

T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PİRİT, KROM VE MAGNETİT AGREGALI AĞIR BETONLARIN
MEKANİK VE RADYASYON SOĞURMA ÖZELLİKLERİNİN
TAYİNİ

MUSTAFA DEMİRCİ

TEZ DANIŞMANI

DOÇ. DR. İLKER USTABAŞ

II. DANIŞMAN

PROF. DR. ŞAKİR ERDOĞDU

TEZ JÜRİLERİ

PROF. DR. HASAN BALTAŞ

DOÇ. DR. AHMET BEYÇİOĞLU

DOÇ. DR. MURAT YAYLACI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

RİZE-2018

Her Hakkı Saklıdır

T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PİRİT, KROM VE MAGNETİT AGREGALI AĞIR BETONLARIN
MEKANİK VE RADYASYON SOĞURMA ÖZELLİKLERİNİN TAYİNİ**

Doç. Dr. İlker USTABAŞ danışmanlığında Mustafa DEMİRCİ tarafından hazırlanan bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulu kararıyla oluşturulan jüri tarafından 31/05/2018 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. Ahmet BEYCİOĞLU
Üye	: Doç. Dr. Murat YAYLACI
Üye	: Doç. Dr. İlker USTABAŞ

İmzası



P. Kaya
Doç. Dr. Ferhat KALAYCI
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ



ÖNSÖZ

Pirit, krom ve magnetit agregalı ağır betonların mekanik ve radyasyon soğurma özelliklerinin araştırıldığı bu çalışma, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda "Yüksek Lisans Tezi" olarak hazırlandı.

Canlıları radyasyona karşı koruma konusuna ışık tutacak bu çalışmayı yapma olanağı sağlayan, yüksek lisans öğrenimim boyunca, tez aşamasının her anında önerileri, numune temini ve paylaşımlarıyla yardımını ve desteğini esirgemeyen çok değerli danışman hocam Doç. Dr. İlker USTABAŞ'a, Prof. Dr. Şakir ERDOĞDU'ya, Prof. Dr. Hasan BALTAŞ'a, Doç. Dr. Murat YAYLACI'ya, Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ÇELİK'e ve Uzman Murat ŞİRİN'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Laboratuvar çalışmalarımnda her zaman yanımda olan yardımlarını esirgemeyen RTEÜ Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Teknisyenleri Recai SALCI ve Veysel ÖZMEN'e, çalışmamın birim şekil değiştirmelerin ölçümü kısmında sabırla ve titizlikle yardımcı olan değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Ayberk KAYA' ya tüm kalbimle teşekkür ederim.

Numune sağlanmasında emeği geçen RTEÜ Mühendislik Fakültesi Jeoloji Bölümü Dr. Öğr. Üyesi Yılmaz DEMİR'e teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında yanımda olan, verdiğim kararlarda desteklerini her zaman arkamda hissettiğim maddi ve manevi yanımda olan canım ailem; eşim Hamide, annem Fatma DEMİRCİ'ye tüm kalbimle teşekkür ederim.

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

Mustafa DEMİRCİ

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Tarafımdan hazırlanan “Pirit, Krom ve Magnetit Agregalı Ağır Betonların Mekanik ve Radyasyon Soğurma Özelliklerinin Tayini” başlıklı bu tezin, Yükseköğretim Kurulu Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesindeki hususlara uygun olarak hazırladığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal işlemi kabul ettiğimi beyan ederim.

31/05/2018



Mustafa DEMİRCİ

Uyarı: Bu tezde kullanılan özgün ve/veya başka kaynaklardan sunulan içeriğin kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

PİRİT, KROM VE MAGNETİT AGREGALI AĞIR BETONLARIN MEKANİK VE RADYASYON SOĞURMA ÖZELLİKLERİNİN TAYİNİ

Mustafa DEMİRCİ

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

Bu çalışmada pirit, krom, magnetit ve normal agregalı 0,40-0,50-0,60 su/çimento oranına sahip ağır betonlar üretilmiştir. Üretilen bu betonların basınç dayanımları, elastisite modülleri ve ultrases hızları ölçülmüştür. Su/çimento oranının artması basınç dayanımlarının ve elastisite modüllerinin azalmasına neden olmuştur. Beton numunelerinin 59,5 keV ve 661 keV enerji seviyelerinde soğurma katsayıları HpGe gama dedektörü kullanılarak belirlenmiştir. Sonuçlardan, artan enerji ile soğurma katsayısının azaldığı anlaşılmıştır. Ayrıca magnetit agregalı betonların radyasyonu en iyi soğuran beton olduğu gözlemlenmiştir.

2018, 51 sayfa

Anahtar Kelimeler: Pirit, Krom, Magnetit, Elastisite, Radyasyon.

ABSTRACT

DETERMINATION OF MECHANICAL AND RADIATION ABSORPTION CHARACTERISTICS OF HEAVYWEIGHT CONCRETES WITH PYRITE, CHROME AND MAGNETITE AGGREGATE

Mustafa DEMİRCİ

**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, heavyweight concretes, which have 0.40-0.50-0.60 water / cement ratio, with pyrite, chrome, magnetite and normal aggregate were produced. Compressive strength, elastic modules and ultrasonic pulse velocity of these concretes were measured. Increasing of water/cement ratio caused decreasing of elastic modules and compressive strength. Absorption coefficient of concrete samples at the energy level of 59.5 keV ve 661 keV were determined by using HpGe gamma detector. The results showed that the coefficient of absorption decreased with increased energy. It has also been observed that magnetite aggregate concrete is the best radiation absorbing concrete.

2018, 51 pages

Keywords: Pyrite, Chromitite, Magnetite, Elasticity, Radiation.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	I
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	II
ÖZET.....	III
ABSTRACT.....	IV
İÇİNDEKİLER	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TABLolar LİSTESİ.....	VIII
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ	IX
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Literatür Çalışmaları	2
1.3. Ağır Beton.....	4
1.4. Ağır Beton Üretiminde Kullanılan Agregalar	5
1.5. Betonun Elastisite Modülü	6
1.5.1 Sekant Elastisite Modülü	7
1.5.2. Dinamik (Başlangıç) Elastisite Modülü.....	7
1.5.3. Tanjant (Teğet) Elastisite Modülü	8
1.5.4. Chord (Kiriş) Elastisite Modülü	9
1.6. Betonun Elastisite Modülüne Etkiyen Faktörler.....	11
1.7. Radyasyon.....	11
1.7.1. Elektromanyetik Radyasyonun Madde ile Etkileşmesi	13
1.7.2. Gama Işınları	14
1.7.3. Soğurma.....	14
1.7.4. Kütle Soğurma Katsayısı	14
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	16
2.1. Malzemelerin Özellikleri	16
2.2. Betonların Mekanik Özelliklerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi	22
2.3. Radyasyon Soğurma Ölçümleri İçin Numunelerin Hazırlanması	24
2.4. Radyasyon Soğurma Katsayılarını Belirmeye Yönelik Deneysel Çalışmalar ..	25
3. BULGULAR	28
4. TARTIŞMA.....	38
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	47
KAYNAKLAR	48
ÖZGEÇMİŞ	51

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.	Sekant elastisite modülü	7
Şekil 2.	Dinamik elastisite modülü	8
Şekil 3.	Tanjant (Teğet) elastisite modülü	8
Şekil 4.	Chord (Kiriş) elastisite modülü	9
Şekil 5.	Elektromanyetik radyasyonun maddeyle etkileşimi	14
Şekil 6.	Radyasyonlar ve çeşitli maddelerdeki girme mesafeleri	15
Şekil 7.	(a) Araziden getirilen kayalar ve çeneli kırıcı (b) Çeneli kırıcılarda kırıldıktan sonra boyutlarına göre elenerek istiflenmiş agrega	17
Şekil 8.	Silindir ve küp beton numuneler	18
Şekil 9.	Normal betonların agrega granülometrisi	20
Şekil 10.	Piritli betonların agrega granülometrisi	20
Şekil 11.	Kromlu betonların agrega granülometrisi	21
Şekil 12.	Magnetitli betonların agrega granülometrisi	21
Şekil 13.	Elastisite modülünün ölçüldüğü beton presi ve kompresometre	22
Şekil 14.	Silindir numune üzerinde ultrases geçiş hızı ölçümü	23
Şekil 15.	Schmidt test çekici ölçümleri	23
Şekil 16.	Halkalı öğütücü	24
Şekil 17.	Kütle soğurma katsayılarının ölçümüne hazır hale getirilen numuneler	25
Şekil 18.	Kütle soğurma katsayılarının ölçümünde kullanılan deney geometrisi	26
Şekil 19.	90 günlük 0,40 (A), 0,5 (B) ve 0,6 (C) su/çimento oranına sahip normal betonun gerilme-birim şekil değiştirme grafiği	31
Şekil 20.	90 günlük 0,40 (A), 0,5 (B) ve 0,6 (C) su/çimento oranına sahip krom agregalı betonun gerilme-birim şekil değiştirme grafiği	32
Şekil 21.	90 günlük 0,40 (A), 0,5 (B) ve 0,6 (C) su/çimento oranına sahip pirit agregalı betonun gerilme-birim şekil değiştirme grafiği	33
Şekil 22.	90 günlük 0,40 (A), 0,5 (B) ve 0,6 (C) su/çimento oranına sahip magnetit agregalı betonun gerilme-birim şekil değiştirme grafiği	34
Şekil 23.	Beton karışımında kullanılan saf malzemelerin yoğunlukları	35
Şekil 24.	Normal ve kromlu 0,40-0,50-0,60 s/ç oranlı betonların yoğunlukları	36
Şekil 25.	Magnetitli ve piritli 0,40-0,50-0,60 s/ç oranlı betonların yoğunlukları	36
Şekil 26.	Betonların taze birim hacim ağırlıkları	39

Şekil 27. Betonların 15cm'lik küp numunelerden hesaplanan basınç dayanımları.....	39
Şekil 28. Betonların schmidt yüzey sertlikleri	40
Şekil 29. Betonların sekant elastisite modülleri	40
Şekil 30. Karışımda kullanılan malzemelerin değişik enerji seviyelerine göre kütle soğurma katsayıları	42
Şekil 31. 0,40-0,50 ve 0,60 su/çimento oranlı normal betonların değişik enerji seviyelerine göre kütle soğurma katsayıları	42
Şekil 32. 0,40, 0,50 ve 0,60 su/çimento oranlı kromlu betonların değişik enerji seviyelerine göre kütle soğurma katsayıları	43
Şekil 33. 0,40, 0,50 ve 0,60 su/çimento oranlı magnetitli betonların değişik enerji seviyelerine göre kütle soğurma katsayıları	44
Şekil 34. 0,40, 0,50 ve 0,60 su/çimento oranlı piritli betonların değişik enerji seviyelerine göre kütle soğurma katsayıları	44
Şekil 35. 0,40 su/çimento oranına sahip normal, krom, magnetit ve pirit agregalı betonların değişik enerji seviyelerine göre kütle soğurma katsayıları	45
Şekil 36. 0,50 su/çimento oranına sahip normal, krom, magnetit ve pirit agregalı betonların değişik enerji seviyelerine göre kütle soğurma katsayıları	46
Şekil 37. 0,60 su/çimento oranına sahip normal, krom, magnetit ve pirit agregalı betonların değişik enerji seviyelerine göre kütle soğurma katsayıları	46

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 1. Bazı ağır agregalar ve fiziksel özellikleri	6
Tablo 2. Radyasyon tipleri ve özellikleri (Baltaş, 2006)	12
Tablo 3. Radyasyon birimleri.....	13
Tablo 4. Agregaların özgül ağırlıkları ve su emme değerleri	17
Tablo 5. Betonların 1m ³ su/çimento oranları, karışımında kullanılan malzeme miktarları (kg) ve çökme değerleri (mm).....	19
Tablo 6. Radyoaktif nokta kaynaklar	26
Tablo 7. Çalışmada kullanılan agregaların ve çimentonun kimyasal analizleri.....	28
Tablo 8. 0,4-0,5 ve 0,6 su/çimento oranına sahip betonların kimyasal bileşimi (%)... 29	
Tablo 9. Farklı su çimento oranına sahip normal, piritli, kromlu ve magnetitli betonların birim hacim ağırlıkları, basınç dayanımları, ultrases geçiş hızları ve yüzey sertliği değerleri	30
Tablo 10. Normal agregalı betonların elastisite modülleri.....	32
Tablo 11. Krom agregalı betonların 90 günlük basınç dayanımları ve elastisite modülleri	33
Tablo 12. Piritli beton 90 günlük basınç dayanımları ve elastisite modülleri.....	34
Tablo 13. Magnetitli beton 90 günlük basınç dayanımları ve elastisite modülleri	35
Tablo 14. Malzemelerin deneysel ve teorik kütle soğurma katsayıları.....	37

SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

E_c	Elastisite Modülü
E_s	Sekant Elastisite Modülü
f_c	Betonun Nihai Dayanımı
f_{ck}	Betonun Karakteristik Dayanımı
σ	Gerilme
ε	Birim Şekil Değişirme
ρ	Yoğunluk
I	Soğurulup Geçen Fotonun Şiddeti
I_0	Gelen Fotonun Şiddeti
μ	Lineer Soğurma Katsayısı
μ / ρ	Kütle Soğurma Katsayısı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Normal betonların birim hacim ağırlığı yaklaşık 2250 ile 2450 kg/m³ aralığında olurken ağır betonların birim hacim ağırlığı 2600 kg/m³'ten fazla olmaktadır. Bu durum ağır betonların radyasyonu soğurması normal betonlara göre daha fazla olmasına yol açmaktadır. Barit, limonit, magnetit gibi yoğunluğu fazla olan kayalar ağır beton agregası için en çok tercih edilen kayalardır (Akyüz, 1977; Khaled vd., 2015; Sharifi vd., 2015).

Betonda kullanılan agregata taze beton özelliklerini ve sertleşmiş beton özelliklerini olumsuz yönde etkilememesi gerekmektedir. Beton agregalarının sağlam, temiz ve sert olması başlıca istenen özellikleri arasındadır (Baradan vd., 2015). Agregaların içerisinde bulunan mineraller agreganın yoğunluğunu artırması yanında agregadaki minerallerin taze betonun hacim sabitliği, priz başlama ve bitiş süresi gibi özelliklerini de olumsuz etkilememelidir. Agregadan betona gelen mineraller alkali silika reaksiyonlarında olduğu gibi sertleşmiş betonda çimento hidrasyon ürünleriyle reaksiyona girerek betonun zarar görmesine yol açmamalıdır. Betonda kullanılacak agregaların TS 706 EN 12620 standardına uygun olması gerekmektedir. Kullanılan ağır agreganın betonun mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilememelidir.

Gelişen teknolojilerle birlikte radyasyon yayan cihazlar insanların çok yakınlarına kadar girmiştir. Radyasyon yayan bu cihazların çevreye verebilecekleri zararları önlemek için radyasyonu soğurması fazla olan malzemeler kullanılmaktadır. Radyasyondan korunmada yaygın olarak kullanılan malzemelerden biride betondur (Akyüz, 1977; Khaled vd., 2015). Betonun ucuz, dayanıklı bir malzeme olması ve her türlü radyoaktif ışımalara karşı koruyuculuk sağlaması özelliğinden dolayı nükleer santraller, hastanelerin radyasyonla çalışılan üniteleri gibi yerlerde koruyucu duvar olarak kullanılması tercih edilmektedir. Yoğunluğu yüksek betonlar radyasyondan daha fazla koruyuculuk sağlamaktadır. Betonlarda yoğunluğu fazla agregaların kullanılması betonun yoğunluğunu arttırmaktadır. Böylelikle yoğunluğu fazla olan betonlarla daha fazla

radasyon soğurulmakta ya da aynı dozda radyasyonu soğurmak için daha az kalınlığa sahip malzemeler kullanılabilir (Özen vd., 2016; Oto vd., 2016).

Bu çalışmada pirit, krom ve magnetit agregalı ağır betonların mekanik ve radyasyon soğurma özellikleri araştırıldı. Normal agregalı, pirit, krom ve magnetit agregalı normal ve ağır betonların basınç dayanımları, yoğunlukları, ultrases geçiş hızları, yüzey sertlikleri ve elastisite modülleri ölçüldü. Böylelikle pirit, krom ve magnetit cevheri bulunduran agregaların beton özellikleri üzerinde nasıl etkisinin olduğu tespit edildi. Bu çalışmada üretilen ağır ve normal betonların radyasyon kütle soğurma katsayıları ölçüldü.

1.2. Literatür Çalışmaları

Yang, magnetitle yapmış olduğu çalışmada 0,35-0,45-0,55 su/çimento oranlı betonlar üretmiştir. 0,35 su/çimento oranlı ve 35 mm slump değerine sahip betonlarda elastisite modülünü 40000 ile 51000 MPa, basınç dayanımlarını ise 41 ile 44 MPa arasında, 0,45 su/çimento oranı ve 10 ile 50 mm slump değerine sahip betonlarda elastisite modülünü 37000 ile 44000 MPa, basınç dayanımlarını 24 ile 33 MPa arasında, 0,55 su/çimento oranı ve 10 ile 40 mm slump değerine sahip betonlarda 35000 ile 41000 MPa basınç dayanımlarını 25 ile 31 MPa arasında buldu. Magnetitle yapmış olduğu betonların birim ağırlıkları 3200-3300 kg/m³'tür (Yang vd., 2013).

Kılınçarslan, baritle yaptığı 0,65 su/çimento oranlı betonda elastisite modülünü 72365 MPa, 0,51 su/çimento oranlı betonda 78715 MPa, 0,43 su/çimento oranlı betonda 78140 MPa olarak buldu (Kılınçarslan vd., 2006).

Akgün, baritle yaptığı 0,30 su/çimento oranlı betonda basınç dayanımını 53,8 MPa başlangıç elastisite modülünü 32500 MPa, 0,40 su/çimento oranlı betonda basınç dayanımını 42,9 MPa, başlangıç elastisite modülünü 22700 MPa, 0,60 su/çimento oranlı betonda basınç dayanımını 15,8 MPa, başlangıç elastisite modülünü 11300 MPa olarak ölçtü (Akgün vd., 2007).

Quda, magnetitle yapmış olduğu farklı kalınlıktaki beton numuneler üzerinde kütle soğurma katsayılarını 20 mm kalınlığındaki numunede 0,039 μcm^{-1} , 40 mm

kalınlığındaki numunede 0,0762 μ,cm^{-1} , 60 mm kalınlığındaki numunede 0,1172 μ,cm^{-1} , 80 mm kalınlığındaki numunede 0,1561 μ,cm^{-1} , 100 mm kalınlığındaki numunede 0,1954 μ,cm^{-1} olarak ölçtü (Quda, 2015).

Esen, sideritle yaptığı 0,40 su/çimento oranlı ağır betonda birim hacim ağırlığı 2890 kg/m^3 , ultrasonic ses hızını 4,72 km/s, schmidt sertliğini 34,7, basınç dayanımını 66,07 MPa olarak ölçtü. Kütle soğurma katsayılarını 118 keV’de 0,05 μ,mm^{-1} , 164 keV’de 0,04 μ,mm^{-1} 1250 keV’de 0,01 μ,mm^{-1} buldu (Esen vd., 2017).

Esen, limonitle yaptığı 0,40 su/çimento oranlı ağır betonda birim hacim ağırlığı 2340 kg/m^3 , ultrasonic ses hızını 2,86 km/s, schmidt sertliğini 23,7, basınç dayanımını 12,10 MPa ölçtü. Kütle soğurma katsayılarını 117 keV’de 0,037 μ,mm^{-1} , 164 keV’de 0,027 μ,mm^{-1} , 1250 keV’de 0,008 μ,mm^{-1} olarak buldu (Esen vd., 2018).

Alwaeli, çinko-kurşun cürufu ile yaptığı 0,45 su/çimento oranlı betonda birim hacim ağırlığı 2,81 g/cm^3 , basınç dayanımını 45,50 MPa, kütle soğurma katsayısını 0,19 mm^{-1} olarak buldu (Alwaeli, 2017).

Waly, magnetit, kurşun oksit, ferrofosfor malzemelerini kullanarak yapmış olduğu farklı karışımlardaki betonlarda birim hacim ağırlığı 3,6-4,6 g/cm^3 olan betonlar üretti. Bu betonların kütle soğurma katsayılarını 0,015–15 MeV aralığında 0,02-20 cm^2/g olarak ölçtü. Bakır cürufu ile farklı oranlarda yaptığı betonda basınç dayanımlarını 38-41 MPa, elastisite modüllerini 30-34 GPa olarak hesapladı (Waly vd., 2015).

