



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü



İZMİR İLİ KONUT İNŞAATLARINDA KULLANILAN ÇİMENTO, KAOLİN VE TUĞLALARDA RADYONÜKLİD İÇERİĞİNİN SAPTANMASI

Yüksek Lisans Tezi

Arif ÖZULUS

Nükleer Bilimler Anabilim Dalı

İzmir
2020

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

**İZMİR İLİ KONUT İNŞAATLARINDA KULLANILAN
ÇİMENTO, KAOLİN VE TUĞLALARDA
RADYONÜKLİD İÇERİĞİNİN SAPTANMASI**

Arif ÖZULUS

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Aysun UĞUR GÖRGÜN

Nükleer Bilimler Anabilim Dalı

Nükleer Bilimler Yüksek Lisans Programı

İZMİR

2020

Arif ÖZULUS tarafından Yüksek Lisans tezi olarak sunulan “İzmir İli Konut İnşaatlarında Kullanılan Çimento, Kaolin ve Tuğlalarda Radyonüklid İçeriğinin Saptanması” başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 31/01/2020 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

Jüri Başkanı

: Prof. Dr. Aysun UĞUR GÖRGÜN

Raportör Üye

: Doç. Dr. Berkay CAMGÖZ

Üye

: Doç. Dr. Ümran HİÇSÖNMEZ

İmza

Aysun

Berkay

Ümran

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi / Doktora Tezi olarak sunduğum “İzmir İli Konut İnşaatlarında Kullanılan Çimento, Kaolin ve Tuğladaki Radyonüklid İçeriğinin Saptanması” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

31 / 01 / 2020

Arif ÖZULUS

ÖZET**İZMİR İLİ KONUT İNŞAATLARINDA KULLANILAN ÇİMENTO,
KAOLİN VE TUĞLADAKİ RADYONÜKLİD İÇERİĞİNİN
SAPTANMASI**

ÖZULUS, Arif

Yüksek Lisans Tezi, Nükleer Bilimler Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Aysun UĞUR GÖRGÜN

Ocak 2020, 66 sayfa

Bu tezde İzmir ili inşaat yapımında kullanılan çimento, tuğla, granit ve kaolin örneklerindeki %K eU(Ra) (ppm) ve eTh (ppm) konsantrasyonları ile ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları, yüksek enerjili gama spektrumlarının analizi ile hesaplandı. Çalışmada 6 ayrı çimento, 3 tuğla, 3 granit ve 9 ayrı kaolin örnekleri incelenmiştir.

Sonuçlarda tuğla örneklerinde konsantrasyonların hammaddelerin orijinlerine bağlı olarak değiştiği bulundu. Çimento örneklerinde konsantrasyonların çimentonun içindeki katkı maddelerine göre değiştiği gözlemlendi. Balıkesir ili Sındırgı ilçesine bağlı Düvertepe kaolin ocaklarından alınan kaolin örneklerindeki aktivite konsantrasyonlarının standartlara uygun olduğu ve kullanımının sakıncalar doğurmayacak durumda olduğu gözlemlendi. Materyallerde çeşitli ülkelerde verilen aktivite sınırlamalarının aşılmadığı gözlemlendi. Ayrıca materyallerden kaynaklanabilecek yıllık doz oranları (mrem/yıl) tahmini yapıldı. Sonuçlar literatürdeki değerlerle karşılaştırıldı.

ANAHTAR KELİMELER

^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K , Doğal Radyoaktivite, Çimento, Kaolin, Tuğla, Yapı Materyalleri

ABSTRACT**DETERMINATION OF RADIONUCLIDE CONTENT IN CEMENT, KAOLIN AND BRICKS USED IN HOUSING CONSTRUCTIONS IN İZMİR PROVINCE**

ÖZULUS, Arif

MSC in Nuclear Sciences.

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Aysun UĞUR GÖRGÜN

January 2020, 66 pages

In this thesis, % K eU (Ra) (ppm) and eTh (ppm) concentrations and ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K activity concentrations of cement, brick, granite and kaolin samples used in the construction of İzmir province were calculated by the analysis of high energy gamma spectra. In this study, 6 different cement, 3 brick, 3 granite and 9 different kaolin samples were examined.

As a result, it was found that the concentrations of brick samples vary depending on the origin of the raw materials. It was observed that the concentrations in the cement samples changed according to the additives in the cement. It was observed that the activity concentrations in kaolin samples taken from Düvertepe kaolin quarries of Balıkesir province Sındırgı district were in compliance with the standards and their use was in a condition that would not cause any problems. It was observed that the activity limits given in various countries were not exceeded in the materials. In addition, annual dose rates (mrem / year) that may be caused by materials were estimated. The results were compared with the values in the literature.

Keywords

^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K , and Natural radioactivity, Cement, Kaolin, Brick, Building Materials

ÖNSÖZ

İnsanoğlu günlük hayatının neredeyse tamamına yakını kapalı ortamlarda geçirmektedir. Barınma, işyeri, alışveriş ve eğitim için kullandığımız ortamlar yapılardan oluşmaktadır. Bu nedenle içinde bulunduğumuz binada maruz kaldığımız radyoaktivite dozu çok önemlidir. Yapı, fiziksel ve sosyal bir çevre içinde, kullanıcıların biyolojik, psikolojik, sosyolojik ihtiyaçlarını gidermek üzere tasarlanan ve inşa edilen yapay bir çevredir. Kullanıcıların ihtiyaçlarına uygun inşa edilmeyen yapılar, biyolojik ve psikolojik sorunlara, sonuçta da sağlığın bozulmasına neden olabilir.

Yapılar inşaları veya kullanımları esnasında yapılan yanlış tercihlerden dolayı çeşitli sağlık sorunlarına neden olabilmektedir. Özellikle yapıların inşaları sırasında radyoaktivite analizi yapılmadan seçilen malzemeler insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yapabilmektedir. Seçilen malzemeler doğrudan insan sağlığı üzerine etki edebilmektedir. Gelişen teknoloji ve artan olanaklar sayesinde sağlıklı, güvenli ve konforlu bir yaşam sürdürmek için, insan sağlığına zarar vermeyen malzemeleri ve yapıları tercih etmek kaçınılmaz bir durumdur.

Bu tez çalışmasında İzmir İli'nde kullanılan yapı malzemelerinin radyoaktivite yönünden analizleri yapılmıştır.

İzmir

31/01/2020

Arif ÖZULUS

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xv
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xix
1.GİRİŞ.....	1
2.GENEL BİLGİLER.....	6
2.1 Radyoaktif Maddelerin Genel Özellikleri	6
2.1.1 ²²⁶ Ra'un özellikleri.....	6
2.1.2 ²³² Th'un Özellikler.....	9
2.1.3 ⁴⁰ K'ın özellikleri	11
2.2 Yapı Materyallerinde Radyoaktivite Kaynakları.....	12
2.2.1 Doğal malzemeler.....	12
2.2.2 Doğal oluşan radyoaktif malzemenin işlenmesi sonucu oluşan sanayi atıkları	12
2.2.3.Yapı malzemelerindeki radyoaktivitenin kontrolü	14

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

2.3 Yapı Materyallerinde Radyoaktivite Tayinleri ile İlgili Yapılan Çalışmalar .	17
2.3.1 Türkiye’de yapılan çalışmalar	17
2.3 Çeşitli ülkelerde yapılan çalışmalar	20
3. KULLANILAN YÖNTEM	26
3.1 Materyal ve Yöntem	26
3.1.1 Örneklerin hazırlanması.....	26
3.2 Örneklerin Analizi ve Kullanılan Sistemin Yapısı	28
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	34
4.1 Çimento Örneklerindeki Bulgular	34
4.2 Tuğla Örneklerindeki Bulgular	39
4.3 Granit Örneklerindeki Bulgular	44
4.4 Kaolin Örneklerindeki Bulgular	46
4.5 Tartışma Sonuç ve Öneriler	50
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	60
TEŞEKKÜR	65
ÖZGEÇMİŞ	66

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Bina içindeki maruz kalınan doğal radyoaktivite	4
2.1 Uranyum bozunum serisi	6
2.2 Toryum bozunum serisi	10
2.3 Çimentonun konut inşaatlarında kullanımı	13
2.4 Granit	14
3.1 Çıkarılan kaolin makinelerde öğütülürken	27
3.2 Kaolin öğütüldükten sonra yığınlar halinde depolanırken.....	27
3.3 Gama spektrometre sisteminin şeması.....	28
3.4 Bu çalışmada kullanılan gama spektrometre sistemi.....	30
4.1 Çimento örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları.....	36
4.2 Çimento örneklerinde ^{40}K aktivite konsantrasyonları	36
4.3 Çimento örneklerinde ^{226}Ra aktivite konsantrasyonları	37
4.4 Çimento örneklerinde ^{232}Th aktivite konsantrasyonları	37
4.5 Avrupa ülkelerinde çimento örneklerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları	38
4.6 Avrupa ülkelerinde çimento örneklerindeki ^{226}Ra aktivite konsantrasyonları.....	38

ŞekilSayfa

4.7 Çimento örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları.....	39
4.8 Avrupa ülkelerinde çimento örneklerindeki ^{232}Th aktivite konsantrasyonları	39
4.9 Tuğla örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları	41
4.10 Tuğla örneklerinde ^{226}Ra ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları.....	41
4.11 Tuğla örneklerinde ^{40}K aktivite konsantrasyonları.....	42
4.12 Avrupa ülkelerindeki tuğla örneklerinde ^{226}Ra aktivite konsantrasyonları ..	42
4.13 Avrupa ülkelerindeki tuğla örneklerinde ^{232}Th aktivite konsantrasyonları ..	43
4.14 Avrupa ülkelerindeki tuğla örneklerinde ^{40}K aktivite konsantrasyonları	43
4.15 Granit örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları	45
4.16 Granit örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları	46
4.17 Kaolin örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları.....	48
4.18 Kaolin örneklerinde ^{226}Ra aktivite konsantrasyonları	48
4.19 Kaolin örneklerinde ^{232}Th aktivite konsantrasyonları	49
4.20 Kaolin örneklerinde ^{40}K aktivite konsantrasyonları	49
4.21 Türkiye'deki çeşitli çalışmalardaki çimento örneklerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları	51

ŞekilSayfa

4.22 Türkiye’deki çeşitli çalışmalardaki çimento örneklerindeki ^{226}Ra ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları	51
4.23 Türkiye’deki çeşitli çalışmalardaki çimento örneklerindeki ^{40}K aktivite konsantrasyonları	52
4.24 Çeşitli ülkelerde yapılan çalışmalardaki çimento örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları	53
4.25 Çeşitli ülkelerde yapılan çalışmalardaki çimento örneklerinde ^{226}Ra ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları	54
4.26 Çeşitli ülkelerde yapılan çalışmalardaki çimento örneklerindeki ^{40}K aktivite konsantrasyonları	54
4.27 Türkiye’deki çeşitli çalışmalardaki tuğla örneklerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları	55
4.28 Çeşitli ülkelerde yapılan çalışmalardaki tuğla örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları	56
4.29 Çeşitli ülkelerde yapılan çalışmalardaki tuğla örneklerinde ^{226}Ra ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları	57
4.30 Çeşitli ülkelerde yapılan çalışmalardaki tuğla örneklerinde ^{40}K aktivite konsantrasyonları	57
4.31 Çeşitli çalışmalardaki kaolin örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları	59

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 ^{238}U bozunum serisi (^{226}Ra 'dan itibaren)	2
1.2 ^{235}U bozunum serisi (^{223}Ra 'dan itibaren)	2
1.3 ^{232}Th bozunum serisi (^{224}Ra 'dan itibaren)	3
1.4 Yapı malzemelerinde uranyum, toryum ve potasyumun tahmini konsantrasyonları (NCRP 94, 1987)	3
2.1 Radyum bozunum ürünleri ve enerjileri	8
2.2 Yapı malzemeleri için Aktivite Konsantrasyon İndisi (EC, 1999)	16
2.3 Radyolojik parametrelerin limit değerleri	17
2.4. Tuğla örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları (1676 örnek).	23
2.5 Çimento örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları (2727 örnek).	24
3.1 ^{238}U 'in bozunma ürünlerinin en belirgin gama ışınları	30
3.2 ^{232}Th 'nin bozunma ürünlerinin en belirgin gama ışınları	30
3.3 Çimento ölçümünde kullanılan Gama spektrometre sisteminde kullanılan değerler	33
4.1 Çimento örneklerinin eU(Ra), eTh ve % K konsantrasyonları	34
4.2 Çimento örneklerindeki aktivite konsantrasyonları	35
4.3 Tuğla örneklerinin eU(Ra), eTh ve % K konsantrasyonları	40

4.4. Tuğla örneklerinde Aktivite konsantrasyonları	40
4.5 Granit örneklerinin eU(Ra), eTh ve % K konsantrasyonları	44
4.6 Granit örneklerinde Aktivite konsantrasyonları	45
4.7 Kaolin örneklerinin eU(Ra), eTh ve % K konsantrasyonları	47
4.8 Kaolin örneklerinde aktivite konsantrasyonları	47
4.9 Türkiye’de yapılan çalışmalarda tuğlada hesaplanan aktivite değerleri	50
4.10 Türkiye’de yapılan çalışmalarda çimentoda hesaplanan aktivite değerleri	53
4.11 Çimentoda radyum aktivite konsantrasyonu ile eşdeğer radyum aktivitelerinin diğer ülkelerle karşılaştırılması	55
4.12 Tuğlada radyum aktivite konsantrasyonu ile eşdeğer radyum aktivitelerinin diğer ülkelerle karşılaştırılması	56
4.13 Çeşitli çalışmalardaki kaolin örneklerinin ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonları	58

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
A_i	radyoelementlerin Bq kg ⁻¹ olarak aktiviteleri
A_K	Potasyum aktivitesi
A_{Ra}	Potasyum aktivitesi
A_{Th}	Toryum aktivitesi
B	Art ortam (background) sayımı
Bq	Becquerel (Radyasyon birimi)
C_K	Potasyum konsantrasyonu
C_{Th}	Toryum konsantrasyonu
C_{Ra}	Ra konsantrasyonu
C	Brüt sayım
C_i	Curie (Radyasyon birimi)
e_{Th}	eşdeğer toryum
ϵ_i	Dedektörün seçilen gama enerjisindeki verimi
m	kilogram olarak örneklerin kütlesidir
I	Seçilen enerjiden gamanın çekirdekten çıkış intensitesi
Ra_{eq}	Radyum eşdeğeri

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

Sv	Sievert (Doz eşdeğer birimi)
T	saniye olarak örneklerin ölçüm zamanı

Kısaltmalar

Bq	Becquerel
EURATOM	Avrupa komisyonu tavsiye kararı
EC	Avrupa yönergesi
IAEA	Uluslararası atom enerjisi kurumu
ICRP	Uluslararası radyoloji koruma komisyonu
K	Potasyum
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
NCRP	National Council on Radiation Protection and Measurement
ND	None Dedectable (Tespit edilememiştir)
OECD	Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü
Ra	Radyum
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
Th	Toryum
U	Uranyum
USEPA	Birleşik devletler çevre koruma ajansı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

UNSCEAR Birleşmiş milletler atom radyasyonunun etkilerine ilişkin bilim

Komitesi

WHO Dünya Sağlık Örgütü



1. GİRİŞ

Varoluştan beri tüm canlıların sürekli ve kaçınılmaz olarak radyasyona maruz kaldığını biliyoruz. Maruz kalınan radyasyonun kaynağı, güneş sisteminde oluşan kozmik ışınlar, yerkürenin yapısında bulunan radyoaktif çekirdekler ve üretilen suni radyasyonlardır. Yapı malzemeleri bina içindeki radyasyonun kaynağıdır. İnşaatlarda kullanılan, tuğla, beton, taş, granit gibi yapı malzemelerinin içinde, belli konsantrasyonlarda bulunan radyonüklitler sürekli γ ve α radyasyonları yayınlırlar. Bu radyonüklitler, yapı malzemelerinin yapımında kullanılan toprak, çimento ve uçucu küller gibi malzemelerin doğal radyonüklitleri bünyesinde barındırmasından kaynaklanır. Gama radyasyonun kaynağı; uranyum serisi ürünleri, toryum serisi ürünleri ve potasyumdur. Alfa radyasyonun kaynağını ise, radon gazı oluşturmaktadır.

Doğada en yaygın bulunan radyoaktif elementler ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'dur. ^{238}U 'in yarılanma süresi $4,4 \times 10^9$ yıl ve ^{238}U için doğadaki doğal izotop bolluğu %99'dur. ^{232}Th 'nin yarılanma süresi $1,4 \times 10^{10}$ yıl ve doğada bulunma oranı %99'dan fazladır. Her iki radyoaktif element bozunma zincirine sahip olup, bu elementlerin bozunmasıyla yeni radyoaktif elementler açığa çıkar.

Çeşitli bina materyallerinin doğal radyoaktivitesi jeolojik orijini jeokimyasal karakteristiklerine bağlıdır. Çeşitli ülkelerde aynı materyallerin farklılıklar göstermesinin en önemli nedenlerinden biri budur.

Yer kabuğu kökenli malzemeler (kaya, toprak, kömür, mermer, granit, traverten, kireçtaşı, alçıtaşı, vb.) doğal olarak belirli miktarda uranyum-radyum (^{238}U - ^{226}Ra), toryum (^{232}Th) doğal radyoaktif serilerine ait radyonüklitleri ve potasyum (^{40}K) radyoizotopunu içermektedir.

Son yıllarda bina materyallerinde endüstriyel atıkların kullanımı yaygınlaşmıştır. Bu atıkların kullanım sebepleri olarak başta ekonomik nedenler olmak üzere, çevre kirliliğinin büyük ölçüde önlenmesi ve materyallere bazı özellikler kazandırması sayılabilir.

Tablo 1.1 ^{238}U bozunum serisi (^{226}Ra 'dan itibaren) (Baskaran, 2016)

İZOTOP	YARI ÖMÜR	İŞİMA	YAYIMLADIĞI ENERJİ (MeV)	VERİM (%)
^{226}Ra	$1,6 \times 10^3$ yıl	α	4,784 (α_0)	94,55
-	-	-	4,601 (α_1)	5,45
-	-	γ	0,186	3,51
^{222}Rn	3,82 gün	α	5,489 (α_0)	~100
^{218}Po	3,10 dakika	α	6,002 (α_0)	~100
^{214}Pb	26,8 dakika	β^-	1,023 (β_0)	~ 100
-	-	γ	0,3519	35,9
-	-	γ	0,2952	18,5
-	-	γ	0,2420	7,5
^{214}Bi	19,7 dakika	α	5,621 (α_0)	0,021
-	-	β^-	3,272	~ 100
-	-	γ	0,609	46,1
-	-	-	1,120	15,0
-	-	-	1,764	15,9
^{214}Po	164 μ s	α	7,687 (α_0)	~ 100
^{210}Pb	22,3 yıl	β^-	0,0635 (β_0)	16
-	-	γ	0,0465	4,25
^{210}Bi	5,013 gün	β^-	1,163 (β_0)	100
^{210}Po	138,38 gün	α	5,304 (α_0)	100
^{206}Pb	Kararlı	-	-	-

Tablo 1.2 ^{235}U bozunum serisi (^{223}Ra 'dan itibaren) (Baskaran, 2016)

İZOTOP	YARI ÖMÜR	İŞİMA	YAYIMLANAN ENERJİ (MeV)	VERİM (%)
^{223}Ra	11,435 gün	α	5,539-5,747	96,8
-	-	γ	0,2695	13,7
^{219}Rn	3,96 s	α	6,819 (α_0)	79,4
-	-	-	6,553 (α_1)	12,9
-	-	-	6,425 (α_2)	7,6
^{215}Po	1,78 ms	α	7,386 (α_0)	100
^{211}Pb	36,1 dakika	β^-	1,373	100
^{211}Bi	2,14 dakika	α (99.72 %)	6,623	83,8
-	-	-	6,278	16,2
-	-	β^- (0.28%)	0,579	100
-	-	γ	0,351	13,0
^{207}Tl	4,77 dakika	β^-	1,423	100
^{207}Pb	Kararlı	-	-	-

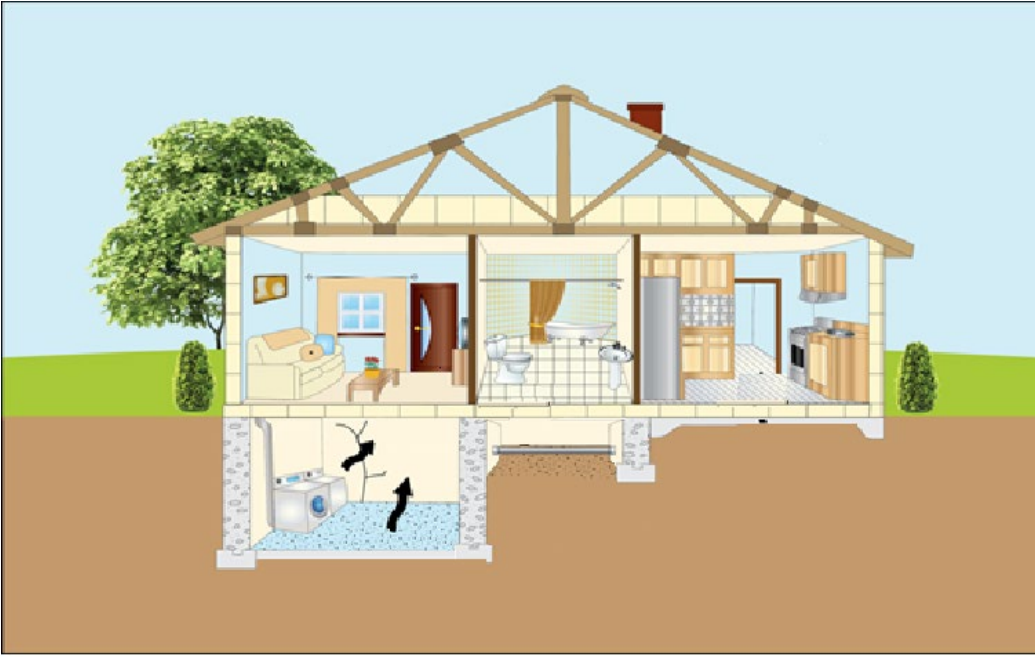
Tablo 1.3 ^{232}Th bozunum serisi (^{224}Ra 'dan itibaren) (Baskaran, 2016)

İZOTOP	YARI ÖMÜR	İŞİMA	YAYIMLADIĞI ENERJİ	VERİM
^{224}Ra	3,66 gün	α	5,685 (α_0)	94,9
-	-	-	5,449 (α_1)	5,1
-	-	γ	0,2410	3,97
^{220}Rn	55,6 s	α	6,288 (α_0)	99,89
-	-	-	5,747 (α_1)	0,11
^{216}Po	0,145 s	α	6,778 (α_0)	~ 100
^{212}Pb	10,64 saat	β^-	0,574	100
-	-	γ	0,2386	43,3
-	-	-	0,3001	3,28
^{212}Bi	60,55	α (%3 5 , 9 4)	6,051	69,9
-	-	-	6,090	27,1
-	-	β^-	2,254	100
-	-	γ	-	-
^{212}Po	0,299 μs	α	8,784 (α_0)	100
^{208}Tl	3,05 dakika	β^-	1,372	100
-	-	γ	0,405	3
-	-	-	0,832	2-8
^{207}Pb	kararlı	-	-	-

Tablo 1.4 Yapı malzemelerinde uranyum, toryum ve potasyumun tahmini konsantrasyonları (NCRP 94, 1987)

Materyal	URANYUM	TORYUM	POTASYUM
	mBq/g	mBq/g	mBq/g
Granit	63	8	1184
Çimento	46	21	237
Kum taşı	6	7	414
Kireçtaşı Çimento	31	8,5	89
Kumtaşı Çimento	11	8,5	385
Yapay alçıtaşı	186	66	5,9
Ağaç	-	-	3330
Kil Tuğla	111	44	666

Kaya, toprak, kömür, mermer, granit, traverten, kireçtaşı, alçıtaşı, vb. yer kabuğu kökenli malzemeler az veya çok miktarda doğal radyonüklitleri içerdiğinden bu tür malzemelerden yayınlanan gama radyasyonu, doğrudan dış ışınlamaya sebep olurken; bu malzemelerden yayımlanması sonrasında solunması yoluyla içimize aldığımız radon, toron ve bunların bozunum ürünlerinin yarı ömürleri kısa olanları tarafından yayımlanan alfa ve beta ışınları ise iç ışınlamaya neden olmaktadır.



Şekil 1.1 Bina içindeki maruz kalınan doğal radyoaktivite

Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi'ne (UNSCEAR) göre dünya genelinde kapalı ortamlarda gama radyasyonu nedeniyle maruz kalınan ortalama radyasyon dozu, açık havada maruz kalınan dozun 1,4 katıdır (UNSCEAR, 2000).

