

T.C  
FIRAT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BAZI BİNA YAPIM MALZEMELERİNDEKİ DOĞAL  
RADYOAKTİVİTENİN BELİRLENMESİ**

ŞULE KARATEPE

Tez Yöneticisi:  
Prof. Dr. Mahmut DOĞRU

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
FİZİK ANABİLİM DALI

ELAZIĞ, 2008

T.C  
FIRAT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BAZI BİNA YAPIM MALZEMELERİNDEKİ DOĞAL  
RADYOAKTİVİTENİN BELİRLENMESİ**

ŞULE KARATEPE

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
FİZİK ANABİLİM DALI

Bu çalışma Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi(FÜBAP) tarafından desteklenmiştir.(FÜBAP-Proje No: 1329)

ELAZIĞ, 2008

T.C.  
FIRAT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

## **BAZI BİNA YAPIM MALZEMELERİNDEKİ DOĞAL RADYOAKTİVİTENİN BELİRLENMESİ**

ŞULE KARATEPE

Yüksek Lisans Tezi  
Fizik Anabilim Dalı

Bu tez, 03/09/2008 tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği /oyçokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Prof.Dr. Mahmut DOĞRU

Üye: Yrd.Doç.Dr. Fatih KÜLAHCI

Üye: Yrd.Doç.Dr. Sefa KAZANÇ

Üye:

Üye:

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ...../...../..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

# BAZI BİNA YAPIM MALZEMELRİNDEKİ DOĞAL RADYOAKTİVİTENİN BELİRLENMESİ

ŞULE KARATEPE

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

2008, Sayfa : 49

Bu çalışmada, Elazığ ilinde bina yapımında kullanılan malzemelerin doğal radyoaktivite seviyeleri belirlendi. Farklı bina yapım malzemelerinden alınan örneklerin radyoaktivite konsantrasyon seviyeleri, örneklerin sayıma hazır hale getirilmesinden sonra kalibrasyonu yapılmış uygun algılayıcılar kullanılarak gerçekleştirildi. CR-39 Katıhal Nükleer İz Detektörü (KHNİD) kullanılarak bina yapım malzemelerinin radon konsantrasyonu belirlendi. Toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite konsantrasyonları sırasıyla, ZnS(Ag) ve betaya hassas plastik sintilatör kullanılarak elde edildi. Bulunan değerler bu konuda yaygın olarak kabul edilen Dünya Standartları baz alınarak değerlendirildi.

**Anahtar Kelimeler:** Doğal Radyoaktivite, Radon, Bina Yapım Malzemeleri.

**ABSTRACT**

MSc Thesis

**DETERMINATION OF NATURAL RADIOACTIVITY IN SOME BUILDING MATERIALS****ŞULE KARATEPE**

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

2008, Page : 49

In this study, the level of the natural radioactivity concentration in building material is determined. The radioactivity concentrations of the different building material were performed by using suitable calibrated detectors after they treated to be suitable for counting system. The radon concentration measurements in building materials were achieved by using CR-39 Solid State Nuclear Track Detector (SSNTD). The gross alpha and gross beta radioactivity concentrations were determined by using ZnS(Ag) and beta sensitive plastic detectors, respectively. Based on the commonly accepted international standard, the obtained results are concluded.

**Key Words:** Natural Radioactivity, Radon, Building Materials.

**TEŞEKKÜR**

Bu tez çalışması süresince ve bütün lisansüstü öğrenimim boyunca bilgilerinden yararlandığım, her türlü maddi ve manevi destekte bulunan çok değerli danışman hocam Prof. Dr. Mahmut DOĞRU' ya sonsuz teşekkür ile saygılarımı sunarım.

Tez çalışmamın birçok aşamasında bana destekte bulunan Yrd. Doç. Dr. Oktay BAYKARA' ya ayrıca Yrd. Doç. Dr. Fatih KÜLAHCI' ya teşekkürlerimi sunarım.

Öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen annem ve babama çok teşekkür ederim.

ŞULE KARATEPE

## İÇİNDEKİLER

|                                                         |            |
|---------------------------------------------------------|------------|
| <b>ÖZET .....</b>                                       | <b>IV</b>  |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                   | <b>V</b>   |
| <b>TEŞEKKÜR .....</b>                                   | <b>VI</b>  |
| <b>İÇİNDEKİLER .....</b>                                | <b>VII</b> |
| <b>ŞEKİLLER LİSTESİ.....</b>                            | <b>X</b>   |
| <b>TABLOLAR LİSTESİ.....</b>                            | <b>XI</b>  |
| <br>                                                    |            |
| <b>1. GİRİŞ .....</b>                                   | <b>1</b>   |
| <br>                                                    |            |
| <b>2. RADYASYON VE ALGILAMA YÖNTEMLERİ.....</b>         | <b>3</b>   |
| <br>                                                    |            |
| <b>2.1. Radyasyon ve Çeşitleri.....</b>                 | <b>3</b>   |
| <b>2.1.1. Alfa Işınları .....</b>                       | <b>3</b>   |
| <b>2.1.2. Beta Işınları .....</b>                       | <b>4</b>   |
| <b>2.1.3. Gama ve x ışınları .....</b>                  | <b>4</b>   |
| <b>2.1.4. Nötronlar .....</b>                           | <b>4</b>   |
| <b>2.2. Radyasyon Algılama Yöntemleri .....</b>         | <b>5</b>   |
| <b>2.2.1. Sintilasyon Detektörleri .....</b>            | <b>5</b>   |
| <b>2.2.2. İyonizasyon Detektörleri.....</b>             | <b>5</b>   |
| <b>2.2.3.Dağlamalı Alfa Parçacık İz Detektörü .....</b> | <b>6</b>   |

|                                                                     |           |
|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>3.BİNA YAPIMINDA KULLANILAN BAZI MALZEMELER .....</b>            | <b>7</b>  |
| 3.1. Çimento .....                                                  | 7         |
| 3.2. Kireç .....                                                    | 7         |
| 3.3. Alçı .....                                                     | 7         |
| 3.4. Mermer .....                                                   | 8         |
| 3.5. Perlit .....                                                   | 8         |
| 3.6. Kum .....                                                      | 8         |
| 3.7. Tuğla .....                                                    | 9         |
| 3.8. Vermükilit .....                                               | 9         |
| 3.9. Pomza .....                                                    | 10        |
| 3.10. Yapay Tuğla .....                                             | 10        |
| <b>4. YAPI MALZEMELERİ VE RADON İLİŞKİSİ.....</b>                   | <b>11</b> |
| 4.1. Radon .....                                                    | 11        |
| 4.2. Bina Yapım Malzemelerinde Radon .....                          | 12        |
| <b>5. MATERYAL VE METOD.....</b>                                    | <b>14</b> |
| 5.1. Yapı malzemelerinin temin edilmesi .....                       | 14        |
| 5.2. Yapı Malzemelerinin Sayıma Hazır Hale Getirilmesi .....        | 14        |
| 5.3. CR-39 Radon Algılayıcılarının Kalibrasyonu.....                | 17        |
| 5.4. Yapı Malzemelerindeki Radon Konsantrasyonun Hesaplanması ..... | 17        |
| 5.5. Bina İçindeki Radon Konsantrasyonunun Hesaplanması .....       | 17        |



|                                                                                                          |               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| <b>5.6. Yapı malzemelerinin Aktivite Konsantrasyonları .....</b>                                         | <b>18</b>     |
| <b>5.6.1. Sayma Hataları .....</b>                                                                       | <b>18</b>     |
| <b>5.6.2. Verim Düzeltmeleri.....</b>                                                                    | <b>18</b>     |
| <b>5.7. Yapı Malzemelerinin Aktivite Konsantrasyonlarının Hesaplanması .....</b>                         | <b>19</b>     |
| <b>5.8. Yapı Malzemelerinin Toplam Alfa ve Beta Aktivite Seviyelerinin Belirlenmesi .....</b>            | <b>20</b>     |
| <b>5.8.1. Yapı Malzemelerindeki Toplam Alfa ve Beta Aktivitelerinin</b>                                  |               |
| <b>Belirlenmesi için Kullanılan Sayım Sistemi .....</b>                                                  | <b>21</b>     |
| <b>5.8.2. Yapı Malzemelerinin Toplam Alfa ve Beta Seviyelerinin Hesaplanması.....</b>                    | <b>21</b>     |
| <b>5.8.3. 7286 Düşük Seviyeli Alfa Sayıcısı.....</b>                                                     | <b>21</b>     |
| <b>5.8.3.1. Düşük seviyeli Alfa Sayıcısının Uyarlanması( kalibrasyonu) .....</b>                         | <b>21</b>     |
| <b>5.8.4. Penceresiz Sintilasyon Sayacı .....</b>                                                        | <b>23</b>     |
| <b>5.8.5. BP4 Beta Proflu Sintilasyon Sayacı .....</b>                                                   | <b>23</b>     |
| <br><b>6. BULGU VE TARTIŞMA .....</b>                                                                    | <br><b>24</b> |
| <b>6.1. Yapı Malzemelerindeki <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th ve <sup>40</sup>K Aktiviteleri .....</b> | <b>24</b>     |
| <b>6.2. Yapı Malzemelerinde Gama Radyasyon Doz Oranı .....</b>                                           | <b>28</b>     |
| <b>6.3. Yapı Malzemelerindeki Radon Konsantrasyonu.....</b>                                              | <b>29</b>     |
| <b>6.4. Yapı Malzemelerindeki Toplam Alfa ve Beta Aktivite Seviyeleri .....</b>                          | <b>31</b>     |
| <br><b>7. SONUÇLAR .....</b>                                                                             | <br><b>33</b> |
| <br><b>8. KAYNAKLAR .....</b>                                                                            | <br><b>36</b> |

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 5.1:</b> Difüzyon Kabı (içine detektör yerleştirilmiş).....                                          | 15 |
| <b>Şekil 5.2:</b> Pasif radon detektörleri ile ölçme ve değerlendirme işlemlerinin<br>şematik gösterimi ..... | 16 |
| <b>Şekil 5.3:</b> CR-39 katı hal iz detektörü ve alfa parçacıklarının izleri.....                             | 16 |
| <b>Şekil 5.4:</b> Düşük seviyeli alfa sayıcısının uygulama geriliminin belirlenmesi .....                     | 22 |
| <b>Şekil 5.5:</b> Sayım hızının eşik gerilimi ile değişimi .....                                              | 23 |
| <b>Şekil 6.1:</b> Elazığ ilindeki bazı yapı malzemelerindeki $^{232}\text{Th}$ aktiviteleri .....             | 25 |
| <b>Şekil 6.2:</b> Elazığ ilindeki bazı yapı malzemelerindeki $^{238}\text{U}$ aktivitesi .....                | 25 |
| <b>Şekil 6.3:</b> Elazığ ilindeki bazı yapı malzemelerindeki $^{40}\text{K}$ aktivitesi .....                 | 26 |
| <b>Şekil 6.4:</b> Elazığ ilindeki bazı yapı malzemelerindeki $\text{Ra}_{\text{eq}}$ seviyeleri.....          | 26 |
| <b>Şekil 6.5:</b> Elazığ ilindeki bazı yapı malzemelerindeki Radon Konsantrasyonu .....                       | 29 |
| <b>Şekil 6.6:</b> Yapı malzemelerinde toplam alfa radyoaktivitesi .....                                       | 32 |
| <b>Şekil 6.7:</b> Yapı malzemelerindeki toplam Beta radyoaktivite seviyesi .....                              | 32 |

## TABLOLAR LİSTESİ

## Sayfa No

|                                                                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tablo 6.1:</b> Elazığ ilindeki bazı yapı malzemelerindeki $^{238}\text{U}$ $^{232}\text{Th}$ $^{40}\text{K}$ ve $\text{Ra}_{\text{eq}}$ seviyeleri ..... | 24 |
| <b>Tablo 6.2:</b> Farklı ülkelerdeki bina yapım materyallerinin radyoaktivite içerikleri .....                                                              | 27 |
| <b>Tablo 6.3:</b> Elazığ'daki bazı yapı malzemelerindeki gama doz seviyeleri .....                                                                          | 28 |
| <b>Tablo 6.4:</b> Elazığ'daki bazı yapı malzemelerindeki radon konsantrasyonları.....                                                                       | 29 |
| <b>Tablo 6.5:</b> Bina içindeki katlara göre radon konsantrasyonu .....                                                                                     | 30 |
| <b>Tablo 6.6:</b> Yapı malzemelerindeki toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri .....                                                           | 31 |

## 1. GİRİŞ

Eski zamanlardan bu zamana kadar insanlar yaşamlarını sürdürmek için kendilerine yaşam alanları oluşturmuşlardır ve hayatlarının büyük bir bölümünü bu mekânlarda geçirmektedirler bu nedenle yaşam alanlarına önceden olduğu gibi günümüzde de önem verilmektedir. Yaşam standartlarının artmasıyla birlikte bina yapımına verilen önem de artmaktadır. Bina yapımı ekonomik, sağlık ve mimari açıdan önem kazanmıştır.

Bina yapımında kullanılan malzemeleri ilk zamanlardan beri toprak ve kaya kaynaklıdır. Son yıllarda, yapı endüstrisinde diğer endüstrilerin atık ürünleri alçı taşı (phosphogypsum), uçucu kömür tozu (coal fly ash), sıvı killi yaprak taşı külü (oil shale ash) kullanılmaya başlanmıştır [1].

İnsanoğlu, var oluşundan bu zamana kadar radyasyona maruz kalmış ve bu durum insanoğlu var oldukça devam edecektir. Dünyanın oluşumu ile birlikte tabiatta var olan çok uzun ömürlü radyoaktif elementler yaşadığımız çevrede normal ve kaçınılmaz olarak kabul edilen doğal bir radyasyon düzeyi oluşturur. Dış uzaydan gelen iyonize edici (kozmetik radyasyon) radyasyon sürekli olarak yaşadığımız dünyayı adeta bombardıman eder. İyonize edici bu radyasyonlar ve doğal kaynaklardan (toprak menşeli) yayılan radyasyonlar temel seviye (background) radyasyonunu oluştururlar.

Doğal olarak oluşan radyoaktif elementler çevremizdeki hemen hemen bütün maddelerde mevcuttur. Doğada kendiliğinden bulunan veya doğal olarak var olan başka bir atom çekirdeğinin bozunmasından oluşan ve doğal olarak adlandırılan radyoaktivitenin önemli bir bölümü toprak ve kayalarda bulunan radyoaktif cevherlerden kaynaklanır.

