



T.C

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

FİZİK ANABİLİM DALI

BAZI YAPI MALZEMELERİNDE ZIRHLAMA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tayyar ÇETİNER

Birinci Danışman: Prof. Dr. İbrahim YİĞİTOĞLU

İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Melek GÖKBULUT

TOKAT - 2022

ETİK SÖZLEŞME

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Prof. Dr. İbrahim YİĞİTOĞLU ve Dr. Öğr. Üyesi Melek GÖKBULUT danışmanlığında hazırlamış olduğum “**Bazı Yapı Malzemelerinde Zırhlama**” adlı Yüksek Lisans tezinin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

03/01/2023

Tayyar ÇETİNER

JÜRİ KABUL VE ONAY

Tayyar ÇETİNER tarafından hazırlanan “**Bazı Yapı Malzemelerinde Zırhlama**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 07 /12 /2022 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından Oy Birliği ile Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri (Ünvan, Adı Soyadı)

İmzası

Üye (Başkan) : Doç. Dr. Mustafa Numan BAKIRCI

Üye : Prof. Dr. İbrahim YİĞİTOĞLU

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ömer GÖRGÜLÜER

Online Katıldı

ONAY

03 / 01 / 2023

Prof. Dr. Mehmet GÜNEŞ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ÖZET

BAZI YAPI MALZEMELERİNDE ZIRHLAMA

Çetiner, Tayyar

Yüksek Lisans, Eğitim Programları ve Öğretim Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İbrahim Yiğitoğlu

İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Melek Gökbulut

Aralık 2022, x + 46 sayfa

Radyasyon farkında olalım ya da olmayalım yaşıttının her anında karşılaşılan bir olgudur. Bunun nedeni hem kozmik ışınlar hem de yerkabuğundan kaynaklanan oldukça hafif doğal bir radyasyona maruz kalınmasıdır. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte insanlığın kullanımına sunulan teknolojik aletlerin yararlarının yanında zararları da bulunmaktadır. Günümüzde başta sağlık alanı ve elektrik enerjisi elde etmek için kullanılan nükleer teknoloji yapay radyasyonun nedenleri arasında yer almaktadır.

Bu tez çalışmasında günümüzde yaygın olarak kullanılan inşaat malzemelerinin radyasyon tutuculuk özelliklerinin ölçülmesi hedeflenmiştir. Soğurma katsayısı (μ) değerleri inşaat malzemesi olarak kullanılan beton, normal beton, alçı, mermer, fayans, tuğla, kontrplak, strafor, kavak, kayın, meşe, çam gibi yapı malzemeleri için hesaplanmıştır.

Ölçümler ^{137}Cs ve ^{60}Co radyasyon kaynakları ve NaI(Tl) gama spektrometresi kullanılarak yapıldı. Beer-Lambert denklemi kullanılarak soğurma katsayıları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçların ışığında mevcut yapı malzemeleri ile daha güvenli bina inşa etme yöntemleri ve yaşadığımız binaların olası bir radyasyon sızıntısına ne kadar hazır olduğu araştırılıp tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Zırhlama, Yapı malzemesi, Radyasyona maruz kalma

ABSTRACT

SHILDENG IN SOME STRUCTURE MATERIALS

Çetiner, Tayyar

Master's Thesis, Division of Curriculum and Instruction

Advisor: Prof. Dr. İbrahim Yiğitoğlu

Second Advisor: Assit. Prof. Dr. Melek Gökbulut

December 2022, x + 46 pages

Whether we are aware or not, radiation is a phenomenon we come across in every moment of life. The reason of this is the exposure to slight natural radiation resulted from the cosmic rays and the Earth's crust. As technology develops, in addition to the benefits, there are some harms of the technological devices offered to the usage of humanity. The nuclear technology used in the field of health and used to get electrical energy today, are the sources of the artificial radiation.

In this thesis study, it is aimed to measure the radiation holding features of the construction materials used commonly. The values of the absorption coefficient (μ) are calculated for the structure materials such as concrete, normal concrete, plaster-of-paris, marble, tile, brick, plywood, polystyrene, poplar, beech, oak and pine that are used as structure metarials.

The measurements are made by using ^{137}Cs and ^{60}Co radiation sources and NaI(Tl) gamma spectrometer. The absorption coefficients are calculated using the Beer- Lambert equation. According to the results that obtained, the methods of constructing safer buildings with the existing structure materials and how ready are the buildings we live in to the probable radiation leak, is investigated and discussed.

Keywords: Radiation shielding, Structure materials, Radiation exposure

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında her türlü desteği veren ve bana yol gösteren danışmanım Prof. Dr. İbrahim YİĞİTOĞLU'na, ikinci danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Melek GÖKBULUT'a ve Amasya Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünden Prof. Dr. Betül ÇETİN'e çok teşekkür ederim.

Ayrıca bana her türlü desteği veren ve sabır gösteren aileme teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLERİ

	Sayfa
ETİK SÖZLEŞME.....	i
JURİ KABUL VE ONAY	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLERİ.....	vi
SİMGE VE KISALTMALAR	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE VE TABLOLAR LİSTESİ.....	x
1. GİRİŞ	1
2. TEMEL BİLGİLER	3
2.1. Radyoaktivite	3
2.1.1. Doğal radyoaktivite kaynakları	5
2.1.2. Yapay radyoaktivite	6
2.2. Radyoaktif Bozunma Türleri	7
2.2.1. Alfa bozunması	7
2.2.2. Beta bozunması	8
2.2.3. Gamma bozunması.....	8
2.3. Radyoaktif Bozunma Kanunu	9
2.4. Radyasyon Madde İle Etkileşimi	10
2.4.1. Fotoelektrik olay	12
2.4.2. Compton olayı.....	13
2.4.3. Çift oluşum.....	14
2.5. Radyasyon Doz Birimleri.....	14
2.5.1. Aktivite birimi.....	15
2.5.2. Işınlama birimi	15
2.5.3. Soğurulma doz birimi	16

2.5.4. Eşdeğer doz birimi	16
2.6. Radyasyon Ölçümü	17
2.6.1. Radyasyon ölçüm cihazlarının ortak özellikleri.....	18
2.6.3. Enerji kalibrasyonu	22
2.7. Radyasyonun Zararlı Etkilerinden Korunma	23
2.7.1. Zaman faktörü	24
2.7.2. Mesafe faktörü	24
2.7.3. Zırhlama (Engel) faktörü	24
2.7.4. Soğurma katsayısı	24
3. METARYEL ve YÖNTEM	27
3.1. Materyal	27
3.2. Yöntem.....	28
3.2.1. NaI(Tl) dedektörü	28
3.2.2. Ölçümlerin analizi.....	30
4. DENEYSEL BULGULAR	33
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	41
KAYNAKLAR	44
ÖZGEÇMİŞ	46

SİMGE VE KISALTMALAR

Bq: Becquerel, radyoaktivite birimi

C: Coulomb

Ci: Curie, radyoaktivite birimi

e: Elektron

E: Enerji (KeV, MeV)

Gy: Gray, absorblanmış doz birimi

HpGe: Yüksek saflıkta germanyum

IAEA: Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (International Atomic Energy Agency)

ICRP: Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu (International Commission On Radiological Protection)

Na(Tl): Talyum ihtiva eden sodyum iyodür

NCRP: Radyasyondan Korunma Ulusal Konseyi (National Council On Radiation Protection)

R: Röntgen, radyasyon şiddet birimi

Sv: Sievert, eşdeğer doz birimi

TAEK: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu

UNSCEAR: Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi (United Nations Scientific Committee On The Effects Of Atomic Radiation)

WHO: Dünya Sağlık Teşkilatı (World Health Organisation)

α : Alfa parçacığı

β : Beta parçacığı

γ : Gama ışını

μ : cm^{-1}

$\bar{\nu}$: Anti-nötrino

ν : Nötrino

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No	Sayfa
Şekil 2.1. Radyasyonun meydana gelişi	3
Şekil 2.2. Radyasyon çeşitleri.....	5
Şekil 2.3. Radyasyon Kaynakları.....	7
Şekil 2.4. Gamma Bozunumu	9
Şekil 2.5. α , β , γ ' ların maddeye nüfuzlarının temsili gösterimi.....	10
Şekil 2.6. Fotoelektrik, compton ve çift oluşumun baskın olduğu bölgeler	12
Şekil 2.7. Farklı frekanslı ışınların potasyum plakadan fotoelektron koparması	13
Şekil 2.8. Comton olayı	13
Şekil 2.9. Çift oluşum olayı	14
Şekil 2.10. Radyasyon ölçüm cihazları çalışma prensibi	18
Şekil 2.11. Gaz dolu dedektörlerin çalışma bölgeleri (Canberra, 1997).....	20
Şekil 2.12. Sintilasyon dedektörü	22
Şekil 2.13. Enerji kalibrasyonu.....	23
Şekil 2.14. X ve gama ışınlarının soğurulmaları	25
Şekil 3.1. Yapı malzemesi örnekleri	28
Şekil 3.2. NAI(TI) Dedektör çalışma şeması.....	28
Şekil 3.3. ^{137}Cs ve ^{60}Co bozunma şemaları.....	30
Şekil 3.4. Kaynak, engel ve dedektörün şematik gösterimi.....	30
Şekil 3.5. Kaynak engel ve dedektör	31
Şekil 3.6. MAESTRO Software Version 7.01 programı ekran görüntüsü	32
Şekil 4.1. Yapı malzemelerinin gama fotonu enerjilerine bağlı soğurma katsayısı	33
Şekil 4.2. Beton ve harç betonunun gama fotonu enerjilerine bağlı Soğurma katsayısı .	34
Şekil 4.3. Harç betonu ve alçının gama fotonu enerjilerine bağlı soğurma katsayısı.....	35
Şekil 4.4. Fayans ve mermerin gama fotonu enerjilerine bağlı soğurma katsayısı	36
Şekil 4.5. Beton ve tuğlanın gama fotonu enerjilerine bağlı soğurma katsayısı.....	37
Şekil 4.6. Kavak, çam, meşe, kayın ahşaplarının gama fotonu enerjilerine bağlı soğurma katsayıları.....	38
Şekil 4.7. Kontrplak ile ahşap malzemelerin enerjiye göre soğurma katsayıları.....	39

Şekil 4.8. Strafor köpüğün gama fotonu enerjilerine bağlı soğurma katsayısı 40

ÇİZELGE VE TABLolar LİSTESİ

Tablo No	Sayfa
Tablo 2.1. Ortalama yıllık doz	6
Tablo 2.2. Radyasyon birimleri ve bu birimlerin sı ve klasik birim setleri için dönüşümleri tablosu	15
Tablo 2.3. Farklı radyasyon türleri için kalite faktörleri.....	17
Tablo 2.4. ⁶⁰ Co Radyoaktif elementi için bazı yapı malzemelerinin kütleli ve soğurma katsayısı.....	26
Tablo 3.1. Radyoaktivitesi bilinen bazı kaynaklar.....	29
Tablo 4.1. Yapı malzemelerinin Soğurma katsayısı μ (cm ⁻¹).....	40

1. GİRİŞ

Binalar; barınmak, çalışmak, eğitim, sağlık ya da eğlenmek gibi aktiviteleri gerçekleştirirken oldukça fazla zaman harcanan mekânlardır. İnşa edilen bu yapılar insanları çevresel faktörlerin etkisinden korurken yapıldıkları malzemelerden kaynaklanan tehlikeleri de barındırmaktadır. Doğal kaynaklardan elde edilen yapı malzemelerinin bir kısmında var olan doğal radyoaktif maddeler canlıların radyasyona maruz kalmalarına sebep olurlar (Günoğlu ve ark., 2011). Bunun yanında kullandığımız yapılar bizleri doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından yayılan zararlı ışınların etkilerinden koruyabilmektedirler.

Canlılar için oldukça zararlı olan radyasyonun etkilerinden korunabilmek için mesafe, zaman ve soğurulma olmak üzere üç ana unsuru göz önünde bulundurmamız gerekir. Radyoaktif kaynaktan yayılan ışınmadan etkilenme süresi ne kadar uzunsa ya da ışıma yapan kaynağa yakın mesafede bulunuyorsak maruz kalınacak radyasyon dozu da o oranda artacaktır. Bazı radyasyon kaynaklarının yaydığı ışınm o kadar kuvvetlidir ki bizi kilometrelerce uzaktan bile etkileyebilir. Böyle kuvvetli radyoaktif maddelerin zararlı etkilerinden yalnızca soğurulma yaparak korunma sağlanır. Tasarımın bünyesine giren ve tümde o tasarımın oluşum ve kullanma süreci içerisindeki biçimlenişini sağlayan ve tasarımı kullanan insanın sağlık ve konforunu düzenleyen parçalara yapı malzemesi denir. 19. Yüzyıldan sonra ekonomik ve sosyal değişimlerin sonucu malzeme teknolojisi oldukça önem kazanmış ve tasarımların neredeyse tamamında, bir tek malzeme yerine malzeme bileşimlerinden oluşan yeni çözümler kendini ortaya çıkarmıştır (Erinç, 1994).

Malzeme içinde gama ışınlarının girişim ve difüzyonunu karakterize eden en önemli büyüklük kütle soğurma katsayısı olmaktadır (İçelli ve ark., 2005). Kütle Soğurma katsayısının, çeşitli malzemeler için doğru saptanmış değerleri, endüstri, biyoloji, tarım ve tıp çalışmaları için büyük önem taşımaktadır (Abdel-Rahman ve ark., 2000; Cihitral ve ark., 2005). Günümüzde yapı malzemesi olarak çoğunlukla beton, çelik, tuğla, alçı, cam, harç betonu, dış kaplama malzemeleri ile plastik ve ahşap gibi malzemeler kullanılmaktadır. Yapı malzemelerinin radyasyon tutuculuğu ile ilgili çalışmalar yapılmış ve beton ile ilgili; radyoaktif ışının soğurulması ile beton sıcaklığı güçlü bir şekilde

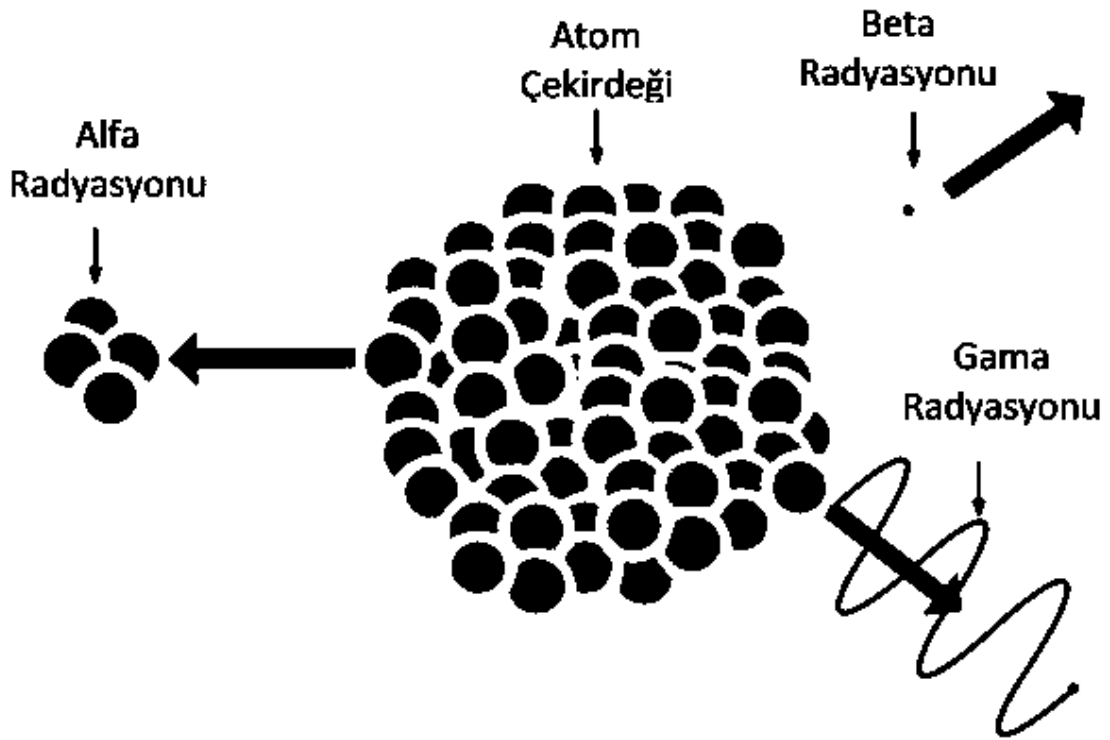
artabilir; Betonun 100°C ile 250°C arasındaki sıcaklıklardan ısınmadan dolayı kurumasına (su kaybı) ek olarak, beton %20 ila %25 oranında mukavemet kaybına neden olur. Mevcut bilgilere göre 1019 nötron/ cm^2 den fazla akıcılık derecesine sahip nötron radyasyonu veya $2,1014$ j/g ' ın bir dozda gama radyasyonu, betonun mekanik özelliklerinde (mukavemet, elastikiyet modülü, termal genişleme katsayısı) bozulmaya neden olabilir (Wandschneider ve ark., 1982). İnşaat malzemesi olarak kullanılan ve inorganik yapı malzemesi sınıfa giren, doğal taş, beton, tuğla, seramik ve cam radyasyon geçirgenlik değerleri bakımından birbirine çok yakındır. Radyasyon geçirgenliği değerlerinin ahşap ve asfalt gibi malzemelerde düşük olduğu buna karşın kurşun ile plastiğin radyasyon geçirgenlik değerlerinin birbirine yakın ve yüksek olduğu, bunlara en yakın yumuşak inşaat demiri olduğu görülmektedir. Yapılan ölçümler sonucunda zırh malzemesi olarak kurşun ve plastikten en iyi verim elde edilirken, yoğunluk temel alındığında yapılan ölçüm ve hesaplamalarda kurşun, doğal kalker kökenli taşın, betonda iyi bir zırh malzemesi olduğu söylenebilir (Başyigit ve Kaçar, 2012).

