

24317

T. C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
NÜKLEER BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

İzmir'de Konut İnşaatlarında Kullanılan
Çimento, Tuğla ve Kiremitlerde
Radyonüklid İçeriğinin Saptanması

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

Aysun UĞUR

Yönetici

Prof. Dr. Güngör YENER

Bornova, İZMİR
1992

TEŐEKKÖR

Bu tezin hazırlanmasında her türlü destek ve yardımını esirgemeyen, gerekli ilgi ve yakınlığı gösteren, sorumlu denetleyici hocam ve Enstitümüzün Müdürü Sayın Prof.Dr. GÜngör Yener'e; hocam Sayın Prof.Dr. Selman R. Kınacı'ya; Araştırma Görevlisi Sayın Günseli Yaprak'a; Sayın Dr. Mehmet N.Kumru'ya; Sayın D. Ömer Tanbay'a ve aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Aysun UĞUR



İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET

SUMMARY

1. GİRİŞ

1.1. Doğal Radyoaktivite	1
1.2. Bina İçi Radyoaktivite	9
1.3. Bina Materyallerindeki Doğal Radyonüklidler İçin Çeşitli Ülkelerde Verilen Sınırlamalar	14
1.4. Çimento ve Betondaki Katkı Maddeleri	18

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Örneklerin Hazırlanması	32
2.2. Örneklerin Analizi ve Kullanılan Sistemin Yapısı	32
2.3. Spektrometrenin Enerji Kalibrasyonu	41

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

3.1. Çimento Örneklerinin Sonuçları	43
3.2. Tuğla Örneklerinin Sonuçları	48
3.3. Kiremit Örneklerinin Sonuçları	51

KAYNAKLAR

56

Ö Z E T

İzmir'de konut inşaatlarında kullanılan 15 ayrı tür çimento, 27 tuğla ve 7 kiremit örneğindeki % K, $eU(Ra)$ (ppm) ve eTh (ppm) konsantrasyonları, yüksek enerji gama spektrumlarının analizi ile hesaplandı.

Sonuçlarda, katkıli portland çimentolarında katkı maddelerinin yüksek radyoaktivite içermesi nedeniyle $eU(Ra)$ (ppm) konsantrasyonları ve traslı çimentolarda ise trasın volkanik kökenli oluşu sonucu $eU(Ra)$ (ppm) ve eTh (ppm) konsantrasyonları ile birlikte Ra_{eq} aktivite konsantrasyonları yüksek gözlemlendi. Tuğla ve kiremit örneklerinde ise konsantrasyonların hammaddelerin orjinlerine bağlı olarak değiştiği bulundu. Materyallerde çeşitli ülkelerde verilen aktivite sınırlamalarının aşılmadığı gözlemlendi. Ayrıca bu materyallerden kaynaklanabilecek yıllık doz oranları ($mrem.y^{-1}$) tahminleri yapıldı. Sonuçlar literatürdeki değerlerle karşılaştırıldı.

SUMMARY

The natural activity concentrations of a variety of common materials used in building constructions in Izmir were determined by gamma spectrometry. $eU(Ra)$, eTh and % K concentrations were measured in different brands of 27 brick, 15 cement and 7 tile samples.

High values of $eU(Ra)$ was observed in portland cements due to the high concentrations of additive agents in these type of cements. In cement samples with tras, $eU(Ra)$, eTh and also Ra_{eq} were found to be high since they are volcanic origin.

Activities in brick and tile samples were observed in varying concentrations according to their origins.

The activity concentrations in all of the samples were calculated to be under the activity limits given for building materials in several countries.

The dose rates in $mrem.y^{-1}$ from these materials were also estimated and compared with literature values.

1. GİRİŞ

1.1. Doğal Radyoaktivite

Çevremizdeki doğal radyonüklidler için primordial ve kozmojenik olmak üzere iki genel sınıflama söz konusudur. Kozmojenik radyonüklidler atmosfer gazı ve kozmik radyasyonun etkileşimi yoluyla meydana gelmektedir. Bu radyoizotoplardan en önemlileri olan H-3 trityum ve Be-7 berilyum atmosferdeki nitrojen ve oksijenle nötron etkileşimi tarafından meydana gelmektedir. Böylece atmosferdeki doğal radyoaktivitenin kaynaklarından biri bu şekildeki serbest atomlar veya aerosollere bağlananlardır. Kozmik radyasyonun orjini belirsizdir, fakat maruz kalmanın genellikle belli başlı iki kaynaktan olduğu kabul edilmektedir, bunlar galaktik ve extra-galaktik kozmik ışınlar (düzeyleri tamamen sabittir) ve güneşsel orjinli kozmik ışınlar (düzeyleri değişkendir) dir. Kozmik katkıların yoğunluğu yükseklikle artmaktadır ve kozmik ışın akısı yerden yere büyük farklılıklar gösterir. Yüzeylerde dış maruz kalmaya katkıda bulunan başlıca kozmojenik radyonüklidler Be-7, Na-22 ve Na-24, C-14 dür [1].

Primordial radyonüklidler ve bozunum ürünleri yerkabuğunda jeolojik yapıya bağlı olarak farklı konsantrasyonlarda yer almaktadır. Bu radyonüklidlerin en önemlileri K-40 ve Th-232, U-238 ile başlayan bozunum serileridir. Yeryüzündeki uranyum ve toryumun hemen hemen tümü yerkabuğunun 10 km. kalınlığındaki üst kısmında toplanmıştır. Gabelman, yerkabuğundaki radyoaktif mineral yığılımlarının büyük bir kısmının oluşumunu, bu konsantrasyonların gerçekleşmesi için gerekli magmatik, sedimenter ve hidrolojik koşulları yaratan orojenik faktörlere bağlamaktadır [2]. Gabelman'a göre uranyumun mineralleşmesi post-magmatik (magmatikten sonra), litolojik-fisiyografik, sedimenter, tektonik mekanizmalara bağlı olarak gelişir. Smith uranyum

yataklarının oluşumunda en önemli rolü tektonik hareketlerin oynadığını savunur [2]. Yine dünyanın oluşumundan sonra meydana gelen fiziksel, tektonik ve meteorolojik olaylar, yeryüzünde ve derinlerde uranyumun kütle halinde oluşmasına engel olduğundan, uranyum mineralleri küçük miktarlar halinde yeryüzünde dağılmış durumdadır. Uranyum mineralleri sayıca diğer elementlerin minerallerinden çok daha fazladır. Uranyum son derece litofil (oksijene kuvvetli ilgili duyan) olduğundan, doğada hiçbir zaman metal halde serbest olarak bulunmaz. Oksijenle meydana getirdiği çeşitli bileşikler her türlü kayaç içinde oldukça yaygın bir şekilde yer alır. Yerkabuğundaki ortalama tenörü 4 ppm dir [2]. Yaygın kaya tipleri ve toprakların hepsinde doğal radyoaktif elementlerin bir birikimi az da olsa mutlaka bulunmaktadır. Tablo 1 yaygın kayaç tiplerindeki doğal konsantrasyonları gösterir [3]. Volkanik kayaçlardaki radyonüklidlerin konsantrasyonları silis miktarı ile ilişkilidir, silis artışına bağlı olarak uranyum miktarının da arttığı gözlenmiştir. Konsantrasyonlar asidik kayaçlarda en yüksek, dunitler ve diğer ultrabazik kayaçlarda en düşük oranda bulunmaktadır. Tabloda görüldüğü gibi volkanik kayaçlar tortul kayaçlara göre daha yüksek radyoaktivite göstermektedir. Bununla beraber tortul kayaçlardan bazı şistler ve fosfatlar dikkate değer şekilde yüksek radyoaktiviteye sahiptir. Granitik kayaçlarda U-238 konsantrasyonu ortalama 50 Bq.kg^{-1} dir. Uranyum taşıyan kumtaşlarında $500.000 \text{ Bq.kg}^{-1}$, fosfatlarda ise 1500 Bq.kg^{-1} olabilmektedir [4]. Toryum genellikle, asit derinlik kayaçların pegmatitlerinde, pnömatojen ve hidrotermal oluşumlarda konsantre olmuştur [2]. Granitik kayaçlarda ise toryum miktarı 10-20 ppm arasında değişir. Alkali granitler 50 ppm'e kadar toryum içerirler. Toryum killer tarafından seçimli olarak soğurularak, dayanıklı ağır mineraller içinde tutulur. Kireçtaşında toryum konsantrasyonu düşüktür. Kumtaşları içinde bulunan toryum miktarı 5 ppm'i geçmez. Th ve K birlikte gözlenir ve alkali kayaçlarda bulunurlar. Toryum zirkon gibi dayanıklı mineraller içinde de yer alır [5].

Tablo 1. Yaygın Kayaçlardaki K-40, U-238 ve Th-232 Aktivite Konsantrasyonları

Kaya Örneği	Belirgin Aktivite Konsantrasyonları (pci.g ⁻¹)		
	K-40	U-238	Th-232
<u>Volkanik</u>			
Asidik (örneğin granit)	27	1.6	2.2
Ortaç kayalar (diorite, andezit, dasit, riyodasit, kuvars, diorit graidiorit)	19	0.62	0.88
Mafik Kayalar (bazalt, gabro)	6.5	0.31	0.30
Ultrabasis (Aşırı bazal, dürite)	4.0	0.01	0.66
<u>Tortul</u>			
Kireçtaşı	2.4	0.75	0.19
Karbonat	-	0.72	0.21
Kumtaşı	10	0.5	0.3
Şist	19	1.2	1.2

Uranyum ve toryumun yer kabuğunda birbirinden ayrılmasının ana nedeni, uranyumun +4 değerinden +6 değerine oksitlenmesidir. Sıcaklık düşerken toryum oranı düşer ve uranyum oranı artar. Buharlaştırma ve terlemenin vanadat, fosfat ve arsenat gibi lijanların uranyum yığıştırıp çökelttiği yerlerde ve topraktaki organik aktivitenin yokluğu veya azlığı nedeni ile toprak ve yeraltı suları içindeki CO₂ basıncının nispeten düşük olduğu yerlerde kurak iklimde uranil mineralleri bolca bulunur [2].

Tablo 2 literatürde verilen çeşitli toprak türlerindeki konsantrasyonlarla, dünya ortalamalarını vermektedir [3].

Topraktaki doğal radyonüklidlerin yoğunluğu toprak oluşum şekli ve toprak-kaya oluşumu ile ilişkilidir. Radyumun mineralleşmediği topraklarda aktivite 10-100 Bq.kg⁻¹ arasındadır [4].

Tablo 2. Çeşitli Toprak Türlerindeki Th-232, U-238 ve K-40' ın Ortalama Aktivite Konsantrasyonları

Toprak Çeşitleri	Ortalama Aktivite Konsantrasyonları (pci-g ⁻¹)		
	K-40	U-238	Th-232
Serozem (Sirozem)	18	0.85	1.3
Gray-brawn (gri kahverengi)	19	0.75	1.1
Chestnut (kestane)	15	0.72	1.0
Chernozem (çernozen)	11	0.58	0.97
Gray forest (gri orman)	10	0.48	0.72
Sodpodzolic (sot-podsol)	8.1	0.41	0.60
Podzolic (podsol)	4.0	0.24	0.33
Boggy (hümsü)	2.4	0.17	1.1
Dünya Ortalaması	10	0.7	0.7
Aralığı	3.20	0.3-1.4	0.2-1.3

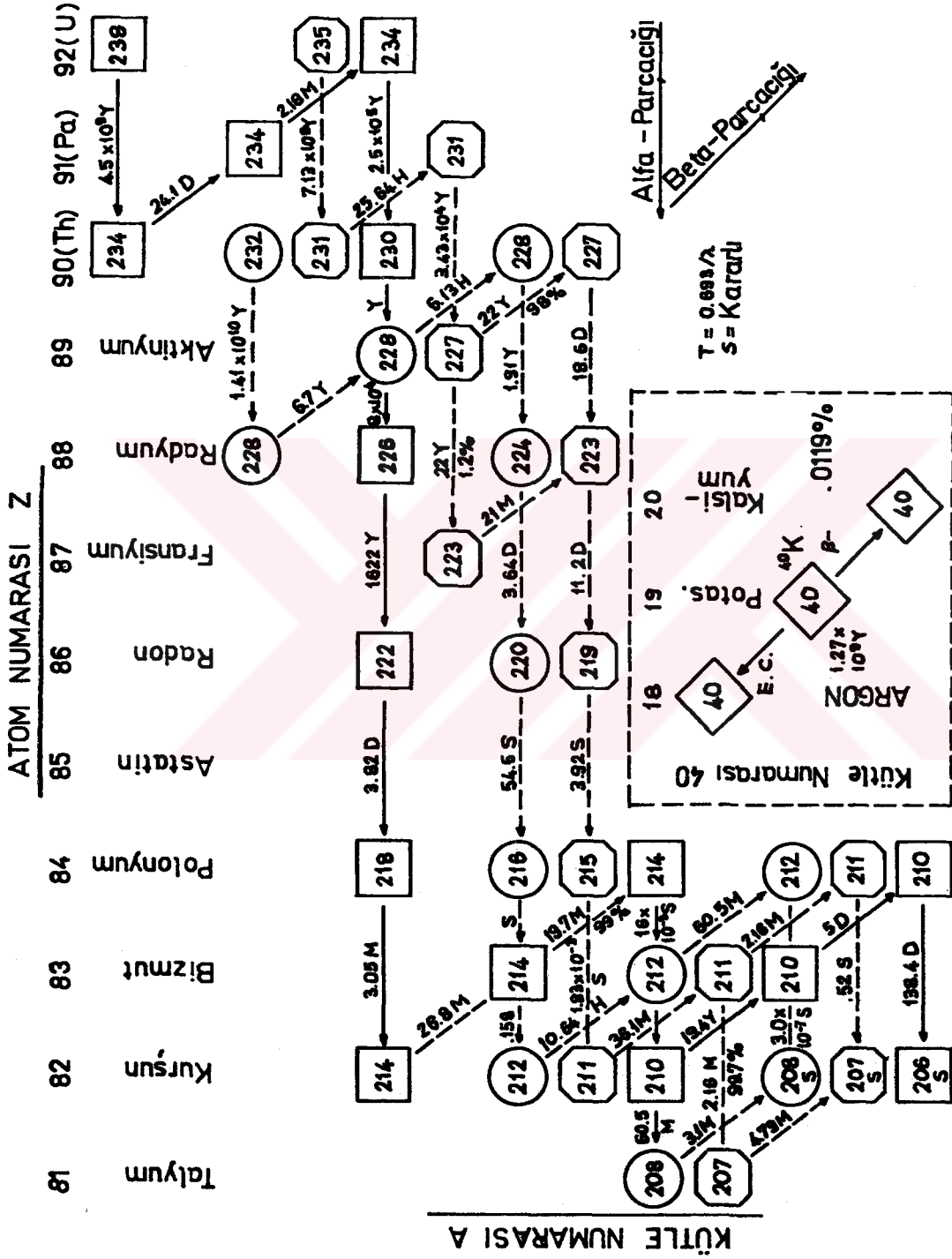
Toprak ve kayaçların yapısındaki bu doğal radyoaktif elementlerin parçalanmaları α -bozunumu, β -bozunumu ve elektromanyetik radyasyon yayımı ile olmaktadır. Arazide doğal radyoaktivite ölçümleri esas olarak gama radyasyonunun deteksiyonu ile gerçekleşmektedir. Kayaların hepsinde ve toprakta bulunan çok sayıda doğal radyoaktif elementlerin yayımladığı gama radyasyonunun üç önemli kaynağı :

(a) Potasyum-40, toplam potasyumun % 0.0118 sidir ve 1.46 MeV enerjili gama yayımlar.

(b) Uranyum-238 ve Uranyum-235 bozunum serilerindeki bozunum ürünleri.

(c) Toryum-232 bozunum serilerindeki bozunum ürünleri.

Uranyum ve toryum bozunum serilerindeki gama-ışını spektrumları kompleksdir. Şekil 1 belli başlı doğal radyoizotopları toplu halde göstermektedir.

