



T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**KURŞUN MADEN ATIĞI KATKILI AĞIR BETONLARIN RADYASYON
SOĞURMA KATSAYILARININ 662-1460 KEV ENERJİ ARALIĞINDA
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EMİR BAKIRHAN

**MAYIS 2017
GÜMÜŞHANE**

**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KURŞUN MADEN ATIĞI KATKILI AĞIR BETONLARIN RADYASYON
SOĞURMA KATSAYILARININ 662-1460 keV ENERJİ ARALIĞINDA
İNCELENMESİ**

YÜKSEL LİSANS TEZİ

EMİR BAKIRHAN

**Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
“İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı”
Yüksek Lisans Programında Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 09.05.2017

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 26.05.2017

MAYIS 2017



KABUL ve ONAY




Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÇULLU danışmanlığında EMİR BAKIRHAN tarafından hazırlanan “KURŞUN MADEN ATIĞI KATKILI AĞIR BETONLARIN RADYASYON SOĞURMA KATSAYILARININ 662-1460 keV ENERJİ ARALIĞINDA İNCELENMESİ” isimli bu çalışma jürimiz tarafından Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak Oy Birliği ile kabul edilmiştir.

Başkan


: Doç. Dr. Necati ÇELİK

Üye (Danışman)



: Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÇULLU

Üye


: Yrd. Doç. Dr. Ömer CAN

ONAY

Bu tez ~~21/01/20~~ tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.


Doç. Dr. Ferkan SİPAHİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tez çalışması 3501 proje kodlu TÜBİTAK Kariyer Geliştirme Programı projeleri kapsamında desteklenmiştir.

Proje no: 113M317

TEZ BEYANNAMESİ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlamış olduğum **“Kurşun Maden Atığı Katkılı Ağır Betonların Radyasyon Soğurma Katsayılarının 662-1460 Kev Enerji Aralığında İncelenmesi”** isimli tez çalışmasında; bütün bilgi ve belgeleri genel akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel ve yazılı bütün bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak hazırlayıp sunduğumu, başka kaynaklardan yararlandığım bilgileri metin ve kaynaklarda eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma süresince bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksi durumda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 09.05.2017.

Emir BAKIRHAN

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KURŞUN MADEN ATIĞI KATKILI AĞIR BETONLARIN RADYASYON SOĞURMA KATSAYILARININ 662-1460 keV ENERJİ ARALIĞINDA İNCELENMESİ

Emir BAKIRHAN

Gümüşhane Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÇULLU

2017, 90 sayfa

Bu çalışmanın amacı; kurşun cevherinin çıkarıldığı kurşun madeninde, içerisindeki kurşun miktarının işlenmesinin ekonomik olmamasından dolayı, maden ocaklarında depolanan ve çevresel olumsuz etkileri olan kurşun madeni atığı kayalardan elde edilen agregalar ile üretilen betonların radyasyon zırlama özelliğinin araştırılmasıdır. Bu kapsamda radyasyon zırlama betonu olarak kullanılacak ağır betonlar üretilmiştir.

Üretilen bu betonlarda kurşun madeni atıkları, Manyetit, Limonit, Barit gibi ağır agregalar ile %25, %50 ve %75 oranında yer değiştirilerek C16/20, C25/30 ve C35/45 beton dayanım sınıflarında örnekler hazırlanmıştır. Radyasyon soğurma katsayısını belirlemek amacıyla 20x20x5cm ebadında hazırlanan beton plaklarla 662 keV, 1173 keV, 1332 keV ve 1460 keV enerji seviyelerinde soğurma katsayıları tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ağır Agregası, Ağır Beton, Kurşun Maden Atıkları, Kütle Soğurma Katsayısı, Radyasyon Zırhlama



ABSTRACT

MS THESIS

**THE EXAMINATION OF THE RADIATION ABSORPTION COEFFICIENTS OF
HEAVY WEIGHT CONCRETE WITH MINE WASTE ADDITIVES WITHIN 662-
1460 keV ENERGY INTERVAL**

Emir BAKIRHAN

Gümüşhane University

The Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Mustafa ÇULLU

2017, 90 pages

The aim of this study is to observe the radiation shielding efficiency of concrete produced using the mine wastes that are stored in the lead mines processing of which is not financially viable in the mines they are extracted and that have negative effects on environment. Within this scope, concretes that would be used as radiation shield concretes were produced. The samples produced were prepared by alternating the amount of heavy aggregates such as mine wastes, Magnetite, Limonite, and Barite at 25%, 50%, and 75% rates, and concrete samples were prepared in C16/20, C25/30, and C35/45 concrete strength

classes. In order to determine the radiation absorption coefficient, absorption coefficients at 662 keV, 1173 keV, 1332 keV, and 1460 keV energy levels were determined by concrete slabs at 20x20x5cm size.

Keywords: Heavy Aggregate, Heavy Concrete, Mine Wastes, Linear Attenuation Coefficient, Radiation Shielding



TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışmada bilgi, deneyim ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÇULLU'ya tüm içtenliğimle teşekkür ederim.

Deneyimlerini benimle paylaşan kıymetli hocam, Fizik Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerinden Doç. Dr. Necati ÇELİK'e teşekkürü borç bilirim.

Çalışmam boyunca maddi manevi desteğini esirgemeyen anneme, babama, abime, kardeşime ve İsa KELEŞ'e teşekkür ederim.

Maden atıklarının temininde katkılarından dolayı Gümüştaş Madencilik A.Ş.' ne teşekkür ederim.

TÜBİTAK 3501 proje kodu ve 113M317 proje numarası ile maddi olarak destekleyen TÜBİTAK Başkanlığına teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET	IV
ABSTRACT	VI
TEŞEKKÜR	VIII
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
TABLolar DİZİNİ.....	XIV
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Ağır Beton.....	3
2.1.1. Tanım ve Önemi.....	3
2.1.2. Radyasyona Karşı Koruyucu Malzeme Olarak Beton	4
2.1.3. Malzemeler ve Karışım Oranları.....	5
2.1.4. Üretimi ve Yerleştirilmesi.....	7
2.1.5. Önemli Özellikleri.....	7
2.2. Ağır Agregalar	8
2.2.1. Limonit.....	15
2.2.2. Barit.....	16
2.2.3. İlmenit	17
2.2.4. Hematit.....	17
2.2.5. Kolemanit.....	18
2.2.6. Manyetit	18
2.2.7. Ferrofosfor	19
2.2.8. Çelik saçma ve parçaları	19
2.3. Radyasyon ve Özellikleri.....	20

2.3.1.	Radyasyon ve Radyoaktivite.....	20
2.3.2.	Radyasyon Kaynakları	23
2.3.3.	Radyoaktif Işıma Türleri	27
2.3.4.	Radyoaktif Yarılanma Süreleri	29
2.3.5.	Radyoaktivite Ölçümleri ve Birimleri.....	29
2.3.6.	Radyasyonun Soğurulması ve Madde İle Etkileşimi	31
2.3.7.	Kütle Azalma Katsayısı ve Soğurma Kıyıları.....	34
2.3.8.	Radyasyondan Korunma ve Yöntemleri	38
3.	MATERYAL VE METOD	42
3.1.	Materyal	42
3.1.1.	Agregalar.....	42
3.1.2.	Çimento.....	48
3.1.3.	Karışım Suyu.....	48
3.2.	Metod	48
3.2.1.	Beton Örneklerinin Üretimi	48
3.2.2.	Radyasyon Soğurma Tayini	52
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	54
4.1.	Manyetit-Pasa Radyasyon Soğurma Katsayısı	54
4.2.	Limonit-Pasa Radyasyon Soğurma Katsayısı	62
4.3.	Barit-Pasa Radyasyon Soğurma Katsayısı.....	70
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	80
6.	KAYNAKLAR.....	86
7.	ÖZGEÇMİŞ.....	90

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.Limonit görünümü (URL-6).....	16
Şekil 2.2. Barit görünümü (URL-7 ve URL-8)	16
Şekil 2.3. İlmenit görünümü (URL-10 / URL-11)	17
Şekil 2.4. Hematit görünümü (URL-12 / URL-13)	17
Şekil 2.5. Kolemanit görünümü (URL-14 / URL-15)	18
Şekil 2.6. Manyetit görünümü (URL-16 / URL-17).....	19
Şekil 2.7. Ferrofosfor görünümü (URL-18 / URL-19).....	19
Şekil 2.8. Çelik saçma ve parçaların görünümü (URL-20 / URL-21).....	20
Şekil 2.9. Elektromanyetik spektrum	22
Şekil 2.10. İyonizan radyasyon.....	23
Şekil 2.11. Radyasyon kaynakları	24
Şekil 2.12. Doğal radyasyonun kaynaklarının dağılımı	26
Şekil 2.13. Yapay radyasyon dağılım oranları	27
Şekil 2.14. Foto elektrik olayı	32
Şekil 2.15. Compton olayı	33
Şekil 2.16. Çift oluşumu olayı	34
Şekil 2.17. γ - veya X- ışınlarının t kalınlıktaki bir numunede azaltılması	35
Şekil 2.18. Pb için gelen foton enerjisinin fonksiyonu olarak kütle azaltma katsayısı	37
Şekil 2.19. U'un kütle azaltma katsayısının dalga boyuna bağlı değişimi	37
Şekil 2.20. Radyasyondan korunma yöntemleri	39
Şekil 3.1. Çeneli kırıcı ve elek sarsma makinası	42
Şekil 3.2.Gümüştaş maden sahası jeolojik haritası (Güven, 1993)	44
Şekil 3.3.Çeneli kırıcıda kırılmış sınıflarına ayrılmış kurşun madeni atıkları.....	44
Şekil 3.4. Manyetit maden sahası jeolojik haritası	45

Şekil 3.5. Çeneli kırıcıda kırılmış sınıflarına ayrılmış manyetit kayacı	46
Şekil 3.6. Çeneli kırıcıda kırılmış sınıflarına ayrılmış limonit kayacı.....	46
Şekil 3.7. Barit agregasının temin edildiği kara Mustafa köyü jeolojik haritası	47
Şekil 3.8. Çeneli kırıcıda kırılmış sınıflarına ayrılmış barit agregası	47
Şekil 3.9. Düşey eksenli cebri karıştırmalı mikser	51
Şekil 3.10. Radyasyon zırhlama beton deney plakları.....	52
Şekil 3.11. Radyasyon zırhlama deney düzeneği	53
Şekil 4.1. Manyetit-pasa agregası ile hazırlanan beton örneklerin 662 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değerleri	54
Şekil 4.2. Manyetit-pasa agregası ile hazırlanan beton örneklerin 662 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi.....	55
Şekil 4.3. Manyetit-pasa agregası ile hazırlanan beton örneklerin 1173 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değerleri	56
Şekil 4.4. Manyetit-pasa agregası ile hazırlanan beton örneklerin 1173 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi.....	57
Şekil 4.5. Manyetit-pasa agregası ile hazırlanan beton örneklerin 1332 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değerleri	58
Şekil 4.6. Manyetit-pasa agregası ile hazırlanan beton örneklerin 1332 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi.....	59
Şekil 4.7. Manyetit-pasa agregası ile hazırlanan beton örneklerin 1460 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değerleri	60
Şekil 4.8. Manyetit-pasa agregası ile hazırlanan beton örneklerin 1460 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi.....	61
Şekil 4.9. Limonit-pasa agregası ile hazırlanan beton örneklerin 662 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değerleri	63
Şekil 4.10. Limonit-pasa agregası ile hazırlanan beton örneklerin 662 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi.....	64

Şekil 4.11. Limonit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1173 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değerleri	64
Şekil 4.12. Limonit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1173 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi.....	65
Şekil 4.13. Limonit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1332 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değerleri	66
Şekil 4.14. Limonit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1332 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi.....	67
Şekil 4.15. Limonit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1460 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değerleri	68
Şekil 4.16. Limonit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1460 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi.....	69
Şekil 4.17. Barit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 662 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değerleri	71
Şekil 4.18. Barit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 662 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi.....	72
Şekil 4.19. Barit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1173 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değerleri	73
Şekil 4.20. Barit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1173 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi.....	74
Şekil 4.21. Barit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1332 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değerleri	75
Şekil 4.22. Barit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1332 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi.....	76
Şekil 4.23. Barit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1460 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değerleri	77
Şekil 4.24. Barit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1460 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi.....	78

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Ağır beton üretiminde kullanılan agregalar	6
Tablo 2.2. Önemli primordiyal radyonüklitler ve bazı özellikleri.....	25
Tablo 2.3. Radyoaktif yarılanma süreleri	29
Tablo 3.1. Agregalara ait fiziksel özellikler	42
Tablo 3.2. Beton üretiminde kullanılan agregaların kimyasal özellikleri	43
Tablo 3.3. Çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri	48
Tablo 3.4. TS 802 referans alınarak Kurşun madeni atığı (Pasa) agregası ile üretilen 1m ³ beton için hazırlanmış karışım diyaznı	49
Tablo 3.5. TS 802 referans alınarak Manyetit agregası ile üretilen 1m ³ beton için hazırlanmış karışım diyaznı.....	49
Tablo 3.6. TS 802 referans alınarak Limonit agregası ile üretilen 1m ³ beton için hazırlanmış karışım diyaznı.....	50
Tablo 3.7. TS 802 referans alınarak Barit agregası ile üretilen 1m ³ beton için hazırlanmış karışım diyaznı.....	50
Tablo 3.8. Betonun karışım işlem aşamaları (Gencel, 2009)	51
Tablo 3.9. Beton serilerinin kodlanması ve oransal değişimleri	52
Tablo 4.1. Manyetit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin tüm enerji seviyelerinde radyasyon soğurma katsayısı değerleri.....	62
Tablo 4.2. Limonit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin tüm enerji seviyelerinde radyasyon soğurma katsayısı değerleri.....	70
Tablo 4.3. Barit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin tüm enerji seviyelerinde radyasyon soğurma katsayısı değerleri	79

sağlanır. Günümüzde ağır agrega olarak manyetit, barit, limonit, ferrofosfor ve çelik parçaları sıkça tercih edilmektedir.

Radyasyon zırhlamada temel yöntem, radyasyon kaynağı ile canlı arasına zırhlama malzemesi konulması ile canlıya etki eden radyasyon miktarını azaltmaktır. α ve β ışınlarının başka cisimlere çarpması ile meydana gelen nötron ışınları atom ağırlıkları küçük olan elementler tarafından durdurulabilirler. Ancak X ve γ ışınlarının soğurulması, zırhlamada kullanılacak malzemenin yoğunluğuna bağlıdır. Ağır beton uygulaması ile meydana getirilen zırhlama yöntemi oluşacak zararlı etkileri bu şekilde azaltmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, kurşun cevherinin çıkarıldığı kurşun madeninde, içerisindeki kurşun miktarının işlenmesinin ekonomik olmamasından dolayı, maden ocaklarında depolanan ve çevresel olumsuz etkileri olan kurşun madeni atığı kayaçlarında üretilen betonların radyasyon zırhlamada etkinliğinin araştırılmasıdır.

2. GENEL BİLGİLER

Beton diğer yapı malzemelerine oranla; daha kolay şekil verilebilir, ekonomik ve dayanıklı olması, imalatında daha az enerji harcanması, pek çok yerde üretilebilir ve estetik olması nedeniyle en çok tercih edilen yapı malzemesidir (Binici vd., 2010).

20. yüzyılda sanayinin günden güne gelişmesiyle birlikte enerji gereksiniminin artması insanoğlunu yeni enerji kaynaklarını aramaya mecbur bırakmıştır. Bu enerjilerden en önemlisi olan nükleer enerji, gelişmiş birçok ülkede kullanılmaya başlanmıştır. Nükleer enerjinin kullanıma girmesi ile nükleer reaktörlerde, hastanelerin radyasyon onkolojisi ve radyoloji bölümlerinde, nükleer savaş tehlikesine karşı sığınaklarda, radyoaktif kaynakların bulunduğu ortamlarda ve radyoaktif atıkların saklanması için ağır betonlar radyasyon zırhlama için kullanılmıştır (Demir, 2009).

Nükleer çalışmaların sürdürüldüğü tesislerde beton mukavemetinin yüksek olması istenir ayrıca bununla birlikte radyasyon yayılımından ve olası patlamalardan oluşabilecek yüksek ısıdan korunmak için (Soykan vd., 2013), radyoaktif ışınların kanserojen etkisi sebebiyle insan bedenine vereceği olumsuz etkilerin önüne geçmek ve radyoaktif yapılarda meydana gelebilecek sızıntıları sıfıra indirgeyebilmek adına özgül ağırlığı yüksek agregalar ile üretilen yoğunluğu yüksek ağır betonlar kullanılır. Ağır betonlar, bu niteliklerinin haricinde tasarımındaki farklılıklar sebebiyle de gündelik hayatta sıkça kullanılan diğer betonlardan biraz farklıdır. Ağır beton tasarımındaki en önemli husus, düşük su/çimento oranı, çimento dozajının ise radyoaktif geçirimsizliği sağlayacak yeterlilikte ve aynı zamanda rötreden dolayı meydana gelebilecek çatlakların oluşmasını önlemek için de az olması gerekir (Topçu vd., 2012).

2.1. Ağır Beton

2.1.1. Tanım ve Önemi

Doğal veya yapay agregalar kullanılarak imal edilen ve etüv kurusu özgül ağırlığı 2600 kg/m^3 'den büyük olan betonlar ağır beton olarak adlandırılır. Ağır betonlar geçmişte bazı özel yapıların kayma veya devrilmeye karşı güvenliğini sağlamak amaçlı kullanılırken günümüzde daha çok enerji üretmek amaçlı nükleer enerji santrallerde, sağlık alanında tıp

merkezlerinde ve nükleer araştırma ve deney laboratuvarlarında radyasyona karşı zırh malzemesi olarak kullanılmaktadırlar. Bu amaç için tercih edilebilecek farklı malzemeler olsa da beton ekonomik olması ve bazı avantajları sebebiyle daha fazla tercih sebebi olmaktadır. Normal beton kullanıldığında gerekli soğurma için elemanların kalınlıklarının çok fazla olması gereklidir. Fakat ağır agregalar ile üretilen ve özgül ağırlıkları 3360-3840 kg/m³ arasında olan ağır betonlar ile kalınlıklar ciddi miktarda asgariye indirgenebilmektedir (Özturan, 2013).

2.1.2. Radyasyona Karşı Koruyucu Malzeme Olarak Beton

Radyasyon; dalga, parçacık ya da foton olarak adlandırılan enerji paketleri ile yayılan enerjidir. Radyasyon kaynağı ile canlı arasına zırhlama malzemesi konulmasıyla, canlıya etki edecek radyasyon miktarı azaltılır (Özen vd., 2013).

Radyoaktif ışınlar ve parçacıklar, canlı dokusuna zarar verdiklerinden dolayı kanserojen etkileri olduğu bir gerçektir. Bilindiği üzere nötron parçacığı, X- ve γ -ışınları radyasyon çeşitleri madde içerisinde ilerleyebilme yeteneğindedirler. Ayrıca madde ile atomik ve çekirdek seviyesinde reaksiyona girebilme özelliklerine sahiptirler. Bu nedenle radyoaktif parçacık ve ışınların bir şekilde madde içerisinde durdurulup canlıya nüfus etmesi önlenmesi gerekir (Demir, 2009).

Ağır beton uygulaması ile meydana getirilen zırhlama yöntemi oluşacak zararlı etkileri azaltmaktadır. Bu amaçla günümüzde ağır betonlar, çoğunlukla nükleer santrallerde, tıpta ve radyasyonlu ortamlarda X, γ ve nötron ışınlarına karşı sıklıkla kullanılmakta ve zırhlama olarak adlandırılmaktadır. Bir diğer yaygın kullanılan zırhlama tekniği ise, radyasyona maruz kalan bu bölümlerin duvarlarına kurşun plaklar yerleştirilmesi işlemidir. Ancak, betonun yaygın olarak kullanılması ile diğer zırhlama malzemeleri ile karşılaştırıldığında maliyetinin oldukça düşük olması nedeniyle bu işlemde kullanılması, hem pratik hem de ekonomik olmaktadır. Bu kullanım alanına ek olarak ağır betonlar, batırma tüp tünellerde ve kataner direklerinde ağırlığı artırıp kayma ve devrilmeye karşı ağırlık elemanı olarak kullanılabilirdiği gibi çamaşır makinelerinde meydana gelebilecek titreşimleri sönmek için denge ağırlığı olarak da kullanılmaktadır. Köprü ayakları, baraj gövdeleri ve istinat duvarlarında ağır betonlar yapıların dinamik hareketlerini sınırlayıp rijitliği önemli mertebede arttırmaya yardımcı olmaktadır (Özen vd., 2013).

Betonların birim ağırlıkları arttıkça radyasyon zırhlama özellikleri de o ölçüde artmaktadır. Bu sebepten dolayı birim ağırlığı 2400 kg/m^3 civarında olan normal betonların radyasyon soğurma amacıyla kullanıldığında kalınlıklarının çok büyük olması gerekmektedir. Nükleer santrallerde atom çekirdeklerinin kontrollü bir şekilde parçalandıkları yerlerde α , β , γ , x ve nötron adı verilen ışın ve parçacıklar açığa çıkar. Bu parçacıkların canlıya olumsuz etkilerini asgariye indirmek için bu tarz tesislerde zırh denilen tabakalar oluşturulur. Bu zırhı oluşturmak için en uygun malzeme ağır betonlardır. Atomun parçalanmasından sonra açığa çıkan nötron ışınları hafif elementler tarafından α , β , γ , x ışınları ise ağır elementler tarafından tutulma özelliğine sahiptir (Ünal vd., 2014)

Maddenin içyapısına nüfus etme özelliği fazla olan nötron ışınları ile γ ışınları tehlikelidir. Nötron ışınları atom ağırlıkları küçük elementler, γ ışınları ise doğrudan özgül ağırlığı büyük malzemelerce durdurulabilmektedirler. Bu nedenle ağır betonlar her iki ışına karşı iyi bir izolasyon malzemesi olarak kullanılabilir. Ayrıca bu malzemenin içinde ağırlıkça %50 den fazla miktarda bulunan hidrojen ve oksijen gibi hafif atomlu cisimler nötron ışınlarını pratik koşullar altında durdurmak için yeterli olmaktadır. Diğer taraftan bu betonun içinde bulunan ağır agregalar da γ ışınlarının malzemenin iç kısmına doğru geçişi engellemektedir. Bu sebeple, ağır betonun, radyasyon soğurmada ideal bir malzeme olduğunu söylemek çok doğru bir tespit olacaktır (Akgün vd., 2007).

Nötron ve γ ışınlarını yavaşlatabilme özelliğinin yanı sıra gerekli mekanik özelliklere sahip olan beton, yatırım ve bakım maliyetleri radyasyon soğurma amacıyla kullanılacak diğer malzemelerden daha düşük olduğu için bu amaçla kullanılacak en ideal malzemedir. Karma suyunun bünyesindeki hidrojen ve oksijen gibi hafif atomlu cisimlerin yanında, içerdiği yüksek birim ağırlıklı agregalar ve parçacıklar ile ağır beton yüksek enerjili γ ışınlarını ve nötronları pratik koşullar altında durdurmaya yeterli olmaktadır (Özturan, 2013).

2.1.3. Malzemeler ve Karışım Oranları

TS EN 206 standardına göre özgül ağırlıkları 3.00 'dan büyük olan agregalar ağır agregalar olarak adlandırılmaktadır. TS'de ağır agregalar ile ilgili bir standart yoktur, fakat ASTM C637 ve ASTM C638 standartlarında ağır betonlarda kullanılacak ağır agregalarla ilgili kapsamlı bilgiler verilmektedir (Özturan, 2013).

Ağır betonların imalatında kullanılan ağır agregaların seçilmesi, bileşimlerinin belirlenmesi, üretimleri ve yerleştirilmeleri normal betonlara göre oldukça farklı işlemler ve dikkat gerektirmektedir.

Normal ağırlıktaki bir beton için agregalar temiz olmalı ve çimento matrisi ile gerekli bağı yapabilmek için yabancı kaplamalardan, yağdan ve saf malzemelerden arınmış olmalıdır. Agregalar düz ve uzun parçacıklardan arınmış ve şekil olarak kabaca küp şeklinde olmalıdırlar. Eğer karışımda kullanılan agregaların ağırlıklarında oldukça fazla fark olmuş ise ayrışma ya da çökme olayı meydana gelebilir. Örneğin çelik parçacıkları, silis kumundan yapılmış harç içinde dibe çökerler. Çelik parçalarının kullanıldığı ağır yoğunluklu agregalarda karışımlar katı şekilde tutulmaya çalışılmalıdır. Ağır agregalar, maden cevherlerinde, minerallerde, çelik ve demir-fosfor gibi üretilmiş malzemelerde doğal olarak bulunurlar (Demir, 2009).

Ağır beton üretiminde genel olarak manyetit, limonit, barit, hematit, ilmenit, viterit, geotit, bor minerali gibi doğal agregaların yanı sıra demir saçmaları, kurşun parçacıkları, ferrosilikon ve ferrofosfor gibi yapay agregalar kullanılmaktadır (Tablo 2.1). En yaygın olarak kullanılan baryum sülfat yani barit minerali stabil olması nedeniyle betona olumsuz bir etki yapmaz ve betonun yoğunluğunu 3600 kg/m^3 'e kadar yükseltebilir. Magnetit ve limonit ile üretilen betonların yoğunlukları da $3400\text{--}3600 \text{ kg/m}^3$ arasındadır. Demir parçacıkları tek başlarına ya da diğer ağır agregalar ile kullanıldıklarında betonların yoğunlukları $5500\text{--}6500 \text{ kg/m}^3$ değerlerine kadar çıkabilmektedir.

Tablo 2.1. Ağır beton üretiminde kullanılan agregalar

Agrega	Kimyasal Kompozisyon	Birim Hacim Ağırlık (Kg/m^3)	Kaynak	Özgül Ağırlık
Geotit	$\text{Fe}_2\text{O}_2\text{H}_2\text{O}$	2100-2250	Doğal	3.5-3.7
Limonit	Fe_2O_3 (safsızlık var)	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
Magnetit	Fe_3O_4	2400-3050	Doğal	4.2-5.2
Hematit	Fe_2O_3	2900-3200	Doğal	4.9-5.3
Ferrofosfor	$\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-P}_2\text{O}_3$	3200-4150	Sentetik	5.8-6.8
Demir Çelik Parçaları	Fe	3700-4650	Sanayi Atığı	6.2-7.8

Ağır beton imalatında kullanılan birim ağırlığı yüksek ağır agregaların yanı sıra malzeme karışım oranları, karma süresi ve diğer malzemeler açısından, gündelik hayatta kullandığımız normal betonlardan çok farklı değildirler. Tercih edilen agreganın gradasyonu taze betonda segregasyona neden olmayacak ve sertleşmiş betonun boşluk oranını asgariye indirgeyecek durumda olmalıdır. Gereklili olan en yüksek birim ağırlığı sağlamak ve de taze betonda ayrışmayı önlemek için hem ince hem de iri agreganın yüksek birim ağırlıklı kayaa ve minerallerden olması gerekmektedir. Kırma agregaların geometrik yapısı genel olarak düzgün olmayan Őekillerde ve yüzeyleri çok przli olduğu için taze betonda gerekli kıvamı sağlamak için kumun inceliği arttırılmalı ve imento dozajı 350 kg/m^3 değerinin üzerinde olmalıdır. Süperakışkanlaştırıcı katkı kullanımı ile istenen akışkanlıkta, su/imento oranı 0.40'ın altında ve boşluk oranı ve çatlama riski en düşük düzeyde beton üretmek mümkündür (zturan, 2013).

2.1.4. retimi ve Yerleştirilmesi

Ağır betonlar, taze halde iken işlenebilmesi sorun teşkil edebilmekte ve yerleştirme sırasında segregasyon olabilmektedir. Bu sebeple ağır betonların pompalanabilmesi ya da oluklar ile döküm alanına taşınması ve yerleştirilmesi ancak ve ancak kısa mesafeler ile sınırlıdır. Ayrışma probleminin hallolması için bazı durumlarda prepakt tekniği uygulanabilmektedir. Prepakt tekniği; maksimum doluluğu sağlanmış agregaların kalıp içerisine yerleştirildikten sonra akıcı kıvamdaki imento hamuru veya harcın agrega dolu kalıba enjekte edilmesidir. Ayrıca retimde dikkat edilmesi gereken önemli hususlar arasında karma sürelerinin kısa tutulması, en fazla 25 cm kalınlığında tabakalar halinde dökülmesi, yerleştirme esnasında kısa süreli gli vibrasyon uygulanması ve kalıpların daha rijid olması sayılabilir. Diğer taraftan bazı bor minerali türevleri, çimentonun hidratasyonunu yavaşlatıp priz sürelerini uzatabildiklerinden dolayı kullanımlarında bu durumu göz önünde bulundurmak gerekir (zturan, 2013).

2.1.5. nemli zellikleri

Radyasyona, soğurma amaçlı olarak taşıyıcı olmayan kütle beton duvarlar kullanılması gereken durumda beton basınç dayanımının yaklaşık 14 MPa olması yeterli görülmekteyken, taşıyıcı beton duvarlar kullanılması durumunda ise beton dayanımları 20-35 MPa arasında olması gerekmektedir. Diğer taraftan nükleer enerji santrallerinin beton reaktör silolarında özellikle ağır beton perdeler ve öngermeli beton reaktör siloların

kullanımı tercih edilmektedir. Bu betonlar 0.30-0.35 su/çimento oranında 7 günlük dayanımları 50–65 MPa ve 28 günlük dayanımları ise 60–75 MPa olacak şekilde üretilmelidirler. Ayrıca bu betonların normal şartlarda 70°C ve kaza anında çok daha yüksek sıcaklıklara dayanıklı olacak şekilde üretilmeleri gerekmektedir (Özturan, 2013).

