

**T.C.  
CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ  
FEN-BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Manisa İlinde Kullanılan Bina Materyallerinde  
Radyoaktivite Tayini**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Şevki Ali DAYANIKLI**

**Anabilim Dalı : Fizik**

**Programı : Nükleer Fizik**

**MANİSA-2004**

	Sayfa
<b>İÇİNDEKİLER</b>	
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b>	II
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b>	III
<b>TEŞEKKÜR</b>	IV
<b>ÖZET</b>	V
<b>ABSTRACT</b>	VI
<b>1.GİRİŞ</b>	1
<b>2. GENEL BİLGİLER</b>	5
<b>2.1.URANYUM</b>	5
<b>2.2.TORYUM</b>	6
<b>2.3.POTASYUM</b>	7
<b>2.4.RADON GAZININ SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİ</b>	7
<b>2.5.BİNA İÇİ RADON KAYNAKLARI</b>	9
<b>2.6. BİNA İÇİ ARAŞTIRMALARIN SONUÇLARI</b>	10
<b>2.7. ÇİMENTO VE BETONDAKİ KATKI MADDELERİ</b>	17
<b>3. MATERYAL VE METOD</b>	17
<b>3.1 GAMA SPEKTROMETRESİ İLE BİNA MATERYALLERİNDE RADYOAKTİVİTE TAYİNİ</b>	17
<b>3.2.GAMA SPEKTROMETRESİYLE eU, eTh ve % K TAYİNİ</b>	18
<b>3.3.ÇALIŞMADA KULLANILAN GAMA SPEKTROMETRE SİSTEMİ</b>	19
<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA</b>	21
<b>4. SONUÇLAR</b>	27
<b>KAYNAKLAR</b>	28
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	32

**ŞEKİL LİSTESİ****sayfa**

<b>Şekil 1.</b> U-238 bozunum serisi.	6
<b>Şekil 2.</b> Th-232 bozunum serisi.	7
<b>Şekil 3.</b> Radon gazının bina içine girişi	10
<b>Şekil 4.</b> Betonarme ve ahşap binalardaki hava koşuluna bağlı olarak radon konsantrasyonunun değişimi (WS+AC=Ahşap yapılı havalandırmalı, WS-AC=Ahşap yapılı havalandırmasız, RC+AC=Sağlam yapılı havalandırmalı, RC-AC=Sağlam yapılı havalandırmasız)	15
<b>Şekil -5</b> Çeşitli ev tiplerinde vasat radon konsantrasyon düzeyleri	16
<b>Şekil 6.</b> Konutlardaki ve çalışma yerlerindeki radon konsantrasyon değerleri	16
<b>Şekil 7.</b> Potasyum, Uranyum ve Toryum Kanallarına Gelen Katkılar	19
<b>Şekil 8.</b> Çalışmada kullanılan Gama spektroskopisinin çalışma sistemine Ait blok diyagramı	20
<b>Şekil 9.</b> Kum, çakıl ve taş kırması örneklerinde K-40 aktivite konsantrasyonu	22
<b>Şekil 10.</b> Kum, çakıl ve taş kırması örneklerinde U-238 aktivite konsantrasyonu	22
<b>Şekil 11.</b> Kum, çakıl ve taş kırması örneklerinde Th-232 aktivite konsantrasyonu	22
<b>Şekil 12.</b> Çimento örneğinde K-40 aktivite konsantrasyonu	23
<b>Şekil 13.</b> Çimento örneklerinde U-238 aktivite konsantrasyonu	23
<b>Şekil 14.</b> Çimento örneklerinde Th-232 aktivite konsantrasyonu	24
<b>Şekil 15.</b> Tuğla örneklerinin K-40 aktivite konsantrasyonu	24
<b>Şekil 16.</b> Tuğla örneklerinin U-238 aktivite konsantrasyonu	25
<b>Şekil 17.</b> Tuğla örneklerinin Th-232 aktivite konsantrasyonu	25

**ÇİZELGE LİSTESİ**

**sayfa**

**Çizelge 1.** Çeşitli ülkelerde elde edilen bina içi radon konsantrasyonları 11

**Çizelge 2.** Toprak örneklerindeki uranyum, toryum, potasyum konsantrasyonları 21

**Çizelge 3.** Çimento örneklerindeki uranyum, toryum ve potasyum konsantrasyonları 23

**Çizelge 4.** Tuğla örneklerindeki uranyum, toryum ve potasyum konsantrasyonları 24

## TEŞEKKÜR

Bu çalıőmayı hazırlama s¼recinde katkılarını esirgemeyen, tez danışmanım Sayın Doç. Dr. F.Serap EREEŞ' e, Fizik Böl¼m¼ne baŐladıđımdan bu güne kadar kendisinden çok Őey öğrendiğim sınırsız destek ve yardımlarını görd¼đ¼m Böl¼m BaŐkanım Sayın Doç. Dr. Nurdođan CAN'a ve örneklerin ölç¼m¼nde her türlü yardımını esirgemeyen Sayın ArŐ. Gör. Sermin AM' a teŐekk¼rlerimi bir borç bilirim.

Şevki Ali DAYANIKLI

Manisa-2005

**ÖZET**

Bina içinde insanların radyasyona maruz kaldığı önemli radyasyon kaynaklarından biri de bina materyallerindeki doğal radyonüklidlerdir. Bu radyasyon, bina materyallerindeki U-238, Th-232 ve K-40'dan kaynaklanmaktadır. Çeşitli ülkelerdeki bina materyallerindeki radyoaktiviteyi araştıran birçok çalışma bulunmaktadır.

Bu çalışmada, Manisa ilinde bina materyalleri olarak kullanılan kum ocaklarından temin edilen kum örneklerinde, tuğla ve çimento örneklerinde U-238, Th-232 ve K-40 tayinleri NaI(Tl) dedektörü kullanılarak gama spektrometresi ile tayin edilmiştir. Manisa'da yaşayan insanların bu bina materyallerinin kullanılmasından dolayı maruz kaldıkları dozlar hesaplanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Bina materyalleri, Radyum eşdeğeri, binaıçi gama radyasyonu, doğal radyoaktivite

**ABSTRACT**

One of the most important sources, which the people are exposed to radiation in building, is the natural radionuclides in building materials. This radiation is resulted from  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  series radionuclides and  $^{40}\text{K}$  in building materials. There are a lot of studies examined the radioactivity in building materials in the different countries.

In this study, the activity concentrations of  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$  in the bricks, cement samples and the sand samples that are produced from the sand quarry, used as building materials in Manisa country, have been analyzed by gamma-ray spectroscopy coupled with NaI (TI) detector. Doses that people living in Manisa were exposed because of these building materials have been calculated.

**Keywords:** Building materials; radium equivalent; indoor gamma radiation; natural radioactivity

## 1.GİRİŞ

İnsanların yaşadıkları çevre içinde maruz kaldıkları radyasyonun temel kaynağı doğal radyasyondur. Bu kaynaklardan alınan dozun, insanların yaşam sürelerine olan etkilerinin ve oluşturacağı zararların araştırılması çevresel radyoaktivite çalışmalarında büyük bir önem taşımaktadır.

Dünya nüfusu tarafından alınan ortalama doza en büyük katkı doğal radyasyondan gelmektedir. Doğal kaynaklardan alınan yıllık ortalama etkin doz 2,4mSv'dir. Doğal radyasyon kozmik ve karasal orijinli olmak üzere ikiye ayrılır(1).

İnsanların maruz kaldığı karasal orijinli radyasyon Uranyum, Toryum, Aktinyum, Neptinyum radyoaktif seri elementleri ve bozunum ürünlerinden kaynaklanır. Radyoaktif elementlerin konsantrasyonlarının belirlenmesi açısından, yaşadığımız çevreyi bir bütün olarak düşünürsek, bu bütünü oluşturan parçalardaki aktivite tayinleri ayrı ayrı yapılmalıdır. İnsanların yaşamları boyunca maruz kaldığı doğal radyasyonun önemli bir kısmını topraktaki radyonüklidler oluşturmaktadır. Bu radyasyonun karasal kaynakları dünyanın oluşumundan beri varolan radyonüklidlerdir. Bu radyonüklidlerin en önemlileri  $^{40}\text{K}$ ,  $^{87}\text{Rb}$ ,  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$ ' dir.

Bu nedenle, dünyanın çeşitli yerleşim alanlarında topraktaki radyonüklidlerden kaynaklanan karasal radyasyonun belirlenmesine yönelik çeşitli çalışmalar yapılmaktadır.

Mısır'ın kuzeyini, ortasını ve Nil deltasını içine alan bir çalışmada (İbrahiem, 1993), topraktaki radyoaktivite düzeyleri HPGe spektrometresi kullanılarak elde edilmiştir ve sonuçta K-40 için 29-653Bq/kg; U-238 için 5-63,7 Bq/kg ve Th-232 için 2,5-95,6Bq/kg değer aralıkları bulunmuştur(2).

S.Selvasekarapandian ve ekibi (2000) Hindistan'ın Gudalero topraklarındaki doğal radyonüklid tayinini gama ışın spektrumu ile tayin etmiş ve K-40, U-238 ve Th-232'nin ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla 195,2Bq/kg, 37,7Bq/kg ve 75,3Bq/kg olarak bulunmuştur. Aynı çalışmada 1 metre yükseklikte soğurulan doz oranı 74,3nGy/h ve yıllık eşdeğer doz oranı 455,6µSv/y olarak hesaplanmıştır(3).

Y.Narayana ve ekibi, Güney Hindistan'ın Coastal Karnataka'daki toprakların radyoaktivite konsantrasyonlarını HPGe gama ışın spektrometresi ile ölçmüş ve K-40'ı 61-316,7Bq/kg, Th-232'yi 14,3-48,6Bq/kg ve Ra-226'yi 20,1-62,3Bq/kg aralığında değiştiğini tespit etmişlerdir (4).

N.Karunakara ve ekibi tarafından (2001) Hindistan'ın Güney Batısında Kaiga Bölgesindeki topraklarda yapılan çalışmada HPGe dedektörü kullanılarak topraktaki radyoaktivite konsantrasyonları belirlenmiştir. K-40 aktivite konsantrasyonu 78,3-254,8Bq/kg, Th-232 aktivite konsantrasyonu 11,4-41,9Bq/kg ve Ra-226 aktivite konsantrasyonu 15,5-61,2Bq/kg aralığında ölçülmüştür (5).

M.Brai ve ekibi, (2001) Stromboli'de yaptıkları çalışmada toprak ve kaya örneklerindeki radyoaktiviteyi HPGe dedektörü kullanarak ölçmüşler ve K-40 aktivitesini 340-1427Bq/kg, Bi-214 aktivitesini 31-112Bq/kg ve Ac-228 aktivitesini 30-106Bq/kg olarak bulmuşlardır(6).

Kanada'da yapılan bir çalışmada A.J.Vandenbygaart topraktaki radyoaktivite konsantrasyonlarını Coaxial Germanyum dedektörü ile tayin etmiş ve K-40'ı 0,3-817,1Bq/kg, Th-232'yi 0,4-28,0Bq/kg, Ra-226'yi 0,3-36,0Bq/kg ve Cs-137'yi 0,0-19,7Bq/kg aralığında bulmuştur (7).



2001 yılında Gana'da J.Yeboah ve ekibi tarafından yapılan çalışmada toprak örneklerinde ve kayalardaki K-40,U-238 ve Th-232 aktivite konsantrasyonları gama spektrometresi kullanılarak belirlenmiştir. Toprak örneklerinde K-40 aktivitesi 91,1-1395,9Bq/kg; U-238 aktivitesi 2,4-62,7Bq/kg ve Th-232 aktivitesi 3,2-145,7Bq/kg aralığında değişirken kaya örneklerinde K-40 aktivitesi 9,0-1510,1Bq/kg, U-238 aktivitesi 0,7-40,0Bq/kg ve Th-232 aktivitesi de 0,5-117,5Bq/kg aralığındadır. 1metre yükseklikte maruz kalma oranı toprakta 0,9-20,6µR/h ve kayalarda 0,6-17,8µR/h olarak hesaplanmıştır(8).

Michalis Tzortzis tarafından gama ışın spektroskopisi kullanılarak Kıbrıs'ın karakteristik jeolojik kayalarında Th-232, U-238 ve K-40 aktivite konsantrasyonları sırasıyla 1,3-52,8Bq/kg, 0,9-90,3Bq/kg ve 13-894Bq/kg olarak ölçülmüştür(9).

O.S.Ajaji tarafından 2000 yılında yapılan çalışmada NaI(Tl) dedektörü kullanılarak kayalardaki K-40, U-238 ve Th-232 aktivite konsantrasyonları sırasıyla 40,3-2436,6Bq/kg , 3,5-110,5q/kg ve 1,2-107,5Bq/kg aralığında ölçülmüştür. Yine aynı çalışmada ortalama soğurulan doz oranı 0,128nGy/h (1 metre yükseklikte) ve doz eşdeğer oranı 156,90µSv/y'dır(10).

S. Singh ve ekibi tarafından 2003 yılında Hindistan'da yapılan çalışmada NaI(Tl) dedektörü kullanılarak topraklardaki doğal radyoaktivite ölçülmüş ve sonuçta K-40 aktivite konsantrasyonu 143,7-228,9Bq/kg; Th-232 aktivite konsantrasyonu 35,2-122,8Bq/kg ve Ra-226 aktivite konsantrasyonu 25,1-75,7Bq/kg aralığında bulunmuştur. Bu ölçümler her bir örnekten 250g tartılarak alınmıştır. Ayrıca bu çalışmada Radyumun eşdeğer aktivitesi 90,88-275,33Bq/kg aralığında hesaplanmıştır(11).