Bu tez çalışmada günümüzde yaygın olarak kullanılan inşaat malzemelerinin radyasyon tutuculuk özelliklerinin ölçülmesi hedeflenmiştir. Soğurma katsayısı (μ) değerleri yaygın olarak kullanılan beton, normal beton, alçı, mermer, fayans, tuğla, kontrplak, strafor, kavak, kayın, meşe, çam gibi yapı malzemeleri için hesaplanmıştır ve yaşadığımız binaların olası bir radyasyon sızıntısına ne kadar hazır olduğu araştırılıp tartışılmıştır.

2. TEMEL BİLGİLER

2.1. Radyoaktivite

Atom yapısında proton ve nötronlardan oluşan bir çekirdek ile çekirdeğin etrafında dolanan elektronlardan oluşmaktadır. Bir elementin atomunun çekirdeğinde bulunan proton sayısı nötron sayısından fazlaysa ya da proton sayısı nötronların sayısından az ise, çekirdekte kararsızlık oluşur fazla nötronlar parçalanır ve parçalanma sonucunda alfa, beta ile gama ışınları meydana gelir. Oluşan bu ışınlar radyasyon olarak adlandırılır (Brenner ve ark., 2003).



Şekil 2.1. Radyasyonun meydana gelişi

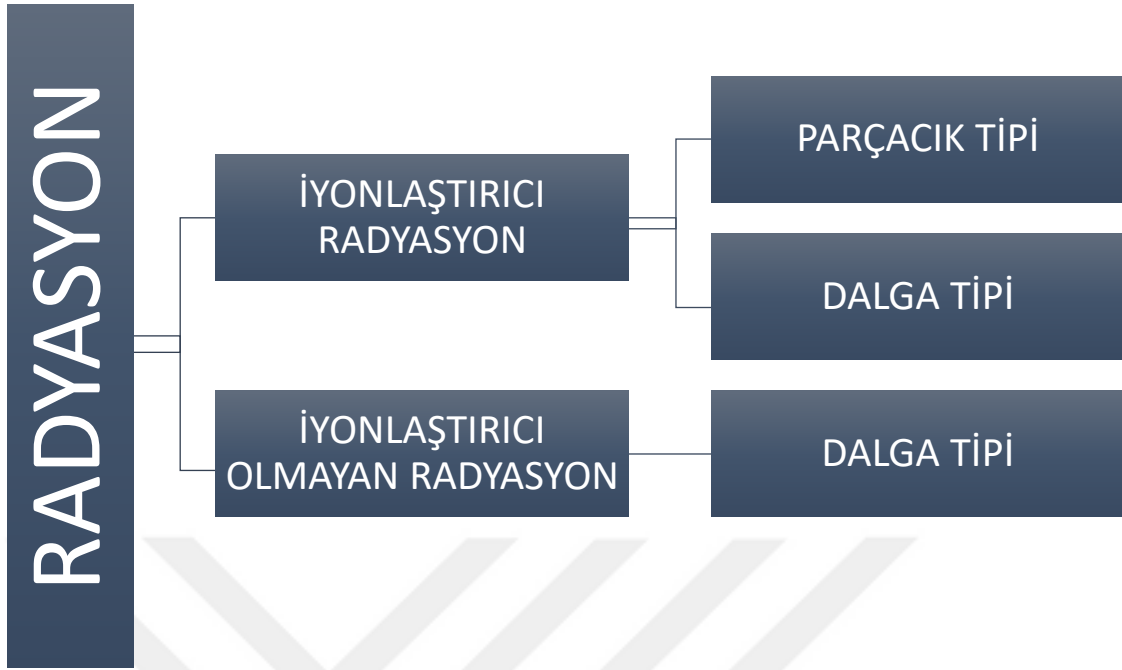
Wilhelm Conrad Röntgen tarafından 1895 yılında *X*-ışınları keşfedildi. Bu keşif olayından yaklaşık bir yıl sonra 1 Mart 1896 yılında Fransız fizikçi Henri Becquerel ilk kez uranyum elementini kullanarak radyoaktiviteyi ortaya çıkarmıştır. Becquerel,

buluşunu 1898 yılına kadar Becquerel ışınları olarak adlandırmış, sonraları ise bu buluşuna, radyoaktivite ismini vermiştir.

Etrafımızda her zaman için bir miktar radyasyon bulunur, ancak radyasyonun fazlası insan sağlığını tehdit ettiği gibi, yüksek miktarda radyasyon ölüme yol açabilir. Çevremizde bulunan radyasyon doğal ve yapay yollardan üretilebilir.

Yapılan çalışmalar ile doğal radyasyon kaynağı olarak yerkabuğunda bulunan uranyum gibi elementler ile uzay boşluğun gelen yıldızlar ve bazı gök cisimleri tarafından üretilen ışınlar doğal radyasyon olarak adlandırılır. Bunlardan bazıları çok kısa bir süre radyoaktif kalabilirler, bazıları da yüzlerce hatta binlerce yıl radyoaktif kalabilirler. Canlıların maruz kaldığı doğal radyasyon miktarını etkileyen etkenlerden biride yaşanılan çevre ve yaşantının çoğunu geçirdiğimiz yapılarda kullanılan malzemelerdir (Değerliler, 2012). Yapay yollar ile elde edilen radyasyon ise doğadaki kararlı izotopların radyasyona maruz bırakılarak yapay yolla aktif hale getirilip çekirdeğin parçalanmaya uğraması olayıdır (TAEK). Yapay radyasyon insanlar tarafından geliştirilen özel yapım makineler sayesinde üretilebilir, bu makinelerden ilki X ışınları üretebilen röntgen cihazlarıdır, daha sonra zaman içerisinde bu makinelere yenileri eklendi. Bunlardan bazıları tıp bazıları da bilimsel araştırmalarda kullanılan siklotron (ivme makinesi), doğrusal hızlandırıcı veya parçacık hızlandırıcılardır ve günümüzde yaygın olarak bilime hizmet etmektedirler.

Radyasyon foton, parçacık ya da dalga şeklinde yayılır ve radyasyon boşlukta veya madde içerisinde yayılabilir. Yayılan bu enerji kaynağına göre değişiklik gösterir ve parçacık ya da elektromanyetik dalga şeklinde olabilir. Radyasyonu benzer özelliklerine göre sınıflandırır isek kaynağına göre (doğal ve yapay), enerjisine göre (düşük ve yüksek), türüne göre (parçacık ve elektromanyetik) olacak şekilde sınıflandırma yapılabilir.



Şekil 2.2. Radyasyon çeşitleri

2.1.1. Doğal radyoaktivite kaynakları

Doğal yollar ile oluşan radyasyon her yerde olabilir. Radyasyon üzerinde bulunduğumuz toprakta, soluduğumuz havada, içtiğimiz suda ve vücudumuzda bulunabilir. Doğal ortamımızda oluştuğu için her gün yediğimiz yiyecekler, içtiğimiz su ve soluduğumuz hava ile radyasyonla karşılaşırız. Aynı zamanda yaygın olarak kullandığımız yapı malzemeleri ve bileşenlerinde de radyasyon bulunabilir.

Radyasyonun nereden geldiğine bağlı olarak, doğal yollar ile oluşan iki radyasyon grubu vardır. İlk önce toprakta ve kayalarda, karasal denilen radyasyon, ikincisi uzaydan gelen kozmik veya kozmojenik adı verilen radyasyon vardır.

Etrafımızda farklı türden uzun ömre sahip doğal radyoaktif elementler bulunsan bile günümüzde radyoaktif elementlerin çoğu, kararlı izotopları olmayan çok ağır elementlerden oluşmaktadır. Kararsız çekirdekler, kararlı çekirdeğe dönüşüncüye kadar A ve Z'yi azaltan α ve β yoluyla bozunmaya uğrarlar (Chitrlekha ve ark., 2005).

Tablo 2.1. Ortalama yıllık doz

Kaynak	Doz (mrem/y)	Toplamdaki oranı
Radon ve yediğimiz içtiğimiz ve ya soluduğumuz diğer radyo nükleotitler	257	%77
Kozmik/Kozmolojik	27	%11
Topraktan, kayalardan, yapı malzemelerinden radyasyon	28	%12
Toplam	312	%100

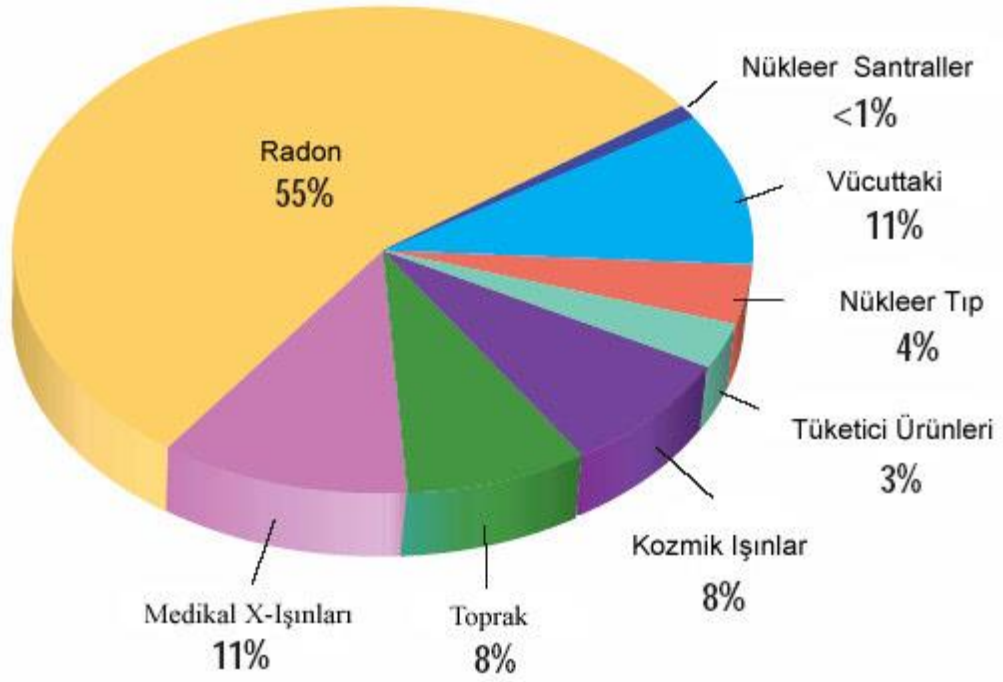
Kaynak: NCRP 160, 2009

2.1.2. Yapay radyoaktivite

Uygun parçacık bombardımanı ile kararlı bir çekirdekten kararsız bir çekirdeğin elde edilmesi ile yapay radyoaktivite elde edilir. Yapay radyonüklitler α parçacıkları, proton, döteron, gama ışınları ve nötronlarla elde edilir. Günümüzde radyoizotoplar reaktörlerde nötron bombardımanı ile elde edilir (Keskin, 2008).

Yapay radyasyon kaynaklarından belli miktarda ve kontrollü şekilde radyasyon üretilir ve çevredeki varlıklar bu radyasyona maruz kalırlar, bu miktara doğal yollar ile elde edilen radyasyona kıyasla oldukça sınırlı bir alanı kapsamaktadır.

Tıbbi, zirai ve endüstriyel amaçla kullanılan X ışınları ve yapay radyoaktif maddeler, nükleer bomba denemeleri sonucu meydana gelen nükleer serpintiler, çok az da olsa nükleer güç üretiminden salınan radyoaktif maddeler ile bazı tüketici ürünlerinde kullanılan radyoaktif maddeler bilinen başlıca yapay radyasyon kaynaklarıdır (Göksel, 1973; Keskin, 2004).



Şekil 2.3. Radyasyon Kaynakları (TAEK)

2.2. Radyoaktif Bozunma Türleri

Kararsız çekirdekler üç farklı şekilde bozunmaya uğrayabilir.

1. Alfa Bozunması
2. Beta Bozunması
3. Gama Bozunması

2.2.1. Alfa bozunması

Uranyum, Radyum, Toryum gibi atom numaraları büyük elementlerin çekirdek reaksiyonları sonucu meydana gelirler ve 2 proton ile 2 nötronu bulunan helyum (He) parçacığdır. Atom numarası 83 ten büyük çekirdeklerde kendiliğinden meydana gelir. Aşağıdaki gibi gösterilir.



2.2.2. Beta bozunması

Çekirdekte bulunan fazla nötron ya da protonun, bir nötronu protona ya da bir protonu nötrona dönüştürerek kararlı yapıya geçebilir. Gerçekleşen bozunum reaksiyonlarını (2.2), (2.3) ve (2.4) ' te formülle gösterildiği şekliyle $-\beta$, $+\beta$ ve elektron yakalama olmak üzere üç farklı yolla gerçekleşir.

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e \quad \beta^- \text{ bozunumu} \quad (2.2)$$

$$p \rightarrow n + e^+ + \nu_e \quad \beta^+ \text{ bozunumu} \quad (2.3)$$

$$p + e^- \rightarrow n + \nu_e \quad \text{elektron yakalanması } (\epsilon) \quad (2.4)$$

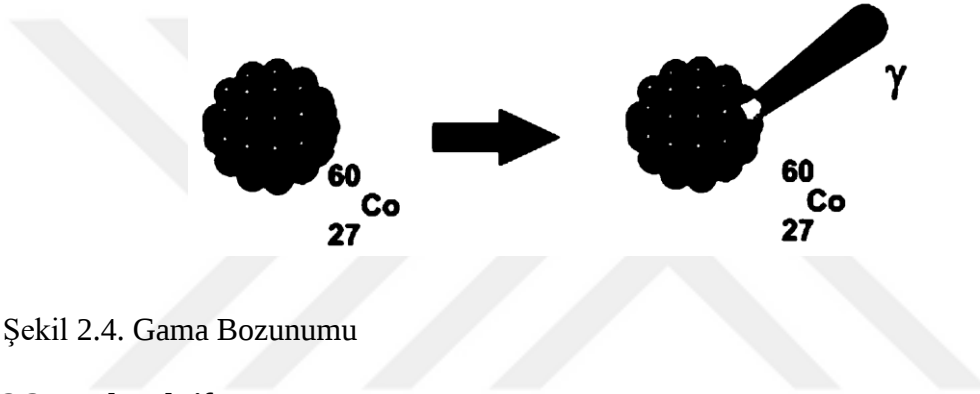
Burada gerçekleşen üç olayın tamamında nötrino adı verilen bir parçacık yayınlanır. Nötrino her hangi bir yük ile yüklü olmadığı için, başka son parçacıkları etkilemez. Beta parçacıklarının enerjisi $0.01 \text{ MeV}' ile 5 \text{ MeV}' e$ arasındadır. En yüksek enerjili beta parçacıkları havada 70-80 cm uzunluğunda yol alabilir. Böylece bu parçacıkların yüksek enerjiye sahip olanları insan derisinde bir kaç cm yol alabilirler. Bunun için göz ve deri gibi hassas cilt dokusunda tehlikeli olabilirler. Oldukça düşük enerjiye sahip beta parçacıklarının ise insan derisini geçebilme şansları yoktur. Beta parçacıklarını durdurmak için plastik veya alüminyum gibi düşük atom numarasına sahip metaller kullanılabilir. Bundan dolayı kendisinden daha yüksek riske sahip X ışını üreteceğinden beta parçacıklarını da engellemek için kurşuna benzer ağır metaller kullanılması sakıncalıdır (Krane, 2001).

