

**FARKLI KATKILANMIŞ BETONLARIN
RADYASYON ZIRHLAMA ÜZERİNE ETKİLERİ**

Sibel ÖZAVCI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİZİK ANABİLİM DALI

**AMASYA
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Ocak 2017
AMASYA**

**FARKLI KATKILANMIŞ BETONLARIN
RADYASYON ZIRHLAMA ÜZERİNE ETKİLERİ**

Sibel ÖZAVCI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİZİK ANABİLİM DALI

**AMASYA
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Ocak 2017

AMASYA

Sibel ÖZAVCI tarafından hazırlanan “FARKLI KATKILANMIŞ BETONLARIN RADYASYON ZIRHLAMA ÜZERİNE ETKİLERİ” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Betül ÇETİN

.....

Tez Danışmanı, Fizik Anabilim Dalı, A.Ü.

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Fizik Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. İbrahim YİĞİTOĞLU

Nükleer Fizik anabilim dalı, G.O.P.Ü

.....

Doç. Dr. Betül ÇETİN

.....

Fizik Anabilim Dalı, A.Ü.

Yrd. Doç. Dr. Serpil ERYILMAZ

.....

Fizik Anabilim Dalı, A.Ü.

Tarih: 26/01/2017

Bu tezile A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Mehmet KARA

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yaptığımı bildiririm.

Sibel ÖZAVCI

**FARKLI KATKILANMIŞ BETONLARIN
RADYASYON ZIRHLAMA ÜZERİNE ETKİLERİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Sibel ÖZAVCI

**AMASYA
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Ocak 2017

ÖZET

Radyasyonun insan hayatının birçok alanında kullanılmaya başlanmasıyla canlı vücudu radyasyon tehlikesi ile karşı karşıya gelmiştir. Bu nedenle, farklı koruyucu malzemelerin geliştirilmesi radyasyon korunması açısından önemlidir. Özellikle nükleer santraller ve hastaneler gibi bu amaca yönelik olan birimlerin inşasında kullanılacak malzemeler çok önemlidir.

Bu çalışmada, radyasyona karşı koruma sağlayabilecek betonların geliştirilmesi amaçlanmıştır. Farklı malzemeler ile katkılanan beton örneklerinin ve eski yapılarda kullanılan horasan örneklerinin radyasyon zırhlama özellikleri araştırılmıştır.

^{137}Cs (662 keV) ve ^{60}Co (1173 keV - 1332 keV) radyoaktif kaynakları kullanılmıştır. Ölçümler NaI(Tl) detektörlü gama spektrometresi ile gerçekleştirilmiştir. Ölçümler sonucunda Beer-Lambert denklemi kullanılarak soğurma katsayısı μ (cm^{-1}) hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar radyasyon zırhlama üzerine etkileri tartışılmıştır.

Bilim Kodu :
Anahtar Kelimeler : Gama Spektrometresi, Zırlama, Beton
Sayfa Adedi : 94
Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Betül ÇETİN



**RADIATION SHIELDING EFFECTS
ON DIFFERENT DOPED CONCRETES**

(M.Sc.Thesis)

Sibel ÖZAVCI

**AMASYA
UNIVERSITY**

INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

Ocak 2017

ABSTRACT

With the begun to be used of radiation in many areas of human life the living body was faced with radiation hazards. Therefore, the development of different shielding materials is important for radiation protection. In particular, nuclear power plants and hospitals, such as materials used in the construction of units, which is very important for this purpose.

In this study, it was aimed to develop concretes that could provide protection from radiation. Radiation shielding properties of concrete samples doped with different materials and horasan samples used in old structures were investigated.

^{137}Cs (662 keV) and ^{60}Co (1173 keV-1332 keV) radioactive sources were used. The measurements have been performed using a gamma spectrometer which contains NaI(Tl) detector. Beer-Lambert equation using the absorption coefficient $\mu(\text{cm}^{-1})$ are calculated. For the obtained results discussed radiation shielding effects.

Science Code :

Key Words : Gamma Spectrometry, Radiation Shielding, Concrete

Page Number : 94

Adviser : Doç. Dr. Betül ÇETİN



TEŞEKKÜR

Araştırma ve yazım süresince sabrını, desteğini ve bilgisini esirgemeyen, yanında alışmaktan onur duyduğum değerli danışman hocam sayın Doç. Dr. Betül ÇETİN' e teőekkürlerimi sunarım.

Öneri ve yönlendirmelerinden faydalandığım sayın Doç. Dr. İbrahim YİĞİTOĞLU' na, Yrd. Doç. Dr. Nurdan KARPUZ' a ve Yrd. Doç. Dr. Serpil ERYILMAZ' a göstermiş oldukları hoşgörü ve yardımlarından dolayı teőekkürlerimi sunarım.

Eğitimim boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teőekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

| | Sayfa |
|---|--------------|
| ÖZET | iv |
| ABSTRACT | vi |
| TEŞEKKÜR..... | viii |
| İÇİNDEKİLER | ix |
| ÇİZELGELER LİSTESİ | xi |
| ŞEKİLLERİN LİSTESİ | xii |
| SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ | xv |
| 1.GİRİŞ | 1 |
| 2. TEMEL BİLGİLER | 4 |
| 2.1.Radyasyon ve Radyoaktivite..... | 4 |
| 2.1.1. Atom ve yapısı..... | 4 |
| 2.1.2. Radyasyonun tanımı ve türleri..... | 5 |
| 2.1.3. Radyasyon kaynakları | 7 |
| 2.1.4. Radyoaktif bozunma modelleri | 12 |
| 2.2. Radyasyonun Madde ile Etkileşimi | 18 |
| 2.2.1. Ağır parçacıkların madde ile etkileşimi..... | 18 |
| 2.2.2. Hafif parçacıkların madde ile etkileşimi | 20 |
| 2.2.3. X ve Gama ışınlarının (fotonların) madde ile etkileşimi..... | 22 |
| 2.2.4. Nötronların madde ile etkileşimleri..... | 28 |
| 2.2.5. Nötrinolar | 31 |
| 2.3. Radyasyonun Canlı Yapı ile Etkileşimi | 32 |
| 2.3.1. Radyasyonun hücre ile etkileşimi..... | 32 |
| 2.3.2. Radyasyonun organlar ve dokular üzerindeki etkileri..... | 33 |
| 2.3.3. Radyasyon dozu ve doz hızı birimleri..... | 34 |
| 2.4. Dış Radyasyon Kaynaklarından Korunma..... | 37 |

| | |
|---|----|
| 2.4.1. Zaman faktörü..... | 37 |
| 2.4.2. Mesafe faktörü..... | 38 |
| 2.4.3. Zırhlama faktörü (koruyucu engel) | 39 |
| 2.5. Horasan Harcı | 43 |
| 3.KAYNAK ARAŞTIRMASI | 44 |
| 4. MATERYAL VE METOT | 46 |
| 4.1. Kullanılan Malzemeler..... | 46 |
| 4.2. Numune Hazırlama | 47 |
| 4.3. Radyasyon Soğurma Deney Düzeneği..... | 50 |
| 4.3.1. Gama spektroskopi sistemi..... | 50 |
| 4.4. Radyasyon Soğurma Ölçümlerinin Analizi | 54 |
| 5. DENEYSEL BULGULAR, TARTIŞMA VE SONUÇ..... | 56 |
| 6. KAYNAKLAR | 72 |
| ÖZGEÇMİŞ | 76 |

ÇİZELGELER LİSTESİ

| Çizelge | Sayfa |
|---|--------------|
| Tablo 2.1. Radyasyona karşı organların duyarlılıkları..... | 33 |
| Tablo 2.2. Radyasyon dozu birimleri..... | 35 |
| Tablo 4.1. Betonlar için kullanılan malzeme miktarları..... | 48 |
| Tablo 4.2. Aktivitesi bilinen örnek kaynak..... | 53 |
| Tablo 5.1. Numunelerin soğurma katsayıları..... | 69 |



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

| Şekil | Sayfa |
|--|-------|
| Şekil 2.1. Atom yapısının şematik görünümü..... | 5 |
| Şekil 2.2. Radyasyonun çeşitleri..... | 6 |
| Şekil 2.3. Elektromanyetik spektrum..... | 7 |
| Şekil 2.4. Radyasyon kaynakları..... | 8 |
| Şekil 2.5. Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değeri..... | 9 |
| Şekil 2.6. Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarının küresel radyasyon dozunun oransal katkıları | 11 |
| Şekil 2.7. Yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozunun oransal değerleri | 11 |
| Şekil 2.8. Alfa bozunma modeli..... | 13 |
| Şekil 2.9. β - bozunma modeli..... | 15 |
| Şekil 2.10. β + bozunma modeli..... | 15 |
| Şekil 2.11. Elektron yakalama olayı..... | 16 |
| Şekil 2.12. Gama bozunma modeli..... | 17 |
| Şekil 2.13. Alfaların soğurucuda meydana getirdiği iyon sayısının madde içinde kat ettiği yola göre değişimi | 20 |
| Şekil 2.14. Betaların menzili ve kat ettikleri yol..... | 21 |
| Şekil 2.15. Betaların, enerjisine bağlı olarak meydana getirdikleri spesifik iyonlaşma..... | 22 |
| Şekil 2.16. Fotoelektrik, compton ve çift oluşumu olaylarının baskın olduğu bölgeler | 23 |
| Şekil 2.17. Fotoelektrik olay..... | 24 |
| Şekil 2.18. Compton saçılması..... | 25 |
| Şekil 2.19. Çift oluşum..... | 27 |
| Şekil 2.20. Nötronun çekirdekten elastik saçılması..... | 28 |
| Şekil 2.21. Nötronun inelastik saçılması..... | 29 |
| Şekil 2.22. Nötron yakalanması..... | 30 |
| Şekil 2.23. Fisyon olayı..... | 31 |

| Şekil | Sayfa |
|--|--------------|
| Şekil 2.24. DNA zincirinin kırılması..... | 32 |
| Şekil 2.25. Normal ve radyasyondan etkilenmiş hücre bölünmesi..... | 33 |
| Şekil 2.26. Zaman..... | 37 |
| Şekil 2.27. Mesafe..... | 38 |
| Şekil 2.28. Koruyucu engel..... | 39 |
| Şekil 2.29. Radyasyon türlerinin giricilik özellikleri..... | 40 |
| Şekil 2.30. X ve gamaların soğrulmaları..... | 42 |
| Şekil 4.1. Hassas tartı..... | 47 |
| Şekil 4.2. Laboratuvar tipi çene kırıcı aleti..... | 47 |
| Şekil 4.3. Küp kalıpları..... | 49 |
| Şekil 4.4. Horasan harcı ve beton kalıpları..... | 49 |
| Şekil 4.5. Ölçümlerde kullanılan verniyeli kumpas..... | 49 |
| Şekil 4.6. Gama spektrometrik cihazının çalışma düzeneği..... | 51 |
| Şekil 4.7. NaI(TI) detektöründe radyasyon ölçümünün şematik gösterimi..... | 52 |
| Şekil 4.8. ¹³⁷ Cs ve ⁶⁰ Co bozunum şeması..... | 54 |
| Şekil 4.9. Kaynak-beton ve detektör düzeninin şematik gösterimi..... | 54 |
| Şekil 4.10. Kaynak-beton ve detektör düzeni..... | 55 |
| Şekil 4.11. Maestro programı ile net alan ölçümü..... | 55 |
| Şekil 5. 1. N3 ve N6 tipi betonlar için soğurma katsayılarının enerji ile değişimi..... | 57 |
| Şekil 5. 2. N5 ve N8 tipi betonlar için soğurma katsayılarının enerji ile değişimi..... | 58 |
| Şekil 5. 3. N3 ve N8 tipi betonlar için soğurma katsayılarının enerji ile değişimi..... | 59 |
| Şekil 5. 4. N3 ve N1 tipi betonlar için soğurma katsayılarının enerji ile değişimi..... | 60 |
| Şekil 5. 5. N4, N5, N7 tipi betonlar için soğurma katsayılarının enerji ile değişimi..... | 61 |
| Şekil 5. 6. N2 ve N9 tipi betonlar için soğurma katsayılarının enerji ile değişimi..... | 62 |
| Şekil 5. 7. N15, N17, N18, N19 ve N20 tipi horasan örnekleri için soğurma katsayılarının enerji ile değişimi..... | 63 |
| Şekil 5. 8. N18 ve N19 tipi horasan örnekleri için soğurma katsayılarının enerji ile değişimi..... | 64 |
| Şekil 5. 9. N17 ve N18 tipi horasan örnekleri için soğurma katsayılarının enerji ile değişimi..... | 65 |

| Şekil | Sayfa |
|---|--------------|
| Şekil 5. 10. N15 ve N20 tipi horasan örnekleri için soğurma katsayılarının enerji ile değişimi..... | 66 |
| Şekil 5. 11. N10, N11, N12, N13, ve N14 tipi horasan örnekleri için soğurma katsayılarının enerji ile değişimi..... | 67 |
| Şekil 5. 12. N11 ve N12 tipi horasan örnekleri için soğurma katsayılarının enerji ile değişimi..... | 68 |
| Şekil 5. 13. N11 ve N14 tipi horasan örnekleri için soğurma katsayılarının enerji ile değişimi..... | 69 |



SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

| Simgeler | Açıklama |
|--------------------|-------------------------------|
| α | Alfa parçacık |
| A_t | Aktivite |
| β | Beta parçacık |
| Bq | Becquerel (bekerel) |
| Ci | Curie |
| cm | Santimetre |
| e^- | Elektron |
| e^+ | Positron |
| gr | Gram |
| γ | Gama ışını |
| I | Işın şiddeti |
| λ | Dalga boyu |
| mSv | Milisievert |
| MeV | Mega elektron volt |
| μ | Lineer zayıflatma katsayısı |
| η | Nötron |
| R | Röntgen |
| Rd | Rutherford |
| sn | Saniye |
| V | Volt |
| v | Frekans |
| x | Kalınlık |
| X- | Röntgen ışını |
| Kısaltmalar | Açıklama |
| LZK | Lineer zayıflatma katsayısı |
| TAEK | Türkiye Atom Enerjisi Kurumu |
| SDÜ | Süleyman Demirel Üniversitesi |

1.GİRİŞ

Orta çağdan sonra günümüze doğru geldikçe insanoğlunun merakıyla gelişen bilgi birikimi ve teknoloji, birçok çalışmanın yapılmasına olanak sağlamıştır. Radyasyon varlığının bilinmediği zaman aralığında araştırmacılar ve halk, radyasyonun ne kadar tehlikeli olduğunun farkına varmamışlardır. Radyasyon ve radyoaktivite ile ilgili çalışma yapan araştırmacılar zaman içerisinde kendi vücutlarındaki değişim ile radyasyonun ne kadar tehlikeli olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Radyasyon ve radyoaktif madde ile zaman geçirecek olan bir kişinin daha temkinli yaklaşmasının gerekliliği anlaşılmıştır.

1887 yılında Joseph John Thomson'un elektronu keşfinden sonra ilerleyen süreç içerisinde W. K. Roentgen 1895 yılında X-ışınlarını keşfetmiştir. Çekirdek hakkındaki ilk çalışmalar 1911 yılında Rutherford tarafından yapılmıştır. İlk nükleer reaksiyonlar Rutherford'un Laboratuvarında bir radyoaktif kaynaktan çıkan α parçacıkları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hedef çekirdekte elastik olarak geri saçılan α parçacıkları (Rutherford saçılması) atom çekirdeğinin varlığı ile ilgili ilk delildir [Krane, 2002]. Çekirdeğin varlığı Rutherford'un 1911 yılında yaptığı saçılma deneyleri ile tespit edilmiş olsa da, çekirdek fiziğinin doğum yılı H. Becquerel'in Uranyum tuzu kristalinin fotoğraf plağında bazı lekelerle sebep olduğunun gözlemlendiği 1896 yılı kabul edilir [Özdoğan ve ark., 2005]. Fotoğraf plağındaki lekeler ile üç farklı tip enerjileri ayırarak Alfa parçacığı (α), Beta parçacığı (β) ve Gama (γ) ışımaları olarak adlandırılmıştır. Nötronların ise J. Chadwick tarafından 1932 yılında keşfedilmesiyle birlikte yüksüz olduklarından dolayı yüksek giriciliğe sahip olmaları göz önünde bulundurularak nükleer reaksiyon meydana getirmek üzere kullanılabilecekleri düşünülmüştür.

Bilim alanında yapılan büyük buluşlar yeni gelişmelere yön vermiş radyasyon ve radyoaktif maddelerin yapay yollarla üretilmesine katkı sağlamıştır. Radyasyonun madde ile etkileşimi ve yeni parçacıkların keşifleri, ilerleyen teknolojiye şekil vermiştir ve çekirdek fiziği, enerji üretiminden kanser teşhis ve tedavisine, yaş tayininden yapı analizine, vb. geniş bir uygulama sahasına sahip olmuştur. Nükleer

reaktörler ve nükleer silahların gelişimine yol açmıştır. Bu çalışmalar radyasyona maruz kalan insan sayısında da artışa neden olmuştur. Bu sebepten dolayı radyasyon barındıran çalışma alanlarının radyasyon geçirimsizliği istenmektedir. Radyasyon zırhı, iyonlaştırıcı radyasyon kaynağı ile korunacak nesne arasına yerleştirilen engel bir bariyerdir, radyasyon şiddetini azaltır [Kaplan, 1989].

Radyasyon zırhlamada ekonomik olması açısından beton çok kullanılan bir malzemedir. Beton içerisine radyasyon türüne göre farklı malzemeler eklenerek ağır betonlar elde edilir radyasyon geçirgenliğinin azaltılması amaçlanır.

Bu çalışmada, radyasyon geçirimsizliğini sağlayabilecek betonlar geliştirmek için farklı malzemeler ile katkılanan beton örnekleri yanında eski yapılarda kullanılan horasan harcına benzer kalıplar hazırlanarak radyasyon tutuculuk özelliklerinin ölçülmesi amaçlanmıştır.

Horasan harcı; henüz çimentonun bulunmadığı eski Yunan ve Roma dönemlerinde yapıların inşalarında kullanılmıştır. Tarihi yapıların inşasında kullanılan horasan harcı ana malzeme olarak tuğla kırığı ve kireç kullanılarak hazırlanmaktadır. Günümüze kadar ulaşan tarihi yapılarda ana malzemelerin özelliklerini geliştirmek amacı ile harç içinde farklılık gösteren organik ve inorganik maddelere rastlanılmıştır [Böke ve ark., 2004]. Beton içerisinde kullanılan malzemeler radyasyon soğurma katsayısını $\mu(\text{cm}^{-1})$ etkilemekte olduğu göz önünde bulundurularak horasan harcı ile de soğurma denemeleri yapmak amaçlanmıştır.

Araştırma deneylerinde, çimentodan önce geliştirilen horasan harcının radyasyon zırhlama üzerinde nasıl bir etki gösterdiği araştırılmıştır. Soğurma katsayısı $\mu (\text{cm}^{-1})$ değerleri, hazırlanan tüm zırh materyalleri için hesaplanmıştır. Horasan harcı kalıpları ve standart çimento katkılı betonlar için kullanılan malzemelerin gösterdiği etkiler tartışılmıştır. Hazırlanan betonların gama ışını geçirgenlik düzeyleri belirlenmiştir.

Bu çalışmanın ilk bölümünde radyasyonun tarih kronolojisi ve çalışma hakkında genel bilgi verilmiştir. İkinci bölümde, konu ile ilgili tanımlamalara ve temel bilgilere yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde, kaynak araştırması sırasında bahsi geçen çalışmalardan söz edilmiştir.

Dördüncü bölümde, materyal ve metot kısmında çalışmada kullanılan malzemeler, cihazın çalışma prensibine ve deneyin yapılışı ile ölçümüne kadar geçen süreç aşamalı olarak anlatılmıştır.

Beşinci bölümde ise, deneysel çalışma sonunda elde edilen grafik verileri yorumlanmış ve elde edilen verilerin yorumlanması ile ulaşılan sonuçlar verilmiştir.

2. TEMEL BİLGİLER

2.1.Radyasyon ve Radyoaktivite

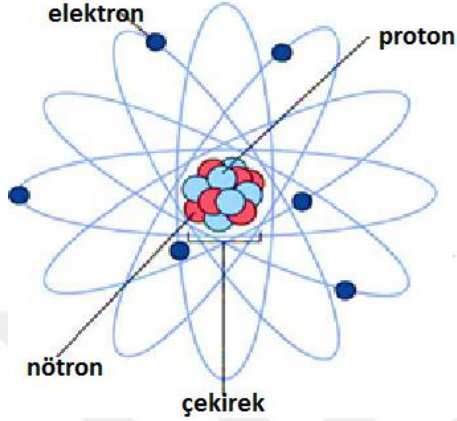
2.1.1. Atom ve yapısı

M. Ö. Yunanlı filozof Leucippus maddenin gözle görülemeyecek kadar küçük ve bölünemeyen parçacıklardan oluştuğu fikrini sunmuştur. Yunanca' da atom kelimesi, bölünemez anlamına gelmektedir. 19. yüzyılın başına kadar, madde yapısına ait fikirler deneysel dayanaklardan yoksun teoremsel düzeyde kaldığı için çok fazla ilgi görmemiştir. Leucippus tarafından ortaya atılan bu görüşü 1807 yılında, İngiliz bilim adamı J. Dalton atom hakkında yeni bir model ileri sürmüştür. Dalton atomun yapısını bilimsel anlamda inceleyen ilk kişidir. Dalton' un adını taşıyan atom modeli, atomun içyapısını açıklayamamış fakat sonraki modellerin geliştirilmesinde önemli rol oynamıştır. Atomun parçalanamaz olduğu kabulü 1887 yılında Joseph John Thomson' un elektronu keşfinden sonra değişmiştir. 1911 yılında Ernest Rutherford ile arkadaşları tarafından çekirdek hakkındaki ilk çalışmalar yapılmış ve atom çekirdeğinin keşfi gerçekleşmiştir. Niels Bohr ise 1913 yılında, atom modelini geliştirmiştir. Rutherford-Bohr atom teorisine göre; elementlerin kendi özelliklerini taşıyan atomlar, bir çekirdek ve etrafındaki farklı enerji düzeylerindeki yörüngelerde dönen elektronlardan meydana gelmiş birimlerdir [Uyar ve ark., 2003].

Atoma göre daha küçük olan temel parçacıklara veya bileşen parçacıklara atom altı parçacıklar denir. Nükleer fiziğin ve parçacık fiziğinin beraber incelediği atom altı parçacıklarla ilgili çalışmalar, temel parçacıkların etkileşimleri ve atomik olmayan maddeler üzerine yapılan çalışmalardır. Atom pozitif yüklü bir çekirdekten ve bunun etrafında eliptik yörüngelerde dolaşan negatif yüklü elektronlardan oluşur. Çekirdek (nükleon) ise proton ve nötronlardan oluşur (Şekil 2.1).