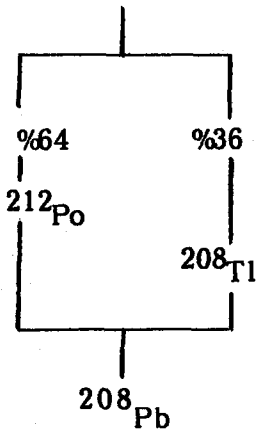


ŞEKİL - 1 (Potasyum ve uranyum , toryum serilerinin bozunum şeması)

Tablo 3. K-40 ın Bozunum Zinciri ve Th-232 nin Bozunma Zincirinin Özellikleri

<u>İzotop</u>	<u>Radyasyon</u>	<u>Gama Enerjisi</u> (MeV)	<u>Yarı Ömrü</u>
K-40	β^- , β^+ , EC, γ	1.4608	$1.3 \cdot 10^9$ yıl
Ca-40(%85)	—	—	Kararlı
Ar-40(%11)	—	—	

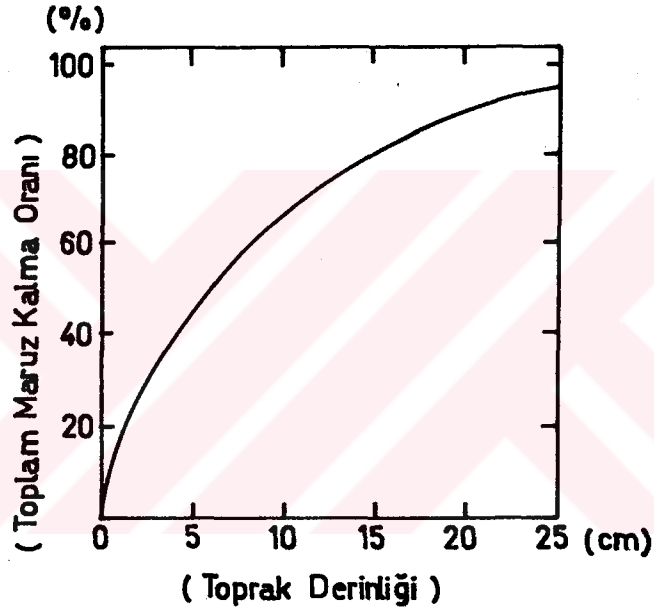
<u>İzotop</u>	<u>Radyasyon</u>	<u>Yarı Ömrü</u>
^{232}Th	α	$1.39 \cdot 10^{10}$ yıl
^{228}Ra	β	5.75 yıl
^{228}Ac	β, γ	6.13 st
^{228}Th	α	1.91 yıl
^{224}Ra	α, γ	3.64 gün
^{220}Rn	α	55.3 sn
^{216}Po	α	0.15 sn
^{212}Pb	β, γ	10.64 st
^{212}Bi	β, γ (%64) α (%36)	60.6 dak
^{212}Po	α	$3 \cdot 10^{-7}$ sn
^{208}Tl	β, γ	3.1 dak
^{208}Pb	kararlı	-



Tablo 4. U-238 in Bozunma Zincirinin Özellikleri

<u>İzotop</u>	<u>Radyasyon</u>	<u>Yarı Ömrü</u>
^{238}U	α	$4.51 \cdot 10^9$ yıl
^{234}Th	β	24.1 gün
^{234}Pa	β	1.18 dak
^{234}U	α, β	$2.48 \cdot 10^5$ yıl
^{230}Th	α	$8 \cdot 10^4$ yıl
^{226}Ra	α, γ	1600 yıl
^{222}Rn	α	3.82 gün
^{218}Po	α	3.05 dak
^{214}Pb	β, γ	26.8 dak
^{214}Bi	β, γ	19.8 dak
^{214}Po	α	$1.6 \cdot 10^{-4}$ sn
^{210}Pb	β, γ	21.3 yıl
^{210}Bi	β	5.01 gün
^{210}Po	α	138.4 gün
^{206}Pb	kararlı	-

Tablolarda verilen kayaç ve topraklardaki radyonüklid konsantrasyonlarından, havada absorblanan doza ana katkılar Th-232 serisindeki Tl-208 ve Ac-228'den gelirken, U-238 serileri için absorblanan dozun % 99'u Rn-222'nin kısa ömürlü bozunum ürünü olan Pb-214 ve Bi-214'ten gelir. Bu nüklidlerin enerji aralığı 2.6 MeV'e kadardır ve toprakta kısmen absorblanır. İnsanların dıştan maruz kaldıkları radyasyon dozuna en önemli katkı toprağın yüzeyden dibe doğru 30 cm. kalınlıktaki katmanlarından gelmektedir [3].



Şekil 2. Yüzeyden itibaren dibe doğru toprak kalınlığının fonksiyonu olarak, yüzeyin 1 m üzerinde doğal radyonüklidlerden dolayı maruz kalınan dozların oranıdır.

Atmosferdeki doğal radyasyonun başlıca kaynaklarından olan Rn-222 ve Rn-220'nin havadaki konsantrasyonu birçok faktörlere bağlıdır. Bunlardan en önemlisi kayaç ve toprak yapısındaki radyum ve toryum içerikleridir. Fakat kayaç ve topraklardaki radyum içeriği yüksek olsa bile, topraktan radon gazının difüzyonu düşük olabilir. Radyum konsantrasyonu toprak ve kayaçtaki potansiyel radonun belirleyicisidir.

Toprağın radyum içeriği toprak gazında radon oluşması için faktörlerden yalnız biridir. Örneğin Washington, Spokane'deki gevşek topraklarda uranyum içeriği 2-3 ppm olmasına rağmen toprak gazı radon $7000-37,000 \text{ Bq.m}^{-3}$ ölçülmüştür [4]. Yine İsveç'teki çakıllı topraklarda uranyum içeriği 4-10 ppm olmasına rağmen $10.000-20.000 \text{ Bq.m}^{-3}$ 'lük radon ölçülmüştür [4]. Görüldüğü gibi normal radyum konsantrasyonuna sahip bölgelerde, toprak gözenekliliğinin yüksek olması nedeniyle toprak gazı radonun yükselişine sebep olmuştur. Böylece topraktaki radon gazının havaya ve binalara transferini etkileyen faktörler, toprağın gözenekliliği ve geçirgenliği, barometrik basınç, nemlilik, rüzgar, sıcaklık, yatak kayac üzerindeki toprağın kalınlığı ve yeraltı ile atmosfer arasındaki basınç farkı ve değişimidir. Özellikle kumlu topraklarda geçirgenlik çok fazladır, bu tip topraklarda radonun difüzyon yoluyla göçü yüksektir. Geçirgen topraklar böylece çok küçük basınç değişimleri altında, toprak gazının ve radonun hızlı akışına izin verirler. Diğer taraftan geçirgenliği kısmen az olan topraklar örneğin aluvyon ve killer, radon gazının yüzeylere transferine engel olurlar. Killer genellikle yüksek su içeriğine sahiptir, dolayısı ile toprak gazı düzeylerini azaltma eğitimidir [4].

1.2. Bina İçi Radyoaktivite

İnsanlar zamanlarının % 92'sini bina içinde harcamaktadır, bunun % 77'lik kısmı yaşanan yerlerde yani evlerde geçmektedir. Evlerde de zamanın % 55 yatak odasında ve % 45'i oturma odasında geçmektedir. Zamanın büyük bir kısmının geçtiği binalardaki doğal radyasyon düzeyi böylece önem kazanmaktadır. Binalar bir bakıma dışardan gelen radyasyonu (kozmetik ışınlar, karasal radyasyon vb.) kısmen durdurmasına rağmen, esas yapı malzemesi toprak olduğu için bina içi radyasyon düzeyi daha yüksek olabilir.

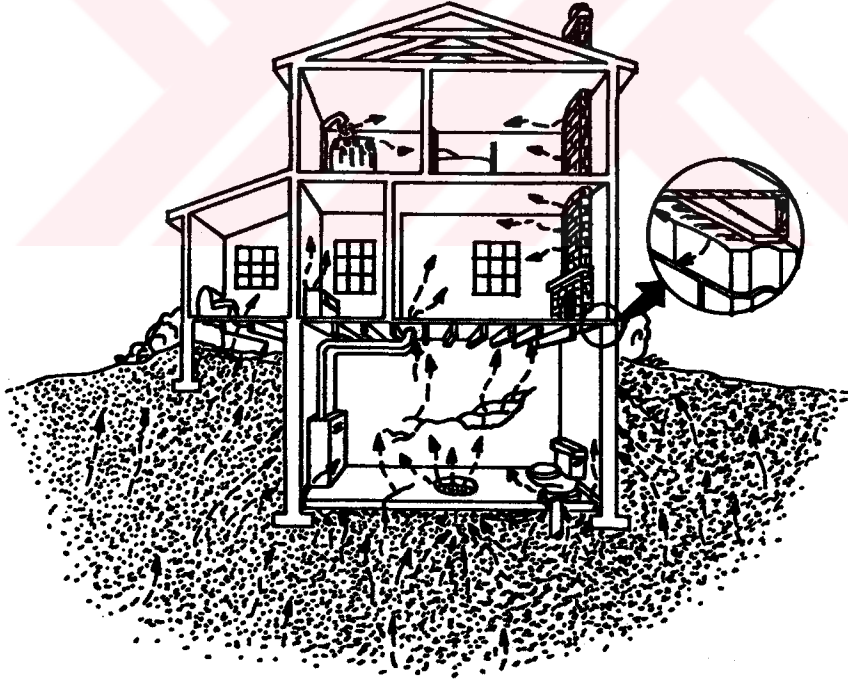
Evlerdeki radyasyon kaynakları çok çeşitlidir; örneğin evlerde kullanılan renkli televizyonlar bunlardan biridir,

renkli televizyon tüplerine uygulanan yüksek potansiyel sonucunda elektronların ekran ile etkileşimi sonucu x-ışınları meydana gelir. Bu ışınların çoğunun ekranda absorblanması sonucu dış doz oranı düşüktür. Renkli alıcılarla yapılan ölçümler sonucu bir kişinin yılda ortalama dozunun yaklaşık 4nsv olduğunu göstermektedir [1]. Yine evlerde kullanılan sularda çözünebilen radon bina içi havasında, banyo ve giyeceklerin yıkanması gibi aktivitelerle serbest kalabilir. Sulardaki konsantrasyonun, bina içi havasındaki konsantrasyona etkileri çok yüksek olabilir. Örneğin evlerde kullanılan sulardaki radonun konsantrasyonu $10.000 \text{ pci L}^{-1}$ ($370.000 \text{ Bq.m}^{-3}$) olduğu zaman bina içi havasına salınan radon konsantrasyonu 1 pci L^{-1} (37 Bq.m^{-3}) olarak verilmektedir [4]. Yapılan araştırmalar bina içinde radon konsantrasyonunu yükselten önemli nedenlerden birinin mevcut içme sularındaki radon konsantrasyonu olduğunu göstermiştir. Bu nedenle radonu evlere girmeden önce uzaklaştırmaya yönelik sistemler kurulmuştur. Bu amaçla belediyeye ait stok yerlerinde çözülebilen radon, genellikle tüketiciye ulaşmadan önce serbest kalmaktadır [1]. Evlerde ısınma amacıyla kullanılan kömürde bina içi radyasyon kaynaklarındandır.

Bina içi radyasyon kaynakları esas olarak bina materyallerindeki ve binanın bulunduğu zemindeki radyonüklid konsantrasyonlarıdır. Uranyumun yer kabuğunda yaygın olarak bulunması sonucu, bina endüstrisinde kullanılan pek çok materyalde konsantrasyonu söz konusudur. Bina içi maruz kalmanın en önemli kaynağı Rn-222'nin emanasyonudur. Doğal uranyumda % 99,238 oranında bulunan U-238'in bozunum serisindeki ürünlerinden beşincisi Ra-226'dır, dolayısı ile bu nüklid bina materyallerinde yer almaktadır. Ra-226 materyallerde bozunum ürünü olan Rn-222 için kaynak durumundadır. Rn-222 asal bir gazdır. Yarı ömrü 3.82 gündür. Rn-222 ve ürünleri solukla vücut içine alınabilir. Bozunum ürünlerinden kısa ömürlü olanları havadaki toz partiküllerine bağlanırlar, bunların solunumla alımı ve akciğerlerde birikimi bronş epithelium hücrelerinin yüksek doza maruz kalma-

sına neden olur. Daha sonraki α bozunumları ile de hücrelerde Po-218 ve Po-214 birikimi söz konusudur. Bina materyallerinde geleneksel materyallerden ayrılarak yüksek uranyum konsantrasyonuna sahip atıklar kullanılması nedeniyle radon ve ürünlerinden oluşan radyasyon dozunu saptamada yarar vardır.

Binalardaki radon düzeylerini yükselten ve değişiminde etkili olan pekçok faktör vardır. Binaların temelinden zemindeki topraktan radonun difüzyon yoluyla sızması söz konusudur ve barometrik basınçlardaki dalgalanmalara uygun pompalama difüzyona yardım eder. Radonun difüzyon yolları Şekil 3- de gösterildiği gibi çok çeşitli olabilir. Görüldüğü gibi bina temeli altındaki sahadan sızan radon, bodrum katlarından ve çatılardan bina içi havasına karışır. Sonuç



Şekil 3. Bina içi radonun kaynakları ve bina içine geçiş yolları.

olarak içerdeki radon konsantrasyonu, topraktan yayınlama oranına, difüzyonla giriş oranına ve içerdeki ventilasyon'a (havalandırmaya) bağlı olarak kompleksdir. Evlerde doğal ventilasyon oranı, rüzgarın hızının ve bina içi-bina dışı sıcaklık farkının lineer bir fonksiyonudur. Ierdeki radon konsantrasyonunu etkileyen bir diğer faktör duvarların yapı materyallerindeki Ra-226 içeriğidir. Yine duvarlardaki bu konsantrasyonlardan dolayı radon gazı çıkıŐı çeşitli faktörlere bağlıdır, atmosferik basınç bunlardan biridir. Basınç azalması ve sıcaklık artıŐı ile duvarlardan radon yayılımı artar. Böylece bina içindeki radon konsantrasyonu, dolayısı ile maruz kalma kışın yazdan daha düşüktür. Radon gazı çıkıŐı donmuŐ veya içi su dolu alanlar olduğu zaman azalır, bu nedenle deniz kıyılarındaki yerleŐim yerlerinde bulunan evlerdeki radon konsantrasyonu daha düşüktür [4]. Yazın temmuz ayındaki bina içi radon konsantrasyonu, havalandırma amacıyla açılan kapı ve pencereler dolayısı ile ocak ayı değerinin yarısından düşük olabilmektedir. Ayrıca kış aylarında ısıyı korumak amacıyla çift cam kullanılan evlerde radon konsantrasyonu ortalamalardan yaklaşık % 30 fazla bulunmuştur [1].

Absorblanan doz oranı ahŐap evlerde dıŐa göre çok düşüktür. Yapı malzemelerinin hem radyasyon kaynağı hem de yansıtıcı olarak etkisinin ahŐap evlerde % 30 azalırken, taş ve tuğladan yapılmıŐ evlerde % 30 arttığı kabul edilmektedir. Bu tip evlerde ölçülen gama radyasyonu, kozmik radyasyon ve zeminden gelen radyasyonun toplamıdır.

Çeşitli bina materyallerinin doğal radyoaktivitesi onların jeolojik orjini ve jeokimyasal karakteristiklerine büyük ölçüde bağlıdır. Aynı materyaller arasındaki çeşitli ülkelerdeki farklılıklar bu karakteristiklere büyük ölçüde bağlıdır.

Şehirlerdeki büyük nüfus grupları ve şehirlerin küçük boyutlarından dolayı, giderek yükselen apartmanlar ve ofis binaları yaygındır. Düşük tavanlı küçük odalarda yaşayan insanların çoğunluğu böylece daha büyük bina materyalleri ile sarılıdır. Eğer bina materyalleri yüksek radyoaktivite içerirse bu binalarda yaşayan insanların radyolojik tehlikeye maruz kalmaları önemlidir. Bu durum sadece bina içi absorblanan doz ile değil bina dışı absorblanan doz ile de ilgilidir. Bina materyalleri yapımında doğal ürünlerin yerine endüstriyel atıkların kullanımı, bina materyali endüstrisi için giderek artma eğilimindedir. Bina materyallerinde radyonüklidlerin zenginleşme düzeyi ülkenin orjinine bağlıdır. İnşaat yapımında kullanılan maddelerin radyoaktivite seviyelerinin bilgisi bu binaların içinde oturan insanların bina içi radyasyona maruz kalmasının kabul edilebilir düzeyde olup olmadığının belirlenmesi ve aynı zamanda bu materyallerin yönetim ve kullanımı için yönetmelik ve standartların geliştirilmesi için yararlıdır. Bina materyallerinde genellikle bu amaç için K-40, Ra-226 ve Th-232 konsantrasyonlarına bakılır. Uranyum serilerinin radyolojik etkilerinin % 98.5'u radyum ve ürünlerinden gelmektedir ve Ra-226'dan önceki nüklidler dikkate alınmayabilir. Aynı ayrı materyallerin spesifik aktivitelerinin hesabı toplam aktivitenin elde edilmesi için gereklidir. Farklı materyaller ve farklı bölgelerden gelen materyallerin aynı tipinde eşdeğer radyum önemli ölçüde değişir. Bu da bina inşasında kullanılacak uygun materyal seçiminde önemlidir. Pek çok ülke bina materyallerinde var olan doğal radyonüklidlerin neden olduğu doğal radyasyona maruz kalan nüfus gruplarının kontrolü ve standardizasyonu yolunda gayret sarf etmektedir. Eğer yapılan analizler risk-yarar temeline dayanırsa yaygın kullanılan inşaat materyallerine uygulanacak standardizasyon ve bunların kapsamındaki ortalama doğal radyoaktivite düzeyini belirlemek zorlaşır. Limitasyonlar halkı fazla ve gereksiz maruz kalmaya karşı korur, ancak üretim ve ucuz yapı malzemelerinin kullanımı ile özel endüstriyel yan ürünler veya atıkları engelleyemez.