Karasal kökenli radyasyon kaynaklarının başında  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  gibi uzun yarı ömürlü radyoçekirdekler gelmektedir. Bu gibi doğal radyoçekirdeklerin kütle aktivite konsantrasyonları toprak ve kaya tiplerine göre değişir. Kütle aktivite konsantrasyonu, yerden 1 m yükseklikte havadaki absorplanmış doza karşılık gelen radyasyon şiddetidir [2].

Doğal radyoaktif çekirdekler, toprak kaynaklı olan bina yapım materyallerinde de bulunmaktadır. Materyallerdeki radyoaktivite seviyesi toprak ve kayaların jeolojik özelliklerine bağlı olarak değişik oranlarda bulunmaktadır. Bina yapım materyallerinden dolayı insanların yaşamlarının büyük bir kısmını geçirdikleri binaların iç mekânlarında radyasyona maruz kalırlar.

Radyasyonun varlığının keşfi ile birlikte radyasyondan korunmada önem kazanmıştır. Yapay radyasyon kaynaklarının güvenliği ve herhangi bir radyasyona maruz kalmanın önlenmesinin yanı sıra doğal radyasyon seviyesinin belirlenmesi gerekmektedir. Radyolojik korumada önemli olan dış kaynaklardan maruz kalınan radyasyon olup, onun ışınlama dozu

miktardır. Bu nedenle doğal radyasyonun temel seviyesinin miktarını belirleme çalışmaları insan sağlığı açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, Elazığ ilinde kullanılan bina yapım materyallerindeki doğal radyoaktivite seviyesinin belirlenmesi ve kullanılan materyallerdeki radyoaktivite seviyesinin uluslar arası belirlenmiş olan standart değerler ile karşılaştırılmasının yapılması amaçlanmıştır.

Bu amaç neticesinde Elazığ ilindeki inşaat yapım malzemeleri ile ilgili tesislerden bina yapımında kullanılan materyaller temin edilmiş ve uygun radyasyon algılama sistemleri kullanılarak doğal radyoaktivite seviyeleri belirlenmiştir.

## 2. RADYASYON VE ALGILAMA YÖNTEMLERİ

### 2.1. Radyasyon ve Çeşitleri

Radyasyon, uzay içerisinde hareket eden parçacık veya dalga formunda bir enerji çeşididir. Görünen ışık, radyo dalgaları, alfa ve beta parçacıkları ve gama ışınları radyasyona birer örnek olarak verilebilir. İnsanlar güneş ışınından gelen sıcaklığı hissettikleri zaman, güneş tarafından yayınlanan enerjiyi (radyasyonu) gerçekten soğurmuş olurlar. Elektromanyetik radyasyon, elektromanyetik dalga formunda yayınlanan bir enerji şeklidir. Bu tür radyasyona örnek olarak; gama ışınları, morötesi ışık ve radyo dalgaları verilebilir. Parçacık radyasyonu, parçacık formunda olan radyasyon olup alfa, beta ve nötron parçacıklarının yayılımı bu gruba örnek olarak verilebilir. Radyasyon bir madde içerisinde geçerken o madde ile etkileşme biçimine ve madde içerisinde neden olduğu değişikliklere bağlı olarak, iyonize eden (maddenin atomundan elektron koparan) ve iyonize etmeyen (maddenin atomundan elektron koparamayan) şeklinde de karakterize edilebilir [3].

#### 2.1.1. Alfa Işınları

Alfa parçacıkları, çekirdek tarafından yayınlanan iki proton ve iki nötrondan oluşan pozitif yüklü helyum çekirdeğidir. Atom numarası büyük olan izotoplar genellikle alfa çekirdeği yayarak bozunurlar. Doğal olarak bulunan radyoaktif maddelerden yayınlanan alfa parçacıklarının ortalama enerjileri 5 MeV civarındadır ve havada yaklaşık 3,5 cm, dokuda (veya ince kâğıt) yaklaşık 44 µm civarında yol alırlar. Bunun nedeni, kütlece büyük, elektrik yüküne sahip olmaları ve madde içinden geçerken fazla miktarda iyonlaşma meydana getirmelerinden dolayı enerjilerini çok çabuk kaybetmeleridir.

Alfa parçacıklarının dış ışınlama söz konusu olması durumunda çevresel etkileri önemsizdir, ancak canlılar için iç ışınlama açısından oldukça önemlidirler, özellikle solunum sisteminden geçerken, kemik yüzeylerinde ve kırmızı kemik iliğinde büyük tahribatlara neden olurlar. Alfa parçacıklarının enerjileri çok kısa yollar boyunca birikirler ve hassas bölge yüzeylerinde sınırlandırılmış yüksek dozlara neden olurlar. Bu nedenle, radyasyondan korunma açısından özellikle, su, toprak ve havada alfa radyoaktivite konsantrasyonlarının sürekli izlenmesi önem arz etmektedir.

### 2.1.2. Beta Işınları

Çekirdekdeki nötronun protona veya protonun nötrona dönüşmesi sırasında ortama yayılan enerjinin elektron olarak yapılaşıp ortama yayılmasıdır. Beta parçacıkları pozitif ve negatif yüklü olabilirler. Çekirdek içerisindeki nötron fazlalığından dolayı yayınlanan elektron negatif yüklü olur ve  $\beta^-$  ile ifade edilir. Eğer beta yayınlanması çekirdekdeki proton fazlalığından ileri geliyorsa yayınlanan parçacıklar pozitif yüklü olur ve pozitron adı verilerek  $\beta^+$  ile gösterilir. Beta parçacıklarının ortalama enerjileri 1 MeV civarındadır, havada 3 m ve dokuda yaklaşık 3 mm erişim mesafelerine sahiptirler. Çevresel etki bakımından dış ışınlamada, havadaki erişim mesafelerinden dolayı, önemli bir radyasyon tehlikesi oluşturabilirler. Bununla birlikte, alfa parçacıkları gibi iç ışınlamada da önemli hasara neden olabilirler.

### 2.1.3. Gama ve X-Işınması

Elektromanyetik radyasyon foton olarak adlandırılan enerji paketleri şeklinde yayınlanır. Bunlara en basit örnek ışık ve radyo dalgaları verilebilir, fakat bunlar enerji bakımından elektromanyetik spektrumun farklı bölgelerinde bulunurlar. X-ışınlarının kaynağı çekirdeği saran orbital elektron alanları iken, gama ışınlarının kaynağı çekirdektir. Bir çekirdek alfa ve beta parçacığı yayınladıktan sonra genellikle kararlı hale geçemez ve çekirdek fazla enerjisini gama ışını olarak yayınlar.

Çevresel etki açısından, gama ve X-ışınları önemli bir iç ve dış ışınlama kaynaklarıdır ve gama yayıcılar ışınlanan ilk organda depo edilirler. Gama ve X-ışını yayıcı kaynakların zırhllanması çevresel etkiyi azaltır. Örneğin; bir  $^{60}\text{Co}$  kaynağından yayınlanan gama ışınlarının %95'i 6 cm'lik bir kurşun levha, 10 cm'lik demir bir levha ve 33 cm'lik bir beton blok tarafından tutulur.

### 2.1.4. Nötronlar

Kütleleri protonun kütlesine eşit fakat yüksüzdür. Nötronlar normal radyoaktif bozunma neticesinde oluşmazlar ve çekirdekten nötron yayılımı sadece bölünme olayı sonucunda olur. Bu olay, ağır bir çekirdeğin nötron bombardımanı neticesinde ikiye bölünmesi ve bu arada birden fazla nötron ile birlikte büyük bir enerjinin çıkmasıdır. Nötronlar yüksüz olmalarından dolayı, madde içerisine kolayca nüfuz edebilirler ve atomun elektron yapısından geçebilirler.

## 2.2. Radyasyon Algılama Yöntemleri

Nükleer radyasyonları tespit etmek için kullanılan tüm detektörlerin temel çalışma ilkeleri benzer özelliklere sahiptir: radyasyon (ışınım) detektöre girer, detektör materyalinin atomlarıyla etkileşir (enerjisinin bir kısmını veya tamamını kaybeder) ve atom yörüngelerinden nispeten düşük enerjili elektronların salınmasına neden olur. Bu elektronlar toplanır ve analiz edilmek üzere, elektronik devre tarafından ya akım pulsu veya voltaj şekline dönüştürülür. Detektör materyalinin seçimi ölçülecek radyasyon tipine ve hakkında mevcut bilgiye bağlıdır.

### 2.2.1. Sintilasyon Detektörleri

Sodyum iyodür, sezyum iyodür, antrasin, naftalin, fenantirinin, gibi bazı maddelere bir tek yüklü parçacık, X-ışını veya  $\gamma$  ışını çarptığı zaman, bir ışık parıltısı meydana getirirler. Bu gibi maddelere sintilatörler adı verilir. Bu ışık pırıltıları elektrik pulslarına dönüştürülür ki, bu pulslar yükseltilerek sayılabilirler.

Sintilasyon sayaçlarının gaz dolu sayaçlardan fazla olarak sahip olduğu birkaç avantajı vardır:

- 1) Hassas hacim genellikle katı halde olduğundan, X ışınları veya gama ışınları deteksiyonundaki verim Geiger sayaçlarının (X ışınları için) %1 verimine kıyasla oldukça yüksektir.
- 2) Sayacın çözme zamanı  $10^{-6}$  saniyeden  $10^{-9}$  saniyeye kadar değişir. Böyle kısa çözme zamanı, yüksek hızlı saymaları kayıpsız olarak mümkün kılar.
- 3) Sintilasyon sayacının çıkış pulsunun büyüklüğü gelen gama ışınlarının enerjileriyle doğru orantılı yapılabilir [4].

### 2.2.2. İyonizasyon Detektörleri

İyonizasyon detektörleri, radyasyon algılanması için geliştirilen ilk elektriksel cihazlardır. Bu cihazlar, radyasyonun gaz içerisinden geçerken üretilen elektron ve deşiklerin toplanması temeline dayanır. Bu grupta geliştirilen üç basit detektör tipi; iyonizasyon odası, orantılı sayıcı ve Geiger Müeller (G-M) sayıcısıdır. Bu detektörlerin belirli kullanım alanlarından başka, modern nükleer alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, günümüz laboratuvarlarında radyasyon izleyicisi olarak da kullanılmaktadır. Bu cihazlar nispeten ucuz olup kullanılmaları basit ve bakımları kolaydır.



### 2.2.3. Dağlamalı Alfa-Parçacık İz Detektörleri

Günümüzde, hem evlerde hem de arazide en yaygın radon ölçüm metotları arasında plastik iz detektörlerinin kullanıldığı yöntemler gelmektedir. Bunun nedenini bu detektörlerin oldukça küçük boyutlarda (1cm x1cm ve ~ 100-500 µm kalınlığında), kullanımı kolay (herhangi bir elektroniğe ihtiyaç duyulmaz), çok pahalı olmayan ve okunması ve bu süreçteki işlemlerin oldukça basit (basit kimyasal işlem ve basit bir optik mikroskop) olması olarak açıklamak mümkündür.

İz kazıma temeline dayanan plastik detektörler “pasif algılayıcılar” olarak adlandırılmaktadır. Bu tür detektörlerin bazı algılama durumlarında kullanışlı olmasına karşın, bunlardan alınan ölçümlerin gerçek zamanlı olmamaları bir dezavantajdır. Diğer bir eksiklik ise, el ile bir mikroskop altında, kazınmış izlerin sayımının oldukça sıkıcı olması ve bu sayımların uzun zamanda yapılmasıdır.

Alfa parçacıkları, radon gazı ve bunun katı formunda olan “ürünleri” tarafından yayınlanır ve bunlar plastik detektörler tarafından kaydedilir. Verilen bir zaman üzerinden kaydedilen alfa parçacıklarının sayılmasıyla ki bu durumda radon ve diğer ürünleri arasında doğal dengenin var olduğu kabul edilir - bazı ölçümler veya varsayılan *denge faktörünün (ürün aktivitenin ana aktiviteye oranı)* değeri kullanılır, kapalı bir sistem içerisinde radon aktivitesi (Bq/m<sup>3</sup>) hesaplanır [5].

### 3. BİNA YAPIMINDA KULLANILAN BAZI MALZEMELER

#### 3.1. Çimento

Belirli oranlarda kil ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{AlO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ )  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ve kalker ( $\text{CaCO}_3$ ) karışımının çeşitli sıcaklık derecelerinde (1200-1450) pişirilmesi sonucu elde edilen, havada ve suda katılaşma özelliği gösteren gri veya beyaz renkli inorganik esaslı bir bağlayıcıdır.

#### 3.2. Kireç

Kireç taşının ( $\text{CaCO}_3$ - $\text{CaMg}(\text{CO}_2)_2$ ) çeşitli sıcaklıklarda ( $850^\circ\text{C}$ - $1400^\circ\text{C}$ ) pişirilmesi ile elde edilen inorganik esaslı bağlayıcıdır. Kimyasal bileşiminde en fazla %90 kalsiyum karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) bulunan tortul kayalara kalker ya da kireçtaşı adı verilmektedir. Ayrıca, mineralojik bileşiminde asgari %90 kalsit minerali bulunan kayalara da kalker adı verilmektedir.

Kalker, saf halde kalsit ve çok az miktarda aragonit kristallerinden oluşur. Kalsit ve aragonit kalsiyum karbonatın iki ayrı kristal şekli olup teorik olarak %56  $\text{CaO}$  ve %44  $\text{CO}_2$  ihtiva eder. Ancak tabiatta hiçbir zaman saf olarak bulunmaz. İkinci derecede değişik madde ve bileşiklerin içinde yer alması nedeniyle orijinal halde sarı, kahverengi ve siyah renklerde görülebilmektedir. Kalkerin sertlik derecesi 3, özgül ağırlığı  $2,5$ - $2,7 \text{ gr/cm}^3$  arasındadır. Yeraltı sularında travertenler şeklinde, deniz ya da tatlı sularda ise kimyasal, organik veya mekanik çökeltme sonucu kalker yatakları oluşur.

#### 3.3. Alçı

Alçıtaşının ( $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) çeşitli derecelerde pişirilmesi sonucu elde edilen su ile karıştırıldığında kısa sürede katılaşma özelliği gösteren kristal yapıya sahip bağlayıcıdır.