Ağır betonlarda rötre çatlaklarının oluşmaması için;

- Beton dozajının 350 kg'ın altında olmamasına,
- S/Ç oranının 0.50' nin altında olmasına,
- Beton tabaka kalınlığı en fazla 25cm olmalıdır. Sıkıştırımda yüksek frekanslı vibratörler kullanılmalıdır.

Ağır betonun imalatında beton karıştırıcılarının tam kapasite ile doldurulmamaları gerekir. Bu durum karışımda agregaların düzenli dağılım göstermesinin önüne geçer. Ağır betonun hazırlanması aşamasında karma süresi çok önemlidir. Aşırı karma, iri agreganın çökmesine ve dolayısıyla taze betonun segregasyonuna yol açar.

Ayrıca betonda çekme gerilmeleri yüksek olursa, gerilmeler nedeniyle oluşan çatlaklardan radyoaktif sızıntıların olacağı unutulmamalıdır (Coşkun, 2010).

2.2. Ağır Agregalar

Ağır betonları geleneksel betonlardan ayırt eden en önemli husus; üretimlerinde kullanılan agregaların farklı oluşudur. Ağır betonda kullanılan agregaların birim ağırlıklarının geleneksel agregaların birim ağırlıklarına göre daha büyük oluşu ($> 3500 \text{ kg/m}^3$) ağır betonların birim kütlelerinin geleneksel betonların birim kütlelerinden (2800 kg/m^3) daha büyük olmasına sebeptir. Birim ağırlıkları genellikle 2800 kg/m^3 den daha büyük olan betonlara ağır betonlar denilmektedir. Betonların birim ağırlıkları arttıkça radyasyona karşı zırlama özellikleri de o oranda artmaktadır. Bu nedendir ki; birim kütleleri 2300 kg/m^3 - 2400 kg/m^3 arasında değişen geleneksel betonlarla radyasyona karşı aynı derecede korunabilmek için koruyucu beton perde kalınlığının çok daha büyük olması gerekmektedir (Doğan, 2012).

Betonun birim ağırlığına etki eden faktörler;

- Boşluk miktarının az olması birim ağırlığı artırır.
- Kusurlu malzemenin fazla miktarda olması boşluğu arttırdığından birim ağırlığı düşürecektir.

- Agreganın özgül ağırlığının fazla olması agrega ağırlığının büyük olduğunu gösterir. Dolayısı ile birim ağırlık artar.
- Agregalar kalıba yerleştirilirken sarsıntıya maruz bırakılırsa ve çubukla şişenirse kabı az boşluk bırakarak doldurulur. Bu da birim ağırlıkta artışa neden olur. Birim ağırlığı yüksek bir betonun dayanımı, dayanıklılığı ve taşıma gücü fazladır. Agreganın sıkışma oranı ne kadar yüksek olursa basınç dayanımı ve dış etkilere karşı dayanımı da o kadar yüksek olur.

Ağır agregalar ihtiyaca göre, betonun birim ağırlığını arttırdığından dolayı ağır beton elde etmek için kullanılırlar. Ağır betonlar, radyasyon yayılımının aşırı derecede fazla olduğu nükleer santrallerle, hastanelerde röntgen odaları gibi geçirimsizliği az, kompozitesi yüksek beton üretimi istenen yerlerde kullanılmakla birlikte (Caymaz, 2009) eskiden de olduğu üzere günümüzde bazı yapılarda kaymaya ve devrilmeye karşıda kullanılabilirlerdir.

X, γ ışınları ve nötronlara karşı kalkan oluşturmak amaçlı üretilen betonlarda kullanılan agregaları 3 gruba ayırabiliriz:

- Demir veya baryum içeren doğal ve yapay agregalar,
- Hidratlı doğal agregalar,
- Barit içeren agregalar.

İlk grup yüksek atom numarasına sahip olan ve X ile γ ışınlarını soğurma özelliğine sahip malzemeleri içerir. Bu agregalar genellikle barit, limonit, manyetit, hematit ve ilmenit ile demir cevheri, tufal ve çelikhane cürufu gibi sanayi atıklarıdır. İkinci grup, nötronları zayıflatmada oldukça etkili suyu içeren agregalardan oluşur. Bunun için en uygun element bor, cevher olarakta bor içerikli kolemanit, üleksit ve tinkal agregaları örnek verilebilir. Üçüncü grup, nüfuz etme özelliğine sahip yüksek enerjili γ ışınlarını üretmeyecek şekilde, termal nötronları soğurma özelliğine sahip olan Boron izotopu içeren agregalardır (Özen, 2013).

Özen S. ve arkadaşları 2013 yılında yaptıkları çalışmada, ülkemizde mevcut olan demir cevheri, tufal, iki tür barit ve çelikhane cürufu ağır agregalarıyla betonlar üretmişlerdir. Her bir betonda su/çimento oranı, çimento dozajı, en büyük agrega boyutu ve karışım agregasının granülometrisi sabit tutmuşlardır. Bu çalışmalarını kapsamında; basınç dayanımı, elastisite modülü, yarma-çekme dayanımı gibi mekanik özellikler yanında eğilme etkisinde kırılma davranışı incelemişlerdir. Mekanik özelliklerde en yüksek performans

demir cevheri ve çelikhane cürufu ağır agregalarıyla elde etmelerinin yanında en yüksek kırılma enerjisi değerlerini ise tufal veya çelikhane cürufu ve demir cevheri karışımına sahip betonlarda bulmuşlardır.

Ertaş H. 2014 yılında yaptığı çalışmada, kurşun madeni atıklarından ürettiği betonların radyasyon soğurma etkilerini araştırmıştır. Maden atıklarının, barit ve kireç taşı agregaları ile %25, %50 ve %75 oranında yer değiştirerek C16/20, C25/30 ve C35/45 beton sınıflarında örnekler hazırlamıştır. Hazırladığı beton örnekler üzerinde taze beton deneyleri, beton basınç dayanım deneyi ve radyasyon geçirgenlik deneyleri yapmıştır. Sonuç olarak; Taze haldeki beton örnekleri üzerinde yaptığı deneylerde karışımda planladığı çökme değerlerini sağladığını görmüş, maden atığının beton karışımına giren agrega içerisindeki oranının artışına bağlı olarak basınç dayanımına olumlu etkisi olduğu görülmüştür. Radyasyon soğurma özelliği değerlendirmesinde kurşun maden atığının barit agregaları kadar yüksek oranda radyasyon soğurmamasına rağmen kireç taşı agregalarına göre daha yüksek radyasyon soğurma özelliği olduğunu gözlemlemiştir.

Topçu İ.B ve arkadaşı 2012 yılında yaptıkları çalışmada, barit agregası kullanarak iki farklı çimento ile yedi farklı su/çimento oranında ürettikleri ağır betonların fiziksel ve mekanik özelliklerini tespit etmişlerdir. Vardıkları sonuca göre; ağır betonlar için en uygun su/çimento oranının 0.40 olduğu ve çimento dozajının ise en az 350 kg/m³ fazla olması gerektiği sonucuna varmışlardır.

Yılmaz B. 2009 yılında yaptığı çalışmada, Muş ilinden elde ettiği baritin, betonun başta radyasyon geçirgenliği özelliği olmak üzere mekaniksel ve fiziksel özelliklerine nasıl etki ettiği araştırmıştır. Deneyler sonucunda farklı oranlarda barit agregası kullanarak elde ettiği betonun ağır beton yapımında kullanılabilceği sonucuna varmıştır.

Demir F. 2009 yılında yaptığı çalışmada, X ve γ ışınlarını geçirmemesi için özgül ağırlığı yüksek olan barit cevheri, nötron parçacıklarını durdurmak için ise bor türevli kolemanit cevheri kullanmıştır. Sonuç olarak, yeni karışım oranlarıyla barit agregalı betonların fotonlar için, kolemanit agregalı betonların ise nötronlar için daha iyi soğurgan olduklarını tespit etmiştir.

Coşkun A. 2010 yılında yaptığı çalışmada, ağır betonlarda barit agregası kullanarak ürettiği betonların özellikleri ve betonun radyasyon zırlamasındaki etkisini incelemiştir. Yaptığı deneylerden elde ettiği sonuçlara göre iki farklı su/çimento oranlarında ürettiği numunelerde taşunu miktarını azaltarak karışımların yoğunluklarında artış eğilimi

görmüştür. Ayrıca boşluk miktarlarındaki azalmalarında betonun soğurma miktarlarını arttırdığını görmüştür. Bunun yanında barit kullanarak istenilen basınç dayanımlarını da sağlamıştır.

Akyıldırım H. 2011 yılında yaptığı çalışmada, farklı agregalardan ürettiği dört tip ağır betonun gama radyasyonu zırhlama özelliklerini incelemiştir. Çalışmasında tek tip hafif betonun, olivin kullanılarak üretilmiş tek tip ağır betonun ve farklı oranlarda barit kullanarak ürettiği iki tip ağır betonun gama radyasyonu zayıflatma özelliklerini araştırmış, sonuçları standart zırh malzemesi olan kurşun için elde ettikleriyle karşılaştırmıştır. Ayrıca barit oranının betonların radyasyon zayıflatma özellikleri üzerine etkisi de incelemiştir. Çalışma sonucunda barit içeren ağır betonların gama zayıflatma özellikleri açısından diğer betonlardan üstün olduklarını belirlemiştir. Bununla birlikte, beton içindeki artan barit oranının zayıflatma özelliklerini olumlu yönde etkilediğini gözlemiştir.

Molla T. 2011 yılında yaptığı çalışmada, alpaka ve yangına dayanıklı ithal kumaş olmak üzere iki tür kumaş üzerine sıvama işlemi yapmıştır. Elde ettiği kumaşların radyasyon tutuculuk özelliklerini iki farklı yöntemle incelemiştir. Bunlardan ilki röntgen filmlerinin çekilmesi ve elde edilen dijital röntgen filmlerinin görüntü işleme programıyla analiz edilmesi, diğeri ise Co₆₀ radyasyon kaynağıyla deney yaparak kumaşların radyasyon tutuculuk özelliklerinin belirlenmesidir. Yaptığı çalışmalar sonucunda barit sıvanmış kumaşların normal kumaşlara göre radyasyon tutuculuk özelliği kazanmış olduğunu görmüştür.

Doğan Z. M 2012 yılında yaptığı çalışmada, Malatya ili Hekimhan ilçesinde çıkarılan Siderit ve Limonit madenini farklı oranlarda beton karışımına ilave ederek elde ettiği betonlarda bazı mekaniksel, fiziksel ve durabilite özellikleri incelemiştir. Yine bu karışımlardan elde ettiği beton numuneler üzerinde radyasyon geçirimsizliğini test etmek için nötron ve proton ışınları vermiş ve farklı kalınlıklarda geçirimsizliklerini araştırmıştır. Sonuç olarak Siderit agregasıyla farklı oranlarda ürettiği betonlarda yaptığı deneylerde Siderit agregası ile ürettiği betonları yüksek dayanım istenen; istinat duvarları, baraj dolguları, köprü ayakları gibi yapılarda kullanılabilmesi gibi radyoaktif madde kullanılan ve nükleer ışımaya maruz yapılarda hem taşıyıcı sistem hem de zırhlama malzemesi olarak kullanılabilmesi sonucuna varmıştır. Limonit agregası kullanarak ürettiği betonlar ise düşük çekme ve dayanım değerleri sebebiyle yüksek mukavemet istenen yapılarda kullanılmaması gerektiği fakat radyasyon geçirimsizlik değerlerinin düşük olması sebebiyle

hastanelerin röntgen odalarında, sığınaklarda, nükleer santrallerde zırhlama malzemesi olarak kullanılabileceği sonucuna varmıştır.

Gençel O. 2009 yılında yaptığı çalışmada, bor içerikli kolemanitin beton agregası olarak kullanılmasıyla ürettiği kolemanit katkılı betonun, fiziksel ve mekanik özellikleri ile birlikte radyasyona karşı bir kalkan olarak kullanılabilirliğini fiziksel ve biyolojik yöntemlerle araştırmıştır. Ürettiği betonlarda kalınlık artışına paralel olarak gama ışınlarını zayıflama yeteneği arttığı tespit ederek kolemanit oranının artmasına paralel olarak gama ışınına karşı zırhlama performansı, betonların yoğunluk ve mekanik özelliklerine paralel azaldığı tespit etmiştir.

Filiz vd. 2008 yılında yaptıkları çalışmada, hematit agregası kullanarak radyasyona karşı kalkan bir beton üretmeyi amaçlamışlardır. Hematitin farklı oranlarda normal agrega ile %10-20-30-40-50 oranlarında yer değiştirilmesiyle ürettikleri 12x12x2cm ebatlarındaki plaklar, hematit oranının artması ile betonların γ ışını yutulma katsayılarını arttırdığı ve hedefledikleri minimum basınç dayanımının üzerinde olduğunu gözlemlemişlerdir.

Ünal O. vd. 2014 yılında yaptıkları çalışmada, barit agregası kullanarak ürettikleri ağır betonların fiziksel ve mekanik özelliklerine filler malzemenin etkisi incelemişlerdir. Genel olarak radyasyona maruz kalınan yerlerde gerekli olan zırhlama için ağır betonlarda ağır agregalar kullanarak betonların özellikleri iyileştirilebilmektedir. Bu amaçla yaptıkları çalışmada üç farklı tane boyutunda barit agregası kullanarak beton numuneler üretmişlerdir. Barit agregası 5-22 mm, 0-5 mm ve 0-0.25 mm'lik üç tane gruba ayrılmış olup s/ç oranı 0.46 olacak şekilde dizayn ettikleri karışımlarda CEM I 42.5 R tipi çimento ile %1.5 oranında yeni nesil süper akışkanlaştırıcı katkısı kullanmışlardır. Ürettikleri numuneler üzerinde birim ağırlık, su emme, schmit çekici, ultra ses hızı, basınç dayanımı deneyleri yaparak beton özelliklerini incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre karışıma kattıkları filler malzeme miktarının azalması ile malzeme özelliklerinde artış eğilimi görmüşlerdir.

Çakı S.İ. 2013 yılında yaptığı çalışmada, deneylerle ağır betonların elastisite modülünün hesaplanmasına yardımcı olacak formüller elde etmeye çalışmıştır. Barit agregası ile üretmiş olduğu ağır beton numunelerinin ultra ses deneyleri, basınç dayanımları, statik elastisite modülü deneyi ve poisson oranları deneyleri yapmıştır. Bulduğu sonuçları, TS 500, ACI ve CEB yönetmeliklerindeki formülleriyle elde ettiği sonuçlarla karşılaştırarak rölatif yaklaşımlar hesaplamıştır. Deneysel çalışması sonucunda baritli ağır betonların birim hacim ağırlığa göre ve ultra ses hızına bağlı olarak hesaplanan elastisite modülünün

sonuçları ile TS 500, ACI ve CEB’de verilen basınç dayanımına göre hesaplanan elastisite modülü değerlerinin birbirine çok yakın olduğunu görmüştür. Bu sebeple barit agregalı ağır betonların TS 500, ACI ve CEB’de verilen basınç dayanımına bağlı elastisite formülünün kullanılarak elastisite modüllerinin hesaplanabileceğini görmüştür.

Mehrnejad R. 2015 yılında yaptığı çalışmada, X ve γ -ışınlarını absorbe etmesi için yoğunluğu yüksek olan barit ve galena maddeleri, nötron parçacıklarını durdurmak için ise bor, bor karbid, galena ve lifler kullanarak bir çalışma yapmıştır. Çalışmasında öncelikle betonların Geant4 kodu ile teorik olarak elde edilmesi şeklinde düşünmüştür. Beton karışım kuralları dikkate alarak beton içerisindeki agrega, çimento ve suyu kimyasal bileşiklerinin konsantrasyon miktarları her bir beton türü için Geant4 Monte Carlo programı kullanarak belli enerjilerde tesir kesiti, yoğunluk ve nötron tutucu kabiliyetleri belirlemiştir. Teorik sonuçlara göre soğurganlık açısından iyi olan beton türleri için deney aşamasına geçmiştir. Hesaplamalarda önemli olan maddeler barit, galena, datolite'dir. Bu maddelere belli oranlarda eklediği bor karbid, bor ve lifler'dir. Çimento olarak CEM I'in kimyasal analiz sonuçları kullanılmıştır. Sonra agrega deneyleri kısmına geçmiş ve bu aşamada elde ettiği sonuçlara göre barit cevheri ve galena cevherinin kullanıldığı toplam beş çeşit beton hazırlamıştır. Su çimento oranı, akışkanlaştırıcı ve çimento dozajının optimum değerleri karma lifli ağır beton açısından ayrıca göz önünde bulundurmıştır. Bu betonlar dayanıma ulaşmaları için yirmi sekiz gün boyunca kür havuz suyunda bekletmiştir. Sonra betonlar 5.5 cm kalınlıklarda kesmiştir. Daha sonra malzemelerin içerisinde bulunan bor, bor karbit ve galena miktarlarının, malzemelerin hızlı nötronları zırlama kabiliyetini nasıl etkilediği araştırmış ve bu malzemelerin nötron zırlama özelliğini artırdığı sonucuna varılmıştır.

Kılınçarslan Ş. vd. 2007 yılında yaptıkları çalışmada, belirledikleri oranlarda barit ve normal agrega kullanarak C20, C30 ve C40 dayanım sınıflarında betonlar üretmişlerdir. Elde ettikleri betonların fiziksel ve mekanik özellikleri ile radyasyon soğurma katsayılarını bulmuşlardır. Beton bileşimleri ve agregadaki barit oranının değişiminin beton dayanım değerlerini ve lineer soğurma katsayılarının değişimini incelemişler ve hangi oranlarda değiştirdiği istatistiksel analizler ile belirlemişlerdir. Çalışmaları sonunda normal agrega yerine barit kullanılması sonucunda ve barit oranındaki artış ile lineer soğurma katsayısının arttığını, fiziksel ve mekanik dayanımlarda ciddi değişim olmadığını belirlemişlerdir.

Kılınçarslan Ş. vd. 2011 yılında yaptıkları çalışmada, ürettikleri betonarme modellerde basınca dayanıklılık, esneklik dayanıklılığı ve elastisite modülleri ölçüm

deneyleri yapmışlardır. Elde ettikleri deneylerin sonuçları BS40 sınıfıyla uyumlu ve TS 500'de bulunan formüllerdeki standart değerlerin barit betonlar için uygun olduğu ve bu formülasyonların barit betonlarında kullanılabileceğini görmüşlerdir.

Esen S. 2013 yılında yaptığı çalışmada, Antalya Eti Elektrometalurji İşletmesinden aldığı silis dumanı ile Isparta ilinin Şarkikaraağaç ilçesinde bulunan Başer Madencilik işletmesinden temin ettiği barit agregası ile ağır beton üretimi yapmıştır. Çalışmasında, basınç dayanımı, ultrasonik ses geçirgenlik, eğilme dayanımı, su emme miktarı, kuru ve doygun birim hacim ağırlık deneylerinin sonuçlarını elde etmiştir. Numunelerin hazırlanmasında ince agrega olarak 0-4 mm'lik elekler arasında kalan %40 ince barit ile 4-16 mm'lik elekler arasında kalan %60 iri barit, agrega olarak kullanmıştır. Sabit su/bağlayıcı oranı (0.50) ile hazırladığı ağır beton numunelerine silis dumanı, ağırlıkça portland çimentonun (PÇ 42.5 R) %10, %20 ve %30 (SDAB10, SDAB20, SDAB30) oranlarında karışımlara ilave etmiştir. Bu numunelerin uygun yaşlardaki deney sonuçları araştırıp, silis dumanı oranına bağlı değişimleri incelemiştir. Yaptığı deneyler sonucunda numune içerisindeki silis dumanı miktarı arttıkça, işlenebilirliğin de oldukça azaldığını gözlemiştir. Basınç dayanımı testi 7. 28. ve 90. gün yaşlardaki numuneler üzerinde yapmıştır. Basınç dayanımının en fazla olduğu değer 90. gün yaştaki numunelerden elde etmiş fakat dayanım artışı 7. gün ile 28. gün arasında hızlı olduğunu gözlemlemiştir.

Kılınçarslan Ş. vd. 2010 yılında yaptıkları çalışmada, barit agregası ile mineral-kimyasal katkı maddeleri kullanarak yüksek dayanımlı betonlar üretmişlerdir. Ürettikleri betonların fiziksel ve mekanik özellikleriyle birlikte durabilitesini de incelemiştir. Durabilite açısından ağır betonların servis ömrü boyunca karşılaşılabileceği düşünülen sülfat etkilerine karşı dayanımını araştırmışlardır. Sülfat etkisine maruz bırakılmış beton numunelerin basınç dayanımındaki değişimleri, kimyasal ve mikro yapı değişimlerini incelemiştir. Elde ettikleri sonuçlar neticesinde yaptıkları araştırmalar, yüksek basınç dayanıma sahip ağır betonların sülfata karşı basınç dayanımlarında azalma görmüşlerdir. Magnezyum sülfat etkisinin daha tahrip edici bir özelliğe sahip olduğunu görmüşlerdir. Sülfat etkisinden oran olarak en fazla barit agregalı betonlar etkilenmiş olmasına rağmen sayısal olarak basınç dayanım değeri en yüksek beton olarak kalmaya devam etmiştir.

Sancar S. 2010 yılında yaptığı çalışmada, Atabey agregası ile Şarkikaraağaç bölgesinden temin ettiği barit agregası kullanmıştır. Bu malzemeler ile ürettiği numuneler üzerinde deneyler yaparak mekanik özellikleri araştırmıştır. Deneylerde su/çimento oranı

0,5 olan farklı boyutlarda BS30 sınıfı normal agregalı betonlar ve bu agregalar yerine barit agregası kullanarak ağır betonlar üretmiştir. Ürettiği bu beton numuneler üzerinde basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve durabilite deneyleri yapmıştır. Elastisite modülü değerleri elde etmiştir. Barit agregası kullanarak ürettiği küp numunelerin basınç dayanımları, normal agrega kullanarak ürettiği küp numunelerin basınç dayanımları ile aynı dayanıma sahip olduğunu görmüştür. Eğilme dayanımları için ürettiği donatılı ve donatısız numunelerde de baritli numunelerin eğilme dayanımı normal agregalı numunelerin eğilme dayanımı ile hemen hemen aynı çıkmıştır. Değişik etriye oranları kullanarak ürettiği numunelerde dayanım farklılığı gözlemlenmiştir. Elastisite modülü katsayıları da barit agregalı numunelerin daha iyi olduğu görmüştür. Sülfata tabi tutulan küp numunelerde de barit agregası kullanılan numunelerin basınç dayanımları daha yüksek çıkmıştır. Sonuç olarak, agrega yerine barit kullanılarak üretilen betonların tüm özelliklerinin normal betonla aynı özellikte olduğu halde biraz daha fazla olduğu sonucuna varmıştır.

Akyıldırım H. 2011 yılında yaptığı çalışmada, farklı agregalardan ürettiği dört tip ağır betonun gama radyasyonu zırhlama özellikleri incelemiştir. Çalışmada tek tip hafif betonun ($\rho=2.476 \text{ gcm}^{-3}$), olivin kullanarak üretilmiş tek tip ağır betonun ($\rho=2.72 \text{ gcm}^{-3}$) ve farklı oranlarda barit kullanarak üretilmiş iki tip ağır betonun ($\rho=2.994$ ve $\rho=3.463 \text{ gcm}^{-3}$) gama radyasyonu zayıflatma özellikleri araştırmış sonuçlar standart zırh malzemesi olan kurşun için elde ettikleriyle karşılaştırmıştır. Ayrıca barit oranının betonların radyasyon zayıflatma özellikleri üzerine etkisi de incelemiştir. Deneylerinde 0.662, 1.173 ve 1.332 MeV enerjili gama ışınlarının ölçümü NaI(Tl) sintilasyon detektörüyle yapmıştır. Zayıflatma katsayılarının kuramsal hesapları ise 10^{-3} - 10^5 MeV aralığında XCOM kodu ile gerçekleştirmiştir. Çalışma sonucunda barit içeren ağır betonların gama zayıflatma özellikleri açısından diğer betonlardan üstün oldukları belirlemiştir. Bununla birlikte, beton içindeki artan barit oranının zayıflatma özelliklerini olumlu yönde etkilediğini gözlemiştir.

2.2.1. Limonit

Sertlik derecesi 5–5.5 olup 3.8 - 4.3 g/cm^3 yoğunluğa sahiptir. Limonit koyu kahverengiden açık sarıya kadar çeşitli renklerde, mat, porselen üzerinde kahverengi - sarı, kahverengi bir çizgi bırakan gevrek bir mineraldir. Yumuşak ya da esmer, sert bir demir mineralidir. % 60 dolayında demir içerir. Başlıca Fransa, Küba ve Kanada'da bulunur. Demir cevheri olması dışında pigment olarak da kullanılır (URL-1).



Şekil 2.1.Limonit görünümü (URL-6)

2.2.2. Barit

Ağır beton üretiminde en çok kullanılan agregalardan biri olan barit agregası metalik olmayan minerallerin en ağıridir. Özgül ağırlığı 4.5 gr/cm^3 , sertliği 2.5-3.5 arasındadır. Kimyasal bileşimi BaSO_4 barit en çok bilinen baryum mineralidir. Beyaz, opak görünümlüdür. İçeriğinde bulunan demirden dolayı kırmızı ve kahverengi, karbonlu maddelerden dolayı siyah, sarı, kırmızı ve mavi renklerde görülebilir (URL-9 ve Esen, 2013).



Şekil 2.2. Barit görünümü (URL-7 ve URL-8)

2.2.3. İlmenit

Kimyasal formülü $\text{Fe}^{+2}\text{TiO}_3$, mohs sertliği 5-6 arasındadır. Kristal yapısı hegzagonaldır. Özgül ağırlığı 4.72 gr/cm^3 tür. Hematitten çizgi rengiyle, manyetitten manyetik özelliği ile kolayca ayrılabilir. Birçok magmatik ve metamorfik kayalarda bulunan aksesuar mineralidir. Kuvars damarlarında, pegmatitlerde ve bazı gnayslarda hematit ve kalkopirit ile birlikte bulunur (URL-2).



Şekil 2.3. İlmenit görünümü (URL-10 / URL-11)

2.2.4. Hematit

Kimyasal formülü Fe_2O_3 , kristal sistemi trigonal, kristal biçimi genellikle ince ya da kalın levhamsı kristaller rombohedral piramidal ve nadiren de prizmatiktir. Mohs sertliği 5-6, yoğunluğu 5.26 g/cm^3 tür. Çelik grisi-siyah ve opak şeklindedir. Kırmızıçizgi rengi, sertliği ve kristal şekli ayırıcı özellikleridir. Yaygın olarak bulunan hematit, önemli bir demir mineralidir. (URL-3).



Şekil 2.4. Hematit görünümü (URL-12 / URL-13)

2.2.5. Kolemanit

Kimyasal formülü $\text{CaB}_3\text{O}_4(\text{OH})_3\text{H}_2\text{O}$, kristal sistemi monoklinik, kristal biçimi çoğunlukla eş boyutlu ve kısa prizmatik kristalli masif kompakt taneseldir. Yoğunluğu 2.42 g/cm^3 olan kolemanit, mohs sertliği 4.5'tir. Renksiz, beyaz; şeffaf- yarı şeffaf şeklindedir. Kristal formu, mükemmel dilinimi, diğer boratlardan daha sert olması ayırıcı edici özellikleridir. Kurak iklim bölgelerindeki playa ve tuz göllerinde boraks ile birlikte oluşur (URL-4).



Şekil 2.5. Kolemanit görünümü (URL-14 / URL-15)

2.2.6. Manyetit

Kimyasal formülü Fe_3O_4 , kristal sistemi kübik, kristal biçimi çoğunlukla oktahedral kristalli ve yoğunluğu $5.175\text{-}5.197 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Mohs sertliği 5.5-6.5'tir. Demir siyahı, grimsi siyah ve opak şeklindedir. Kuvvetli manyetiklik (mıknatıs) özelliği, rengi ve çizgi rengi ile ayrılır. Sülfür yataklarında, metamorfik kayalarda, pegmatitlerde ve değişik magmatik kayalardan oluşabilen bir demir mineralidir. Kontakt ve rejyonel metamorfik kayalarda, yüksek sıcaklıklı hidrotermal damarlarda sıkça rastlanır (URL-5).



Şekil 2.6. Manyetit görünümü (URL-16 / URL-17)

2.2.7. Ferrofosfor

Fosfor üretiminde açığa çıkan bir yan üründür. İşlenmemiş ve saf agrega olarak, radyasyon zırh betonu üretiminde kullanılır. Bu cevher %70 oranında demir içerir. Kaba agrega yaklaşık olarak 5.72–6.8 arasında bir özgül ağırlığa sahiptir. Ferrofosfor betonun oluşum zamanını köklü biçimde etkiler, sıkıştırıldığı zaman tehlikeli ve yüksek basınçlı gazlar üretir. Bu nedenle ferrofosfor içeren agregalar kullanılmadan önce mutlaka testten geçirilmelidir (Coşkun, 2010).



Şekil 2.7. Ferrofosfor görünümü (URL-18 / URL-19)

2.2.8. Çelik saçma ve parçaları

Ağır beton üretiminde kullanılan doğal agregalar dışında, granül hale getirilerek kullanılan yapay agregalar arasında bulunan çelik saçma ve parçaları, ağır beton üretiminde kullanılmaktadır. Yoğunluğu 6.2-7.8 g/cm³ arasında değişmektedir.



Şekil 2.8. Çelik saçma ve parçaların görünümü (URL-20 / URL-21)

2.3. Radyasyon ve Özellikleri

Radyasyon en genel anlamıyla, elektromanyetik dalgalar veya parçacıklar biçimindeki enerji yayımı ya da aktarımı olarak tanımlanır.