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

Tuğla, kil oranı yüksek bir toprak türünün kalıplandıktan sonra fırınlarda yüksek ateşte pişirilmesiyle elde edilmektedir. Kumlu kil tuğla üretimi için uygun topraktır. Tuğla yapımı için kullanan killeri seramik killerinden ayıran özelliği

tuğla için kullanılan killerin, karbonat, silis ve demir bakımından daha zengin olmalarıdır. Tuğla üretiminde kullanılan bu topraklara kil, çorak, mil, balçık gibi isimler de verilmiştir ve içeriğinde kaolinit, montmorillonit, kuvars, kalsit, limonit, hidromika, serisit, illit ve klorit gibi mineraller bulundurmaktadır (MTA,2018).

Kaolin kil mineralleri grubuna verilen isim olup içeriğinde kaolinit, hallosid, dikit ve nakritin bulunmaktadır. Kaolinit minerali kaolini oluşturan en önemli mineraldir. Kaolinitin kimyasal formülü $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ olup alüminyum hidro silikat bileşimli bir kil mineralidir. Kaolinin kullanım alanlarını belirlemede kaolinin fiziksel ve kimyasal özellikleri önem kazanmaktadır. Kağıt kaplamacılığı, porselen, vitrifiye, seramik ve ateşe dayanıklı malzeme üretiminde kullanılmaktadır. Kullanım alanlarının çeşitliliğinde kaolin yataklarının oluşumunda etkili olan jeolojik faktörler önem kazanmaktadır. Türkiye'deki fabrikalar üretim reçetelerine göre değişik Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SO_3 , TiO_2 'li kaolinler kullanırlar. Bu kriterlere ve reçetelere göre, kullanım oranları da farklıdır. Örneğin seramik imalatında genellikle % 75-80 kaolinit minerali içeren kaolinler tercih edilir. Pişme rengi, viskozitesi, sürtünmeye dayanıklılığı, Fe_2O_3 ve TiO_2 oranlarının çok düşük olması ve % 83-91 oranında parlaklık istenir. Cam elyaf üretimi için istenilen kaolinde % 37 Al_2O_3 % 44 SiO_2 en fazla % 1 Fe_2O_3 , % 2 Na_2O ve % 1 H_2O olmalıdır. Fabrikaların kullanıldığı diğer hammaddelerin fiziksel özellikleri kimyasal özelliklerinden daha büyük bir önem kazanmaktadır. Kağıt endüstrisinde kaplama ve dolgu, seramik, boya, lastik ve diğer kullanım alanlarında beyazlık-parlaklık, aşındırma, tane boyu, dağılımı ve şekli gibi fiziksel özellikleri önemli olmaktadır (MTA, 2018).

Bu tez çalışmasının amacı İzmir'de konut inşaatlarında kullanılan farklı tip çimento, kaolin, granit ve tuğla örneklerindeki radyonüklit konsantrasyonlarının tayinini yapmak ve bu konuda verilen limitlerle karşılaştırmaktır. Ayrıca bu konsantrasyonlardan dolayı bina içinde maruz kalınacak dozların tahminini yapmaktır.

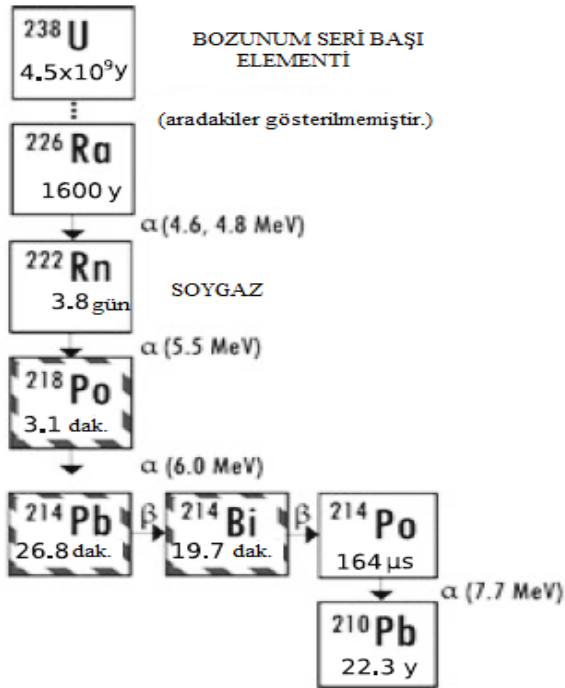
2.GENEL BİLGİLER

2.1 Radyoaktif Maddelerin Genel Özellikleri

2.1.1. ^{226}Ra 'un Özellikleri

Pierre ve Marie Curie ile iş arkadaşı Gustave Bémont'un 1898'de Bohemya'da St. Joachimstal olarak bilinen kasabada (şimdi Çek Cumhuriyeti'nde Jáchymov), piçblend cevherinde ^{226}Ra 'u keşfettiler (Vandenhove et al., 2010).

Becquerel, Pierre ve Marie Curie ile birlikte 1903 yılında Nobel Fizik Ödülü'nü aldı. Uranyum ve radyumun tıbbi, bilimsel ve endüstriyel amaçlı radyasyon kaynağı olarak kullanılması potansiyellerinin keşfedilmesinden kısa bir süre sonra geliştirilmeye başlanmıştır. İlk radyum arıtma şirketi 1898'de Fransa'da faaliyete başladı (Mould, R.F., 2007).



Şekil 2.1 Uranyum bozunum serisi

Radyum, periyodik cetvelin toprak alkali grubunda yer almaktadır. Bu grupta yer alan radyum, genel olarak metaller arasında incelenir. Radyumun atom numarası 88 ve atom ağırlığı 226 olarak hesaplanmıştır diğer elementlere göre radyum biraz daha ağırdır. Radyum, çok yüksek sıcaklıklara bile dayanıklıdır.

Öyle ki su bile 100°C'de kaynarken, radyum 700°C kadar dayanabilmektedir. Bu durum radyumun kullanım alanının artmasını sağlamıştır. Yüksek sıcaklığa dayanabilmesi nedeniyle özellikle endüstride çok etkin bir kullanım alanına sahiptir. Bileşiklerinde 2+ değerlerini almaktadır. Radyum, fiziksel olarak beyaz renkli bir elementtir. Bunun yanı sıra oldukça kuvvetli bir radyoaktif özellik gösterir. Bu nedenle kendi kendine helyum çekirdeklerini ortama vererek radona dönüşebilir.

Radyumda sabit bir izotop yoktur. Çevrede bulunan doğal olarak oluşan dört radyoaktif izotop vardır, çünkü bunlar bozunma primordial radyonüklid serisinin bir parçasıdır.

İnsan vücuduna radyum alınması durumunda kemikte birikimi söz konusudur. Bununla birlikte, solunması veya yutulması akciğer kanserine neden olabilir. ²²⁶Ra, alfa partikülü radyasyonu yayan yüksek oranda radyoaktif bir alkalın toprak metaldir. Doğal olarak meydana gelen dört adet radyum izotopunun en uzun ömürlü olanıdır ve ²³⁸U'nin parçalanma ürünüdür. Çoğu doğal sudaki radyum konsantrasyonları genellikle 1,0 pCi / L'den azdır (Hem, 1985).

²²⁶Ra içeren Radioluminescent boya, 1900'lerin başında icat edilmiş ve başlangıçta Ra'un toksisitesi anlaşılamamıştır ve radyum bazlı boya, saatler ve uçak enstrümanlarından ev numaralarına ve bebek gözlerine kadar yaygın bir alanda kullanılmıştır. 1920 ve 1930'larda bu boyanın zararlı etkileri belirgin hale gelmiştir. Ünlü bir vaka da saat yüzlerini boyayan ve daha sonra ağızdan boya fırçasının kıllarını bir noktaya şekillendirmek için ağızlarını kullanma pratiği yoluyla alımdan olumsuz sağlık sorunları çeken bir grup kadın “Radium Girls”ü oluşturdu. Radyum boyasının tehlikelerinin oluşmasını önlemek için uygulamada, bakımda ve elden çıkarmada büyük özen gösterilmesi gerektiği için, saat gibi tüketici ürünleri radyo-ışıldayan maddelerden ziyade artan fosforlu maddeler kullanılmaya başlanmıştır. On dokuzuncu yüzyılın sonunda ve yirminci yüzyılın başlarında, bazı insanlar radyum'un hemen hemen her hastalığı tedavi edebileceğini düşünüyorlardı (Migren, arteriyoskleroz ve apandisit dahil olmak üzere). Radyum içeren tıbbi tedaviler bilimsel olarak da erken zamanlarda

başlamış oldu. İlk belgelenen cilt kanseri tedavisi, St.Petersburg'da 1903 yılında kaydedilmiştir (Mould, R.F., 2007).

Tablo 2.1 Radyum bozunum ürünleri ve enerjileri

İzotop	Yarı ömür	Bozunma şekli	Bozunma enerjisi (keV)
²²³ Ra	11,43 gün	α	5979
²¹⁹ Rn	3,96s	α	6946
²¹⁹ Po	1,78ms	α	7526
²¹¹ Pb	36,1dk	β^-	1367
²¹¹ Bi	2,14dk	A	6750
²⁰⁷ Tl	4,77dk	β^-	1418
²⁰⁷ Pb	kararlı	-	-
²²⁴ Ra	3,66gün	α	5789
²²⁰ Rn	56s	α	6405
²¹⁶ Po	0,15s	α	6906
²¹² Pb	10,6sa	β^-	569,9
²¹² Bi	60,6dk	β^- - 64,1 % α - 35,9 %	2252/6207
²¹² Po	0,4 μ s	α	8954
²⁰⁸ Pb	kararlı	-	-
²²⁶ Ra	1600yıl	α	4871
²²² Rn	3,8gün	α	5590
²¹⁸ Po	3,05dk	α	6115
²¹⁴ Pb	26,8dk	β^-	1019
²¹⁴ Bi	19,8dk	β^-	3270
²¹⁴ Po	162 μ s	α	7833
²¹⁰ Pb	22yıl	β^-	63,49
²¹⁰ Bi	5,0dk	β^-	1161
²¹⁰ Po	138gün	α	5047
²⁰⁶ Pb	kararlı	-	-
²²⁸ Ra	5,75a	β^-	45,81
²²⁸ Ac	6,13sa	β^-	2124
²²⁸ Th	1,9yıl	α	5520
²²⁴ Ra	3,66sa	α	5789
²²⁰ Rn	56s	α	6405
²¹⁶ Po	0,15s	α	6906
²¹² Pb	10,6sa	β^-	569,9
²¹² Bi	60,6dk	β^- 64,1% α 35,9 %	2252 / 6207
²¹² Po	0,4 μ s	α	8954
²⁰⁸ Pb	kararlı	-	-

- = uygun veri yok

Dil kanseri tedavisi için de kullanılmıştır. Zamanla, dahili olarak vücudun kanserden etkilenen bölgelerini hafif miktarlarda radyasyon sızdırarak lokal

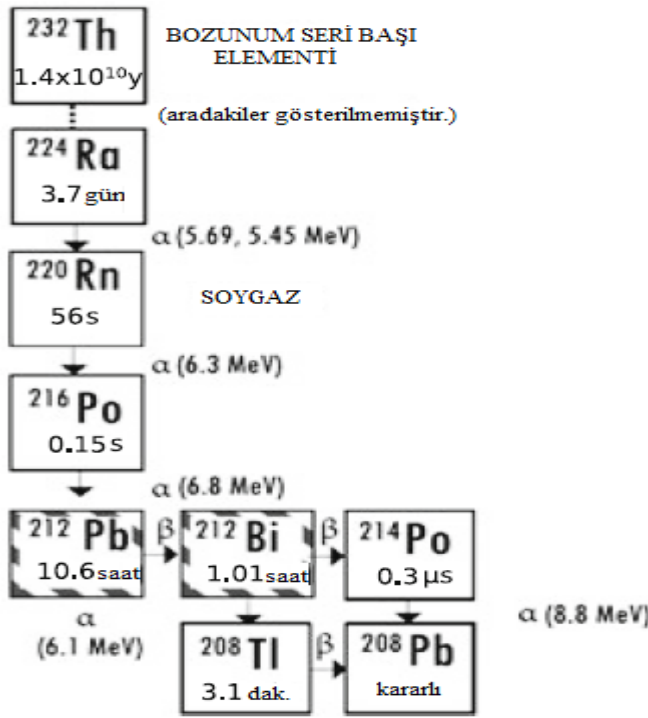
olarak zehirleyen, ardından da cihazların vücuttan çıkarıldığı aletler kullanılmıştır. Zamanla, dahili olarak uygulanan cihazlar, daha sonraları tercih edilmemiştir. Günümüzde Ra, araştırma laboratuvarlarında, örneğin radon standart çözeltilerinin hazırlanması için ve Ra-Be nötron kaynaklarında sınırlı uygulamalara sahiptir.

Bozunma zinciri boyunca daha kısa ömürlü nüklidler, çevre ortamına bağlı olarak, ^{228}Th 'unkine eşit aktiviteye sahip olabilir. Genel olarak, ^{228}Ra ve ^{226}Ra bozunma ürünlerinin etkisi, ^{222}Rn 'nin tutulmasına ve ^{210}Pb , ^{210}Po ve ^{228}Th 'den ayrılma süresine bağlıdır.

2.1.2. ^{232}Th 'un Özellikleri

Toryum, İsveçli kimyacı Jons Jakob Berzelius tarafından 1828'de keşfedilmiştir. Adını Norveç'in gök gürültüsü tanrısı Thor'un ismini vermiştir. Doğal olarak meydana gelen hafif radyoaktif bir metaldir. Uranyumdan üç kat daha fazla olduğu halde kaya ve topraklarda az miktarda bulunur. Toprakta, milyonda altı (ppm) oranında bulunur. Toryum çok çözünmez, bu nedenle kumlarda bol miktarda bulunur ancak uranyumun aksine deniz suyunda bulunmaz.

Toryum toprak, kaya, su, bitki ve hayvanlarda düşük seviyelerde bulunan doğal olarak oluşan bir radyoaktif metaldir. Hemen hemen doğal olarak oluşan toryum, radyoaktif izotop ^{232}Th , ^{230}Th ve ^{228}Th şeklinde doğada bulunmaktadır. Yapay olarak üretilen 10'dan fazla toryum izotopu vardır. Bu izotopların daha küçük miktarları genellikle diğer radyonüklidlerin bozunma ürünleri ve istenmeyen nükleer reaksiyon ürünleri olarak meydana gelir Toryum seramik, sokak lambalarının şapkaları, kaynak çubukları, kamera ve teleskop lensleri ve havacılık endüstrisinde kullanılan metalleri yapmak için kullanılır. ^{232}Th kararlı bir izotop değildir. ^{232}Th bozunduğunda, radyasyon yayımlar ve ^{228}Ra ve ^{228}Th içeren bozunum ürünleri oluşturur.



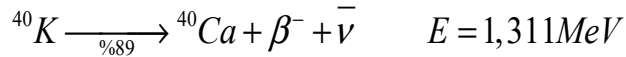
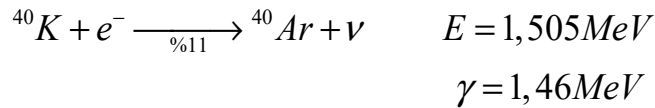
Şekil 2.2 Toryum bozunum serisi

Bozunma süreci, radyoaktif olmayan kararlı bir bozunum ürünü oluşana kadar devam eder. Toryum ve bozunum ürünlerinin bozunumundan kaynaklanan radyasyon, α ve β parçacıkları ile γ ışıması şeklindedir. α parçacıkları yalnızca kısa mesafelerde hareket edebilir ve insan derisine nüfuz edemez. β partikülleri genellikle ciltte emilir ve tüm vücuttan geçemez. Bununla birlikte, γ radyasyonu vücuda nüfuz edebilir. ^{232}Th 'nin yarı ömrü yaklaşık 14 milyar yıldan çok uzundur. Yarı ömrünün çok uzun olmasının bir sonucu olarak, dünyadaki toplam doğal toryum miktarı sabit kalır, ancak doğal süreçler ve insan faaliyetleri ile bir yerden bir yere taşınabilir. Doğal ortamda hava, yiyecek ve suda toryum çok düşük seviyelerde bulunduğundan, herkes az miktarda da olsa maruz kalır. Normalde göllerde, nehirlerde ve okyanuslardaki toryum'un çok azı yenilen balık veya deniz ürünleri tarafından absorblanır ve besin zincirine dahil olur. Havadaki miktarlar genellikle küçüktür ve sağlık için tehlike oluşturmaz. Maden ocağı, fabrika veya toryumlu ürünler üreten bir sanayi tesisinin yakınında yaşayan nüfus grupları daha yüksek toryum seviyelerine maruz kalabilir. Toryum, solunduğunda veya

yutulduğunda vücuda girebilir. Ek olarak, radyum vücutta biriken toryumdan gelebilir. Toryum vücuda esas olarak kontamine olmuş tozun solunması yoluyla girer. Akciğerlere solunum yoluyla alınan toryum uzun süre orada kalabilir. Çoğu durumda, akciğerlerde kalan az miktarda toryum vücuttan dışkı veya idrarla atılana kadar birkaç gün geçer. Eğer toryum su içinde veya yiyeceklerle birlikte alınırsa, önemli bir bölümü vücuttan hemen dışkıyla atılır. Vücutta kalan az miktarda toryum kan dolaşımına girer ve uzun yıllar boyunca kalabileceği kemiklerde birikebilir.

2.1.3. ^{40}K 'un Özellikleri

Potasyum yumuşak, gümüş-beyaz renkli bir metaldir. Toprağın önemli bir bileşeni olup tüm bitki ve hayvan dokularında bulunur. İzotop atomlar bilindiği gibi, çekirdekte aynı sayıda protona sahip ancak farklı sayıda nötron içerirler. Potasyumun iki kararlı (radyoaktif olmayan) izotopu vardır, bunlar ^{39}K ve ^{41}K 'tır. Doğal olarak meydana gelen potasyumun çoğunu (yaklaşık% 93'ü) ^{39}K içerir, geri kalanı ^{41}K oluşturur. ^{40}K , potasyum elementinin doğal olarak oluşan bir radyoaktif izotopudur (potasyum, yer kabuğunun ağırlığının % 2,4'ü kadardır). ^{40}K 'ın yarı ömrü $1,248 \times 10^9$ yıldır. ^{40}K 'a ek olarak, birkaç radyoaktif potasyum izotopu mevcuttur.



(Hem ^{40}Ca hem de ^{40}Ar kararlıdır)

Bu izotopların hepsi bir günden daha az yarı ömre sahip olduğu için, çevresel radyoaktiviteye etkisinin az olduğu Hanford ve Enerji Bakanlığı (ABD) tarafından belirtilmiştir. Fotoelektrik hücrelerde, bıçakla kesilebilecek kadar yumuşak olan potasyum metali kullanılır. Potasyum doğada en reaktif metallerden biridir ve pek çok ticari kullanıma sahip bir dizi bileşik oluşturur. Örneğin, beyaz katı potasyum bromür, fotoğrafçılık, oymacılık ve litografide kullanılır. Kırmızı

kristal potasyum kromat ve sarı kristal potasyum bikromat, kibritlerde ve havai fişeklerde kullanılan güçlü oksitleyici etken maddedir ve tekstil ve deri boyamacılığında kullanılır. ^{40}K su, yemek veya havayı solunum yoluyla vücuda alınabilir. Vücuda alındıktan sonra, ^{40}K vücutta diğer potasyum izotoplarıyla aynı şekilde davranır. İnsanlar biyolojik süreçleri sürdürmek için potasyuma ihtiyaçları vardır, çoğu (^{40}K dahil) alım sırasında neredeyse tamamen emilir, gastrointestinal sistemden kan dolaşımına hızlı bir şekilde geçer. Yutulması veya solunmasından sonra kana giren ^{40}K , hızlı bir şekilde tüm organlara ve dokulara dağılır. ^{40}K , 30 günlük biyolojik yarı ömür ile vücuttan atılır. Vücudun potasyum içeriği sıkı homeostatik kontrol altındadır (burada tutulan miktar vücut fonksiyonları için gerekli olan normal aralığı elde etmek için vücut tarafından aktif olarak düzenlenir) ve çevresel seviyelerdeki değişikliklerden etkilenmez. Bu nedenle, vücuttaki ^{40}K içeriği sabittir, yetişkin bir erkeğin vücudunda yaklaşık 0.1 mikroküri veya 100.000 pCi olarak bulunur. Her yıl bu izotop vücudun yumuşak dokularına yaklaşık 18 milirem (mrem) ve kemiğe 14 mrem doz verir. ^{40}K 'ın sağlık açısından tehlikesi, radyoaktif bozunmadan (β parçacığı ve γ ışımasından) kaynaklanan iyonlaştırıcı radyasyonun yol açtığı hücre hasarı ile ilişkili olup, daha sonra kansere neden olma potansiyeline sahiptir. Bir ömür boyu ölümcül kanser riskini tahmin etmek için, 100.000 kişinin sürekli bir başlangıçta ortalama 1 pCi / g ^{40}K konsantrasyonuna sahip kalın bir toprak tabakasına maruz kaldığı varsayılırsa, bu 100.000 kişiden 4'ü kansere yakalanır.

2.2.Yapı Materyallerinde Radyoaktivite Kaynakları

2.2.1 Doğal malzemeler

Doğal orjinli yapı malzemeleri alüminli şeyl, porfir, tüf, doğal magmatik orijinli yapı veya katkı malzemeleri, granitik kayaçlar (granit, siyenit, ortognays) puzolan (puzolan külü), lavdır.

2.2.2 Malzemelerin işlenmesi ile doğal olarak oluşan radyoaktivite içeren sanayi atıkları

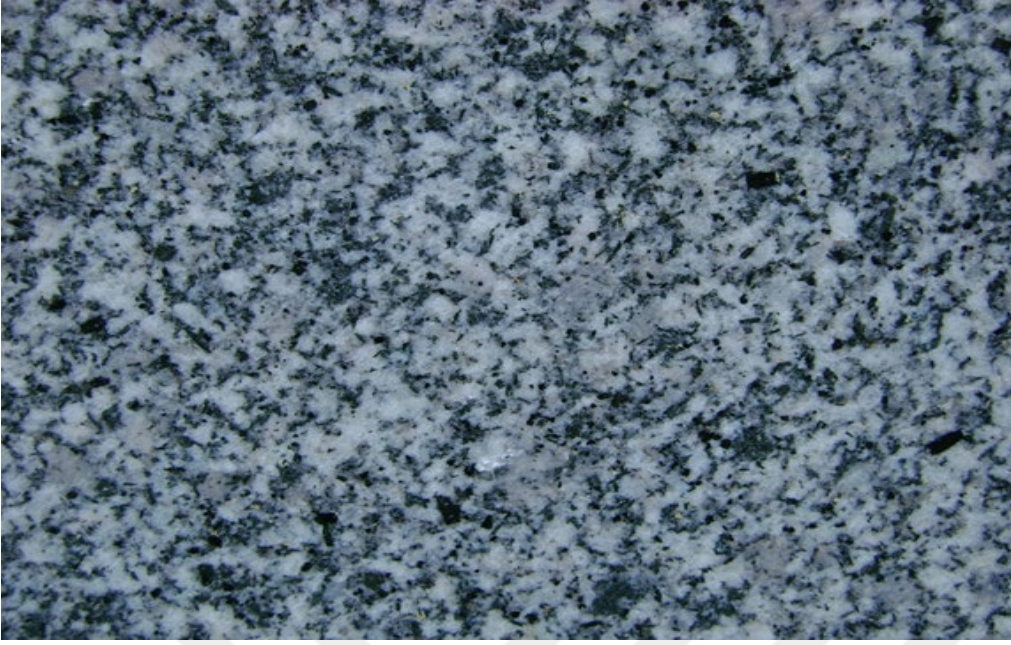
Kırmızı çamur (alüminyum üretimi artıkları), çelik üretimi artıkları, uçucu kül, bakır cürufu, kalay cürufu, fosfor cürufu, fosfojipsdir. Betonda doğal kaynaklı radyonüklit konsantrasyonlarındaki değişim, kimyasal katkı maddelerinin türüne ve kullanılan balast malzemelerine bağlıdır. Kum, çakıl gibi balast malzemeleri en çok kullanılanlar olmasına karşın genel olarak betonun radyoaktif içeriğini artırmaz. Bununla birlikte pomza taşı yüksek ^{226}Ra ve ^{40}K aktivite konsantrasyonu, kuvertiz ise yüksek ^{238}U ve ^{40}K aktivite konsantrasyonu içerdiğinden balast malzemeleri olarak kullanıldığında betonun radyoaktivitesini arttırabilmektedir. İçeriği betonla aynı olan gaz betona ise gözenek oluşturmak amacıyla eklenen alüminli şist sebebiyle bu malzemedeki ^{226}Ra konsantrasyonu 2600 Bq kg^{-1} mertebelerine çıkabilmektedir (IAEA, 2015).



Şekil 2.3 Çimentonun konut inşaatlarında kullanımı

Ayrıca, çimento ve hazır beton içerisine belli bir oranda katılan uçucu kül, sepere edilmiş kül ve fosfojipslerin gördükleri işlemlere bağlı olarak katıldıkları malzemelerdeki radyoaktivite konsantrasyonunu arttırabilmektedir.

Mermer ve granit gibi doğal yapı malzemelerinde ^{226}Ra konsantrasyonu genellikle yüksek olmakta, granitte ayrıca yüksek ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonları bulunabilmektedir (IAEA, 2015).