Alçıtaşı, kimyasal bileşimi kalsiyum sülfat olan bir mineraldir. Bileşiminde iki molekül kristalizasyon suyu bulunan türüne jips ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) denir. Susuz kalsiyum sülfat ise anhidrit olarak adlandırılır. Anhidrit için, bazı ülkelerdeki sülfürik asit üretimi dışında, yakın tarihlere kadar kullanım alanı bulunmamıştı. Fakat 30-40 yıldan beri özellikle kimya endüstrisinde anhidrit önem kazanmış bulunmaktadır. Bu bakımdan bu iki doğal ham maddeyi birlikte incelemek alışkanlık haline gelmiştir.

Jips ve anhidrit doğada pek bol miktarlarda bulunur. Çok eski devirlerde jipsi 120-140 °C'a kadar ısıtarak alçıya çevirdikten sonra, başta Mısırlılar olmak üzere Asurlular, Çinliler, Yunanlılar ve Romalılar kullanmışlardır. Çinliler inşaatlarda, Yunanlılar ve Romalılar da hem inşaat malzemesi, hem de yangın ve paslanmayı önleyen bir sıva olarak çok miktarda alçı taşı kullanmışlardır.

Jips düşük derecede ısıtıldığı zaman kristalizasyon suyunun yarısından fazlasını kaybeder. Böylece jips, alçıya (Paris alçısına) dönüşür. Bu bir beyaz tozdur. Bu toz yeniden su emme yeteneğindedir ve oldukça sert kütle haline gelir. Günümüzde çeşitli katkı maddeleri eklenerek hem alçı çamurunun plastikliğini artırmak ve priz (donma=katılaşma) süresini istendiği gibi ayarlamak mümkün olmuş, hem de üretilen son ürünlerin istenilen sertlikte olmasını sağlamak bakımından büyük gelişmeler elde edilmiştir.

### **3.4. Mermer**

Kalker ve dolomitik kalkerlerin ısı ve basınç altında başkalaşıma uğrayarak kristalleşmesi sonucu oluşmuş metamorfik bir kayadır. Kalsit kristallerinden oluşan mermerlerin kimyasal bileşimlerinde, büyük oranda kalsiyum karbonat, daha düşük oranlarda magnezyum karbonat ve silisyum dioksit ile pigment olarak da değişik metal oksitleri bulunmaktadır. Saf oldukları zaman yarı saydam ve beyaz renklidirler. Bina yapım malzemelerinin içerdiği radyoaktivite miktarları üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde en yüksek aktivitenin mermer ve granitlerinde olduğu görülmüştür [6].

### **3.5. Perlit**

Perlit asidik bir volkanik camdır. Perlit, ısıyla genleşme özelliği olan, genleştirildiğinde çok hafif ve gözenekli bir hale geçen bir kayadır. Çeşitli perlit kayalarının renkleri ve yapıları birbirinden çok farklı olabilir. Bu bakımdan perlit göze tanımak oldukça zordur. Ham perlitin rengi saydam açık griden parlak siyaha kadar değişmekte olup, genleştiğinde renk tamamen beyazlaşır. Perlitte en önemli özellik %2 ile %6 oranında değişen içeriğindeki sudur ve bu su perlitin kararlılığını sağlamaktadır.

### **3.6. Kum**

Yapı malzemesi olarak kum 0.063-2 mm tane boyutunda gevşek dokulu klastik bir sedimandır. Tane boyutu 0.063-0.25 mm arasında ince kum, 0.25-1 mm arasında orta dereceli

kum 1-2 mm arasında ise kum deyimi kullanılmaktadır. Kum hammaddesi kuvars, feldspat taneleri, kayaç artıkları, mika ve glokon gibi minerallerin bir karışımıdır. Tanelerin yüzey özellikleri, sertliği, kil ve silt fraksiyonlarının oranı, kumun özelliğini belirleyen önemli faktörlerdir. Ülkeler ve bölgeler arasında önemli standart ayrılıkları mevcuttur. Çakıl olarak adlandırılan hammaddelerin tane boyutu 2-128 mm arasındadır. Tane boyutu 2-8 mm olanlara ince çakıl, 8-32 mm arasında olanlara da kaba çakıl denir. Kırmataş (mıcır) endüstrisinin tarih öncesi çağlarda başladığı söylenebilir. Modern kırmataş endüstrisi ise 1815 yılında İngiltere'de başlamış ve mekanik kırıcıların 1958'de devreye girmesiyle hızla gelişmiştir [6].

### 3.7. Tuğla

Kumlu kil olarak adlandırılan topraklar tuğla-kiremit imaline elverişli topraklardır. Seramik killlerinden farkları bunların demir, silis ve karbonat bakımından daha zengin olmalarıdır. Bu topraklar kil, çorak, mil, silt, lem, balçık gibi isimler altında da tanınırlar. Bu toprakların içinde kuvars, montmorillonit, kaolinit, kalsit, limonit, hidromika, serisit, illit ve klorit gibi mineraller bulunur. Toprakların bir kısmı ise amorf yapıdaki killerden oluşur. Kireçtaşı parçaları, jips, organik maddeler ve iri kaya artıkları kaliteyi bozan unsurlardır. Tuğla, tarih öncesi çağlardan beri Mezopotamya ve Nil Vadisi gibi yapı taşı bulunmayan aluviyal ovalarda ikame malzemesi olarak önem kazanmıştır. Tuğla imaline elverişli olan topraklar kiremit imaline uygun olmayabilir. Bu durumda kumlu toprakları daha plastik topraklarla karıştırmak icap edebilir. Bazı hallerde de kurumaya hassas çok yağlı toprakları daha az plastik bir toprakla karıştırmak gerekebilir. Toprağın hem tuğla, hem kiremit toprağı olarak kullanılabilmesi ve ayrıca başka bir işlem gerektirmemesi, onda aranan özelliklerin başında gelir.

### 3.8. Vermikülit

Vermikülit terimi montmorillonit, klorit ve biyotit mineralleriyle kimyasal olarak benzerlik gösteren küçük bir mineral grubu için kullanılmıştır. Fiziksel olarak diğer mika grubu mineralleriyle benzer şekilde, elastik olmayan, ince bükülebilir levhalara ayrılabilen tipik bir klivaj yapısına sahiptir. Değişik oranlarda demir, magnezyum ve alüminyum içeren hidratlaşmış bir tabaka silikatıdır.

Vermikülitin sertliği 2.1 ile 2.8 arasında değişir, özgül ağırlığı 2.5'dir. Bronzdan yeşilimsi kahverengiye ve hatta siyaha kadar değişen renklere sahiptir. Vermikülitin birim hücrelerinde su tabakasının bulunması, vermikülite ticari değer kazandıran özelliğidir. 1600 °F

(850 °C) üzerinde ani bir ısı uygulandığında suyun buhara dönüşmesiyle klivaj düzlemlerine dik yönde ani bir genişleme meydana gelir. Teorik olarak, saf vermikülit orijinal hacminin 30 katına kadar genişleyebilir [6].

### **3.9. Pomza**

Pomza volkanik bir kayaç türü olup asidik ve bazik karakterli volkanik faaliyetlerle oluşmuştur. Volkanik bir cam yapısındadır. Yeryüzünde en yaygın olarak bulunan ve kullanılan türü olan asidik Pomza, beyaz, kirli renkte olanıdır. Bazik Pomza ise yabancıların Scoria dedikleri Türkçe'deki Bazaltik Pomza olarak bilinen kahverengimsi siyahımsı renkteki Pomza türüdür. Her iki türü de oluşum esnasında ani soğuma ve gazların bünyeyi ani olarak terk etmesi sonucu oldukça gözenekli bir yapı kazanmıştır. Gözenekler birbirleri ile bağlantılı değildir. Pomzanın fazla gözenekliğinden dolayı ısı ve ses geçirgenliği oldukça düşüktür. Pomza; normal kumun ve çakılın 1/3 ile 2/3'ü kadar yoğunluğa sahiptir. Aynı durum pomza ile yapılan betonlarda da görülür. Pomza betonun normal betondan hafif olması nedeni ile zaman ve işçilikten tasarruf sağlamaktadır. Ayrıca zemin mekaniği açısından temele iletilen yük azalacağından yaklaşık %17 civarında inşaat demirinden tasarruf sağlanması mümkündür. Pomzanın ısı geçirgenlik kat sayısı normal betondan 6 kat daha fazla yalıtım sağlamakta ve bu özelliğinden dolayı da büyük çapta ısı ve enerji tasarrufu sağlanmaktadır.

### **3.10. Yapay Tuğla**

Yapay tuğla, literatürde “gazbeton” olarak bilinen silisli kum (kuvarsit), çimento, kireç, alüminyum tozu ve suyun karışımıyla oluşturulan harcın, basınçlı buhar altında sertleştirilmesiyle elde edilen gözenekli bir yapı malzeme ve elemanıdır. Yapısının %84'ü, içinde durgun hava bulunan gözeneklerden oluşur. İşte bu gözenekli yapısı; Yapay tuğla'ya en iyi "ısı yalıtıcı", en hafif, en kullanışlı ve yanmayan kâğıt yapı malzeme ve elemanı olma özelliklerini sağlar. Yapay tuğla mükemmel ısı yalıtımı sağlar Yapay tuğla yapı malzeme ve elemanları, betondan 10, delikli tuğladan 2-4 kez daha fazla ısı yalıtımı özelliğine sahiptir.

## 4. YAPI MALZEMELERİ VE RADON İLİŞKİSİ

### 4.1. Radon

Radon renksiz, kokusuz, tatsız ve radyoaktif bir gazdır. Helyum, Neon, Argon gibi soy gazlar grubuna dâhil olup soy gazların en ağırıdır. Doğada var olan üç temel radyoaktif bozunma serisinin tek gaz ürünüdür. Üç izotopu  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{220}\text{Rn}$  ve  $^{219}\text{Rn}$ 'dir. Bunlar sırasıyla Uranyum- 238, Toryum- 232 ve Uranyum- 235 bozunma serilerine ait radyoaktif gazlardır. Bu izotoplarının yarı ömürleri sırasıyla 3,82 gün, 55,6 sn ve 3,96 sn' dir [5].

Radon atmosferde bulunan radyoaktif bir gazdır.  $^{238}\text{U}$  serisinden bir izotoptur.  $^{226}\text{Ra}$ 'nın radyoaktif bozunumu sonucu oluşmaktadır. Parçalanmasıyla diğer radyoaktif elementlere ve daha sonra ise radyoaktif olmayan kurşuna dönmektedir. Biyosferde bol bulunur. Kimyasal açıdan neon, kripton ve ksenon gibi nadir elementlerden birisidir. Radon diğer kimyasal elementlerle reaksiyona girmez. Bilinen en ağır gazdır. Yoğunluğu  $0^{\circ}\text{C}$ 'ta 9.72 g/l dir. Havadan sekiz kat daha ağırdır ve hidrojenden ise 100 kez daha ağırdır,  $-61,8^{\circ}\text{C}$  derecede sıvılaşır ve  $-71^{\circ}\text{C}$  donar. Daha çok soğutulacak olursa yumuşak sarı bir renk vererek parlar. Sıvı hava sıcaklığı olan  $-195^{\circ}\text{C}$  turuncu-kırmızı arası bir renk alır. Radyoaktif radyumun kararlı özellikteki kurşuna dönüşümü sırasında meydana gelir [7].

İnsanların maruz kaldıkları radyasyon doz miktarı, yaşam standartları, yaşadıkları fiziksel özellikler ve coğrafi şartlara bağlı olarak değişiklik göstermekle birlikte bu miktar dünya genelinde kişi başına yaklaşık 2,8 mSv/yıl'dır. Dünya genelinde alınan radyasyon dozunun %85'ini doğal radyasyon kaynaklarından alınan doz oluşturmaktadır. Bu doz miktarının da yaklaşık % 49'unu radyoaktif özelliğe sahip olan radon (çoğunluğu  $^{222}\text{Rn}$  olmakla birlikte  $^{220}\text{Rn}$ ) oluşturmaktadır [8].

Radon doğal olarak oluşan radyoaktif bir gazdır. Yerküre yüzeyinde herhangi bir yerde bulunabilir. Coğrafi bölgenin jeolojik yapısıyla yakından ilişkili olarak çevreye yayılım göstermektedir. Binalarda birikebilmekte ve kimi zaman yüksek derişimlere ulaşabilmektedir. Son zamanlarda yapılan çalışmalar radonun yüksek konsantrasyonda solunuma bağlı olarak akciğer kanseri riskinde önemli oranda artım olduğu ortaya çıkmıştır. Avrupa'nın birçok bölgesinde radon ikinci önemli akciğer kanseri nedenidir [7].

#### 4.2. Bina Yapım Malzemelerinde Radon

Bina yapımında kullanılan malzemelerin hemen hemen tamamı doğal tabiat kaynaklı olduğundan, doğada var olan çeşitli konsantrasyonlarda radyoaktif izotopları da içerirler. Bu nedenle, insanların günlük hayatta maruz kaldığı doz seviyesinin belirlenmesinde bina yapım materyallerinin içerdiği radyoaktivite miktarlarının bilinmesi çok önemlidir [1].

Bina içinde alınan radyasyon doz seviyesine en büyük katkısı ortamdaki gaz olarak bulunan radon yapmaktadır. Radon; toprak, kaya, binaların altından veya çevresinden, bina yapım materyallerinden, dış havadan, doğal gazdan ve su kaynakları gibi çeşitli yollardan bina içerisine girer. Yerden ve bina materyallerinden radonun girme mekanizması difüzyon ve iletimdir.

Yaygın olarak bulunan radonun, değişik bölgelerde salınım bakımından farklılık gösterdiği bilinmektedir. Aynı yerleşim bölgesinde bile zamana bağlı olarak değişim söz konusudur. Sonuçta yeraltı kayalarının uranyum derişimi en önemli radon salınım kaynaklarıdır. Granit ve volkanik topraklar, tortul şistler en önemli radon kaynaklarını oluşturmaktadır. Sedimanter topraklarda ise konsantrasyonu düşüktür. Ancak bazı tebeşir çökelti bölgelerinde de radona rastlanılmaktadır [7].

Çevresel temel seviye radyasyon miktarı yerel jeolojik oluşuma ve atmosferik şartlara bağlı olarak önemli değişiklikler gösterir. İnsanlar zamanlarının büyük bir kısmını bina içerisinde geçirdiklerinden ve neredeyse bütün bina yapım materyalleri radyoaktif madde içerdiklerinden dolayı iç ortam pozlama miktarı önemlidir. Bina içi absorbanmış doz miktarı, yaşanan binanın tipine, kullanılan materyalin çeşidine ve konumuna bağlı olarak değişiklik gösterir.