Çekirdekte bulunan pozitif yüklü protonların sayısı atom numarasını (Z) gösterir ve çekirdeğin toplam atom kütleini (A =Atom ağırlığı) oluşturur. Yörüngelerde dolaşan elektronlar yörüngelerine bağlanma kuvveti ile bağlıdır. Her bir yörüngede belirli sayılarda elektron bulunur. Protonla nötronun kütleleri hemen hemen birbirine eşit

sayılabilir. Elektronun kütlesi yaklaşık olarak protonun kütlesinin 1840 da biri civarındadır [Yülek, 1992].



Şekil 2.1. Atom yapısının şematik görünümü

Atomlar birbirine değmezler ve Van der Waals yarıçapı adı verilen uzaklıkta bir arada tutulurlar. Van der Waals yarıçapı 1 nanometreden azdır ($1\text{nm}=1\times 10^{-9}$ metre). Tekli atomlar doğada sık görülmezler ve onun yerine atomlar önce molekülleri sonrada maddeyi oluşturmak için çiftler veya gruplar halinde birleşirler [Uyar ve ark., 2003].

İzotop atomların, nötron sayıları farklı olup proton sayıları aynıdır. Bu atomların kimyasal özellikleri aynı iken fiziksel özellikleri farklılık gösterir. Nötron ile proton sayıları aynı olduğu halde farklı enerji ve farklı yarı ömre sahip çekirdeklere *izomer* çekirdekler, aynı kütle numarasına sahip çekirdekler *izobar*, nötron sayıları aynı olan çekirdeklere ise *izoton* çekirdekler denir.

2.1.2. Radyasyonun tanımı ve türleri

Doğada bulunan elementlerin atomları kararlı ve kararsız çekirdeklere sahiptir. Kararsızlık, ağır çekirdeklere sahip atomların fazla enerjisinden kaynaklanmaktadır. Bu ağır çekirdekler radyoizotop veya radyoaktif çekirdek olarak adlandırılır.

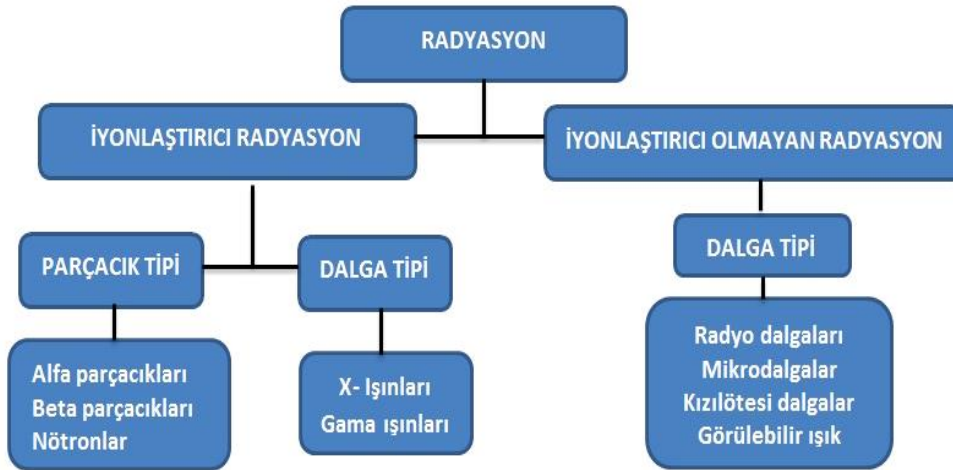
Radyoaktif çekirdeklerin fazla enerjilerinden kurtulmaya ve kararlı duruma geçme olayına *radyoaktivite* veya *radyoaktif parçalanma* denir.

Radyasyon iç dönüşüm geçiren atomlar tarafından yayımlanır, boşlukta ve madde içerisinde ilerleyebilir. Radyasyonun yayılımı, parçacık, dalga veya foton olarak adlandırılan enerji paketleri şeklindedir. Bu enerji, yayımlayan kaynağın özelliğine göre parçacık tipi veya elektromanyetik dalga tipi şeklinde taşınabilir (Şekil 2.2).

Radyasyonu,

- Enerjisine göre (düşük ve yüksek enerjili radyasyon)
- Türüne göre (parçacık radyasyonu ve elektromanyetik radyasyon)
- Kaynağına göre (doğal ve yapay radyasyon kaynakları)

olmak üzere üç ana parametre kullanarak tanımlamak mümkündür [Seyrek, 2007].



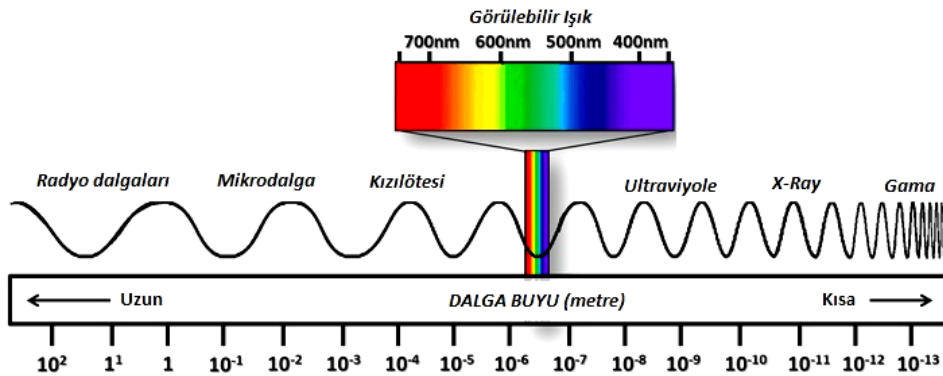
Şekil 2.2. Radyasyonun çeşitleri

İyonize (iyonlaştırıcı) radyasyon yüksek enerjili radyasyondur ve atomu iyonize edebilen atomun elektronunu koparabilen radyasyon türüdür. İyonize radyasyon

etkileştiği maddede yüklü parçacıklar (iyonlar) ortaya çıkarabilen radyasyondur. Bu radyasyonlar Alfa parçacığı, Beta parçacığı, Gama ve X- ışınları' dır.

İyonize (iyonlaştırıcı) olmayan radyasyon düşük enerjili radyasyondur. Yeteri kadar enerjisi olmadığı için etkileştiği materyal içindeki atomları iyonize edemez yüklü parçacık (iyon) oluşturamaz sadece uyarır. İyonize olmayan radyasyona örnek radyo dalgaları, görünür ışık, mikro dalgalar, kızılötesi ve (çok kısa dalga boyluları hariç) morötesi ışıklardır.

Elektromanyetik spektrumda bulunan tüm radyasyonların enerjisi, yükü ve kütlesi olmayan fotonlar tarafından taşınır (Şekil 2.3). İyonize edici elektromanyetik radyasyon yörüngeden yayımlanıyor ise x-ışını, çekirdekten yayımlanıyor ise gama ismini alır.

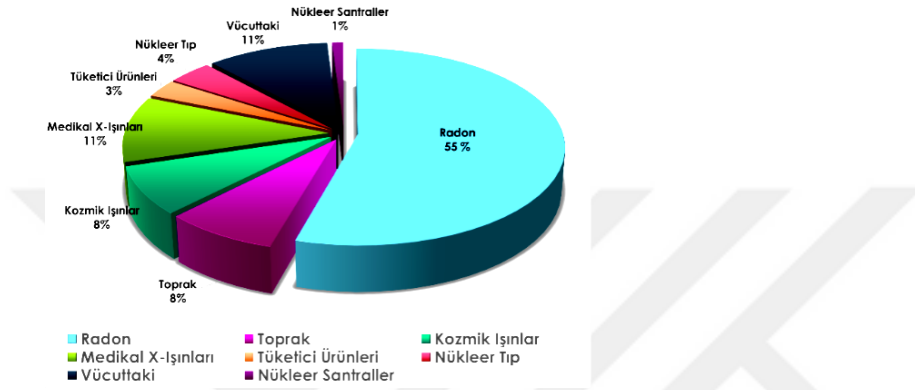


Şekil 2.3. Elektromanyetik spektrum

2.1.3. Radyasyon kaynakları

Dünyanın oluşumundan bu yana tabiatta var olan çok uzun ömürlü (milyonlarca yıl) radyoaktif elementler bulunmaktadır. Bu radyoaktif elementler yaşam alanımızda doğal bir radyasyon düzeyi oluşturmuşlardır. Bu radyasyon düzeyi, nükleer çalışmalar ve bazı teknoloji ürünlerin ortaya çıkması ile yükselmiş ve artış göstermeye devam etmektedir (Şekil 2.4).

Mevsimler, hava şartları, kutuplara olan mesafe, alçak-yüksek basınç vb. gibi doğal koşullar da doğal radyasyon seviyesini etkilemektedir. Kişinin maruz kaldığı doğal radyasyon seviyesini belirleyen yaşanan yer ve binalarda kullanılan malzemeler gibi birçok neden vardır [Değerliler, 2012].



Şekil 2.4. Radyasyon kaynakları [TAEK, 2015].

Doğada bulunan elementlerden bir kısmı kararlı, bir kısmı kararsızdır. Kararsız elementler radyoaktif ışınlar (radyasyon) salarlar. Bu kararsız elementlere doğal radyoaktif elementler (U^{238} , Ra^{226} , vb.) denir. *Doğal radyoaktivite* ise radyoaktif elementlerin radyoaktif ışın (radyasyon) salma olayıdır. Uranyum izotopunun parçalanması ile radyasyon salma olayı doğal radyoaktiviteye örnek olarak gösterilebilir. *Yapay radyoaktivite* ise doğada bulunan kararlı izotopların radyasyona maruz bırakılarak yapay yolla aktif hale getirilip çekirdeğin parçalanmaya uğraması ile gerçekleşir [TAEK, 2015].

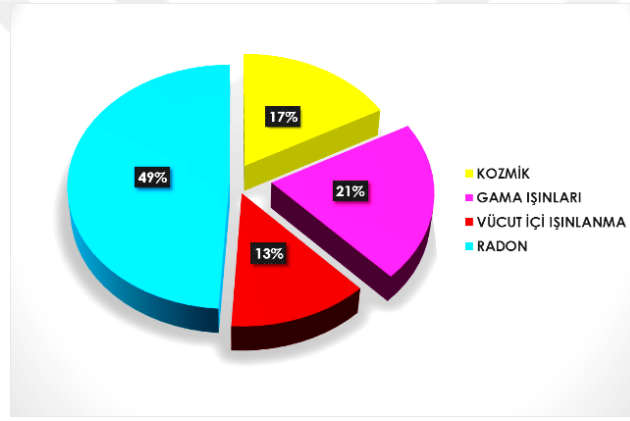
Doğal ve yapay olmak üzere radyasyon kaynaklarını iki sınıfta inceleyebiliriz (Şekil 2.6).

2.1.3.1. Doğal radyasyon kaynakları

Canlılar sürekli olarak doğal radyasyonla iç içe yaşamışlardır. Uzun yıllardan beri evrenden gelen kozmik ışınlar ve yer kürede var olan doğal radyoaktif maddeler

tarafında, tüm canlılar var oluşlarından bu yana yayılan radyasyonla ışınlanmışlardır. Doğal radyasyon kaynaklarını iki sınıfa ayırabiliriz (Şekil 2.5).

- *Kozmik ışınlar*: uzaydan gelen yüksek enerjili parçacıklardır büyük bir çoğunluk protonlardır.
- *Yeryüzü kaynakları*: dünyanın oluşumundan itibaren yerkabuğunda doğal olarak bulunan radyoizotoplardır. U^{238} ve Th^{232} serilerinden ve K^{40} radyoizotoplardan kaynaklanan gama ışınlarıdır.



Şekil 2.5. Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri [TAEK, 2015].

Radon: Su, toprak ve kayada bulunan doğal uranyumun radyoaktif bozunması sonucunda radon oluşur. Radon bir soy gazdır ve 86 atom numarasına sahiptir. Uranyum bütün doğal malzemelerde bulunacağından dolayı radonun toprak, kaya ve tüm yapı malzemelerinden çevreye salınması kaçınılmazdır [Öter, 2013].

2.1.3.2. Yapay radyasyon kaynakları

Temel tanecikler ile (alfa, nötron, proton...) bombardıman edilen radyoaktif olmayan bir atom çekirdeğinin kararsız çekirdekler haline dönüştürülmesi olayına yapay radyoaktiflik denir. İnsanoğlu birçok işini daha iyi, ucuz, hızlı ve daha kolay yapabilmek için teknolojik gelişime ihtiyaç duymuş ve bu teknolojik gelişim içinde radyasyon kaynaklarını yapay yollarla üretme gereği duymuştur.

Tıbbi Uygulamalar: Radyasyonun tıbbi alandaki uygulamaların temelini, radyasyon ile görüntü elde edebilme ve radyasyon sayesinde hastalıklı hücreyi veya tümörleri yok edebilmeye dayanır. Radyasyon hastalıkların teşhis ve tedavisinde önemli rol oynar.

Tanısal Radyoloji: Röntgen filmi olarak bilinen radyografi filminin oluşturulmasında hastalıklı bölgenin belirlenmesi için X ışınları kullanılır. X ışınları hastalıkların teşhisinde önemli bir yere sahiptir.

Nükleer Tıp: Radyoaktif maddelerden salınan gama ışınlarını algılayabilecek özellikte cihazlarla radyoaktif maddenin vücuttaki dağılımı veya akışını incelemek mümkündür. Vücuda verilen bazı radyoaktif maddeler organ ve dokuların iş görme yetisini incelemek amacıyla kullanılır.

Radyoterapi: Radyasyon genel olarak yüksek enerjiye sahip elektron hızlandırıcılar ve ^{60}Co radyoaktif kaynaklı cihazlarda kullanılır.

Gıda Muhafazası: Radyasyonun yiyeceklerin muhafazasındaki kullanımı artmaktadır. Yüksek seviyede radyasyon bakteri ve küf sporlarını tahrip etmekte ya da yetersiz bırakmaktadır.

Endüstriyel Uygulamalar: Borular, buhar kazanları vb. endüstriyel ürünlerin hatalı olup olmadığı X ve gama ışınları kullanılarak röntgen filmi ile tespit edilebilir.

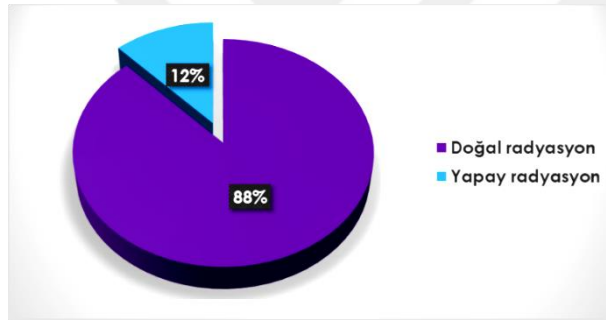
Nükleer Serpinti: Radyoaktif çevre kirliliğine neden olarak gösterilecek en büyük pay atmosferde yapılan nükleer bomba denemeleridir ve bunun sonucunda meydana gelen radyoaktif serpintilerdir.

Nükleer Güç Santralleri: Bir nötronun uranyum gibi ağır radyoaktif atoma çarpması ile daha hafif atomlara bölünmesi olayına fisyon ve hafif radyoaktif atomların

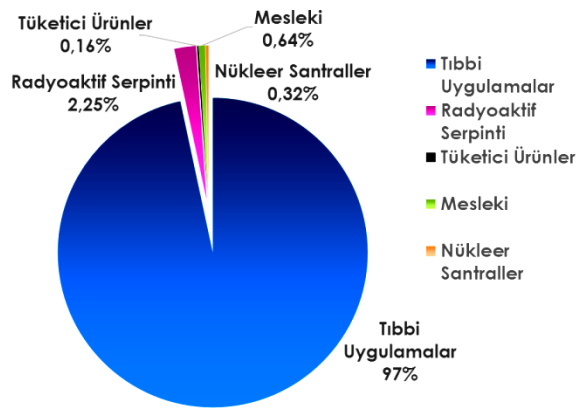
birleşerek daha ağır atomların meydana gelmesi olayına füzyon denir. Bu olaylar aşamasında nükleer enerji açığa çıkar.

Tüketici Ürünleri: Tüketici ürünleri çok az da olsa radyoaktif madde barındırır bu ürünlere örnek olarak televizyon, detektör ve fosforlu saatler gibi bazı tüketici ürünleri gösterilebilir. Yakıt olarak kullanılan gübre ve kömürün uranyum, radyum, potasyum-40 ve toryum içeren fosfatın kullanılmasıyla çevreye belli bir radyasyon dozu salar.

Yukarıda ki yapay radyasyon kaynakları gibi kullanım alanları, dünyada maruz kalınan yapay doz seviyesini değiştirmektedir (Şekil 2.7).



Şekil 2.6. Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarının küresel radyasyon dozunun oransal katkıları [TAEK, 2015].



Şekil 2.7. Yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozunun oransal değerleri [TAEK, 2015].

2.1.4. Radyoaktif bozunma modelleri

Bir radyoaktif çekirdek kendiliğinden şu üç süreçten biri ile bozunmaya uğrar: Alfa bozunumu, beta bozunumu veya gama bozunumu.

2.1.4.1. Alfa bozunma modeli

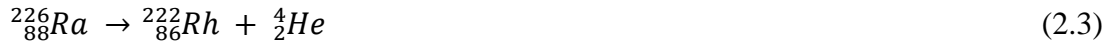
Rutherford, alfa parçacığının, iki proton ve iki nötrondan oluşan Helyum çekirdeği olduğunu göstermiştir. Temsili olarak ${}^4_2\text{He}$ şeklinde gösterilmektedir. Bir çekirdek, alfa parçacığı (${}^4_2\text{He}$) yayınlanırsa, iki nötron ve iki proton kaybeder. Böylece N sayısı 2, Z sayısı 2 ve A sayısı da 4 azalır. Bozunma sembolik olarak aşağıdaki şekilde yazılabilir “Eş. 2.1”.



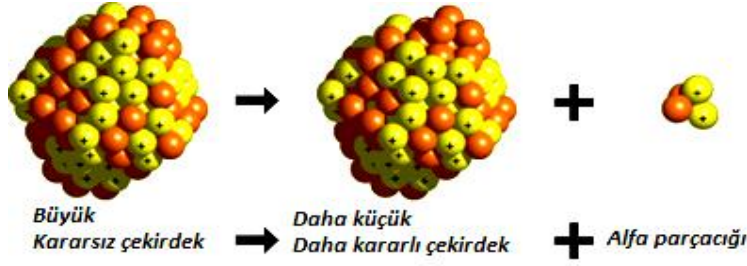
Burada, X' e *ana çekirdek*, Y' ye de *ürün çekirdek* denir. Bozunma genel kurallar çerçevesinde gerçekleşir.

- Kütle numarası A' nın toplamı, eşitliğin her iki tarafında aynı olmalıdır.
- Atom numaraları Z toplamı, eşitliğin her iki tarafında aynı olmalıdır.

Örnek olarak ${}^{238}_{92}\text{U}$ ve ${}^{226}_{88}\text{Ra}$ un her ikisi de alfa yayımlar ve aşağıdaki şemaya göre bozunurlar:



Alfa bozunması meydana geldiğinde bir element başka bir elemente dönüşür (Şekil 2.8). Bu bozunmada ayrıca rölativistik enerji ve momentum korunmalıdır.



Şekil 2.8. Alfa bozunma modeli

Ana çekirdeğin kütlesine M_X , ürün çekirdeğin kütlesine M_Y ve alfa parçacığının kütlesine M_α dersek, *bozunma enerjisi* Q 'yu, aşağıdaki gibi tanımlayabiliriz.

$$Q = (M_X - M_Y - M_\alpha)c^2 \quad (2.4)$$

Momentumun korunumu uyarınca ortaya çıkan enerjinin büyük bölümünü küçük kütleye sahip olan alfa parçacığı alır. ${}^4_2\text{He}$ çekirdeği yüksek enerjiye sahip olsa dahi menzili çok kısadır. Menzilin kısa olmasının sebebi ağır kütesidir. Alfa bozunumu kütle numarası 190'dan büyük çekirdeklere daha çok karşılaşırlar. Enerji spektrumu kesikli değerler alır 4 MeV ile 10 MeV arasında değişim gösterir. İçinden geçtiği maddenin elektronlarıyla yoğun bir şekilde etkileşir bunun sebebi ise yüklü bir parçacık olmasıdır.

2.1.4.2. Beta bozunma modeli

Bir radyoaktif çekirdek beta bozunumu yaptığında, ürün çekirdek, ana çekirdekle aynı sayıda nükleon içerir. Atom numarası, protonların sayısının değişmesi ile 1 kadar değişir:



Burada e^- sembolü elektronu ve e^+ pozitronu göstermekte kullanılır. *Beta parçacığı* terimi bunların genel adıdır. Alfa bozunmasında olduğu gibi, nükleon sayısı ve toplam yük beta bozunmasında da korunur. Beta bozunmasında A değişmediği fakat Z değiştiğinden, ya nötron protona dönüşür “Eş. 2.5” veya proton nötrona dönüşür “Eş. 2.6”. Bu bozunmalarda, çekirdekte bulunmayan elektron veya pozitron yayınlanır. Bunlar bozunma anında, bozunan çekirdeğin durgun enerjisinden oluşturulur [Seyrek, 2007].

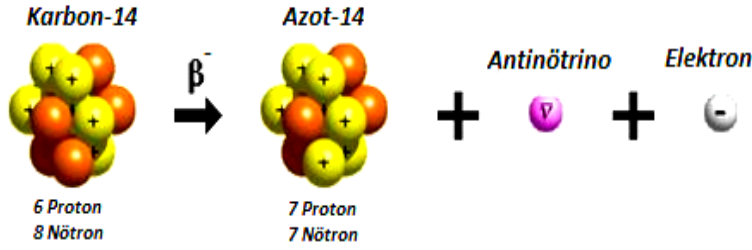
Her bozunma için Q değeri aynı olmalıdır. Pauli 1930 yılında “kaybolan” enerji ve momentumu taşıyan üçüncü bir parçacığın varlığını önerdi. Daha sonra Fermi bu parçacığa *nötrino* (küçük nötr parçacık) adını verir. Nötrino, elektrik yükü nötr, kütlesi son derece küçük bir parçacıktır. Nötrino ν sembolü ile gösterilir. *Pozitron bozunumunda nötrino ν , elektron bozunumunda ise antinötrino $\bar{\nu}$ yayınlanır.*

Beta bozunumunu üç farklı türde inceleyebiliriz. Bunlar:

β^- bozunma modeli: Çekirdekteki nötron fazlalığından dolayı radyonüklid kararsız ise, çekirdekteki enerji fazlalığı nötronlardan birini proton ve elektron haline dönüştürülerek giderilir “Eş. 2.7”. Elektron hızla atomdan dışarı atılır, proton çekirdekte kalır (Şekil 2.9).



