



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BAZI GRAFEN KATKILI BETONLARIN
GAMA IŞINLARINI SOĞURMA
ÖZELLİKLERİ**

Bilal SUNAR

YÜKSEK LİSANS

Fizik Anabilim Dalı

ŞUBAT-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Bilal SUNAR tarafından hazırlanan “Bazı Grafen Katkılı Betonların Gama Işınlarnını Soğurma Özellikleri” adlı tez çalışması 18/02/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Atom Ve Molekül Fiziği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. İskender AKKURT

.....

Danışman

Doç. Dr Yusuf CEYLAN

.....

Üye

Prof. Dr. Aslı KARAKAŞ

.....

Üye

Prof. Dr. İskender AKKURT

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr.

FBE Müdürü

Bu tez çalışması tarafından nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Bilal SUNAR

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BAZI GRAFEN KATKILI BETONLARIN GAMA IŞINLARINI SOĞURMA ÖZELLİKLERİ

Bilal SUNAR

**Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Yusuf CEYLAN

2021, 40 Sayfa

Jüri

**Doç. Dr. Yusuf CEYLAN
Prof. Dr. İskender AKKKURT
Prof. Dr. Aşlı KARAKAŞ**

Bu tez çalışması kapsamında 3 farklı beton üretilmiştir. Üretilen betonlardan normal betonda agrega olarak standart kum, çimento ve su kullanılmıştır. Diğer 2 beton türünde ise %2 ve %4 oranında çimento ile yer değiştirmek suretiyle grafen oksit kullanılmıştır. Üretilen betonların radyasyon geçirgenlik deneyleri Süleyman Demirel Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik A.B.D. Gamma Spektroskopi Laboratuvarında bulunan NaI(Tl) detektörlü gama spektroskopi sistemi kullanılarak yapılmıştır. Ölçümler sonucunda doğrusal zayıflatma katsayısı (μ) sonuçları ^{137}Cs ve ^{60}Co radyoaktif kaynaklarından yayınlanan 662, 1173 ve 1332 keV gama enerjileri için elde edilmiştir. Doğrusal zayıflatma katsayısı sonuçları kullanılarak ortalama serbest yol (MFP) ile yarı değer ve onda bir değer kalınlıkları parametreleri hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Beton, Doğrusal zayıflatma katsayısı (μ), Gama Spektroskopi, Grafen oksit.

ABSTRACT

Msc. THESIS

GAMMA RAYS ABSORPTION PROPERTIES OF SOME GRAPHENE-DOPED CONCRETE

Bilal SUNAR

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN PHYSICS**

Advisor: Assoc. Dr. Yusuf CEYLAN

2021, 40 Pages

Jury

**Assoc. Dr. Yusuf CEYLAN
Prof. Dr. İskender AKKKURT
Prof. Dr. Aslı KARAKAŞ**

Within the scope of this thesis, 3 different concretes were produced. Standard sand, cement and water were used as aggregates in normal concrete from the produced concretes. In the other 2 concrete types, graphene oxide was used by replacing 2% and 4% cement with cement. Radiation permeability tests of produced concretes Süleyman Demirel University Faculty of Arts and Sciences Department of Physics Nuclear Physics Department. It was done by using gamma spectroscopy system with NaI(Tl) detector in the Gamma Spectroscopy Laboratory. As a result of the measurements, linear attenuation coefficient (μ) results were obtained for 662, 1173 and 1332 keV gamma energies broadcast from ^{137}Cs and ^{60}Co radioactive sources. Using the linear attenuation coefficient results, mean free path (MFP) and half value and one-tenth value thickness parameters were calculated.

Keywords: Concrete, Linear attenuation coefficient (μ), Gamma Spectroscopy, Graphene oxide.

ÖNSÖZ

Bu çalışmada bazı grafen katkılı betonların gama soğurma özelliklerini araştırdık. Bu çalışmamın hayata geçirilmesi sürecinde engin bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım tez çalışmamın planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumun da ilgi ve desteğini esirgemeyen, yönlendirme ve bilgilendirmeleri ile çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Doç. Dr. Yusuf CEYLAN'a, araştırmamın her bir aşamasında görüşleri ile beni destekleyen samimiyetini her zaman hissettiren ve beni doğru yönde yönlendiren S.D.Ü. öğretim üyesi Prof. Dr. İskender AKKURT'a, değerli bilgilerini benimle paylaşan kendisine ne zaman danışsam bana kıymetli zamanını ayırıp sabırla ve büyük bir ilgi ile bana faydalı olabilmek için elinden gelenin fazlasını sunan laboratuvar çalışmalarında ve tez hazırlama sürecimde destek ve yardımlarını esirgemeyen ISUBÜ öğretim üyesi Doç. Dr. Kadir GÜNOĞLU' na sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışmamda desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen, dualarıyla hayattaki dik duruşlarını örnek aldığım, bana olan güvenlerini hiç kaybetmeyen eşim Merve Sunar ve oğlum Ömer Taha Sunar'a teşekkür ederim.

Bilal SUNAR
KONYA-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Radyasyon ve Radyoaktivite	1
1.2. Radyasyon Kaynakları	2
1.2.1. Doğal radyasyon kaynakları	3
1.2.2. Yapay radyasyon kaynakları	4
1.3. Radyoaktivite ve Radyoaktif Bozunma Türleri	5
1.3.1. Alfa parçacığı ışınması	7
1.3.2. Beta ışınması	9
1.3.2.1. Negatron (β^-) bozunumu	9
1.3.2.2. Pozitron (β^+) bozunumu	10
1.3.2.3. Elektron yakalama olayı	11
1.3.3. Gama ışınması	11
1.3.4. Nötron ışınması (nükleer bölünme)	12
1.4. Radyasyonun Madde ile Etkileşimi	14
1.4.1. Fotoelektrik olay	14
1.4.2. Compton saçılımı	15
1.4.3. Çift Oluşumu	17
1.5. Radyasyondan Korunma Yöntemleri	18
1.5.1. Zaman kuralı	18
1.5.2. Mesafe kuralı	19
1.5.3. Zırhlama kuralı	20
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	21
3. MATERYAL VE YÖNTEM	24

3.1. Gama Spektroskopi Sistemi.....	24
3.1.1. NaI(Tl) Dedektörü	25
3.1.2. Elektronik Üniteler.....	26
3.1.3. Radyoaktif kaynaklar	27
3.1.4. Dedektörün enerji kalibrasyonu.....	28
3.1.5. Gama zayıflatma katsayısı ve diğer parametreler	29
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	32
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	35
6. KAYNAKLAR	36
7. ÖZGEÇMİŞ.....	41



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

E	: Detektör verimi
γ	: Gama
t	: Sayım süresi
m	: Kütle
0C	: Santi grad derece
$\beta -$:Beta (-)
$\beta +$ ışınması	:Beta (+)
α	: Alfa
λ	: Lamda

Kısaltmalar

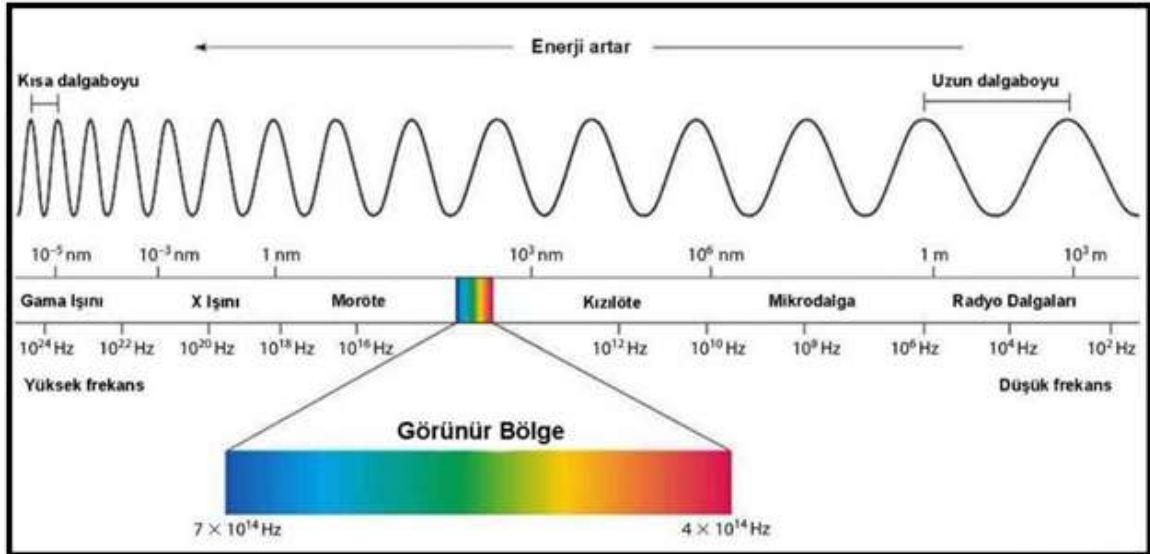
NaI	: Sodyum iyodür
Co60	: Kobalt 60
Co59	: Kobalt 59
UNSCEAR	: Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi
TAEK	: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
A.B.D.	: Amerika Birleşik Devletleri
ÇKA	: Çok kanallı analizör
^{137}Cs	: Sezyum 137
keV	: kiloelektronvolt
ICRP	: Uluslararası Radyolojik Koruma Komisyonu
NCRP	: Radyasyondan Korunma ve Ölçümler Ulusal Konseyi
40K	: Potasyum 40
^{226}Ra	: Radyum 226
^{232}Th	: Toryum 232
NPA	: Net pik alanı

214Bi	: Bizmut 214
Raeq	:Radyum eşdeğer aktivite indeksi
Bq / kg	: Becquerel / Kilogram
Hex	: Dış zarar indeksi
Hin	: İç zarar endeksi
RF	: Risk faktörü
YBKR	: Yaşam boyu aşırı kanser riski
AEDE	: Yıllık etkin doz eşdeğeri
Raeq	: Radyum eşdeğer aktivitesi
DNA	: Deoksiribonükleik asit
UV	: Ultraviyole
mSv	: Milisievert
238U	: Uranyum 238
222Rn	: Radon 222
40K	: Potasyum 40
Ac	: Aktinyum
Np	: Neptinyum
Pu ₂₃₉	: Plütonyum
Gy	: Gray doz birimi
N ₀	: t=0 anında yani başlangıçtaki radyoaktif çekirdek sayısı
N(t)	: t anında mevcut radyoaktif izotopların sayısı,

1. GİRİŞ

1.1. Radyasyon ve Radyoaktivite

Radyasyon; elektromanyetik dalgalar, parçacıklar veya fotonlar olarak karakterize edilen enerji paketlerinin yaydığı enerjidir. Elementler doğada kararlı ve kararsız halde bulunurlar. Kararsız çekirdeklerin, kararlı hale geçerken yaydıkları enerjiye veya ışımaya radyasyon, bu çekirdek tepkimesine de radyoaktivite denir. Günlük hayatta tüm canlılar doğada sürekli var olan bir arka alan radyasyonuna maruz kalmakta ve bu radyasyon alanı içerisinde yaşamını sürdürmektedir. Elektromanyetik dalgalar (kozmetik ışınlar, alfa ve beta parçacıkları, X ışınları, gama ışınları, görünen ışık, mor ötesi, kızıl ötesi, mikro dalgalar, radyo dalgaları vb.) yaşamımızda hemen hemen her gün karşılaştığımız ve etkisinde kaldığımız elektromanyetik radyasyon türleridir. Bu radyasyonların tümünü içerisinde barındıran elektromanyetik spektrum Şekil 1.1’ de gösterilmiştir.

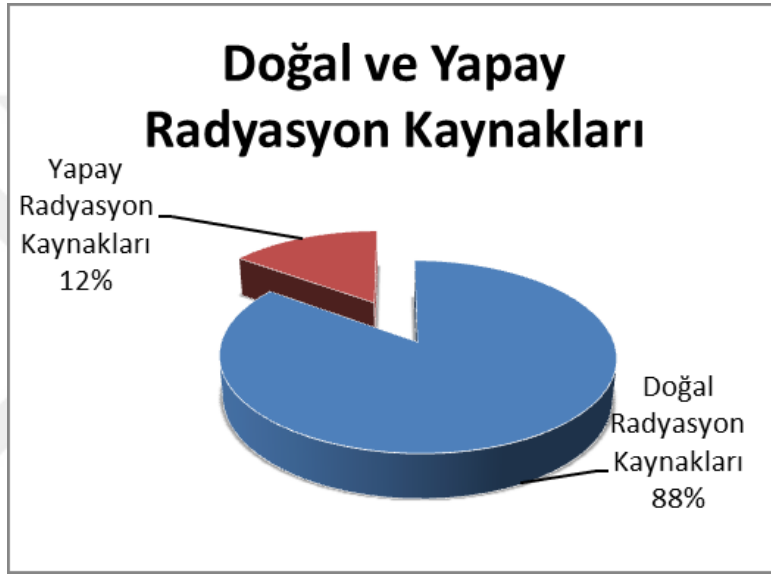


Şekil 1.1. Elektromanyetik spektrum.

Günümüzde teknolojinin de hızlı şekilde gelişmesiyle radyasyon ve radyoaktivite birçok alan ve uygulamalarda en temel unsurlarından biri haline gelmiştir. Radyasyonun kullanım alanlarının artmasına bağlı olarak tüm canlıların radyasyona maruziyeti artış göstermektedir. Bu maruziyetin temel kaynakları doğal ve yapay radyasyon kaynaklarıdır (Seven A. 2011, Akkurt vd. 2004).

1.2. Radyasyon Kaynakları

Canlıların tamamı arka alan radyasyonu diye tanımlanan, etrafımızda sürekli bir radyasyon alanının etkisinde yaşamaktadırlar. Dünya bazında değerlendirildiğinde, bir kişinin yıllık ortalama maruz kaldığı radyasyon dozu yaklaşık olarak 2,8 mSv'dir (TAEK,2020). Bu ortalama arka plan radyasyon maruziyetinin yapay radyasyon ve doğal radyasyon olmak üzere iki kaynağı olduğu bilinmektedir. (Şekil 1.2) (Akyıldırım H. 2011, Seven A.2011).



Şekil 1.2. Toplam arka plan radyasyonunda doğal ve yapay radyasyon kaynaklarının oranları (TAEK, 2020).

