

**T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BAZI İNŞAAT BETONLARINDA DOĞAL RADYOAKTİVİTE
SEVİYELERİNİN ÖLÇÜLMESİ**

Banu ERDOĞAN GÜNEŞ

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Hasan BALTAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

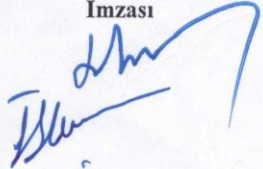


FİZİK ANABİLİM DALI

RİZE 2014

T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BAZI İNŞAAT BETONLARINDA DOĞAL RADYOAKTİVİTE
SEVİYELERİNİN ÖLÇÜLMESİ

Bu çalışma, 09 / 07 / 2014 tarihinde yapılan sınav ile Fizik Anabilim Dalı 'nda
oy birliği ile **YÜKSEK LİSANS tezi** olarak kabul edilmiştir.

| | Ünvanı, Adı, Soyadı | İmzası |
|---------------|-------------------------------|---|
| Tez Danışmanı | : Doç. Dr. Hasan BALTAŞ |  |
| Jüri Üyesi | : Yrd. Doç. Dr. İlker USTABAŞ |  |
| Jüri Üyesi | : Yrd. Doç. Dr. Nilay AKÇAY |  |


Prof. Dr. Selami ŞAŞMAZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖNSÖZ

Sadece tez aşamamda değil yüksek lisansa başladığım günden beri her konuda benden manevi yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen ve bu tezin hazırlanmasıyla yakından ilgilenen değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Hasan BALTAŞ'a en içten dileklerle teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmam esnasında numunelerin hazırlanmasına emeği geçen Yrd. Doç. Dr. İlker USTABAŞ'a teşekkür ederim.

Bu tezi hazırlarken karşılaştığım zorlukları çözmemde bana yardımcı olan Arş. Gör. Erkan KIRIŞ'a ve Esra YILMAZ BAYRAK'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Doğduğum günden beri yanımda olan, bulunduğum yeri borçlu olduğum canım ANNEM, desteğini hep yanımda hissettiğim eşime ve kızıma sonsuz şükranlarımı sunarım.

Banu ERDOĞAN GÜNEŞ

Haziran 2014

ÖZET

Bazı İnşaat Betonlarında Doğal Radyoaktivite Seviyelerinin Ölçülmesi

Mineral katkılı ve katkısız dokuz harç örneğinde doğal olarak meydana gelen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyoaktif çekirdekleri HPGe gama spektrometresi kullanılarak analiz edildi. Ayrıca kum (agrega), çimento, uçucu kül, ve yüksek fırın cürufu gibi beton bileşenleri de ölçüldü. Uçucu küldeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyoaktivite değerleri ve yüksek fırın cürufundaki ^{226}Ra değeri, dünya ortalama spesifik aktivite değerlerine karşılık gelen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için sırasıyla 50, 50 ve 500 Bq kg⁻¹ değerlerinden daha yüksektir (UNSCEAR, 1993). Betonların aktivite konsantrasyonlarının beton örneklerinin ilave çimento bağlayıcılı malzemeler ile değişiyor olduğu bulundu. Bu, ham materyal örneklerinin değerlerine göre yüksek doğal radyoçekirdek konsantrasyonları içerdiği bulunan uçucu kül ve yüksek fırın cürufu gibi farklı mineral ilavelerinin farklı oranlar içermesine dayandırılabilir. Buna ilaveten, beton karışım örneklerinde doğal radyoaktif çekirdekleri radyasyon zararlarını değerlendirmek için doğal radyoaktif çekirdek ile ilgili olan radyum eşdeğer aktivitesi (R_{eq}), gama katsayısı (I_γ), alfa katsayısı (I_α), havada soğrulmuş doz oranı (D) ve yıllık etkin doz (AED) değerleri hesaplandı. Bu çalışmada elde edilen doğal radyoaktif çekirdeklerin konsantrasyonu ve radyum eşdeğer aktivitesi dünyanın bazı ülkelerindeki mevcut sonuçlar ile karşılaştırıldı. Bu sonuçlardan, bu inşaat malzemelerinde önemli radyasyon riskleri olmadığı görülebilir.

Anahtar Kelimeler: Doğal radyoaktivite, beton, uçucu kül, yüksek fırın cürufu, çimento.

SUMMARY

Measuring of Natural Radioactivity Levels in Some Building Concretes

Nine concrete samples with and without mineral additives have been analyzed for their naturally occurring radionuclide of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K using HPGe gamma spectrometry. Also, concrete's raw materials such as aggregate, cement, fly ash and blast furnace slag have been measured. The radioactivity values of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K in fly ash and those of ^{226}Ra in blast furnace slag are higher than the corresponding world mean specific activities values which are 50, 50 and 500 Bq kg⁻¹ for ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K , respectively. The concretes activity concentrations have been found to change with supplementary cementitious materials of the concrete samples. This may be attributed to containing different proportions of different mineral additives such as fly ash and blast furnace slag which were found to contain high natural radionuclide concentrations according to the rest of raw material samples. In addition, radium equivalent activities (Ra_{eq}), gamma index (I_{γ}), alpha index (I_{α}), absorbed dose rate in air (D) and annual effective dose (AED) associated with the natural radionuclide were calculated to assess the radiation hazard of the natural radioactivity in the concrete mixture samples. The concentration of the natural radionuclides and the radium equivalent activity obtained in the present study are compared with the results available in some other countries of the world. From these results, it can be seen that these building materials do not pose significant radiation hazards.

Keywords: Natural radioactivity, Concrete, Fly ash, Blast furnace slag, cement.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

| | |
|--|------|
| ÖNSÖZ..... | I |
| ÖZET | II |
| SUMMARY | III |
| İÇİNDEKİLER | IV |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | VII |
| TABLolar DİZİNİ..... | VIII |
| SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ | IX |
| 1. GENEL BİLGİLER..... | 1 |
| 1.1. Giriş | 1 |
| 1.2. Radyoaktivite | 2 |
| 1.2.1. Doğal Radyoaktivite | 3 |
| 1.2.2. Yapay Radyoaktivite..... | 4 |
| 1.3. Radyasyon..... | 5 |
| 1.4. Radyasyonun Madde İle Etkileşmesi | 6 |
| 1.4.1. Alfa Işıması | 6 |
| 1.4.2. Beta Işıması..... | 7 |
| 1.4.3. Gama Işıması (γ) | 8 |
| 1.4.4. Elektron Yakalaması (e) | 9 |
| 1.4.5. Pozitron Bozunması (p) | 9 |
| 1.4.6. Nötron Fırlatılması | 10 |
| 1.5. Doğal Radyoaktif Seriler | 10 |
| 1.6. İyonlaştırıcı ve İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyonlar | 11 |
| 1.7. Radyoaktif Bozunma Kanunu | 12 |
| 1.8. Peş Peşe Bozunma Kanunu..... | 14 |
| 1.9. Radyoaktif Denge..... | 17 |
| 1.9.1. Geçici Denge | 17 |
| 1.9.2. Sürekli Denge | 18 |
| 1.10. Aktivite ve Radyasyon Birimleri..... | 18 |
| 1.10.1. Aktivite Birimleri | 18 |
| 1.10.2. Işınlama Birimi..... | 19 |

| | |
|--|----|
| 1.10.3. Soğurulmuş Doz | 19 |
| 1.10.4. Eşdeğer Doz | 19 |
| 1.11. Radyasyon Dedektörleri..... | 20 |
| 1.11.1. İyonlaşma Dedektörleri..... | 20 |
| 1.11.2. İyonlaşma Odası Dedektörleri..... | 21 |
| 1.11.3. Orantılı Bölge Sayıcıları | 21 |
| 1.11.4. GeigerMüller Sayıcıları..... | 22 |
| 1.11.5. Parıldama (Sintilasyon) Dedektörleri | 23 |
| 1.11.6. Yarı İletken Dedektörler | 23 |
| 1.12. Karışım Materyallerinin Özellikleri | 24 |
| 1.12.1. Çimento | 24 |
| 1.12.2. Yüksek Fırın Cürufu | 25 |
| 1.12.3. Uçucu Kül | 25 |
| 1.12.4. İnce Agregası | 25 |
| 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR | 26 |
| 2.1. Malzeme | 26 |
| 2.1.1. Radyoaktivite Ölçümleri | 27 |
| 2.1.2. Radium Eşdeğer Aktivitesi (Ra_{eq}) | 28 |
| 2.1.3. Gama Katsayısı (I_{γ}) | 29 |
| 2.1.4. Alfa Katsayısı (I_{α}) | 29 |
| 2.1.5. Havada Soğrulan Doz Oranının Hesaplanması | 30 |
| 2.1.6. Yıllık Etkin Dozun Hesabı | 30 |
| 2.2. Yöntem..... | 30 |
| 2.2.1. Deneysel Yöntem | 33 |
| 2.2.1.1. Enerji Kalibrasyonu..... | 33 |
| 2.2.1.2. Verim Kalibrasyonu | 36 |
| 2.2.2. Spektrumların Alınması | 37 |
| 2.2.3. Pik Belirleme ve Değerlendirme | 38 |
| 2.2.4. Aktivite Hesabı..... | 39 |
| 3. BULGULAR | 40 |
| 4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR | 50 |
| 5. ÖNERİLER..... | 52 |

| | |
|--------------------|----|
| 6. KAYNAKLAR | 53 |
| ÖZGEÇMİŞ | |

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

| | |
|---|----|
| Şekil 1.1. Radyasyon kaynakları..... | 2 |
| Şekil 1.2. Alfa bozunumu. | 6 |
| Şekil 1.3. Beta bozunumu. | 7 |
| Şekil 1.4. Gama bozunumu..... | 8 |
| Şekil 1.5. Elektron yakalaması..... | 9 |
| Şekil 1.6. Pozitron bozunması şeması..... | 10 |
| Şekil 1.7. Aktifliğin zamana göre değişimi..... | 14 |
| Şekil 1.8. Peş peşe bozunma grafiği..... | 17 |
| Şekil 1.9. Farklı iyonizasyon odalarının çalışma bölgeleri..... | 22 |
| Şekil 2.1. Gama ışınları soğurma ölçümleri için kullanılan deney düzeneği..... | 31 |
| Şekil 2.2. Radyasyon ölçümleri için kullanılan deney düzeneğinin genel görünüşü..... | 32 |
| Şekil 2.3. ^{152}Eu ' nin bozunma şeması..... | 34 |
| Şekil 2.4. Enerjinin kanallara göre değişimi..... | 35 |
| Şekil 2.5. Enerji-Verim eğrisi..... | 37 |
| Şekil 2.6. Standart numune için alınan spektrum örneği..... | 38 |
| Şekil 3.1. Uçucu kül katkılı beton numunelerinin ^{226}Ra ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları..... | 41 |
| Şekil 3.2. Uçucu kül katkılı beton numunelerinin ^{40}K aktivite konsantrasyonları..... | 41 |
| Şekil 3.3. Yüksek fırın cürufu katkılı beton numunelerinin ^{226}Ra ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları..... | 42 |
| Şekil 3.4. Yüksek fırın cürufu katkılı ^{40}K aktivite konsantrasyonları..... | 42 |
| Şekil 3.5. Uçucu kül katkılı beton numunelerinin R_{eq} eşdeğerleri..... | 43 |
| Şekil 3.6. Yüksek fırın cürufu katkılı beton numunelerinin R_{eq} eşdeğerleri..... | 43 |
| Şekil 3.7. Uçucu kül katkılı beton numunelerinin yıllık etkin doz oranları..... | 44 |
| Şekil 3.8. Yüksek fırın cürufu katkılı beton numunelerinin yıllık etkin doz oranları..... | 44 |

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

| | |
|--|----|
| Tablo 1.1. Doğada bilinen dört radyoaktif seri..... | 4 |
| Tablo 1.2. Yapay radyoaktif çekirdekler..... | 5 |
| Tablo 1.3. Bazı izotopların yarı-ömürleri..... | 13 |
| Tablo 1.4. Radyasyon ölçümü için nicelikler ve birimleri..... | 20 |
| Tablo 2.1. Dokuz beton karışımlarının (gram) kompozisyonu. | 27 |
| Tablo 2.2. ¹⁵² Eu standart kaynağın özellikleri | 34 |
| Tablo 2.3. Standart kaynak için enerjilerin kanallara göre değişim değerleri..... | 35 |
| Tablo 2.4. Detektöre ait verim değerler..... | 36 |
| Tablo 2.5. Aktivitesi hesaplanan radyoaktif çekirdekler ve salma hızları..... | 39 |
| Tablo 3.1. Dokuz adet beton karışımı ve ham beton örneklerinin ²²⁶ Ra, ²³² Th ve ⁴⁰ K aktivite konsantrasyonları..... | 40 |
| Tablo 3.2. Çimento için mevcut çalışmamızın aktivite konsantrasyonları (Bq kg ⁻¹) ve Ra _{eq} (Bq kg ⁻¹) Radium eşdeğer aktivitelerinin daha önce yapılan çalışmalarla kıyaslanması..... | 45 |
| Tablo 3.3. Uçucu kül için mevcut çalışmamızın aktivite konsantrasyonları (Bq kg ⁻¹) ve Ra _{eq} (Bq kg ⁻¹) Radium eşdeğer aktivitelerinin daha önce yapılan çalışmalarla kıyaslanması..... | 46 |
| Tablo 3.4. Yüksek fırın cürufu için mevcut çalışmamızın aktivite konsantrasyonları (Bq kg ⁻¹) ve Ra _{eq} (Bq kg ⁻¹) Radium eşdeğer aktivitelerinin daha önce yapılan çalışmalarla kıyaslanması..... | 46 |
| Tablo 3.5. Kum (Agregas) için mevcut çalışmamızın aktivite konsantrasyonları (Bq kg ⁻¹) ve Ra _{eq} (Bq kg ⁻¹) Radium eşdeğer aktivitelerinin daha önce yapılan çalışmalarla kıyaslanması..... | 47 |
| Tablo 3.6. Beton için mevcut çalışmamızın aktivite konsantrasyonları (Bq kg ⁻¹) ve Ra _{eq} (Bq kg ⁻¹) Radium eşdeğer aktivitelerinin daha önce yapılan çalışmalarla kıyaslanması..... | 48 |
| Tablo 3.7. Ham beton örnekleri ve farklı yüzdelerine göre beton örnekleri için radium eşdeğer aktivitesi, gama indeksi, alfa indisi, soğurulmuş doz oranı, yıllık etkin doz oranları..... | 49 |

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

| | |
|---------------|--|
| e | : Elektron |
| I_γ | : Gama ışını salma hızı |
| A | : Aktivite |
| S | : Pikin net alanı |
| $T_{1/2}$ | : Yarı ömür |
| t | : Zaman |
| s | : Saniye |
| V | : Potansiyel |
| w | : Ağırlık |
| λ | : Bozunma olasılığı |
| μ | : Mikro |
| ε | : Dedektör verimi |
| eV | : Elektrovolt |
| β | : Beta |
| α | : Alfa |
| γ | : Gama |
| n | : Nötron |
| p | : Proton |
| N | : Radyoaktif çekirdeklerinin sayısı |
| N_0 | : Başlangıçta bulunan radyoaktif çekirdek sayısı |
| Bq | : Becquerel |
| Ci | : Curie |
| R | : Röntgen |
| Gy | : Gray |
| Sv | : Sievert |
| C | : Coulomb |

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Beton; çimento, su, agrega ve gerektiğinde katkı maddelerinin katılmasıyla elde edilen inşaat malzemesidir. Betondaki bağlayıcı madde çimentodur. Katkısız çimento olan Porlant çimentosu klinker ile %3~6 oranında alçı taşının öğütülmesiyle elde edilir. Puzolonik özellik gösteren maddelerde çimentoda bağlayıcı olarak kullanılırlar. Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu çimentoda yaygın olarak kullanılan bağlayıcılardır. Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu çimentonun hidrasyon ısısını düşüren, çimentonun mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklerinde iyileşme sağlayan, çimentoya ekonomiklik, betona dayanıklılık katan maddelerdir.

Günümüzde uçucu kül ile yüksek fırın cürufu beton ve çimento endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Böylelikle çevre için zararlı olan bu maddelerin çevreye zararları önlenip ekonomik olarak değer kazanması sağlanmaktadır. Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu gibi puzolonların katılmasıyla elde edilen katkılı çimentolar sayesinde çimentoya katılan ana bağlayıcı ürün durumundaki klinker üretimi sırasında atmosfere salınan CO₂ gazının azalmasına yol açmaktadır. Geleneksel inşaat malzemeleri olarak yaygın kullanılan doğal üretimler için inşaat endüstrisi çok düşük maliyetli maddeler ve yeni üretimlere ihtiyaç duyar. Fakat böyle yeni inşaat malzemeleri iyi miktarda doğallık ya da yüksek seviyede radyoaktivite içerebilir (Baykara vd., 2011). Bu malzemelerdeki radyoizotopların varlığı bu binalarda yaşayan insanların görünür bir şekilde radyasyona maruz kalmasına sebep olmaktadır (Kovler, 2002).

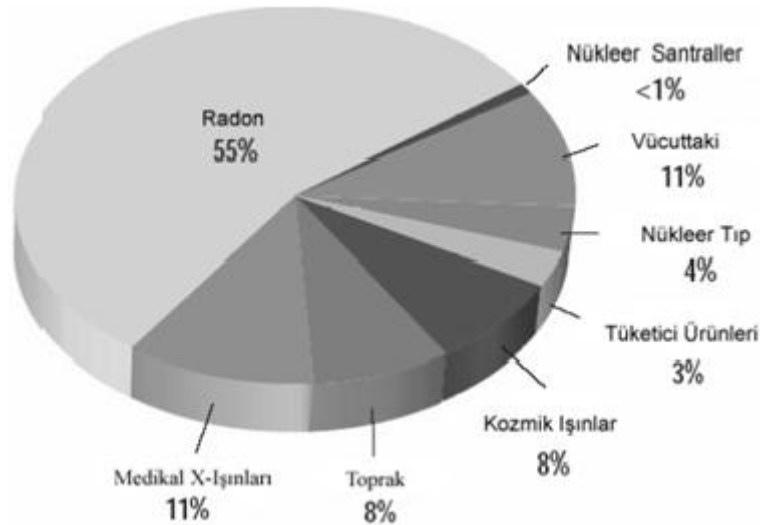
Beton maddelerindeki doğal radyoaktivite esasen uranyum (²³⁸U) ve toryum (²³²Th) serileri ile potasyum (⁴⁰K) radyoaktif izotoplarından meydana gelir. Uranyum serilerinde radyumdan (²²⁶Ra) başlayan bozunma zinciri radyolojik olarak çok önemlidir. Dahası uranyumun yerine sık sık radyum örnek alınır. Bu materyallerde doğal radyoaktivitenin bilinmesi, insanların zamanlarının % 80'ini bu bina içlerinde geçirdiklerinden dolayı maruz kalınan radyasyon miktarının belirlenmesi açısından önem taşımaktadır (Stoulos vd., 2003). Bu bilgi, hem insanların sağlığına mümkün

radyolojik zararların değerlendirilmesi açısından hem de bu maddelerdeki standartların gelişimi ile kullanımdaki genel bilginin bilinmesi açısından önemlidir.