2.2.3. Gama bozunması

Radyoaktif bir çekirdeğin enerjisini kaybederek kararlı hale geçtiği bozunmadır. Çekirdeğin atom ve kütle numarası değişmez. Gama ışınları yüksek enerjili elektromanyetik dalgalardır ve manyetik alan ile elektrik alandan etkilenmezler. Ayrıca giricilik özelliği yüksektir bu yüzden durdurulması çok zordur. Fotonlar etkin bir kütleye sahiptirler ve bu kütle sayesinde kütle çekimine maruz kalırlar.

$${}^A_ZX^* \rightarrow {}^A_ZX + \gamma \quad (2.5)$$

Yarı-ömrü, gama yayınlanmasında çok kısadır, çoğunlukla 10^{-9} saniyeden daha azdır fakat saat, hatta gün süresince yarı-ömürlü gama yayınlanması da görülebilir. Böylece, izomerik geçişler şeklinde adlandırılır ve uzun-ömürlü uyarılmış durumlara izomerik durumlar veya izomerler denir. Gama ışınlarının enerjileri $0,1 - 10 \text{ MeV}$ arasında olup giriciliği çok yüksektir, açık havada kilometrelerce yol alabilirler. Ancak kurşun gibi ağır metaller veya yoğun beton kullanılarak şiddetleri zayıflatılabilir. Bir çekirdek gama yayınladığında atom numarası ve kütle numarası değişmez ve bu elektromanyetik ışının fotonları ışık hızıyla yayılırlar (Krane, 2001).



Şekil 2.4. Gama Bozunumu

2.3. Radyoaktif Bozunma Kanunu

Bir radyoaktif maddenin bozunma hızı, içerdiği radyoaktif çekirdek sayısı (henüz parçalanmamış çekirdek sayısı) ile orantılıdır. Herhangi bir andaki çekirdek sayısı N ise, N 'nin değişme hızı;

$$dN = -\lambda N dt \quad (2.5)$$

dir.

Denklem 2.5'de görüldüğü gibi kısa bir dt zamanındaki bozunma miktarı bozunmamış atomların miktarı (N) ve dt zaman aralığıyla doğru orantılıdır. Negatif işaret N 'nin zamanla azalacağını gösterir. (2.5) bağıntısı

$$\lambda = - (dN/dt)/N \quad (2.6)$$

biçiminde yazılıp $t = 0$ iken radyoaktif atomların sayısının N_0 olduğu düşünülüp integral alınırsa

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.7)$$

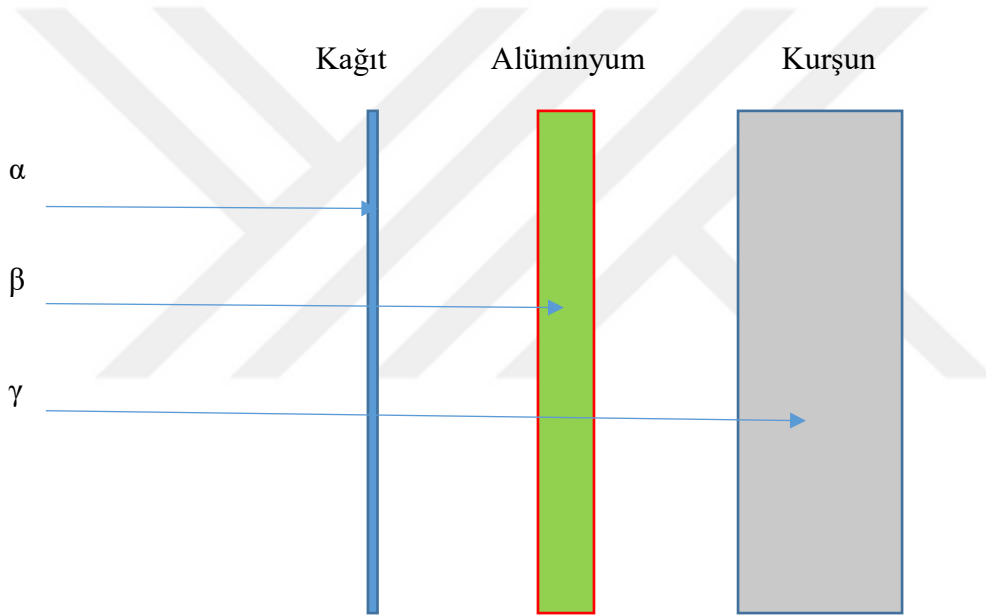
elde edilir. Burada $N(t)$, t anında bulunan radyoaktif atomların sayısını göstermektedir.

Aktiflik, verilen bir numunede saniyedeki parçalanma sayısı olarak tanımlanır ve çoğu kez, verilen bir radyoaktif numunedeki var olan radyoaktif atomların sayısını bilmekten ziyade, birim zamanda bozunmaya uğrayan atomların sayısını bilmek daha önemlidir. (2.7) denkleminde N_0 , $t = 0$ anında henüz bozunmamış çekirdek sayısını ifade eder. Yarı ömür $t_{1/2}$ ile ifade edilir ve $N = N_0/2$ yerine konulursa

$$t_{1/2} = 0,693/\lambda \quad (2.8)$$

şeklinde olur (Krane, 2001).

2.4. Radyasyonun Madde İle Etkileşimi



Şekil 2.5. α, β, γ Radyasyonlarının maddeye nüfuzlarının temsili gösterimi

Fotonlar, hedefin türüne ve etkileşimin foton üzerindeki etkisine (Zırlama veya saçılma) göre sınıflandırılan bir dizi mekanizma aracılığıyla maddeyle etkileşime girer (Evans, 1955). Etkileşim maddeyi oluşturan elementin kütle numarası ve gelen fotonun enerjisiyle ilişkilidir ve radyasyonun madde ile etkileşmesinde bazı kurallar şöyle sıralanabilir:

- Enerjili atomlar açığa çıkar (iyonlaşma).
- Elektronlar yüklü ve hareketli parçacıkları oluşturur.
- Geri tepen çekirdekler nötronlardan oluşmuştur.
- Fotonlar hareketli elektronları oluşturur.

- Elektronları saçan ve geri iten ise ağır yüklü atomlardır.

Radyasyonun madde ile etkileşimini sınıflandırarak inceler isek;

1. Doğrudan iyonlayıcı radyasyonların madde ile etkileşimi

a- Alfa, proton, muon, pion, döteron gibi ağır parçacıkların madde ile etkileşimi

b- Beta, pozitron gibi hafif parçacıkların madde ile etkileşimi

2. Dolaylı iyonlaştırıcı parçacıkların madde ile etkileşimi

a- Elektromanyetik radyasyonların yani x ve gama ışınlarının madde ile etkileşimi

b- Elektrik yüklü olmayan parçacıkların yani nötrinoların madde ile etkileşimi

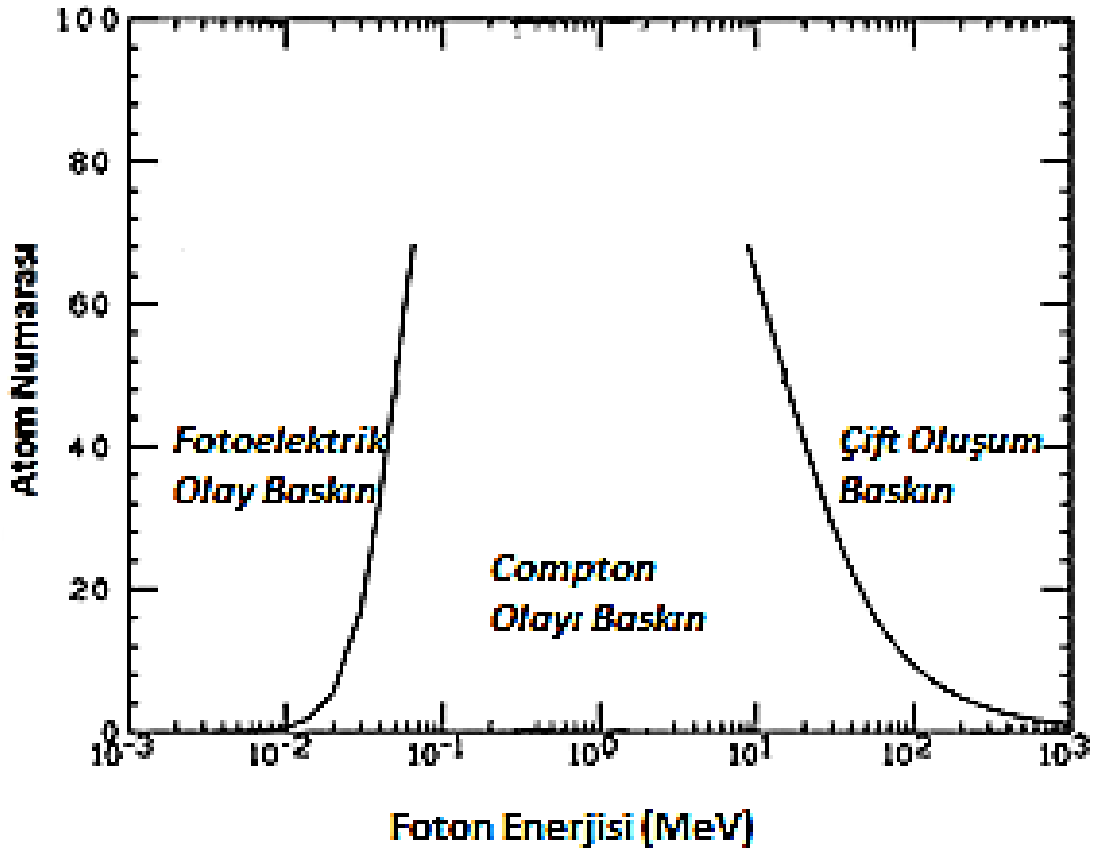
Fotonlar (gama ve X ışınları) madde ile etkileştiklerinde;

1- Fotoelektrik olay

2- Compton saçılması

3- Çift oluşum

durumlarından herhangi birini gerçekleştirerek enerji kaybederler.

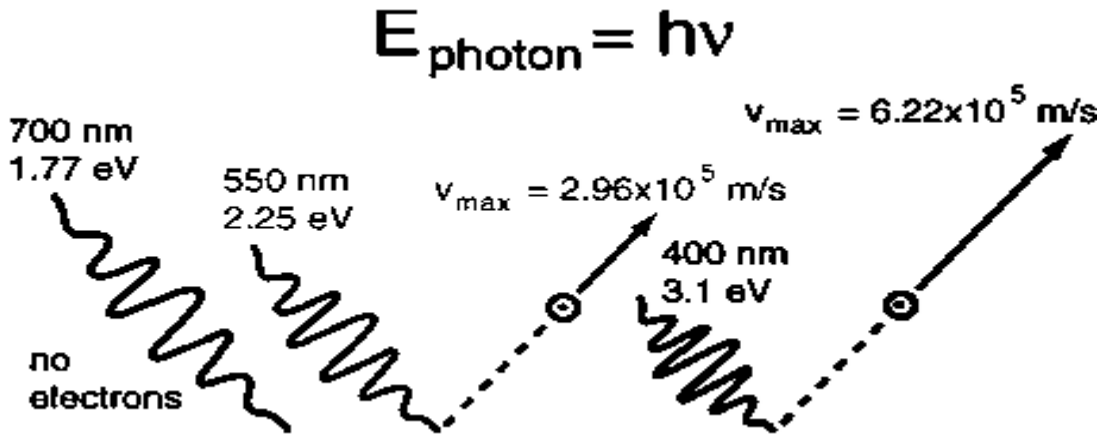


Şekil 2.6. Fotoelektrik, compton ve çift oluşumunun baskın olduğu bölgeler

Alt eğri, hedef malzemenin Z atom numarasının bir fonksiyonu olarak, altında fotoelektrik soğurulmasının en olası etkileşim mekanizması olduğu foton enerjisi E 'yi gösterirken, üstteki eğri, hangi çift üretiminin en önemli süreç olduğu enerjiyi gösterir. İki eğri arasındaki gölge, Compton saçılmasının baskın olduğu alana karşılık gelir. Kesitler NIST XCOM veri tabanından (Berger ve ark., 1987) alınmıştır.

2.4.1. Fotoelektrik olay

Fotoelektrik olayı kısaca açıklayacak olursak; metal bir yüzeye ışık düşürüldüğü zaman metal yüzeyden elektron koparılması olarak açıklayabiliriz. Koparılan elektronlara fotoelektronlar denir. Bir fotoelektrik olayda madde ile etkileşen fotonun enerjisi metal atomları tarafından soğurulur ve fotonların enerjisi hedef atoma (veya atom grubuna) aktarılır. Bir fotonun enerji yoğunluğu madde içerisindeki aldığı yola bağlı olarak azalır (Berkowitz, 2002).

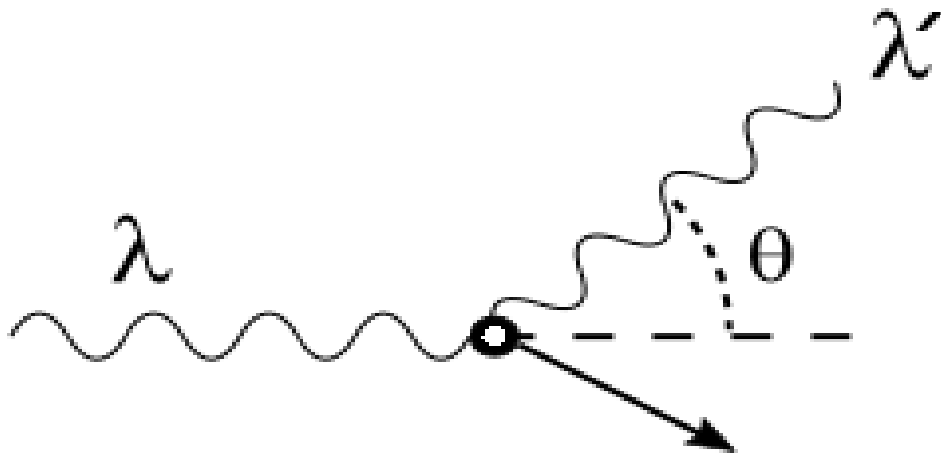


Şekil 2.7. Farklı frekanslı ışınların potasyum plakadan fotoelektron koparması

Bu olayda fotoelektronun enerjisini gelen foton enerjisi ile atomda bağlı bulunan elektronun bağlanma enerjisi arasındaki fark olarak açıklarız (Yener, 2006).

2.4.2. Compton olayı

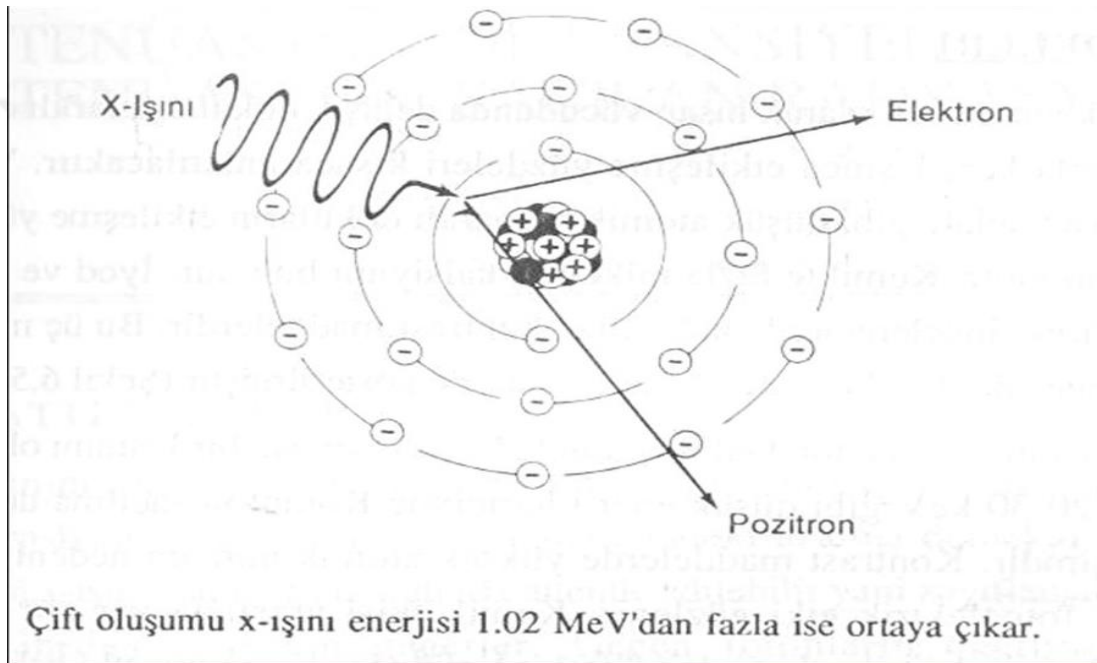
Compton saçılması, bir fotonun zayıf bir şekilde bağlanmış bir elektronla çarpışmasını açıklar; burada foton, enerjisinin bir kısmını elektrona aktarır ve orijinal yayılma yönüne göre sapar. Hedef elektronun serbest ve başlangıçta hareketsiz olduğunu varsayıyoruz; bu olayda foton enerjisi elektronun bağlanma enerjisine kıyasla daha büyük olmalı. Kopan elektrona compton elektronu denir (Rösch ve ark., 1968).