Şekil 2.4 Granit

2.2.3.Yapı malzemelerindeki radyoaktivitenin kontrolü

Yapı malzemelerinin kullanım alanının geniş olması nedeniyle bunlardan kaynaklanan radyasyonun tamamen önlenmesi mümkün gözükmemektedir. Ancak yapı malzemelerindeki radyoaktivite seviyesi kontrol edilerek insanların maruz kalacağı radyasyonun mümkün olan en düşük seviyede tutulmasına, maruz kalınan doğal radyasyon seviyesinin bu malzemeler nedeniyle artmasının önlenmesine çalışılmaktadır.

Yapı malzemelerindeki doğal radyonüklitler düzgün dağılımlı değildirler; bu yüzden radyonüklitlerden kaynaklanan radyolojik tehlikeleri hesaba katmak ve ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K 'ın aktivite konsantrasyon seviyesini temsil etmek amacıyla türetilen radyum eşdeğer aktivite indisi (Ra_{eq}) hesaplanmaktadır (TAEK, 2008)

$$Ra_{eq} = A_{Ra} + \left(\frac{10}{7}\right) \cdot A_{Th} + \left(\frac{10}{130}\right) \cdot A_K$$

Burada A_{Ra} , A_{Th} ve A_K yapı malzemelerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K 'ın Bq kg^{-1} olarak aktivite konsantrasyonudur.

^{238}U ve ^{232}Th en önemli gama radyasyonu yayıcı elementlerden olup, dünya nüfusunun maruz kaldığı yıllık doğal radyasyon dozunun %83'ü bu elementlerden, %16 ise ^{40}K 'dan kaynaklanmaktadır. ^{238}U bozunum zincirinde oluşan ^{226}Ra 'dan sonrası radyolojik olarak önemli olması nedeniyle araştırmalarda elde edilen sonuçların sunumunda ^{238}U 'in yerine ^{226}Ra gösterilmektedir. ^{40}K 'ın yarılanma ömrü 1.3×10^9 yıl olup doğada bulunma oranı %0.012'dir. Bu elementlerin yarılanma ömürleri çok büyük olduğundan, dünyanın her yerinde doğada ve çevrede bu elementler bulunmaktadır

1979 yılında OECD Nükleer Enerji Ajansı Uzmanlar Grubu tarafından yayımlanan raporda, konut ve işyerlerinin yapımında kullanılan malzemelerde radyum eşdeğer aktivite indisi için tavsiye edilen üst sınır, 370 Bq kg^{-1} olarak belirlenmiştir. Günümüzde hala bazı ülkeler tarafından kullanılan radyum eşdeğer aktivite indisi 370 Bq kg^{-1} olarak belirtilmiştir. Bu değerin altında aktivite değerine sahip malzemeler radyolojik açıdan tehlike oluşturmazlar (OECD-NEA, 1979).

Avrupa Komisyonu tarafından 1999 yılında yayınlanan Radyasyondan Korunma-112 No'lu raporda, yapı malzemelerinden kaynaklanan yıllık etkin doz, 1 mSv olarak sınırlandırılmıştır. Avrupa Birliğine üye ülkelerde bu değerin üzerinde yıllık etkin doza sebep olabilecek miktarda radyoaktivite içeren yapı malzemelerinin kullanımlarının kısıtlanması öngörülmüştür (E:C., 1999).

Halkın kapalı ortamlardaki doğal radyasyonlardan korunmasına ilişkin olarak Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı'nın hazırladığı güvenlik serisi kapsamındaki kılavuzlarında da yapı malzemeleri kaynaklı yıllık etkin doz için 1 mSv değerinin referans olarak alınması tavsiye edilmektedir (IAEA, 2015). Bu doza karşılık gelen aktivite konsantrasyon indisi aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır (EURATOM, 2013).

$$I = \frac{C_{Ra}}{300 \text{ Bq kg}^{-1}} + \frac{C_{Th}}{200 \text{ Bq kg}^{-1}} + \frac{C_K}{3000 \text{ Bq kg}^{-1}}$$

Burada, C_{Ra} , C_{Th} , C_K Bq kg^{-1} olarak radyum, toryum ve potasyum aktivite konsantrasyonlarıdır.

Aktivite konsantrasyon indisi; malzemenin miktarına, kalınlığına, yoğunluğuna, yapı içinde kullanım şekline bağlı olarak aşağıdaki çizelgede verilen değerleri aşmamalıdır. Aktivite konsantrasyon indisi bu değerlerden küçük veya eşit olan yapı malzemeleri, herhangi bir kısıtlamaya gerek duyulmadan kullanılabilir.

Tablo 2.2 Yapı malzemeleri için Aktivite Konsantrasyon İndisi (EC, 1999)

MALZEME	I
Çok kullanılan malzemeler(beton, tuğla gibi yapısal malzemeler)	≤ 1
Yüzey malzemeleri veya kullanımı az olan malzemeler (kiremit, seramik, kaplama malzemeleri gibi)	≤ 6

Endüstriyel yan ürünlerin yapı malzemelerinde kullanılması halinde son ürünün aktivite konsantrasyonunun belirlenmesi gerekmekte ve doz sınırlaması son ürüne uygulanmaktadır.

Bazı yöresel doğal yapı malzemelerinde yıllık 1mSv doz sınırlamasının aşıldığında yapı malzemelerinin kullanımının sınırlandırılması, yerel, hatta ulusal bazda ekonomik, çevresel problemler oluşturabilmektedir. Bu durumlarda ekonomik ve sosyal maliyetler göz önüne alınarak kapsamlı bir değerlendirmenin yapılması tavsiye edilmektedir (EC, 1999, EURATOM, 2013).

Yüksek ^{226}Ra ve ^{40}K aktivite konsantrasyonu içeren pomza taşı, yüksek ^{238}U ve ^{40}K aktivite konsantrasyonu içeren kuvartiz gibi balast malzemeleri betonun radyoaktivitesini arttırabilmektedir (TAEK RSGD-KLV-013). Ayrıca, gördükleri işlemlere bağlı olarak radyoaktivite konsantrasyonu artmış olabilecek uçucu kül, sepere edilmiş kül ve fosfojipslerin çimento ve hazır beton içerisine belli bir oranda katıldığı bilinmektedir. Granit ve mermer gibi doğal yapı malzemelerinde ^{226}Ra konsantrasyonu genellikle yüksek olmakta, granitte ayrıca yüksek ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonları bulunabilmektedir (IAEA, 2015).

Yapı malzemelerinden yayılan yüksek dozda radyasyona maruz kalınması radyasyon kaynaklı kanser, kronik akciğer rahatsızlıkları, kan ve kemik iliği rahatsızlıklarına sebep olduğundan bu elementlerin (^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K) yapı malzemelerinde bulunma oranlarının tespiti ve insan sağlığına etkilerinin araştırılması büyük öneme sahiptir. (IAEA, 2003, IAEA, 2014, IAEA, 2015).

Tablo 2.3 Radyolojik parametrelerin limit değerleri

RADYOLOJİK PARAMETRE	LİMİT DEĞERİ
Radyum eşdeğer aktivitesi (Ra_{es})	$Ra_{es} \leq 370 \text{ Bq.kg}^{-1}$
Gama indeksi (I_γ)	$I_\gamma \leq 1$
Alfa İndeksi (I_α)	$I_\alpha \leq 1$
Dış Risk indeksi (H_{ex})	$H_{ex} \leq 1$
İç Risk İndeksi (H_{in})	$H_{in} \leq 1$

UNSCEAR (1993, 2000) raporlarına göre, ölçülen gama doz hızlarının dünya ortalaması 18-93 nGy/h arasında değişmektedir. Dünya artortam ortalaması 60 nGy/h kadardır.

Dünyada, toprakta ölçülen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklit konsantrasyonlarının tipik ortalama değerleri sırasıyla 50, 50 ve 500 Bq.kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Bu elementlerden müsaade edilebilir doz miktarı 1,5 mSvy⁻¹ kadardır.

2.3 Yapı Materyallerinde Radyoaktivite Tayinleri ile İlgili Yapılan Çalışmalar

2.3.1 Türkiye’de yapılan çalışmalar

Uğur (1992) yılında İzmir’de konut inşaatlarında kullanılan çimento, tuğla ve kiremitlerde radyonüklid içeriğinin saptanması konulu çalışma yapmıştır. Çalışmada 15 ayrı tür çimento, 27 farklı tuğla ve 7 farklı kiremit örneğinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklidlerinin aktivitelerini, NaI(Tl) sintilasyon detektörlü bir gama ışını spektrometresi kullanarak ölçmüştür. Çimento örneğindeki ^{40}K aktivite konsantrasyonu 198,91-303,52 Bq kg⁻¹ aralığında ve ortalama konsantrasyon ise 257,52 Bq kg⁻¹ olarak bulunmuştur. ^{232}Th aktivitesi ise 16, 90-39,74 Bq kg⁻¹ aralığında ve ortalama 26,80 Bq kg⁻¹’dır. ^{226}Ra aktivitesi ise 83, 67-128,19 Bq kg⁻¹

¹ aralığında ve ortalama 106,63 Bq kg⁻¹ 'dır. Tuğla örneğindeki ⁴⁰K aktivite konsantrasyonunu 360,38-854,80 Bq kg⁻¹ aralığında ve ortalama 619,28 Bq kg⁻¹ dir. ²³²Th aktivite konsantrasyonunu da 18,83-47,69 Bq kg⁻¹ aralığında ve ortalama 33,76 Bq kg⁻¹, ²²⁶Ra aktivitesi ise 43,41-141.48 Bq kg⁻¹ aralığında ve ortalama 98,38Bq kg⁻¹ bulmuştur (Uğur, 1992).

Dayanıklı (2004) yılında Manisa ilinde Kullanılan bina materyallerinde radyoaktivite tayini isimli bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada, Manisa ilinde yapı materyalleri olarak kullanılan kum, tuğla ve çimento örneklerinde, ²³²Th ve ⁴⁰K tayinleri NaI(Tl) dedektörü kullanılarak gama spektrometresi ile yapılmıştır. Çalışmada Manisa'da yaşayan insanların bu bina materyallerinin kullanılmamasından dolayı maruz kaldıkları dozlar hesaplanmıştır. 3 adet çimento örneğindeki ⁴⁰K- aktivite konsantrasyonu 249,79-348, 98 Bq kg⁻¹ aralığında ve ortalama 298,98 Bq kg⁻¹ ve ²³²Th aktivitesi ise 7, 98 Bq kg⁻¹ dir. 5 adet tuğla örneğindeki ⁴⁰K aktivite konsantrasyonu 381,79-724,9 Bq kg⁻¹ aralığında ve ortalama 553,3 Bq kg⁻¹ dir. ²³²Th aktivite konsantrasyonu da 9,89-22,25 Bq kg⁻¹ aralığında ve ortalama 16,1 Bq kg⁻¹ bulmuştur (Dayanıklı, Ş.A., 2004).

Turhan 2007 yılında, Türk çimento ve ham maddelerinde doğal radyoaktivite ve radyolojik tehlikelerin değerlendirilmesi adlı bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada hammaddelerde, ara ürünlerde (klinker) ve son ürünlerde (22 farklı çimento tipi) ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K radyonüklidlerinin radyoaktivitelerini, HPGe detektörlü bir gama ışını spektrometresi kullanarak ölçmüştür. İncelenen örnek sayısı üç yüz yirmi dokuzdur ve bunlar 145 çimento numunesi (22 ayrı ortak çimento ürünü), 128 hammadde (35 kireçtaşı numunesi, 19 kil numunesi, 27 tuf numunesi, 7 kalkerli kil numunesi, 12 yüksek fırın cürufu numuneleri, 3 kaolin numunesi, 20 uçucu kül numunesi, 4 demir cevheri numunesi ve 1 şist numunesi) ve 46 küçük minör ilave bileşen numunesi (29 alçı numunesi, 2 fosfojips numunesi, 4 pirit külü numunesi, 1 buhar numunesi ve 1 adet volkanik tuf örneği, 5 adet pomza örneği, 2 adet boksit örneği, 1 adet mermer tozu örneği ve 1 adet örnek by-pass çimento fırın tozu) Türkiye'deki çimento fabrikalarından ve öğütme tesislerinden toplanan 10 adet ara ürün örneği (klinker örneği) dir. Analiz edilen çimento numunelerinde ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K 'ın spesifik radyoaktiviteleri sırasıyla

12,5 $\pm$ 0,3 Bq kg⁻¹ ile 162,5 $\pm$ 1,7 Bq kg⁻¹, 6,7 $\pm$ 0,3 Bq kg⁻¹ ile 124,9 $\pm$ 2,5 Bq kg⁻¹, 64,4 $\pm$ 2,3 Bq kg⁻¹ ile 679,3 $\pm$ 18,2 Bq kg⁻¹ aralığında ve ortalama değer olarak da yine sırasıyla 40,5 $\pm$ 26,7 Bq kg⁻¹, 26.1 $\pm$ 18.9 Bq kg⁻¹ ve 267.1 $\pm$ 102.4 Bq kg⁻¹ arasında değiştiğini bulmuştur (Turhan, Ş., 2007).

Mavi (2010) Isparta'daki bazı yapı malzemelerinde doğal radyoaktivite tayini çalışmasında Isparta bölgesinde çok sık kullanılan 15 farklı yapı malzemesindeki ⁴⁰K, ²²⁶Ra, ²³²Th konsantrasyonlarını NaI(Tl) dedektörlü gama spektrometresi ile araştırmıştır. Elde edilen sonuçlar, verilen limit değerlerin oldukça altında bulunmuştur (Mavi., B.,2010).

Erdoğan Güneş (2014), bazı inşaat betonlarında doğal radyoaktivite seviyelerinin ölçülmesi üzerine çalışma yapmış, mineral katkı ve katkısız dokuz harç örneğinde doğal olarak meydana gelen ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K radyoaktif çekirdekleri HPGe gama spektrometresi kullanılarak analiz edilmiştir. Ayrıca kum (agrega), çimento, uçucu kül, ve yüksek fırın cürufu gibi beton bileşenleri de ölçülmüştür. Çalışmada beton aktivite konsantrasyonlarının ilave edilen çimento bağlayıcı malzemeler ile değiştiği tespit edilmiştir (Erdoğan Güneş, 2014).

Kayakökü ve arkadaşları (2016) Ahlat-Bitlis'te bazı yapı malzemelerinde radyoaktivite ve doz değerlendirmeleri yapmışlardır. Bu çalışmada 4 Ahlat taşı, 3 tuğla, 1 ponza ve 1 perlit örneği incelemiştir. ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K radyoaktivite konsantrasyonları sırasıyla (29,6 $\pm$ 75,9-228,2 $\pm$ 38,1 Bq kg⁻¹), (10,8 $\pm$ 5,4-95,5 $\pm$ 26,1 Bq kg⁻¹) ve (249,3 $\pm$ 124,7-2580,1 $\pm$ 266,9 Bq kg⁻¹) arasında bulmuşlardır (Kayakökü vd., 2016).

Bilgici Cengiz ve arkadaşları (2017) Kars ilinde kullanılan bazı yapı malzemelerindeki doğal radyoaktivite ve radyolojik tehlikelerin değerlendirilmesi konulu bir araştırma yapmışlardır. Bu çalışmada, Kars ilinde kullanılan bazı yapı malzemelerinin radyoaktivite seviyeleri ve bu malzemelerin kullanılmasından kaynaklanabilecek radyolojik riskleri belirlemiştir. Kars'ın değişik bölgelerinden 10 farklı yapı malzemesini (kireçtaşı, kil, tras, alçıtaşı, demir cevheri ve dört farklı çimento numunesi) temsil eden toplam 60 numune

toplamışlardır. Bu numunelerdeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyoizotoplarının aktivite konsantrasyonlarını HPGe gama ışıını spektrometre sistemi ile ölçmüşlerdir. ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyoizotoplarının ortalama aktivite konsantrasyonlarını sırasıyla $22,87 \text{ Bq kg}^{-1}$, $19,49 \text{ Bq kg}^{-1}$, $265,29 \text{ Bq kg}^{-1}$ olarak bulmuşlardır (Bilgici Cengiz vd., 2017).

2.3.2 Çeşitli ülkelerde yapılan çalışmalar

Hewamanna ve arkadaşları (2001) Sri Lanka'da 24 tuğla örneği üzerine yaptıkları çalışmada HPGe dedektörlü gama spektrometresi kullanmış ve ortalama aktivite konsantrasyonlarını ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K için sırasıyla 35 Bq kg^{-1} , 72 Bq kg^{-1} ve 585 Bq kg^{-1} olarak bulmuştur (Hewamanna vd., 2001).

El dine ve arkadaşları (2003) Mısır'da kullanılan yerli ve ithal kaolin örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarını HPGe dedektörlü gama spektrometresi kullanarak analiz etmişlerdir. Bu çalışmada, 50 jeolojik yerel örnek (üst Mısır'da Tushki ve Kalabsha) ve ithal (güneydoğu Asya ve Türkiye) kaolin kullanılmıştır. Kaolin örneklerinde. ^{232}Th ve ^{238}U serisi ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları (ppm cinsinden) verilmiştir. ^{226}Ra eşdeğer aktivitesi $187,8$ ila $10185,19 \text{ Bq kg}^{-1}$ arasında değişmiştir. ^{137}Cs aktivitesi yerel örnekler için $0,23$ – $8,53 \text{ Bq kg}^{-1}$ aralığında bulundu. Tushki bölgesindeki kaolinin endüstriyel kullanım için uygun olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Bu arada ^{137}Cs eşdeğer aktivitesi ^{226}Ra için alınmıştır (El Dine, N. W., et al, 2003).

Kumar ve arkadaşları (2003) Hindistan'da yaptıkları çalışmada NaI(Tl) dedektörlü gama spektrometresi kullanarak bazı yapı malzemelerinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarını ölçmüşlerdir. ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarını sırasıyla $3,1$ – $151,7 \text{ Bq kg}^{-1}$, 14 – $63,7 \text{ Bq kg}^{-1}$ ve $24,3$ – $121,5 \text{ Bq kg}^{-1}$ aralığında bulmuşlardır (Kumar,V. et al., 2003).

Nour Khalifa (2005) Mısır'ın Qena kentinde yapı malzemelerinde yaygın olarak kullanılan malzemelerde (tuğla, çimento, alçı, seramik, mermer, kalker ve granit) doğal radyoaktivite ölçümü yapmıştır. En yüksek ortalama ^{226}Ra aktivite değerinin mermerde $205 \pm 83 \text{ Bq kg}^{-1}$ olduğunu belirtmiştir. Buna karşılık en yüksek ^{232}Th konsantrasyonu $118 \pm 14 \text{ Bq kg}^{-1}$ olarak granitte ölçmüştür.

Mermerde ise en yüksek ^{40}K konsantrasyonu ($870 \pm 390 \text{ Bq kg}^{-1}$) ölçülmüştür (Nour Khalifa, A., 2005).

Pavlidou ve arkadaşları (2006) yapı malzemesi olarak kullanılan granitlerin doğal radyoaktivitesi (^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K) üzerine çalışmışlardır. İnşaat malzemesi olarak kullanılan ve çoğunlukla İspanya ve Brezilya'dan ithal edilen on altı çeşit granit örneğinin, radyoaktivitesini gama ışını spektrometrisi ile ölçmüşlerdir. Granite ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının sırasıyla 35 Bq kg^{-1} , 30 Bq kg^{-1} ve 400 Bq kg^{-1} ortalama seviyeleri aştığını tespit etmişlerdir (Pavlidou et al., 2006).

Krstic ve arkadaşları (2007), Güneydoğu Avrupa'nın bazı komşu ülkelerinden (Makedonya, Yunanistan ve Bulgaristan) ithal edilen veya Sırbistan'da üretilen bazı yapı malzemelerinin, (alçı taşı, seramik, mermer, granit vb.) radyoaktivite ölçümlerini HPGe dedektörü ve çok kanallı analizör ile yapmışlardır. Bu çalışmada, malzemelerin doğal radyonüklid içeriklerini, aktivite konsantrasyon indeksini, doz oranı ve inşaat malzemelerinden kaynaklanan yıllık etkin doz değerlerini belirlemişlerdir. Ölçüm sonuçları, ^{40}K 'ın incelenen tüm yapı malzemelerinde en büyük aktivite konsantrasyonuna sahip olduğunu göstermiş; en büyük ^{40}K konsantrasyonu 986 Bq kg^{-1} olarak Yunanistan'dan ithal edilen mermerde ölçülmüştür. ^{226}Ra 'nın en büyük aktivitesi 174 Bq kg^{-1} ile seramikte, ^{232}Th 'un en yüksek konsantrasyonu alçıtaşında 188 Bq kg^{-1} olarak bulunmuştur. Bu çalışmanın sonucunda yapılan ölçümlere dayanarak, inşaat sırasında dikkatli bir yapı malzemesi seçimi ile radyasyona maruz kalma riskinin azaltılabileceğini söylemişlerdir. (Krstic et al., 2007).

Ngachin ve arkadaşları (2007) Kamerun'da yaptıkları çalışmada yapı malzemelerinde doğal radyoaktivite (^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K) ve buna bağlı radyasyon tehlikelerinin değerlendirilmesini yapmışlardır. ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonlarının ortalama değerlerinin sırasıyla $0,35 \pm 0,02$ – 139 ± 13 , 19 ± 2 – $1161 \pm 108 \text{ Bq kg}^{-1}$ aralığında olduğu bulunmuştur. Kırmızı tuğlada en yüksek aktivite konsantrasyonunu ^{232}Th için $139 \pm 13 \text{ Bq kg}^{-1}$ ve ^{40}K için $1162 \pm 108 \text{ Bq kg}^{-1}$ olarak ölçmüşlerdir (Ngachin et al., 2007).

Stojanovska ve arkadaşları (2010) Makedonya’da yaptıkları bir çalışmada çimento endüstrisinde kullanılan hammadde (uçucu kül) ve son üründen(çimento) kaynaklanan doğal radyoaktiviteye ve insan maruziyetine bakmışlardır. Toplam 218 hammadde örneği ve çimento örneğini incelemişlerdir. Hammadde olarak kullanılan uçucu külün gama spektrometresi ile analizi yapıldığında en yüksek ortalama aktivite konsantrasyonlarını (^{226}Ra , $107\pm45 \text{ Bq kg}^{-1}$; ^{232}Th , $109\pm30 \text{ Bq kg}^{-1}$; ^{40}K , $685\pm171 \text{ Bq kg}^{-1}$) olarak bulmuşlardır. Bununla birlikte, nihai çimento ürününün aktivitesini genellikle ham maddenin aktivitesine oranla nispeten (^{226}Ra , $42\pm10 \text{ Bq kg}^{-1}$; ^{232}Th , $28\pm6 \text{ Bq kg}^{-1}$; ^{40}K , $264\pm50 \text{ Bq kg}^{-1}$) düşük ölçmüşlerdir (Stojanovska et al., 2010).

Trevisi ve arkadaşları 2011 yılında, yaptıkları çalışmada “Avrupa Birliğinde yapı malzemelerinde doğal radyoaktivite: bir veri tabanı ve radyolojik önem tahmini” isimli çalışma yapmışlardır. Trevisi ve arkadaşları, yapı malzemesinde doğal radyonüklidlerin (^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K) aktivite konsantrasyon ölçümlerinin bir veri tabanını oluşturmuşlardır. Avrupa Birliğine Üye Devletlerin çoğunda inşaat endüstrisinde kullanılan yaklaşık 10000 dökme malzeme (tuğla, beton, çimento, doğal ve fosfocipsyum, tortul ve magmatik dökme taş) ve yüzeysel malzeme (magmatik ve metamorfik taş) örnekleri üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmada elde edilen veriler Avrupa Birliğinde kullanılan tuğlalar, beton ve fosfocipsler için “Euratom Temel Güvenlik Standartları Direktifi” taslağını hazırlamak üzere temel olarak kullanılan aktivite konsantrasyon endekslerini hesaplamada kullanılmıştır. Avrupa Birliği ülkelerinde kullanılan çimento ve tuğla örneklerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları maksimum, minimum ve ortalama değerler aşağıdaki tablolarda verilmiştir.(Tablo 2.4 ve Tablo 2.5)

Tablo 2.4: Tuğla örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları (1676 örnek).

Ülke	Örnek sayısı	^{226}Ra (Bq kg ⁻¹)			^{232}Th (Bq kg ⁻¹)			^{40}K (Bq kg ⁻¹)		
		Ort.	Min.	Max.	Ort.	Min.	Max.	Ort.	Min.	Max.
Avusturya	32	38	20	71	45	16	112	635	520	880
Belçika	78	41	34	47	37	32	47	692	569	815
Bulgaristan	1	42			43			600		
Kıbrıs	11	9	2	21	6	2	16	200	59	377
Çek Cumh.	448	48	46	49	49	48	49	592	567	616
Danimarka	83	25	8	42	21	8	34	455	280	630
Finlandiya	42	52	23	80	42	21	62	804	622	986
Fransa	12	51	42	61	53	37	66			
Almanya	135	50	15	96	46	10	96	453	200	700
Yunanistan	82	53	20	93	35	17	47	680	383	968
Macaristan	176	56	30	148	48	33	59	556	444	815
İrlanda	14	42	7	139	31	8	50	482	255	1064
İtalya	192	37	3	110	30	3	97	672	160	1169
Litvanya	1	40			32			754		
Lüksemburg	2	83	72	93	147	129	164	597	206	988
Hollanda	70	38	8	74	40	8	82	532	230	1030
Polonya	6	16	11	20	20	6	34	515	204	826
Portekiz	10	64	37	90	52	31	72	786	473	1098
Romanya	75	45	5	139	47	11	108	501	196	760
Slovakya	1	49	28	64	44	22	70	695	477	820
Slovenya	2	81	69	93	87	72	101	676	454	898
İspanya	12	54	34	73	68	44	99	569	292	747
İsveç	71	75	10	98	94	7	127	734	162	960
İngiltere	80	46	2	89	32	3	81	570	12	1000
Bu çalışmada	3	37	25	46	48,67	33	61	565,39	576	839

Ayrıca, teknik rehber tarafından önerilen iki doz kriterinden herhangi birinin kabul edilmesi gerekiyorsa, bu oran, muhtemelen kısıtlamalara tabi olan malzemelerinki olması şeklinde değerlendirilebilir (Trevisi et al,2011).