Palankar, çelik cürufu ve normal agrega kullanarak farklı karışımlarda beton üretti. %50 çelik cürufu agregalı betonlarda 28 günlük basınç dayanımını 51,9-56,3 MPa, 90 günlük basınç dayanımını 58,7-61,1 MPa, 180 günlük basınç dayanımını 58,1-62,3 Mpa, 360 günlük basınç dayanımını 58,5-62,9 MPa değerleri arasında buldu. %100 çelik cürufu agregalı betonlarda 28 günlük basınç dayanımını 48,5-51,2 MPa, 90 günlük basınç dayanımını 53,7-54,5 MPa, 180 günlük basınç dayanımını 53-55,6 MPa, 360 günlük basınç dayanımını 55,3-56,2 MPa aralığında hesapladı (Palankar vd., 2016).

Panda, ferrokrom cürufu ile yapmış olduğu betonlarda 7 günlük basınç dayanımını 29 MPa, 28 günlük basınç dayanımını 37 Mpa olarak buldu (Panda vd., 2013).

Obaid, değişik kayaçların ve betonun farklı enerji seviyelerine göre gama ışını altında kütle soğurma katsayılarını inceledi. 122 keV enerji seviyesinde feldspatik bazaltta 0,182 cm²/g, kompakt bazaltta 0,181 cm²/g, volkanik kayada 0,180 cm²/g, pembe granite 0,167 cm²/g, kumtaşında 0,151 cm²/g, doleritte 0,175 cm²/g, normal betonda 0,154 cm²/g, 662 keV enerji seviyesinde feldspatik bazaltta 0,078 cm²/g, kompakt bazaltta 0,078 cm²/g, volkanik kayada 0,080 cm²/g, pembe granite 0,080 cm²/g, kumtaşında 0,077 cm²/g, doleritte 0,077 cm²/g, normal betonda 0,078 cm²/g, 1330 keV enerji seviyesinde feldspatik bazaltta 0,056 cm²/g, kompakt bazaltta 0,056 cm²/g, volkanik kayada 0,056 cm²/g, pembe granite 0,056 cm²/g, kumtaşında 0,053 cm²/g, doleritte 0,054 cm²/g, normal betonda 0,055 cm²/g deneysel olarak buldu (Obaid vd., 2018).

1.3. Ağır Beton

Etüv kurusu halindeki yoğunluğu 2600 kg/m³'den daha fazla olan betonlar TS EN 206'e göre ağır beton olarak adlandırılır (TS EN 206-1, 2017). Ağır betonlar, yapılarda kayma ve devrilmeye karşı önlem almak için de tercih edilir (Baradan vd., 2015). Ancak son yıllarda ise ağır betonlar daha çok tıp, askeri, sanayi, nükleer enerji alanlarında radyasyonun zararlı etkilerinden canlıları korumak için kullanılmaktadır (Akgün vd., 2007; Özturan, 2013). Bir kaynaktan ışının yayılması önlenmediği zaman bu ışınların canlılara giriciliği çok kolay olmakta ve canlıya zarar vermektedir. Radyoaktif ışınları beton gibi malzemelerle yayılması önlenmektedir. Nükleer santrallerde α , β , γ , x ışınlarının ve nötron parçacıklarının canlılar üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Canlıları bu ışınlarda korumak için yalıtım yapılması gerekmektedir. Canlılar için tehlikeli olan bu ışınlarda korunmak için birim hacim ağırlığı fazla olan malzemeler kullanılmaktadır. Ağır betonlar birim hacim ağırlıkları sayesinde x ışınlarından, bünyesinde suyun bulunmasından dolayı da hidrojen ve oksijenin düşük ve orta enerjili nötronların ışınlarını durdurmada etkili olmaktadır (Özturan, 2013). Ağır betonlar, radyasyona karşı korunmada kullanılan normal betonlardan daha ince eleman kesitleri kullanılmasını sağlamaktadır. Radyasyona karşı koruyucu malzeme olarak kurşunda kullanılmaktadır. Kurşunun nötronlara karşı yalıtımı ağır betona göre daha düşük olması

ve maliyetinin yüksek olmasından dolayı radyasyon soğurmada ağır betonlar kuşuna göre daha çok tercih edilebilmektedir (Baradan vd., 2015).

Birim hacim ağırlığı fazla olan agregaların kullanıldığı ağır betonların karışımlarında en önemli konu su-çimento oranının belirlenmesidir. Ağır yoğunluğa sahip agregaların kıvamı yüksek betonlarda segregasyon oluşabilmektedir. Karışım için belirlenen su-çimento oranının radyoaktif geçirimsizlik için yüksek, rötreden dolayı oluşacak çatlakların meydana gelmemesi için de az olması gerekir (Topçu, 2006).

1.4. Ağır Beton Üretiminde Kullanılan Agregalar

TS EN 1097-6'ya göre birim hacim ağırlıkları 3000 kg/m^3 'den büyük olan agregalar ağır agrega olarak sınıflandırılmaktadır. Bu agregalar doğal ve yapay olmak üzere iki sınıfa ayrılır. Doğal ağır agregalar; barit, magnetit, hematit, limonit, geotit, ilmenit, viterit kökenlidir. Yapay ağır agregalar; demir parçaları, ferrosilikon ve ferrofosfor olarak isimlendirilebilir (Baradan vd., 2015).

Tablo 1'de ağır beton üretiminde kullanılacak agregalar, kimyasal kompozisyonu, birim hacim ağırlıkları, özgül ağırlıkları ve temin edildikleri kaynaklar verilmiştir.

Tablo 1. Bazı ağır agregalar ve fiziksel özellikleri

Agrega kökeni ve ismi	Kimyasal Kompozisyon	Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Kaynak	Özgül Ağırlık
Geotit	Fe ₂ O ₃ .H ₂ O	2100-2250	Doğal	3,5-3,7
Liminit	Fe ₂ O ₃ (safsızlıklar İçerir)	2100-2400	Doğal	3,4-4,0
Barit	BaSO ₄	2300-2550	Doğal	4,0-4,6
İlmenit	FeTiO ₃	2550-2700	Doğal	4,3-4,8
Krom	FeCr ₂ O ₄	2560-2780	Doğal	4,1-4,9
Pirit	FeS ₂	2730-2900	Doğal	5-5,02
Magnetit	Fe ₃ O ₄	2400-3050	Doğal	4,2-5,2
Hematit	Fe ₂ O ₃	2900-3200	Doğal	4,9-5,3
Ferrofosfor	Fe ₂ O ₃ -P ₂ O ₃	3200-4150	Sentetik	5,8-6,8
Demir-Çelik parçacıkları	Fe	3700-4650	Sanayi atığı	6,2-7-8

1.5. Betonun Elastisite Modülü

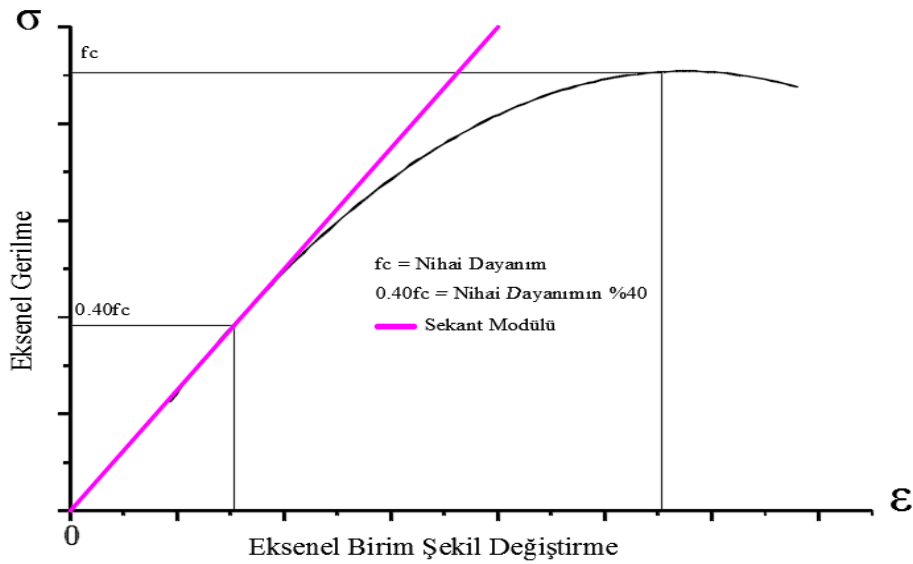
Uygulamada kullanılan bütün malzemeler kullanıldıkları yerlere göre değişik yüklerin etkisi altında kalmaktadırlar. Bu yükler altında malzemeler şekil değiştirmektedirler. Malzemeler, basınç yükleri altında kısılma, çekme yükleri altında ise uzama göstermektedirler (Turhan, 2003).

Beton, lineer olmayan bir gerilme-şekil değiştirme diyagramına sahip malzemedir. Betonda elastisite modülünü tanımlamak kolay değildir (Baradan vd.,2015). Malzemelerin elastisite modülü σ - ε eğrisinin eğiminden bulunur. Betonun basınç dayanımını ve σ - ε ilişkisini etkileyen bütün değişkenler elastisite modülünü de etkiler. Beton gibi elastik ve lineer olmayan ve zamana bağlı deformasyon gösteren bir malzemenin elastisite modülünü doğru ve kesin olarak tanımlamak olanaksızdır (Ersoy, 1985). Çeşitli ülkelerde yönetmeliklerde elastisite modülü, beton basınç dayanımının bir fonksiyonu olarak ifade edilmektedir. Literatürde betonun elastisite modülü için dört farklı elastisite modülü tanımlanır (Ersoy, 1985).

1.5.1 Sekant Elastisite Modülü

σ - ϵ eğrisi üzerindeki herhangi bir noktanın orijine birleştiren doğrunun eğiminden hesaplanır. Genellikle bu değer nihai dayanımın % 40'na karşılık gelen değerdir. Sekant modülü yani $E_s = \tan \alpha$ 'dır. Sekant modülü statik modül olarak da adlandırılır. Betonun, emniyet gerilmelerine yakın gerilmeler etkisi altında olduğu durumlarda sekant modülü iyi sonuç vermektedir (Ersoy, 1985).

Sekant elastisite modülü Şekil 1'de görüldüğü gibi σ - ϵ eğrisinde orijinden ve $0,40f_c$ 'den geçecek şekilde çizilen teğetin eğimi ile bulunur.

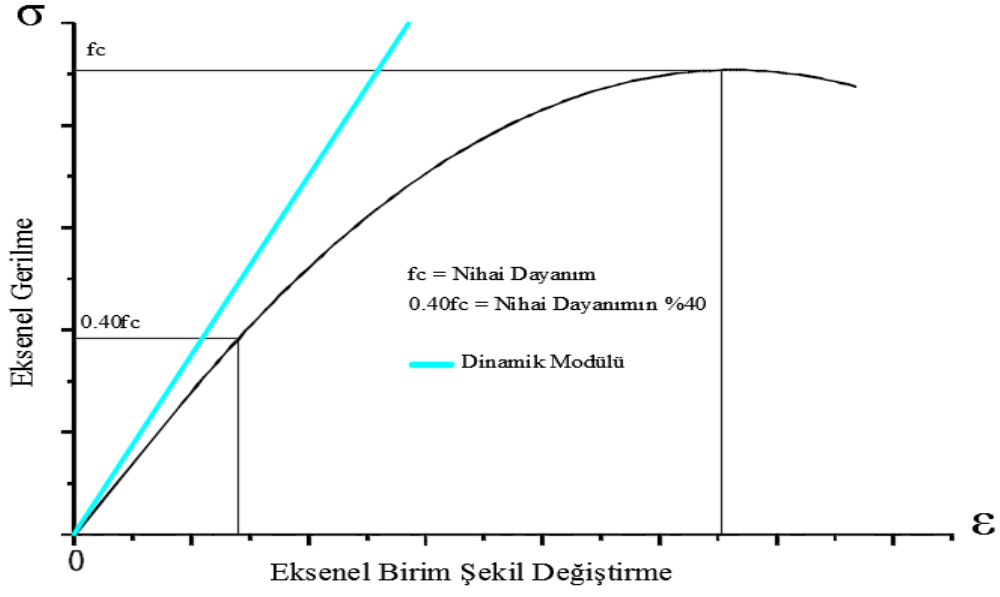


Şekil 1. Sekant elastisite modülü

1.5.2. Dinamik (Başlangıç) Elastisite Modülü

σ - ϵ eğrisinin başlangıçtaki eğimidir. Dinamik elastiklik modülü ultrasonik yöntemlerle de belirlenebilir. Beton çok küçük gerilme etkisi altında ise dinamik modül kullanılmasıyla doğru sonuçlar alınabilir (Ersoy, 1985).

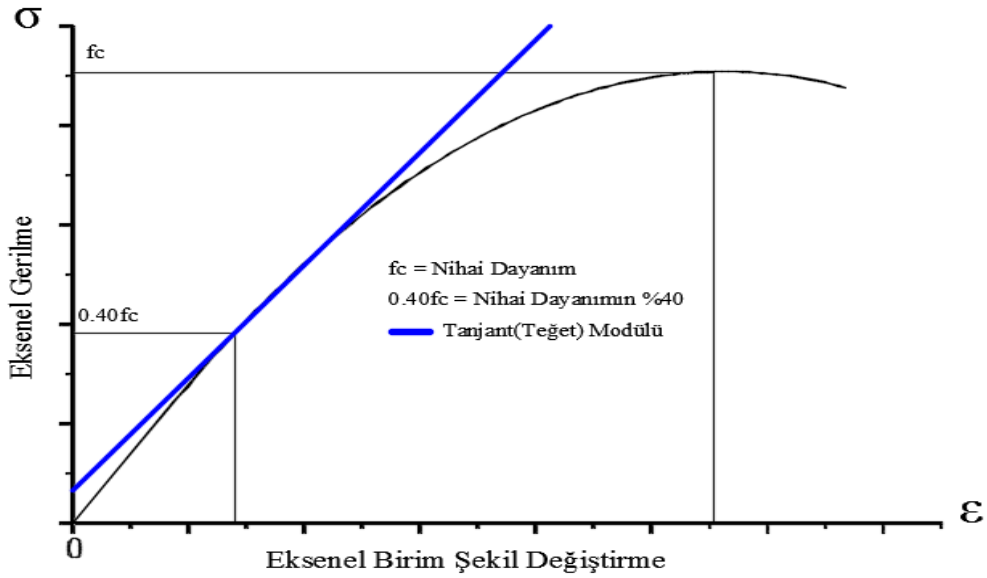
Dinamik elastisite modülü Şekil 2'de görüldüğü gibi orijine çizilen teğetin eğiminden bulunur.



Şekil 2. Dinamik elastisite modülü

1.5.3. Tanjant (Teğet) Elastisite Modülü

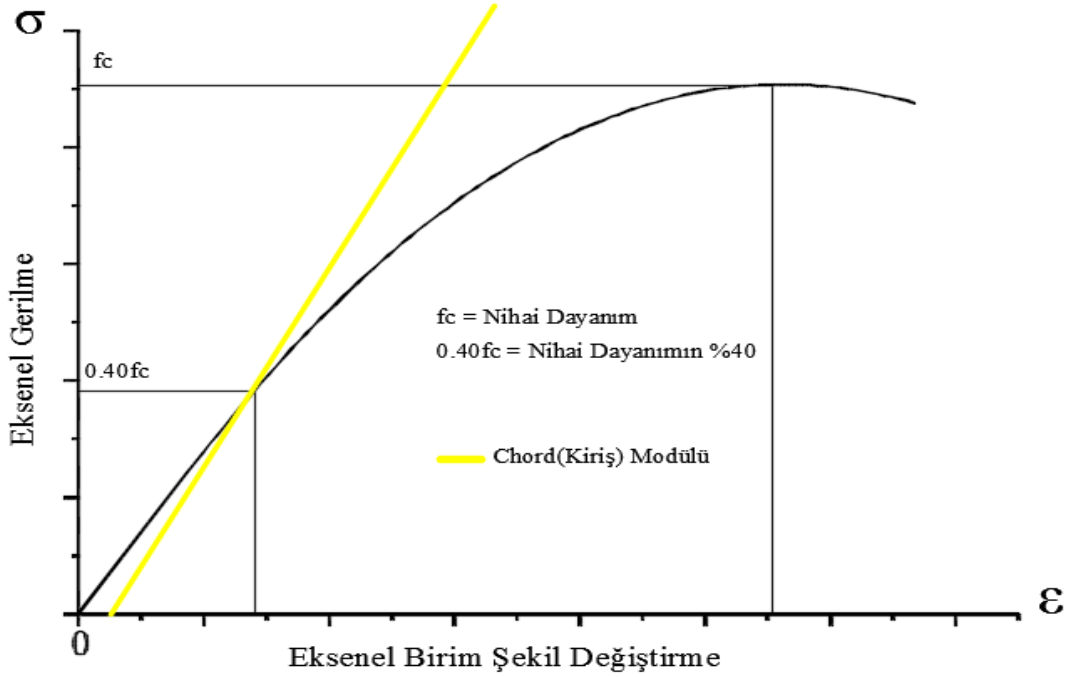
σ - ϵ eğrisinin basınç dayanımının % 40'daki noktasının teğet eğiminden tanjant (teğet) elastisite modülü hesaplanır. Tanjant elastisite modülü Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Tanjant (Teğet) elastisite modülü

1.5.4. Chord (Kiriş) Elastisite Modülü

σ - ϵ eğrisinin 50×10^{-6} birim şekil değiştirme değeri ile basınç dayanımının % 40'nı birleştiren doğrunun eğiminden chord (kiriş) elastisite modülü hesaplanır. Chord elastisite modülü ile başlangıçta sünme ve rötre nedeniyle betonda görülen hafif konkavlık elimine edilmiş olmaktadır. Chord elastisite modülü Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Chord (Kiriş) elastisite modülü

Elastisite modülünü betonun basınç dayanımından veya ultrases geçiş hızından hesaplayan yöntemler de mevcuttur (Baradan vd., 2015). Amerikan Beton Enstitüsü (ACI), betondan ultrases geçiş hızına göre betonun elastisite modülünü

$$E = V^2 \frac{\delta}{g} \quad (1)$$

bağıntısıyla hesaplamaktadır. Bağıntıdaki V cm/s cinsinden ses hızını, δ betonun birim hacim ağırlığını ve g yerçekimi ivmesini göstermektedir.

Amerikan Beton Enstitüsü'ne göre (ACI Building Code 318-92) birim ağırlığı 1500-2500 kg/m³ arasındaki betonların elastisite modülü

$$E_c = 43\rho^{1.5}\sqrt{f_c}10^{-6} \quad (2)$$

biçiminde hesaplanmaktadır. Bağıntıdaki f_c betonun 28 günlük standart silindir dayanımını (MPa), ρ betonun birim ağırlığını kg/m^3 , E_c statik elastisite modülünü (GPa) göstermektedir. Normal ağırlıklı ($\rho=2300\text{kg/m}^3$) ve basınç dayanımı 40 MPa'dan düşük betonlar için elastisite modülü

$$E_c = 4,73\sqrt{f_c} \quad (3)$$

biçiminde hesaplanmaktadır. Dayanımı 80 MPa'a kadar olan betonlar için ACI 363 R92'de

$$E_c = 3,32\sqrt{f_c} + 6,9 \quad (4)$$

bağıntısı önerilmektedir; Dayanımları 80-140 Mpa arasındaki betonlar için Kakizaki

$$E_c = 3,65\sqrt{f_c} \quad (5)$$

bağıntısını önermiştir. Avrupa Beton Enstitüsü tarafından hazırlanan CEB-FIB-90 Model Code'da normal ağırlıklı betonlar için elastisite modülü için

$$E_c = 21500 \left(\frac{f_{cm}}{10} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (6)$$

bağıntısı verilmektedir.

TS 500'de ise betonun basınç dayanımına bağlı olarak elastisite modülünün hesabı için

$$E_{cj} = 3250\sqrt{f_{ckj}} + 14000 \quad (7)$$

bağıntısı verilmektedir. Formülde f_{ckj} betonun 28 günlük karakteristik silindir basınç dayanımıdır.

1.6. Betonun Elastisite Modülüne Etkiyen Faktörler

Kompozit bir malzeme olan betonu oluşturan ana bileşenlerin hacimsel oranı, yoğunluğu, elastisite modülleri ve geçiş bölgesi özellikleri betonun elastisite modülünü belirler. Betonun basınç mukavemetine etkiyen bütün etkenler elastisite modülü üzerinde de etkili olmaktadır.

Beton karışımında kullanılan yüksek elastisite modülüne sahip iri agrega miktarının fazla olması elastisite modülünün yüksek çıkmasına neden olmaktadır. Bunun yanında diğer agrega özellikleri olan en büyük tane çapı, şekli, tane dağılımı, yüzey şekli, ara yüzey- ara yüzeydeki mikro çatlaklar da elastisite modülüne etkimektedir (Baradan vd., 2015).

Çimento hamurunun gözenekliliği elastisite modülüne etkimektedir. Hidratasyon ısısı artan bir çimento hamurunda elastisite modülü de artmaktadır (Baradan vd., 2015; Topçu, 2012; Akgün vd., 2007).