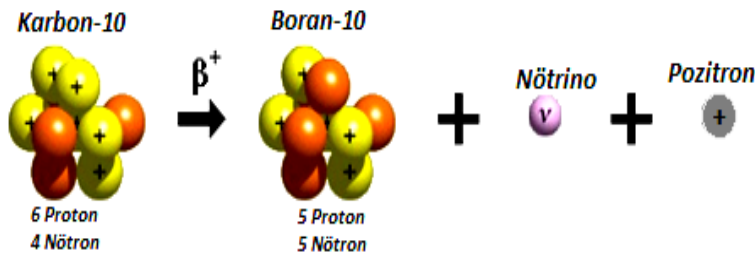
Bu şekilde beta emisyonu gerçekleştiren radyonüklidin atom numarası bir artar ve kendinden bir sonra bulunan elementin izobar atomuna dönüşür. Kütle sayısında bir değişme olmadığı için bu bozunuma *izobarik bozunma* adı verilmiştir.

Şekil 2.9. β^- -bozunma modeli

β^+ bozunma modeli: Nötronun az veya protonun fazla olama durumundan dolayı atom kararsız ise protonlardan biri nötron ve pozitif yüklü elektrona (pozitrona) dönüşür “Eş. 2.8”.



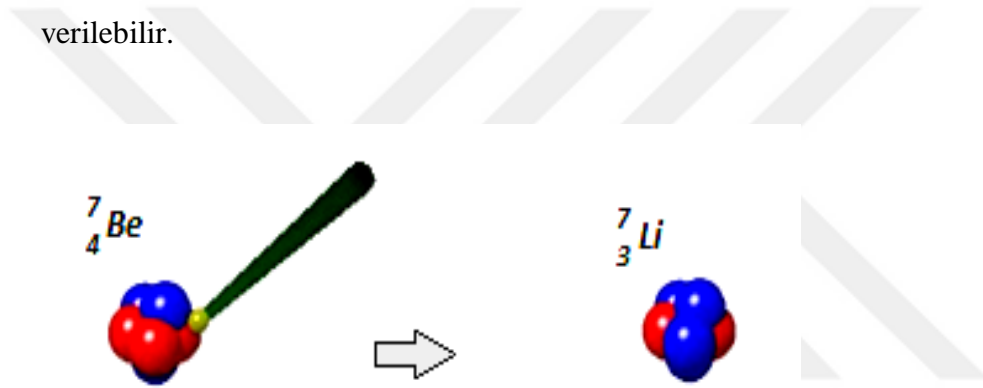
Pozitron dışarı fırlatılır, nötron çekirdekte kalır (Şekil 2.10). Pozitron yayımlayan radyonüklidin proton sayısı (atom numarası) bir eksilir ve kendinden bir önce bulunan elementin (izobar) atomuna dönüşür, kütle sayısında değişiklik olmaz.

Şekil 2.10. β^+ bozunma modeli

Elektron Yakalama Olayı: Kararsızlık proton fazlalığından kaynaklanıyor ise ana çekirdek orbital elektronlarından birini yakaladığında oluşur ve bir nötrino yayınlanır (Şekil 2.10). Protonla bir elektron birleşerek nötron ve nötrino haline dönüşür “Eş. 2.9”. Bozunmadan sonraki ürün çekirdek, yükü Z-1 olan bir çekirdektir “Eş. 2.10”.



Çoğunlukla K-kabuğundaki elektron yakalanır. Bu nedenle bu süreç *K yakalaması* isimlendirilir. Bir örnek ${}^7_4 Be$ tarafından elektronun yakalanmasına örnek



Şekil 2.11. Elektron yakalama olayı

Nötrinin dedekte edilmesi çok zor olduğundan, elektron yakalama genellikle x-ışını yayımı ile gözlenir. *Bremmstrahlung (frenlem)* radyasyonu adı verilen X-ışınları, K kabuğundan oluşan boşluğun daha üst kabuk elektronlarınca doldurulması sonucun yayınlanır.

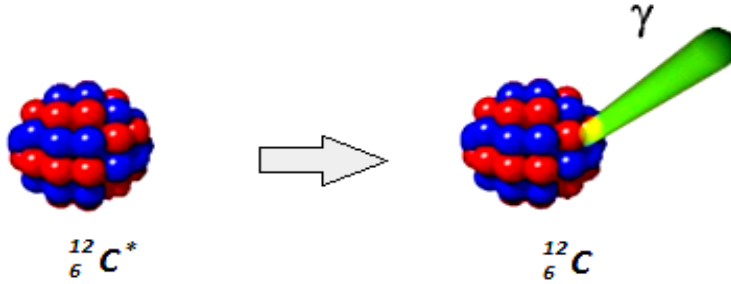
Beta bozunumu süreçleri için Q değerlerini belirlersek: e^{-} bozunması ve elektron yakalanması için Q değeri $Q = (M_X - M_Y)c^2$ ile verilir. Burada M_X ve M_Y nötr atomların kütleleridir. e^{+} bozunması için Q değeri $Q = (M_X - M_Y - 2m_e)c^2$ ile verilir. Bu bağıntılar, bozunma sürecinin enerjik olarak mümkün olup olmadığını bulmada kullanılır.

2.1.4.3. Gama bozunma modeli

Radyoaktif bozunma yapmış bir çekirdek, genel olarak uyarılmış enerji seviyesinde kalır. Uyarılmış enerji seviyesinde kalan çekirdek ikinci bir bozunmayla bir foton yayımlar ve daha düşük enerji seviyesine, belki taban durumuna geçer:



Burada, X^* çekirdeğin uyarılmış enerji seviyesinde olduğunu gösterir. Uyarılmış çekirdek seviyesinin tipik yarı-ömrü 10^{-10} sn'dir. Çekirdeğin uyarılmış enerji seviyesinden daha düşük enerji seviyesine düşerken yayınladığı fotonlara gama ışınları denir (Şekil 2.12). Çekirdek gama ışını yayınlarken bozunduğunda, çekirdekteki değişim sadece, bulunduğu yüksek enerji seviyesinden daha düşük enerji seviyesine düşmesidir.



Şekil 2.12. Gama bozunma modeli

Bir çekirdeğin uyarılmış bir enerji seviyesine ulaşmasının en yaygın yolu alfa ya da beta bozunumudur. Ardından gama bozunumunun meydana geldiği tipik bir olay aşağıda verilmiştir.



Bir çekirdek, bir diğer parçacıkla şiddetli bir çarpışma sonucunda da uyarılmış enerji seviyesine ulaşabilir.

2.2.Radyasyonun Madde ile Etkileşimi

Yüklü parçacıkların enerji tayinini madde tarafından soğurulmasının ölçümüyle yapmak mümkündür. Madde içinden geçen yüklü parçacık geliş doğrultusunda sapma ve enerji kaybı yaşar bu iki özelliikle yüklü parçacık karakterize edilirler.

X ışını ve gama gibi bütün elektromanyetik radyasyonlar birçok olayda parçacık davranışı gösterirler bu yüzden çok küçük enerji paketleri anlamına gelen *foton* radyasyon birim elemanı olarak adlandırılır. Foton içinden geçtiği maddenin atomları ile etkileşir. Etkileşim durumu maddeyi oluşturan elementlerin kütle numarasına ve fotonun enerjisine bağlıdır. Radyasyonun madde ile etkileşiminde genel kurallar:

- Enerjili atomlar açığa çıkar → iyonlaşma
- Elektronları saçan, geri tepen atomlar ile ağır ve yüklü parçacıklardır.
- Hareketli ve yüklü parçacıkları elektronlar oluşturur.
- Geri tepen çekirdekleri nötronlar oluşturur.
- Hareketli elektronları fotonlar oluşturur.

Değişik tip radyasyonların madde ile etkileşimleri birbirinden farklıdır. Etkileri alt gruplara ayırarak incelemek gerekirse:

1. Doğrudan iyonlayıcı radyasyonların madde ile etkileşimi:

- Ağır parçacıkların (alfa, muon, pion, dötürün, proton) madde ile etkileşimi
- Hafifi parçacıkların (beta, pozitron) madde ile etkileşimi

2. Dolaylı iyonlayıcı parçacıkların madde ile etkileşimi:

- X ve gama ışınlarının (elektromanyetik radyasyonların) madde ile etkileşimi
- Nötronların (elektrik yükü olmayan parçacıkların) madde ile etkileşimi

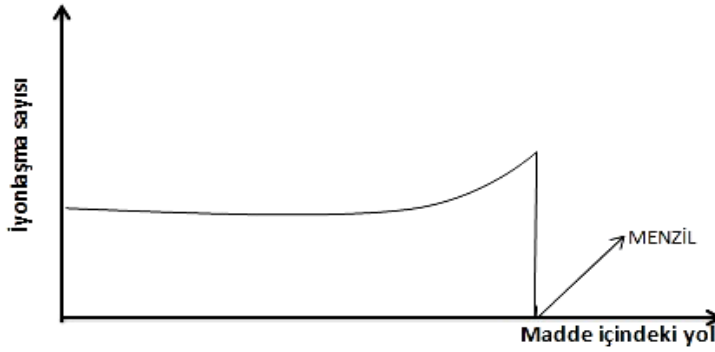
2.2.1. Ağır parçacıkların madde ile etkileşimi

Alfa parçacıkların kütlesi yaklaşık olarak elektronun 7500 katıdır. İki proton ve iki nötrondan oluşan pozitif yüklü parçacıklardır. Alfaların hızı ışık hızınının 20 de biri

civarındadır çünkü radyoaktif atom çekirdeklerinden fırlatılan alfaların sahip olacakları enerji en fazla 9 MeV civarındadır. Alfa parçacıkları çekirdeğe yaklaştıklarında kuvvetli bir elektrostatik itici kuvvete maruz kalacaklar, elektrona yaklaştıklarında ise aksine kuvvetle çekileceklerdir.

İnelastik çarpışma ağır yüklü parçacıkların madde içerisindeki enerji kaybına neden olur. Çarpışma sonunda alfalar soğurucu maddede iyonlaşma, uyarma (eksitasyon) veya her ikisini birden meydana getirirler. İyonlaşma için bir miktar enerji gerektiğinden, etkileşime giren alfaların kinetik enerjileri her çarpışmada belirli bir miktar azalır. Diğer bir deyişle yüklü bir parçacık enerjisinin büyük kısmını madde içinde bir uçtan diğer uca ulaştırırken, elektronlar ile çarpışmadan dolayı kaybeder. Etkileşme esnasında alfaların ağır kütleleri sebebiyle yollarındaki sapma ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Yani, geçtikleri ortam içindeki alfaların yolları oldukça düzgündür. Bu sebeple, yüklü parçacık bir madde içinde belirli bir menzille karakterize edilebilirler. Parçacıkların madde içerisinde de duruncaya kadar aldıkları yola erişebildiği en uzak mesafeye *menzil* veya *erişme uzaklığı* denir.

Ağır yüklü parçacık madde içerisinde yavaşlayarak ilerler, kinetik enerjideki değişikliğe bağlı olarak enerji kaybındaki miktarda değişecektir. En çok enerjiyi durmaya yakın kaybederek daha çok iyonizasyon meydana getirecektir. Şekil 2.13'de ağır yüklü parçacığının, soğurucu ortamda meydana getirdiği iyonlaşma sayısının, aynı ortamda aldığı yola bağlı değişimi verilmiştir. Şekil 2.13 incelendiğinde, ağır yüklü parçacığının ortamda ilerlerken iyonlaşma olayının gerçekleştiği ve bu olaylar nedeniyle enerjisinin giderek azalmasına bağlı olarak hızı azaldığı iyonlaşma sayısının arttığı ve bir maksimuma erişerek iyonlaşma sayısının hızla düştüğü görülmektedir. Bu sonuca göre, yüklü parçacığının bütün enerjisini kaybettiği ve madde içinde yol alamaz hale geldiği noktadır.



Şekil 2.13. Alfaların soğurucuda meydana getirdiği iyon sayısının madde içinde kat ettiği yola göre değişimi

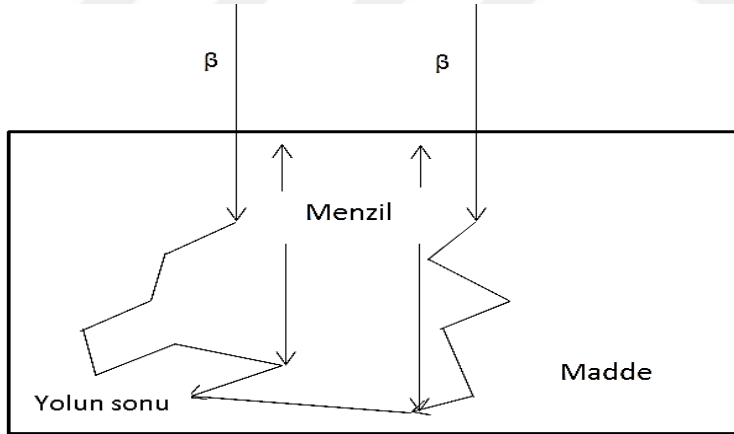
Alfa parçacıklarının birim yol uzunluğunda meydana gelen iyon çifti sayısı çok fazladır. İyon çiftinin meydana gelmesi alfaların her iyon çifti için sahip olduğu kinetik enerjinin bir kısmını harcaması demektir ve enerjilerini çok kısa bir mesafede kaybederler. Bu sebepten dolayı alfalar diğer radyasyon çeşitlerine göre çok kısa erişime uzaklığına sahiptir. Hava içerisinde bir iyon çifti oluşturmaları için alfa parçacığınının 35 eV'lik bir enerjiye ihtiyacı vardır. Alfa parçacıkları çok kısa menzilli uyarma ve iyonlaşma olaylarından oluştuğu için dış radyasyon tehlikesi çok azdır fakat vücut içerisine alındığında ulaştığı organda büyük tehlikelere yol açarlar [Yülek, 1992].

2.2.2. Hafif parçacıkların madde ile etkileşimi

Madde içerisindeki etkileşimleri elektron ve pozitronların için hemen hemen benzerdir. Ağır yüklü parçacıklarda olduğu gibi beta parçacıklarınının madde ile etkileşimi iyonlaşma ve uyarma olayları yanında ortamdaki çekirdeğin elektrik alanından da kaynaklanır. Aynı enerjiye sahip ağır yüklü ve hafif yüklü parçacıklar karşılaştırıldığında elektron ve pozitron gibi hafif yüklü parçacıkların kütleleri küçük olduğundan hızları yüksek olacaktır. Hafif kütleleri ve hızları sebebiyle de birim yolda ortaya çıkacak iyon çifti sayısı (spesifik iyonizasyon) çok az olacaktır. Betaların hızları ışık hızına eşit veya ışık hızının beş altı katı olabilirler bunun nedeni ise çekirdekte yayılan betaların enerjileri 0,015-5 MeV arasında değiştiğinden

dolayıdır. Beta ile atom çekirdeği zıt elektrik yükü taşımaktadır bundan dolayı betalar çekirdeğe yaklaştıklarında elektrostatik çekme kuvvetine maruz kalırlar. Hızları ve enerjileri yüksek olan beta parçacıkları bir çekirdek alanından geçtiklerinde enerji kaybına uğrarlar. Bu enerjiye ise frenleme radyasyonu ya da Bremsstrahlung denir. Radyasyon sürekli X ışını spektrumu şeklinde görülür. Etkileşme sonucunda X ışınlarının oluşması sebebiyle beta zırhlanmasında yüksek atom numara malzemenin kullanımı sakıncalıdır.

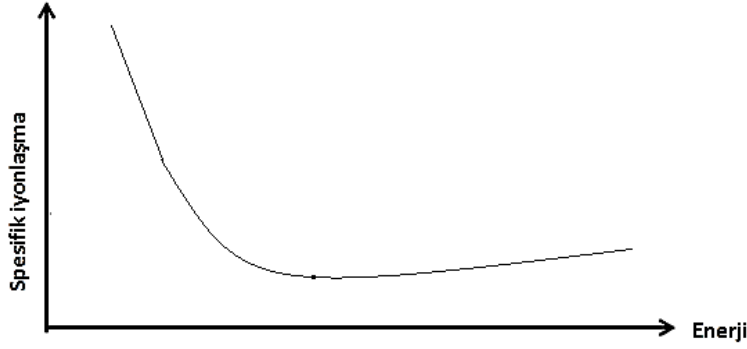
Yüksek hıza sahip betalar elektrostatik itme kuvvetine rağmen elektronlara çarpar ve onu yörüngesinden fırlatırlar. Etkileşime giren beta parçacığı tüm enerjisini elektrona verip onu yörüngesinden koparabileceği gibi koparıldıktan sonra başka bir doğrultuda ilerleyebilir. Bu olayı tekrarlayan beta soğurucu ortam içinde zikzak yollar çizer ve yolun sonunda enerjisinin tamamını kaybettiği görülür. Hafif yüklü parçacıkların kat ettikleri yol ağır yüklü parçacıkların kat ettikleri yol gibi düz olmayacaktır.



Şekil 2.14. Betaların menzili ve kat ettikleri yol

Betaların menzilleri etkileştiği madde içinde kat ettikleri yolu ifade etmez Şekil 2.14'de görüldüğü üzere beta parçacıklarının madde içinde kat ettiği yol, menzilden uzundur.

Betaların zikzaklı yollarından dolayı spesifik iyonizasyon değişimini çizmek olanaksızdır. Fakat enerjisi ile spesifik iyonizasyonu arasındaki değişimini grafik üzerinde incelememiz mümkündür (Şekil 2.15).



Şekil 2.15. Betaların, enerjisine bağlı olarak meydana getirdikleri spesifik iyonlaşma

Spesifik iyonizasyonun önce azaldığı bir minimuma eriştiği ve daha sonra hızla arttığı görülmektedir. İyonlaşma sayısının artmasının sebebi betanın enerjisinin azalmasına bağlı olarak hızının azalmasıdır.

Pozitronların (pozitif elektronlar) madde ile etkileşiminde, pozitronlar yörünge elektronları tarafından çekilir ve pozitron yörünge elektronları ile birleşir. Birleşim ile kütle enerjiye dönüşür ($E = mc^2$) sonunda çift oluşumun tersi gerçekleşir birbirine zıt yönde iki gama fotonu yayınlanır bu olaya ise *yok olma olayı* denir.

2.2.3. X ve Gama ışınlarının (fotonların) madde ile etkileşimi

Elektromanyetik dalga olan X- ve gama ışınlarının her ikisinin de madde ile etkileşimleri aynıdır. Diğer elektromanyetik radyasyonlardan farkları ise dalga boylarının çok kısa ve enerjilerinin yüksek olmasıdır. Elektromanyetik radyasyonlar parçacıklara benzer davranışlar gösterirler. Bütün paketlerde taşınan enerji belirli bir frekans da aynıdır. Radyasyonun birim elemanına foton denir ve küçük enerji paketleri anlamına gelir. “Eş. 2.15”.

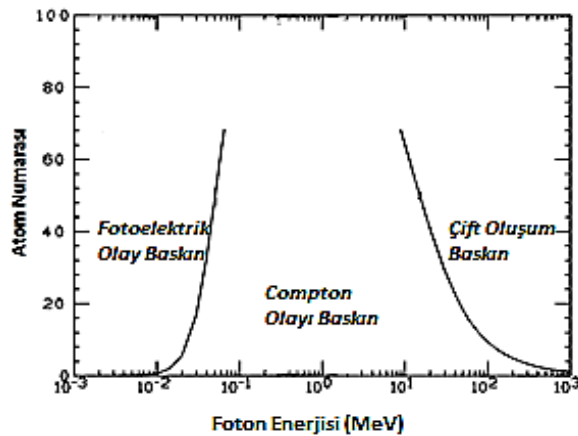
$$E = h\nu \quad (2.15)$$

X ışınları yüksek atom numaralı hedef atomların çekirdeklerine hızlandırılmış elektronların yaklaştırılması sonucu çekirdeğe çarpmaları ya da frenlenmeleri ile ortaya çıkarlar. Gama ışınları ise kararsız atomun çekirdeğinden yayınlanırlar ve yüklü parçacıklar gibi menzilleri yoktur. Elektrik yükleri bulunmayan X ve gama ışınları atom ile etkileşmeye girdiklerinde iyonlaşma oluştururlar. Elektriksel yükleri olmayan fotonlar (X ve gama ışınlar) yüklü parçacıklar gibi madde içerisinde itilip çekilmezler Coulomb kuvvetine maruz kalmazlar yolları üzerindeki parçacıklarla çarpışma yaparlar.

Fotonlar (X ve gama ışınlar) madde içerisinden geçerken çoğunluklar aşağıda ki etkileşmeler ile enerji kayıp ederler. Bunlar;

- *Foto elektrik* fotonun atomun iç yörünge (sıkı bağlı) elektronları ile etkileşimi olayı
- *Compton saçılması* fotonun atomun dış yörünge (zayıf bağlı ve serbest) elektronları ile etkileşim olayı (Thomson ve Rayleigh Saçılmasını içeriyor).
- *Çift oluşumu* fotonun atomun çekirdeğine yakın geçmesi bir pozitron ve bir elektron meydana getirmesi olayı

Fotonun (X ve gama ışını) enerjisi ve etkileştiği maddenin atom numarasındaki değişim bu üç olayın gerçekleşme ihtimalini etkiler (Şekil 2.16).



Şekil 2.16. Fotoelektrik, compton ve çift oluşumu olaylarının baskın olduğu bölgeler

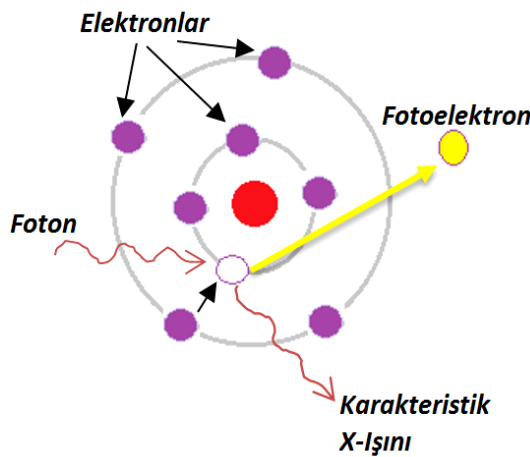
0,001 MeV ile 0,5 MeV arasında fotoelektrik olay, 0,1 MeV'den 0,5 MeV arasında saçılma olayı gerçekleşir. Çift oluşum olayı ise 1,02 MeV'den başlar ve artan foton enerjisi ile artar [Gümüş, 2011].