1.3. Bina Materyallerindeki Doğal Radyonüklidler İçin Çeşitli Ülkelerde Verilen Sınırlamalar

Bu konuda çalışmalar yapan ülkelerden biri olan Polonya'da bina materyallerinin içerdikleri doğal radyasyondan dolayı, materyaller içindeki K, Ra ve Th konsantrasyonları için limitler getirilmiştir, böylece bina içi maruz kalmalar sınırlandırılmıştır. Burada yeni yapılarda kullanılan yeni bina materyallerinde radyoaktivitenin kontrolü için geliştirilen kontrol sistemi ile bina materyallerinde izin verilen maksimum K-40, Ra-226 ve Th-232'nin konsantrasyonu üzerine tavsiyeler getirilmiştir [6].

Bu tavsiyeler aşağıdaki temellere dayandırılmıştır :

K-40, Ra-226 ve Th-232 radyonüklid konsantrasyonları pci.g^{-1} olarak C_K , C_{Ra} ve C_{Th} ile ifade edilirse,

$$a) 0.01 C_K + 0.1 C_{Ra} + 0.16 C_{Th} \leq 1 \text{ ve}$$

$$b) C_{Ra} \leq 5 \text{ pci.g}^{-1} \text{ olarak verilmiştir.}$$

K-40, Ra-226 ve Th-232 radyonüklid konsantrasyonları Bq.kg^{-1} olarak S_K , S_{Ra} ve S_{Th} ile ifade edilirse ;

$$a') 0.00027 S_K + 0.0027 S_{Ra} + 0.0034 S_{Th} \leq 1 \text{ ve}$$

$$b') S_{Ra} \leq 185 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ olarak verilmiştir.}$$

Bu eşitsizliklerden birincisi (a ve a') duvarlarda bulunan radyonüklidler tarafından yayımlanan gama radyasyonuna tüm vücudun maruz kalmasında getirilen sınırlama, ikincisi (b ve b') ise radonun bozunum ürünleri tarafından yayımlanan α radyasyonuna maruz kalmada getirilen sınırlamadır. Birinci koşul, evlerdeki sınırsız kalınlıklı duvarlarda bulunan K-40, Ra-226 ve Th-232 konsantrasyonları, topraktaki

"klark" adı verilen ortalama dünya değerlerine eşit alınmak suretiyle çıkarılmıştır. Bu ortalama konsantrasyonlar çalışmada $C_K^{klark} = 10 \text{ pci.g}^{-1}$, $C_{Ra}^{klark} = 0.7 \text{ pci.g}^{-1}$ ve $C_{Th}^{klark} = 0.7 \text{ pci.g}^{-1}$ olarak verilmiştir. Buna göre bu tip binalarda oturanlar için yıllık gonodal doz aşağıdaki formülden bulunmaktadır.

$$D(\text{mrem/yıl}) = \alpha (0.16 C_K + 1.58 C_{Ra} + 2.45 C_{Th})$$

Burada C_K^{klark} , C_{Ra}^{klark} , C_{Th}^{klark} konsantrasyonları pci.g^{-1} olarak ifade edilmiştir ve $\alpha = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4$ olarak verilmiştir. $\alpha_1 = 1.5$; kapı ve pencerelerin durumlarına göre değiştirilebilen 2π ve 4π geometride dönüşümler, $\alpha_2 = 0.69$ gonadları koruyucu faktör, $\alpha_3 = 0.8 \times 8760 = 7008$ saat yılda bina içinde harcanan saatlerin sayısı ve $\alpha_4 = 10^{-3}$ rem den mrem'e dönüşümlerdir. Denkleme α yerine koyulursa,

$$D(\text{mrem/yıl}) = 1.16 C_K + 11.45 C_{Ra} + 17.8 C_{Th} \quad (3)$$

elde edilmiştir. Böylece klark konsantrasyonlar için bulunan değer $D^{klark} = 32.1 \text{ mrem/yıl}$ dır. Klark konsantrasyonlarından daha yüksek düzeydeki konsantrasyonlara sahip binalarda alınan gonadal dozun maksimum fazlalığı $\Delta D = 80 \text{ mrem.yıl}^{-1}$ olarak kabul edilmiş ve $\Delta D \leq D^{klark} + \Delta D$, $1.16 C_K + 11.45 C_{Ra} + 17.8 C_{Th} \leq 32 + 80$ olarak verilmiştir.

Bu eşitsizlikte sağ taraf "1" e eşitlenerek birinci koşul elde edilmiştir. Böylece bu durum sağlandığı zaman, bina materyallerindeki radyoaktiviteye uygun gama radyasyonundan maksimum izin verilen gonodal doz çalışmada 112 mrem.y^{-1} olarak verilmiştir [6].

Hindistan'da yapılan bir diğer çalışmada bina materyallerinin spesifik aktivitelerinin karşılaştırılması ve toplam aktivitenin elde edilmesi amacıyla eşdeğer radyum aktivitesi olarak isimlendirilen Ra_{eq} tanımlanmıştır. Burada 0.37 Bq.gr^{-1}

Ra-226'nın, 0.26 Bq.gr^{-1} Th-232'nin ve 4.8 Bq.gr^{-1} K-40'ın aynı gama dozunu ürettiği kabul edilmiş ve

$$Ra_{eq} = A_{Ra} + (A_{Th} \times 1.43) + (A_K \times 0.077) \quad (2)$$

olarak verilmiştir [7]. Bu eşitlikte A_{Ra} , A_{Th} ve A_K Bq.gr^{-1} olarak Ra-226, Th-232 ve K-40 aktiviteleridir. Farklı materyaller ve farklı bölgelerden gelen aynı tür materyallerde Ra_{eq} 'si önemli değişir. Örneğin alçıtaşında Ra_{eq} 159'dan 850 Bq.kg^{-1} 'e, uçucu külde 55'den 770 Bq.kg^{-1} 'e ve külde 11'den 1865 Bq.kg^{-1} 'e değiştiği gözönünde bulundurulursa bina inşasında kullanmak için uygun materyal seçiminde bu farklılıklar önemli rol oynar. Ra_{eq} için maksimum değer 0.37 Bq.gr^{-1} kabul edilerek buna karşılık gelen kriter formül,

$$\frac{A_K}{4810} + \frac{A_{Ra}}{370} + \frac{A_{Th}}{259} \leq 1. \quad (A: \text{Bq.kg}^{-1}) \quad (1)$$

olarak verilmiştir [7].

Başka bir çalışmada benzer bir sınırlama bağıntısı aşağıdaki şekilde verilmiştir [8].

$$\frac{C_{Ra}}{1 \times 10^{-8}} + \frac{C_{Th}}{7 \times 10^{-9}} + \frac{C_K}{1.3 \times 10^{-7}} \leq 1 \quad (C: \text{ci-kg}^{-1})$$

Ayrıca bu kriterde sadece γ radyasyonunun dış tehlikesinin gözönüne tutulduğu, solunumla ilgili organlara radyumun ve kısa ömürlü ürünlerinin alımı sonucu radyasyon tehlikesi gözönüne alınmadığı için, radyumun izin verilen maksimum konsantrasyonunun eşitlikteki düzeylerinin yarıya indirilmesi önerilmiştir.

Macaristan'da yapılan bir çalışmada ise bu konuda üç sınırlama getirilmiştir [9].

(i) Dış gama doz oranı, eşdeğer radyum konsantrasyonu (C_{Ra}^{eq}) ile ilişkili olabilir.

$$D = 2 (C_{Ra} + 1.45 C_{Th} + 0.081 C_K) = 2 C_{Ra}^{eq}$$

Değişik ülkelerde binalarda gama radyasyonuna maruz kalma sonucu önerilen veya saptanan doz oranı limitleri :

Polonya	80 mrad.y ⁻¹	(800 µGy.y ⁻¹)	gonadlar için
İsveç	50 µR. y ⁻¹	(3 mGy.y ⁻¹)	yeni evler için
Amerika	20 µR. y ⁻¹	(1.2 mGy.y ⁻¹)	art ortam üzerinde bina içindeki doz oranı
Rusya	150 mrad.y ⁻¹	(1.5 mGy.y ⁻¹)	gonadlar için

Krisjuk model kullanılarak maksimum izin verilen radyum konsantrasyonları yukardaki değerlerden gidilerek 814,444,333 ve 259 Bq.kg⁻¹ olarak hesaplanmıştır.

(ii) Rn-222 ürünlerinin solunumu radyum konsantrasyonu ile ilgilidir. Çeşitli ülkelerde Rn-222 sınırlaması için önerilen veya saptanan bazı standartlar ve oda içinde radon bozunum ürünleri konsantrasyonu (Bq.m⁻³) :

	<u>Rn-222</u>	<u>Ürünleri</u>
Polonya	37	18.5
İsveç	140	70
	400	200
	800	400
Amerika	111	55.5
Rusya	74	37

Bina materyallerindeki Ra-226 konsantrasyonunun Bq.m⁻³ olarak yukardaki değerlerden gidilerek sırasıyla 74, 333, 888, 1776, 259 ve 148 den büyük olmaması gerektiği bulun-

muştur. Ancak burada bina materyallerindeki Ra-226 konsantrasyonunun limit değerlere dayandığı kabul edilerek, topraktan gelen Rn-222 katkılarının ihmal edildiğine dikkat çekilmektedir.

(iii) Dış gama doz oranının bileşimi için C : Bq.kg^{-1} olmak üzere

$$H = \frac{C_{\text{Ra}}}{370} + \frac{C_{\text{Th}}}{259} + \frac{C_{\text{K}}}{4810} \quad \text{verilir,}$$

eğer H değeri birden küçük olursa, bu sonuç radyasyon tehlikesinin bina dışı ile aynı olduğunu gösterir [9].

Bu konsantrasyonlar için dünya ortalamaları 25.9 Bq.kg^{-1} Ra-226, 25.9 Bq.kg^{-1} Th-232 ve 370 Bq.kg^{-1} K-40 dır. Bu içerikli örnekler için D nin değeri 0.05 Gy.h^{-1} , $C_{\text{Ra}}^{\text{eq}}$ ın değeri 92.5 Bq.kg^{-1} ve H' nin değeri 0.32 dir.

Yukarda da değinildiği gibi sınırlamalar halkı fazla ve gereksiz maruz kalmaya karşı korur, ancak üretim ve ucuz yapı malzemelerinin kullanımı ile özel endüstriyel yan ürünler veya atıkları engelleyemez. Özellikle son yıllarda bina materyallerinde endüstriyel atıkların kullanımı yaygınlaşmıştır. Bu atıkların kullanımı ekonomik nedenlerin yanı sıra materyallere bazı özellikler kazandırmakta, ayrıca çevre kirliliği büyük ölçüde önlenmektedir.

1.4. Çimento ve Betondaki Katkı Maddeleri

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

Günümüzün en önemli yapı malzemesi olan çimentonun üretiminde atık kullanımı giderek önemli boyutlara varmaktadır. Çimento yapımında çimentoya bağlayıcı özelliği kazandırmak amacıyla puzolanlar karıştırılır. Puzolanlar kendileri herhangi bir bağlama özelliğine sahip olmasalar da normal sıcaklıklarda, sulu ortamda kireçle birleşerek bağlama özelliğine sahip çözünmeyen kararlı bileşikler oluşturan bileşenler içeren maddelerdir. Puzolanlar, doğal ve suni olmak üzere ikiye ayrılabilir. Doğal puzolanlar başlıca az ya da çok geniş değişikliklere uğramış, volkanik kaynaklı tortul kayalardan oluşurlar, fakat başka kaynaklı maddelerde içerirler. Suni puzolanlar bu gibi doğal maddelerin kil ya da şist olarak ısıtılmasıyla elde edilirler, bundan başka diğer ürünlerin atıklarıdır. Örneğin "silis dumanları" metal silis veya silis temeli alışımaların üretiminden elde edilirken uçucu kül termal elektrik güç santrallerindeki öğütülmüş ocak kömürünün yanmasından elde edilir. Kaynakları ne olursa olsun puzolanların esası az miktarlarda da olsa her zaman var olan silistir.

Doğal puzolanlar dünyanın belirli yerlerinde bulunurlar. Klasik puzolanlar temelde patlayıcı bir tipin volkanik püskürmesi nedeniyle parçalanmış gevşek kayalardır. Bütün bu kayalar, minerolojik ve kimyasal olarak önemli ölçüde farklılıklar gösterirler, sadece kireç bağlama kapasiteleri ortaktır. Sıkı volkanik tüfler de yine doğal puzolanlara bir örnektir.

Tras, kendisinde hidrolitik bağlayıcılık özelliği olmayan fakat kireç veya çimento gibi maddelerle karıştırıldığı zaman bağlayıcı maddeler meydana getirebilen ve karıştırıldığı çimentoya kimyasal mukavemet kazandıran volkanik bir maddedir. Federal Almanya, Hollanda ve Türkiye'de doğal puzolonik maddelere tras adı verilmektedir [10]. Dolayısı ile doğal puzolanlı çimentolara traslı çimento denilmektedir. Puzolanik davranış gösteren volkanik kaynaklı olmayan çöküntüler arasında, hem silis toprakları hemde orjinal

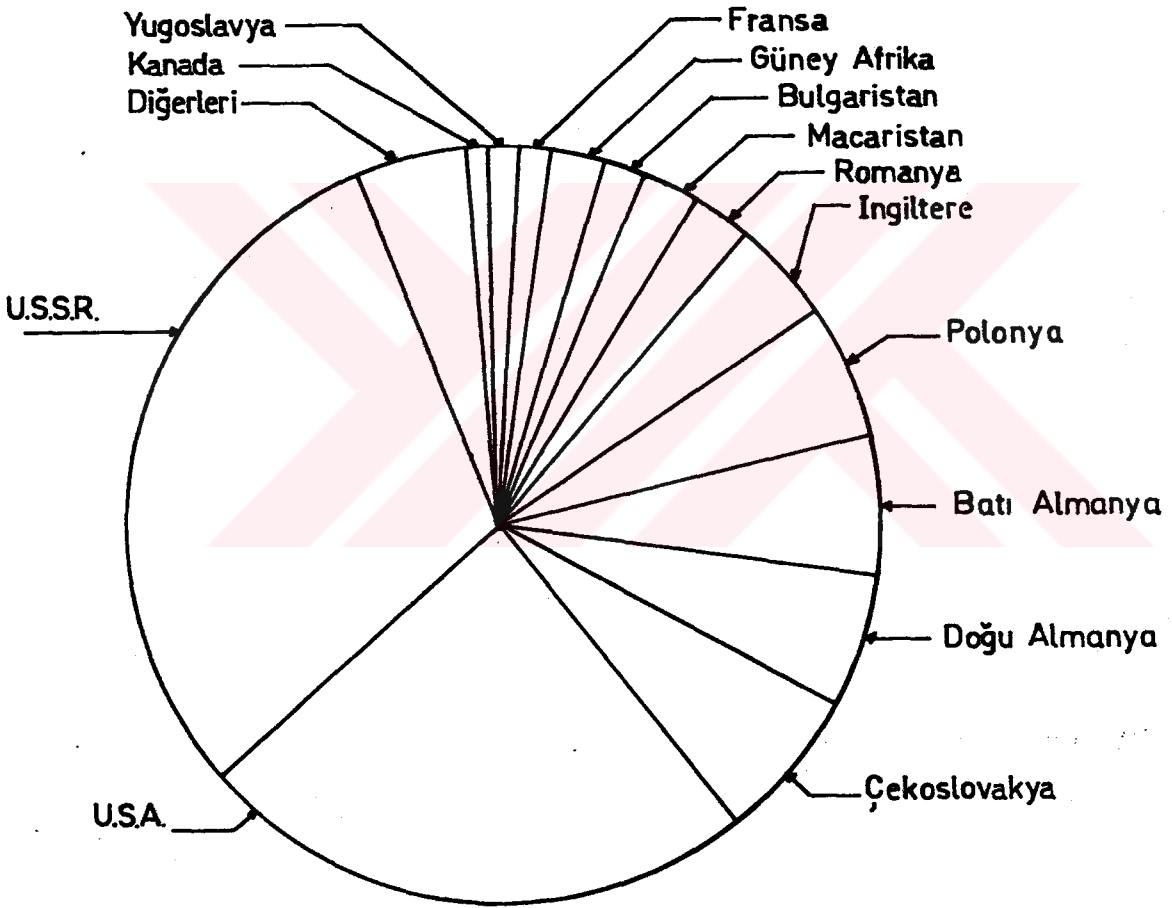
kayada bulunan temel oksitlerin büyük bir kısmını kaybetmiş olan bazı silisli kayalar bulunur.