Hindistan'da S.Saravanan ve ekibi tarafından 2003 yılında NaI(Tl) dedektörü kullanılarak Tamilnadu bölgesi topraklarının doğal background radyasyonu ölçülmüştür. Toprakların aktivite düzeyleri: K-40 aktivitesi 73,1-120Bq/kg aralığında ve ortalama 96,0 Bq/kg'dır; Th-232 aktivitesi 21,6-69,6Bq/kg aralığında ve ortalama 43,9Bq/kg'dır ve Ra-226 aktivitesi 31,8-52,0 Bq/kg aralığında ve ortalama 42,9Bq/kg'dır. Radyumun eşdeğer aktivitesi 68,3-149,0Bq/kg aralığında ortalama 113Bq/kg olarak hesaplanmıştır(12).

P.Chiozzi ve ekibince 2000 yılında yapılan bir çalışmada kaya ve toprak örneklerindeki doğal radyoaktivite hem NaI(Tl) dedektörü hem de HPGe dedektörü ile ölçülmüş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır(13).

Nijerya'da 2003 yılında M.K.Fasasi ve ekibi tarafından yapılan çalışmada katran kumundaki doğal radyoaktivite Coaxial Germanyum dedektörü kullanılarak ölçülmüştür. Bi-214 (U-238) aktivitesi 165,64Bq/kg ve TI-208 (Th-232) aktivitesi 150,25Bq/kg olarak ölçülmüştür(14).

Pakistan'da 1998 yılında N. Ahmad ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada toprak ve bina malzemelerindeki doğal radyoaktivite HPGe dedektörü kullanılarak ölçülmüş ve K-40, Th-232 ve Ra-226 aktiviteleri sırasıyla 52,0-1729Bq/kg; 2,1-50,3Bq/kg ve 12,2-774Bq/kg aralığında bulunmuştur(15). Başka bir çalışmada N.Ahmad havadaki yıllık etkin doz oranını w0,24-0,28 mSv/yıl olarak hesaplamıştır. UNSCEAR tarafından dünyada bu değer 0,23-0,65 mSv/yıl olarak ölçülmüştür(16).

F.K.Miah ve ekibi tarafından 1998 yılında Dhaka City de yapılan çalışmada toprak örneklerinde radyonüklid dağılımı HPGe dedektörü kullanılarak ölçülmüş ve K-40 aktivitesi 165-750Bq/kg aralığında bulunmuştur(17).

1997 yılında Libya'da M.A.Shenber tarafından yapılan çalışmada topraktaki doğal radyoaktivite düzeyleri HPGe dedektörü kullanılarak ölçülmüştür. Topraktaki U-238, Th-232 ve K-40 aktivite konsantrasyonları sırasıyla 10.5, 9.5 ve 270Bq/kg olarak bulunmuştur(18).

Meksika'nın 3000m'lik ormanlık alanındaki topraklarda çevresel radyoaktivite ölçümleri N.Segovia ve ekibi tarafından HPGe dedektörü kullanılarak yapılmıştır ve sonuçta ormanlık alandaki radyoaktivite değerinin background değerinde olduğu görülmüştür(19).

Hamby ve Tynybekov'un HpGe dedektörü ile Kırgızistan'da yaptıkları çalışmada topraklardaki U,Th ve K değerleri sırasıyla 21ppm, 53ppm ve %5,7 olarak bulunmuştur(15).

Polonya'da gama ışın spektrometresi kullanılarak kaya ve topraklardaki doğal ve antropojenik radyoaktivite düzeyleri Malczewski ve ekibi tarafından incelenmiş ve sonuçta K-40 aktivitesinin 320-1200Bq/kg aralığında, Ac-228 (Th-232 serisi) aktivitesinin 25-62Bq/kg aralığında ve Ra-226 aktivitesinin 31-122Bq/kg aralığında değiştiği bulunmuştur(21).

Ebaid ve ekibi tarafından Mısır topraklarında çevresel radyoaktivite ölçümleri gama-ışın spektrometresi kullanılarak incelenmiş ve U-238 aktivite konsantrasyonunun 13,7-27,9Bq/kg aralığında, Th-232 aktivite konsantrasyonunun 15,4-53,1Bq/kg aralığında ve K-40 aktivite konsantrasyonunun 176-407Bq/kg aralığında değiştiği bulunmuştur(22).

Türkiye'de Karakelle ve ekibi tarafından yapılan çalışmada Kocaeli toprak örneklerindeki doğal radyoaktivite HPGe dedektörü kullanılarak tayin edilmiştir. U-238 aktivitesi 11-49Bq/kg, K-40 aktivitesi 161-964Bq/kg ve Th-232 aktivitesi 11-65Bq/kg olarak ölçülmüştür(23).

G.Karahan ve A.Bayulken tarafından 1999 yılında Türkiye-İstanbul yüzey topraklarındaki doğal radyonüklid aktivite konsantrasyonu gama spektroskopisi yöntemini kullanılarak U-238, Th-232 ve K-40 için sırasıyla 21, 37 ve 342Bq/kg olarak ölçülmüştür(24).

İzmir'in yaklaşık 40km kuzeydoğusunda bulunmakta olan Sarıcaoğlu (Bergama) tersiyer havzası kayaçlarındaki radyoaktivite incelenmiş ve kaya örneklerinde en düşük eU aktivitesi kireç taşlarında 2.35 ppm en yüksek bitümlü şeyllerde 112ppm'dir. Manisa'nın Köprübaşı ilçesindeki Kasar uranyum yatağı çevresinde bulunan topraklarda radyoaktivite araştırılmış ve eU aktivitesi 37,75-88,00Bq/kg, eTh aktivitesi 32,50-77,50Bq/kg ve potasyum aktivitesi 296-888 Bq/kg arasında bulunmuştur (25). Bu toprak, kum gibi malzemeler çimento, tuğla, kiremit, çimento gibi bina materyali olarak kullanıldığı gibi katkı maddesi olarak kullanılmaktadırlar.

Bina malzemelerindeki doğal radyoaktivite, bina içi radyasyon maruz kalmasının kaynağıdır[26]. Bina malzemeleri, insanların doğal radyasyona maruz kalmasına iki şekilde katkıda bulunurlar: Birincisi yapılarında bulunan K-40, U-238, ve Th-232 ve bunların bozunum ürünlerinden gelen gama radyasyonu ile ikincisi ise insanların solunum sisteminde radon bozunum ürünlerinin birikmesi ile içsel ışınlamaya neden olan radon solunumudur(27). İnsanlar zamanlarının %80'nini bina içinde geçirmelerinden dolayı bina malzemelerindeki doğal radyonüklid konsantrasyonunun tayin edilmesi önemlidir. Bina içindeki dış doz oranlarının artışı bina malzemelerindeki yüksek aktiviteli radyonüklidlerden kaynaklanabilir(26).

Bina endüstrisi, diğer endüstrilerden gelen büyük miktardaki atık ürünleri kullanır. Son yıllarda, radyoaktivite düzeyleri doğal bir şekilde yada teknolojik olarak zenginleştirilmiş yeni bina malzemelerinin (uçucu kömür külü, killi şistli petro külü, bazı nadir mineraller) kullanılmasına yönelik bir eğilim görülmektedir. Bu yüzden birçok bina malzemesi, doğal bir şekilde olan radyoaktif elementleri içerir. Bunlar arasında en önemlileri K-40 ve iki doğal radyoaktif seri üyesi olan Th-232 ve Ra-226 izotoplarıdır. Malzemelerdeki bu radyoizotopların varlığı, binalarda yaşayan insanların dışsal olarak ışınlanmasına neden olur. Ra-226 ve Th-232, aynı zamanda binadaki Rn-222, Rn-220 ve bunların ürünlerinin konsantrasyonlarını artırabilir. K-40 ve yukarıda bahsedilen radyonüklidlerin bir kısmı, dışsal maruz kalmaya neden olurken Rn-222, Rn-220 ve bunların kısa ömürlü ürünlerinin solunması ile bunların yaydıkları alfa parçacıkları solunum organında içsel ışınlamaya neden olmaktadır.

İnsanoğlunun iyonize radyasyonun düşük dozlarına kronik olarak maruz kalması, 5-30 yıl sonra ortaya çıkabilen sağlık sorunlarına neden olmaktadır. Maruz kalmanın neden olduğu en kritik zarar, maruz kalan kişide ve çocuklarında kalıcı zararlı bir hastalığın olması olasılığındaki artıştır. Sağlık riski, maruz kalınan dozla artar ve sağlık sorununun görünme ihtimali, maruz kalma genç bir yaşta olduğunda daha büyük olur. Bina ürünlerindeki ham malzemeler gibi radyoaktivite düzeyleri fazla olan ürünlerin büyük oranda kullanılmasının insan maruziyetini önemli miktarda arttırdığı ve bu yüzden gerçek bir potansiyel riski taşıdığı görülür. Bu nedenle, dünyanın çeşitli yerleşim alanlarında bina materyallerinden kaynaklanan radyasyonun belirlenmesine yönelik çeşitli çalışmalar yapılmaktadır.

2001 yılında Algerian da yapılan bir çalışmada HPGe dedektörü kullanılarak bina materyallerinde Ra-226, Th-232 ve K-40 aktivite konsantrasyonları, sırasıyla 12-65Bq/kg, 7-51Bq/kg ve 36-675Bq/kg aralığında bulunmuştur. Ayrıca eşdeğer radyum aktivitesi 370Bq/kg olarak hesaplanmıştır. Burada incelenen bina materyalleri arasında çimento, çimentolu siva, asbest, kil tuğla, seramik, mermer, kum ve kireç bulunmaktadır. Bunların arasında eşdeğer radyum değeri en düşük olan kumdur (28).

İsrail'de 2002 yılında yapılan çalışmada HPGe dedektörü ile bina materyallerindeki Ra-226, Th-232 ve K-40 aktivite konsantrasyonlarının sırasıyla 3,1-747Bq/kg, 3-76,1Bq/kg ve 51,1-1155Bq/kg aralığında değişmektedir. Bu çalışmada bina malzemeleri içerisinde sanayi yan ürünlerinde kullanılmaktadır. Bu aktivite konsantrasyonları kullanılarak hesaplanan eşdeğer radyum 21,9-772,5Bq/kg aralığında değişmektedir(26).

Yunanistan'da 2003 yılında gerçekleştirilen çalışmada HPGe dedektörü kullanılarak Ra-226, Th-232, K-40 ve U-238 aktivite konsantrasyonları sırasıyla 11-92Bq/kg, 12-95Bq/kg, 140-1200Bq/kg ve 13-79Bq/kg aralığında bulunmuştur(27).

Hindistan'da gama spektrometresi ile yapılan çalışmada bina materyallerindeki Ra-226, Th-232 ve K-40 aktivite konsantrasyonları sırasıyla 3,1-151,7Bq/kg, 14-63,7Bq/kg ve 24,3-121,5Bq/kg aralığında değişmektedir(29).

Hindistan'da yapılan başka bir çalışmada yine bina materyalleri ve yan ürünlerin doğal radyoaktivitesi ölçülmüştür. Gama spektrometre sistemi kullanılarak yapılan çalışmada Ra-226, Th-232 ve K-40 aktivite konsantrasyonları sırasıyla 37,0-67,3 Bq/kg, 24,1-77,7 Bq/kg ve 88,4-455,8 Bq/kg aralığında ölçülmüştür(30).

Farklı radyonüklidler içeren malzemelerin spesifik radyoaktivitelerini karşılaştırmak için sık sık eşdeğer radyum aktivitesi denen yaygın bir indeks kullanılır. Radyum eşdeğer aktivitesi aşağıdaki eşitlikten hesaplanır(28).

$$Ra_{eq} = A_{Ra} + 1,43 A_{Th} + 0,077 A_K$$

Burada,  $A_{Ra}$  ,  $A_{Th}$  ve  $A_K$  ; sırasıyla Ra-226, Th-232 ve K-40 ın aktivite konsantrasyonlarıdır. Burada 1Bq/kg'lık U-238, 0,7Bq/kg'lık Th-232 ve 13Bq/kg'lık K-40 aynı gama doz oranlarını verir.

$$\frac{A_{Ra}}{370} + \frac{A_{Th}}{260} + \frac{A_K}{4810} \leq 1$$

Bu radyum eşdeğer tanımı, standart bir odanın bina elementlerindeki 4810Bq/kg'lık K-40 yada 370Bq/kg lık Ra-226 yada 260Bq/kg lık Th-232 konsantrasyonunun, odada yaşayanlara aynı maruziyeti vereceği varsayımına dayanır.