Betonun gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisini arayüzeyin yapısı etkilemektedir. Elastisite modülünün betonun basınç dayanımına oranla daha hızlı arttığını göstermektedir (Baradan vd., 2015; Topçu, 2012; Akgün vd., 2007).

Betonu ıslak ve kuru olarak deneye tabi tutulması sonuçları etkilemektedir. Islak deneye tabi tutulan betonlar % 15 daha büyük elastisite modülü değeri vermektedir. Gerilme –birim şekil değiştirme davranışı betona uygulanan yükün yükleme hızına da bağlıdır. Düşük yükleme hızlarında sünme etkisi ile elastik şekil değiştirmeler birbirine eklenerek elastisite modülünü düşürmektedir (Baradan vd., 2015; Topçu, 2012; Akgün vd., 2007).

1.7. Radyasyon

Maddenin temel yapısını atomlar oluşturur. Proton ve nötronlardan oluşan bir çekirdek ile bunun çevresinde dönmekte olan elektronlardan atom oluşmaktadır. Elektromanyetik dalgalar yada parçacıklar şeklindeki enerjinin aktarımı radyasyon olarak ifade edilmektedir. Atom ise çekirdeğindeki protonlar, nötronlar ve çekirdek etrafında dönen elektronlardan oluşmaktadır. Herhangi bir maddenin atom çekirdeğindeki

nötronların sayısı, proton sayısına göre fazla olursa bu maddeler kararsız bir yapı sergiler ve çekirdeğindeki nötronlar dönüşerek β^- (negatron) yayarlar. Eğer protonlar, nötronlardan fazla ise bu durumda protonlar dönüşerek β^+ (positron) yayarlar. Atom çekirdeğinden ayrılan nötronlar ve protonlar kararlı olmayan atom çekirdeği gama (γ) ışını yayar. Ağır çekirdekler alfa(α) ışını yayabilir veya fizyon reaksiyona maruz kalabilirler. Etrafa yayılan alfa, beta ve gama gibi ışınlara radyasyon, bu tepkimeler sonucu parçalanmış maddelere radyoaktif madde denir (Baltaş, 2006). Radyasyon tipleri ve özellikleri Tablo 2’de görülmektedir.

Tablo 2. Radyasyon tipleri ve özellikleri (Baltaş, 2006).

Radyasyon Tipleri	Özellikleri
Gama ışınımı	Atom çekirdeğindeki fotonlar tarafından yayılan elektromanyetik dalgalarıdır.
Beta ışınımı	Atom çekirdeğinden yayılan ve elektron olarak da adlandırılan çok yüksek hızlı taneciklerdir.
Alfa ışınımı	Atom çekirdeğinden yayılır, iki proton ve iki nötron içermektedir.
Nötronlar	Atomun çekirdeğinden çarpışmalar ve füzyon tepkimeleri sonucunda yayılan nötr taneciklerdir.
X-ışınları	Elektronların enerji seviyelerindeki değişimden yayımlanan elektromanyetik dalgalarıdır. Atom çekirdeğinden yayılmazlar.

Radyasyon ve radyoaktivite ile ilgili kullanılan terimler, bunların tanımları, kullanılan birimler ve dönüşüm katsayıları Tablo 3’de verilmiştir

Tablo 3. Radyasyon birimleri

Terim	Tanımı	Birimi (SI)	Dönüşüm
Aktivite	Birim zamanda meydana gelen radyoaktif parçalanma sayısı	Becquerel(Bq): Saniyede 1 parçalanma	1 Ci = 3,7x10 ¹⁰ 1Bq = 2,7x10 ⁻¹¹
Havadaki Işınlama	Havanın birim kütleğinde meydana gelen iyonizasyon miktarı	Havanın 1 kilogramında 1C elektrik yükü değerinde iyon çifti oluşturan x ışını ya da gama radyasyonu miktarı	1 R = 2,58x10 ⁻⁴ C/kg 1C/kg = 3876 R
Soğurulan Doz	İyonize radyasyona bağlı olarak maddenin birim kütleğinde soğurulan enerji miktarı	1 Gray(Gy)=1 joule/kg	1 rad= 0,001 Gy 1Gy = 100 rad 1 keW = 1,60217733x10 ⁻¹⁶ joule
Eşdeğer Doz	Soğurulan dozun radyasyon tipi ve enerjisine göre değişen radyasyon ağırlık faktörü ile çarpılmış hali	Sievert (Sv)	1 rem = 0,001 Sv 1Sv = 100 rem

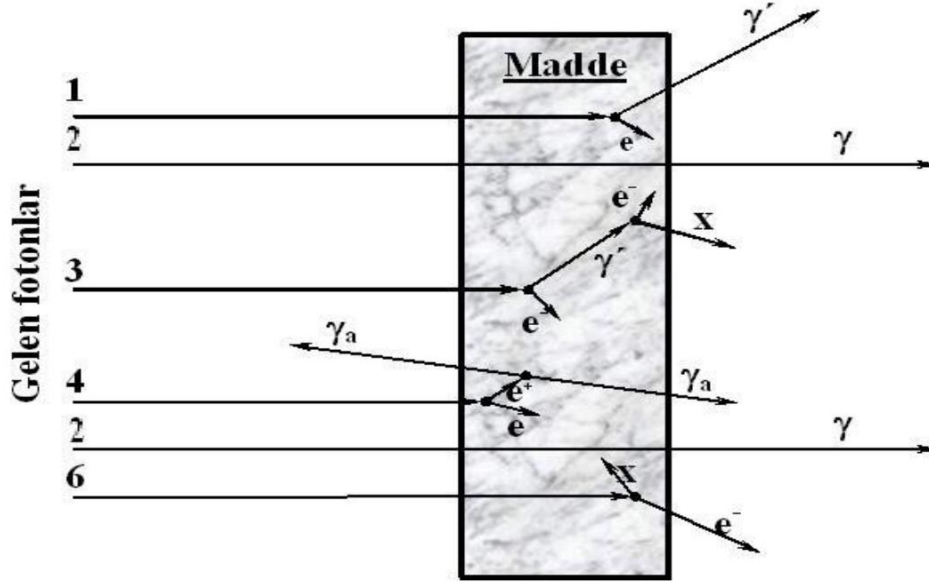
1.7.1. Elektromanyetik Radyasyonun Madde ile Etkileşmesi

Tek renkli (monokromatik) bir X veya gama ışını demeti herhangi bir maddeden geçirilecek olursa demetin şiddetinde bir azalma olur. I_0 şiddetinde bir X veya gama ışını demetinin dx kalınlığındaki bir maddeyi geçtikten sonraki şiddeti I ise, gelen X veya gama ışını demetinin şiddeti, maddenin dx kalınlığı ve ışın demetinin içinden geçtiği maddenin cinsine bağlı olarak,

$$I=I_0.e^{-\mu x} \quad (9)$$

ile verilmektedir. Burada μ (cm⁻¹), lineer soğurma katsayısı olup birim kalınlık başına düşen soğurulma olarak tarif edilmektedir. Elektromanyetik radyasyonun madde ile etkileşmesi sonucunda Şekil 5’de gösterilen olaylar meydana gelir. Bunlar, Compton saçılması (1), Koherent saçılma (2), Compton saçılmasından sonra saçılan fotonun

fotoelektrik etkisiyle X- ışınları oluşumu (3), Çift oluşumu (4) ve Fotoelektrik olaydır (5). Elektromanyetik radyasyonun maddeyle etkileşimi Şekil 5’de gösterilmiştir.



Şekil 5. Elektromanyetik radyasyonun maddeyle etkileşimi

1.7.2. Gama Işınları

Genellikle diğer ışımalarından sonra atomlar kararsız hale gelir. Kararsız haldeki atomlarda enerji fazlalığı vardır. Bu enerji fazlalığı dışarıya gama ışınması olarak yayımlanır (Apaydın, 2015).

1.7.3. Soğurma

Maddenin birim kütleinde soğurulan enerjiyi ifade eder. Soğurma, çevreye yayılan alfa, beta ve gama gibi ışınların bir ortamda kısmen yakalanması olayıdır. Belli bir enerjiye sahip fotonlar Z atom numaralı bir maddeyle etkileştiğinde bu fotonların bir kısmı maddenin diğer tarafına geçerken bir kısmı ise soğurulur. Bu soğurma olayı fotonların soğurucu maddenin atomları ile etkileşmesi sonucu oluşur (Baltaş, 2006).

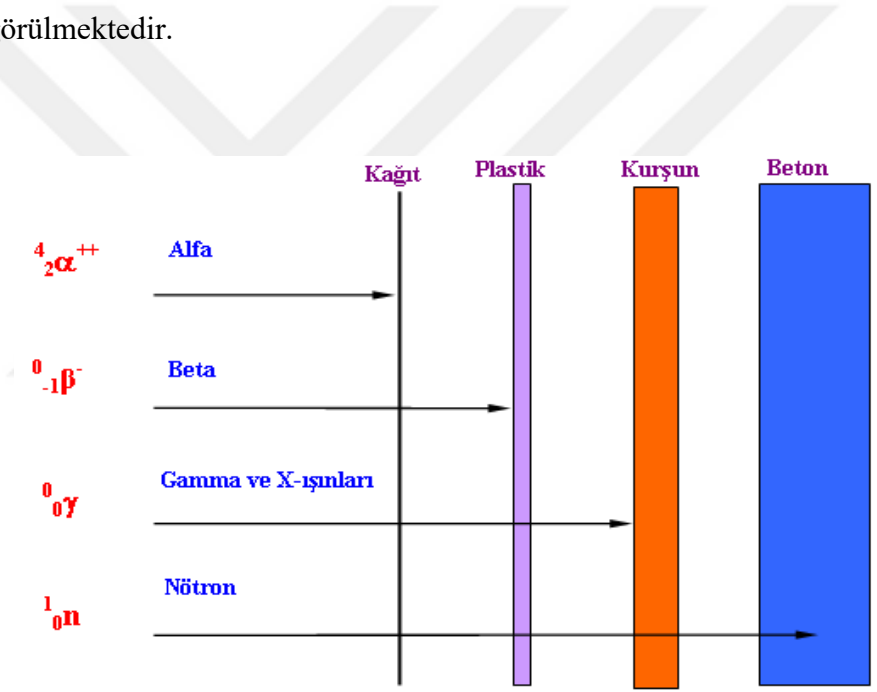
1.7.4. Kütle Soğurma Katsayısı

Maddenin birim uzunluğu ya da kütlesi tarafından gelen enerjinin soğurulan miktarının ölçüsüdür.

Fotonların soğurulmasında soğurucu ortamın kalınlığının yanı sıra yoğunluğu da soğurmanın bir ölçüsüdür. Örneğin sıvı cıvanın 1 mm uzunluğunda X-ışınının soğurulması, buhar halindeki cıvadaki (aynı mesafe için) soğurulmadan çok daha büyüktür. Bu nedenle soğurucu maddeyi onun yoğunluğundan bağımsız olan kütle soğurma katsayısı ile belirtmek daha faydalı olur (Baltaş, 2006). Kütle soğurma katsayısı için,

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{1}{d} \ln \left(\frac{I_0}{I} \right) \quad (10)$$

bağıntısını kullanabiliriz. Radyasyonlar ve çeşitli maddelerdeki girme mesafeleri Şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 6. Radyasyonlar ve çeşitli maddelerdeki girme mesafeleri

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu çalışmanın amacı, pirit, krom ve magnetit minerali içeren agregalarla ağır betonlar üretmek ve üretilen ağır betonların mekanik ve radyasyon soğurma özelliklerini hesaplayıp bunları normal betondan hesaplanan değerlerle kıyaslamaktır. Gelişen teknolojiler ile radyasyon yayan cihazlar insanların çalıştıkları ortamlara kadar girmiştir. Radyasyon ışınlarından korunmada ağır beton tercih edilen bir yapı malzemesidir. Bu çalışma ile pirit, krom ve magnetit agregalı ağır betonların mekanik özelliklerini araştırmakta bu çalışmanın amaçlarından biridir.

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 edildi. Pirit, krom ve magnetit içerikli kayaçlar çeneli kırıcıda kırıldılar. Çeneli kırıcıda kırılan malzeme elenerek iri ve ince agrega birbirinden ayrıldı. 0,4-0,5-0,6 su/çimento oranına sahip pirit, krom, magnetit ve normal agregalı betonlar üretildi. TS 802'e göre yapılan beton karışım hesabında tüm betonlarda çökme miktarı 18 cm olarak alındı. Üretilen betonların basınç dayanımları, yüzey sertlikleri, ultrases geçiş hızları, deneysel olarak elastisite modülleri ve radyasyon kütle soğurma katsayıları hesaplandı. Elde edilen mekanik ve radyasyon soğurma değerleri çalışmada kullanılan betonlarla ve literatürdeki değerlerle kıyaslandı.

2.1. Malzemelerin Özellikleri

Betonda kullanılan agregalar, pirit, magnetit, kromlu kayaçların çeneli kırıcılarda kırılarak üretildiler. Betonda kullanılan normal agrega ise Rize ilindeki bir beton santralinden temin edildi. Şekil 7'de çeneli kırıcıda kırıldıktan sonra elenerek farklı tepsilere ayrılan agregalar görülmektedir.



Şekil 7. (a) Araziden getirilen kayalar ve çeneli kırıcı
(b) Çeneli kırıcılarda kırıldıktan sonra boyutlarına göre elenerek istiflenmiş agrega

Şekil 7(a)'da görülen çeneli kırıcıda kırılan agregalar iki grup iri agrega bir grup ince agrega olacak şekilde eleklerden elenerek istiflendiler (Şekil 7 (b)). Betonda kullanılan agregaların özgül ağırlıkları ve su emme değerleri Tablo 4'de görülmektedir.

Tablo 4. Agregaların özgül ağırlıkları ve su emme değerleri

Agrega	Normal Agregası			Magnetit			Pirit			Krom		
	İri 2	İri 1	İnce	İri 2	İri 1	İnce	İri 2	İri 1	İnce	İri 2	İri 1	İnce
Özgül Ağırlık	2,64	2,61	2,51	3,36	3,30	3,07	4,74	4,52	4,31	3,18	3,40	3,07
Su Emme (%)	0,85	1,39	3,43	0,46	2,43	10,32	0,60	1,47	3,62	0,64	0,92	6,11

Çalışmada CEM I 42,5R tipi çimento ile 0,40, 0,50 ve 0,60 su/çimento orana sahip normal, pirit, magnetit ve krom agregalı 100/200 (mm/mm) (çap/boy) ebadında silindir, 100 x100 x100 (mm x mm x mm) ve 150x150x150 (mm x mm x mm) ebadında küp beton numuneler üretildi (Şekil 8).



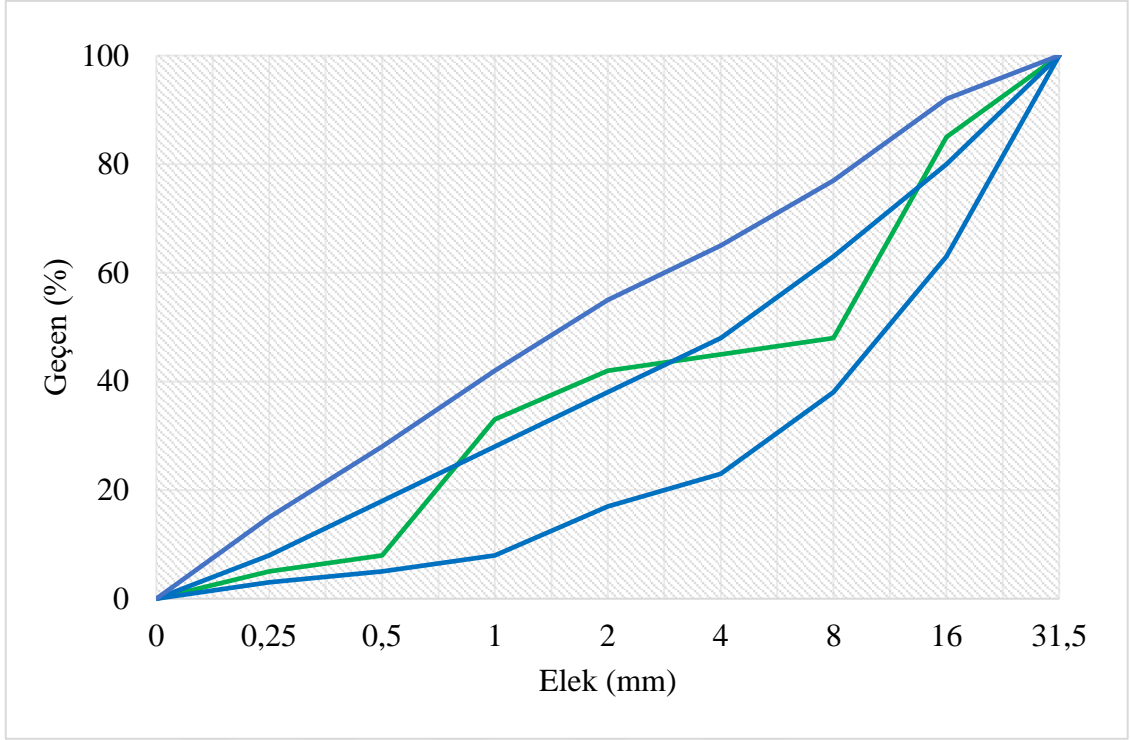
Şekil 8. Silindir ve küp beton numuneler

Betonların  kmesi eşit olması için su miktarı bütün gruplarda eşit tutuldu. Tüm betonlarda 1 metreküp betona 190 kg su katıldı. Betonlar, pan tipi mikserle tek seferde 16 litre hacminde karıldı ve numune kaplarına her tabakada 25 ŐiŐleme yapılarak dolduruldu. Beton  retiminde kullanılan madde ham miktarları ve betonların  okmeleri Tablo 5’de görülmektedir.