Wilhelm Röntgen'in 1895 yılında x-ışınlarını keşfinden sonra, Henry Becquerel, 1896'da uranyumun gözle görülmeyen ışınlar yaydığını keşfetmiş ve böylece ilk defa radyoaktif bir maddenin varlığı ortaya çıkmıştır. Becquerel bulduğu bu sonucu 2 Mart 1896'da kısa bir makale olarak Fransa Bilim Akademisi'ne sunmuştur. Bu bulusun ardından Marie ve Pierre Curie tarafından başka radyoaktif elementler bulunarak izole edilmiştir. Ernest Rutherford ise radyoaktif maddeler tarafından yayılan ışınların özelliklerini tespit etmiştir (Yılmaz, 2009).

2.3.1. Radyasyon ve Radyoaktivite

Radyasyon; foton, dalga veya parçacık olarak tabir edilen enerji paketleri ile yayılan enerjidir. Bu enerji, doğal ya da yapay radyoaktif çekirdeklerin kararlı yapıya geçebilmek için dışarı saldıkları hızlı parçacıklar ve elektromanyetik dalga şeklinde taşınır.

- Enerjisi (düşük ve yüksek enerjili radyasyon)
- Türü (parçacık radyasyonu ve elektromanyetik radyasyon)
- Kaynağı (doğal ve yapay radyasyon kaynakları)

Parçacık radyasyonu; belli bir kütle ve enerjiye sahip çok hızlı hareket eden minik parçacıkları ifade eder. Bunlar hızla giden mermilere benzerler, ancak gözle görülemeyecek kadar küçüktürler. Alfa (α) ve Beta (β) ışınları bu tür radyasyona örnektir.

Elektromanyetik tipi radyasyon; belirli bir enerjiye sahip ancak kütlesi olmayan radyasyon çeşididir. Bunlar, titreşim yaparak ilerleyen elektrik ve manyetik enerji dalgaları gibidir. Yayılmaları sırasında belirli bir ortama gereksinim duymayan ve önlerine çıkan bir cisimle etkileşmedikleri müddetçe sahip oldukları enerjiden bir kayba uğramayan elektromanyetik dalgalar, boşlukta yayılımları esnasında aynı hıza sahiptir (3×10^8 m/saniye). Fakat elektromanyetik radyasyonlar yolları üzerinde bir cisimle etkileştiklerinde enerji geçişi olur ve çarpışma sonrası ikinci bir elektromanyetik dalga oluştuğunda, ikinci dalganın enerjisi birinciye göre farklılık gösterir. Bütün elektromanyetik dalgalar aynı hıza sahip olmakla beraber frekansları ile doğru, dalga boyları ile ters orantılı olan enerji seviyelerine göre bir spektruma sahiptirler (Şekil 2.9).

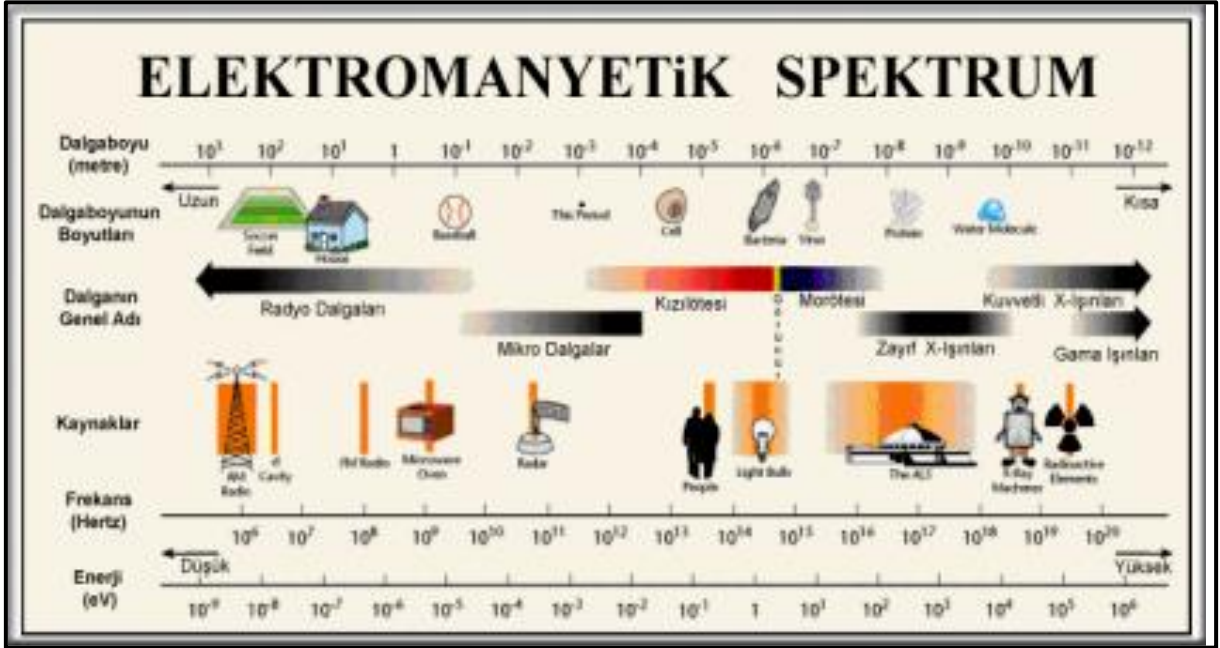
Elektromanyetik spektrumu oluşturan bütün radyasyonlarda (Şekil 2.9) enerji, yüksüz ve kütsüz fotonlar tarafından taşınmaktadır. Bu dizilimde dalga boyu en yüksekten en düşüğe ya da enerji seviyesi en düşükten en yükseğe doğru elektrik dalgaları > radyo dalgaları > mikro dalgalar > kızıl ötesi (infrared) > görülebilir ışık > mor ötesi (ultraviyole) > X-ışınları > gamma ışınları yer almaktadır. Spektrum içinde gamma ışınları, atomun çekirdeğinden kaynaklanan radyasyona örnek teşkil ederken, X-ışını ile kızılötesi ışık grupları arasındaki atomun yörüngelerinden kaynaklanan radyasyonlara örnektir. Şekil 2.9'da X ve gamma ışınları iyonlaştırıcı radyasyon meydana getirirken spektrumdaki diğer dalgalar iyonlaşma yeteneğinden yoksun zayıf enerjili radyasyon etkisi yaratırlar.

Yüksek enerjili radyasyon iyonize radyasyon olarak da tanımlanır ve atomdan elektron koparabilen dolayısıyla atomu iyonize edebilen radyasyon türüdür. Bunlar: Gama ve X-Işınları'dır.

Eğer iyonize edici elektromanyetik radyasyon çekirdekten yayımlanıyorsa gama, yörüngeden yayımlanıyorsa x ışını olarak adlandırılır. İnsan sağlığı bakımından tehlikeli olabilecek çeşitli radyasyonlardan x ve gama ışınları elektromanyetik radyasyon, alfa, beta ve nötronlar parçacıklı radyasyon grubuna girmektedir.

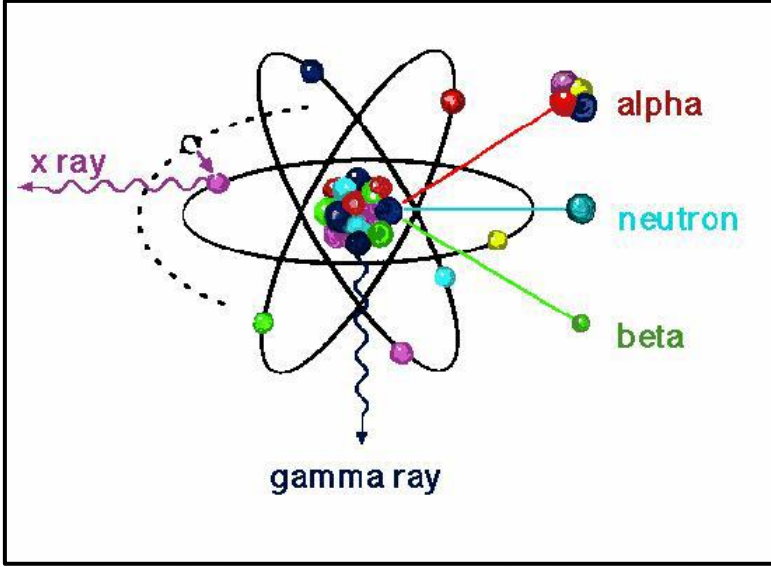
Düşük enerjili ya da iyonize olmayan radyasyon ise etkileştiği materyal içindeki atomları yeteri kadar enerjisi olmadığı için iyonize edemez ve sadece uyarmakla yetinir. Mikrodalgalar, görünür ışık, radyo dalgaları, kızılötesi ve (çok kısa dalga boyları hariç olmak üzere) morötesi ışık iyonize olmayan radyasyona örnektir. Radyoaktif çekirdekler kendiliğinden bozunuma uğrarlar. Radyoaktif bozunma olayında, radyoaktif atomların

sayısının yarıya inmesi için geçen süre yarılanma süresi olarak adlandırılır ve her bir radyoaktif atom için bu süre farklıdır (Kaçar, 2006).



Şekil 2.9. Elektromanyetik spektrum

En basit çekirdek olan hidrojen çekirdeği sadece protondan oluşmuş, bundan başka bütün diğer çekirdekler nötron ve protonlardan oluşmuştur. Nötronların protonlara oranı hafif izotoplarda bir iken, periyodik çizelgenin sonundaki ağır elementlere doğru giderek artar. Bu oran daha çok arttığında izotopun artık kararlı olmadığı bir yere gelinir. En ağır kararlı izotop ${}_{83}\text{Bi}^{207}$ olup, daha ağır izotoplar dışarıya verecekleri fazla enerjileri olduğundan kararsızdır. Bunlar kararlı hale gelene dek enerji fazlalıklarını bazı ışınlar yayınlamaya giderirler. Bu olay “radyoaktivite” veya “radyoaktif parçalanma” adlandırılır (Molla, 2011).



Şekil 2.10. İyonizan radyasyon

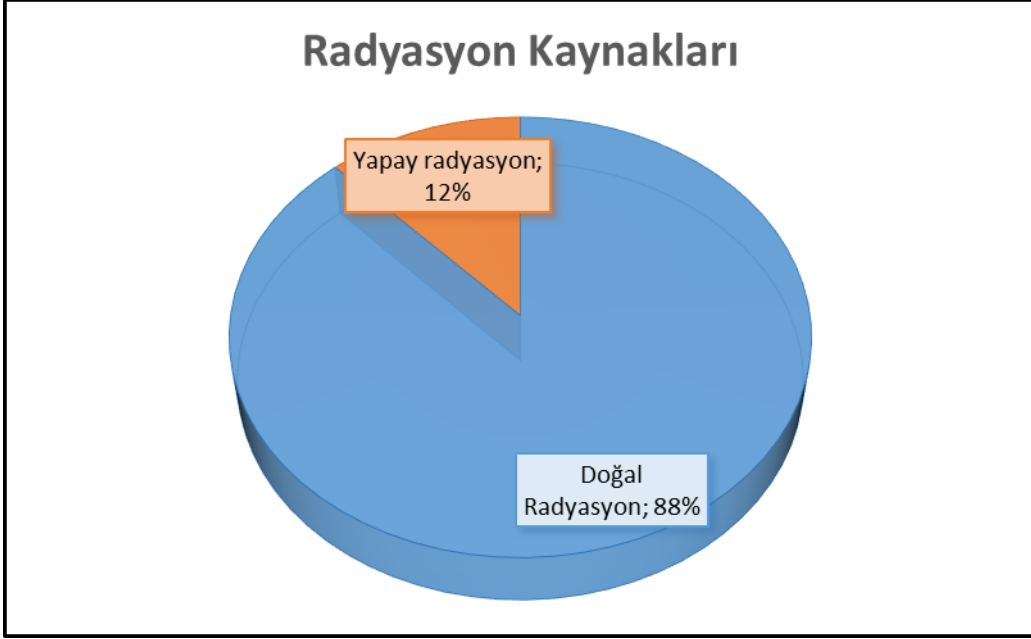
2.3.2. Radyasyon Kaynakları

Bütün canlılar arka alan radyasyonu denilen ve çevremizde sürekli var olan bir radyasyon alanının içerisinde yaşamaktadırlar. UNSCEAR (2000)'a göre dünya geneli göz önüne alındığında bir insanın maruz kaldığı yıllık ortalama radyasyon dozu değeri 2,4 mSv kadardır. Maruz kalınan bu ortalama arka alan radyasyonunun kökeninde iki kaynağın bulunduğu bilinmektedir:

- Doğal radyasyon kaynakları
- Yapay radyasyon kaynakları

Sınıflandırmanın bu şekilde yapılmasına sebep, radyoaktivite olayının doğal ve yapay olmak üzere iki farklı şekilde meydana gelmesidir. Kâinatın ve Dünyamızın yaratılışından bu yana var olan bazı elementler dış etkilerden bağımsız olarak sahip oldukları fazla enerjilerini çekirdeklerinden dışarı atmak suretiyle kararsız yapıdan kararlı yapıya geçmeye çalışırlar. Böyle elementler doğal radyoaktif elementler ve bu enerji yayınlama olayı da doğal radyoaktivite olarak adlandırılır. Doğal radyasyonların kaynağını bu elementler oluşturur. Diğer yandan doğada kararlı olarak bulunan elementlerden bazılarının çekirdekleri de dışarıdan müdahale yoluyla (nötronlar ve gamalarla bombardıman etmek gibi) kararlı halden kararsız hale getirilebilirler. Bu yapay radyoaktivite olgusudur ve yapay radyoaktif elementler de doğal radyoaktif olanlar gibi kararlı hale geçmek için nükleer radyasyon yaymaktadırlar. Arka alan radyasyonuna katkı yapan radyasyonun diğer bir

kaynağı da yapay radyoaktif elementlerdir. Özellikle son yüzyılda nükleer teknolojideki gelişmelerle birlikte insan eliyle türetilen yapay kaynakların arka alan radyasyonuna katkısı giderek artmaktadır. Ancak bu hızlı gelişime rağmen arka alan radyasyon dozuna en fazla katkı doğal radyasyon kaynaklarından gelmektedir. Maruz kalınan toplam arka alan radyasyonu üzerinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarının payları Şekil 2.11’de gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Radyasyon kaynakları

2.3.2.1. Doğal Radyasyon Kaynakları

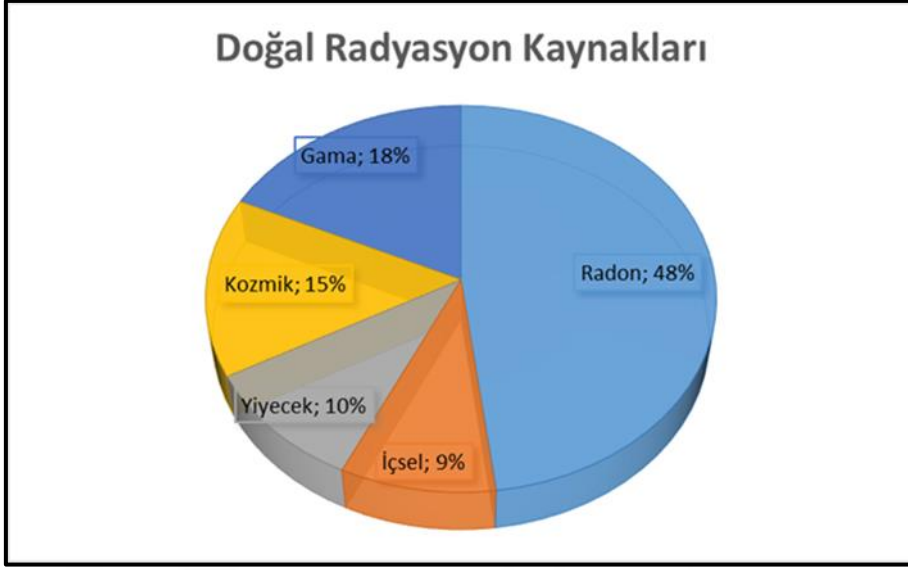
Doğal radyasyon iki ana kaynaktan gelmektedir. Bunlardan ilki uzay kaynaklı kozmik radyasyon ve ikincisi yer kabuğundaki radyoaktif izotoplardan gelen karasal radyasyondur. Bu iki kaynağın oluşturduğu doz miktarı (0.9 mSv) insan kaynaklı radyasyon dozuna göre ki bu 5 μ Sv’dir ve oldukça yüksektir. Kozmik radyasyon çoğunlukla kaynağını Güneş ve diğer yıldızlardan alan yüklü iyonlardan oluşmaktadır. Elektronlar, protonlar, helyum çekirdekleri ve daha az oranda olmak üzere yüksek enerjili fotonlar kozmik radyasyon kaynaklarındandır. Bu radyasyon türleri enerjilerine bağlı olarak atmosfer bileşenleriyle etkileşerek X-ışını, müon, proton, elektron, alfa tanecikleri ve nötronlar gibi ikincil radyasyonlar meydana getirirler. Bunun yanı sıra, atmosferde elementsel mutasyon yoluyla yeni çekirdekler (kozmojenik nüklitler) oluştururlar. Bunlar içerisinde önemli

olanlar ^3H , ^7Be , ^{14}C , ^{22}Na , ^{32}P , ^{33}P ve ^{33}S 'tir. Kozmik ısın kaynaklı yıllık doz ortalaması yaklaşık 0.4 mSv'dir.

Diğer doğal radyasyon kaynağı olan karasal radyasyon Dünya'nın oluşumu esnasında ya da daha sonradan meteor veya göktaşları gibi etmenler tarafından kayalara ve toprağa katılan radyoaktif elementler tarafından oluşturulmaktadır. Bu elementler doğadaki üç temel doğal radyoaktif seri olan Toryum (^{232}Th , $4n$), Uranyum (^{238}U , $4n+2$) ve Aktinyum (^{235}U , $4n+3$) serisinden birisi içerisindedir. Ayrıca Neptünyum (^{241}Pu , $4n+1$) ile gösterilen dördüncü bir seriden daha bahsedilebilir. Ancak ana çekirdeğin 14 yıllık yarı ömrü nedeniyle günümüzde mevcut değildir. Doğal serilerdeki nüklitlerin yarı ömürleri Dünyanın yaşından büyük olduğu için bunlara primordiyal (ezelden beri var olan) nüklitler denilmektedir ve seri sonundaki element kararlıdır. Tüm canlılar havadan ve besinlerden bu radyo çekirdekleri vücutlarına sürekli olarak aldığından, bu radyo nüklitler zamanla organlarda birikmektedir ve içsel ışınlamaya neden olmaktadır. İçsel ışınlamada en önemli pay ender bulunan elementlerden birisi olan ^{40}K 'tır. Bazı önemli doğal radyo çekirdekler ve özellikleri Tablo 2.2'de verilmiştir. Şekil 2.12'de ise doğal radyasyonun kaynaklarına göre dağılımı görülmektedir (Akyıldırım, 2011).

Tablo 2.2. Önemli primordiyal radyonüklitler ve bazı özellikleri

Nüklid	Sembol	Yarı Ömür	Doğal Aktivitesi
Uranyum 235	^{235}U	7.04×10^8 y	Tüm doğal uranyumun 0.72 % si
Uranyum 238	^{238}U	4.47×10^9 y	Tüm doğal uranyumun %99.28'i (Yaygın kaya çeşitlerindeki toplam uranyum 0.5 ile 4.7 ppm)
Toryum 232	^{232}Th	1.41×10^{10} y	Kabul ortalamalı yaygın kaya çeşitlerinde 1.6 ile 20 ppm, ortalama 10.7 ppm
Radyum 226	^{226}Ra	1.60×10^3 y	Kireçtaşında 16 Bq/kg ve volkanik kayalarda 48 Bq/kg
Radon 222	^{222}Rn	3.82 gün	Asal gazlar; US' deki havada yıllık ortalama konsantrasyonu 0.6 Bq/m ³ ile 28 Bq/m ³ aralığında
Potasyum 40	^{40}K	1.28×10^9 y	Toprak için 1-30 pCi/g (0.037-1.1 Bq/g)

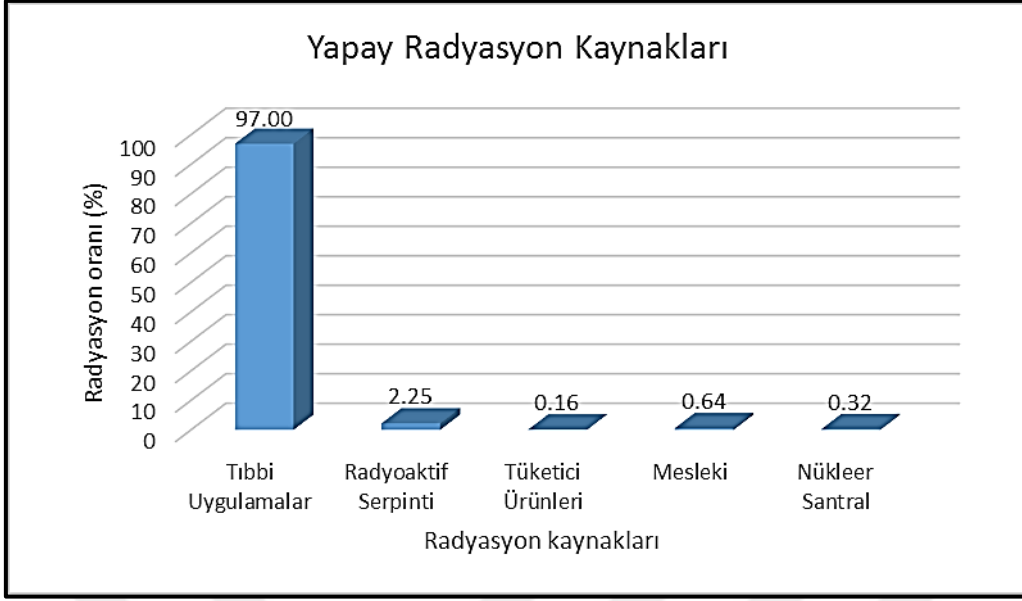


Şekil 2.12. Doğal radyasyonun kaynaklarının dağılımı

2.3.2.2. Yapay Radyasyon Kaynakları

İnsanoğlu, teknolojinin gelişmesinin getirdiği gerekliliklerden dolayı, bazı radyasyon kaynaklarını yapay yollarla üretme ihtiyacı duymuştur. Bu kaynaklar, birçok işin daha iyi, daha kolay, daha çabuk, daha ucuz ve daha basit yapılmasına olanak sağlar. Bazı durumlarda ise alternatifleri yok gibidir. Yapay radyasyon kaynakları da tıpkı doğal radyasyon kaynakları gibi belli miktarlarda radyasyon dozuna maruz kalınmasına sebep olurlar. Ancak bu doz miktarı talebe bağlı olarak artsa da doğal kaynaklardan alınan doza göre çok daha düşüktür. Doğal radyasyon kaynaklarının aksine tamamen kontrol altında olmaları da maruz kalınacak doz miktarı açısından önemli bir özelliktir.

Tıbbi, zirai ve endüstriyel amaçla kullanılan X ışınları ve yapay radyoaktif maddeler, nükleer bomba denemeleri sonucu meydana gelen nükleer serpinçler, az da olsa nükleer güç üretiminden salınan radyoaktif maddeler ile bazı tüketici ürünlerinde kullanılan radyoaktif maddeler bilinen başlıca yapay radyasyon kaynaklarıdır. Şekil 2.13’de yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozlarının oransal değerleri gösterilmektedir.



Şekil 2.13. Yapay radyasyon dağılım oranları

Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozunun dünya ortalaması 2.7 mSv/yıl'dır (Kaçar, 2006).

2.3.3. Radyoaktif Işıma Türleri

2.3.3.1. Alfa Işımları (α)

Alfa bozunması, radyoaktif çekirdekten kütle numarası 4 atom numarası 2 olan bir taneciğin ayrılması sonucu gerçekleşmektedir. Atom numaraları 83'ten büyük olan yani kararlılık kuşağının ötesindeki elementler (ağır elementler) kararlı nötron/proton oranına erişmek için, hem proton ve hem de nötron kaybederek kararlılık kuşağına ulaşmaya çalışırlar. Ayrılan tanecik aslında bir helyum çekirdeğidir. Örneğin Uranyum 'un en bol bulunan izotopu Uranyum-238 α bozunmasına uğradığı zaman toryum-234'e dönüşür. Hızları saniyede 15.000 km kadar olan alfalar, bir kâğıtla tutulabilmekte, havada en fazla 10 cm mesafe alabilmektedirler. İnsan derisi alfa taneciklerini hücrelere ulaşmadan durdurabilmektedir (Doğan, 2012).

2.3.3.2. Beta Işımları (β)

Beta taneciği aslında çekirdekten yayınlanan yüksek enerjili bir elektrondur. Beta bozunması sürecinde, radyoaktif çekirdekte bulunan bir nötron, bir proton ile bir elektrona

dönüşür. Beta ışımalarının tetikleyicisi alfa ışımaları sonucu oluşan Toryum-234'tür. Çok küçük kütleleri nedeniyle betalar, alfalara göre daha gericidirler ve madde içinde daha uzun yol almaktadırlar. Hızları sifira yakın değerlerle ışık hızı arasında olabilir. Havada birkaç metre mesafe alabilmektedirler. Birkaç milimetrelik alüminyum levha bu ışınların ilerlemesine engel olabilir. Beta ışınları, dış derideki ölü seviyeye nüfus eder, derinin iç kısmında durduğu için dış derideki dokulara yakarak zarar vermektedir (Doğan, 2012).

2.3.3.3. Gama Işınları (γ)

Atom çekirdeğinin bozunumu sırasında salınan elektromanyetik dalgalarıdır. Gama ışınları tanecik değildir. Bunlar foton denilen kısa dalga boylu enerji paketçikleri akımlarıdır (x- ışınları benzeri). Alfa ve beta bozunması sırasında birçok atom çekirdeği uyarılmış birer yapıya (yüksek enerjili hale) ulaşırlar. Bu tür yüksek enerjili çekirdekler, gama ışımaları yardımı ile rahatlama yolunu seçerler. Gamma ışımaları sürdüren bir çekirdekte atom kütle numarası ve atom numarası değişikliğe uğramaz. Işık hızıyla hareket eden gamaların enerjileri çok yüksek olmasından dolayı maddeye enerjilerini aktarana kadar epeyce yol alırlar, ancak kurşun (Pb) ya da baritli beton gibi ağır özgül kütleli maddelerle durdurulabilirler (Doğan, 2012).

2.3.3.4. Nötron Işınları (n)

Atom çekirdeklerinin doğal bozunumu sırasında salınan, elektriksel olarak yüksüz/nötral nötron parçacıkları akımıdır. Nötronun kütlesi, atom çekirdeğindeki artı yüklü protondan biraz daha büyüktür (Doğan, 2012).

2.3.3.5. Röntgen Işınları

Atomların dış kılıfındaki elektron bulutunda, elektronların, çekirdeğe oldukça yakın yörüngelerden daha aşağılara (dış ya da iç etkenlerle) atlaması sonucu ortaya çıkan elektromanyetik ışımaları olup, bunların dalga boyları 0.01 ile 10 nanometre arasında. Bunlar da gama ışınları gibi yüksek enerjili girici ışınlar olup, gamalardan tek farkları atom çekirdeklerinden değil, atomların iç elektron kılıfından salınmalarıdır (Doğan, 2012).

2.3.4. Radyoaktif Yarılanma Süreleri

Kararsız yapıya sahip maddelerin her biri, ayrı birer bozunma hızına sahiptir. Radyoaktif izotopların (atom çekirdeklerinde aynı sayıda proton ve farklı sayıda nötron bulunan elementlerin) bozunma hızına "yarı-ömür" adı verilir ve yarı ömür " $t_{1/2}$ " olarak ifade edilmektedir. Yarı ömür, radyoaktif bozunmaya uğrayan kararsız atomların yarısının yok olması için geçen zaman olarak da tarif edilir. Bu noktada özellikle vurgulanması gereken bir husus ise, radyoaktif özelliğe sahip farklı izotopların yarı ömürlerinin ve yayınladıkları radyasyon türlerinin farklı olduklarıdır. Bazı radyoaktif elementlerin yarılanma süreleri Tablo 2.3'te görülmektedir (Yılmaz, 2009).

Tablo 2.3. Radyoaktif yarılanma süreleri

Element	İzotop	Yarı Ömür	Verdiği Radyasyon
Hidrojen	3_1H	12 yıl	Beta
Karbon	${}^{14}_6C$	5730 yıl	Beta
Fosfor	${}^{32}_{15}P$	14 gün	Beta
Potasyum	${}^{40}_{19}K$	$1.28 \cdot 10^9$ yıl	Beta ve Gama
Kobalt	${}^{60}_{27}Co$	5 yıl	Beta ve Gama
Stronsiyum	${}^{90}_{38}Sr$	28 yıl	Beta
İyot	${}^{131}_{53}I$	8 gün	Beta ve Gama
Sezyum	${}^{137}_{55}Cs$	30 yıl	Beta
Polonyum	${}^{214}_{84}Po$	$28 \cdot 10^{-4}$ sn	Alfa ve Gama
Radyum	${}^{226}_{88}Ra$	1600 yıl	Alfa ve Gama
Uranyum	${}^{235}_{92}U$	$7.1 \cdot 10^8$ sn	Alfa ve Gama
Uranyum	${}^{238}_{92}U$	$4.5 \cdot 10^9$ sn	Alfa

2.3.5. Radyoaktivite Ölçümleri ve Birimleri

Radyoaktif parçalanmanın bulunması ve şiddetinin ölçülebilmesi için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Radyoaktif ışınlar, fotoğraf filmine aynen ışığın etkisini yaparlar, bununla birlikte, ışımının bu yolla nicel ve nitel analizi kolay ve çabuk bir yol değildir.