2.2.3.1. Fotoelektrik olay

Düşük enerjiye sahip foton içinden geçtiği maddenin atomlarının sıkı bağlı elektronlarından birine enerjisinin tamamını aktarır ve etkileştiği elektron atomdan fırlar çekirdeğin bağlayıcı enerjisinden kurtulur, fotoelektrik olayı gerçekleştirmiş olur (Şekil 2.17). Bu olay genellikle atomların K veya L yörüngelerinde bulunan elektronlar ile gerçekleşir. Fırlayan elektrona fotoelektron denir. Atomdan fırlayan elektron yörüngesinde bir boşluğa neden olur ve bu boşluk dış yörüngede bulunan başka bir elektronla doldurulur. Elektron boşluğu dış yörünge elektronları tarafından doldurulması sebebiyle *karakteristik X-ışını* yayımlanır.

Fotona ait enerjinin bir kısmı elektronu bağlı olduğu atomdan koparabilmek için, geri kalan enerjisi ise kinetik enerji olarak koparılan elektrona aktarılır "Eş. 2.16".

$$h\nu = E_{Bağlanma} + E_{Kinetik} \quad (2.16)$$



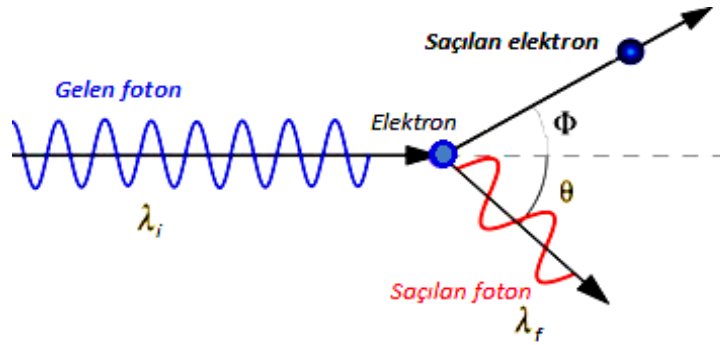
Şekil 2.17. Fotoelektrik olay

Fotoelektrik olayın özellikleri;

- Enerjisi 0,5 MeV'e kadar olan fotonların madde ile etkileşiminde en yaygın fotoelektrik olay görülür. Bu olayının olma olasılığı (tesir kesiti) fotonun enerjisi yükseldikçe küçülür, eğer fotonun enerjisi bağlanma enerjisinden biraz yüksek ise olayın gerçekleşme olasılığı artar.
- İçinden geçtiği maddenin atom numarası büyüdükçe bağlanma enerjisi de artar ve olayın gerçekleşme olasılığı artar.

2.2.3.2. Compton olayı

Gelen fotonun enerjisi 0,5 MeV' den büyük olduğu durumlarda etkileşime girdiği maddenin atomuna serbest halde veya zayıf bağlı bir dış yörünge elektronu ile etkileşir. Foton bu dış yörünge elektron ile elastik çarpışmayla enerjisinin ve momentumunun bir kısmını elektrona aktarır. Foton saçılma uğrayarak farklı bir doğrultuda yoluna devam eder. Meydana gelen elektrona *compton elektronu*, olaya ise *compton olayı* denir (Şekil 2.18).



Şekil 2.18. Compton saçılması

Dış yörünge elektronun bağlanma enerjisi kendisinden çok büyük olan foton ile çarpışması sonucu compton olayı gerçekleşir. Enerjisi azalmış olan saçılan foton ise farklı compton olayları ile enerji kaybeder ya da fotoelektrik olay yaparak soğrulur, sadece compton olayı ile fotonlar tamamen soğrulamazlar. Saçılan fotonla saçılan

elektron arasında oluşan açı, gelen fotonun enerjisine bağlıdır. Gelen ve saçılan fotonların dalga boyları arasındaki fark

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0c} (1 - \cos\theta) \quad (2.17)$$

İfade edilir (Eşit. 2.17). Burada $\frac{h}{m_0c}$ Compton dalga boyu olarak adlandırılır.

Compton olayın özellikleri;

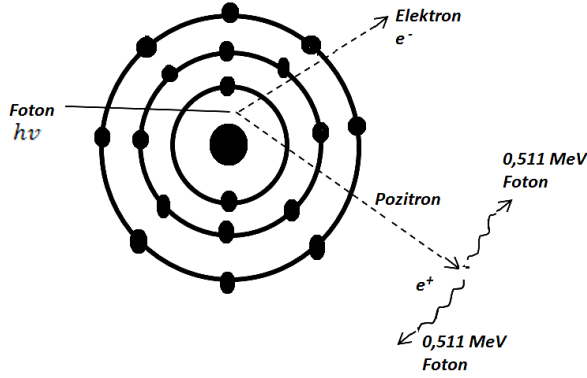
- Fotonun etkileştiği madde içindeki atomlarının yörünge elektronlarının sayısındaki artış compton olayının gerçekleşme olasılığını yükseltir.
- Orta enerjiye sahip fotonların etkileşme olasılığı en yüksek olan Compton olayında görülür.

2.2.3.3. Çift oluşumu

Compton ve fotoelektrik olaylarına göre çift oluşum daha nadir meydana gelen bir etkileşimdir. Çift oluşumu, bir fotonun bir elektron ve bir pozitrona dönüşme olayıdır. Gelen foton etkileştiği maddenin atom çekirdeğinin elektrik alanına girer ortaya bir pozitron ile bir elektron çifti oluşturur ve kaybolur (Şekil 2.19). Elektron ve pozitronun kütleleri ve yükleri eşit fakat zıt işaretlidir. Elektron ve pozitronun durgun kütle enerjisi $m_0c^2 = 0,511 \text{ MeV}$ 'dir.

Çift oluşum meydana gelirken yük, çizgisel momentum, toplam enerji hiçbir korunum ilkesi bozulmaz.

$$h\nu = m_{e^+} + m_{e^-} + T_{e^+} + T_{e^-} \quad (2.18)$$



Şekil 2.19. Çift oluşum

Eş. 2.18 'e göre bir çift oluşum olayının gerçekleşebilmesi için fotonun enerjisi en az

$$h\nu \approx 2m_e c^2 = 2 \times 0,511 = 1,02 \text{ MeV} \quad (2.19)$$

olması gerekir. Eğer fotonun enerjisi daha büyük ise bu enerjinin geri kalanı elektrona ve pozitrona kinetik enerji olarak aktarılır. Çift oluşumda meydana gelen pozitron bir yörünge elektronu ile birleşir ve 0,511 MeV' ilk zıt yönlü iki foton salarak kaybolurken bu yolla meydana gelen yok olma fotonları ise fotoelektrik yaparak soğurulur. Çift oluşumda meydana gelen elektron ise atom ile serbest elektronlar gibi etkileşir.

Çift oluşum olayının özellikleri;

- Olayın gerçekleşmesi için fotonun en az 1,02 MeV enerjiye sahip olması gerekir. Çift oluşum ağır elementler ve 2 MeV' den daha büyük enerjili fotonlar için daha baskındır.
- Olay fotonun atom çekirdeğe yakın geçmesi ile çekirdeğin elektrik alanına girdiğinde gerçekleşir. Bu olayda elektromanyetik bir dalgadan madde oluşmuş olur "Eş. 2.19".

2.2.4. Nötronların madde ile etkileşmeleri

Yüklü tanecikler ve gama ışınlarına göre nötronlar madde içindeki davranışları farklıdır. Nötronlar yüksüz parçacıklar oldukları için çekirdeğe yaklaştıklarında elektrondan ve çekirdeğin Coulomb alanından etkilenmezler. Çekirdeğe en az 10^{-13} cm kadar yaklaştıklarında çekirdek ile etkileşebilirler.

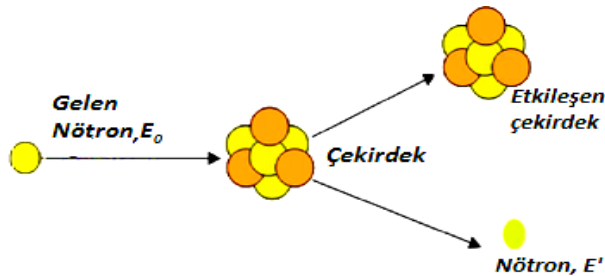
Nötronların enerjilerine göre sınıflandırdığımızda;

- [enerjileri 0,025-0,5 eV] Termal (Isıl) nötronlar
- [enerjileri 0,5 eV- 10 keV] Epitermal (Orta enerjili) nötronlar
- [enerjileri 10keV-10MeV] Hızlı nötronlar
- [enerjileri 10 MeV den büyük] Relativistik nötronlar [Yülek, 1992].

Nötronlar enerjilerine göre birçok etkileşme meydana getirirler.

2.2.4.1 Elastik (esnek) saçılma

Elastik çarpışmada hızlı nötronlar için en büyük enerji kaybı bu etkileşmede olur $A(n,n)A$ şeklindeki reaksiyonlardır. İki çarpışan parçacığın toplam kinetik enerjileri korunur ve momentum kanunları geçerlidir. Çekirdek yapısında bir değişiklik yaşamaz. Etkileşme nötronun atom çekirdeğine çarpması ve kinetik enerjisini çekirdeğe aktardıktan sonra nötron geliş doğrultusundan farklı bir doğrultudan geçerek çekirdekten uzaklaşması ile gerçekleşir.

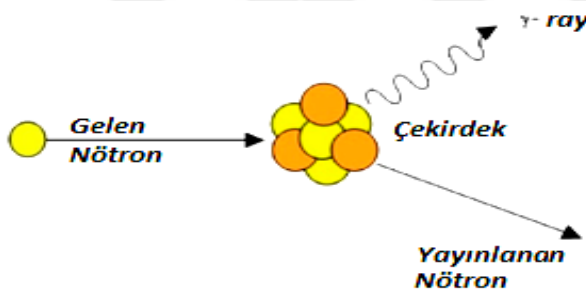


Şekil 2.20. Nötronun çekirdekten elastik saçılması

Etkileştiği çekirdeğin kütlesi ne kadar küçük ise nötronun çekirdeğe aktaracağı kinetik enerjide o kadar büyük olacaktır. Hızlı ve çok hızlı nötronları yavaşlatmada su, parafin gibi hidrojen ve hidrojenli bileşenler kullanılır.

2.2.4.2. İnelastik (esnek olmayan) saçılma

İnelastik çarpışma 1 MeV'den yüksek enerjiye sahip hızlı nötronlar ile gerçekleşir. Bu tür etkileşimlerde nötron çarpıtđı çekirdeğin içine girer, çekirdeğin fiziksel yapısını değiştirir. Nötron kinetik enerjisinin bir kısmını çekirdeğe verir çekirdeği uyarılmış durumda bırakır başka bir doğrultuda enerjisi azalmış bir şekilde saçılır (Şekil 2.21).

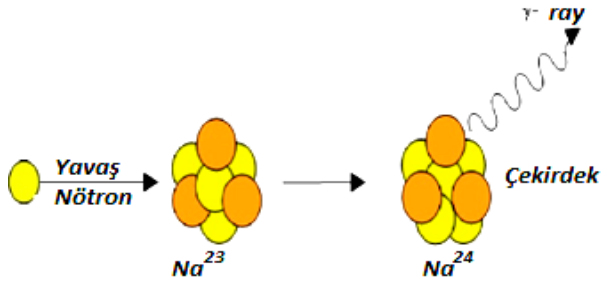


Şekil 2.21. Nötronun inelastik saçılması

Çekirdek ise daha sonra radyasyonun diğer çeşit formları veya gama ile bozunur temel enerji seviyesine geçer.

2.2.4.3. Nötron yakalanması

Genellikle termal nötronlar bütün çekirdeklerle bu tip etkileşim gösterir. Düşük enerjilerde nötron yakalanma olasılığının yüksek olmasının nedeni nötron yakalanması için tesir kesiti $\cong 1/v$ ile değişmesidir. Buradan nötron hızı v dır. Çekirdek nötronlar tarafından bombardıman edilir sonucunda uyarılmış çekirdek bir veya birkaç gama yayınlarken temel seviyeye döner (Şekil 2.22). Reaksiyon sonunda oluşan çekirdek kararlı veya kararsız olabilir bir beta yayınlarken bozulabilir.



Şekil 2.22. Nötron yakalanması

Nötron yakalama olayı



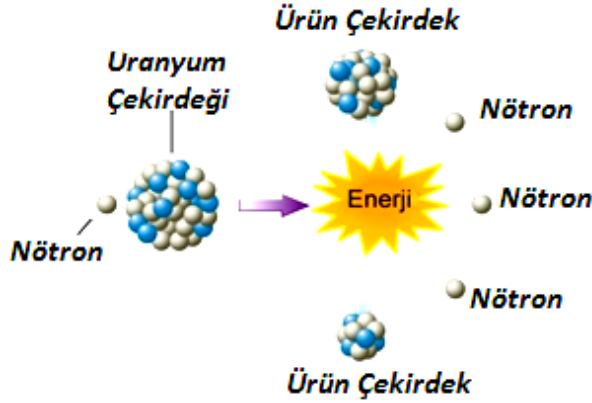
şeklinde yazılabilir. Nötron yakalanınca ${}_Z^{A+1}X^*$ çekirdeği çok kısa bir süre için uyarılmış durumdadır. Daha sonra gama bozunumu yapar aynı zamanda, ${}_Z^{A+1}X$ ürün çekirdekte genelde radyoaktiftir ve beta ışıması ile bozunuma uğrar “Eş. 2.20”.

2.2.4.4. Nükleer reaksiyonlar

Yüklü parçacıkların salınması hafif çekirdeklerle yüksek enerjili nötronlar için mümkündür. Çünkü yüklü parçacıkların çekirdekten salınması için Coulomb engelini aşmaları gerekmektedir. (n, p) , (n, d) , (n, α) , (n, t) , $(n, \alpha p)$ şeklindeki reaksiyonlardır.

2.2.4.5. Fisyon

Nötronlarla bombardıman edilen çekirdek orta ağırlıklı iki parçaya ayrılır parçalanmadan sonra ortaya iki ürün çekirdek ve daha birçok element meydana gelir (Şekil 2.23). Olay sonunda büyük bir enerji ortaya çıkar.



Şekil 2.23. Filyon olayı

Filyon olayı atom numarası 92 ve daha büyük elementler ve termal enerjilerde nötronların etkileşimi sonucu oluşur (^{238}U ve ^{232}Th , ^{239}Pu ile termal nötronlar, hızlı nötronlar ile de ^{238}U , ^{232}Th filyon reaksiyonu gerçekleştirirler).

^{235}U çekirdeği ile termal nötronların filyonu



eşitliği ile gösterilir. Burada ${}_{92}^{236}\text{U}^*$, X ve Y'ye bölünmeden önce belirli bir süre uyarılmış durumdadır. Daha sonra ortaya çıkan X ve Y çekirdekleri *filyon ürünleri* olarak isimlendirilir “Eş. 2.21”.

2.2.4.6. Yüksek enerji hadron sağanağı üretimi

Nötron çekirdek etkileşiminde nötronların çekirdek içinde hapsedilmesi çeşitli parçacıklardan oluşan bir sağanağa sebep olur. Bu olay enerjisi 100 MeV veya daha fazla olan nötronlarda gözlenir. Nötronlar enerjilerine göre gerçekleşen etkileşmelerin tesir kesitlerinin toplamı nötronların madde ile etkileşimi için toplam olasılığı verir.

2.2.5. Nötrinolar

Nötrinolar çoğu madde içinde çok az etkileşerek ilerler, madde ile zayıf etkileşirler ve zayıf etkileşime bozunumu ile üç çeşit nötrino (ν_e, ν_μ, ν_τ) üretilir. Nötrinolar

yüksüzdür bu sebepten dolayı dedekte edilebilmeleri için yüklü parçaların üretilmesi gerekir. Nötrinoların dedeksiyonu için aşağıdaki reaksiyonlar kullanılabilir.

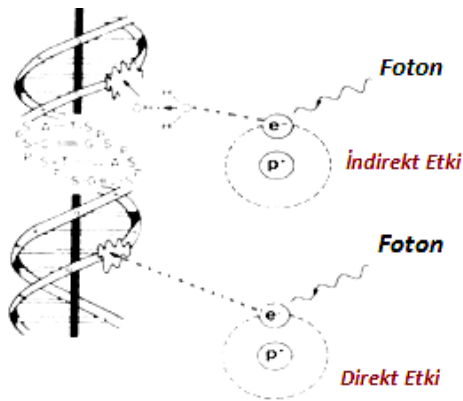


2.3. Radyasyonun Canlı Yapı ile Etkileşimi

2.3.1. Radyasyonun hücre ile etkileşimi

Radyasyonun direkt etkileri, birincil etki ile meydana gelen etkilerdir. Etki canlı moleküllerin iyonizasyonu ile DNA zincirinin kırılmasıdır (Şekil 2.24).

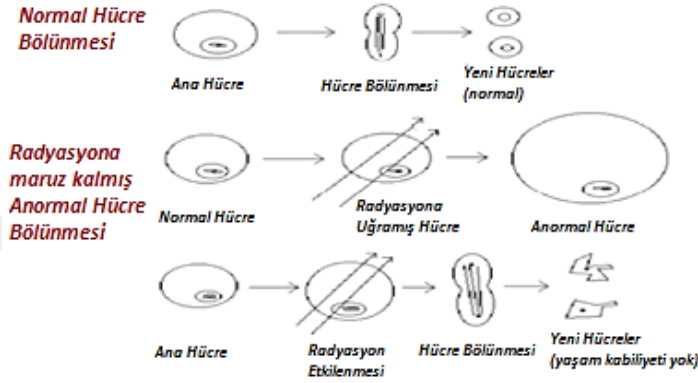
Radyasyonun indirekt etkileri bu etkiler ortaya çıkan radyasyon ürünlerinin ve serbest radikallerin kimyasal reaksiyonları sonucu oluşmaktadır. Hidroksil radikallerinin DNA şekerine saldırarak DNA ipliğini kırması indirekt etkiye bir örnektir (Şekil 2.24).



Şekil 2.24. DNA zincirinin kırılması

Radyasyonun DNA zincirini kırmasının ardından hasarlı bölge hemen onarılmaya başlar. Onarma işlemi zincirde büyük hasar oluşturmamış ise başarılı olabilir. Fakat bu onarım faaliyetinde hatalar ortaya çıkabilir yanlış şifre içeren kromozomlar

oluşabilir. Hücre faaliyetlerinin büyüme ve bölünme enzimleri tarafından kontrol edilmesi hücre hayatını etkiler. Radyasyon, hücrenin erken ya da geç bölünmesine, aşırı hücre büyümesine ve bölünme özelliğini kaybetmiş yeni hücre oluşumuna sebep olur (Şekil 2.25).



Şekil 2.25. Normal ve radyasyondan etkilenmiş hücre bölünmesi

2.3.2. Radyasyonun organlar ve dokular üzerindeki etkileri

Tablo 2.1. Radyasyona karşı organların duyarlılıkları

| <i>Duyarlılar</i> | <i>Daha Duyarlılar</i> | <i>Çok Duyarlılar</i> |
|-------------------|------------------------|-----------------------|
| Beyin | Cilt | Kemik İliği |
| Lenf Dokusu | Safra Kesesi | Tiroit Bezi |
| Karaciğer | Dalak | Akciğer |
| Pankreas | Böbrek | Göğüs |
| İnce Bağırsak | Kemik | Mide |
| Yumurtalık | | Kalın Bağırsak |

Radyasyonun organlar ve dokular üzerindeki etkileri ışınlanan organ ve dokuların vücutta gördükleri fonksiyonlara bağlıdır [Gençay, 1994; Algüneş, 2002; Güngör, 1991].

Radyasyonun biyolojik yapı ile etkileşimi sonucunda iki tür etki ortaya çıkar bunlar;

2.3.2.1. Radyasyonun somatik etkileri

İyonlaştırıcı radyasyona maruz kalan kişinin ömür süresince ortaya çıkan etkileridir. Bağlı olduğu faktörler;

- Radyasyonun tipi,
- Maruz kalınan toplam radyasyon dozu
- Radyasyon dozunun alındığı zaman süresi,
- Radyasyona maruz kalan vücut kısmı ve alanı

Hücre ile etkileşen radyasyon, meydana gelen hasarlarla bazı biyolojik etkilerin oluşumuna yol açar. Bu etkiler kendi bedeninde meydana gelebileceği (*bedensel*) gibi kendinden sonraki nesillere de ulaşabilecek (*kalıtsal*) hasarlardır. Bir defada yüksek doza kısa bir süre içinde maruz kalması sonucunda kısa bir zaman aralığının içinde ortaya çıkabilecek hasarlar *erken etkiler (akut ışınlanma)* olarak adlandırılırken, aralıklı olarak düşük dozlara uzunca bir süre maruz kalınması sonucunda yıllar sonra ortaya çıkan hasarlara *gecikmiş etkiler (kronik ışınlanma)* denir.

2.3.2.2. Radyasyonun genetik etkileri

Radyasyona maruz kalan vücutta üreme hücrelerinin ışınlanması sonucunda, ışınlanan kişiden sonraki nesillerde görülen etkilerdir. Üreme hücrelerinde küçük radyasyon dozları bile genetik değişikliklere (*mutasyona*) neden olabilir. Mutasyon kalıcıdır, mutasyonun bir defa olması sonraki nesillere aktarılması için yeterlidir.

2.3.3. Radyasyon dozu ve doz hızı birimleri

Aktivite, bir radyonüklidin aktivitesi birim zaman başına bozulan atom sayısını gösterir. Radyoaktif atomların birim zamandaki mutlak parçalanma hızıdır.

$$A_t = A_0 \times e^{-\lambda t} \quad (2.24)$$

Doz, bulunduğu ölçüm sistemi cinsine göre herhangi bir maddenin belli bir sürede tüketilen veya kullanılan belli bir miktarıdır.

Radyasyon dozu, belirli bir zamanda hedef kütlenin aldığı veya soğurduğu radyasyon enerji miktarı demektir.

