



T.C
EGE ÜNİVERSİTESİ
Nükleer Bilimler Enstitüsü



ANTALYA İLİNDEKİ BİNA MATERYALLERİNDE DOĞAL RADYONÜKLİDLERİN TAYİNİ, RADYOLOJİK VE SAĞLIK RİSKİ

Farika Ravza Kaplan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nükleer Bilimler Anabilim Dalı
Radyasyon Güvenliği ve Koruma Yüksek Lisans Programı

İZMİR

T.C
EGE ÜNİVERSİTESİ
Nükleer Bilimler Enstitüsü

**ANTALYA İLİNDEKİ BİNA MATERYALLERİNDE
DOĞAL RADYONÜKLİDLERİN TAYİNİ,
RADYOLOJİK VE SAĞLIK RİSKİ**

Farika Ravza Kaplan

Danışman: Prof. Dr. Aysun Uğur Görgün

Nükleer Bilimler Anabilim Dalı
Radyasyon Güvenliği ve Koruma Yüksek Lisans Programı
İZMİR, 2024

KABUL VE ONAY SAYFASI

Farika Ravza Kaplan tarafından yüksek lisans seminer dersi olarak sunulan “Antalya İlindeki Bina Materyallerinde Doğal Radyonüklidlerin Tayini, Radyolojik ve Sağlık Riski” 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 26/08/2024 tarihinde yapılan seminer savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı :

Raportör Üye :

Üye :



ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi / Doktora Tezi olarak sunduğum “Antalya İlindeki Bina Materyallerinde Doğal Radyonüklidlerin Tayini, Radyolojik ve Sağlık Riski” 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.

26/08/2024

Farika Ravza Kaplan



ÖZET

ANTALYA İLİNDEKİ BİNA MATERYALLERİNDE DOĞAL RADYONÜKLİDLERİN TAYİNİ, RADYOLOJİK VE SAĞLIK RİSKİ

KAPLAN, Ravza Farika

Yüksek Lisans Tezi, Radyasyon Güvenliği ve Korunma Yüksek Lisans Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Aysun Uğur Görgün

Radyasyon çevremizin doğal bir parçasıdır ve binalarda kullanılan yapı malzemelerinde belli konsantrasyonlarda bulunan radyonüklidler bu radyasyona katkıda bulunurlar. Malzemelere çeşitli sebeplerle katılan toprak vb. katkıları içerdikleri radyonüklidler nedeniyle sürekli olarak gama (γ) ve alfa (α) radyasyonu yayarlar.

Antalya’da yerel satıcılardan temin edilen malzemelerde bulunan radyonüklid konsantrasyonları; yüksek enerjili gama spektrometrisi kullanılarak belirlenmiştir. Hesaplanan I değerleri, bu konuda verilen sınırların altında kalmıştır. Bu sonuçlar, Antalya’daki yapı malzemelerinin radyolojik açıdan güvenli olduğunu göstermektedir. Ayrıca, çalışmamızın sonuçları, benzer çalışmaların sonuçlarıyla da uyumlu bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Derz, Yapıştırıcı, Aktivite konsantrasyonları, Sıva, Bina materyalleri



ABSTRACT

DETERMINATION OF NATURAL RADIONUCLIDES IN BUILDING MATERIALS IN ANTALYA PROVINCE, RADIOLOGICAL AND HEALTH RISK

KAPLAN, Ravza Farika

Master's Thesis, Radiation Safety and Protection Master's Program

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Aysun Uğur Görgün

Radiation is a natural aspect of our environment, and radionuclides present at specific concentrations in building materials contribute to it. Additives, for instance, soil, etc., which are incorporated into materials for various reasons, constantly emit gamma (γ) and alpha (α) radiation due to the radionuclides they contain.

The concentrations of radionuclides in building materials obtained from local vendors in Antalya were assessed using high-energy gamma spectrometry. The calculated I value was less than limits specified in the International guidelines. These results indicate that the building materials used in Antalya comply with international radiological safety standards. In addition, our findings are consistent with the outcomes of similar investigations undertaken within other studies.

Keywords: Joint, Adhesive, Activity concentrations, Plaster, Building materials

ÖNSÖZ

Günümüzde artan nüfus ve şehirleşme ile, yaşam alanlarımızın kalitesi ve sağlığa etkisi büyük önem taşımaktadır. Geçmişe kıyasla kapalı mekanlarda geçirilen süre her geçen gün artmaktadır ve insanlar bu ortamlarda geçirdikleri süre boyunca düşük düzeyde radyasyona maruz kalırlar.

Bu tez çalışmasında amaçlanan, Antalya ilinde yaygın olarak kullanılan bina malzemelerinden kaynaklı bina içinde maruz kalınacak dozları tahmin etmek ve sonuçların binaların tasarımı ve malzemelerin seçimi açısından rehberlik sağlamasıdır.