Şekil 2.8. Comton olayı

2.4.3. Çift oluşumu

Fotonlar içerisine girdikleri atomun çekirdeğine çok yaklaştıklarında ve aynı zamanda 1.022 MeV gibi büyük bir enerjiye sahip iseler o zaman bu enerjilerini bir negatif ve bir pozitif iyonla dönüştürerek kaybolurlar. Çift oluşumu sonunda oluşan iki zıt yüklü parçacık birleşerek çift yok olma olayını gerçekleştirir. Bu olay nihayetinde 0.511 MeV 'lik iki foton meydana gelir (Delbeke,1999).



Şekil 2.9. Çift oluşumu olayı

2.5. Radyasyon Doz Birimleri

Radyoaktif bir atomun birim zaman başına bozulan atom sayısı o maddenin aktivitesini gösterir ve atomun birim zamandaki mutlak parçalanma hızını gösterir. Radyasyon birimleri aktivite, ışınlanma, soğrulan doz ve eşdeğer doz olmak üzere sınıflandırılabilir. Burada MKS sistemini esas alan Uluslararası Birimler Sistemi (SI)'nın kabul edilmesiyle ICRU 1971 yılında SI birimlerini tanımlamış ve tabloda gösterilmiştir.

Tablo 2.2. Radyasyon birimleri ve bu birimlerin SI ve klasik birim setleri için dönüşümleri tablosu

Terim	Birim		Dönüşüm
	Klasik Sistem	SI Birim	
Aktivite	Curie, Ci	Becquerel, Bq	$1 Ci = 3,7 \times 10^{10} Bq$ $1 Ci = 37 GBq$
Işınlanma düzeyi	Röntgen, R	Coulomb/kilogram C/kg	$1 C/kg = 3876 R$ $1 R = 2,58 \times 10^{-4}$
Soğrulan Doz	Radiation Absorbed Dose, rad	Gray, Gy	$1 Gy = 100 Rad$ $1 rad = 0,01 Gy$
Doz eşdeğeri	Röntgen equivalent man, rem	Sievert, Sv	$1 Sv = 100rem$

2.5.1. Aktivite birimi

1gram Radiumun saniyedeki bozunma miktarı Curie şeklinde tanımlanmıştır. Yapay radyoizotopların üretilmediği ilk dönemlerde, yarı ömrü çok uzun radyoaktif bir madde olan Radium elementi referans alınıp radyoaktif bozunma birimi olarak kullanılmıştır.

$$\text{Klasik Birim: Curie (Ci)} \quad (2.9)$$

$$\text{SI Birim: Becquerel (Bq)} \quad (2.10)$$

$$1 Ci = 3,7 \times 10^{10} Bq \quad (2.11)$$

$$1 Bq = 2,7 \times 10^{-11} Ci \quad (2.12)$$

$$1 Bq = 1 \text{ bozunma / saniye} \quad (2.13)$$

2.5.2. Işınlama birimi

X Işını ile γ ışınlarını serbest havayı iyonlaştırma yeteneğinin bir ölçüsü olarak tanımlanır ve $0^\circ C$ de 1 atm basınç altında havanın 1 kg'ında $2,58 \times 10^{-4}$ Coulomb'luk elektrik yüküne eşit miktarda pozitif ve negatif iyonlar meydana getiren X ve gama ışın miktarına Röntgen denir.

Klasik Birim: Röntgen (R) (2.14)

SI Birim: Coulomb/kg (C/kg) (2.15)

$$1 C/kg = 3876 R \quad (2.16)$$

$$1 R = 2,58 \times 10^{-4} C/kg \quad (2.17)$$

2.5.3. Soğurulma doz birimi

X ve γ ışınları için kullanılan Röntgen diğer radyasyon türleri için birim olarak kullanılamaz. Bu yüzden soğurucu ortamın özelliğinden, radyasyonun enerjisinden ve cinsinden yeni bir birime gereksinim duyulmuştur.

Soğrulan doz birimi olarak tanımlanan Rad ise ışınlanan maddenin $1kg$ 'ında 10^{-2} joule'lük enerji açığa çıkaran radyasyon miktarı olarak adlandırılır.

İyonlaştırıcı radyasyonun madde tarafından soğrulan miktarı birim kütlede maddeye verilen enerji miktarıdır.

SI birim sisteminde soğrulan doz birimi olarak $Gray$ (Gy) belirlenmiştir.

$1 Gy =$ Işınlanan maddenin $1 kg$ 'ına 1 jullük enerji aktaran radyasyon miktarı.

$$1 Gy = 100 rad \quad (2.18)$$

$$1 Rad = 10^{-2} Gy \quad (2.19)$$

$$1 Rad = 1R \quad (2.20)$$

2.5.4. Eşdeğer doz birimi

Biyolojik doz olarak adlandırılır. Değişik iyonlayıcı radyasyon türlerinin oluşturduğu biyolojik etkiler farklıdır. Eşdeğer doz birimi soğrulan doz ile kalite faktörünün çarpımına eşittir. Kalite faktörü Q , farklı radyasyonların biyolojik etkilerini ve radyasyondan korunma hesaplamaları için kullanılan birimdir (Yaren ve ark., 2005).

$$\text{SI Birim: Sievert (Sv)} \quad (2.21)$$

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem} \quad (2.22)$$

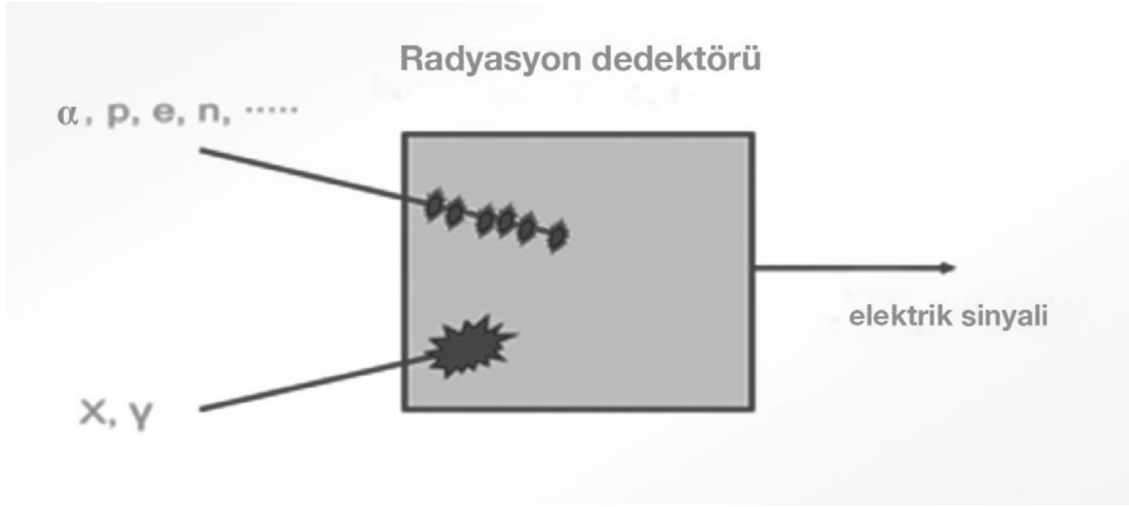
$$1 \text{ rem} = 0,01 \text{ Sv} \quad (2.23)$$

Tablo 2.3. Farklı radyasyon türleri için kalite faktörleri

Radyasyon Türü	Kalite Faktörü
X ve Gama Işınları	1
Elektronlar ve Beta Parçacıkları	1
Nötronlar (enerjileri $\leq 10 \text{ keV}$)	3
Nötronlar (enerjileri $\geq 10 \text{ keV}$)	10
Alfa Parçacıkları	20

2.6. Radyasyon Ölçümü

Canlı varlıklar radyasyonu sahip oldukları duyu organları ile algılayamazlar. Bu nedenden dolayı radyasyon dolaylı yollardan ölçülebilir, radyasyona duyarlı özel tasarlanmış ölçüm cihazları kullanılır. Radyasyon ölçümünde temel ilke, madde ile radyasyonun etkileşimine dayanır ve bu amaçla geliştirilmiş olan aletlere radyasyon dedektörü adı verilir. Işınlr, bir maddenin içerisinde geçerken maddenin atom veya molekülleri ile etkileşirler ve enerjisinin bir kısmını ya da hepsini etkileşime girdiği ortamda kimyasal, fotokimyasal, iyonizasyon, fosforesans, floresans gibi nedenlerden dolayı kaybeder. Dedektörler, radyasyonun içlerinde neden olduğu iyonlaştırmayla elektrik sinyallerine çevrilmesi ilkesi ile çalışır (Dönmez, 2017).



Şekil 2.10. Radyasyon ölçüm cihazları çalışma prensibi

Radyasyon ölçümünde çalışma prensiplerine göre ölçüm cihazlarını gruplandırma yaparız. Radyasyon dedektörleri ortamdaki radyasyon miktarını, kısa aralıklar ile dedektör iç yüzeyine çarpan parçacığın enerjisini, parçacık sayısını, radyoaktif kaynağın parçalanma hızını, aktivitesini, miktarını, tespit etmenin yanı sıra kişiye özel doz ölçme cihazları ve canlı eşdeğer doz bilgisini öğrenmemizi sağlar (Knoll, 2000).

2.6.1. Radyasyon ölçüm cihazlarının ortak özellikleri

Dedektörün radyoaktif bir parçacıkla etkileşmesi anlık gerçekleşir. Bu süre gazlarda nano saniye katılarda piko saniye seviyesindedir. Etkileşim sonunda dedektörün aktif hacmi üzerinde bir elektrik yükü oluşur. Oluşan elektrik yüklerinin toplanarak elektrik sinyali oluşturmaları uygulanan elektrik alan ile gerçekleştirilir. Yüklerin toplanması için gerekli zaman farklı dedektörler için farklılık gösterebilir. Farklı radyasyon dedektör tiplerinden bahsetmeden önce tüm türler için geçerli özellikler aşağıdaki gibidir (Demir, 2014).

i. Dedektör Verimi

Dedektörün iç yüzeyi ile etkileşen tüm fotonlar için bir sinyal üretirler. Bu yüklü parçacıkların etkileşiminden oluşan iyon çiftlerinin sayısı dedektörde bir uyarı (atım) oluşturur. Yüksüz parçacıklar daha uzun mesafe yol aldıkları için sayım güvenilirliği daha düşüktür.

ii. Dedektör Ölü Zamanı

Peş peşe gelen iki atımın dedektör tarafından algılanıp anlamlandırılması için geçen zaman olarak adlandırılır. Ölü zamanı uzun süren dedektörlerin büyük şiddetli radyasyon alanlarında kullanılması tavsiye edilmez.

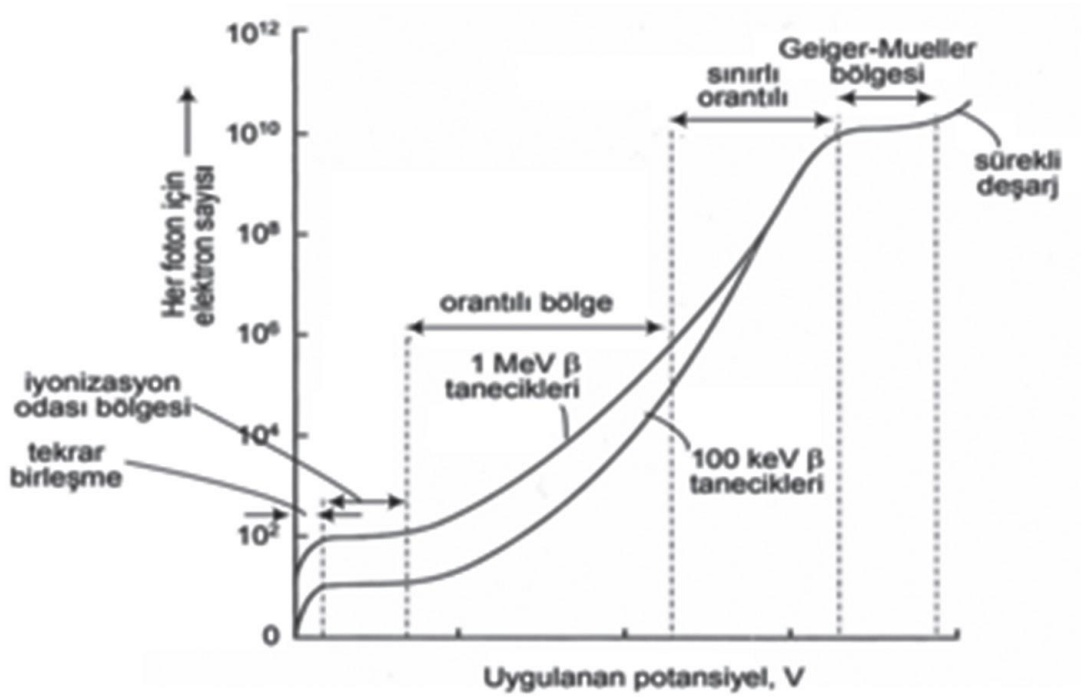
iii. Dedektör enerji çözünürlüğü

Farklı enerji türüne sahip fotonların tespit edilmesi yeteneğine denir.

2.6.2. Çalışma prensibine göre radyasyon dedektörleri

i. Gazlı dedektörler

Silindir şeklindedir, içerisine hava, argon ya da helyum gazı doldurulur. Katot ve anot elektrotları arasında içerisinde bulunan gazlar sıkıştırılır böylece zıt yüklü elektrotlar arasında elektrik alan oluşturulur ve iyonlaştırıcı radyasyon buradan geçerken gazlar ile etkileşir ve anot ile katot arasında iyonizasyon akımı oluşturur, oluşan akım ile gelen radyasyon orantılıdır. Bu dedektörler üçe ayrılır:



Şekil 2.11. Gaz dolu dedektörlerin çalışma bölgeleri (Canberra, 1997)

a. İyon Odası

Radyasyonun oluşturduğu ortalama iyonizasyonun ölçümü prensibine göre çalışır. Radyasyonu oluşturdukları iyonizasyon akımları çok küçük değerlere sahip olduklarından farklı farklı ölçüm alınmayıp ortalama değer ölçülür. İçerisindeki gaz çoğunlukla atmosfer basıncındaki havadır. İyon odaları genellikle ışın tedavisinde foton ve elektron enerjilerinin tespitinde kullanılır (Knoll, 1989).

b. Geiger-Müller Dedektörü

Yüksek gerilim uygulandığında bu sayaçlar üretilen sinyaller radyasyon enerjisinden bağımsızdır. Düşük enerjili gama ve X ışınları ölçümü iyonlaşma sayısı az olan yüklü parçacıklar ile yapılır. Geiger-Müller dedektörleri ile parçacık enerjisi ile parçacık cinsleri ölçülemez.

c. Orantılı sayaçlar

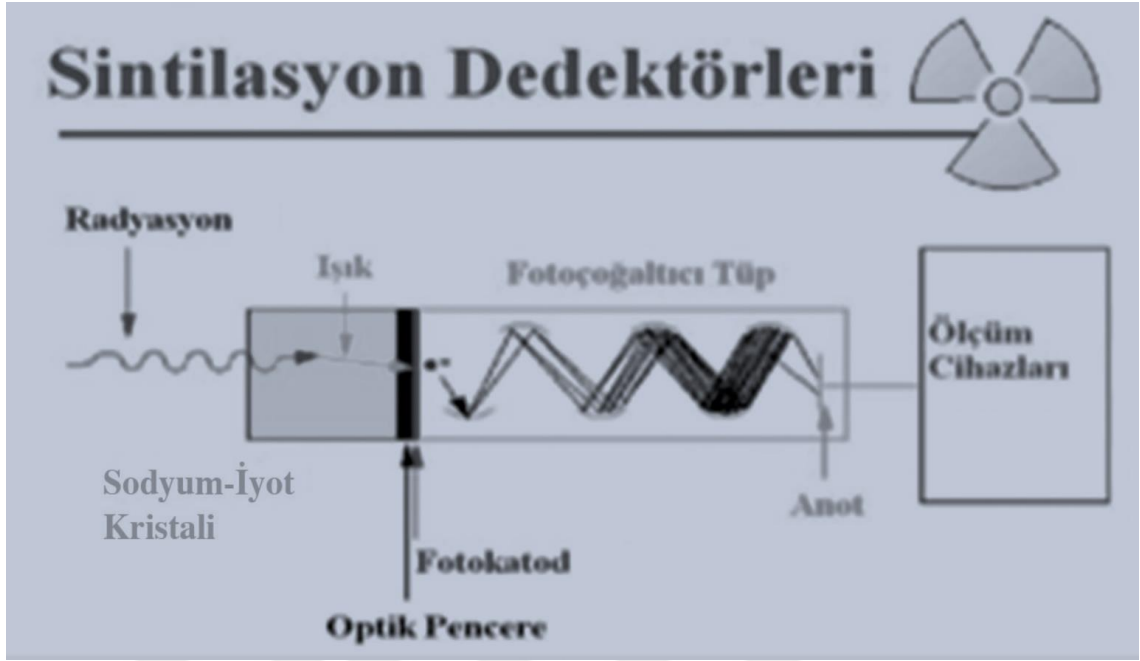
Çalışma prensibi olarak iyon odasına benzerler. Fakat orantılı sayaçlarda daha yüksek gerilim uygulanır. Cihaza gelen radyasyonun meydana getirdiği iyon çiftlerinin gaz atomları ile etkileşimleri kuralı ile ve puls modunda çalışırlar. Farklı radyasyon kaynaklarından yayılan enerjilerin iyonlaşma sonucu oluşan elektrik akımının farklı olmasından dolayı enerjinin ayırt edilmesini sağlar. Bu cihazların iyonizasyon odaları argon, metan veya P-10 adındaki bunların karışımından oluşan atmosfer basıncındaki gazla doldurulur ve genellikle alfa parçalarının ölçümünde kullanılır (Wang ve ark., 1975).

ii. Sintilasyon Dedektörleri

Sintilasyon dedektörleri aldıkları enerjiyle orantılı olarak görünür ışık yayarlar. Bunu ışıltama fosforuna radyasyon enerjisinin düşürülmesi yoluyla yaparlar. Sintilasyon fosforlarında yayılan ışınlar, foto çoğaltıcı tüpler tarafından toplanarak voltaj pulsu haline getirilir ve oluşan pusun büyüklüğü radyasyon enerjisi ile orantılıdır. Sintilasyon dedektörleri parçacık sayısı ve parçacıkların sahip olduğu enerjileri ayırımı için de kullanılır.

