- Erdoğan Güneş, B., 2014.** Bazı İnşaat Betonlarında Doğal Radyoaktivite Seviyelerinin Ölçülmesi. Yüksek Lisans Tezi. Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Rize, 69s.
- Erdoğan, T.Y., 2003.** Beton. Metu Press, Ankara, ISBN: 9789757064671, 760s.
- Ertaş, H., 2014.** Kurşun Madeni Atıklarının Radyasyon Zırhlama Etkilerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane, 90s.
- Gökçe, H.S., Öztürk, B.C., Cam, N.F. and Çakır, Ö.A., 2018.** Gamma ray attenuation coefficients and transmission thickness of high consistency heavyweight concrete containing mineral admixture. *Cement and Concrete Composites*, 92, 56–69.
- Guo, Z., Feng, Q., Wang, W., Huang, Y., Deng, J. and Xu, Z., 2016.** Study on flotation tailings of kaolinite-type pyrite when used as cement admixture and concrete admixture. *Procedia Environmental Sciences*, 31, 644-652.
- Günoğlu, K., 2012.** Türkiye'deki Bazı Doğal Taşların Radyoaktivite Tayini ve Radyasyon Soğurma Özelliklerinin Araştırılması. Doktora Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 108s.
- Kuloğlu, E., 2014.** Bor ve Barit Mineral Katkılı Polietilen Örneklerin Optik Özelliklerinin İncelenmesi ve Lineer Soğurma Katsayılarının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Rize, 82s.
- Oto, B., Gür, A., Kavaz, E., Çakır, T. and Yaltay, N., 2016.** Determination of gamma and fast neutron shielding parameters of magnetite concretes. *Progress in Nuclear Energy*, 92, 71-80.
- Özgan, E., 2005.** Kırmataş Agrega İçerisindeki Taş Unu Miktarının Beton Basınç Dayanımına Etkisi. *Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21, 198-205.
- Ramyar, K., Çelik, T., ve Marar, K., 1995.** Taş Tozunun Beton Özelliklerine Etkisi, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması. 2. Sempozyumu, Ankara, 227-237.
- Serter, N., 1998.** Pozantı-Karsantı (Aladağ) Yöresi Düşük Tenörlü Kromitlerinin Zengileştirilme Problemleri. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 80s.
- Shams, T., Eftekhari, M. and Shirani, A., 2018.** Investigation of gamma radiation attenuation in heavy concrete shields containing hematite and barite aggregates in multi-layered and mixed forms. *Construction and Building Materials*, 182, 35–42.

- Sharifi, S.H., Bagheri, B. and Shirmardi, S.P., 2013.** Comparison of shielding properties for ordinary, barite, serpentine and steel-magnetite concretes using MCNP-4C code and available experimental results. *Annals of Nuclear Energy*, 53, 529-534.
- Singh, A.P., Gupta, B.K., Mishra, M., Govind, A.C., Mathure, R.B. and Dhawan, S.K., 2013.** Multiwalled carbon nanotube/cement composites with exceptional electromagnetic interference shielding properties. *Carbon*, 56, 86-96.
- Singh, K., Ohlan, A., Pham, V.H., Varshney, B.R.S and Jong, J., 2013.** Nanostructured graphene Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> incorporated polyaniline as a high performance shield against. *Nanoscale*, 5(6), 2411-2420.
- Trezza, M.A. and Scian, A.N., 2007.** Waste with chrome in the Portland cement clinker production. *Journal of Hazardous Materials*, 147, 188-196.
- TS EN 197-1, 2002.** Çimento-Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri. TSE., Ankara, 1. Baskı, 27s.
- TS EN 196-1, 2009.** Çimento Deney Metotları-Bölüm 1: Dayanım Tayini. TSE., 31s.
- URL1, 2017.** <http://www.bilgiustam.com/elektromanyetik-spektrum-nedir/>  
(7 Temmuz 2017)
- Yılmaz, E., 2011.** Bazı İnşaat Malzemelerinde Gama Işını Soğurma Katsayısı ve Nötron Soğurma Tesir Kesitlerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Rize, 70s.
- Yılmaz, E., Baltaş, H., Kırış, E., Ustabaş, İ., Çevik, U. ve El-Khayatt, A.M., 2011.** Gamma ray and neutron shielding properties of some concrete materials. *Annals of Nuclear Energy*, 38, 2204-2212.

## ÖZGEÇMİŞ

Hasret YAVAŞI, 27/10/1984 tarihinde Samsun'da doğdu. İlköğrenimini 1998 yılında Samsun İli Atakum İlçesi'nde Kurupelit İlköğretim Okulu'nda, Ortaöğrenimini 2002 yılında Atakum Anadolu Meslek Lisesi'nde tamamladı. 15/09/2004 tarihinde başladığı Lisans eğitimini 10/07/2008 tarihinde Fırat Üniversitesi Teknik eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü Yapı Ressamlığı Öğretmenliği Bölümü'nde tamamladı. 2015 yılında Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başladığı Yüksek Lisans öğrenimine halen devam etmektedir. Orta seviyede İngilizce bilen Hasret YAVAŞI, evli olup, Berrak (6) ve Başak (1,5) adlarında 2 kız çocuğu annesidir.