İZMİR

26/08/2024

Farika Ravza Kaplan



İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY SAYFASI	iii
ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
ÖNSÖZ	xi
İÇİNDEKİLER	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xv
TABLolar DİZİNİ	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xviii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	5
2.1. Radyoaktif Maddelerin Genel Özellikleri	5
2.1.1. ²²⁶ Ra'un Özellikleri	5
2.1.2. ²³² Th 'nin Özellikleri	6
2.1.3. ⁴⁰ K 'ın Özellikleri	8
2.2. İnşaatlarda Kullanılan Yaygın Yapı Malzemeleri	9
2.2.1. Çimento	9
2.2.2. Tuğla	9
2.2.3. Yüzey Malzemeleri (Sıva, Yapıştırıcı, Derz)	10
2.3. Radyoaktivitelerin Yapı Malzemelerinde Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi	10
2.3.1. Türkiye'deki Çalışmalar	10
2.3.2. Yurtdışında Yürütülmüş Çalışmalar	12
3. Ölçüm Yöntemi	15
3.1. Materyal ve Metot	15
3.1.1. Örneklerin Hazırlanma Süreci	15
3.1.2. Örneklerin Analizi ve Kullanılan Sistemin Yapısı	15

4. BULGULAR VE TARTIŞMA	21
4.1. Çimentolardaki Bulgular	21
4.2. Tuğlalardaki Bulgular	27
4.3. Yapıştırıcılardaki Bulgular	33
4.4. Sıvalardaki Bulgular	37
4.5. Derzlerdeki Bulgular	39
5. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER	43
6. KAYNAKLAR DİZİNİ	48
7. TEŞEKKÜR	51
8. ÖZGEÇMİŞ	52

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Uranyum bozunum serisi.....	5
Şekil 2.2 Toryum bozunum serisi	7
Şekil 3.1 Ürünlerin konulduğu sayım kabı	15
Şekil 3.2 Çalışmada kullanılan gama spektrometre sistemi.	16
Şekil 3.3 D1 nolu örneğe ait gama spektrogramu.....	18
Şekil 4.1 Çimentolarda ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları	23
Şekil 4.2 Çimentolarda ^{40}K aktivite konsantrasyonları	24
Şekil 4.3 Çimentolarda ^{226}Ra aktivite konsantrasyonları	25
Şekil 4.4 Çimentolarda ^{232}Th aktivite konsantrasyonları	25
Şekil 4.5 Avrupa Birliği ülkelerde çimentolarda ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları.....	26
Şekil 4.6 Avrupa Birliği ülkelerde çimento örneklerindeki ^{40}K aktivite konsantrasyonları.....	26
Şekil 4.7 Avrupa Birliği ülkelerde çimento örneklerindeki ^{226}Ra aktivite konsantrasyonları.....	27
Şekil 4.8 Avrupa Birliği ülkelerde çimento örneklerindeki ^{232}Th aktivite konsantrasyonları.....	27
Şekil 4.9 Tuğlalarda ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları.....	29
Şekil 4.10 Tuğlalarda ^{40}K aktivite konsantrasyonları	29
Şekil 4.11 Tuğlalarda ^{226}Ra aktivite konsantrasyonları	30
Şekil 4.12 Tuğlalarda ^{232}Th aktivite konsantrasyonları	30
Şekil 4.13 Avrupa Birliği ülkelerde tuğlalarda ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları.....	31
Şekil 4.14 Avrupa Birliği ülkelerde tuğlalarda ^{40}K aktivite konsantrasyonları	32
Şekil 4.15 Avrupa Birliği ülkelerde tuğlalarda ^{226}Ra aktivite konsantrasyonları ..	32
Şekil 4.16 Avrupa Birliği ülkelerde tuğlalarda ^{232}Th aktivite konsantrasyonları ..	33
Şekil 4.17 Yapıştırıcılarda ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları	35
Şekil 4.18 Yapıştırıcılarda ^{40}K aktivite konsantrasyonları.....	35
Şekil 4.19 Yapıştırıcılarda ^{226}Ra aktivite konsantrasyonları.....	36
Şekil 4.20 Yapıştırıcılarda ^{232}Th aktivite konsantrasyonları.....	36
Şekil 4.21 Sıvalarda ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları.....	38
Şekil 4.22 Sıvalarda ^{40}K aktivite konsantrasyonları	38

Şekil 4.23 Sıvalarda ^{226}Ra aktivite konsantrasyonları	39
Şekil 4.24 Sıvalarda ^{232}Th aktivite konsantrasyonları	39
Şekil 4.25 Derzlerde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları	41
Şekil 4.26 Derzlerde ^{40}K aktivite konsantrasyonları.....	41
Şekil 4.27 Derzlerde ^{226}Ra aktivite konsantrasyonları.....	42
Şekil 4.28 Derzlerde ^{232}Th aktivite konsantrasyonları.....	42
Şekil 5.1 Türkiye'deki çimentolarda ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları	43
Şekil 5.2 Türkiye'deki tuğlalarda ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları	44
Şekil 5.3 Türkiye'de derzlerde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları	45
Şekil 5.4 Türkiye'de yapıştırıcılarda ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları	45