Radyoaktif ışınların analizi için, sintilasyon sayıcısı, Wilson sis odası ve en çok kullanılan olanı Geiger - Müller sayıcısıdır. Geiger - Müller sayıcısı, tüpe ince bir pencereden giren α - veya β - parçacıkları veya γ - ışınları tüpteki argon gazını iyonlaştırır ve Ar^+ iyonları oluşur. Tüpün elektronları arasına bir gerilim uygulanırsa, bu iyonlar bir elektriksel boşalmaya neden olurlar ve puls verirler. Bu pulsların şiddeti artırılarak (ve çoğu zaman bir sese dönüştürülerek) otomatik olarak sayılırlar. Radyasyonun ilk birimi Röntgen'dir. Bunun yerine yeni bir isme gerek duyulmadığı için aynı ismin üzerinden yeni birimin yürütülmesi düşünülmüştür. Yeni radyasyon birimi olarak da "Coulomb/kg" tarif edilmiştir. Normal hava koşullarında (0° ve 1 atm basınç) havanın 1 kilogramında 1 Coulomb pozitif ve negatif elektrik yükü taşıyan iyonlar meydana getiren x- veya - radyasyon miktarına "Coulomb/kg" denir.

$$1 \text{ Coulomb/kg} = 3876 \text{ R veya } 1R = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg'dır.} \quad (\text{Denklem 1})$$

Nükleer teknolojinin ilerlemesiyle elde edilen yüksek enerjili X ve nötron ışınlarının radyasyon ölçümlerinde coulomb/kg veya röntgen yetersiz kalmıştır. Bu sebeple her çeşit radyasyon ve madde için absorbe edilen doz birimi olarak "gray" tanımlanmıştır. Gray herhangi bir maddenin kg başına 1 joule'lük enerji soğurması meydana getiren radyasyon dozudur ve "Gy" olarak sembolize edilir.

Radyasyon enerjisi birimi (eV): 1 Elektron Volt (eV), bir elektronun 1 voltluk bir potansiyel farkı altında kazanacağı kinetik enerji miktarıdır. Bir elektron volt çok küçük olduğu için, bunun 1000 katı olan "kilo elektron volt" (keV) ve milyon katı olan "Milyon elektron Volt" (MeV) sıkça kullanılır. Atom çekirdeklerindeki dönüşümlerde ortaya çıkan enerjiler pratikte çok küçüktür. Radyasyon, radyoaktif bir atom çekirdeğinin bozunması sonucu ortaya çıkar.

- Bir çekirdeğin kararlı olması çekirdekdeki nötron/proton oranına bağlıdır.
- Kararlı nötron/proton oranına ulaşmak için çekirdekler bozunmaya uğrarlar ve bu şekilde kararlı hale geçmeye çalışırlar.
- Bu bozunmalar alfa (α), beta (β), ve gama (γ) bozunmaları olarak bilinir.
- Alfa (α) taneciği He çekirdeğidir. Beta (β) taneciği bir elektrondur.
- Gama bozunması ise, sadece bir enerjidir.

- Her bir radyoaktif maddenin bir yarı ömrü ($t_{1/2}$) vardır. Yarı ömür "başlangıçtaki radyoaktif maddenin miktarının yarıya inmesi için geçen süre" olarak tanımlanır.
- Radyoaktivitenin zararlı etkileri insan hayatı üzerinde ölümcül rol oynar.
- Radyoaktivitenin yararlı etkileri özellikle tıpta ve endüstride kullanılmaktadır (Doğan, 2012).

2.3.6. Radyasyonun Soğurulması ve Madde İle Etkileşimi

Radyasyonlar doğrudan ve dolaylı iyonlayıcı olarak ikiye ayrılırlar. Doğrudan iyonlayıcı radyasyonlar α , β ve ağır iyonlar gibi elektrik yüklü tanecikler olup, dolaylı iyonlayıcı radyasyonlar ise X ve γ ışını gibi elektromanyetik radyasyonlar ve nötronlardan meydana gelir. Dolaylı iyonlayıcı radyasyonlar, madde ile etkileşim halindeyken iyonlayıcı özellikleri olan ikincil radyasyonlar meydana getirir ve böylece iyonlaşma oluşur.

X ve γ ışınları elektromanyetik dalgalardır bu yüzden madde ile etkileşimleri ayırdır. Bu ışınların zayıflatılmaları temelde foton-madde ara etkileşimleri ile meydana gelir. Foton maddesel çekirdek değil bir enerji paketidir ve kütlesi yoktur. Foton ışık hızı ile gider veya yörünge elektronu ile çarpışarak yok olur. γ ışınları kararsız atomun çekirdeğinden yayınlanırken, X ışınları hızlandırılmış elektronların yüksek atom numaralı hedef atomlarının çekirdeklerine yaklaştıklarında çekirdeğe çarpmasıyla oluşur. Her iki ışın da elektrik yüküne sahip değildir ancak atomla etkileştiklerinde iyonlaşma meydana gelir. Elektrik yükleri olmadığından etkileştikleri madde içerisinde çekilme ve itilmeye maruz kalmazlar ama yolları üzerindeki parçacıklarla çarpışmalar yaparlar.

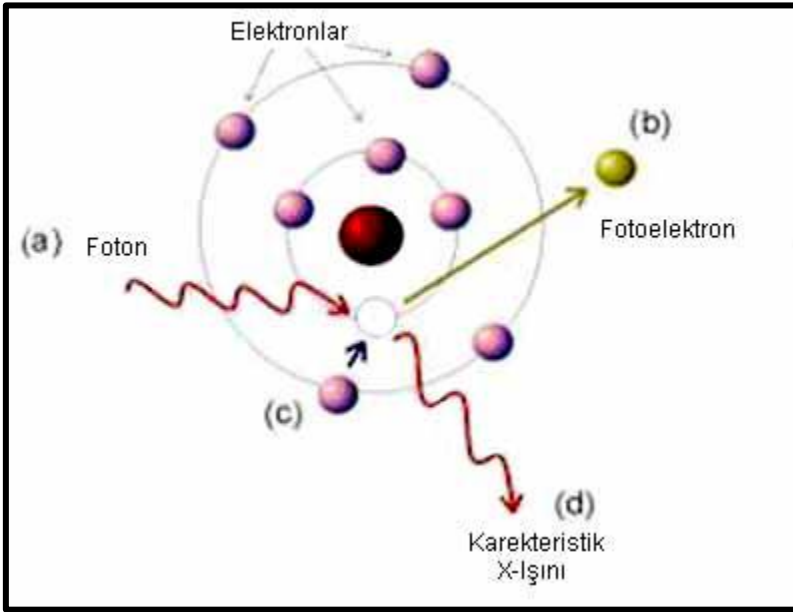
X ve gama ışınları madde içinde üç çeşit etkileşim ile enerji kaybeder;

- Atomun iç yörüngesine elektronları ile etkilenerek oluşan Foto Elektrik Olayı,
- Atomun dış yörünge elektronları ile oluşan Compton Olayı,
- Atomun çekirdeğine yakın bir yerde bir pozitron ve bir elektron meydana getirmesi ile oluşan Çift Oluşumu olayıdır.

Bu üç durumun gerçekleşme ihtimali, X ve gama ışınlarının enerjileri ile etkileşen maddenin atom numarasına bağlı olarak değişir. Gelen radyasyonun şiddetindeki azalmaya radyasyonun zayıflaması veya zayıflatılması, etkileştiği maddede terk edilen enerjiye de soğurulma denilir (Özen, 2013).

2.3.6.1. Foto Elektrik Olayı

Düşük enerjili bir foton genellikle içinden geçtiği ortamdaki atomların K veya L yörüngesindeki bir elektrona bütün enerjisini vererek onu pozitif yüklü çekirdeğin bağlayıcı kuvvetinden kurtarır. Dışarıya fırlatılan bu elektron fotoelektron olarak adlandırılır. Bu olay neticesinde oluşan elektron boşluğu dış yörüngedeki başka bir elektron tarafından doldurulur ve Şekil 2.14' te görüldüğü gibi bu sırada x ışını yayımlanır. 0.5 MeV 'den daha küçük enerjili fotonların ağır elementler tarafından soğurulmasında bu olay oldukça önemlidir.



Şekil 2.14. Foto elektrik olayı

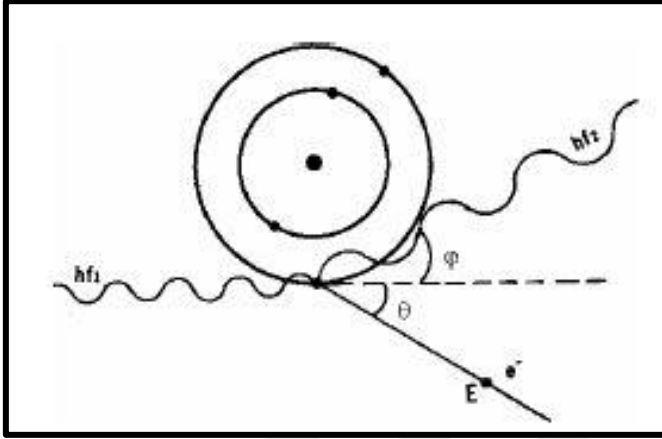
Bu olay sırasında gelen fotonun enerjisinin bir kısmı elektronu bağlı olduğu atomdan koparabilmek için harcanır, geri kalan kısmı ise koparılan elektrona kinetik enerji olarak aktarılır.

Kurşun için foto-elektrik olay, 1 MeV'e kadar olan fotonlarla oluşabilir. Foton elektron çarpışmaları düşük enerjilerde dış, yüksek enerjilerde iç yörüngelerde görülür.

2.3.6.2. Compton Saçılımı

Gelen fotonun enerjisi 0.5 MeV 'den büyük ise, etkileştiği maddenin zayıf bağlı veya serbest elektronlarıyla etkileşir. Yüksek enerjili X ışınları fotonun, bir atomun elektronlarına çarparak, onu bir doğrultuda fırlatırken kendisi de herhangi bir doğrultuda saçılır. Foton, elektronla elastik çarpışma yaparak enerjisinin ve momentumunun bir kısmını elektrona

verir ve daha düşük enerjili yeni bir foton olarak başka doğrultuda yol alır. Böylece Şekil 2.15'te de görüldüğü üzere meydana gelen elektron Compton elektronu, bu olay da Compton olayı olarak adlandırılır. Elektron kütleli bir parçacık olduğu için fotonun bütün enerjisini soğurması momentumun korunumu gereği ihtimal dâhilinde değildir. Bu sebeple foton, enerjisinin bir kısmını elektrona aktarır saçılama uğrayarak yoluna devam eder. Foton ile elektron arasında oluşan açı fotonun enerjisine bağlıdır.



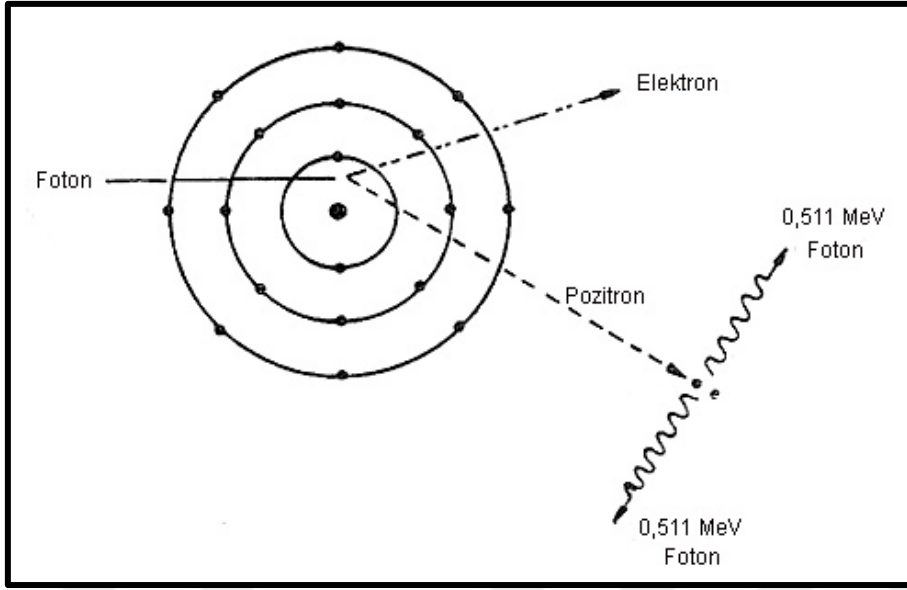
Şekil 2.15. Compton olayı

Yüksek enerjili fotonlar enerjileri belirli bir seviyeye düşene kadar Compton saçılımına uğrarlar bu andan sonra da fotoelektrik olayla soğurulurlar. Çünkü sadece Compton Saçılımı ile fotonlar tamamen soğurulamazlar. Bu çarpışmada momentum korunur.

Compton olayının olma ihtimali, etkileştiği maddenin atomlarının yörünge elektronlarının sayısı arttıkça yükselir. Orta enerjili fotonlar için etkileşme olasılığı en yüksek olan Compton olayıdır.

2.3.6.3. Çift Oluşumu

Eğer, fotonun enerjisi yeteri kadar büyük ise ve bu foton atom çekirdeğinin çok yakınından geçerse, kütlesi olmayan fotonun enerjisinden çekirdek yakınında aynı anda biri negatif yüklü elektron diğeri pozitif yüklü pozitron olmak üzere iki parçacık yaratılır. Şekil 2.16'da da görüldüğü gibi bu sayede elektromanyetik bir dalgadan madde oluşur.



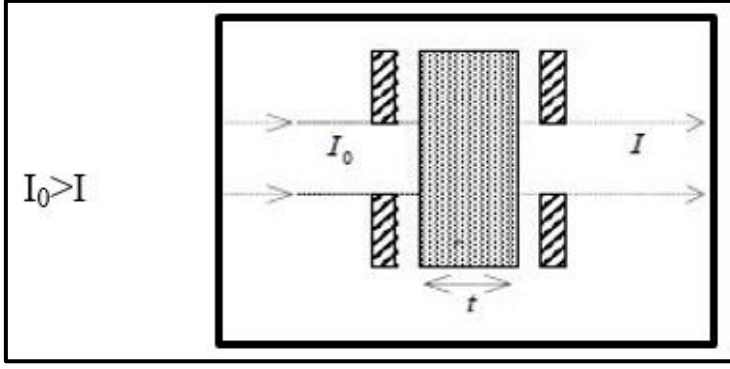
Şekil 2.16. Çift oluşumu olayı

Teorik olarak böyle bir çift oluşumunun meydana gelebilmesi için, fotonun enerjisinin en az $2 \times 0.511 = 1.022$ MeV olması gerekir. Foton enerjisinin daha büyük olduğu durumlarda ise bu enerjinin artakalan kısmı elektron ve pozitrona kinetik enerji olarak aktarılır. Oluşan elektron, atomla serbest elektronlar gibi etkileşirken, pozitron ise bir yörünge elektronu ile birleşir ve zıt yönlü iki gama fotonu yayarak kaybolur. Bu foton ise fotoelektrik yolla soğurulur. Gama ışınları, madde içine çok fazla giriş yeteneği gösterirler. Gama ışınlarını zırlama bakımından en etkili malzemeler yüksek atom numaralı ve özgül ağırlığı büyük olan elemanlardan yapılmış malzemelerdir.

Pratikte çift oluşumu 2 MeV den daha büyük enerjili fotonlar ve ağır elementler için görece daha baskındır (Kaçar, 2006).

2.3.7. Kütle Azalma Katsayısı ve Soğurma Kısılları

I_0 şiddetli monokromatik paralel bir γ - veya X-ışınları şuası Şekil 2.17'deki gibi kalınlığı t ve yoğunluğu ρ olan bir numuneden geçtiği zaman şiddetinin azalmaktadır.



Şekil 2.17. γ - veya X- ışınlarının t kalınlıktaki bir numunede azaltılması

Bu azalma miktarı, gelen γ - veya X-ışınlarının dt kalınlıklı numunedeki azalma miktarı $-dI$ ($=I - I_0 < 0$; kendi başına pozitif bir nicelik olduğu için önüne eksi alır) gelen şiddet ve kalınlıkla doğru orantılı olacaktır. Eğer orantı katsayısına μ (lineer azaltma katsayısı) dersek γ - veya X-ışınlarının azalma miktarı,

$$-dI = \mu I dt \quad (\text{Denklem 2})$$

veya

$$\int_{I_0}^I \frac{dI}{I} = -\int_0^t \mu dt \quad (\text{Denklem 3})$$

buradan

$$I = I_0 e^{-\mu t} \quad (\text{Denklem 4})$$

bulunur.

Bu ifade Lambert-Beer kanunu olarak bilinir. Burada μ lineer azaltma katsayısının birimi 1 cm^{-1} 'dir.

Bir ışın demeti bir maddeden geçerken şiddeti azalır. Azalan şiddetin derecesi saçılmaya ve çeşitli soğurma işlemlerine bağlıdır. Bu işlemlerin detayına girmeksizin Lambert kanunu, aynı soğurucu madde içinde eşit yollarda radyasyonun eşit miktarlarda soğurulacağını söyler. Bu ifadede maddeyi geçen ışın demetindeki son eşitlikteki μ lineer azaltma katsayısı olarak tanımlanmıştır. Bu lineer azaltma katsayısı, yukarıda bahsedilen üç temel olayda demetin şiddetinde azalmaya sebep olduğu için, ayrı ayrı azaltma katsayılarının toplamına eşittir ve ;

$$\mu = \tau + \sigma + \chi \quad (\text{Denklem 5})$$

şeklinde verilir. Burada τ , fotoelektrik azaltma katsayısı, σ , Compton saçılma tesir kesiti ve χ , çift oluşumu azaltma katsayısıdır.

Denklemdaki niceliklerin μ hariç hepsi ölçülebilir. Böyle ölçümler μ 'nün materyalin haline (katı, sıvı ve gaz) bağlı olduğunu gösterir. Bu yüzden materyalin özel bir fazına bağlı olmayan kütle azaltma katsayısını μ_m 'yi tanımlamak faydalı olur. Lineer azaltma katsayısının yoğunluğa oranı kütle azaltma katsayısı olarak adlandırılır ve üç olayın kütle azaltma katsayılarının toplamı olarak yazılır:

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} = \frac{\tau}{\rho} + \frac{\sigma}{\rho} + \frac{\chi}{\rho} \quad (\text{Denklem 6})$$

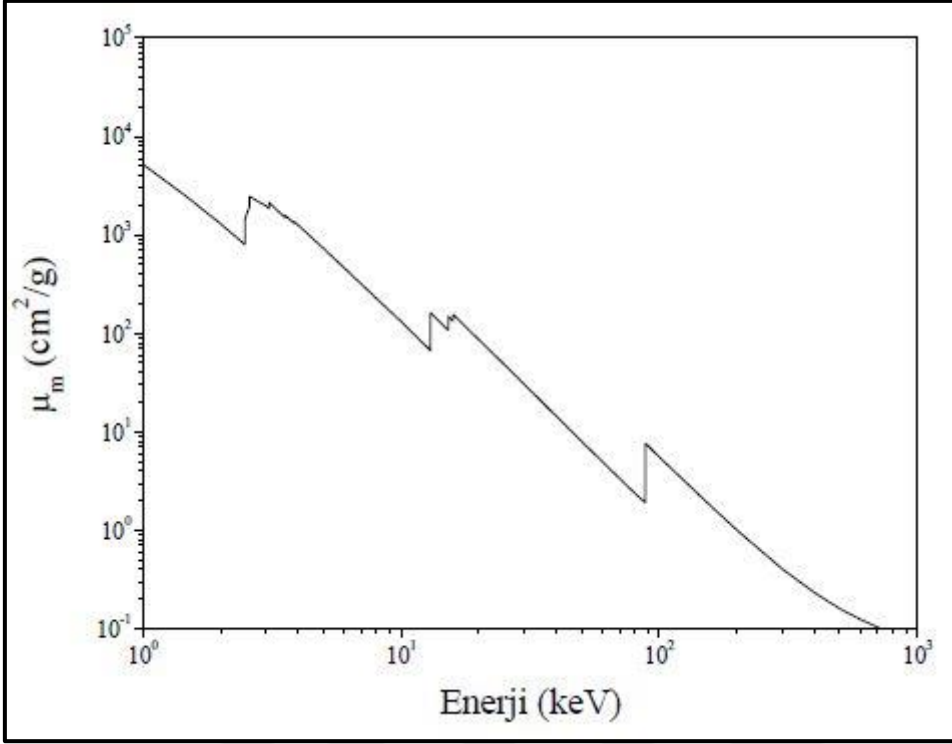
şeklinde ifade edilir. Burada $\tau\rho$ fotoelektrik kütle azaltma katsayısı; σ/ρ Compton kütle azaltma katsayısı ve χ/ρ ise çift oluşumu kütle azaltma katsayısıdır ve cm^2/g birimindedirler.

Toplam fotoelektrik kütle azaltma katsayısı, atomdaki bütün kabukları kapsadığından, her bir kabuğun kütle azaltma katsayılarının toplamı olarak yazılabilir:

$$A = \left(\frac{\tau}{\rho} \right)_E = \sum_i \left(\frac{\tau}{\rho} \right)_{E,i} \quad (\text{Denklem 7})$$

Burada $(\tau/\rho)_E$, i i elektron seviyesinin ($i = K, L_1, L_2, L_3, \dots$) E enerjili foton için fotoelektrik kütle azaltma katsayısıdır. Fotoelektrik etkileşme ihtimali, gelen fotonun enerjisi elektronun bağlanma enerjisine yaklaştıkça artmaktadır. Bu nedenle gelen γ - veya X-ışınlarının enerjisi elektronların bağlanma enerjisine eşit olduğunda γ - veya X-ışınlarının soğurulması en fazladır.

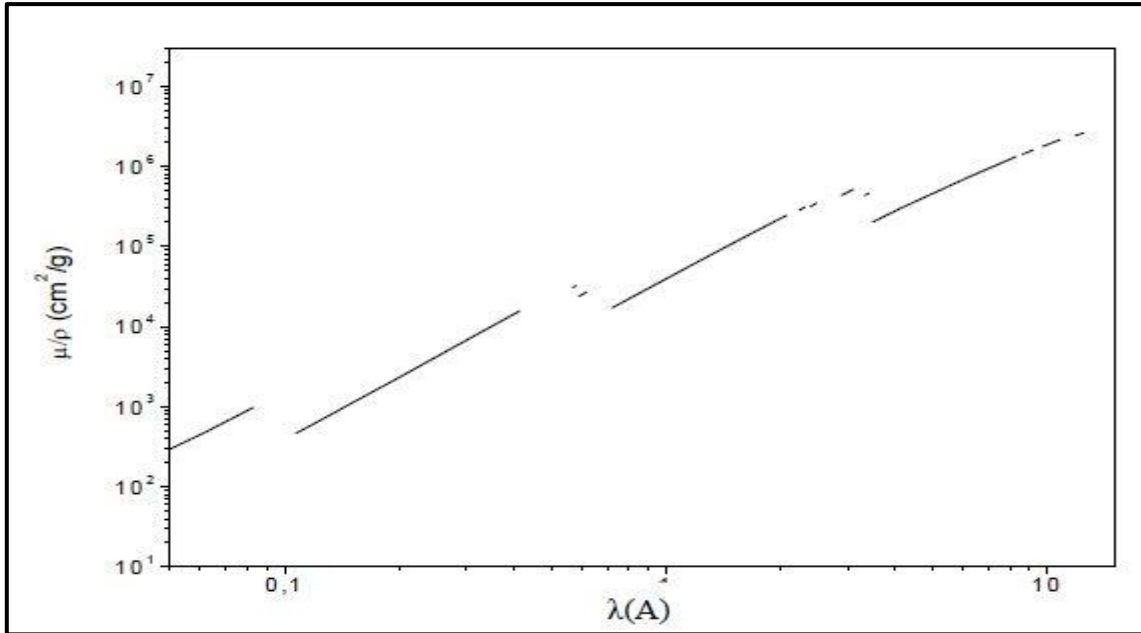
Bir tabakada fotoelektrik olay meydana getirebilen minimum foton enerjisine o elementin o tabakasına ait soğurma kıyısı denir. Soğurma kıyıları ve kütle azaltma katsayılarının enerjinin fonksiyonu olarak değişimi şematik olarak Şekil 2.18'de görülmektedir.



Şekil 2.18. Pb için gelen foton enerjisinin fonksiyonu olarak kütle azaltma katsayısı

μ/ρ , λ ve Z arasındaki ilişki:

Kütle azaltma katsayısı her maddenin ayırt edici bir özelliğidir ve belli bir dalga boyunda her madde için farklıdır ve aynı madde için her dalga boyu için farklıdır.



Şekil 2.19. U'nun kütle azaltma katsayısının dalga boyuna bağlı değişimi

Şekil 2.19'den görüldüğü gibi dalga boyu arttıkça kütle azaltma katsayısı artmaktadır. Çünkü dalga boyu büyüdükçe enerji azaldığı için delip geçme gücü azalır. Şekil 2.19'da görüldüğü gibi atom numarası arttıkça belli bir dalga boyunda kütle azaltma katsayısı artan Z ile artar, çünkü durdurma gücü artar.

γ - veya X-ışınlarının maddede azalmasını sağlayan üç olaydan biri olan fotoelektrik olayını, herhangi bir elementin herhangi bir tabakasında meydana getirebilmek için gerekli olan minimum enerji miktarına o elementin o tabakasına ait soğurma kıyısı (veya kritik soğurma dalga boyu) adı verilir. Görüldüğü gibi artan dalga boyuyla artan azaltma katsayısı soğurma kıyısında keskin bir düşüş yaşayacak ve daha sonra tekrar artan dalga boyuyla artmaya devam eder. Kütle azalma katsayısındaki bu keskin düşüşün sebebi fotoelektrik tesir kesitinden (veya katsayısından) kaynaklanmaktadır. Soğurma kıyısında atom numarası, dalga boyu ve kütle azaltma katsayısı arasındaki ilişki,

$$\mu / \rho = K' (N/A) Z^4 \lambda^3_{\text{cm}} \quad (\text{Denklem 8})$$

ile verilir. Burada K' her soğurma kıyısında değişen bir sabit, N Avagadro sayısı (atom/mol), A atom ağırlığıdır. Herhangi bir madde için N/A sabittir ve K' ile birleştirebilir ve

$$\mu / \rho = K Z^4 \lambda^3_{\text{cm}} \quad (\text{Denklem 9})$$

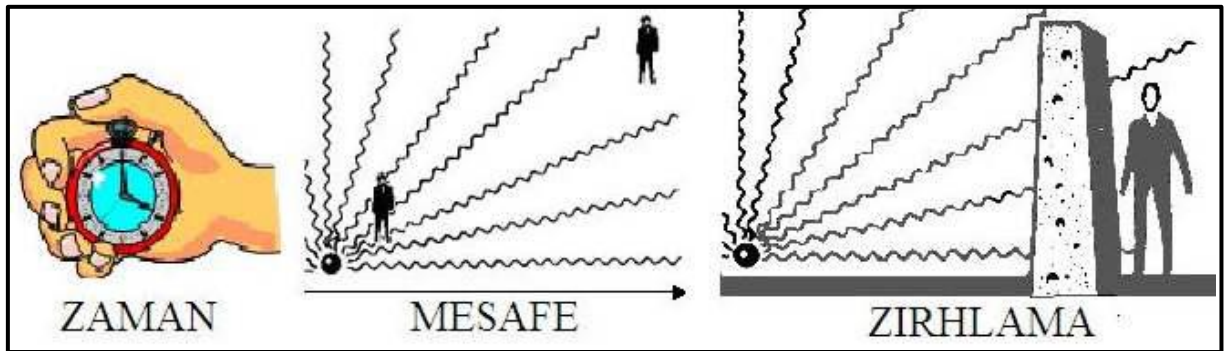
elde edilir. Bu ifade Bragg - Pierece Kanunu olarak bilinir. Burada hala her soğurma kıyısı için değişir. (Demir 2009).

2.3.8. Radyasyondan Korunma ve Yöntemleri

Dünya genelinde yılda 1.6 milyar radyolojik tetkik, 24 milyon nükleer tıp ve 5 milyon ışın tedavisi uygulaması yapılmaktadır. Ülkemizde de özellikle son zamanlarda tıbbi alet ve girişimsel radyolojik girişimsel cihaz sayısında hızla artış olmuştur. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) envanterindeki verilere göre, ülkemizde 2011 itibarıyla 12383 tıbbi radyoloji cihazı ve 4152 diş hekimliğinde kullanılan radyoloji cihazı ile 251 adet radyo terapi cihazı bulunmaktadır. Ayrıca, açık kaynakların kullanıldığı 366 adet nükleer tıp laboratuvarı FDG (florodeoksiglikoz) üretimi yapan 12 tesis bulunmaktadır. Öte yandan 679 endüstriyel radyografi/ radyoskopi cihazı, 3091 adet sabit nükleer ölçüm cihazı ile güvenlik amacı ile kullanılan 2762 adet paket/ bagaj kontrol cihazı ile 10 adet tır tarama sistemi bulunmaktadır. Radyasyonun günlük hayatta kullanılmasına paralel olarak yaydığı radyoaktif ışınlarda artmaktadır.

Radyoaktif ışınlar ve parçacıklar dokuya zarar verdikleri için kanserojen etki gösterirler. Bilindiği gibi nötron parçacığı, X ve gama (γ) ışınları radyasyon türleri madde içerisinde ilerleyebilme özelliğine sahiptirler. Ayrıca madde ile atomik ve çekirdek seviyesinde reaksiyon gerçekleştirebilirler. Bu nedenle, bu radyoaktif parçacık ve ışınların bir şekilde madde içerisinde durdurulması gerekir. X ve gama (γ) ışınları özgül ağırlıkları yüksek malzemelerle durdurula bilinirken, nötronlar ise hafif elementlerle durdurula bilinir. Radyoaktif maddelerin yaydığı nükleer ışınlardan özellikle cisimlerin içine girebilen öldürücü nötron ve γ ışınlarına karşı korunmak için inşa edilen yapılarda ağır betonlarla zırhlama yapılmaktadır (Demir, 2009; Akyüz, 1977).