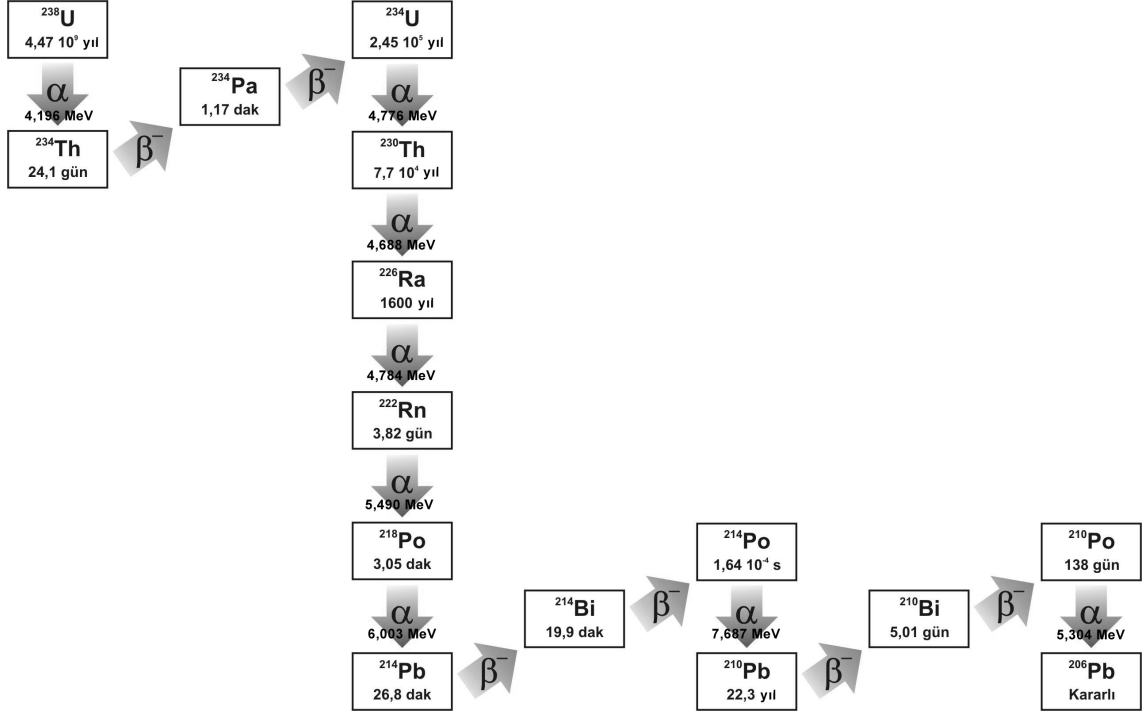
## 2.GENEL BİLGİLER

### 2.1.URANYUM

Uranyum radyoaktif bozunma serisinin ana elemanı U-238' dir. Bu nüklidler, 8 alfa ve 6 beta parçacık emisyonu içerir. Başlıca kız çekirdekler sırası ile, Toryum-234, Protaktinyum-234, Uranyum-234, Toryum-230, Radyum-226, Radon-222, Polonyum-218, Kurşun-214, Bizmut-214, Polonyum-214, Kurşun-210, Bizmut-210, Polonyum-210 ve son olarak karalı Kurşun-210 izotopudur ( Şekil 1.).

Bu çekirdeklerin büyük bir bölümü bozunduklarında farklı enerjili gama radyasyonları üretirler. Uranyum serisinin elemanları ( kolları ) büyük sıklıkla kararsızlık halinde bulunmakla birlikte sabit bolluk oranını muhafaza etmişlerdir. Uranyum serisinin gama spektrumu, farklı enerjilerde birçok gama ışını içermesinden dolayı komplekstirler. Fakat kantitatif ( nicel ) ölçümler yapabilmek için karakteristik bir piki yoktur. Uranyumun kendisinin karakteristik gaması olmamasına karşılık, kantitatif analizler yapabilmek için Bizmut-214'ün 1,76 MeV enerjili piki kullanılır(31).

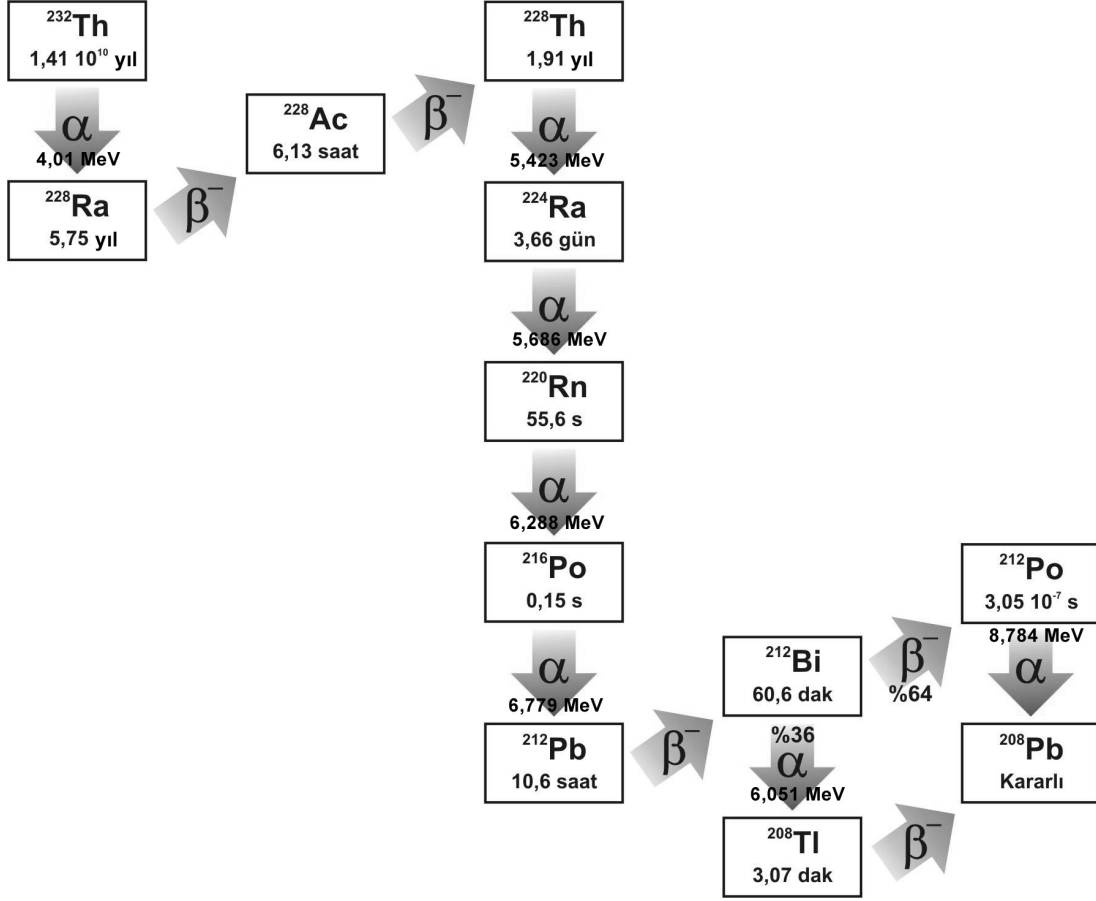
Doğal uranyum esas olarak U-234, U-235 ve , U-238 izotoplarından oluşur. Uranyum; atom numarası 92 ve atom ağırlığı 238,09 olan radyoaktif bir elementtir. Spesifik aktivitesi 12,33 Bq/mg' dır.



Şekil 1. U-238 bozunum serisi.

## 2.2.TORYUM

Bir diğer doğal radyoaktif bozunum serisinin ana elemanı Th-232' dir. Toryum serisi 11 ürün nüklidi içerir (Şekil 2.). Kompleks bir gama spektrumu verir ve hemen hemen hepsi daima kararsızdır. Ürün nüklidler sırasıyla : Toryum-232, Radyum-228, Aktinyum-228, Toryum-228, Radyum-224, Radon-220, Polonyum-216, Kurşun-212, Bizmut-212, Polonyum-212, Talyum-208 ve son olarak kararlı Kurşun-208 izotopudur. Toryum serisi içinde en uygun karakteristik gama piki, Talyum-208' e ait olan 2.615 MeV enerjili piktir. Ayrıca Th-232, doğal Toryumun en önemli radyo izotopudur. Th-232' nin yarı ömrü  $1.39 \times 10^{10}$  yıl, spesifik aktivitesi ise 4.1 Bq/mg 'dır. Doğal kaynakların jeolojik ölçüm ve tahlilleri amacıyla karakteristik üç gama enerjisi 1.461 MeV (K), 1.764MeV (U) ve 2.615 MeV (Th) kullanılır(31).



Şekil 2. Th-232 bozunum serisi.

### 2.3.POTASYUM

Doğal potasyumun küçük bir kısmı (% 0,12) radyoaktif K-40'dır. K-40'ın bozunması, 1,461 MeV'lik gama çıkışına neden olur. K-40'ın bozunumu sonucunda oluşan ürün çekirdek karalıdır. Yer kabuğunun % 2,6'sını oluşturması nedeni ile potasyum önemli bir elementtir. Boşluğu yaklaşık olarak 0,012 olan radyoaktif potasyumun yarı ömrü  $1,26 \times 10^9$  yıl ve spesifik aktivitesi 3,3 Bq/g'dır. Bunun anlamı K-40'ın her türlü koşulda konsantrasyonu sabittir ve gram başına saniyede 3,3 gama ışını yayınlar(31).

### 2.4.RADON GAZININ SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİ

Genelde insanlar zamanlarının hemen hemen %90'nını kapalı mekanlarda geçirdikleri için radona maruz kalmaları önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Binalardaki radon kaynağının büyük bir kısmı, binanın temelindeki toprak ve kayalardır. Radonun büyük kısmı, binalara altındaki toprak ya da kayalardan girer. Radon ve diğer gazlar, toprak boyunca yükselir, binanın altında hapsolür. Hapsölen bu gazlar basınç oluşturur. Evlerdeki hava basıncı genelde topraktaki basınçtan daha düşüktür. Binanın altındaki bu yüksek basınç nedeniyle gazlar yerden ve duvarlardan, daha çok çatlak ve boşluklardan, bina içlerine sızarlar.

Radon özellikle yer altı suyu olmak üzere, suda da çözünebilir. Tipik olarak musluktan akan su içindeki radonun 10000'de biri havaya yayılır. Sudaki radon miktarı arttıkça, bina içindeki radon düzeyi de artacaktır. İnşaat sektöründe kullanılan yapı malzemelerinde bulunan eser miktardaki uranyum da binalardaki radon düzeyini artırıcı etmenlerden birisidir.

Radonun reaktivitesi zayıftır. Bu nedenle teneffüs edildiğinde dokulara kimyasal olarak bağlanmaz. Ayrıca dokulardaki çözünürlüğü çok düşüktür. Ancak radon bozunma ürünleri toz ve diğer parçacıklara tutunarak radyoaktif aerosoller oluştururlar. Bu nedenle taşınarak solunum yoluyla alınabilirler. Bozunma ürünleri kararlı hale gelinceye kadar bozunma devam eder; bozunma sürecinin her aşamasında radyasyon salımı olur. Solunum borusunda olan bozunma sonucunda, bronş epiteldeki radyasyon dozu artar. Bozunma ürünlerinin bazılarının alfa yayıcı olmaları nedeniyle alfa radyoaktivitesinin biyolojik etkileri önem kazanmaktadır.

Radon gazının teneffüs edilmesi, solunum yetmezliği, baş ağrısı, öksürük gibi akut etkilere neden olmaz. Radyoaktif bozunmaya uğrayan radon gazı, teneffüs edildiğinde akciğerler tarafından tutulabilecek parçacıklara dönüşür. Bu parçacıkların bozunması devam ettiğinde ortaya çıkan enerji, akciğer dokusunda hasara, dolayısıyla zaman içerisinde kansere sebep olur. Ancak bu, yüksek dozda radona maruz kalmış herkes akciğer kanserine yakalanacak anlamına gelmez.(32)

Sigara, kanser riskini artırmaktadır. Hem sigara içip, hem de yüksek dozda radona maruz kalmış kişilerde kansere yakalanma riski oldukça yüksektir. Sigaranın bırakılıp, maruz kalınan radon seviyesinin düşürülmesi ile kanser riski azaltılacaktır.

Radon risklerinin azaltılması için alınabilecek tedbirler;

- Yapı malzemelerin radyoaktivite analizi ve doz değerlendirmeleri yapılarak, değerlendirme sonuçları tavsiye edilen radyoaktivite düzeylerinin üzerinde olan malzemeler bina yapımında kullanılmamalıdır.
- Binaların, özellikle bodrum katlarının toprakla izolasyonu iyi yapılmalıdır. Bodrum katların ve zemin katların tabanına şap, beton vb. dökülmelidir. Toprak ile temas eden yüzeyler sızıntıya imkan vermeyecek şekilde izole edilmelidir.
- Radon düzeyi yüksek olabileceğinden, 20 yıldan eski olan evlerde çatlakların kapatılması, izolasyon ile bakımı sürekli yapılmalıdır. Yerden ve duvarlardan bina içine sızan radon gazı bina dışına çıkamazsa bina içindeki konsantrasyon artacaktır. Bu nedenle kapalı ortamların havalandırılmasına özen göstermelidir.
- Evlerde kapı ve pencerelerde izolasyon yapıldıysa havalandırma süresi arttırılmalıdır.
- Radonun kanser riskini arttırdığından, kapalı ortamlarda sigara içilmemelidir.

Havadaki toz taneciklerine kolayca yapıştığından, radon ürünleri sağlık riski yönünden radondan daha tehlikeli sayılmaktadır.