Tüm bu doğal puzolanların minerolojik yapısından dolayı (kuvars, feldispat vb.) uranyumun iz veya yüksek oranlarda bulunması beklenir. Ayrıca bu maddelerin bileşimlerinde yüksek oranlarda silis bulunmasından dolayı, uranyum ve toryum yığılımları söz konusu olabilir.

Suni puzolanlara en iyi örnek uçucu küllerdir. Uçucu kül termik santrallarda pulverize kömürün yanmasından oluşan bir yan üründür. Bu santrallarda düşük kalorili olmaları nedeniyle başka yerlerde kullanılma olasılığı olmayan kömür ve artıkları kullanılır. Şlam denilen bu kömürlerin dane çapları 0.2-0.5 mm. dolayındadır ve kül oranları oldukça yüksektir (% 30 - % 40) [11]. Yanma gazları atmosfere atılmadan önce ince taneler halinde bir kalıntı olarak toz toplama ünitelerinde toplanır. Uçucu kül taneleri tipik olarak küresel olup, çapları 1 ile 150 mikron arasında değişir, çoğunluğu 45 mikrondan daha küçüktür. Tane büyüklüğü dağılımı toz toplama sisteminin tipine bağlıdır. Mekanik toz toplayıcılarının kullanıldığı bazı eski ünitelerdeki boilerlerden alınan uçucu küller elektrostatik toz tutucu kullananlara nazaran iri tanelidir. Uçucu küllerin bileşimi hem kömürün orjinine hem de yanma işlemine bağlı olarak önemli ölçüde değişir. Çoğunluğu % 85'den daha fazla oranda silis, alümin, demir, kalsiyum ve magnezyum elementlerinden oluşan kimyasal bileşenler ile camsı yapı ihtiva ederler. Uçucu küllerin puzolanik aktifliği vardır. Ziftli kömürler, linyit kömürleri ve subbituminous kömürlerin yanmasıyla oluşan küller nispeten yüksek yüzdelerde kireç içerirler. Bu onları serbest kalsiyum oksidini söndürdükten sonra doğrudan, yani hidrolik bağlayıcılar gibi ek maddeler eklemeyen kullanmayı olası kılar.

Enerji talebinin artmasına paralel olarak termik santrallardaki uçucu kül birikimi çok büyük miktarları bulmak-

tadır. Türkiye'de 1987 yılında 11 milyon ton uçucu kül birikimi söz konusuydu [12]. 1977 yılında yapılan bir araştırmaya göre dünyada uçucu kül üretimi 278.443.000 metrik ton olarak hesaplanmıştır. Bu miktarın yaklaşık % 11.4'ü kullanılmıştır. Şekil 4'de ülkelere göre uçucu kül üretimi görülmektedir.



Şekil-4 1977 Yılında dünyada uçucu kül dağılımı

Tablo 5' de ise sekiz ülkede çimento ve betonda kullanılan uçucu kül yüzdeleri verilmiştir.

Tablo 5. Sekiz Ülkede Çimento ve Betonda Kullanılan Uçucu Kül Yüzdeleri

Ülke	Kullanılan %	Yıl
FRANSA	24	1978
İNGİLTERE	19	1978
POLONYA	14	1975
DANİMARKA	14	1981
BATI ALMANYA	8-10	1978
KANADA	7	1982
AMERİKA	6	1978
HİNDİSTAN	1	1978

Kömür bilindiği gibi doğal radyoaktif elementleri bünyesinde bulundurur. Genel olarak bunların konsantrasyonları yer kabuğundaki ortalama konsantrasyonlardan düşüktür. Fakat bazen volkanik kökenli ve normalin üstünde bir radyoaktif yüklenmeye maruz kalmanın bir sonucu olarak kömürde bazı radyonüklidler normalin üstünde bir konsantrasyona sebep olabilir. İşte termik santrallerde kullanılanlar bu tip kömürlerdir. Termik santrallerde kömürün organik kısmı yandıktan sonra geride kalan inorganik maddeler uçucu kül, dip külü ve curuftur. Böylece kömürün yapısındaki radyonüklidler bu üç tip atıktaki konsantre olur. Bu atıklarda radyonüklidlerin konsantrasyonları farklıdır. Zenginleşme oranı kül ve kömür oranlarına bağlıdır. Parçacık boyutu küçüldükçe zenginleşme artmaktadır. En küçük boyuttaki uçucu küllerde radyonüklidlerin konsantrasyonu en fazladır. Bu nedenle uçucu küllerin çimento katkı maddesi olarak kullanımını önem kazanmaktadır.

Enstitümüzde, "Yatağan Termik Santralının dip ve baca küllerindeki uranyum ve radyum içeriğinin gama ve x-ışını spektroskopisi ile tayini" adlı, Yener ve Uysal [13] tarafından gerçekleştirilen çalışmada bu bölgede kömür ve küllerdeki konsantrasyonlar ayrıntılı olarak incelenmiştir. Th-232'nin uçucu kül ve dip külündeki konsantrasyonları birbirine yakın ve kömüre nazaran 1-3 kat arasında bir değerde oldukları gözlenmiştir ve genelde konsantrasyonları literatürdeki değerden düşük olduğu bulunmuştur. Yine aynı çalışmada uçucu külde uranyum ürünlerinin, uranyumdan daha fazla konsantre olduğu, buna karşılık dip külünde uranyumun ürünlerden daha fazla konsantre olduğu gözlenmiştir. Buradan U-238 serisindeki hafif elementlerin baca gazları ile birlikte yükselebilen kabiliyetlerinin U-238'e nazaran daha fazla olacağı tahmin edilmiştir. Sonuç olarak kömürlerdeki uranyumun en çok zenginleştiği kısım uçucu küllerdir. Böylece uçucu küllerin çimento katkı maddesi kullanımı ve bu çimentoların bina yapımında kullanılması sonucu maruz kalınacak dozlar konusunda yapılacak araştırmalar için, ilk önce kullanılan çimentodaki radyonüklid konsantrasyonlarının tayini gerekir.

Bu konuda birçok ülkede olduğu gibi örneğin Macaristan'da yapılan bir çalışmada, ülkede kullanılan çimento endüstrisi ürünleri ve hammaddelerindeki doğal radyoaktivite düzeyi ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bazı çimento örneklerindeki doğal radyoaktivite düzeyleri, yalnız katkılardan dolayı (uçucu kül, yüksek fırın curufu) dünya ortalamalarının üzerinde bulunmuştur. Tablo 6'da bu durum açıkça görülmektedir [9].

Pratikte çimentonun ağırlıkça % 15-25'ini meydana getiren uçucu külün tipik bir beton karışımındaki ağırlığı % 5 civarındadır. Bu nedenle betonda uçucu külden gelen toplam spesifik aktivite fazla değildir. Bununla beraber betondaki

Tablo 6. Macaristan'da Çimento Endüstrisi Ürünlerindeki ve Hammaddelerdeki Doğal Radyoaktivite

Bölge Örnek	Radyoaktif Konsantrasyon (Bq.kg ⁻¹)			
	²³² Th	²²⁶ Ra	⁴⁰ K	
I	450 pc	22.0 ± 1.8	27.2 ± 1.7	172 ± 7
	350/10 ppc	49.0 ± 2.0	54.7 ± 2.7	383 ± 14
	350/20 ppc	53.0 ± 2.1	55.0 ± 2.7	402 ± 14
	Alçıtaşı	0.8 ± 0.1	7.0 ± 0.6	76 ± 6
	Kil	52.8 ± 2.0	26.3 ± 1.5	443 ± 15
	Kireçtaşı	2.8 ± 0.2	8.6 ± 0.7	10 ± 2
	Uçucu kül	199 ± 11	8.8 ± 0.8	273 ± 12
	Klinker	21.3 ± 1.6	22.3 ± 1.4	143 ± 6
II	450 pc	14.7 ± 1.3	7.8 ± 1.7	213 ± 11
	350/10 ppc	18.8 ± 1.3	13.9 ± 1.8	261 ± 11
	Alçıtaşı	0.7 ± 0.1	3.2 ± 0.3	10 ± 1
	Kil	32.5 ± 1.8	22.4 ± 2.3	525 ± 15
	Kireçtaşı	-	0.6 ± 0.1	-
	Uçucu kül	69.7 ± 2.6	92.4 ± 3.6	423 ± 19
III	Klinker	13.6 ± 0.5	9.9 ± 0.8	285 ± 5
	450 pc	13.4 ± 1.0	11.3 ± 0.8	133 ± 7
	350/20 kspc	18.1 ± 0.6	21.8 ± 0.9	228 ± 6
	350/40 kspc	18.8 ± 1.0	40.4 ± 1.6	229 ± 9
	S-54 pc	16.0 ± 1.0	7.7 ± 1.3	248 ± 8
	Alçıtaşı	15.1 ± 1.1	15.5 ± 1.0	187 ± 7
	Kil	43.7 ± 3.1	22.7 ± 3.8	709 ± 24
	Kireçtaşı	3.1 ± 0.2	6.1 ± 0.4	12 ± 1
	Kum	48.9 ± 3.0	24.7 ± 3.6	686 ± 22
	Yüksek fırın Curufu	26.8 ± 1.9	88.3 ± 3.2	188 ± 16
IV	Klinker	15.0 ± 1.1	13.6 ± 1.0	105 ± 6
	350 pc	16.3 ± 1.0	38.0 ± 1.5	167 ± 9
	350/10 ppc	14.1 ± 1.1	34.4 ± 1.2	95 ± 8
	S-54 pc	13.0 ± 0.6	27.7 ± 0.9	131 ± 5
	Alçıtaşı	2.7 ± 0.4	1.3 ± 0.2	-
	Kil	10.4 ± 0.8	4.2 ± 0.3	186 ± 6
	Kireçtaşı	7.0 ± 0.5	8.5 ± 0.7	20 ± 2
	Kum	24.6 ± 2.0	9.0 ± 2.5	331 ± 15
	Uçucu kül	74.5 ± 3.0	228 ± 5.0	610 ± 24
V	Klinker	11.3 ± 1.1	20.6 ± 1.7	132 ± 5
	450 pc	15.6 ± 1.8	17.4 ± 2.5	192 ± 15
	450 kspc	18.6 ± 1.0	16.0 ± 1.4	211 ± 8
	350/20 kspc	23.4 ± 2.0	53.4 ± 3.1	201 ± 16
	350/40 kspc	23.3 ± 1.1	60.5 ± 1.7	226 ± 9
	Alçıtaşı	1.2 ± 0.2	5.6 ± 0.3	7 ± 1
	Kil	40.6 ± 3.1	14.4 ± 1.7	623 ± 15
	Kireçtaşı	0.6 ± 0.1	1.8 ± 0.3	-
	Yüksek fırın Curufu	46.0 ± 1.2	142.0 ± 2.0	269 ± 10
	Klinker	15.2 ± 1.6	10.5 ± 0.7	181 ± 12

pc portland çimento
 ppc uçucu küllü portland çimento
 kspc yüksek fırın portland çimento

fosfat slag (curuf) kullanımı, Ra-226 içeriğini önemli ölçüde yükseltmektedir.

Çimento üretiminde uçucu külün yanında fosfatlı alçı taşı kullanımı da söz konusudur. Çimentonun üretimi boyunca (PPC) portland puzolan çimento üretiminde uçucu kül ve doğal alçıtaşı veya kalsiyum karbonat yerine fosfatlı alçıtaşı kullanımı bina içi radyasyona maruz kalmayı arttırmaktadır.

Termal yöntemler kullanılarak üretilen fosfatın üretim atıklarından biri, çoğunda radyumun konsantre olduğu curuf (slag) dır. Bu şekilde elde edilen curufun en büyük endüstriyel kullanım alanlarından biri, beton ve bina bloklarının üretiminde hafif olmaları itibariyle çimento harcına katılmalarıdır. Sonuç olarak fosfat üretim alanlarının sık olduğu bölgelerde bulunan bina duvarlarında uranyum, radyum ve dolayısı ile radon ürünlerinin düzeyleri yükselmektedir. Evlerin duvarları ve tavanlar için fosfatlı alçı taşının kullanımı sonucunda havadaki gama doz oranı yaklaşık 7 rad/h (60 krad/yıl veya 0.6 kGy/yıl) ve radon düzeyleri yaklaşık 0.15 pci/L (5.5 Bq.m⁻³) olarak tahmin edilmektedir [4].

Amerika'da fosfatlı curuf (slag) kullanılan beton incelenmiş ve bu şekilde inşa edilen evlerde betonun 740 Bq.kg⁻¹ değerinde Ra-226 içerdiği kabul edilmiştir [4].

Uçucu küllerin çimento katkı maddesi, normal betonda belli oranda kum yerine kullanımı dışında, gaz beton, enjeksiyon betonu, hafif agregalı beton, hafif yapı malzemesi, tuğla ve yol yapımlarında da kullanılmaktadır.

Yüksek fırın curufuda çimento katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Demir üretiminde kullanılan yüksek fırında, demir cevherinden demir alındıktan sonra geri kalan maddeye curuf denilmektedir. Bunun içinde alümin, silis ve kireç bulunmaktadır. Yüksek fırın curufu içine az miktar

bağlayıcı madde katılınca puzolanlardan da öteye çimento yapısına sahip olmaktadırlar.

Aşağıdaki tabloda Hollanda'da yapılan bir çalışmadaki farklı bina materyallerindeki Ra-226 konsantrasyonları verilmiştir [14].

Tablo 6. Hollanda'da Bina Materyallerindeki Ra-226 İçeriği

<u>Materyal</u>	<u>Ra-226 (Bq.kg⁻¹)</u>
Tuğla	39.1 ± 2.6
% 20 Uçucu kül katılmış tuğla	75.5 ± 3.8
Gaz beton	18.3 ± 1.3
Uçucu küllü gaz beton	57.5 ± 3.5
Fosfatlı Alçı Taşı	700 ± 30
Doğal Alçı Taşı	3.9 ± 0.7

Yine Hollanda'da yapılan aynı çalışmada farklı beton tiplerindeki Ra-226 konsantrasyonları, betonun farklı bileşimlerine göre incelenmiştir, aynı zamanda Rn-222 yayılım oranları da verilmiştir. Tablo 7 de sonuçlar görülmektedir [14].

Tablo-7. Farklı Tipde Aynı Kalınlıktaki Beton Türlerinde Ra-226 içeriği ve Radon yayılım Oranları :

<u>Materyal</u>	<u>Kalınlık (cm)</u>	<u>Ra-226 (Bq.kg⁻¹)</u>	<u>Rn-222 yayılım oranı (Bq.m⁻²h⁻¹)</u>
Beton, portland, çimento % 17 uçucu kül taneleri % 34 kum % 42 su % 7	10	55 ± 2.7	2.0 ± 0.2
Beton, portland çimento % 13 fosfat curufu % 47 kum % 32 su % 8	10	710 ± 40	6.2 ± 0.2

Norveç'te yapılan benzer çalışmalarda çimentodaki eşdeğer radyum aktivitesi 80 Bq.kg^{-1} bulunmuştur [15]. Fakat kısmen uçucu külün bulunduğu çimentodaki (FA çimento: % 75 çimento, % 25 uçucu külden ibaret) eşdeğer aktivite 192 Bq.kg^{-1} dir. Bu tip (FA çimentonun) çimentonun kum ve çakıl kullanımı ile yapılan betondaki radyoaktivite düzeylerinin arttığı bulunmuştur, zenginleşme düzeyi kullanılan uçucu külün orjinine bağlıdır. Örneğin Filandiya'daki betonda eşdeğer radyum aktivitesi yaklaşık 130 Bq.kg^{-1} dir. Bununla beraber İngiltere, Almanya ve Danimarka'da kullanılan FA çimentonun betondaki eşdeğer radyum aktivitesini sırasıyla 320, 408 ve 521 Bq.kg^{-1} değerlerine yükselttiği gözlenmiştir [15].

Atık kullanımı çimentoların yanında tuğlalar içinde söz konusudur. Fakat bina materyallerinden tuğlalar kısmen yüksek Ra-226 konsantrasyonlarına sahip olsalar da, radon gazı yayımlama oranları betona göre daha düşüktür. Bazı yerlerde örneğin Almanya'da alüminyumtaşı ürünlerinin tuğla üretiminde kullanılması sonucu tuğlalardaki Ra-226 konsantrasyonları 280 Bq.kg^{-1} bulunmuştur [4].