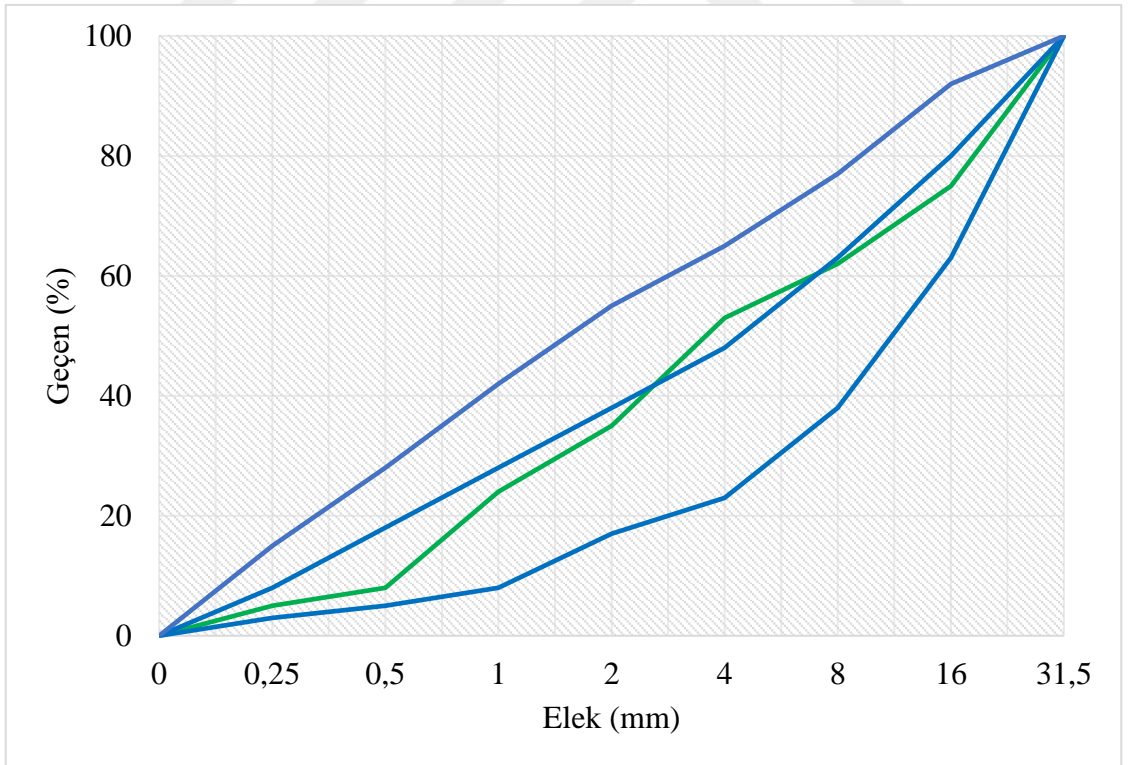
Tablo 5. Betonların 1m³ su/çimento oranları, karışımında kullanılan malzeme miktarları (kg) ve çökme değerleri (mm)

Beton Türü	Su/Çimento Oranı	Çimento (kg)	Su (kg)	Agrega (kg)			Kimyasal Katkı (kg)	Toplam Ham Madde (kg)	Çökme (mm)
				İri 2	İri 1	İnce			
Normal Beton	0,40	475	190	511	427	642	14,25	2259,25	185
	0,50	380	190	540	452	679	7,60	2248,60	195
	0,60	317	190	560	468	703	3,17	2241,17	210
Magnetitli Beton	0,40	475	190	619	525	711	14,25	2534,25	190
	0,50	380	190	655	555	751	7,60	2538,6	195
	0,60	317	190	678	575	779	3,17	2542,17	200
Piritli Beton	0,40	475	190	850	750	886	14,25	3165,25	150
	0,50	380	190	899	793	937	7,60	3206,6	165
	0,60	317	190	931	821	971	3,17	3233,17	160
Kromlu Beton	0,40	475	190	616	538	726	14,25	2559,25	175
	0,50	380	190	651	569	767	7,60	2564,6	175
	0,60	317	190	674	589	795	3,17	2568,17	165

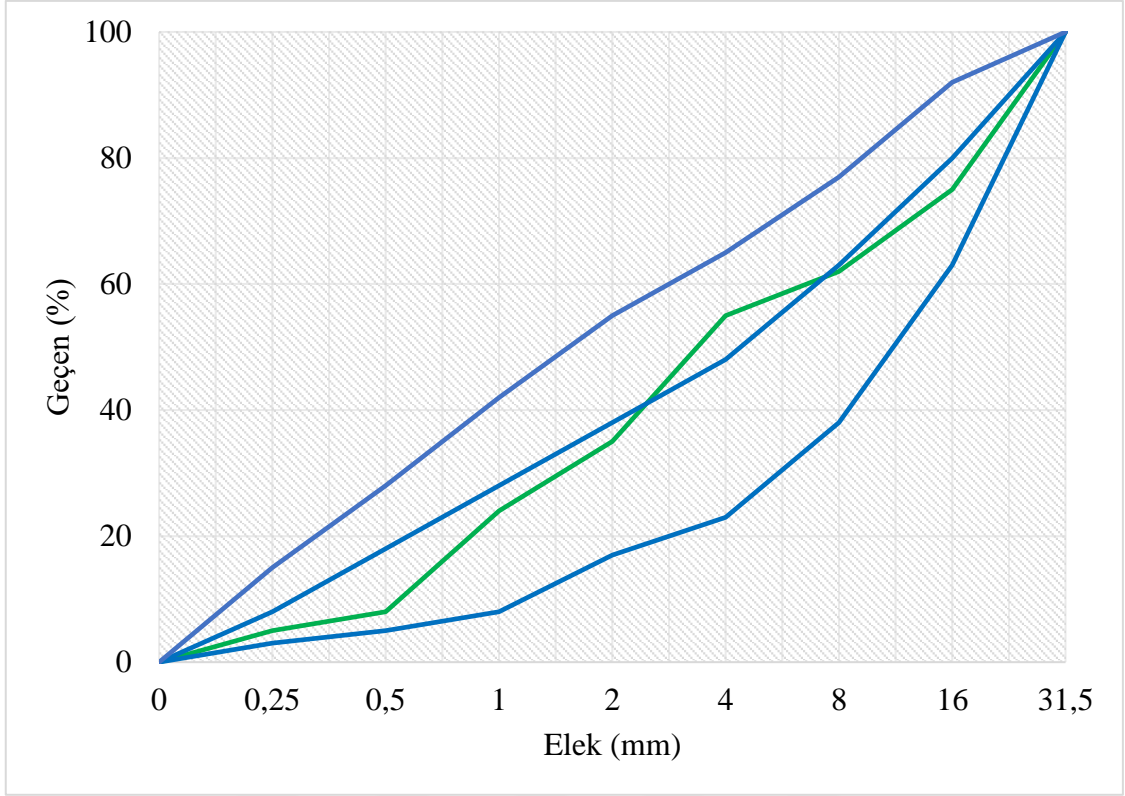
Beton karışımında kullanılan agregaların granülometri eğrileri Şekil 9, Şekil 10, Şekil 11 ve Şekil 12’de görülmektedir. Şekil 9, Şekil 10, Şekil 11 ve Şekil 12’deki granülometri eğrilerindeki en alttaki eğri TS 706’a göre sınır kalınlık değerlerini (A), en üstteki eğri sınır incelik değerlerini (C) ve ortadaki eğri ideal dağılımı (B) göstermektedir. A ve C eğrileri arasındaki egride beton dizaynında bu çalışmada kullanılan agreganın granülometri eğrisidir.



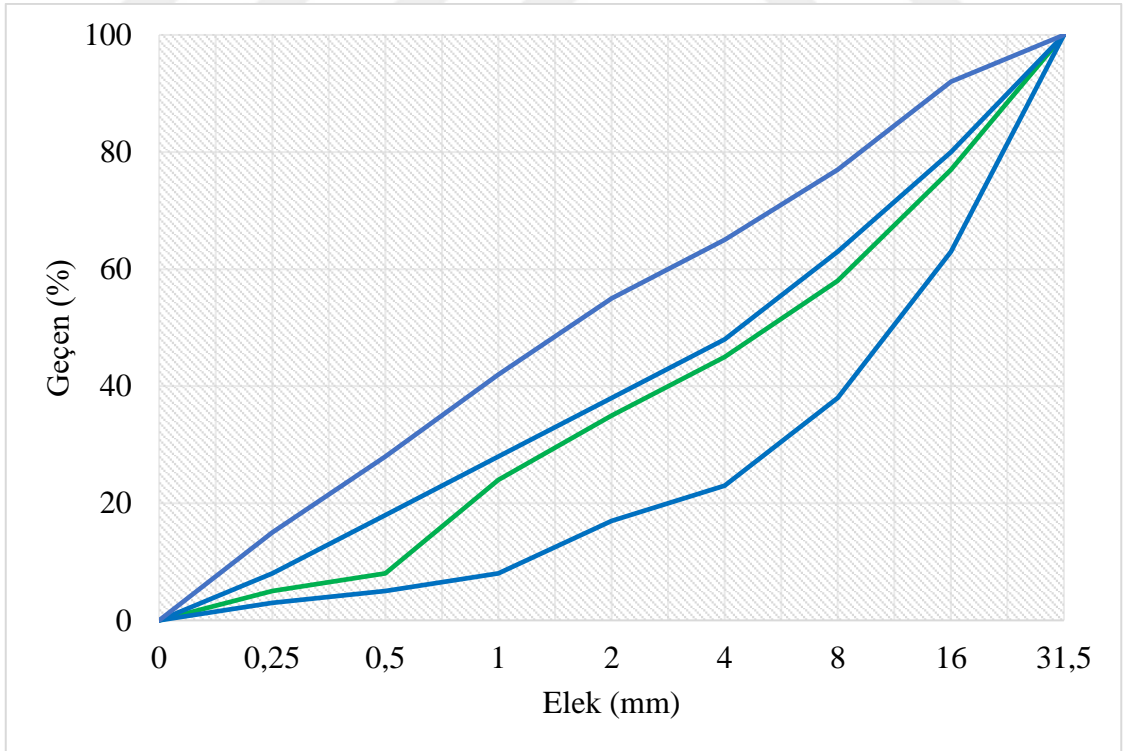
Şekil 9. Normal betonların agrega granülometrisi



Şekil 10. Piritli betonların agrega granülümetrisi



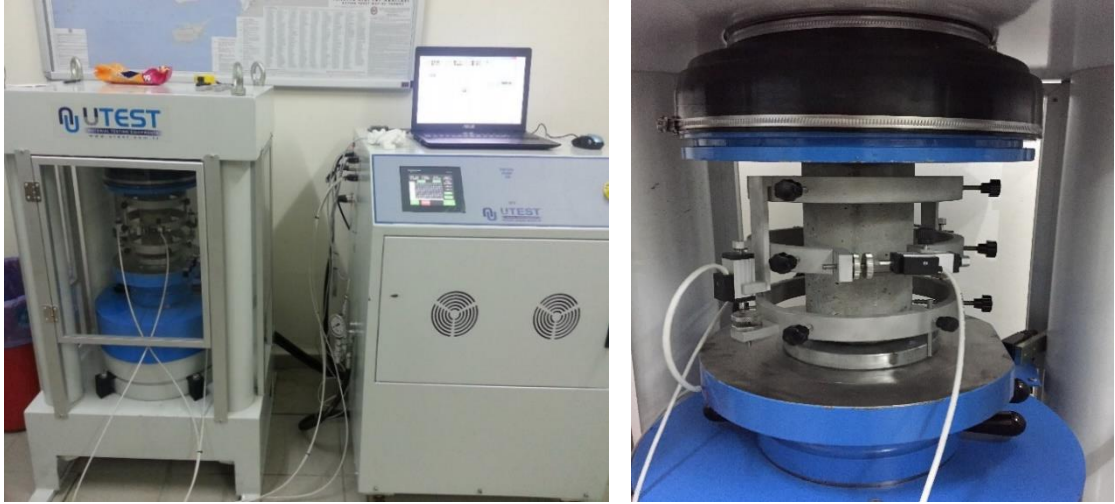
Şekil 11. Kromlu betonların agrega granülometrisi



Şekil 12. Magnetitli betonların agrega granülometrisi

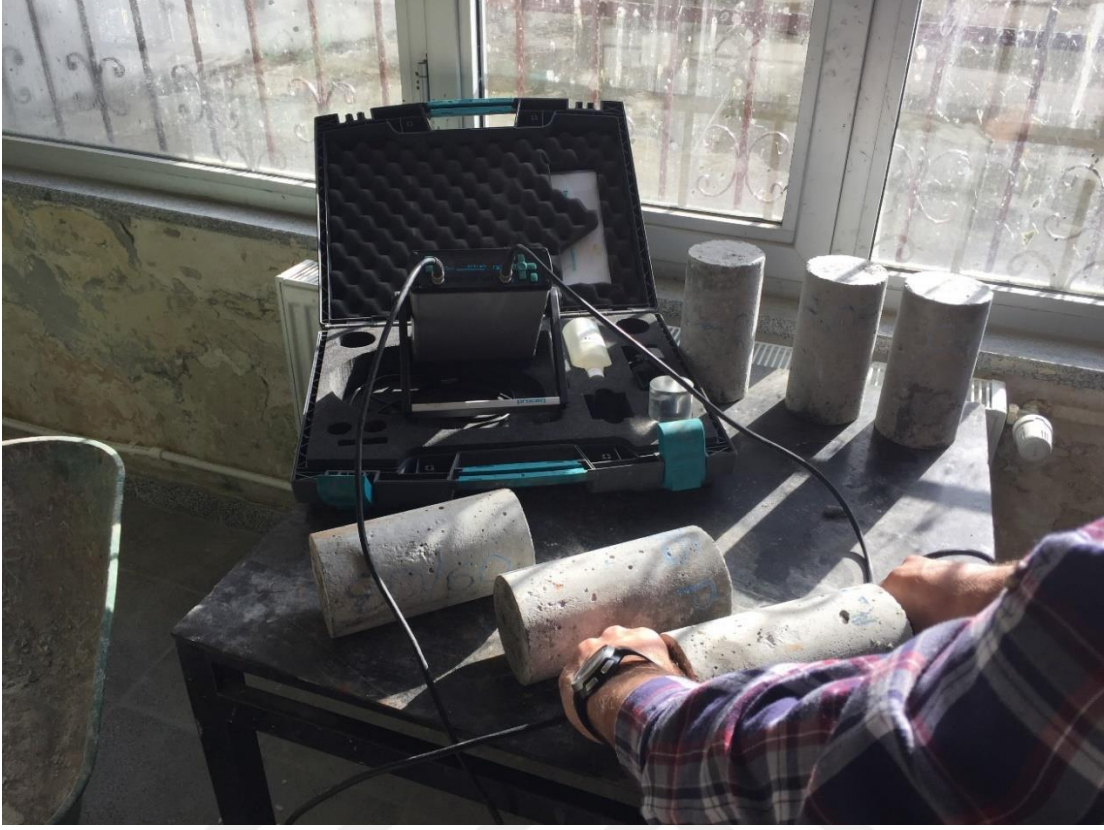
2.2. Betonların Mekanik Özelliklerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi

Küp numunelerden pirit, krom, magnetit ve normal agregalı betonların basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı ve schimidt test çekiciyle yüzey sertlikleri ölçüldü. Şekil 13'te görülen kompresometre ile betonların elastisite modülleri ölçüldü. Çalışmada kullanılan kompresometrede 2 adet düşey, 1 adet dairesel potansiyometrik boy değişim ölçüm sensörü bulunmaktadır. Silindir beton numunelerine basınç dayanım testi uygulanırken kompresometre ile eksenel ve çapsal boy değişimleri ölçüldü. Ölçülen gerilme ve şekil değiştirme değerleri beton presinin kumanda sistemindeki bilgisayar programına otomatik kaydedilmektedir. Ayrıca kullanılan program ile betonların elastisite modülleri hesaplandı. Aynı zamanda deney sırasında ölçülen gerilme ve şekil değiştirme değerleri kullanılarak bu çalışma değerlendirme kısmındaki gerilme-şekil değiştirme diyagramları üzerinden elastisite modülleri hesaplandı. Beton numunelerden alınan parçalardan betonların kütle soğurma katsayıları hem deneysel hem de teorik olarak hesaplandı.



Şekil 13. Elastisite modülünün ölçüldüğü beton presini ve kompresometre

Silindir ve küp beton numuneler üzerinde Şekil 14'de görüldüğü gibi ultrases geçiş hızı ölçümleri yapıldı.



Şekil 14. Silindir numune üzerinde ultrases geçiş hızı ölçümü

Ultrases hızı ölçümü yapılan numuneler Şekil 15'deki düzenekte sıkıştırıldıktan sonra Schmidt test çekiciyle 10 adet vuruş yapılarak yüzey sertlikleri ölçüldü.



Şekil 15. Schimidt test çekici ölçümleri

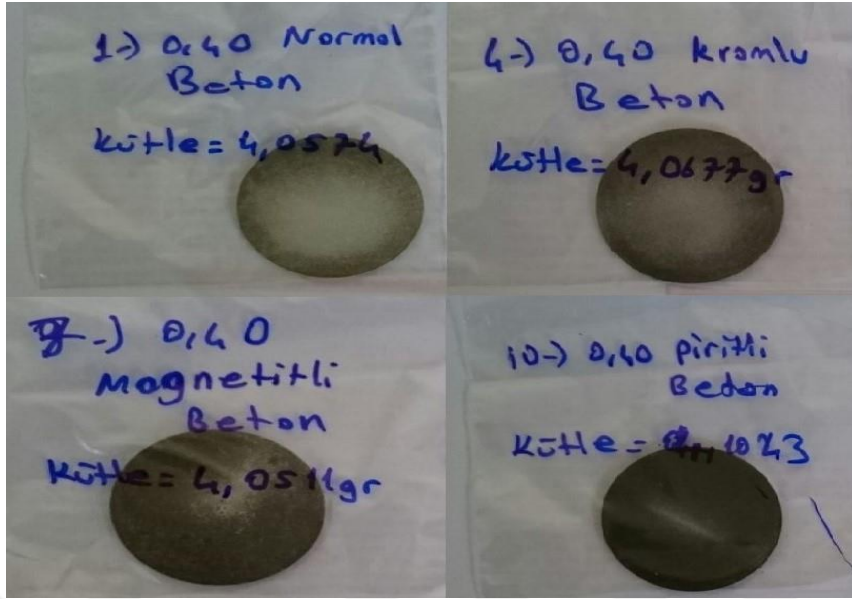
2.3. Radyasyon Soğurma Ölçümleri İçin Numunelerin Hazırlanması

Üretilen beton numunelerden kesilen beton parçaları ve beton karışımında kullanılan saf malzemeler Şekil 16’da görülen halkalı öğütücüde öğütülerek toz haline getirildi.



Şekil 16. Halkalı öğütücü

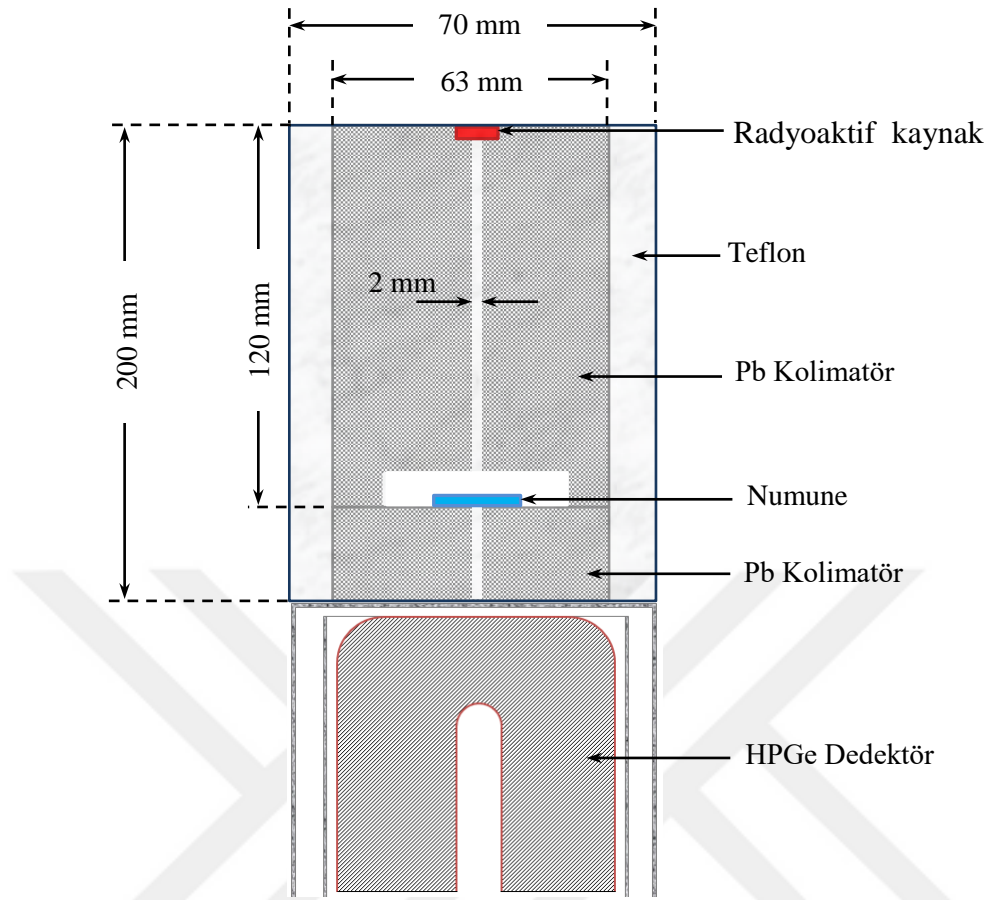
Numunelerin üzerinde kalan suyu buharlaştırmak için, numuneler 4 saat boyunca 105°C’de kurutuldu. Analizlerde kullanmak üzere 4 gramlık numuneler, 40 mm çapında olacak şekilde 20 saniye boyunca ve 7 tonluk basınç altında hidrolik baskı makinesiyle preslenerek hazırlanmıştır.



Şekil 17. Kütle soğurma katsayılarının ölçümüne hazır hale getirilen numuneler

2.4. Radyasyon Soğurma Katsayılarını Belirmeye Yönelik Deneysel Çalışmalar

Malzemelerin kütle soğurma katsayılarını belirlemeye yönelik deneysel çalışmalar % 25'lik bağıl verime ve 1,33 MeV'de 1,70 keV'lik ayırma gücüne sahip ORTEC marka GEM25P4-76 model HPGe yarı iletken gama dedektörü kullanılarak gerçekleştirildi. Deneysel çalışmalar için Şekil 18'de gösterilen dar ışın geometrisi (narrow beam geometry) oluşturuldu.



Şekil 18. Kütle soğurma katsayılarının ölçümünde kullanılan deney geometrisi

Deney geometrisinde, numune ve kaynak değiştirme esnasında meydana gelebilecek geometrik etkileri ortadan kaldırmak için birbirinden bağımsız pencereler bırakılmıştır. Kütle soğurma katsayıları 59,5 – 661 keV aralığındaki 2 farklı enerji değeri için ölçüldü. Bu enerji değerleri Tablo 6’da gösterilen radyoaktif nokta kaynaklar kullanılarak elde edildi. Kararlı hale dönüşümleri sırasında radyoizotopların birçok farklı enerjiye sahip gama ışınları yayınladığı bilinmektedir. Dolayısıyla Tablo 6’da belirtilen gama ışınlarının seçiminde, yayınlanma olasılıkları ve çalışma aralığındaki enerji dağılımının homojenliği dikkate alındı.