Radyoaktivitenin doğal ve yapay olarak iki farklı şekilde oluşmasından dolayı bu şekilde sınıflandırmaktadır. Mevcut bazı elementler, kararsız yapıdan kararlı yapıya geçmek için fazla enerjilerini dış etkilerden bağımsız olarak çekirdeklerinden atarlar. Doğal radyoaktif elementler, dış etkilerden bağımsız olarak enerji yayarlar ve bu elementlerin enerji yayınlama durumuna doğal radyoaktivite denir. Bu elementler doğal radyasyonların kaynağını oluştururlar. Doğada kararlı olan bazı elementlerin çekirdekleri, kararlı durumda da dış müdahalelerle (nötron ve gama bombardımanı gibi) kararsız hale getirilebilir. Bu şekilde meydana gelen radyoaktivite yapay radyoaktivitedir. Doğal radyoaktif elementler gibi yapay radyoaktif elementler de kararlı duruma geçebilmek için nükleer radyasyon yaymaktadırlar. Yapay radyoaktif elementler, arka plan radyasyonuna katkıda bulunan başka bir radyasyon kaynağıdır. Suni kaynakların arka plan radyasyonuna katkısı, özellikle nükleer

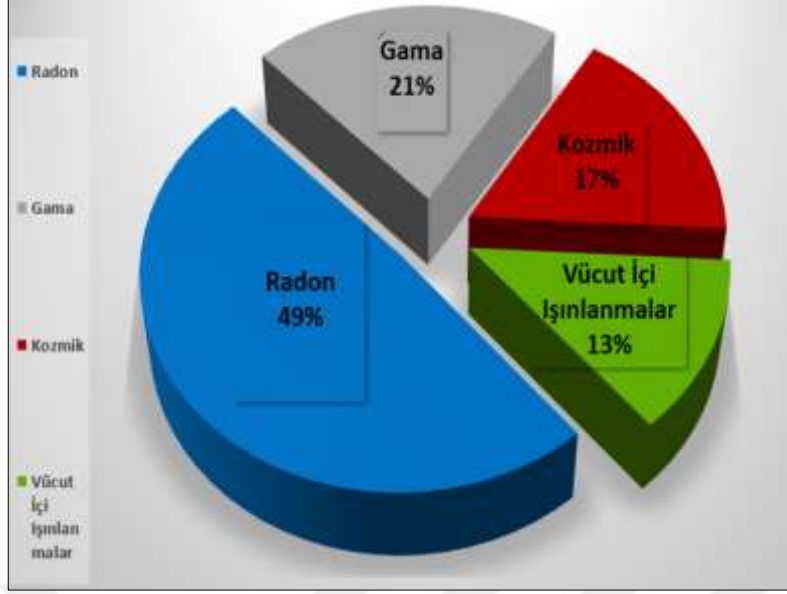
teknolojideki gelişmelerle birlikte son yüzyılda artmaktadır. Her ne kadar teknoloji hızlı gelişse de arka plan radyasyon dozu miktarına en büyük pay doğal radyasyon kaynaklarından ileri gelmektedir. Arka plan radyasyon dozuna doğal ve yapay radyasyon kaynaklarının katkı oranları Şekil 1.2' de gösterilmektedir (TAEK, 2019).

1.2.1. Doğal radyasyon kaynakları

Dünyanın varoluşundan beri yer kabuğunda bol miktarda var olan radyoaktif elementler doğal radyasyon kaynaklarının başında gelmektedir. Bu radyoaktif elementler Toryum, Uranyum ve Aktinyum bozunma serilerinin birisi içerisinde oluşmaktadır. Bu elementlerin yanı sıra radyoaktif radyum elementinin (Ra^{226}) bozunması esnasında ortaya çıkan radon gazı doğal radyasyon kaynaklarının en büyük payına sahiptir.

Bu üç doğal bozunma serisi içerisindeki radyoaktif nükleitlerin yarı-ömrüleri dünyanın yaşından daha büyük olmalarından dolayı primordiyal (ezelden beri var olan) nükleitler olarak isimlendirilmektedir. Gerek havadan gerekse de besin maddelerinden tüm canlı varlıklar sürekli olarak bu radyoaktif nükleitleri vücutlarına almaktadırlar ve alınan bu radyoaktif nükleitler organlarda birikerek içsel ışınlamaya sebep olurlar. Ender bulunan radyoaktif elementlerden birisi olan potasyum ($40K$) iç ışınlamadaki en büyük paya sahip olan elementtir (Cooper, 2003).

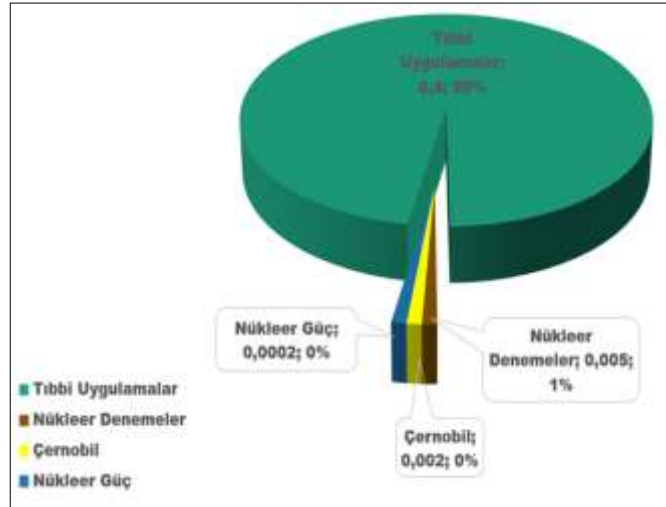
Uzaydan gelen kozmik ışınlar doğal radyasyonun bir parçasını oluşturur. Güneş ve yıldızlardan kaynaklanan yüklü iyonlar kozmik radyasyonun temelini oluşturmaktadır. Kozmik radyasyon kaynakları arasında protonlar, elektronlar, helyum çekirdeği ve az miktarda yüksek enerjili fotonlar sayılabilir.



Şekil 1.3. Doğal radyasyon kaynaklarının dağılım oranları (TAEK, 2020).

1.2.2. Yapay radyasyon kaynakları

Teknolojinin hızla gelişmesi nedeniyle, çok fazla alanda radyasyon kullanılmıştır. Tıp, tarım ve sanayide kullanılan yapay radyoaktif maddeler, X-ışınları, nükleer bomba testlerinin sonuçları olarak nükleer serpinti, nükleer enerji üretimi sırasında yayılan radyoaktif maddeler ile tüketici ürünlerinin bazılarında kullanılmış olan radyoaktif maddeler, varlığı tespit edilen yapay radyasyonun ana kaynaklarıdır. Bu şekilde, insan müdahalesinin neden olduğu dışardan gelen radyasyon yapay radyasyon olarak tanımlanır. Yapay radyasyon ile doğal radyasyonun fiziksel doğası ve etkileri aynıdır. Şekil 1.4’ de maruz kaldığımız toplam yapay radyasyonun ana kaynakları gösterilmektedir.



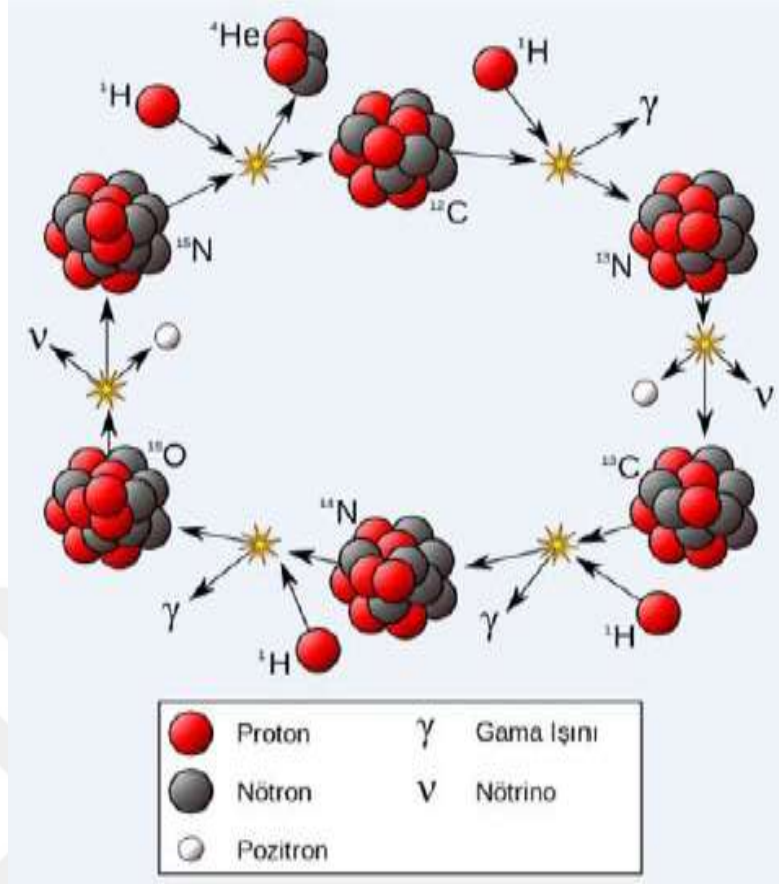
Şekil 1.4. Yapay radyasyonun kaynaklarına göre katkı yüzdeleri (TAEK, 2020).

1.3. Radyoaktivite ve Radyoaktif Bozunma Türleri

Radyoaktivite, Fransız Fizikçi Henry Becquerel tarafından 1896 yılında ilk kez keşfedilmiştir. Radyoaktivite, atom çekirdeğinin ışın veya parçacık çıkararak kararsız halden daha kararlı bir atom çekirdeğine dönüşen, kontrol edilemez, yavaşlatılamaz ve durdurulamaz bir olay olarak tanımlanmaktadır (Gündoğan, 2016).

Kararsız olan atom çekirdeklerinin çeşitli elektromanyetik parçacıklar yayarak ve ışınım yaparak kendiliğinden bozunması olayına radyoaktif bozunma denir. Radyoaktif bozunma türleri ise alfa (α) bozunumu, beta(β) bozunumu, gama (γ) ışını yayınlanması ve nötron yayınlanması olmak üzere 4 farklı şekilde gerçekleşmektedir (Şekil 1.1) (Baran, 2013).

Bir radyoaktif bozunma sürecinin mekanizması tamamen istatistikselidir. Başka bir ifadeyle, bir grup radyoaktif çekirdek arasında belirli bir çekirdeğin bozunma zamanı asla bilinemezken radyoaktif çekirdek grubunun bozunma yasaının zamana üstel olarak bağlı olduğu gözlenmiştir (Kaplan, 1964).



Şekil 1.5. Radyoaktif bozunma.

Tüm radyoaktif çekirdeklerin bozunma süreci radyoaktif elementin türüne ve yaydıkları radyasyona bağlı olmaksızın radyoaktif bozunma yasasına uygun olarak gerçekleşmektedir. Radyoaktif çekirdeğin başlangıçtaki sayısı N_0 ve λ birim zaman başına bozunma ihtimali (bozunma sabiti) olmak üzere, bir t zaman sonrası kalan radyoaktif çekirdek sayısı Denklem 1.1. ile verilmektedir.

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (1.1)$$

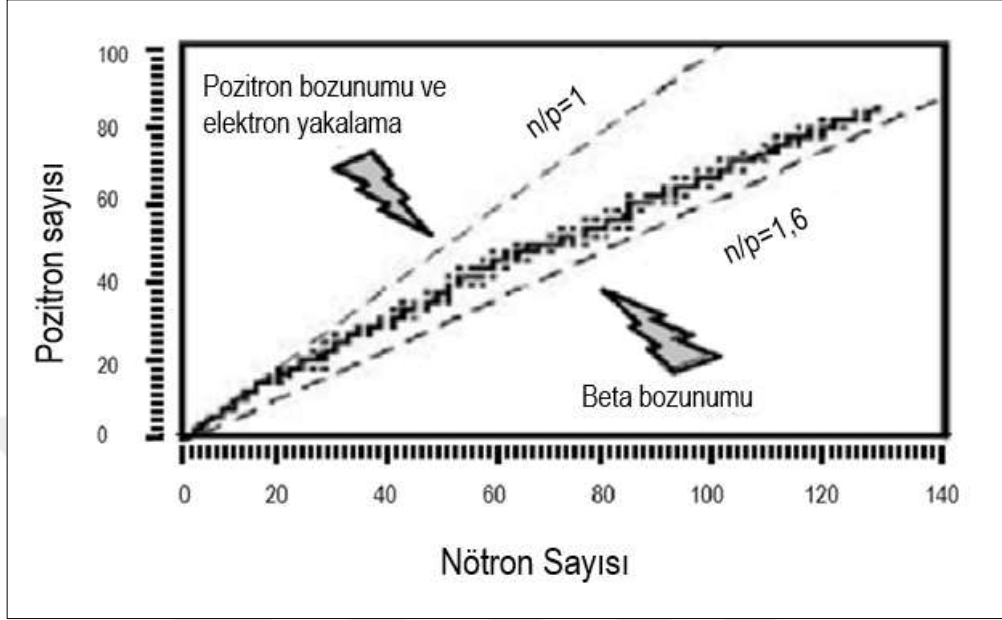
N_0 : Radyoaktif çekirdeğin başlangıçtaki sayısı

N : Bir t zaman sonrasında kalan radyoaktif çekirdek sayısı

λ : Bozunma (Parçalanma) sabiti

Çekirdeğin kararlılığı sahip olduğu nötron (N) ve proton sayısı (Z) ile ilgilidir. Şekil 1.5’de gösterildiği gibi çekirdeklerin çoğu için $N > Z$ ’dir ve de kararlılık yaklaşık olarak $N \cong Z$ ile sağlanır (Jevremovic, 2009). Radyoaktif bir izotopa sahip olan tüm çekirdekler de $Z > 80$

dir. Aynı zamanda radyoaktif çekirdeklerin tümü $Z \geq 83$ olan çekirdeklerdir. ${}^{209}_{82}\text{Bi}$ atom numarası en büyük radyoaktif olmayan elementtir (Eisenbud ve Gesell, 1997).



Şekil 1.6. Çekirdekteki Proton-nötron sayısına bağlı olarak elementlerin kararlılık eğrisi.

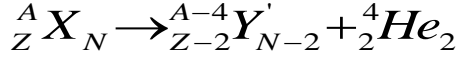
Radyoaktif çekirdekler kararsız halden kararlı hale geçmek için ya parçacık şeklinde ya da enerji şeklinde üç temel ışıma yaparlar ve bu üç temel ışımaya ek olarak nükleer bölünme (nötron ışıması) gerçekleştirirler. Bu ışımlar sırasıyla;

- Alfa parçacığı ışıması
- Beta ışıması
- Gama ışımasıdır.