Son yıllarda çeşitli yapı ve bunların ham maddelerindeki radyoaktivite çalışmalarında belirgin bir artış meydana gelmiştir (Mavi ve Akkurt, 2010; Papaefthymiou ve Gouseti, 2008; Hewamanna vd., 2001; Petropoulos vd., 2002; Lu vd., 2012; Cevik vd., 2010; Damla vd., 2011).

Bu çalışmanın amacı bazı beton numunelerinde doğal aktivite konsantrasyonlarının ölçülmesidir. Doğal aktivite konsantrasyonları tüm beton aktivitesi için her bir maddenin katkısını tayin edebilmek için mineral katkı içermeyen betonlarda, uçucu kül ile yüksek fırın cürufu katkılı betonlarda ve betonların üretiminde kullanılan her bir madde ölçüldü. Elde edilen sonuçlar dünyanın diğer ülkelerindeki mevcut sonuçlarla kıyaslandı.

1.2. Radyoaktivite



Şekil 1.1. Radyasyon kaynakları

Doğada kararsız halde bulunan bazı elementler kararlı hale geçmek isterler. Bu elementler, kararlı hale geçmek için enerji çeşitlerini kendiliklerinden salmaktadırlar. X ışınları gibi, enerjili parçacıkların kararsız atomların bozunumlarından salınmalarına Radyoaktivite denir. Kararsız halde bulunan elementlere de radyoaktif madde denir.

Başka bir tanımla, bir atom çekirdeğinin, tanecik veya elektromagnetik ışımaya yayarak parçalanmasına Radyoaktivite denir. Söz konusu parçalanma kendiliğinden olabildiği (Doğal Radyoaktiflik) gibi uyarılma yoluyla da oluşturulabilir (yapay radyoaktiflik) ; bu durumda ya kinetik ya da elektromagnetik biçimde enerji açığa çıkar. Doğal ve yapay olmak üzere iki tip radyoaktiflik mevcuttur.

1.2.1. Doğal Radyoaktivite

Bozunuma uğrayan çekirdek (izotop) doğada bulunan diğer radyoizotopların bozunumu sonrası ortaya çıkıyorsa buna doğal radyoaktiflik denir. Çekirdek yapısının açıklanmasında, yaş hesaplarında, sediment oluşum oranlarının tespiti gibi farklı alanlarda doğal radyoaktiflikten faydalanılır. Çevrenin doğal radyoaktiflik seviyesinin bilinmesi, nükleer kaza esnasında o bölgenin hangi oranlarda kirlendiğinin tespiti açısından önemlidir. Doğada bilinen radyoaktif çekirdek sayısı 340 civarındadır. Doğal radyoaktif özellikler taşıyan elementler, periyodik cetvelin atom numaraları $Z=81-92$ arasında kalan bölgesini kaplarlar. Doğal radyoaktif elementler genel olarak kara ve uzay kökenli olmak üzere iki ana grupta toplanırlar (Damla, 2009).

Kara kökenli radyoaktif çekirdekler; Uranyum serisi (^{238}U), Toryum serisi (^{232}Th), Aktinyum serisi (^{235}U), Tek izotoplu radyoaktif çekirdekler (^{40}K , ^{87}Rb , ^{147}Sm v.s.) ve Neptünyum serisi (^{241}Pu). Bu serinin halen bilinen tek izotopu ^{209}Bi 'dir. Tablo 1'de dört seriye ait bazı temel özellikler verilmektedir. Tarihsel sıralama söz konusu olduğunda en son keşfedilen seri Neptünyum serisidir. Bozunma zinciri sonucunda yukarıdaki kararsız çekirdeklerden Uranyum, Toryum ve Aktinyum sırasıyla kurşunun kararlı olan $^{206}_{82}\text{Pb}$, $^{208}_{82}\text{Pb}$, ve $^{207}_{82}\text{Pb}$ çekirdeklerine ulaşırken Neptünyum kararlı en ağır çekirdek olan $^{209}_{83}\text{Bi}$ bizmuta dönüşür. Neptünyum serisinin en uzun ömürlü üyesinin yarı ömrü diğerlerinininkine nazaran Dünya'nın oluşumundan bu yana geçen süreye göre çok kısa olduğundan bu seri doğal maddelerde gözlenmez (Krane, 2001) .

Tablo 1.1. Doğada bilinen dört radyoaktif seri

| Seri Adı | Türü | Son | Ana | Yarı |
|-----------|------|------------------------|------------------------|----------------|
| Toryum | 4n | $^{208}_{82}\text{Pb}$ | $^{232}_{90}\text{Th}$ | $1,41.10^{10}$ |
| Neptünyum | 4n+1 | $^{209}_{83}\text{Bi}$ | $^{237}_{93}\text{Np}$ | $2,14.10^6$ |
| Uranyum | 4n+2 | $^{206}_{82}\text{Pb}$ | $^{238}_{92}\text{U}$ | $4,47.10^9$ |
| Aktinyum | 4n+3 | $^{207}_{82}\text{Pb}$ | $^{235}_{92}\text{U}$ | $7,04.10^8$ |

Uzay kökenli radyoaktif çekirdekler; kozmik ışınlar ve yüklü parçacıklardır. Kozmik ışınlar veya yüklü parçacıklar, dünya atmosferine girdiklerinde ortamda bulunan (azot, oksijen, argon, v.b.) gazlarla nükleer reaksiyonlara girerek nötron, proton, muon ve kaonların yanı sıra dozimetrik açıdan önemli olan kozmojenik ^{14}C , ^3He , ^7Be , ^{22}Na gibi radyoaktif çekirdekleri üretirler. Güneş ve yıldızlardan kaynaklanan yüksek enerjili kozmik ışınlar, daha çok (% 93) hızlı protonlardan ve daha az da (% 6,3) alfalardan ve bir miktar da trityum ve karbon-14 çekirdeklerinden oluşuyor. Uzaydan gelen kozmik ışınlar birincil kozmik ışınlar, atmosferdeki reaksiyonlar sonucu üretilen ışınlar (nötron, proton, pion, kaon, mezon) *ikincil kozmik ışınlar*, reaksiyon ürünü olan, ^{14}C , ^3He , ^7Be ve ^{22}Na gibi radyoaktif çekirdeklere de kozmojenik radyoaktif çekirdekler denilir. Güneşten dünyaya sürekli olarak 1 keV'lik enerjilerde partiküller gelmektedir. Bu parçacıkların çok az bir kısmı yer seviyesine kadar ulaşabilirler (Damla, 2009).

1.2.2. Yapay Radyoaktivite

Nükleer reaktör veya hızlandırıcılarda üretilen bir radyoizotopun bozunuma uğraması olayıdır. Gelişmiş endüstriyel ekonomilerin ve yüksek yaşam standartlarının, doğada mevcut olmayan bazı radyasyon kaynakları kullanılmadan süreklilik gösterebileceğini düşünmek şimdilik pek mümkün gözükmemektedir. İşte bu yüzden insanoğlu, teknolojik gelişiminin gereği olarak, bazı radyasyon kaynaklarını yapay yollarla üretme ihtiyacı duymuştur. Bu kaynaklar, bir çok işin daha iyi, daha kolay, daha çabuk, daha ucuz ve basit yapılmasına olanak sağlar (Seyrek, 2007).

Son yüzyılda tıbbi, zirai ve endüstriyel amaçla kullanılan X-ışınları ve yapay radyoaktif maddeler, nükleer silah denemeleri sonucu meydana gelen nükleer serpintiler, çok az da olsa nükleergüç üretiminden salınan radyoaktif maddeler ile bazı

tüketici ürünlerinde kullanılan radyoaktif maddeler vasıtasıyla doğal radyasyon düzeylerinde artışlar olmuştur.

Başlıca yapay radyoaktif çekirdekler Tablo 1.2.'de verilmiştir. Doğal radyoaktif çekirdeklerden yayımlanan radyasyondan alınan doz, yapay radyoaktif çekirdeklerden alınan radyasyon dozuna oranla insanlar tarafından daha yüksek olmasına rağmen, insan yapımı radyoaktif çekirdeklerden yayımlanan radyasyon, yaydıkları radyasyon türü gereği daha fazla endişeye yol açarlar (Damla, 2009).

Tablo 1.2. Yapay radyoaktif çekirdekler

| Çekirdek | Yarı Ömür | Yayılan |
|-------------------|---------------------------|----------|
| ⁶⁰ Co | 5.3 (yıl) 244 (gün) | β,γ γ |
| ⁹⁰ Sr | 29 (yıl) | β |
| ⁹⁰ Y | 64 (saat) | β |
| ¹²⁵ I | 60 (gün) | X |
| ¹³¹ I | 8 (gün) | β,γ |
| ¹³⁴ Cs | 2,1 (yıl) | β,γ |
| ¹³⁷ Cs | 30 (yıl) | β,γ |
| ¹⁵⁵ Eu | 4,96 (yıl) | β,γ |
| ²³⁸ Pu | 87,7 (yıl) | α |
| ²³⁹ Pu | 2,4.10 ² (yıl) | α,γ |
| ²⁴⁰ Pu | 6,5x10 ³ (yıl) | α |
| ²⁴¹ Pu | 14,4 (yıl) | β |

1.3. Radyasyon

Dalga, parçacık veya foton olarak adlandırılan enerji paketçikleri halinde yayılan enerjilere radyasyon adı verilir.

Özellikleri:

- Hızları ışık hızına eşittir.
- Geçtikleri tüm ortamlara enerji transfer ederler. Enerji frekansları ile doğru dalga boyları ile ters orantılıdır.
- Boşlukta düz bir çizgi boyunca yayılırlar.
- Maddeyi geçerken enerjileri azalır (Absorbe edilir ve saçılırlar).

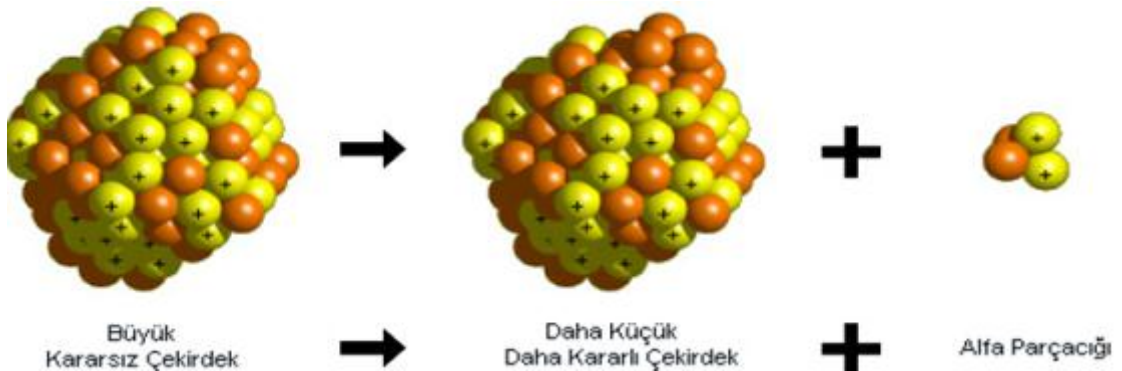
- Radyasyonlar uzun mesafeler de bile etkilidir. Radyasyonun aktivitesi mesafenin karesi ile ters orantılı olarak azalır.
- Radyoaktif ışınlar canlı organizmaya etki ederek onun yapısını bozarlar.
- Radyoaktif ışınlar yumuşak dokulardan geçerken sert cisimlerden geçemezler (Röntgen ışınlarının kemiklerden geçemedikleri gibi).
- Radyoaktif ışınlar karanlıkta fotoğraf filmlerine etki ederler.
- Radyoaktivite kontrol edilemeyen bir olaydır. Yavaşlatılamaz veya durdurulamaz ve radyoaktif madde tükeninceye kadar sürer.

Atom numarası 82'den büyük olan elementlerin kendiliğinden yaptıkları ışımalara radyoaktif tepkime denir. Küçük atom numaralı atomların yaptıkları nükleer tepkimelere çekirdek tepkimesi denir. Radyasyon, iç dönüşüm geçiren atomlar tarafından yayımlanan, boşlukta ve madde içerisinde hareket edebilen enerji olarak tanımlanır. Yayımlayan kaynağın özelliğine bağlı olarak bu enerji parçacıklar veya elektromanyetik dalgalar tarafından taşınabilir.

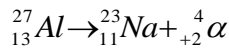
1.4. Radyasyonun Madde İle Etkileşmesi

1.4.1. Alfa Işınması

Alfa ışınması yapan bir atomun çekirdeğinden 2 nötron ve 2 proton ayrılır. Bu durumda atom numarası 2 azalırken kütle numarası 4 azalır.



Şekil1.2. Alfa bozunumu



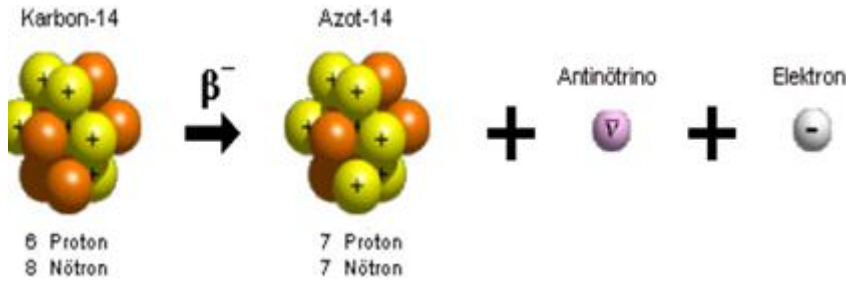
Genellikle n/p oranı 1,5'den çok büyük olan elementler α ışınması yaparlar. Alfa ışınlarının yükü ve kütlesi çok büyük olduğundan tehlikesi ve giriciliği çok azdır. Alfa ışını elektronları sökülmüş helyum çekirdeğidir. Yani iyonlaştırılmış helyum gazıdır (${}^4_2\text{He}^{+2}$).

Alfa ışınlarının özellikleri:

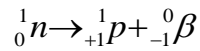
- 1- Fotoğraf filmlerine etki ederler.
- 2- + yüklü oldukları için elektrik ve manyetik alanda - kutba doğru saparlar.
- 3- Karşılaştıkları moleküllerden elektron kopararak, iyonlaşmaya neden olurlar.
- 4- Giricilikleri çok azdır.

1.4.2. Beta Işınması

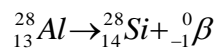
Beta ışınması yapan bir atomun çekirdeğinde bir nötron bir protona dönüşür ve dışarıya β ışınması yayımlanır.



Şekil 1.3. Beta bozunumu



Bu durumda elementin atom numarası bir artarken kütle numarası değişmez.



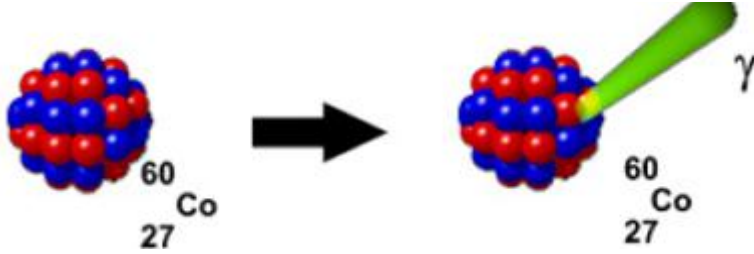
Beta ışımalarını genellikle nötronu protonundan çok fazla olan atomlar yapar. Beta ışınları alfaya oranla daha fazla tehlikelidir.

Beta Işınlarının Özellikleri:

- 1- İyonlaştırma özellikleri azdır.
- 2- Işık hızına yakın bir hızla hareket ederler.
- 3- Alfa ışınlarından daha çok, gama ışınlarından daha az giricidirler.
- 4- Fotoğraf filmine etki ederler.
- 5- Elektrik ve manyetik alanda negatif yüklü oldukları için pozitif kutba doğru saparlar. Sapmaları alfa ışınlarından daha fazladır. Çünkü bunların kütleleri daha küçüktür.

1.4.3. Gama Işınması (γ)

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

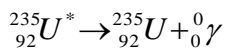


Şekil 1.4. Gama bozunumu.

Gama ışınması sırasında;

1. Atom çekirdeği yeniden düzenlenir.
2. Atomun enerjisi azalır.
3. Atom daha kararlı yapıya ulaşır.

Gama ışınları, çok yüksek enerjili kısa dalga boylu elektromanyetik enerji dalgalarıdır. Giriciliği ve tehlikesi en fazla olan ışımadır. Gama ışınmasında atom numarası ve kütle numarası değişmez.

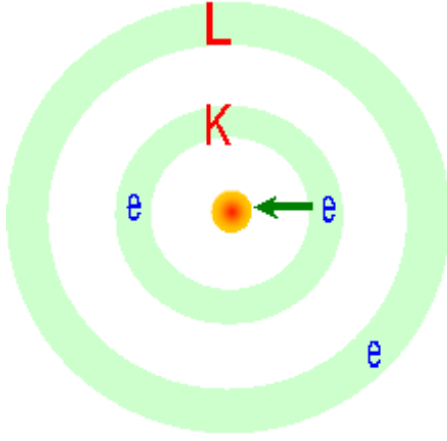


Gama Işınlının Özellikleri:

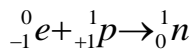
1. Alfa ve beta ışınlarından daha fazla giricidir.
2. Yüksüz oldukları için elektrik ve magnetik alanda sapmaya uğramazlar.
3. Kütlesizdirler, fotoğraf filmine etki ederler.

1.4.4. Elektron Yakalaması (e)

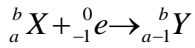
Kararsız bir atom çekirdeği kendisine en yakın orbitalden (1s) bir elektronu yakalar. Çekirdeğe düşen bu elektron bir proton ile birleşip nötrona dönüşür. Bu olaya elektron (K) yakalaması da denir.



Şekil 1.5. Elektron yakalaması

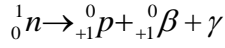


Bu durumda elementin atom numarası bir azalırken kütle numarası değişmez.