Fakat sadece atıkların kullanıldığı materyallerde değil, ayrıca bina materyali olarak kullanılan doğal ürünlerde de Ra-226 konsantrasyonları yüksek olabilir. Tıkızlıkları, mekanik gerilimlere karşı direnç göstermeleri ve özellikle parlatma işleminden sonra güzel bir görünüm olması nedeniyle, yapılarda ve sanayide kullanılan granit bunlardan biridir. Bu niteliklerin yanısıra, büyük taş ocaklarından dev bloklar halinde çıkarılabilmeleri, kullanım alanını çok genişletir. Anıtların yapımında olduğu kadar, yaya kaldırımlarının kenar taşları ve kaldırım taşı üretiminde de granitten yararlanılır. Yerkabuğunun en önemli ve en bol bulunan kayaçlarından biri olan granit, silis oranını % 65'in üstüne çıkarabilen püskürük bir kayaçtır ve doğal radyoaktivite düzeyi diğer kayaçlara nazaran daha yüksektir. Granit içinde bulunan maden filizleri; kuvars (genellikle 10 ile 30 ora-

nında bulunur, magmanın başkalaşımı sırasında en son billurlaşan arı silis bu katıyı oluşturur), feldispat ve mikalardır. Bu mineraller içinde uranyum ve toryum iz veya yüksek oranlarda oluşabilir. Özellikle Hong Kong'da bu tip yaygın jeolojik yapıdan dolayı, granitteki ve granitin kullanıldığı bina materyallerindeki radyoaktivite düzeylerinin saptanması ve granitin kullanımından dolayı artan radyasyon tehlikeleri tahminleri yapılmaktadır.

Yukarıda değinildiği bina materyallerinin radyasyon yayıcı özelliğinin yanında absorblayıcı özelliği vardır. UNSCEAR (1977) tarafından verilen sonuçlarda, 50 gr.cm^{-2} lik duvar kalınlıklarının kısmen tüm karasal radyasyonu absorblayacağı ve 10 gr.cm^{-2} lik kalınlığında yarısını absorblayacağı belirtilmiştir. Ev dışındaki doğal kaynaklardan bina içi havasına katkılar sadece karasal radyasyondan gelmemektedir, kozmik radyasyonda bina içi doz oranını arttıran bir kaynaktır. Kozmik radyasyon bilindiği gibi yükseklikle artmaktadır. İngiltere'deki bu konuda yapılan çalışmalarda, evlerin çoğunun tek katlı oluşunun maruz kalmayı azalttığı gözlenmiştir. Genel olarak yapılan çalışmalarda binalardaki soğurma faktörü apartman bloklar için 0.42, tek katlı evler için 0.82 olarak verilmiştir. İngiltere'de yapılan çalışmada ise burdaki yaygın bina tiplerine uygun soğurma faktörü 0.8 dir. Yine buradaki çalışmada kozmik radyasyonun tüm bileşenlerinden ortalama yıllık doz yaklaşık $250 \mu\text{sv}$ (iyonize bileşenlerden $230 \mu\text{sv}$ + nötron bileşenlerinden $20 \mu\text{sv}$) dir. Böylece yapılan çalışmalarda İngiltere'deki binalarda zamanın çoğunu evde geçirenler için bireysel yıllık dozlar yaklaşık $200 \mu\text{sv}$ dir, zamanının çoğunu bina dışında geçiren insanlar için $300 \mu\text{sv}$ dir [1].

Bina içi radyasyon düzeylerine katkılar ve buna bağlı olarak maruz kalınacak dozlar konusunda yapılacak araştırmalar için, ilk önce kullanılan bina materyallerindeki radyonüklid konsantrasyonlarının belirlenmesi gerekir. Doz

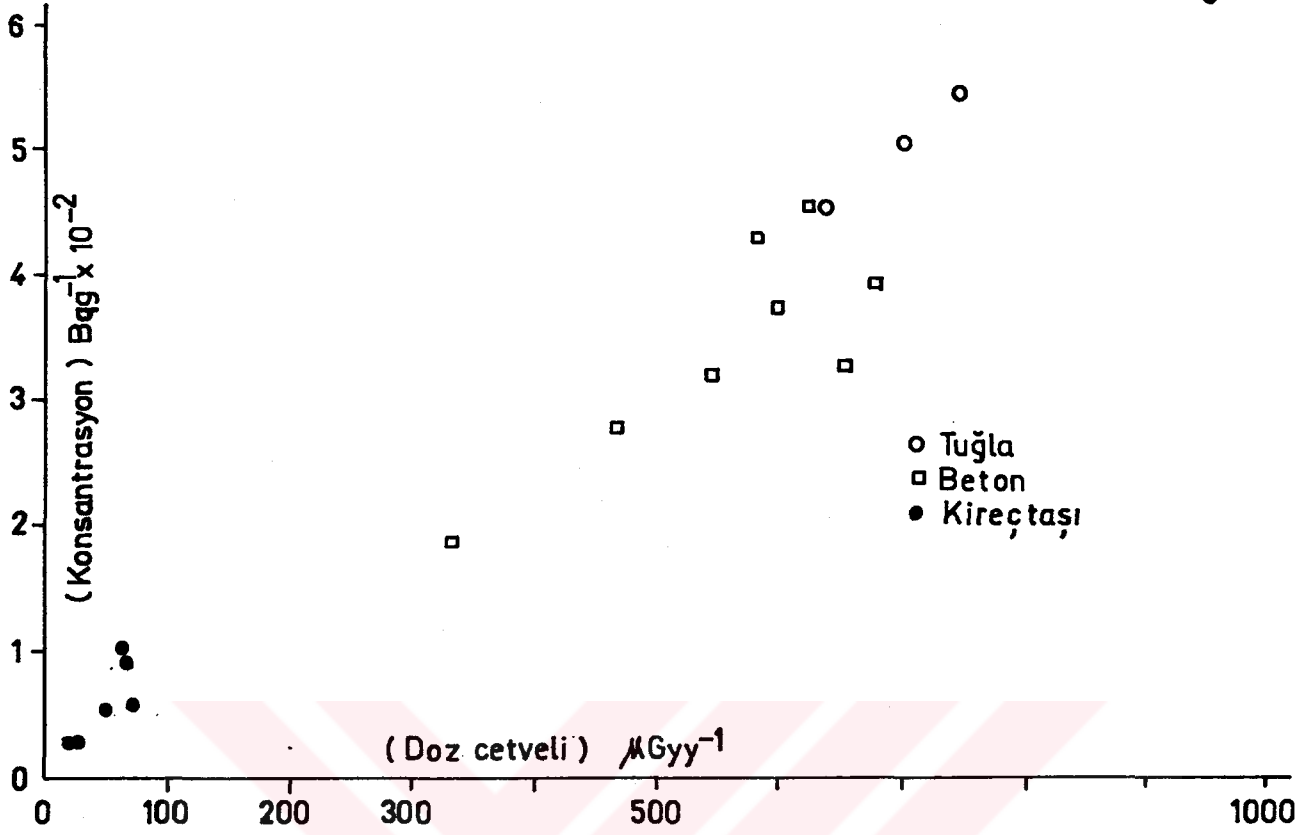
oranları ve radyonüklid bileşenleri arasında çok çeşitli ilişkiler sözkonusudur. Bu ilişkiler bina materyallerinde yapılan bir çok çalışmada incelenmiştir. Toplam doz oranları uranyum, toryum ve potasyum konsantrasyonları temel alınarak hesaplanmıştır. Bu konsantrasyonlara karşılık gelen doz oranları çeşitli materyaller için grafiklerle verilmiştir. Örneğin bir çalışmada toryum ve uranyum konsantrasyonları arasında lineer bir ilişkinin olduğu gösterilmiştir ve bunlar arasındaki oran (Th: U); (1: 1,1) olarak verilmiştir. Grafikler Şekil 5 ve Şekil 6 gösterilmiştir [8]. Uranyum ve toryum serilerinin konsantrasyonu arasındaki ilişki, toplam gama doz oranı alımı aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$\begin{aligned}
 D &= k_1 C_{Ra} + k_2 C_{Th} + k_3 C_K \\
 &= k_1 C_{Ra} + 0.91 k_2 C_{Ra} + k_3 C_K \\
 &= (k_1 + 0.91 k_2) C_{Ra} + k_3 C_K
 \end{aligned}$$

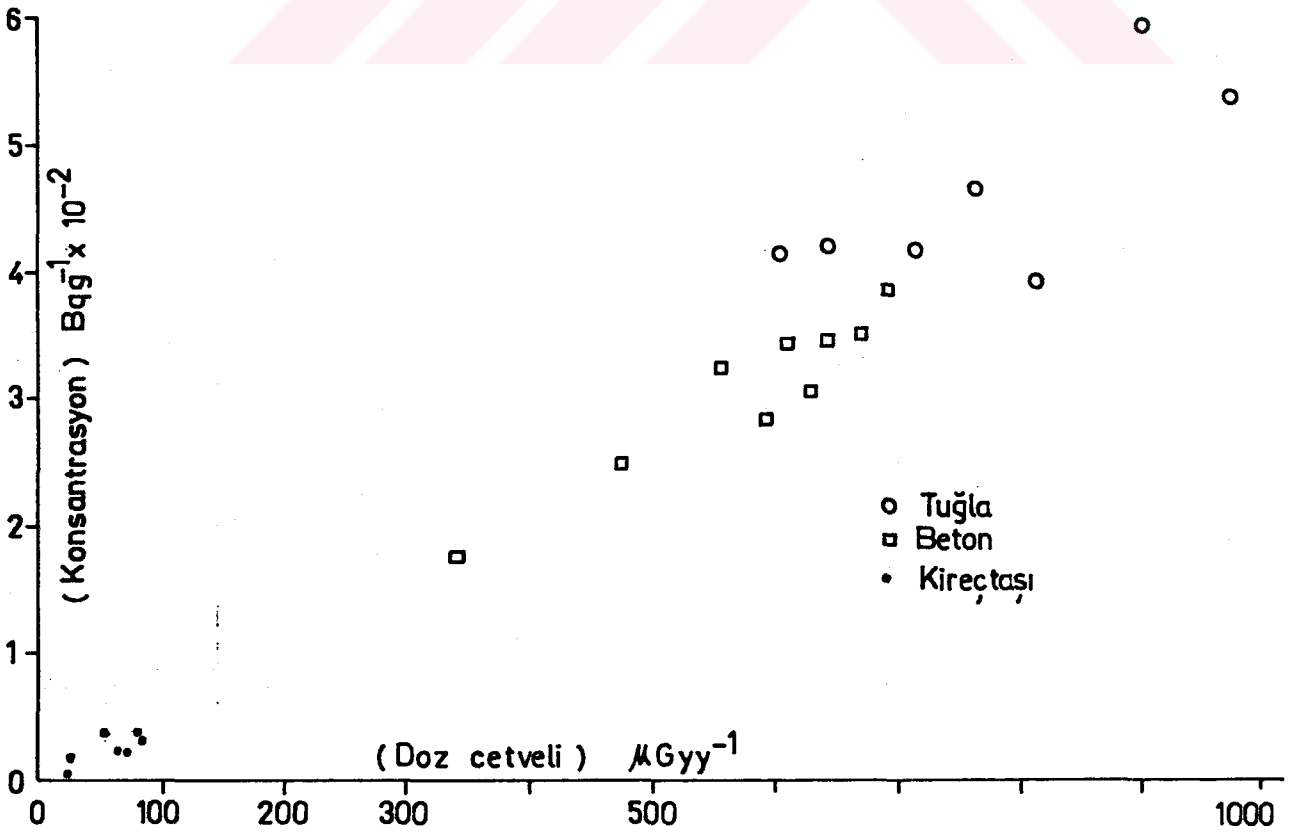
Burada k_1 , k_2 ve k_3 birim konsantrasyonlar için doz oranlarını verir ve C_{Ra} , C_{Th} , C_K radyum, toryum ve potasyum konsantrasyonlarıdır.

Bina yapım malzemelerinin hemen hemen hepsinin radyonüklid aktiviteleri yönünden bir arada inceleyen analizleri örnek olmak üzere, Hindistan'da yapılan bir çalışma sonuçları Tablo 8' de gösterilmektedir [15].

Bu çalışmadaki amaç, İzmir'de konut inşaatlarında kullanılan farklı tip çimento, tuğla ve kiremit örneklerindeki radyonüklid konsantrasyonlarının tayinini yapmaktır, böylece bu konuda verilen limitlerle karşılaştırmak mümkün olacaktır. Ayrıca bu konsantrasyonlardan dolayı bina içinde maruz kalınacak dozların tahminini yapmak mümkün olacaktır.



ŞEKİL-5 (Ra 226 Konsantrasyonuna karşılık gelen doz çizelgesi)



Şekil-6 (Th 232 Konsantrasyonuna karşılık gelen doz çizelgesi)

Tablo 8. Hindistan'da çeşitli bina materyallerindeki Ortalama Aktiviteler

Materyal	Ortalama Aktiviteler (Bq.kg ⁻¹)		
	K-40	Ra-226	Th-232
Granit	690.0	32.0	124.0
Kireçtaşı	81.0	8.6	6.3
Uçucu kül	261.0	154.0	105.0
Alçıtaşı	156.0	361.0	49.0
Kil	62.0	725.0	102.0
Kırmızı çamur	0.0	39.0	130.0
OPC çimento	133.0	39.0	27.0
PSC çimento	82.0	78.0	33.0
PPC çimento	129.0	141.0	37.0
Tuğla	3.0	48.0	35.6
Toprak	140.0	11.1	18.5

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Örneklerin Hazırlanması

Yüksek enerji gama spektroskopisi kullanılarak çalışmada incelenen çimento, tuğla ve kiremit örnekleri İzmir'in çeşitli semtlerinde yapılmakta olan konut inşaatlarından ve yerel üreticilerden sağlanmıştır. Materyallerin seçiminde İzmir'deki ev tipleri ve her yapı tipinde ortak olarak kullanılan yapı malzemelerinin türü esas alınmıştır. Bu nedenle analiz edilen örneklerin çoğunu traslı çimento ve Turgutlu 'da üretilen tuğlalar oluşturmaktadır. Sayımlardan önce örneklerin hazırlanışında izlenen sıra şu şekildedir; Türk Standartlarına uygun olarak üretilen traslı çimento, portland çimento, katkılı portland çimento ve beyaz çimento gibi çimento türlerini kapsayan çimento örnekleri, 105°C'de yaklaşık 16 saat kurutulduktan sonra 10 cm çaplı, 100 cc. lik silindirik kaplara 100'er gram olarak yerleştirilmiştir. Yine konut inşaatlarında kullanılan ve başlıca üretim alanları Turgutlu, Salihli, Alaşehir, Afyon ve Aydın olan tuğla ve kiremit örnekleri ise kırıcıdan alındıktan sonra tanecik boyutu 80 Mesh olacak şekilde eilenmiş ve çimento örneklerine uygulanan kurutma ve silindirik kaplara yerleştirme işlemi bu örnekler içinde uygulanmıştır. Bu şekilde 15 ayrı çimento örneğinin her birinden 3'er kutu olmak üzere 45 kutu, yine 27 tuğla örneğinden aynı şekilde 71 kutu ve 7 kiremit örneğinden 21 kutu örnek sıkıca kapatılarak bir ay süre ile bekletilmiştir, böylece Ra-226 ve ürünleri arasındaki radyoaktif dengenin oluşması sağlanmıştır, örneklerin hazırlanması sırasındaki radonun kısmi kaçışına uygun denge tekrar sağlanmıştır.

2.2. Örneklerin Analizi ve Kullanılan Sistemin Yapısı

Bir aylık bekleme süresinden sonra ölçümlere geçilmiştir. Ölçümlerde iki ayrı gama spektrometre sistemi kullanılır.

mıştır, sistemleri oluşturan parçalar şu şekildedir. Tenelec 3" x 3" NaI (TI) sintilasyon detektörü, fotoçoğaltıcı tüp, tüp ayağı ve preamplifikatörü, birinci sistemde boyutları 25 x 25 x 30 cm dan kurşun odacık içine yerleştirilmiştir. Kurşun blokların kalınlığı 5 cm'dir. Detektör ve kurşun blok arasında saçılmayı minimuma indirmek için en az 10 cm. bırakılmasına dikkat edilmiştir. İkinci sistemde ise daha farklı bir zırhlama kullanılmıştır. Detektör sistemi ve örneğin bulunduğu silindirik odacığın yüksekliği 60 cm, çapı ise 30 cm. dir. Tabanlarda ve yan yüzlerde 7.5 cm kalınlığındaki aralıkta kurşun saçmalar bulunmaktadır.

İki sistemde de ORTEC Model 575 Lineer Amplifikatör ve ORTEC model 456 yüksek voltaj kaynağı kullanılmıştır.

Yine birinci sistemde ORTEC Model 7010, 4096 kanallı puls yüksekliği analizörü, ikincide ise tenelec PCA II, 8196 kanallı bilgisayar programlı çok kanallı analizörün puls yüksekliği modu kullanılmıştır.