1.3.1. Alfa parçacığı ışıması

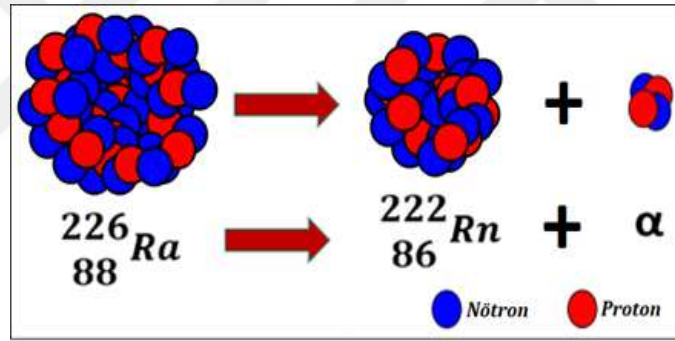
Alfa (α) parçacıkları, radyum elementinin bozunması sırasında açığa çıkan parçacıkların elektrik ve manyetik alanlardaki sapmaları kullanılarak 1903 yılında Rutherford tarafından bulunmuştur. Alfa bozunmasına Coulomb itme kuvvetidir sebep

olmaktadır. 83'ten büyük atom numarası sahip olan elementler, kararlı hale geçmek için ilk önce alfa bozunmasına uğrarlar. Alfa ışınları, çekirdeğin yaydığı iki protondan ve iki nötron meydana gelen pozitif yüklü ${}^4_2\text{He}$ çekirdeğidir. Başka bir ifade ile, ${}^4_2\text{He}$ çekirdeği olan alfa parçacığının ana çekirdekten ayrılması, ürün çekirdeğindeki A değerinin 4 oranında ve Z değerinin 2 oranında azaltarak fiziksel özelliğini değiştirmesidir (Denk. 1.2).



(1.2)

Böylelikle alfa parçacığı çekirdek tarafından fırlatabilen kütlelerden en ağır olarak kabul edilmektedir. Alfa parçacığı, beta parçacığından takribi 7500 kat daha ağırdır. Radyoaktif bozunmalarda en çok enerji ve kütle kaybı, alfa bozunmasıyla meydana gelir. Şekil 1.6' de Ra-226'dan Rn-222' ye, α parçacığı yayarak uğradığı değişim, bu bozunmaya örnek gösterilmektedir.



Şekil 1.7. Alfa parçacığı ışıması.

Alfa parçacığı yayarak bozunan izotoplar genellikle atom numarası büyük olan izotoplardır. Doğal radyoaktif maddelerin yayınladıkları alfa parçacıkları ortalama 4 MeV ile 9 MeV arasında enerjiye sahiptirler. Bu enerjilerin, alfa taneciklerine kazandırdıkları hızın, ışık hızına oranı, ışık hızının %5-10'u kadardır. Alfa parçacığı içinden geçtiği soğurucu koşullardaki elektronlar ile güçlü bir elektrostatik çekim kuvveti oluşturur. Ortamdaki atomlar çekirdekleriyle bulunduğu anda ortaya çıkan elektrostatik çekim kuvveti Coloumb kuvveti tarafından itilir. Buna göre nükleer bozunma sırasında stabil ve çok büyük bir kinetik enerji ile fırlatıldıkları düşünüldüğünde, soğurucu ortamın atomları ile etkileşme ihtimalinin yüksek olduğu görülmektedir (Krane, 1988).

1.3.2. Beta ışıması

Beta bozunumu, radyoaktif çekirdekler tarafından atılan elektronlar olarak kabul edilir. Çekirdekteki nötronun protona veya protonun nötrona dönüşümü esnasında elektron olarak yayılan enerjinin yayılmasıdır. Beta parçacıklarının (e^-) bir yükü ve kütlesi vardır, bu yüzden alfa parçacıkları gibi maddeyle temas durumunda iyonlaşmaya neden olurlar. Bu iyonizasyon alfa parçacıklarının neden olduğu iyonizasyondan daha azdır ve bunun nedeni beta parçacıklarının alfa parçacıklarından daha hafif ve daha nüfuz etmesidir.

Beta bozunumunu

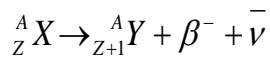
- Negatron (β^-) bozunumu
- Pozitron (β^+) bozunumu
- Elektron yakalama olayı

sonucunda gerçekleşir.

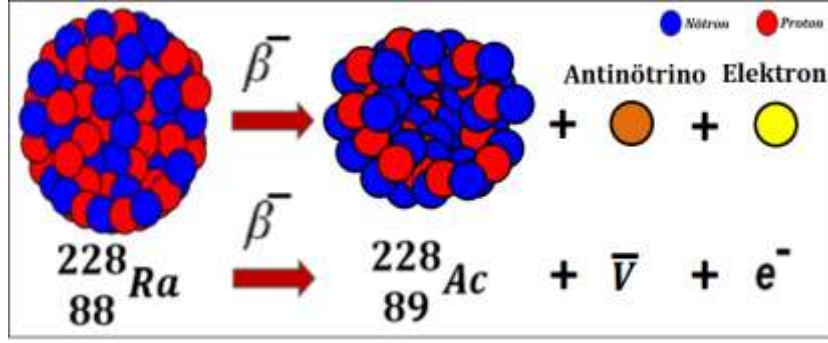
1.3.2.1. Negatron (β^-) bozunumu

Kararsız durumdaki radyoaktif çekirdekler daima kararlı duruma geçmek ister. Çekirdeğin sahip olduğu nötron fazlalığının neden olduğu kararsız çekirdek, sahip olduğu fazla enerjisinden kurtulmak ister ve böylece çekirdekteki fazla nötronlardan bir tanesini, bir proton ve bir anti-nötrino olarak dönüşümünü gerçekleştirir. Sonuç olarak, elektron ortaya çıkar ve çekirdeğin içinde kalamayan bu elektron kendini bir negatron (β^-) radyasyonu olarak gösterir (Denklem 1.3) (Annunziata, 2003). Bu bozunmanın bir örneği olarak, β^- parçacığını yayarak Ra^{-228} 'den Ac^{-228} 'e değişimi Şekil 1.7 de göstermektedir.

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$$



(1.3)



Şekil 1.8. Negatron (β^-) Bozunumu.

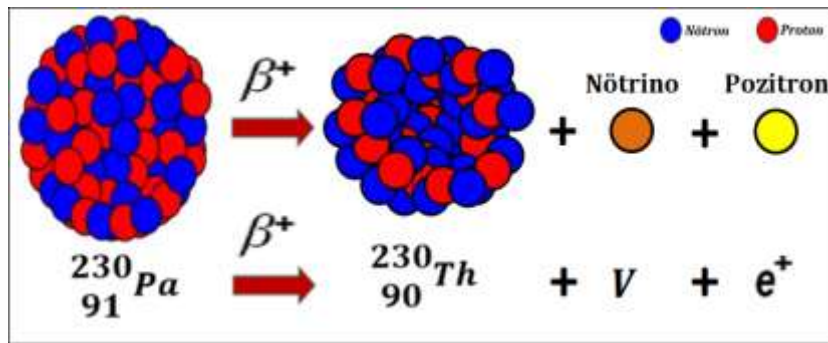
1.3.2.2. Pozitron (β^+) bozunumu

Çekirdeğindeki nötron eksikliğinden veya proton fazlalığından kaynaklanan radyoaktif bir çekirdek, pozitif yüklü bir elektron (pozitron) ve bir nötrino salarak protonlarından birini bir nötrona dönüştürür, böylece toplam yük korunur (Denklem 1.4). Bu bozunmaya örnek, Pa-230'dan Th-230'ye β^+ parçacığı yaydığı ve uğradığı değişimi, Şekil 1.8' de gösterilmektedir.

$$p \rightarrow n + e^+ + \nu$$

$$^A_Z X \rightarrow ^A_{Z-1} Y + \beta^+ + \nu$$

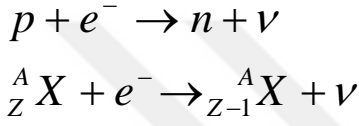
(1.4)



Şekil 1.9. Pozitron (β^+) bozunumu.

1.3.2.3. Elektron yakalama olayı

Pozitron (β^+) yayılamazsa ve çekirdeğin kararsızlığına fazla proton neden olursa, atomun çekirdeğe yakın yörüngelerindeki elektronlardan bir tanesi çekirdek tarafından yakalanır ve bu durum sonucunda bir proton elektronla birleşerek bir nötron ve nötrinoya dönüşür. Bu bozunum sırasında proton sayısında bir eksilme olurken, kütle numarasında herhangi bir değişim olmaz (Denklem 1.5). Bu bozunum sonucunda “iç dönüşüm” olayı gerçekleşir. İç dönüşüm olayı; bozulma yoluyla boşalan orbitale, üst orbitallerden başka bir elektron geçmesi olarak tanımlanır (Beiser, 1972).



(1.5)

1.3.3. Gama ışıması

Gama ışınlarının oluşmasına, atomun çekirdeğindeki enerji seviyelerinin farklılıkları sebep olmaktadır. Kararlı bir durumda olmayan çekirdek, bir alfa veya bir beta parçacığı yayımlar. Kararsız çekirdeklerin hemen hemen tüm bozunma süreçlerinde α ve β radyasyonları gözlenir. Ancak bu bozunmalar, ürün çekirdeğinin genellikle uyarılmış (uyarılmış) durumda kaldığı bozunmalardır. Bu nedenle, ürün çekirdeği kademeli olarak veya tek bir adımda γ radyasyonu yayar ve daha az enerjik bir seviyeye veya temel duruma iner. Bu geçişler 10^{-9} saniyeden daha kısa sürede gerçekleşir (Magill ve Kally, 2005). Ortaya çıkan gama enerjileri

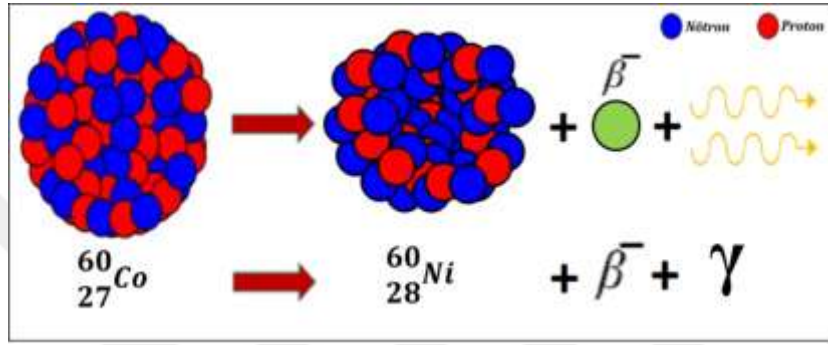
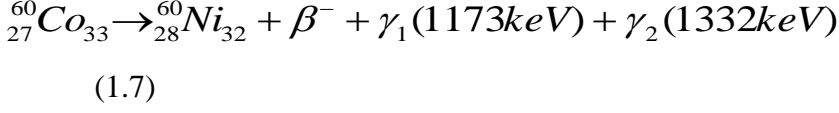
$$E_\gamma = E_\nu = E_2 - E_1$$

(1.6)

ile heplanmaktadır.

Elektromagnetik radyasyon halinde yayımlanan ise çekirdeğin kalan fazla enerjisidir. Gama ışınları (γ) madde içerisine daha çok nüfuz edebilirler çünkü beta ışınlarından daha

yüksek enerjilidirler. Gama ışıması meydana getiren yarı kararlı bir nüklidin atomik ve kütle sayısında herhangi bir değişiklik meydana gelmez ve bu olay "izomerik bozunma" olarak adlandırılır (Denklem 1.7) (Noz ve Maguire, 2007). Gama bozunumu Şekil 1.9' da görülmektedir.



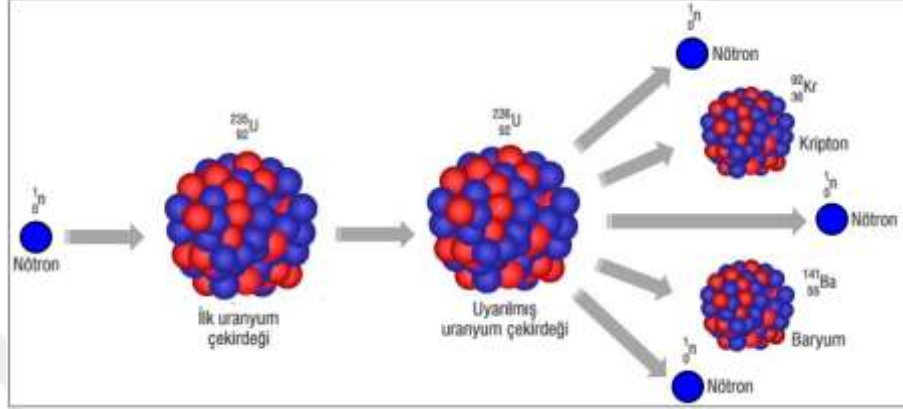
Şekil 1.10. Gama bozunumu.

Gama ışınları, alfa ve beta parçacıklarına nazaran maddeye daha fazla nüfuz edebilir ve bu durumda iyonlaşmaya neden olan etkiler bakımından çok daha azdır. Gama ışınları aynı zamanda kütlesi ve yükü olmayan elektromanyetik radyasyon olarak da adlandırılır. Yükleri olmadığı için elektrik alandan ve manyetik alandan etkilenmezler. Bir çekirdek reaksiyonu neticesinde çekirdekten yayınlanan fotonlar tarafından Gama ışınları oluşturulur. Bu durumda gama ışınları ile X-ışınları arasında farklılıklardan en önemlisi, gama ışınına atomun çekirdeğinden, X-ışının sebebi ise atomun yörüngelerinden kaynaklanmasıdır (Price, vd., 1957).

1.3.4. Nötron ışıması (nükleer bölünme)

Nötron bozunması sırasında çekirdeklerin yapılarının iki farklı şekilde değiştiği ve bunlardan biri gecikmeli nötron bozunumu, bir diğeri de kendiliğinden fisyonudur. Çekirdeklerin çok azı gecikmeli nötron bozunumuna yaparlar. Gecikmeli nötron bozunumu yaptığında elementin cinsi aynı kalır ve atom, o elementin farklı bir izotopu haline gelir. Ana

çekirdek bir alfa veya beta bozunmasına uğradığında ara basamakta kararsız bir çekirdek oluşur. Oluşan bu kararsız çekirdek de nötron salarak yavru çekirdeği oluşturur (Krane, 1988). Buna bir fisyon ürünü olan ^{87}Br 'un ^{87}Kr 'a dönüşmesi örnek olarak verilebilir (Şekil 1.10).