Tablo 2.2. Radyasyon doz birimleri

| | ESKİ BİRİM | SI BİRİM | DÖNÜŞÜM |
|-----------------------|------------|-------------------------|--|
| Aktivite | Curie (Ci) | Becquerel (Bq) | 1Ci =3,7x10 ¹⁰ 1Ci=37GBq |
| Işınlanma Dozu | Röntgen(R) | Coulomb/Kilogram (C/Kg) | 1C/kg=3876 R 1R=2,58x10 ⁻⁴ |
| Absorbe Doz | Rad (rad) | Gray (Gy) | 1Gy=100 rad 1rad=0,01Gy |
| Doz Eşdeğeri | Rem (rem) | Sievert (Sv) | 1Sv=100rem |

Radyasyon dozunun bilinmesi, iyonlaştırıcı radyasyon ile çalışılması sonucunda oluşabilecek zararlı biyolojik etkilerin belirlenebilmesi için gereklidir.

2.3.3.1. Aktiflik birimleri

Curie (Ci): Bir curie (sembolü Ci), bir saniyedeki bozunma sayısı, bir gram saf radyumla aynı olan radyoaktif madde miktarıdır. Birim sürede radyoaktivite miktarı yani bir çekirdeğin bir başka çekirdeğe bozunmasını ölçer. 1 saniyede 3,7x10¹⁰ çözünme gösteren radyoaktivite birimine 1 Curie (Ci) denir.

$$1\text{Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ bozunma / sn}$$

Becquerel (Bq): Bir becquerel (sembolü Bq), bir saniyedeki bozunma sayısı, diğer bir deyişle bu sürede bozulan radyoaktif madde miktarıdır. Saniyede 1 bozunma meydana getiren herhangi bir radyoaktif izotopun miktarıdır.

$$1\text{Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1\text{mCi} = 3,7 \times 10^7 \text{ Bq}$$

Rutherford (Rd): Birim saniyede 10^6 parçalanma yapan numunenin aktifliği olarak tanımlanır. Buna göre:

$$1\text{Ci} = 3,7 \times 10^4 \text{ Rd}$$

$$1\text{Rd} = 10^6 \text{ parçalanma /sn}$$

2.3.3.2. Doz ve doz hız birimleri

Röntgen: Ortamda var olan radyasyon seviyesini belirlemek amacıyla maruz kalınan radyasyon miktarı ölçülür. 1 Röntgen (R) birim hacimdeki havada ($D=0,001293 \text{ gr/cm}^3$) 1 esb'lik (elektrostatik birimlik) iyon çifti üreten gama ışınlarının (veya x ışınlarının) sayısıdır.

Rep (roentgen equivalent, physical) [röntgenin fiziksel eşdeğeri]: Gama veya x ışınının 1 gram hava içinde meydana getirdiği iyonizasyona eşdeğer iyonizasyonu 1 gram dokuda meydana getirdiği radyasyon miktarıdır.

Rad (radiation absorbed dose) [absorbe edilen radyasyon dozu]: 1 Rad 1 gramlık maddeye 100 erg'lik enerji aktaran radyasyon miktarıdır. Herhangi bir radyasyonu ölçebilir fakat radyasyonun şiddetini veya sayısını ölçemez. 1 Gray 1 kg materyal başına absorbe edilen 1 joule'lık enerjiye eşittir.

$$1 \text{ Gray (Gy)} = 100 \text{ rad}$$

Rbe [rölatif biyolojik etkinlik]: Değişik radyasyon tiplerinin biyolojik olarak değişik etkiler gösterdiğini belirtmek amacıyla kullanılan bir terimdir. Gama veya X ışınının, eşdeğer biyolojik etki oluşturacak başka bir absorbe edilen radyasyona oranını ölçer.

$$RBE = \frac{\text{X veya gama ışınları ile oluşturulan doz (rad)}}{\text{İlgili ışık ile oluşturulacak doz (rad)}} \quad (2.25)$$

Rem (roentgen equivalent, man) [röntgen eşdeğeri, insanda]: Rem, biyolojik doz birimidir. 1 gramlık canlı dokuya 1 Rad'lık radyasyon bırakılan radyasyon miktarıdır. Rem, radyasyonla çalışan kişilerin maruz kaldıkları değerleri cep

dozimetreleri ile ölçmede; Rad ise dokuların aldığı radyasyon miktarını birim olarak ölçmede kullanılır [Seyrek, 2007].

2.4. Dış Radyasyon Kaynaklarından Korunma

İlerleyen teknoloji ile birlikte modern toplumlarda radyasyonun kullanım alanları giderek artmaktadır. Günümüzde radyasyon, bilimsel çalışmalarda, tıpta, endüstride, tarımda, askeri amaçlarda gelişim sürdürerek kullanımı büyük boyutlara ulaşmıştır. Radyasyonun kullanımının artması, radyasyona maruz kalan insan sayısında artışa neden olmuştur. Radyasyon ile içi içe yaşamak canlılar için biyolojik risk oluşturmaktadır. Radyasyon kullanım alanlarında çalışanlar görev gereği radyasyona maruz kalırlar. Özel giysiler ve maskeler hariç maruz kalınacak doz miktarının en az seviyeye indirebilecek korunma yöntemlerin kullanılması önemlidir. Radyasyon kaynağının yakınında bulunan kişinin maruz kalacağı doz miktarı bazı tedbirler ile azaltılabilir. Dış radyasyon kaynaklarından korunmanın üç temel kuralı vardır, bunlar;

2.4.1. Zaman faktörü

Radyasyon cihazlarının ya da radyoaktif maddelerin yakınlığında gereğinden fazla kalmamaya dikkat edilmelidir. Kaynağın yakınında geçirilen süre çok önemlidir radyoaktif kaynağın yakınında ne kadar az süre harcanılırsa o kadar az doza maruz kalınır (Şekil 2.26).



Şekil 2.26. Zaman

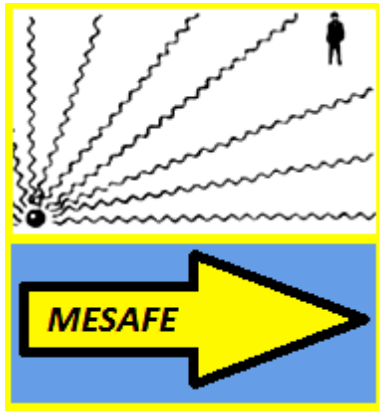
Radyasyondan korunmak için belli bir süre içerisinde bir radyoaktif kaynaktan maruz kalınacak doz ilişkisi

$$Doz = (Doz \text{ Şiddeti}) \times (Zaman) \quad (2.26)$$

ile hesaplanabilir. Örneğin bir ölçüm cihazın yanında 60 mikrosievert/saat (mSv/saat) radyasyon dozu gösterdiği bir alanda kalınması halinde maruz kalınacak doz 1 saatte 60 mSv, 2 saatte 120 mSv, 3 saatte 180 mSv olarak hesaplanabilir. Buna göre maruz kalınacak doz miktarının, kaynağın yakınında harcanılacak zaman arttıkça artacağı ve azaldıkça azalacağı anlaşılır. Bu kurama göre radyoaktif kaynak ile olan işlem için doz hızının önceden hesaplanıp yapılacak işlemin en kısa sürede yapılması hedeflenmelidir.

2.4.2. Mesafe faktörü

Mesafe kuralında ise, maruz kalınacak doz miktarını azaltmak için radyasyon kaynağından uzak olabilme şartı geçerlidir. Radyasyon alanının şiddeti kaynaktan uzaklaştıkça azalır (Şekil 2.27). Radyasyon kaynağına yaklaştıkça maruz kalınabilecek doz miktarı artar.



Şekil 2.27. Mesafe

Girici radyasyon yayan bir nokta kaynak var ise, radyasyon kaynağının şiddetinde mesafeye bağlı azalma, mesafenin karesi ile ters orantılı olacaktır (ters kare kanunu). Radyasyon kaynağında belli bir mesafede iken maruz kalınabilecek doz miktarı

$$D_r = D_0 \left(\frac{r_0}{r} \right)^2 \quad (2.27)$$

ilişkisi ile hesaplanır. Eğer nokta kaynak olarak kabul edilemeyecek boyutlarda radyasyon kaynakları varsa, duvar, zemin ve diğer cisimlerden saçılmalarından dolayı radyasyon kaynağının şiddeti karesi ile değil mesafe ile azalır.

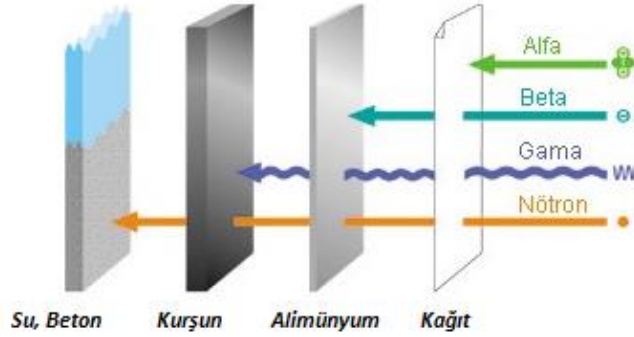
2.4.3. Zırlama faktörü (koruyucu engel)

Dış radyasyon dozunu azaltmanın bir değer yolu da radyasyon kaynağı ile doza maruz kalma ihtimali olan kişiler arasına bir engel konulmasıdır (Şekil 2.28).



Şekil 2.28. Koruyucu engel

Bu radyasyon dozunu azaltan malzemeye (tuğla, beton, duvar gibi) *zırlama malzemesi* denir. Zırlama işlemi cihazın zırlanması ve odanın zırlanması olarak iki farklı şekilde uygulanabilir. Zırlamada yüksek yoğunluklu maddelerin malzeme olarak kullanılması özellikle X ve gama ışınlarına karşı etkili bir koruma sağlar. Kalın bir beton duvar, bazen ince bir uranyum ya da tungsten metali kadar etkin olabilir.



Şekil 2.29. Radyasyon türlerinin giricilik özellikleri

2.4.3.1. Parçacık radyasyonlarına karşı zırhlama

a. Alfalara karşı zırhlama

Alfa parçacıklarının çok az giriş kabiliyetleri vardır ve madde içindeki erişme uzaklıkları kısadır. Alfa parçacıkları 0,5 mm kalınlığında alüminyum levha, ince bir kâğıt tabakası, giysilerimiz veya cildimiz tarafından durdurulabilir. Alfalar için özel bir zırhlama maddesi gerekmez.

b. Betalara karşı zırhlama

Betalar, alfalara göre daha fazla giricilik özelliğine sahiptir ve bundan dolayı giysiler hiçbir koruma sağlamaz. Betalar enerjilerini atomların yörünge elektronları ile etkileşimler sonucu kaybederler ve yavaşlarlar. Betalar için zırh malzemesi olarak yoğunluğu fazla ve elektronları birbirine yakın olan maddeler durdurma bakımından daha etkindir. Fakat beta zırhlamasında unutulmaması gereken bir özellikte betaların madde ile etkileşimi sonucu bir yan ürün olarak X-ışınları meydana gelmesidir. X-ışınları soğurucu maddenin atom numarasının karesiyle orantılı olduğundan betalar için zırh oluşturulurken düşük atom numaralı materyallerin kullanılması uygundur. Betalar alüminyum gibi ince bir metal tabakası tarafından durdurulabilir. Alüminyumun atom numarası 13, kurşunun atom numarası 83 olduğunu göz önüne alarak her iki elementin atom numaralarının kareleri arasındaki farkın X-ışını

üretimine etkisinden dolayı alüminyum kullanılması tercih sebebi olmaktadır. Beta parçacığı negatif yükü nedeniyle, hava atomlarının elektronları tarafından itilir, beta parçacıklarını yollarından saptırarak onları yavaşlatır. Hava tabakası beta ışınlarına karşı bir dereceye kadar zırhlama görevi yapabilir.

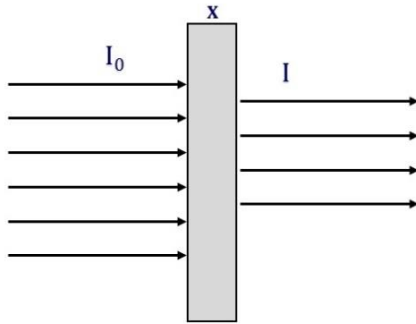
c. Nötronlara karşı zırhlama

Nötronların elektrik yükleri yoktur bu sebepten dolayı çeşitli materyaller içinden, insan vücudundan rahatlıkla geçebilecek giricilik özelliği fazladır. Madde içinden geçerken atom çekirdeği ile çarpışır ve proton gibi iyonlayıcı parçacıkların yayınlanmasıyla dolaylı iyonlaşmaya sebep olurlar. Nötronların madde içinde yavaşlatılmalarında gama ışınlarının meydana gelmesi önemli güçlük yaratır. Bu nedenden dolayı nötron zırhlaması yapılırken gama ışınlarına karşıda zırhlama önlemi alınmalıdır. Nötronlar için en uygun ve en ucuz zırh materyali betondur ve beton içine demir kırıntıları karıştırılır. Ayrıca zırhlama için nötronlar parafin, su gibi hidrojen zengin ortamlarda iyi soğurulur. Nötronlara karşı yapılacak olan bir zırh maddesi elastik saçılmalar ile nötronların hızlarını azaltmalı fakat olanları kolayca soğurmamalıdır.

2.4.3.2. Elektromanyetik radyasyonlara (X ve gama) karşı zırhlama

X ve gama radyasyonu madde içinde etkileşimleri aynı olaylara (fotoelektrik olayı, Compton olayı ve çift oluşumu) bağlı olduğundan dolayı zırhlama yönünden birlikte ele alınır. X ve gama radyasyonlarının giricilik özelliği daha fazladır, soğurulma kurşun ve beton gibi yoğun malzemelerle gerçekleştirilir (Şekil 2.29).

Zırhlama malzemelerinin zırhlama hesaplamaları dar ve geniş demet durumu için iki şekilde yapılır. Kullanılacak zırh malzemesinin yarı kalınlık değeri biliniyorsa dar demet durumunda zırhın kalınlığı kolay bir şekilde hesaplanır. Geniş demet durumunda ise zırh kalınlığı uzmanlar yardımıyla, iş yükü, meşguliyet faktörü, kullanma faktörü ve uygun yapı malzemesi için hazır tablo ve grafiklerden faydalanılarak hesaplanır.



Şekil 2.30. X ve gamaların soğrulmaları

2.4.3.3. Zayıflatma katsayıları

Kaynak önüne konulan engel yani zırhın kalınlığı ve zırh materyalinin cinsi radyasyonun zayıflatılması için önemlidir. Gama ve x ışınları, zırh kalınlığına ve zırh materyalinin cinsine bağlı olarak, daima belli bir oranda zırhı geçerler. Ancak zırh kalınlığı arttıkça bu zırhı geçen ışınların şiddeti üstsel bir şekilde azalır [Filiz ve ark., 2009].

Verilen bir materyal ile birim yolda atomik parçacığın ya da fotonun (x ışını veya gama ışını) etkileşime girme olasılığı genellikle “Linear Attenuation Coefficient” yani “Lineer Zayıflatma Katsayısı (LZK)” olarak adlandırılır. Foton etkileşimleri durumunda LZK’sını göstermek için genellikle μ sembolü kullanılır [Kaplan,1989].

LZK, radyasyonun tipine ve enerjisine, etkileşim tipine, etkileşime girilen materyalin kompozisyonuna, yoğunluğuna ve kalınlığına bağlıdır [Kaplan, 1989; Wood, 1982].

Bu verilere bağlı olarak μ , Beer-Lambert denkleminde yararlanılarak hesaplanabilir “Eş. 2.28”.

$$\mu = \frac{1}{x} \ln \frac{I_0}{I} \quad (2.28)$$

Burada x zırhlama beton kalıbın kalınlığı, I_0 beton yokken alınan ışınların şiddeti, I ise kaynak ve detektör arasında beton varken zırhı geçen azalan ışınların şiddetini göstermektedir (Şekil 2.30) [Akkurt ve ark., 2012].

2.5. Horasan Harcı

Eski kitap ve sözlüklerde bahsi geçen horasan harcının yapımı konusun birçok bilgiler yer almaktadır. Tarihi yapıların korunmasına yönelik yapılan restorasyon ile kitaplardan alınan bilgiler öngörüsünde en iyi horasan harcı hazırlanmasına yönelik birçok çalışma yapılmaktadır.

Eski dönemlerde yapıların inşasında kullanılan horasan harcı ve sıvaların en önemli bağlayıcı malzemeleri tuğla ve kireçtir. Harç ve kirecin özelliklerini geliştirmek, karbonlaşmayı hızlandırmak için harca veya kirece inorganik ve organik maddelerin ilave edildiği bilinmektedir [Böke ve ark., 2004]. İlave edilen malzemelerin bazıları; kan, bitki suları, yumurta, hayvan tutkalı, peynir, arap zamkı, gübre, kazein gibi malzemelerdir [Sickels, 1981]. Her tarihi yapının inşasında kullanılan malzemeler farklılık göstermektedir. Bazı yapılarda pirinç, arpa, idrar, saman, hayvan tüyleri, bitkisel lifler vb. bağlayıcı maddeler ilave edilmiş ve mukavemetin artması sağlanmıştır.

Horasan harcına, kireç harcı ve sıvaları adıyla da rastlanmaktadır. Kirecin ham maddesi, kalsiyum karbonat (CaCO_3) minerallerinden oluşan kireç taşlarıdır. Bu taşlar ısı ile kalsine olup karbondioksit (CaO) dönüşürler [Böke ve ark., 2004]. Horasan harcı suya dayanıklı bir bileşimdir. Dayanımı yüksek olan bu harç, birçok tarihi yapıda kullanılmıştır.

3.KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bugüne kadar radyasyon zırhlama betonları ile ilgili birçok araştırma yapılmıştır. Zırh betonu için kullanılan materyallerin farklı özellikleri araştırılmıştır. Biyolojik zırh özellikleri, fiziksel ve mekanik özellikleri, malzemelerin dayanım ve radyasyon tutuculuk gibi çalışmalara rastlanmaktadır. Bu araştırmalara aşağıdaki çalışmalar örnek verilebilir.

Akkurt ve arkadaşları (2011), radyasyon soğurma özelliklerinin belirlenmesinde beton içerisine ilave edilen barit oranlarının değişiminin soğurma özelliklerini nasıl etkileyeceğini görmek amacıyla yaptıkları çalışmalarında beton içerisinde bulunan baritin bulunma oranının artırılmasıyla betonun radyasyon soğurma özelliğinin de arttığını belirtmiştir.

Akkurt ve arkadaşları (2012), Portland CEM I 42,5R tipi ve Portland CEM IV/B(P) 32,5 N tipi çimentolarla üredikleri çimento pastalarının radyasyon soğurma özelliklerini araştırmış ve CEM I 42,5R tipi çimentonun kullanılması betonun radyasyon zırhlama özelliğini artıracakını belirtmişlerdir.

Kılınçarslan ve Seven (2014), temel malzeme olarak barit ve alçı kullanarak hazır sıva kaplaması üretmiş malzemelerin dayanım ve radyasyon tutuculuk özelliklerini araştırmışlardır.

Yarar (1996), kolemanit içeren beton üzerine araştırma yapmış kolemanit içeren betonun aktivasyon karakteristiğini teorik hesaplayarak kolemanit içeren betonun aktivasyonunun çok daha hızlı olduğu sonucuna varmıştır. Nedenini ise kolemanit H, O, Ca ve özellikler B içerisinden kaynaklandığını belirtmiştir.

Günoğlu ve Akkurt (2013), andezit ve bazalt kayaçlarının radyasyon soğurma özelliklerini incelemiş balzat numunesinin 662, 1173, 1332 keV gama enerjileri için daha yüksek soğurma katsayısına sahip olduğunu andezit numunesinin en düşük soğurma katsayısına sahip olduğu sonucuna varmışlardır.

Akkurt ve arkadaşları (2011), yüksek fırın cürufu kullanılan beton numunesinin içinde cüruf oranının artması, betonun soğurma özelliklerine olumlu katkıda bulunduğunu belirtmiştir.

Sarıyer ve Küçer (2015), nötron zayıflatma özelliklerini inceledikleri çalışmalarında FLUKA Monte Carlo kodu ile standart beton ve demir zırh kalınlıklarını belirlemiş demirin, toprak ve betona göre daha iyi bir zırh maddesi olduğunu belirtmişlerdir.

Büyük ve Tuğrul (2015), TiB_2 katkılı/katkısız B_4C-SiC kompozit malzemelerin ^{60}Co gama radyoizotop kaynağı karşısındaki davranışlarını incelemiş ve nükleer teknoloji faaliyetlerinde kullanılabilecek uygulamaya yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir.

Böke ve arkadaşları (2004), tarihi yapılarda kullanılan horasan harcı ve sıvalarının özelliklerini araştırdıkları çalışmada hamam gibi ıslak mekanlar da horasan harcı ve sıvalarının dayanıklı olması açısından en uygun malzemeler olduğunu belirtmişlerdir.

Özgen (2012), horasan harcı üzerinde yaptığı deneysel çalışmalarda kullanılan organik katkı malzemelerinden arpa suyu ve yumurta akının harcın dayanımında önemli bir katkısı olmadığını Ayasofya'nın yapımını anlatan Bizans yazmalarında adı geçen Dişbudak Ağacı yaprak suyunun harcın basınç dayanımında %20 oranında artışa neden olduğu sonucuna ulaşmıştır.

4. MATERYAL VE METOT

4.1. Kullanılan Malzemeler

Dış radyasyonun şiddetini istenilen seviyeye indirmenin en iyi yolu radyasyon zırhlamasıdır. Zırhlama için, zırhlama materyalinin zayıflatma özelliği, materyalin termal özellikleri, radyasyonun etkilerine dayanımı, malzeme ve yapı maliyeti gibi parametrelerde önem taşımaktadır.

Zırhlama için radyasyonun tipi, giricilik özelliği, etkileşime girdiği malzeme seçimi gibi önemli faktörlerin yanında yapılan zırhın kullanılabilirlik açısından da iyi olması gerekmektedir. Materyal, yeterli kalınlık kullanıldığı takdirde radyasyon şiddetini istenildiği gibi azaltılabilir fakat aşırı kalınlık yer, maliyet ve kullanılabilirlik açısından düşünüldüğünde engel teşkil etmektedir.

Nükleer santraller, parçacık hızlandırıcılar, araştırma laboratuvarları ve tıbbi amaçlı uygulama odalarını zırhlama için yaygın olarak beton kullanılır. Foton ve nötron zırhlamasında tercih edilen betonlar ağır ve hafif elementler içerir bu da betona iyi bir zırh olma özelliği kazandırır [Filiz ve ark., 2009].

Çimento yüksek bağlayıcı özelliğe sahip dayanıklı bir malzemedir. Radyasyon zırhlaması için yüksek alüminyum çimentosu, Portland ve farklı özel çimento türleri kullanılmaktadır. Radyasyon zırhlama betonu için kullanılan özel agregalar örneğin barit, hematit, demir-çelik gibi agregalar betonun özelliklerinde önemli bir etkiye sahiptir.