Sintilasyon dedektörlerindeki kullanılan fosfor ile foto çoğaltıcılar değiştirilerek değişik tipteki radyasyonların ölçümü gerçekleştirilebilir.

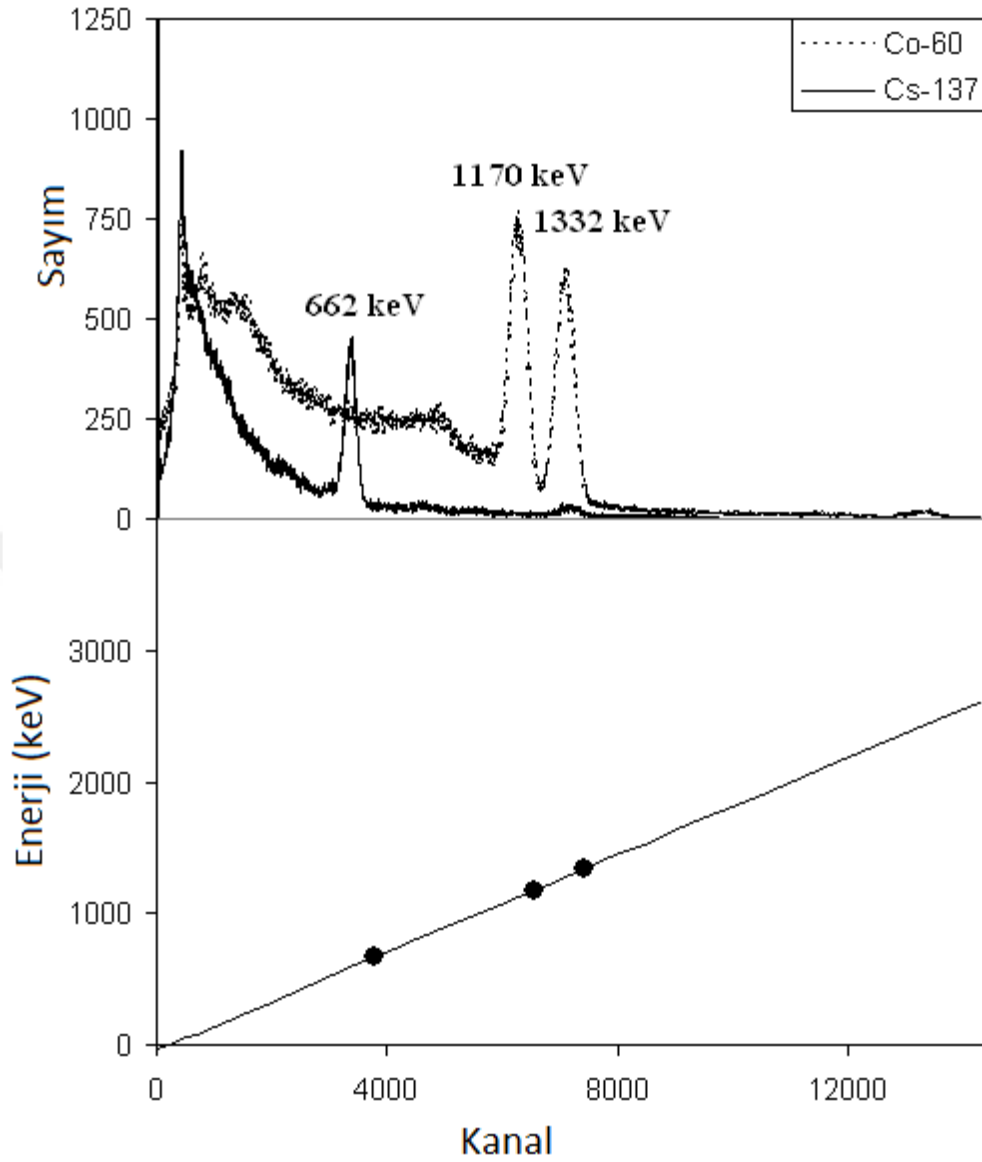
- Alfa parçacıklarını ölçmek için gümüşle aktive edilmiş ZnS fosforu (ZnS sintilatörü)
- Beta parçacıklarını ölçmek için naftalin ve stilben
- Düşük enerjili X ve gama ışınlarını ölçmek için talyum ile aktive edilmiş NaI kristali kullanılır (NaI sintilatörü)



Şekil 2.12. Sintilasyon dedektörü

2.6.3. Enerji kalibrasyonu

Ölçüm cihazlarından elde edilen sinyallerin enerjileri bilinen radyoaktif maddelerin pikleri yardımı ile ölçüm cihazına tanıtılması olayıdır. Kalibrasyonda kullanılan radyoaktif kaynakların spektrumda oluşturdukları piklerin zirve noktalarına göre o enerjideki piklerin nerelerde oluştuğu belirlenir.



Şekil 2.13. Enerji kalibrasyonu

2.7. Radyasyonun Zararlı Etkilerinden Korunma

Canlılar doğal radyasyonun yanında gelişen teknoloji ile birlikte yapay radyasyona maruz kalmaktadırlar. Yapay radyasyon günümüzde sağlıktan güvenliğe yaşamımızın birçok alanının ayrılmaz bir parçası olmuş ve bu bize fırsatların yanında biyolojik riskler de oluşturmuştur. Radyasyonun zararlı etkilerinden korunmak içinde teknolojinin nimetlerinden yararlanılmaktadır. Bunun için özel elbiseler ve özel yapım malzemelerden oluşan binalar kullanılmaktadır. Genel olarak radyasyondan korunmak için üç temel kural evrensel olarak kabul görmüştür. Bunlar:

2.7.1. Zaman faktörü

Radyasyon kaynağının yakınında mümkün oldukça az kalınmalıdır. Çünkü kaynak etrafında geçirilen zaman çok önemlidir. Maruz kalınan doz miktarı kaynak yakınında geçirilen süre ile orantılıdır.

$$Doz = (Doz \text{ Şiddeti}) \times (Zaman)$$

2.7.2. Mesafe faktörü

Radyasyon kaynağından ne kadar uzak olunur ise radyasyondan o kadar az etkilenilmektedir. Fotonların enerjisi ve şiddeti mesafe arttıkça azalmaktadır.

2.7.3. Zırh (Engel) faktörü

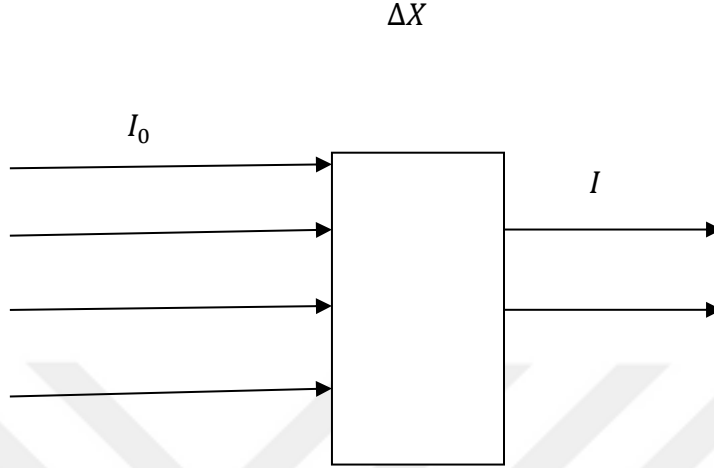
Kaynak ile radyasyondan etkilenme ihtimali olan canlılar arasına engel konulması olayıdır. Bu engel genellikle yüksek koruma sağlayan ağır beton, tuğla gibi yapılardır. Yüksek enerjili yapay radyasyon kaynakları (nükleer santraller, araştırma laboratuvarları, tıbbi amaçlı uygulama odaları gibi) bulunan yapılarda çoğunlukla beton kullanılmasının nedeni, betonun yapısında bulunan ağır ve hafif elementlerin foton ve nötron soğurulmasında iyi performans göstermesidir (Filiz ve ark., 2009).

2.7.4. Soğurma katsayısı

Engelin kalınlığı ve cinsi radyasyonun şiddetinin azaltılması için önemlidir. Gama ve X ışınları, engel kalınlığına ve engel materyalinin cinsine bağlı olarak, her zaman belirli oranda engeli geçer. Fakat engelin kalınlığı arttıkça bu engeli geçen ışınların şiddeti üstel bir şekilde azalır (Filiz ve ark., 2009). Soğurulmada bir fotonun madde tarafından emilmesinin göstergesi olarak soğurma katsayısına bakılabilir. Soğurulma katsayısı ile o fotonun birim uzunluk başına bir etkileşim geçirme olasılığını verir ve bu değer, fotoelektrik olay, Compton saçılımı, çift oluşumu olaylarının tamamına eşittir.

$$Soğurma \text{ katsayısı} = \text{Compton} + \text{fotoelektrik olay} + \text{çift oluşumu} \quad (6.1)$$

Buradaki tüm büyüklükler (*uzunluk*)⁻¹ mertebesinde (Bashter, 1997).



Şekil 2.14. X ve gama ışınlarının soğurulmaları.

I_0 , kaynaktan çıkan ve bir birine paralel gama ışınları, Δx kalınlığa sahip bir engelde ΔI kadar azalır ise

$$\Delta I = -\mu I_0 \Delta X \quad (6.2)$$

yazılır. Bu denklemde μ engelin doğrusal Soğurma katsayısı olup, değeri engelin cinsine bağlı sabit bir sayıdır. Bu eşitliğin integrali alınırsa,

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (6.3)$$

elde edilir. Bu denklemde I engelden çıkan radyasyon I_0 engele giren radyasyon şiddeti yoğunluğunu x engelin kalınlığını, μ doğrusal Soğurma katsayısını gösterir.

Doğrusal Soğurma katsayısı, radyasyonun tipine ve enerjisine, etkileşim tipine, etkileşime girilen materyalin kompozisyonuna, yoğunluğuna ve kalınlığına bağlıdır (Kaplan, 1989; Wood, 1982).

$$\mu = \frac{1}{x} \ln \frac{I_0}{I} \quad (6.4)$$

Kütle Soğurma katsayısını elde etmek için soğurma katsayısını engelin özgül ağırlığına böleriz.

$$\mu_m = \mu / \rho \quad (6.5)$$

Tablo 2.4. ⁶⁰Co Radyoaktif elementi için bazı yapı malzemelerinin kütleli ve soğurma katsayısı

Yapı Malzemesi	μ/ρ (cm ² / gr)	μ (1/ cm)
Normal Beton	0.0388	0.0933
Barit agregalı ağır beton	0.0382	0.1305
Kurşun	0.0056	0.616

Kaynak: Başyigit ve Kaçar, 2012

3. METARYEL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Çalışmamızda yaygın olarak kullanılan bazı yapı malzemelerinde soğurulma (radyasyon geçirgenliği) ölçülmüştür. Bu çalışmada günümüz yapılarında sık olarak kullanılan malzemeler piyasadan rast gele seçilmiştir. C30 betonu standartlara uygun şantiye alanındaki beton mikserinden alınmıştır. Alçı ve harç betonu da standartlara uygun olarak hazırlanmıştır.

Bu malzemeler; 10 cm x 10 cm ebatlarında farklı kalınlıklarda kavak, meşe, kayın, çam, kontrplak, strafor, fayans, tuğla, beton(c30), harç betonu, mermer ve alçı kullanılmıştır. Radyoaktif kaynaklar olan ^{137}Cs ve ^{60}Co elementlerinin önüne şekil 3.4'te görüldüğü gibi maddeler sıra ile konulmuş ve 2000 saniye boyunca sayımlar alınmıştır. Bu çalışmada Amasya Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünde bulunan radyasyon dedektörü ile ölçümler yapılmıştır. Ölçümleri yapılan tüm malzemeler şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Yapı malzemesi örnekleri

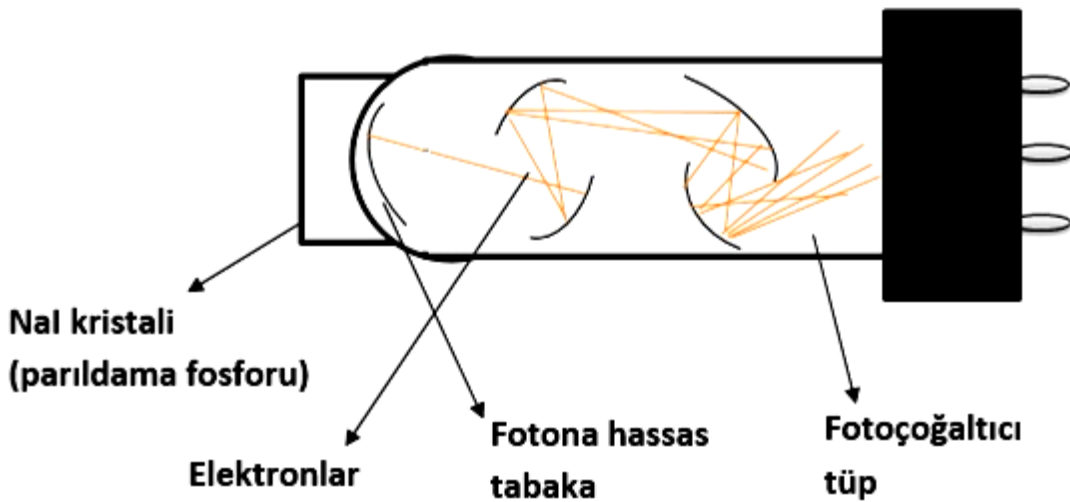
3.2. Yöntem

Bu çalışmada Amasya Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünde Nükleer Fizik Laboratuvarında bulunan NaI(Tl) sintilasyon dedektörü kullanılmıştır.

3.2.1. NaI(Tl) dedektörü

Foton veya bir yüklü parçacığın neden olduğu ilk iyonlaşma nedeni ile kristalde serbest elektronlar oluşur. Meydana gelen bu elektronlar kristalin moleküllerine ya da atomlarına bağlandığında 3300 – 5000 angström aralığında dalga boylarında ışık yayınlarlar. Bu ışınlar foto çoğaltıcı tüpün fotokatotunun üstüne düşer. Fotokatotun dış yüzeyi ince bir Cs-Antimon alaşımı ile kaplıdır. Foto çoğaltıcı her bir çoğaltıcıda art arda voltaj yükselmeleri olacak şekilde (800 – 1500) voltaj arasında çalıştırılır.