Şekil 1.11. Nötron Işması (Nükleer Bölünme).

Enerjisi çok fazla olan bazı ağır çekirdeklerin kendilerini daha küçük çekirdeklere ayırmasına kendiliğinden fisyon olayı denir. Ana çekirdeğin türüne göre bozunma sonucunda ortalama 2 ile 4 tane nötron salınabilir. Bu sürece α veya β bozunmaları eklenebilir. Kendiliğinden fisyon olayına örnek ^{235}U ve ^{252}Cf olarak verilebilir. Literatürde, nötron radyasyonları sınıflandırılırken az da olsa farklı yaklaşımlar bulunmaktadır, fakat Çizelge 1.2.'de gösterildiği gibi genel bir sınıflandırma yapılabilir (Krane, 1988).

Çizelge 1.1. Nötronların enerjilerine göre sınıflandırılması

Sınıflandırma adı	Nötron enerjisi
Soğuk	10^{-3} eV
Yavaş (termal) (epitermal)	$10^{-3} - 0,4$ eV $0,4 - 100$ eV
Orta dereceli	100 eV – 200 keV
Hızlı	200 keV – 10 MeV

1.4. Radyasyonun Madde ile Etkileşimi

X-ışını ve Gama gibi tüm elektromanyetik radyasyon pekçok olayda parçacıklar gibi davrandığından radyasyonun birim elemanına foton denir. Tüm paketlerde taşınan enerji, belirli bir radyasyon frekansı için aynıdır ve

$$E=h.v$$

(1.8)

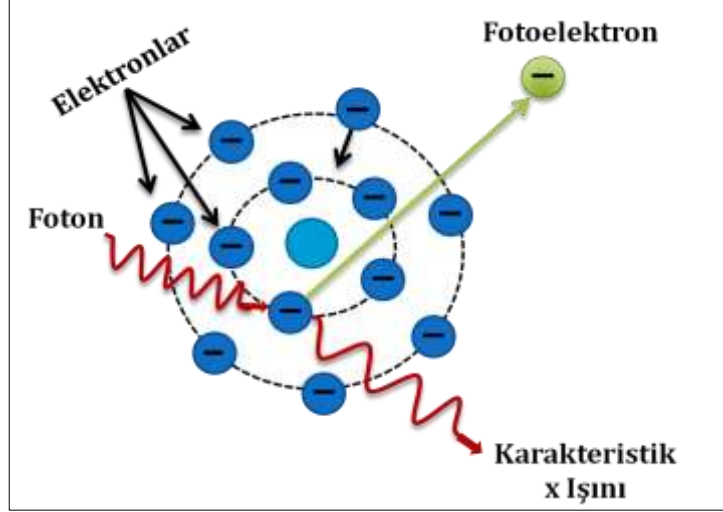
İle ifade edilir.

Fotonlar, içerisinde geçtikleri ortamın (maddenin) atomlarıyla gelişigüzel yaptıkları karşılıklı etkileşimler neticesinde ortama enerji yayarak absorblanabildiği gibi saçılmaya da uğrayabilirler. Elektromanyetik radyasyonun maddeyle etkileşimindeki en önemli üç olay;

- Fotoelektrik Olay
- Compton Saçılımı
- Çift oluşumu olaylarıdır.

1.4.1. Fotoelektrik olay

Fotoelektrik etkileşim, yüksek enerjili bir fotonun geçtiği bir ortamda bir atomla etkileşime girme, tüm enerjisini atomun kabuklarındaki bir elektrona aktarma ve elektronu çekirdeğin bağlanma kuvvetinden kurtarmasıdır. Bu etkileşim sonucunda dışarıya elektron fırlatılır. Dışarı fırlatılan bu elektron fotoelektron olarak adlandırılır. Bu durum sonucunda meydana gelen elektron boşluğu, dış yörüngedeki bir başka elektron tarafından doldurulur ve o esnada X-ışını emisyonu meydana gelir. Ağır elementler tarafından 0,5 MeV'den daha küçük enerjili fotonların soğurulması için bu olay fazlasıyla önemlidir. Kurşun için ise fotoelektrik olay, 1 MeV'e kadar olan fotonlarla gerçekleşebilir. Foton-elektron çarpışmaları, düşük enerjilerde dış yörüngelerde görülürken, enerjinin yüksek olduğu durumlarda ise Foton-elektron çarpışmalarının iç yörüngelerde meydana geldiği görülür (Şekil 1.11).



Şekil 1.12. Fotoelektrik Olay

Fotoelektrik etkileşim esnasında, gelen foton enerjisinin bir kısmı elektronu bağlı bulunduğu atomdan koparmak için harcanırken, kalan kısmı da kinetik enerji olarak koparılan elektrona aktarılmaktadır (Eşitlik 1.9).

$$h\nu = E_{\text{Bağlanma}} + E_{\text{Kinetik}} \quad (1.9)$$

1.4.2. Compton saçılımı

Compton saçılması, süreçleri tamamen absorpsiyon olan fotoelektrik ve çift oluşum etkileşimleri dışında, fotonların atomdaki elektronlarla olan en önemli etkileşimidir. Compton saçılması 1923 yılında A. Compton tarafından kuantum fiziğine göre açıklanmıştır. Compton saçılması bir tür esnek olmayan etkileşimdir ve enerji $h\nu$ 'si olan bir foton, enerjisinin bir kısmını bu elektrona aktarmak için serbest bir elektronla etkileşime girdiğinde ortaya çıkar.

Gelen foton enerjisinin 0,5 MeV'den fazla olduğu durumlarda, etkileştiği maddenin zayıf bağı ya da elektronları ile etkileşir.

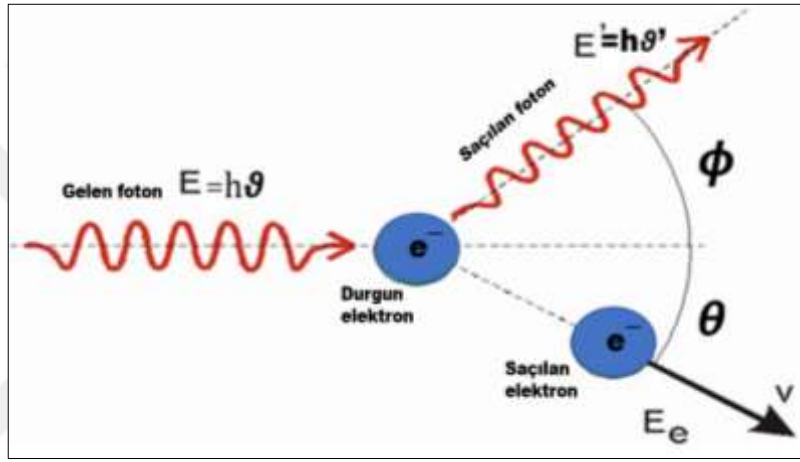
Foton, elektron ile elastik çarpışma yaptığın sırada momentumunun ve enerjisinin bir kısmını elektrona aktarır ve enerjisinin bir kısmını kaybeden foton başka doğrultuda enerji seviyesi daha düşük yeni bir foton olarak yoluna devam eder. Bu durumda oluşan elektron ise Compton elektronudur ve bu olay da Compton olayı olarak tanımlanır (Şekil 1.12). Elektron kütleli bir parçacıktır bu yüzden momentumun korunumu gereği fotonun enerjisinin

tamamını absorblaması mümkün olmamaktadır. Bu durumda enerjisinin bir kısmını elektrona aktarmak koşulu ile foton saçılıma uğrar. Fotonun enerjisine bağlı olarak fotonla elektronun arasında açı oluşur.

Gelen ve saçılan fotonun dalgaboyları arasındaki fark,

$$\Delta \lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \theta)$$

eşitliği ile ifade edilir. Bu eşitlikteki λ gelen fotonun dalga boyu, λ' ise çıkan fotonların dalga boyu, θ saçılma açısı, c ışık hızı, m_0 elektronun durgun kütesidir.



Şekil 1.13. Compton saçılması.

Yüksek enerjiye sahip fotonlar enerjileri bir düzeye gelene kadar Compton saçılmaya uğrarlar ve akabinde de fotoelektrik olay ile absorblanırlar. Çünkü fotonlar tamamen yalnızca Compton saçılımı ile soğurulamazlar. Bu çarpışmada momentum korunur.

$$hf_1 = hf_2 + E \quad (1.11)$$

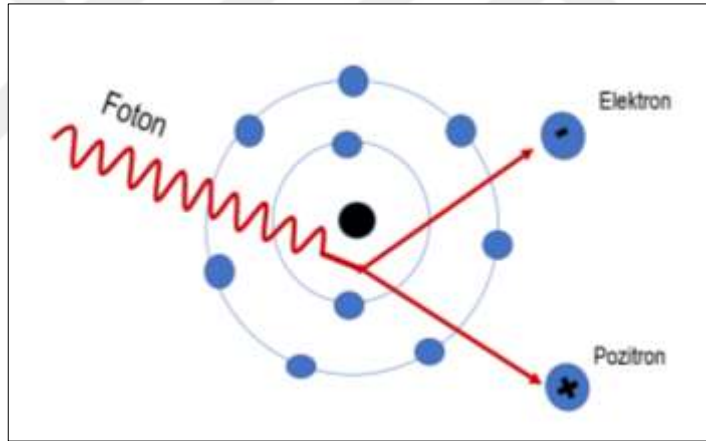
Compton olayının gerçekleşme ihtimali, etkileştiği maddelerin atomları doğru orantılı olarak yörünge elektronlarının sayısı ile artar. Compton olayının etkileşme olasılığı Orta enerjili fotonlar için en yüksektir

1.4.3. Çift Oluşumu

Çift oluşumu bir enerji-kütle dönüşümüdür ancak Compton ve fotoelektrik etkileşimleri, gelen fotonun enerjisinin tamamını veya belli bir kısmını elektronlara aktarması ile gerçekleşir bu nedenle çift oluşumu da fotoelektrik olayı gibi soğurma sürecidir ve çift oluşumu (Şekil 1.13) de gösterilmektedir.

Coulomb alanında, $h\nu \geq 1,022 \text{ MeV}$ enerjiye sahip foton çekirdeğinin veya elektronun $\gamma \rightarrow e^- + e^+$ denklemine istinaden bir elektron-pozitron çifti oluşturur. Elektron-pozitron çifti birbirinin karşıt parçacığdır. Bu nedenle çift oluşum da, fotoelektrik olayda olduğu gibi her foton enerjisinde oluşmaz.

$$E_{\min} = mc^2 = 2m_{ec^2} = 1,022 \text{ MeV} \quad (1.12)$$



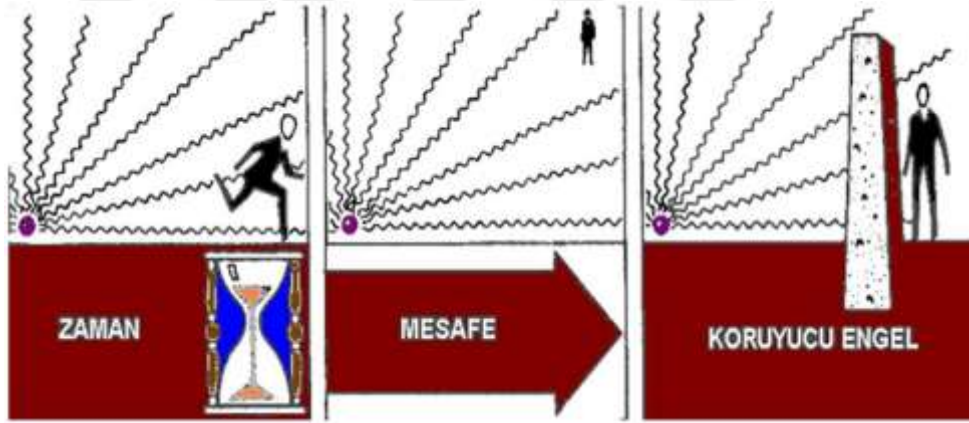
Şekil 1.14. Çift Oluşumu.

Teorik açıdan bu şekilde bir çift oluşumunun oluşabilmesi için, Denk. (1.10)'a göre fotonun sahip olduğu enerjinin minimum $2 \times 0.511 = 1,022 \text{ MeV}$ olması gerekmektedir. Foton sahip olduğu enerji daha fazla olduğu hallerde ise bu enerjideki fazlalık, kinetik enerji olarak pozitrona ve elektrona aktarılır. Meydana gelen elektron, atom ile serbest elektronlara benzer etkileşime girerken, pozitron da bir yörünge elektronuyla birleşir ve birbirine zıt yönlü iki foton yayımlayarak yok olur. Salınan foton ise fotoelektrik olay ile soğurulur. Pratikte ise çift oluşumu, ağır elementler için ve 2 MeV den büyük enerjiye sahip fotonlar için daha etkindir.

1.5. Radyasyondan Korunma Yöntemleri

Radyasyondan korunmada temel olan, tolere edilebilen dozları bilmektir. Radyasyonlu ortamda çalışanlar ile çevredekilerin tolere edilebilen dozun üstünde doza maruz kalmasını önlemektir.

İnsanların radyasyondan etkilenmesinin biyolojik zararlarının da olduğu bilinmektedir. Bundan dolayı maruz kalınacak doz seviyesinin sadece izin verilen seviyelerin aşağısında olması yeterli olmayıp, olabildiğince düşük seviyede tutulmalıdır ve gereklilik arz eden her türlü önlem alınmalıdır. Dış radyasyon kaynaklarından korunmada üç temel kural vardır ve zaman, mesafe ve zırhlama olarak sıralanmaktadır. Bunlar Şekil 1.17'de sembolize edilmiştir. Bu üç kuralın aynı anda işletilmesi radyasyondan korunmada en iyi yöntemdir. (Seven A.2011, Akyıldırım H. 2011, Turhan A. 2008, Günoğlu K. 2012).



Şekil 1.15. Radyasyondan korunmanın üç temel yolunun şematik gösterimi.