Tablo 6. Radyoaktif nokta kaynaklar

Çekirdek	Enerjisi (keV)	Olasılığı (%)	Yarı ömrü	Aktivitesi	Ürün çekirdek
^{241}Am	59,5	36,00	432,70 yıl	3700 MBq	^{237}Np
^{137}Cs	661	85,00	30,05 yıl	345,00 kBq	^{137}Ba

Malzemelerin kütle soğurma katsayıları Lambert-Beer yasası kullanılarak hesaplandı.

$$I = I_0 e^{-\frac{\mu}{\rho}d} \quad (11)$$

Burada μ/ρ numunenin kütle soğurma katsayısını (cm^2/g), d numunenin yüzeysel yoğunluğunu (g/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 dedektör 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

Pirit, krom, magnetit içeren agregalar ve normal agregalar toz haline getirilip ACME (Kanada) laboratuvarında kimyasal bileşimleri analizleri yaptırıldı. Tablo 7’de pirit, krom, magnetit, normal agregalar ve çimentonun kimyasal bileşimi görülmektedir.

Tablo 7. Çalışmada kullanılan agregaların ve çimentonun kimyasal analizleri

	Krom	Magnetit	Pirit	Normal Agregalar	CEM I 42,5 R
LOI %	5,1	5,2	6,72	1	3,8
Al ₂ O ₃	7,15	1,76	3,11	12,5	5,24
BaO	0	0,02	0,024	0,05	0,06
CaO	0,5	20,5	0,385	0,9	61,2
Cr ₂ O ₃	35,8	0,082	0,23	0,01	0,021
Fe ₂ O ₃	16,9	35,8	12,87	3,18	3,66
K ₂ O	0,01	0,02	0,84	1,23	1,06
MgO	23	2,17	0,46	0,98	1,05
MnO	0,19	1,05	0,016	0,08	0,17
Na ₂ O	0	0,21	0,049	4,59	0,4
P ₂ O ₅	0,001	0,23	0,018	0,063	0,131
SO ₃	0,06	0,24	17,28	0,04	3,36
SiO ₂	10,9	31,8	56,9	74,7	19,6
TiO ₂	0,1	0,04	0,074	0,31	0,16
V ₂ O ₅	0,083	0,006	0,005	0,005	0,061
ZnO	0,066	0,954	0,02	0,002	0,007
ZrO ₂	0	0	0,02	0,03	0,06
Toplam	99,86	100,02	99,021	99,62	100,54

Tablo 7’de kimyasal bileşimi görülen agregalarla 0,4, 0,5 ve 0,6 su/çimento oranına sahip üretilen betonlardan alınan numuneler öğütülerek toz haline getirildi. Üretilen betonlar heterojen bir yapıya sahip olduklarından ve Tablo 7’deki saflara su ve kimyasal katkı katılarak üretildiklerinden, betonların kimyasal bileşimi için betonlardan kesilen parçalar toz haline getirilerek bu tozlar üzerinden kimyasal bileşimleri tayin edildi. Betonların kimyasal bileşimleri Tablo 8’de görülmektedir. Tablo 8’de kimyasal bileşimi

görülen tozlar kullanılarak betonların deneysel ve teorik radyasyon kütle soğurma katsayıları hesaplandı.

Tablo 8. 0,4-0,5 ve 0,6 su/çimento oranına sahip betonların kimyasal bileşimi (%)

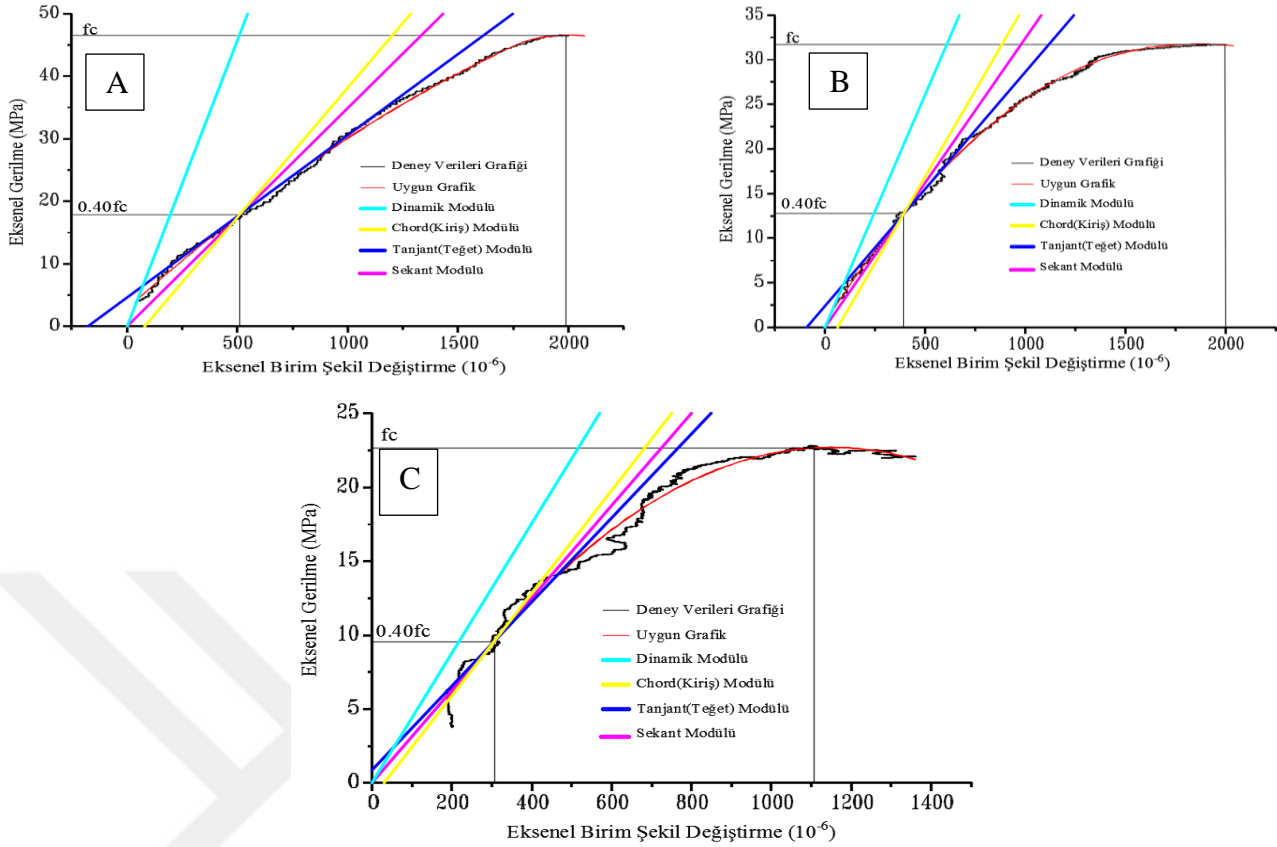
	Normal Beton			Piritli Beton			Kromlu Beton			Magnetitli Beton		
	0,40	0,50	0,60	0,40	0,50	0,60	0,40	0,50	0,60	0,40	0,50	0,60
LOI	4,8	4,3	3	6,04	6,14	6,64	7,5	6,9	6,5	6,9	6,5	6
Al ₂ O ₃	11	11,3	12	2,58	3,08	3,24	6,89	7,42	7,26	3,37	4,07	3,23
BaO	0,04	0,05	0,04	0,029	0,04	0,03	0	0	0	0,03	0,04	0,03
CaO	11,2	9,72	6,79	7,47	6,83	4,91	11,7	6,67	4,85	23,4	22	21,8
Cr ₂ O ₃	0,009	0,009	0,01	0,055	0,024	0,063	19,3	25,9	26,7	0,023	0,023	0,045
Fe ₂ O ₃	3,61	3,58	3,78	7,79	8,16	8,36	12,4	13,7	13,3	24,7	22,7	28,5
K ₂ O	0,89	1,06	0,92	0,75	0,66	0,74	0,5	0,37	0,31	0,46	0,61	0,38
MgO	1	0,97	1,11	0,67	0,48	0,48	15,2	17,5	20	1,87	1,76	2,19
MnO	0,1	0,09	0,1	0,06	0,04	0,04	0,21	0,17	0,15	0,84	0,93	0,93
Na ₂ O	3,89	3,84	4,33	0,43	0,42	0,36	0,31	0,19	0,14	0,46	0,8	0,42
P ₂ O ₅	0,077	0,078	0,077	0,045	0,037	0,029	0,043	0,02	0,015	0,142	0,138	0,193
SO ₃	0,5	0,45	0,38	11,05	12,64	13,45	0,63	0,4	0,3	0,72	0,94	0,42
SiO ₂	61,8	63,3	66,2	63,2	61,6	61,3	22,8	19,3	19,1	35,9	38,3	34,9
TiO ₂	0,32	0,33	0,35	0,1	0,09	0,09	0,15	0,15	0,14	0,09	0,1	0,08
V ₂ O ₅	0,015	0,014	0,011	0,019	0,016	0,012	0,056	0,069	0,066	0,014	0,014	0,012
ZnO	0,01	0,017	0,013	0,038	0,032	0,026	0,089	0,045	0,039	0,361	>1.000	0,456
ZrO ₂	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0	0	0	0,02	0	0,01
Toplam	99,29	99,17	99,16	100,34	100,30	99,79	98,8	99,6	100,39	99,33	100,14	99,58

Tablo 9’da 0,4, 0,5 ve 0,6 su/çimento oranına sahip piritli, kromlu, magnetitli ve normal agregalı betonların taze beton birim hacim ağırlıkları, basınç dayanımları, sertleşmiş birim hacim ağırlıkları, schimidt test çekici ile okunan yüzey sertlikleri ve ultrases geçiş hızları görülmektedir. Tablo 9’daki değerler üç beton numunesinden elde edilen ortalama değerlerdir.

Tablo 9. Farklı su çimento oranına sahip normal, piritli, kromlu ve magnetitli betonların birim hacim ağırlıkları, basınç dayanımları, ultrases geçiş hızları ve yüzey sertliği değerleri

Beton Türü	Su/çimento oranı	Taze beton Birim hacim ağırlık (kg/m ³)	Sertleşmiş beton Birim hacim ağırlık (kg/m ³)	15 cm'lik küp numune Basınç dayanımı N/mm ²	10 cm'lik küp numune Basınç dayanımı N/mm ²	Schmidt test çekici okumaları ortalama	15 cm'lik küp numune Ultrases hızı (km/sn)
Normal	0,4	2297	2330	48,3	49,4	31	4,73
	0,5	2288	2290	33,6	37,8	29	4,49
	0,6	2282	2300	28,6	24,9	27	4,59
Piritli	0,4	2601	2660	50	57,5	38	4,63
	0,5	2610	2710	44,5	46,8	34	4,46
	0,6	2615	2810	31	33,2	27	4,39
Krom	0,4	2604	2620	35,6	37	35	4,53
	0,5	2613	2700	24,8	25,3	25	4,57
	0,6	2619	2700	19,5	22,8	22	4,20
Magnetit	0,4	3213	3010	42,1	43,4	30	4,53
	0,5	3257	2970	29,3	35,8	28	4,62
	0,6	3286	3010	21,6	23,6	24	4,66

100/200 (mm/mm) Çap/Boy oranına sahip silindir numunelerde gerilme ve birim boy uzamaları ölçüldü. Elde edilen değerler Origin bilgisayar programında gerilme-şekil değiştirme (σ - ϵ) grafikleri çizildi ve σ - ϵ eğrisi üzerinden Şekil 19'da görüldüğü gibi çizilen doğrulardan Dinamik, Chord, Teğet ve Sekant elastisite modüllerini hesaplandı.

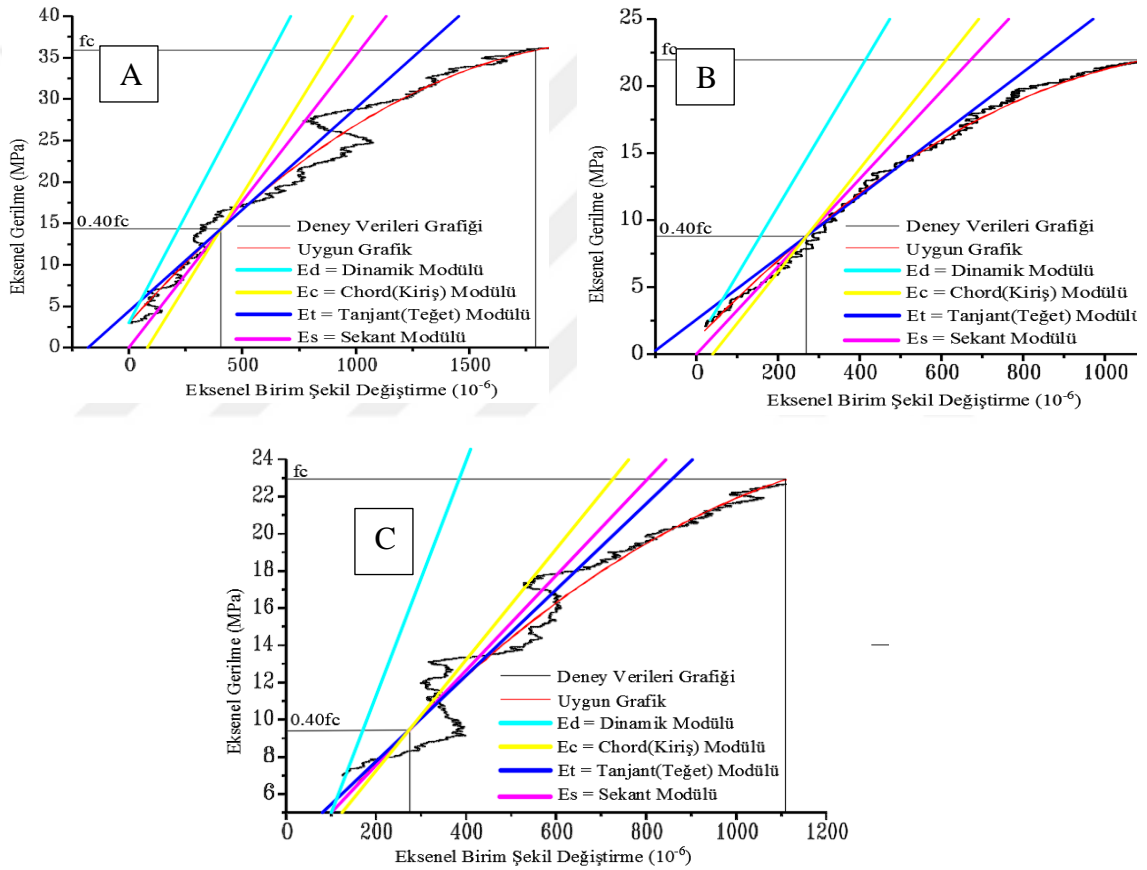


Şekil 19. 90 günlük 0,40 (A), 0,5 (B) ve 0,6 (C) su/çimento oranına sahip normal betonun gerilme-birim şekil değişirme grafiği

Şekil 19’da 0,40 (A), 0,5 (B) ve 0,6 (C) su/çimento oranına sahip normal betondan elde edilen gerilme-şekil değişirme grafiği görülmektedir. Şekil 19’da gerilme şekil değişirme eğrisine uygun bir eğri geçirilerek bu geçirilen eğrinin başlangıç kısmına çizilen teğetin eğimi ile dinamik modül, $0,4x_{f_{ck}}$ noktasından geçirilen doğrunun eğiminden tanjant (teğet) modülü, $0,4x_{f_{ck}}$ gerilme değeriyle orjine birleşen doğrunun eğiminden sekant modülü ve 50×10^{-6} şekil değişirme ile $0,4x_{f_{ck}}$ değerinin birleştiren doğrunun eğiminden chord modülü değerleri hesaplandı. Hesaplanan elastisite modülleri Tablo 10’da görülmektedir.

Tablo 10. Normal agregalı betonların elastisite modülleri

Su Çimento Oranı	Basınç Dayanımı f_c (MPa)	Basınç Dayanımı %40 f_c (MPa)	Eksenel Birim Şekil Değişirme %40 f_c	Tanjant (Teğet) Modülü (MPa)	Sekant Modülü (MPa)	Chord (Kiriş) Modülü (MPa)	Dinamik Modülü (MPa)
0,40	46,5	18,6	0,00056	31630	33214	36471	31629
0,50	31,7	12,7	0,00037	34750	34270	39625	34749
0,60	22,8	9,1	0,00034	42350	26824	31448	42349

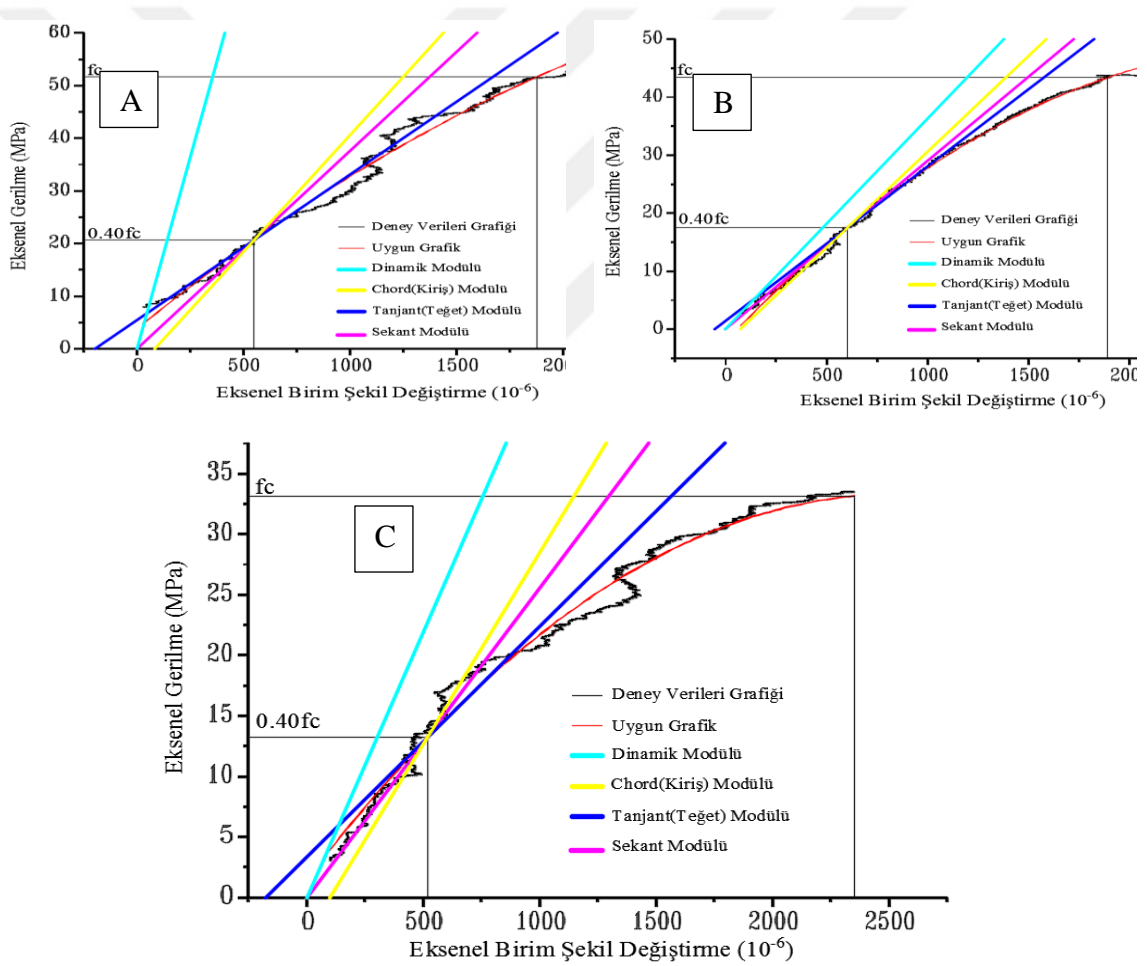


Şekil 20. 90 günlük 0,40 (A), 0,5 (B) ve 0,6 (C) su/çimento oranına sahip krom agregalı betonun gerilme-birim şekil değişirme grafiği

90 günlük krom agregalı betonların elastisite modülleri Tablo 11’de görülmektedir.