Radyasyon dedeksiyonu için saçılan ışınların yük pulsuna dönüştürülmesi gerekmektedir. Bunun için foto çoğaltıcı tüpler sintilatörle beraber kullanılırlar ve tüpün içine katoda gelen sintilasyon ışınları tüpün içine elektrona dönüştürülüp tüp anodundan bir yük pulsı meydana getirilir. Soğrulan enerji ile puls yüksekliği orantılı olur.



Şekil 3.2. *NaI(Tl)* Dedektör çalışma şeması

NaI(Tl) Dedektörü bir sintilasyon dedektörü olduğundan *NaI* kiristali ve bunun arkasında bulunan foto çoğaltıcı bir tüpten oluşur. *NaI* sintilatöründe bulunan iyot elementinin atom numarasının büyük olduğundan, gama ışınlarının dedeksiyonunda yüksek verim sağlamaktadır. Talyum'un kristal içerisine eklenerek aktive edilmesi sonucu *NaI(Tl)* oluşur.

Yayınladığı gama enerjileri bilinen radyasyon kaynakları kullanılarak *NaI(Tl)* dedektörü kalibre edilir. Bu işleme ise enerji kalibrasyonu adı verilir. Burada amaç kullanılan ölçüm cihazının tespit ettiği gama ışın enerjilerinin doğruluğundan emin olmaktır.

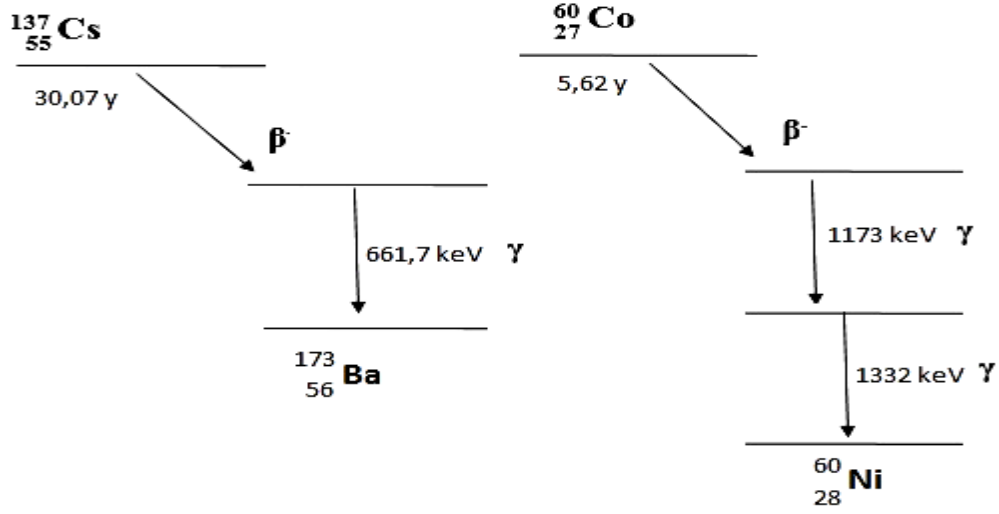
Aşağıdaki tabloda enerjisi bilinen ve enerji kalibrasyonu için kullanılan bazı radyasyon kaynakları verilmiştir.

Tablo 3.1. Radyoaktivitesi bilinene bazı kaynaklar

İzotop	Enerji (keV)
²⁴¹ Am	59,537
⁵⁷ Co	122,06
¹³⁷ Cs	661,66
⁵⁴ Mn	834,848
⁶⁰ Co	1173,273
	1332,5

Ölçümlerde kullandığımız *NaI(Tl)* dedektörünün kalibrasyonu, ¹³⁷Cs (662 keV) ve ⁶⁰Co (1173 keV – 1332 keV) standart radyoaktif kaynakları kullanılarak yapıldı.

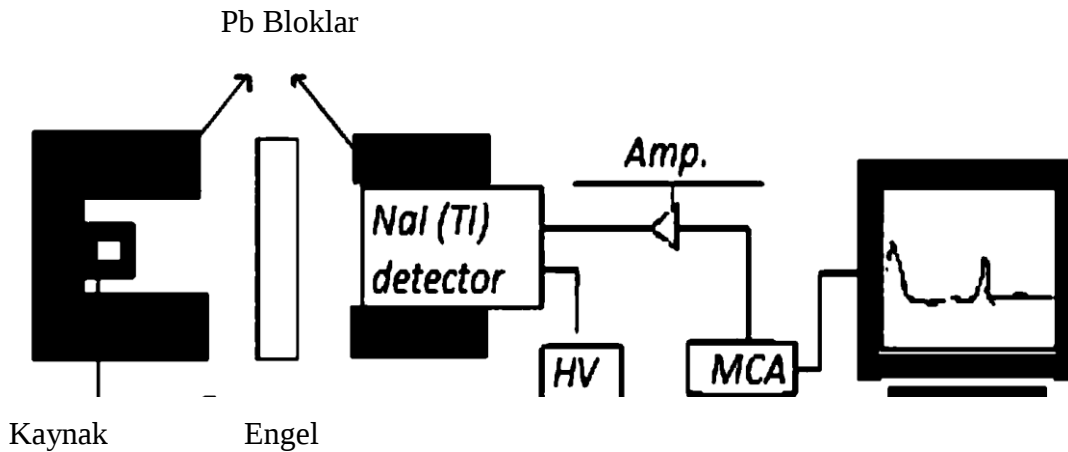
⁶⁰Co doğada doğal halde bulunan ve radyoaktif olmayan ⁵⁹Co çekirdeğinin nükleer reaktörlerde nötron ile bombardımanı sonucu elde edilir ve bu bombardıman sonucu enerjileri (1173 keV – 1332 keV) olan iki gama ışını elde edilir. Sezyum metallerin en reaktif grubu olan alkali metallere dendir. ¹³⁷Cs fisyon neticesinde oluşan foton enerjisi 662 keV'dir.



Şekil 3.3. ^{137}Cs ve ^{60}Co bozunma şemaları

3.2.2. Ölçümlerin analizi

Kullanılan yapı malzemelerinde radyasyon soğurulma özelliğinin belirlemede yapı malzemelerinin toplam soğurma katsayısı (μ, cm^{-1}) hesaplanmıştır. I_0 Radyoaktif madde ile dedektör arasında yapı malzemesi yokken elde edilen ölçüm değerleridir. Bu değerler ile yapı malzemelerinden alınan ölçüm değerleri kıyaslanır. Kaynak değiştirildiğinde I_0 değeri tekrara ölçülür ve önceki ölçümler tekrarlanır. Ölçümler yapılırken kaynak - dedektör ile kaynak - yapı malzemeleri arası mesafe korunmuştur.

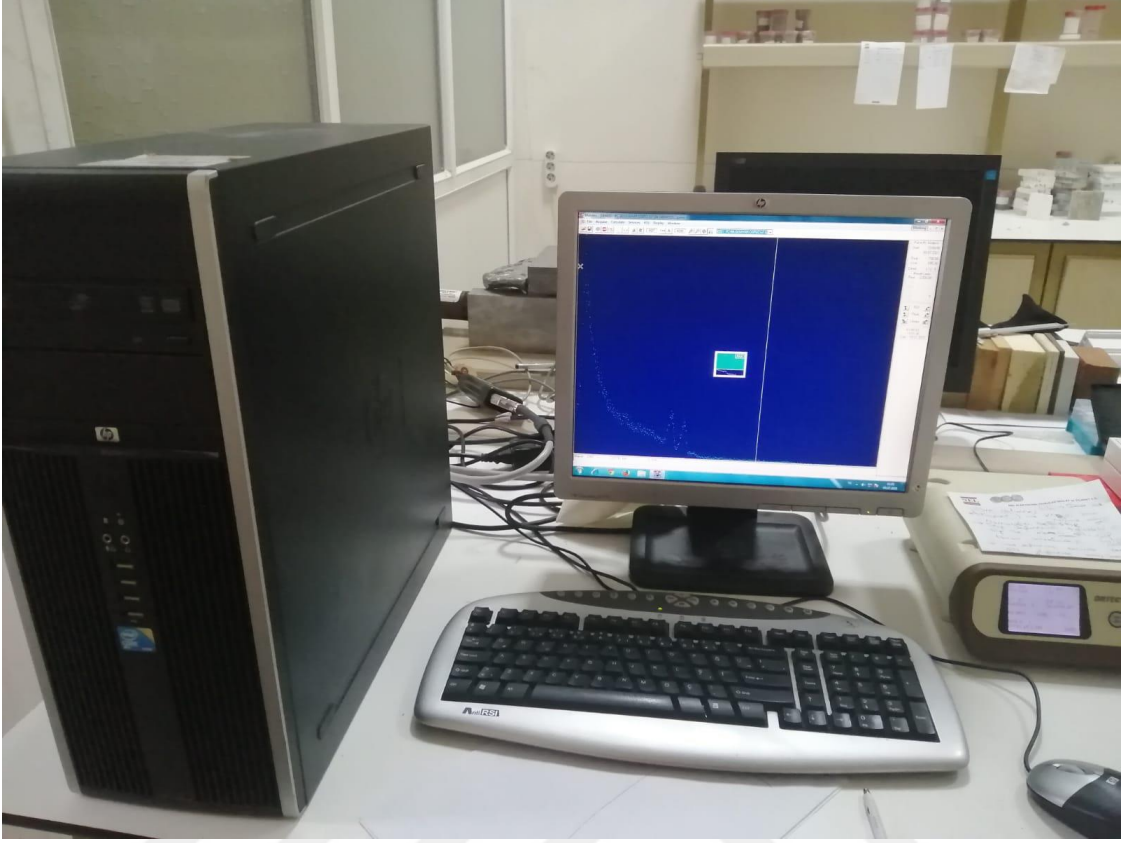


Şekil 3.4. Kaynak, engel ve dedektörün şematik gösterimi



Şekil 3.5. Kaynak, engel ve dedektör

Radyasyon kaynağı önünde engel yokken ve engel var iken elde edilen ölçümlerdeki spektrumların analizi için MAESTRO Software Version 7.01 programı kullanılarak yapılmıştır.



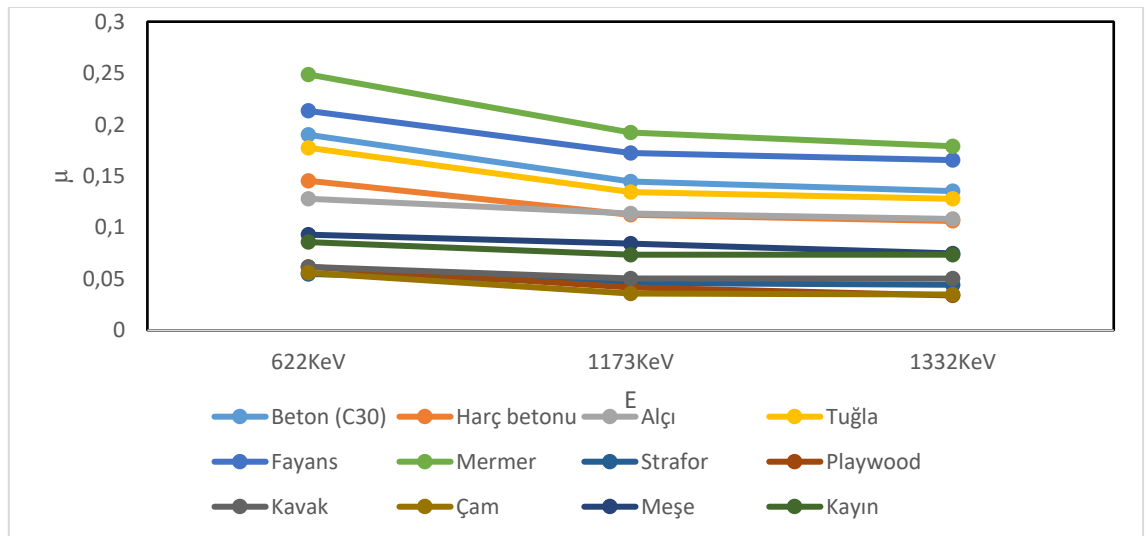
Şekil 3.6. MAESTRO Software Version 7.01 programı ekran görüntüsü

Bu ölçümlerden elde edilen sayısal değerler $\mu = \frac{1}{x} \ln \frac{I_0}{I}$ Beer-Lambert denklemi kullanılarak soğurma katsayısı μ (cm^{-1}) hesaplanmıştır (Akkurt ve ark., 2012).

4. DENEYSEL BULGULAR

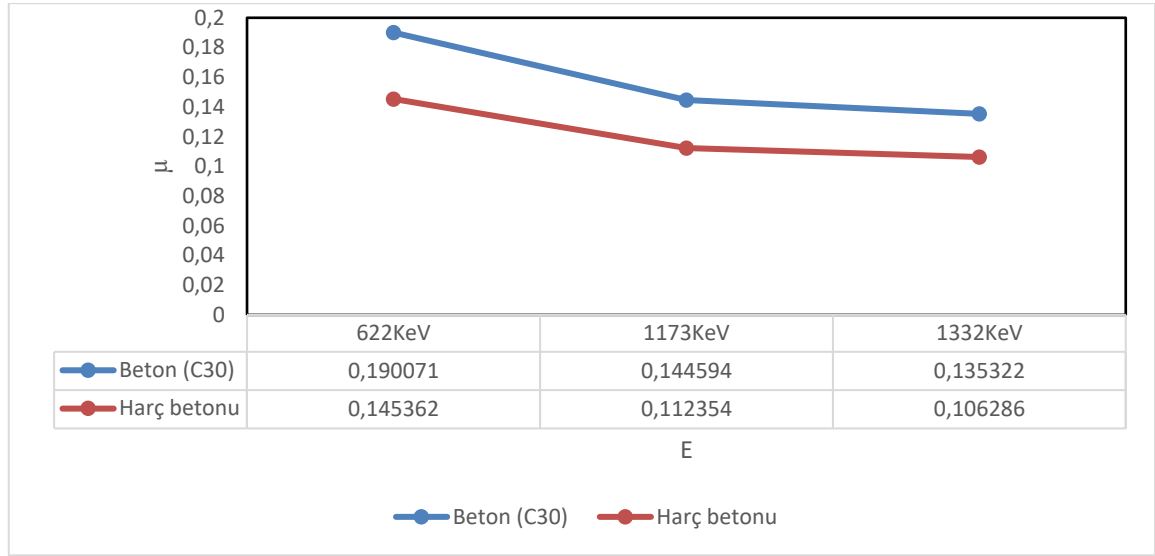
Tez çalışmasında, yapılarda sıklıkla kullanılan malzemelerin Soğurma katsayısı hesaplanmış olup ölçümler Amasya Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Nükleer Fizik Radyoaktif Araştırma Laboratuvarındaki gama spektrometresi kullanılarak elde edilmiştir. Malzemelerin Soğurma katsayısı ^{137}Cs ve ^{60}Co radyoaktif maddelerin kaynak olarak kullanılmasından elde edilen 622 keV (^{137}Cs) ve $1173 - 1332\text{ keV}$ (^{60}Co) gama enerjileri için ölçülmüştür. NaI(Tl) Dedektörü ile elde edilen spektrumların analizi MAESTRO Software Version 7.01 kullanılarak yapıldı. Elde edilen verilerden Soğurma katsayısı $\mu(\text{cm}^{-1})$ Beer-Lambert denklemi ($\mu = \frac{1}{x} \ln \frac{I_0}{I}$) kullanılarak hesaplanmıştır (Akkurt ve ark.,2012). Her yapı malzemesi için Soğurma katsayısının enerji ile değişimi grafiği toplam ve gruplar halinde sınıflandırılarak oluşturulmuştur.

Şekil 4. 1’de yapı malzemesi olarak kullanılmakta olan Beton (C30), Fayans, Kavak, Harç betonu, Mermer, Çam, Alçı, Strafor, Meşe, Tuğla, Kontrplak ve Kayın ağacı kerestesi için soğurma katsayısı 622 KeV , 1173 KeV ve 1332 KeV enerjili gama fotonları için hesaplanmış olup karşılaştırmalı olarak verilmektedir. Beklendiği üzere gama enerjisindeki artışla birlikte tüm numuneler için Soğurma katsayısında azalma gözlenmiştir. En büyük soğurma katsayısı değerleri mermer için hesaplanmış olup en küçük soğurma katsayısı değerleri ise çam kerestesine aittir.