1.5.1. Zaman kuralı

Radyasyondan korunmada en temel ve en basit yolu zaman kuralıdır. İzin Verilen Maksimum Doz (ALARA) ilkesinde (ICRP, 1997), radyoaktif kaynakların kullanıldığı uygulamalar oldukça kısa sürede tamamlanmış olmalıdır. Radyasyona maruz kalan madde tarafından emilen doz zamanla değişir. Aktivitesi A olan bir kaynak ve kaynaktan r mesafede olan poz hızı (birim zamandaki poz), ve Γ kaynağa bağlı bir sabit olmak üzere;

$$\Delta X = \Gamma \frac{A}{r^2} \Delta t$$

(1.14)

eşitliği ile ifade edilir(Krane, 1988). Bu eşitlikte emilen doz ile zamanın doğru orantılı olduğu gösterilmektedir.

1.5.2. Mesafe kuralı

Parçacık radyasyonlarının da Alfa ve beta radyasyonları gibi havadaki ortalama serbest yolları oldukça kısadır. Gama ve nötron radyasyonları, daha uzun mesafeler alır, ancak yoğunlukları mesafe ile azalır. Bu sebeple bir radyasyon kaynağının zarar görmemesi için etkili yollardan biri kaynaktan olabildiğince olduğunca uzak durmaktır. (Seven A.2011, Akyıldırım H. 2011, Turhan A. 2008, Günoğlu K. 2012). Maruz kalınan radyasyon miktarının, mesafeye göre değiştiği ters kare yasası ile açıklanır. Bu ifade kaynaktan aynı zamanda yayılan ışınların, t zamanından sonra r mesafesindeki küresel dalga cephesi oluşturduğu varsayılarak doğrulanacaktır. Bu nedenle, olası bir küresel dalga cephesinin yüzeyindeki bulunan ışınların yoğunluğu, I_0 kaynağının yoğunluğu ile doğru orantılı ve küre yüzeyinin alanı ile ters orantılıdır.

$$I \propto \frac{I_0}{4\pi r^2}$$

(1.15)

Denklem (1.15)'deki I , r uzaklıktaki radyasyon şiddetidir. Diğer taraftan bir d_2 mesafesindeki doz hızı D_2 , başka bir d_1 uzaklığındaki ($d_1 < d_2$) doz hızı D_1 'den mesafelerin kareleri ile ters orantılı olacak biçimde daha küçük olduğu ifade edilmektedir.

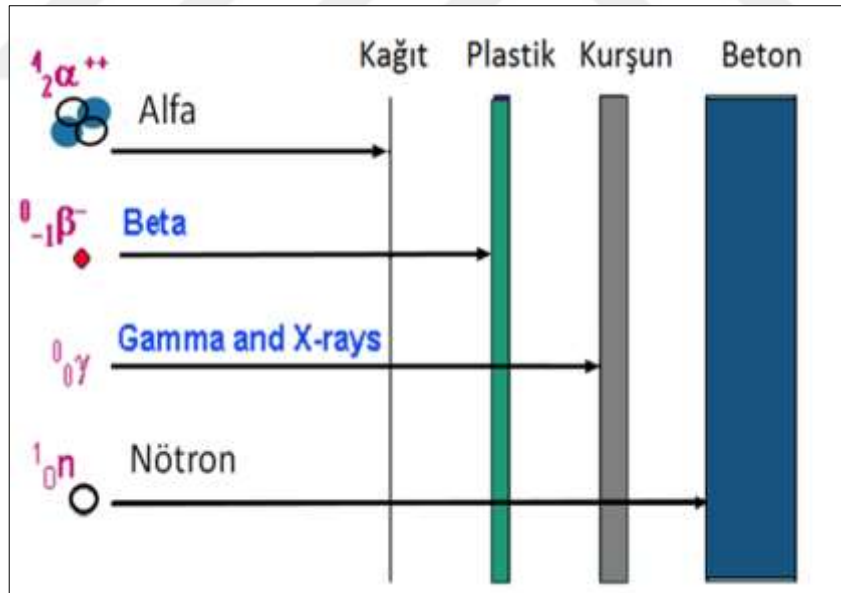
$$D_2 = \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 D_1$$

(1.16)

1.5.3. Zırhlama kuralı

Radyasyon kaynağı ile radyasyon kaynağından yayılan ışıklardan korunması amaçlanan sistem (canlı veya cansız) arasına bir bariyer yerleştirilerek radyasyonun etkilerinin ortadan kaldırılması veya makul seviyelere indirilmesi işlemine zırhlama denir. Zırhlamanın asıl amacının, yayılan radyasyonların zırh malzemesinin atomlarıyla etkileşime girerek sahip oldukları enerjilerin tamamını veya bir kısmını kaybetmesine sebep olmak olarak ifade edilebilir. Bu sebeple kullanılacak zırhlama malzemesinin, radyasyonların türü ve enerjisine göre seçilmesi önemlidir. Çünkü nükleer radyasyonların madde ile etkileşim mekanizmaları yüklerine, kütlelerine ve enerjilerine bağlı olarak değişmektedir (Seven A.2011, Akyıldırım H. 2011, Turhan A. 2008, Günoğlu K. 2012, Akkurt, vd., 2005a).

Radyasyonların nüfuz etme yetenekleri karşılaştırıldığında, en tehlikeli radyasyon türlerinin gama ve nötronlar olduğu ortaya çıkar. Nötronlar yüksüz olduğundan; gama ışınları hem yüksüz hem de kütesizdir. Farklı materyallerde farklı radyasyon türlerinin penetrasyonu Şekil 1.18'de gösterilmektedir.



Şekil 1.16. Çeşitli radyasyonların giriciliğinin karşılaştırılması.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Radyasyonun birçok alan ve uygulamada kullanılmaya başlamasıyla birlikte zararlı etkilerinde korunmada önemli bir konu haline gelmiştir. Yukarıda bahsedildiği gibi radyasyondan korunma yollarından birisi olan zırhlama ile ilgili olarak araştırmacılar birçok zırh malzemesi geliştirmiş ve üretmişlerdir. İnsanların hayatının büyük bir bölümünü geçirdiği binaların temel malzemesi olan betonların radyasyon zırhlama özelliklerini geliştirmek amacıyla agrega olarak veya bağlayıcı malzeme olarak farklı maddeler kullanılmıştır. Tezin bu bölümünde özellikle son yıllarda betonların radyasyon zırhlama özelliklerinin belirlenmesine yönelik yapılmış olan bazı çalışmaların özetleri verilmiştir.

Chidiac ve ark. (2021) farklı oranlarda bor karbür (B₄C) katkılayarak üretmiş oldukları betonların 10 keV ile 10 MeV arasındaki fotonlar için zayıflatma katsayısı değerlerini belirlemişlerdir. Elde etmiş oldukları foton enerjisi arttıkça zayıflatma katsayısının düştüğünü gözlemlemişlerdir. Bunun yanı sıra beton içerisindeki bor karbür (B₄C) oranı arttıkça zayıflatma katsayısının düştüğü ifade edilmiştir.

Günoğlu ve Akkurt (2021) manyetit mineralinin betonun radyasyon zırhlama özellikleri üzerine olan etkisini deneysel ve teorik olarak incelemişlerdir. Bu amaçla normal beton ve içerisinde agrega olarak 3 farklı oranda manyetit bulunduran toplam 4 farklı betonun lineer soğurma katsayısını 6 farklı gama enerjisinde deneysel olarak NaI(Tl) detektörü içeren gama spektroskopi sistemi kullanarak ölçmüşlerdir. Ayrıca betonun kimyasal özelliklerini kullanarak XCOM veri tabanı yardımıyla da teorik olarak hesaplamışlardır. Elde edilen deneysel ve teorik sonuçlar uyumlu olduğu gözlenmiştir. Beton içerisine agrega olarak katılan manyetit oranı arttıkça betonun radyasyon tutma özelliğinin arttığı çalışmanın sonucunda verilmiştir.

Papachristoforou ve Papayianni (2018) Elektrik Ark Ocağı cüruf agregaları ile üretilen çelik elyaf takviyeli betonun radyasyon zırhlama özelliklerini HpGe detektörü kullanarak 6 farklı gama enerjisi için deneysel olarak ölçmüşlerdir. Elde ettikleri sonuçlarda, kırma kireçtaşı yerine agrega olarak EAF cürufu kullanıldığında, foton enerjisine bağlı olarak lineer zayıflama katsayısının %10-15 arttığını göstermektedir.

Madej ve ark. (2021) Baryum ve Stronsiyum katkılı çimentolar içeren refrakter beton malzemelerin gama radyasyonu zırhlama özelliklerini deneysel olarak incelemişlerdir. Deneysel ölçümleri Yüksek Saflıkta Germanyum dedektörü (HPGe) kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Deneysel 5 farklı radyoaktif kaynaktan elde edilmiş olan 122 keV ile 1408 keV arasında değişen toplam 15 farklı gama enerjisi kullanılmıştır. Çalışma sonucunda normal betona kıyasla Baryum

ve Stronsiyum katkılı çimentolar içeren betonların gama radyasyonu zırlama özelliklerini geliştirdiği rapor edilmiştir.

Gökçe ve ark. (2018) farklı mineral katkılar içeren yüksek kıvamlı ağır betonun gama ışını zayıflama katsayıları deneysel olarak ve XCOM veri tabanı kullanılarak analitik olarak hesaplanmıştır. Ölçümlerde NaI(Tl) detektörü ile ^{60}Co ve ^{137}Cs radyoaktif kaynakları kullanılmıştır. Bu radyoaktif kaynaklardan elde edilen 3 farklı gama enerjisi için doğrusal zayıflatma katsayıları ölçüm sonucunda elde edilmiştir. Ağır betonun lineer zayıflama katsayıları, w/b oranı ve bağlayıcı içeriğinin artmasıyla azalmıştır. Viskozite düzenleyici, silis dumanı ve uçucu külün eklenmesi, genel olarak kullanım seviyesini artırarak artan bir etki ile bu katsayıları azaltır.

Tekin vd. (2017), yaptıkları çalışmada, hematit serpantin, limonit, bazalt manyetit, çelik hurdası ve çelik manyetit betonları gibi yedi farklı tipte normal ve ağır betonun kütleli soğurma katsayılarını yüksek enerjilerde FLUKA Monte Carlo kodu kullanılarak belirlemişlerdir. Sonuç olarak, yüksek enerjili gama radyasyonu için FLUKA Monte Carlo ile hesaplanan kütle ve lineer soğurma katsayıları, deneysel ve teorik XCOM verileriyle uyumlu değerler verdiği görülmüştür (Tekin et al. 2017).

Akkurt ve Akyıldırım, (2012), pomza kullanılarak üretilen betonların radyasyon zırlama özelliklerini incelemek için 662, 1173 ve 1332 keV foton enerjilerinde lineer soğurma katsayılarını ölçtükleri çalışmayı yapmışlardır. Ölçüm sonuçları, XCOM bilgisayar kodu kullanılarak yapılan hesaplama ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, pomzanın radyasyon zırlama özelliklerine etkisini görmek için normal beton tipiyle de karşılaştırılmıştır. Pomza katkılı betonun lineer soğurma katsayısının hem hesaplama hem de ölçüm için normal betondan daha düşük olduğunu bulmuşlardır. Pomzaların betonda agrega olarak kullanılmasının radyasyon zırlama özellikleri açısından ideal bir sonuç vermediği sonucuna varmışlardır (Akkurt and Akyıldırım 2012).

Akkurt vd. (2012), 511 ve 1275 keV enerjili gama ışınları için, hafif beton sınıfına giren iki beton örneğinin radyasyon zırlama özelliklerinin incelenmesine yönelik çalışma yapmışlardır. Hafif betonda agrega olarak sadece pomza kullanılırken yarı hafif betonda hem pomza hem de kum kullanılmıştır. Sonuç olarak yarı hafif beton, agrega olarak sadece pomzanın kullanıldığı hafif betona göre daha yüksek soğurma katsayısı göstermiştir. Bunun yanı sıra, yarı tabaka kalınlığının her iki enerji için hafif betondan daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir (AKKURT et al. 2012).

Akkurt vd. (2010), barit kullanarak üretilen ağır betonlar ve kurşun için 0,662 MeV, 1,173 MeV ve 1,332 MeV enerjili radyoaktif kaynaklar ile yaptıkları çalışmada lineer soğurma

katsayılarını NaI(Tl) detektörü ile ölçmüşlerdir. Elde edilen sonuçlar XCOM değerleriyle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak baritin ve barit katkılı ağır betonların iyi birer gama soğurucu olduğu, ancak zırhlama özelliğinin kurşuna kıyasla düşük olduğunu görmüşlerdir (Akkurt et al. 2010).

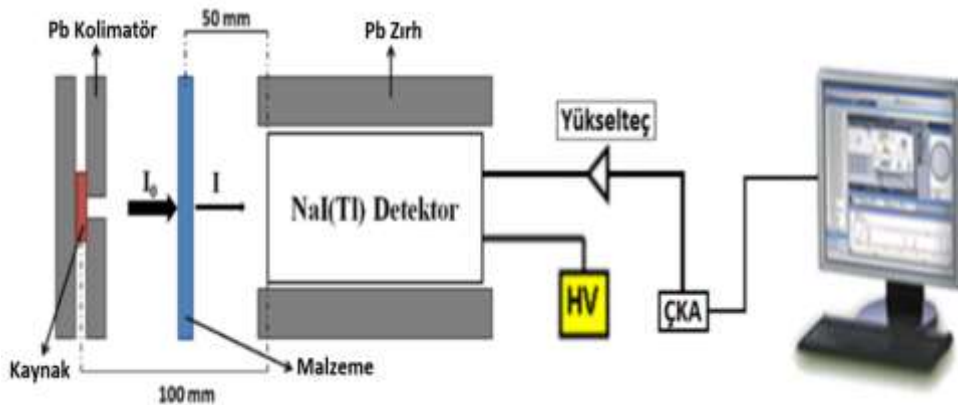


3. MATERYAL VE YÖNTEM

Yapılan bu tez çalışmasında farklı oranlarda grafen oksit içeren betonların gama radyasyonu zayıflatma katsayısının deneysel olarak ölçülmesi amaçlanmıştır. Deneysel ölçümlerde gama spektrometresi yöntemi kullanılmıştır. Bu deneysel çalışma kapsamında üretilen betonlar ve deney sistemi ile ilgili detaylı bilgiler aşağıda verilmiştir.