Bütün doğal kaynaklardan, insan akciğerlerinin maruz kaldığı radyasyon dozunun %57 oranındaki bölümünü radon ve ürünlerinin yayımladığı alfa radyasyonu oluşturur.

Radon, uranyum ve radyumun bulunduğu her yerde bulunur. Dünyanın oluşumu sırasında yüksek enerji içeren nükleer reaksiyonlar sonucu radyoaktif elementler meydana gelmişler. Dünyanın oluşumundan sonra yer kabuğu ve yer yüzeyi bir çok olaya maruz kaldığından, uranyum ve toryum yer

kürenin üst kabuğunda kütle halinde ve yüksek yoğunlukta bulunmaz. Buna karşılık, yüzeyden 10 km derinliğe kadar yer kabuğunun her yerinde bu elementler az veya çok miktarda mutlak suretle bulunmaktadır. Bütün dünyada yalnız 100 ton, toprakta ise ortalama 1pCi/L civarında bulunmaktadır(33).

Araştırmalar radon gazının biri toprakta diğeri ise yer altı ve yüzey sularında olmak üzere başlıca iki ortamda bulunduğunu ve atmosfere bu ortamlardan yayıldığını göstermektedir.

### **2.5.BİNA İÇİ RADON KAYNAKLARI**

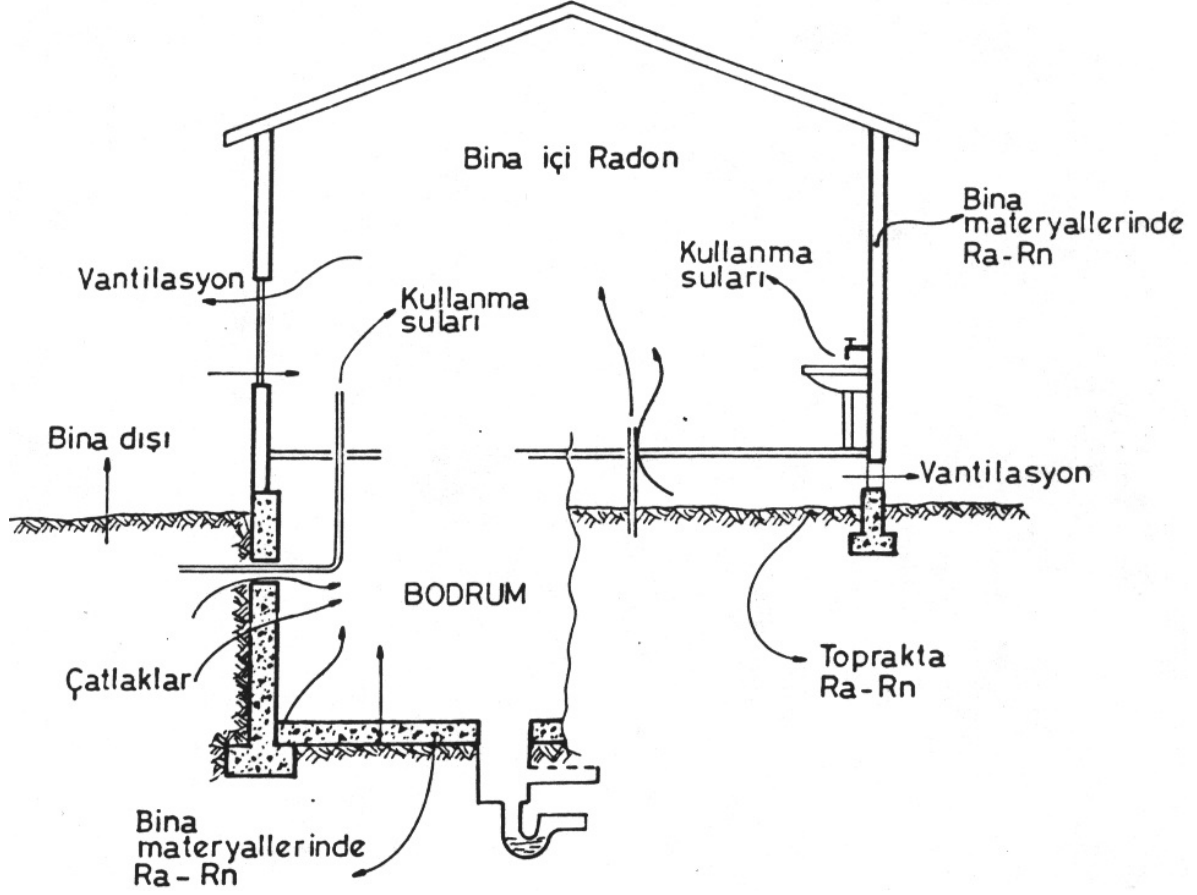
Doğal olarak çevreden alınan radyasyon dozuna ek olarak alınacak her doz insan sağlığı için bir risk oluşturur. Günümüzün problemlerinden biri, bina içi ortamlarda radon gazı yoğunluğunun yüksek olabilmesi ve insanların bu kaynaktan gelen ek radyasyona maruz kalmasıdır.

Radon gazının solunmasının ve bozunma ürünlerinin insanların maruz kaldığı toplam doza oldukça büyük bir katkısı vardır(34).

Kapalı bir ortamda radon konsantrasyonu oluşumuna katkıda bulunan faktörler şunlardır (Şekil 3):

- 1- Yapı malzemelerinin radyum içermesi nedeniyle radon dış solması
- 2- Toprağın içersindeki radon gazının binanın temelindeki gözeneklerden ve çatlaklardan bina içine girişi
- 3- Toprak gazının topraktan dışarı kaçması ile yer atmosferinde radon konsantrasyonu oluşması, bina içi basınç ve sıcaklık farkları nedeniyle açık pencere ve kapılardan içeriye radon girişi
- 4- Bina içi aktiviteler nedeniyle sulardan bina içi atmosfere radon karışması





**Şekil 3.** Radon gazının bina içine girişi

Ayrıca bu katkıların yanı sıra bina içindeki radon konsantrasyonunun değişimini etkileyen faktörleri de 4 grupta toplayabiliriz:

- 1-Yapı malzemelerinin radyum ,içerikleri, maddenin gözenekliliği ve yoğunluğu
- 2-Binanın mimari yapısına bağlı olarak kapalı yerin hava değişimi, ventilasyonu
- 3-Atmosferik basınç, rüzgar, nem ve sıcaklık gibi meteorolojik koşullar
- 4-Kapalı yerin kullanımında insan aktiviteleri ( odanın kullanımı,suyun kullanımı gibi...)

## 2.6. BİNA İÇİ ARAŞTIRMALARIN SONUÇLARI

Son günlerde çeşitli ülkelerdeki araştırmalar tamamlanmıştır ve bunlar Çizelge-1'de görülmektedir. Bu büyük çaptaki araştırmaların amacı; popülasyonun maruz kaldığı dağılımı, problemler için aramalar yaparak veya doğal yüzeyleri yükseltici ve azaltıcı iyileştirici etkilerden birini önererek yada yapay geliştirme çalışmaları yaparak elde etmektir(34).

Çizelge 1. Çeşitli Ülkelerde Elde Edilen Bina İçi Radon Konsantrasyonları(34)

Yapılan Büyük Ölçekli Ev Araştırmalarında Elde Edilen Radon ve Eşdeğer Denge Konsantrasyonları									
Ülke yada Bölge	Evlerin Sayısı	Konutların tipi	Örnek Tipi	Araştırmanın Amacı	Bitiş Tarihi	Ortalama Değer		Dağıtım yada Diziliş	
						Radon	Radon EEC		
PortHope	2960	Ev	Yeraltından Alınan Radon Örnekleri	endüstriyel kirliliğin iyileştirilmesi	1976	36	11	Log-Normal	
Uranyum Şehri	632	Ev	Yeraltından Alınan Radon Örnekleri	evlerde artan radon düzeylerinin nedenleri	1976		48	Log-Normal	
Elliot Gölü	1921	73 Ev, 6 Apartman			1976		30	Log-Normal	
Bancroft	1162	Ev	Yeraltından Alınan Radon Örnekleri		1977		26	Log-Normal	
Saskatchewan	155	Ev	Radon Ürünleri, Yakalanan Örnekler	radon sorunu olan bölgelerin indeks haritası	1980		11	Log-Normal	
	74						28	Log-Normal	
	438						65		
	175						13		
	770						16		
	961								
Çin	896	Ev		nüfusun maruz kaldığı	1983	120	80		
Beijing	537	364 Ev, 173 Apartman		nüfusun maruz kaldığı	1987	30			
Danimarka	400	Ev	oturma ve yatak odasında 3 ayda maruz kalınan pasif radon	nüfusu geniş ulusların maruz kalması	1985	50			
Almanya	5970	Ev	oturma ve yatak odasında 3 ayda maruz kalınan pasif	nüfusu geniş ulusların maruz kalması	1984	40	13	Log-Normal	

			radon						
Finlandiya	8150	Ev	oturma odasında 1 ayda maruz kalınan pasif radon	nüfusu geniş ulusların maruz kalması	1982	64			Log-Normal
Fransa	765	Ev	bir ayda maruz kalınan aktif radon ve RnD	nüfusu geniş ulusların maruz kalması(başlangıç sonuçları)	1985	44			Log-Normal
Macaristan	833	Ev	Radon ürünleri,yakalanan örnekler 1h vantilasyon değerine indirgenmiş veriler	nüfusun maruz kaldığı	1972		12		Log-Normal
İrlanda	736	Ev	6 ayda maruz kalınan pasif radon	Nüfusu geniş ulusların maruz kalması(başlangıç sonuçları)	1987	37			Log-Normal
İtalya	1000	Ev	3-12 ayda maruz kalınan pasif radon	nüfusu geniş ulusların maruz kalması(kısmi sonuçları)	1984	43			
Japonya	250	Ev	radon,2 ayda bir alınan elektrostatik toplayıcı,toplam 1,5 yılda maruz kalma	nüfusu geniş ulusların maruz kalması	1988	10			
Hollanda	1000	Ev	oturma odasında 4 ayda maruz kalınan pasif radon	nüfusu geniş ulusların maruz kalması	1985	24	10		
Norveç	1500	Ev	bir haftada maruz kalınan pasif radon	coğrafi değişimin değerlendirilmesi	1985	90			
Polonya	201	Apartman	radon ve radon ürünleri,en kötü vantilasyon durumlarında yakalanan örnekler	nüfusu geniş ulusların maruz kalması	1978	9	4		Log-Normal
İsveç	315	Müstakil Ev (1975 Öncesi)					122		Log-Normal
	191	Apartman (1975	oturma ve yatak odasında 2 haftada	nüfusu geniş ulusların maruz	1982	65	105		

		Öncesi)	maruz kalınan pasif radon	kalması				
	96	(1978-1980 Arası) Evler				85		
	38260	Müstakil Ev (1980 Öncesi)		yüksek radon düzeyleri ile evler için araştırma		46		
	8008	Apartman (1982 Öncesi)		yüksek radon düzeyleri ile evler için araştırma		59		
İsviçre	123	Ev	giriş katı,oturma ve yatak odasında dedektörle bulunan pasif radon	nüfusu geniş ulusların maruz kalması	1982	60		Log-Normal
	105	Ev		hava şartlarına dayanıklı ve geleneksel evlerin karşılaştırılması	1983	150		
İngiltere	2300	Ev	oturma ve yatak odasında 1 yılda maruz kalınan pasif radon	nüfusu geniş ulusların maruz kalması	1985	17		Log-Normal
ABD	552	Ev	Değişim	nüfusu geniş ulusların maruz kalması	1984	35		Log-Normal

Yüksek radon konsantrasyonları, toprakta bulunan radonun yüksek bir akışı, bina malzemelerinde yüksek oranda bulunan gaz, yukarıda sözü edilen faktörlerin bir bileşimi veya musluk suyundaki yüksek radon konsantrasyonu çevresel karakteristiklere ve binanın planına bağlıdır. Evin içindeki, çok yüksek radon konsantrasyonlarının büyük bölümü, topraktan giriş yapan yüksek radon oranlarına bağlanabilir; apartmanlarda ise bina malzemelerinin etkisi daha önemlidir.

Yunanistan'da 30 apartman ve 28 müstakil evde bina içi radon konsantrasyon ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada bina içi radon seviyeleri için, müstakil evlerdeki bodrumlar, apartmandaki kat sayıları ve mevsim etkileri göz önüne alınmıştır. Elde edilen sonuçlara bakılırsa tahmin edildiği üzere maksimum değer kış aylarında ve minimum değer yaz aylarında görüldü. Bunun yanında aynı evlerin farklı katlarındaki radon konsantrasyonundaki farklılıklarda önemlidir ve çalışmada alt kattan üst kata kadar lineer bir azalma izlendi. Ortalama radon konsantrasyonu müstakil evler için  $41 \text{ Bq/m}^3$ ,

apartmanlar için  $28 \text{ Bq/m}^3$  ve bütün evler için ortalama  $38 \text{ Bq/m}^3$  bulunmuştur. Bu değerlerin ortalama efektif doz eşdeğerleri sırasıyla 1,1 , 0,7 ve  $0,9 \text{ mSvy}^{-1}$ 'dir. Kış süresince müstakil evlerde yaşayan insanlar ortalama efektif doz eşdeğerinin  $2,1 \text{ mSvy}^{-1}$  olduğu yerlerde daha yüksek riske oluşur(35).