Tablo 11. Krom agregalı betonların 90 günlük basınç dayanımları ve elastisite modülleri

Su Çimento Oranı	Basınç Dayanımı f_c (MPa)	Basınç Dayanımı %40 f_c (MPa)	Eksenel Birim Şekil Değiştirme %40 f_c	Tanjant (Teğet) Modülü (MPa)	Sekant Modülü (MPa)	Chord (Kiriş) Modülü (MPa)	Dinamik Modülü (MPa)
0,40	36,2	14,5	0,00031	30920	46710	55692	30919
0,50	31,8	12,7	0,00028	31810	31143	37913	31809
0,60	22,9	9,16	0,00039	29220	23487	26941	29219

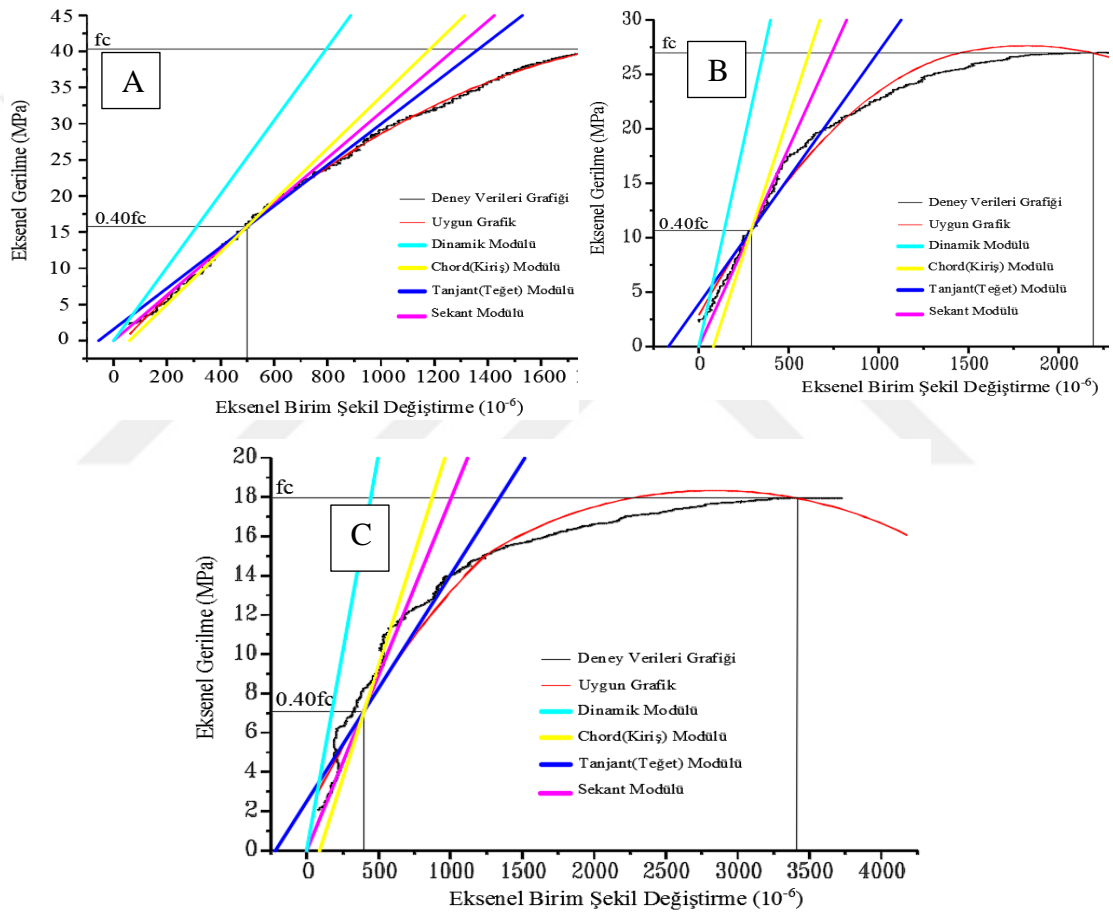


Şekil 21. 90 günlük 0.40 (A), 0,5 (B) ve 0,6 (C) su/çimento oranına sahip pirit agregalı betonun gerilme-birim şekil değiştirme grafiği

90 günlük pirit agregalı betonların elastisite modülleri Tablo 12’de görülmektedir.

Tablo 12. Piritli beton 90 günlük basınç dayanımları ve elastisite modülleri

Su Çimento Oranı	Basınç Dayanımı f_c (MPa)	Basınç Dayanımı %40 f_c (MPa)	Eksenel Birim Şekil Değişirme %40 f_c	Tanjant (Teğet) Modülü (MPa)	Sekant Modülü (MPa)	Chord (Kiriş) Modülü (MPa)	Dinamik Modülü (MPa)
0,40	53,0	21,2	0,00055	32950	38545	42400	32949
0,50	43,8	17,5	0,00060	36230	29200	31855	36229
0,60	33,5	13,4	0,00047	25260	28511	31905	25259

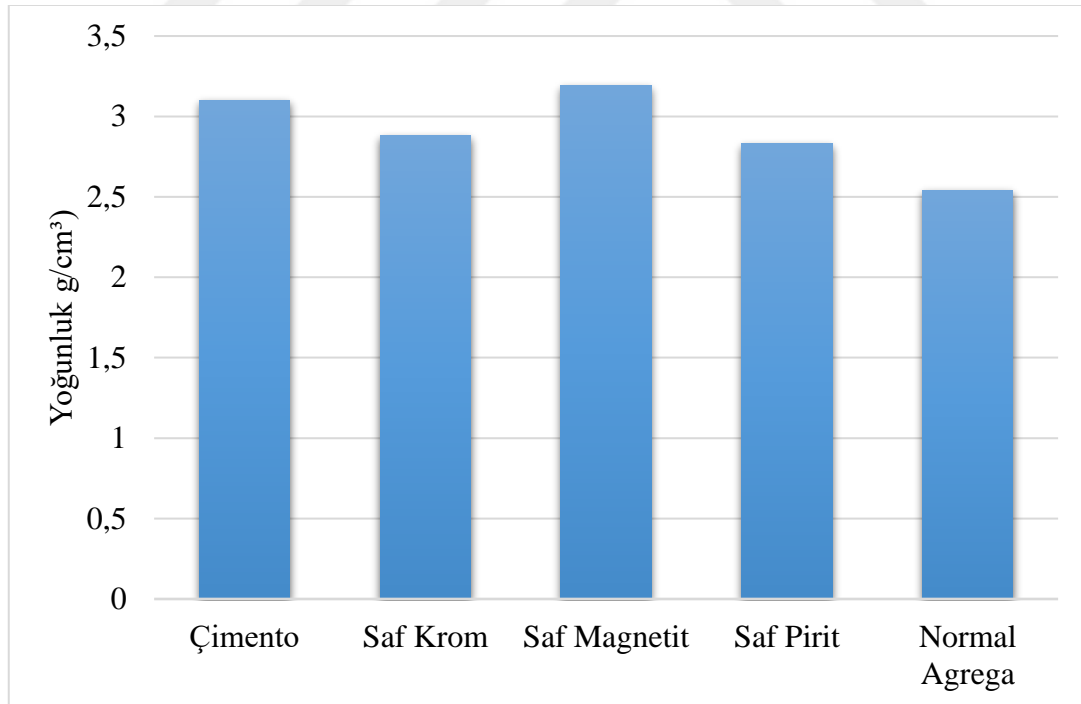
**Şekil 22.** 90 günlük 0,40 (A), 0,5 (B) ve 0,6 (C) su/çimento oranına sahip magnetit agregalı betonun gerilme-birim şekil değişirme grafiği

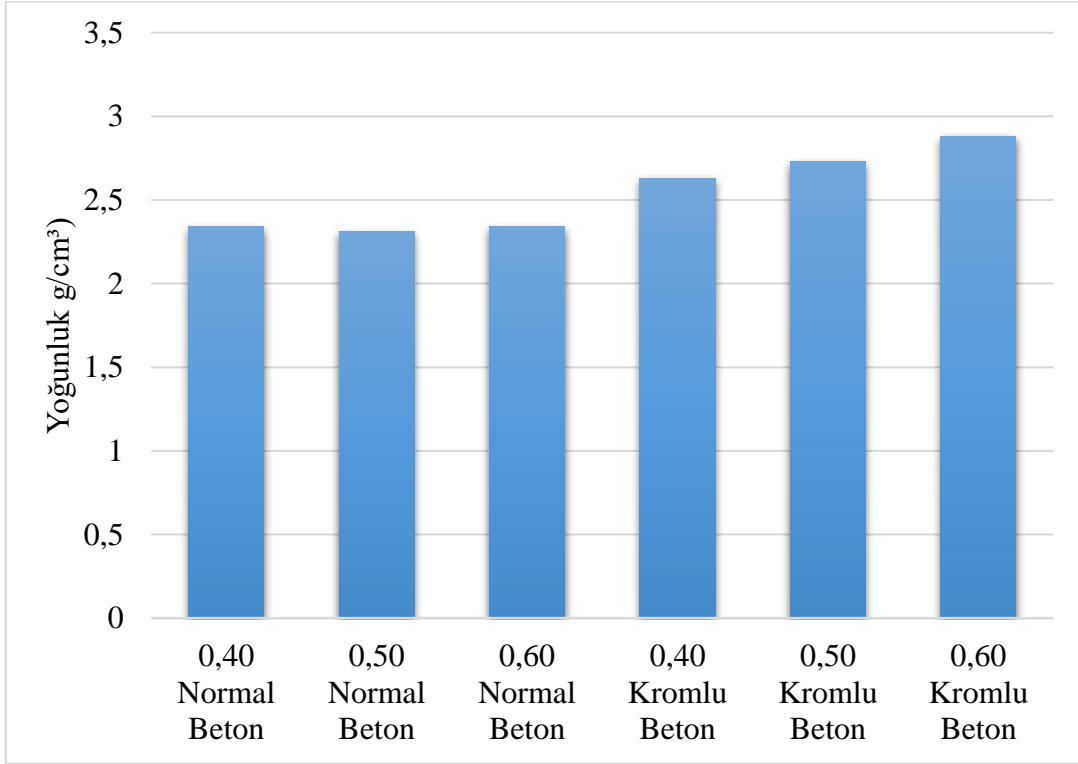
90 günlük magnetit agregalı betonların elastisite modülleri Tablo 13'te görülmektedir.

Tablo 13. Magnetitli beton 90 günlük basınç dayanımları ve elastisite modülleri

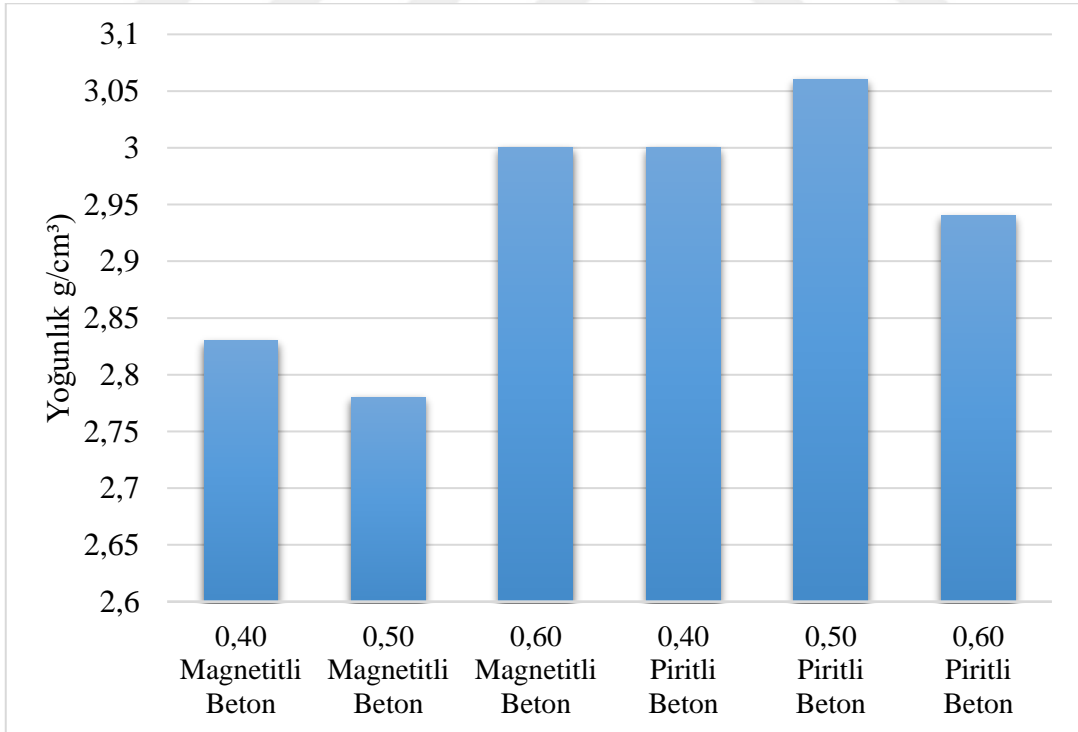
Su Çimento Oranı	Basınç Dayanımı f_c (MPa)	Basınç Dayanımı %40 f_c (MPa)	Eksenel Birim Şekil Değişirme %40 f_c	Tanjant (Teğet) Modülü (MPa)	Sekant Modülü (MPa)	Chord (Kiriş) Modülü (MPa)	Dinamik Modülü (MPa)
0,40	40,5	16,2	0,00050	38540	32400	36000	38539
0,50	27,0	10,8	0,00029	29310	37241	45000	29309
0,60	18,0	7,2	0,00033	14260	21818	25714	14259

Tablo 14'deki değerler deneysel ve teorik olarak beton numunelerinde ölçülen 59,5-661 keV enerji seviyelerine göre kütle soğurma katsayılarıdır. Bu malzemelerin deneysel olarak radyasyon soğurma katsayılarının ölçümünde, kobalt-60 ve sezyum-137 radyoaktif gama ışın kaynakları kullanıldı. Betonların deneysel radyasyon soğurma katsayıları ölçümleri Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fizik Bölümü Nükleer Fizik Laboratuvarında yaptırıldı. Teorik değerleri XCOM programıyla hesap edilmiştir. Hesaplarda kullanılan malzemelerin yoğunlukları Şekil 23-25'de verilmiştir.

**Şekil 23.** Beton karışımında kullanılan saf malzemelerin yoğunlukları



Şekil 24. Normal ve kromlu 0,40-0,50-0,60 su/çimento oranlı betonların yoğunlukları



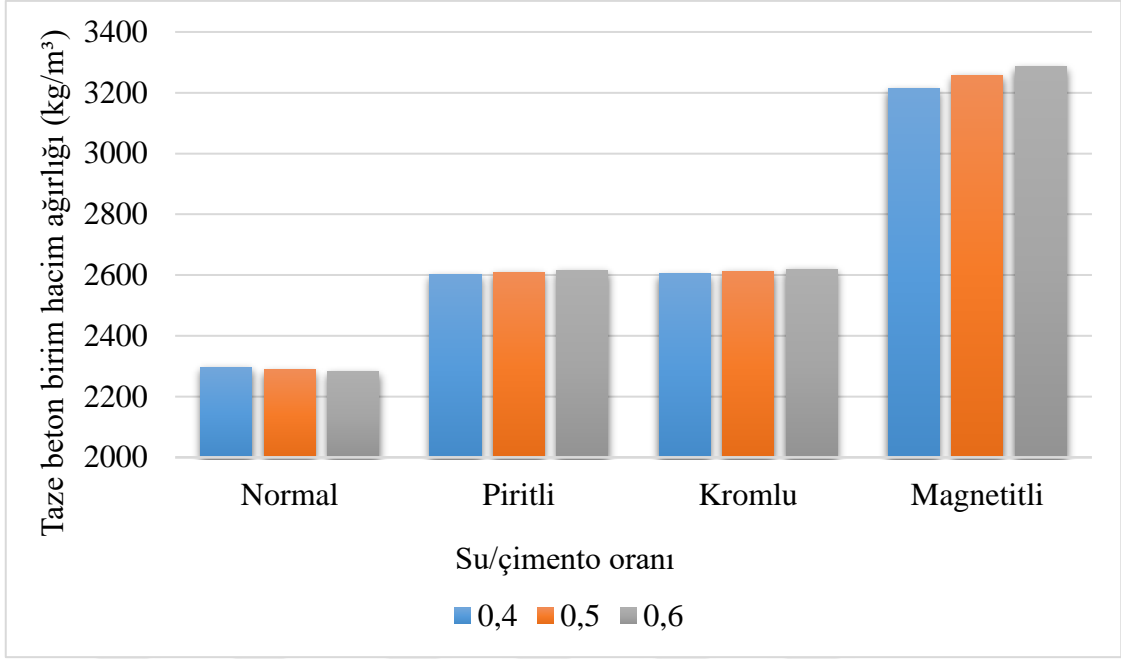
Şekil 25. Magnetitli ve piritli 0,40-0,50-0,60 su/çimento oranlı betonların yoğunlukları

Tablo 14. Malzemelerin deneysel ve teorik kütle soğurma katsayıları

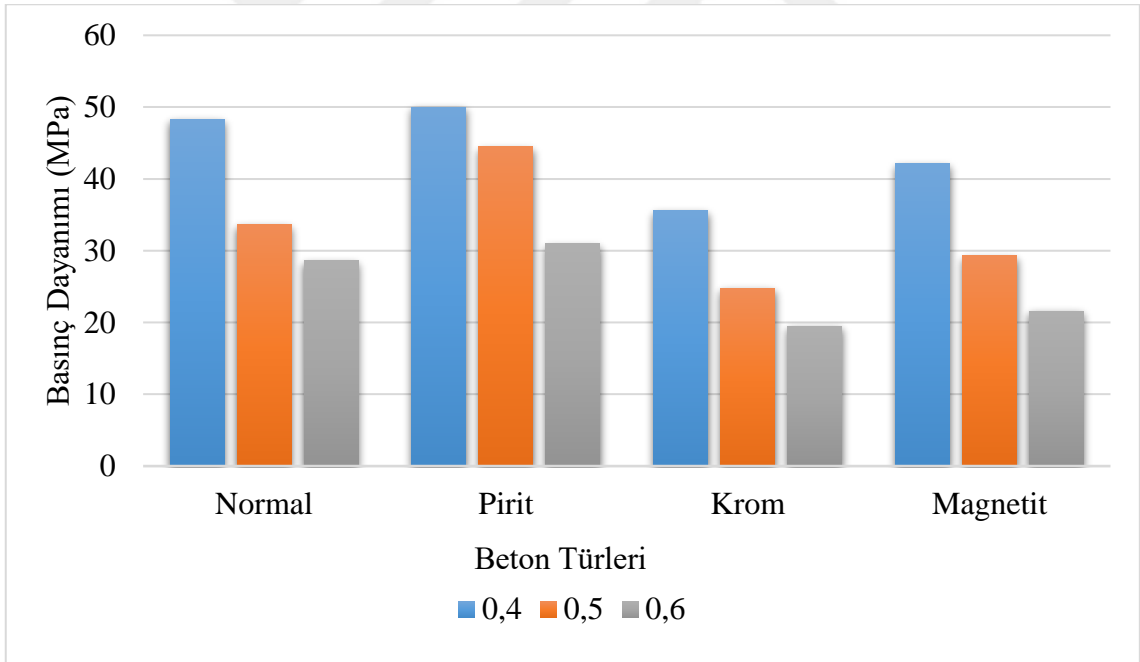
Numune	Kütle soğurma katsayıları (cm ² /g)			
	59,5 keV		661 keV	
	Deneysel	Teorik	Deneysel	Teorik
Çimento	0,474 ± 0,009	0,468	0,076 ± 0,001	0,077
Saf Krom	0,560 ± 0,010	0,552	0,075 ± 0,001	0,075
Saf Magnetit	0,592 ± 0,010	0,586	0,076 ± 0,001	0,076
Saf Pirit	0,365 ± 0,008	0,359	0,078 ± 0,001	0,077
Normal Agrega	0,290 ± 0,007	0,284	0,077 ± 0,001	0,077
0,4 Normal Beton	0,323 ± 0,007	0,317	0,075 ± 0,001	0,077
0,5 Normal Beton	0,320 ± 0,007	0,314	0,077 ± 0,001	0,077
0,6 Normal Beton	0,300 ± 0,007	0,304	0,078 ± 0,001	0,077
0,4 Kromlu Beton	0,490 ± 0,009	0,484	0,076 ± 0,001	0,076
0,5 Kromlu Beton	0,513 ± 0,009	0,507	0,075 ± 0,001	0,076
0,6 Kromlu Beton	0,507 ± 0,009	0,500	0,075 ± 0,001	0,076
0,4 Magnetitli Beton	0,523 ± 0,009	0,517	0,077 ± 0,001	0,077
0,5 Magnetitli Beton	0,511 ± 0,009	0,506	0,077 ± 0,001	0,077
0,6 Magnetitli Beton	0,543 ± 0,009	0,537	0,077 ± 0,001	0,076
0,4 Piritli Beton	0,346 ± 0,007	0,340	0,078 ± 0,001	0,077
0,5 Piritli Beton	0,347 ± 0,007	0,341	0,077 ± 0,001	0,077
0,6 Piritli Beton	0,344 ± 0,008	0,337	0,077 ± 0,001	0,077

4. TARTIŞMA

Şekil 26'da üretilen betonların teorik taze birim hacim ağırlıkları görülmektedir. Teorik taze beton birim hacim ağırlıklarının betonlarda ölçülen sertleşmiş beton birim hacim ağırlıklarına oldukça yakın olduğu Tablo 9'da görülmektedir. Betonların çökmeleri eşit tutulup su/çimento oranı arttırıldığından tüm betonlara katılan su miktarı sabit tutulup çimento miktarı azaltılarak betonların su/çimento oranı artırıldı. Şekil 26'da görüldüğü üzere normal betonlarda su/çimento oranı arttıkça betonun taze birim hacim ağırlığı azalmaktadır. Normal betonlarda çimento miktarı azaltılıp yerine çimentoya göre daha az özgül ağırlığına sahip agregaya katılarak su/çimento oranı artırıldığından 0,6 su/çimento oranına sahip betonun taze birim hacim ağırlığı 0,4 ve 0,5 su/çimento oranına sahip betonların taze birim hacim ağırlıklarından daha az olmaktadır. Piritli, kromlu ve magnetitli betonlarda ise azaltılan çimento yerine özgül ağırlığı çimentoya göre daha fazla olan agregaya kullanıldığından su/çimento oranı arttıkça ağır betonların taze birim hacim ağırlığı artmaktadır. Bu durum su miktarı sabit tutulup çimento miktarı azaltılarak su/çimento oranının artırılması durumunda ağır betonların taze birim hacim ağırlıklarının artmasına normal betonların ise taze birim hacim ağırlığının azalmasına neden olmaktadır. TS EN 206'a göre birim hacim ağırlığı 2600 kg/m^3 olan beton ağır beton olarak tanımlanmaktadır. Şekil 23'de pirit, krom ve magnetitle üretilen betonların birim hacim ağırlıklarına bakıldığında ağır beton olduğu görülmektedir. Quada magnetit, barit, serpantit ve geotitle ağır betonlar üretilmiş ve taze beton birim hacim ağırlıkları ile sertleşmiş beton birim hacim ağırlıklarını 2600 kg/m^3 üstünde buldu (Quada, 2015). Quada magnetitli betonda bu çalışmadakine benzer 3080 kg/m^3 birim hacim ağırlığına sahip betonlar üretti. Pirit ve kromlu kayaçlarla ağır beton üretilebileceği görüldü.