Tablo 2.5 Çimento örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları (2727 örnek).

Ülke	Örnek sayısı	^{226}Ra (Bq kg ⁻¹)			^{232}Th (Bq kg ⁻¹)			^{40}K (Bq kg ⁻¹)		
		Ort.	Min.	Max.	Ort.	Min.	Max.	Ort.	Min.	Max.
Avusturya	18	27	11	49	14	10	26	210	89	286
Belçika	26	52	37	64	46	22	76	255	110	470
Bulgaristan	1	29			19			160		
Kıbrıs	8	16	9	21	10	5	12	152	4	209
Çekya	496	46			19			237		
Danimarka	6	20	9	30	12	4	21	90	20	140
Finlandiya	11	40	15	84	20	9	55	251	169	336
Fransa	1	35			21			24		
Almanya	23	86	30	200	73	20	200	170	40	320
Yunanistan	183	85	20	218	19	10	41	257	32	553
Macaristan	400	30	8	61	22	13	53	218	95	402
İrlanda	3	60	27	107	11	3	15	131	66	252
İtalya	200	41	7	98	63	9	240	357	80	846
Hollanda	17	62	27	82	64	19	120	271	230	305
Polonya	344	73	17	154	66	20	138	353	204	608
Portekiz	8	31	22	40	19	11	23	256	235	276
Romanya	55	44	4	154	27	11	76	233	47	633
Slovakya	6	35	23	47	18	15	19	223	190	253
İspanya	171	61	23	422	40	15	266	305	44	599
İsveç	30	53	44	56	54	41	72	224	196	235
İngiltere	6	22			18			160		
Bu çalışmada	6	38	2	68	31	19	42	233	149	315

Lu ve arkadaşları (2012) Çin'in Xianyang kentinde doğal radyoaktivite ve yapı malzemelerinin radyolojik tehlikeleri üzerine çalışma yapmışlardır. Çin'in Xianyang şehrinde toplanan ortak yapı malzemelerindeki (çimento, kum, kırmızı kil, tuğla), ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K 'ın aktivite konsantrasyonu gama-ışını spektroskopisi kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışılan yapı malzemelerinde ölçülen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K ortalama aktivite konsantrasyonu sırasıyla 13,4 ila

69,9 Bq kg⁻¹, 13,1–99,1 Bq kg⁻¹ ve 124,7-915,1 Bq kg⁻¹ aralığında bulunmuştur. Çalışmada ölçüm sonuçlarını dünyada yapılan diğer çalışmaların ölçüm sonuçları ile karşılaştırmışlardır (Lu et al, 2012).

Moharram ve arkadaşları (2012) Mısır'daki bazı yapı malzemelerinde gama yayan doğal radyonüklidler nedeniyle dış maruz kalma dozları üzerine çalışmışlardır. Seçilen örneklerde ²³²Th ve ⁴⁰K için spesifik aktivite, sırasıyla 2,75 ila 84,66 Bq kg⁻¹ ve 7,35 ila 554,4 Bq kg⁻¹ aralığında ölçülmüştür (Moharram et al., 2012).

Ravisankar ve arkadaşları (2012) Hindistan'da yaptıkları çalışmada gama-ışını spektrometresi kullanarak Hindistan'ın Namakkal, Tamil Nadu'daki yapı malzemelerinde (tuğla ve çimento örneklerinde) doğal radyoaktivite (²²⁶Ra, ²³²Th and ⁴⁰K) ölçümü yapmışlardır. ²²⁶Ra'nın aktivitesinin ND (None Detectable)'den 54,09 Bq kg⁻¹ ve ortalama aktivite konsantrasyonunun 12,52 Bq kg⁻¹ arasında değiştiği , ²³²Th'nin aktivite konsantrasyonu ND' den 41,75 Bq kg⁻¹'e ve ortalama aktivitenin 17,39 Bq kg⁻¹ olduğu, ⁴⁰K'nın aktivite konsantrasyonu ise 93,83 - 423,67 Bq kg⁻¹ arasında değiştiği ve ortalama aktivite konsantrasyonunun 266,89 Bq kg⁻¹ olduğu ölçümlerde gözlemlenmiştir (Ravisankar et al., 2012).

Abd el Mageed ve arkadaşları (2014) Yemen'de yaptıkları çalışmada, Yemen'in Aden kentinden toplanan yaygın yapı malzemeleri, ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K'nın doğal radyoaktivitesi açısından gama ışını spektroskopisi kullanılarak analiz etmişlerdir. Çalışılan yapı malzemelerinde, ²²⁶Ra ortalama aktivite konsantrasyonu 20,78 - 68,6 Bq kg⁻¹, ²³²Th ortalama aktivite konsantrasyonu 15,48 ile 95,08 Bq kg⁻¹ ve ⁴⁰K ortalama aktivite konsantrasyonu 116,7 ile 2636,68 Bq kg⁻¹ arasında değişmektedir. (Abd el Mageed et al., 2014).

3. KULLANILAN YÖNTEM:

3.1 Materyal ve Yöntem

3.1.1. Örneklerin hazırlanması

Yüksek enerji gama spektroskopisi kullanılarak çalışmada incelenen çimento, tuğla ve granit örnekleri İzmir'in çeşitli semtlerinde yapılmakta olan konut inşaatlarından ve yerel üreticilerden, kaolin örnekleri ise Balıkesir ili Sındırgı ilçesine bağlı Düvertepe mahallesi civarında bulunan işletmelerden sağlanmıştır. Materyallerin seçiminde İzmir'deki ev tipleri ve her yapı tipinde ortak olarak kullanılan yapı malzemelerinin türü dikkate alınmış, ayrıca fayans, seramik ve vitrifiye yapımında kullanılan kaolin öne çıkarılmıştır.

Türkiye standartlarına uygun olarak üretilen portland çimento, katkı portland çimento ve beyaz çimento örnekleri gama sayımlarından önce 100°C'de yaklaşık 16 saat kurutulduktan sonra 10 cm çaplı 100 cc'lik silindir kaplara 100 gram olarak yerleştirilmiştir. Yerel satıcılardan alınan tuğla ve granit örnekleri ise kırma işleminden sonra tanecik boyutu 80 Mesh olacak şekilde elenmiş ve çimento örneklerine uygulanan kurutma ve silindirik kaplara yerleştirme işlemi bu örnekler için de uygulanmıştır. Bu şekilde 6 ayrı çimento, 9 kaolin, 3 tuğla ve 3 granit örneği her birinden 3'er kutu olmak üzere 63 kutu örnek sıkıca kapatılarak ²²⁶Ra ve ürünleri arasındaki radyoaktif dengenin oluşması için 1 ay süreyle bekletilmiştir. Böylece örneklerin hazırlanması sırasındaki radonun kısmi kaçışına uygun denge tekrar sağlanmıştır.



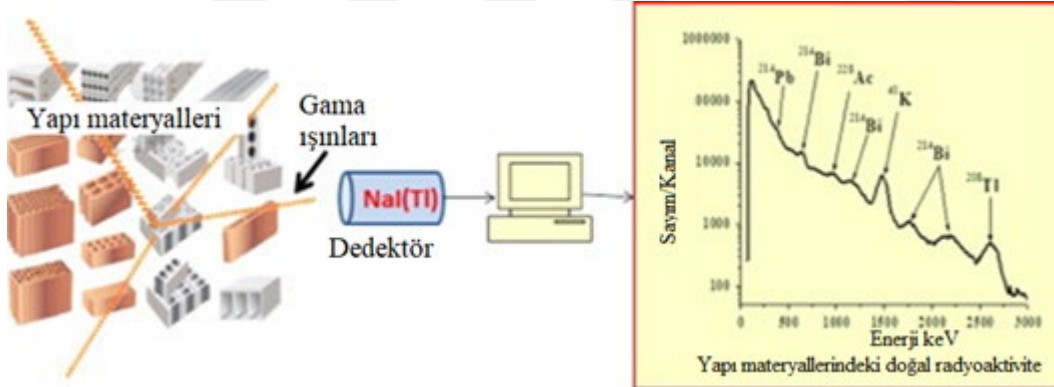
Şekil 3.1 Çıkarılan kaolin makinelerde öğütülürken



Şekil 3.2 Kaolin öğütüldükten sonra yığınlar halinde depolanırken

3.2 Örneklerin Analizi ve Kullanılan Sistemin Yapısı

Bir aylık bekleme süresinden sonra gama spektroskopik ölçümlere geçilmiştir. Sistemi oluşturan parçalar; Tennelec 3"*3" NaI(Tl) sintilasyon dedektörü, foto çoğaltıcı tüp, tüp ayağı ve preamplifikatörüdür. Çalışmada kullanılan sintilasyon dedektörü daha önce enstitümüzde gerçekleştirilen bir proje kapsamında yapılan kurşun zırh içerisine yerleştirilmiştir. Bu projede halka geometride blok kurşunlar dökürülmüş, döküm halkalar çelik bir kazan içerisine yerleştirildikten sonra kurşun geri saçılma piklerini engellemek için iç hacmin duvarı bakır ile kaplanmıştır (Camgöz vd., 2016). Gama spektrometre sisteminde ORTEC model 575 lineer amplifikatör ve ORTEC model 456 yüksek voltaj kaynağı kullanılmıştır. Çalışmada gama spektrometresinin enerji kalibrasyonu standart gama kaynaklarından 10 Ci'lik Co-60, Na-22 ve Cs-137 kullanılarak yapılmış ve çok kanallı analizörde her kanalın kabul edeceği gama enerjisi tespit edilmiş ve kanal sayısı ile gama enerjisi arasındaki kalibrasyon doğrusu çizilmiştir. Çalışmada göz önüne alınan gama enerjileri bölgesinde spektrometrenin enerji lineerliği kontrol edilmiştir.



Şekil 3.3 Gama spektrometre sisteminin şeması

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 elektromanyetik dalgalar olduğundan madde içinden geçerken intensitelerinin azalması çok az olur dolayısı ile örnek içindeki self absorbsiyon

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 dedektörünün 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, dedektörün seçilen gama enerjisindeki verimi, spektrometrenin ölü zamanı, gamanın çekirdekten çıkış intensitesi gibi faktörler dikkate alınarak ve uygun standartlar kullanılarak örnekteki aktivite ve radyoaktif atom sayısı bulunur. Çalışmada kullanılan uranyum standardı IAEA sertifikalı, "Nuclear Energy Board" laboratuvarı orijinali pitehblende (%0,014 luk U_3O_8) den 100 gram alınarak önceden hazırlanan 118 ppm'lik standart, toryum standardı toryum nitrat tuzu ($Th(NO_3)_4 \cdot 5H_2O$)'dan 36,85 mg alınarak üzeri 100 gram'a şeker ile tamamlanmış 150 ppm'lik standart ve potasyum standardı potasyum klorür (KCl) den 100 gram alınarak hazırlanan %52'lik standarttır. Uranyum ve toryumun dedeksiyonu doğrudan doğruya yayınladıkları radyasyonu ölçülerek mümkün olmaz, çünkü yarı ömürleri çok uzun dolayısıyla birim zamanda yaptıkları parçalanma olasılığı ve buna bağlı olarak yayınladıkları ortalama radyasyon sayısı çok düşüktür bu sebeple uranyum ve toryum dedeksiyonu bozunma zincirleri içindeki radyoaktif ürünlerine ait aktivitelerin ölçülmesi sureti ile yapılır bunun için zincir içindeki radyoaktif dengenin varlığı kabul edilir.

Örneklerdeki radyonüklid konsantrasyonlarını saptarken kullanılacak ürün gama pikleri seçilirken ürünün yarı ömrü, çekirdekten yayınlanma intensitesi enerjisi ve spektrumdaki diğer gama ışınları ile enterferans olasılığı gibi faktörler dikkate alınarak kompleks olmayan pikler seçilmiştir. Bu nedenle ^{238}U serisinden ^{214}Bi 'e ait 1,76 MeV ve ^{232}Th serisinden ^{208}Tl 'e ait 2,61 MeV'lik gamalar uranyum ve toryum analizinde kullanılacak en elverişli gamalardır. ^{40}K 'ın ise 1, 46 MeV'lik tek bir gama ışını söz konusudur.

Tablo 3.1 ^{238}U 'in bozunma ürünlerinin en belirgin gama ışınları

İZOTOP	GAMA ENERJİSİ(MeV)	İNTENSİTE(%)
^{214}Pb	0,2419	7
^{214}Pb	0,5952	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 3.2 ^{232}Th 'nin bozunma ürünlerinin en belirgin gama ışınları

İZOTOP	GAMA ENERJİSİ(MeV)	İNTENSİTE(%)
^{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



Şekil 3.4 Bu çalışmada kullanılan gama spektrometre sistemi.

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 spektrumlarında toryumdan uranyuma, β toryumdan potasyum, γ uranyumdan potasyuma gelen katkıları belirleyen faktörlerdir. Standart konsantrasyonlardan yararlanarak seçilen enerji aralıklarına ve geometriye ait duyarlık faktörleri K_{Th} , K_U , K_K dur.

Bu faktörlerin birlikte kullanımı ile aşağıdaki bağlantılardan örneklerdeki her bir radyoelementin konsantrasyonu $eTh(ppm)$, $eU(Ra)(ppm)$ ve % K olarak elde edilir.

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

$$eU(Ra)(ppm) = \frac{1}{k_U} (U_{net} - Th_{net}) \quad (2)$$

$$\%K = \frac{1}{k_K} [K_{net} - (U_{net} - Th_{net}) - Th_{net}] \quad (3)$$

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

$$A_i = \frac{C_{i(net)}}{m(kg) \times t(s) \times \epsilon_i \times I(\%)} \quad (4)$$

Burada;

A_i radyoelementlerin $Bq\ kg^{-1}$ olarak aktiviteleridir.

m: kilogram olarak örneklerin kütlesidir

t: saniye olarak örneklerin ölçüm zamanıdır

I: seçilen enerjiden gamanın çekirdekten çıkış intensitesidir

ϵ : Dedektörün seçilen gama enerjisindeki verimidir

$C_i(\text{net})$: Örneklerin sayımlarında katkı düzeltmesi yapıldıktan sonraki net sayımlardır.

$$eU(Ra)(ppm) = \frac{1}{k_U} (U_{\text{net}} - Th_{\text{net}}) \quad (5)$$

$$C_{U(\text{net})} = k_U \times C_U(ppm) \quad (6)$$

$$C_{Th(\text{net})} = k_{Th} + C_{Th}(ppm) \quad (7)$$

$$C_{K(\text{net})} = k_K + C_K(\%) \quad (8)$$

Sistemin 1,46 MeV ve 2,61 MeV enerjideki verim hesabı şu şekilde yapılmıştır:

100 gramlık ve 100 cc'lik plastik kaplardaki KCl standardı kullanılarak sistemin 1,46 MeV enerjideki toplam gama verimi ölçülmüştür. Daha sonra 3 "3" NaI(Tl) kristalinin verimi intrinsic verim eğrilerinden yararlanılarak 1,46 MeV, 1,76 MeV ve 2,61 MeV için hesaplanmıştır. Buradan toplam verim için

$$\epsilon_{(1,76\text{MeV})}^T = \epsilon_{1,46}^T \frac{\epsilon_{\text{int}(1,76\text{MeV})}}{\epsilon_{\text{int}(1,46\text{MeV})}} \quad (9)$$

$$\epsilon_{(2,61\text{MeV})}^T = \epsilon_{1,46}^T \frac{\epsilon_{\text{int}(2,61\text{MeV})}}{\epsilon_{\text{int}(1,46\text{MeV})}} \quad (10)$$

bulunmuştur.

Böylece İzmir'de konut inşaatlarında yaygın olarak kullanılan çimento, tuğla, granit ve kaolin örneklerindeki radyonüklid içerikleri hem Bqkg⁻¹ hem de ppm olarak belirlendikten sonra 1. Bölümde aktivite sınırlaması için verilen

$$\frac{A_K}{4810} + \frac{A_{Ra}}{370} + \frac{A_{Th}}{259} \leq 1 \quad (A:\text{Bq.kg}^{-1}) \quad (11)$$

(11) nolu bağıntı kullanılarak ayrı ayrı örneklerin toplam aktivite indisleri hesaplanmıştır. Yine aynı bölümde verilen eşdeğer Radium aktivitesinin hesaplanmasına ilişkin

$$Ra_{eq} = A_{Ra} + (A_{Th} \times 1.43) + (A_K \times 0.077) \quad (12)$$

(12) nolu bağıntı kullanılarak her bir örnek için Ra_{eq} değerleri hesaplanmıştır.

Yine doz sınırlamaları için

$$D(mremy^{-1}) = 1,16C_K + 11,45C_{Ra} + 17,8C_{Th} \quad (13)$$

(13) nolu bağıntı ile bu tip örneklerden kaynaklanabilecek bina içi yıllık doz oranları tahmin edilmiştir.

Tablo 3.3 Gama spektrometre sisteminde kullanılan enerji aralıkları ve sabitler

Radyoelement	Gama Enerjisi(MeV)	Enerji aralığı(MeV)	NaI(Tl)dedektörü 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	$\alpha=0,662$ $k_{Th}=35,69$	$\beta=0,898$ $k_U=116,2$	$\gamma=1,25$ $k_K=935,79$

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Çimento Örneklerindeki Bulgular

Çalışmada 6 ayrı tür çimentodan hazırlanan 18 örneğin incelenmesi sonucu bulunan radyonüklid konsantrasyonları $eU(Ra)(ppm)$, $eTh(ppm)$ ve $\%K$ olarak Tablo 4.1’de görülmektedir. Tablo 4.1’de görüldüğü gibi $eU(Ra)(ppm)$ sonuçlarının 0,25 ppm ve 5,75 ppm arasında değiştiği görülmektedir. Çimento örneklerindeki en yüksek konsantrasyon KÇ örneğinde 5,75 ppm olarak hesaplanmıştır. Analizlenen örneklerde eTh ölçümlerinin 2,28 ppm ve 7,68 ppm arasında değiştiği Tablo 4.1’de görülmektedir. En yüksek eTh konsantrasyonu ise Ç1 nolu örnekte tayin edilmiştir. $\%K$ değerleri ise 0,48 ve 1,02 olarak bulunmuştur. En yüksek potasyum konsantrasyonu Ç1 nolu örnekte hesaplanmıştır. Tüm çimento örnekleri için $\%K$ değerleri düşük ölçülmüştür.

Tablo 4.1 Çimento örneklerinin $eU(Ra)$, eTh ve $\%K$ konsantrasyonları

Örnek no ve adı	Örnek Türü	$\%K$	$eU(Ra)$ (ppm)	eTh (ppm)
Ç1	çimento	1,02	2,38	10,28
Ç2	çimento	0,82	2,91	7,87
Ç3(portlant)	çimento	0,80	2,10	5,87
KÇ	çimento	0,80	5,51	8,90
BÇ1(beyaz)	çimento	0,48	0,10	4,89
BÇ2	çimento	0,87	5,40	8,12

Sonuçların başka ülkelerde yapılan çalışmalarla karşılaştırılabilmesi için bütün aktiviteler ayrıca $Bq\ kg^{-1}$ olarak da Tablo 4.2 de hesaplanmıştır.

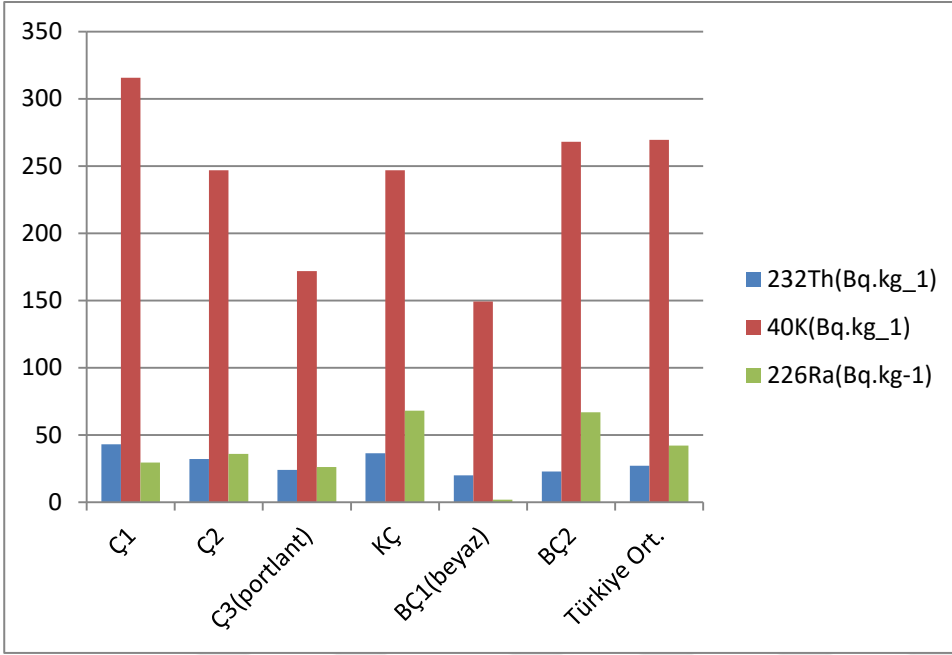
Daha önce belirtildiği gibi ^{226}Ra ’un $370\ Bq\ kg^{-1}$, ^{232}Th ’un $259\ Bq\ kg^{-1}$ ve ^{40}K ’ın $4810\ Bq\ kg^{-1}$ aynı gama dozunu ürettiğine dayanılarak Ra_{eq} hesaplaması (12) nolu eşitlikte verilmiştir. Çalışmada kullanılan çimento örneklerindeki ^{40}K aktivitesi $149,10$ ile $315,51\ Bq\ kg^{-1}$ arasında olup en yüksek ^{40}K aktivitesi Ç1 örneğinde hesaplanmıştır. ^{226}Ra ’un hesaplanan aktivitesi $1,87$ ile $68,09\ Bq\ kg^{-1}$ arasında ve

en yüksek aktiviteye sahip örnek ise KÇ olmuştur. Bu örneklerde hesaplanan aktivitesi ise 19,90 ile 42,89 Bq kg⁻¹ arasında değişmektedir ve en yüksek aktiviteye sahip çimento örneği ise Ç1 örneği olmuştur. Çimento örneklerinde hesaplanan Ra_{eq} değerleri de 13,72 ile 138,94 arasındadır. Burada hesaplanan en büyük Ra_{eq} değeri 138,94 ile KÇ örneğidir. Ayrıca (13) nolu eşitlik kullanılarak örneklerden alınacak yıllık doz hızları da mremy⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Bulunan doz hızları Tablo 4.2 de verilmiştir. Böylece yıllık doz hızları çalışmada kullanılan örnekler için 1.6 mremy⁻¹ ile 36,1 mremy⁻¹ arasında değişmektedir.

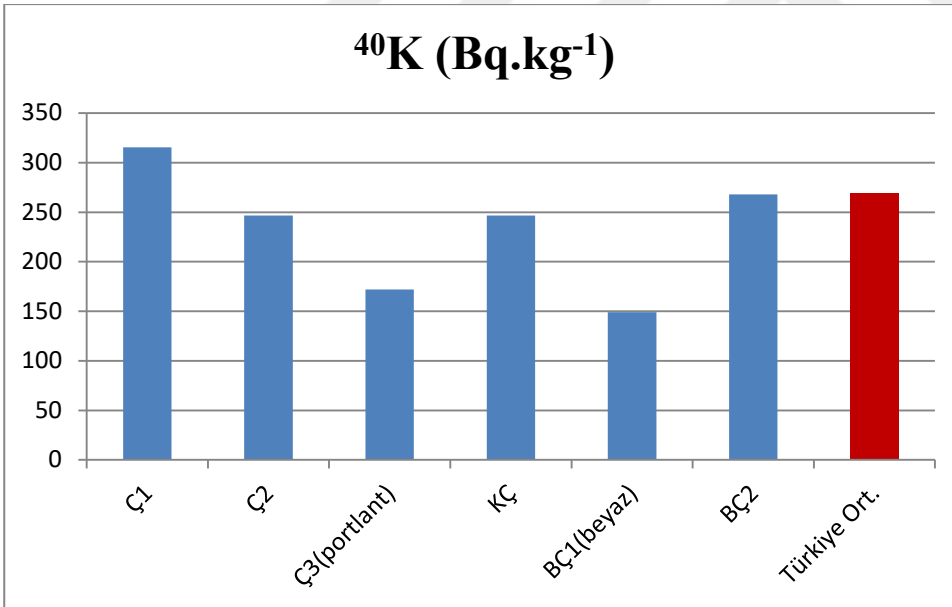
Aktivite sınırlamaları açısından incelenmesi için örneklerin aktivite konsantrasyonları kullanılarak elde edilen sonuçlar (11) no'lu eşitlik kullanılarak I aktivite konsantrasyon indisi hesaplanmış ve bu indis 0,11 ile 0,36 arasında değişmiş bu değerlerin hepsi 1 değerinden küçük olduğu için örneklerin yapılarda kullanımında sakınca olmadığı görülmüştür.