Hindistan'da benzer bir çalışma yapılmış, radon konsantrasyonları SSNTD (Katı hal nükleer iz kazıma dedektörü) kullanılarak farklı katlardaki radon konsantrasyonları değişimleri incelenmiştir(36). Elde edilen sonuçlar,

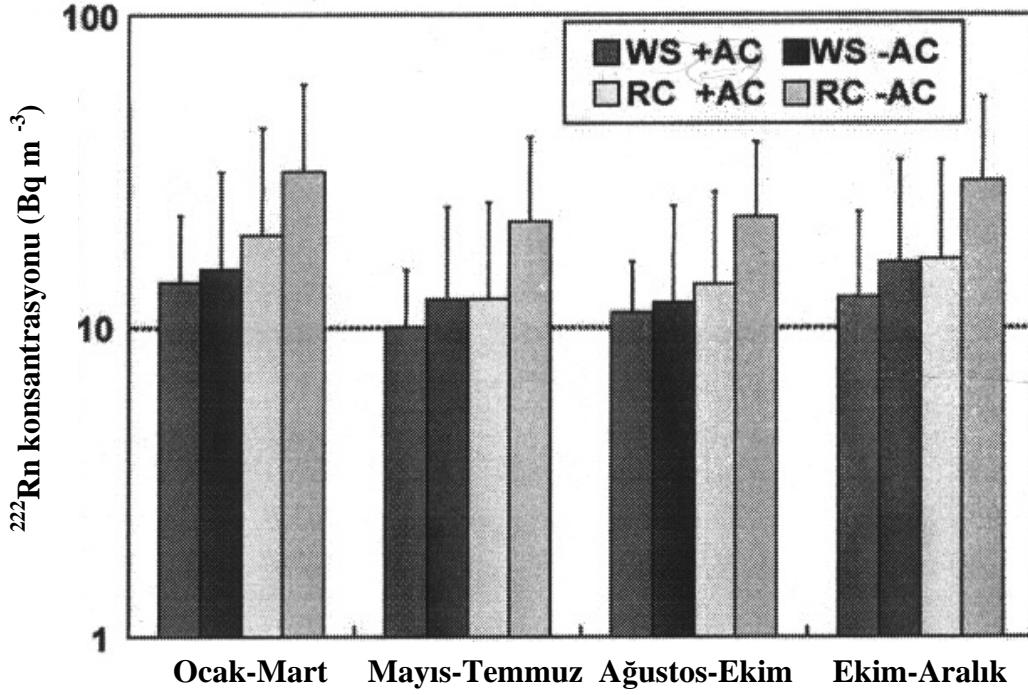
Yer	Rn-222 konsantrasyonu ( $\text{Bqm}^{-3}$ )
Zayıf Havalandırma	
Zemin Kat	42,50
1. kat	31,00
2. kat	25,60
İyi Havalandırma	
1.kat	26,20
2.kat	19,50
3.kat	14,90

Radon konsantrasyonları,ortalama olarak evlerde apartmanlardan daha yüksek görülmesine ilişkin bir olayda İsveç araştırması ve Federal Almanya araştırmasından çok daha iyi şekilde görülmektedir ve apartmanlarda yaşayanların çok olduğu Polonya ve Avusturya da ki radon konsantrasyonlarının nispeten azlığını açıklayabilmektedir. UNSCEAR 1982 deki raporda tahmin edilmiştir ki; radonun bina içindeki denge eşdeğer konsantrasyonu dünyanın ılıman bölgelerinde  $15 \text{ Bq/m}^3$  tür. Tablo-1'de gösterilen birkaç araştırmanın sonucu bu değeri doğrulamaktadır. Yüksek enlemler ve ılıman yerlerde yaşayan 750 milyon insan üzerinde yapılan değerlendirmeler göstermektedir ki bina içinde elde edilen radon konsantrasyonu  $51 \text{ Bq/m}^3$  değerindedir. İlçelerde yapılan yöntemlerin aritmetik ortalaması  $55 \text{ Bq/m}^3$  tür. Tropikal bölgelerdeki bina içi radon konsantrasyonları üzerine az bilgi vardır. Hindistan da bina içindeki radon konsantrasyonu  $15 \text{ Bq/m}^3$  ve eşdeğer faktörü 0,43 ;değerleri normal bölgelerin değil de tropikal bölgelerinmiş gibi ele alınır(37). Hong Kong taki bina içi ölçümlerden orta radon konsantrasyonu  $34 \text{ Bq/m}^3$  elde edilmiştir ve bu tropikal bölgeleri temsil eden düşünce değildir. Tropikal bölgelerdeki bina içi orta radon konsantrasyonlarının varsayılan değerinin sağlamlığı ölçülü enlemlerden küçüktür. Fakat bulunan temel veriler güvenilir bir değerlendirme olmadan yapılmıştır. Dünya nüfusunun yoğun olduğu yerlerdeki bina içi radon konsantrasyonu oranı  $40 \text{ Bq/m}^3$  bu bölgedeki geçici varsayımdır(38).

Yine bina içi radon konsantrasyonları ile ilgili bir çalışma da Japonya'da yapılmıştır (Şekil 4.) Çalışma Rn-222'nin günlük değişimini bina yapısına (RC=Sağlam yapılı ve SFC=Ahşap yapılı ev), hava koşuluna, günün belli saatlerine ve haftanın belli günlerine göre değişimini incelemiştir. Bulunan sonuçlarda çalışma saatleri süresince radon konsantrasyonunun diğer saatlerden daha düşük olduğu görüldü. Yine çalışmada havalandırma olmadan sağlam yapılı binalardaki radon konsantrasyonunun diğerlerinden daha yüksek olduğu, binadışı radonun havalandırma nedeniyle genellikle bina içi

radondan daha düşük olduğu, sağlam yapılı evlerindeki radon konsantrasyonunda bina sıklığı ya da havayı tutma sıklığı nedeniyle ahşap binalardan daha yüksek olduğu sonuçları bulunmuştur.(39)

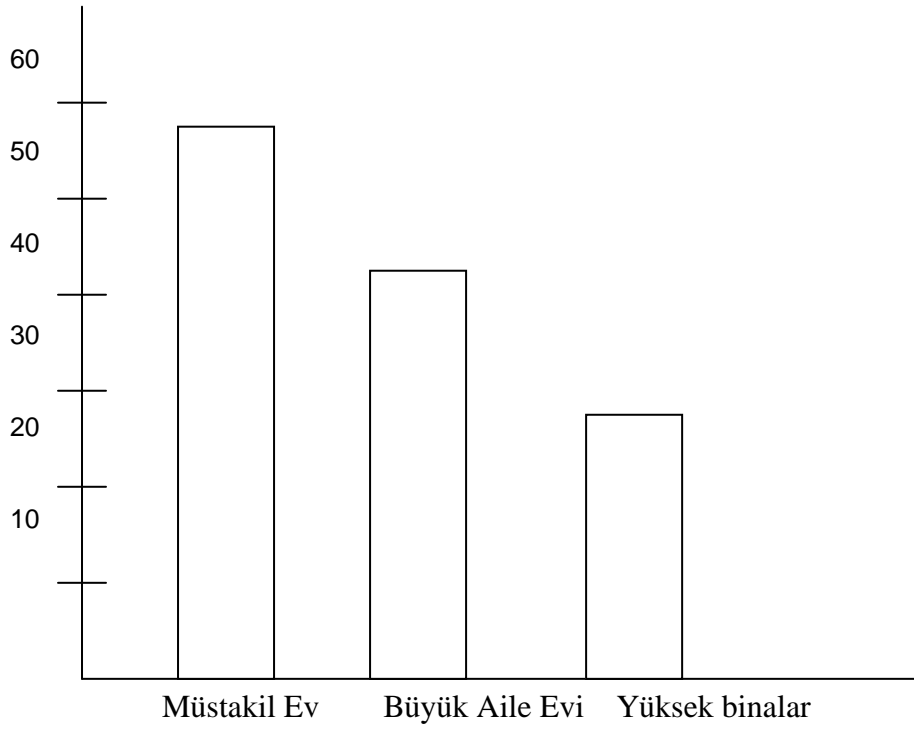
Yu ve arkadaşları 1996 yılında Hong-Kong'da yüksek katlı beton apartmanlardaki radon konsantrasyonunu ölçtüler. Oturma odalarındaki Rn-222 konsantrasyonunun yüksek olduğunu buldular.



**Şekil 4.** Betonarme ve ahşap binalardaki hava koşullarına bağlı olarak radon konsantrasyonunun değişimi (WS+AC=Ahşap yapılı havalandırmalı, WS-AC=Ahşap yapılı havalandırmasız, RC+AC=Sağlam yapılı havalandırmalı, RC-AC=Sağlam yapılı havalandırmasız)(39)

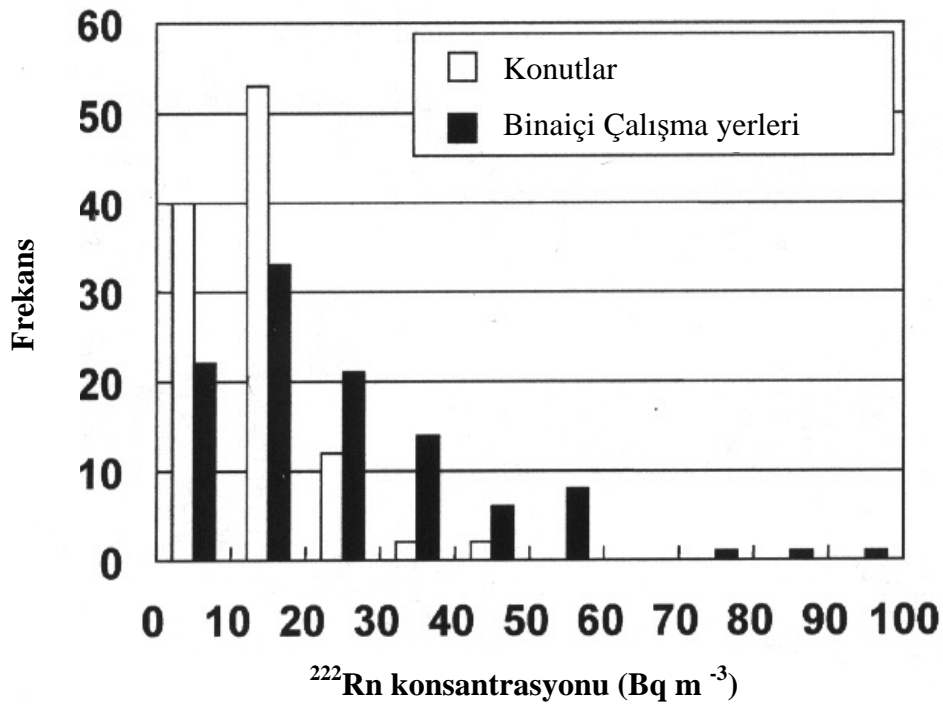
Ev tiplerine göre yapılan bir çalışma sonucunda elde edilen radon konsantrasyon düzeyleri Şekil 5'de verilmektedir(34).

Radon konsantrasyonu  $Bq m^{-3}$



Şekil -5 Çeşitli ev tiplerinde vasat radon konsantrasyon düzeyleri (34)

Kullanım şekline göre de (çalışma yerleri ve konut olmasına göre) de radon konsantrasyonu farklılıklar göstermektedir( Şekil 6).



## **Şekil 6.** Konutlardaki ve çalışma yerlerindeki radon konsantrasyon değerleri

Bina içi radon konsantrasyonlarını mevsimlik değişimlerde önemli ölçüde etkilemektedir. Bir yıl boyunca evlerdeki ortalama radon konsantrasyonu %50 ile %100 arasında değişmektedir. Yaz aylarında sıcaklık artışı nedeniyle pencere ve kapıların açılması ventilasyon etkisi yaratır. Bundan dolayı bina içi radon seviyesi önemli ölçüde düşer. Kış aylarında bina içi radon seviyesinde ise artış gözlenir(40).

### **2.7. ÇİMENTO VE BETONDAKİ KATKI MADDELERİ**

Çimento kalsiyum, silisyum, alüminyum ve demir oksitlerin belirli oranda ve şartlarda karıştırılarak klinkerleşme sıcaklığına kadar pişirilmesi sonucu elde edilen ve yeterli miktarlarda öğütülerek aranan fiziksel özellikleri gösteren bir bağlayıcı malzeme olarak tanımlanabilir.

Günümüzde kullanılan çimentonun üretiminde atık kullanımı giderek önemli boyutlara varmaktadır. Çimentoya bağlayıcı özelliği kazandırılmak amacıyla puzolanlar karıştırılır. Bunlar doğal ve suni puzolanlar olarak ikiye ayrılır.

Doğal puzolanların minerolojik yapısından dolayı uranyumun iz veya yüksek oranlarda bulunması beklenir.

Suni puzolanlara en iyi örnek uçucu küllerdir. Uçucu kül termik santrallerde kömürün yanması sonucu oluşan yan ürünlerdir. Kömür bilindiği gibi doğal radyoaktif elementleri bünyesinde bulundurur. Kömürün yanması ile kömürün yapısındaki radyonüklidler uçucu kül, dip külü ve curuf olmak üzere bu üç atıkta konsantre olur. Uçucu küllerde radyonüklidlerin konsantrasyonu en fazladır. Bu nedenle uçucu küllerin çimento katkı maddesi olarak kullanılması bina materyallerinde radyoaktivite ile ilgili çalışmaların yapılmasına neden olmaktadır (41).