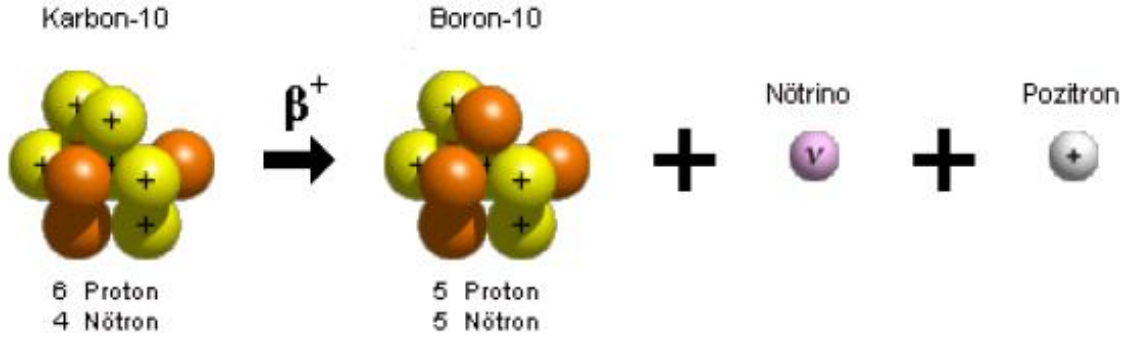
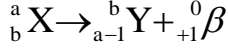


1.4.5. Pozitron Bozunması (p)

Nötron sayısı proton sayısından küçük olan atomların uğradığı bozunmadır. Bu bozunmada atom çekirdeğinde 1 tane protonun, 1 tane nötrona dönüştüğü kabul edilir.



Pozitron bozunması sonunda elementin atom numarası 1 azalırken kütle numarası değişmez.



Şekil 1.6. Pozitron bozunması şeması

1.4.6. Nötron Fırlatılması

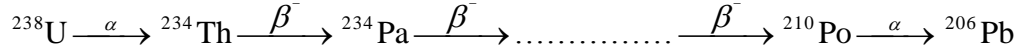
Kararsız bir çekirdekten dışarı nötron atılması ile gerçekleşir. Nötron fırlatan bir atomun kütle numarası 1 azalır. Atom numarası değişmez. Atom kendi izotopuna dönüşür. Çok hızlı gerçekleşir, izlenmesi zor bir olaydır. Yapay çekirdek tepkimelerinde gerçekleşir.

1.5. Doğal Radyoaktif Seriler

Doğada bulunan radyoaktif çekirdeklerin büyük çoğunluğu $A \geq 210$ olan ağır çekirdeklerdir ve üç radyoaktif seride toplanabilirler. Bu üç seri yarı ömrü çok büyük olan üç “anaç” çekirdekten kaynaklanır.

| Ana çekirdek | Yarı ömrü |
|---------------------|----------------|
| ${}^{232}\text{Th}$ | 14 milyar yıl |
| ${}^{235}\text{U}$ | 0,7 milyar yıl |
| ${}^{238}\text{U}$ | 4,5 milyar yıl |

Bu üç anaç çekirdeğin bozunmasıyla radyoaktif “çocuklar” ve bunların bozunmasıyla da “torunlar” oluşur. Bu süreç devam ettiğinde üç radyoaktif seri ve sonunda kararlı bir çekirdekte biter. Her radyoaktif numunede bu üç süreç birlikte gözlenir ve değişik elementler birlikte bulunabilir. Örneğin ^{238}U ile başlayan seri ^{206}Pb ile sona erer. İki arasında evrelerden bazıları şu şekildedir:



Çocuk ve torun çekirdeklerin yarı ömürleri anaçtan daha kısa olabilir ve gerçekten öyledir. Örneğin, ^{234}Th 'in 5 milyar yıldır doğada bulunuyor olması yarı ömrünün uzunluğundan değil, anaç ^{238}U tarafından sürekli üretiliyor oluşundandır.

Yerkabuğunun oluşumunda doğal olarak mevcut olan radyonüklidler ve bunların bozunma ürünleri, yayınladıkları gama ışınları ile çevresel radyasyonların büyük kısmını oluştururlar. İnsanların bu gama ışınlarından etkilenmeleri, buldukları bölge toprağındaki radyoaktif elementlerin konsantrasyonlarına bağlıdır. Bu nedenle, maruz kalınan gama radyasyon dozu her yerde aynı değildir. Toprak ve kayalarda yüksek konsantrasyonlarda bulunan ^{238}U , ^{234}Th ve ^{40}K gibi radyonüklidler en önemli dış radyasyon kaynaklarıdır. (Canbazoğlu ve Doğru, 2003).

1.6. İyonlaştırıcı ve İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyonlar

İyonlaştırıcı radyasyon bir maddede yüklü parçacıklar (iyonlar) oluşturabilen radyasyon demektir. İyon meydana gelmesi yani iyonlaşma olayı herhangi bir maddede meydana gelebileceği gibi insanlar dahil tüm canlılarda da oluşabilir. İyonlaştırıcı radyasyonlar önlem alınmadığı takdirde tüm canlılar için zararlı olabilecek radyasyon çeşididir. Başlıca beş iyonlaştırıcı radyasyon çeşidi vardır. Bunlar; alfa parçacıkları, beta parçacıkları, x – ışınları, γ - ışınları ve nötronlardır.

İyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar, iyonlaşma meydana getiren x-ışını ve gama ışınlarından enerjileri daha küçük ve dalga boyları 100 nm'den daha büyük olan radyasyonlardır. Maddeden geçerken maddede iyonlaşma meydana getirmezler. İyonlaştırıcı radyasyonların aksine iyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar insanlar

tarafından algılanabilirler. Bu sebeple de, sürekli olmamakla birlikte genellikle hasar meydana getirmeden önce gerekli korunma tedbirleri alınabilir.

İyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar, optik radyasyonlar ve elektromagnetik radyasyonlar olmak üzere iki gruba ayrılır. Bütün radyasyonlar gibi, iyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar da aynı fizik kanununa uyarlar ve dalga boyu (λ), frekans (f) ve enerjileri (E) ile tarif edilirse; iyonlaştırıcı radyasyonlar enerjileri, optik radyasyonlar dalga boyları, elektromagnetik radyasyonlar ise frekansları ile belirtilirler.

1.7. Radyoaktif Bozunma Kanunu

Tabiatta atom çekirdeklerinin bir kısmı kararlı, diğer bir kısmı da kararsızdır. Kararsız çekirdek, taşıdıkları fazla enerjiyi parçacık çıkarmak veya ışımaya yapmak suretiyle atarlar. Bu kendi kendine dönüşüm yapma veya ışımaya olayına radyoaktiflik denir. Çekirdeğin böyle kendi kendine parçacık çıkararak başka izotopa veya aynı izotopun başka bir durumuna dönüşmesi olayına radyoaktif bozunma denir.

Bazı radyoaktif atomların kendi kendine parçalanması zamandan bağımsızdır. Tamamıyla tesadüfi bir karakter gösterir. Parçalanma sayısı, sadece mevcut atom sayısı ile orantılıdır ve zaman birimindeki ortalama bozunma sayısından bahsedilir.

Deneysel sonuçlar radyoaktif bozunmanın üstel bir kanuna göre olduğunu göstermektedir. Radyoaktif bozunmada, λ birim zamanda bozunma olasılığını gösteren bozunma sabiti olmak üzere, dt zamanı içerisinde herhangi bir çekirdeğin bozunma olasılığı λdt 'dir. t anında N radyoaktif çekirdek verilmiş olsun, t+dt zamanı içerisinde bozunan çekirdek sayısı,

$$dN = -\lambda N dt \quad (1)$$

bağıntısı ile verilir. Denklemin sol tarafında bulunan eksi işareti zamanla radyoaktif atomların azalmakta olduğunu ifadesidir. t=0 anında N_0 tane radyoaktif çekirdek olduğu farz edilir ve (1) bağıntısının her iki yanını N'ye bölünüp, integrali alınır ve sınır şartları yerine konursa;

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2)$$

bağıntısı ile bulunur. Burada N herhangi bir t zamanındaki radyoaktif çekirdeklerinin sayısıdır. Radyoaktif çekirdek miktarı (2) bağıntısına göre değişim gösterir ve buna radyoaktif bozunma kanunu denir. Denklem (2)'den;

$$A = -dNdt^{-1} \quad (3)$$

olarak bulunur. Burada A, saniyedeki bozunma olarak aktivitedir.

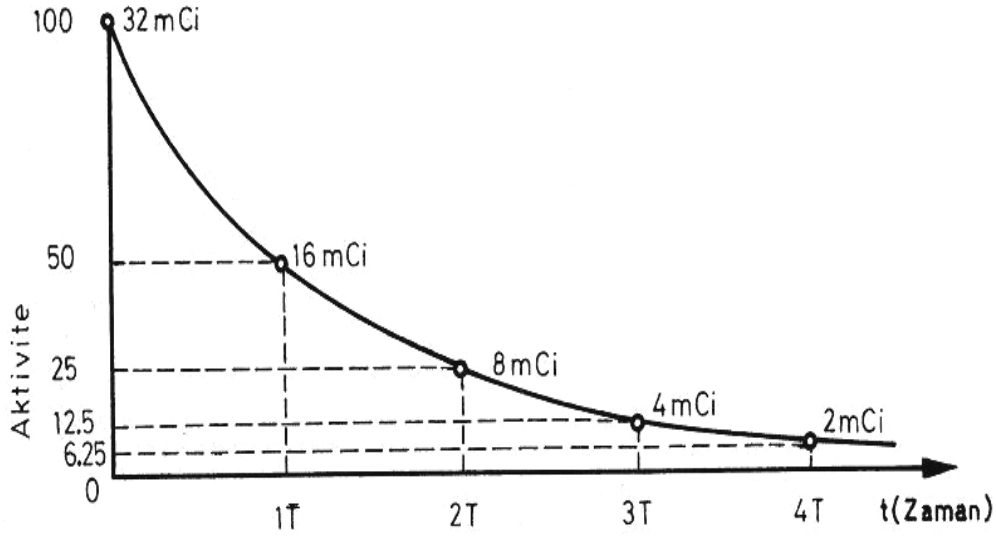
Radyoaktif maddelerle ilgili önemli diğer karakteristik değerde yarı-ömür'dür. Başlangıçta N_0 atom ihtiva eden bir radyoaktif madde atomlarının sayısı yarıya ininceye kadar parçalanması için geçen zamana o radyoaktif elementin yarı-ömrü denir. Yarı-ömür $T_{1/2}$ ile gösterilir. Bu yarı-ömrü tayin etmek için (2) denkleminde $t = T_{1/2}$ ve $N = N_0/2$ olarak alınır ve yarılanma zamanı ile bozunma sabiti arasında

$$T_{1/2} = (\ln 2)\lambda^{-1} = 0.693\lambda^{-1} \quad (4)$$

eşitliği elde edilir.

Tablo 1.3. Bazı izotopların yarı-ömürleri

| İzotop | Yarı-Ömür | Radyoaktiflik Türü |
|--------------------------|---------------------------|--------------------|
| ${}_{90}\text{Th}^{232}$ | 1.39×10^{10} yıl | α, γ |
| ${}_{92}\text{U}^{238}$ | 4.5×10^{10} yıl | α, γ |
| ${}_{88}\text{Ra}^{226}$ | 1620 yıl | α, γ |
| ${}_{86}\text{Rn}^{222}$ | 3.82 gün | α |



Şekil 1.7. Aktifliğin zamana göre değişimi

τ ortalama ömür de bir çekirdeğin bozununcaya kadar geçirdiği ortalama süre olarak tanımlanır. t süresi içinde bozunmadan kalan çekirdeklerin sayısı N 'dir ve t ile $t+dt$ aralığında bozunanların sayısı $|dN/dt|dt$ 'dir. Bu durumda ortalama ömür için,

$$\tau = \lambda^{-1} \quad (5)$$

bağıntısı bulunur. Ortalama ömür basit olarak bozunma sabitinin tersidir.

1.8. Peş Peşe Bozunma Kanunu

Hem doğal olarak bulunan radyoaktif izotoplarda hem de yapay olarak meydana getirilen radyoaktif izotoplarda bozunma peş peşe bozunmalar şeklinde meydana gelebilir. Ana radyoaktif element başka bir ürüne bozunur. Eğer bu üründe radyoaktif ise bu da başka bir elemente bozunur. Birçok durumda bu peş peşe bozunma ana maddenin ürüne ve ürününde kararlı bir elemente bozunmasıyla sınırlıdır. Şayet işe radyoaktif ana izotopun belli sayıda atomlarıyla başlanmışsa verilen herhangi bir anda bozunma ürünün atomların sayısı ne olacaktır. Bu sayılar şu şekilde hesaplanabilir. Herhangi bir t anında, λ_1 bozunma katsayısıyla ürüne bozunacak ana elementin atomlarının sayısı N_1 olsun. Ürün elementin atomlarının sayısını N_2 ile gösterelim. Bunlar da λ_2 bozunma katsayısı ile başka bir elemente bozunacaktır. Bu kararlı

elementteki atomların sayısı ise N_3 olsun. Ayrıca, $t = 0$ iken $N_1 = N_{10}$, $N_2 = N_{20}$, $N_3 = N_{30}$ olduğunu farz edelim. Aktifliğin saniyede bozunma sayısı şeklindeki tanımından;

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1 \quad (6)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \quad (7)$$

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2 \quad (8)$$

(6) bağıntısı N_1 'in bozunma hızını verir. (7) bağıntısı N_2 tipindeki atomların $\lambda_1 N_1$ hızıyla üretildiklerini ve $\lambda_2 N_2$ hızıyla gözden kaybolduklarını göstermektedir. (8) bağıntısından N_3 atomlarının üretim hızı elde edilir. (6) denkleminde $t = 0$ da $N_1 = N_{10}$ integrali alınırsa

$$N_1 = N_{10} e^{-\lambda_1 t} \quad (9)$$

elde edilir. N_1 'in bu değeri denklem (7) de yerine konulursa

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_{10} e^{-\lambda_1 t} - \lambda_2 N_2 \quad (10)$$

olur. Bu bağıntının iki tarafı $e^{\lambda_2 t}$ ile çarpılırsa

$$\frac{d}{dt} (N_2 e^{\lambda_2 t}) = \lambda_1 N_{10} e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t} \quad (11)$$

bulunur. Gerekli işlemler yapılırsa

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \quad (12)$$

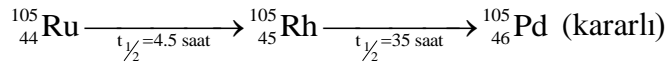
elde edilir. Benzer şekilde (8) bağıntısı $t=0$ 'da $N_3 = N_{30} = 0$ şartıyla çözümlerse

$$N_3 = N_{10} \left(1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t} - \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 t} \right) \quad (13)$$

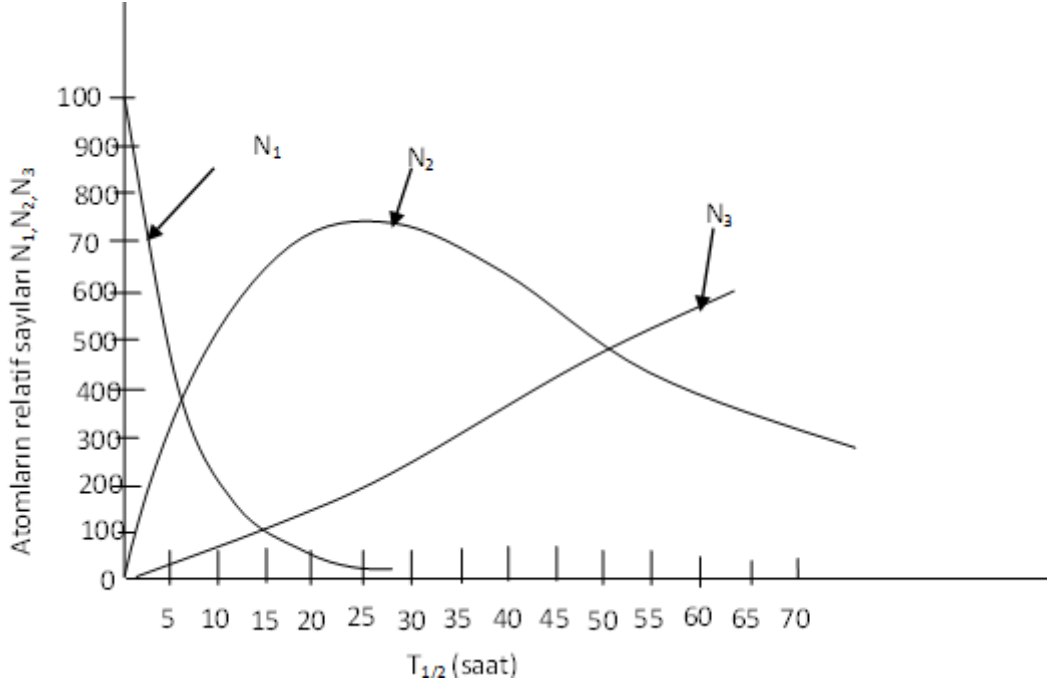
elde edilir. (9), (12), (13) eşitlikleri yardımıyla herhangi bir t anında mevcut olan atomların sayısı bulunabilir. Bu eşitlikler, $t=0$ da $N_1 = N_{10}$ ve $N_{20} = N_{30} = 0$ özel durumları için üretildi.

Bundan sonra N_{20} ve N_{30} , $t=0$ iken sıfır olmasalar bile N_1, N_2 ve N_3 için bağıntılar üretmek mümkündür.

(9),(12), (13)bağıntılarının nasıl kullanılacağına örnek olarak



verilebilir. $t=0$ iken $N_{10} = 100$ ve $N_{20} = N_{30} = 0$ şartları altında başlayan bu ${}^{105}_{44}\text{Ru}$ bozunmasıyla oluşan N_1, N_2 ve N_3 'ün t 'ye göre değişimi Şekil 8'de verilmektedir (Arya, 1999).



Şekil 1.8. Peş peşe bozunma grafiği

1.9. Radyoaktif Denge

1.9.1. Geçici Denge

Bir ana çekirdeğin λ_1 bozunma sabitiyle birinci ürüne bozunduğunu ve bunun da λ_2 sabitiyle bozunduğunu düşünelim. Eşitlik 14,

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \quad (14)$$

ifadesinde $\lambda_2 < \lambda_1$ olduğunda yeterli derecede uzun bir zaman sonunda $e^{-\lambda_1 t}$ terimi $e^{-\lambda_2 t}$ 'ye göre ihmal edilebilir olacağından,

$$N_2 = N_{10} \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t} \quad (15)$$

elde edilir. Bu ise belli bir zamandan sonra birinci ürün elementinin kendisi için belirlenmiş olan λ_2 bozunma sabitiyle bozunacağı anlamına gelir.