Tablo 4.2 Çimento örneklerindeki aktivite konsantrasyonları

Örnek no ve adı	²²⁶ Ra Bq.kg ⁻¹	²³² Th Bq.kg ⁻¹	⁴⁰ K Bq.kg ⁻¹	Doz hızı mremy ⁻¹	Ra _{eq}	$\frac{C_K}{4180} + \frac{C_{Ra}}{370} + \frac{C_{Th}}{259}$ (I)
Ç1	29,49	42,89	315,51	15,5	113,69	0,30
Ç2	35,97	32,07	246,73	17,5	100,84	0,27
Ç3(portlant)	26,03	23,93	171,87	12,6	73,49	0,19
KÇ	68,09	36,26	246,68	32,1	138,94	0,37
BÇ1(beyaz)	1,87	19,90	149,10	1,6	41,81	0,11
BÇ2	66,74	22,66	268,05	31,4	13,72	0,36
Türkiye Ort.	42,0	27,1	269,4		101,5	



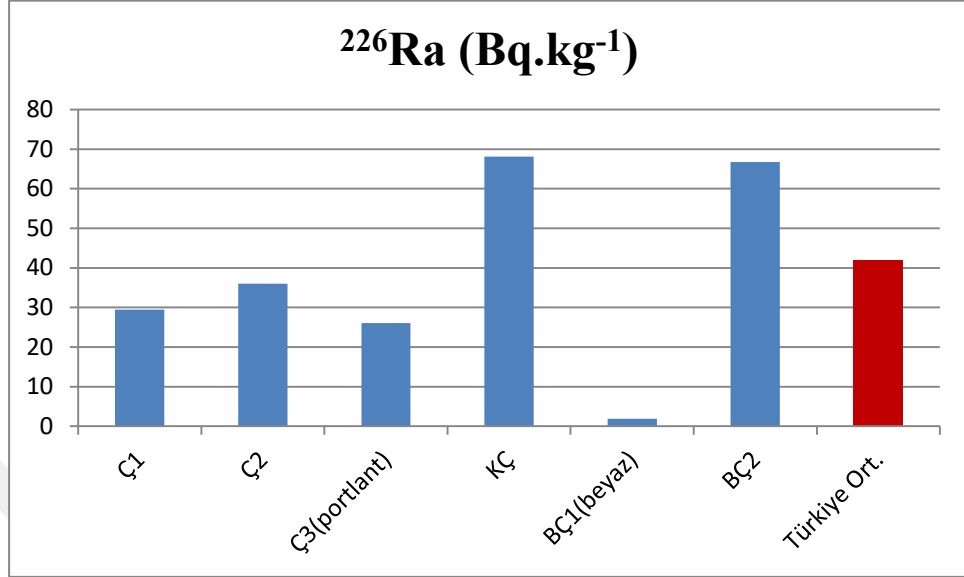
Şekil 4.1 Çimento örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları



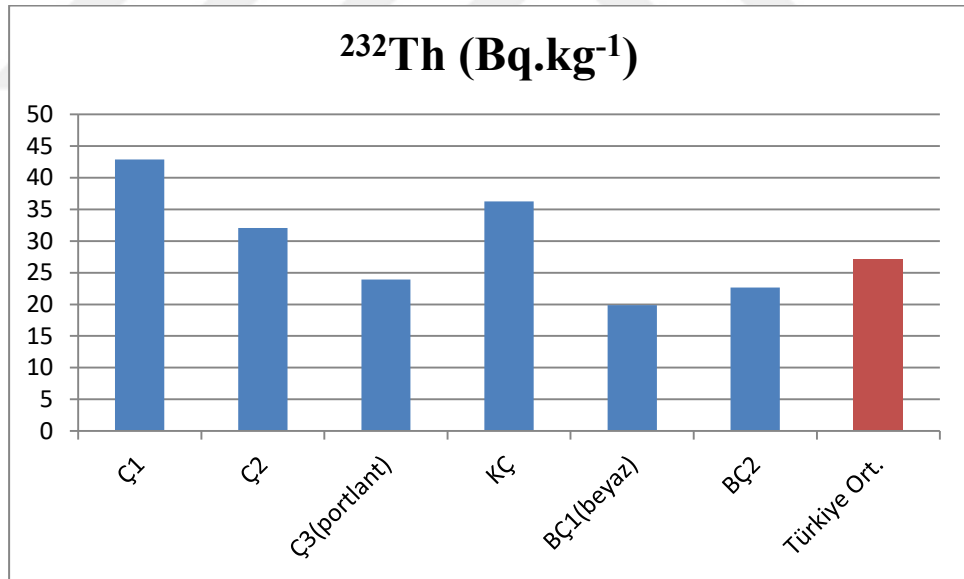
Şekil 4.2 Çimento örneklerinde ^{40}K aktivite konsantrasyonları

Ç1 örneğindeki ^{40}K aktivite konsantrasyonu Türkiye ortalamasının üzerindedir. Ç3 ve BÇ(beyaz) örneğinde ise Türkiye ortalamasının altında ölçülmüştür. Ayrıca BÇ(beyaz) örneğinde ^{226}Ra aktivite konsantrasyonu oldukça düşük hesaplanmıştır. KÇ ve BÇ2 örneğindeki ^{226}Ra konsantrasyonları ise ortalamanın oldukça üzerinde tayin edilmiştir.

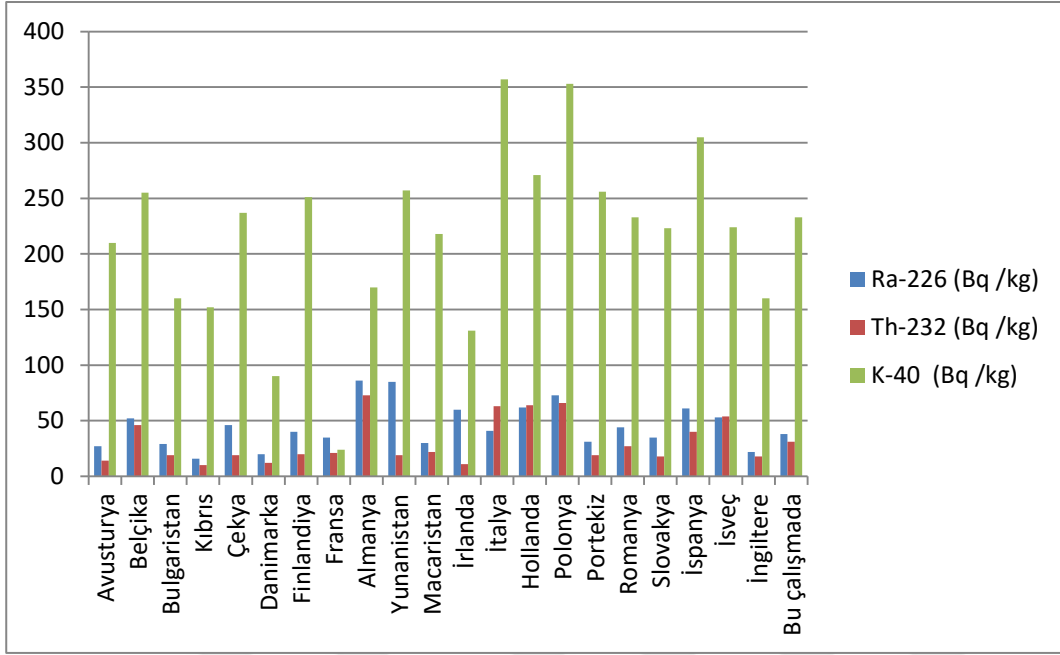
Ç1 ve KÇ örneklerindeki ^{232}Th aktivite konsantrasyonları ortalamasının üzerinde hesaplanmıştır.



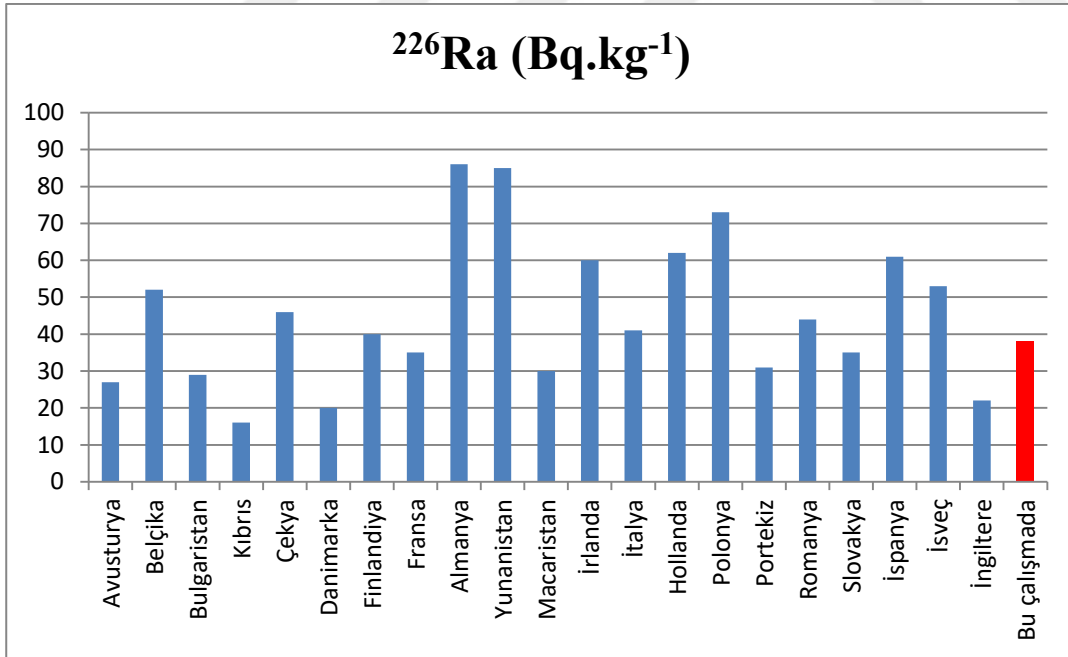
Şekil 4.3 Çimento örneklerinde ^{226}Ra aktivite konsantrasyonları



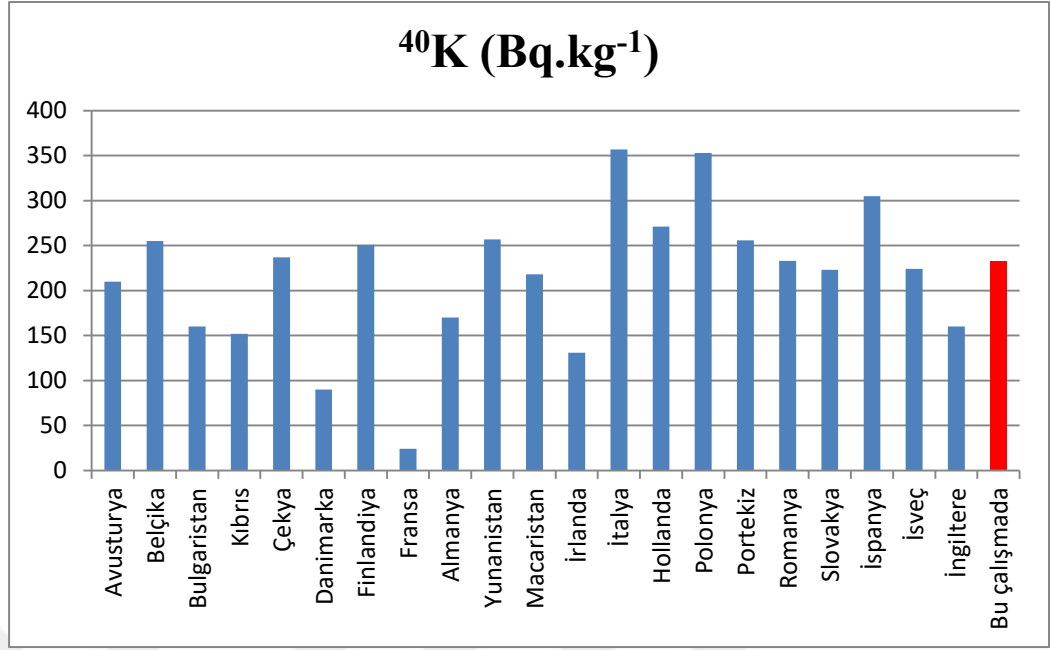
Şekil 4.4 Çimento örneklerinde ^{232}Th aktivite konsantrasyonları



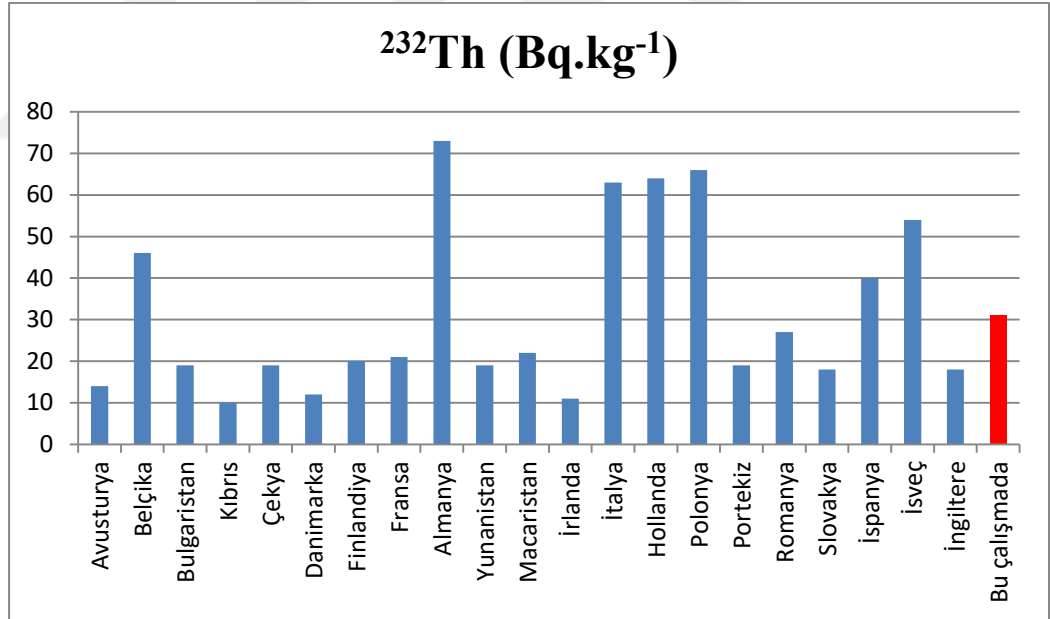
Şekil 4.5 Avrupa ülkelerinde çimento örneklerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları



Şekil 4.6 Avrupa ülkelerinde çimento örneklerindeki ^{226}Ra aktivite konsantrasyonları



Şekil 4.7 Avrupa ülkelerinde çimento örneklerindeki ^{40}K aktivite konsantrasyonları



Şekil 4.8 Avrupa ülkelerinde çimento örneklerindeki ^{232}Th aktivite konsantrasyonları

4.2 Tuğla Örneklerindeki Bulgular

Bu çalışmada 3 ayrı tür tuğladan hazırlanan 9 örneğin incelenmesi sonucu bulunan radyonüklid konsantrasyonları $e\text{U(Ra)}$ (ppm), $e\text{Th}$ (ppm) ve %K olarak Tablo 4.3'de gösterilmiştir. Tablo 4.3'de görüleceği üzere $e\text{U(Ra)}$ (ppm)

sonuçlarının 2,00 ppm ve 3,71 ppm arasında değiştiği görülmektedir. Tuğla örneklerindeki en yüksek konsantrasyon ST tuğla örneğinde 3,71 ppm olarak hesaplanmıştır. Analizi yapılan örneklerde eTh ölçümlerinin 8,12 ppm ve 14,94 ppm arasında değiştiği Tablo 4.3’de görülmektedir. En yüksek eTh konsantrasyonu ise RNS tuğla örneğinde tespit edilmiştir. % K değerleri ise 1,87 ve 2,73 olarak bulunmuştur. ST tuğla örneğinin en yüksek potasyum konsantrasyonuna sahip olduğu hesaplanmıştır. Tüm tuğla örnekleri için % K değerleri düşük ölçülmüştür.

Tablo 4.3 Tuğla örneklerinin eU(Ra), eTh ve % K konsantrasyonları

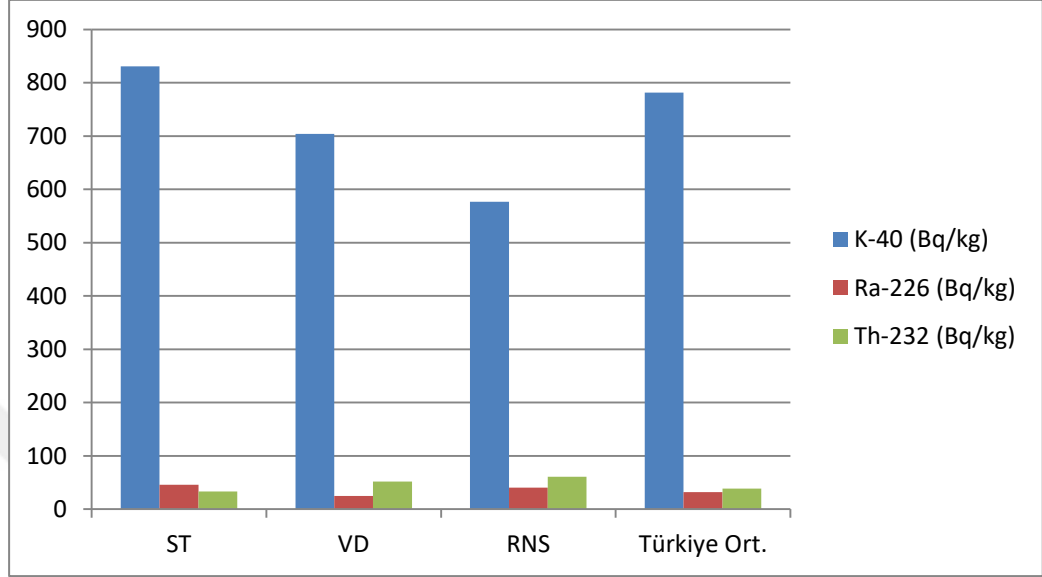
Örnek no ve adı	Örnek türü	%K	eU(Ra) ppm	eTh (ppm)
1-ST	Tuğla	2,73	3,71	8,12
2-VD	Tuğla	2,29	2,00	12,77
3-RNS	Tuğla	1,87	3,27	14,94

Ayrıca çalışmada kullanılan tuğla örneklerindeki ^{40}K aktivitesi 639,77 ile 851,28 Bq kg⁻¹ arasında olup en yüksek ^{40}K aktivitesi ST tuğla örneğinde hesaplanmıştır. ^{226}Ra ’un hesaplanan aktivitesi 25,62 ile 52,33 Bq kg⁻¹ arasında ve en yüksek aktiviteye sahip ise ST tuğla örneği olmuştur. Örneklerde hesaplanan ^{232}Th aktivitesi ise 33,10 ile 60,87 Bq kg⁻¹ arasında bulunmuş ve en yüksek aktiviteye sahip tuğla örneği ise RNS tuğla olmuştur. Tuğla örneklerinde hesaplanan Ra_{eq} değerleri de 153,38 ile 171,88 arasındadır. Burada hesaplanan en büyük Ra_{eq} değeri 171,88 ile RNS tuğla örneğidir. (14) nolu eşitlik kullanılarak yıllık doz hızları da hesaplanmıştır. Bulunan doz hızları Tablo 4.4 de verilmiştir. Yıllık doz hızları çalışmada kullanılan örnekler için 13,2 mremy⁻¹ ile 22 mremy⁻¹ arasında değişmektedir.

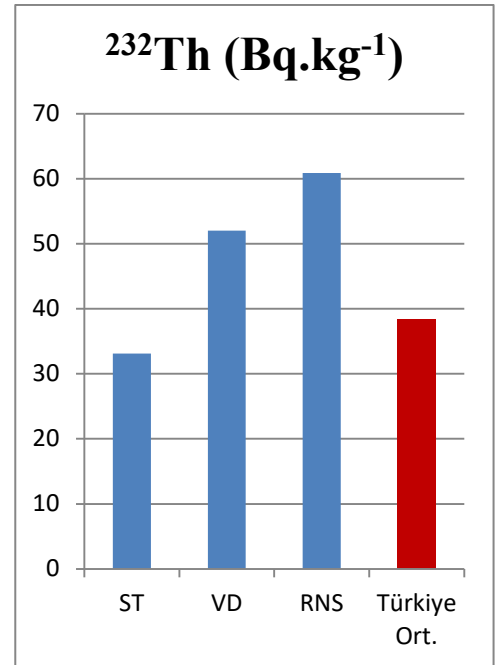
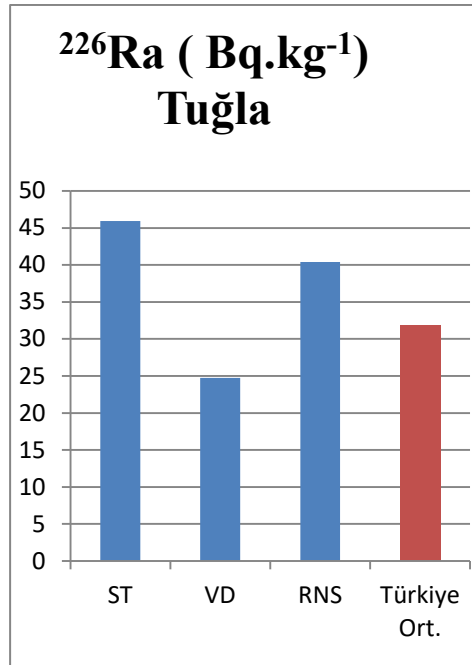
Tablo 4.4 Tuğla örneklerinde Aktivite konsantrasyonları

Örnek no ve Adı	^{226}Ra Bq.kg ⁻¹	^{232}Th Bq.kg ⁻¹	^{40}K Bq.kg ⁻¹	Doz hızı mremy ⁻¹	Ra_{eq}	$\frac{C_K}{4180} + \frac{C_{Ra}}{370} + \frac{C_{Th}}{259}$ (I)
1-ST	45,9	33,1	830,9	22	157,9	0,42
2-VD	24,7	52,1	703,9	13,2	153,4	0,41
3-RNS	40,4	60,9	576,9	20,6	171,8	0,46
Türkiye Ort.	31,9	38,3	781,5		151	0,56

Tuğla örneklerindeki ^{40}K aktivite konsantrasyonları Türkiye ortalamasına yakın hesaplanmıştır. Fakat RNS tuğla örneğinde ^{226}Ra ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları Türkiye ortalamasının oldukça üzerindedir. Ayrıca ST tuğla örneğinde ^{226}Ra aktivite konsantrasyonu ortalamanın üzerinde tayin edilmiştir.