Bina yapım endüstrisi büyük miktarda ucuz hammaddeye ihtiyaç duyar bu durumda endüstride fiyatların artmasına neden olur ve doğal ürünlerin yerini alan atık ürünleri kullanımı artmıştır. Bu uygulama doğal ürünlerin korunmasını sağlar ve fiyat artışını engeller fakat radyolojik açıdan önemli etkilere neden olabilir. Bu materyallerin birisi beton yapımında çimentonun yerine kullanılan uçucu küllerdir. Bunlar, termik santrallerden üretilen yan ürünlerdir ve 1982'den beri kullanılmakta ve yüksek miktarda radyoaktiviteye sahiptirler. Diğer bir endüstriyel yan ürün olan fosfogypsum da 1970'den beri inşaat endüstrisinde kullanılmaktadır. Bina yapımında endüstriyel yan ürün olmayan ancak yüksek radyoaktiviteye sahip granitler yaygın olarak kullanılmaktadır. Granitler kaba taneli, alkali feldispat, mika ve kuvertz içeren volkanik kayalardır [9].

UNSCEAR tarafından açıklanan rapora göre, bina içerisindeki tahmin edilen bina içi ortalama absorblanmış doz miktarı yaklaşık 80 nGy/saat'tir (20-190 nGy/saat)

Genel olarak, materyallerden radonun yayılımı, tane içerisindeki radyum atomlarının pozisyonu, maddenin yumuşak ve sert olması, boyutu, tanenin geçirgenliği, maddenin gözenekliliği, çevresel sıcaklık ve basınç değişimi gibi faktörlere bağlıdır.

Radon kapalı ortamda çevreye yayıldığında giderek miktarı arttığından düşük dozda bile olsa etkisi açısından tehlikeli olabilmektedir [7]. Bu nedenle uluslararası atom ajansı tarafından yayınlanan Temel Güvenlik Serisi No. 115’de uluslararası tavsiyelere göre NORM’un yüksek konsantrasyonlarda içeren yapı materyallerinin kullanımı radyasyon güvenlik standartlarının uygulanması altında kontrol altına alınmalı veya sınırlandırılması gerektiği bildirilmiştir.



## 5. MATERYAL VE METOD

Bina yapımında kullanılan malzemelerin geneli kaya ve toprak kaynaklıdır. Kaya ve toprakların içerisinde bulunan elementler bulunduğu bölgenin jeolojik özelliklerine bağlı olarak değişiklik gösterir.

Elazığ bölgesinin genel jeolojisi, kuzeyden güneye doğru hafif meyilli bir ova üzerinde kurulmuştur. Şehrin kuzeyini doğu-batı yönünde uzanan volkanik kayalar kaplamaktadır. Yeşil kaya adı altında toplanan bu kayalar diyorit ve gabro türü kayalar olup yeşilimsiye renkli, genellikle üst kısımları altere olmuş, çatlaklı, sert yapıya kayalardır. Bu volkanik kayalar üzerine, beyazimsiye renkli marnlı kireçtaşları ile bej renkli kumtaşları gelir. Marnlı kireçtaşları hafif yapıya olup, içlerinde çeşitli boyda çakıl parçacıkları ile bitki kalıntılara rastlanır. Elazığ'ın merkezini ve büyük bir kısmının zeminini oluşturan Kuvaterner yaşlı alüvyon, kuzeydeki yamaçlardan gelen derelerin zamanla meydana getirdiği birikinti konilerinden ibarettir. Çakıl, kum, kil ve yamaç molozu karışımından oluşmuştur [10].

Elazığ'da inşaat alanında kullanılan yapı malzemeleri genel olarak Elazığ civarında elde edilen malzemelerdir. Bu nedenle Elazığ'ın jeolojik yapısı önemlidir. Toprak ve kayaların içerdiği radyoaktif madde miktarları da farklılık göstermektedir.

Bu çalışmada Elazığ ili çevresindeki bina yapımı için kullanılan materyallerin doğal radyoaktivite seviyesinin belirlenmesi için Elazığ ve civarında yaygın olarak kullanılan yapı malzemeleri elde edildi. Doğal radyoçirdekler olan  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  in aktiviteleri bulundu. Havada tutulan dozu, yıllık etkin doz oranı ve radyolojik açıdan dış tehlike indeksi hesaplandı. Ayrıca toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri de hesaplandı.

### 5.1.Yapı malzemelerinin temin edilmesi

Elazığ'da çıkarılan ya da üretilen yapı malzemeleri inşaat bölgelerinden ve üretim tesislerinden bina yapımında kullanılmaya hazır olacak biçimde temin edildi. Doğal radyoaktivite seviyeleri radon konsantrasyonları ve toplam alfa ve beta radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi için yapı malzemeleri bazı işlemler yapılarak sayıma hazır hale getirildi.

### 5.2. Yapı Malzemelerinin Sayıma Hazır Hale Getirilmesi

Bina yapım malzemelerindeki doğal radon konsantrasyonunun belirlenmesi için öncelikle elde edilen numuneler içerisinde bulunan nemin giderilmesi için oda sıcaklığında

birkaç gün bekletildi. Daha sonra malzemeler toz haline getirip 100 mesh'lik gözenekli elekten geçirilerek eşit boyutlarda olması sağlandı. Numunelerden 0,5kg alınarak kavanoz benzeri silindirik kaplara konuldu. Radyoaktif dengeye ulaşılması için yaklaşık bir ay numuneler kaplar içinde bekletildi.

Radon konsantrasyon ölçümleri için ticari adı CR-39 olan alil diglikol karbonat plastik plakalarından yapılmış pasif nükleer iz detektörü kullanıldı.

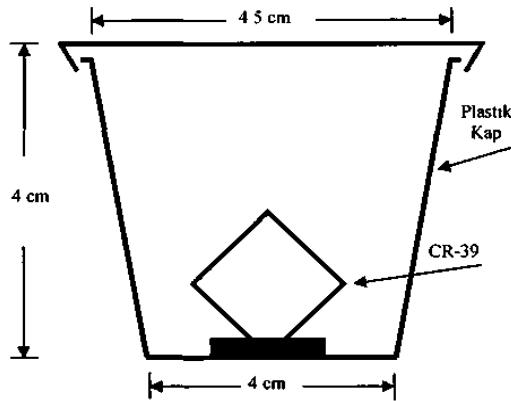
CR-39 radon algılayıcıları;

- Camla kıyaslanabilecek optik özelliklere sahip olup yüzeyi cam gibi parlak ve pürüzsüzdür.
- Özgül ağırlığı birçok plastikten daha azdır.
- 100 milyon röntgen şiddetindeki gama ışınlarına maruz bırakıldığı zaman saydamlığından %5 oranında kayıp verir. Bu kayıp akrilik maddelerde %45 civarındadır [11].

Boyutları 2x2cm olarak kesilen iz detektörleri bardak benzeri boyutları 4,5cm ve 9cm olan plastik radon difüzyon kabı içine yerleştirildi. Difüzyon kabı da numunenin bulunduğu kabın içerisine yerleştirildi. İçerisine iz detektörü yerleştirilmiş olarak bir difüzyon kabı Şekil 5.1'de gösterilmiştir.

Bozunmalar sonucu açığa çıkan alfa parçacıkları detektör üzerine çarparak iz bırakır. Difüzyon kabı içine giren radon gazının, radyoaktif bozunması sonucu çıkan alfa parçacıklarının detektör ile etkileşmesi sonucu oluşacak izlerin sayısı, bu kap içine giren radon konsantrasyonu ile orantılıdır [12].

İz detektörlerinin dış ortamda bulunan parçacıklar ile etkileşmesinin engellenmesi için etrafı alüminyum folyo ile kaplandı. 30 gün beklenilerek alfa parçacıklarının detektöre iz

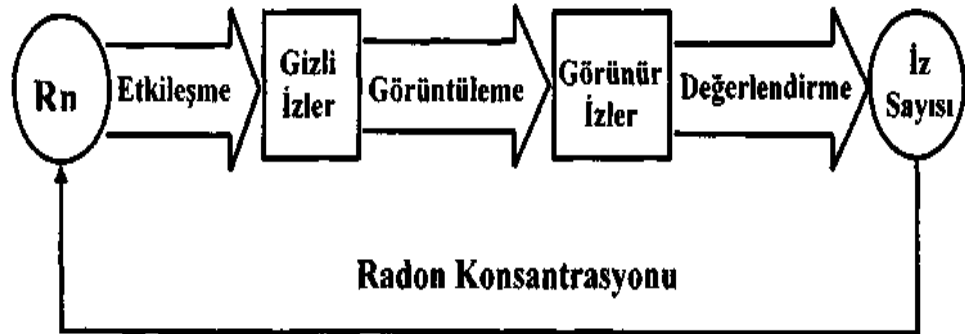


Şekil 5.1: Difüzyon kabı (içine iz detektörü yerleştirilmiş)

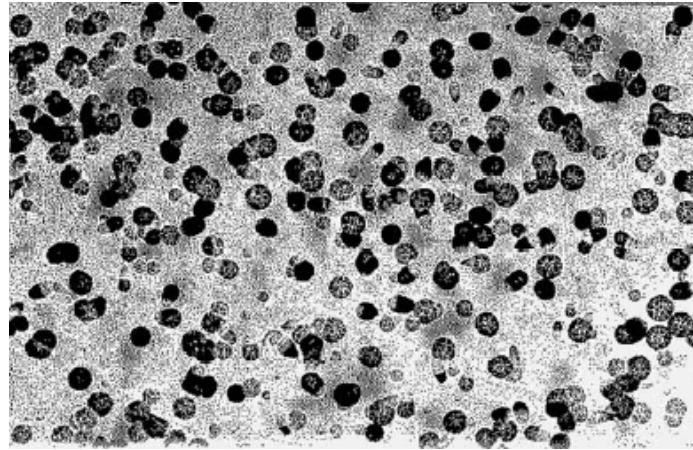
bırakması beklendi. Bu sürenin sonunda detektörler kabın içinden alınarak izlerin sayılabilmesi için detektörde kazıma işlemi yapıldı.

Kazıma işlemi kimyasal ve elektrokimyasal kazıma olarak farklı şekillerde yapılmaktadır. Yapılan çalışmada kimyasal kazıma metodu kullanılmıştır. Kimyasal kazıma, genellikle 40 –70 °C sıcaklık aralığında ki bir banyoda gerçekleştirilir ve en yaygın kazıyıcı materyal olarak molaritesi 2 ile 6 M arasında değişen NaOH veya KOH sıvı eriyik kullanıldı. Kazıyıcı eriğin, molaritesi ya da kazıma süresi ve sıcaklığının artması detektör üzerindeki çukurun büyüklüğünü artırır. Kazınmış iz yarıçapları genellikle birkaç  $\mu\text{m}$  civarındadır.

Kazıma için detektörler %30'luk NaOH çözeltisine 60°C sıcaklıkta 20 saat beklenildi. Daha sonra saf suyla yıkanıldı. Kurutulduktan sonra optik mikroskop altında 100 büyütme ile detektörler üzerindeki izler sayıldı. Sayım işleminde her bir detektörün bir yüzeyinden 10 ayrı sayım yapıldı. Aynı sayım diğer yüzü içinde yapıldı ve iz sayılarının ortalaması alındı. Böylece her bir detektörde ki iz yoğunluğu belirlendi. Pasif radon detektörleri ile ölçme ve değerlendirme işlemlerinin şematik olarak Şekil 5.2'de elde edilen izler ise Şekil 5.3'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2: Pasif radon detektörleri ile ölçme ve değerlendirme işlemlerinin şematik gösterimi [12]



Şekil 5.3: CR-39 katı hal iz detektörü ve alfa parçacıklarının izleri

### 5.3. CR-39 Radon Algılayıcılarının Kalibrasyonu

CR-39 radon algılayıcılarının kalibrasyon işlemleri 225 litrelik bir radon kalibrasyon odası kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Radon kalibrasyon odasının denge konsantrasyonu 3,2 kBq/m<sup>3</sup>'tür. Kalibrasyon için hazırlanmış olan algılayıcılar 1-5 günlük sürelerle radon kalibrasyon odasında bekletilmiş ve kimyasal iz kazıma işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra algılayıcıların üzerinde oluşan izler optik mikroskop kullanılarak sayılmış ve kalibrasyon faktörü 5 (kBq/m<sup>3</sup>) / (net iz sayısı / saat) olarak hesaplanmıştır.

### 5.4. Yapı malzemelerindeki radon konsantrasyonunun hesaplanması

Yapı malzemelerindeki radon konsantrasyonu için pasif iz detektörü ile belirlenen iz yoğunlukları kullanılarak Denklem 5.1 kullanılarak konsantrasyon hesaplanmıştır.

$$C_{Rn} = \frac{\rho}{\eta T} \quad (5.1)$$

Burada  $C_{Rn}$  detektördeki net iz yoğunluğu(iz/m<sup>2</sup>),  $T$  pozlanma süresi,  $n$  deteksiyon katsayısı (0,096iz/cm<sup>2</sup>.gün.Bqm<sup>3</sup>) dır.

Radon yayılım oranı ise Denklem 5.2 ile hesaplandı.

$$E = \frac{\rho h \lambda}{\eta T_{eff}} \quad (5.2)$$

Burada  $\lambda$  (2,1 x 10<sup>-6</sup>) radon yayılım sabiti,  $h(m)$  numune kabının yüksekliğidir.

### 5.5. Bina İçindeki Radon Konsantrasyonunun Hesaplanması

Bu çalışmada kullanılan bina yapım malzemeleri ile inşa edilen 8 katlı bir bina içindeki radon yayılım oranı hesaplandı.

Binanın her bir katına 2x2cm boyutlarında kesilmiş olan CR-39 pasif iz detektörü yerleştirildi. Detektörün yüzeyine en iyi çarpışmanın gerçekleşmesi için ayrıca detektörün zarar görmemesi için yüksek bir yere (örneğin dolap üzerilerine) yerleştirildi. 30 gün sonunda detektörler alındı. Detektör kazıma yöntemi ile kazıma işlemi yapıldı ve mikroskop altında iz yoğunlukları belirlendi. Denklem 5.1 kullanılarak radon konsantrasyonu hesaplandı.