3.1. Gama Spektroskopi Sistemi

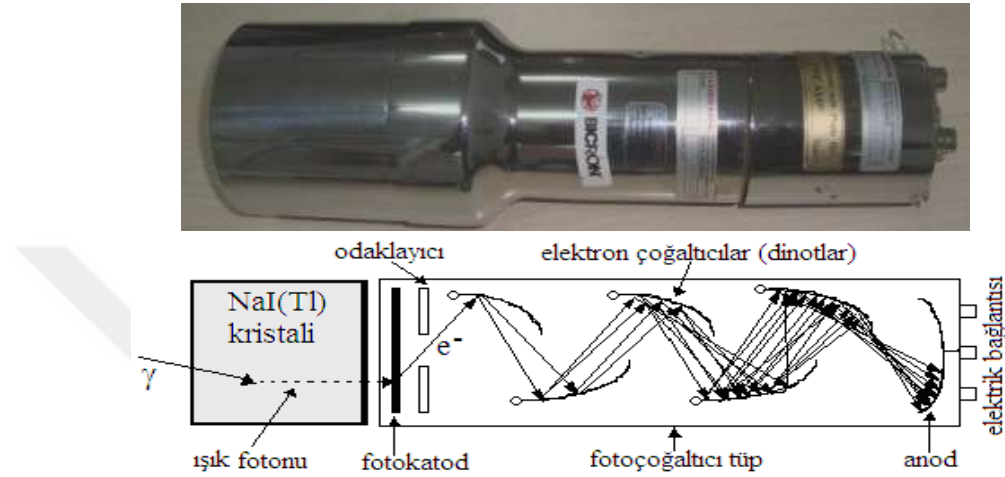
Çalışma kapsamında üretilen betonların zayıflatma katsayısı ile ilgili deneysel ölçümler Süleyman Demirel Üniversitesi Fen- Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik A.B.D. bünyesinde bulunan Gamma Spektroskopi Laboratuvarı'nda bulunan gama spektroskopi sistemi ile gerçekleştirilmiştir. NaI(Tl) detektörü içeren gama spektroskopi sistemi yüksek voltaj ünitesinin yanı sıra içerisinde çok kanallı analizör ve yükselteç içeren DSPEC LF modülünden oluşmaktadır. Gama spektrometre sistemi NaI(Tl) detektörü ile etkileşime giren gama ışınlarını enerjileri bakımından spektral biçimde ayırabilme özelliğine sahiptir. Detektörü besleyen, yüksek voltaj kaynağı olan (HV)'dir. Yükselteç ise detektör tarafından gönderilen atmaları güçlendirir ve uygun enerji ayırımı yapacak şekillendirmeyi sağlar. Yükselteç, sinyallerin her birisi bir enerjiye karşılık gelecek şekilde Çok Kanallı Analizöre (ÇKA) gönderir ve sinyaller dijital hale dönüştürülmüş olur. Genliğine göre sinyallerden her biri, bir hafıza kanalı tarafından alınır. Sayılan atmaların toplanmasıyla pikler meydana gelir ve spektrum olarak ekranda gözlemlenir.



Şekil 3.1. Gama spektroskopi sisteminin şematik diyagramı.

3.1.1. NaI(Tl) Dedektörü

Genel olarak radyasyon detektörlerinin üretiminde kullanılan malzemelere göre gazlı, yarı-iletken ve sintilasyon (parıldayıcı) olarak üç grup halinde sınıflandırılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan gama spektroskopi sisteminin içermiş olduğu 3"x3" boyutlu NaI(Tl) detektörü sintilasyon grubunda bulunmaktadır (Şekil 3.4.).



Şekil 3.2. 3"x3" boyutlu NaI(Tl) sintilasyon detektörü (üstte) ve iç yapısı (altta).

Bir NaI(Tl) sintilasyon detektörü iki temel bölümden meydana gelmiştir. Birinci bölüm NaI(Tl) kristalinin bulunduğu sintilatör ve ikinci bölüm ise foto katot, odaklayıcı elektrot, elektron çoğaltıcılar (dinotlar) ve anot bulunduran foto çoğaltıcı tüp. Bir sintilasyon detektörüne gelen gama ışınlarının kaydedilmesi için bazı aşamaları içermektedir. İlk olarak, gama ışını sintilatöre girer ve burada bulunan malzeme ile etkileşimlere uğrar. Bu etkileşim sonucunda gama ışını, enerjisinin tamamını veya bir miktarını elektronlara veya elektron-pozitron çiftlerine transfer eder. Gelen gama ışınlarının uyardığı elektronlar, temel seviyelerine dönerler ve bu olay sonucunda ışık fotonları yayılır. Yayınlanan bu ışık fotonlarına genel olarak flüoresan radyasyon denir.

Işık fotonları foto çoğaltıcı tüp kısmına girer ve burada ilk olarak ışığa duyarlı olan foto katot ile etkileşirler. Bu etkileşim sonucunda oluşan foto elektronlar, odaklayıcı elektrot yardımıyla elektron çoğaltıcı (dinot) katmanlardan birincisine aktarılır. Elektron çoğaltıcı tabaka ile etkileşime giren elektronların, başlangıçtaki enerjilerine bağlı olarak çoğaltıcıdan kopan birden çok ikincil elektronlar oluşur. Koparılmış olan yeni elektronlar ise odaklayıcılar tarafından kendinden sonra bulunan elektron çoğaltıcıya aktarılır ve bu işlemler anoda ulaşmaya kadar sürer. Dinotların her birinden kopararak çoğaltılan

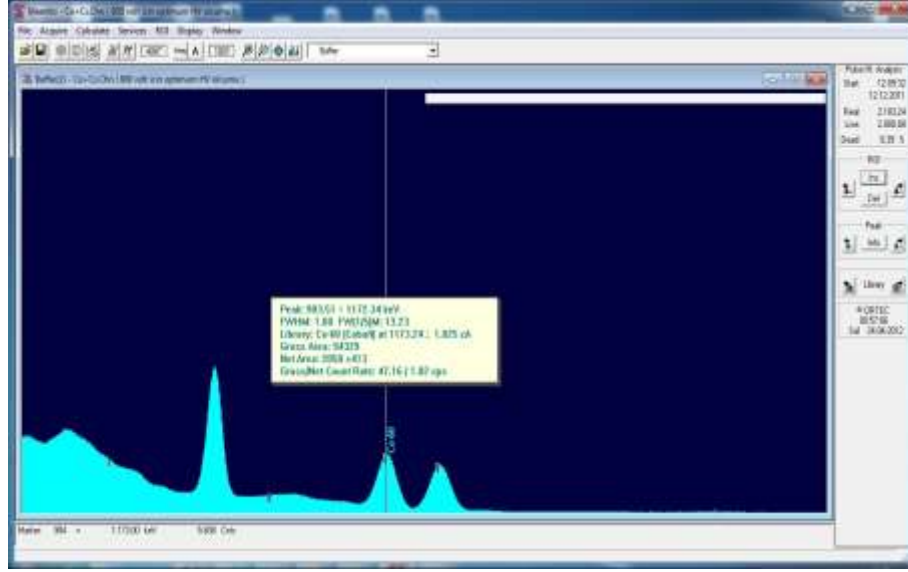
elektron miktarı, foto katot ile anot arasına uygulanan gerilime bağı olarak değişir. Sürecin sonucunda anotta, bir akım sinyali meydana gelir ve meydana gelen sinyal yükseltilmek kaydıyla elektronik aygıtlar aracılığı ile okunabilir spektruma dönüştürülür.

3.1.2. Elektronik Üniteler

Gama radyasyonunun, NaI(Tl) detektörü ile etkileşen gama radyasyonunun oluşturduğu atmalar elektronik cihazlar yardımıyla anlamlı sayısal sinyallere dönüştürülür ve elde edilen sayısal sinyallerin bir yazılım ile analizi yapılabilir. Gama radyasyonun detektörde oluşturduğu sinyaller öncelikle DSPEC LF içerisinde bulunan yükseltici (amplifikatör) yardımıyla yükseltilir, şekillendirilir ve daha sonra Çok Kanallı Analizöre (ÇKA) gönderilir. ÇKA' de sayısal hale dönüştürülen bilgiler detektör sistemi için özel olarak hazırlanmış MAESTRO-32 yazılımı kullanıcıların oluşan sayısal sinyalleri spektrum olarak görmesine imkân sağlar. şekil 3.5. DSPEC LF ve yüksek gerilim modülünü göstermektedir. şekil 3.6' da MAESTRO-32 yazılımı yardımıyla elde edilen örnek bir spektrum gösterilmiştir.



şekil 3.3. DSPEC LF modülü (üstte) ve yüksek gerilim modülü (altta).



Şekil 3.4. MAESTRO-32 yazılımı ile elde edilmiş örnek spektrum.

3.1.3. Radyoaktif kaynaklar

DeneySEL ölçümlerde Spectrum Techniques firmasından iki farklı radyoaktif kaynak temin edilmiştir. Bu radyoaktif kaynaklar 1 μ Ci aktiviteye sahip ^{60}Co ve ^{137}Cs radyoaktif kaynaklarıdır (Şekil 3.10).



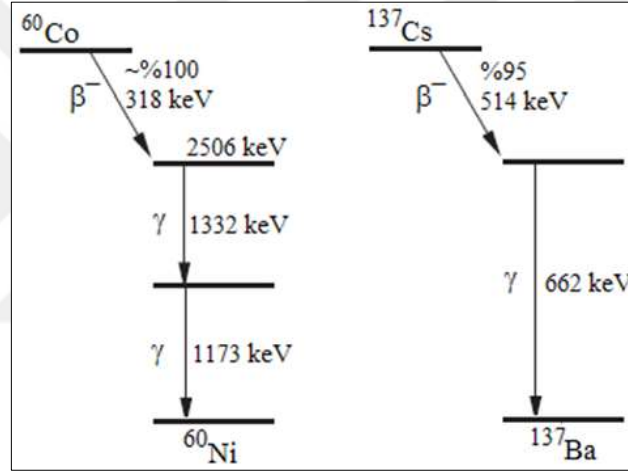
Şekil 3.5. Deneylerde kullanılan radyoaktif kaynaklar.

Bu radyoaktif kaynakların her ikisi de β^- yaymak suretiyle kararlı hale geçmeye çalışırlar. β^- yayımlanmaları sonucu oluşan ürün çekirdekler yine kararsız haldedir ve kararsızlığın sebebi olan fazla enerjilerini gama (γ) ışınması yaparak kararlı hale geçerler. ^{137}Cs 662 keV enerjili tek bir gama yayarken ^{60}Co 1173 keV ve 1332 keV enerjili olmak üzere iki gama ışını yayar (Şekil 3.11). Kullanılan bu radyoaktif kaynakların yaymış

oldukları gamalardan dolayı deneysel ölçümler üç enerjide gerçekleştirilmiştir. ^{60}Co ve ^{137}Cs radyoaktif kaynaklarının ait bazı özellikleri Çizelge 3.2.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kullanılan radyoaktif kaynakların bazı özellikleri

	Yarı ömür	Bozunma modu	γ enerjisi	Aktivite	Ürün çekirdek
^{60}Co	5,27 yıl	β^-	1173 keV 1332 keV	1 μCi	^{60}Ni
^{137}Cs	30,1 yıl	β^-	662 keV	1 μCi	^{137}Ba

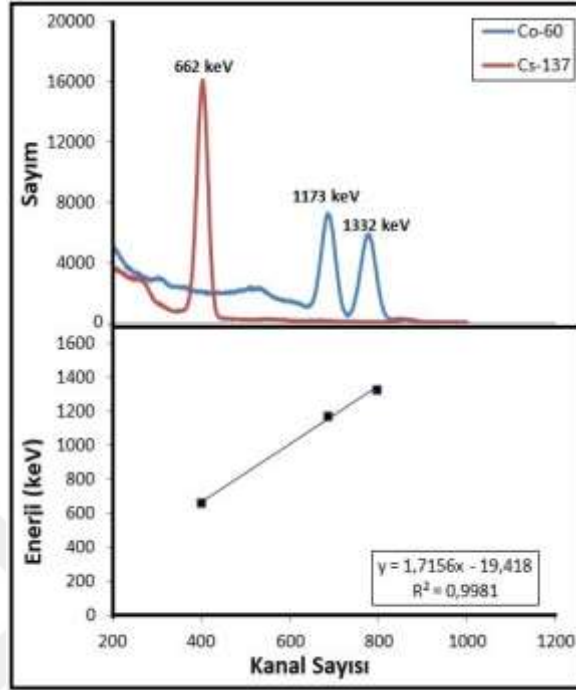


Şekil 3.6. Kullanılan radyoaktif kaynakların bozunma şemaları.

3.1.4. Dedektörün enerji kalibrasyonu

Detektörün kalibrasyon edilmesinde, belirli bir radyasyon enerjisinde ölçüm cihazının vermesi gereken sonucun, cihaza tanıtması amaçlıdır. Bu neden ile cihazın enerji kalibrasyonu yapılırken yaymış oldukları gama enerjileri daha önceden bilinen ve farklı enerjilere sahip olan radyoaktif kaynaklar kullanılır. Bu çalışmada ölçümlere başlamadan önce kullanılan detektörün kalibrasyonu, ^{137}Cs kaynağından yayınlanan 662 keV ve ^{60}Co kaynağından yayınlanan 1173 keV- 1332 keV enerjili gamalar için eşit sürelerde alınan spektrumlar kullanılarak yapılmıştır. Bu spektrumlarda her bir gama enerjisine karşılık gelen kanal numarası MAESTRO-32 yazılımı ile detektöre girilmiştir.

Kalibrasyonda kullanılan iki kaynağa ait spektrumlar ve spektrumdaki her bir pike karşılık gelen enerji kanal fiti Şekil 3.12' de görülmektedir.



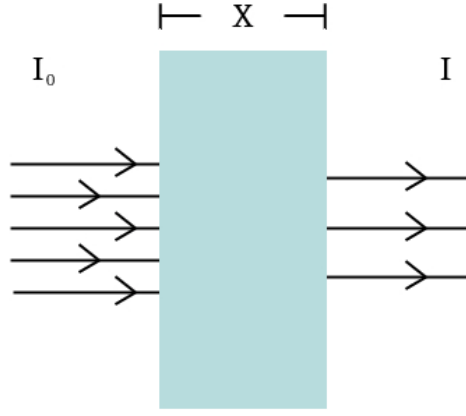
Şekil 3.7. Kaynakların enerji spektrumları (üstte) ve enerji-kanal fiti (altta).