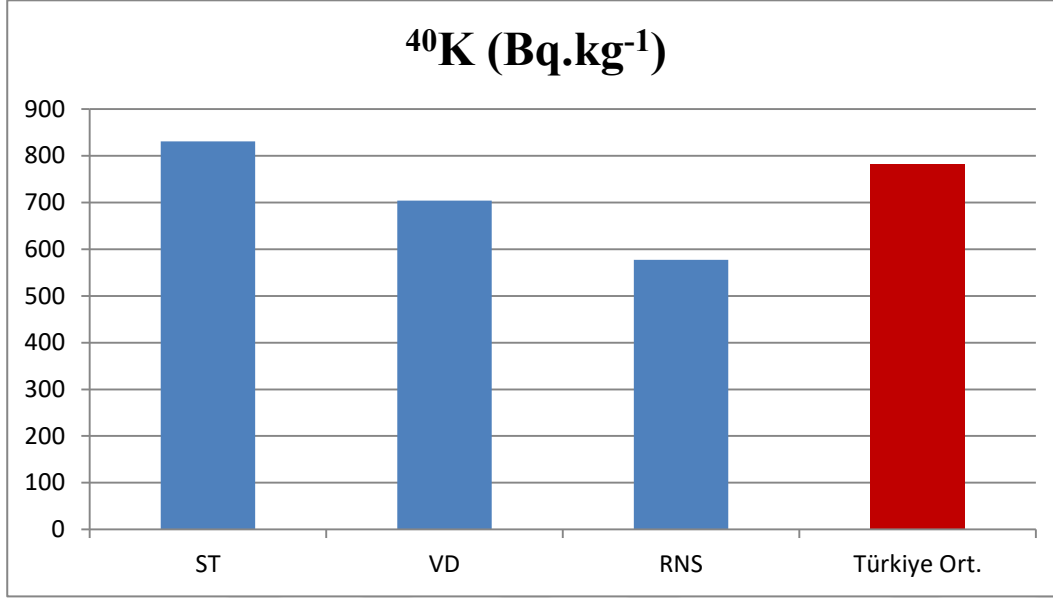


Şekil 4.9 Tuğla örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları

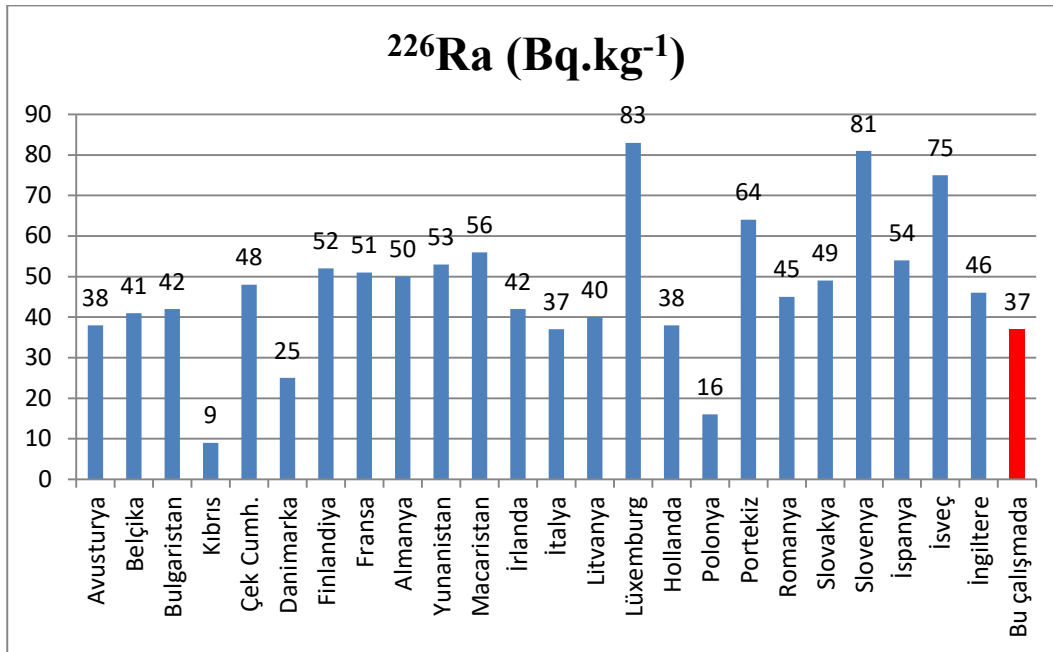


Şekil 4.10 Tuğla örneklerinde ^{226}Ra ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları

Aktivite sınırlamaları açısından incelenmesi için örneklerin aktivite konsantrasyonları kullanılarak elde edilen sonuçlar (12) no'lu eşitlik kullanılarak I indisi hesaplanmış ve bu indis 0,41 ile 0,46 arasında değişmiş bu değerlerin hepsi 1 değerinden küçük olduğu için örneklerin yapılarda kullanımında sakınca olmadığı görülmüştür.

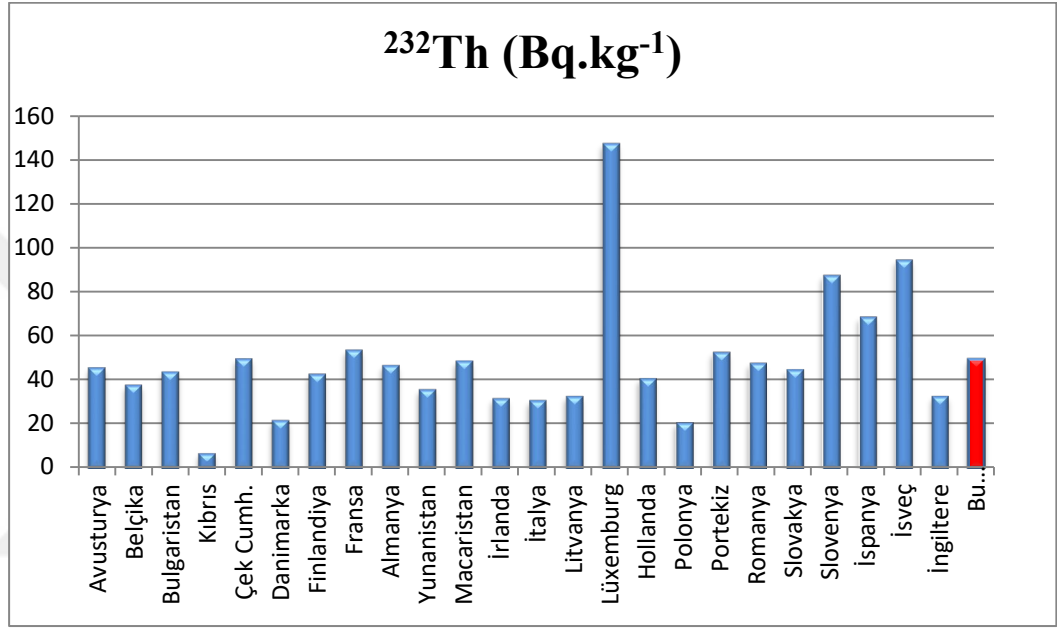


Şekil 4.11 Tuğla örneklerinde ^{40}K aktivite konsantrasyonları

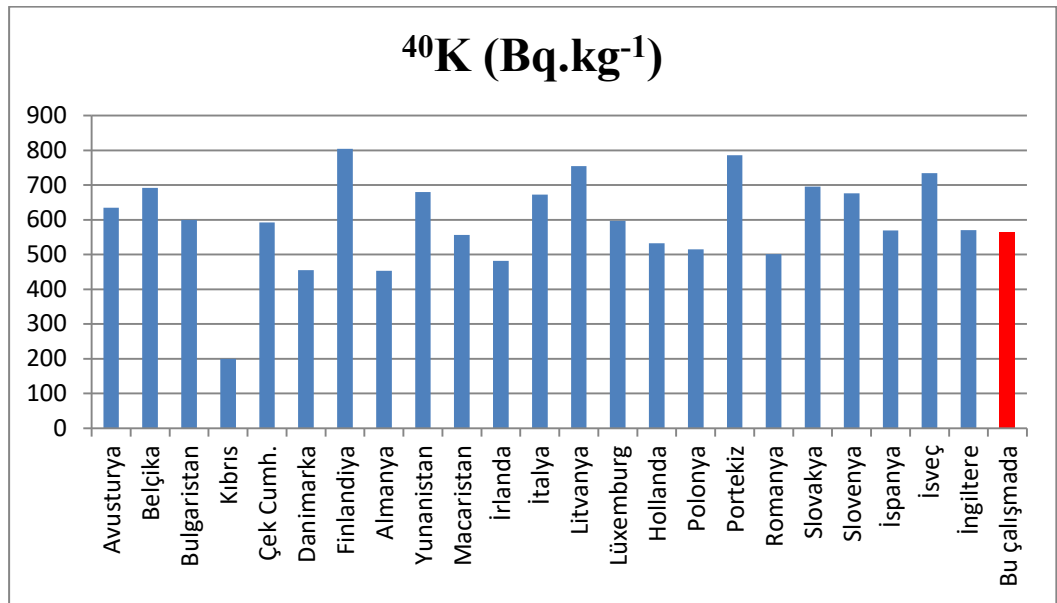


Şekil 4.12 Avrupa ülkelerindeki tuğla örneklerinde ^{226}Ra aktivite konsantrasyonları

Avrupa ülkelerindeki tuğla örneklerinde ^{226}Ra ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları Şekil 4.8 ve Şekil 4.9 da verilmiş çalışmada bulduğumuz değerler birçok Avrupa ülkesindeki ortalamalara yakın hesaplanmıştır. Lüksemburg, İsveç ve Slovenya'dan alınan tuğla örneklerindeki ^{226}Ra ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları oldukça yüksek ölçülmüştür. Kıbrıs'tan alınan örneklerde ^{226}Ra , ^{40}K ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları diğer ülkelerin ve yaptığımız çalışmada bulunan değerlerin altında ölçülmüştür.



Şekil 4.13 Avrupa ülkelerindeki tuğla örneklerinde ^{232}Th aktivite konsantrasyonları



Şekil 4.14 Avrupa ülkelerindeki tuğla örneklerinde ^{40}K aktivite konsantrasyonları

4.3 Granit Örneklerindeki Bulgular

Bu çalışmada 3 ayrı tür granitten hazırlanan 9 örneğin incelenmesi sonucu bulunan radyonüklid konsantrasyonları $eU(Ra)(ppm)$, $eTh(ppm)$ ve $\%K$ olarak Tablo 4.5’de gösterilmiştir. Tablo 4.5’de görüleceği üzere $eU(Ra)(ppm)$ sonuçlarının 2,62 ppm ve 10,30 ppm arasında değiştiği görülmektedir. Granit örneklerindeki en yüksek konsantrasyon G2 örneğinde 10,30 ppm olarak hesaplanmıştır. Analizi yapılan örneklerde eTh ölçümlerinin 0,14 ppm ve 18,15 ppm arasında değiştiği Tablo 4.5’de görülmektedir. En yüksek eTh konsantrasyonu ise G3 örneğinde tespit edilmiştir. $\%K$ değerleri ise 2,77 ve 3,62 olarak bulunmuştur. G1 örneğinin en yüksek potasyum konsantrasyonuna sahip olduğu hesaplanmıştır. Tüm granit örnekleri için $\%K$ değerleri oldukça yüksek ölçülmüştür.

Tablo 4.5 Granit örneklerinin $eU(Ra)$, eTh ve $\%K$ konsantrasyonları

Örnek adı	Örnek türü	$\%K$	$eU(Ra)$ ppm	eTh (ppm)
G1	Granit	3,62	2,75	1,22
G2	Granit	2,95	10,3	0,14
G3	Granit	2,77	2,62	18,15

Ayrıca çalışmada kullanılan granit örneklerindeki ^{40}K aktivitesi 851,01 ile 1113,01 Bq kg^{-1} arasında olup en yüksek ^{40}K aktivitesi G1 örneğinde hesaplanmıştır. ^{226}Ra ’un hesaplanan aktivitesi 34,04 ile 127,35 Bq kg^{-1} arasında ve en yüksek aktiviteye sahip örnek ise G2 örneği olmuştur. Örneklerde hesaplanan ^{232}Th aktivitesi ise 32,38 ile 39,72 Bq kg^{-1} arasında bulunmuş ve en yüksek aktiviteye sahip granit örneği ise G1 olmuştur. Granit örneklerinde hesaplanan Ra_{eq} değerleri de 176,54 ile 244,96 arasındadır.

Burada hesaplanan en büyük Ra_{eq} değeri 244,96 ile G2 örneğidir. (14) nolu eşitlik kullanılarak yıllık doz oranları da hesaplanmıştır. Bulunan doz hızları Tablo 4.6’da verilmiştir. Yıllık doz hızları çalışmada kullanılan örnekler için 16,9 mremy $^{-1}$ ile 58,8 mremy $^{-1}$ arasında değişmektedir.

Aktivite sınırlamaları açısından incelenmesi için örneklerin aktivite konsantrasyonları kullanılarak elde edilen sonuçlar (12) no’lu eşitlik kullanılarak I

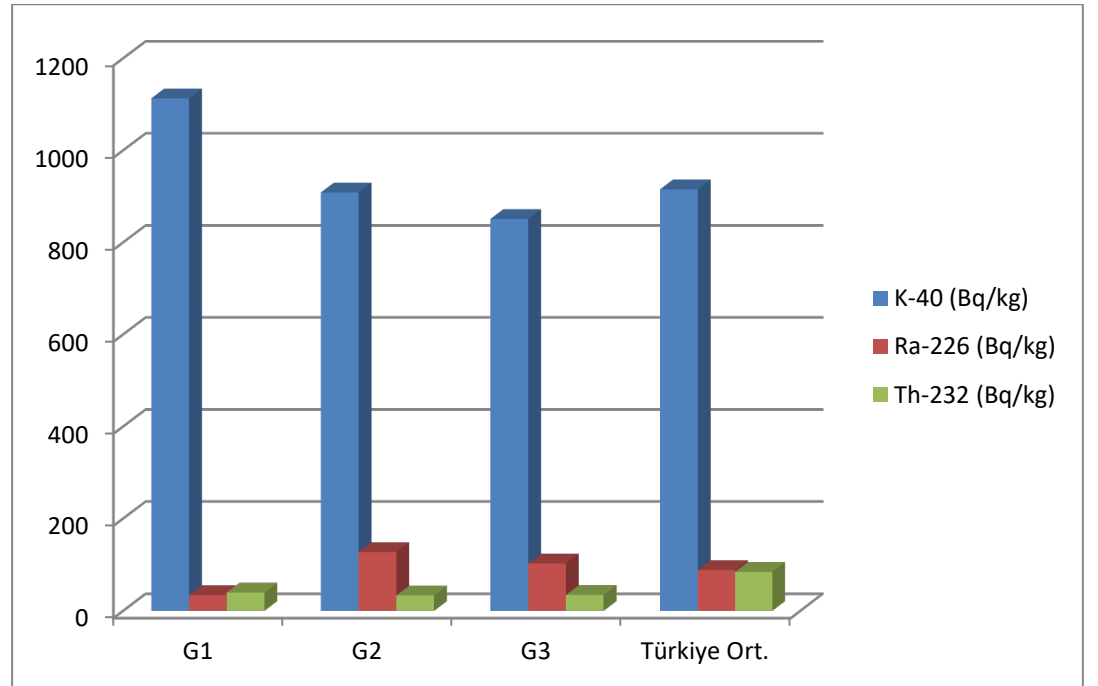
indisi hesaplanmış ve bu indis 0,47 ile 0,66 arasında değişmiş bu değerlerin hepsi 1 değerinden küçük olduğu için örneklerin yapılarda kullanımında sakınca olmadığı görülmüştür.

Tablo 4.6 Granit örneklerinde Aktivite konsantrasyonları

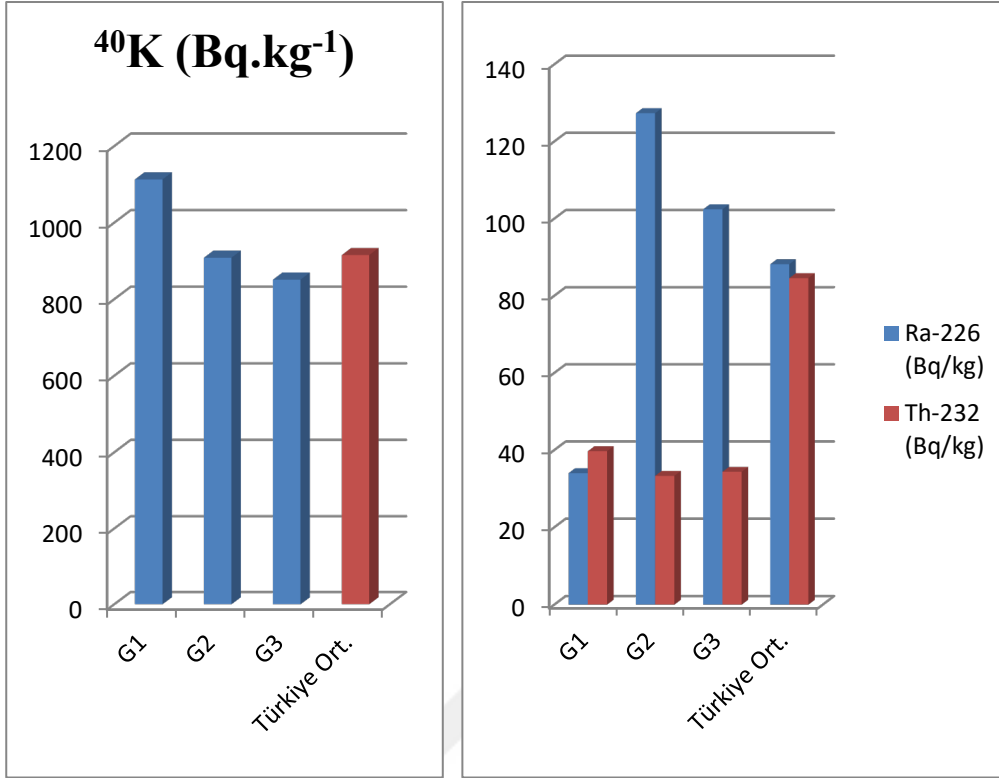
Örnek adı	^{226}Ra Bq.kg ⁻¹	^{232}Th Bq.kg ⁻¹	^{40}K Bq.kg ⁻¹	Doz hızı mremy ⁻¹	Ra_{eq}	$\frac{C_K}{4180} + \frac{C_{Ra}}{370} + \frac{C_{Th}}{259}$ (I)
G1	34,1	39,7	1113,0	16,9	176,4	0,5
G2	127,3	33,3	908,5	58,8	244,9	0,7
G3	102,4	34,4	851,2	47,5	214,3	0,6
Türkiye Ort.*	88,2	84,6	915,3	120,0	286	1,01±0,58

*Türkiye ort.(TAEK 2008)

Granit örneklerindeki ^{232}Th aktivite konsantrasyonları Türkiye ortalamasının (TAEK, 2008) oldukça altında bulunmuştur. ^{40}K konsantrasyonları ise ortalamaya yakın ölçülmüş olup ^{226}Ra aktivite konsantrasyonu hesaplarında ise G1 örneği ortalamanın oldukça altında tayin edilmiştir.



Şekil.4.15 Granit örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları



Şekil 4.16 Granit örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları

4.4 Kaolin Örneklerindeki Bulgular

Bu çalışmada seramik, vitrifiye, portlant çimento, fayans, seramik yapımında kullanılan Balıkesir ili Sındırgı ilçesine bağlı Düvertepe ocaklarından alınan 9 ayrı tür kaolinden hazırlanan 27 örneğin incelenmesi sonucu bulunan radyonüklid konsantrasyonları $e\text{U}(\text{Ra})(\text{ppm})$, $e\text{Th}(\text{ppm})$ ve $\%K$ olarak Tablo 4.5’de gösterilmiştir. Tablo 4.7’de görüleceği üzere $e\text{U}(\text{Ra})(\text{ppm})$ sonuçlarının 1,71 ppm ve 14,70 ppm arasında değiştiği görülmektedir. Kaolin örneklerindeki en yüksek konsantrasyon HZ1 örneğinde 14,70 ppm olarak hesaplanmıştır. Analizi yapılan örneklerde $e\text{Th}$ ölçümlerinin 4,88 ppm ve 30,82 ppm arasında değiştiği Tablo 4.7’de görülmektedir. En yüksek $e\text{Th}$ konsantrasyonu ise HZ1 örneğinde tespit edilmiştir. $\%K$ değerleri ise ND ve 2,03 olarak bulunmuştur. KG1 örneğinin en yüksek potasyum konsantrasyonuna sahip olduğu hesaplanmıştır. Tüm kaolin örnekleri için $\%K$ değerleri çok düşük ölçülmüştür.

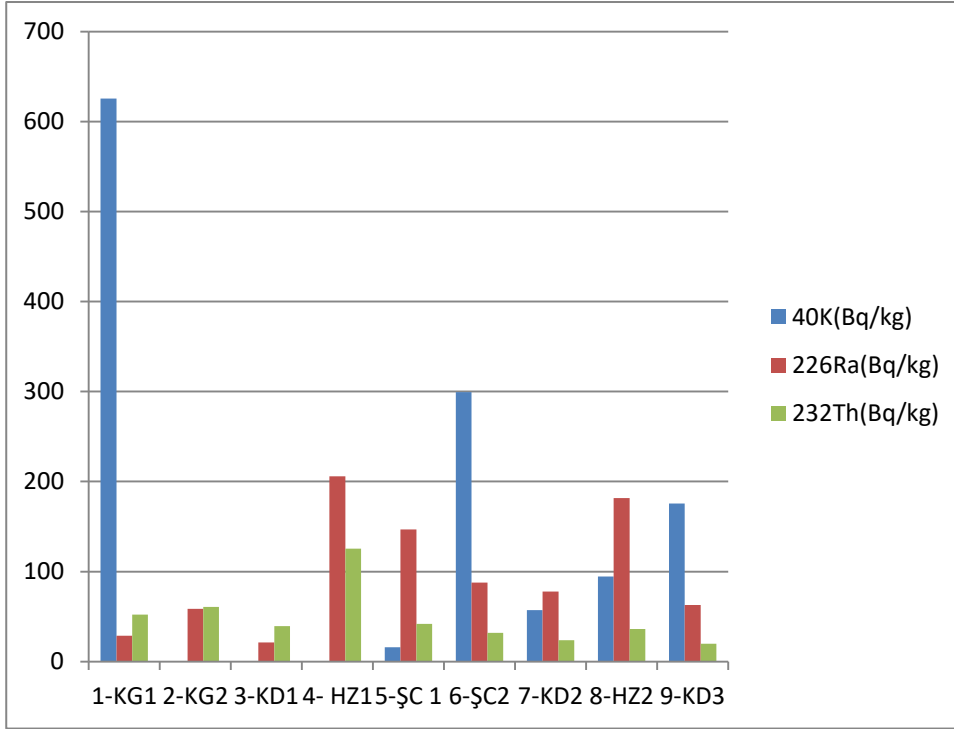
Tablo 4.7 Kaolin örneklerinin eU(Ra), eTh ve % K konsantrasyonları

Örnek adı	Örnek türü	%K	Eu(Ra) ppm	eTh (ppm)
1-KG1	Kaolin	2,03	2,34	12,77
2-KG2	Kaolin	ND	4,75	14,94
3-KD1	Kaolin	ND	1,71	11,67
4-HZ1	Kaolin	ND	16,66	30,82
5-ŞC 1	Kaolin	ND	11,88	10,28
6-ŞC2	Kaolin	0,97	7,11	7,87
7-KD2	Kaolin	ND	6,29	5,87
8-HZ2	Kaolin	ND	14,70	8,90
9-KD3	Kaolin	0,05	5,09	4,88

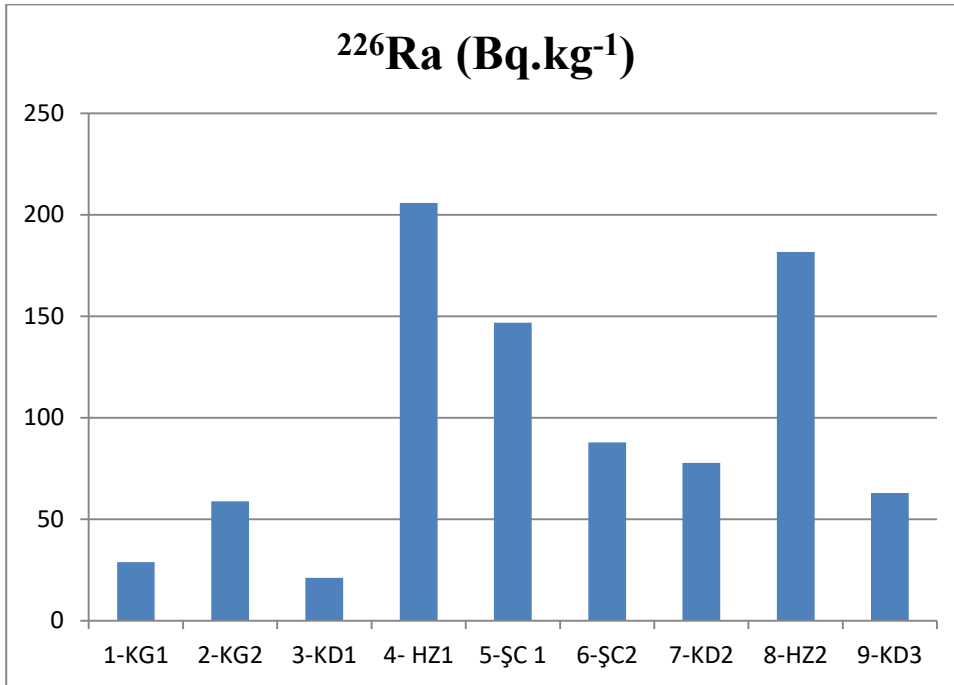
Bu çalışmada kullanılan kaolin örneklerindeki ^{40}K aktivitesi ND ile 299,30 Bq kg⁻¹ arasında olup en yüksek ^{40}K aktivitesi KG1 örneğinde hesaplanmıştır. ^{226}Ra 'un hesaplanan aktivitesi 21,14 ile 205,87 Bq kg⁻¹ arasında değerler alırken en yüksek aktiviteye sahip ise HZ1 numunesi olmuştur. Örneklerde hesaplanan ^{232}Th aktivitesi ise 23,93 ile 125,56 Bq kg⁻¹ arasında bulunmuş ve en yüksek aktiviteye sahip kaolin numunesi ise HZ1 olmuştur. Kaolin örneklerinde hesaplanan Ra_{eq} değerleri de 75,15 ile 339,78 arasındadır. Burada hesaplanan en büyük Ra_{eq} değeri 339,78 ile HZ1 kaolin örneğidir. Bu örneklerdeki maruz kalınan yıllık doz değerleri (14) nolu eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır. Bulunan doz hızları Tablo 4.8 de verilmiştir. Yıllık doz hızları çalışmada kullanılan örnekler için 11,1 mremy⁻¹ ile 83,4 mremy⁻¹ arasında değişmektedir.