1.9.2. Sürekli Denge

Denklem 10’da $\lambda_1 \ll \lambda_2$ durumunu ele alalım. $e^{-\lambda_1 t} \approx 1$ ve $\lambda_2 - \lambda_1 = \lambda_2$ yazabiliriz.

Böylece bu ifade,

$$N_2 = N_{10} \frac{\lambda_1}{\lambda_2} (1 - e^{-\lambda_2 t}) \quad (16)$$

olarak elde edilir. Ürün çekirdeğin miktarı, zamanın artmasıyla $e^{-\lambda_2 t}$ terimi sıfıra gideceğinden bir denge durumuna yaklaşır ve denge durumunda,

$$\lambda_1 N_{10} = \lambda_2 N_2 \quad (17)$$

elde edilir. λ_1 çok küçük olduğundan $\lambda_1 N_1 \approx 0$ olacaktır. Buradan ana çekirdeğin çok büyük yarı ömre sahip olduğu anlaşılır.

1.10. Aktivite ve Radyasyon Birimleri

1.10.1. Aktivite Birimleri

Aktivite birimi Becquerel olup saniyede bir bozunma meydana getiren herhangi bir radyoaktif madde miktarı olarak tanımlanmaktadır. Eskiden kullanılan aktivite birimi Curie’dir. Herhangi bir radyoaktif madde miktarı eğer saniyede $3,7 \cdot 10^{10}$ bozunma hızına sahipse aktivitesi 1 Curie olarak tanımlanmaktadır.

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ parçalanma/saniye}$$

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

$$1 \text{ Bq} = 2,7 \times 10^{-11} \text{ Ci'dir.}$$

1.10.2. Işınlama Birimi

Işınlama dozu olarak tarif edilen Coulomb/kg (C/kg) normal şartlar altında 0 °C ve 760 mm Hg basıncında havanın 1 kg'ında 1 Coulomb'luk elektrik yükü değerinde pozitif negatif iyonlar oluşturan X veya γ radyasyonu miktarıdır. 1 C/kg=3876 R(Röntgen) veya 1 R=2.5x10⁻⁴ C/kg dır.

1.10.3. Soğurulmuş Doz

Radyasyonlarla ışınlanan bir maddenin birim miktarındaki soğurulan radyasyon enerjisidir. SI birim sisteminde soğurulan doz birimi Gray (Gy) olup, Gray, 1 kg'lık bir maddeye 1 Joule (J)'lük enerji veren herhangi bir iyonlayıcı radyasyonun dozudur. Eski özel birimi rad olup, 1 rad, herhangi bir maddenin gramı başına 100 erg'lik enerji soğurma eşdeğerdır.

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J.kg}^{-1}$$

$$1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ J.kg}^{-1} = 100 \text{ erg.g}^{-1}$$

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$$

1.10.4. Eşdeğer Doz

Radyasyonun biyolojik etkileri göz önünde bulundurularak tanımlanan birim rem'dir. Doku ve organlarda, birim kütlede soğurulan enerji miktarlarıyla orantılı bir değerdir. Vücut için eşdeğer doz olarak tanımlanır. SI birim sisteminde eşdeğer doz birimi Sievert (Sv)'dir.

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J.kg}^{-1}$$

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$$

Radyasyonun şiddetinin tanımlanmasında yalnız bozunma hızının (aktiflik) sayılması veya yaşayan sistemlerdeki etkisinin (doz eşdeğeri) ölçülmesinden hangisini isteyeceğimize bağlı olarak birçok farklı yol vardır. Tablo 4'te bu değişik ölçümler ile bu ölçümlerin ifade edildiği geleneksel ve SI birimlerinin bir özeti verilmiştir.

Tablo 1.4. Radyasyon ölçümü için nicelikler ve birimleri

| Nicelik | Ölçüm | Geleneksel Birim | SI Birimi |
|-------------------|--------------------|------------------|--------------------------------|
| Aktiflik (A) | Bozunma hızı | Curie (Ci) | Becquerel (Bq) |
| Doz (X) | Havadaki iyonlaşma | Röntgen (R) | Kilogram başına Coulomb (C/kg) |
| Soğurulan doz (D) | Enerji soğurulması | Rad | Gray (Gy) |
| Doz eşdeğeri (DE) | Biyolojik etkinlik | Rem | Sievert (Sv) |

1.11. Radyasyon Dedektörleri

Radyasyon dedektörleri, yüklü parçacıkların ve fotonların belli ortamlarda iyonlaşma meydana getirmeleri gerçeğinden hareketle yapılırlar. Nötronlar gibi yüksüz parçacıklar iyonlaşmaya ya çok az yada hiç sebep olmazlar. Bu yüzden bunların oluşması (sayılması) zordur.

Radyoaktif maddelerden yayılan alfa, beta ve gama radyasyonları ile yüksek enerjili temel parçacıkların belirlenmesi için kullanılan aletler hemen hemen birbirine benzerler. Parçacıkların, geçtikleri ortamda iyonlaştırma, parıldama ve benzeri etkilere sebep olma özelliklerinden yararlanılarak değişik dedektörler geliştirilmiştir.

Radyasyonun algılanmasında kullanılan dedektörler genel olarak üç gruba ayrılarak incelenebilir. Bunlar; iyonlaşma dedektörleri, parıldama (sintilasyon) dedektörleri ve yarı iletken dedektörlerdir.

1.11.1. İyonlaşma Dedektörleri

Radyasyon ölçümlerinde kullanılan dedektörlerin en yaygın olanı iyonlaşma yöntemine dayanır. İyonlaşma prensibine göre geliştirilen dedektörler radyasyonun dedektör ortamında yaptığı iyonlaşmanın ölçülmesi esasına göre tasarlanmıştır. Bu grupta geliştirilen dedektör tipleri, iyonlaşma odası, orantılı sayıcı ve Geiger - Müeller (GM) sayıcılarıdır.

1.11.2. İyonlaşma Odası Dedektörleri

Radyasyon dedektörlerinin çoğu dedektör içerisinde meydana gelen iyonların elektrik iletkenliğinde yaptığı değişikliğin ölçülmesi metoduna dayanır. Ortaya çıkan bu yeni elektrik iletkenliği bir elektrolitle ölçülür.

Prensip olarak bu tür tüpler, iki elektroda sahip gaz ile doldurulmuş doğru akım kaynağı ile beslenen kapsülden meydana gelmiştir. Gazın içinde foton veya parçacıkların etkisiyle iyonizasyon meydana gelir ve pozitif iyonlar katoda ve elektronlar anoda doğru hareket ederler.

Anot ve katot tarafından toplanan iyonlar, elektriksel bir sinyal oluşturur. Bu sinyalin uygun elektronik devreler tarafından işlenmesiyle radyasyon algılanmış olur. İyonlaşma odasının dez avantajı çözme zamanıdır. Yani cihazın başka bir parçaya dedekte etmeye hazır hale gelmeden önce geçecek zaman birkaç milisaniye mertebesinde ki bu iyonlaşma odasının düşük sayma hızlarında kullanılmasını gerektirir.

1.11.3. Orantılı Bölge Sayıcıları

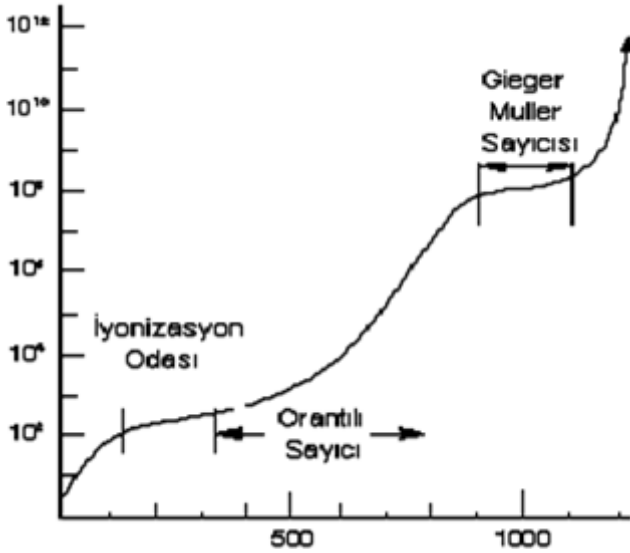
Yüklü parçacıkların ölçülmesinde kullanılan en yaygın yöntem, parçacıkların gaz içinde meydana getirdikleri iyonlaşmadan yararlanarak iyonları bir elektrik alan yardımıyla bir elektrot üzerinde toplamak suretiyle yüklü parçacığın dedeksiyonunu sağlamaktır. Bu tür dedeksiyon yapan sayaçlara gaz akışlı orantılı sayaçlar denir. Bu tür sayaçlarda, içinde neon, argon, metan veya bunların karışımını içeren gaz dolu bir odacık ve odacık ortasında duvarlardan yalıtılmış bir elektrot vardır. Yüklü parçacık, odacık ortamındaki gaz moleküllerini (+) ve (-) iyonlara ayırır. Bu iyonlar yüksek voltaj uygulandığı zaman oluşan elektrik alanın doğrultusunda elektrotta (anot) ve odacık duvarına (katot) doğru hareket ederler. Anotta toplanan elektronlar bir anot akımı oluşturur ve bu akım RC devresiyle bir voltaj darbesi (pulsu) haline dönüştürülür. Bu darbeler ön yükselteç, lineer yükselteç ve diğer darbe işleme devreleri tarafından sayım için uygun hale getirilerek bir sayıcı (scaler) vasıtasıyla sayılırlar. Darbe yüksekliği-Voltaj eğrisi beş bölgeye ayrılır.

1.11.4. GeigerMüller Sayıcıları

Bir orantılı sayacın elektrodlarına uygulanan voltaj orantılılık bölgesinin ötesine kadar artırılırsa cihaz bir GeigerMüller sayıcı olur.

Gaz dolgulu dedektörlerde uygulanan gerilim orantılı bölgede çalışan dedektörlere uygulanan gerilimden çok yüksekse, dedektörün içine giren yüksek enerjili parçacık tüp içinde bulunan gaz moleküllerini iyonlaştırır. Yüksek gerilim altında kalan iyonlardan elektronlar anoda, pozitif iyonlarda katoda doğru sürüklenecektir. Elektronlar hızlanarak anoda doğru giderken tüpün içindeki gazın atomlarını iyonlaştırırlar böylece çok kısa bir sürede çok büyük bir elektron çığı anoda ulaşır. İyonlaştırıcı parçacığın tüpe girmesiyle elektron çığının oluşması arasında geçen süre 0.05 – 0.1 mikro saniye kadardır. Bu ortamda çalışan dedektör Geiger Müller sayıcısı olarak bilinir.

Çıkış pulsu sinyalinin genliği birincil iyonlaşmadan bağımsızdır. Bu yüzden Geiger Müller sayıcısındaki parçacıklardan her biri enerjileri ve sebep oldukları birincil iyonlaşma miktarıyla alakasız bir şekilde aynı büyüklükte bir sinyal üretir. Bu özellik sebebiyle Geiger Müller sayıcısı tek parçacıkların dedeksiyonu için uygundur.



Şekil 1.9. Farklı iyonizasyon odalarının çalışma bölgeleri.

I. bölge; doyma bölgesi. Voltaj ilk iyonizasyon meydana gelinceye kadar artırılırsa iyon ve elektronlar elektrotlar tarafından yakalanır ve belli miktarda doyuma

ulaşır (Uygulanan voltaj iyonların toplanması için yeterli, fakat iyon çiftlerinin tekrar birleşmesi ve sekonder iyonizasyon meydana gelmesi için yeterli değildir).

II. bölge; iyonlaşma bölgesi.

III. bölge; orantılı bölge. İlk radyasyondan dolayı toplam yük enerji ile orantılıdır. Bu nedenle orantılı sayaç denilir (Primer iyon sayısı voltaja bağlı olarak artar. Puls yüksekliği voltaja ve primer iyon yoğunluğuna bağlı olup bu bölgede maksimuma ulaşır).

IV. bölge; sınırlı sayaç bölgesi.

1.11.5. Parıldama (Sintilasyon) Dedektörleri

Radyasyon enerjisini önce parıldatıcı ile etkileşen fotonlara, bu fotonların fotoçoğaltıcı tüp içerisindeki fotokatotdan kopardığı elektronların ise diyotlar vasıtasıyla çoğalarak yüksek miktarda anoda gelen elektrik sinyali oluşturmasına dayanan dedektörlere parıldama dedektörleri denir. Radyasyon enerjisini ışık fotonlarına dönüştürmek için kullanılan maddelere parıldatıcı adı verilir. Bu parıldatıcılar içerisine giren radyasyon ortamdaki atomları uyarmak suretiyle enerjisini kaybeder, uyarılan bu atomlar parıldatıcıyı karakterize eden fotonlar yayınlamaya temel seviyelerine dönerler. Bu sırada oluşan fotonlar fotoçoğaltıcı tüpün üzerine düşürülür ve fotokatot elemanından fotoelektron sökülür. Sökülen bu fotoelektronlarfotoçoğaltıcı tüp içinde bulunan dinod adı verilen elektron çoğaltıcı elemanlar yardımıyla çoğaltılarak anotta toplanır, toplanan bu elektronlar çıkış sinyalini alacak uygun bir devreye aktarılır. İyi bir dedektörün parıldatıcı maddesinde aranılan özellikler şeffaflık, büyük boyutlarda kullanılabilirlik ve büyük ışık çıkışına sahip olma şeklinde sıralanabilir.

1.11.6. Yarı İletken Dedektörler

İyonlaşma odası uygulamaları, gaz doldurulmuş dedektörlerle sınırlı değildir. Örneğin yüksek enerjili parçacıkları algılayabilmek için geliştirilmiş olan diğer bir dedektör tipi de yarı iletkenlerden yapılmış olan yarı-iletken dedektörlerdir. Bu dedektörlerde genellikle silisyum ve germanyum yarıiletkenleri kullanılmaktadır.

Yarıiletken dedektörlerde radyasyonun algılanması diğer dedektör tiplerinden farklı olarak elektron-boşluk çiftleri tarafından sağlanır.

Yarı iletken dedektörler, katı hal iyonizasyon odası gibi çalışırlar. Bir yüklü parçacık yadaγ-ışını dedeksiyonu olayında, bir fotoelektron kristalde yolu boyunca elektron- boşluk çiftleri oluşturur. Kristal, bir elektrik alan üreten iki elektrot arasına yerleştirilmiştir. İyonizasyon olay boyunca valans bandından gelen elektronlar geçen parçacıklar tarafından uyarılır ve valans bandındaki bir boşluk bırakarak iletim bandına transfer edilir. İkincil süreçte, elektronlar daha fazla elektron-boşluk çiftleri üreterek ve örgü titreşimlerini uyararak geriye kalan enerjilerini dağıtır. Yaklaşık 10^{-12} s gibi çok kısa bir süre içinde olay kararlı hale gelir. Biriken bu yük, dışardan uygulanan bir elektrik alanı ile kristal boyunca sürüklenir ve bir voltaj (elektrik) sinyali elde edilir. Kristal içinde meydana gelen ve temas yüzeylerinde toplanan yük miktarı, radyasyon cinsinden bağımsız olarak yalnızca soğurulan enerji ile orantılıdır. Bir elektron- boşluk çifti meydana gelmesi için gerekli enerji, yarı iletken dedektörlerde 3 eV, gaz iyonizasyon odalarında 30 eV ve sintilasyon dedektörlerinde de 300 eV civarındadır.

Yarıiletken dedektörler birçok sebepten dolayı diğer radyasyon dedektörlerinden daha yüksek enerji çözünürlüğüne sahiptir. Çözünürlüğü iyi olan bir dedektör, aynı foton enerjisinde diğer dedektörlere göre daha fazla çıkış sinyaline sahiptir. Bu nedenle yarı iletken dedektörler, diğer dedektörlere oranla daha fazla tercih edilirler (Damla, 2005).

1.12. Karışım Materyallerinin Özellikleri

1.12.1. Çimento

Portland çimentosu, kalker ve kil karışımı hammaddelerinin pişirilmeleri ile ortaya çıkan ve klinker olarak adlandırılan malzemenin çok az miktarda alçıtaşı ile öğütülmesi sonunda elde edilen bir üründür. Çimento, su ile birleştirildiğinde hidrolik bağlayıcılık özelliği kazanmaktadır (Erdoğan, 2003).

1.12.2. Yüksek Fırın Cürufu

Yüksek fırın cürufu; çelik üretiminden oluşan atık maddedir. Önce atmosferik normal koşullarda sonra suda soğutularak elde edilir.Yüksek fırın cürufunun oluşum sıcaklığı 1400-1600 °C'dir.Yavaş soğutulduğu takdirde kristal bir yapıya sahip olur.Bu haliyle beton agregası olarak kullanılır. Üretilen 1 ton çelikten 30 kg cüruf oluşur (Kaplan vd., 2007).

1.12.3. Uçucu Kül

Kömürün yüksek sıcaklıklarda yanması sonucu meydana gelen erimiş malzeme soğuyarak gaz akışıyla kısmen veya tamamen küresel şekilli kül taneciklerine dönüşmektedir. Bu kül tanecikleri çok ince (0,5-150 μ) olup baca gazlarıyla sürüklenmeleri nedeniyle uçucu kül olarak adlandırılmaktadır. Yoğunluğu 2.1-2.7g/cm³ arasında değişir. Dünyada toplam uçucu kül miktarının sadece %6'sı çimento ve beton karışımlarında kullanılır. Ülkemizde yaklaşık 15 milyon ton üretilmektedir (Türker vd.,1997).

1.12.4. İnce Agregası

Agregası, beton yapımında çimento ve su karışımından oluşan, bağlayıcı madde yardımıyla bir araya getirilen, organik olmayan, kuru, çakıl, kırmataş gibi doğal kaynaklı veya yüksek fırın cürufu, genleştirilmiş perlit, genleştirilmiş kil gibi yapay kaynaklı olan taneli malzemedir (Erdoğan, 1995). Agregası genel olarak beton hacminin % 70-75'ini oluşturur.

Agregası, yaygın olarak kullanılan bir yapı malzemesi olması nedeniyle yapı maliyetlerini büyük ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle uygun niteliklerdeki agregayı, yeterli miktarda ve en yakın ocaktan, en ekonomik şekilde elde edebilmek mühendislik açısından önemli bir konudur (Baradan, 2004; Ustabaş, 2008).