## 5.6. Yapı Malzemelerinin Aktivite Konsantrasyonları

### 5.6.1 Sayma Hataları

- %95 güvenirlik seviyesindeki standart sapma aşağıdaki denklem ile verilir:

$$E_S = \pm 1,96 (N_S / t_S + N_b / t_b)^{1/2} \quad (5.3)$$

Burada,  $N$  örneğin veya Background'un cpm cinsinden sayma hızı,  $t$  örnek veya Background'un dakika cinsinden sayma zamanı,  $E_S$  ise net sayma hızının (cpm) %95 güvenirlik seviyesindeki hatasıdır.

- Sayma hızlarının toplama ve çıkarılması hallerinde toplam veya farkın hatası şöyle verilir:

$$E = \pm (E_a^2 + E_b^2)^{1/2} \quad (5.4)$$

Bu denklemde,  $E_a$  ve  $E_b$  toplanan veya çıkarılan değerlerin hatasıdır.

### 5.6.2 Verim Düzeltmeleri

- Sayma hızını bozunumlara dönüştürmek için aşağıdaki denklemden faydalanılır:

$$dpm = cpm / \text{verim} = cpm / G B T = cpm \times (VDF) \quad (5.5)$$

Burada  $G$ ,  $B$  ve  $T$  geometri, geri saçılma ve self-absorpsiyon için düzeltme faktörleridir.  $1/GBT$  ise **Verim Düzeltme Faktörü** veya kısaca **VDF**'dir.

- Kalınlık, örneğin kütlesi ile etkin alana göre değişme gösterir ve denklem (5.6) ile ifade edilir.

$$\text{Kalınlık (mg/cm}^2\text{)} = (\text{Örneğin mg Cinsinden Kütlesi}) / (\text{Etkin Alan}) \quad (5.6)$$

- Alüminyum planşet üzerinde sayılan aktivite için verim düzeltme faktörü (5.7) denklemi ile verilir.

$$VDF = 1 / V \times (T) \quad (5.7)$$

Bu denklemdeki  $T$ 'nin değeri,  $\text{mg}/\text{cm}^2$  cinsinden kalınlığın fonksiyonu olarak daha önceden belirli standartlara göre çizilmiş eğrilerden bulunur ( $\text{U}_3\text{O}_8$  ve  $\text{KCl}$  için self-absorpsiyon eğrileri) [19]. Denklem 5.7'deki  $V$  parametresi verimdir.

### 5.7. Yapı Malzemelerinin Aktivite Konsantrasyonlarının Hesaplanması

Örneklerin doğal radyoaktivitesini belirlemek için toz halindeki numuneler ayrı ayrı planşetler içine konularak ağırlıkları belirlendi. Numune içine saf su eklendi ve kuruması sağlandı. Ölçümler için gama spektrometrik sistemi kullanıldı. Kullanılan detektör talyum katkılı NaI detektörüdür. Bu detektör boyu ve çapı yaklaşık 13cm ve 15cm kurşun kaplı silindirik yapıdadır. Verimlik miktarı %24 olarak detektörün kalibrasyon verimliliği olarak kullanıldı.  $^{238}\text{U}$ 'un background aktivitesi 609.3keV de 0.009 sayım/sn dir. Her örnek için sayım zamanı 3000sn alındı. Örneklerin Th ve K aktiviteleri 583.1 keV ve 1460 keV'de belirlendi. Konsantrasyon aktiviteleri Denklem 5.8 ifadesiyle hesaplandı.

$$A_v(Bqkg^{-1}) = \frac{C}{\epsilon P_\gamma M_s} \quad (5.8)$$

Bu ifadede  $C$  gama ışının sayım oranı (sayım/sn),  $\epsilon$  gama ışının detektör verimliliği,  $P_\gamma$  gama bozunumunun geçiş olasılığı, materyal örneğinin kütlesidir.  $R_a$  eşdeğer aktivitesi bina yapım materyallerinin  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyoaktivite konsantrasyonlarının karşılaştırılması için ortak bir indekstir [14]. Denklem 5.9 ile  $R_a$  eşlenik aktivitesi hesaplandı.

$$R_{a_{eq}} = C_U + 1,43C_{Th} + 0,77C_K \quad (5.9)$$

Absorblanmış doz oranı denklem 5.10 ile hesaplandı

$$D = 0.430C_U + 0.666C_{Th} + 0.042C_K \quad (5.10)$$

Yıllık etkin doz oranını  $E$  (mSv/yıl) hesaplamak için, havada absorblanan dozun dönüşüm faktörü ( $0,7 \text{ SvGy}^{-1}$ ) ve iç ortamda bulunma faktörü (0,8) kullanılarak aşağıdaki formül yardımıyla hesaplandı.

$$E (mSv / yıl) = D(nGy / saat) \times 8760 (saat / yıl) \times 0.8 \times 0.7 (Sv / Gy) \times 10^{-6} \quad (5.11)$$

Doğal radyasyon dış tehlike sınırını belirlemek için, dış tehlike indeksi  $T_{ind}$ ,

$$H_{ex} = C_U / 370 + C_{Th} / 259 + C_K / 4810 \leq 1 \quad (5.12)$$

İç risk indeksi; dış risk indeksine ilave olarak radon ve onun kısa ömürlü izotopları solumun organları için tehlike arz etmektedir. Bu nedenle radon ve ürün çekirdeklerinin iç pozlama miktarının belirlenmesi için aşağıdaki formül yardımıyla iç tehlike indeksi hesaplandı [14].

$$H_{in} = C_U / 185 + C_{Th} / 259 + C_K / 4810 \leq 1 \quad (5.13)$$

## 5.8. Yapı malzemelerinin toplam alfa ve beta seviyelerinin belirlenmesi

Yapı malzemeleri toz haline getirildi. Her bir numune, darası alınmış aktif alanı 11,4 cm<sup>2</sup> olan planşete spesifik kütlesi 5 mg/cm<sup>2</sup> yi aşmayacak şekilde aktarıldı. Daha sonra planşetlere konulmuş olan numuneler üzerine yeterince saf su ilave edilerek kuruması sağlanmıştır. Kuruma ile numunelerin planşetlere yapışması sağlandı. Planşetlerdeki numuneler böylece uygun algılama sistemi ile sayılabilecek duruma getirildi.

### 5.8.1. Yapı Malzemelerindeki Toplam Alfa ve Beta Aktivitelerinin Belirlenmesi için Kullanılan Sayım Sistemi

Sayım hazır hale getirilen yapı malzemelerinin toplam alfa radyoaktivite seviyelerini hesaplamak için 44mm çapında ZnS katmanlı bir sintilatör ile 7286 Düşük Seviyeli alfa sayıcısı, toplam beta radyoaktivite seviyesini belirlemek için ise 2059 beta hassas plastik sintilatörlü algılama sistemi yardımıyla SR8 radyasyon sayıcısı ile belirlendi.

### 5.8.2. Yapı Malzemelerindeki Toplam Alfa ve Beta Seviyelerinin Hesaplanması

Yapı malzemelerinin toplam alfa, toplam beta ve aktivite konsantrasyonları denklem (5.14) kullanılarak hesaplanır.

$$A = [ ( NS \pm SS ) \times VDF ] / 2,22 \quad (5.14)$$

Bu denklemde; A pCi cinsinden aktivite, NS ve SS sırası ile örneğin dakikadaki net sayım sayısı ve standart sapması, VDF verim düzeltme faktörüdür [20].

Alfa ve beta aktivitelerinin hesaplanması için kullanılan sayım sistemleri ve algılayıcılar aşağıda verilmiştir.

### 5.8.3. 7286 Düşük Seviyeli Alfa Sayıcısı

Bu sayım sistemi; 44 mm çapında ZnS katmanlı katı bir inorganik sintilatör, EMI 6097B tür bir foto çoğaltıcı tüp ve sayıcıdan oluşmaktadır. Sayıcı kısmına 4 adet birbirinden bağımsız foto çoğaltıcı tüp bağlanabilir. Her bir foto çoğaltıcı tüp kendine ait ayarlanabilir yüksek voltaj kaynağına ve diskriminatör devresine sahiptir. Bu sistem temelde çok zayıf background ölçümlerinde ve düşük sayım hızlı uygulamalarda kullanılmak için tasarlanmıştır. Sistemin kalibrasyonu kullanma kılavuzunda belirtildiği gibi yapılarak örneklerin toplam alfa radyoaktivite ölçümleri için kullanılmıştır [15].

#### 5.8.3.1. Düşük Seviyeli Alfa Sayıcısının Uyarlanması (Kalibrasyonu)

Knoll(1979) ve Leo(1987), bir detektörün doğru ve en verimli şekilde sayım yapabilmesi için detektöre uygulanması gereken yüksek gerilim ve eşik (threshold) voltajı değerlerinin belirlenmesinin önemli olduğunu belirtmiştir. Buna uyarlama işlemi adı verilir [16].

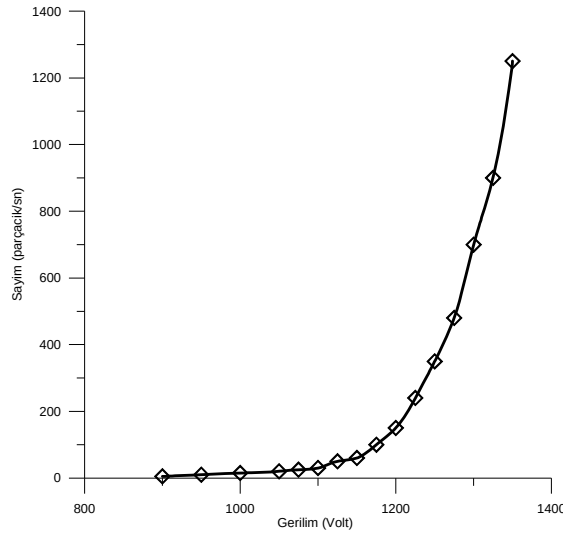
Düşük seviyeli alfa sayıcısının uyarlanması için yapılan işlemler sırasıyla aşağıdaki gibidir:

- a) Herhangi bir radyoaktif kaynak kullanmadan 0 Volt ile 1325 Volt arasında 25 Volt aralıklarla detektöre uygulanan gerilim artırılmış ve her gerilim adımı için taban sayım hızı (cpm) belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar kullanılarak sayım hız-gerilim grafiği çizilmiştir.

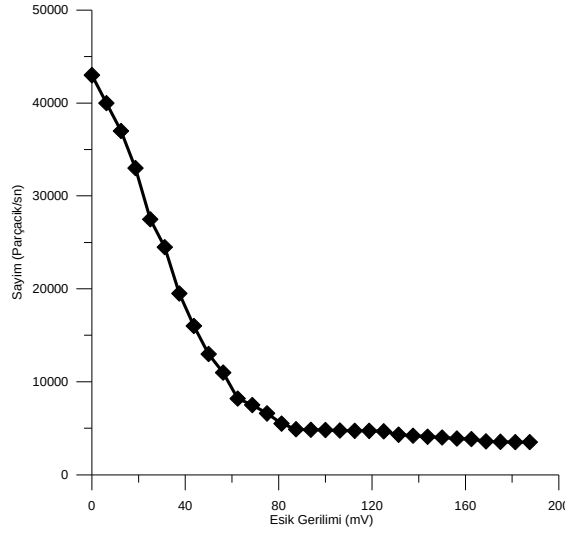


- b) Sistemin azami verimle çalışabilmesi için foto çoğaltıcı tüpün elektronik gürültü bölgesinin hemen altındaki gerilim detektöre uygulanması gereken yüksek gerilim değeri olarak belirlenmiştir. Bu değer Şekil 5. 4 de görüldüğü gibi 1200 Volt'tur.
- c) Aktivitesi bilinen bir radyoaktif kaynak detektör önüne bırakılmış ve çalışma gerilimi olan 1200 Volt detektöre uygulanmıştır. Uygulanan çalışma gerilimi sabit kalmak şartıyla eşik gerilim 0 ila 175 mV arasında 6,25 mV aralıklarla arttırılmış ve her artış için 10 s zaman kademesinde üç sayım alınmıştır. Artış adımlardaki her eşik gerilimi için radyoaktif kaynağın sayım hızı belirlenmiştir. Alınan sonuçlar Şekil 5.5 de çizilmiştir. Sayım hızı–gerilim grafiğinde eşik gerilimi ile sayım hızının lineer olarak değiştiği bölge bulunur ve hemen hemen bu lineer bölgede bulunan en yüksek eşik gerilimi belirlenir [16].

Sırasıyla verdiğimiz bu işlemler düşük seviyeli alfa sayıcısının ayarlanması işlemidir. Beta sayıcısı ve diğer sayım sistemlerinin ayarlanması işlemleri de benzer yöntemlerle yapılmıştır.



Şekil 5.4. Düşük seviyeli alfa sayıcısının uygulama geriliminin belirlenmesi



Şekil 5.5. Sayım hızının eşik gerilimi ile değişimi

#### 5.8.4. Penceresiz Sintilasyon Sayacı

Bu sayaç, sintilatör ve bir foto çoğaltıcı tüpten oluşmaktadır. Penceresiz sintilasyon sayacı katı örneklerden zayıf enerjili beta radyasyonu ya da alfa radyasyonu ölçümleri için tasarlanmıştır. Bu sintilasyon sayacının penceresiz olması ve sintilatör ile örnek arasındaki mesafenin 1,6 mm'den daha küçük olması sayım veriminin yüksek olmasını sağlar. Penceresiz sintilasyon sayacı SR7, SR8 ve ST7 gibi uygun sayım donanımları ile birlikte kullanılabilir. 2059 plastik sintilatörde içeren bu sistemin kalibrasyonu kullanma kılavuzunda belirtildiği gibi yapılarak bina yapı malzemelerin toplam beta radyoaktivite ölçümlerinde kullanılmıştır [17].

#### 5.8.5. BP4 Beta Proplu Sintilasyon Sayacı

Bu sayaç sistemi, yüksek duyarlılıklı BP4 tipi bir sintilatör ve foto çoğaltıcı tüpten oluşmaktadır. Sintilatör ve foto çoğaltıcı tüp, minimum 3,2 cm kalınlıklı %4 oranında antimon içeren kurşun bir blok içerisinde bulunmaktadır. Bu donanım zayıf enerjili beta radyasyonu ölçümlerinde kullanılmak için tasarlanmıştır. Bu sintilasyon sayacı SR7, SR8 ve ST7 gibi uygun sayım donanımları ile kullanılabilir. Sayım verimi  $^{90}\text{Sr}$  radyoaktif kaynağı için yaklaşık olarak %30'dur. Sistemin kalibrasyonu, kullanma kılavuzunda belirtildiği gibi yapılarak bina yapı malzemelerinin toplam beta radyoaktivite ölçümlerinde kullanılmıştır [18].