Zırhlama genel olarak, radyasyonun meydana gelişini, kaynağından nasıl yayıldığını, malzemeye nasıl etkiletiğini, geçtiği ortamlarda nasıl mikroskobik değişimler meydana getirdiğini ve bu değişimlerin ortamda nasıl etkilendiğini inceleyen daldır. Maruz kalınacak radyasyonun dozu, radyasyon kaynağı ile canlı arasında zırhlama malzemesi konulmasıyla azaltılabilir. Zırhlama malzemesinin yoğunluğu, X ve gama ışınlarının zırhlama özelliğini artırır. Radyasyon, etkisinde kalma süresine, şiddetine ve etkisinde kalan vücut bölgesine bağlı olarak hücreyi parçalayabilir zarar verebilir. Radyasyondan korunmanın üç temel kuralı vardır. Bunlar Şekil 2.20’de de görüldüğü gibi; zaman, mesafe ve zırhlama kuralıdır (Ertaş, 2014).



Şekil 2.20. Radyasyondan korunma yöntemleri

2.3.8.1. Zaman Kuralı

Radyasyonla yapılan işlemlerde maruz kalınan doz; doz hızı ile zamanın çarpımıdır. Zaman ne kadar çok artarsa alınan dozda o kadar artar. Bu bağıntıdan radyasyon alanında ne kadar az süre kalınırsa o kadar az doz alınacağı açıktır. Radyoaktif kaynağın ve cihazın

yanında ne kadar kısa sürede işlem tamamlanırsa alınan doz o kadar az olacaktır. Doz hızının önceden bilinmesi ile bu bölümde çalışacak personelin ne kadar zaman çalışmasına izin verileceği belirlenir (Demir, 2009).

2.3.8.2. Mesafe Kuralı

Noktasal kaynaklardan yayınlanan radyasyon şiddetleri kaynaktan olan uzaklığın karesiyle azaldığından, uzaklık iyi bir korunma aracı olmaktadır. Örneğin; doz hızı 1 m de 100 mR/s ise, 10 m deki doz hızı 1 mR/s dir.

Bir radyasyon alanının şiddeti kaynaktan olan uzaklık arttıkça azalır. r yarıçaplı bir kürenin merkezinde saniyede n adet foton yayınlayan bir nokta kaynak varsa, kürenin yüzeyindeki akı kaynaktan olan uzaklığın karesiyle ters orantılıdır.

$$F = \frac{n}{4\pi r^2} \text{ foton.cm}^{-2}.\text{s}^{-1} \quad (\text{Denklem 10})$$

Bu kanun ters kare kanunu olarak adlandırılır. Kaynağın boyutlarının kaynakla söz konusu nokta arasındaki uzaklık ile karşılaştırıldığında ihmal edilecek kadar küçük olması yani kaynağın nokta kaynak olması halinde geçerlidir. Belirli bir uzaklıkta ki doz hızı değeri biliniyorsa boşluk veya havadaki başka bir uzaklık için doz hızı değeri uzaklıkların kareleriyle ters orantılı olarak hesaplanılır (Ertaş 2014).

2.3.8.3. Zırhlama Kuralı

Radyasyon kaynağı ile bu kaynağın sebep olduğu doza maruz kalma ihtimali olan canlılar arasına kurşun, tuğla, beton ve duvar gibi malzeme konulmasına zırhlama denilmektedir. Radyasyon dozunu azaltan malzemeye de zırhlama malzemesi denir. Zırhlama malzemelerinin yoğunluğu ne kadar fazla ise X ve gama ışınlarını zırhlama özelliği o kadar artar. Zırhlama, cihazın zırhlanması ve cihazın bulunduğu odanın zırhlaması olarak iki farklı şekilde yapılır.

Cihazın zırhlaması kolimatörlerin kullanılması ve de dış koruyucu bölmelerinin takviyesi ile yapılır. Zırhlama hesaplamalarının yapılmasında malzemelerin belirli radyasyonlara karşı gösterdikleri onuncu tabaka kalınlığının ölçülen değerleri kullanılarak yapılır.

Farklı radyasyonlar için kullanılan zırhlama maddeleri ve zırhlama işlemleri birbirinden farklıdır. Zırhlamanın esası, elektromanyetik veya parçacık radyasyonların doz

seviyelerinin, zırhlama için kullanılan malzemenin atomları arasından geçerken doğrudan doğruya veya dolaylı olarak iyonizasyon yapmaları ve bu şekilde enerjilerini tamamen veya kısmen kaybederek canlılar için zararsız seviyelere gelmeleridir.

Zırhlamanın gerekliliği zırhlanacak radyasyon tipine bağlıdır. Kaynağın aktivitesi, kabul edilebilir doz oranı zırhlamada esas alınır. Zırh malzemesi seçiminde ilk düşünülmesi gereken bireylerin korunmasıdır. Etkili bir zırhlama ile radyasyonun zararlı etkilerini asgari seviyeye indirgenebilir.

Bununla birlikte ekonomiklik, hafiflik ve boşluklu yapı gibi faktörler zırh malzemesi seçiminde etkili olurlar (Kaçar, 2006).



3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

Yapılan çalışmada beton üretiminde agrega (Kurşun madeni atığı kayalar, Manyetit, Limonit, Barit), çimento ve Gümüşhane şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

3.1.1. Agregalar

Çalışmada kullanılan kayalar, çeneli kırıcı ile kırılıp beton agregası boyutuna getirildikten sonra eleklerle elenerek 0-4, 4-11.2, 11.2-22.4 mm sınıflarında gruplandırılmıştır. Kırma ve eleme işleminde kullanılan cihazlar Şekil 3.1’de görülmektedir.



Şekil 3.1. Çeneli kırıcı ve elek sarsma makinası

Agregalara ait fiziksel özellikler Tablo 3.1’de görülmektedir.

Tablo 3.1. Agregalara ait fiziksel özellikler

Agrega türü	Agrega sınıfı	Fiziksel özellikler			
		Kuru tane yoğunluğu (g/cm ³)	DKY yoğunluğu (g/cm ³)	Su emme oranı (%)	Porozite (%)
Maden atığı (Pasa)	0-4 (İnce)	2.67	2.78	4.02	10.71
	4-32 (İri)	2.78	2.81	1.10	3.06
Manyetit	0-4 (İnce)	3.44	3.63	5.64	19.42
	4-32 (İri)	4.11	4.13	0.67	2.75
Limonit	0-4 (İnce)	3.48	3.62	4.17	14.49
	4-32 (İri)	3.32	3.43	4.02	13.36
Barit	0-4 (İnce)	3.76	3.95	5.13	19.25
	4-32 (İri)	3.84	3.87	0.66	2.54

Kullanılan agregaların kimyasal analizi Tablo 3.2’de görülmektedir.

Tablo 3.2. Beton üretiminde kullanılan agregaların kimyasal özellikleri

Kimyasal Bileşenler	Pasa	Manyetit	Limonit	Barit
SiO ₂			0.001	
Al ₂ O ₃			1.89	
Fe ₂ O ₃ *	4.65	57,79	49.93	
MgO		4,02	2.07	
Ca**		2.05	4.72	
CaO	34.6			
MgCO ₃				
Ba				46.04
S**				13.4
Zn	1.11			
Pb	0.98			
Cu	<0.01			
H ₂ O	7.96	4.6	21.8	
Diğer Uçucular Ağırlıklı (CO ₂ , vb.)	50.74	31.55	19.59	
O***				40.6
Toplam	100.04	100.01	100.001	100.04

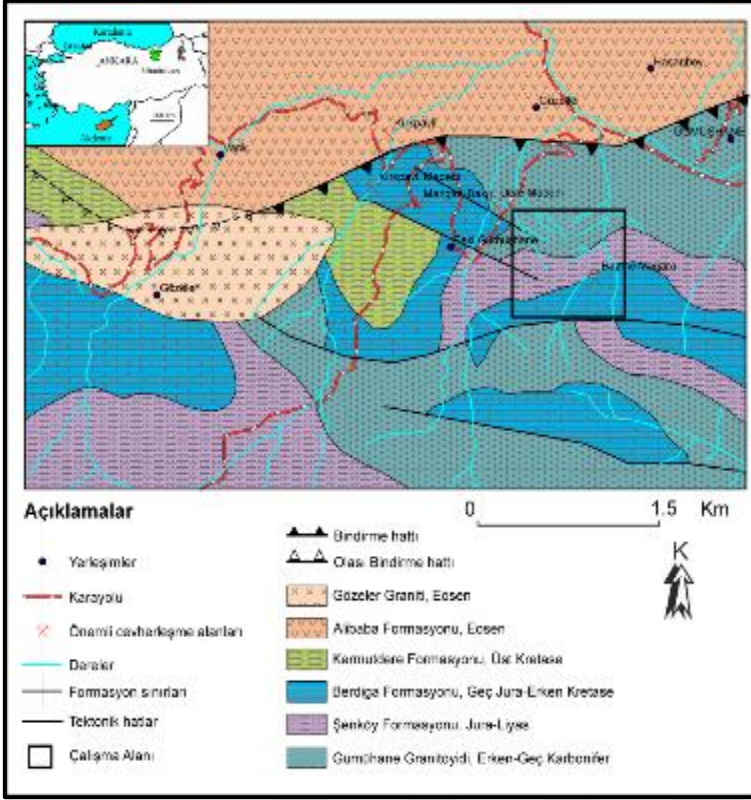
*Toplam demir miktarı

** Ca, Ba konsantrasyonları MP-AES ve ICP-MS ile elementer olarak tespit edilmiş olup, tabloda oksit hali hesaplanmadan verilmiştir.

*** O ve S değerleri Baritin genel formülünden orantı yolu ile hesap edilmiş olup, diğer impuritelere dedeksiyon limitinin altında kaldıkları için ve/veya ana bileşen içinde önemli miktarda bulunmadıkları için ihmal edilmişlerdir.

3.1.1.1. Kurşun Madeni Atıkları (Pasa)

Gümüşhane ilinde faaliyet gösteren Gümüştaş madencilik tarafından işletilen maden ocağından temin edilen maden atık kayalar kullanılmıştır. Agregaların temin edildiği maden sahasının haritası Şekil 3.2’de görülmektedir.



Şekil 3.2.Gümüştaş maden sahası jeolojik haritası (Güven, 1993)

Maden sahasından temin edilen kurşun içerikli kayaçlar çeneli kırıcıdan kırılarak 0-4, 4-11.2, 11.2-22.4 mm elek boyutlarına indirgenerek beton döküm işlemine hazır hale getirilmiştir. Şekil 3.3’de görülmektedir.



Şekil 3.3.Çeneli kırıcıda kırılmış sınıflarına ayrılmış kurşun madeni atıkları



Şekil 3.5. Çeneli kırıcıda kırılmış sınıflarına ayrılmış manyetit kayacı

3.1.1.3. Limonit

Yapılan deneysel çalışmada kullanılan limonit agregası Sivas ili Divri ilçesinden temin edilmiştir. Limonit agregaların temin edildiği bölgenin haritası Şekil 3.4'de görülmektedir.

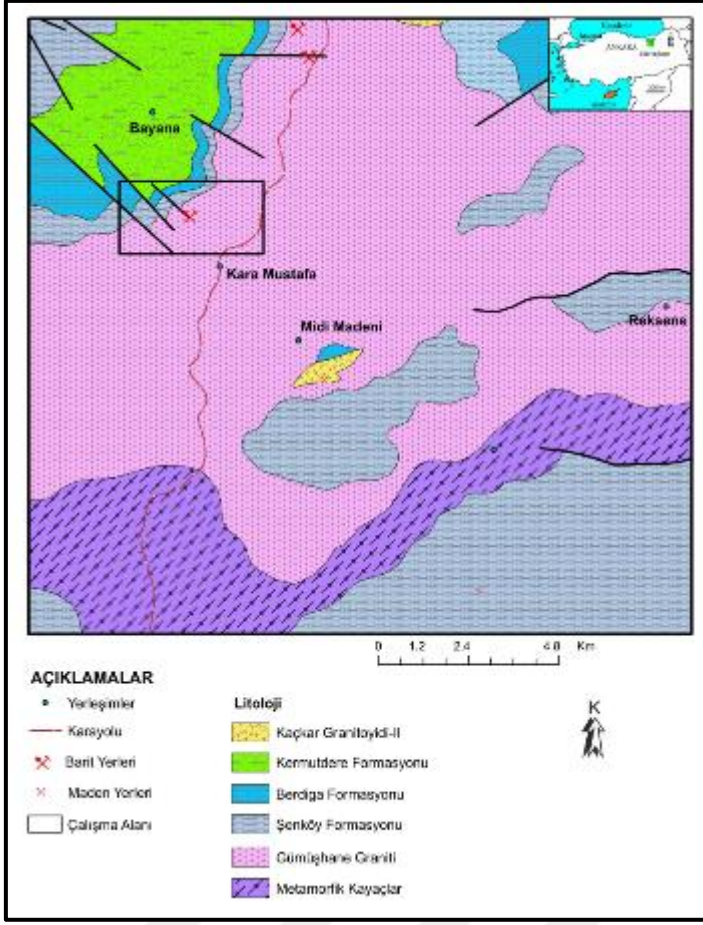
Temin edilen kayaçlar çeneli kırıcıda kırılarak 0-4, 4-11.2, 11.2-22.4 mm elek boyutlarına indirgenerek beton döküm işlemine hazır hale getirilmiştir. Şekil 3.6'da görülmektedir.



Şekil 3.6. Çeneli kırıcıda kırılmış sınıflarına ayrılmış limonit kayacı

3.1.1.4. Barit

Yapılan deneysel çalışmada kullanılan barit agregası Gümüşhane yöresi Kara Mustafa köyü civarından temin edilmiştir. Barit agregaların temin edildiği bölgenin haritası Şekil 3.7'de görülmektedir.



Şekil 3.7. Barit agregasının temin edildiği kara Mustafa köyü jeolojik haritası

Temin edilen kayalar çeneli kırıcıda kırılarak 0-4, 4-11.2, 11.2-22.4 mm elek boyutlarına indirgenerek beton döküm işlemine hazır hale getirilmiştir. Şekil 3.8’de görülmektedir.



Şekil 3.8. Çeneli kırıcıda kırılmış sınıflarına ayrılmış barit agregası

3.1.2. Çimento

Üretilen betonlarda CEM I 42.5 R tipi çimento kullanılmıştır. Çimento Gümüşhane’de bulunan Aşkale Çimento Fabrikası’ndan temin edilmiştir. Tablo 3.3’de çimentoya ait kimyasal analiz sonuçları verilmiştir.

Tablo 3.3. Çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri

Kimyasal Analizler		Fiziksel Testler	
SiO ₂	18.59	İncelik (45 µ elek üstü %)	8.58
Al ₂ O ₃	4.69	Yoğunluk (g/cm ³)	3.08
Fe ₂ O ₃	3.04	Özgül Yüzey (cm ² /g)	4145
CaO	60.34	Priz Başlangıcı (saat-dk)	2sa-33dk
MgO	1.92	Priz Sonu(saat-dk)	3sa-18dk
SO ₃	2.89	Hacim Genişlemesi(mm)	0.7
Kızdırma Kaybı	7.19	Su İhtiyacı (%)	29.9
Na ₂ O	0.11		
K ₂ O	0.64		
Cl	0.0189	Basınç Dayanımı(MPa)	
Ölçülemeyen	0.57	2.Gün	23.9
Toplam	100	28.Gün	51.1
s.CaO	0.38		
Katkı%	17.87		

3.1.3. Karışım Suyu

Çalışmada Gümüşhane şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

3.2. Metod

Çalışmada, C16/20, C25/30 ve C35/45 dayanım sınıflarında üretilen betonların sınıfında 662 keV, 1173 keV, 1332 keV ve 1460 keV enerji düzeylerinde kütle soğurma katsayıları belirlenmiştir.

3.2.1. Beton Örneklerinin Üretimi

Yapılan çalışmada betonların üretimi Gümüşhane Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yapı ve Malzemeleri Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Kurşun madeni atığı ve Manyetit, Limonit, Barit, Kireçtaşı agregaları birbirleri arasında %25-%50-%75 oranlarında yer değiştirilmiştir. TS 802 referans alınarak C16/20, C25/30 ve C35/45 olmak üzere 3 farklı basınç dayanımı sınıfında karışım dizaynı yapılmıştır (TSE 802, 2016). Karışım dizaynı yapılan 100P, 100M, 100L ve 100B beton türlerine ait karışım miktarları Tablo 3.4, Tablo 3.5, Tablo 3.6 ve Tablo 3.7’de görülmektedir.

Basınç dayanımının tespiti için 10x20 cm ebatlarında silindir örnekler hazırlanmıştır. Üretilen beton numunelerin vibrasyonu için 3000 dev/dk kapasiteli ve zaman ayarlı masa tipi sarsma tablası kullanılmıştır. Beton karışımlarının hazırlanmasında Şekil 3.9’da görülen 56 dm³ kapasiteli düşey eksenli cebri karıştırılmalı mikser kullanılmıştır.

Tablo 3.4. TS 802 referans alınarak Kurşun madeni atığı (Pasa) agregası ile üretilen 1m³ beton için hazırlanmış karışım diyazını

Kurşun madeni atığı (Pasa) agregası							
		C16/20		C25/30		C35/45	
		Hacim	Ağırlık	Hacim	Ağırlık	Hacim	Ağırlık
Çimento		102	315	133	411	181	558
Su		218	218	218	218	218	218
Hava		20		20		20	
Agrega	0-4 (%49)	323	899	308	857	285	791
	4-11.2 (%30)	198	556	189	530	174	490
	11.2-22.4 (%21)	139	389	132	371	122	343
Su/Çimento		0.69		0.53		0.39	
Toplam		1000	2378	1000	2387	1000	2400

Kurşun madeni atığı (pasa) ile hazırlanacak beton örneklerin su/çimento oranları C16/20, C25/30 ve C35/45 beton sınıfı için sırasıyla 0.69, 0.53 ve 0.39 olarak hesaplanmıştır. Beton örneklerin teorik birim hacim ağırlıkları C16/20, C25/30 ve C35/45 beton sınıfı için sırasıyla 2378kg/m³, 2387kg/m³, 2400 kg/m³ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.5. TS 802 referans alınarak Manyetit agregası ile üretilen 1m³ beton için hazırlanmış karışım diyazını

Manyetit agregası							
		C16/20		C25/30		C35/45	
		Hacim	Ağırlık	Hacim	Ağırlık	Hacim	Ağırlık
Çimento		102	315	133	411	181	558
Su		218	218	218	218	218	218
Hava		20		20		20	
Agrega	0-4 (%49)	323	1174	308	1119	285	1033
	4-11.2 (%30)	198	818	189	779	174	720
	11.2-22.4 (%21)	139	572	132	546	122	504
Su/Çimento		0.69		0.53		0.39	
Toplam		1000	3097	1000	3073	1000	3033

Manyetit ile hazırlanacak beton örneklerin su/çimento oranları C16/20, C25/30 ve C35/45 beton sınıfı için sırasıyla 0.69, 0.53 ve 0.39 olarak hesaplanmıştır. Beton örneklerin teorik birim hacim ağırlıkları C16/20, C25/30 ve C35/45 beton sınıfı için sırasıyla 3097kg/m³, 3073 kg/m³, 3033 kg/m³ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.6. TS 802 referans alınarak Limonit agregası ile üretilen 1m³ beton için hazırlanmış karışım diyazını

Limonit agregası							
		C16/20		C25/30		C35/45	
		Hacim	Ağırlık	Hacim	Ağırlık	Hacim	Ağırlık
Çimento		102	315	133	411	181	558
Su		218	218	218	218	218	218
Hava		20		20		20	
Agrega	0-4 (%49)	323	1171	308	1116	285	1031
	4-11.2 (%30)	198	679	189	647	174	598
	11.2-22.4 (%21)	139	475	132	453	122	418
Su/Çimento		0.69		0.53		0.39	
Toplam		1000	2858	1000	2845	1000	2823

Limonit ile hazırlanacak beton örneklerin su/çimento oranları C16/20, C25/30 ve C35/45 beton sınıfı için sırasıyla 0.69, 0.53 ve 0.39 olarak hesaplanmıştır. Beton örneklerin teorik birim hacim ağırlıkları C16/20, C25/30 ve C35/45 beton sınıfı için sırasıyla 2858kg/m³, 2845 kg/m³, 2823 kg/m³ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.7. TS 802 referans alınarak Barit agregası ile üretilen 1m³ beton için hazırlanmış karışım diyazını

Barit agregası							
		C16/20		C25/30		C35/45	
		Hacim	Ağırlık	Hacim	Ağırlık	Hacim	Ağırlık
Çimento		102	315	133	411	181	558
Su		218	218	218	218	218	218
Hava		20		20		20	
Agrega	0-4 (%49)	323	954	308	909	285	840
	4-11.2 (%30)	198	766	189	730	174	675
	11.2-22.4 (%21)	139	536	132	511	122	472
Su/Çimento		0.69		0.53		0.39	
Toplam		1000	2790	1000	2780	1000	2763

Barit ile hazırlanacak beton örneklerin su/çimento oranları C16/20, C25/30 ve C35/45 beton sınıfı için sırasıyla 0.69, 0.53 ve 0.39 olarak hesaplanmıştır. Beton örneklerin

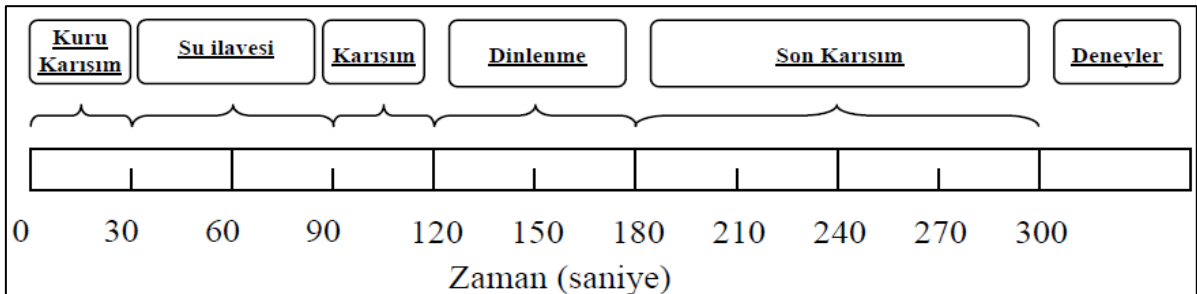
teorik birim hacim ağırlıkları C16/20, C25/30 ve C35/45 beton sınıfı için sırasıyla 2790kg/m³, 2780 kg/m³, 2763 kg/m³ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.9. Düşey eksenli cebri karıştırmalı mikser

Karıştırma işlemi yapılırken homojen bir karıştırma işlemi yapılmasına dikkat edilmiştir. Bu sebepten dolayı karıştırma işlemi yapılırken segregasyonun önüne geçilmeye çalışılmış ve bu aşağıdaki Tablo 3.8’de belirtilen zaman çizelgesindeki gibi yapılmıştır. Hazırlanan beton karışımı numune kalıplarına yerleştirilirken kalıba iyi yerleşmesi ve segregasyon olmaması için dikkat edilmiş ve sıkıştırma işlemi vibrasyon masasında yapılarak, vibrasyon 10 sn uygulanmıştır.

Tablo 3.8. Betonun karışım işlem aşamaları (Gencel, 2009)



Beton karışımında kullanılan agrega türleri arasında %25, %50, %75 oranlarında yer değiştirme yapılmıştır. Oluşturulan beton türleri Tablo 3.9’da görülmektedir.

Tablo 3.9. Beton serilerinin kodlanması ve oransal değişimleri

Beton türü	% Agrega oranları
100P	% 100 Pasa
100M	% 100 Manyetit
75M25P	% 75 Manyetit - % 25 Pasa
50M50P	% 50 Manyetit - % 50 Pasa
25M75P	% 25 Manyetit - % 75 Pasa
100L	% 100 Limonit
75L25P	% 75 Limonit - % 25 Pasa
50L50P	% 50 Limonit - % 50 Pasa
25L75P	% 25 Limonit - % 75 Pasa
100B	% 100 Barit
75B25P	% 75 Barit - % 25 Pasa
50B50P	% 50 Barit - % 50 Pasa
25B75P	% 25 Barit - % 75 Pasa
100KT	% 100 Kireçtaşı
75KT25P	% 75 Kireçtaşı - % 25 Pasa
50KT50P	% 50 Kireçtaşı - % 50 Pasa
25KT75P	% 25 Kireçtaşı - % 75 Pasa

3.2.2. Radyasyon Soğurma Tayini

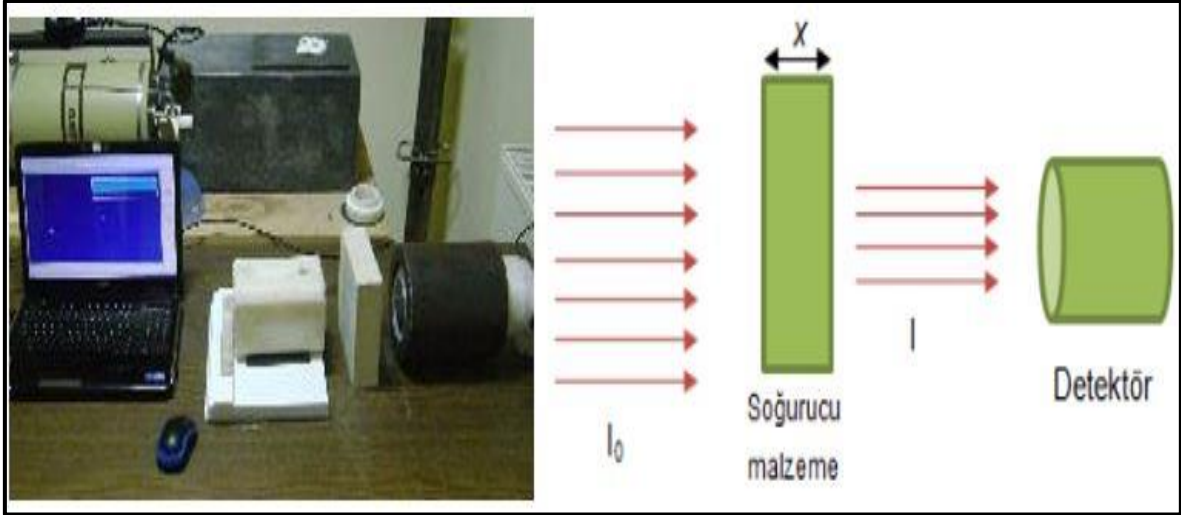
Radyasyon soğurma katsayılarının tespiti Karadeniz Teknik Üniversitesi Radyasyon ve Çevre Fiziği Laboratuvarında Şekil 3.10’da görülen 20x20x5 cm kalınlıklarda üretilen beton plak üzerinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.10. Radyasyon zırhlama beton deney plakları

Radyasyon zırhlama deney düzeneği Şekil 3.10’da görülen Sintilasyon detektörü kullanılarak Cs-137 radyoaktif kaynağı kullanılarak 652 keV, Co-60 radyoaktif kaynağı kullanılarak 1173 keV ve 1332 keV, K-40 radyoaktif kaynağı kullanılarak da 1460 keV enerjilerinde ölçüm alınarak radyasyon soğurma katsayıları ölçülmüştür.

Elektromanyetik radyasyon yayan bir kaynak ile bu radyasyonu sayan bir sayıcı (detektör) arasında bir soğurucu malzeme konulduğunda, radyasyonun bir kısmı malzeme tarafından soğurulacaktır. Soğurulan radyasyonun miktarı radyasyonun malzemenin fiziksel ve kimyasal yapısına (yoğunluk, atom numarası gibi) bağlıdır. Bu bağımlılık lineer soğurma katsayısı ile temsil edilir ve μ ile gösterilir.



Şekil 3.11. Radyasyon zırhlama deney düzeneği

Radyasyon soğurma katsayısı Denklem 11'deki formül ile tespit edilir;

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (\text{Denklem 11})$$

Yukarıdaki ifadeye Lambert-Beer yasası da denir. "i" lineer soğurma katsayısı için çözülür ise aşağıdaki ifadeyi elde etmiş oluruz;

$$\mu = \frac{1}{x} \ln\left(\frac{I_0}{I}\right) \quad (\text{Denklem 12})$$

Denklem 12'de ifade edilen lineer soğurma katsayısı belli bir foton enerjisi için verilen bir malzemenin radyasyonu soğurma oranını ifade eder. Bu soğurulma oranı, elektromanyetik radyasyonun madde ile etkileşimi mekanizmaları yolu ile gerçekleşir.