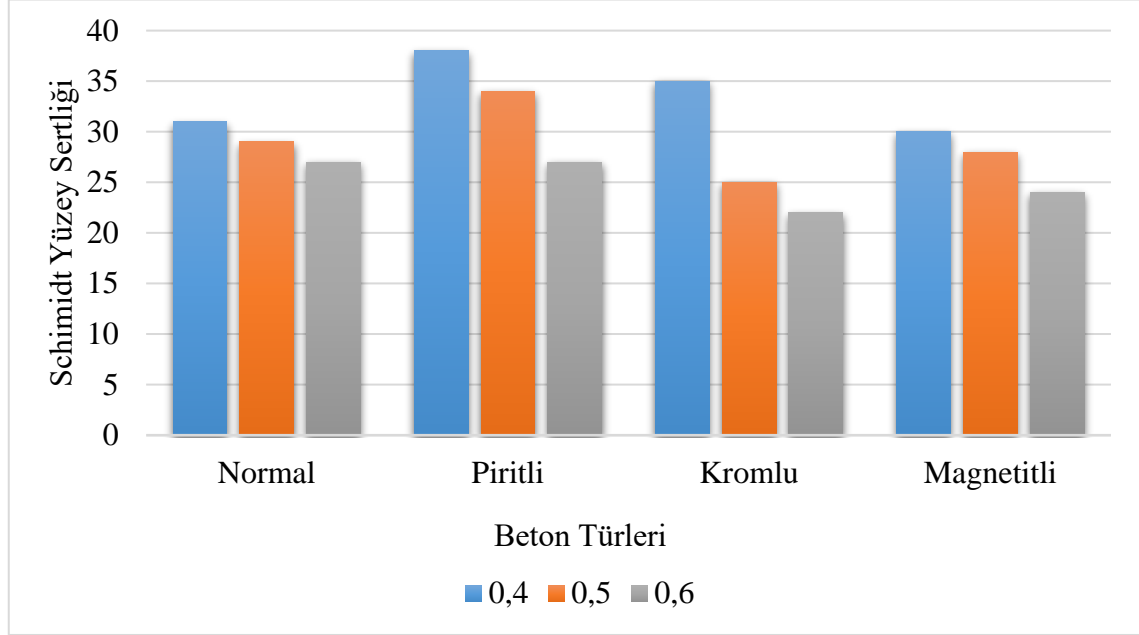
Şekil 26. Betonların taze birim hacim ağırlıkları



Şekil 27. Betonların 15cm'lik küp numunelerden hesaplanan basınç dayanımları

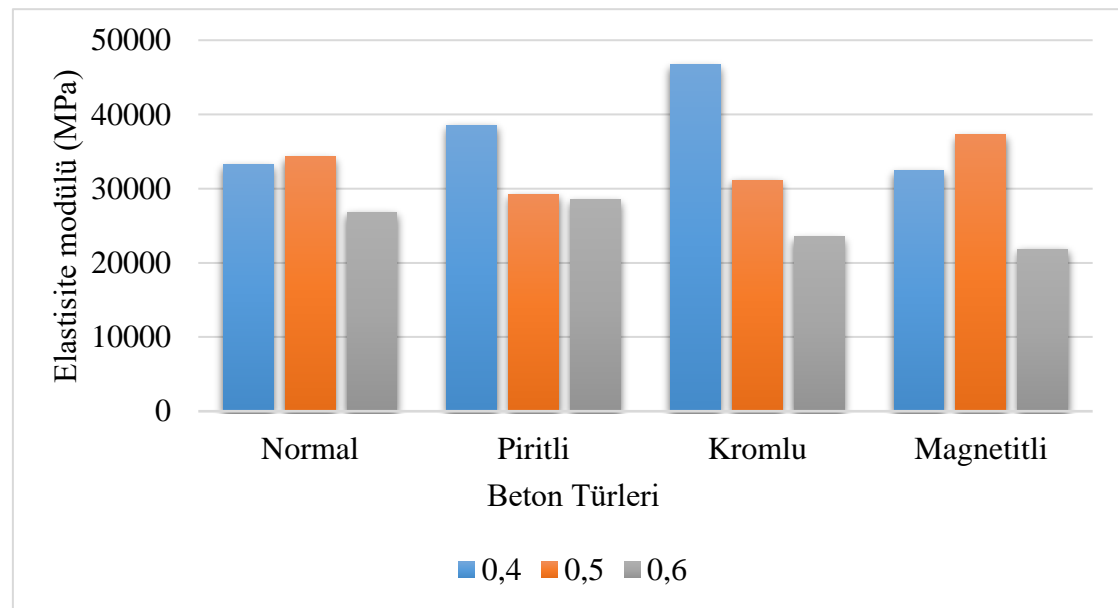
Şekil 27'de 0,4, 0,5 ve 0,6 su/çimento oranına sahip betonlardan elde edilen basınç dayanımları görülmektedir. Betonların su/çimento oranı arttıkça basınç dayanımları azalmaktadır. Şekil 27'de görüldüğü gibi piritli betonlar en yüksek basınç dayanımına sahiptir. Piritli betonları sırasıyla normal agregalı, magnetitli ve kromlu betonlar takip

etmektedir. Tüm su/çimento oranlarında krom agregalı betonların basınç dayanımları en düşüktür.



Şekil 28. Betonların schimidt yüzey sertlikleri

Şekil 28’de betonların yüzey sertlikleri görülmektedir. Su/çimento oranı arttıkça betonların yüzey sertliklerinin azaldığı görülmektedir. Betonların yüzey sertliklerinin Şekil 27’deki basınç dayanımlarına benzer değişim göstermektedir.

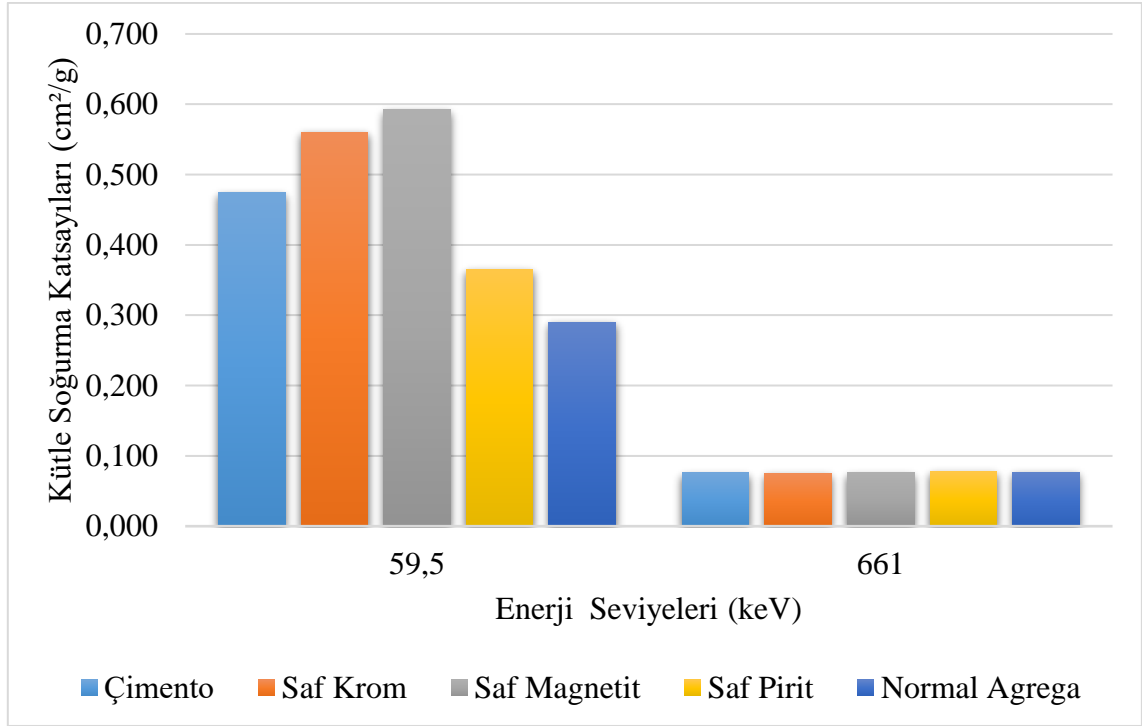


Şekil 29. Betonların sekant elastisite modülleri

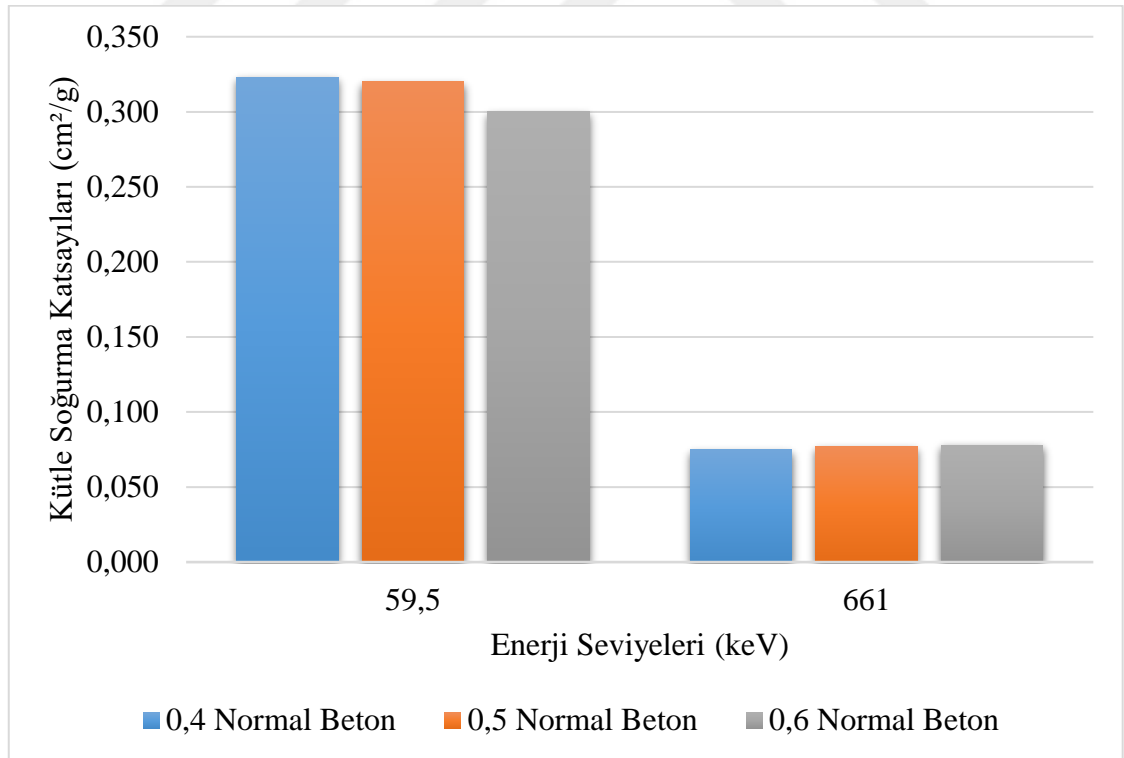
Şekil 29’da normal agregalı, pirit, krom ve magnetit içeren agregalarla üretilen 90 günlük betonlardan deneysel olarak ölçülen sekant elastisite modülleri görülmektedir. Deneysel ölçüm sonucu bulunan secant elastisite modülleri betonların su/çimento oranı azaldıkça artmaktadır. Ancak betonlardaki su/çimento oranındaki azalmaya bağlı beton basınç dayanımlarındaki artış deneysel elastisite modüllerinin ölçümünde bazı betonların elastisite modüllerinin hesaplanmasında farklılığa neden olmaktadır. Şekil 29’daki 0,4 su/çimento oranına sahip betonun elastisite modülü 0,5 su/çimento oranına sahip normal betonun elastisite modülünden az çıkmıştır. Yine Şekil 29’da 0,4 su/çimento oranına sahip magnetitli betonun elastisite modülü 0,5 su/çimento oranına sahip elastisite modülünden düşük çıkmıştır. Deneysel olarak betonların elastisite modüllerinin ölçümü oldukça hassas olmakta ve burda belirtildiği şekilde farklılıklara rastlanabilmektedir. Normal ağırlıktaki betonların elastisite modülü TS 500’e göre,

$$E_{cj} = 3250\sqrt{f_{ckj}} + 14000 \quad (12)$$

Bu denkleme göre çalışmada üretilen betonların elastisite modüllerini hesapladığımızda 0,40 su/çimento oranlı normal betonun elastisite modülü 34000 MPa, piritli betonun 34000 MPa, kromlu betonun 31000 MPa, magnetitli betonun 32000 MPa, 0,50 su/çimento oranlı normal betonun elastisite modülü 30000 MPa, piritli betonun 33000 MPa, kromlu betonun 27000 MPa, magnetitli betonun 28000 MPa, 0,60 su/çimento oranlı normal betonun elastisite modülü 28000 MPa, piritli betonun 29000 MPa, kromlu betonun 26000 MPa, magnetitli betonun 27000 MPa olarak hesaplanmaktadır. Deneysel çalışmalardan elde edilen elastisite modüllerinin TS 500’de önerilen formülden hesaplanan elastisite modüllerine yakın değerler oldukları görülmüştür.



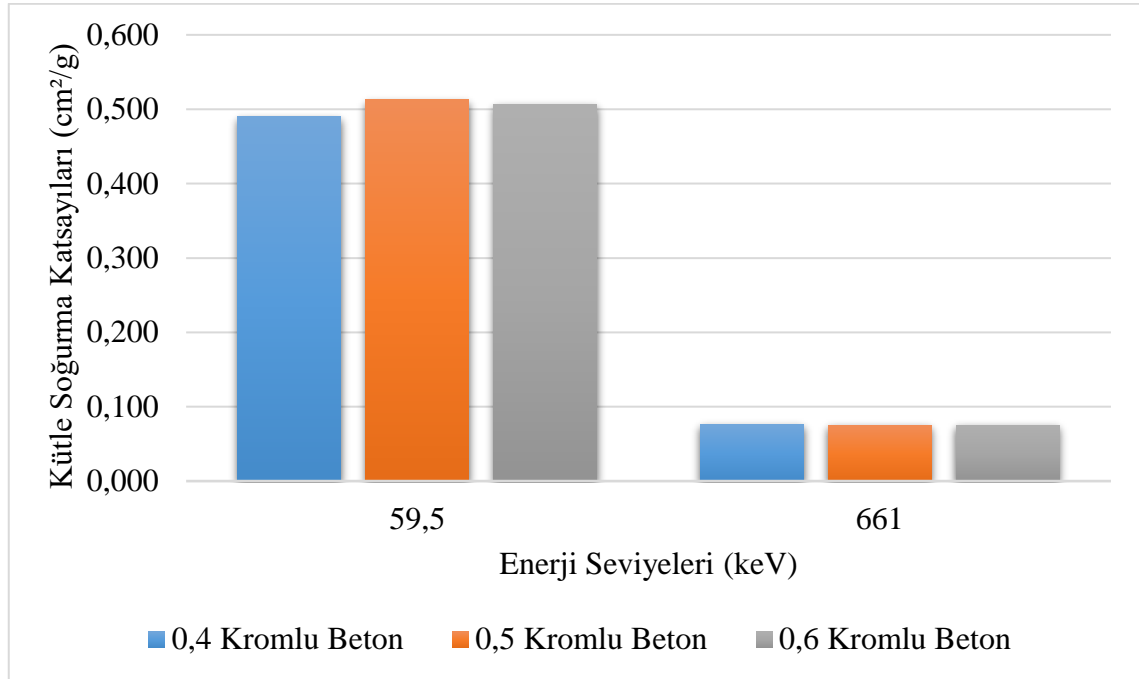
Şekil 30. Karışımında kullanılan malzemelerin değişik enerji seviyelerine göre kütle soğurma katsayıları



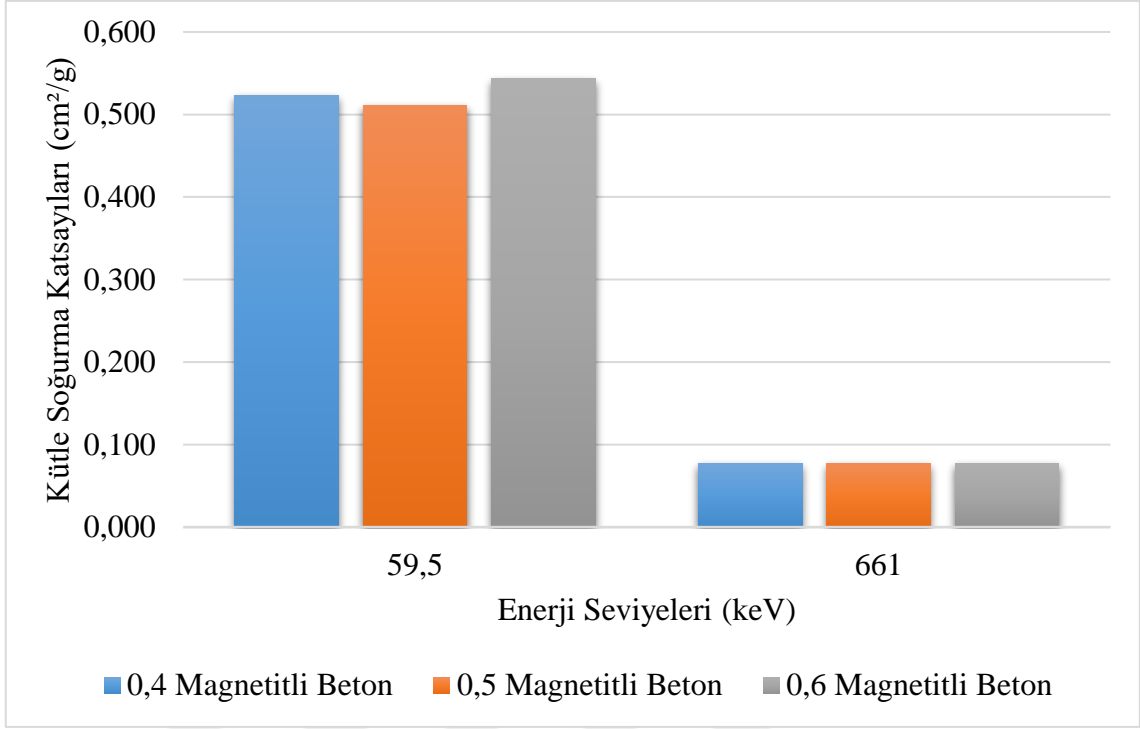
Şekil 31. 0,40-0,50 ve 0,60 su/çimento oranlı normal betonların değişik enerji seviyelerine göre kütle soğurma katsayıları

Şekil 30’da beton karışımlarında kullanılan saf malzemelerin 59,5 ve 661 keV enerji seviyelerinde deneysel olarak ölçülen kütle soğurma katsayıları görülmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere, yüksek enerjide soğurma katsayısının düştüğü gözlemlenmiştir. Buna ilaveten, beton numunelere yapılan katkı malzemelerinin kütle soğurma katsayıları kendi aralarında karşılaştırıldığında en yüksek soğurma katsayısına sahip malzemenin magnetit cevheri olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebi olarak katkı malzemesi olan magnetitin yoğunluğunun diğer malzemelere göre yüksek olması olarak yorumlanmıştır (Baltaş, 2012).