Bu çalışmada değişik malzeme katkılı standart çimento beton ve kireç kullanılarak horasan kalıpları elde edilmiştir.

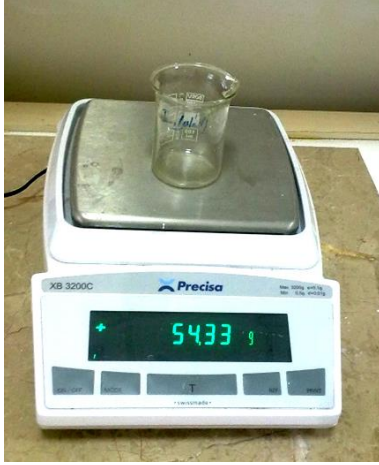
Katkı malzemeleri

CEM IV/B(P) 32,5 N tipi çimento, agrega, kum, ponza, beperno (kimyasal çimento katkısı), odun külü, kiremit tozu, taş kireç, kaymak kireç, küfenki taşı, gübre, kemik

unu, kazein (toz tutkal), peynir suyu, çeşme suyu, dişbudak ağacın yaprak suyu, yumurta beyazı, pirinç, koyunyünü, kullanılmıştır (Tablo 4.1).

4.2. Numune Hazırlama

Betonların üretimi ve ölçümü Amasya Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Nükleer Fizik Radyoaktif Araştırma Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Beton bileşenlerini tartmak için Şekil 4.1’de görülen hassas terazi, agregaları ve kiremitleri istenilen boyuta getirebilmek için de ayarlanabilir laboratuvar tipi çene kırıcı aleti kullanılmıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4.1. Hassas terazi



Şekil 4.2. Laboratuvar tipi çene kırıcı aleti kırıcı

Beton üretilmesi aşamasında çimento dozajı 100 gr, kaymak kireç dozajı 250 gr, kimyasal beporne dozajı ise 5 gr olarak sabitlenmiştir. Farklı malzemeler kendi aralarında kıyaslama yapabileceğimiz dozajlarda karışıma katkı malzeme olarak ilave edilmiştir (Bkz. Tablo 4.1). Malzeme karışımında horasan harcı hazırlama kuramı göz önünde bulundurulmaya çalışılmıştır.

Tablo 4.1. Betonlar için kullanılan malzeme miktarları

| | | Beton örnekleri | | | | | | | | | |
|------------------------|--------------|------------------------|------|-------|------|------|-----|------|-------|-----|------|
| | | N1 | N2 | N3 | N4 | N5 | N6 | N7 | N8 | N9 | N10 |
| Malzemeler (gr) | Çimento | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | |
| | Agrega | 47,6 | | | 21,3 | | | | | | |
| | Kum | | 43 | | | | | | | | |
| | pozma | 105,6 | | 105,3 | | | 95 | | 100 | | |
| | Bepermo | | | | | | | | | | |
| | Odun külü | | | | | 20 | | | 20 | | |
| | Kiremit tozu | | | | | | | 20 | | | 30 |
| | Kemik külü | | | | | | | | | | |
| | Taş kireç | | | | | | | | | | 30 |
| | Küfenki taşı | | | | | | | | | 50 | 50 |
| | Çeşme suyu | 89,3 | 60,5 | 98,3 | 51,8 | 57,9 | 91 | 50,6 | 113,4 | 50 | 43,2 |

| | | Beton örnekleri | | | | | | | | | |
|------------------------|----------------|------------------------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|
| | | N11 | N12 | N13 | N14 | N15 | N16 | N17 | N18 | N19 | N20 |
| Malzemeler (gr) | Çimento | | | | | | 100 | | | | |
| | Bepermo | | | | | | 5 | 5 | 5 | 5 | |
| | Odun külü | | | | 30,6 | | | | | | |
| | Kiremit tozu | | | | | 100 | | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | Kemik külü | | | | | 30 | 35 | | | | |
| | Taş kireç | 225 | 50 | 142,6 | 135,5 | | | | | | |
| | Kaymak kireç | | | | | 250,1 | 100 | 250,5 | 250,3 | 250,3 | 250 |
| | Küfenki taşı | | 125,8 | | | | | | | | |
| | Gübre | | | | | | | | | 35 | |
| | Kemik unu | | | | | | | 35 | 35 | | |
| | Kazein | | | | | 5 | | | | | 5 |
| | Koyun yünü | | | | | | | 4,6 | | | |
| | pirinç | | | | | | | | | | 15 |
| | Yumurta beyazı | | | | | | | | | | 63,5 |
| | Çeşme suyu | | | 341,8 | | | | | | | |
| | Yaprak suyu | 440 | 151 | | 395,4 | | 41,1 | | | 66,2 | |
| | Peynir suyu | | | | | 65,2 | | 44,8 | 37,2 | | 18,2 |

Küp numune elde etmek için Şekil 4.3’de görülen küp kalıplar kullanılmıştır.



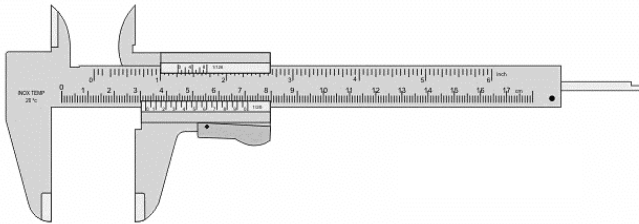
Şekil 4.3. Küp kalıpları

Kalıptan çıkarılan beton numuneleri Şekil 4.4’de görülmektedir.



Şekil 4.4. Horasan harcı ve beton kalıpları

Kuruyan betonların kalınlıklarını belirlemek için verniyeli kumpas ile ölçümleri alınmış ve hesaplamalarda kullanılmak üzere not edilmiştir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Ölçümlerde kullanılan verniyeli kumpas

4.3. Radyasyon Soğurma Deney Düzenegi

4.3.1. Gama spektroskopisi sistemi

Gama spektroskopisinin özellikleri

1-Aynı örnekte bulunan değişik radyoaktif çekirdekler aynı anda ve tek tek analiz edilebilir.

2-Malzeme, süre ve emek kaybına neden olan kimyasal ayırma işlemleri gerek duyulmadığından örnek hazırlanması hızlı ve basittir.

3-Ölçümlerdeki yüksek kararlılık, analiz edilen bilgilerin güvenilirlik düzeyleri ve bilgi işlemedeki doğruluk oranı yüksektir [Değerliler, 2007].

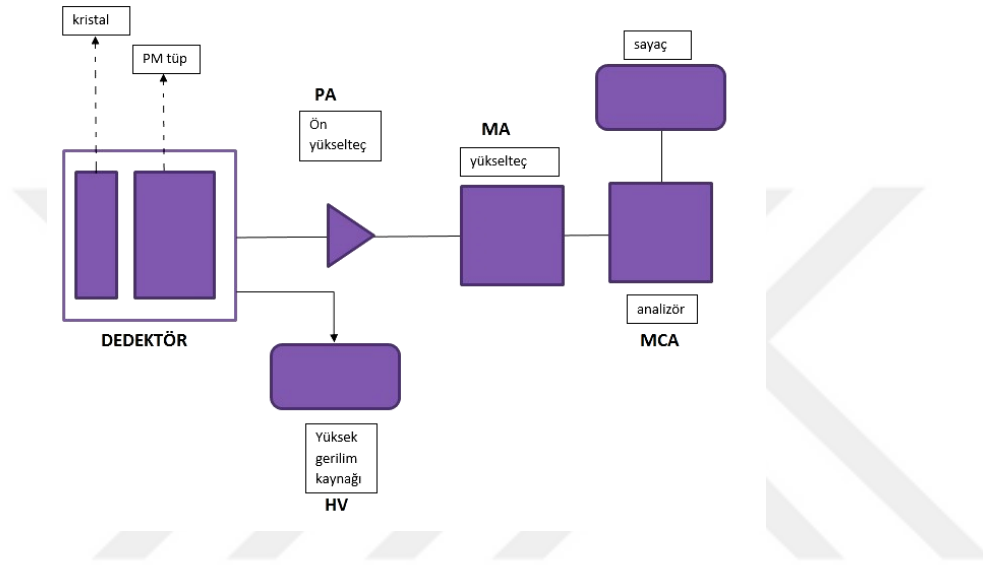
Sintilasyon detektörleri radyasyona maruz kalan belli malzemelerden yayınlanan foto lüminesans ve fosforesans yardımıyla parçacık deteksiyonu yapan cihazlardır. Dedeksiyon işleminde gelen radyasyonun etkileşiminden hemen sonra ışık salınması gerekir. Sintilasyon detektörlerinde kullanılan iki tür kristal vardır:

- İnorganik kristaller
 - Işık verimleri iyi
 - Doğrusalık iyi
 - Cevap zamanları kısa
 - Gama spektroskopisi için tercih edilir (NaI(Tl), bizmut germanyum...).
- Organik kristaller
 - Işık verimi inorganik kristallere göre az
 - Cevap zamanları hızlı
 - Beta ve hızlı nötron dedeksiyonunda tercih edilir (saf organik kristaller, sıvı organik kristaller, plastik sintilatörler).

Ölçme amacına uygun olarak farklı parıldama fosforları kullanılır. Detektörlerde kullanılan fosforu ve foto çoğaltıcı tüp değiştirilerek farklı tipte radyasyonların dedeksiyonu gerçekleştirilebilir. Bunlar;

- *Alfalar* için, gümüşle aktive edilmiş ZnS (çinko sülfür) lü fosforlar.
- *Betalar* için, antresen, naftalin ve stilben
- *X ve Gamalar* için, toryumla aktive edilmiş NaI kristalleridir.

Detektörün komponentleri



Şekil 4.6. Gama spektrometrik cihazının çalışma düzeneği

Fotoçoğaltıcı tüp: Sintilatörlerden çıkan düşük verimdeki ışığın elektrik pulsuna çevrilmesi işlemi foto çoğaltıcı (PM) tüp ile gerçekleşir.

Önyükselteç: Kapasitansı hızlıca bitirilmesiyle maksimum sinyal-gürültü oranı sağlanması, diğer fonksiyonu ise detektöre yüksek empedans vererek yükselteç-detektör arasında bir empedans uyuşturucu olarak görev yapmasıdır. Ön yükselteçler puls şekillendirmesi yapmazlar. Sadece puls yükseltir.

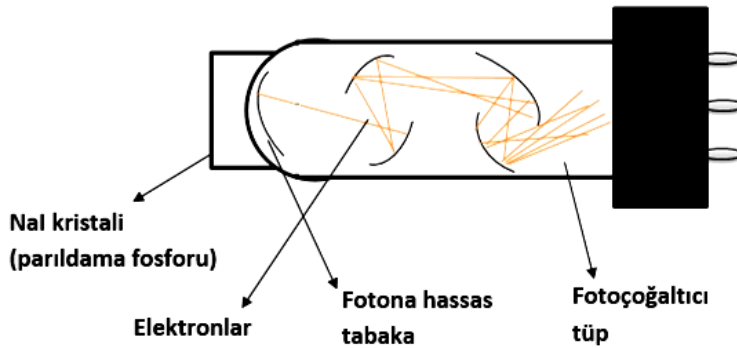
Yükselteç: Yükselteçlerde gerçek şekillendirme yapılır. Ayrıca ön yükselteçten gelen kuyruklu pulsarı daha kısa oluşma zamanlı ve çok daha hızlı azalım zamanı olan çok dar bir puls şekline çevirir.

Çok kanallı analizör: Puls burada mantık pulsuna çevrilir. Çok kanallı bir darbe yüksekliği analizörü (MCA) ile yükseltici çıkış sinyalleri (puls) analiz edilir. MCA'yı çalıştırmak için bilgisayar bağlantısı ve yazılım programının bulunması uygundur.

NaI(Tl) detektörü

NaI kristali nem kapıcı olduğundan foto çoğaltıcıya optik kontak yapılan yüzü haricindeki tüm yüzeyi alüminyum levha ile kaplıdır. Bu levhanın iç yüzü magnezyum oksitle kaplıdır ve ışık yansıtıcı olarak iş görür. Bir yüklü veya fotonun sebep olduğu ilk iyonlaşmadan dolayı kristalin içinde serbest elektronlar meydana gelir. Bu elektronların kristalin atom ya da moleküllerine bağlanması sonucu görünür bölgede 3300-5000 Angstrom arasında değişen dalga boyları arasında ışık yayınlanır. Bu ışınları foto çoğaltıcı tüpün fotokatotun üstüne düşerler. Fotokatotun yüzeyi ince bir Cs-Antimon alaşımı ile kaplıdır. Foto çoğaltıcı her bir çoğaltıcıda peş peşe ve voltaj artırmalar olacak şekilde 800-1500 Voltaj arasında çalıştırılır.

Radyasyon dedeksiyon işleminin gerçekleştirilmesi için ışık dağılımının bir yük pulsuna dönüştürülmesi gerekir. Bunun için foto çoğaltıcı tüpler sintilatör ile birlikte kullanılır. Tüpün katoduna ulaşan sintilasyon fotonları burada elektrona çevrilir. Daha sonra tüp anodundan bir yük pulsı elde edilir. Detektör çıkışında oluşan darbe (puls) yüksekliği soğurulan enerji ile orantılıdır



Şekil 4.7. NaI(Tl) detektöründe radyasyon ölçümünün şematik gösterimi

Sintilasyon detektörü olan NaI(Tl) detektörü parıldama özelliği gösteren NaI kristali ve hemen arkasına bağlanmış foto çoğaltıcı bir tüpten oluşur. NaI sintilatöründe bulunan iyotun atom numarasının yüksek olması, gama ışınlarının dedeksiyonunda yüksek verim elde edilmesini sağlamaktadır. Talyum'un kristal içerisine eklenerek aktive edilmesi sonucu NaI(Tl) oluşur.

Detektörün enerji kalibrasyonu

Detektöre uygulanan gerilim ve yükseltecin kazancına göre darbe yüksekliği değişecek ve hangi büyüklükteki darbenin ne kadar enerji soğurulması sonucu oluştuğunu anlamak zorlaşacaktır. Bu sebepten dolayı sisteme hangi büyüklükteki bir darbenin ne kadar enerji taşıdığı bilgisi verilmelidir. Bu işleme “Enerji Kalibrasyonu” denir. Gama spektroskopi cihazından kalibrasyonun amacı, ölçüm cihazının belirli bir radyasyon dozu karşısında verdiği yanıtın cihaza tanıtılmasıdır. Bir radyasyon ölçüm cihazının belirli bir radyasyon dozu (ışınlama veya soğurma dozu) karşısında verdiği cevabın tespit edilmesine kalibrasyon denir. Bunun için aktivitesi bilinen bir kaynak kullanılır.

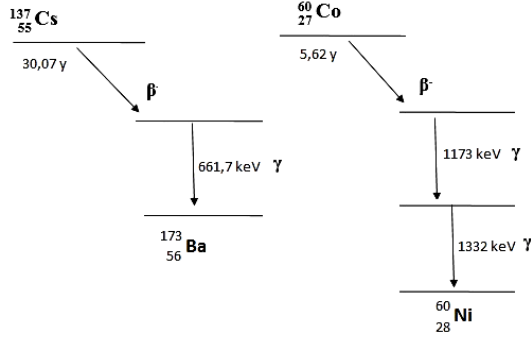
Tablo 4.2. Aktivitesi bilinen örnek kaynak

| 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 |

Deneyde kullanılan radyoizotoplar

Çalışmada kullanılan NaI(Tl) detektörünün kalibrasyonu, ¹³⁷Cs (662 keV) ve ⁶⁰Co (1173 keV- 1332 keV) standart radyoaktif kaynakları kullanılarak yapılmıştır.

Sezyum metallere en reaktif grubu olan alkali metallere biridir. ^{137}Cs fasyon ürünü olup foton enerjisi 662 keV'dir. ^{60}Co doğada doğal halde bulunan radyoaktif olmayan ^{59}Co çekirdeğinin nükleer reaktörlerde nötron ile bombardımanıyla elde edilir. Enerjileri 1173 keV ve 1332 keV olan iki gama ışını açığa çıkar.

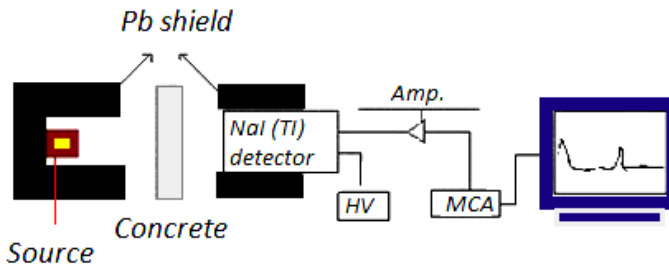


Şekil 4.8. ^{137}Cs ve ^{60}Co bozunum şeması

4.4. Radyasyon Soğurma Ölçümlerinin Analizi

Betonların radyasyon soğurma özelliklerini belirlemede betonlara ait toplam doğrusal soğurma katsayıları (μ , cm^{-1}) hesaplanarak elde edilmiştir (Bkz. Şekil 2.30), (Bkz. Eş. 2.27).

I_0 radyoaktif kaynak ile detektör arasında beton yokken alınan ölçümle bulunur. Aynı kaynak için I_0 bir defa alınarak tüm betonlar için kullanılmıştır. Kaynak değişiminde I_0 ölçümü tekrarlanmıştır. I_0 ölçümü sonrasında deneye tabi tutulacak olan betonlar kaynak ile beton arasına yerleştirilerek ikinci bir ölçüm alınmıştır. Yapılan ölçüm deneylerinde kaynak- detektör ve kaynak- beton mesafelerinin aynı olmasına dikkat edilmiştir (Şekil 4.9 ve Şekil 4.10).

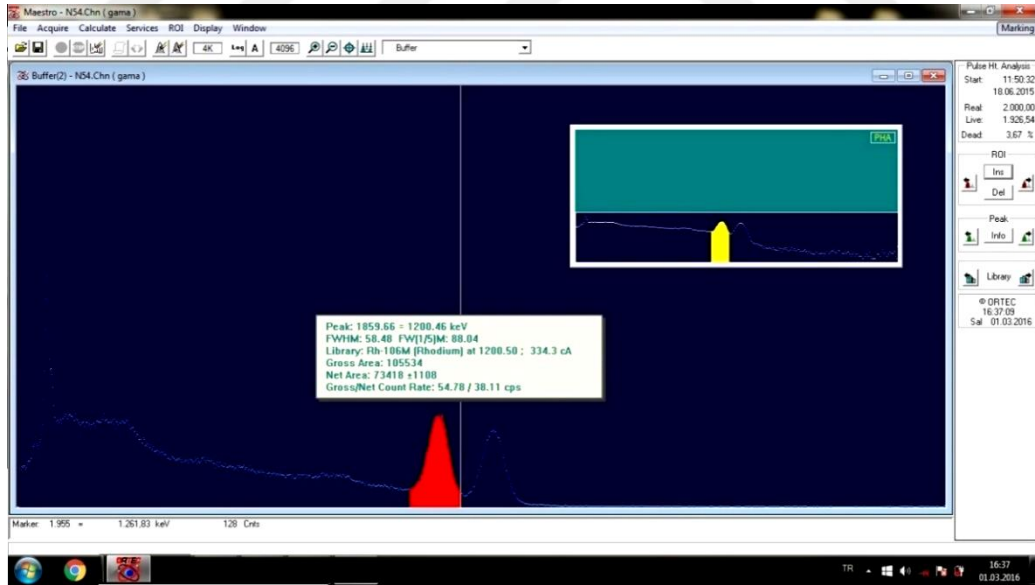


Şekil 4.9. Kaynak-beton ve detektör düzeninin şematik gösterimi



Şekil 4.10. Kaynak-beton ve detektör düzeni

Kaynak önünde beton yokken alınan net alan ve beton varken alınan ölçümlerde elde edilen spektrumların analizi MAESTRO Software Version 7.01 kullanılarak yapılmıştır (Şekil 4.11).



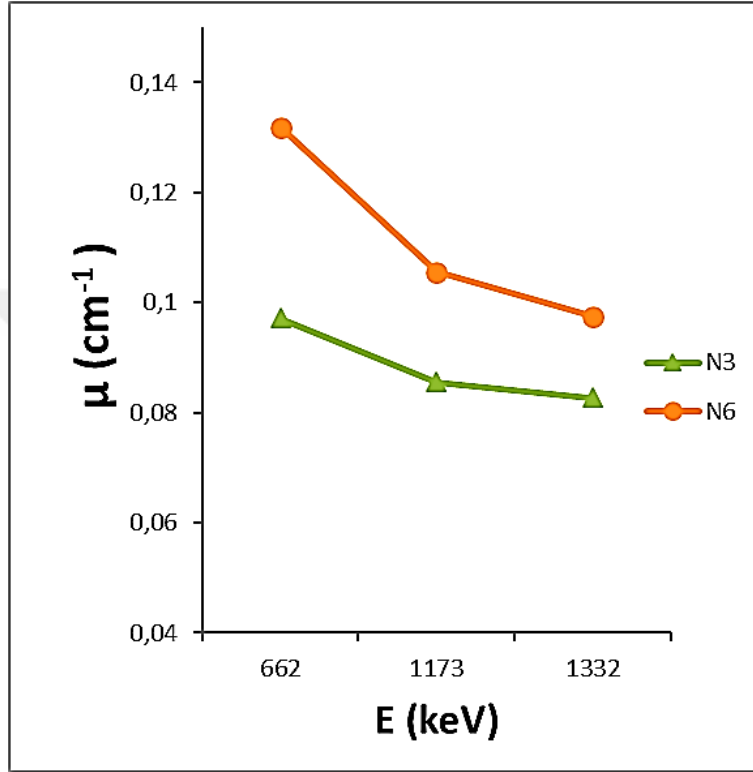
Şekil 4.11. Maestro programı ile net alan ölçümü

Ölçümler sonucunda $\mu = \frac{1}{x} \ln \frac{I_0}{I}$ Beer-Lambert denklemi kullanılarak soğurma katsayısı μ (cm^{-1}) hesaplanmıştır [Akkurt ve ark., 2012].