3.1.5. Gama zayıflatma katsayısı ve diğer parametreler

Bu çalışmada gama radyasyonu zayıflatma özelliklerinin belirlenmesi amacıyla öncelikle μ doğrusal zayıflatma katsayıları her bir beton için ayrı ayrı bulunarak gerçekleştirilmiştir. Soğurucu maddeyi geçen gama ışını demetinde, soğurucunun her cm'sinde meydana gelen foton sayısındaki azalmanın bir ölçüsüdür. Birimi; 1/cm'dir. Monoenerjik gama ışınları denklem 1.9.' da görüldüğü gibi üstel bir şekilde absorbe edilir. Bu denklem "Lambert Kanunu" olarak bilinir(Attix 2008; Hendee and Ritenour 2003).

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (3.1)$$

Burada I_0 radyoaktif kaynaktan gelen gama ışını yoğunluğu, I ise gelen gama ışını yoğunluğunun x kalınlığındaki malzemeden geçen gama ışını yoğunluğunu ifade etmektedir (Şekil 3.8.).



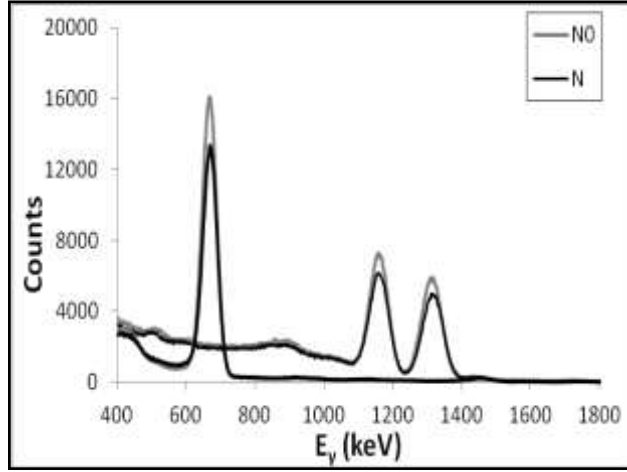
Şekil 3.8. Gama ışınının zayıflatılması.

μ ile ifade edilen toplam lineer azalma katsayısı; gama ışını enerjisine ve soğurucu maddenin yoğunluk, atom numarası, gram başına elektron sayısı gibi özelliklerine bağlıdır. Denklem (3.1)' den yararlanılarak μ ;

$$\mu = \frac{1}{x} \ln \left(\frac{I_0}{I} \right) \quad (3.2)$$

İfadesi ile hesaplanır.

Deneyleerde öncelikle referans ölçümü olarak da adlandırılan I_0 ölçümü yapılmıştır. Bunun için radyoaktif kaynak ile detektör arasında malzeme yokken, belirli bir süre boyunca kaynağın radyasyon şiddeti ölçülmüştür. Tüm malzemeler için alınan bu I_0 referans ölçümü kullanılmıştır. Daha sonra zayıflatma deneyine tabi tutulacak olan malzemeler kaynak ile detektör arasına konularak malzeme tarafından zayıflatılmış radyasyon şiddetini temsil eden I şiddeti için ölçüm gerçekleştirilmiştir. Deneyleerde, ölçüm geometrisinin ve tüm numuneler için ölçüm sürelerinin aynı olması sağlanmıştır. Şekil 13'te ^{60}Co kaynağından MAESTRO-32 spektrum analiz yazılımıyla alınan zayıflatılmamış (I_0) ve zayıflatılmış (I) gama ışın şiddetine örnek bir spektrum verilmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 ^{60}Co ve ^{137}Cs kaynaklarından elde edilen zayıflatılmış ve zayıflatılmış gama spektrumu.

Farklı gama enerjilerinde radyasyon kalkanı olarak kullanılacak bir malzemenin radyasyon zayıflatma performansının belirlenmesinde doğrusal zayıflatma katsayısı kullanılarak hesaplanan bazı parametreler mevcuttur. Bunlar;

Yarı Değer Katmanı (HVL): Bu kavram, gelen radyasyon yoğunluğunun yarıya indirmek için gerekli olan kalkan malzemesinin kalınlığı olarak tanımlanır.

$$HVL = \frac{\ln 2}{\mu} \quad (3.3)$$

Onuncu Değer Katmanı (TVL): Gelen radyasyon yoğunluğunun onda birine indirmek için gerekli olan kalkan malzemesinin kalınlığı olarak tanımlanır.

$$TVL = \frac{\ln 10}{\mu} \quad (3.4)$$

ile hesaplanır.

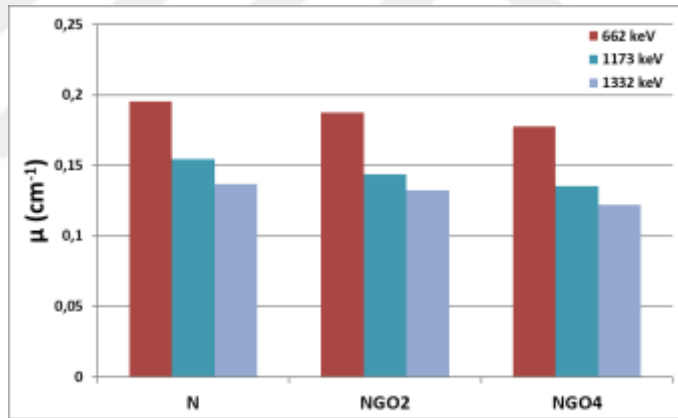
Ortalama serbest yol (MFP): MFP, bir gama radyasyonunun kalkan malzemesi içerisinde izlediği yol boyunca herhangi bir etkileşim yapmadan kat edebileceği ortalama mesafedir.

$$MFP = \frac{1}{\mu} \quad (3.5)$$

ile hesaplanır.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

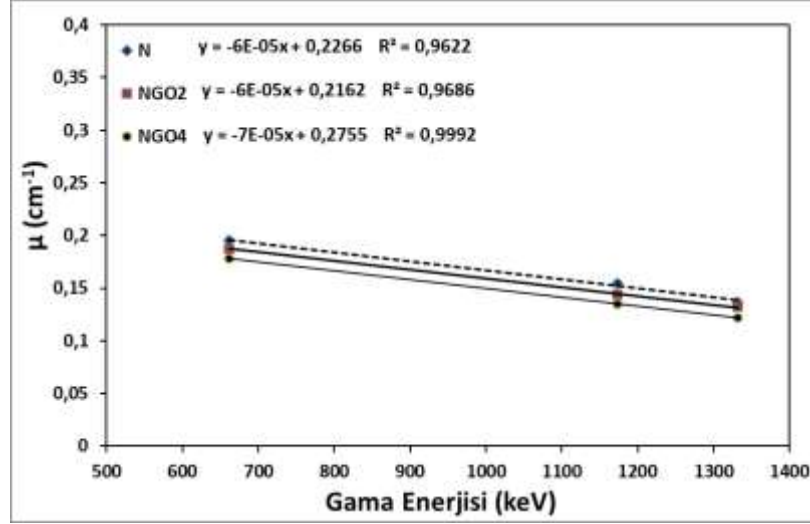
Grafen Katkılı Betonların Radyasyon Geçirgenliği isimli bu tez çalışması kapsamında 3 farklı beton üretilmiştir. Üretilen betonlardan normal betonda agrega olarak standart kum, çimento ve su kullanılmıştır. Diğer 2 beton türünde ise %2 ve %4 oranında çimento ile yer değiştirmek suretiyle grafen oksit kullanılmıştır. Üretilen betonların radyasyon geçirgenlik deneyleri Süleyman Demirel Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik A.B.D. Gamma Spektroskopi Laboratuvarında bulunan NaI(Tl) detektörlü gama spektroskopi sistemi kullanılarak yapılmıştır. Ölçümler sonucunda doğrusal zayıflatma katsayısı (μ) sonuçları ^{137}Cs ve ^{60}Co radyoaktif kaynaklarından yayınlanan 662, 1173 ve 1332 keV gama enerjileri için elde edilmiştir. Doğrusal zayıflatma katsayısı sonuçları kullanılarak ortalama serbest yol (MFP) ile yarı değer ve onda bir değer kalınlıkları parametreleri hesaplanmıştır. Doğrusal zayıflatma katsayısı için elde edilen sonuçlar Şekil 4.1’ de verilmiştir.



Şekil 4.1. Doğrusal zayıflatma katsayısı (μ) sonuçları.

Şekil 4.1’ den görüldüğü gibi tüm betonlar için en yüksek doğrusal zayıflatma katsayısı değeri 662 keV gama enerjisi için normal beton (N) numunesinde bulunmuşken en düşük değerin %4 grafen oksit katkılı olan NGO4 betonunda olduğu bulunmuştur. Şekil 4.1’ de beton içerisine çimento ile yer değiştirerek katılan grafen oksit oranı arttıkça zayıflatma katsayısı değerlerinin düştüğü söylenebilir.

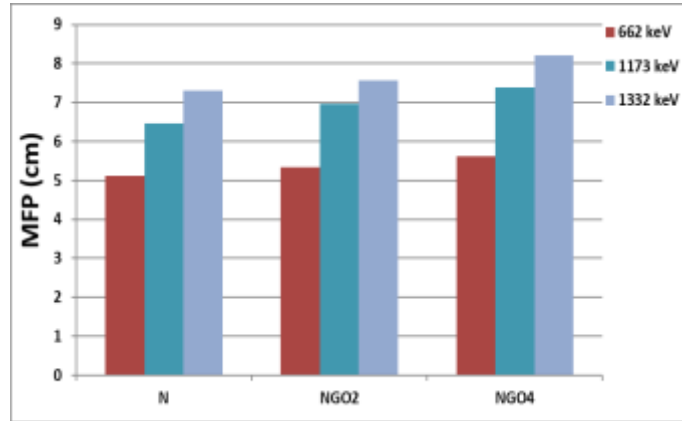
Şekil 4.2’ de üretilen betonlar için doğrusal zayıflatma katsayılarının enerjile değişimi gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Doğrusal zayıflatma katsayısının enerjiye bağlı değişimi.

Şekil 4.2’ de verilen doğrusal zayıflatma katsayısı sonuçları için artan gama enerjisiyle azaldığı açık bir şekilde görülmektedir. Grafikten de görüleceği gibi doğrusal zayıflatma katsayısının enerjiye bağlılığını gösteren R^2 değerinin 0,9’ un üzerinde bir değerde olduğu görülmektedir.

Doğrusal zayıflatma katsayısı kullanılarak hesaplanan ortalama serbest yol (MFP) için elde edilen sonuçlar Şekil 4.3’ de verilmiştir.

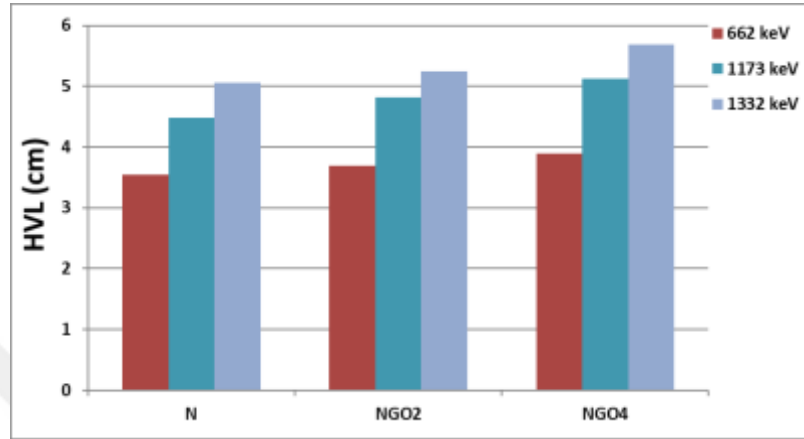


Şekil 4.3. Ortalama serbest yol (MFP) sonuçları.

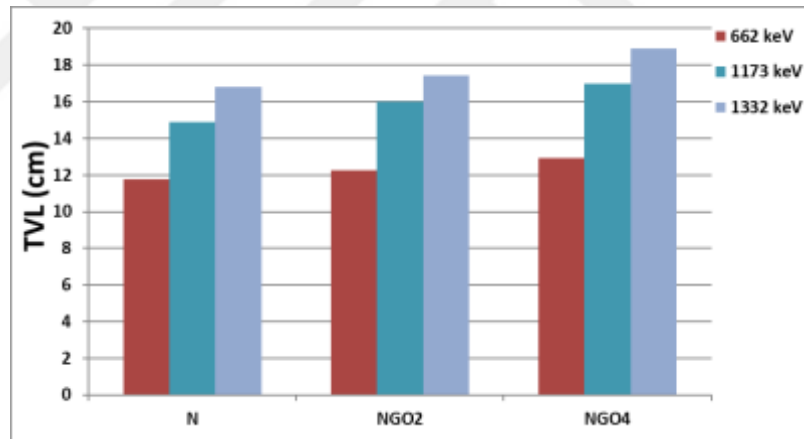
Şekil 4.3’ den görüldüğü gibi ortalama serbest yol için en yüksek değer 1332 keV gama enerjisi için NGO4 betonunda bulunmuştur en küçük değer ise 662 keV gama enerjisi için N betonunda bulunmuştur. Ortalama serbest yol (MFP) için elde edilen sonuçlar doğrusal zayıflatma katsayısı için elde edilen sonuçların tam tersi şeklindedir. Yani ortalama serbest yol değerleri artan gama enerjisiyle artmaktadır. Bunun sebebi

ortalama serbest yolun doğrusal zayıflatma katsayısı ile ters orantılı olmasıdır. Ayrıca artan grafen oksit oranıyla ortalama serbest yol değeri artmaktadır.

Yarı değer (HVL) ve onda bir değer (TVL) kalınlıkları Denklem (3.3) ve (3.4) kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’ de verilmiştir.



Şekil 4.4. Yarı değer (HVL) kalınlıkları sonuçları.



Şekil 4.5. Yarı değer (HVL) ve onda bir değer (TVL) kalınlıkları.