Burada;

I= Soğurucudan geçen demetin şiddeti, keV

I₀= Soğurucuya gelen demetin şiddeti, keV

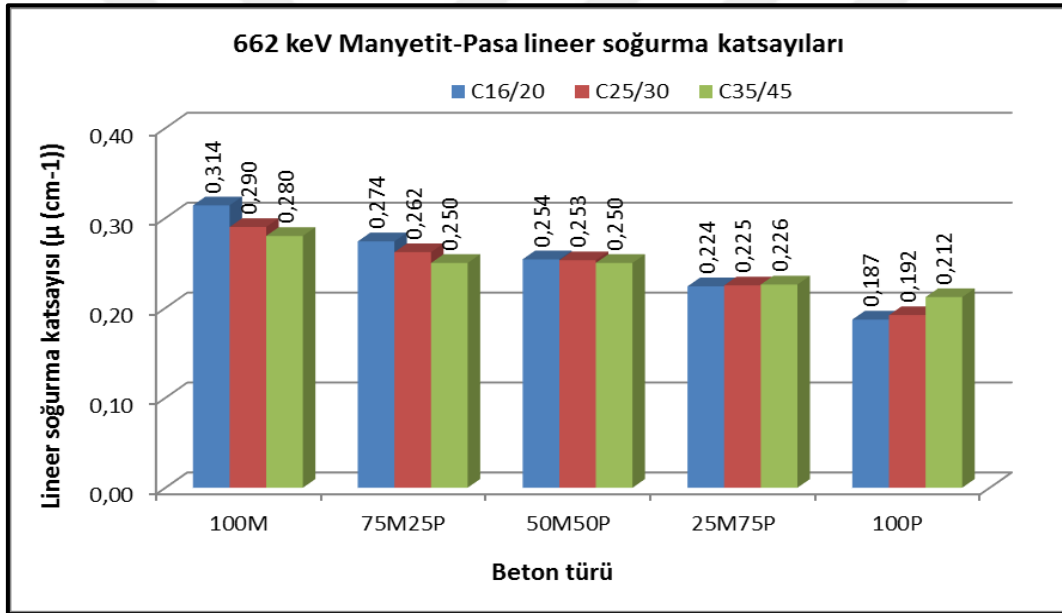
μ= Lineer azaltma katsayısı, 1/cm

x= Maddenin kalınlığını, cm ifade etmektedir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Manyetit-Pasa Radyasyon Soğurma Katsayısı

Radyasyon soğurma katsayısı sonuçlarına göre, C16/20, C25/30 ve C35/45 dayanım sınıfında 662 keV, 1173 keV, 1332 keV ve 1460 keV enerji seviyelerine göre yapılan değerlendirmede, Manyetit-Pasa agrega karışımı betonlara ait lineer soğurma katsayıları, Şekil 4.1 Şekil 4.3, Şekil 4.5 ve Şekil 4.7’de, Manyetit-Pasa agrega karışımı betonlara ait lineer soğurma katsayıları ve beton örnekleri yoğunluğu arasındaki ilişki Şekil 4.2, Şekil 4.4, Şekil 4.6, Şekil 4.8’de görülmektedir.



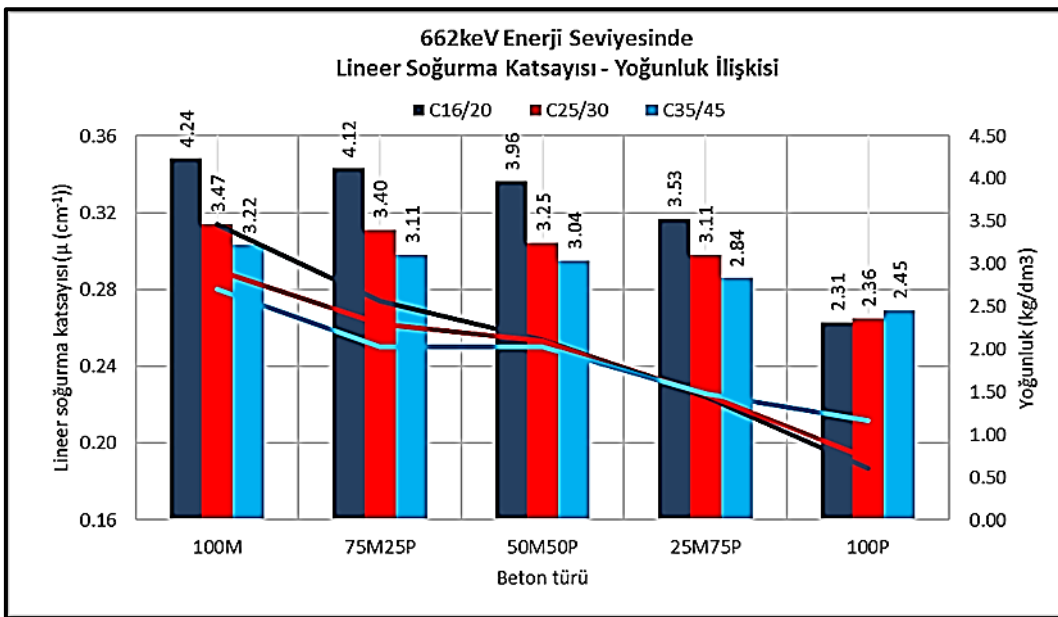
Şekil 4.1. Manyetit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 662 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değerleri

Manyetit-Pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 662 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değeri değerlendirmesinde;

- C16 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25M75P, 50M50P, 75M25P ve 100M beton türleri sırasıyla %19.79, %35.83, %46.52 ve %67.91 daha büyük radyasyon soğurma katsayısı değerine sahip olduğu,

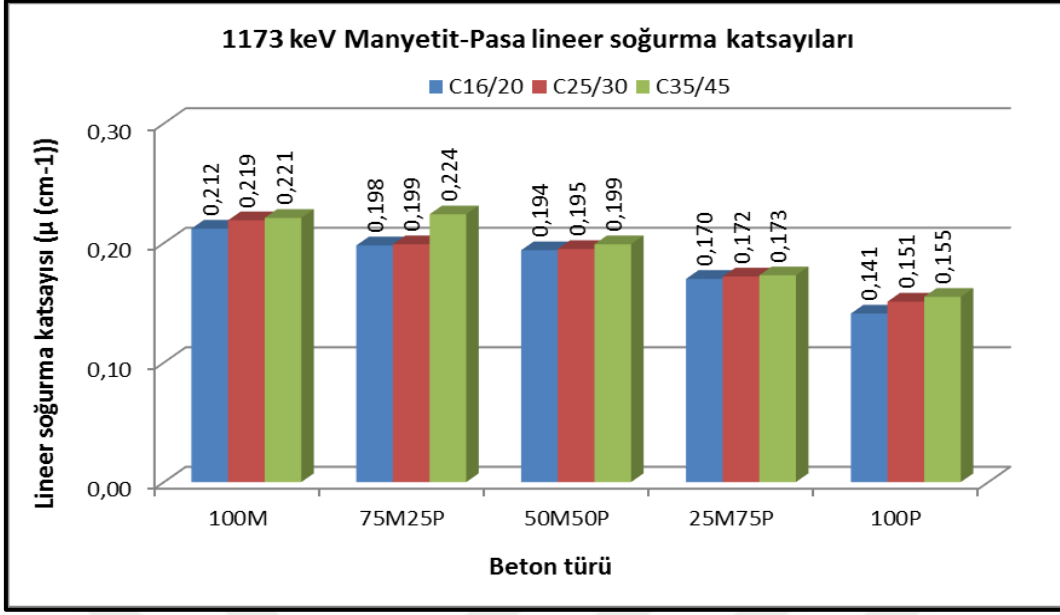
- C25 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25M75P, 50M50P, 75M25P ve 100M beton türleri sırasıyla %17.19, %31.77, %36.46 ve %51.04 daha büyük radyasyon soğurma katsayısı değerine sahip olduğu,
- C35 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25M75P, 50M50P, 75M25P ve 100M beton türleri sırasıyla %6.60, %17.92, %17.92 ve %32.08 daha büyük radyasyon soğurma katsayısı değerine sahip olduğu görülmüştür.

Manyetit-Pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 662 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi Şekil 4.2’de görülmektedir.



Şekil 4.2. Manyetit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 662 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi

Manyetit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 662 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi değerlendirmesinde karışım içerisindeki pasa oranının artışı ile beton örneklerin yoğunluğu düşmektedir. Beton örneklerin yoğunluğundaki azalmaya bağlı olarak lineer soğurma katsayılarında da azalma görülmektedir. Dayanım sınıfının artışı ile beton içerisindeki ağır agrega oranı azalmaktadır. Bundan dolayı lineer soğurma katsayısının da azaldığı görülmüştür.

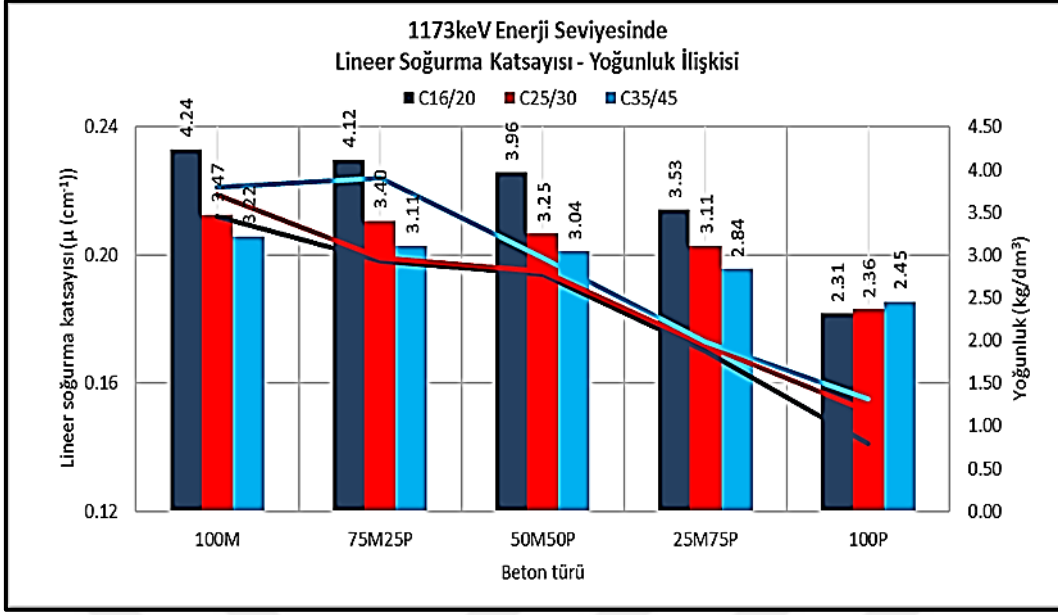


Şekil 4.3. Manyetit-pasa agregası ile hazırlanan beton örneklerinin 1173 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değerleri

Manyetit-Pasa agregası ile hazırlanan beton örneklerinin 1173 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değeri değerlendirilmesinde;

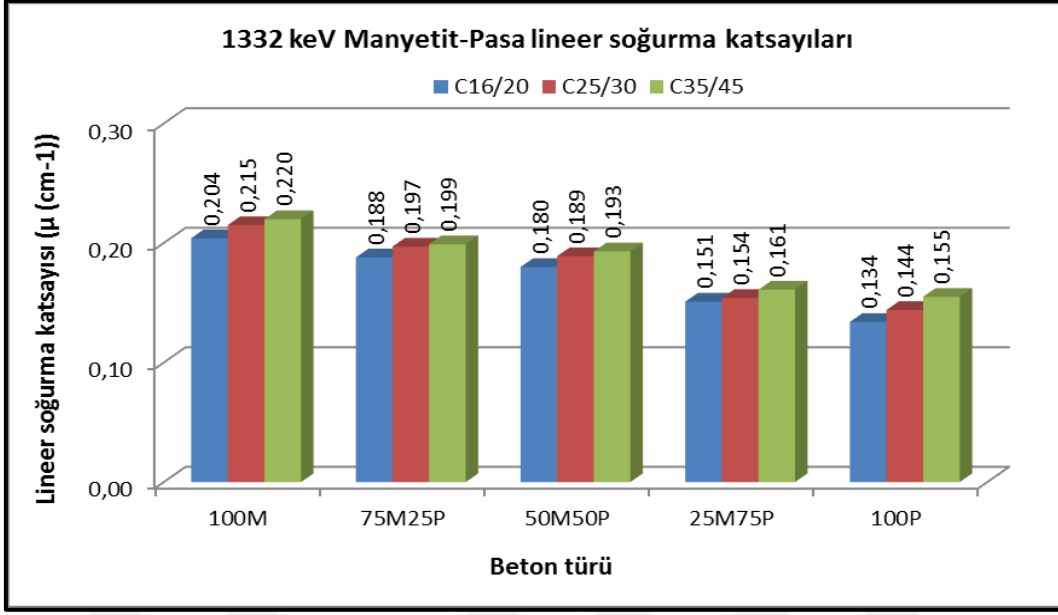
- C16 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25M75P, 50M50P, 75M25P ve 100M beton türleri sırasıyla %20.57, %37.59, %40.43 ve %50.35 daha büyük radyasyon soğurma katsayısı değerine sahip olduğu,
- C25 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25M75P, 50M50P, 75M25P ve 100M beton türleri sırasıyla %13.91, %29.14, %31.79 ve %45.03 daha büyük radyasyon soğurma katsayısı değerine sahip olduğu,
- C35 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25M75P, 50M50P, 75M25P ve 100M beton türleri sırasıyla %11.61, %28.39, %44.52 ve %42.58 daha büyük radyasyon soğurma katsayısı değerine sahip olduğu görülmüştür.

Manyetit-Pasa agregası ile hazırlanan beton örneklerinin 1173 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi Şekil 4.4'de görülmektedir.



Şekil 4.4. Manyetit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1173 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi

Manyetit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1173 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi değerlendirmesinde karışım içerisindeki pas oranının artışı ile beton örneklerin yoğunluğu düşmektedir. Beton örneklerin yoğunluğundaki azalmaya bağlı olarak lineer soğurma katsayılarında da genellikle azalma bazı kısımlarda artış görülmektedir. Bunun sebebi pas içerisindeki kurşunun miktarının farklılık göstermesidir. Dayanım sınıfının artışı ile beton içerisindeki ağır agrega oranı azalmaktadır. Bundan dolayı lineer soğurma katsayısının da azaldığı görülmüştür.

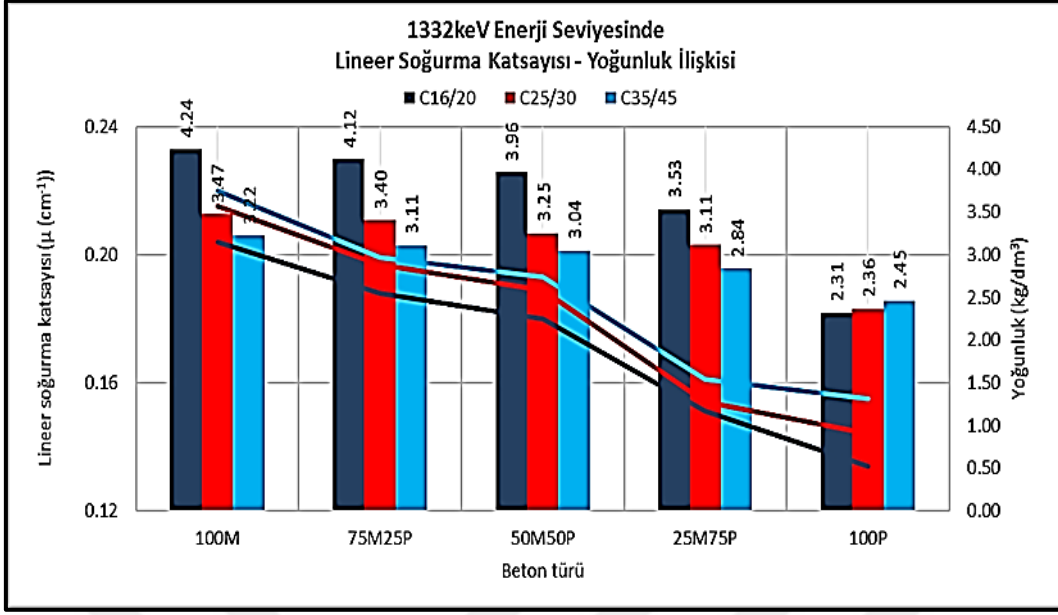


Şekil 4.5. Manyetit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1332 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değerleri

Manyetit-Pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1332 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değeri değerlendirmesinde;

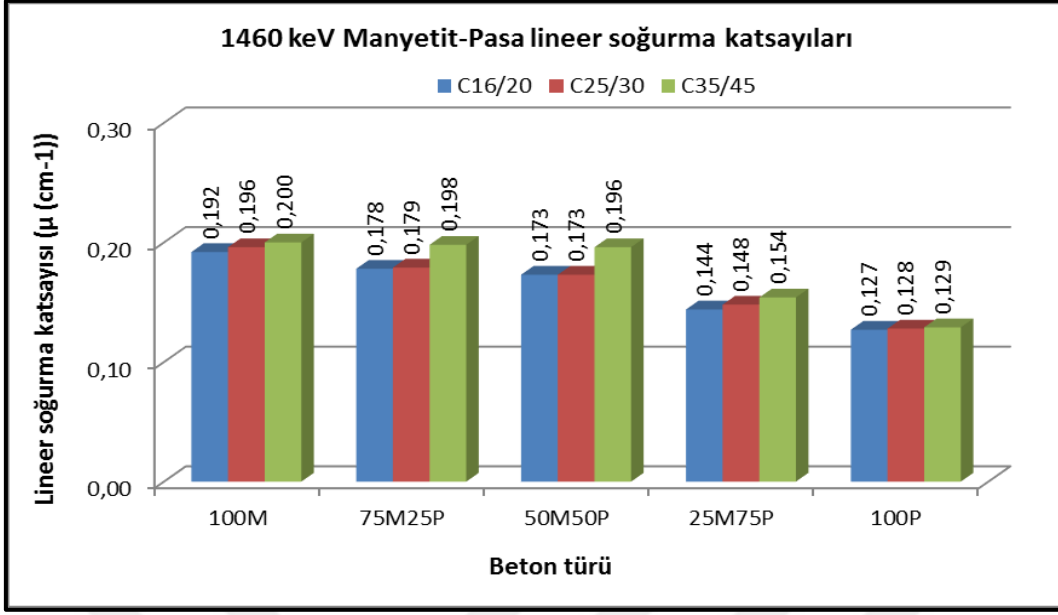
- C16 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25M75P, 50M50P, 75M25P ve 100M beton türleri sırasıyla %12.69 %34.33, %40.30 ve %52.24 daha büyük radyasyon soğurma katsayısı değerine sahip olduğu,
- C25 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25M75P, 50M50P, 75M25P ve 100M beton türleri sırasıyla %6.94, %31.25, %36.81 ve %49.31 daha büyük radyasyon soğurma katsayısı değerine sahip olduğu,
- C35 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25M75P, 50M50P, 75M25P ve 100M beton türleri sırasıyla %3.87, %24.52, %28.39 ve %41.94 daha büyük radyasyon soğurma katsayısı değerine sahip olduğu görülmüştür.

Manyetit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1332 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi Şekil 4.6'da görülmektedir.



Şekil 4.6. Manyetit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1332 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi

Manyetit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1332 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi değerlendirmesinde karışım içerisindeki pas oranının artışı ile beton örneklerin yoğunluğu düşmektedir. Beton örneklerin yoğunluğundaki azalmaya bağlı olarak lineer soğurma katsayılarında da azalma görülmektedir. Dayanım sınıfının artışı ile beton içerisindeki ağır agrega oranı azalmaktadır. Bundan dolayı lineer soğurma katsayısının da azaldığı görülmüştür.

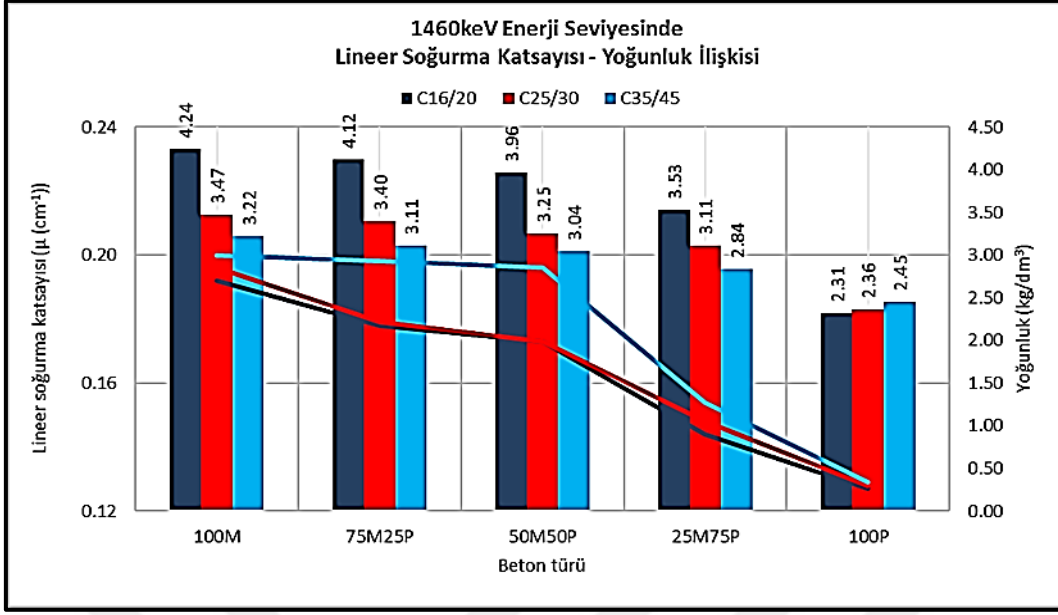


Şekil 4.7. Manyetit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1460 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değerleri

Manyetit-Pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1460 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değeri değerlendirmesinde;

- C16 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25M75P, 50M50P, 75M25P ve 100M beton türleri sırasıyla %13.39 %36.22, %40.16ve %51.18 daha büyük radyasyon soğurma katsayısı değerine sahip olduğu,
- C25 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25M75P, 50M50P, 75M25P ve 100M beton türleri sırasıyla %15.63, %35.16, %39.84 ve %53.13 daha büyük radyasyon soğurma katsayısı değerine sahip olduğu,
- C35 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25M75P, 50M50P, 75M25P ve 100M beton türleri sırasıyla 19.38, %51.94, %53.49 ve %55.04 daha büyük radyasyon soğurma katsayısı değerine sahip olduğu görülmüştür.

Manyetit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1460 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi Şekil 4.8'de görülmektedir.



Şekil 4.8. Manyetit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1460 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi

Manyetit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1460 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi değerlendirmesinde karışım içerisindeki pasa oranının artışı ile beton örneklerin yoğunluğu düşmektedir. Beton örneklerin yoğunluğundaki azalmaya bağlı olarak lineer soğurma katsayılarında da azalma görülmektedir. Dayanım sınıfının artışı ile beton içerisindeki ağır agrega oranı azalmaktadır. Bundan dolayı lineer soğurma katsayısının da azaldığı görülmüştür.

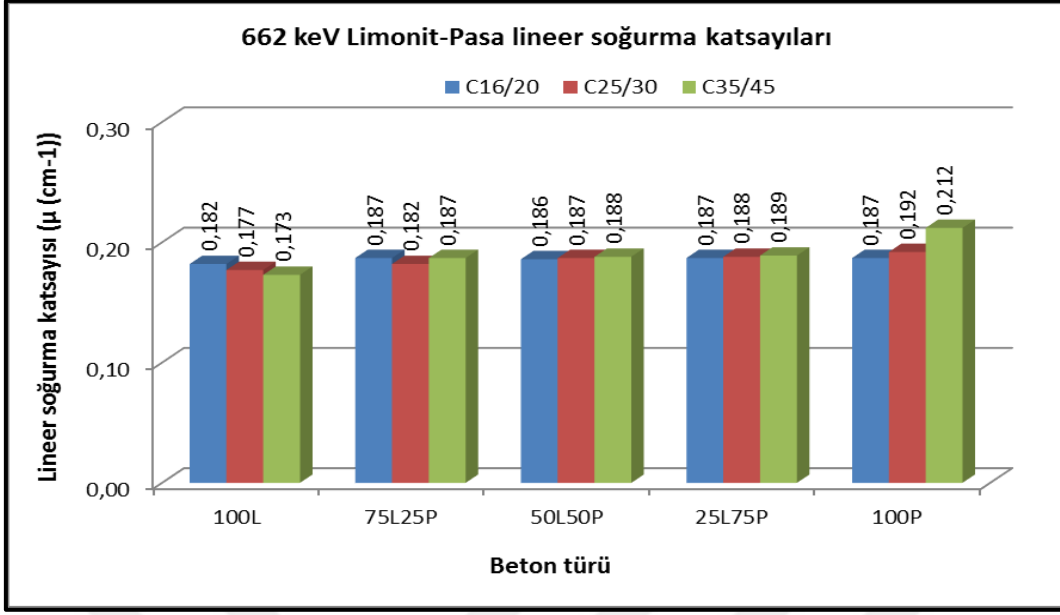
Manyetit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin tüm enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değerleri Tablo 4.1’de görülmektedir.

Tablo 4.1. Manyetit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin tüm enerji seviyelerinde radyasyon soğurma katsayısı değerleri

Enerji Seviyesi	Beton Türü	Dayanım Sınıfı		
		C16/20	C25/30	C35/45
662 keV	100M	0.314	0.290	0.280
	75M25P	0.274	0.262	0.250
	50M50P	0.254	0.253	0.250
	25M75P	0.224	0.225	0.226
	100P	0.187	0.192	0.212
1173 keV	100M	0.212	0.219	0.221
	75M25P	0.198	0.199	0.224
	50M50P	0.194	0.195	0.199
	25M75P	0.170	0.172	0.173
	100P	0.141	0.151	0.155
1332 keV	100M	0.204	0.215	0.220
	75M25P	0.188	0.197	0.199
	50M50P	0.180	0.189	0.193
	25M75P	0.151	0.154	0.161
	100P	0.134	0.144	0.155
1460 keV	100M	0.192	0.196	0.200
	75M25P	0.178	0.179	0.198
	50M50P	0.173	0.173	0.196
	25M75P	0.144	0.148	0.154
	100P	0.127	0.128	0.129

4.2. Limonit-Pasa Radyasyon Soğurma Katsayısı

Radyasyon soğurma katsayısı sonuçlarına göre C16/20, C25/30 ve C35/45 dayanım sınıfında 662 keV, 1173 keV, 1332 keV ve 1460 keV enerji seviyelerine göre yapılan değerlendirmede, Limonit-Pasa agrega karışımı betonlara ait lineer soğurma katsayıları Şekil 4.9, Şekil 4.11, Şekil 4.13 ve Şekil 4.15'te, Limonit-Pasa agrega karışımı betonlara ait lineer soğurma katsayıları ve beton örnekleri yoğunluğu arasındaki ilişki Şekil 4.10, Şekil 4.12, Şekil 4.14, Şekil 4.16'da görülmektedir.

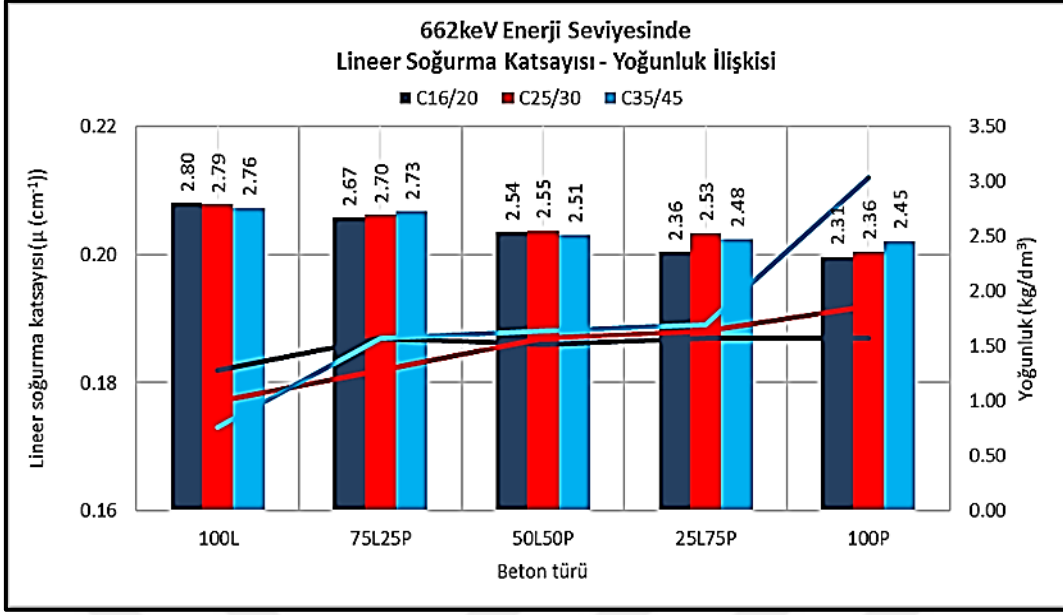


Şekil 4.9. Limonit-pasa agregası ile hazırlanan beton örneklerinin 662 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değerleri

Limonit-Pasa agregası ile hazırlanan beton örneklerinin 662 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değeri değerlendirilmesinde;

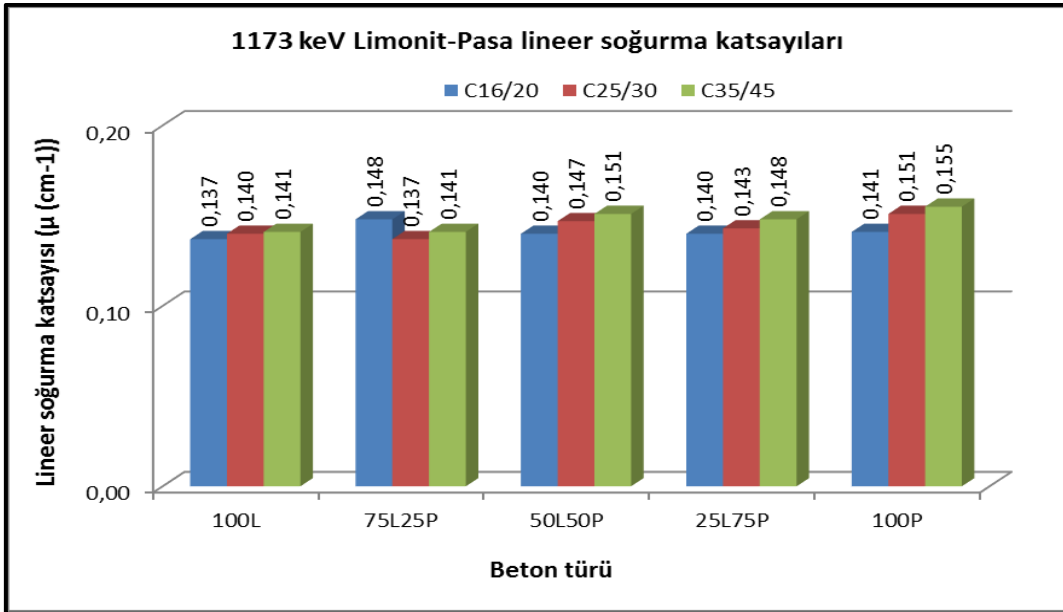
- C16 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25L75P, 75L25P beton türleri aynı kütle soğurma katsayısına sahiptir ayrıca 50L50P, 100L beton türleri sırasıyla %0.53 %2.67 daha küçük radyasyon soğurma katsayısı değerine sahip olduğu,
- C25 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25L75P, 50L50P, 75L25P ve 100L beton türleri sırasıyla %2.08, %2.60, %5.21 ve %7.81 daha küçük radyasyon soğurma katsayısı değerine sahip olduğu,
- C35 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25L75P, 50L50P, 75L25P ve 100L beton türleri sırasıyla %10.85, %11.32, %11.79 ve %18.40 daha küçük radyasyon soğurma katsayısı değerine sahip olduğu görülmüştür.