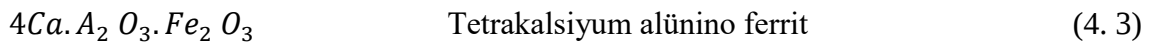
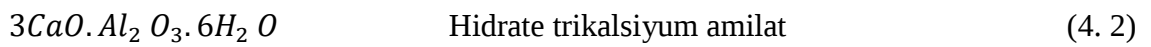
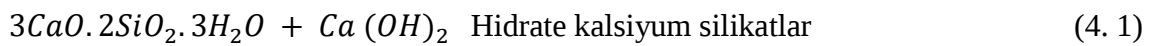
Şekil 4.1. Yapı malzemelerinin gama fotonu enerjilerine bağlı soğurma katsayıları

Şekil 4.2’de Beton (c30) ve Harç Betonu numunelerine ait için soğurma katsayısının 622 KeV, 1173 KeV ve 1332 KeV enerjili gama fotonlarına bağlı değişimi verilmektedir. Beton (c30) ile harç betonu karşılaştırıldığında beton numunesinin gama fotonu soğurulma katsayısının harç betonuna numunesine göre her üç enerjili gama fotonu için de daha büyük değerler aldığı görülmektedir.



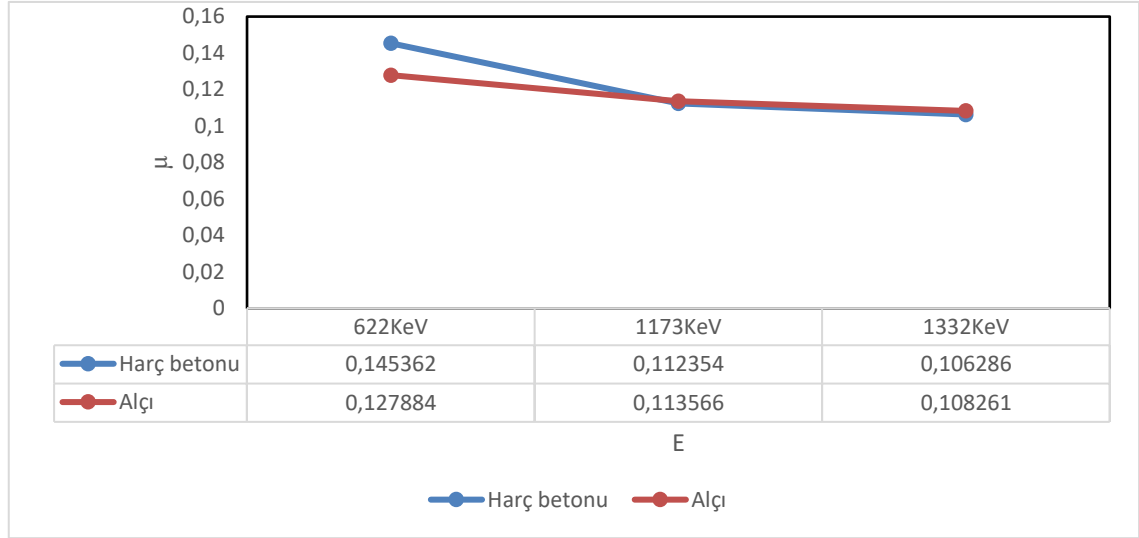
Şekil 4.2. Beton ve harç betonunun gama fotonu enerjilerine bağlı soğurma katsayıları

Beton agrega, çimento ve su karışımından oluşmaktadır. Priz almış betonun bileşenleri incelendiğinde;



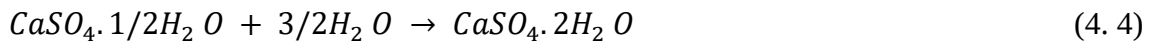
Beton santrallerinde üretilen normal dayanım sınıfındaki ortalama bir beton, mutlak hacim olarak, yaklaşık %75 oranında agrega, %10 oranında çimento ve %15 oranında sudan oluşur (www.betonsa.com.tr). İnşaatlarda hazırlanan harç betonu ise %33 su, %33 ince agrega ve %33 çimentodan oluşur. Şekil 4.2’de betonun soğurma katsayısının yüksek olmasının nedeninin agreganın miktarı ve boyutunun olduğu değerlendirilebilir.

Şekil 4.3'te Harç betonu ve alçı numunelerine ait soğurma katsayısının 622 KeV, 1173 KeV ve 1332 KeV enerjili gama fotonları için hesaplanan değerleri verilmektedir. Şekil 4.3 incelendiğinde harç betonu numunesi soğurma katsayısı değerlerinin alçı için hesaplanan değerlerden yüksek olduğu görülmüştür.



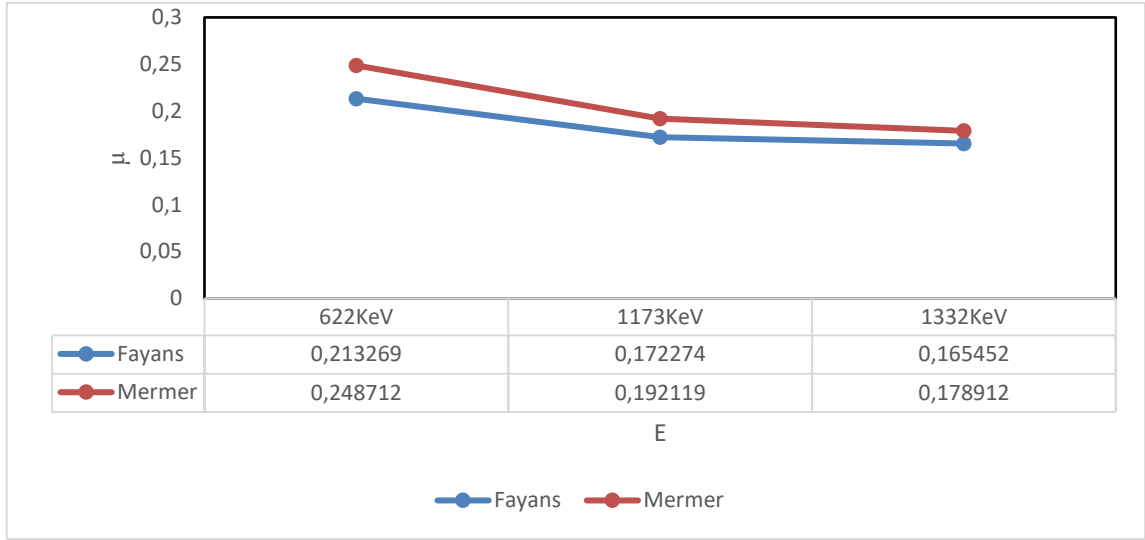
Şekil 4.3. Harç betonu ve alçının gama fotonu enerjilerine bağlı soğurma katsayıları

Alçı taşı ve alçının ana bileşeni $CaSO_4$ kalsiyum sülfatın su ile reaksiyonu aşağıda verilmiştir.



İnşaatlarda tuğla bağlayıcı ve dış yüzeylerde kara sıva olarak kullanılan harç betonu ile duvarların iç yüzeylerinde yalıtım amaçlı sıva malzemesi olarak kullanılan alçı Şekil 4.3'te karşılaştırıldığında 622 keV için harç betonunun soğurma katsayısı yüksek olduğu, diğer enerji türlerinde ise anlamlı bir fark gözlemlenmemiştir.

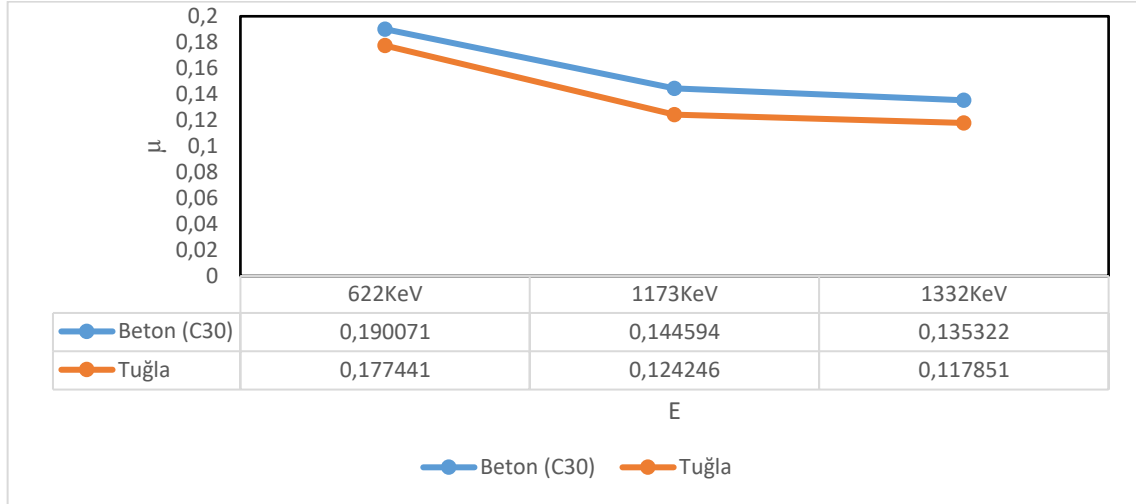
Şekil 4.4'te Fayans ve mermer numuneleri için gama fotonu soğurma katsayısı 622 KeV, 1173 KeV ve 1332 KeV enerjili fotonlar için verilmektedir. Mermer numunesi için hesaplanan soğurmama katsayısı değerlerinin fayans numunesinden daha yüksek değerler aldığı izlenmiştir.



Şekil 4.4. Fayans ve mermerin gama fotonu enerjilerine bağlı soğurma katsayıları

Doğal bir yapı malzemesi olan mermer genellikle zemin, mutfak ve banyolarda kullanılmakta sadece şekil verilerek cilalanmaktadır. Fayans ise kil ve volkanik küllerin işlenmesi ile oluşmaktadır ve bileşenleri ; $CaCO_3$ kalsiyum karbonat (% 90-98) oranında bulunan mineral kalsittir ayrıca mermerin yapısında düşük oranda $MgCO_3$ magnezyum karbonat bulunur (Onaran K., 1995). Fayansın ham maddesi ise SiO_2 (silisyum oksit), Al_2O_3 (alüminyum oksit) ve Fe_2O_3 (demir oksit) hammaddeleri değişik işlemlerden geçirilerek SiC , Si_3N_4 , ZrO_3 gibi bileşiklerden oluşmaktadır. Şekil 4.4’de görüldüğü gibi yoğunluğu yüksek elementlerden oluşan mermerin soğurma katsayısı fayanstan daha büyüktür.

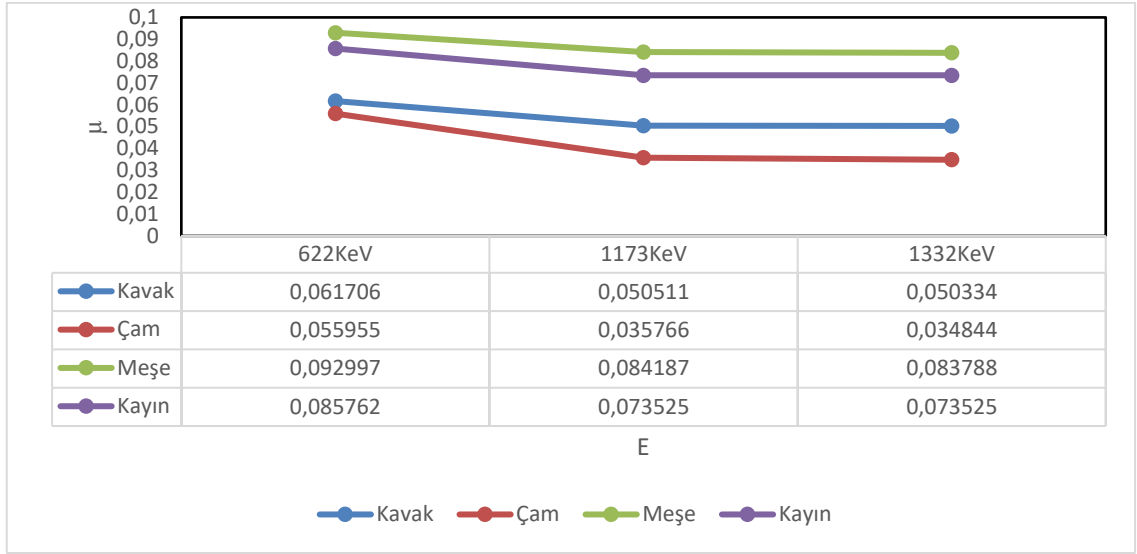
Şekil 4.5'te Beton ve tuğla numuneleri için gama fotonu soğurma katsayısı görülmektedir. Veriler incelendiğinde betonun tuğla numunesine göre daha yüksek soğurma katsayısı değerlerine sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 4.5. Beton ve tuğlanın gama fotonu enerjilerine bağlı soğurma katsayısı

Kilin pişirilmesi sonu elde edilen tuğlanın yapısında SiO_2 silisyum oksit, Al_2O_3 alüminyum oksit, demir oksitler, bazı alkali bileşikler ve % 20 oranında su bulunmaktadır. Şekil 4.5'te görüldüğü gibi beton ve tuğlanın soğurulma katsayıları bir birine çok yakın olmakla birlikte betonda biraz yüksektir. Bunun nedeni yapısındaki bileşikler ve yoğunluktur.

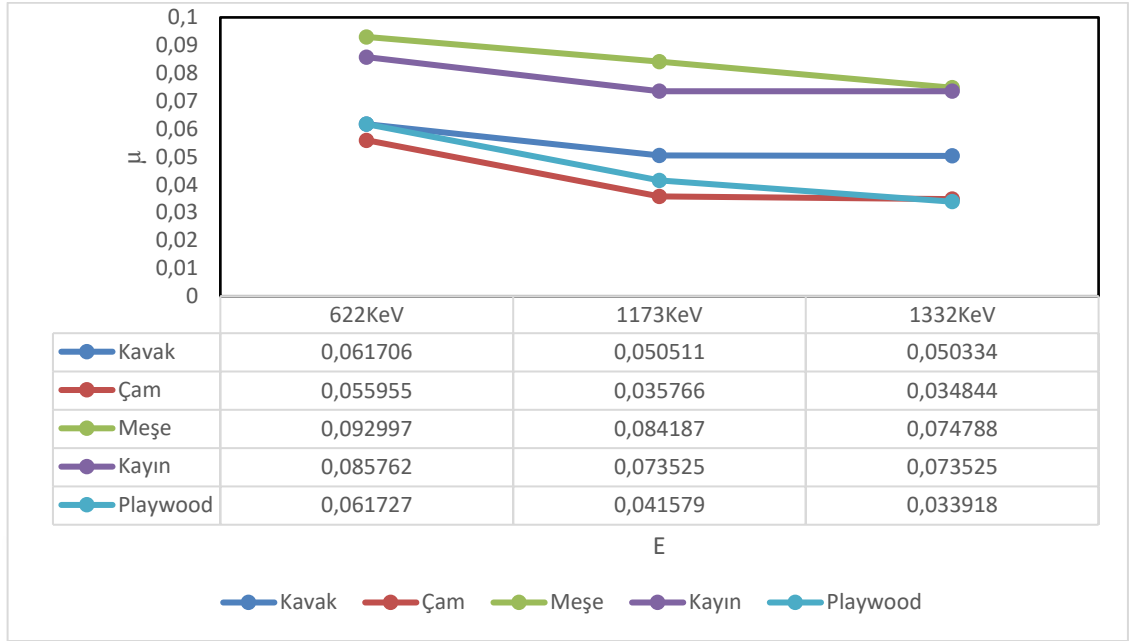
Şekil 4.6'da Ahşap grubuna giren çam, meşe, kayın, kavak numunelerine ait soğurma katsayısı incelendiğinde meşe ve kayın türü ağaçların diğerlerine göre daha yüksek bir soğurma katsayısına sahip oldukları dikkat çekmektedir.



Şekil 4.6. Kavak, çam, meşe, kayın ahşaplarının gama fotonu enerjilerine bağlı soğurma katsayıları

Ahşap günümüzde mobilya yapımında, süsleme amaçlı ve çok az miktarda da barınak yapımında kullanılmaktadır. Ahşabın yapısında doğal bir polimersel kompozit malzeme sayılan ($C_6H_{10}O_5$)_n selüloz (%50), $C_{41}H_{36}O_6$ linyin (%30) ve $C_6H_{12}O_6$ pektin ile bir miktar su bulunmaktadır. Ahşabın yoğunluğu elde edildiği ağacın türüne göre değişmektedir. Şekil 4.6’da görüldüğü gibi en iyi soğurulmayı meşe ağacı göstermiştir. Bunun nedeninin yoğunluk olduğu anlaşılmıştır.