Tablo 4.8 Kaolin örneklerinde aktivite konsantrasyonları

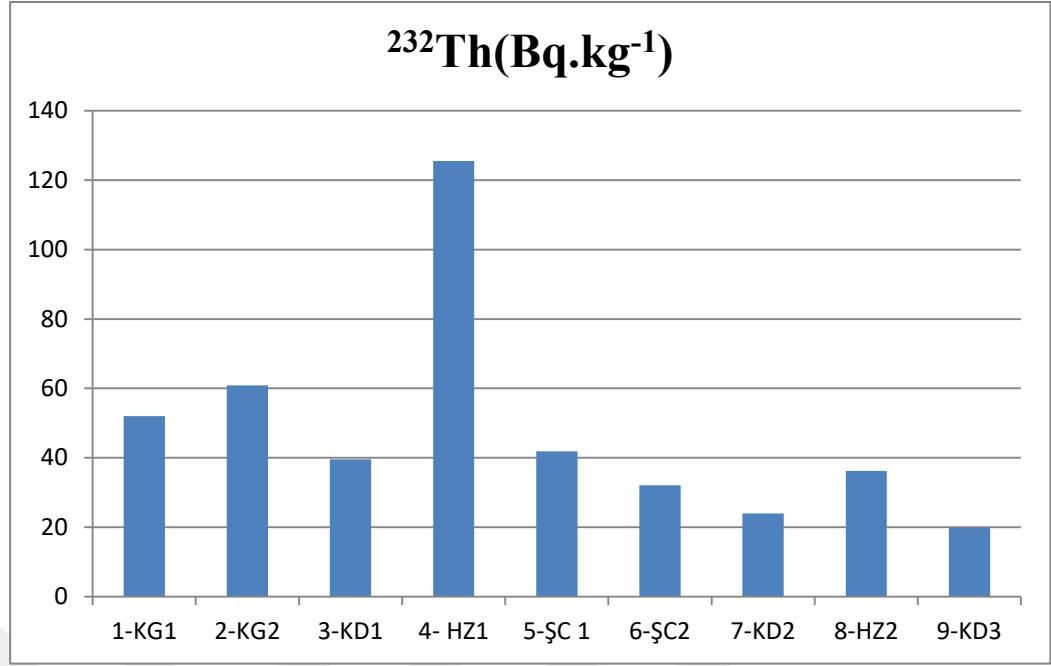
Örnek adı	^{226}Ra Bq.kg ⁻¹	^{232}Th Bq.kg ⁻¹	^{40}K Bq.kg ⁻¹	Doz hızı mrem y ⁻¹	Ra_{eq}	$\frac{C_K}{4180} + \frac{C_{Ra}}{370} + \frac{C_{Th}}{259}$ (I)
1-KG1	28,9	52,1	625,4	15,1	151,5	0,41
2-KG2	58,8	60,9	ND	28,9	141,9	0,38
3-KD1	21,1	39,5	ND	11,1	75,2	0,20
4- HZ1	205,9	125,6	ND	97,9	339,8	0,92
5-ŞC 1	146,9	41,9	15,9	67,9	207,9	0,56
6-ŞC2	87,9	32,1	299,3	40,9	156,8	0,42
7-KD2	77,7	23,9	57,1	36	116,3	0,31
8-HZ2	181,7	36,3	94,6	83,4	240,8	0,65
9-KD3	62,9	19,9	175,7	29,2	104,9	0,28



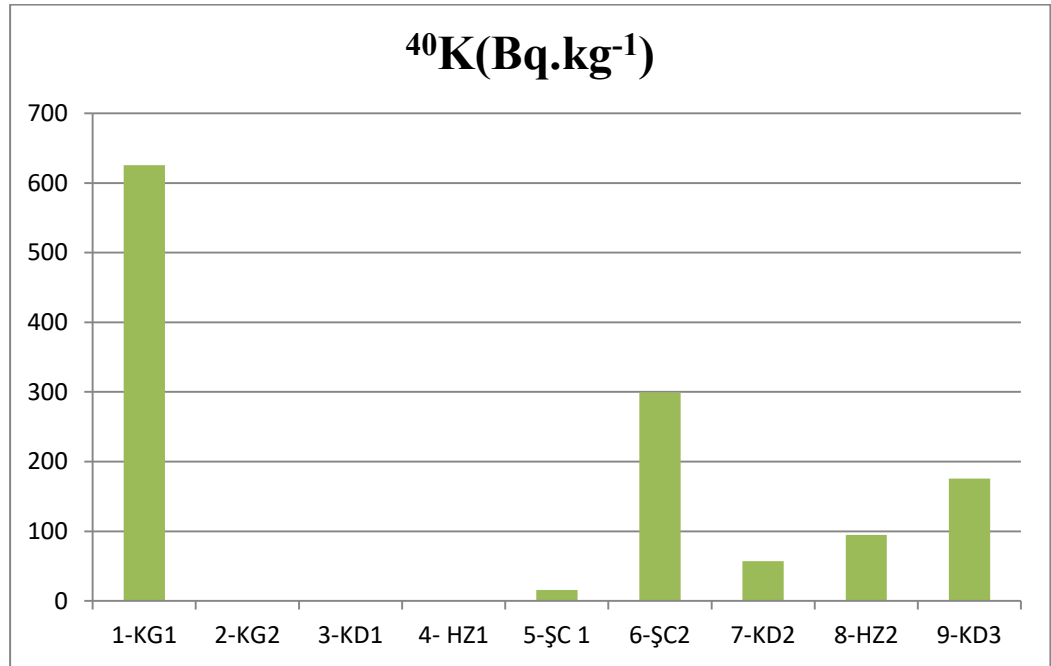
Şekil 4.17 Kaolin örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları



Şekil 4.18 Kaolin örneklerinde ^{226}Ra aktivite konsantrasyonları



Şekil 4.19 Kaolin örneklerinde ^{232}Th aktivite konsantrasyonları



Şekil 4.20 Kaolin örneklerinde ^{40}K aktivite konsantrasyonları

Kullanım kısıtlamalarına ölçü olan I indisi aktivite konsantrasyonları ve elde edilen sonuçlar kullanılarak (12) no'lu eşitlik ile hesaplanmış ve bu indis 0,28 ile 0,92 arasında değişmiştir. Bu değerlerin hepsi 1 değerinden küçük olduğu için örneklerin seramik, çimento, fayans ve vitrifiye yapımında herhangi bir kısıtlamaya gidilmeden kullanılabileceği görülmektedir.

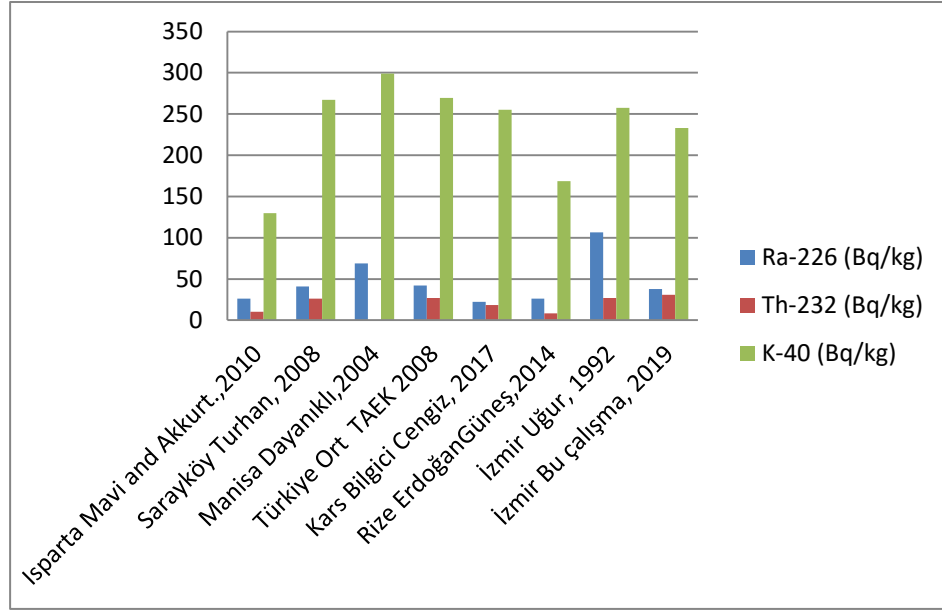
4.5 Tartışma Sonuç ve Öneriler

İzmir ilinde yapı inşaatlarında kullanılan 6 farklı çimento örneğinden alınan 3'er adet numunede hesaplanan aktivite konsantrasyonlarının ortalamaları sırasıyla ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için 38 Bq.kg^{-1} , 31 Bq.kg^{-1} ve 233 Bq.kg^{-1} olarak bulunmuştur.

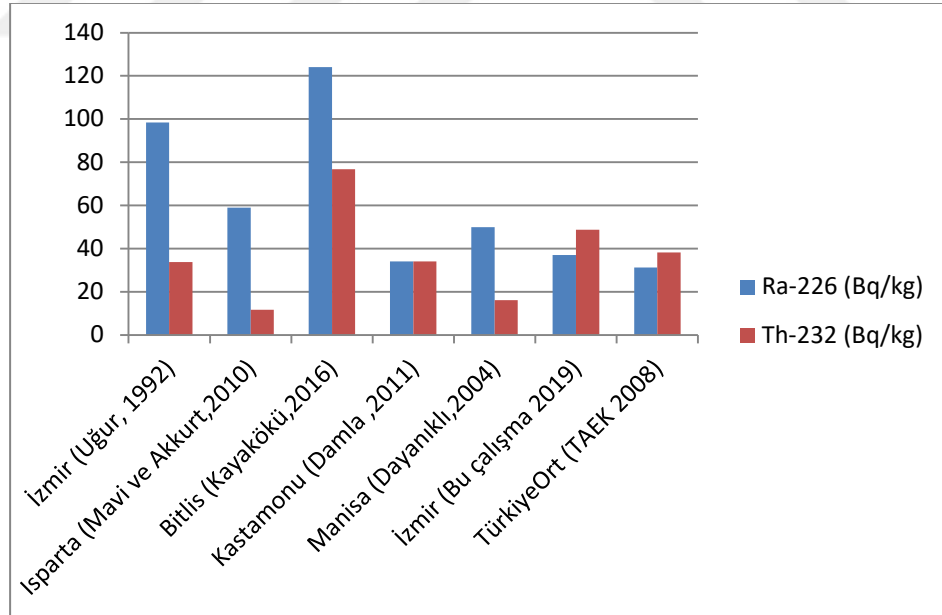
Tablo 4.9'da Türkiye'de yapılan çalışmalarda çimento örneklerinde hesaplanan aktivite değerleri görülmektedir. ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları TAEK 2008 raporundaki ortalama değerlerle karşılaştırılabilir seviyede olup, ^{232}Th konsantrasyonu Manisa, Isparta ve Rize'deki örneklerde Türkiye ortalamalarının oldukça altında bulunmuş ^{40}K aktivite konsantrasyonu ise Isparta'daki çalışmada kullanılan örneklerde oldukça düşük hesaplanmıştır.

Tablo 4.9 Türkiye'de yapılan çalışmalarda çimentoda hesaplanan aktivite değerleri

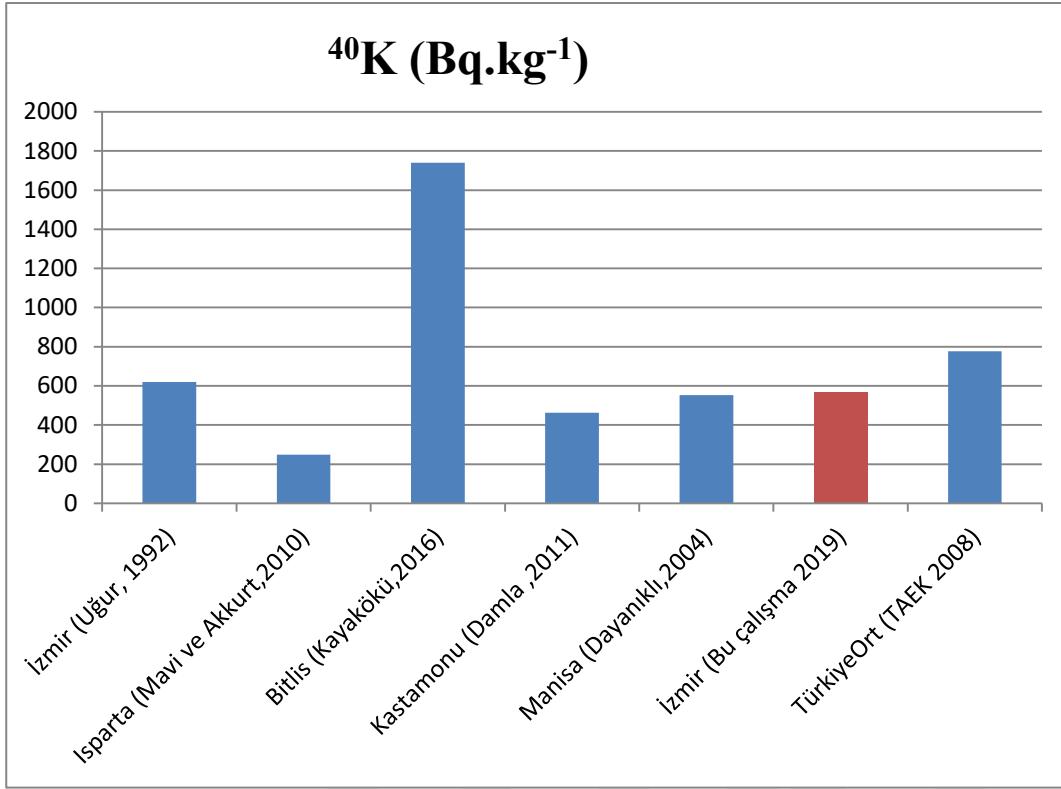
Örnek çeşidi	Yer	^{226}Ra Bq.kg^{-1}	^{232}Th Bq.kg^{-1}	^{40}K Bq.kg^{-1}	Ra_{eq}	Referans
Çimento	Isparta	26,1	10,4	129,7	51,0	Mavi ve Akkurt, 2010
Çimento	Sarayköy	41	26	267	98	Turhan, 2008
Çimento	Manisa	68,7	7,9	298,9	99,3	Dayanıklı, 2004
Çimento	Türkiye Ort	42,0	27,1	269,4	101,5	TAEK 2008
Çimento	Kars	22,3	18,6	255,3	68,3	Bilgici Cengiz, 2017
Çimento	Rize	26,1	8,4	168,4	51,1	Erdoğan Güneş, 2014
Çimento	İzmir	106,6	26,8	257,5	176,3	Uğur, 1992
Çimento	İzmir	38	31	233	80,4	Bu çalışma



Şekil 4.21 Türkiye'deki çeşitli çalışmalarda çimento örneklerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları



Şekil 4.22 Türkiye'deki çeşitli çalışmalarda çimento örneklerindeki ^{226}Ra ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları



Şekil 4.23 Türkiye’deki çeşitli çalışmalardaki çimento örneklerindeki ^{40}K aktivite konsantrasyonları

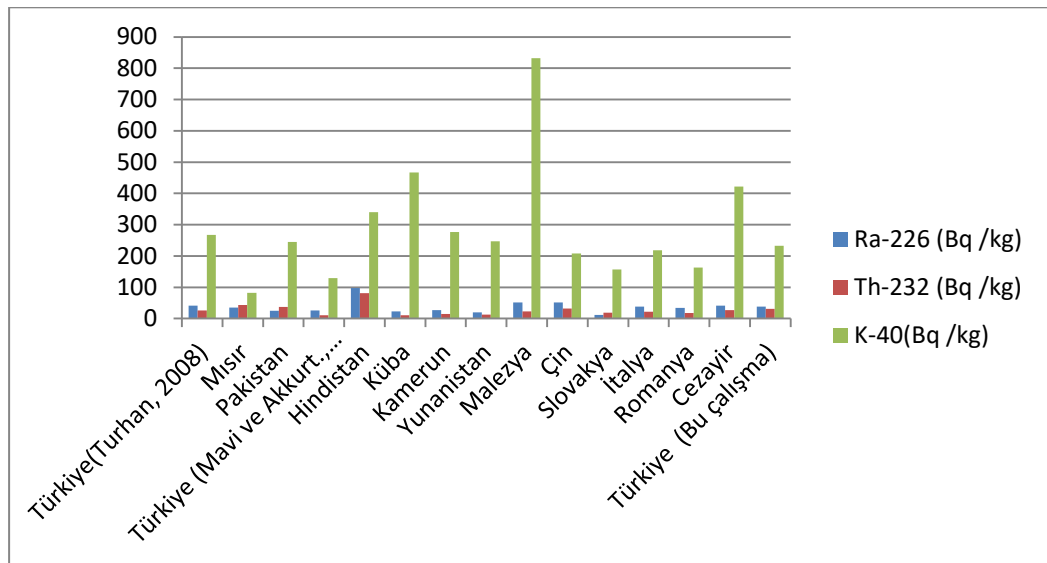
Tablo 4.9’da Türkiye’de bu konuda yapılan çalışmalarda hesaplanan aktivite değerleri görülmektedir. Tablo 4.9’da görüldüğü gibi bu çalışmada bulunan aktivite konsantrasyonları diğer çalışmalarla karşılaştırılabilir seviyededir.

Tablo 4.10’da radyum aktivite konsantrasyonu ile eşdeğer radyum aktivitelerinin diğer ülkelerle karşılaştırılması görülmektedir. ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları birçok ülkede yapılan çalışma sonuçları ile karşılaştırılacak seviyede olup Hindistan, Malezya ve Cezayir’de yapılan çalışmalarda aktivite değerleri diğer çalışmaların oldukça üzerinde bulunmuştur.

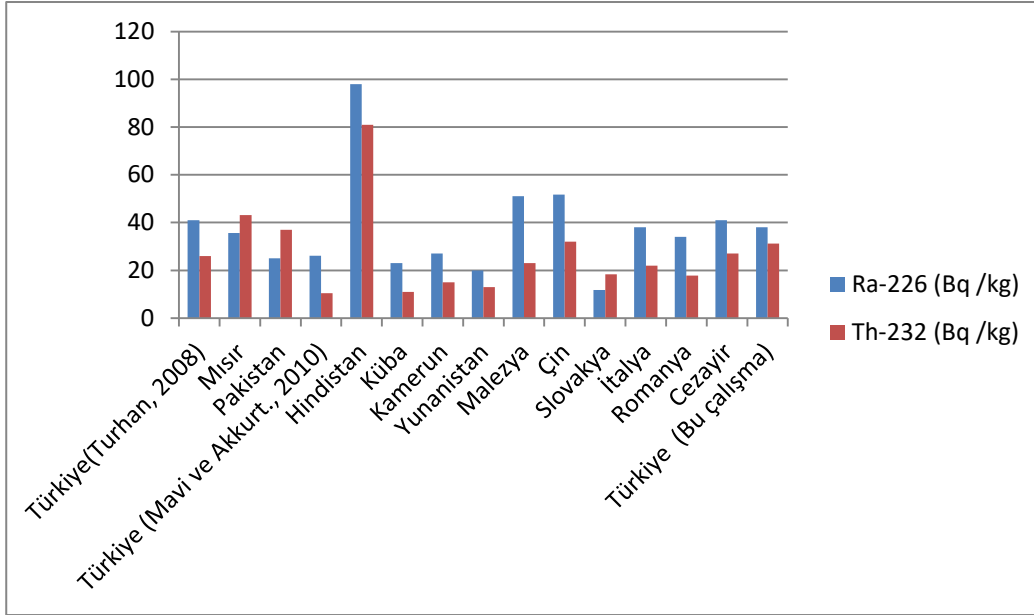
Tablo 4.10 Radyum aktivite konsantrasyonu ile eşdeğer radyum aktivitelerinin diğer ülkelerle karşılaştırılması (Lu et al, 2012).

Örnek türü	Ülke	Aktivite konsantrasyon (Bq kg ⁻¹)			Ra _{eq} (Bq kg ⁻¹)	Referans
		²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K		
ÇİMENTO	Türkiye	41	26	267	98	Turhan, 2008
	Mısır	35,6	43,2	82,1	103	El-Taher et al., 2010
	Pakistan	25	37	245	69	Faheem et al., 2008
	Türkiye	26,1	10,4	129,7	51,1	Mavi and Akkurt., 2010
	Hindistan	98	81	340	240	Sonkawade et al., 2008
	Küba	23	11	467	74,7	Flores et al., 2008
	Kamerun	27	15	277	70,1	Ngachin et al., 2007
	Yunanistan	20	13	247	57,6	Stoulos et al., 2003
	Malezya	51	23	832	188	İbrahim, 1999
	Çin	51,7	32	207,7	113,5	Lu et al., 2012
	Slovakya	11,8	18,4	156,5	67,9	Eřtoková, et al. 2013
	İtalya	38	22	218	92	(Rizzo et al., 2001)
	Romanya	34	17,8	163,3	81	Muntean et al.2014
	Cezayir	41	27	422	112	Amrani et al.2001
	Türkiye	38	31,2	232,9	100,6	Bu çalışma

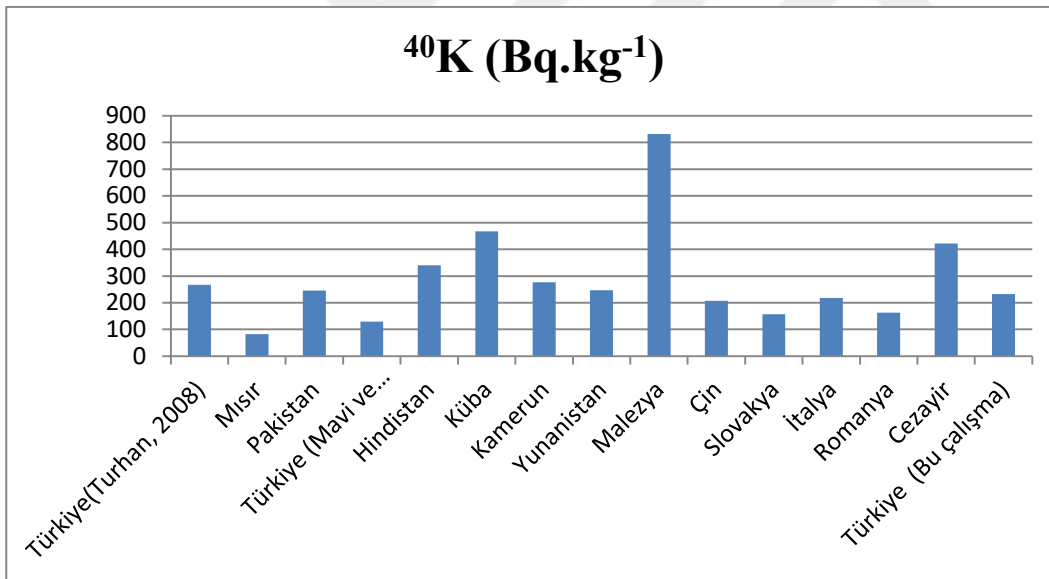
²²⁶Ra aktivite konsantrasyonu Slovakya'daki çalışmalarda diğer ülkelerde yapılan çalışmalardaki ve yaptığımız çalışmadaki hesaplanan değerlerin çok altında tayin edilmiştir. ²³²Th konsantrasyonu ise Küba, Romanya, Yunanistan, Kamerun ve Türkiye'de 2010 yılında Isparta'da yapılan çalışmalarda oldukça düşük ölçülmüştür.



Şekil 4.24 Çeşitli ülkelerde yapılan çalışmalardaki çimento örneklerinde ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K aktivite konsantrasyonları



Şekil 4.25 Çeşitli ülkelerde yapılan çalışmalarda çimento örneklerindeki ^{226}Ra ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları



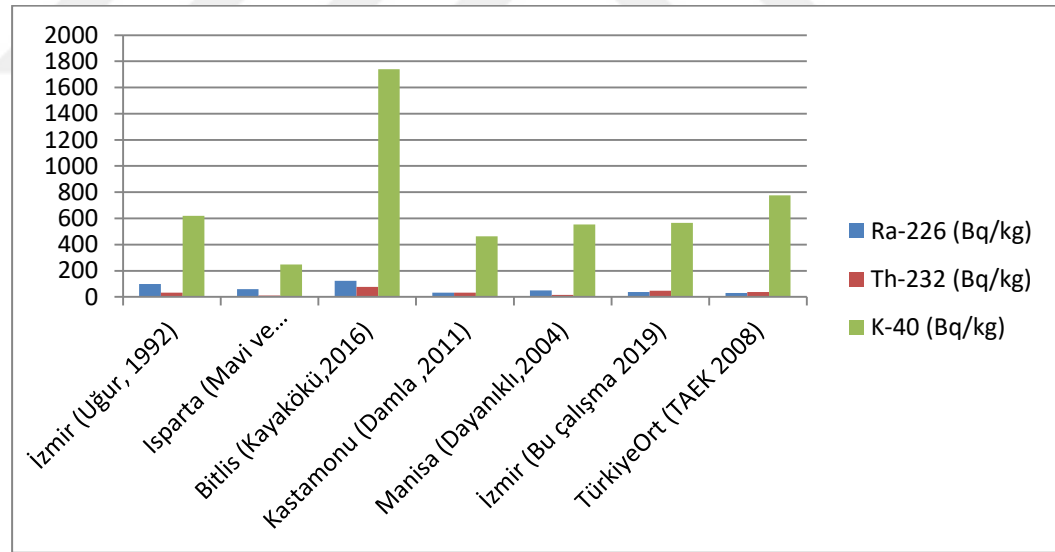
Şekil 4.26 Çeşitli ülkelerde yapılan çalışmalarda çimento örneklerindeki ^{40}K aktivite konsantrasyonları

Mısır'daki çalışmalarda ^{40}K aktivite konsantrasyonu diğer ülkelerde yapılan çalışmalarda ve yaptığımız çalışmadaki hesaplanan değerlerin çok altındadır. Romanya, Slovakya, Çin, İtalya, Yunanistan ve Isparta'da yapılan çalışmalarda hesaplanan aktivite konsantrasyon değerleri kıyaslanabilir düzeydedir. Malezya'daki çalışmada ise 832 Bq.kg^{-1} ile hesaplanan ^{40}K aktivite değeri oldukça yüksek tayin edilmiştir.