## 6. BULGU VE TARTIŞMA

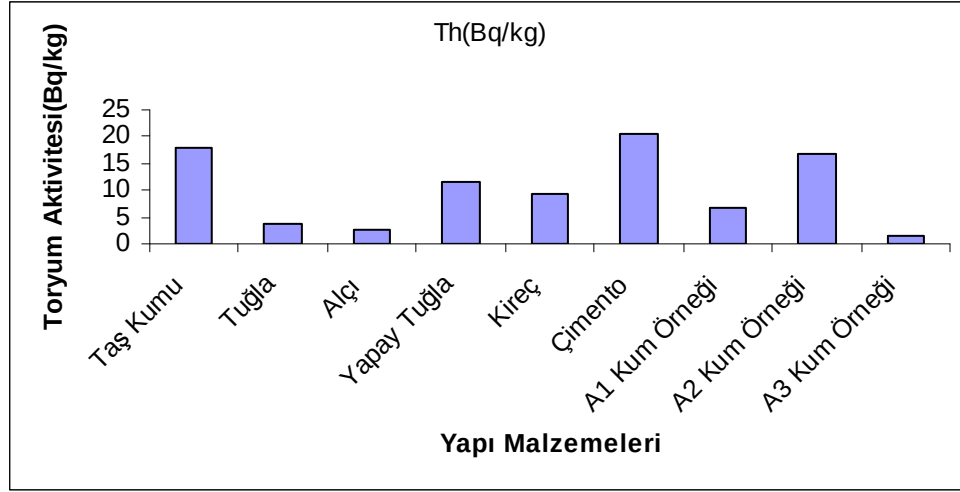
### 6.1. Yapı Malzemelerindeki $^{238}\text{U}$ , $^{232}\text{Th}$ ve $^{40}\text{K}$ Aktiviteleri

Elazığ ilindeki bina yapım materyallerindeki doğal radyoaktivite uranyum, toryum ve potasyum değerleri hesaplanarak Tablo 6.1’de verilmiştir. Materyallerin doğal aktivite değerlerinin dağılımı Şekil 6.1, 6.2 ve 6.3’ de gösterilmiştir.

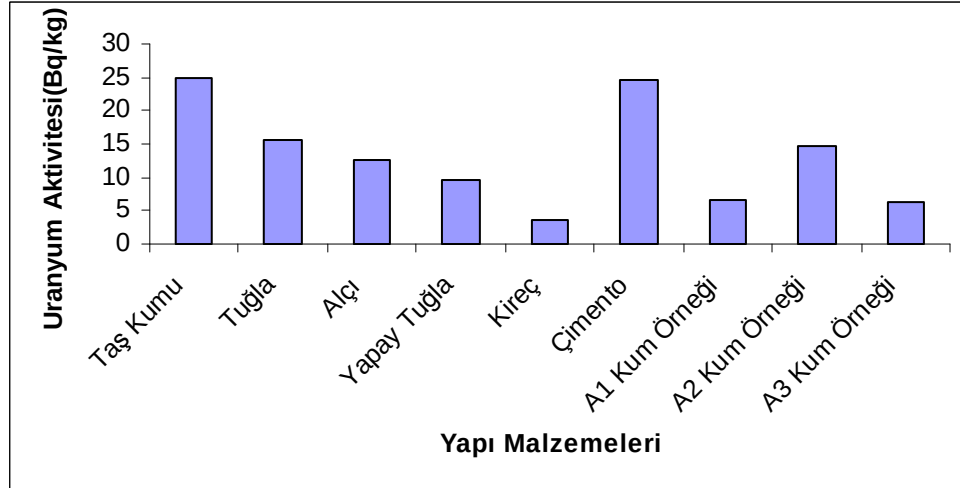
Tablo 6.1 incelendiğinde, doğal radyoaktivite seviyelerinden uranyumun konsantrasyonu 3,5 Bq/kg ile 24,8 Bq/kg arasında değiştiği, toryum konsantrasyonunun 1,8 Bq/kg ile 20,7 Bq/kg arasında değiştiği ve potasyum konsantrasyonunun ise 201,4 Bq/kg ile 4928 Bq/kg arasında değiştiği görülmektedir. En yüksek uranyum konsantrasyon değeri taş kumu malzemesinde en düşük değeri ise kireç malzemesinde görülmektedir. Toryum konsantrasyonu için ise en yüksek değeri A<sub>1</sub> (Palu yöresinden alınan kum örneği) kum örneğinde en düşük değer ise A<sub>3</sub> (Dişidi yöresinden alınan kum örneği) kum örneğinde olduğu görülmektedir. Potasyum konsantrasyonun da ise en yüksek değer yapay tuğla malzemesinde ve en düşük değer de tuğlada olduğu görülmektedir. Ayrıca malzemelerin toryum ve uranyum konsantrasyonlarına bakıldığında uranyum konsantrasyon değerlerinin toryum konsantrasyon değerlerinden fazla olduğu ve en yüksek aktiviteye potasyumun sahip olduğu görülmüştür.

Tablo 6.1: Elazığ ilindeki bazı yapı malzemelerindeki  $^{238}\text{U}$   $^{232}\text{Th}$   $^{40}\text{K}$  ve  $R_{\text{eq}}$  seviyeleri.

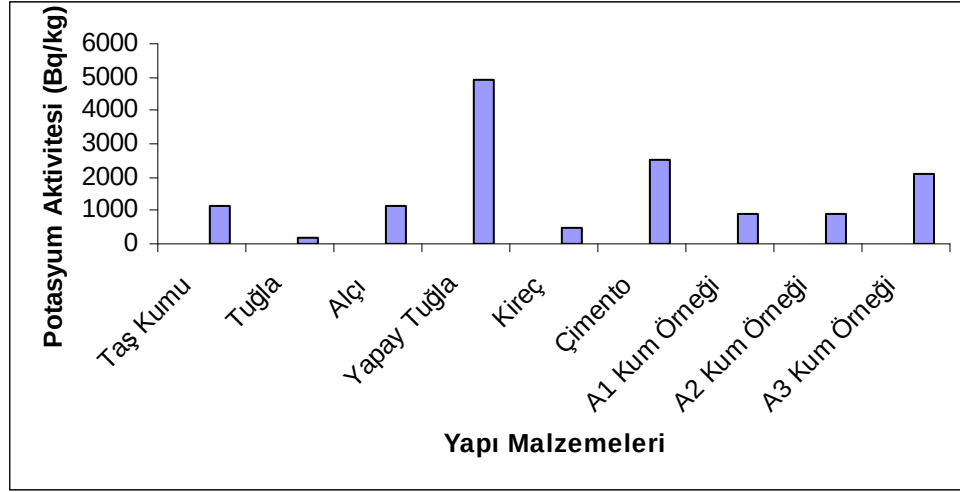
| Örnek No | Yapı malzemeleri          | $^{238}\text{U}$ (Bq/kg) | $^{232}\text{Th}$ (Bq/kg) | $^{40}\text{K}$ (Bq/kg) | $R_{\text{eq}}$ (Bq/kg) |
|----------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1        | Taş kumu                  | 24,8                     | 18                        | 1158,3                  | 139,6                   |
| 2        | Tuğla                     | 15,7                     | 3,8                       | 201,4                   | 36,5                    |
| 3        | Alçı                      | 12,5                     | 2,7                       | 1141,9                  | 104,2                   |
| 4        | Yapay Tuğla               | 9,6                      | 11,6                      | 4928                    | 405,2                   |
| 5        | Kireç                     | 3,5                      | 9,3                       | 484                     | 54                      |
| 6        | Çimento                   | 24,7                     | 20,7                      | 2493,1                  | 246,1                   |
| 7        | A <sub>1</sub> Kum Örneği | 6,7                      | 6,7                       | 882,9                   | 84,3                    |
| 8        | A <sub>2</sub> Kum Örneği | 14,6                     | 16,8                      | 885,3                   | 104,3                   |
| 9        | A <sub>3</sub> Kum Örneği | 6,2                      | 1,6                       | 2126,3                  | 172                     |



Şekil 6.1: Elazığ ilindeki bazı yapı malzemelerindeki  $^{232}\text{Th}$  aktiviteleri

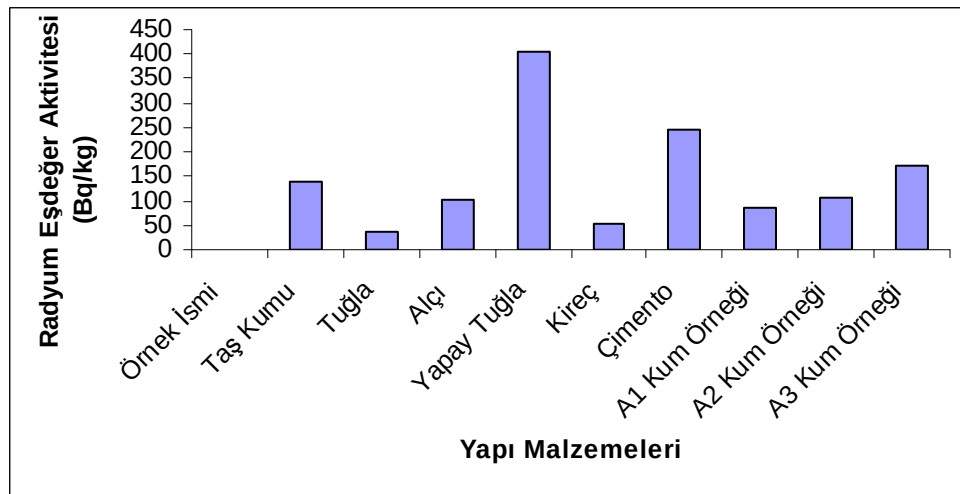


Şekil 6.2: Elazığ ilindeki bazı yapı malzemelerindeki  $^{238}\text{U}$  aktivitesi



Şekil 6.3: Elazığ ilindeki bazı yapı malzemelerindeki  $^{40}\text{K}$  aktivitesi

Uranyum, toryum ve potasyum aktivite değerlerinin farklı olmasına karşın, bina yapım malzemelerinin  $^{238}\text{U}$   $^{232}\text{Th}$   $^{40}\text{K}$  spesifik aktivitelerinin karşılaştırılması radyum eşdeğer aktivitesi ( $R_{\text{eq}}$ ) adı verilen ortak bir indeks kullanılarak belirlenir [15]. Yapılan bu çalışmada radyum eşdeğer aktiviteleri Tablo 6.1 ve Şekil 6.4'de görülmektedir. En yüksek değer 405,2 Bq/kg ile yapay tuğla malzemesi, en düşük değer ise 36,5 Bq/kg ile tuğla olduğu görülmektedir. Bina yapım materyalleri için radyum eşdeğer aktivite ( $R_{\text{eq}}$ ) değerinin maksimum 370 Bq/kg olması gerektiği belirtilmiştir [21]. Buna göre sadece yapay tuğla malzemesinin sınır değeri geçmektedir. Yapay tuğla malzemesi kireç, çimento alüminyum tozu gibi diğer malzemeleri içermesi etkili olabilir.



Şekil 6.4: Elazığ ilindeki bazı yapı malzemelerindeki  $R_{\text{eq}}$  seviyeleri

Tablo 6.2: Farklı ülkelerdeki bina yapım materyallerinin radyoaktivite içerikleri [9, 24]

|            | Ra <sub>eq</sub> (Bq/kg) |         |            |       |        |       |         |
|------------|--------------------------|---------|------------|-------|--------|-------|---------|
| Malzemeler | Bu çalışma               | Almanya | Avustralya | Mısır | Kuveyt | Çin   | Zambiya |
| Kum Örneği | 125,1<br>(ortalama)      | 59      | 70         | 19.7  |        | 96,4  | 135     |
| Çimento    | 246,1                    | 70      | 162,8      | 291,9 | 45,1   | 162,8 | 79      |
| Tuğla      | 36,5                     | 640     | 883        | 77    | 41.6   | 178,3 | 180     |
| Kireç      | 54,2                     | 48      | 115        |       |        | 46,6  | 33      |

Yapı malzemelerindeki radyoaktivite seviyeleri için dünya genelinde birçok çalışma yapılmıştır. Dünyada yapılan farklı çalışmalarda elde edilen Ra<sub>eq</sub> değerleri Tablo 6.2’de gösterilmiştir [9, 24]. Yapılan çalışmada elde edilen aktivite seviyeleri ile diğer çalışmalarda değerler karşılaştırıldığında ülkelere göre yapı malzemelerinde radyoaktivite seviyesi olarak farklı değerler ölçülmüş olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra sınır limit olarak belirlenen 370 Bq/kg olan Ra<sub>eq</sub> değerini Avustralya’da 883 Bq/kg ve Almanya’da 640 ile tuğla geçmiştir.

Yapılan bu çalışmada kum örnekleri üç farklı bölgeden (Dişidi yöresi (A<sub>3</sub>), Palu yöresi (A<sub>2</sub>) ve Keban yöresi (A<sub>1</sub>)) temin edilmiştir. En yüksek değer (172 Bq/kg) A<sub>3</sub> kum örneğinde, en düşük değer (84 Bq/kg) ise A<sub>1</sub> kum örneğinde ölçülmüştür. Tablo 6.2’de çalışmamızda üç farklı yöreden aldığımız kum örneklerinin ortalama değeri verilmiştir. Ülkeler arasında, kumda elde edilen değerleri karşılaştırdığımızda en düşük değer Mısır’da olduğu görülmektedir. Bu değer Mısır’ın kumlarının çöl yapısından kaynaklanabileceği ifade edilmektedir [9].

Tuğlada bazı ülkelerdeki değerlerin çok yüksek bazılarının da düşük olması tuğla yapında kullanılan killi toprakların özelliklerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

Çimentoda ülkeler için farklı değerler göstermektedir. Bunun nedeni çimento yapında kullanılan malzemelerin farklı oranlarda ve farklı içeriklerde olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca kireç değerleri genel olarak yaklaşık değerlerde ölçülmüştür.

Literatürde her yapı malzemesi için ayrı ayrı sınırlama değeri belirtilmemiştir. Ancak bazı malzemeler için sınır değerleri belirtilmiştir.

## 6.2. Yapı Malzemelerinde Gama Radyasyon Doz Oranı

Yapı malzemelerinin gama doz oranları, etkin doz oranı iç tehlike indeksi ve dış tehlike indeks değerleri Tablo 6.3 de gösterildiği gibi belirlenmiştir.