Gama spektroskopisi günümüzde diğer nükleer analiz yöntemlerine tercih edilerek kullanılmaktadır. Bu yöntemle örneklerin hiçbir işleme tabi tutulmadan analizi mümkün olduğu gibi, bir tek ölçümle örnek içinde bulunan birçok elemente ait gama verici izotopların aynı anda gözlenmesi mümkün olur. Gamalar yüksek enerjili elektromagnetik dalgalar olduğundan madde içinden geçerken intensitelerinin azalması çok az olur, dolayısı ile örnek içindeki self absorpsiyon ihmal edilecek kadar önemsizdir. Böylece sayım istatistiğinin iyi olması ve analiz süresinin kısaltılması amacıyla örnek miktarı büyük tutulabilir.

Bir gama spektrumunda herhangi bir fotopikin altındaki alan gama detektörünün o enerjide algıladığı gama ışını sayısına eşittir. Bu sayı örnek içinde o enerjide gama ışını veren radyoaktif atom sayısı ile orantılıdır. Elde edilen

bu sayım, sistemin geometri faktörü, detektörün seçilen gama enerjisindeki verimi, spektrometrenin ölçü zamanı, gamanın çekirdekten çıkış intensitesi gibi faktörler dikkate alınarak ve uygun standartlar kullanılarak örnekteki aktivite ve radyoaktif atom sayısı bulunur. Çalışmada kullanılan uranyum standardı için IAEA sertifikalı, "Nuclear Energy Board" laboratuvarı orjinali pitehblende (% 0.014 lük U_3O_8) den 100 gr. alınarak önceden hazırlanan 118 ppm. lik standart; toryum standardı için toryum nitrat tuzu ($Th(NO_3)_4 \cdot 5H_2O$) dan 36.85 mg. alınarak üzeri 100 gr. a şeker ile tamamlanmış 150 ppm'lik standart ve potasyum standardı içinde, potasyum klorür (KCl)'den 100 gr. alınarak hazırlanan % 52'lik standartlar kullanılmıştır.

Uranyum ve toryum doğrudan doğruya yayınladıkları radyasyon ölçülerek gözlenemezler. Çünkü yarı ömürleri çok uzun dolayısı ile birim zamanda yaptıkları parçalanma olasılığı ve buna bağlı olarak yayınladıkları ortalama radyasyon sayısı çok düşüktür. Bu sebeple uranyum ve toryum deteksiyonu bozunma zincirleri içindeki radyoaktif ürünlerine ait aktivitelerin ölçülmesi sureti ile yapılır. Bunun için zincir içinde radyoaktif dengenin varlığı kabul edilir.

Örneklerdeki radyonüklid konsantrasyonlarını saptarken, kullanılacak ürün gama pikleri seçilirken ürün yarı ömrü, ışının çekirdekten yayınlama intensitesi, enerjisi ve spektrumdaki diğer gama ışınları ile enterferans olasılığı gibi faktörler dikkate alınarak kompleks olmayan pikler seçilmiştir. Tüm bunlar dikkate alınarak çalışma için seçilen ürün ve gama ışınları ile özellikleri Tablo 2-1 ve 2-2' de verilmiştir.

Bu nedenle U-238 serisinde Bi-214'e ait 1.76 MeV ve Th-232 serisinden Tl-208'e ait 2.61 MeV'lik gamalar uranyum ve toryum analizinde kullanılacak en elverişli gamalardır. K-40'ın ise 1.46 MeV lik tek bir gama ışını söz konusudur.

Tablo 2-1. U-238'in Bozunma Ürünlerinin En Belirgin Gama Işınları

İzotop	Gama Enerjisi (MeV)	İntensite (%)
^{214}Pb	0.2419	7
^{214}Pb	0.2952	18
^{214}Pb	0.3520	35
^{214}Bi	0.6094	43
^{214}Bi	1.1204	15
^{214}Bi	1.7647	15
^{214}Bi	2.2045	5
^{214}Bi	2.4480	1.5

Tablo 2-2. Th-232' nin Bozunma Ürünlerinin En Belirgin Gama Işınları

İzotop	Gama Enerjisi (MeV)	İntensite (%)
^{212}Pb	0.2386	45
^{228}Ac	0.3385	12
^{208}Tl	0.5107	9
^{208}Tl	0.5831	30
^{212}Bi	0.7272	7
^{228}Ac	0.9111	29
^{228}Ac	0.9667	23
^{208}Tl	2.6147	36

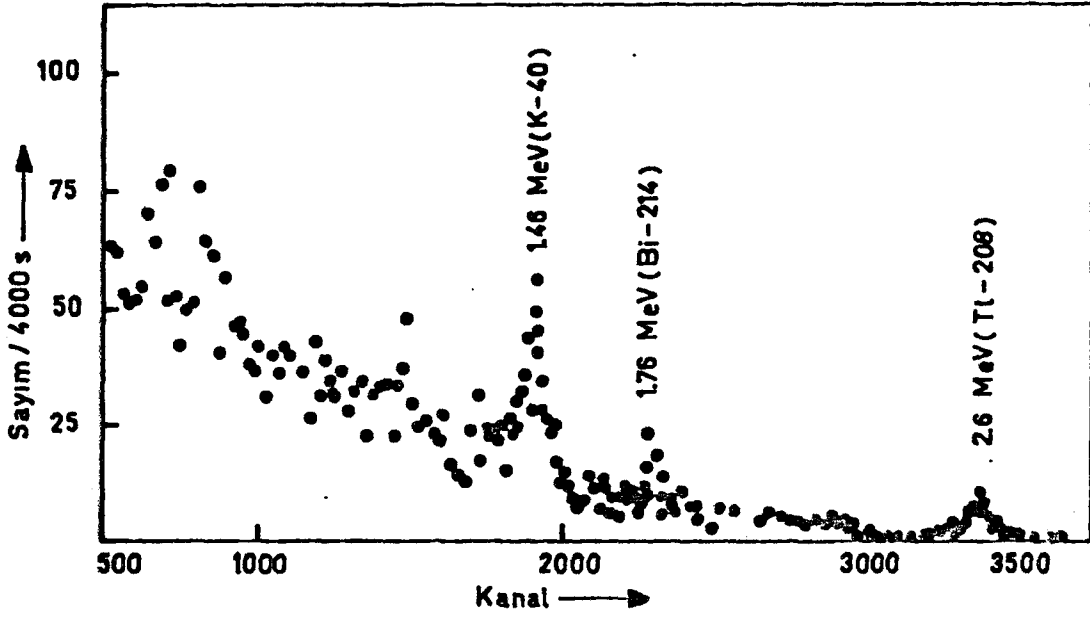
Çalışmada kullanılan iki ayrı spektrometre sistemi ile alınan spektrumlara örnek olmak üzere dört spektrum Şekil 2-1, 2-2, 2-3 ve 2-4' de gösterilmiştir. Şekil 2-1deki spektrum 4096 kanallı analizörün kullanıldığı sistemde alınmıştır, 13 nolu çimento örneğine aittir. Şekil 2-2' de yine aynı çimento örneğine aittir, fakat 8196 kanallı bilgisayar programlı çok kanallı analizör kullanılarak alınmıştır. İki sistemde ayrı ayrı yapılan analiz sonuçları birbirini desteklemektedir. Şekil 2-3 ve 2-4 deki spektrumlarda da 8196 kanallı analizör kullanılmıştır. Şekil 2-3, 5 nolu kiremit örneğinin, Şekil 2-4 ise 11 nolu tuğla örneğinin örnek spektrumlarıdır.

Analiz yaparken bir gama enerjisinin ait olduğu izotopun net sayımından örnek içindeki konsantrasyonu hesaplamak için o kanallara diğer radyoelementlerden gelen katkıları çıkartmak gerekir. Katkı oranını spektrometrenin çeşitli ayarlarına ve geometriye bağlı olarak veren faktörlere sıyırma faktörleri denir. Bu faktörler α , β ve γ olarak verilir ve standartlar kullanılarak belirlenir. α , spektrumlarda toryumdan uranyuma, β , toryumdan potasyuma, γ uranyumdan potasyuma gelen katkıları belirleyen faktörlerdir [17]. Standart konsantrasyonlarından yararlanarak seçilen enerji aralıklarına ve geometriye ait duyarlılık faktörleri K_{Th} , K_U , K_K dur [17].

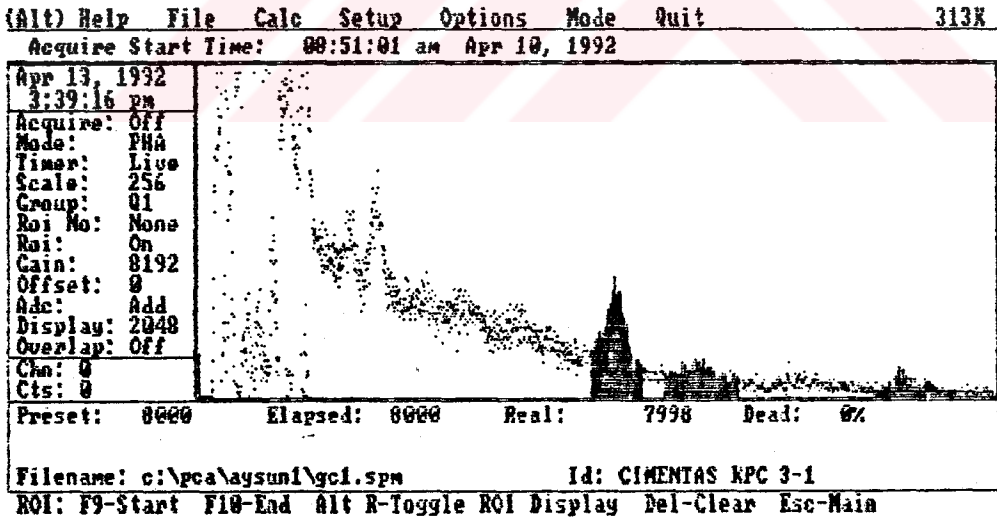
Bu faktörlerin birlikte kullanımı ile aşağıdaki bağıntılardan örneklerdeki her bir radyoelement konsantrasyonu $e_{Th}(ppm)$, $e_{U(Ra)}(ppm)$ ve %K olarak elde edilir.

$$e_{Th}(ppm) = \frac{1}{k_{Th}} Th_{net}$$

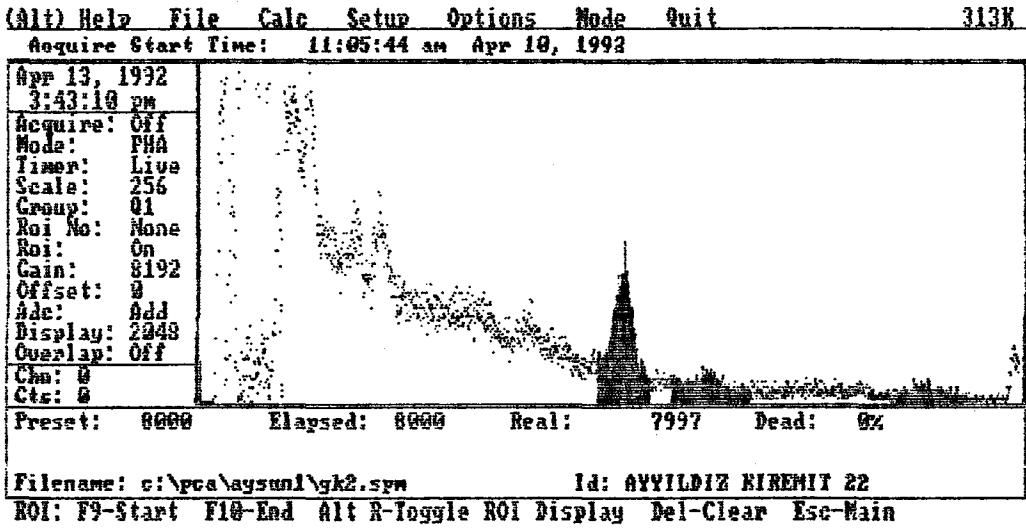
$$e_{U(Ra)}(ppm) = \frac{1}{k_U} (U_{net} - Th_{net})$$



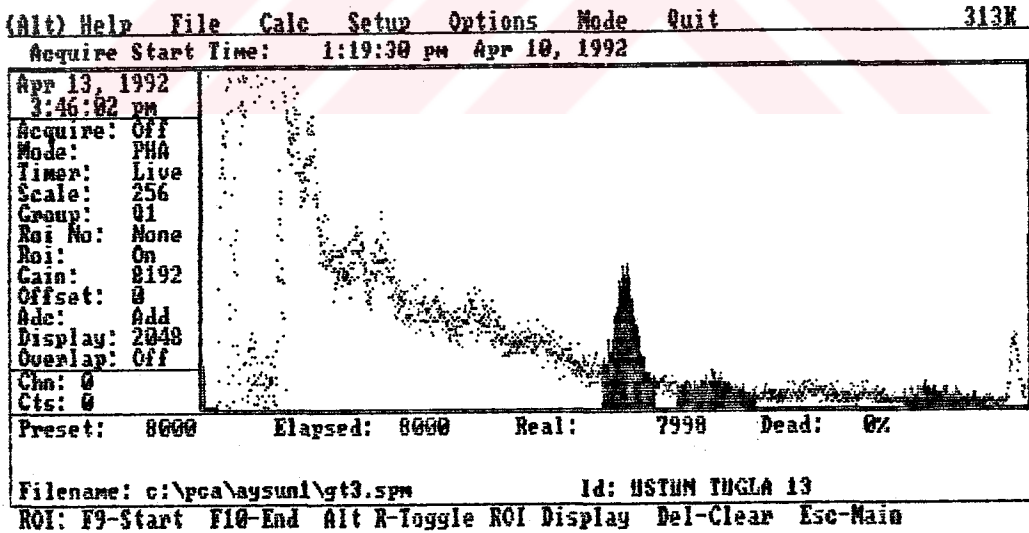
Şekil 2-1. 13 nolu çimento örneğinin yüksek enerji gama spektrumu.



Şekil 2-2. 13 nolu çimento örneğinin yüksek enerji gama spektrumu.



Şekil 2-3. 5 nolu kiremit örneğinin yüksek enerji gama spektrumu



Şekil 2-4. 11 nolu tuğla örneğinin yüksek enerji gama spektrumu

$$\%K = \frac{1}{k_K} \left[K_{net} - (U_{net} - Th_{net}) - Th_{net} \right]$$

Ayrıca çalışmada radyoelement konsantrasyonları $Bq.kg^{-1}$ olarak verilmiştir. Bu hesaplama için $eU(Ra)(ppm)eTh(ppm)$ ve $\%K$ değerleri esas alınarak kullanılan bağıntı aşağıdaki gibidir ;

$$A_i = \frac{C_{i(net)}}{m(kg) \times t(s) \times \epsilon_i \times I(\%)}$$

Burada; A_i : Radyoelementlerin $Bq.kg^{-1}$ olarak aktiviteleridir.

m : Kilogram olarak örneklerin kütlesidir.

t : Saniye olarak örneklerin ölçüm zamanıdır.

I : Seçilen enerjide gamanın çekirdekten çıkış intensitesidir.

ϵ_i : Detektörün seçilen gama enerjisindeki verimidir

$C_{i(net)}$: Örneklerin sayımlarında katkı düzeltmesi yapıldıktan sonraki net sayımlardır.

$$C_{u(net)} = k_U \times C_U(ppm)$$

$$C_{Th(net)} = k_{Th} \times C_{Th}(ppm)$$

$$C_K(net) = k_K \times C_K(\%)$$

Sistemin 1.46 MeV, 1.76 MeV ve 2.61 MeV enerjideki verim hesabı şu şekilde yapılmıştır. 100 gr lık ve 100 cc.' lik plastik kaplardaki KCl standardı kullanılarak sistemin 1.46 MeV enerjideki toplam gama verimi ϵ_T ölçülmüştür. Daha sonra 3"x 3" NaI(Tl) kristali intrinsic verim eğrilerinden yararlanılarak 1.46 MeV, 1.76 MeV ve 2.61 MeV enerjide kristalin verimi $\epsilon_{int}(1.46 \text{ MeV}) = 0.57$, $\epsilon_{int}(1.76 \text{ MeV}) = 0.54$ ve $\epsilon_{int}(2.61 \text{ MeV}) = 0.49$ olarak bulunmuştur. Buradan toplam verim için,

$$\epsilon_{(1.76 \text{ MeV})}^T = \epsilon_{1.46}^T \frac{\epsilon_{\text{int}(1.76 \text{ MeV})}}{\epsilon_{\text{int}(1.46 \text{ MeV})}}$$

$$\epsilon_{(2.61 \text{ MeV})}^T = \epsilon_{1.46}^T \frac{\epsilon_{\text{int}(2.61 \text{ MeV})}}{\epsilon_{\text{int}(1.46 \text{ MeV})}}$$

bulunmuştur.