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Malzeme

Tüm harç içerikleri TS EN 196–1standartına göre üretilmiş standart harç numunelerdir. Tüm numunelerde CEN EN standart kumu ve CEM 1 42,5 R Portland çimentosu kullanıldı. Tablo 2,1’de görünen miktarda madde katılarak mineral katkı içermeyen (MO), uçucu kül katkılı (MF) ve yüksek fırın cürufu katkılı (MB) harç numuneleri TS EN 196-1’e göre üretildiler. TS EN 196-1’de belirtilen sürelerde Hobart karıştırıcı ile karıştırılan numuneler sarsma tablasıyla prizmatik harç numune kabına yerleştirildiler. %90 bağıl neme sahip 20 °C’de 24 saat boyunca tutulduktan sonra kalıplarından çıkarıldı. Deney uygulanacak zamana kadar 20±1 °C’de kirece uygun su içerisinde muhafaza edildiler. İçeriğinde mineral katkı olmayan harç numuneleri (MO) 450 g çimento, 1350 g kum ve 225 g sudan oluşmaktadır (1:3:0:5 oranlarında). Diğer iki tip beton numunesi ise çimentonun azaltılması ve yerine uçucu kül (MF) ve yüksek fırın cürufu (MB) eklenerek hazırlandı. Uçucu kül (MF) ve yüksek fırın cürufu (MB) katkılı beton numuneleri %5, %10, %20 ve %30 oranlarında mineral katkı eklenerek hazırlandı. Sonuçta dokuz tip harç numunesi elde edildi. Böylece tüm harç numuneleri aynı kütleyle sahiptir ve her birinde 450 gram bağlayıcı mevcuttur. Beton bileşimleri Tablo 2.1’de görülmektedir.

Tablo 2.1. Dokuz grup harç numune karışım madde miktarları (gram)

| Örnekler | % | Çimento | Su | Uçucu Kül | Yüksek Fırın Cürufu | Kum |
|----------|----|---------|-----|-----------|---------------------|------|
| MO | 0 | 450 | 225 | 0 | 0 | 1350 |
| MF5 | 5 | 427.5 | 225 | 22.5 | 0 | 1350 |
| MF10 | 10 | 405 | 225 | 45 | 0 | 1350 |
| MF20 | 20 | 360 | 225 | 90 | 0 | 1350 |
| MF30 | 30 | 315 | 225 | 135 | 0 | 1350 |
| MB5 | 5 | 427.5 | 225 | 0 | 22,5 | 1350 |
| MB10 | 10 | 405 | 225 | 0 | 45 | 1350 |
| MB20 | 20 | 360 | 225 | 0 | 90 | 1350 |
| MB30 | 30 | 315 | 225 | 0 | 135 | 1350 |

2.1.1. Radyoaktivite Ölçümleri

Her bir numune 24 saat boyunca içerisindeki nemi almak için 105 °C’de kontrol edilmiş sıcaklıkta homojenize edildi ve kurutuldu. Daha sonra 2 mm göz açıklıklı elekten elendi. Yaklaşık 120 g olan numuneler hava sızdırmayan, radon geçirmez, silindirik polietilen kaplara (5,5 cm çapında ve 5 cm yüksekliğinde) gama aktivite analizi için koyuldu ve ağzı kapatıldı. Ölçümlerden önce, numuneler Radyum (Ra) dengesi ve onun ürünlerini bulmak için 4 hafta boyunca kapalı kaplarda saklandı.

Gama spektrometre ölçümleri kobaltın (^{60}Co) 1332 keV ‘de 1,9 keV enerji ayrımlı %55 verimlilikte kooksiyal (ortak eksenli) HPGe dedektör (Ortec, GEM55P4-95 model) ile yapıldı. Dedektör 10 cm kalınlığa sahip kurşun ve içten 2mm bakır folyo ile zırhlandı. Spektrum analizi Ortec’ten elde edilen Genie 2000 bilgisayar yazılımı kullanılarak yapıldı. Sistemin kalibrasyonu kontrol amacıyla bilinen sertifikalı bir referans numunesinin performans testi yapıldı (IAEA-375,IAEA, Vienna). Bu numunelerin belirli aktiviteleri ile onların onaylanmış değerlerinin %10’u geçmeyen hatalar dahilindeuyum içinde olduğu görüldü. İyi bir gama spektrumu elde etmek için herbir numune için sayma zamanı 50000 s olarak belirlendi. Dedektör çevresi etrafında

bir altyapı (background) dağılımı belirlemek için boş bir kap tıpkı bir numuneymiş gibi aynı geometride aynı yöntem ile sayıldı. Ölçülmüş izotopların gama ışınlarının net pik alanı ayarlamak için zemin spektrumu kullanıldı.

²²⁶Ra serilerinin aktivite konsantrasyonunu belirlemek için 351,9 keV (²¹⁴Pb) ve 609,3 keV (²¹⁴Bi) enerjilerinin gama ışınları kullanıldı. ²³²Th serilerinin aktivite konsantrasyonlarını belirlemek içinse 911,1 keV (²²⁸Ac) ve 583,1 keV (²⁰⁸Tl) deki gama ışınları kullanıldı. ⁴⁰K'nin aktivite konsantrasyonları ise 1460,8 keV'de ki gama yayınlanması ile direk olarak ölçüldü.

Ölçülen numunelerde doğal radyoaktif çekirdekler için aktiflik konsantrasyonları aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$C = \frac{N}{\epsilon P M t} \text{ (Bqkg}^{-1}\text{)} \quad (18)$$

Burada N gama ışını net sayma oranı, ϵ kullanılan dedektörün foto pik etkisi, P gama bozunmasının mutlak değişimi, t saniyedeki sayım zamanı, M kilogram başına kuru numunenin ağırlığıdır.

2.1.2. Radyum Eşdeğer Aktivitesi (Ra_{eq})

Harç malzemelerinde ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K'nin dağılımı aynı değildir. Radyasyona maruz kalma oranı Bqkg⁻¹ Radyum Eşdeğer Aktivitesi olarak tanımlanır ve ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K'nin farklı içerikli miktarlardaki materyallerin belirli aktivitesiyle kıyaslanır. Radyum eşdeğer aktivitesi aşağıdaki eşitlikle hesaplanır. (Beretka ve Mathew, 1985)

$$Ra_{eq} = C_{Ra} + 1,43 C_{Th} + 0,077 C_K \quad (19)$$

Burada C_{Ra} , C_{Th} ve C_K sırasıyla Bqkg⁻¹'deki ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K aktivite konsantrasyonlarıdır.

2.1.3. Gama Katsayısı (I_γ)

İç ve dış zararlar gibi inşaat malzemelerinden kaynaklanan aşırı gama radyasyonunun değerlendirilmesi katsayıların sayısı ile ilişkilidir ve birçok araştırmacı tarafından gama-konsantrasyon katsayıları kullanılmıştır (J.Beretka ve Mathew, 1985), (EC, 1999; OECD, 1979; Kreiger 1981)Bu çalışmada gama katsayısı (I_γ) Avrupa Komisyonu tarafından belirlenen aşağıdaki formülle hesaplanır(EC, 1999).

$$I_\gamma = \frac{C_{Ra}}{300} + \frac{C_{Th}}{300} + \frac{C_K}{300} \quad (20)$$

Burada C_{Ra} , C_{Th} ve C_K sırasıyla Bq kg⁻¹'de ki ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K aktivite konsantrasyonlarıdır.

2.1.4. Alfa Katsayısı (I_α)

Bu zamana kadar alfa katsayısını bulmak için, inşaat malzemelerinin kendinden gelen radon salımına maruz kalma seviyesini belirlemek önerilirdi. Şimdi ise alfa katsayısı aşağıdaki formül ile ifade edilir.

$$(I_\alpha) = \frac{C_{Ra}}{200(Bqkg^{-1})} \quad (21)$$

Burada C_{Ra} (Bqkg⁻¹) ile denk olduğu düşünülen ²²⁶Ra aktivite konsantrasyonudur. inşaat malzemelerinde ICRP tarafından belirtilmiş olan ²²⁶Ra aktivite konsantrasyonlarının önerilen serbestlik derecesi ve en üst seviyesi sırasıyla 100 ve 200 Bqkg⁻¹'dir. Bu değerler alfa katsayısına yansır. ²²⁶Ra'nın tavsiye edilen en üst konsantrasyon limiti $I_\alpha=1$ için 200 Bqkg⁻¹ 'dir.

2.1.5. Havada Soğrulan Doz Oranının Hesaplanması

Bu durum, yapıların bazısının gama ışınları ile yayılan ve ayrıca tüm vücuttaki radyasyon dozuna katkı yapan ^{226}Ra 'nın ^{214}Pb ve ^{214}Bi ürünleri, ^{232}Th bozunma zincirleri ve ^{40}K 'nin tüm vücutta radyasyon dozuna sebep olmasıyla ilgilidir. Kapalı bir mekandaki havada soğrulmuş doz oranı ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının yaydığı gama ışınları yüzünden UNSCEAR ve EC tarafından belirtilen aşağıdaki formül kullanılarak bulunur (EC, 1999; UNSCEAR, 2000).

$$D = \alpha C_{Ra} + \beta C_{Th} + \gamma C_K \quad (22)$$

Burada α , β ve γ , Ra, Th ve K'nin ($\text{nGyh}^{-1}/\text{Bqkg}^{-1}$) aktivite konsantrasyonları başına doz oranı; C_{Ra} , C_{Th} ve C_K sırasıyla Ra, Th ve K'nin aktivite konsantrasyonlarıdır. α , β ve γ değerleri sırasıyla 0,92; 1,1 ve 0,08 olarak alınır.

2.1.6. Yıllık Etkin Dozun Hesabı

Yıllık etkin doz oranı şu hesap ile bulunmalıdır: a) Etkin doz için havadaki soğrulmuş dozdan katsayı dönüşümü ($0,7 \text{ Sv Gy}^{-1}$) ve b) Kapalı mekandaki doluluk faktörü (Türk nüfusu için $\sim\%80$). Ayrıca birim m Sv y^{-1} 'deki etkin doz oranı aşağıdaki formül ile bulunur (Damla, Cevik, et al., 2010).

$$\text{AED}(\text{mSv y}^{-1}) = d (\text{nGy h}^{-1}) \times 8760 \text{ h y}^{-1} \times 0,7 \times 0,8 \times 10^{-6} \quad (23)$$

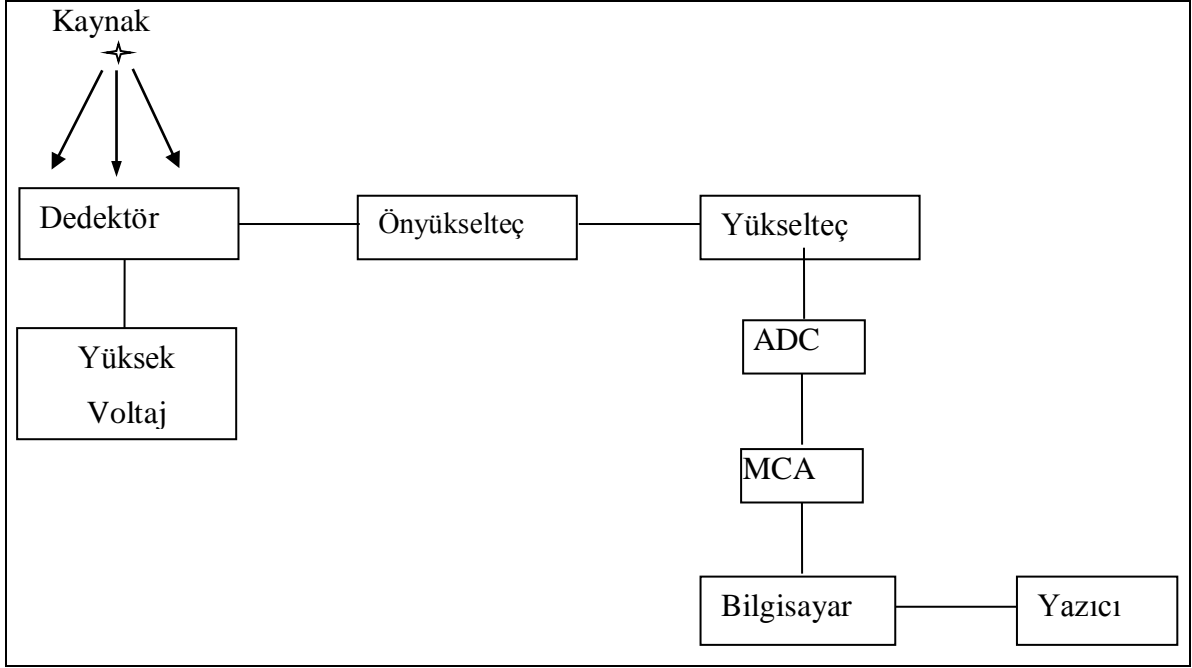
2.2. Yöntem

Numunelerin radyasyon ölçümleri Ortec marka GEM55P4 Model HPGe dedektörü kullanılarak yapılmıştır. HPGe dedektörü özden yarı iletkenlik prensibine göre çalışan yarı iletken kristalden oluşmaktadır. Özden yarı iletken, içerisine yapay safsızlıkların bulunmadığı bir çeşit yarı iletkendir. HPGe dedektörde cm^3 'te yaklaşık olarak 1010 safsızlık atomu vardır. Dedektör ile nokta kaynak arasında yaklaşık 20 cm uzaklık vardır.



Şekil 2.1. Gama ışınları soğurma ölçümleri için kullanılan deney düzeneği

HPGe dedektörü %55 relatif verime sahip olup 1700 voltta çalışmaktadır. Enerji rezölasyonu (FWHM) ^{60}C kaynağı için 1.3325MeV 'de $1,9\text{ keV}$ 'dir. Şekil 2.2'de deneysel sistem verilmekte olup, ön yükseltici, yüksek voltaj kaynağı, analog dijital dönüştürücü (ADC), çok kanallı analizör (MCA) bir sistemde bulunup aynı zamanda dedektörün portatif olarak kullanılmasına imkan vermektedir. Alınan ölçümler Genie-2000 programı kullanılarak hesaplanmıştır.



Şekil 2.2. Radyasyon ölçümleri için kullanılan deney düzeneğinin genel görünüşü

Sistemde bulunan üniteler ayrı ayrı aşağıda açıklandı.

a) Dedektör

Gama ışınlarının ölçülmesinde kullanılan dedektörlerde, gelen foton kristalle etkileşerek enerjisini kaybeder. Bu etkileşmeler sonucunda, kristalde elektron-boşluk çiftleri meydana gelir ve dedektöre uygulanan yüksek voltajın oluşturduğu elektrik alanı ile bu yükler sürüklenir. Gelen radyasyonun enerjisi ile orantılı olarak biriken bu yük, analizörde ölçülebilen bir voltaj pulsu meydana getirir.

b) Yüksek Voltaj Ünitesi

Dedektörün yük birikimi için gerekli elektrik alanı oluşturmak üzere, negatif veya pozitif 5000 V 'a kadar gerilim sağlayan ünitelerdir.

c) Önyükselteç

Ön yükselteç, dedektörden gelen pulsları depolanan enerji ile orantılı olarak voltaj sinyaline dönüştürür. Elektronik katlar için pulsları şekillendirir ve büyütür. Dedektör ile elektronik devre arasında empedans uyumu sağlar. Ön yükselteç'in ilk devresi dedektöre çok yakın yerleştirilmiş bir alan etkili transistordür. Elektronik gürültüyü en düşük seviyeye indirmek için, genellikle bir alan-etkili transistor (FET) olan ön yükselticinin girişi dedektörle aynı oranda soğutulur, yani sıvı azot kaynama sıcaklığında muhafaza edilir.

d) Yükselteç

Ön yükselteç'ten gelen pulsların, puls yüksekliği analizi yapılabilecek kadar yükseltilmesini ve en iyi enerji ayrılmasını sağlayacak şekillendirmeyi sağlar. Modern sistemler için maksimum çıkış pulsunun genliği 2 V'tan 10 V'a kadar değişir. Çoğu yükselticiler hem unipolar çıkış (yani, sinyalin tepe kısmı tamamen pozitif veya tamamen negatiftir) hem de bipolar çıkış (yani, sinyal hem pozitif hem de negatif bileşene sahiptir) ile donatılmıştır. En iyi sinyal-gürültü oranını elde etmek için, yükselticinin unipolar çıkışı seçilir.

e) Analog Dijital Çevirici (ADC)

Analog dijital dönüştürücünün (ADC) amacı yükselticiden gelen analog pulsu, onun genliği ile orantılı X ve gama ışını fotonunun enerjisiyle orantılı tamsayıya çevirmektir. Sayılmış olan bir puls yüksekliği kadar sayı analizörün hafızasında biriktirilir. Sonuçta bu bilgi bir enerji spektrumu olarak ekrana aktarılır. Burada ölü zaman çok önemlidir. Ölü zaman, birim zaman başına veya dönüşümün artmasıyla orantılı olarak artar. Yani ADC'nin meşgul olduğu zamandır. ADC genellikle puls yüksekliği analizinde kullanılır.

f) Çok Kanallı Analizör (MCA)

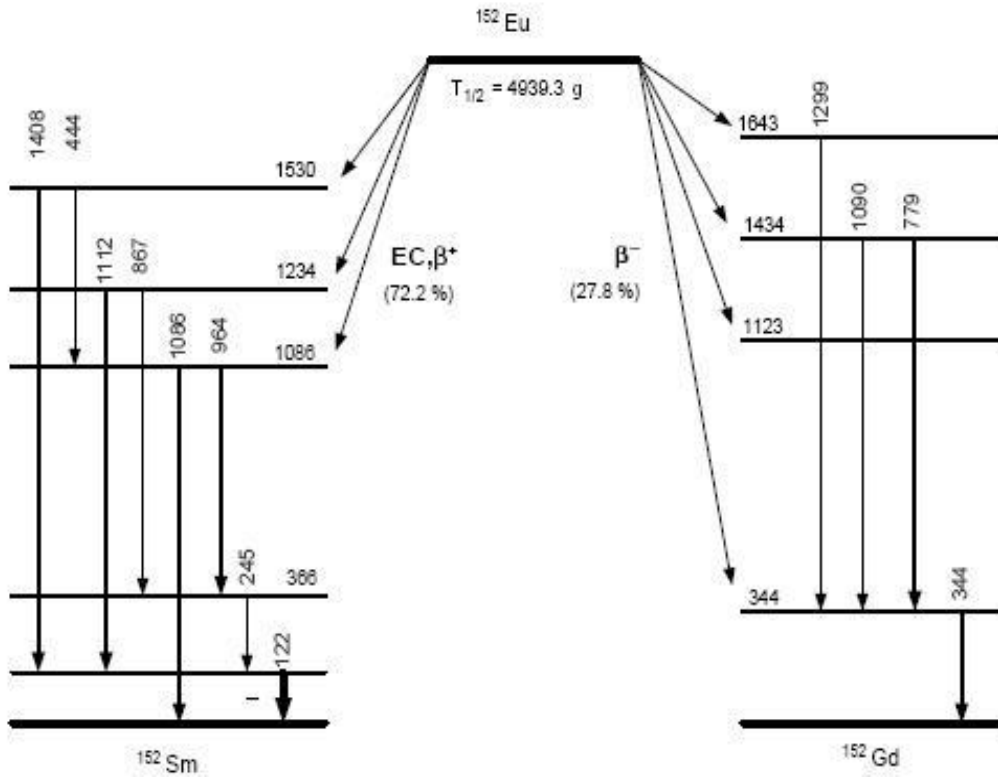
Çok kanallı analizörler, genellikle puls yüksekliği analizi yapan cihazlardır, MCA'daki en önemli devre veya bileşen, örneksel/sayısal dönüştürücüdür. Burada, gelen her puls, sayısal hale çevrilir ve genliği ile orantılı olarak bir hafıza kanalına yerleştirilir. Her kanal belli bir enerjiye karşılık gelir ve sayım süresince gelen pulsların birikmesiyle pikler oluşur.