5. DENEYSEL BULGULAR, TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada elde edilen 20 değişik tipteki betonların radyasyon soğurma katsayıları Amasya Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Nükleer Fizik Radyoaktif Araştırma Laboratuvarlarında bulunan gama spektrometresi ile ölçülmüştür. Kalıpların zayıflatma katsayısı ^{137}Cs ve ^{60}Co radyoaktif kaynaklarından elde edilen 622keV ve 1173-1332 keV gama enerjileri için ölçülmüştür. Ölçümler NaI(Tl) detektörlü gama spektrometresi ile gerçekleştirilmiş olup elde edilen spektrumların analizi MAESTRO Software Version 7.01 kullanılarak yapılmıştır. Ölçümler sonucunda $\mu = \frac{1}{x} \ln \frac{I_0}{I}$ Beer-Lambert denklemi kullanılarak soğurma katsayısı $\mu(\text{cm}^{-1})$ hesaplanmıştır [Akkurt ve ark., 2012]. Her beton için soğurma katsayılarının enerji ile değişimi grafiği oluşturulmuştur. Grafikler üzerinde betonların içinde bulunan katkı malzemelerine göre soğurma özellikleri tartışılmıştır.

Şekil 5.1’de ki beton örneklerin malzeme miktarlarına göre kıyaslamak gerektiğinde;
 N3 ve N6 tipi betonlarda çimento miktarı sabit tutulmuş ve N3’e N6’ya göre 10gr daha fazla pomza ilave edilmiştir. Pomza fazlalığının etkisi incelenmiştir.

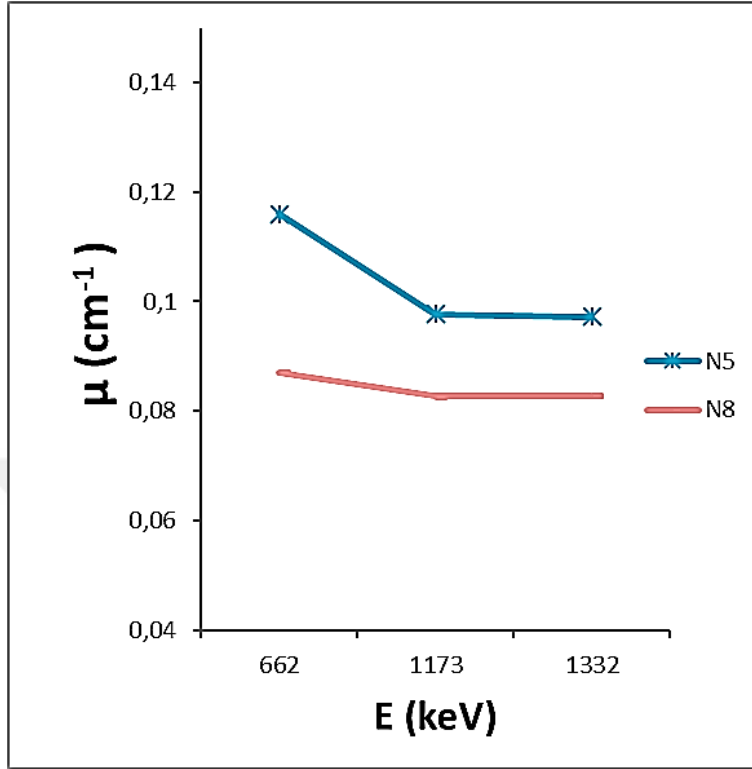


Şekil 5. 1. N3 ve N6 tipi betonlar için soğurma katsayılarının enerji ile değişimi

➤ N6’ nın, N3’ e göre tüm enerjilerde en yüksek soğurma katsayısına sahip olduğu görülmektedir. N3’ deki pomza miktarındaki artışın soğurma özelliğini düşürdüğünü söyleyebiliriz (Şekil 5.1).

Şekil 5.2’de ki beton örneklerin malzeme miktarlarına göre kıyaslamak gerektiğinde;

N8 ve N5 tipi betonlarda çimento ile odun külü miktarı sabit tutulmuş N8’e farklı olarak 100gr pomza ilave edilmiştir, pomzanın soğurma katsayısına etkisi gözlenmiştir.

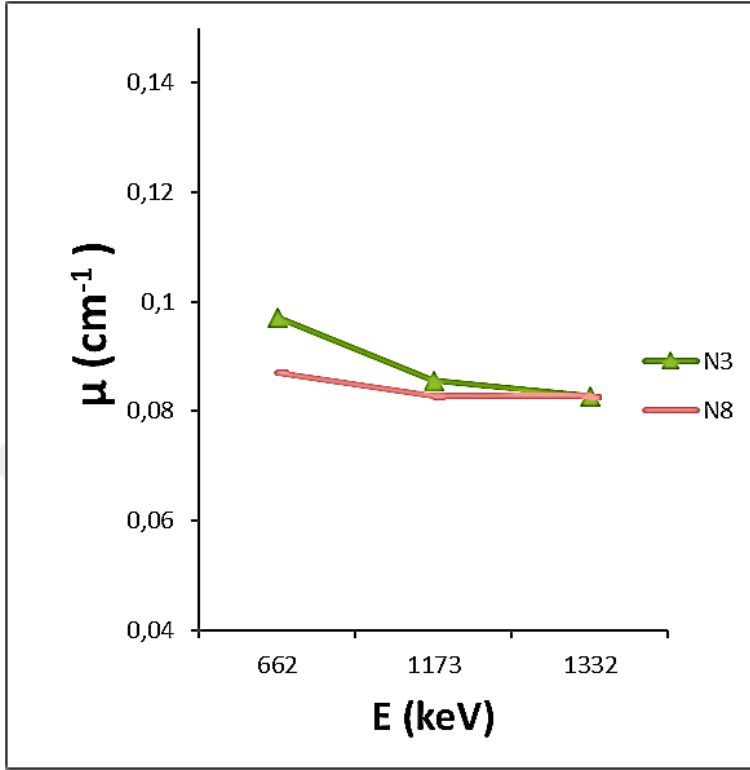


Şekil 5. 2. N5 ve N8 tipi betonlar için soğurma katsayılarının enerji ile değişimi

- N5' nin, N8'e göre tüm enerjilerde en yüksek soğurma katsayısına sahip olduğu görülmektedir. Pomza ilavesi soğurma katsayısının düşmesine neden olmuştur (Şekil 5.2).

Şekil 5.3'de ki beton örneklerin malzeme miktarlarına göre kıyaslamak gerektiğinde;

- ✚ N3 ve N8 örneklerinde farklı olarak N8'e ilave edilen 20gr odun külünün soğurma katsayısına etkisi gözlenmiştir.

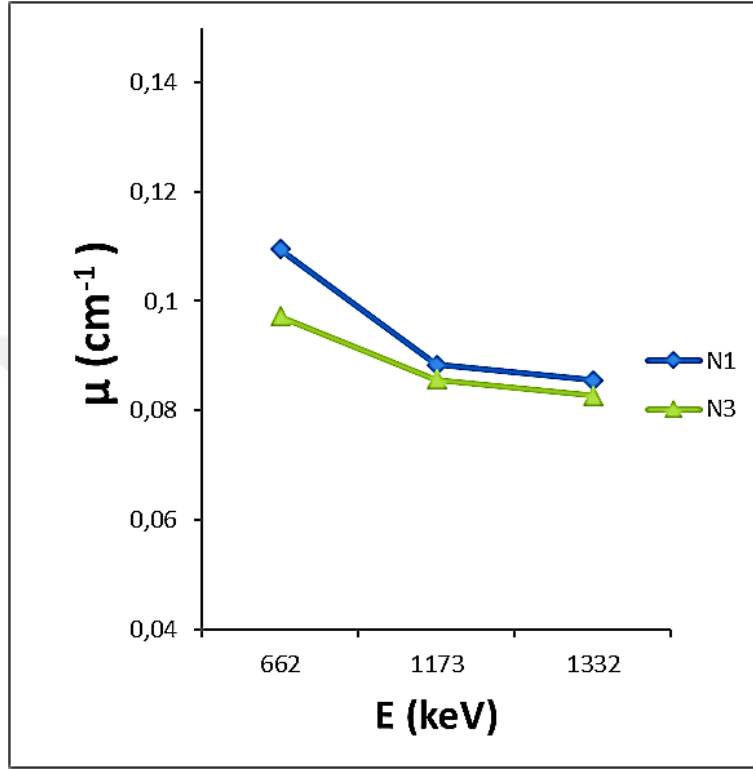


Şekil 5. 3. N3 ve N8 tipi betonlar için soğurma katsayılarının enerji ile değişimi

- N3'ün N8'e göre 662 keV ile 1173 keV enerjilerinde yüksek soğurma katsayısına sahip olduğu 1332 keV de ise yakın soğurma özelliği sergilediği görülmektedir. N8'e ilave edilen odun külü soğurma katsayısını düşürdüğü söylenebilir (Şekil 5.3).

Şekil 5.4'de ki beton örneklerin malzeme miktarlarına göre kıyaslamak gerektiğinde;

✚ N3 ve N1 beton örneklerine baktığımızda ise N1'e 47,6 gr agrega ilave edilmiştir

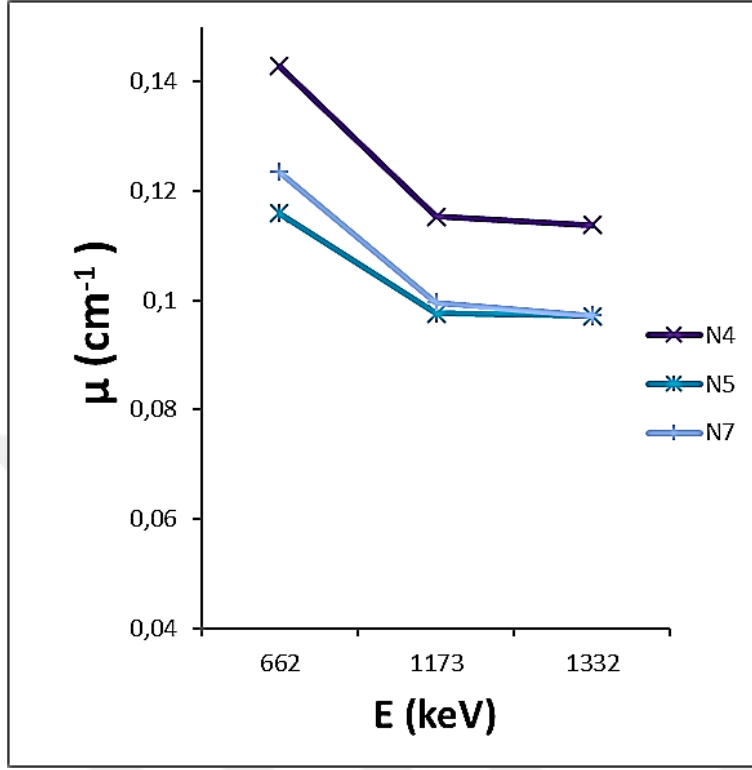


Şekil 5. 4. N3 ve N1 tipi betonlar için soğurma katsayılarının enerji ile değişimi

➤ N1'e agrega ilavesi soğurma katsayısını yükseltmiştir (Şekil 5.4).

Şekil 5.5'de ki beton örneklerin malzeme miktarlarına göre kıyaslamak gerektiğinde;

✚ N4, N5, N7 beton örneklerinde çimento miktarı sabit tutularak farklı malzemeler N4'ya agrega, N5'ye odun külü ve N7'a kiremit tozu aynı miktarlarda katkı edilmesi ile hazırlanmıştır. Agrega, odun külü ve kiremit tozun etkisi gözlenmiştir.

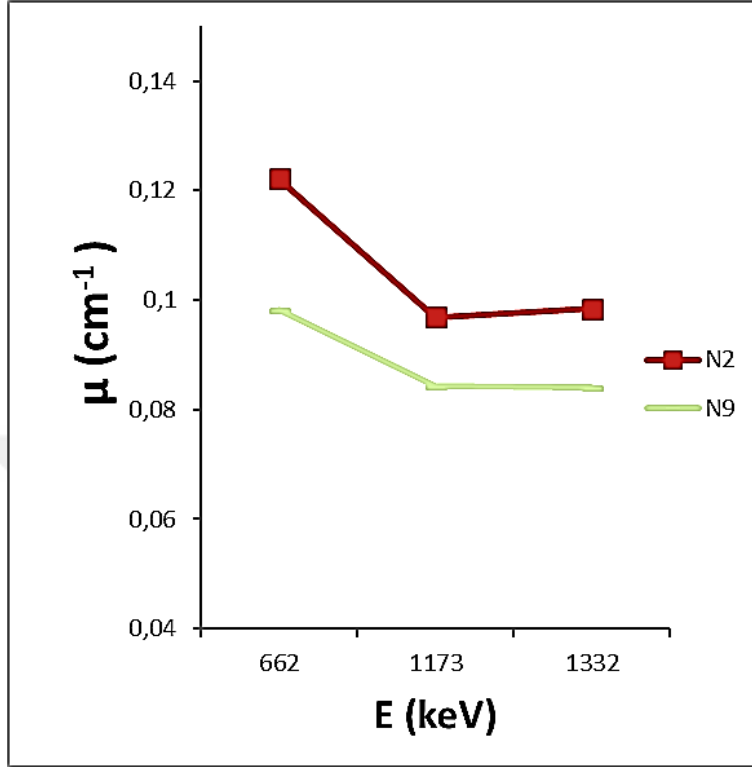


Şekil 5. 5. N4, N5, N7 tipi betonlar için soğurma katsayılarının enerji ile değişimi

- Agregat katkılı N4, kiremit tozu katkılı N7 ve odun külü katkılı N5 e göre tüm enerjilerde en yüksek soğurma katsayısına sahiptir. N5 ise tüm enerjilerde en düşük soğurma özelliği göstermiştir. En iyi agregat iken kiremit tozu odun külüne göre daha iyi bir katkı malzemesi olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 5.5).

Şekil 5.6'da ki beton örneklerin malzeme miktarlarına göre kıyaslamak gerektiğinde;

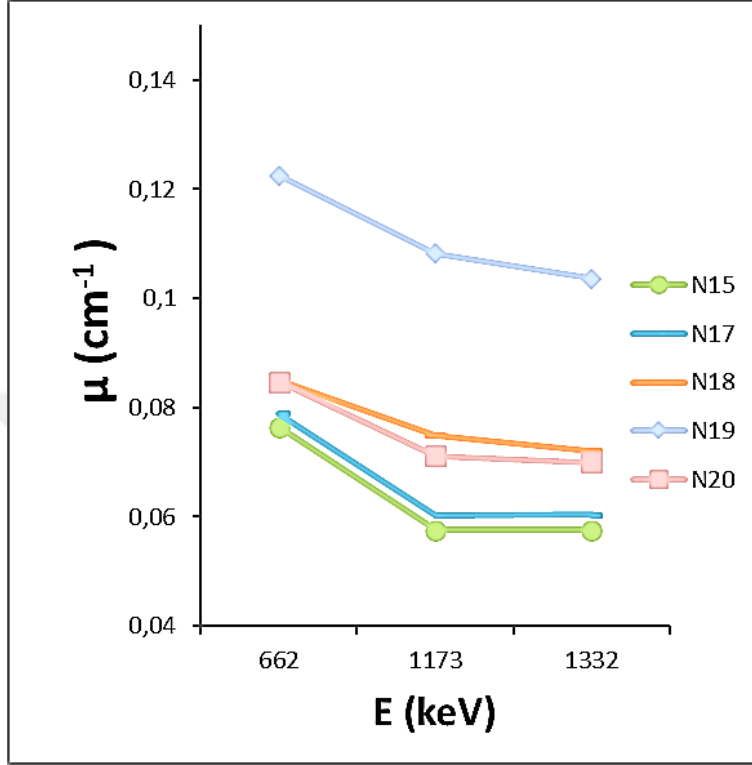
- ✚ N2 ve N9 betonları çimento miktarı sabit tutulmuş N2'e kum N9'ye ise küfenki taşı katkı malzemesi olarak kullanılmıştır. Kum ile küfenki taşı kıyaslanması yapılmıştır.



Şekil 5. 6. N2 ve N9 tipi betonlar için soğurma katsayılarının enerji ile değişimi

- İnce kum kullanılan N2 ile küfenki taşının kullanıldığı N9 örneklerine bakıldığında 662 keV de aynı değer sahip N2 1173 keV de en yüksek değerde iken düşüşe geçmiş ve 1332 keV de en düşük soğurma katsayısına sahip olmuştur (Şekil 5.6).

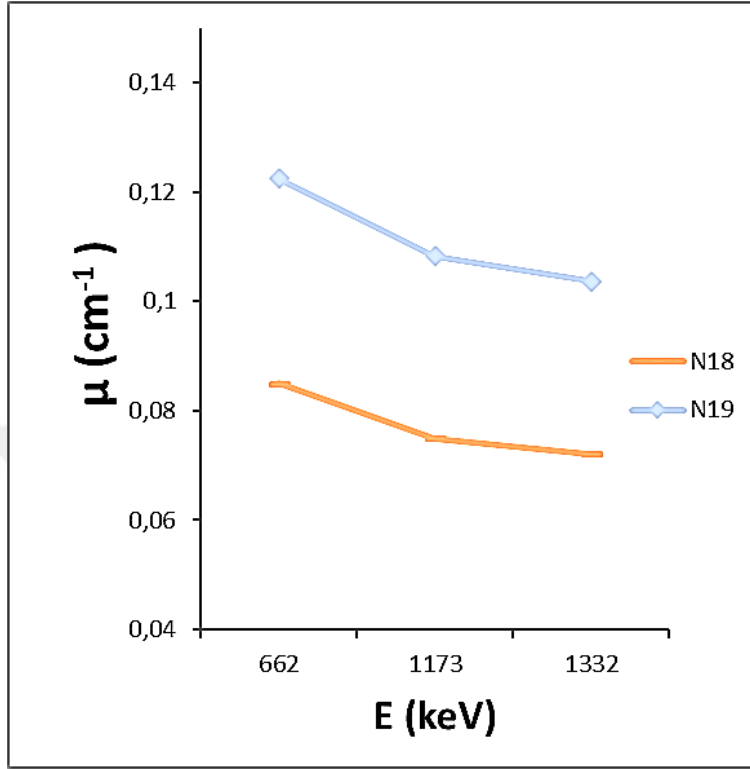
Şekil 5.7 üzerinde görülen tüm örneklerde bağlayıcı olarak 250gr kaymak kireç kullanılmıştır (Şekil 5.7).



Şekil 5. 7. N15, N17, N18, N19 ve N20 tipi horasan örnekleri için soğurma katsayılarının enerji ile değişimi

Şekil 5.8'de ki horasan kalıp örneklerinin malzeme miktarlarına göre kıyaslamak gerektiğinde;

- ✚ N18 ve N19 örneklerinde bepermo, kiremit tozu ve kaymak kireç sabit tutulmuştur. N18'e kemik unu ve peynir altı suyu ilavesi yapılırken N19 ise gübre ile dişbudak yaprak suyu ilavesi yapılmıştır.

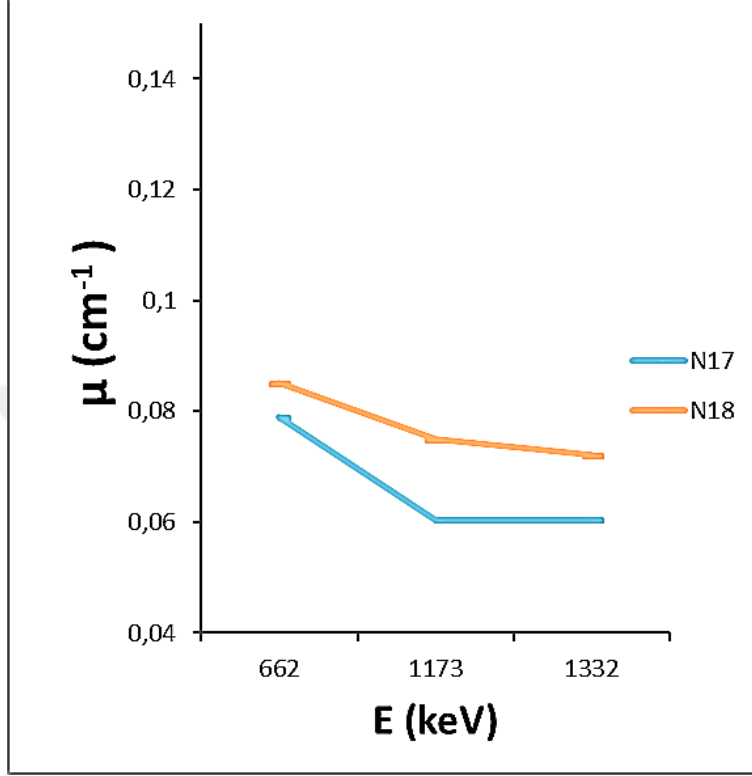


Şekil 5. 8. N18 ve N19 tipi horasan örnekleri için soğurma katsayılarının enerji ile değişimi

- Kemik unu ve peynir suyu katkılı N18, N19'a göre tüm enerjilerde düşük soğurma özelliği göstermiştir. N19'a ilave edilen dişbudak yaprak suyu ve gübre malzemeleri soğurma katsayısını arttırmıştır (Şekil 5.8).

Şekil 5.9'de ki horasan kalıp örneklerinin malzeme miktarlarına göre kıyaslamak gerektiğinde;

- ✚ N17 ve N18 örneklerinde bepermo, kiremit tozu, kaymak kireç ve kemik unu sabit tutulmuş N17 ye koyunyünü ilavesi yapılmıştır. Koyunyününün soğurma katsayısına etkisi gözlenmiştir.

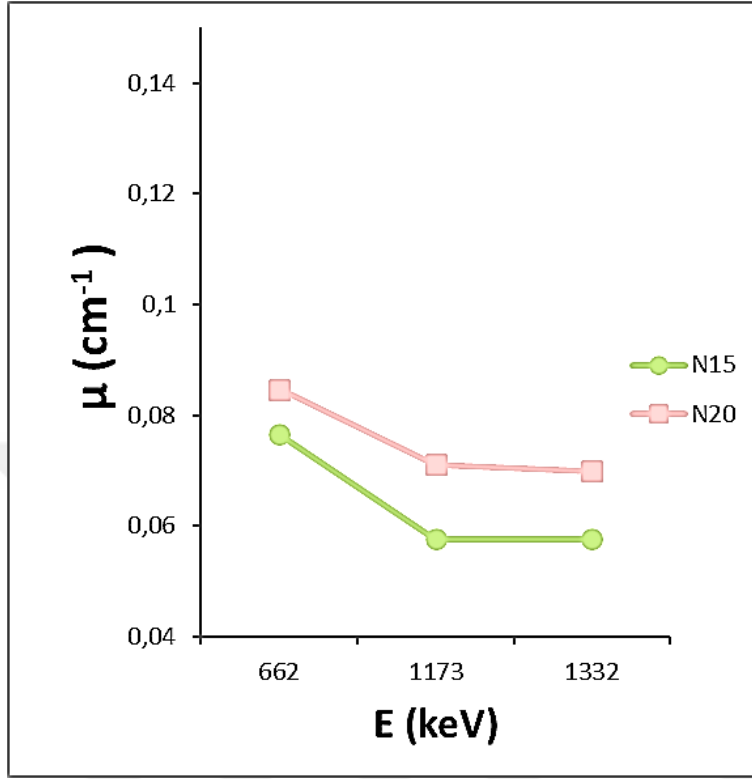


Şekil 5. 9. N17 ve N18 tipi horasan örnekleri için soğurma katsayılarının enerji ile değişimi

- N18 tüm enerjilerde yüksek soğurma özelliği sergilemiştir. N17' ye ilave edilen 4,6gr koyunyünü soğurma katsayısını düşürmüştür (Şekil 5.9).