Böylece İzmir'de konut inşaatlarında yaygın olarak kullanılan çimento, tuğla ve kiremit örneklerindeki radyonüklid içerikleri hem Bq.kg^{-1} hem de ppm olarak belirlendikten sonra birinci bölümde aktivite sınırlaması için verilen (1) nolu

$$\frac{A_K}{4810} + \frac{A_{\text{Ra}}}{370} + \frac{A_{\text{Th}}}{259} \leq 1 \quad (A: \text{Bq.kg}^{-1})$$

bağıntı kullanılarak ayrı örneklerin toplam aktiviteleri hesaplanmıştır. Yine aynı bölümde verilen eşdeğer radyum aktivitesinin hesaplanmasına ilişkin (2) nolu

$$Ra_{\text{eq}} = A_{\text{Ra}} + (A_{\text{Th}} \times 1.43) + (A_K \times 0.077)$$

bağıntı kullanılarak her bir örnek için ayrı ayrı hesaplama yapılmıştır. Yine doz sınırlamaları için birinci bölümdeki (3) nolu,

$$D(\text{mrem/yıl}) = 1.16 C_K + 11.45 C_{\text{Ra}} + 17.8 C_{\text{Th}}$$

bağıntısı ile bu tip örneklerden kaynaklanabilecek bina içi yıllık doz oranları tahmin edilmiştir.

Tablo 2-3. Çimento Ölçümlerinde Kullanılan Gama Spektrometre Sisteminde Kullanılan Değerler

Radyoelement	Gama Enerjisi (MeV)	Enerji Aralığı (MeV)	3"x 3" NaI(Tl) Detektörü için Pik (%) Verimi
Potasyum	1.46	1.39 - 1.52	% 2.6
Uranyum	1.76	1.64 - 1.78	% 2.4
Toryum	2.61	2.42 - 2.86	% 2.2
Sabitler	$\alpha = 0.59$ $k_{Th} = 61.12$	$\beta = 0.56$ $k_U = 34.16$	$\gamma = 1.13$ $k_K = 337.48$

Tablo 2-4. Tuğla ve Kiremit Ölçümlerinde Kullanılan Gama Spektrometre Sisteminde Kullanılan Değerler

Radyoelement	Gama Enerjisi (MeV)	Enerji Aralığı (MeV)	3"x 3" NaI(Tl) Detektörü için Pik (%) Verimi
Potasyum	1.46	1.39 - 1.52	% 2.8
Uranyum	1.76	1.64 - 1.78	% 2.6
Toryum	2.61	2.42 - 2.86	% 2.4
Sabitler	$\alpha = 0.64$ $k_{Th} = 69.4$	$\beta = 0.60$ $k_U = 40.3$	$\gamma = 1.09$ $k_K = 372.3$

2.3. Spektrometrenin Enerji Kalibrasyonu

Standart gama kaynaklarından 10μ ci'lik Co-60, Na-22 ve Cs-137 kullanılarak çok kanallı analizörde her kanalın kabul edeceği gama enerjisi tesbit edilmiş ve kanal sayısı ile gama enerjisi arasındaki kalibrasyon doğrusu çizilmiştir. Çalışmada gözönüne alınan gama enerjileri bölgesinde spektrometrenin enerji lineerliği kontrol edilmiştir. Hergün spektrometre ısıtıldıktan sonra ölçüm işlemlerine başlarken mutlaka en az bir kez enerji kalibrasyonu yapılmıştır. Enerji kalibrasyonunda dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan bir tanesi spektrometrenin ölü zamanının

standart sayımda ve örnek sayımlarında aynı olmasıdır, çünkü ölü zamandaki % 2' lik bir değişme kanallarda büyük oranda değişmeye neden olur.

Genellikle gama standartlarınınin aktiviteleeri örnek aktiviteleerinden daha fazla olduğundan standart kaynak uzaklığı arttırılarak ölü zaman aynı tutulur.



3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

3.1. Çimento Örneklerinin Sonuçları

Çalışmada 15 ayrı tür çimentodan hazırlanan 45 örneğin incelenmesi sonucu bulunan radyonüklid konsantrasyonları $eU(Ra)$ (ppm), eTh (ppm) ve % K olarak Tablo 3.1'de gösterilmektedir. Bu tablo incelendiği zaman $eU(Ra)$ değerlerinin örneklerde 3.30 ppm ve 7.70 ppm arasında değiştiği görülür. 13, 15, 3,1 ve 9 nolu örneklerde $eU(Ra)$ sırasıyla 7.70 ppm, 6.37 ppm, 5.73 ppm, 5.67 ppm. ve 5.69 ppm olmak üzere yüksek gözlenmiştir. 13 ve 15 numaralı örnekler katkılı portland çimentosu, 3 ve 1 numaralı örnekler traslı çimento ve 9 numaralı örnek portland çimentosudur. eTh değerlerinin ise örneklerde 0.67 ppm ve 4.67 ppm arasında değiştiği görülür. 7,5 ve 4 numaralı örnekler sırasıyla 4.67 ppm, 2.00 ppm ve 1.99 ppm olmak üzere çalışmada gözlenen en yüksek eTh konsantrasyonlarına sahiptir ve bu örnekler traslı çimentolardır. Genel olarak katkılı portland çimentolarında eTh konsantrasyonları düşük gözlenmiştir.

% K değerleri 0.24 ve 1.88 arasında değişmektedir. Tüm çimento türleri için % K değerleri düşük gözlenmiştir. Sonuçların başka ülkelerde yapılan ve $Bq.kg^{-1}$ olarak ifade edilen diğer çalışmalarla karşılaştırılabilmesi için bütün aktiviteler ayrıca $Bq.kg^{-1}$ olarak da hesaplanmıştır (Tablo 3.2). Beklenildiği üzere Tablo 3-1 de işaret edilen aynı örnekler yine aynı şekilde yüksek $Bq.kg^{-1}$ aktivitelere sahiptir.

Daha önce belirtildiği gibi $370 Bq.kg^{-1}$ Ra-226'nın, $259 Bq.kg^{-1}$ Th-232'nin ve $4810 Bq.kg^{-1}$ K-40'ın aynı gama dozunu ürettiğine dayanılarak Ra_{eq} Bölüm 1'deki (2) nolu eşitlikte verilmiştir. Bu bağıntıdan hesaplanan örneklerin Ra_{eq} aktivitelerinin $100 Bq.kg^{-1}$ ve $270 Bq.kg^{-1}$ arasında değiştiği gözlenmiştir. Yine Bölüm 1 de 3 nolu eşitlikle $Bq.kg^{-1}$ olarak aktiviteleri ölçülen örneklerden ayrı ayrı alınacak yıllık doz oranları $mrem.y^{-1}$ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3-1. Çimento Örneklerinin eU(Ra), eTh ve % K Konsantrasyonları

ÖRNEK NO	ÖRNEK TÜRÜ	% K	eU(Ra) ppm	eTh (ppm)
1	TRASLI ÇİMENTO	1.05	5.67	1.77
2	TRASLI ÇİMENTO	1.08	4.44	1.60
3	TRASLI ÇİMENTO	1.48	5.73	1.16
4	TRASLI ÇİMENTO	1.88	4.40	1.99
5	TRASLI ÇİMENTO	1.10	3.30	2.00
6	TRASLI ÇİMENTO	0.75	4.34	1.52
7	TRASLI ÇİMENTO	1.20	4.79	4.67
8	TRASLI ÇİMENTO	1.26	3.74	1.71
9	PORTLAND ÇİMENTO	0.78	5.69	0.87
10	PORTLAND ÇİMENTO	1.04	1.36	1.59
11	BEYAZ ÇİMENTO	0.44	4.12	1.10
12	KATKILI PORTLAND ÇİMENTO	0.43	4.74	0.74
13	KATKILI PORTLAND ÇİMENTO	0.95	7.70	0.93
14	KATKILI PORTLAND ÇİMENTO	0.24	4.08	1.00
15	KATKILI PORTLAND ÇİMENTO	1.25	6.37	0.67

Tablo 3-2. Çimento Örneklerindeki Aktivite Konsantrasyonları

ÖRNEK NO VE ADI	K-40 Bq.kg ⁻¹	Ra-226 Bq.kg ⁻¹	Th-232 Bq.kg ⁻¹	Doz Oranı mrem/yıl	Bq.kg ⁻¹ Ra _{eq}	$\frac{C_K}{4810} + \frac{C_{Ra}}{370} + \frac{C_{Th}}{259}$
1 TRASLI ÇİMENTO	310.83	134.62	34.23	51.82	201	0.55
2 TRASLI ÇİMENTO	321.19	105.32	30.94	57.46	174	0.46
3 TRASLI ÇİMENTO	439.61	135.92	22.53	66.59	201	0.54
4 TRASLI ÇİMENTO	558.02	104.37	38.48	68.22	202	0.54
5 TRASLI ÇİMENTO	326.76	78.28	38.77	53.06	158	0.42
6 TRASLI ÇİMENTO	222.02	102.95	29.49	52.94	162	0.43
7 TRASLI ÇİMENTO	355.23	113.74	90.42	89.73	270	0.72
8 TRASLI ÇİMENTO	374.48	88.83	33.07	55.07	164	0.44
9 PORTLAND ÇİMENTO	230.90	135.09	16.82	57.07	176	0.47
10 PORTLAND ÇİMENTO	309.35	32.25	30.73	34.41	100	0.26
11 BEYAZ ÇİMENTO	130.25	97.73	21.27	44.5	138	0.37
12 KATKILI PORTLAND ÇİMENTO	127.29	112.55	14.40	45.69	142	0.38
13 KATKILI PORTLAND ÇİMENTO	282.71	182.77	18.08	74.03	230	0.62
14 KATKILI PORTLAND ÇİMENTO	97.68	96.78	17.69	41.46	129	0.52
15 KATKILI PORTLAND ÇİMENTO	356.62	151.10	13.05	64.14	197	0.53

Bütün bu sonuçlar Tablo 3-2 de bir arada gösterilmiştir. Böylece yıllık doz oranlarının çalışmada kullanılan örnekler için $34.41 \text{ mrem.y}^{-1}$ ve $89.73 \text{ mrem/y}^{-1}$ arasında değiştiği gözlenmiştir. Aktivite sınırlamaları açısından incelenmesi için örneklerin aktivite konsantrasyonları kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 3-2 de verilmiştir.

$\frac{C_K}{4810} + \frac{C_{Ra}}{370} + \frac{C_{Th}}{259}$ değerlerinin 0.26 ile 0.72 arasında değiştiği ve en büyük aktivitenin 7 nolu örnekte ölçüldüğü gözlenmektedir. Tablo 3-1 incelendiğinde eU(Ra) konsantrasyonlarının en yüksek olduğu çimento türü katkıli portland çimentosudur. Bu tip çimentolarda, suni puzolanik materyallerden uçucu kül ve yüksek fırın letiyesi (curuf) gibi katkı maddeleri kullanılmaktadır, dolayısı ile radyoaktivite düzeyleri katkılardan dolayı önemli ölçüde artmaktadır. İncelenen katkıli portland çimentolarının tümünde eU(Ra) konsantrasyonları yüksek değildir. Örneğin 14 nolu örnekteki eU(Ra) değeri 4.08 ppm olarak bulunmuştur. Bu durumun nedeni çimento üretim fabrikalarının ayrı oluşu dolayısı ile kullanılan katkı maddelerinin orjinlerinin ayrı oluşu olabilir. Fakat aynı üreticiden sağlanan 12 ve 13 nolu katkıli portland çimentosu örneklerinde 4.74 ppm ve 7.70 ppm olmak üzere farklı konsantrasyonlar gözlenmiştir. Bu durumun nedeni ise katkı maddesi olarak kullanılan uçucu külün sağlandığı termik santrallerde kullanılan kömürlerin farklı zamanlarda alınması ve santralde farklı ocaklardan gelen kömürlerin paçal yapılarak yakılması sonucu elde edilen uçucu küllerdeki konsantrasyonların ayrı oluşu, dolayısı ile farklı zamanlarda üretilen çimentolardaki aktivitelerinde farklı oluşu olabilir. Bu durum diğer katkı maddeleri içinde geçerlidir.

Traslı çimentolar için Tablo 3-1'de verilen sonuçlar incelendiğinde eU(Ra), eTh konsantrasyonlarının ikisinin de yüksek olduğu görülür. Ayrıca Ra_{eq} aktivite konsantrasyonları da en yüksek bu tip çimentolarda gözlenmiştir. Tras birinci bölümde anlatıldığı gibi volkanik kökenlidir, bu nedenle trasın kullanıldığı çimentolarda her iki konsant-

rasyonun yüksek olması beklenir, dolayısı ile Ra_{eq} aktivite- teleri yüksek değerdedir. Örneğin 7 numaralı traslı çimento örneğinde Ra-226 ve Th-232 aktivite konsantrasyonları $113.74 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ve 90.42 Bq.kg^{-1} bulunmuştur. Bu değerler literatürde çeşitli ülkeler için verilen ortalama aktivite konsantrasyonlarının yaklaşık iki katından fazladır. Böylece yıllık doz oranına en yüksek değerde katkı, bu çimentodan gelir. Yine Tablo 3-1 de verilen sonuçlardan % K konsantrasyonlarının tüm çimento örnekleri için düşük olduğu gözlenmiştir. Bilindiği gibi 760 mmHg basınç altında potasyumun buharlaşma sıcaklığı 770°C dir. Çimento üretiminde kullanılan hammaddelerin karışımlarının pişirilmesi (gerek yaş, gerekse kuru yöntemle hazırlanan karışımlar) döner fırınlarda yapılır. Kendi eksenini etrafında saatte 20-60 devir yaparak dönen fırında, ilkel malzeme eğim nedeniyle aşağıya doğru hareket ederek sıcaklığın etkisinde kalır. Genel olarak fırının içindeki sıcaklık en fazla 1500°C civarındadır. Dolayısı ile hammaddelerdeki potasyum içeriği sıcaklık esnasında oluşan uçucu bileşenlerle kaybolur. Böylece çimento türlerinde K-40 konsantrasyonunu düşük gözlememizin en önemli nedeni bu durumdur.

Hindistan'da, uçucu kül kullanılarak üretilen çimentolar- daki (ppc) Ra-226, Th-232 ve K-40 aktivite konsantrasyon- larının ortalaması sırasıyla 141.0 Bq.kg^{-1} , 37 Bq.kg^{-1} ve 129 Bq.kg^{-1} bulunmuştur [7]. Görüldüğü gibi Ra-226 ve Th-232 aktivite konsantrasyonlarının ortalamaları 13 nolu çimento örneğinde gözlenen Ra-226 konsantrasyonunun altında Th-232 aktivite konsantrasyonunun ise üstündedir, K-40 aktivite konsantrasyonu ise Hindistan'daki ortalamanın üstündedir.

Çalışmada incelenen çimento örneklerinin ortalaması litera- türdeki değerlerin üstündedir. Tablo 3-7 de verilen çeşitli aktivite konsantrasyonları incelendiğinde, çalışmada ince- lenen çimentolardaki Ra-226 aktivitelerinin, Hindistan'daki ortalamalar hariç diğer ülkelerdeki ortalamaların yaklaşık

üç katı olduğu görülür. Fakat çimento örneklerinde aktivite konsantrasyonları için verilen sınırlamalar aşılmamıştır. Yine çimento örnekleri için verilen maksimum gonodal dozun aşılmadığı görülür.

3.2. Tuğla Örneklerinin Sonuçları

Çalışmada 27 ayrı üreticiden sağlanan ve 71 kutu olarak hazırlanan tuğla örneklerinin incelenmesi sonucu bulunan radyonüklid konsantrasyonları $eU(Ra)$ (ppm), eTh (ppm) ve % K olarak Tablo 3-3'de gösterilmektedir. Tablodaki değerler incelendiği zaman $eU(Ra)$ değerlerinin örneklerde 1.70 ppm ve 5.66 ppm arasında değiştiği görülür. 11, 13, 23, 24 ve 10 nolu örneklerde $eU(Ra)$ sırasıyla 5.66 ppm, 5.66 ppm, 5.54 ppm, 5.24 ppm ve 5.20 ppm olmak üzere yüksek gözlenmiştir. 11 ve 10 nolu örneklerin üretim yeri Turgutlu, 13 ve 23 nolu örneğin Salihli ve 24 nolu örneğin ise Aydın'dır. eTh değerlerinin ise tuğla örneklerinde 0.97 ppm ve 2.33 ppm arasında değiştiği görülür. 7,19,4 ve 5 nolu örnekler tuğlalar için çalışmada gözlenen en yüksek Th-232 konsantrasyonuna sahiptir, bu değerler sırasıyla 2.33 ppm, 2.30 ppm, 2.16 ppm ve 2.16 ppm dir. 19 nolu örneğin üretim yeri Salihli, 7,4 ve 5 nolu örneklerin ise Turgutlu' dur.

Tuğla örnekleri için gözlenen % K değerleri ise 1.21 ve 3.31 arasında değişen değerler olmaktadır.