## **3. MATERYAL VE METOD**

### **3.1 GAMA SPEKTROMETRESİ İLE BİNA MATERYALLERİNDE RADYOAKTİVİTE TAYİNİ**

Manisa ilçesi ve çevre yerleşim beldelerden bina materyali olarak kullanılan toprak, çimento, tuğla örnekleri toplandı. Alınan örnekler naylon poşetlere konularak laboratuvara getirildi. Toprak örnekleri elendikten sonra fırında 105 °C'de 1 gün süreyle kurutuldu. Kurutma işleminden sonra her bir örneğin 100 gramı tartılıp, yüksekliği 6,5 cm, eni 4,5 cm genişliği 3,5 cm olan plastik kutulara yerleştirildi ve radonun kaçmaması için kutular sıkıca yapışkanla kapatıldı. Örnekler içindeki radyum ve ürünleri arasındaki radyoaktif dengenin oluşması için 43 gün beklendi. NaI(Tl) dedektörü kullanılarak bekleme sonunda örneklerin toplam gama sayımları ve ayrıca çok kanallı analizörde K-40, U-238(Bi-214) ve Th-232 (TI-208) ait (sırasıyla 1,46 MeV, 1,76 MeV ve 2,61 MeV) enerjilerine karşılık gelen gama piklerinin altındaki alanlardan gidilerek elementlere ait gama sayımları ppm olarak elde edilmiştir.



### 3.2.GAMA SPEKTROMETRESİYLE eU, eTh ve % K TAYİNİ

Örnekler içinde U, Th ve K değişik konsantrasyonlarda ve birlikte bulunurlar. Alınan spektruma bu üç elementten de katkı gelmektedir. Bu katkılar ve konsantrasyonlar belirli formüllerle tayin edilmektedir(25)

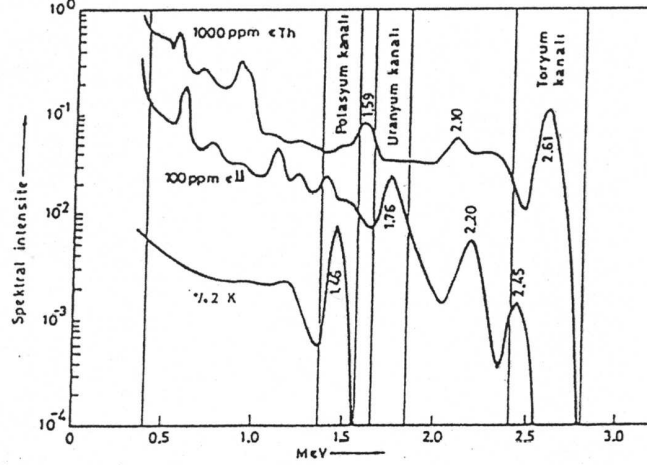
Potasyum spektrumu, tek enerjili gama kaynağına karşı NaI (TI) dedektörünün tipik bir cevabıdır. K-40 pikinin enerjisi 1,461 MeV gama ışınının compton saçılması yapmasından ileri gelmektedir. Uranyum spektrumu, çok sayıdaki değişik gama enerjili ürün radyonüklidlerden dolayı potasyuma nazaran daha komplekstir. Spektrumda Bi-214'den gelen 1,76 MeV enerjili gama piki, örnek içindeki eU-238'i tespit etmek için kullanılır. Toryum spektrumunda, ürün radyonüklidlerin bozunmasıyla oluşan birçok gama ışını pikine sahiptir. Bunların en önemlisi TI-208'dir. Bu pik, eTh-232'i tespit etmek için kullanılır. Toprak örneklerinde K, U, Th tayini yapmak için spektrumlarda bu anlattığımız gama enerjilerine karşılık gelen enerji aralıkları seçilir. Seçilen enerji aralığına düşen net sayımdan dolayı, örnek konsantrasyonunu hesaplamak için o enerji aralığına diğer elementlerden gelen gama ışınlarının katkısının çıkarılması gerekir (42).

**Toryum Kanalı:** Toryum için seçilen kanallardaki sayımların %86 sı toryumdan, %2 si uranyumdan, geri kalanda art ortamdan gelmektedir. Şekil 7.'deki gibi uranyum spektrumundaki Bi-214'ün 1,76 MeV enerjili gama pikinden bu kanala küçük bir katkı gelir.

**Uranyum Kanalı:** Spektrumda uranyum için seçilen kanallara toryumdan ihmal edilmeyecek katkılar gelir. Toryum serisinden TI-208'in 2,614 MeV enerjili gamasından kaynaklanan tek kaçak pik 2,10 meV'de ve çift kaçak pik 1,59 MeV'de oluşur. Uranyumu saptamakta kullanılan 1,76 MeV gama enerjisine sahip pik, bu iki enerji arasındadır. Bunlardan başka toryum serisinde Ac-228'in 1,588 MeV enerjili gaması da uranyum kanalındaki sayımlara katkıda bulunur. Bu yüzden, uranyum kanallarındaki sayımlar uranyum konsantrasyonu hesabında doğrudan kullanılmazlar.

**Potasyum Kanalı:** Bu kanaldaki sayımların çoğu art ortamdan kaynaklanmaktadır. Sistemin bulunduğu yerdeki ortamdan, bu kanala gelen katkılar %65 dolayındadır. Toryum ve uranyumdan gelen katkılar %15-20 arasındadır. Bu kanallardaki sayımlarda doğrudan konsantrasyon hesabında kullanılmaz.

Potasyum, uranyum, toryum konsantrasyonlarını saptamak için seçilen kanallardaki katkıları uygun faktörlerle çıkarmak gerekir. Bu katkı oranlarını geometriye ve spektrometrenin çeşitli ayarlarına bağlı olarak veren faktörlere 'Sıyırma' (Stripping) oranları denir. Net sayımlardan %K, ppm eU, ppm eTh olarak konsantrasyona geçmeyi sağlayan faktörlere de 'Duyarlılık' faktörleri denir (42).



**Şekil 7.** Potasyum, Uranyum ve Toryum Kanallarına Gelen Katkıları(42)

#### Duyarlılık Faktörleri:

$$K_1 = C(\text{Th}) / \text{Th (ppm)}$$

C (Th): Toryum kanalındaki net sayım.

Th (ppm): Hazırlanan standart kaynağın ppm olarak değeri.

$$K_2 = C(\text{U}) / \text{U (ppm)}$$

C (U): Uranyum kanalındaki net sayım.

U (ppm): Hazırlanan standart kaynağın ppm olarak değeri.

$$K_3 = C(\text{K}) / \%K$$

C (K): Potasyum kanalındaki net sayım.

%K: % olarak potasyum miktarı.

#### Sıyırma Oranları:

$$\alpha = \text{Toryumdan Uranyuma gelen katkı} / \text{Toryum net sayımı}$$

$$\beta = \text{Toryumdan Potasyuma gelen katkı} / \text{Toryum net sayımı}$$

$$\gamma = \text{Uranyumdan Potasyuma gelen katkı} / \text{Uranyum net sayımı}$$

Hazırlanan uygun standartlar ile duyarlılık faktörleri ve sıyırma oranları saptandıktan sonra, örnek içindeki konsantrasyonlar aşağıdaki eşitlikler tarafından bulunur.

$$e\text{Th (ppm)} = C(\text{Th}) / K_1$$

$$e\text{U (ppm)} = 1 / K_2 [ C(\text{U}) - \alpha C(\text{Th}) ]$$

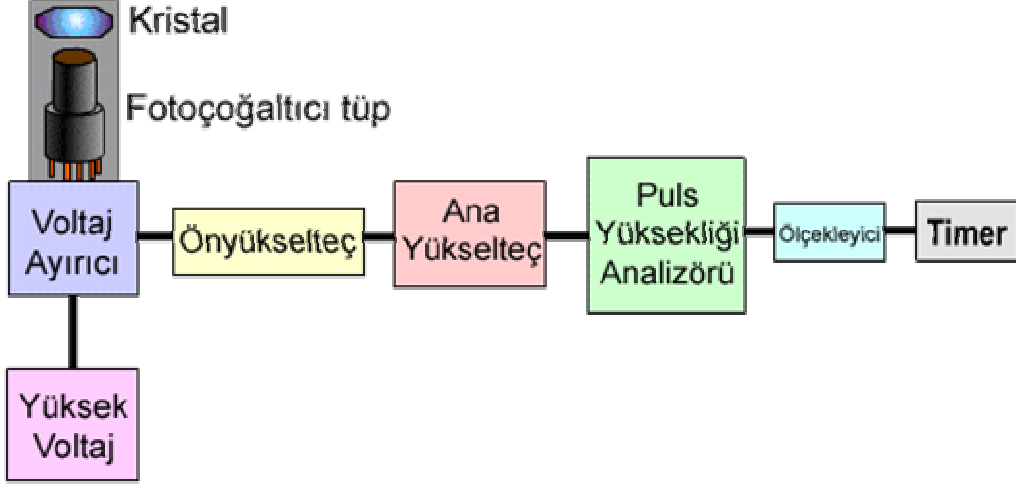
$$\% K = 1 / K_3 [ C(\text{K}) - \gamma [ C(\text{U}) - \alpha C(\text{Th}) ] - \beta C(\text{Th}) ]$$

Bu çalışmada, enstitümüzde daha önceden hazırlanmış olan potasyum % 52.45'lik, uranyum 118 ppm'lik, toryum 600 ppm'lik standartlar kullanıldı. Ayrıca art ortam içinde hazırlanmış bir standart kullanıldı.

### 3.3.ÇALIŞMADA KULLANILAN GAMA SPEKTROMETRE SİSTEMİ

Çalışmamızda 3"x 3" (inçlik) Nal(Tl) sintilasyon dedektörü kullanılarak ölçümler yapıldı. Sistemi oluşturan parçalar şunlardır: Nal (Tl) sintilasyon dedektörü, fotoçoğaltıcı tüp, tüp ayağı ve preamplifikatörü, Ortec model 478 yüksek voltaj kaynağı, Ortec Maestro bilgisayar programlı puls yüksekliği analizöründen oluşmaktadır. Dedektör sistemi ve örneğin bulunduğu odacığın yüksekliği yaklaşık olarak 45 cm, çapı 25 cm 'dir. Tabanlarda ve yan yüzlerde kurşun bloklar bulunmaktadır.

Kurşunun konmasının sebebi, bina yapı malzemelerinden ve çevreden gelebilecek radyasyonu en aza indirmektir. Spektrometre sisteminin blok diyagramı Şekil 8. deki gibidir.



**Şekil 8.**Gama spektroskopisi çalışma sistemine ait blok diyagramı

Gama spektrometresinde işlem yapabilmek için spektrometrenin kalibrasyonu şarttır. Diğer bir deyişle standart gama kaynaklarından alınan gama ışınları çok kanallı analizör kullanılarak kanal sayısı ile gama enerjisi arasındaki kalibrasyon doğrusu çizilmelidir. Çalışma esnasında, kullanılan gama enerjileri bölgesinde spektrometrenin enerji lineerliği sürekli kontrol edilmelidir. Enerji kalibrasyonu yapılırken, dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta ise spektrometrenin ölü zamanının her zaman aynı olmasıdır. Spektrometre Co-60 ve Cs-137 standart kaynaklarının 1,17 MeV, 1,33 MeV ve 0,662 MeV gama enerjileri kullanılarak kalibre edilmiştir.

Manisa Beldesinden 48 istasyondan alınan çimento, tuğla ve kum örnekleri öncelikle kurutuldu, elendi ve 100gr tartılarak kutulara hava almayacak şekilde kapatıldı. Örnekler kapalı kutularda bir ay bekletildi. Daha sonra alınan örneklerdeki %K, eU ve eTh sonuçları gama spektrometresi yöntemiyle tayin edildi(Tablo1.). Bu sonuçlar aşağıdaki dönüşüm faktörleri kullanılarak Bq/kg' a çevrildi. Dönüşüm Faktörleri,

$$\%1 K = 296 \text{ Bq/kg} ,$$

$$eU(1\text{ppm}) = 12.58 \text{ Bq/kg} ,$$

$$eTh(1\text{ppm}) = 4.07 \text{ Bq/kg}$$

olarak kullanılmıştır(4).

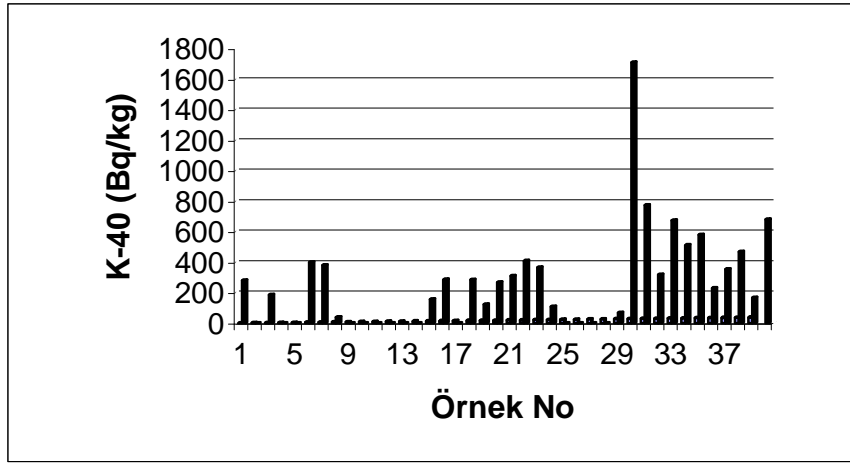
#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Manisa İlinde toplanan bina materyali olarak kullanılan 41 adet kum, çakıl ve kırma taş, 3 çeşit çimento ve 5 çeşit tuğla örneklerindeki K-40, U-238, Th-232 aktivite konsantrasyonları Çizelge 2. de verilmektedir. Manisa Beldesinde İnşaat malzemesi olarak kullanılan 41 adet kum, çakıl ve taş kırması örneklerinin K-40, U-238 ve Th-232 aktivite konsantrasyonları Grafik Şekil 9, 10 ve 11'de verilmektedir.