Bina yapım materyallerinden yayılan gama doz oranı değeri 1,5 mSv/yıl olarak belirlenmiştir [21]. Çalışmada elde edilen değerler incelendiğinde bu değer üzerinde materyal bulunmamaktadır. En yüksek değer olarak Yapay tuğla görülmektedir. Absorblanmış doz oranı dünyada ortalama olarak 20-190 nGy/saat olarak belirlenmiştir. Yapay tuğla malzemesi dışında dünya ortalamasını aşan değer görülmemektedir.

Tehlike indeks değerleri iç ve dış olmak üzere iki şekilde hesaplanır. Bu değerlerin sınır değeri aşması durumunda sağlık açısından risk taşıdığı söylenebilir. İç ve dış tehlike indeks değerlerinin 1 değerini geçmemesi gerekmektedir. Yapılan çalışmada iç ve dış tehlike indekslerini aşan sadece yapay tuğla malzemesi olduğu görülmektedir.

Tablo 6.3: Elazığ'daki bazı yapı malzemelerindeki gama doz seviyeleri.

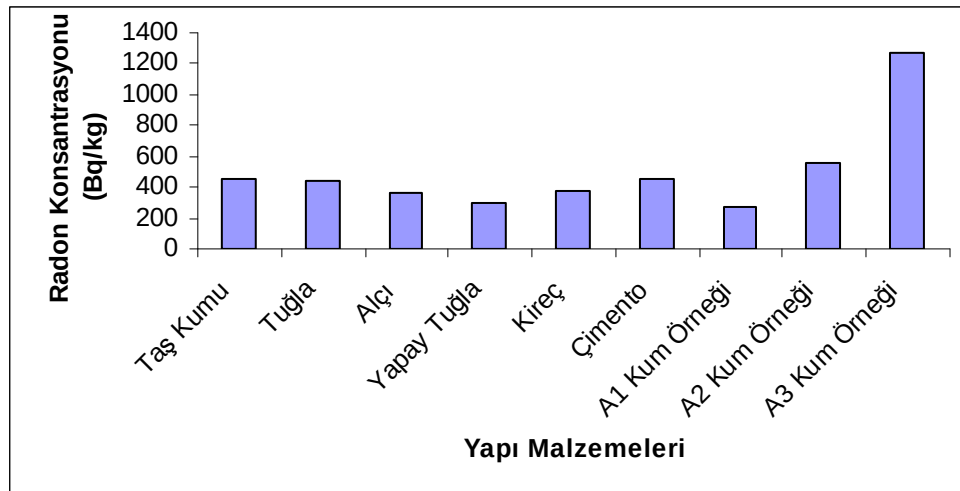
| Örnek no | Yapı malzemeleri          | Doz oranı (nGy/saat) | Eff. Doz oranı (mSv/yıl) | H <sub>ex</sub> | H <sub>in</sub> |
|----------|---------------------------|----------------------|--------------------------|-----------------|-----------------|
| 1        | Taş kumu                  | 71,27                | 0,08                     | 0,3             | 0,44            |
| 2        | Tuğla                     | 17,70                | 0,02                     | 0,09            | 0,14            |
| 3        | Alçı                      | 55,13                | 0,06                     | 0,2             | 0,30            |
| 4        | Yapay Tuğla               | 218,78               | 0,2                      | 1,09            | 1,12            |
| 5        | Kireç                     | 28,03                | 0,03                     | 0,14            | 0,15            |
| 6        | Çimento                   | 129,12               | 0,15                     | 0,66            | 0,73            |
| 7        | A <sub>1</sub> Kum Örneği | 44,45                | 0,05                     | 0,22            | 0,24            |
| 8        | A <sub>2</sub> Kum Örneği | 53,34                | 0,06                     | 0,28            | 0,32            |
| 9        | A <sub>3</sub> Kum Örneği | 93,02                | 0,11                     | 0,46            | 0,48            |

### 6.3. Yapı Malzemelerindeki Radon Konsantrasyonu

Yapılan çalışmada Elazığ ilindeki yapı malzemelerinde radon konsantrasyonu ölçülerek sonuçlar Tablo 6.4 ve Şekil 6.5’de gösterilmiştir. Radon konsantrasyonunun en yüksek değerinin 1264,6 Bq/kg ile A<sub>1</sub> kum örneğinde, en düşük değerinin ise 269.5 Bq/kg ile A<sub>2</sub> kum örneğinde olduğu görülmektedir. Radon konsantrasyonu ile orantılı olarak radon yayılımı ve efektif radyum miktarında da en düşük ve en yüksek değerlerin aynı malzemeler olduğu belirlenmiştir.

Tablo 6.4: Elazığ’daki bazı yapı malzemelerindeki radon konsantrasyonları

| Örnek no | Yapı malzemeleri          | Radon Konsantrasyonu (Bq/m <sup>3</sup> ) | Radon Yayılım Oranı (Bq/m <sup>2</sup> gün) | Efektif Radyum miktarı(Bq/kg) |
|----------|---------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------|
| 1        | Taş kumu                  | 450,1                                     | 7,45                                        | 0,522                         |
| 2        | Tuğla                     | 447,1                                     | 7,247                                       | 0,508                         |
| 3        | Alçı                      | 367,4                                     | 5,96                                        | 0,4172                        |
| 4        | Yapay Tuğla               | 297,0                                     | 4,81                                        | 0,338                         |
| 5        | Kireç                     | 370,5                                     | 6,01                                        | 0,414                         |
| 6        | Çimento                   | 453,2                                     | 7,35                                        | 0,515                         |
| 7        | A <sub>1</sub> Kum Örneği | 269,5                                     | 4,37                                        | 0,306                         |
| 8        | A <sub>2</sub> Kum Örneği | 551,1                                     | 8,93                                        | 0,626                         |
| 9        | A <sub>3</sub> Kum Örneği | 1264,6                                    | 20,50                                       | 1,436                         |



Şekil 6.5: Elazığ ilindeki bazı yapı malzemelerindeki radon konsantrasyonu



Elazığ iline jeolojik özellikler açısından bakıldığında farklı kayaç birimleri bulunmaktadır. Kullanılan malzemelerdeki kumlar A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> ve A<sub>3</sub> yörelerinden temin edilmiştir.

A<sub>1</sub> yöresindeki kumlarda; Elazığ magmatikleri olarak adlandırılan kayaç biriminin granitik, diyoritik derinlik kayaçları ve andezit bazalt gibi yüzey kayaçları ile piroklastik kayaçlardan türemiş malzemeden oluşur.

A<sub>3</sub> yöresindeki kumlarda; yüzey kayaçları ile piroklastik malzemelerden türemiş kum yoktur. Bunun yerine A<sub>1</sub> metamorfikleri olarak adlandırılan birimin rekristalize kireçtaşları ve magmatik kayaçlar ile bu kristalize kireçtaşlarının sınırında gelişmiş skarn olarak adlandırılan ara zondan türemiş malzemeler vardır.

İki kum yöredeki kumlar arasındaki temel fark A<sub>3</sub>'de granitik kayaçlarının yoğun olması, kristalize kireçtaşları ve skarndan malzemenin türemiş olmasıdır. Bu da A<sub>3</sub> bölgesindeki kumdaki değerin yüksek olmasının nedenlerinden olabilmektedir.

A<sub>2</sub> bölgesindeki kum ocağından alınan kum içinde; A<sub>2</sub> bölgesi çok farklı kaynaklardan beslenen bir yer olduğundan dolayı farklı kayaç türleri bulunmaktadır.

Çalışmada kullanılan yapı malzemeleri ile inşa edilen binanın bina içi radon konsantrasyonu değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler Tablo 6.5 gösterilmiştir. Dış ortamdaki radon konsantrasyonunun temel kaynağı topraktır. Bina içinde de özellikle de zemin radon konsantrasyonunun kaynağıdır. Ayrıca binada içi yüzeylerde radon konsantrasyon değerini artırır. Binada içindeki radon yoğunluğuna bakıldığında en düşük değerin ikinci katta en yüksek değerin de dördüncü katta olduğu belirlenmiştir.

Tablo 6.5: Bina içindeki katlara göre radon konsantrasyonu

| Kat Numarası | Radon Konsantrasyonu (Bq/m <sup>3</sup> ) |
|--------------|-------------------------------------------|
| 2            | 192,9                                     |
| 3            | 327,6                                     |
| 4            | 695,1                                     |
| 7            | 241,9                                     |

#### 6.4. Yapı Malzemelerindeki Toplam Alfa ve Beta Aktivite Seviyeleri

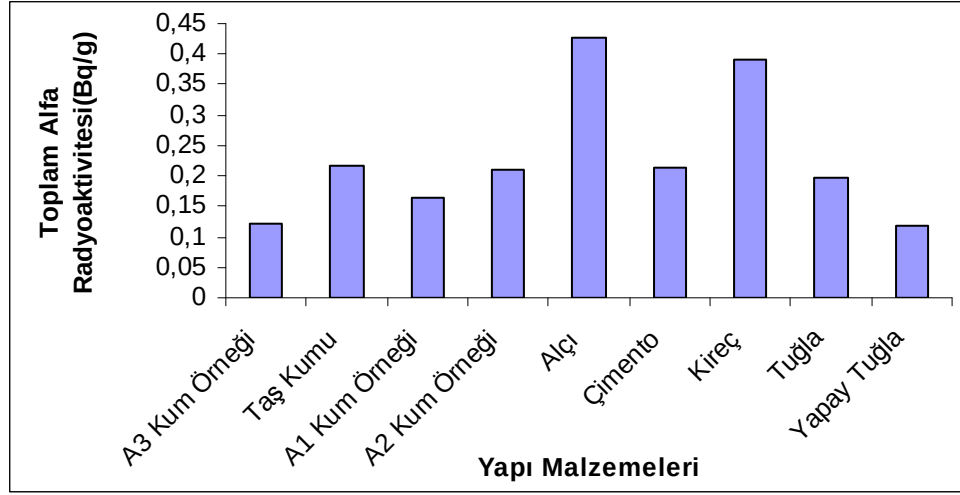
Tablo 6.6’da bazı yapı malzemelerindeki toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri verilmiştir.

Yapı malzemelerinin toplam alfa radyoaktivite seviyeleri,  $0,119 \pm 0,051$  Bq/g ile  $0,427 \pm 0,050$  Bq/g değerleri arasında değişmektedir. Toplam beta radyoaktivite seviyeleri ise  $0,119 \pm 0,029$  Bq/g ile  $0,606 \pm 0,032$  Bq/g değerleri arasında değişmektedir. En yüksek toplam alfa radyoaktivite seviyesine alçı ve en düşük toplam alfa radyoaktivite seviyesine de yapay tuğla malzemesi sahiptir. Bununla beraber en yüksek toplam beta radyoaktivite seviyesine yapay tuğla ve en düşük toplam beta radyoaktivitesine kireç malzemesinin sahip olduğu görülmektedir. Yapı malzemelerindeki farklı içerikli kumlardan elde edilen toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyelerinin ortalaması da hesaplanmıştır.

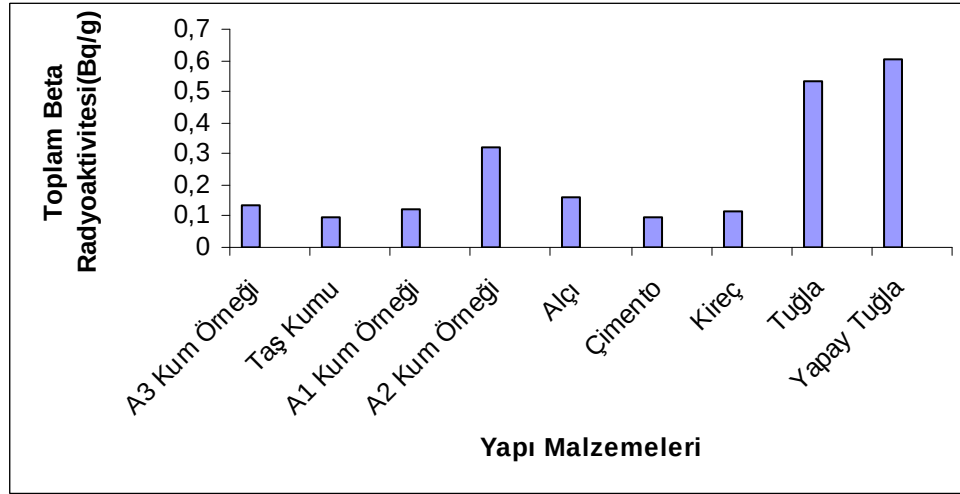
Şekil 6.6 ile Şekil 6.7’de toplam alfa ve toplam beta aktivite değerleri gösterilmiştir. Toplam alfa aktivitesi yüksek olan malzemenin toplam beta aktivitesinin aynı oranda yüksek olmadığı görülmektedir. Alçı için toplam alfa aktivitesi ile toplam beta aktivitesi karşılaştırıldığında alfa aktivitesi beta aktivitesine göre yüksektir. Yapay tuğla malzemesinde ise tam tersi söz konusudur. Beta aktivitesi alfa aktivitesine göre daha düşüktür.

**Tablo 6.6:** Yapı malzemelerindeki toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri

| Örnek                                                                         | Toplam alfa (Bq/g) | Toplam Beta (Bq/g) |
|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|
| A <sub>3</sub> Kum Örneği                                                     | 0,122±0,041        | 0,134±0,008        |
| Taş Kum Örneği                                                                | 0,217±0,047        | 0,098±0,021        |
| A <sub>1</sub> Kum Örneği                                                     | 0,163±0,050        | 0,119±0,029        |
| A <sub>2</sub> Kum Örneği                                                     | 0,209±0,048        | 0,318±0,030        |
| Alçı                                                                          | 0,427±0,050        | 0,161±0,031        |
| Çimento                                                                       | 0,213±0,054        | 0,095±0,029        |
| Kireç                                                                         | 0,391±0,057        | 0,114±0,031        |
| Tuğla                                                                         | 0,198±0,051        | 0,530±0,031        |
| Yapay Tuğla                                                                   | 0,119±0,051        | 0,606±0,032        |
|                                                                               |                    |                    |
| A <sub>1</sub> , A <sub>2</sub> ve A <sub>3</sub> Kum Örneklerinin Ortalaması | 0,178±0,046        | 0,167±0,022        |
|                                                                               |                    |                    |



Şekil 6.6: Yapı malzemelerinde toplam alfa radyoaktivitesi



Şekil 6.7: Yapı malzemelerindeki toplam beta radyoaktivite seviyesi

## 7. SONUÇLAR

Bu çalışmada bina yapımında kullanılan ve Elazığ ili civarından elde edilen ya da üretilmiş olan yapı malzemelerinin doğal radyoaktivite seviyeleri ve radon konsantrasyonu değeri belirlenmiştir.