2.2.1. Deneysel Yöntem

2.2.1.1. Enerji Kalibrasyonu

Bilgisayar hafızasında toplanan spektrumların analiz edilebilmeleri için, her kanalın hangi enerjiye karşılık geldiğinin bilinmesi gerekir. Böylece numunede bulunan radyoaktif çekirdek türleri bulunabilir.

Enerji kalibrasyonunun yapılabilmesi için, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'ndan alınan Eu-152 kalibrasyon kaynağına ait bilgiler Tablo 2.2.'de verilmiştir.



Şekil 2.3. ^{152}Eu ' nin bozunma şeması

Tablo 2.2. ^{152}Eu standart kaynağın özellikleri

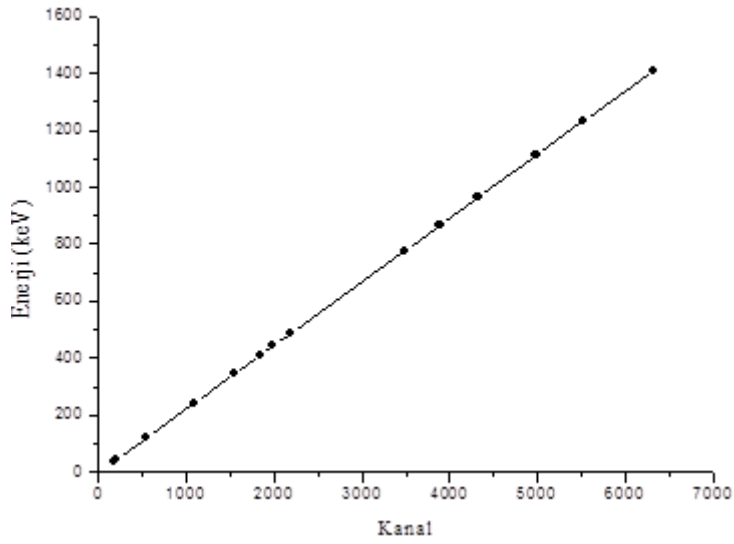
^{152}Eu ($T_{1/2} = 13.516 \text{ y}$)

| E_γ (keV) | I_γ % | Gama/s |
|---------------------|--------------|----------|
| 121,8 | 28,4 | 30719,65 |
| 244,7 | 7,51 | 8123,40 |
| 344,3 | 26,6 | 28772,63 |
| 411,1 | 2,23 | 2412,14 |
| 444,0 | 2,82 | 3050,33 |
| 778,9 | 13 | 14061,81 |
| 964,1 | 14,6 | 15792,50 |
| 1085,8 | 10,21 | 11043,93 |
| 1112,1 | 13,6 | 14710,82 |
| 1408,0 | 20,8 | 22498,90 |

Enerji kalibrasyonu için, dedektör önüne konulan standart kaynağın spektrumu elde edilerek enerjilerin hangi kanallara karşılık geldiği tespit edildi (Tablo 2.3).

Tablo 2.3. Standart kaynak için enerjilerin kanallara göre değişim değerleri

| Enerji(Kev) | Kanal |
|-------------|-------|
| 177 | 38.4 |
| 203 | 44.2 |
| 545 | 120.7 |
| 1095 | 243.7 |
| 1541 | 343.4 |
| 1841 | 410.5 |
| 1988 | 443.3 |
| 2189 | 488.2 |
| 3491 | 778.7 |
| 3887 | 867 |



Şekil 2.4. Enerjinin kanallara göre değişimi

2.2.1.2. Verim Kalibrasyonu

Dedektörün saydığı gama sayımlarının gerçek değerini bulabilmek için dedektöre ait verim düzeltmesinin yapılması gerekir. Dedektör ilgilenilen enerjilerdeki verimleri aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

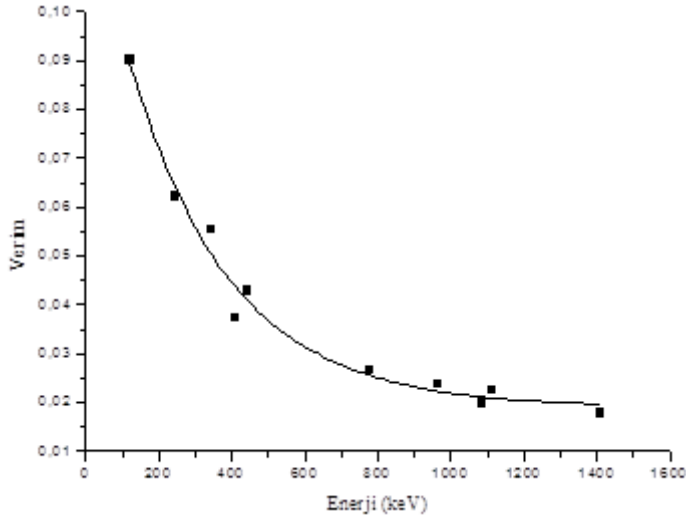
$$\varepsilon = \frac{s}{(I_{\gamma}) \cdot N \cdot t} \quad (24)$$

ε ; HP Gedektörünün ilgilenilen gama enerjisindeki verimi, N; ilgilenilen enerjideki toplam sayım hızı (sayım/zaman), A; verim kalibrasyonu için kullanılan standart kaynağın o anki aktivitesi (boz/s), I_{γ} % ; gama ışınının bolluğudur.

Böylece farklı gama enerjileri için hesaplanmış olan verim değerlerinin ilgili gama enerjilerine karşı grafiği çizdirildi (Şekil 2.5).

Tablo 2.4. Dedektöre ait verim değerleri

| Verim | Enerji(Kev) |
|---------|-------------|
| 0.02312 | 121.8 |
| 0.01595 | 244.7 |
| 0.01424 | 344.3 |
| 0.00958 | 411.1 |
| 0.01098 | 444 |
| 0.00686 | 778.9 |
| 0.00609 | 964.1 |
| 0.00509 | 1085.8 |
| 0.00576 | 1112.1 |
| 0.00458 | 1408,0 |

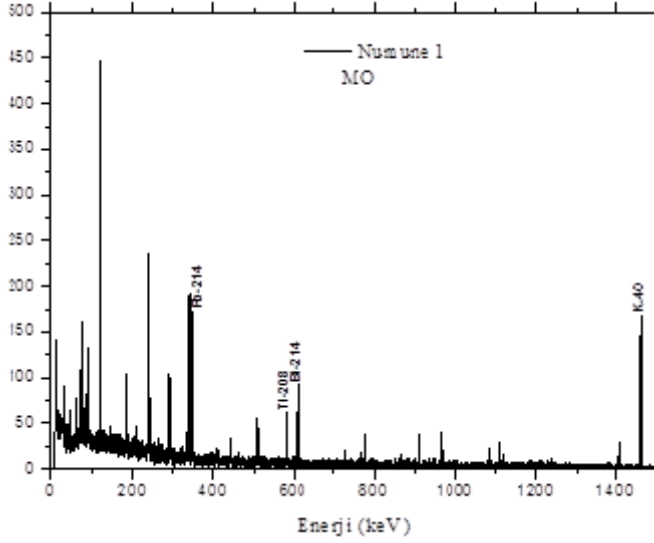


Şekil 2.5. Enerji-Verim eğrisi

Dedektör yardımı ile enerji kalibrasyonu için standart kaynağın spektrumu elde edilerek enerjilerin hangi kanallara karşılık geldiği tespit edildi. Enerjinin kanallara göre değişim grafiği Şekil 2.5.'te gösterildi.

2.2.2. Spektrumların Alınması

Radyoaktif dengenin sağlanması için bir aylık bekleme süresinden sonra ölçümlere geçildi. Sayımlarda kullanılan HPGe dedektörünün besleme voltajı 3600 V'tur. Sayım programı olarak Genie-2000 kullanıldı. Numuneler, dedektörün hemen önündeki kurşunla kaplı numune odasına konuldu. Numune sayım süresi 20000 s olarak seçildi. Bu süre sonunda numunelerden yayımlanan radyoaktif izotoplara ait spektrumlar elde edildi.



Şekil 2.6. MO için alınan spektrum örneği

2.2.3. Pik Belirleme ve Değerlendirme

Spektrumdaki her bir pik için ilgili alan bölgeleri seçilerek en küçük hataya sahip net alanı verecek şekilde pik alanı işaretlendi. Daha sonra kalibrasyon katsayıları bilgisayar programına verilerek piklerin merkez kanalına karşılık gelecek enerji değerleri bulundu.

Tablo 2.5’de ²²⁶Ra ve ²³²Th serileri ile ⁴⁰K için alınan enerjiler ve salma hızları gösterilmiştir. ²²⁶Ra serisi için ²¹⁴Pb(295,2 keV), ²¹⁴Pb(352,0keV) ve ²¹⁴Bi (609,4keV) enerjilerindeki, ²³²Th serisi için ²¹²Pb (238,6 keV), ²⁰⁸Tl (583,1keV), ²²⁸Ac (911,1keV) enerjilerindeki piklerinin alanları ve ⁴⁰K için (1460,8 keV) enerjisindeki pikin alanı alınmıştır.

Tablo 2.5. Aktivitesi hesaplanan radyoaktif çekirdekler ve salma hızları

| | İzotop | Gama | Salma hızı (%) |
|-------------------|-------------------|--------|----------------|
| ²²⁶ Ra | ²¹⁴ Pb | 295,2 | 18,2 |
| | ²¹⁴ Pb | 352,0 | 35,1 |
| | ²¹⁴ Bi | 609,4 | 44,6 |
| ²³² Th | ²¹² Pb | 238,6 | 43,5 |
| | ²⁰⁸ Tl | 583,1 | 30,0 |
| | ²²⁸ Ac | 911,1 | 26,6 |
| ⁴⁰ K | | 1460,8 | 10,7 |

2.2.4. Aktivite Hesabı

Piklerin altında kalan net alanlar toplam alandan background çıkarılarak elde edilen sayma sayılarının toplamıdır. Saniyedeki sayma (cps), pik altında kalan alanın pik elde etmek için geçen süreye bölümüdür. Dedektör verimi de hesaba katılarak aktivite için,

$$A = \frac{s}{(I_{\gamma}).w.t.\varepsilon} \quad (25)$$

dır. Burada A(Bq/kg) aktivite, s net alan, I_{γ} gama ışınının salma hızı, w kg olarak numune miktarı ve ε verimdir.

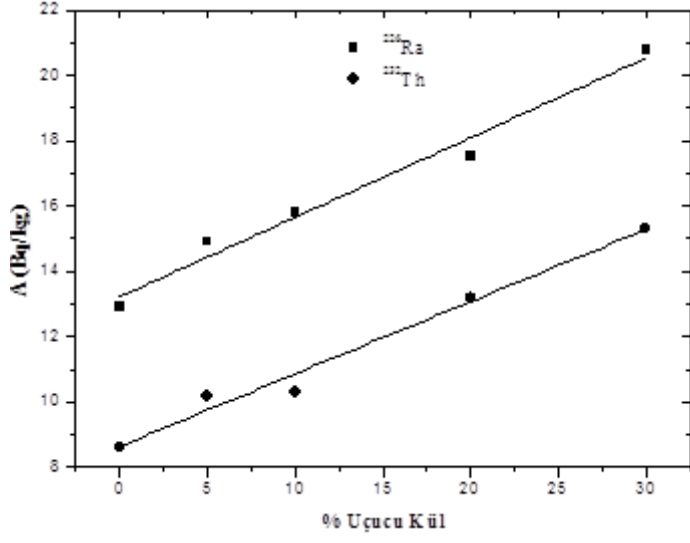
3. BULGULAR

Dokuz grup beton karışımı ve ham beton örneklerinin ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları Tablo 3.1.' de listelendi. Tablodan beton örneklerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının artan yüzdelik katkılarla beraber arttığı görülmektedir.

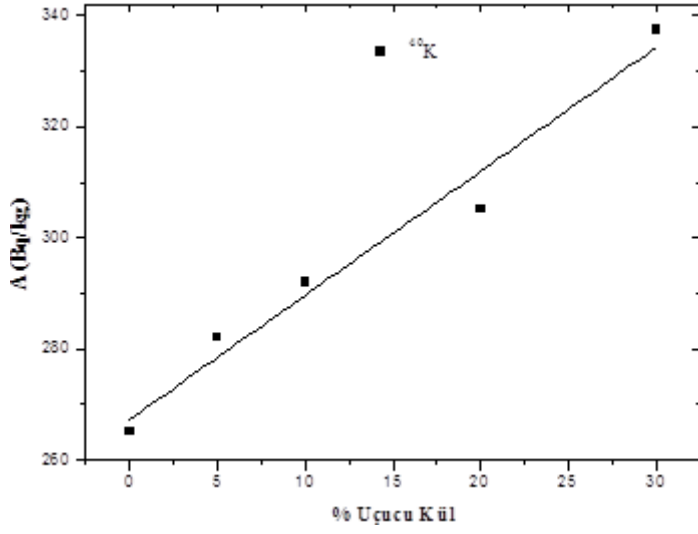
Tablo 3.1. Dokuz adet beton karışımı ve ham beton örneklerinin ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları

| Örnekler | Radyoaktif Çekirdek Konsantrasyonları (Bq kg^{-1}) | | |
|---------------------|---|-------------------|-----------------|
| | ^{226}Ra | ^{232}Th | ^{40}K |
| MO | 12,91 ± 0,59 | 8,61 ± 0,73 | 265,18 ± 7,02 |
| MF5 | 14,90 ± 0,65 | 10,18 ± 0,82 | 282,06 ± 7,49 |
| MF10 | 15,81 ± 0,67 | 10,30 ± 0,83 | 291,97 ± 7,68 |
| MF20 | 17,53 ± 0,70 | 13,19 ± 0,88 | 305,16 ± 7,83 |
| MF30 | 20,78 ± 0,79 | 15,32 ± 1,00 | 337,45 ± 8,71 |
| MB5 | 16,08 ± 0,73 | 10,81 ± 0,89 | 294,55 ± 8,20 |
| MB10 | 17,74 ± 0,69 | 10,29 ± 0,88 | 294,02 ± 7,92 |
| MB20 | 21,06 ± 0,75 | 10,03 ± 0,79 | 295,05 ± 7,29 |
| MB30 | 22,95 ± 0,74 | 11,06 ± 0,87 | 309,32 ± 8,10 |
| Kum | 9,51 ± 0,49 | 8,00 ± 0,65 | 322,91 ± 7,37 |
| Uçucu Kül | 114,67 ± 2,08 | 87,86 ± 2,71 | 898,29 ± 16,41 |
| Yüksek Fırın Cürufu | 186,69 ± 2,38 | 35,87 ± 1,67 | 295,91 ± 9,08 |
| Çimento | 26,09 ± 0,83 | 8,40 ± 0,83 | 168,42 ± 5,76 |

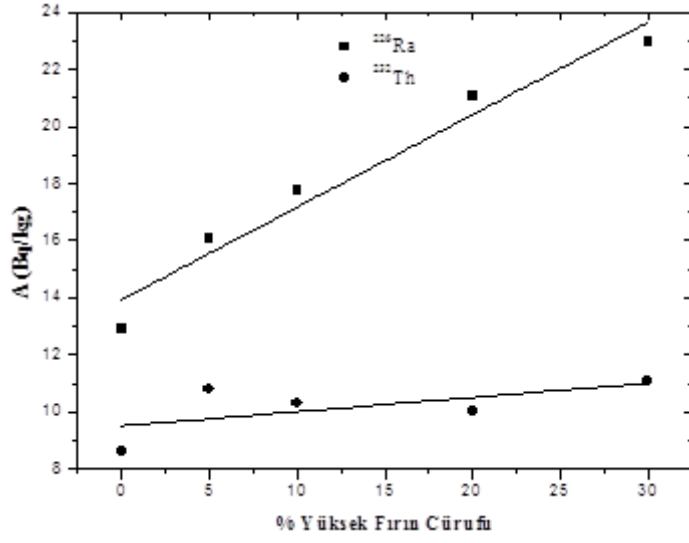
Bu karışım örnekleri kendi içinde karşılaştırıldığı zaman uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun yüzdeleri arttırıldığında ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarındaki değişim Şekil 3.1.- 3.4. 'de görülebilir. Grafiklerden de anlaşılacağı üzere uçucu kül ve yüksek fırın cürufu katkılı beton numunelerinin aktivite konsantrasyonları artan katkılarla beraber artmaktadır.