Şekil 5.10'da ki horasan kalıp örneklerinin malzeme miktarlarına göre kıyaslamak gerektiğinde;

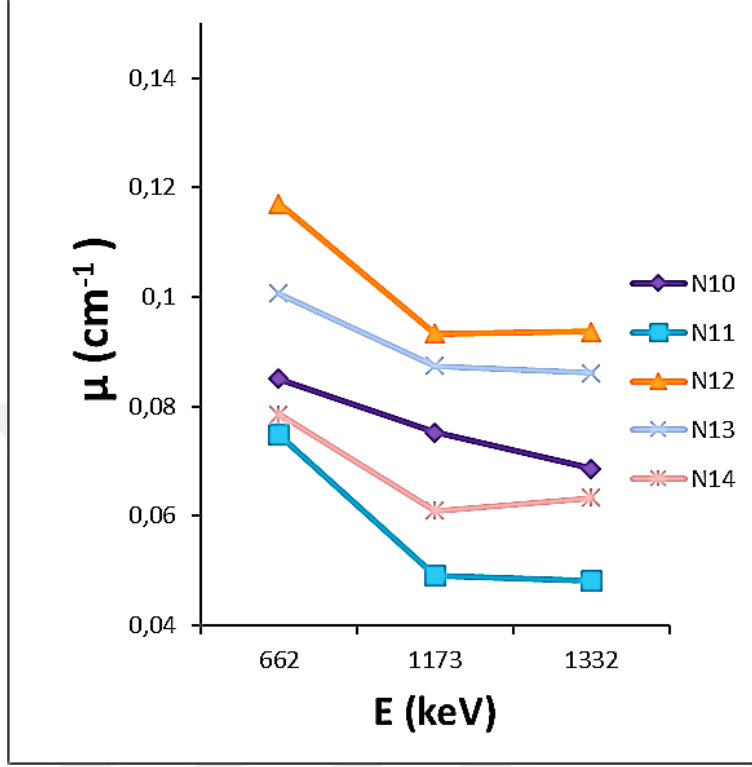
- ✚ N15 ve N20 örneklerinde kiremit tozu, kaymak kireç ve kazein sabit tutulmuştur. N15'e kemik külü ilave edilir iken N20'ye pirinç ve yumurta beyazı ilave edilmiştir.



Şekil 5. 10. N15 ve N20 tipi horasan örnekleri için soğurma katsayılarının enerji ile değişimi

- Pirinç ve yumurta beyazı ilave edilen N20 tüm enerjilerde N15'e göre yüksek soğurma özelliği sergilemiştir (Şekil 5.10).

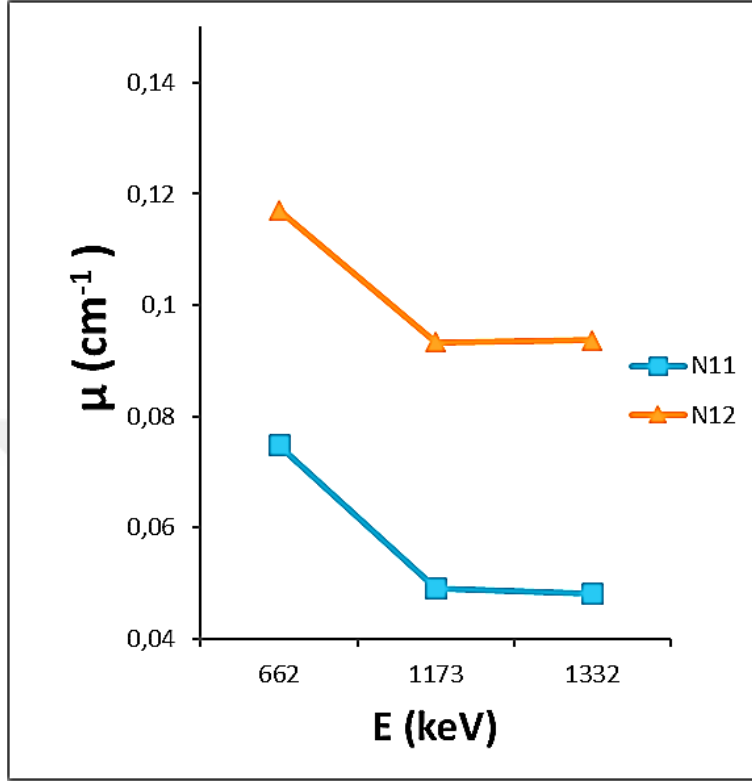
Şekil 5.11 üzerinde görülen tüm örneklerde bağlayıcı olarak taş kireç kullanılmıştır.



Şekil 5. 11. N10, N11, N12, N13, ve N14 tipi horasan örnekleri için soğurma katsayılarının enerji ile değişimi

Şekil 5.12'de ki horasan kalıp örneklerinin malzeme miktarlarına göre kıyaslamak gerektiğinde;

- N11 ve N12 örneklerinde taş kireç miktarı N12'de 175gr azaltılıp 125gr küfenki taşı ilave edilmiştir.

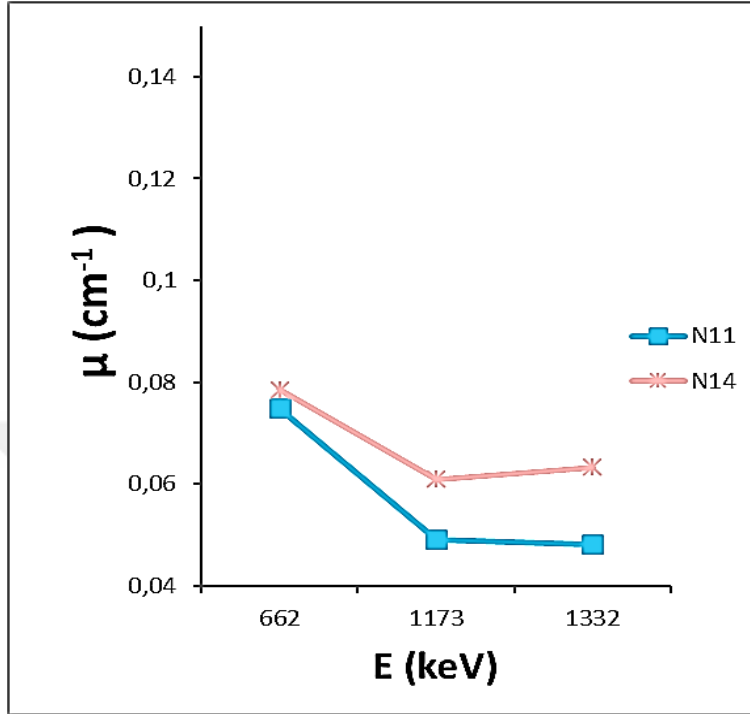


Şekil 5. 12. N11 ve N12 tipi horasan örnekleri için soğurma katsayılarının enerji ile değişimi

- N12’de taş kirecin azaltılıp küfenki taşı ilavesi soğurma katsayısının da görünür bir artışa neden olmuştur (Şekil 5.12).

Şekil 5.13’de ki horasan kalıp örneklerinin malzeme miktarlarına göre kıyaslamak gerektiğinde;

- ✚ N11 ve N14 örneklerinde taş kireç miktarı N14’de 90gr azaltılıp 30gr odun külü ilave edilmiştir.



Şekil 5. 13. N11 ve N14 tipi horasan örnekleri için soğurma katsayılarının enerji ile değişimi

- Taş kirecin azaltılıp odun külü ilavesi yapılan N14 662 keV de N11 ile yakın değerde bir soğurma özelliği sergilerken 1173keV ve 1332keV de daha yüksek soğurma katsayısına sahip olduğu görülmektedir (Şekil 5.13).

Tablo 5.1. Numunelerin soğurma katsayıları

| N1 | N2 | N3 | N4 | N5 | N6 | N7 | N8 | N9 | N10 | KeV |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------|
| 0,109478 | 0,122149 | 0,097177 | 0,142806 | 0,11592 | 0,131912 | 0,12341 | 0,08709 | 0,098107 | 0,084988 | 662 |
| 0,08838 | 0,096887 | 0,0856 | 0,11523 | 0,097625 | 0,10552 | 0,09964 | 0,082706 | 0,08419 | 0,07523 | 1173 |
| 0,0855 | 0,098429 | 0,08273 | 0,1138 | 0,097159 | 0,09751 | 0,09724 | 0,082752 | 0,08405 | 0,06863 | 1332 |
| | | | | | | | | | | |
| N11 | N12 | N13 | N14 | N15 | N16 | N17 | N18 | N19 | N20 | KeV |
| 0,074888 | 0,117101 | 0,10063 | 0,078556 | 0,076501 | 0,075997 | 0,078901 | 0,08503 | 0,122481 | 0,084731 | 662 |
| 0,04913 | 0,09329 | 0,087418 | 0,060912 | 0,057592 | 0,063447 | 0,060319 | 0,07496 | 0,108207 | 0,071103 | 1173 |
| 0,0482 | 0,09371 | 0,08612 | 0,063317 | 0,057605 | 0,06096 | 0,060383 | 0,072115 | 0,103613 | 0,069951 | 1332 |

Günümüzde gelişim gösteren teknoloji ile radyasyonun yaygın olarak kullanıldığı bilinmektedir. Bu teknoloji ile iç içe olan insanların radyasyonun zararlarından korunması için önlem alması şarttır. Radyasyonun şiddetini ve dozunu, zaman ve mesafe ile engellememiz mümkün olmadığı koşullarda zırhlama en iyi yöntemdir. Bu amaç ile çalışmamızda farklı katkılanmış beton ve horasan örneklerinin radyasyon zırhlama üzerine etkisi incelenmiştir. Kaynak araştırma sonucunda, radyasyon zırhlama adına horasan harç ve sıvalarıyla ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır. Çalışmada farklı malzemeler ile hazırlanan numunelerin lineer zayıflatma katsayıları elde edilmiştir. Elde edilen değerlerin incelenmesi ve mukayeseli olarak değerlendirilmesi neticesinde;

- Ponza miktarında ki artış ve odun külü ilavesi soğurma özelliğini düşürdüğü (Bkz. Şekil 5.1, Şekil 5.2 ve Şekil 5.3) sonucuna varılmıştı.

Pomza (ponza) kayaların genel kimyasal özellikleri;

Silisyum dioksit (SiO_2) → 52-75

Alüminyum oksit (Al_2O_3) → 11,0-17,0

Magnezyum oksit (Fe_2O_3) → 0,5-5,0

Sodyum oksit + Potasyum oksit ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) → 3-9

Titanyum oksit (TiO_2) → <1

Sülfür trioksit (SO_3) → <1

PH → 7-7,3

Su Emme (Ağırlıkça%) → 30-70 [<http://www.pomza.net/teknik-veriler>].

- Agregası, odun külü ve kiremit tozu karşılaştırmasında en iyi katkı malzemesinin agregası daha sonra kiremit tozunun ve en son odun külünün olduğu, (Bkz. Şekil 5.5)

- Horasan harcı denemelerinde kaymak kireç ile hazırlanan örneklerinden gübre ve dış budak yaprak suyu katkılı örnek betonun iyi bir soğurucu özelliği gösterdiği (Bkz. Şekil 5.8) sonucuna ulaşılmıştır.

Organik koyun gübrelerinden bulunan elementler

N→ %2, P→ %0,10, K→ % 0,18, Ca→ % 1,16, Mg→ % 0,13, Fe→ 40 ppm,
Mn→ 107 ppm, Zn 37ppm [Demirtaş ve ark.,2005].

- Şekil 5.9 incelendiğinde ilave edilen koyunyünü soğurma katsayısını düşürdüğü
- Pirinç ve yumurta beyazı ilavesi soğurma katsayısının arttırdığı (Bkz. Şekil 5.10)
- Taş kirecin azaltılıp küfenki taşı ilavesi soğurma katsayısının arttırdığı (Bkz. Şekil 5.12)

sonuçlarına varılmıştır. Bu bağlamda radyasyon zırlama faaliyetlerinde kullanılabilir, uygulamaya yönelik bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

6. KAYNAKLAR

- [1]. Algüneş, Ç., “Radyasyon Biyofiziği” (1.Basım). *Trakya Üniversitesi Yayınlar*, Edirne, (2002).
- [2]. Akkurt, İ., Başığit,C., Akkaş, A., Mavi, B., Günoğlu,K., “Yüksek Fırın Cürüflü Betonların Radyasyon Soğurma Karakteristiklerinin Belirlenmesi”, *e-Journal of New World Sciences Academy*, 6(4): (2011).
- [3]. Akkurt, İ., Başığit,C., Mavi, B., Günoğlu, K., Kılınçarslan, Ş., Akkaş, A., “Ağır Agregaların Radyasyon Zırhlama Özellikleri”, *e-Journal of New World Sciences Academy*, 6(4): (2011).
- [4]. Akkurt, İ., Günoğlu, K., Başığit, C., Akkaş, A., “Hafif Betonların 511 ve 1275keV’deki Radyasyon Zayıflatma Katsayılarının Araştırılması”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 16(3): 315-317(2012).
- [5]. Akkurt, İ., Günoğlu, K., Başığit, C., Kılınçarslan, Ş., Akkaş, A., “Farklı Çimentolarla Üretilen Çimento Pastalarının Radyasyon Zırhlama Özellikleri”, *SDÜ International Journal of Technologic Sciences*, 4(2): 135-140 (2012).
- [6]. Büyük, B., Tuğrul, B.A., “TİB₂ Katkılı B₄C-SİC Kompozit Malzemelerin Co-60 Gama Radyoizotop Kaynağı Karşısındaki Davranışlarının İncelenmesi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(1): 24-29 (2015).
- [7]. Böke, H., Akkurt, S., İpekoğlu, B., “Tarihi Yapılarda Kullanılan Horasan Harcı ve Sıvalarının Özellikleri” *Yapı Dergisi*, 269 :90-95, (2004).
- [8]. Değerliler, M.,“Adana İli ve Çevresinin Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Saptanması ve Doğal Radyasyonun Yıllık Etkin Doz Eşdeğerinin Bulunması”, Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi*, Adana, (2012).

- [9]. Demirtaş, E.I., Arı, N., Arpacıoğlu, A., Kaya, H., Özkan, C. F., “Değişik Organik Kökenli Gübrelerin Kimyasal Özellikleri” *DERİM Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü*, 22(2), Antalya, (2005).
- [10]. Filiz, M., Nazıroğlu, M., Sancak, E., Özel, C., Gençel, O., “Ağır ve Kolemanit Agregalı Betonun Radyasyon Önlemede Kullanımının Araştırılması”, *SDÜ.Poje No:106M442 Isparta*, (2009).
- [11]. Gençay, Ş., “Nükleer Elektrik ve Çevre”, *Elektrik Enerjisi ve Teknolojileri Sempozyumu, İTÜ Yayınları*, İstanbul, (1994).
- [12]. Gümüş, E., “Cr,Fe,Cu ve Zn Geçiş Elementlerin Oluşturduğu Bazı Bileşiklerin K Kabuğu Floresans Parametreleri Üzerine Kimyasal Etki”, Yüksek lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü*, Pamukkale, (2011).
- [13]. Güngör, N., “Sağlık Fiziği”, *İ.T.Ü. Matbaası*, İstanbul, (1991).
- [14]. Günoğlu, K., Akkurt, İ., “Isparta’da Çıkarılan Andezit ve Bazalt Kayaçlarının Radyasyon Soğurma Özelliklerinin İncelenmesi”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 17(3):59-62 (2013).
- [15]. İpekoğlu, B., Böke, H., Hamamcıoğlu, M., Akkurt, S., Çizer, Ö., “Tarihi Yapılarda Malzeme Bozulmasının Sınıflandırılması ve Sorunların Saptanmasına Yönelik Bir Yöntem Araştırılması”, *TÜBİTAK Proje No:101I035 İzmir*,(2003).
- [16]. Kaplan, M.F., “Concrete Radiation Shielding”, *Longman Scientific Technical, USA*,(1989).
- [17]. Kılınçarslan, Ş., Seven, A., “Baritli Hazır Sıva Kaplamaların Radyasyon Zırh Malzemesi Olarak Kullanımının Araştırılması”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 18(3): 9-14 (2014).
- [18]. Krane, K.S., “Nükleer Fizik 2.Cilt”, Çeviri Editörü, Başar Şarer, *Palme Yayıncılık*, Ankara, (2002).

- [19]. Özdoğan, T., Kara, M., Gümüş,S.,Orbay,M.,“Fizik IV Modern Fizik”, (1.Basım). *Pegem A Yayıncılık*, Ankara, (2005).
- [20]. Özgen,Ö., “Horasan Harcı Üzerinde Deneysel Çalışmalar”Uzmanlık Tezi, *Kültür ve Turizm Bakanlığı İstanbul Rölöve ve Anıtlar Müdürlüğü*, İstanbul, (2012).
- [21]. Öter, Ç., “Van ve Çevresinde Yetiştirilen Bazı Yöresel Ürünlerde Doğal Radyoaktivite Seviyelerinin Belirlenmesi”,Yüksek lisans Tezi, *Yüzünü Yıl Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü*, Van, (2013).
- [22]. Sarıyer, D., Küçer, R., “Farklı Yoğunluktaki Malzemelerin Nötron Zayıflatma Özelliklerinin İncelenmesi”, *SDU Journal of Science (E-Journal)*, 10(1):49-53 (2015).
- [23]. Serway, R. A., Beichner, R. J., “Fen ve Mühendislikler İçin Modern Fizik 3.Cilt” (5.Basım).Editörü, *Kemal Çolakoğlu, Palme Yayıncılık*, Ankara, (2011).
- [24]. Seyrek,E.,“Radyoizotopların Üretimi ve Radyoterapide Kullanılması”,*Gazi Üniversitesi Eğitim Fakültesi Fizik Eğitim Anabilim Dalı*, Yüksek lisans Tezi, Ankara, (2007).
- [25]. Sickes, L. B., “Organics and Synthetics: Tehiri Use as Additives in Mortars, Cements and Grouts Used in the Conservation of Historic Buildings”, *Proceedings of Symposium*, Rome, :25-52, (1981).
- [26]. Williams,W.S.C., “Nuclear and Particle Physics” (1. Basım).Editörleri, İsa Dumanoğlu, Sefa Ertürk, *Nobel Akademik Yayıncılık*, Ankara, (2014).
- [27]. Wood, J.I., “Computational Methods in Reactor Shielding”, *Pergamon Pres*, (1982).
- [28]. Yarar, Y., “Activation Characteristics of Concrete Shields Containing Colemanite”, *Journal of Nuclear Materials*, 233-237, (1996).

[29]. Yülek, G.G.,“Radyasyon Fiziği ve Radyasyondan Korunma” (1. Basım). **SEK Yayınevi**, Ankara, (1992).

[30]. <http://www.taek.gov.tr/ogrenci/index.html>

[31]. <http://www.pomza.net/teknik-veriler>



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÖZAVCI Sibel
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 15.02.1989 Edremit
 Telefon : 0541 841 04 26
 e-mail : sibel_ozavci@hotmail.com.



Eğitim

| Derece | Eğitim Birimi | Mezuniyet tarihi |
|--------------|---------------------------------|------------------|
| Yükseklisans | AMASYA Üniversitesi /Fizik | 2017 |
| Lisans | AMASYA Üniversitesi/ Fizik | 2014 |
| Lise | AYVACIK Mehmet Akif Ersoy Ç.P.L | 2007 |

İş Deneyimi

| Yıl | Yer | Görev |
|-----------|---------------------------------------|-----------------------|
| 2015-2015 | AMASYA BÜYÜK KIZILCA İLKÖĞRETİM OKULU | Öğretmen |
| 2014-2015 | AMASYA ÜNİVERSİTESİ | Laboratuvar sorumlusu |
| 2014-2015 | AMASYA ALPTEKİN ANADOLU LİSESİ | Stajer Öğretmen |

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

YAYINLARI SCI, SSCI, AHCI İNDEKSLERİNE GİREN DERGİLERDE YAYINLANAN MAKALELER

Özavcı, S., Çetin, B., Determination Of Radiation Attenuation Coefficients In Concretes Containing Different Wastes (2016), Acta Physica Polonica A, 130(1), 316-317. DOI 10.12693/APhysPolA.128.316

DİĞER DERGİLERDE YAYINLANAN MAKALELER

Özavcı, S., Çetin, B., Experimental Investigation of Radiation Shielding Effect in Different Doped Slag Concrete (2016), International Journal of Nuclear and Radiation Science and Technology (IJNuRaSaT),1-1, 17-19

ULUSLARARASI BİLİMSEL TOPLANTILARDA SUNULAN VE BİLDİRİ KİTABINDA BASILAN BİLDİRİLER

Özavcı, S., Çetin, B., “ Experimental Investigation of Radiation Shielding Effect in Different Doped Slag Concretes”, 2nd International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering (ICCESEN 2015), 14-19 Ekim, Antalya-Turkey.

Özavcı, S., Çetin, B., “ Determination of Radiation Attenuation Coefficients in Concretes Containing Different Wastes”, 2nd International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering (ICCESEN 2015), 14-19 Ekim, Antalya-Turkey.

Özavcı, S., Çetin, B., “The Effects of Different Pattern Doped Horasan to Radiation Shielding”, International Conference on Theoretical and Experimental Studies in Nuclear Applications and Technology (TESNAT 2016), 28-30 April, Hatay-Turkey.

Özavcı, S., Çetin, B., “Investigation of Radiation Shielding Properties of Asphalt Concretes”, 10 th International Conference on Luminescence and ESR Dosimetry (LumiDoz-10), 5-7 September 2016, Çukurova University, Adana-Turkey

Özavcı, S., Çetin, B., “Radiation Shielding Properties of Concretes Including Quicklime (Cao)”, Turkish Physical Society 32 th International Physics Congress, 6-9 September 2016, Bodrum-Turkey.