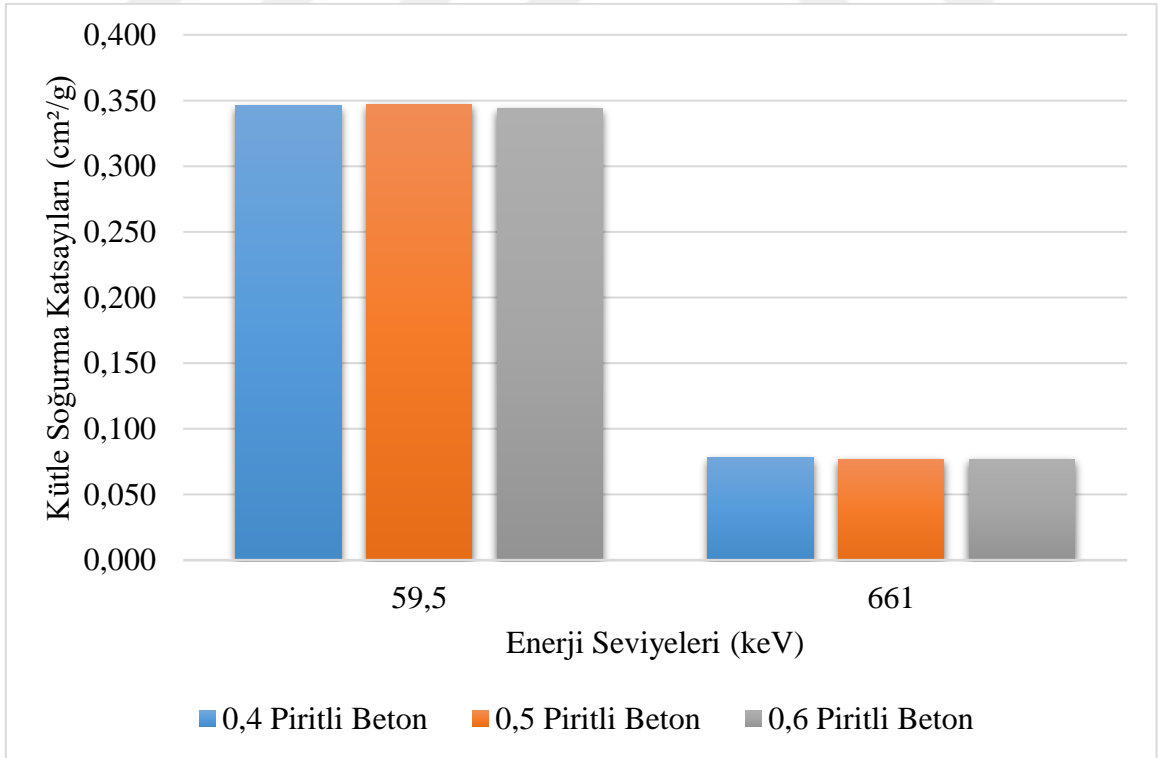
Şekil 31’de 0,40, 0,50 ve 0,60 su/çimento oranına sahip normal betonların 59,5 ve 661keV enerji seviyelerinde deneysel olarak ölçülen kütle soğurma katsayıları değerlerinin değişimi görülmektedir. Bu sonuçlardan artan enerji ile soğurma katsayısının azaldığı gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra artan su/çimento oranı değişimine bağlı olarak soğurma katsayısında herhangi bir artan veya azalan ilişki gözlemlenmemiştir. Şekil 23-25’te verilen yoğunluk değişimlerin de görüldüğü üzere, üretilen malzemelerin yoğunlukları arasında yoğunluk farklarının soğurma katsayılarını değiştirecek kadar yüksek olmaması ile açıklanabilir.



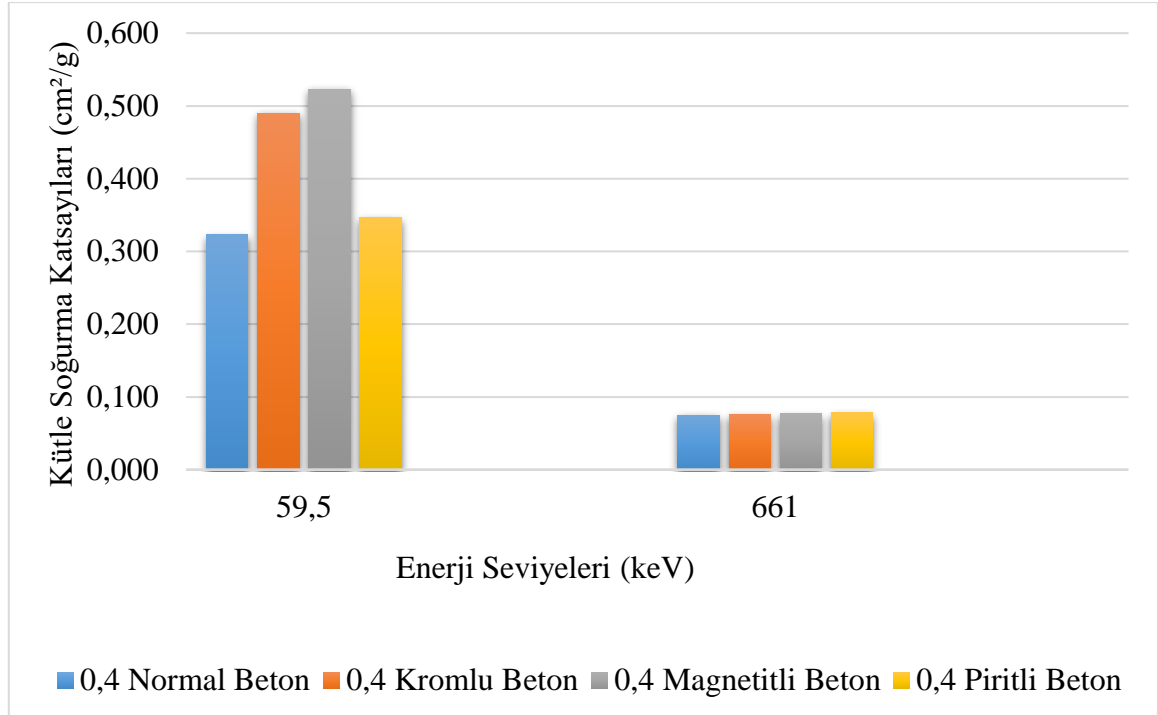
Şekil 32. 0,40, 0,50 ve 0,60 su/çimento oranlı kromlu betonların değişik enerji seviyelerine göre kütle soğurma katsayıları



Şekil 33. 0,40, 0,50 ve 0,60 su/çimento oranlı magnetitli betonların değişik enerji seviyelerine göre kütle soğurma katsayıları

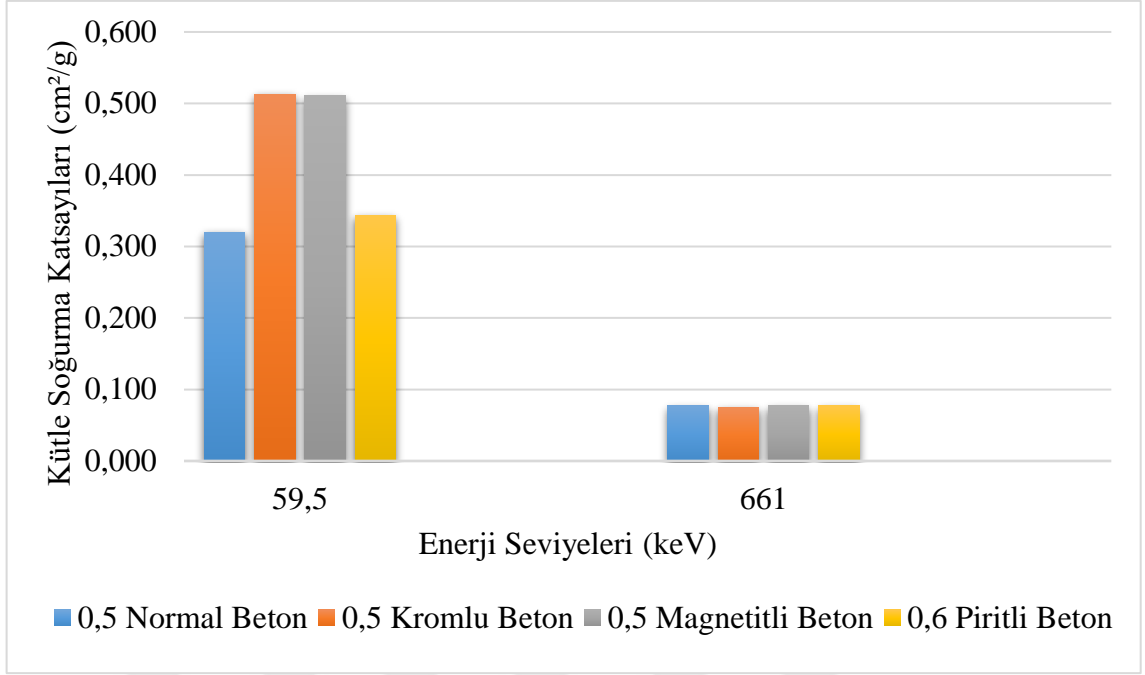


Şekil 34. 0,40, 0,50 ve 0,60 su/çimento oranlı piritli betonların değişik enerji seviyelerine göre kütle soğurma katsayıları



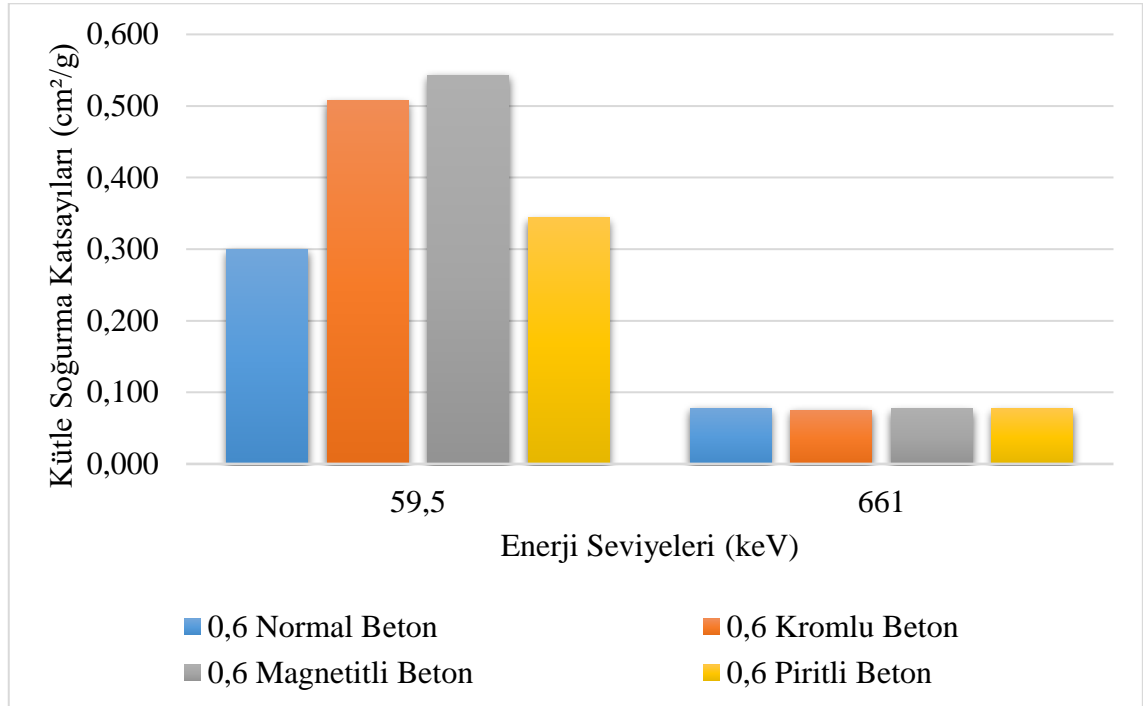
Şekil 35. 0,40 su/çimento oranına sahip normal, krom, magnetit ve pirit agregalı betonların değişik enerji seviyelerine göre kütle soğurma katsayıları

Şekil 31-35'de artan enerji ile kütle soğurma katsayılarının azaldığı gözlemlenmiştir. Aynı su/çimento oranlarına betonların birbiri ile karşılaştırıldığında soğurma katsayısı en yüksek olan betonun magnetit agregalı beton olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 36. 0,50 su/çimento oranına sahip normal, krom, megnetit ve pirit agregalı betonların değişik enerji seviyelerine göre kütle soğurma katsayıları

Şekil 36’da, 0,50 su/çimento oranlı normal, kromlu, megnetitli ve piritli betonlarda magnetitli ve kromlu betonların en fazla soğurmayı yaptığı görülmektedir.



Şekil 37. 0,60 su/çimento oranına sahip normal, krom, megnetit ve pirit agregalı betonların değişik enerji seviyelerine göre kütle soğurma katsayıları

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

1. Pirit, krom ve magnetit mineralleri ağır beton üretiminde kullanılabilir. Bu minerallerin betonun basınç dayanım özellikleri üzerinde olumsuz bir etkisi olmamaktadır.

2. Su miktarı sabit tutularak çimento miktarı azaltılarak su/çimento oranının artırılması özgül ağırlığı çimentodan düşük agrega kullanılan betonlarda betonun birim hacim ağırlığını azaltmakta, özgül ağırlığı çimentodan fazla olan agrega kullanılması durumunda betonun yoğunluğunu arttırmaktadır.

3. Su/çimento oranı aynı olan betonlarda farklı özgül ağırlığa sahip agrega kullanımının betonun elastisite modülü üzerinde bir etkisi olmamaktadır.

4. Yoğunluğu fazla olan betonlar radyasyonu daha fazla soğurmaktadır. Su miktarı sabit tutulup su/çimento oranı artırılan ağır betonların basınç dayanımı azalmıştır.

5. Çalışmada betonun basınç dayanımı ile radyasyon soğurması arasında bir ilişki yoktur. Betonun basınç dayanımının yüksek olması betonun radyasyon kütle soğurma katsayısının yüksek olacağı anlamına gelmemektedir.

6. Enerji seviyeleri arttıkça betonların kütle soğurma katsayılarını azalmaktadır.

7. Betonun birim hacim ağırlığı arttıkça soğurma katsayısı artmaktadır. Çalışmada üretilen betonlarda en yüksek radyasyon soğurma katsayısı magnetitli agrega ile üretilen betonlarda elde edilmiştir.

8. Yoğunluğu fazla olan doğadaki farklı kayalardan elde edilen agregalarla üretilen yeni beton malzemelerin soğurma katsayısı değişimleri incelenip nükleer santraller, tıp ve insanların yaşam alanlarında radyasyondan korunmak amaçlı kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Akgün, Y., Durmuş, A. ve Durmuş, A., 2007.** Barit Agregasıyla Üretilen Ağır Bir Betonun Özellikleri. 7. Ulusal Beton Kongresi, ss.465-474
- Akyüz, S., 1977.** Gamma Işınlardan Korunmada Barit Agregalı Ağır Beton. İTÜ Dergisi, Cilt 35, Yıl 35, Sayı 5, Sayfa 59-69.
- Alwaeli, M., 2017.** Investigation of gamma radiation shielding and compressive strength properties of concrete containing scale and granulated lead-zinc slag wastes. Journal of Cleaner Production 166,157-162.
- Apaydın, A., 2015.** Samsun-Artvin Arası Frakı Noktalarda Alınan Sediment Örneklerinde Element ve Radyoaktivite Analizleri. Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 61s.
- Baltaş, H., 2006.** YBaCuO VE BiPbSrCaCuO Süper İletkenlerinin Soğurma Katsayılarının İncelenmesi. Doktora Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 89s.
- Baradan, B., Yazıcı, H. ve Aydın, S., 2015.** Beton. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Yayınları No:334
- Ersoy, U., 1985.** Betonarme. Evrim Yayınevi
- Esen, Y. and Doğan, Z.M., 2018.** Investigation of usability of limonite aggregate in heavy-weight concrete production. Progress in Nuclear Energy 105,185–193
- Esen, Y. and Doğan, Z.M., 2017.** Evaluation of physical and mechanical characteristics of siderite concrete to be used as heavy-weight concrete. Cement and Concrete Composites 82,117-127
- Yang, K.H., Jae-Sung Munb, J.S. and Shim, H.J., 2013.** Shrinkage of heavyweight magnetite concrete with and without fly ash. Construction and Building Materials, 47, 56–65
- Saidani K., Ajam, L. and Ouezdou, M.B., 2015.** Barite powder as sand substitution in concrete: Effect on some mechanical properties, Construction and Building Materials 95,287–295
- Kılınçarslan, S., Akkurt, İ. and Başyigit, C., 2006.** The effect of barite rate on some physical and mechanical properties of concretes. Materials Science and Engineering A 424,83–86
- Obaid, S.S., Gaikwad, D.K. and Pawar, P.P., 2018.** Determination of gamma ray shielding parameters of rocks and concrete. Radiation Physics and Chemistry 144,356–360.

- 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
- Özen, S., Sengül, C., Erenoğlu, T., Çolak, Ü., Reyhancan, İ.A. ve Taşdemir, M.A., 2016.** Properties of Heavyweight Concrete for Structural and Radiation Shielding Purposes. *Arab Journal Science Engineering*, 41, pp. 1573–1584.
- Özturan, T., 2013.** Özel Betonlar. Hazır Beton Kongresi, Temmuz, ss. 70-83
- Palankar, N., Shankar, A.U.R. and Mithun, B.M., 2016.** Durability studies on eco-friendly concrete mixes incorporating steel slag as coarse aggregates. *Journal of Cleaner Production* 129, 437-448.
- Panda, C.R., Mishra, K.K., Panda, K.C., Nayak, B.D. and Nayak, B.B., 2013.** Environmental and technical assessment of ferrochrome slag as concretes aggregate material. *Construction and Building Materials* 49,262–271.
- Sales, M.A.G. and Andrade, N., 2017.** Blasted copper slag as fine aggregate in Portland cement concrete. *Journal of Environmental Management* 196, 607-613.
- Sharifi, Sh., Bagheri, R. and Shirmard, S.P., 2016.** Comparison of shielding properties for ordinary, barite, serpentine and steel–magnetite concretes using MCNP-4C code and available experimental results
- Topçu, İ.B. ve Uğurlu, A., 2012.** Barit ile üretilmiş ağır betonlar üzerine bir çalışma. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, ss. 51-57
- Topçu, İ.B., 2006.** Beton Teknolojisi. Eskişehir
- TS EN 206, 2017.** Beton- Özellik, imalat ve uygunluk. Türk Standardı, Ankara
- TS EN 1097-3, 1999.** Agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri için deneyler. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS ISO 3310-2, 2015.** Deney elekleri - Teknik özellikler ve deneyler - Kısım 2: Delikli metal levhalı deney elekleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS 802, 2016.** Beton karışım tasarımı hesap esasları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS 500, 2000.** Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- Turhan, Y.E., 2003.** Beton. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim Yayını, Ankara
- Quda, A., 2015.** Development of high-performance heavy density concrete using different aggregates for gamma-ray shielding. *Progress in Nuclear Energy* 79, 48-55

Waly, E.S.A. and Bourham, M.A., 2015. Comparative study of different concrete composition as gamma-ray shielding materials. *Annals of Nuclear Energy* 85, 306–310.

Yılmaz, E., Baltaş, H., Kiriş, 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, 204-2212.

Yılmaz, E., 2011. Bazı İnşaat Malzemelerinde Gama Işını Soğurma Katsayısı ve Nötron Soğurma Tesir Kesitinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Rize Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Rize, Türkiye, 70s.



ÖZGEÇMİŞ

Mustafa DEMİRCİ, 21.03.1977 tarihinde Rize’de doğdu. İlköğretimi 1989 yılında Rize İlinde Çay İlkokulu’nda, Ortaöğretimi 1992 yılında Rize İlinde Çay Ortaokulu’nda ve Lise öğretimini 1995 yılında Rize İlinde Mimar Sinan İnşaat Teknik Lisesi’nde tamamladı. 1996 yılında başladığı lisans eğitimini 2000 yılında Abant İzzet Baysal Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Öğretmenliği Bölümü’nde tamamladı. 2015 yılında Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda başladığı yüksek lisans öğrenimini halen devam ettirmektedir. Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulunda Öğretim Görevlisi olarak 2005 yılından itibaren görevine devam etmektedir. Mustafa DEMİRCİ, evli ve 2 çocuk babasıdır.