Aynı tuğla örneklerinde $Bq.kg^{-1}$ olarak bulunan aktivite konsantrasyonları, Tablo 3-4' de verilmiştir. Beklenildiği gibi Tablo 3-3 de işaret edilen aynı örnekler, aynı şekilde yüksek $Bq.kg^{-1}$ aktiviteleri sahiptir. Ra_{eq} değerleri ve aktivite konsantrasyonlarının oluşturacağı gama dozları $mrem.y^{-1}$ olarak, yine bölüm 1'de verilen (2) ve (3) nolu eşitliklerden yararlanılarak bulunmuş ve Tablo 3-4'de gösterilmiştir. Tablo 3-4 de, Ra_{eq} değerleri tuğlalar için 119 $Bq.kg^{-1}$ ve 244 $Bq.kg^{-1}$ arasında değişir, buna bağlı olarak bu aktivitelere sahip materyallerden ayrı ayrı alınacak dozlar $mrem.y^{-1}$ olarak tablolarında 41.33 $mrem.y^{-1}$ ve

Tablo 3-3. Tuğla Örneklerinin eU(Ra), eTh, % K Konsantrasyonları

ÖRNEK NO	% K	eU(Ra) (ppm)	eTh (ppm)
1	1.88	2.35	1.28
2	1.90	2.61	1.97
3	1.98	2.98	1.45
4	2.27	2.97	2.16
5	2.39	4.14	2.16
6	1.77	3.90	1.34
7	1.60	4.07	2.33
8	1.77	2.85	1.57
9	2.00	2.36	0.97
10	1.21	5.20	1.74
11	1.82	5.66	1.00
12	1.68	4.36	1.84
13	1.57	5.66	1.61
14	1.53	3.54	1.80
15	2.25	2.95	1.39
16	2.55	4.79	1.93
17	3.31	2.77	1.98
18	1.72	1.70	1.26
19	2.00	2.54	2.30
20	1.74	3.83	1.46
21	2.06	3.33	1.58
22	1.63	3.02	1.91
23	2.22	5.54	1.34
24	2.48	5.24	1.85
25	2.87	2.73	1.68
26	1.71	4.88	0.92
27	1.93	3.74	1.71

Tablo 3-4. Tuğla Örneklerindeki Aktivite Konsantrasyonları

ÖRNEK NO	K-40 Bq.kg ⁻¹	Ra-226 Bq.kg ⁻¹	Th-232 Bq.kg ⁻¹	Doz Oranı mrem/yıl	Bq.kg ⁻¹ Ra _{eq}	$\frac{C_K}{4810} + \frac{C_{Ra}}{370} + \frac{C_{Th}}{259}$
1	559.93	60.00	26.20	48.53	140	0.37
2	565.89	66.65	40.32	57.31	167	0.45
3	589.72	76.10	41.14	61.63	180	0.48
4	676.09	75.84	44.21	65.49	191	0.51
5	711.83	105.73	44.21	75.86	223	0.60
6	527.17	99.60	27.43	60.07	179	0.48
7	476.54	103.94	47.69	69.32	208	0.56
8	527.17	72.78	32.14	54.19	159	0.32
9	597.68	60.27	19.85	46.30	134	0.36
10	360.38	132.80	35.62	68.89	211	0.56
11	542.06	144.54	20.47	71.09	215	0.58
12	500.37	111.34	37.66	67.75	204	0.54
13	467.60	144.54	32.95	74.50	227	0.61
14	455.69	90.40	36.84	59.37	178	0.48
15	670.14	75.33	28.45	57.61	167	0.45
16	759.49	122.33	39.51	80.22	237	0.63
17	985.85	70.74	40.55	71.71	204	0.55
18	512.28	43.41	25.79	41.33	119	0.32
19	595.68	64.86	47.08	60.99	178	0.47
20	518.24	97.81	29.88	59.29	180	0.48
21	613.55	85.04	32.34	60.83	178	0.48
22	485.47	77.12	39.10	57.73	170	0.45
23	661.20	141.48	27.43	77.26	231	0.62
24	738.64	133.82	37.87	82.00	244	0.66
25	854.80	69.72	34.39	64.41	184	0.49
26	509.30	124.62	18.83	63.31	190	0.51
27	574.83	95.51	35.00	64.31	189	0.51

82.00 mrem.y⁻¹ arasında değişir. Bölüm 1'de aktivite sınırlamaları için verilen (1) nolu bağıntıdan elde edilen sonuçlar 0.32-0.66 arasında değişmektedir. Maksimum değer 24 nolu tuğla örneğine aittir. Tablo 3-3' de görüldüğü gibi kullanılan hammaddelerin orjinlerine bağlı olarak tuğla örneklerinde çok çeşitli konsantrasyonlar gözlenmiştir.

Hollanda'da yapılan benzer bir çalışmada tuğlalar için Ra-226 aktivite konsantrasyonu 39.1 Bq.kg⁻¹ ve % 20 uçucu kül kullanılarak yapılan tuğlalar için 75.5 Bq.kg⁻¹ bulunmuştur 14 . Yine başka bir çalışmada tuğlalarda Ra-226 aktivite konsantrasyonu 58 Bq.kg⁻¹ ve Th-232 aktivite konsantrasyonu 53 Bq.kg⁻¹ bulunmuştur. Tablolardaki aktivite konsantrasyonları genelde Ra-226 için bu değerlerin üstünde, Th-232 için ise altındadır. Tuğla örneklerinde K-40 aktiviteleri çimento örneklerine nazaran daha yüksek gözlenmiştir, çünkü tuğlaları şekillendirdikten ve sun'i olarak kuruttuktan sonra karışımın pişirme sıcaklığı 700°C dir, dolayısı ile potasyumun buharlaşma sıcaklığı aşılmamıştır. Böylece tuğlalar için toplam gama radyasyonundan alınacak dozların ortalamaları çimento örneklerine göre daha yüksek bulunmuştur. Tuğla örnekleri için bulunan sonuçlar Tablo 3-7 de çeşitli ölkeler için verilen ortalamalarla karşılaştırılınca K-40 ve Th-232 aktivite konsantrasyonlarının bu ortalamalardan düşük olduğu, Ra-226 aktivite konsantrasyonlarının ise Norveç ve Finlandiya dışında yüksek olduğu gözlenmiştir, fakat tuğla örnekleri içinde aktivite konsantrasyonları için verilen sınırlamaların ve bina materyalleri için izin verilen maksimum gonodal dozun aşılmadığı görölmüştür.

3.3. Kiremit Örneklerinin Sonuçları

Çalışmada 7 farklı kiremit örneğinden hazırlanan 21 kutu örneğin incelenmesi sonucu bulunan radyonüklid konsantrasyonları eU(Ra)(ppm), eTh(ppm) ve % K olarak tablo 3-5 de gösterilmektedir. eU(Ra) değerlerinin tablolarda 2.96 ppm ve 5.97 ppm arasında değiştiği görölr. 4 ve 5 nolu örnek-

Tablo 3-5. Kiremit Örneklerinin eU(Ra), eTh, % K Konsantrasyonları

ÖRNEK NO	% K	eU(ppm)	eTh (ppm)
1	2.31	4	2.21
2	1.95	3.53	2.89
3	2.81	2.96	1.58
4	2.10	5.01	0.97
5	2.30	5.97	0.74
6	1.88	3.32	1.68
7	2.16	4.81	1.88

Tablo 3-6. Kiremit Örneklerindeki Aktivite Konsantrasyonları

ÖRNEK NO	K-40 Bq.kg ⁻¹	Ra-226 Bq.kg ⁻¹	Th-232 Bq.kg ⁻¹	Doz Oranı mrem/yıl	Bq.kg ⁻¹ Ra _{eq}	$\frac{C_K}{4810} + \frac{C_{Ra}}{370} + \frac{C_{Th}}{259}$		
1	688.01	102.15	45.24	74.69	219		0.59	
2	580.78	90.15	59.16	74.33	219		0.59	
3	836.93	75.59	32.34	64.73	186		0.50	
4	625.46	127.94	19.85	67.96	204		0.55	
5	685.03	152.46	15.14	75.64	226		0.61	
6	559.93	84.78	34.39	59.80	177		0.47	
7	643.33	122.84	38.48	76.10	227		0.61	

lerde $eU(Ra)$, 5.01 ppm ve 5.97 ppm olmak üzere en yüksek konsantrasyonlara sahiptir. 4 nolu örneğin üretim yeri Salihli, 5 nolu örneğin ise Menemen'in Ulucak Köyü'dür. Yine Tablo 3-5 ve eTh konsantrasyonlarının 0.74 ppm ve 2.89 ppm arasında değiştiği görülür. 2 nolu kiremit örneği 2.89 ppm olmak üzere en yüksek eTh konsantrasyonuna sahiptir ve üretim yeri yine Menemen'in Ulucak köyüdür. % K değerleri ise tablolarda 1.09 ve 2.81 arasında değişir. Kiremit örnekleri içinde aktivite konsantrasyonları $Bq.kg^{-1}$ olarak hesaplanmış ve Tablo 3-6 da verilmiştir. Tablo 3-5 de yüksek konsantrasyonlara sahip örneklerin yine Tablo 3-6'da $Bq.kg^{-1}$ olarak yüksek aktivitelere sahip olduğu görülür. Ayrıca Tablo 3-6 da kiremitler için verilen Ra_{eq} ve yıllık alınabilecek dozlar ($mrem.y^{-1}$) bölüm 1'de (1), (2) ve (3) nolu eşitliklerden yararlanılarak hesaplanmıştır. Burada görüldüğü gibi Ra_{eq} değerleri kiremitler için $177 Bq.kg^{-1}$ ve $227 Bq.kg^{-1}$ arasında değerler alır. Bu aktivitelere sahip materyallerden ayrı ayrı alınacak dozlar ise Tablo 3-6'da görüldüğü gibi $59.80 mrem.y^{-1}$ ve $76.10 mrem.y^{-1}$ arasında değerler alır. Kiremit örneklerinde de aktivite konsantrasyonları için $\frac{C_K}{4810} + \frac{C_{Ra}}{370} + \frac{C_{Th}}{259} < 1$ bağıntısıyla verilen sınırlamanın aşılmadığı görülür ve değerler 0.47 ve 0.61 arasında değişir. Yine bu örnekler içinde $112 mrem.y^{-1}$ değerinde maksimum gonodal doz aşılmamıştır.

Kiremitlerin yapım tekniği tuğlalarinkine benzer, yalnız hamuru daha ince öğütülmüş ve yoğurulmuştur, böylece tuğlalar için yapılan değerlendirmeler kiremitler içinde geçerlidir, fakat kiremitler binalarda çatı örtü malzemeleri olarak kullanıldıkları için bina içi doz oranlarına katkıları tuğla ve çimentoya nazaran daha az olacaktır.

Tuğla ve kiremit gibi bina materyallerinin ana hammadde-leri killi, killi toprak ve balçıktır bu nedenle yüksek radyonüklid konsantrasyonlarına sahip olsalarda radonun difüzyon yoluyla bu materyallerden göçü ve bina içi havasına karışması diğer materyallere göre daha düşüktür.

Aşağıdaki Tablo 3-7 de çeşitli ülkelerdeki K-40, Ra-226 ve Th-232 aktivite konsantrasyonları verilmiştir.

Tablo 3-7. Çeşitli ülkelerdeki ortalama aktivite konsantrasyonları

Materyal	Ülke	Ortalama aktivite (Bq.kg ⁻¹)		
		K-40	Ra-226	Th-232
Tuğla	Norveç	1058.0	104.0	62.0
	İngiltere	703.0	52.0	44.0
	Rusya	666.7	55.5	37.0
	Almanya	673.0	59.0	67.0
	Finlandiya	962.0	778.0	62.0
	Hindistan	129.6	48.1	25.6
	Türkiye(İzmir)	607.50	97.12	34.33
Çimento	Norveç	241.7	30.0	18.5
	İngiltere	155.0	22.0	18.0
	Rusya	148.1	25.9	14.8
	Almanya	222.0	25.9	22.2
	Amerika	126.0	-	14.8
	Finlandiya	241.0	44.4	26.0
	Hindistan	114.2	86.0	25.6
	Türkiye(İzmir)	296.19	111.48	29.99

Bina materyallerindeki Ra-226, Th-232, K-40, Ra_{eq} aktivite konsantrasyonları, $\frac{C_{Ra}}{370} + \frac{C_{Th}}{259} + \frac{C_K}{4810} < 1$ bağıntısı ile verilen aktivite sınırlamaları için dünya ortalamaları; 25.9 Bq.kg⁻¹, 25.9 Bq.kg⁻¹, 370 Bq.kg⁻¹, 92.5 Bq.kg⁻¹ ve 0.32 dir [3]. Tablolarda görüldüğü gibi çimento, tuğla ve kiremit örneklerinin çoğundaki aktiviteler bu ortalamaların üstündedir.

Sonuç olarak katkılı portland çimentosunda katkı maddelerinin yüksek radyoaktivite içermesi nedeniyle Ra-226 aktivite konsantrasyonları ve $eU(Ra)(ppm)$ değerleri, traslı çimentolarda volkanik kökenli trasın kullanımı sonucu $eU(Ra)(ppm)$, $eTh(ppm)$ konsantrasyonları dolayısı ile Ra_{eq} aktivite konsantrasyonları yüksek gözlenmiştir. Tuğla ve kiremit örneklerinde ise konsantrasyonların hammaddelerin orjinlerine bağlı olarak değiştiği gözlenmiştir.

Doz hesaplamaları sonuçları bu konuda verilen sınırlamaları aşmamaktadır ancak doz hesapları için verilen formül yalnız bir bina malzemesi içindir, tüm bina materyallerinin bina içi doz oranına katkıları doğal olarak daha yüksek olacaktır.

KAYNAKLAR

- 1- Hughes, J.S. ve Shaw, K.B. ve O'Riordan, M.C. Radiation Exposure of the UK Population-1988 Review NRPB-R227 (1989).
- 2- Nakoman, E. Radyoaktif Hammaddeler Jeolojisi. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Yayınlarından Eğitim Serisi No.20 (1979).
- 3- Sources and Effects of ionzing Radiation (1977 Report)
- 4- Cothorn, R.C. ve Smith, J.E. Environmental Radon (1987).
- 5- Yılmaz, H. Uranyum ve Toryum Jeokimyası, Rapor No.11 E.Ü.Nükleer Bilimler Enstitüsü. (1992).
- 6- Mamont-Ciesla, K. Gwiazdowski, B., Biernacha, M. ve Zak, A. Radioactivity of Building Materials in Poland. IAEA research contract No. 2415/RB. (1983).
- 7- Menon, M.R., Lalit B.Y. ve Shukla V.K. Natural Radioactivity in Building Construction Materials In India. Bulletin of Radiation Protection. Vol.10. No.1 (1987).
- 8- Chagman, R.H. The Natural Radioactivity of Building Materials Used In The Christchurch Urban Area NRL Report No. 1984/1.
- 9- Gallyas, M. ve Török I. Natural Radioactivity of Raw Materials and Products In the Cement Industry Radiation Protection Dosimetry Vol.7 No.1-4 p.69-71 Nuclear Technology Publishing.
- 10- Çimento Bülteni Cilt 26, Sayı-261, Mart 1989.
- 11- Uçucu Küller ve Betonda Kullanımı.
2.Uluslararası Konferans, (1986)
Derleyen: Tomris ZOR

- 12- Baradan, B., Malzeme Ders Notları D.E.Ü., M.M./İNŞ., İzmir.
- 13- Yener, G. ve Uysal, İ. Yatağan Termik Santralinin Dip Baca Küllerindeki Uranyum ve Radyum İçeriğinin Gama ve X-Işını Spektroskopisi ile Tayini. Yüksek Lisans Tezi, E.Ü.Nükleer Bilimler Enstitüsü Eylül 1991.
- 14- Dijk, W. ve Jong, P. Determining The Rn-222 Exhalation Rate of Building Materials Using Liquid Scintillation Counting. Health Physics Vol.61, No.4 (October)-pp.501-509, (1991).
- 15- Man, C.K., Lau, S.Y. Au, S.C. ve Ng, W.K. Radionuclide Contents In Building Materials Used In Hong Kong. Health Physics Vol. 57, No.3 (September), pp.397-401, (1989).
- 16- Ramachandran, T.V. ve Romu Subba, U.C., Estimation of Indoor Radiation Exposure from the natural Radioactivity content of Building Materials, Encology Vol.3-No.12 May (1989).
- 17- Yener, G., Yaprak, G. Granit ve Granodiyanit Kayaçlarda ve Erozyon Bölgelerindeki Topraklarda Gama Spektroskopisi ile Uranyum ve Toryum Analizleri. E.Ü.Araştırma Fonu Projesi Raporu No. 004/1985 (1988).
- 18- Chapman, R.H. The Annual Terrestrial gamma Radiation Dose to the Population of the Urban Christchurch Area. NRL Report 1983/6.