Limonit-Pasa agregası ile hazırlanan beton örneklerinin 662 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi Şekil 4.10'da görülmektedir.



Şekil 4.10. Limonit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 662 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi

Limonit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 662 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi değerlendirmesinde karışım içerisindeki pasa oranının artışı ile beton örneklerin yoğunluğu azalmaktadır. Beton örneklerin yoğunluğundaki azalmaya karşın olarak lineer soğurma katsayılarında da artış görülmektedir. Bu artış pasa içerisindeki kurşun miktarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

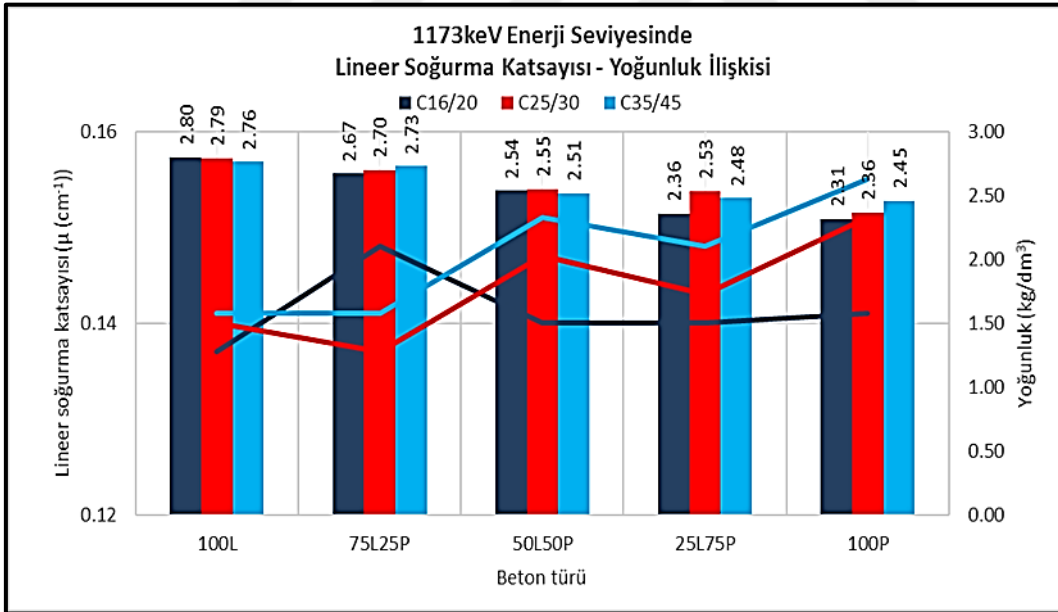


Şekil 4.11. Limonit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1173 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değerleri

Limonit-Pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1173 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değeri değerlendirmesinde;

- C16 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25L75P, 50L50P ve 100L beton türleri sırasıyla %0.71, %0.71, %2.84 daha küçük ve 75L25P %4.96 daha büyük radyasyon soğurma katsayısı değerine sahip olduğu,
- C25 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25L75P, 50L50P, 75L25P ve 100L beton türleri sırasıyla %5.30, %2.65, %9.27 ve %7.28 daha küçük radyasyon soğurma katsayısı değerine sahip olduğu
- C35 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25L75P, 50L50P, 75L25P ve 100L beton türleri sırasıyla %4.52, %2.58, %9.03 ve %9.03 daha küçük radyasyon soğurma katsayısı değerine sahip olduğu görülmüştür.

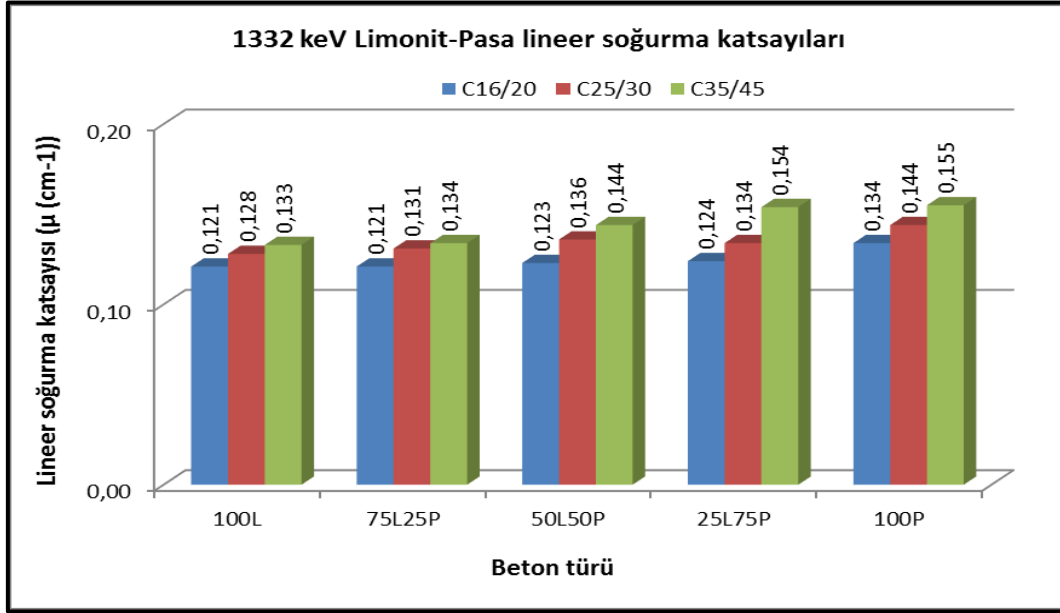
Limonit-Pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1173 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi Şekil 4.12’de görülmektedir.



Şekil 4.12. Limonit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1173 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi

Limonit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1173 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi değerlendirmesinde karışım içerisindeki pasa oranının artışı ile beton örneklerin yoğunluğu azalmaktadır. Beton örneklerin yoğunluğundaki azalmaya karşın olarak lineer soğurma katsayılarında da artış

görülmektedir. Bu artış pasaya içerisindeki kurşun miktarının değişken oluşu ve Limonit'in bozulmuş yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Benzer şekilde lineer soğurma katsayısındaki düzensizlik de bu durumdan kaynaklanmaktadır.

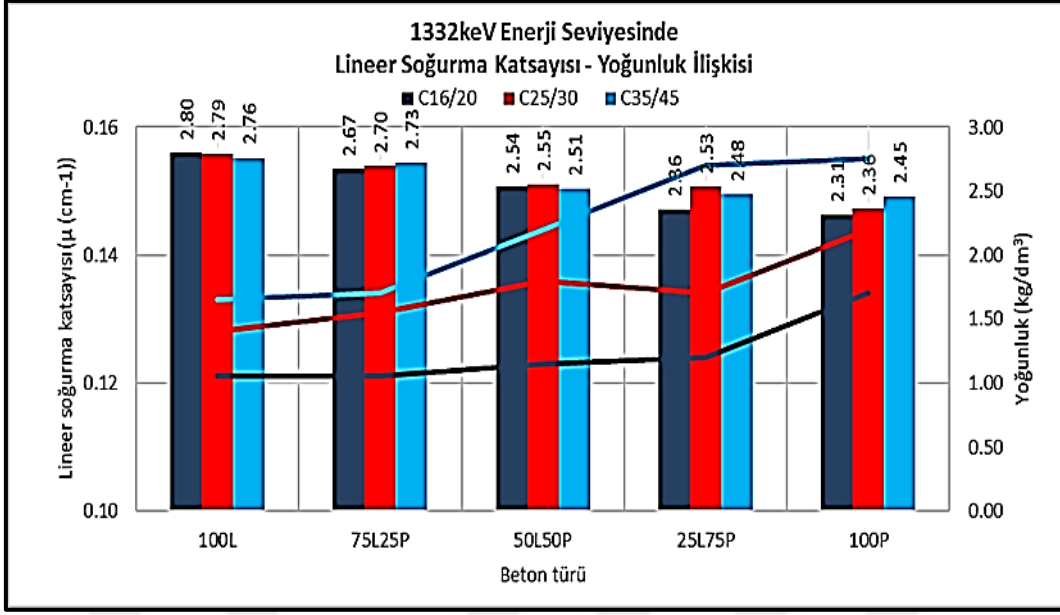


Şekil 4.13. Limonit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1332 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değerleri

Limonit-Pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1332 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değeri değerlendirmesinde;

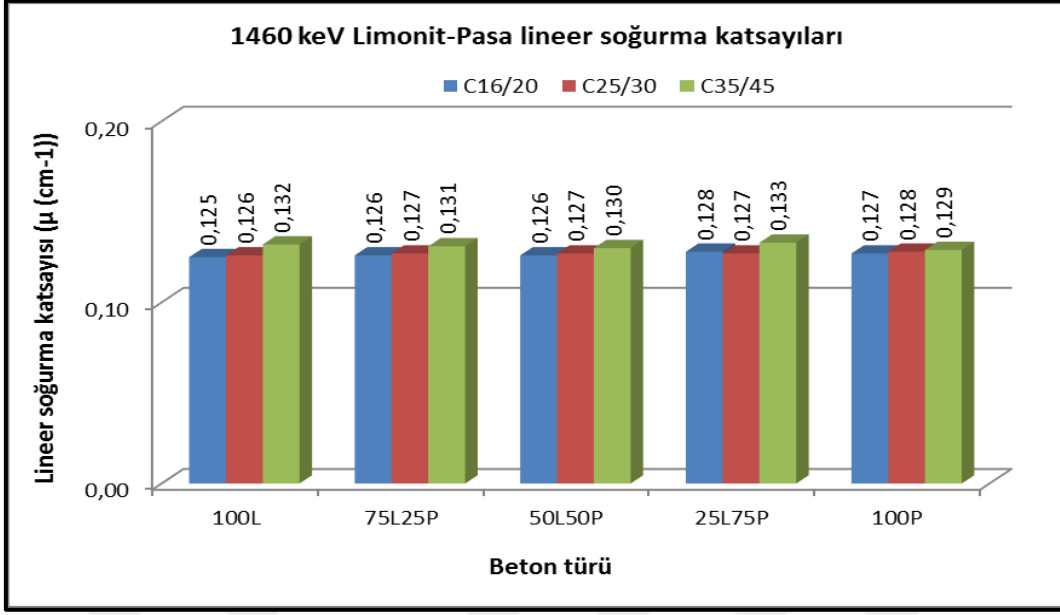
- C16 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25L75P, 50L50P, 75L25P ve 100L beton türleri sırasıyla %7.46, %8.21, %9.70 ve %9.70 daha küçük radyasyon soğurma katsayısı değerine sahip olduğu
- C25 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25L75P, 50L50P, 75L25P ve 100L beton türleri sırasıyla %6.94, %5.56, %9.03 ve %11.11 daha küçük radyasyon soğurma katsayısı değerine sahip olduğu
- C35 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25L75P, 50L50P, 75L25P ve 100L beton türleri sırasıyla %0.65, %7.10, %13.55 ve %14.19 daha küçük radyasyon soğurma katsayısı değerine sahip olduğu görülmüştür.

Limonit-Pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1332 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi Şekil 4.14'de görülmektedir.



Şekil 4.14. Limonit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1332 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi

Limonit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1332 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi değerlendirmesinde karışım içerisindeki pasa oranının artışı ile beton örneklerin yoğunluğu azalmaktadır. Beton örneklerin yoğunluğundaki azalmaya karşın olarak lineer soğurma katsayılarında da artış görülmektedir. Bu artış 1173 keV enerji seviyesinde ölçümlere benzer şekilde pasa içerisindeki kurşun miktarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

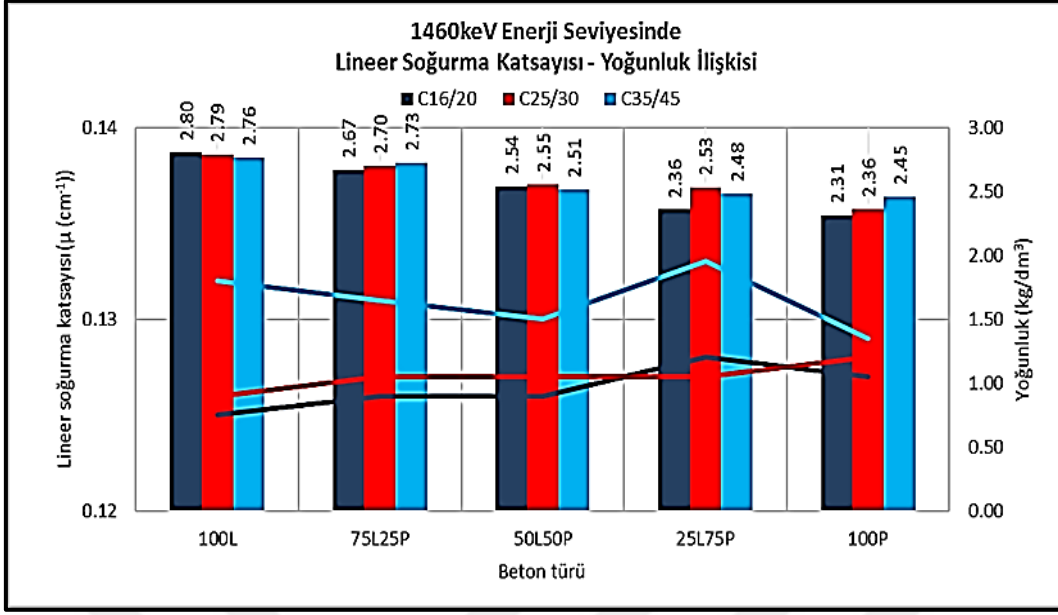


Şekil 4.15. Limonit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1460 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değerleri

Limonit-Pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1460 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değeri değerlendirmesinde;

- C16 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25L75P %0.79 daha büyük ve 50L50P, 75L25P, 100L beton türleri sırasıyla %0.79, %0.79 ve %1.57 daha küçük radyasyon soğurma katsayısı değerine sahip olduğu
- C25 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25L75P, 50L50P, 75L25P ve 100L beton türleri sırasıyla %0.78, %0.78, %0.78 ve %1.56 daha küçük radyasyon soğurma katsayısı değerine sahip olduğu
- C35 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25L75P, 50L50P, 75L25P ve 100L beton türleri sırasıyla %3.10, %0.78, %1.55 ve %2.33 daha büyük radyasyon soğurma katsayısı değerine sahip olduğu belirlenmiştir.

Limonit-Pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1460 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi Şekil 4.16'da görülmektedir.



Şekil 4.16. Limonit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1460 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi

Limonit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1460 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi değerlendirmesinde karışım içerisindeki pasa oranının artışı ile beton örneklerin yoğunluğu azalmaktadır. Beton örneklerin yoğunluğundaki azalmaya karşın olarak C16/20 ve C25/30 dayanım sınıflarında lineer soğurma katsayılarında da artış görülmektedir. C35/45 dayanım sınıfında ise, ağır agrega azalmasından kaynaklı lineer soğurma katsayısında kısmen azalma görülmüştür.

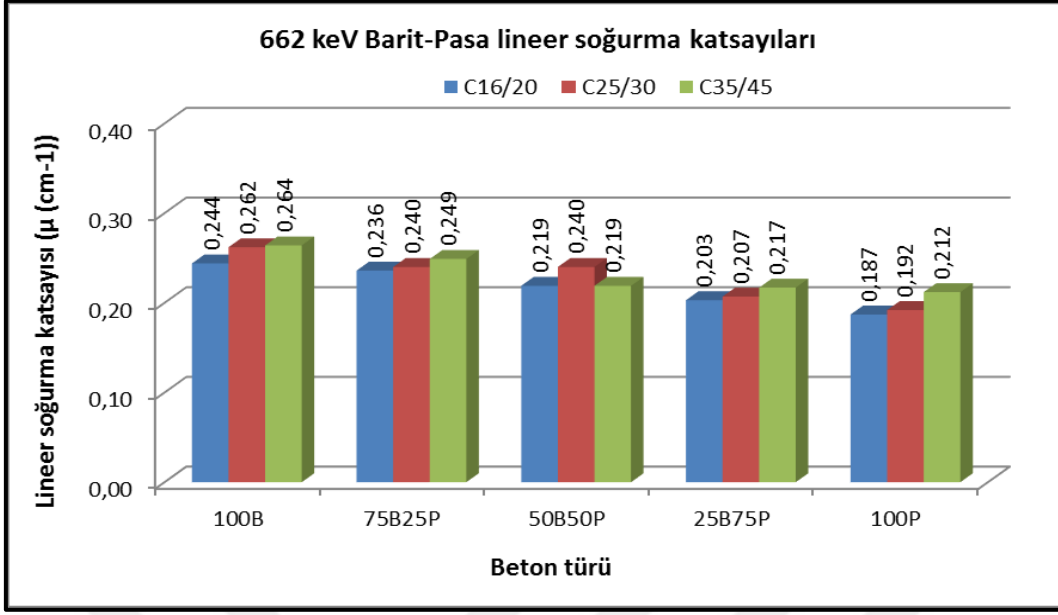
Limonit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin tüm enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değerleri Tablo 4.2’de görülmektedir.

Tablo 4.2. Limonit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin tüm enerji seviyelerinde radyasyon soğurma katsayısı değerleri

Enerji Seviyesi	Beton Türü	Dayanım Sınıfı		
		C16/20	C25/30	C35/45
662 keV	100L	0.182	0.177	0.173
	75L25P	0.187	0.182	0.187
	50L50P	0.186	0.187	0.188
	25L75P	0.187	0.188	0.189
	100P	0.187	0.192	0.212
1173 keV	100L	0.137	0.140	0.141
	75L25P	0.148	0.137	0.141
	50L50P	0.140	0.147	0.151
	25L75P	0.140	0.143	0.148
	100P	0.141	0.151	0.155
1332 keV	100L	0.121	0.128	0.133
	75L25P	0.121	0.131	0.134
	50L50P	0.123	0.136	0.144
	25L75P	0.124	0.134	0.154
	100P	0.134	0.144	0.155
1460 keV	100L	0.125	0.126	0.132
	75L25P	0.126	0.127	0.131
	50L50P	0.126	0.127	0.130
	25L75P	0.128	0.127	0.133
	100P	0.128	0.128	0.129

4.3. Barit-Pasa Radyasyon Soğurma Katsayısı

Radyasyon soğurma katsayısı sonuçlarına göre, C16/20, C25/30 ve C35/45 dayanım sınıfında 662 keV, 1173 keV, 1332 keV ve 1460 keV enerji seviyelerine göre yapılan değerlendirmede, Barit-Pasa agrega karışımı betonlara ait grafik Şekil 4.17, Şekil 4.19, Şekil 4.21 ve Şekil 4.23'te, Barit-Pasa agrega karışımı betonlara ait lineer soğurma katsayıları ve beton yoğunlukları arasındaki ilişki Şekil 4.18, Şekil 4.20, Şekil 4.22 ve Şekil 4.24'te görülmektedir.

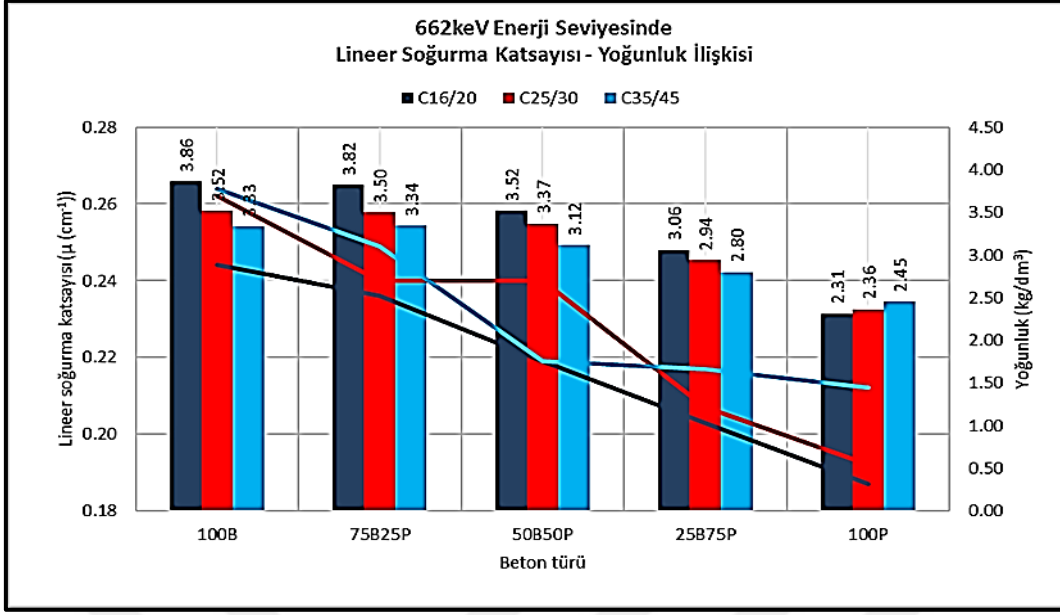


Şekil 4.17. Barit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 662 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değerleri

Barit-Pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 662 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değeri değerlendirmesinde;

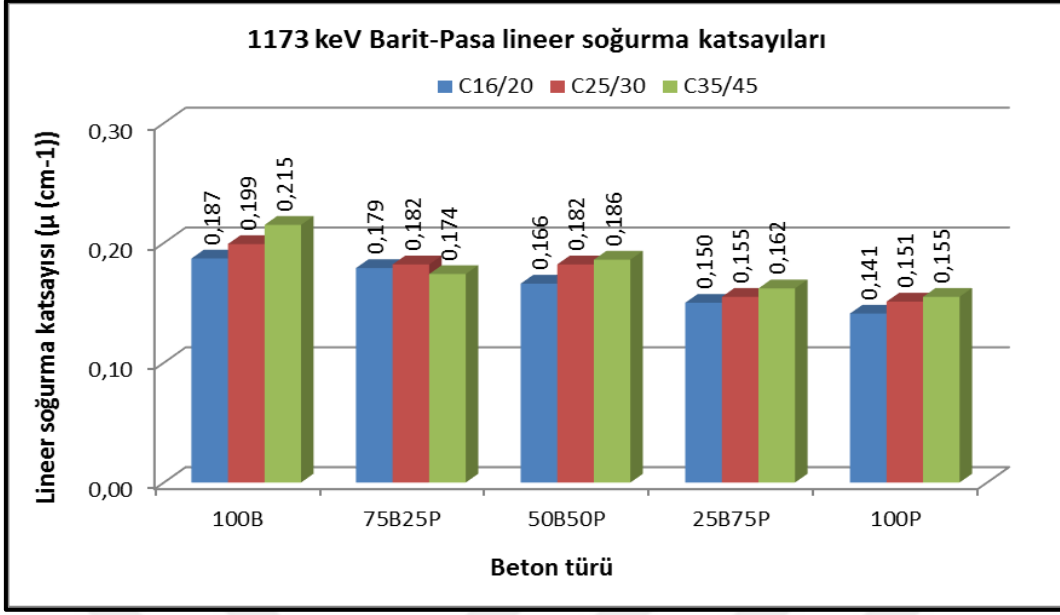
- C16 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25M75P, 50M50P, 75M25P ve 100B beton türleri sırasıyla %8.6, %17.1, %26.2 ve %30.5 daha büyük radyasyon soğurma katsayısı değerine sahip olduğu,
- C25 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25M75P, 50M50P, 75M25P ve 100B beton türleri sırasıyla %7.8, %25, %25 ve %36.5 daha büyük radyasyon soğurma katsayısı değerine sahip olduğu,
- C35 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25M75P, 50M50P, 75M25P ve 100B beton türleri sırasıyla %2.4, %3.3, %17.5 ve %24.5 daha büyük radyasyon soğurma katsayısı değerine sahip olduğu görülmüştür.

Barit-Pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 662 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi Şekil 4.18'de görülmektedir.



Şekil 4.18. Barit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 662 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi

Barit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 662 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi değerlendirmesinde karışım içerisindeki pasa oranının artışı ile beton örneklerin yoğunluğu düşmektedir. Beton örneklerin yoğunluğundaki azalmaya bağlı olarak lineer soğurma katsayılarında da azalma görülmektedir. Dayanım sınıfının artışı ile beton içerisindeki ağır agrega oranı azalmaktadır. Bundan dolayı lineer soğurma katsayısının da azaldığı görülmüştür.

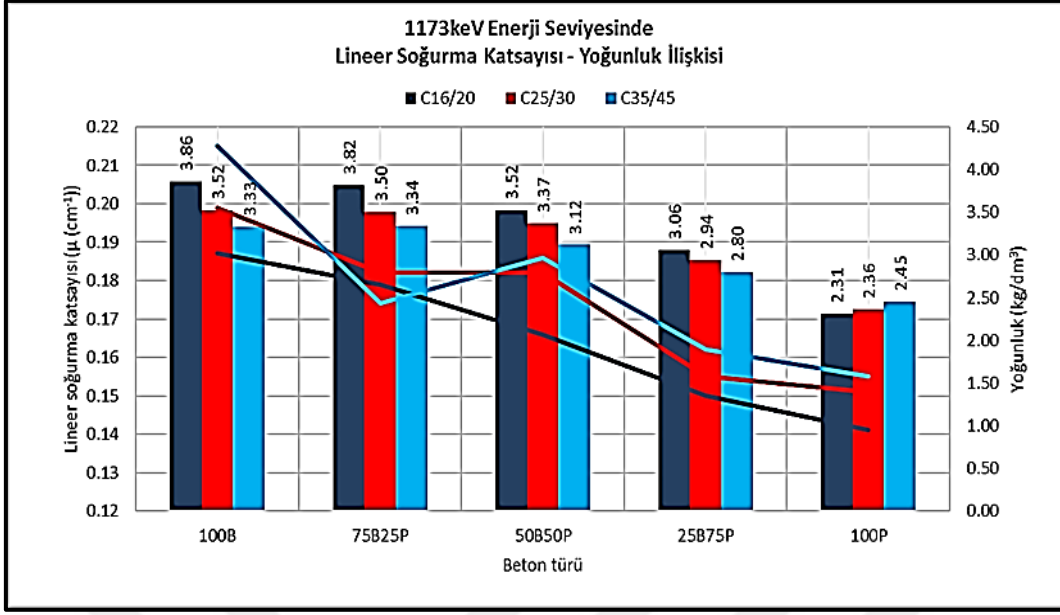


Şekil 4.19. Barit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1173 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değerleri

Barit-Pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1173 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değeri değerlendirmesinde;

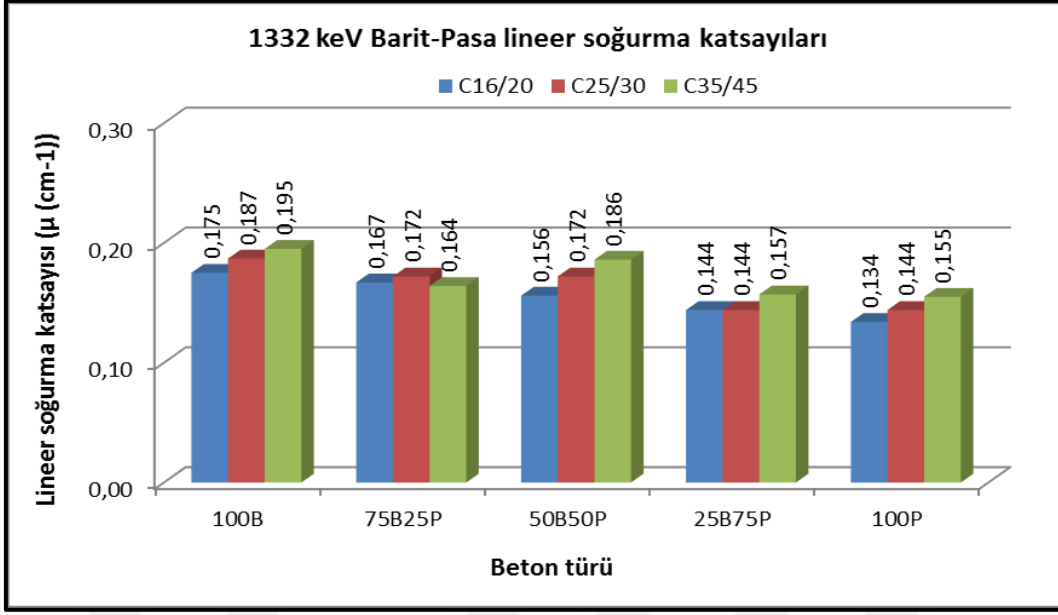
- C16 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25B75P, 50B50P, 75B25P ve 100B beton türleri sırasıyla %6.4, %17.7, %27 ve %32.6 daha büyük radyasyon soğurma katsayısı değerine sahip olduğu,
- C25 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25B75P, 50B50P, 75B25P ve 100B beton türleri sırasıyla %2.6, %20.5, %20.5 ve %31.8 daha büyük radyasyon soğurma katsayısı değerine sahip olduğu,
- C35 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25B75P, 50B50P, 75B25P ve 100B beton türleri sırasıyla %4.5, %20, %12.3 ve %38.7 daha büyük radyasyon soğurma katsayısı değerine sahip olduğu görülmüştür.

Barit-Pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1173 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi Şekil 4.20’de görülmektedir.