Yarı değer (HVL) ve onda bir değer (TVL) kalınlıkları için elde edilen sonuçlar ortalama serbest yol (MFP) sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir. Bunun sebebi bu değerlerin hesaplanmasında kullanılan denklemlerde doğrusal zayıflatma katsayısı ile ters orantılı olmasıdır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında grafen oksit malzemesinin betonun radyasyon geçirgenliği özelliklerini nasıl değiştirdiğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Grafen oksit beton içerisine %2 ve %4 oranında çimento ile yer değiştirmek suretiyle kullanılmıştır. Betonların radyasyon geçirgenlik deneyleri Süleyman Demirel Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik A.B.D. Gamma Spektroskopi Laboratuvarında bulunan NaI(Tl) detektörlü gama spektroskopi sistemi kullanılarak yapılmıştır. Ölçümler sonucunda doğrusal zayıflatma katsayısı (μ) sonuçları ^{137}Cs ve ^{60}Co radyoaktif kaynaklarından yayınlanan 662, 1173 ve 1332 keV gama enerjileri için elde edilmiştir. Doğrusal zayıflatma katsayısı sonuçları kullanılarak ortalama serbest yol (MFP) ile yarı değer ve onda bir değer kalınlıkları parametreleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre;

- Beton içerisine grafen oksit katkılama işlemi sonucunda betonun doğrusal zayıflatma katsayısı düştüğü gözlenmiştir. Bunun sebebi çimento ile yer değiştiren grafen oksitin yoğunluğunun çimentonun yoğunluğundan düşük olmasıdır.
- Deneyler kullanılan farklı gama enerjileri için gama enerjisi arttıkça doğrusal zayıflatma katsayısının düştüğü görülmüştür.
- Deneysel ölçümler sonucunda elde edilen doğrusal zayıflatma katsayısı sonuçları kullanılarak tüm enerjiler için ortalama serbest yol (MFP), yarı değer (HVL) ve onda bir değer (TVL) kalınlıkları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçların hem enerjiye göre hem de grafen oksidin oranına göre yükseldiği gözlenmiştir. Bu yükselme aynı enerjideki bir gama ışını için bu betonlardan daha kalın olarak üretilmesi gerektiği anlamına gelmektedir.

Bu çalışma grafen oksidin beton içerisinde kullanılmasının radyasyon geçirgenlik düzeyini düşürdüğü gözlenmiştir.

6. KAYNAKLAR

- Akkurt, I., Akyildirim, H., Mavi, B., Kilincarslan, S., Basyigit, C., 2010d. Radiation shielding of concrete containing zeolite. *Radiation Measurements*, 45, 827– 830.
- Akkurt, I., & El-Khayatt, A. M. (2013). The effect of barite proportion on neutron and gamma-ray shielding. *Annals of nuclear energy*, 51, 5-9.
- Akkurt, I., Akyildirim, H., Mavi, B., Kilincarslan, S., Basyigit, C., 2010b. Gammaray shielding properties of concrete including barite at different energies. *Progress in Nuclear Energy*, 52, 620–623.
- Akkurt, I., Akyildirim, H., Mavi, B., Kilincarslan, S., Basyigit, C., 2010c. Photonattenuation coefficients of concrete includes barite in different rate. *Annals of Nuclear Energy*, 37, 910-914.
- Akkurt, I., Akyildirim, H., Ozdemir, A.F., Aldemir, D.A., 2010 a. Neutron irradiation effects on I – V characteristics of Au/n-GaAs Schottky diodes. *Radiation Measurements*, 45(10), 1381-1383.
- Akkurt, I., Basyigit, C., Kilincarslan, S., Mavi, B., 2005b. The shielding of γ -rays by concretes produced with barite. *Progress in Nuclear Energy*, 46(1), 1–11.
- Akkurt, I., Basyigit, C., Kilincarslan, S., Mavi, B., Akkurt, A., 2006. Radiation shielding of concretes containing different aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 28, 153–157.
- Akkurt, I., Kilincarslan, S., Basyigit, C., 2004. The photon attenuation coefficients of barite, marble and limra. *Annals of Nuclear Energy*, 31, 577–582.
- Akkurt, I., Mavi, B., Akkurt, A., Basyigit, C., Kilincarslan, S., Yalim, H.A., 2005 a. Study on Z dependence of partial and total mass attenuation coefficients. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 94, 379–385.
- Akman, F., Kaçal, M. R., Almousa, N., Sayyed, M. I., Polat, H. (2020). Gamma-ray attenuation parameters for polymer composites reinforced with BaTiO₃ and CaWO₄ compounds. *Progress in Nuclear Energy*, 121, 103257.
- Akyıldırım H, 2011, Ağır Betonların Nükleer Radyasyon Zırhlama Özelliklerinin Araştırılması, S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta.
- Akyıldız, A., 2012, Beton Üretiminde Bor Atıklarının Pozzolan Materyal Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Doktora Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay, 56-70.
- Al-Sarray, E. (2016). Bazı kompozit materyallerin radyasyon soğurma özelliklerinin araştırılması. *Investigation of Radiation Shielding Properties of Some Composite*

Materials (Doctoral dissertation, Doktora tezi Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı. ISPARTA. 54 s.

Al-Sarray, E., Akkurt, I., Günoğlu, K., Evcin, A., Bezir, N. Ç. (2017). Radiation Shielding Properties of Some Composite Panel. *Acta Physica Polonica, A.*, 132(3). DOI: 10.12693/APhysPolA.132.490

Annunziata, M.F., 2003. *Handbook of Radioactivity Analysis*. Elsevier Science, 1282 s., U.S.A.

Atakan, Y., 2006. TÜBİTAK, *Bilim ve Teknik, Yeni Ufuklar*, Nisan Bashter, I.I., 1997. Calculation of radiation attenuation for shielding concrete. *Annals of Nuclear Energy*, 24(17), 1389-1401.

Aygün, B. Developed and Produced New Laterite Refractory Brick Samples Protective for Gamma and Neutron Radiation Using GEANT4 Code. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(1), 1-6. 2020

Beiser, A., 1972. *Basic Concepts of Physics*, 2nd Ed., Addison-Wesley Publishing Company, London.

Boren, (2006). National Boron Research Institute of Turkey. Erişim tarihi: 11.07.2020 <http://www.boren.gov.tr>

Bozbiyık, vd, 2002. *Radyasyon Yaralanmaları ve Korunma Yöntemleri*, cilt 11, sayı 7-272

Çalık, A., Akkurt, İ., Akyıldırım, H. Borun radyasyon zırh malzemesi olarak kullanılmasının araştırılması determination using as radiation armor of boron material. 5. uluslararası ileri teknolojiler sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs 2009, Karabük, TÜRKİYE 2009

Demir, D., & Keleş, G. (2006). Radiation transmission of concrete including boron waste for 59.54 and 80.99 keV gamma rays. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 245(2), 501-504.

Demir, F. (2010). Determination of mass attenuation coefficients of some boron ores at 59.54 keV by using scintillation detector. *Applied Radiation and Isotopes*, 68(1), 175-179.

Demirel, B., & Nasıroğlu, S. (2017). Bor Mineralleri ve Atıklarının Çimentoda Kullanılma Stratejileri. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 29(1), 95-100.

Dırak, S., 2011, *Eti Maden Müdürlüğü Kırka Bor İşletmesi Bor Endüstri Atıklarında Eser Elementlerin Tayini ve Lityumun Kazanılması*, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, 78-82.

- Dong, M. G., Xue, X. X., Elmahroug, Y., Sayyed, M. I., & Zaid, M. H. M. (2019). Investigation of shielding parameters of some boron containing resources for gamma ray and fast neutron. *Results in Physics*, 13, 102129.
- Eisenbud, M., Gesell, T., 1997. *Environmental Radioactivity From Natural, Industrial and Military Sources*. Academic Pres, 683 s., London.
- Etimaden, 2006. Eti Mine Works General Management. Erişim tarihi: 11.07.2020. <http://www.etimaden.gov.tr/>
- Evcin A., 2015, Genel Kimya II Ders Notları, Afyon Kocatepe Üniversitesi.
- Evcin, O., Evcin, A., Bezir, N. Ç., Akkurt, I., Günoğlu, K., Ersoy, B. (2017). Production of barite and boroncarbide doped radiation shielding polymer composite panels. *Acta Phys. Pol. A*, 132, 1145-1148. DOI: 10.12693/APhysPolA.132.1145
- Günoğlu K., 2012, Türkiye’deki Bazı Doğal Tasların Radyoaktivite Tayini ve Radyasyon Soğurma Özelliklerinin Araştırılması, S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta.
- Günoğlu, K. (2017). Radiation Transmission of Some Gypsum Concretes for 511, 835 and 1275 keV Gamma Rays. *Acta Physica Polonica, A.*, 132(3).
- Jaeger, R.G., Blizard, E.P., Chilton, A.B., Grotenhuis, M., Honig, A., Jaeger, T.A., Eisenlohr, H., 1968. *Engineering Compendium on Radiation Shielding*. Springer-Verlag, 537 s., New York.
- Jevremovic, T., 2009. *Nuclear Principles in Engineering*. 2nd Ed., Springer, 558 s, New York.
- Karaçay E., 2008, Bor Karbür Üretimi ve Karakterizasyonu, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Krane, S.K., 1988. *Nuclear Physics Vol 1*, John Wiley & Sons, 404 s, New York.
- KILINÇARSLAN, Ş., & SEVEN, A. (2014). Baritli Hazır Sıva Kaplamalarının Radyasyon Zırh Malzemesi Olarak Kullanımının Araştırılması. *Journal of Natural and Applied Science*, 18(3), 9-14.
- Kılınçarslan, Ş., 2004. Barit Agregalı Ağır Betonların Radyasyon Zırhlamasındaki Özellikleri ve Optimal Karışımlarının Araştırılması. S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 106s, Isparta.
- Kılınçarslan, Ş., Başyigit, C., & Akkurt, İ. (2007). Barit agregalı ağır betonların radyasyon zırhlama amacıyla kullanımının araştırılması. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 22(2), 393-399.

- Kılınçarslan, Ş., 2004. Barit Agregalı Betonların Radyasyon Zırhlamasındaki Özellikleri ve Optimal Karışımlarının Araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi. 118s., Isparta.
- Kuloğlu, E. (2014). Bor ve barit mineral katkılı polietilen örneklerin optik özelliklerinin incelenmesi ve lineer soğurma katsayılarının belirlenmesi (Doctoral dissertation, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü/Fizik Anabilim Dalı).
- Mahdi, K. H., Ahmed, Z. S., Mkhaimer, A. F. (2017). Calculation and Study of Gamma ray Attenuation Coefficients for Different Composites. *Ibn AL-Haitham Journal For Pure and Applied Science*, 25(3), 133-141
- Magill, J., Kally, J., 2005. Radioactivity, Radionuclides, Radiation. Springer, 266 s., New York.
- Noz, M.E., Maguire, G.Q., 2007. Radiation Protection in Health Sciences. 2nd Ed., World Scientific Publishing Co. Ltd., 325 s., Singapore.
- Oruç, F., Sabah, E., & Erkan, Z. E. (2004). Türkiye’de Bor Atıklarının Sektörel Bazda Değerlendirme Stratejileri. II. Uluslararası Bor Sempozyumu, 23-25.
- Picha, R., Channuie, J., Khaweerat, S., Liamsuwan, T., Promping, J., Ratanatongchai, W., ... & Wonglee, S. (2015). Gamma and neutron attenuation properties of barite-cement mixture. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 611, No. 1, p. 012002). IOP Publishing.
- Price, B: T: Horton, C.C., Spinney, K.T., 1957. Radiation Shielding. Pergamon Pres, 350 s, London.
- Roslan, M. K. A., Ismail, M., Kueh, A. B. H., & Zin, M. R. M. (2019). High-density concrete: exploring Ferro boron effects in neutron and gamma radiation shielding. *Construction and Building Materials*, 215, 718-725.
- Sabah, E. ve Yeşilkaya, L., 2000, Farklı Tipte Polimerlerle Kırka Boraks İşletmesi Tınkal Konsantratörü Atıklarının Çökeltme Davranışlarının İncelenmesi, Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme Derneği Yayını (3), 1-12.
- Sarıağaç, G., 2012, Kırka Tınkal Bor Atıklarından Gözenekli Agreganın Üretimi ve Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon 56-58.
- Seven A., 2011, Baritli Hazır Sıva Kaplamalarının Radyasyon Zırh Elemanı Olarak Kullanılabilirliğinin Görüntü İşleme Yöntemi ile Araştırılması, S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- Sttar, M. A. K. A., Mkhaimer, A. F., Majeed, A. M. A. (2019, December). Study of the effect of using nanomaterial in radiological shielding. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2190, No. 1, p. 020077). AIP Publishing LLC.
- Şahin, Y., Kompozit Malzemelere Giriş, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2000.

- TAEK Bilgi Köşesi, 2018. Doğal radyasyon kaynaklarının doğal radyasyon seviyesine katkıları Erişim tarihi: 11.07.2020. <http://www.taek.gov.tr>
- TAEK Bilgi Köşesi, 2018. Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarının küresel radyasyon dozuna oransal katkıları Erişim tarihi: 11.07.2020 <http://www.taek.gov.tr>
- TAEK Bilgi Köşesi, 2018. Yapay radyasyonu oluşturan temel kaynaklar Erişim tarihi: 11.07.2020. <http://www.taek.gov.tr>
- Turhan A, 2008, Borlamanın Paslanmaz Çeliğin Radyasyon Zırhlama Özelliğine Etkisinin Araştırılması, S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- Unsear, 2000. Annex B: Sources and effects of ionizing radiation, Volume 1 Sources, - exposures from natural radiation sources.
- Yalçın, Ş. L. (2013). Radyasyonun madde ile etkileşmesi. Ders Notu, İstanbul Üniversitesi, Fizik Bölümü, İstanbul
- Yaltay, N. (2015). Kolemanit katkılı çimento ile üretilen pomza agregalı hafif betonun fiziksel özelliklerinin araştırılması. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı. Doktora Tezi. ELÂZİĞ. 129 s. DEMİREL, B., & NASIROĞLU, S. (2017). Bor Mineralleri ve Atıklarının Çimentoda Kullanılma Stratejileri. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 29(1), 95-100.
- Yaman, C., 1997, Bor Minerali Atıklarının Seramik Endüstrisinde Kullanılabilirliği, VIII. Ulusal Kil Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Kütahya, 345-352.

7. ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Bilal SUNAR
Uyruğu : T.C.

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: KONYA DOLAPOĞLU ANADOLU LİSESİ	2010
Üniversite	: SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ	2015
Yüksek Lisans	: SELÇUK ÜNİVERSİTESİ	
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2015	CENGİZ HOLDİNG	İNŞAAT MÜHENDİSİ
2016	AKSA İNŞAAT	KURUCU

UZMANLIK ALANI: DEPREM YALITIMI, ÇELİK YAPILAR.

YABANCI DİLLER: İNGİLİZCE, ALMANCA