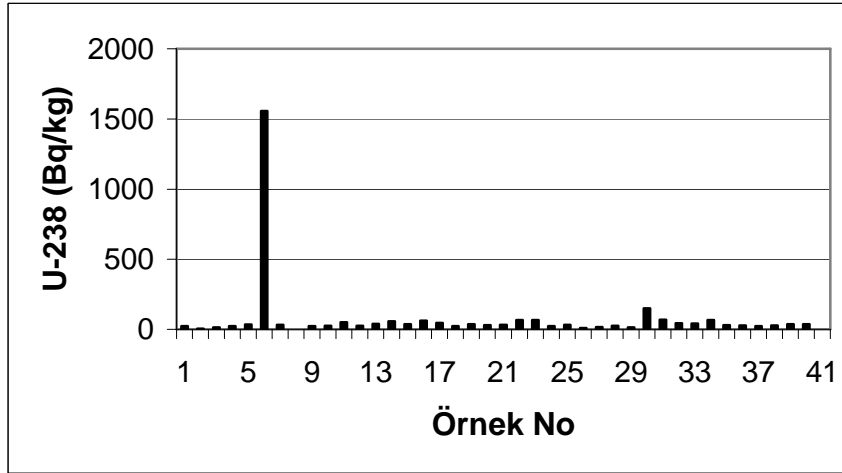
Çizelge 2. Kum, çakıl ve taş kırması örneklerinin K-40, U-238 ve Th-232 aktivite konsantrasyonları

örnek no	Th Bq/kg	U(Bq/kg)	K (Bq/kg)
1	5,17	23,55	281,85
2	LLD	3,85	LLD
3	LLD	13,42	186,98
4	LLD	22,87	LLD
5	LLD	34,11	LLD
6	<b>20,68</b>	<b>1556,10</b>	<b>LLD</b>
7	2,92	32,36	400,95
8	9,89	13,81	381,79
9	LLD	LLD	40,29
10	LLD	22,5	LLD
11	LLD	25,64	LLD
12	LLD	50,46	LLD
13	LLD	24,28	LLD
14	LLD	38,66	LLD
15	LLD	56,34	LLD
16	LLD	37,5	157,11
17	LLD	62,45	286,14
18	LLD	44,58	LLD
19	LLD	22,85	285,87
20	LLD	35,89	123,47
21	LLD	29,62	268,7
22	LLD	32,78	310,45
23	LLD	65,62	409,87
24	LLD	66,1	366,55
25	LLD	22,14	108,73
26	LLD	31,09	LLD
27	LLD	8,35	LLD
28	LLD	16,15	LLD
29	LLD	24,72	LLD
30	LLD	13,41	68,52
31	<b>142,48</b>	<b>149,79</b>	<b>1711,47</b>
32	LLD	67,41	774,48
33	5,17	42,26	318,67
34	26,29	40,68	675,18
35	14,38	66,05	512,41
36	4,72	29,34	580,65
37	LLD	28,29	230,43
38	3,15	21,77	354,33
39	6,29	26,25	469,22
40	LLD	35,69	168,33
41	13,03	36,53	681,6

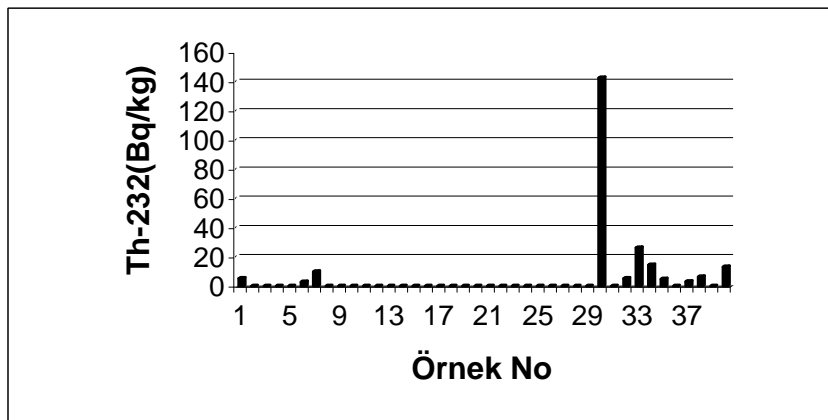
LLD: Dedekte edilemedi



Şekil 9. Kum, çakıl ve taş kırması örneklerinde K-40 aktivite konsantrasyonu



Şekil 10. Kum, çakıl ve taş kırması örneklerinde U-238 aktivite konsantrasyonu



Şekil 11. Kum, çakıl ve taş kırması örneklerinde Th-232 aktivite konsantrasyonu

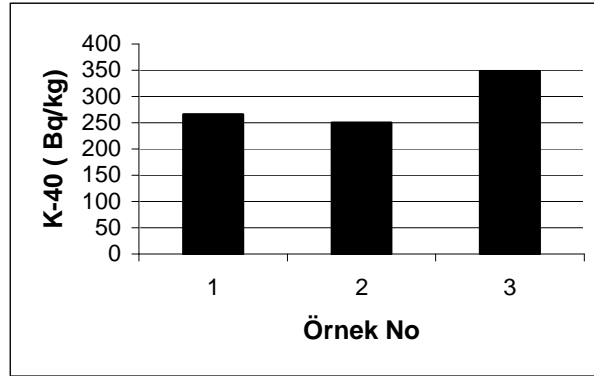
Manisa beldesinden alınan ve inşaatlarda kullanılan 41 adet kum, çakıl ve taş kırması örneklerinde K-40 aktivite konsantrasyonu maksimum 1711,41Bq/kg olarak ölçülmüştür ve 15 örnekte de K-40 aktivitesi dedekte edilememiştir. U-238 aktivitesi ise maksimum 1556,10Bq/kg olarak ölçülürken 1 örnekte de dedekte edilememiştir. Th-232 aktivite konsantrasyonu maksimum 142,48 Bq/kg olarak ölçülmüş ve 29 örnekte de Th-232 aktivite konsantrasyonu dedekte edilememiştir.

İnşaat malzemesi olarak kullanılan 3 çeşit çimento örneğinde K-40, U-238 ve Th-232 aktivite konsantrasyonları Çizelge 3'de verilmektedir.

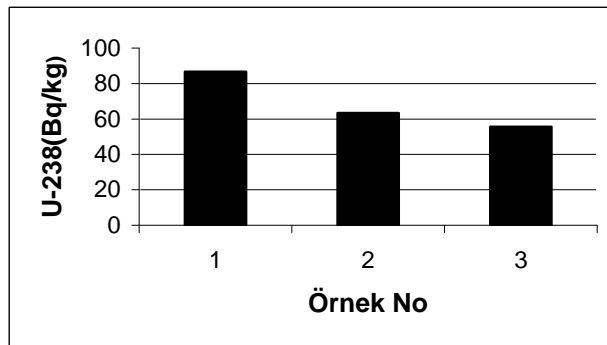
Çizelge 3. Çimento örneklerindeki uranyum, toryum ve potasyum konsantrasyonları

çimento	Th-232	U-238	K-40
42	LLD	86,71	265,75
43	LLD	63,35	249,79
44	7,19	55,64	348,17

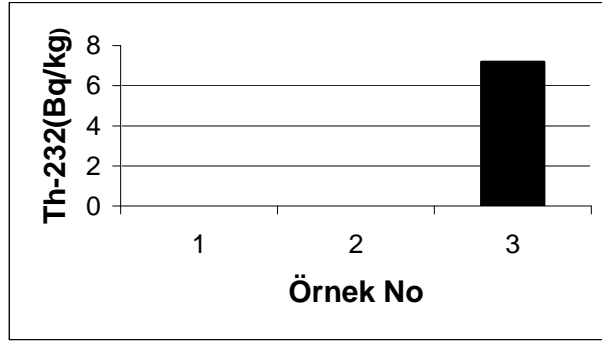
Ayrıca, K-40, U-238 ve Th-232 konsantrasyonları değişimleri Şekil 12., 13 ve 14'de verilmektedir.



Şekil 12.Çimento örneğinde K-40 aktivite konsantrasyonu



Şekil 13. Çimento örneklerinde U-238 aktivite konsantrasyonu



**Şekil 14.** Çimento örneklerinde Th-232 aktivite konsantrasyonu

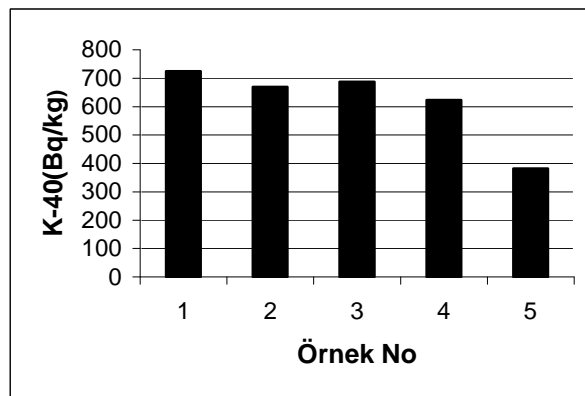
Manisa bölgesinden alınan inşaat malzemesi olarak kullanılan 3 adet çimento örneğindeki K-40, U-238 ve Th-232 aktivite konsantrasyonları şu şekilde değişmektedir. K-40 aktivite konsantrasyonu 249,79-348,17Bq/kg aralığında ve ortalama 298,98Bq/kg dır. U-238 aktivitesi 55,64-86,71 Bq/kg aralığında olup ortalama 71,17Bq/kg dır. Th-232 aktivitesi ise 2 örnekte dedekte edilemedi ve dedekte edilen örnekte Th-232 aktivitesi 7,2Bq/kg dır.

Aynı bölgeden alınan 5 çeşit tuğla örneğinin K-40, U-238 ve Th-232 aktivite konsantrasyonları Çizelge 4.'de verilmektedir.

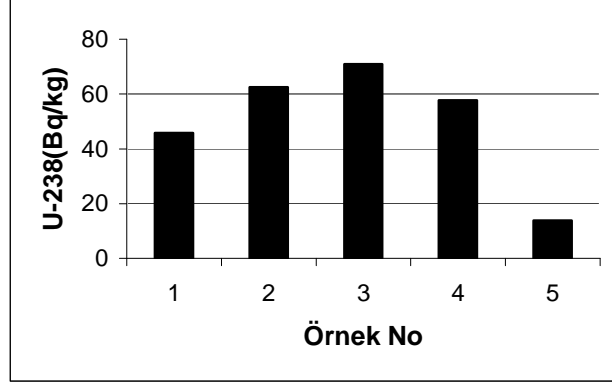
**Çizelge 4.** Tuğla örneklerindeki uranyum, toryum ve potasyum konsantrasyonları

Örnek No	K-40 (Bq/kg)	U-238 (Bq/kg)	Th-232 (Bq/kg)
45	724,9	45,82	14,83
46	669,74	62,45	22,25
47	687,69	70,91	22,02
48	622,92	57,74	19,1
49	381,79	13,81	9,89

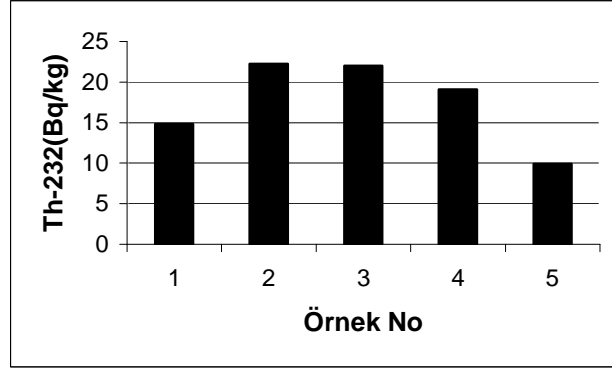
Ayrıca K-40, U-238 ve Th-232 Konsantrasyonu değişimleri sırasıyla Şekil 15., 16., ve 17.de verilmektedir.



**Şekil 15.** Tuğla örneklerinin K-40 aktivite konsantrasyonu



Şekil 16. Tuğla örneklerinin U-238 aktivite konsantrasyonu



Şekil 17. Tuğla örneklerinin Th-232 aktivite konsantrasyonu

Manisa bölgesinden alınan 5 adet tuğla örneğindeki K-40 aktivite konsantrasyonu 381,79-724,9Bq/kg aralığında ve ortalama 553,3Bq/kg dir. U-238 aktivitesi 13,81-70,91 Bq/kg aralığında ve ortalama 42,4Bq/kg dir. Th-232 aktivite konsantrasyonu da 9,89-22,25Bq/kg aralığında ve ortalama 16,1Bq/kg dir.