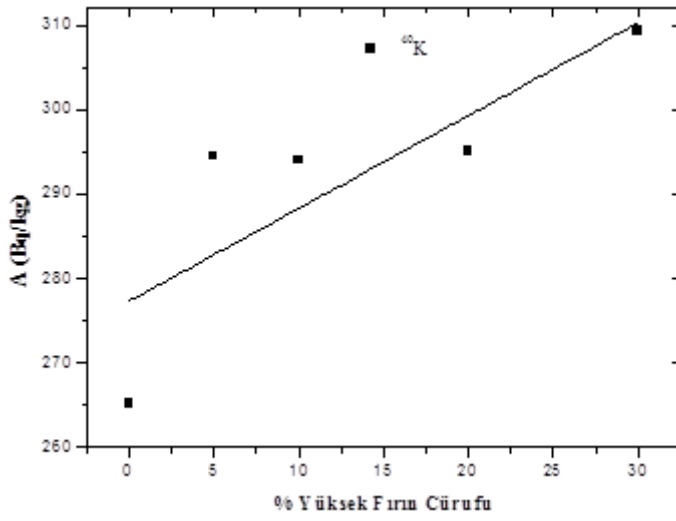
Şekil 3.1. Uçucu kül katkıli beton numunelerinin ^{226}Ra ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları



Şekil 3.2. Uçucu kül katkıli beton numunelerinin ^{40}K aktivite konsantrasyonları

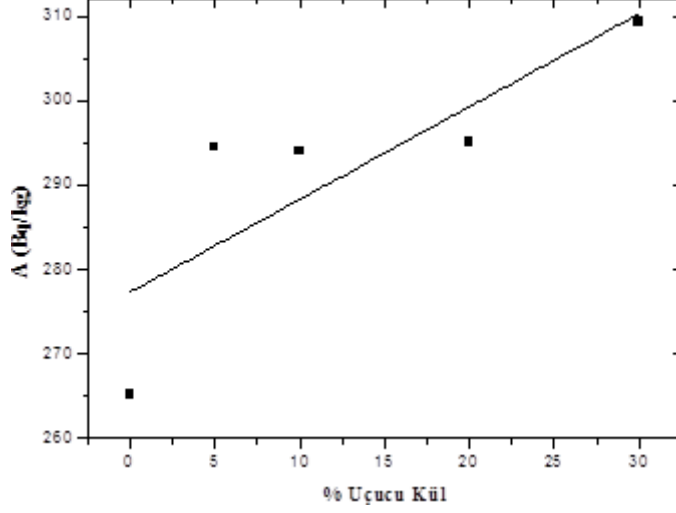


Şekil 3.3. Yüksek fırın cürufu katkılı beton numunelerinin ^{226}Ra ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları

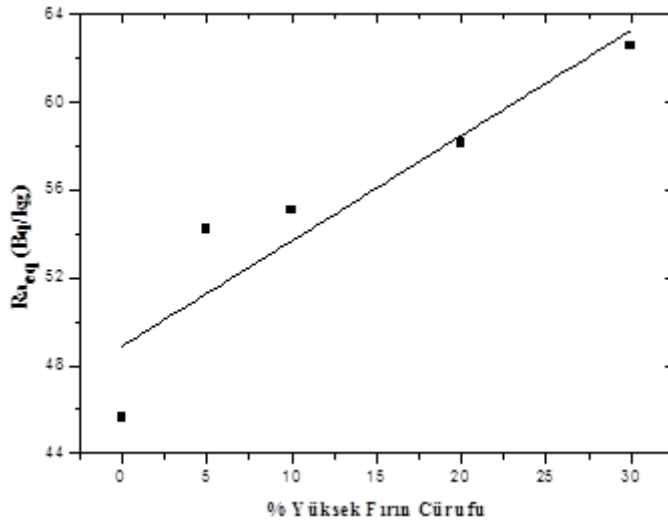


Şekil 3.4. Yüksek fırın cürufu katkılı beton numunelerinin ^{40}K aktivite konsantrasyonları

Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu numunelerinin $R_{a_{eq}}$ eşdeğerleri değişim grafikleri Şekil 3.5. ve Şekil 3.6. 'da gösterildi.

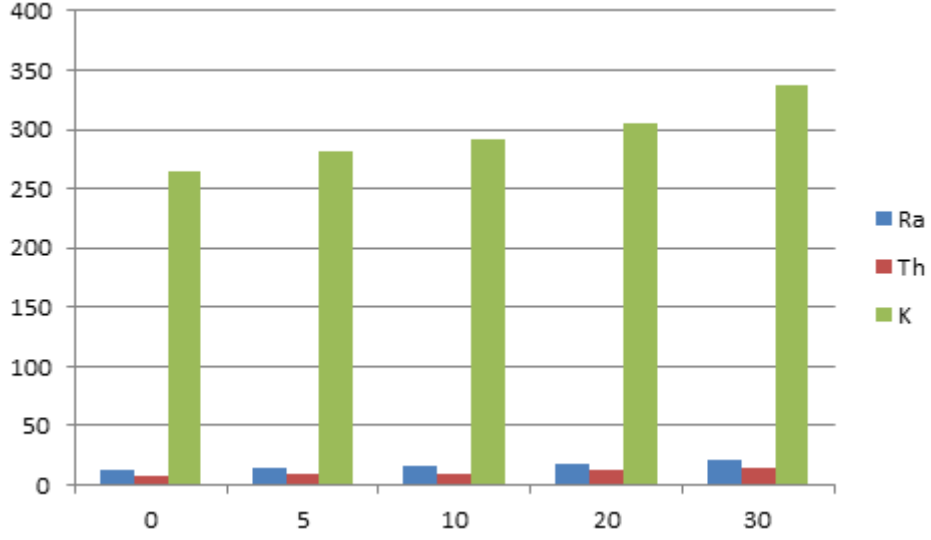


Şekil 3.5. Uçucu kül katkıli beton numunelerinin $R_{a_{eq}}$ eşdeğerleri

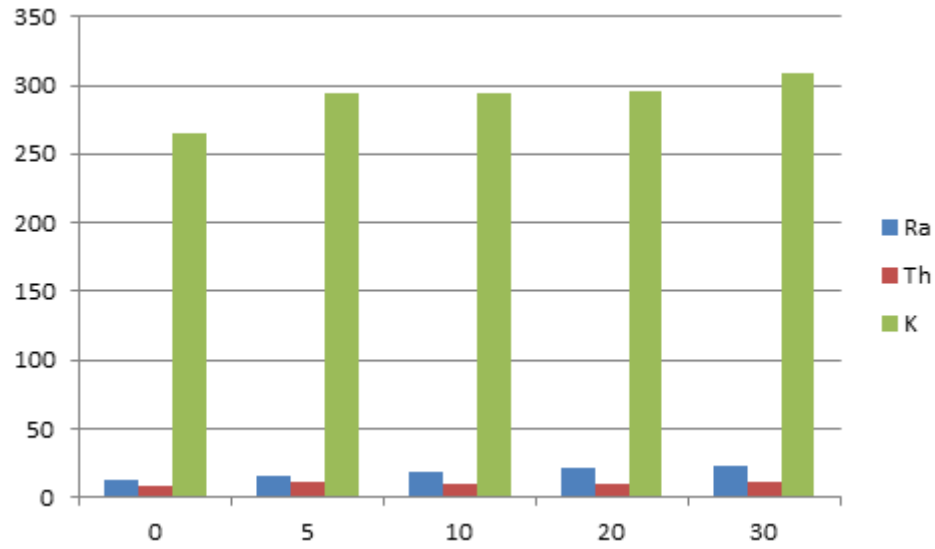


Şekil 3.6. Yüksek fırın cürufu katkıli beton numunelerinin $R_{a_{eq}}$ eşdeğerleri.

Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu numunelerinin soğrulmuş doz oranları D ($nGy h^{-1}$) değişim grafikleri Şekil 3.7. ve Şekil 3.8. 'de gösterildi.



Şekil 3.7. Uçucu kül katkıli beton numunelerinin soğrulmuş doz oranları



Şekil 3.8. Yüksek fırın cürufu katkıli beton numunelerinin soğrulmuş doz oranları

Tablo3.2. Çimento için mevcut çalışmamızın aktivite konsantrasyonları (Bq kg⁻¹) ve Ra_{eq}(Bq kg⁻¹) Radyum eşdeğer aktivitelerinin daha önce yapılan çalışmalarla kıyaslanması

| Ülkeler | Radyoaktif Çekirdek Konsantrasyonları (Bq kg ⁻¹) | | | Ra _{eq} (Bq kg ⁻¹) | Kaynaklar |
|------------------|--|-------------------|-----------------|---|----------------------------|
| | ²²⁶ Ra | ²³² Th | ⁴⁰ K | | |
| Avustralya | 52 | 48 | 115 | 129 | (Beretka ve Mathew, 1985) |
| Avusturya | 27 | 14 | 210 | 63 | (Sorantin ve Steger, 1984) |
| Cezayir | 41 | 27 | 422 | 112 | (Amrani ve Tahtat, 2001) |
| Bangladeş | 61 | 80 | 1133 | 262 | (Roy ve Alam, 2005) |
| Çin | 57 | 37 | 173 | 122 | (Xinwei, 2005) |
| Kameron | 27 | 15 | 277 | 70.1 | (M.Ngachin vd., 2007) |
| Küba | 23 | 11 | 467 | 74 | (Flores vd., 2008) |
| Mısır | 78 | 33 | 337 | 151 | (Afifi vd., 2006) |
| Finlandiya | 40 | 20 | 251 | 88 | (Mustonen, 1984) |
| Yunanistan | 63 | 24 | 284 | 117 | (Papestefanou vd., 2005) |
| İtalya | 38 | 22 | 218 | 92 | (Rizzo vd., 2001) |
| Isparta, Türkiye | 26.1 | 10.4 | 129.7 | 51.03 | (Mavi ve Akkurt, 2010) |
| Hindistan | 98 | 81 | 340 | 240 | (Sonkawade vd., 2008) |
| Japonya | 36 | 21 | 139 | 77 | (Suziki vd., 200) |
| Malezya | 81 | 59 | 203 | 181 | (Chong ve Ahmed, 1982) |
| Hollanda | 27 | 19 | 230 | 72 | (Ackers vd., 1985) |
| Pakistan | 26 | 29 | 273 | 88 | (Khan ve Khan, 2001) |
| Türkiye | 41 | 26 | 267 | 98 | (Turhan, 2008) |
| Xianyang, Çin | 51,7 | 32 | 207,7 | 113,5 | (Xinwei, 2012) |
| Türkiye | 26,09 | 8,40 | 168,42 | 51,07 | Bu Çalışma |

Tablo 3.3. Uçucu kül için mevcut çalışmamızın aktivite konsantrasyonları (Bq kg⁻¹) ve Ra_{eq} (Bq kg⁻¹) Radyum eşdeğer aktivitelerinin daha önce yapılan çalışmalarla kıyaslanması

| Ülkeler | Radyoaktif Çekirdek Konsantrasyonları (Bq kg ⁻¹) | | | Ra _{eq} (Bq kg ⁻¹) | Kaynaklar |
|------------|--|-------------------|-----------------|---|----------------------------|
| | ²²⁶ Ra | ²³² Th | ⁴⁰ K | | |
| Yunanistan | 1377 | 65 | 661 | - | (Petropoulos vd., 2002) |
| Yunanistan | 1041 | 55 | 462 | - | (Papaefthymiou vd.,2008) |
| Hindistan | 45,1 | 39,9 | 88,4 | 109,2 | (Kumar vd., 1999) |
| İsrail | 202,0 | 62,9 | 377,7 | 321,0 | (Kovler vd., 2002) |
| İspanya | 160 | 62,3 | 459,1 | - | (Chinchon- Paya vd., 2011) |
| Türkiye | 232,3 | 117,1 | 466,2 | 428,7 | (Turhan, 2008) |
| Türkiye | 114,67 | 87,86 | 898,29 | 309,48 | Bu Çalışma |

Tablo 3.4. Yüksek fırın cürufu için mevcut çalışmamızın aktivite konsantrasyonları (Bq kg⁻¹) ve Ra_{eq} (Bq kg⁻¹) Radyum eşdeğer aktivitelerinin daha önce yapılan çalışmalarla kıyaslanması

| Ülkeler | Radyoaktif Çekirdek Konsantrasyonları (Bq kg ⁻¹) | | | Ra _{eq} (Bq kg ⁻¹) | Kaynaklar |
|-----------|--|-------------------|-----------------|---|----------------------------|
| | ²²⁶ Ra | ²³² Th | ⁴⁰ K | | |
| Mısır | 323 | 39,8 | 158 | 392,3 | (Sharaf vd., 1999) |
| Hindistan | 67,3 | 77,7 | 145,1 | 189,8 | (Kumar, 1999) |
| İspanya | 166,6 | 47,6 | 232,3 | - | (Chinchon- Paya vd., 2011) |
| Türkiye | 177,9 | 147,8 | 242,5 | 392,95 | (Turhan, 2008) |
| Türkiye | 186,69 | 35,87 | 295,91 | 260,77 | Bu Çalışma |

Tablo 3.5. İnce (Agrega) için mevcut çalışmamızın aktivite konsantrasyonları (Bq kg^{-1}) ve Ra_{eq} (Bq kg^{-1}) Radyum eşdeğer aktivitelerinin daha önce yapılan çalışmalarla kıyaslanması

| Ülkeler | Radyoaktif Çekirdek | | | Ra_{eq} (Bq kg^{-1}) | Kaynaklar |
|-----------------------|---|-------------------|-----------------|---|------------------------|
| | Konsantrasyonları (Bq kg^{-1}) | | | | |
| | ^{226}Ra | ^{232}Th | ^{40}K | | |
| Algeria | 4 | 10 | 259 | 58 | (AmraniveTahtat, 2001) |
| Bangladeş | 248 | 219 | 389 | - | (Mustapha vd., 1997) |
| Bangladeş | 25,26 | 54,71 | 228,4 | 121,29 | (Mantazul vd., 1998) |
| Birazilya | 10,3 | - | 933 | 82,1 | (Malanca vd., 1993) |
| Küba | 20 | 13 | 134 | 49 | (Flores vd., 2008) |
| Mısır | 9,8 | 3,5 | 62,4 | 19,7 | (Sharafvd., 1999) |
| Yunanistan | 11 | 12 | 140 | 38,9 | (Stoulosvd., 2003) |
| İsrail | 15 | 3 | 50,4 | 23,2 | (Kovlervd., 2002) |
| Isparta, Turkey | 22,5 | 6,8 | 101,7 | 40,03 | (MaviveAkkurt, 2010) |
| Logbadjec, kameron | 24 | 139 | 1161 | 312,51 | (Ngacginvd., 2007) |
| Ombe, Kameron | 19,4 | 26 | 304 | 80,12 | (Ngacginvd., 2007) |
| Pakistan | 33 | 32 | 57 | - | (Iqbal vd., 2000) |
| Türkiye | 21.6 | 25.8 | 482.2 | - | (Turhan vd., 2008) |
| Xi'an,Çin | 28,5 | 19,5 | 286,7 | 82,6 | (Xinwei, 2005) |
| Xianyang, Çin | 19,9 | 22,5 | 413,0 | 84,0 | (Xinwei, 2012) |
| Türkiye | 9,51 | 8,00 | 322,91 | 45,81 | Bu Çalışma |

Tablo 3.6. Beton için mevcut çalışmamızın aktivite konsantrasyonları (Bq kg^{-1}) ve Ra_{eq} (Bq kg^{-1}) Radyum eşdeğer aktivitelerinin daha önce yapılan çalışmalarla kıyaslanması

| Ülkeler | Radyoaktif Çekirdek Konsantrasyonları (Bq kg^{-1}) | | | Ra_{eq} (Bq kg^{-1}) | Kaynaklar |
|-----------------|---|-------------------|-----------------|---|------------------------------|
| | ^{226}Ra | ^{232}Th | ^{40}K | | |
| Brezilya | 14,8 | 9,9 | 361 | 56,7 | (Malancavd., 1993) |
| Küba | 25 | 12 | 595 | 87 | (Flores vd., 2008) |
| Yunanistan | 35 | 17 | 383 | 88,8 | (Stoulosvd., 2003) |
| Mısır | 19,1 | 8,1 | 76,4 | 36,6 | (Sharaf vd., 1999) |
| Mısır | 11,0 | 2,8 | 19,6 | 16,5 | (Higgy, 2000) |
| Ibadan, Nijerya | 24,5 | 37,3 | 354,4 | 105,2 | (Ademola ve Oguneletu, 2005) |
| Jos Nijerya | 66 | 126 | 589 | 292 | (Ademola ve Farai, 2006) |
| Malezya | 30 | 24 | 740 | 121 | (Ibrahim, 1999) |
| Xi'an, Çin | 46,2 | 28,4 | 137,4 | 98,6 | (Xinwei, 2005) |
| Xianyang,Çin | 25,8 | 26,8 | 553,6 | 106,7 | (Xinwei, 2012) |
| Türkiye | 12,91 | 8,61 | 265,18 | 45,64 | Bu Çalışma |

Harç karışım örneklerinin Ra_{eq} değerleri, gama indeksleri (I_{γ}), alfa indeksleri (I_{α}), soğurulmuş doz oranları (D), yıllık etkin doz oranı (AED) Tablo 3.7'da listelendi.

Tablo 3.7. Ham harç örnekleri ve farklı yüzdelere göre harç örnekleri için radyum eşdeğer aktivitesi, gama indeksi, alfa indisi, soğurulmuş doz oranı, yıllık etkin doz oranları.

| Örnekler | Ra _{eq} (Bq/kg) | I _γ | I _α | D (nGy h ⁻¹) | AED(mSv y ⁻¹) |
|---------------------|--------------------------|----------------|----------------|--------------------------|---------------------------|
| MO | 45,64 ± 2,17 | 0,17 | 0,06 | 42,56 ± 1,91 | 0,21 |
| MF5 | 51,18 ± 2,40 | 0,19 | 0,07 | 47,47 ± 2,10 | 0,23 |
| MF10 | 53,02 ± 2,45 | 0,20 | 0,08 | 49,23 ± 2,14 | 0,24 |
| MF20 | 59,89 ± 2,56 | 0,23 | 0,09 | 55,05 ± 2,24 | 0,27 |
| MF30 | 68,67 ± 2,89 | 0,26 | 0,10 | 62,97 ± 2,52 | 0,31 |
| MB5 | 54,22 ± 2,63 | 0,21 | 0,08 | 50,25 ± 2,31 | 0,25 |
| MB10 | 55,09 ± 2,56 | 0,21 | 0,09 | 51,16 ± 2,24 | 0,25 |
| MB20 | 58,12 ± 2,44 | 0,22 | 0,11 | 54,01 ± 2,14 | 0,26 |
| MB30 | 62,58 ± 2,61 | 0,23 | 0,11 | 58,03 ± 2,29 | 0,28 |
| Kum | 45,81 ± 1,99 | 0,18 | 0,05 | 43,38 ± 1,76 | 0,21 |
| Uçucu Kül | 309,48 ± 7,22 | 1,12 | 0,57 | 274,01 ± 6,21 | 1,34 |
| Yüksek Fırın Cürufu | 260,77 ± 5,47 | 0,90 | 0,93 | 234,88 ± 4,75 | 1,15 |
| Çimento | 51,07 ± 2,46 | 0,19 | 0,13 | 46,72 ± 2,14 | 0,23 |

4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Dokuz adet harç karışımının içeriği Tablo 2.1.'de özetlendi. Bu harçlarda kullanılan bağlayıcılar beton ve çimento sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Standart harçlar MO ve farklı oranlarda mineral katkılarla hazırlanan mineral katkılı harçlarda ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin doğal radyoaktif çekirdekler için aktivite konsantrasyon sonuçları Tablo 3.1.'de verildi. Bu tablodan anlaşılacağı üzere karışımdaki mineral katkı oranı arttıkça radyoaktivite değerleri de arttı. Şekil3.1.-3.6.'da görüldüğü gibi karışım numuneleri kendi aralarında kıyaslandığında bu numunelerin ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun artan % 0, % 5, % 10, % 20, % 30 yüzdeliklerinde artmaktadır. Bu çalışmada tüm karışım numuneleri için belirli aktivite değerleri bu numuneler için Dünya Sağlık Örgütü'nün tavsiye ettiği maksimum seviyeden daha düşük çıktı (Damla vd., 2010).