İzmir ilinde yapı inşaatlarında kullanılan tuğlalardan alınan 3 farklı tuğla örneğinden alınan 3'er adet numunede hesaplanan aktivite konsantrasyonlarının ortalamaları sırasıyla ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için $37,03 \text{ Bq.kg}^{-1}$, $48,67 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ve $565,4 \text{ Bq.kg}^{-1}$ olarak ölçülmüştür. Tablo 4.11'de Türkiye'de yapılan çalışmalarda tuğla örneklerinde hesaplanan aktivite konsantrasyon değerleri görülmektedir.

Tablo 4.11 Türkiye'de yapılan çalışmalarda Tuğlada hesaplanan aktivite değerleri

Örnek çeşidi	Yer	^{226}Ra Bq.kg^{-1}	^{232}Th Bq.kg^{-1}	^{40}K Bq.kg^{-1}	Ra_{eq}	Referans
Tuğla	İzmir	98,38	33,76	619,3		Uğur, 1992
Tuğla	Isparta	58,9	11,7	248,8	94,8	Mavi ve Akkurt.,2010
Tuğla	Bitlis	124,13	76,7	1740,6	273,4	Kayakökü,2016
Tuğla	Kastamonu	34	34	462	119	Damla vd., 2011
Tuğla	Manisa	49,94	16,1	553,3	108	Dayanıklı, 2004
Tuğla	İzmir	37,03	48,67	565,4	161,1	Bu çalışma
Tuğla	Türkiye ort	31,2	38,22	776,8	151,2	TAEK 2008



Şekil 4.27 Türkiye'deki çeşitli çalışmalarda tuğla örneklerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları

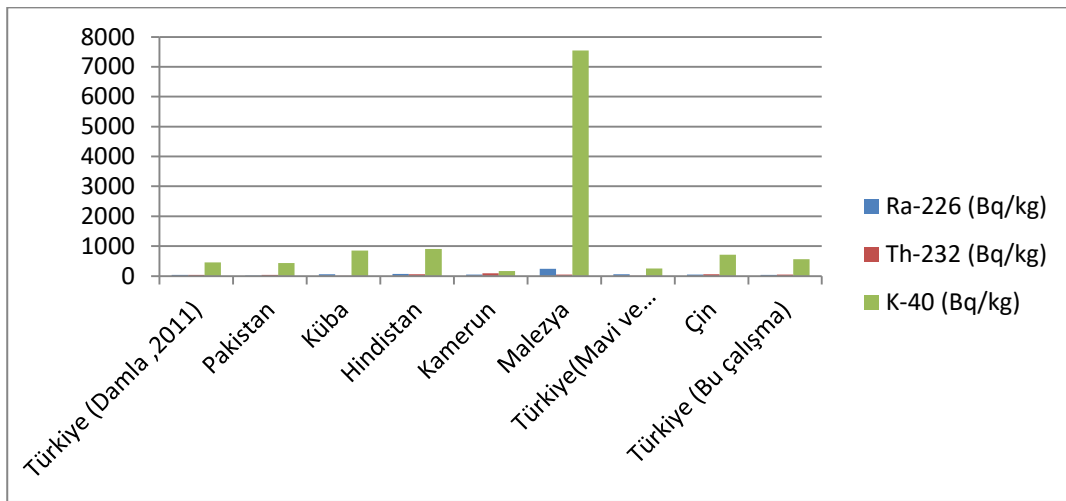
Tablo 4.11 ve Şekil 4.27 den de görüleceği üzere bu çalışmada hesaplanan ^{226}Ra aktivite konsantrasyonu Isparta, Kastamonu ve Manisa'da yapılan çalışmalarla kıyaslanabilir seviyede iken Bitlis'te yapılan çalışmada bulunan sonuçlar Türkiye ortalaması ve diğer çalışmalardan elde edilen sonuçlardan

oldukça yüksek bulunmuştur. Bitlis'te yapılan çalışmada ölçümlerin yüksek çıkması, örneklerin volkanik orjinli olmasına bağlanmıştır.

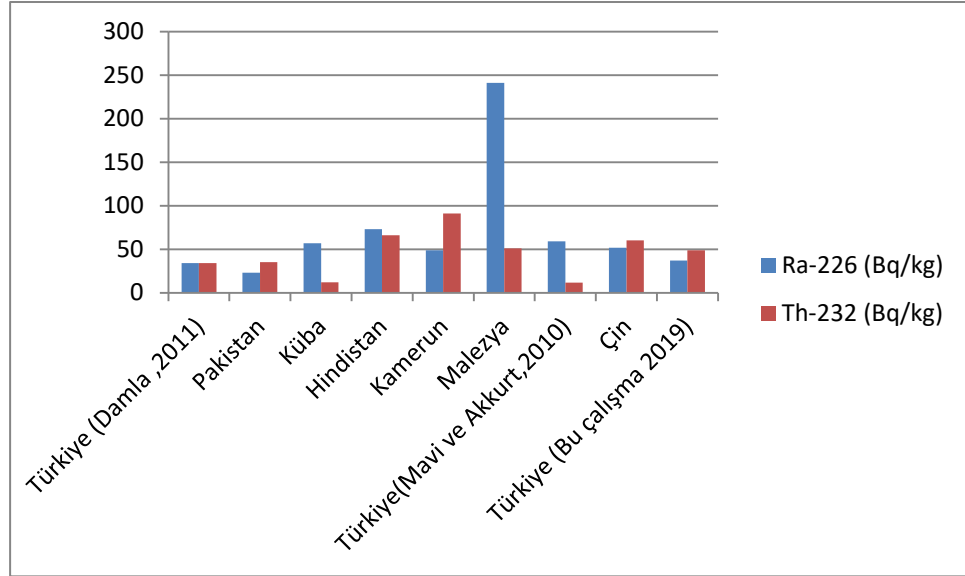
Doz hesaplamalarında bulunan değerler bu konuda UNSCEAR tarafından yayımlanan raporda verilen sınırlamaları aşmamaktadır ancak doz tayinleri için yapılan hesaplamalar yalnız bir bina malzemesi içindir, tüm bina materyallerinin bina içi doz hızına katkıları daha yüksek olacaktır

Tablo 4.12 Radium aktivite konsantrasyonu ile eşdeğer radium aktivitelerinin diğer ülkelerle karşılaştırılması (Lu et al, 2012).

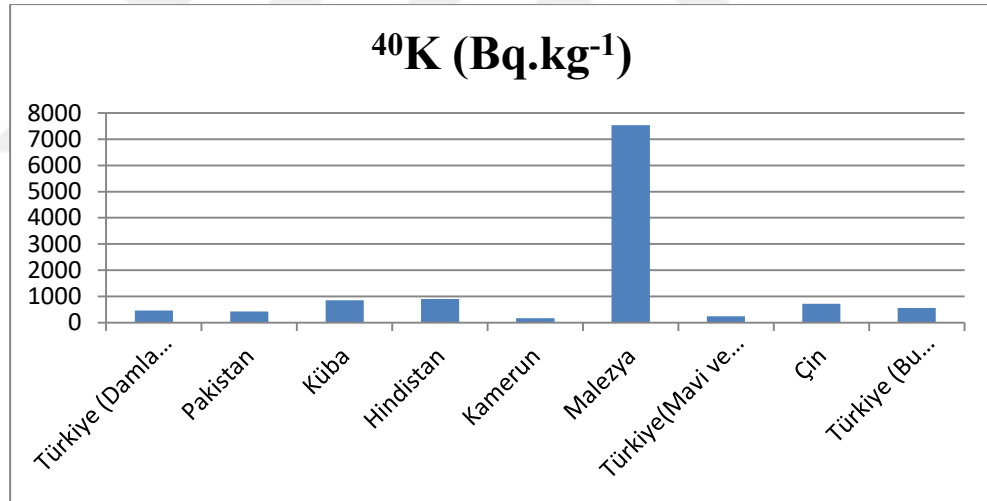
Örnek türü	Ülke	Aktivite konsantrasyon (Bq kg ⁻¹)			Ra _{eq} (Bq kg ⁻¹)	Referans
		²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K		
TUĞLA	Türkiye	34	34	462	119	Damla vd., 2011
	Pakistan	23	35	431	106	Faheem et al., 2008
	Küba	57	12	857	140	Flores et al., 2008
	Hindistan	73	66	904	237	Sonkawade et al., 2008
	Kamerun	48,6	91	172	193,3	Ngachin et al., 2007
	Malezya	241	51	7541	895	İbrahim, 1999
	Türkiye	58,9	11,7	248,8	94,8	Mavi ve Akkurt., 2010
	Çin	51,6	60,2	715,9	94,8	Lu et al., 2012
	Türkiye	37,0	48,7	565,4	161,1	Bu çalışma



Şekil 4.28 Çeşitli ülkelerde yapılan çalışmalarda tuğla örneklerinde ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K aktivite konsantrasyonları



Şekil 4.29 Çeşitli ülkelerde yapılan çalışmalarda tuğla örneklerinde ^{226}Ra ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları



Şekil 4.30 Çeşitli ülkelerde yapılan çalışmalarda tuğla örneklerinde ^{40}K aktivite konsantrasyonları

Tablo 4.12’de ^{226}Ra için Türkiye, Çin, Pakistan, Küba ve Pakistan’da ölçülen değerler karşılaştırılabilir düzeydedir. Hindistan ve Malezya’daki aktivite konsantrasyonları oldukça yüksek hesaplanmıştır. ^{232}Th için Küba ve Isparta-Türkiye’deki çalışmalarda hesaplanan aktivite konsantrasyon değerleri düşük bulunurken, Hindistan ve Kamerun’da hesaplanan değerler yüksektir. ^{40}K aktivitesi ise Pakistan ve Çin’de hesaplanan değerlerle kıyaslanabilir düzeyde iken Malezya ve Hindistan’daki çalışmalarda oldukça yüksek tayin edilmiştir.

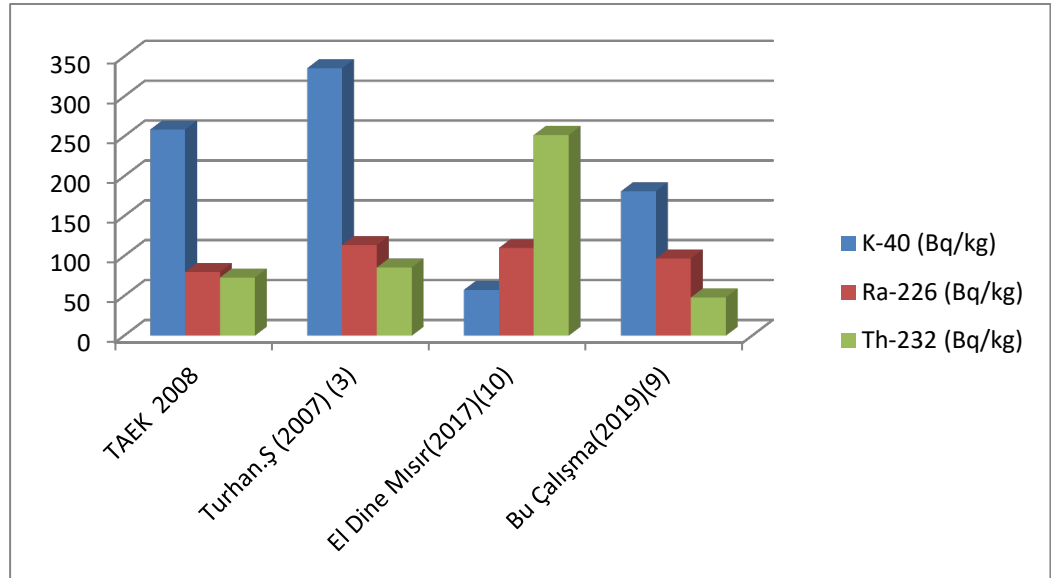
Granit için yaptığımız çalışmada ortalama aktivite konsantrasyonlarını sırasıyla ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için $87,9 \text{ Bq.kg}^{-1}$, $35,8 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ve $957,3 \text{ Bq.kg}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler Gür ve arkadaşlarının 2014 yılında yaptıkları “Türkiye’de kullanılan ticari granitlerde doğal radyoaktivitenin değerlendirilmesi” adlı çalışmada bulunan ortalama aktivite konsantrasyonları (^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için sırasıyla 62 Bq.kg^{-1} , 61 Bq.kg^{-1} ve $852,3 \text{ Bq.kg}^{-1}$) ile kıyaslanabilir düzeydedir. Ayrıca TAEK tarafından yapılan çalışmada bu konsantrasyonlar sırasıyla ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için $88,2 \text{ Bq.kg}^{-1}$, $84,6 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ve $915,3 \text{ Bq.kg}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır (Gür vd., 2014)

Yapı inşaatlarında kullanılan fayans, seramik, vitrifiye, çimento ve cam elyafı gibi malzemelerde kullanılan kaolinden kaynaklanan aktivite konsantrasyonlarını hesaplamak için 9 farklı kaolin örneği incelenmiştir. Alınan her bir numuneden 3’er adet hazırlanmış ve hesaplanan aktivite konsantrasyonlarının ortalamaları sırasıyla ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için $96,9 \text{ Bq.kg}^{-1}$, 48 Bq.kg^{-1} ve $181,14 \text{ Bq.kg}^{-1}$ olarak bulunmuştur.

Türkiye ve Mısır’da yapılan çalışmalarda kaolin örneklerinde hesaplanan aktiviteler Tablo 4.13’te görülmektedir. Bu çalışmada hesaplanan aktivite konsantrasyonları ^{232}Th için Türkiye ve Mısır’da ölçülen örneklerin oldukça altında çıkmıştır. ^{40}K aktivite değerleri ise Mısır’daki çalışmadan yüksek, Türkiye’deki bulunan konsantrasyonlardan düşük ölçülmüştür. ^{226}Ra aktivite konsantrasyonları ise birbirine yakın bulunmuştur.

Tablo 4.13 Çeşitli çalışmalardaki kaolin örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları

Çalışmanın yapıldığı yer	^{226}Ra (Bq.kg^{-1})	^{232}Th (Bq.kg^{-1})	^{40}K (Bq.kg^{-1})	Referans
TAEK (4)	80	72,9	258,6	TAEK 2008
Türkiye (3)	113,7	85,6	335,5	Turhan. Ş (2007)
Mısır (10)	110	251,6	57,6	El Dine 2017
Türkiye (9)	96,9	48	181,1	Bu Çalışma(2019)



Şekil 4.31 Çeşitli çalışmalarda kaolin örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları

Bu çalışmada kaolin örneklerinin aktivite değerleri birbirinden farklı ölçülmüştür. Aynı orijinden alınmasına rağmen bazı kaolin örneklerinde ^{40}K limitlerin çok altında tayin edilirken ^{226}Ra aktivite değerleri aynı örneklerde yüksek tayin edilmiştir. Bunun sebebi ise örneklerin alındığı işletmelerin kaolini kullanım amacına göre ayırmış olmalarıdır. Seramik, vitrifiye, cam, çimento, plastik, boya, cam elyaf yapımı gibi birçok kullanım alanı olan kaolinin kullanıldığı sanayi durumuna göre ayrıldığı ve bundan dolayı da aktivite konsantrasyonlarının farklı çıktığı gözlenmiştir.

World Health Organization (WHO) standartlarına göre bina içi radon konsantrasyonu 100Bq/m^3 değerini aşmamalıdır. Radon gazı ^{226}Ra bozunum ürünü olduğundan ^{226}Ra aktivite değerlerinin yüksek olması kansere yakalanma riskini artırmaktadır. Bu nedenle ^{226}Ra konsantrasyonları yüksek malzemeler tercih edilmemelidir. Ancak radyoaktivite konsantrasyon seviyesi nispeten yüksek malzemeler kullanılarak yapılan binalarda yaşayan insanlar, oturma odalarını havalandırarak radyasyona maruz kalma riskini azaltmaları önerilmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Abd El-Mageed, .A. İ., El-Azab Farid, M., Saleh, E. E., Mansour, M., Mohammed Anwar, K., 2014, Natural radioactivity and radiological hazards of some building materials of Aden, Yemen Journal of Geochemical Exploration 140 41–45.

Baskaran, M., 2016, Radon: A Tracer for Geological, Geophysical and Geochemical Studies, 9-10

Bilgici Cengiz, G., Aras, I., Ertap, H., Karabulut, M., 2017, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, AKÜ FEMÜBİD 17 021102 (406-414).

Camgöz, B., Kumru, M.N., Saç, M.M., Sert, İ., Taşköprü, C., 2016, Endüstriyel Materyallerde Ve Yapı Malzemelerinde Radyonüklid Tayini Ve Ortalama Radyasyon Dozuna Katkılarının Hesaplanması

Dayanıklı, Ş.A., 2004 Manisa ilinde Kullanılan Bina Materyallerinde Radyoaktivite Tayini, Yüksek lisans tezi, (yayınlanmamış)

EC (European Commission), 1999. Radiological protection principles concerning the natural radioactivity of building materials, Radiation Protection 112, Directorate- General Environment, Nuclear Safety and Civil Protection.

El Dine, N. W., Sroor, A., El-Shershaby, A.,. El-Bahi, S.M, Ahmed , F., 2003 Radioactivity in local and imported kaolin types used in Egypt, Applied Radiation and Isotopes 60 105–109

Erdoğan Güneş.,B., 2014 Bazı inşaat Betonlarında Doğal Radyoaktivite Seviyelerinin Ölçülmesi, Yüksek lisans tezi (yayınlanmamış)

EURATOM, 2013, Council Directive 2013/59/EURATOM of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation, and repealing Directives 89/618/Euratom,

90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom and 2003/122/Euratom, Official Journal of the European Union

Gür, F., Onargan, T., Kaya, E., Güneri, S., 2014, Assessment of natural radioactivity in commercial granites used in Turkey, Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering.

Hem, D.J., 1985, Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water, Water Supply Paper 2254, US Geological Survey, Reston, VA.

Hewamanna, R., Sumithrarachchi, C.S., Mahawatte, P., Nanayakkara, H.L.C., Ratnayake, H.C.,2001. Natural radioactivity and gamma dose from Sri Lankan clay bricks used in building construction. Applied Radiation and Isotopes 54-.365-369

IAEA, 2003. Radiation Protection against Radon in Workplaces other than Mines, Safety Reports Series No. 33, International Atomic Energy Agency, Vienna.

IAEA, 2014. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, General Safety Requirements Part 3, No. GSR Part 3, International Atomic Energy Agency, Vienna.

IAEA, 2015. Protection of the Public against Exposure Indoors due to Radon and Other Natural Sources of Radiation, Specific Safety Guide No. SSG-32, International Atomic Energy Agency, Vienna

Kayakökü, H., Karatepe, Ş., Doğru, M., 2016. Measurements of radioactivity and dose assessments in some building materials in Bitlis, Turkey, Applied Radiation and Isotopes 115, 72–179

Krstic, D., Nikezic, D., Stevanovic, N., Vucic, D., 2007, Radioactivity of some domestic and imported building materials from South Eastern Europe, Radiation Measurements 42 1731 – 1736

Kumar,V., Ramachandran, T.V., Prasad, R.,1999. Natural radioactivity of Indian building materials and by-products. Applied Radiation and Isotopes, 51, 93-96

Lu, X., Yang, G., Ren, G., 2012, Natural radioactivity and radiological hazards of building materials in Xianyang, China, Radiation Physics and Chemistry 81 780–784

Mavi, B., 2010,, Isparta'daki Bazı Yapı Malzemelerinde Doğal Radyoaktivite Tayini.Doktora tezi.

Moharram, B.M., .Suliman, M.N.,Zahran, N.F., Shennawy, S.E., .ElSayed, A.R., 2012, External exposure doses due to gamma emitting natural radionuclides in some Egyptian building materials, Applied Radiation and Isotopes70-241-248

MTA, 2018, <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/tugla-kiremit> (Erişim tarihi 11.01.2020)

<https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/seramik-killer> (Erişim tarihi 11.01.2020)

Mould, R.F., 2007, Radium History Mosaic, Nowotwory Journal of Oncology, Suppl. 4, Warsaw

NCRP 94, 1987, <https://sites.google.com/isu.edu/health-physics-radinf/radioactivity-in-nature> (Erişim tarihi 23.12.2019)

Ngachin, M., Garavaglian, M., Giovani, C., Kwato Njock, M.G., Nourreddine, A., 2007, Assessment of natural radioactivity and associated radiation hazards in some Cameroonian building materials, Radiation Measurements 42 61 – 67

Nour Khalifa, A., 2005, Measurement of natural radioactivity in building materials in Qena city, Upper Egypt, Journal of Environmental Radioactivity 83 91-99

OECD-NEA, 1979, Exposure to radiation from natural radioactivity in building materials, Report by the Group of Experts of the OECD Nuclear Energy Agency, Paris.

Ravisankar, R., Vanasundari, K., Chandrasekaran, A., Rajalakshmi, A., Suganya, M., Vijayagopal, P., Meenakshisundaram, V., 2012 Measurement of natural radioactivity in building materials of Namakkal, Tamil Nadu, India using gamma-ray spectrometry ,Applied Radiation and Isotopes70-699-704

Pavlidou, S., Koroneos, A., Papastefanou, C., Christofides, G., Stoulos, S., Vavelides, M., 2006, Natural radioactivity of granites used as building materials, Journal of Environmental Radioactivity 89, 48-60

Stojanovska, Z., Nedelkovski, D., Ristova, M., 2010, Natural radioactivity and human exposure by raw materials and end product from cement industry used as building materials, Radiation Measurements 45, 969-972

TAEK, 2008. Türkiye’de Kullanılan Yapı Malzemelerindeki Doğal Radyoaktiviteden Kaynaklanan Radyasyon Dozunun Değerlendirilmesi, Teknik Rapor No: 2008-7, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Ankara.

TAEK, 2009. Radyasyon, İnsan ve Çevre: İyonlaştırıcı radyasyon, etkileri ve kullanım alanları, güvenli kullanımı için uygulamada olan tedbirler, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Ankara.

Trevisi, R., Risica, S., D’Alessandro, M., Paradiso, D., Nuccetelli, C., 2011, Natural radioactivity in building materials in the European Union: a database and an estimate of radiological significance Journal of Environmental Radioactivity 105.11-20

Turhan, Ş., 2007. Assessment of the natural radioactivity and radiological hazards in Turkish cement and its raw materials Journal of Environmental Radioactivity 99. 404-414

Uğur.A., 1992.İzmir'de konut inşaatlarında kullanılan çimento tuğla ve kiremitlerde radyonüklid içeriğinin saptanması, Yüksek Lisans Tezi.

UNSCEAR, 1993, United Nations. Sources and Effects of Ionizing Radiation United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1993 Report to the General Assembly, with scientific annexes. United Nations sales publication E.94.IX.2. United Nations, New York.

UNSCEAR, 2000. Sources and Effects of Ionizing Radiation, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, United Nations Publication, New York, USA

Vandenhove, H., Verrezen, F., Landa, E.R., 2010, “Radium”, Radionuclides in the Environment, (ATWOOD D. Ed.), Wiley, Chichester (2010) 97–108.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince, kıymetli bilgi ve önerileri ile katkıda bulunan, çalışmalarımı yönlendiren ve tezimin her aşamasında büyük desteğini gördüğüm tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Aysun UĞUR GÖRGÜN'e, enstitü laboratuvarlarında her türlü çalışma olanağını sağlayan Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü Müdürü Sayın Prof. Dr. Fatma YURT ONARAN'a, teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca deneylerin yapılması esnasında değerli bilgilerini benimle paylaşan, deneysel çalışmalarda yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Berkay Camgöz'e teşekkür ederim.

Sadece tez çalışmamda değil yaşamımın her anında bana olan desteklerini ve inançlarını hiç esirgemeyen, fedakar eşim ve çocuklarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Arif ÖZULUS

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Arif ÖZULUS

Doğum Yeri :Bigadiç / TÜRKİYE

Doğum Tarihi : 03/05/1972

Öğrenim Durumu : Lisans

Lisans : Samsun 19 Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Eğitimi / Fizik Öğretmenliği

Yüksek Lisans : Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Nükleer Bilimler
Enstitüsü Nükleer Bilimler Anabilim Dalı (2017 - 2019)