Yapı malzemelerinin ana kaynakları toprak ve kayalardır. Uranyum ve toryum konsantrasyonları en yüksek çimento ve taş kumu malzemelerinden elde edilmiştir. Taş kumunun yüksek aktivite değeri kayaç özelliğinden kaynaklanabilir. Bazalt türü kayaçlar toryum yönünden zengin kayalardır.

$^{238}\text{U}$  aktivite konsantrasyon değeri toprak için dünya ortalaması 25 Bq/kg'dır [24]. Bu değer daha sonra toprak için ortalama konsantrasyon değerleri  $^{226}\text{Ra}$  için 32 Bq/kg,  $^{232}\text{Th}$  için 45 Bq/kg,  $^{40}\text{K}$  için 420 Bq/kg [25], yapı materyalleri için  $^{226}\text{Ra}$  için 50 Bq/kg,  $^{232}\text{Th}$  için 50 Bq/kg,  $^{40}\text{K}$  için 500 Bq/kg olarak belirlenmiştir [26].

Yapılan ölçümlerde en yüksek  $^{238}\text{U}$  aktivite değeri olarak taş kumunun 24,76 Bq/kg ile literatürde belirlenmiş olan ortalama değer üzerinde olmadığı görülmektedir. Toryum aktivite değeri olarak belirlenmiş olan ortalama değerden çok düşük olduğu görülmektedir. Potasyum aktivite değerlerini bakıldığında ortalama belirlenen 500 Bq/kg değerini tuğla ve kireç dışındaki yapı malzemelerin daha yüksek olduğu görülmektedir. Malzemelerin toryum ve uranyum konsantrasyonlarından uranyumun konsantrasyon değerleri, toryumun konsantrasyon değerlerinden fazladır. Malzemelerin uranyum, toryum ve potasyum aktivite değerleri arasında belli bir oran olmadığı da açıkça görülmektedir.

Yapay tuğla malzemesinin uranyum ve toryum aktivite konsantrasyonlarının yanında potasyum konsantrasyonu diğer malzemelere göre oldukça yüksek bulunmuştur. Potasyumun topraktaki aktivitesi uranyum ve toryum aktivitesine göre oldukça yüksek olması beklenir. Çalışmadaki potasyum aktivite değerleri literatür değerleriyle uyum göstermektedir.

İnsanların çoğu zamanını iç mekânlarda geçirdiği zaman düşünüldüğünde iç mekânlardaki doz oranı değeri önemlidir. İç mekânlar için yıllık efektif doz oranının dünya ortalaması 0,48 mSv olarak belirlenmiştir [25]. Toplam doz oranı yıllık 1.5 mSv olarak belirlenmiştir. Bu değer yapı malzemelerinden yıllık olarak maruz kalınan doz miktarını belirler. Yapılan çalışmada sadece yapay tuğla malzemesi bu değeri aşmıştır. Diğer malzemelerden gelen doz oranı uygun değerlerdedir. Son yıllarda bina yapım malzemesinde uçucu kömür külleri kullanılmaya başlanmıştır. Uçucu kömür külü kullanılarak yapılan binalarda doz oranı ölçümlerinde artış olduğu gözlemlenmiştir [27].

Tehlike indeksleri yapı malzemelerinin doz değerleri için tehlike sınırı belirlemek için kullanılan bir değerdir. Tehlike indeksinin 1 değerini geçmemesi gerekir. Yapay tuğla malzemesinin bu değeri aşması sağlık açısından risk taşıdığı sonucu çıkarılabilir.

Bina yapım malzemelerindeki toplam alfa ve toplam beta aktivite seviyesine uranyum ve toryum katkı sağlamaktadır. Yapı malzemelerindeki toplam alfa radyoaktivitesine uranyum ve toryum radyoizotopunun yaptığı katkı her malzemede farklı değerdedir. En fazla taş kumunda uranyum ve toryum radyoizotopunun yaptığı katkı %35 civarındadır. En düşük katkı ise %3 ile alçı malzemesindedir. Toplam beta aktivitesi için ise böyle bir oran olmadığını değerler karşılaştırıldığında görülebilmektedir.

Yapı malzemeleri için radon konsantrasyon değerleri karşılaştırıldığında radon konsantrasyonu yüksek olan malzemenin uranyum aktivitesinin de yüksek olduğu görülmektedir. Ancak A<sub>3</sub> kum örneğinde radon konsantrasyon değeri yüksek olmasına karşın aynı oranda uranyum ve toryum aktivitesi yüksek değildir.

Dış ortamdaki radon konsantrasyonuna en büyük katkıyı yerin kendisi yapmaktadır. Bu nedenle radon konsantrasyonunun bina içi değerleri için zemin katın değerinin daha yüksek olması beklenir. Yapılan çalışmada en yüksek radon konsantrasyon değeri dördüncü katta en düşük radon konsantrasyon değeri ise ikinci katta bulunmuştur. Ancak değerlerde ikinci katın radon konsantrasyonunun düşük olmasının nedeni havalandırma yapılmasından kaynaklanabilmektedir.

Kum için radyum eşdeğer aktivitesi ( $R_{eq}$ ) bakıldığında kullanılan kum örneklerinin değerlerinin farklı olmasının nedeni kumların farklı bölgelerden temin edilmesinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle bu bölgelerin jeolojik ve kayaç özellikleri önemlidir. Volkanik kayaların kütle aktivite konsantrasyonları tortul kayalarinkine kıyasla daha yüksektir. Bununla birlikte tortul ve fosfat kayalar da oldukça yüksek kütle aktivite konsantrasyonlarına sahiptirler. Başkalaşım kayaları ise oluştukları kayaların içerdiği konsantrasyonlara sahiptirler.

Yapılan çalışmada üç farklı kum örneği için ölçümler alınmıştır. Değerlerin farklı olmasının nedeni kumun temin edildiği bölgelerin kayaç özelliklerinin farklı olmasıdır. Elazığ'ın farklı yörelerinden kumlar temin edilmiştir. Bu bölgelerden A<sub>2</sub> bölgesi çok çeşitli yerlerden beslenen kayaç özelliğine sahiptir. Dişidi bölgesi daha çok granitik kayaçların bulunduğu bölgedir. Diğer kumlardan daha yüksek değere sahip olması nedeni bu granitik kayaç özelliği olabilir.

Yapılan birçok çalışmada yapı malzemelerindeki radyoaktivite belirlenmiştir. Kullanılan malzemeler farklı bölgelerden temin edildiğinden dolayı aynı malzeme için farklı doğal radyoaktivite seviyeleri elde edilmektedir. Uluslararası bazı kuruluşlar (WHO, UNSCEAR, OECD, ICRP) bu radyoaktivite değerleri için sınır değerler belirlemiştir. Yapım

malzemeleri için radyum eşdeğer aktivite değerin maksimum 370 Bq/ kg olması gerektiği belirtilmiştir [21, 22, 23]. Üst sınırların aşıldığı durumda bazı ülkeler o malzemenin kullanımına sınırlamalar getirmektedir. Çalışmadaki elde edilen sonuçlara göre sadece Yapay tuğla sınır değeri aştığı görülmektedir.

Bina yapım malzemelerindeki radon konsantrasyonunun ve doğal radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesinin en önemli amacı sağlık açısından risk taşıyıp taşımadığıdır. Yaşam boyu sürekli maruz kalkınan radyoaktif maddeler için gerekli sınırlandırmaların olması gerekmektedir. Belirlenen sınır değerlerin aşıldığı durumlarda da gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar belirlenen değerleri aşmadığından dolayı sağlık açısından risk taşımadığı sonucuna varılabilir. Ancak çevremizde doğal radyasyona maruz kalınmasından dolayı tek etken bina yapım malzemeleri değildir. Doğal radyasyonlar, hem vücudun dışında hem de vücudun içinde bulunan doğal radyoaktif maddelerden meydana gelmektedir. Başlıca doğal radyasyon kaynakları; dış kaynak olarak uzaydan gelen kozmik ışınlar ve yeryüzü, iç kaynaklar olarak ise potasyum ve radyum olarak sayılabilir [20]. Bu nedenle birçok etken bir arada olduğunda radyasyon değeri farklı olabilmektedir.

Bir bina yapımı için birçok önemli kıstas gerekmektedir. Binanın deprem dayanıklılığı, mimarisi, kullanılan malzemelerin elverişliliği önemlidir. Bunlar için farklı ülkelerde birçok kural ve kanunlar getirilmiştir. Sağlık açısından bakıldığında, bazı ülkeler bina yapımında kullanılan malzemeler için çeşitli standartlar geliştirmişlerdir. Ülkemizde yapı malzemesi olarak kullanılan bazı malzemeler için, özellikle ihraç edilen doğal taşlar (mermer ve benzeri), bazı standartlar üzerine çalışmalar olmasına karşın literatürde bina yapımında kullanılan diğer malzemeler için henüz standartlar üzerine yapılmış herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışma, bu konuda yöresel özellikte olmasına rağmen yapılan ve bina yapım malzemelerinin bir kaçını birden konu alan çalışma olması açısından oldukça önemlidir. İleriki çalışmalarda bina yapım malzemelerinin çeşitlendirilerek ülke geneline yayılması ve daha detaylı çalışmalar sonucunda bu konu ile ilgili ülke standardı geliştirilmesine katkı sağlanması amaçlanmaktadır.

## 8. KAYNAKLAR

- [1] Kovler, K., Haquin, G., Manashev, V., Ne'eman, E., Lavi, N., 2002. Natural radionuclides in building materials available in Israel. Building and Environment, 37, 531-537.
- [2] Beck, H.L., The Natural Radiation Environment II. USERDA Conf.-720805-P2, The Physics of Environmental Gamma Radiation Fields, p. (101- 104), (1982).
- [3] Katren, R. L., 1998, norm Sources and Their Origins, Applied Radiation and Isotopes, 49, 3 149-168
- [4] Şahin, Y., 1989, Çekirdek Fiziğinin Esasları, Bakanlar Matbaacılık, Erzurum
- [5] Durrani, S. A. and Hiç, R. (1997) Radon Measurements by Etched Track Detectors: Applications in Radiation Protection, Earth Sciences and the Environment, World Scientific, New Jersey, U.S.A., 387p.
- [6] Madencilik ÖİK Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Çimento Hammaddeleri ve Yapı Malzemeleri ÇG Raporu, Çimento Hammaddeleri ve Yapı Malzemeleri Cilt-2 Çimento Hammaddeleri, 1996
- [7] Güler, Ç., 1997, Radon Kirliliği, Temel Kaynak Dizisi No:44, ANKARA
- [8] [www.taek.com.tr](http://www.taek.com.tr)
- [9] ] Papastefanou C, Stoulos S, Manolopoulou M., (2005) The radioactivity of building materials, J. Radioanal Nucl Chem., 367-372.
- [10] [www.deprem.gov.tr](http://www.deprem.gov.tr)
- [11] Baykara, O., Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Fay Hatlarının Kesişim Bölgesindeki Doğal Radyoaktivite Tayini, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [12] Türkiye 14 Kömür Kongresi Bildirileri Kitabı 02-04 Haziran 2004 Zonguldak, Türkiye.

- [13] Ibrahim, N., 1999, Naturel activities of  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$  in building materials. Journal of Environmental Radioactivity 43,255-258
- [14] Krieger, R., 1981,Radyoaktivite of construction materials. Beteonwerk Fertigteil Tech. 47,468-473
- [15] Littlemore Scientific Engineering (ELSEC), 1994, 7286 Low Level Alfa Counter User Manual.Railway Lane, Littlemore,Oxford OX4 4PZ, UK.
- [16] K lahcı, F., Hazar G l (Elazığ) Suyunun Radyoaktivite Seviyelerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi,Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [17] NE Technology Limited, 1994, Instruction Manual for Windowless Scintillation Counter (Type 6001). Bath Road, Beenham, Reading, Berkshire RG7 5PR, England.
- [18] NE Technology Limited,1994, Instruction Manual for Lead Castle (Type 710C). Bath Road, Beenham, Reading, Berkshire RG7 5PR, England.
- [19] Tuncer,S., 1991,  e itli   me Sularında Radyoaktivite Seviyelerinin Tayinin, Yüksek Lisans Tezi,  .T. . Nükleer Bilimler Enstitüsü,  stanbul
- [20] Canbazog lu, C., 1998, Elazığ ve  evresindeki   me ve Kullanım Sularında Radyoaktivite Seviyelerinin Tayini, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [21] UNSCEAR, 1982, Ionising radiation sources and biological effects.United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation , A/37/45, New York
- [22] Organization for Economic Cooperation and Development, 1979. Exposure to Radiation from the Naturel Radioactivity in Building Materials, OECD, Paris
- [23] ICRP, 1977. International Commission on Radiological Protection. Recommendation of ICRP. Publications 26. Pergamon Press, Oxford
- [24] Lu Xinwei, 2004, Naturel radioactivity in some building materials of Xi'an, China. Radiation Measurement.
- [25] UNSCEAR, 2000. Sources and effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, United Nations, New York.



- [26] UNSCEAR, 1993. Sources and effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, United Nations, New York.
- [27] T. Spaitz, F. Divós , T. Simon, 2007. Dose contribution from buildings containing bottom ash insulation with elevated concentrations of natural radionuclides. Institute of Forest and Environmental Techniques, University of West-Hungary, Ady út 5., 9400 Sopron, Hungary.
- [28] Göksel Selahattin A., 1973,Radyasyonların Biyolojik Etkileri ve Radyasyon Koruması, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- [29] Karahan G., 1997, İstanbul'un Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Tayini ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri, Doktora Tezi,İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- [30] Ahmed, N.K., 2005. Measurement of natural radioactivity in building materials in Qena city, Upper Egypt. J. Environmental Radioactivity, 83, 91-99.
- [31] Yaramış B, 1985, Nükleer Fizik Cilt 1, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen – Edebiyat Fakültesi
- [32] Baykara, O., Doğru, M., İnceöz, M., Aksoy, E., 2004. Measurements of radon emanation from soil samples in triple-junction of North and East Anatolian Active Faults Systems in Turkey. Radiation Measurements, 39, 209-212.