Şekil 4.20. Barit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1173 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi

Barit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1173 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi değerlendirmesinde karışım içerisindeki pasa oranının artışı ile beton örneklerin yoğunluğu düşmektedir. Beton örneklerin yoğunluğundaki azalmaya bağlı olarak lineer soğurma katsayılarında da azalma görülmektedir. Dayanım sınıfının artışı ile beton içerisindeki ağır agrega oranı azalmaktadır. Bundan dolayı lineer soğurma katsayısının da azaldığı görülmüştür.

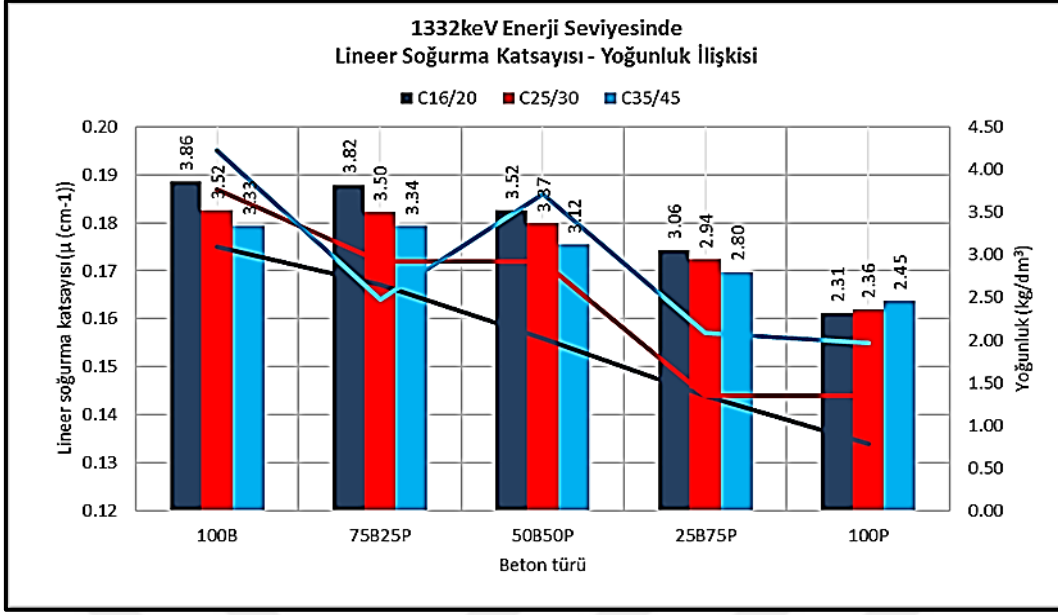


Şekil 4.21. Barit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1332 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değerleri

Barit-Pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1332 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değeri değerlendirmesinde;

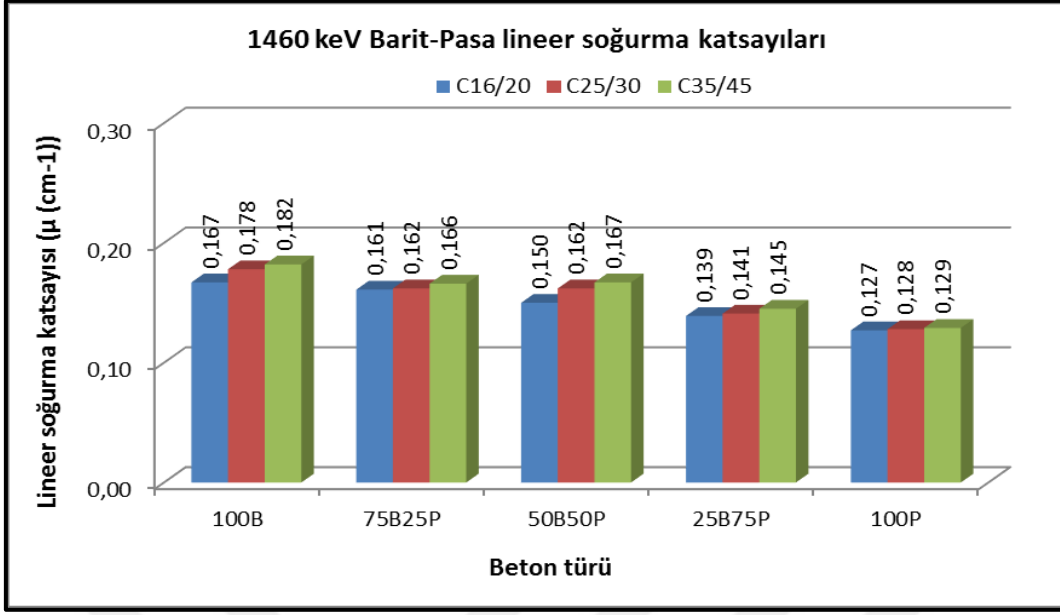
- C16 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25B75P, 50B50P, 75B25P ve 100B beton türleri sırasıyla %7.5, %16.4, %24.6 ve %30.6 daha büyük radyasyon soğurma katsayısı değerine sahip olduğu,
- C25 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25B75P beton türü %0 eşit radyasyon soğurma katsayısı değerine sahip olduğu, 50B50P, 75B25P ve 100B beton türleri sırasıyla %19.4, %19.4 ve %29.9 daha büyük radyasyon soğurma katsayısı değerine sahip olduğu,
- C35 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25B75P, 50B50P, 75B25P ve 100B beton türleri sırasıyla %1.3, %20, %5.8 ve %25.8 daha büyük radyasyon soğurma katsayısı değerine sahip olduğu görülmüştür.

Barit-Pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1332 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi Şekil 4.22’de görülmektedir



Şekil 4.22. Barit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1332 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi

Barit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1332 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi değerlendirmesinde karışım içerisindeki pasa oranının artışı ile beton örneklerin yoğunluğu düşmektedir. Beton örneklerin yoğunluğundaki azalmaya bağlı olarak lineer soğurma katsayılarında da azalma görülmektedir. Dayanım sınıfının artışı ile beton içerisindeki ağır agrega oranı azalmaktadır. Bundan dolayı lineer soğurma katsayısının da azaldığı görülmüştür.

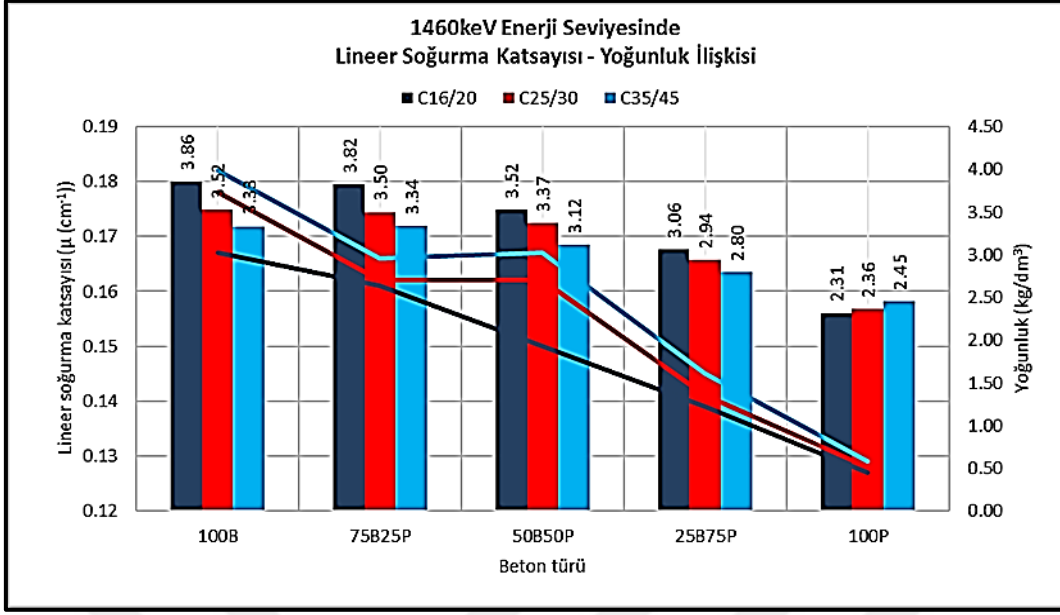


Şekil 4.23. Barit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1460 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değerleri

Barit-Pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1460 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değeri değerlendirmesinde;

- C16 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25B75P, 50B50P, 75B25P ve 100B beton türleri sırasıyla %9.4, %18.1, %26.8 ve %31.5 daha büyük radyasyon soğurma katsayısı değerine sahip olduğu,
- C25 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25B75P, 50B50P, 75B25P ve 100B beton türleri sırasıyla %10.2, %26.6, %26.6 ve %39.1 daha büyük radyasyon soğurma katsayısı değerine sahip olduğu,
- C35 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25B75P, 50B50P, 75B25P ve 100B beton türleri sırasıyla %12.4, %29.5, %28.7 ve %41.1 daha büyük radyasyon soğurma katsayısı değerine sahip olduğu görülmüştür.

Barit-Pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1460 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi Şekil 4.24'te görülmektedir.



Şekil 4.24. Barit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1460 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi

Barit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 1460 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayısı-yoğunluk ilişkisi değerlendirmesinde karışım içerisindeki pasa oranının artışı ile beton örneklerin yoğunluğu düşmektedir. Beton örneklerin yoğunluğundaki azalmaya bağlı olarak lineer soğurma katsayılarında da azalma görülmektedir. Dayanım sınıfının artışı ile beton içerisindeki ağır agrega oranı azalmaktadır. Bundan dolayı lineer soğurma katsayısının da azaldığı görülmüştür.

Barit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin tüm enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değerleri Tablo 4.3'de görülmektedir.

Tablo 4.3. Barit-pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin tüm enerji seviyelerinde radyasyon soğurma katsayısı değerleri

Enerji Seviyesi	Beton Türü	Dayanım Sınıfı		
		C16/20	C25/30	C35/45
662 keV	100B	0.244	0.262	0.264
	75B25P	0.236	0.240	0.249
	50B50P	0.219	0.240	0.219
	25B75P	0.203	0.207	0.217
	100P	0.187	0.192	0.212
1173 keV	100B	0.187	0.199	0.215
	75B25P	0.179	0.182	0.174
	50B50P	0.166	0.182	0.186
	25B75P	0.150	0.155	0.162
	100P	0.141	0.151	0.155
1332 keV	100B	0.175	0.187	0.195
	75B25P	0.167	0.172	0.164
	50B50P	0.156	0.172	0.186
	25B75P	0.144	0.144	0.157
	100P	0.134	0.144	0.155
1460 keV	100B	0.167	0.178	0.182
	75B25P	0.161	0.162	0.166
	50B50P	0.150	0.162	0.167
	25B75P	0.139	0.141	0.145
	100P	0.127	0.128	0.129

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kütle zayıflatma katsayısı radyasyon enerjisiyle değişen fiziksel bir parametredir. Esasen, radyasyon enerjisi arttıkça kütle azaltma katsayısı azalır. Bu sonuç deneysel verilerden de açıkça görülmektedir. Hatta deneysel veriler, kütle azaltma katsayılarının artan enerjiyle birlikte üstel bir şekilde azaldığını ortaya koymuştur.

Kütle azaltma katsayıları radyasyonun madde ile etkileşiminin bir ölçüsüdür. Dolayısıyla, kütle azaltma katsayısı ne kadar yüksekse, ilgilenilen malzeme radyasyonu o derece iyi soğurur anlamına gelir. Yani kütle azaltma katsayısı yüksek olan malzemelerin radyasyon zırhlamada kullanılmaları daha uygun olacaktır.

Kurşun maden atıklarının atık olarak doğaya bırakılması çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Pasa diye tabir ettiğimiz bu malzemenin kurşun içermesinden dolayı radyasyon zırhlama malzemesi olarak kullanılabilmesi ve ekonomiye kazandırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla barit, limonit, manyetit ve pasa kullanılarak elde edilen beton türleri 4 farklı enerji seviyesinde radyasyona maruz bırakılarak radyasyon soğurma katsayıları belirlenmiştir. Elde ettiğimiz sonuçlara göre:

Manyetit-Pasa agregası karışımı ile hazırlanan beton türlerinde; 4 farklı enerji seviyesinde ve 3 farklı beton sınıfında, tüm enerji seviyelerinde en yüksek radyasyon soğurma katsayısı 100M beton türünde C35/45 beton sınıflarında elde edilmiştir.

Manyetit agregaları ile üretilen betonlara Pasa'nın ilavesi ile radyasyon soğurma katsayılarında azalma meydana gelmektedir. Dayanım sınıfına göre değerlendirmede ise, 662 keV enerji düzeyinde dayanım sınıfının artışı ile radyasyon soğurma değerlerinde azalma belirlenmiştir. Fakat diğer enerji seviyelerinde (1173-1332-1460 keV) dayanım sınıfının artışı radyasyon soğurma değerlerinde artış olduğunu göstermiştir.

662 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değeri değerlendirmesinde:

- C16/20 dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 75P25M, 50P50M, 25P75M ve 100M beton türlerinde %19.79- %67.91 arasında artış ölçülmüştür.

- C25/30 dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 75P25M, 50P50M, 25P75M ve 100M beton türlerinde %17.19- %51.04 arasında artış ölçülmüştür.
- C35/45 dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 75P25M, 50P50M, 25P75M ve 100M beton türlerinde %6.60- %32.08 arasında artış ölçülmüştür.

1173 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değeri değerlendirilmesinde:

- C16/20 dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 75P25M, 50P50M, 25P75M ve 100M beton türlerinde %20.57- %50.35 arasında artış ölçülmüştür.
- C25/30 dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 75P25M, 50P50M, 25P75M ve 100M beton türlerinde %13.91- %45.03 arasında artış ölçülmüştür.
- C35/45 dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 75P25M, 50P50M, 25P75M ve 100M beton türlerinde %11.61- %42.58 arasında artış ölçülmüştür.

1332 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değeri değerlendirilmesinde:

- C16/20 dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 75P25M, 50P50M, 25P75M ve 100M beton türlerinde %12.69- %52.24 arasında artış ölçülmüştür.
- C25/30 dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 75P25M, 50P50M, 25P75M ve 100M beton türlerinde %6.94- %49.31 arasında artış ölçülmüştür.
- C35/45 dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 75P25M, 50P50M, 25P75M ve 100M beton türlerinde %3.87- %41.91 arasında artış ölçülmüştür.

1460 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değeri değerlendirilmesinde:

- C16/20 dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 75P25M, 50P50M, 25P75M ve 100M beton türlerinde %13.39- %51.18 arasında artış ölçülmüştür.
- C25/30 dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 75P25M, 50P50M, 25P75M ve 100M beton türlerinde %15.63- %53.13 arasında artış ölçülmüştür.
- C35/45 dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 75P25M, 50P50M, 25P75M ve 100M beton türlerinde %19.38- %55.04 arasında artış ölçülmüştür.

Barit-Pasa agregası karışımı ile hazırlanan beton türlerinde; 4 farklı enerji seviyesinde ve 3 farklı beton sınıfında, tüm enerji seviyelerinde en yüksek radyasyon soğurma katsayısı 100B beton türünde C35/45 beton sınıflarında elde edilmiştir.

Pasa ile üretilen betonlara barit agregası ilave edilmesiyle radyasyon soğurma katsayılarında artış meydana gelmiştir. Dayanım sınıflarına göre değerlendirmede ise tüm enerji seviyelerinde dayanım sınıfının artışı radyasyon soğurma değerlerinde de artış olduğunu göstermiştir.

662 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değeri değerlendirmesinde:

- C16/20 dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 75P25B, 50P50B, 25P75B ve 100B beton türlerinde %8.6- %30.5 arasında artış ölçülmüştür.
- C25/30 dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 75P25B, 50P50B, 25P75B ve 100B beton türlerinde %7.8- %36.5 arasında artış ölçülmüştür.
- C35/45 dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 75P25B, 50P50B, 25P75B ve 100B beton türlerinde %2.4- %24.5 arasında artış ölçülmüştür.

1173 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değeri değerlendirmesinde:

- C16/20 dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 75P25B, 50P50B, 25P75B ve 100B beton türlerinde %6.4- %32.6 arasında artış ölçülmüştür.
- C25/30 dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 75P25B, 50P50B, 25P75B ve 100B beton türlerinde %2.6- %31.8 arasında artış ölçülmüştür.
- C35/45 dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 75P25B, 50P50B, 25P75B ve 100B beton türlerinde %4.5- %38.7 arasında artış ölçülmüştür.

1332 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değeri değerlendirmesinde:

- C16/20 dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 75P25B, 50P50B, 25P75B ve 100B beton türlerinde %7.5- %30.6 arasında artış ölçülmüştür.
- C25/30 dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 75P25B, 50P50B, 25P75B ve 100B beton türlerinde %19.4- %29.9 arasında artış ölçülmüştür.
- C35/45 dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 75P25B, 50P50B, 25P75B ve 100B beton türlerinde %1.3- %25.8 arasında artış ölçülmüştür.

1460 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değeri değerlendirmesinde:

- C16/20 dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 75P25B, 50P50B, 25P75B ve 100B beton türlerinde %9.4- %31.5 arasında artış ölçülmüştür.

- C25/30 dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 75P25B, 50P50B, 25P75B ve 100B beton türlerinde %10.2- %39.1 arasında artış ölçülmüştür.
- C35/45 dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 75P25B, 50P50B, 25P75B ve 100B beton türlerinde %12.4- %41.1 arasında artış ölçülmüştür.

Limonit-Pasa agregası karışımı ile hazırlanan beton türlerinde; 4 farklı enerji seviyesinde ve 3 farklı beton sınıfında, tüm enerji seviyelerinde genel olarak en yüksek radyasyon soğurma katsayısı 100P beton türünde C35/45 beton sınıflarında elde edilmiştir.

Pasa ile üretilen betonlara limonit agregalarının ilavesi ile radyasyon soğurma katsayılarında azalma meydana gelmektedir. Limonitin altere yapısından kaynaklanan bu durum limonitin birim hacim ağırlığının yüksek olmasına rağmen radyasyon zırhlamada diğer agregalara oranla pek uygun olmadığını bize göstermiştir. Dayanım sınıfına göre değerlendirmede ise, 662 keV enerji düzeyinde dayanım sınıfının artışı ile 100L beton türünde radyasyon soğurma değerlerinde azalma 75P25L, 50P50L, 25P75L ve 100P beton türlerinde artış belirlenmiştir. Fakat diğer enerji seviyelerinde (1173-1332-1460 keV) dayanım sınıfının artışı radyasyon soğurma değerlerinde artış olduğunu göstermiştir. Dayanım sınıfının artışıyla, radyasyon soğurmadaki bu azalma karışıma giren ağır agrega miktarının azalmasından kaynaklanmaktadır.

662 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değeri değerlendirmesinde:

- C16/20 dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 75P25L ve 25P75L beton türlerinde değişim görülmemiş, 50P50L ve 100L beton türlerinde sırasıyla %0.53- %2.67 oranında azalma ölçülmüştür.
- C25/30 dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 75P25L, 50P50L, 25P75L ve 100L beton türlerinde %2.08- %7.81 arasında azalma ölçülmüştür.
- C35/45 dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 75P25L, 50P50L, 25P75L ve 100L beton türlerinde %10.85- %18.40 arasında azalma ölçülmüştür.

1173 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değeri değerlendirmesinde:

- C16/20 dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 75P25L, 50P50L ve 100L beton türlerinde %0.71- %2.84 arasında azalma, 25P75L beton türünde %4.96 oranında artış ölçülmüştür.

- C25/30 dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 75P25L, 50P50L, 25P75L ve 100L beton türlerinde %5.30- %7.28 arasında azalma ölçülmüştür.
- C35/45 dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 75P25L, 50P50L, 25P75L ve 100L beton türlerinde %2.58- %9.03 arasında azalma ölçülmüştür.

1332 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değeri değerlendirilmesinde:

- C16/20 dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 75P25L, 50P50L, 25P75L ve 100L beton türlerinde %7.46- %9.70 arasında azalma ölçülmüştür.
- C25/30 dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 75P25L, 50P50L, 25P75L ve 100L beton türlerinde %6.94- %11.11 arasında azalma ölçülmüştür.
- C35/45 dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 75P25L, 50P50L, 25P75L ve 100L beton türlerinde %0.65-%14.19 arasında azalma ölçülmüştür.

1460 keV enerji seviyesinde radyasyon soğurma katsayısı değeri değerlendirilmesinde:

- C16/20 dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 75P25L beton türünde %0.79 artış, 50P50L, 25P75L ve 100L beton türlerinde %0.79-%1.57 arasında azalma ölçülmüştür.
- C25/30 dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 75P25L, 50P50L, 25P75L ve 100L beton türlerinde %0.78 - %1.56 arasında azalma ölçülmüştür.
- C35/45 dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 75P25L, 50P50L, 25P75L ve 100L beton türlerinde %0.78- %3.1 arasında azalma ölçülmüştür.

Enerji seviyeleri arttıkça tüm beton türü ve beton sınıflarında radyasyon soğurma değerlerinde azalma olduğu görülmüştür. Yani enerji seviyesinin artması radyasyon soğurma miktarını olumsuz yönde etkilemiştir.

Manyetit, Barit, Limonit ve Pasa agregaları elde edilen sonuçlara göre kıyaslandığında manyetit en yüksek radyasyon soğurma değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Ardından sırasıyla barit, pasa ve limonit gelmektedir.

Bu sayede pasanın olumsuz çevresel etkileri azaltılmış ve atık olan bir kaynak değerlendirilmiş olacaktır.

Pasa katkısı ile radyasyon soğurmada düzgün bir azalma veya artış olmamaktadır. Bu durum pasa içerisindeki kurşun oranındaki değişme ile açıklanabilir. Agregada içerisindeki kurşun miktarı her agregada grubunda aynı olmamaktadır.

Bu çalışmada kullanılan pasa içerisindeki kurşun miktarı %1 civarındadır. İlerde yapılacak çalışmalarda kayaç içerisindeki kurşun miktarının değişik oranları ile çalışmalar yapılması önerilmektedir.



6. KAYNAKLAR

- Akgün Y., Durmuş A. ve Durmuş A., 2007. “Barit Agregasıyla Üretilen Ağır Bir Betonun Özellikleri”, İMO Dergisi, 465-474.
- Akyıldırım H., 2011. “Ağır Betonların Nükleer Radyasyon Zırhlama Özelliklerinin Araştırılması”, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Isparta, 95s.
- Binici H. , Sevinç A.H. ve Durgun M.Y. , 2010. “Barit, Bazaltik Pomza, Kolemanit ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Betonların Özellikleri”, KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi, 13(1), 14.
- Caymaz M., 2009. “Baritin Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği Ve Kalker İle Dere Malzemesi Agregalarıyla Karşılaştırılması”, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 85s.
- Coşkun A., 2010. “Ağır Betonlarda Barit Agregasının Kullanımı Ve Beton Özelliklerinin Araştırılması”, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Afyon, 52s.
- Çakı S.İ., 2013. “Ağır Betonların Elastisite Modülünün Modellenmesi”, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 48s.
- Demir F. , 2009. “Bor Ve Barit Agregalı Ağır Betonların Nötron Parçacıkları, X- Ve Γ - Işınları İçin Radyasyon Soğurganlıklarının Belirlenmesi”, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Erzurum, 212s.
- Doğan Z. M., 2012. “Limonit Ve Siderit Agregalarının Ağır Beton Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ, 64s.
- Ertuş H., 2014. “Kurşun Madeni Atıklarının Radyasyon Zırhlama Etkilerinin Araştırılması”, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane, 74s.

- Esen S. , 2013. “Silis Dumanı Katkılı Ağır Betonların Fiziksel Ve Mekanik Özellikleri”, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 49s.
- Filiz, M., Gençel, O., Özel, C., ve Sancak, E., 19-21 Haziran 2008. “Hematit Agregalı Betonun Radyasyon Önlemede Kullanımının Araştırılması”, Beton 2008, Hazır Beton Kongresi& Uluslararası Beton-Agrega, İnşaat Teknolojileri ve Ekipmanları Fuarı, Uluslararası Hazır Beton Kongresi Bildirileri Kitabı, İstanbul, s.635-644.
- Güven İ., 1993. Doğu Pontidlerin 1/25000 Ölçekli Kompilasyonu. Ankara: MTA Genel Müdürlüğü Yayını (MT-92), s.16-17.
- Kaçar A., 2006. “Radyasyon Kalkanı Olarak Kullanılan Barit Agregalı Ağır Beton Elemanların Zırh Kalınlık Hesaplarının Belirlenmesi”, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 59s.
- Kılınçarslan Ş., Başyigit C. ve Akkurt İ., 2007. “Barit Agregalı Ağır Betonların Radyasyon Zırhlama Amacıyla Kullanımının Araştırılması”, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 22, No 2, 393-399.
- Kılınçarslan Ş., Başyigit C. ve Uzun İ., June 2010. “Ağır Betonların Sülfat Etkisinde Mekanik Özellikleri”, SDU International Technologic Sciences Vol. 2, No 2, pp. 60-71
- Kılınçarslan Ş., Sancar S. ve Uzun İ., 16-18 May 2011. “Barit Agregalı Ağır Betonların Betonarmede Kullanılabilirliği”, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS’11), Elazığ, pp.87-91.
- Mehrnejad R., 2015. “Nötron Radyasyona Karşı Zırhlama Amacıyla Karma Lifli Ağır Beton Üretilmesi”, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı Atom ve Molekül Fiziği Bilim Dalı, Doktora Tezi, Erzurum, 172s.
- Molla T., 2011. “Radyasyon Zırhlanmasında Kullanılacak Baritli Kumaş Üretimi Ve Özellikleri”, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 61s.
- Özen S., 2013. “Denge Ağırlığı Ve Radyasyonlu Ortamlarda Zırh İşlevi Amacına Yönelik Ağır Beton Tasarımı”, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Bursa, 72s.

Özen S. , Şengül C. , Taşdemir M.A. , Erenoğlu T. , Ekim H. ve Ilıca T., 2013. “Farklı Agregalarla Üretilen Ağır Betonların Tasarımı Ve Mekanik Özellikleri”, Beton 2013 Hazır Beton Kongresi, 2013, İstanbul, s.40-51.

Özturan T., 2013. “Özel Betonlar”, Beton 2013 Hazır Beton Kongresi, İstanbul, Temmuz-Ağustos 2013, s.52-75.

Sancar S., 2010. “Baritli Betonun Mekanik Özellikleri”, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 51s.

Soykan O., Zengin B. ve Özel C., 2013. “Kendiliğinden Yerleşen Ağır Agregalı Betonun Sülfat Etkisi Altındaki Özellikleri”, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 4 (1), 7-12.

Topçu İ.B. ve Uğurlu A., “Barit ile Üretilmiş Ağır Betonlar Üzerine Bir Çalışma”, s.51-57
TMH - 474 – 2012 / 4

TSE 802, 2016. “Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, s.1-43.

Ünal O., İçağa Y. ve Coşkun A., 2014. “Ağır Betonların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Filler Malzemenin Etkisi”, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt: 10, No: 2, 12-18.

Yılmaz B., 2009. “Muş Yöresinden Temin Edilen Barit’ in Kullanımı İle Elde Edilen Ağır Betonun Fiziksel Ve Mekaniksel Özelliklerinin Araştırılması”, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ, 47s.

URL-1, http://www.dersimiz.com/bilgibankasi/LIMONIT-MINERALI_HAKKINDA-BILGI-3661.html, 02 Haziran 2017

URL-2, <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/ilmenit>, 02 Haziran 2017

URL-3, <http://www.otantiktas.com/hematit-tasi-dogal-kaya.html>, 15 Aralık 2016

URL-4, <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/kolemanit>, 02 Haziran 2017

URL-5, <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/manyet>, 02 Haziran 2017

URL-6, <http://www.mineralagat.com/dogal-taslar/mineraller-ham-taslar/limonit-tasi>, 15 Aralık 2016

- URL-7, <http://www.marbleport.com/dogal-kaynaklar/29/barit>, 02 Haziran 2017
- URL-8, <http://www.nkfu.com/barit-minerali-hakkinda-bilgi/>, 15 Aralık 2016
- URL-9, <http://www.turkcebilgi.com/barit#bilgi>, 15 Aralık 2016
- URL-10, <http://www.wikiwand.com/ro/Ilmenit>, 15 Aralık 2016
- URL-11, http://www.crystal-treasure.com/product_info.php/info/p3298_TOP-Ilmenit-auf-Albit-Pakistan.html, 15 Aralık 2016
- URL-12, <https://isbiliravm.com/sifalidogaltaslar/Bs30-hematit-tasinin-faydalari.html>, 15 Aralık 2016
- URL-13, <http://mineralavcisi.com/hematit.html>, 15 Aralık 2016
- URL-14, <http://www.maden.itu.edu.tr/muze/Borlar1.htm>, 15 Aralık 2016
- URL-15, http://www.panoramio.com/user/5571411?with_photo_id=81662746, 15 Aralık 2016
- URL-16, <http://www.lafsozluk.com/2014/12/manyetit-nedir-ne-demektir-anlami.html>, 15 Aralık 2016
- URL-17, <http://www.degerlitaslar.gen.tr/manyetit-miknatis-tasi.html>, 15 Aralık 2016
- URL-18, <http://everestenerji.com.tr/index.php?goster=faaliyet-alanlari>, 15 Aralık 2016
- URL-19, http://www.ushares.net/Show_Product.aspx?Id=47, 15 Aralık 2016
- URL-20, <http://www.mpstar.ru/svinec/drob-svincovaya/>, 15 Aralık 2016
- URL-21, http://www.saykar.net/celik_bilye, 02 Haziran 2017

7. ÖZGEÇMİŞ

1992 yılında Trabzon'da doğdu. Sırasıyla Prof. İhsan Koz İlköğretim Okulu, Vakfikebir Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2010 yılında Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne girdi, 2014 yılında mezun oldu. 2014 yılında Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2016 yılından bu yana Habay Madencilik İnşaat Taahhüt Elektrik Nakliyat Hayvancılık San. Ve Tic. Ltd. Şti. 'nde inşaat mühendisi olarak görev yapmakta olup, bekârdır.