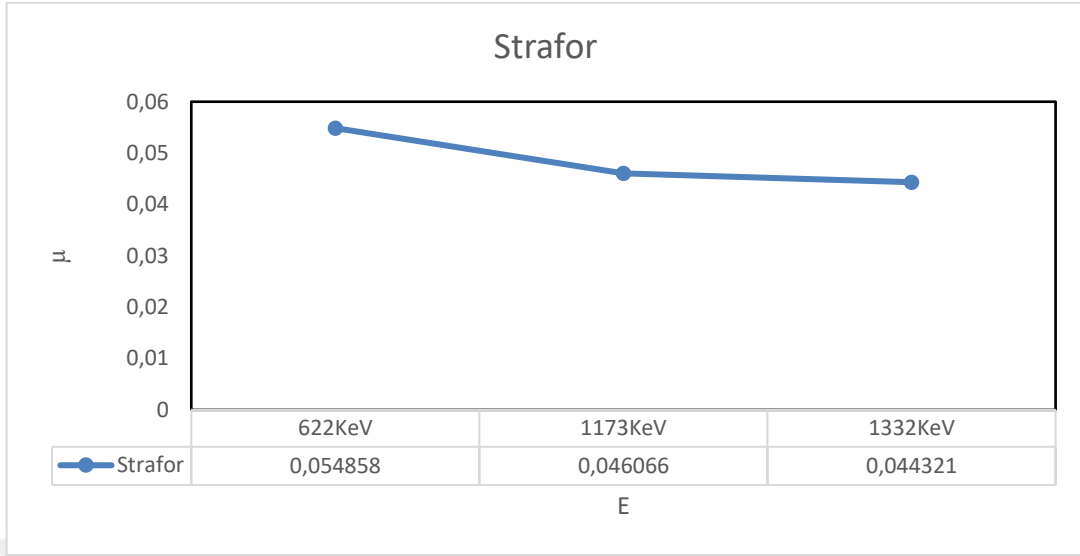
Şekil 4.7’de Endüstriyel ürün olan kontrplak ile doğal ahşap malzemeleri olan kavak, çam, meşe ve kayın numunelerine ait gama fotonu soğurma katsayısı yer almaktadır. Veriler incelendiğinde kontrplaka ait soğurma katsayısının doğal ahşap malzemelerinden daha düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 4.7. Kontrplak ile ahşap malzemelerin enerjiye göre soğurma katsayıları

Ahşabın yapısında doğal bir polimersel kompozit malzeme sayılan selüloz (%50), linyin (%30) ve pektin ile bir miktar su bulunmaktadır. Ahşabın yoğunluğu elde edildiği ağacın türüne göre değişmektedir. Kontrplak ise bu ağaç tomruklarından çok ince tabaklara halinde kesilip kimyasal yapıştırıcılar kullanılarak yapıştırılması ve sıkıştırılması sonucu elde edilen bir üründür. Soğulma katsayısı Şekil 4.7’te görüldüğü üzere çam hariç diğer ahşap malzemelerden daha düşüktür.

Şekil 4.8’de Strafor numunesinin gama ışını için hesaplanan soğurma katsayısının gama enerjisindeki artışa bağlı değişimi görülmektedir. Veriler incelendiğinde strafor köpüğü için elde edilen soğurma katsayısı değerleri çalışmada ele alınan diğer numunelere göre oldukça küçük değerler aldığı gözlenmektedir.



Şekil 4.8. Strafor köpüğün gama fotonu enerjilerine bağlı soğurma katsayısı

Strafor genişletilmiş polistiren ($C_8 H_8$) n köpük olarak isimlendirilen bir polimer olup hacimce % 95 oranında havadan oluşur ve ısı yalıtımında kullanılmaktadır. Strafor köpük hem ucuz hem de çok hafif olduğundan binalara ek bir yük getirmez fakat radyasyon soğurulması bakımından %95 hava içeriğinden dolayı çok zayıf bir malzemedir.

Tablo 4.1. Yapı malzemelerinin soğurma katsayısı μ (cm^{-1})

	622 keV	1173 keV	1332 keV
Beton (C30)	0,190071	0,144594	0,135322
Harç betonu	0,145362	0,112354	0,106286
Alçı	0,127884	0,113566	0,108261
Tuğla	0,177441	0,134246	0,127851
Fayans	0,213269	0,172274	0,165452
Mermer	0,248712	0,192119	0,178912
Strafor	0,054858	0,046066	0,044321
Kontrplak	0,061727	0,041579	0,033918
Kavak	0,061706	0,050511	0,050334
Çam	0,055955	0,035766	0,034844
Meşe	0,092997	0,084187	0,074788
Kayın	0,085762	0,073525	0,073525

TARTIŞMA VE SONUÇ

Çevremizde yaşanan jeopolitik risklerin yanı sıra ülkemizde inşası süren ve yakında hizmete girecek olan nükleer santral göz önüne alındığında radyoaktif risklere karşı içinde yaşadığımız yapılarda kullanılan 12 adet malzemenin radyasyon soğurma katsayıları incelendi. Numuneler Amasya Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Nükleer Fizik Radyoaktif Araştırma Labrotuvarında'ki $NAI(TI)$ dedektörü gama spektrometresi ve radyoaktif madde olarak ^{60}Co ve ^{137}Cs kaynakları kullanılarak ölçümler yapılmıştır. Ölçümlerden elde edilen spektrumların analizi MAESTRO Software Version 7.01 bilgisayar programı ile yapıldı ve elde edilen değerler $\mu = \frac{1}{x} \ln \frac{I_0}{I}$ Beer-Lambert denklemi kullanılarak soğurma katsayısı $\mu(\text{cm}^{-1})$ hesaplanmıştır. Bu çalışmada üzerinde ölçüm yaptığımız malzemeler; beton (c30), harç betonu, mermer, fayans, tuğla, alçı, kontrplak, strafor, çam, kavak, meşe, kayın olmak üzere toplam 12 adettir. Bu malzemeler günümüz inşaatlarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Doğal bir taş olan mermer yapı malzemesi olarak, genellikle zemin döşemesinde, mutfak ve banyolarda kullanılmakta, üzerinde sadece fiziksel değişiklikler yapılmaktadır. Yapısında CaCO_3 (kalsiyum karbonat) % 90 – 98 oranında bulunan mineral kalsittir. Ayrıca mermerin yapısında düşük oranda MgCO_3 (magnezyum karbonat) bulunur. Böylece metal ağırlıklı bileşenlerinden dolayı mermer deneysel malzemeler içinde en iyi soğurulmayı gösterdi (Şekil 4.1).

Beton santrallerinde üretilen normal dayanım sınıfındaki ortalama bir beton, mutlak hacim olarak, yaklaşık %75 oranında agrega, %10 oranında çimento ve %15 oranında sudan oluşur. İnşaatlarda hazırlanan harç betonu ise %33 su, % 33 ince agrega ve % 33 çimentodan oluşur. Şekil 4. 2'de betonun soğurma katsayısının harç betonundan yüksek olmasının nedeninin agrega miktarı ve boyutunun olduğu değerlendirilmektedir.

Alçı taşı ve alçının ana bileşeni CaSO_4 'ün (kalsiyum sülfat) su ile reaksiyonundan sıva alçısı elde edilmektedir. Yapılarda tuğla bağlayıcı ve dış yüzeylerde kara sıva olarak kullanılan harç betonu ile duvarların iç yüzeylerinde yalıtım amaçlı sıva malzemesi olarak kullanılan alçı şekil 4.3'te karşılaştırıldığında 622 keV için harç betonunun soğurma

katsayısının yüksek olduğu gözlemlenmiş ve $1173\text{ keV} - 1332\text{ keV}$ enerji türlerinde ise anlamlı bir fark gözlemlenmemiştir.

Yapılarda mutfak ve banyolarda duvarlara su sızmasını önlemek için kullanılan fayans ise kil ile volkanik küllerin işlenmesi ile oluşmaktadır. Fayans ham maddeleri SiO_2 (silisyum oksit), Al_2O_3 (alüminyum oksit) değişik işlemlerden geçirilerek oluşturulmakta ve şekil 4.4’de görüldüğü gibi yoğunluğu yüksek elementlerden oluşan mermerin soğurma katsayısının fayanstan daha büyük olduğu sonucu elde edilmiştir.

Kilin pişirilmesi sonu elde edilen tuğlanın yapısında SiO_2 (silisyum oksit), Al_2O_3 (alüminyum oksit), bazı alkali bileşikleri ve % 20 oranında su bulunmaktadır. Şekil 4.5’te görüldüğü gibi beton ve tuğlanın soğurma katsayıları birbirine çok yakın olmakla birlikte betonda biraz yüksektir. Bunun nedeni yapısındaki bileşikler ve yoğunluktur.

Ahşap günümüzde mobilya yapımında, süsleme amaçlı ve çok az miktarda da barınak yapımında kullanılmaktadır. Ahşabın yapısında doğal bir polimersel kompozit malzeme sayılan $(C_6H_{10}O_5)_n$ (selüloz) (%50), $C_{41}H_{36}O_6$ (linyin) (%30) ve $C_6H_{12}O_6$ (pektin) ile bir miktar su bulunmaktadır. Ahşabın yoğunluğu elde edildiği ağacın türüne göre değişmektedir. Şekil 4.6’da görüldüğü gibi en iyi soğurmayı meşe ağacı göstermiştir. Bunun nedeni ise meşe ağacının diğer türler ile karşılaştırıldığında bu ağaçlara göre yoğunluğunun daha yüksek olmasıdır. Kontrplak ise ağaç tomruklarından çok ince tabaklara halinde kesilip kimyasal yapıştırıcılar kullanılarak yapıştırılması ve yüksek basınç uygulanarak sıkıştırılması sonucu elde edilen bir üründür. Şekil 4.7’de görüldüğü gibi kontrplak çam hariç diğer ahşaplardan soğurma katsayısı daha düşük bir değere sahiptir.

$(C_8H_8)_n$ polistiren genişletilmiş köpük, strafor olarak isimlendirilen bir polimerdir. Hacimce % 95 havadan oluşur ve ısı yalıtımında kullanılmaktadır. Strafor hem ucuz hem de çok hafif olduğundan binalara ek bir yük getirmemektedir. Fakat %95 hava içeriğinden dolayı radyasyonu soğurulması bakımından çok zayıf bir malzemedir.

Ölçümler ve hesaplamalar sonucunda bir yapı malzemesinin bileşenleri arasında ağır çekirdekli elementler bulunuyor ise soğurma katsayısının da yüksek, hafif çekirdekli elementler bulunuyor ise soğurma katsayısının da düşük olduğu gözlemlenmiştir. Ağır çekirdeğe sahip elementlerden oluşan yapı malzemelerinin yoğunluklarının büyük olması binalara statik olarak ek bir yük getirmektedir. Elde edilen bu veriler ışığında riskli bölgelerde bir bina tasarlarırken radyasyon zırlaması için binanın yapımında; bir ya da iki katlı ise mermer kaplamalı kalın beton duvarlar kullanmak, pencere sayısını azaltmak, pencere boyutlarını küçültmek daha isabetli bir yaklaşım olacaktır. Yüksek katlı binalarda ise beton santrallerinde üretilen hazır beton kullanılarak imal edilen perde beton yöntemi ile inşa edilen duvar, delikli tuğla yerine blok tuğla kullanmak, duvarların iç ve dış yüzeylerini harç betonu ile yapılan kara sıva ile en az 2 cm kalınlığında kaplamak, iç yüzeye 2 cm kalınlığında alçı sıva ile kaplamak, mümkünse iç yüzeyleri fayans ile kaplamak, binanın dış kaplamasında köpük yerine cam yünü kullanmak ve pencere sayısı ile ebatlarına dikkat etmek gerekmektedir. Riskli bölgelerde radyasyondan korunma amaçlı ahşap ve türevleri malzeme kullanarak herhangi bir yapı inşa edilmemelidir. Bu nedenden dolayı daha hafif ve dayanıklı, radyasyon soğurulma katsayısı yüksek kompoze malzemeler geliştirilmeli ya da eldeki malzemeler soğurulma katsayıları dikkate alınarak en uygun kombinasyonlarda binalar inşa edilmelidir.

KAYNAKLAR

- Abdel-Rahman, M. A., Badawi, E. A., Abdel-Hady, Y. L., Kamel, N., 2000. Effect of sample thickness on the measured mass attenuation coefficients of some compounds and elements for 59.54, 661.6 and 1332.5 keV γ -Rays. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 447, 432-436.
- Akkurt, İ., Günoğlu, K., Başığit, C., Akkaş, A., 2012. Hafif betonların 511 ve 1275 keV'deki radyasyon soğurma katsayısının araştırılması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 16 (3), 315-317.
- Akkurt, İ., Günoğlu, K., Başığit, C., Akkaş, A., 2012. Farklı çimentolarla üretilen çimento pastalarının radyasyon soğurulma özellikleri. *SDÜ International Journal of Technologic Sciences*, 4(2), 135-140.
- Başığit, C., Kaçar, A., 2009. Bazı yapı malzemelerinin radyasyon tutuculuk özellikleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10 (2), 307-310.
- Berger, M.J. ve Hubbell, J.H., 1987. XCOM: Photon cross sections on a personal computer bational bureau of standards gaithersbur. MD 20899.
- Berkowitz, J., 2002. Atomic and molecular. Photo Absorption Akademik Sıkıştırılması
- Brenner, D.J., Dol, R., Goodhead, D.T., Hall, E.J., Land, C.E., Little, J.B., Lubin, J.H., Sıkıştırılmaton, D.L., Sıkıştırılmaton, R.J., Puskin, J.S., Ron, E., Sachs, R.K., Samet, J.M., Setlow, R.B., Zaider, M., 2003. To low doses ionizing radiation: assessing what we really know. *Proc Natl Acad Sci USA*, 100, 13761–13766.
- Chitralekha, B. R. Kerur, M. T. Lagare, R. Nathuram, N. ve Sharma, D. N., 2005. Mass attenuation coefficients of saccharides for lowenergy X-rays, *Radiation Physics and Chemistry*, 72, 1-5.
- Değerliler, M., 2012. Adana İli ve Çevresinin Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Saptanması ve Doğal Radyasyonun Yıllık Etkin Doz Eşdeğerlerinin Bulunması. (Doktora Tezi), Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Delbeke, M., 1999, Oncological application of FDG PET imaging. *J Nucl Med*, 1706-15p.
- Demir, M., 2014. Nükleer Tıp Fiziği ve Klinik Uygulamaları. 4.Baskı, İstanbul
- Eriç, M., 1994. Yapı Fiziği ve Malzemesi. Literatür Kitabevi, 367 sayfa, İstanbul.
- Evans, R.D., 1955. The Atomic Nucleus First Edition. McGraw Hill Book Co., 972 p. Page 142, USA,
- Filiz, M., Nazıroğlu, M., Sancak, E., Özel, C., Gençel, O., 2009. Ağır ve Kulemanit Agregalı Betonun Radyasyon Önlemede Kullanımının Araştırılması, SDÜ. Proje no:106M442 Isparta.
- Göksel, S., 1973. Radyasyonun Biyolojik Etkileri ve Korunma, İ.T.Ü Matbaası İstanbul.
- Dönmez, S., 2017. Radyasyon Tespiti ve Ölçümü. Sağlık Bilimleri Üniversitesi Gülhane Tıp Akademisi, Ankara, Türkiye. DOI: 10. 4274 / nts.2017.018
- Günoğlu, K., Mavi, B. ve Akkurt, I., 2011. Bazı mermer örneklerinde doğal radyoaktivite e-Journal of New World Sciences Academy Engineering Sciences, 1A0243, 6, (4), 1351-1358.
- İçelli, O., Erzenoğlu, S., Karahan, İ.H., Çankaya, G., 2005. Effective atomic numbers for CoCuNi alloys using transmission experiments. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 91, 485-491.
- Keskin, H., 2004. Nükleer Tekniklerin Endüstriye Uygulanması. (Yüksek lisans Semineri), Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

- Knoll, G.F., 2000. Radiation Detection and Measurement. Third Edition, Wiley.
- KRANE, K.S., 2001. Nükleer Fizik I. Çeviri Editörü : Başar Şarer, Palme Yayıncılık, Ankara.
- Rösch, W., Tochilin, E.İ. ve Attix, F., 1968. Radyasyon Dozimetresi. 2. Baskı, Acedemic Sıkıştırılması.
- Onaran, K., 1995. Malzeme Bilimi. 12. Baskı, Bilim Teknik Yayınevi, Ankara
- Wandschneider, R., Pick, R., 1982. Betonlar, duvarcılık, şap ve sıvada radyasyondan korunma teknikleri, beton bilgileri 22. H.5, S.47-50. Beton-Verlag, Düsseldorf, Almanya
- Yaren, H., Karayılanoğlu, H., 2005. Radyasyon ve insan sağlığı üzerine etkisi. TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni 4.
- <http://www.taek.gov.tr/ogrenci/index.htm> (05/ 08/ 2022)
- <http://www.betonsa.com.tr> (15/ 08/ 2022)



ÖZGEÇMİŞ