Çalışmada kullanılan çimento, uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve ince agreganın doğal radyoaktif çekirdek konsantrasyonları Tablo 3.1.'de görülmektedir. Bu tablodan uçucu kül ve yüksek fırın cürufundaki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyon değerleri ve ince agregadaki ^{40}K aktivite konsantrasyon değerlerinin çimento, uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve ince agreganın aktivite konsantrasyon değerlerinden daha yüksek çıktığı görüldü. Tablo 3.1'den görüldüğü gibi uçucu küldeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyoaktivite değerleri ve yüksek fırın cürufundaki ^{226}Ra 'nın değerleri Dünya Sağlık Örgütü tarafından belirlenen aktivite değerleri ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için sırasıyla 50, 50 ve 500 Bq kg⁻¹ olan değerlerden daha yüksek çıktı (Damla vd., 2010). Bu çalışmada kullanılan standart harçlardaki, mineral katkılı harçlardaki çimento ve ince agregadaki doğal radyoaktivite değeri dünyadaki belirlenen değerlerden düşük çıktı.

Harç numunelerde MO, MF, MB ile uçucu kül, yüksek fırın cürufu, beton ve ince agreganın radyoaktivite seviyeleri Tablo 3.7.'de gösterildi. R_{eq} değerleri 45,64±2,40 'tan 68, 67±2,89 Bq kg⁻¹'e ve MB için 45,64±2,63'ten 62,58±2,61 Bq kg⁻¹ 'e kadar değişiklik göstermektedir. Görüldüğü gibi en yüksek R_{eq} değeri uçucu külde (309,48±7,22 Bq kg⁻¹) ve yüksek fırın cürufunda (260,77±5,47 Bq kg⁻¹) belirlendi. Bu çalışmada hesaplanan R_{eq} değeri ev için kullanılan inşaat malzemeleri için tavsiye edilen maksimum R_{eq} değerinden daha düşük çıktığı görüldü (R_{eq} maks.≤370Bq kg⁻¹) . Şekil 3.7.-şekil 3.8.'de uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun soğurulmuş doz oranlarının

değişimi görülmektedir. Şekil 3.7.-3.8' de olduğu gibi şekil 3.1- şekil 3.6' da artan katkı miktarına bağlı olarak radyum eşdeğerinin de arttığı gözlenmişti. Tablo 3.2.-3.6.'de dünyanın farklı bölgelerinde çimento, uçucu kül, yüksek fırın cürufu, ince agrega ve betonda tespit edilen aktivite konsantrasyonları ve radyum eşdeğer aktiviteleri ($Bq\ kg^{-1}$) görülmektedir. Tablo 3.2.-3.6.'deki çimento, yüksek fırın cürufu, ince agrega beton numuneleri için ölçülen değerlerin bu çalışmadaki değerlerle uyumlu olduğu görülmektedir. Tablo 3.3.'de görülen uçucu kül için hesaplanan sonuçlar farklı ülkelerdeki sonuçlarla kıyaslandığında ^{226}Ra , ^{232}Th ve Ra_{eq} değerleri ile benzerken ^{40}K değeri var olan çalışmalara kıyasla bu çalışmadaki sonuçlardan yüksek çıktı.

Gama katsayısı değerleri (I_γ) tüm numuneler için ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için ölçülen aktivite konsantrasyonlarından hesaplandı ve Tablo 3.7.'de listelendi. Bu tablodan gama katsayısı değerlerinin tüm numuneler için kritik bir değerde olmadığı anlaşılmaktadır. 2'den küçük olan gama katsayısı değerler $0,3\ m\ Sv\ y^{-1}$ doz kriterine tekabül etmektedir. I_γ değerleri uçucu kül için $1,12\ m\ Sv\ y^{-1}$ ve yüksek fırın cürufu için $0,90\ m\ Sv\ y^{-1}$ olarak belirlendi. Belirlenen harç numunelerdeki ve karışıma girmeden önceki malzemelerdeki değerlerinden daha yüksektir.

Alfa katsayısı (I_α) Eşitlik (4)'ten hesaplanarak Tablo 3.7.'de listelendi. Tablo 3.7.'de hesaplanan I_α değerlerinin çalışılan numunelerde birim değerlerden düşük olduğu görülmektedir.

Tahmini soğurulmuş doz oranı değerleri Tablo 3.7.'de görülmektedir. Uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun soğurulmuş doz oranı dışındaki tüm numunelerin değerleri önerilen en yüksek seviye olan $84\ n\ Gy\ h^{-1}$ değerinden düşük olduğu tespit edildi.

Elde edilen yıllık etkin doz oranı (AED) Tablo 3.7.'de AED değerleri uçucu kül ($1,34\ m\ Sv^{-1}$) ve yüksek fırın cürufu ($1,15\ mSv\ y^{-1}$) hariç diğer tüm numuneler için limit değer olan $0,46\ mSv\ y^{-1}$ 'den daha düşük olduğu görüldü.

5. ÖNERİLER

Çimentoda kullanılan uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu konuyla ilgili çimento standardı geliştirilebilir.

Beton örneklerine daha farklı yüzdelerde katkıları yapıp aynı ölçümler yapılabilir. İnsanların radyasyonu daha çok soğuran malzemelerden yapılmış binalarda yaşaması sağlanabilir.

6. KAYNAKLAR

- Ackers, J.G., Den Boer, J.F., De Jong, P., Wolschrijn, RA., 1985.** Radioactivity and exhalation rates of building materials in the Netherlands, 45, 151-156. DOI:10.1016/0048-9697(85)90215-2.
- Ademola, J.A., Oguneletu, P.O., 2005.** Radionuclide content of concrete building blocks and radiation dose rates in some dwellings in Ibadan, Nigeria. *Journal Environ Radioact*, 81, 107-113. DOI:10.1016/j.jenurad.2004.12.002.
- Ademola, J.A., Farai, I.P., 2006.** Gamma activity and radiation dose in concrete building blocks used for construction of dwellings in Jos Nigeria. *Radiation Protection Dosimetry*, 121, 395–398.
- Aköz, 2002.** Tarihi Yapıların Onarımında Kullanılacak Harç Üretimi. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2002.
- Amrani, D., Tahtat, M., 2001.** Natural radioactivity in Algerian building materials, 4, 687-689. DOI:10.1016/s0969-8043(00)00304-3.
- Baradan, 2004.** Yapı Malzemesi II. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, Yayın No: 207, İzmir, s. 221, 2004
- Baykara, O., Karatepe, S., Dogru, M., 2011.** Assessments of natural radioactivity and radiological hazards in construction materials used in Elazig, Turkey. *Radiation Measurements*, 46, 153-158. DOI:10.1016/j.radmeas.2010.08.010.
- Canbazoğlu, C. ve Doğru, M., 2003.** Erciyes, Maden İlçesinde (Elazığ) Çevresel Gama Radyasyon Dozu Ölçümleri. VIII Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi, Elazığ, 15-17 Ekim.
- Cevik, U., Damla N., Kobya A.İ., Celik, A., Kara, A., 2010.** Radiation dose estimation and mass attenuation coefficients of marble used in Turkey. *Annals of Nuclear Energy*, 37, 1705-1711. DOI:10.1016/j.anucene.2010.07.011.
- Chong, C.S., Ahmed, G.U., 1982.** Gamma activity of some building materials in west Malaysia. *Health Physics*, 43, 272-273.
- Chinchon-Paya S., Piedecaus B., Hurtado S., Sanjuan M.A., Chinchon S., 2011.** Radiological impact of cement, concrete and admixtures in Spain *Radiation Measurement*, 46, 734-735. DOI:10.1016/j.radmeas.2011.06.020.
- Damla, N., Cevik, U., Kobya, A.I., Celik, A., Celik, N., Grieken, R.V., 2010.** Radiation dose estimation and mass attenuation coefficients of cement samples used in Turkey. *Journal Hazardous Materials*, 176, 644-649. DOI:10.1016/j.jhazmat2009.011.080.

- El Afifi, E.M., Hilal, M.A., Khalifa, S.M., Aly, H.F., 2006.** Evaluation of ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K and emanated radon in some norm and tenorm samples. *Radiat Measurement*, 41, 627-633. DOI:10.1016/j.radmeas.2005.09.014.
- EC, 1999.** European Commission (EC), Radiation Protection 112. Radiological Protection Principles Concerning the Natural Radioactivity of Building Materials, Directorate- General Environment, Nuclear Safety and Civil Protection. 357
- Erdoğan, 1995.** Karışım ve Bakım Suları. Türkiye Hazır Beton Birliği, Ankara.
- Erdoğan, T.Y., 2003.** Beton, Metu Pres, Ankara.
- Flores, O.B, Estrada, A.M, Suarez, R.R, Zerquera, J.T, Perez, A.H., 2008.** Natural radionuclide content in building materials and gamma dose rate in dwellings in Cuba. *Journal Environment Radioact*, 99, 1834–1837. DOI:10.1016/j.jenurad.2008.08.001.
- Hewamanna, R., Sumithrarachchi, C.,S., Mahawatte, P., Nanayakkara, H.L.C., and Ratnayake, H.C., 2001.** Natural radioactivity and gamma dose from Sri lankan clay bricks used building construction. *Applied Radiation and Isotopes*, 54, 365-369.
- Higgy, R.H., El-Tahawy, M.S., Abdel-Fattah, A.T., Al-Akabawy, U.A., 2000.** Radionuclide content of building material sand associated gamma dose rates in Egypt and wellings. *Journal Environment Radioact*, 50, 253-261. DOI:10.1016/s0265-931X(00)99017-5.
- Ibrahim, N.,1999.** Natural activities of ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K in building materials. *Journal Environment Radioact*, 43, 255–258. DOI:10.1016/s0265-931X(98)00033-2.
- Iqbal, M, Tufail, M, Mirza, S.M., 2000.** Measurement of natural radioactivity in marble found in Pakistan using a NaI(Tl) gamma-ray spectrometry. *Journal Environmend Radioact*, 51, 220–222.
- Kaplan H., Tama Y. S, Ün H., Yılmaz S., vd., 2007.** Kamu Yapılarında Gözlenen Yapısal Kusurlar, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 2007. Denizli, 13, 2, 203-212.
- Khan, K., Khan, H.M., 2001.** Natural gamma-emiting radionuclides in Pakistani Portland cement. *Applied Radiation Isotopes*, 54, 861-865. DOI:10.1016/s0969-8043(00)00327-4.
- Kovler, N., Haquin, G., Manasherov, V., Ne'eman, E., Lavi, N., 2002.** Natural radionuclides in building materials available in Israel. *Build Environment*, 37, 531-537. DOI:10.1016/so360-1323(01)0048-8.
- Lu, X., Yang, G., Ren, C., 2012.** Natural radioactivity and radiological hazards of building materials in Xianyang, China. *Radiation Physics and Chemistry*, 81, 780-784. DOI:10.1016/j.radphyschem.2012.02.043.

- Mavi, B., Akkurt, I., 2010.** Natural radioactivity and radiation hazards in some building materials used in Isparta, Turkey. *Radiation Physics and Chemistry*, 79, 933-937. DOI:10.1016/j.radphyschem.2010.03.19.
- Mustonen, R., 1984.** Natural radioactivity and radon exhalation rate from finish building materials. *Health Physics*, 46, 1195-1203.
- Mustapha, A.O., Narayana, D.G.S., Patel, J.P., Otwoma, D., 1997.** Natural radioactivity in some building materials in Kenya and the contributions to the indoor external doses. *Radiation Protection Dosimetry*, 71(1), 65–69.
- Mantazul, I, Chowdury, M.N., Alam, A.K., 1998.** Concentration of radionuclides in building and ceramic materials of Bangladesh and evaluation of radiation hazard. *Chemical*, 231, 117–121.
- Malanca, A., Pessina, V., Dallara, G., 1993.** Radionuclid content of building materials and gamma ray dose rates in dwellings of Rio Grande Do Norte, Brazil. *Radiation Protection Dosimetry*, 48, 199–203.
- Ngachin, M., Garavaglia, M., Giovani, C., Kwato, Njock, M.G., Nourreddine, A., 2007.** Assessment of natural radioactivity and associated radiation hazards in some Cameroonian building materials. *Radiation Measurement*, 42, 61–67. DOI:10.1016/j.radmeas.2006.07.007.
- Papastefanou, C., Stoulos, S., Manolopoulou, M., 2005.** The radioactivity of building materials. *Journal Radioanal Nuclear Chemistry*, 266(3), 367-372.
- Petropoulos, N.P., Anagnostakis, M.J., Simopoulos, S.E., 2002.** Photon attenuation, natural radioactivity content and radon exhalation rate of building materials. *Journal Environ Radioact*, 61, 257-269. DOI:10.1016/s0265-931X(01)00132-1.
- Papaefthymiou, H., Gouseti, O., 2008.** Natural radioactivity and associated radiation hazards in building materials used in Peloponnese, Greece *Radiat Measurement*, 43, 1453-1457. DOI:10.1016/j.radmeas.2008.03.032.
- Ramachandran, T.V., Prasad, R., 1999.** Natural radioactivity of Indian building materials and by-products, *Applied Radiation Isotopes*, 51, 93-96. DOI:10.1016/s0969-8043(98)00154-7.
- Roy, S., Alam, M.S., Begum, M., Alam, B., 2005.** Radioactivity in building materials used in and around Dhaka city. *Radiation Protection Dosimetry*, 114, 527-532.
- Rizzo, S., Brai, M., Basile, S., Bellia, S., Hauser, S., 2001.** Gamma activity and geochemical features of building materials: estimation of gamma dose rate and indoor radon levels in Sicily. *Applied Radiation Isotopes*, 55, 259-265. DOI:10.1016/s0969-8043(00)00384-5.
- Seyrek, E., 2007.** Radyoizotopların Üretimi ve Radyoterapide Kullanılması. Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Ankara, 64 s.

- Sonkawade, R., G., Kant, K., Muralithar, S., Kumar, R., Ramola, R.C., 2008.** Natural radioactivity in common building construction and radiation shielding materials. *Atmospheric Environment*, 42, 2254–2259. DOI:10.1016/j.atmosev.2007.11.037.
- Suzuki, A., Iida, T., Moriizumi, J., Sakuma, Y., 2000.** The effects of different types of concrete on population doses. *Radiation Protection Dosimetry*, 90, 437-443.
- Stoulos, S., Manolopoulo, M., Papastefanou, C., 2003.** Assessment of natural radiation exposure and radon exhalation from building materials in Greece. *Journal Environ Radioact*, 69, 225–240. DOI:10.1016/s0265-931X(03)00081-X
- Sorantin, P., Steger, F., 1984.** Natural radioactivity of building materials in Austria. *Radiation Protection Dosimetry*, 7, 59-61.
- Topçu, İ.B., 2006.** Yapı Malzemeleri ve Beton , Şahvar Offset, Eskişehir.
- Turhan, S., Baykan, U.N., Sen, K., 2008.** Measurement of the natural radioactivity in building materials used in Ankara and assessment of external doses. *Journal Radiological Protection*, 89,9,2528-2535. DOI:10.1016/j.anucene.2008.04.030.
- Turhan, S., 2008.** Assessment of the natural radioactivity and radiological hazards in Turkish cement and its raw materials. *Journal Environ Radioact*, 99, 404-414. 28,83–91. DOI:10.1016/j.jenvrad.2007.11.001.
- Türker, F., Akos, F., Koral, S., Yüzer, N., 1997.** Effect of magnesium sulfate Concentration on Sulfate resistance of Mortars With and Without Silica Fume, *Cement and Concrete Research*, 205-214. DOI:10.1016/s0008-8846(97)00009-4.
- Türkmen, İ., 2002.** Korozyon Etkileri Altında Yüksek Fırın Cürufu ve silis Dumanı katkılı Yüksek Dayanımlı Betonların Mekanik Özellikleri ve Dayanıklılığı. Doktora tezi. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- UNSCEAR, 1993.** Ionizing Radiation: Sources and Biological Effects, United Nations Scientific Committee, New York, United Nations, 1-922
- Ustabaş, İ., 2008.** Sülfat etkisine maruz mineral katkılı beton ve harçların performansının incelenmesi. Doktora Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Xinwei, L., 2005.** Radioactive analysis of cement and its products collected from Shaanxi, China. *Health Physics*, 88, 84-86.
- Xinwei, L., 2005.** Natural radioactivity in some building materials of Xi'an, China *Radiation Measurement*, 40, 94–97. DOI:10.1016/j.radmeas.2005.01.003.
- Yeğınobalı, A., 2009.** Silis Dumanı ve Çimento ile Betonda Kullanımı. Ar-Ge Yayınları, 6.Baskı, ISBN: 975-8136-14-3, 628,83–91.

Yılmaz, E., Baltas H., Kırıs E., Ustabas İ., Cevik U., El-Khayatt A.M., 2011.
Gamma ray and neutrons shielding properties of some concrete materials. *Annals
Nuclear Energy*, 38, 2204-2212. DOI:10.1016/j.anucene.2011.06.011

ÖZGEÇMİŞ

05.04.1975 yılında Rize'de doğdu. İlköğrenimini İslampaşa İlköğretim Okulu ve ortaöğrenimini Rize İmam Hatip Lisesinde tamamladı.1995 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fatih Eğitim Fakültesi Fizik Öğretmenliğini kazandı. Öğretmenliğe 2002 yılında Bayburt'ta başladı. 2008 yılında Rize Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında yüksek lisansı kazandı. Banu ERDOĞAN GÜNEŞ Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesinde halen öğrenimine ve Rize Hasan Sağır Anadolu Lisesinde öğretmenliğe devam etmektedir.

BANU ERDOĞAN GÜNEŞ