Manisa bölgesinden alınan kum, çakıl ve taş kırması, çimento ve tuğla örnekleri için eşdeğer radyum

$$Ra_{eq} = A_{Ra} + 1,43 A_{Th} + 0,077 A_K$$

formülü kullanılarak hesaplanırsa,

Kum, çakıl ve kum taşı için

$$Ra_{eq} = 945,7 \text{ Bq/kg}$$

Çimento için

$$Ra_{eq} = 99,3 \text{ Bq/kg}$$

Tuğla için

$$Ra_{eq} = 108 \text{ Bq/kg}$$

elde edilir. Daha sonra



formülü kullanılarak bu malzemelerdeki toplam aktivite değeri hesaplanırsa

Kum, çakıl ve kum taşı için  $2,87 \leq 1$

Çimento için  $0,34 \leq 1$

Tuğla için  $0,47 \leq 1$

elde edilir. Görüldüğü gibi çimento ve tuğla değerleri 1'in altında olup kum, çakıl ve kum taşı için hesaplanan değer 1'in çok üstündedir. Bu değerlerin yüksek çıkmasının nedeni bu grupta yer alan 6 nolu örneğin uranyum değerinin ve 31 nolu örneğinde toryum değerinin çok yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. 6 ve 31 numaralı örnekleri hesap dışı bırakmak şartı ile tekrar bir hesaplama yaparsak,  $Ra_{eq} = 82,32 \text{ Bq/kg}$  olarak bulunur. Buradan toplam aktivite değeri  $0,35 \text{ Bq/kg}$  olarak hesaplanır ve bu değerde görüldüğü üzere  $1 \text{ Bq/kg}$  dan küçüktür.

**5.SONUÇLAR**

Manisa ilinde kullanılan bina materyallerinde radyoaktivite tayinleri ile ilgili çalışmanın yapılması burada yaşayan insanların sağlık riski için önem arz etmektedir. Kumlarla ilgili alanlarda çalışırken jeolojik olarak farklı damarlara rastlanabilir. Kum örneklerinde radyoaktivitenin daha yüksek bulunması, her kum ocağında yapılan kazılardan sonra alınan örneklerde radyoaktivite tayinlerinin rutin olarak yapılmasını gündeme getirmektedir.

**KAYNAKLAR**

(1) Işık,Y., 2002, Küçük menderes havzasında doğal radyonüklid konsantrasyonlarının belirlenmesi ve doz dağılımının hesaplanması, Ege Üniversitesi, Fen-Bilimleri Enstitüsü, Nükleer Bilimler Anabilim Dalı, İzmir,.

(2) Ibrahiem, N.M.;Abd El Ghani,A.H.; Shawky,S.M.; Ashraf,E.M.; Farouk,M.A, 1993, Measurement of radioactivity levels in soil in the Nile delta and Middle Egypt, Health Phys, Vol 64 (6), Pages 620-627.

(3) Selvasekarapandian,S.; Sivakumar,R.; Manikandan,N.M.; Meenakshisundaram,V.; Raghunath,V.M.; Gajendran,V., 2000, Natural radionuclide distribution in soils of Gudalore, India, Applied Radiation And Isotopes, Vol 52, Pages 299-306.

(4) Narayana,Y.; Somashekarappa,H.M.; Karunakara,N.; Avadhani,D.N.; Mahesh,H.M.; Siddappa, K., 2001, Natural radioactivity in the soil samples of coastal karnataka of south India, Health Physic,Vol 80 (1), Pages24-33.

(5) Karunakara,N.; Somashekarappa,H.M.; Avadhani,D.N.; Mahesh,H.M.; Narayana,Y.; Siddappa,K., 2001, Radium-226, <sup>232</sup>Th And <sup>40</sup>K distribution in the environment of kaiga of south west coast of India",Health Physics,Vol 80, Pages 470-476.

(6) Brai,M.;Basile,S.;Bellia,S.;Hauser,S.;Puccio,P.;Rizzo,S.;Bartolotta,A.;Licciardello,A., 2001, Environmental radioactivity at Stromboli (Aerolian islands), Applied Radiation And Isotopes, Proftan düzeltilmemiş makale.

(7) Vandenbygaart,A.J.;Protz,R., 1999, Gamma radioactivity in podzolic soils of northern ontario, Canada, Journal Of Environmental Radioactivity,Vol 42, Pages 51-64

(8) Yeboah,J.;Boadu,M.;Darko,E.O., 2001,Natural radioactivity in soils and rocks within the greater accra region of Ghana, Journal Of Radioanalytical And Nuclear Chemistry,Vol 249, Pages 629-632.

(9) Tzortzis,M.; Tsertos,H.; Christofides,S.; Christodoulides,G., 2003, Gamma-ray measurements of naturally occurring radioactive samples from Cyprus characteristic geological rocks, Radiation Measurements,Vol 37, Pages 221-229.

(10) Ajayi,O.S.,2000,Distribution of natural radioactivity in rocks from ikogosi-ekiti, southwestern nigeria and its radiological implications, Health Phys., Vol 79, Pages 192-195.

- (11) Singh,S.; Singh,B.;Kumar,A., 2003, Natural radioactivity measurements in soil samples from Hamirpur district, Himachal Pradesh, India, Radiation Measurements,Vol 36,Pages 547-549.
- (12) Saravanan,S.; Jodha,A.S.; Gopalani,D.; Bhatti,S.S.;Kumar,S.,2003, Preliminary measurements of natural radioactivity at Madurai district of Tamilnadu, India, Radiation Measurements, Vol 36, Pages 397-389.
- (13) Chiozzi,P.; De Felice,P.; Fazio,A.; Pasquale,V.; Verdoya,M., 2000, Laboratory application of NaI(Tl)  $\gamma$ -ray spectrometry to studies of natural radioactivity in geophysics, Applied Radiation and Isotopes, Vol 33, Pages 127-132.
- (14) Fasasi,M.K.; Oyawale,A.A.; Mokobia,C.E.; Tehokossa, P.; Ajayi,T.R.; Balogun,F.A.,2003, Natural radioactivity of the tar-sand deposits of Ondo State, Southwestern Nigeria, Nuclear Instruments & Methods in Physics Research,VOI 505,Pages 449-453.
- (15) Ahmad,N.;Hussein &Aslam,A.J.A., 1998, Natural radioactivity in Jordian soil and building materials and the associated radiation hazards, J.Environ.Radiactivity, Vol 39, Pages 9-22.
- (16) Ahmad,N.;Hussein &Aslam,A.J.A., 1998, Radiation doses in Jordanian Dwellings due to natural radioactivity in construction materials and soil, J.Environ.Radiactivity, Vol 41, Pages 127-136.
- (17) Miah,F.K.;Roy,S.;Touhiduzzaman,M.;Alam,B., 1998, Distribution of radionuclides in soil samples in and around Dhaka City, Appl. Radiat.Isot.,Vol 49, Pages 133-137.
- (18) Shenber, M.A., 1997, Measurement of natural radioactivity levels in soil in Tropoli, Appl. Radiat.Isot.,Vol48, Pages 147-148.
- (19) Segovia,N.; Gaso,M.I.; Alvarado,E.; Pena,P.; Morton,O.; Armienta,M.A.; Reyes,A.V., 2003, Environmental radioactivity studies in the soil of a coniferous forest, Radiation Measurement, Vol 36, Pages 525-528.
- (20) Hamby,D.M.; Tynybekov,A.K., 2002, Uranium, thorium, and potassium in soils along the shore of Lake Issyk-Kyol in the Kyrghyz Republic, Environmental Monitoring and assessment, Vol 73, Pages 101-108.
- (21) Malczewski,D.; Teper,L.; Dorda,J., 2004, Assessment of natural and anthropogenic radioactivity levels in rocks and soils in the environs of Swieradow Zdroj in Sudetes, Poland, by in situ gamma-ray spectrometry, Journal of Environmental Radioactivity, In Press.

(22)Ebaid,Y.Y.;El-Tahawy,M.S.;El-Lakany,A.A.;Garcia,S.R.;Brooks,G.H., 2000, Environmental radioactivity measurements of Egyptian soils, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 243, Pages 543-550.

(23) Karakelle,B.; Öztürk,N.; Köse,A.; Varinlioğlu,A.; Erkol,A.Y.;Yılmaz,F., 2002, Natural radioactivity in soil samples of Kocaeli basin, Turkey, Journal Of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 254, Pages 649-651.

(24) Karahan,G.;Bayulken,A., 2000,Assessment Of Gamma Dose Rates Around Istanbul, Journal Of Environmental Radioactivity, Vol 47, Pages 213-221

(25) Gür, F., 1999, Doğal Dış Radyasyonun İzmir İlinde Yaşayanların Aldıkları Toplam Doza Katkısının Belirlenmesi, Ege Üniversitesi, Fen-Bilimler Enstitüsü, Nükleer Bilimler Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İzmir

(26) -K.Kovler,G.Haquin, V.Manasherov, E.Ne'eman,N.Lavi; 'Natural radionuclides in building materials available in İsrail'; Building and Environment, Vol:37,pages 531-537,2002,

(27) S.Stoulos, M.Manolopoulou, C.Papastefanou; 'Assessment of natural radiation exposure and radon exhalation from building materials in Greece', Journal of environmental radioactivity, Vol:69, pages 225-240,2003,

(28) D.Amrani, M.Tahtat; 'Natural radioactivity in Algerian building materials';Applied Radiation and isotopes, Vol:54, pages 687-689, 2001

(29) s A.Kumar, M.Kumar,B.Singh,S.Singh;'Natural activities of U-238,Th-232 ve K-40 in some Indian building materials'; Radiation Measurements; Vol:36,pages 465-469,2003

(30) Kumar,V., Ramachandran, T.V., Prasad, R. " Natural radioactivity of Indian building materials and by-products", Applied Radiation and Isotopes, Vol:51, pages 93-96, 1999

(31) Kahveci M. Danışman Dr.Kumru M. N. İzmir Çevresinde Yetiştirilen Patateslerde Radyoaktivite Tayini. Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi 1993

(32) TAEK Bülteni Sayı 60, Kasım/Aralık 2002

(33) Yülek G. 'Radyasyon Fiziği (İyonlayıcı ve İyonlayıcı Olmayan) ve Radyasyondan Korunma, Aralık 1992.

(34) UNSCEAR 1988, *Ionizing Radiation Sources and Biological Effects*, United Nations, New York, 1988.

(35) Papaefthymiou, H., Mavroudis, A., Kritidis, P. " Indoor radon levels and Influencing Factors In Houses of Patras, Greece" Journal of Environmental Radioactivity, Vol.66, 247-260, 2002.

(36) Sannappa, J., Chandrashekara , M.S., Sathish , L.A., Paramesh , L., Venkataramaiah, P. sStudy of Background radiation dose in Mysore City, Karnataka State, India, radiation Measurements, Vol. 37, Issue 1, February, 2003, PP 55-65, 2003

(37) Choubey, V.M., Romala, R.C., Sharma, K.K. Soil Gas and Indoor Radon Studies in Doon Valley, India. Nuclear Geophysics. Vol. 8(1), pp.49-54, 1994.

(38) Cothorn, R. " Indoor Air radon " Environmental Geochemistry and Health, 21, pp.83-90, 1999.

(39) Iyogi, T., Ueda, S., Hissamatsu, S., Kondo, S., Sakurai, N. " Radon Concneratarion in Indoor Occupational Enviromenta in Aomari Prefecture, Japan" Journal Environmental radioactivity, 2003 ( in press)

(40) Papp, G., Marx , G., Szalai, S., Toth, E., " year by year Changes of Indoor radon Levels" Journal of Radioanaltical and Nuclear Chemistry, Vol. 250(3), 541-545, 2001.

(41) Uğur, A. " İzmirde Konut İnşaatlarında Kullanılan Çimento,Tuğla ve Kiremitlerde Radyonüklid İçeriğinin Saptanması" E.Ü. Nükleer Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Danışman:Prof.Dr.Güngör Yener ,1992.

(42) Aközcan. S. Manisa İli Yerleşim Alanı Topraklarında ICP-AES Ve Gama Spektrometresi İle Element Analizleri CBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi 2002

**ÖZGEÇMİŞ**

**Adı Soyadı** : Şevki Ali Dayanıklı  
**Doğum Yeri ve tarihi** : İzmir , 24.02.1978  
**İlkokul** : Mustafa Urcan İlkokulu , İzmir 1984-1989  
**Ortaokul** : Isparta Merkez Ortaokulu, Isparta 1989-1992  
**Lise** : İzmir Namık Kemal Lisesi , 1992-1995  
**Lisans** : Celal Bayar Üniversitesi, Fen-edebiyat Fakültesi , Fizik Bölümü,  
Manisa , 1998-2002  
**Çalışma ve Görevleri** : Uğur Dershanesi, Fizik Etüt Öğretmenliği  
**Hobiler** : Araba kullanmak, futbol oynamak

**Yayınları:**

-Manisa'da Kullanılan Bina Materyallerinde U-238, Th-232 ve K-40 Aktivite Konsantrasyonlarının Belirlenmesi  
Şevki Ali Dayanıklı, Sermin Çam, F.Serap EREEŞ  
V.Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi, Bolu,5-8 Ekim, 2004 , Bildiri Özeti Kitabı, s.164