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1 ^{238}U bozunum serisi (^{226}Ra 'dan itibaren) (Baskaran, 2016)	2
Tablo 1.2 ^{235}U bozunum serisi (^{223}Ra 'dan itibaren) (Baskaran, 2016)	3
Tablo 1.3 ^{232}Th bozunum serisi (^{224}Ra 'dan itibaren) (Baskaran, 2016)	3
Tablo 4.1 Çimentolarda aktivite konsantrasyonları	22
Tablo 4.2 Çimentolarda eU(Ra), eTh ve % K konsantrasyonları	23
Tablo 4.3 Tuğlalarda aktivite konsantrasyonları	28
Tablo 4.4 Tuğlalarda eU(Ra), eTh ve % K konsantrasyonları	28
Tablo 4.5 Yapıştırıcılarda aktivite konsantrasyonları	34
Tablo 4.6 Yapıştırıcılarda eU(Ra), eTh ve % K konsantrasyonları	34
Tablo 4.7 Sıvalarda aktivite konsantrasyonları	37
Tablo 4.8 Sıvalarda eU(Ra), eTh ve % K konsantrasyonları	38
Tablo 4.9 Derzlerde aktivite konsantrasyonları	40
Tablo 4.10 Derzlerde eU(Ra), eTh ve % K konsantrasyonları	40
Tablo 5.1 Türkiye'de çimentolarda hesaplanan aktivite değerleri	43
Tablo 5.2 Türkiye'de tuğlalarda hesaplanan aktivite değerleri	44
Tablo 5.3 Türkiye'de derzlerde hesaplanan aktivite değerleri	44
Tablo 5.4 Türkiye'de yapıştırıcılarda hesaplanan aktivite değerleri	45
Tablo 5.5 Yapı malzemeleri için absorblanan doz oranları, yıllık etkin doz eşdeğerleri ve kanser riski	46

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A_K	: Potasyum aktivitesi
A_{Ra}	: Radyum aktivitesi
A_{Th}	: Toryum aktivitesi
Bq	: Becquerel (Radyasyon birimi)
C_K	: Potasyum konsantrasyonu
C_{Th}	: Toryum konsantrasyonu
C_{Ra}	: Radyum konsantrasyonu
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
Sv	: Sievert (Doz eşdeğer birimi)
ELCR	: Yaşam boyu kanser riski
AEDE	: Yıllık etkin doz eşdeğeri
EURATOM	: Avrupa komisyonu tavsiye kararı
IAEA	: Uluslararası atom enerjisi kurumu
TAEK	: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
ND	: None Dedectable (Tespit edilememiştir)
Ra	: Radyum
Th	: Toryum
U	: Uranyum

1. GİRİŞ

Canlılar milyonlarca yıldır yer yüzündeki doğal radyoaktif maddelerden kaynaklanan radyasyona maruz kalmaktadır. Yaygın kullanılan yapı malzemeleri, özellikle tuğla, çimento, sıva ve derz gibi malzemeler, bina içindeki radyasyonun önemli bir kaynağıdır. Bu nedenle, inşaatta kullanılan malzemelerde bulunan belirli konsantrasyonlardaki radyonüklidler gama ve α alfa radyasyonu yayımlayarak doğal radyasyonun yayılmasında önemli bir rol oynamaktadır.

Yer kabuğundaki doğal radyoaktif maddelerin yaydığı ışınlar, insan vücudunun dış kaynaklı ışınlanmasının başlıca nedenlerinden biridir. İnşaat sektöründe kullanılan malzemeler çoğunlukla taş, toprak ve çimentodan üretildikleri için belirli miktarda kararsız şekilde doğada bulunan radyonüklidler ile potasyum radyoizotopunu içerir ve insanların bina içinde radyasyona maruz kalmasına sebep olur. (Doğal Radyasyon Kaynakları, 2016)

Doğada en yaygın bulunan radyoaktif elementler ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'tır. ^{238}U yaklaşık 4,5 milyar yıllık bir yarı ömre sahiptir ve doğada bulunma oranı %99'dur. ^{232}Th 'nin ise yaklaşık 14 milyar yıllık bir yarı ömrü vardır ve doğada çok yaygın olarak bulunur. ^{238}U ve ^{232}Th kararsız çekirdek yapısına sahip olup, kararlı yapıya geçerken yeni radyoaktif elementler açığa çıkar. (Aşkın & Dal, 2018)

Radyonüklidlerin yapı malzemelerinde bulunması, radon maruziyetine katkıda bulunur. Bu maruziyet dış ve iç maruziyet olarak ikiye ayrılır. Dış maruziyet, başlangıçta uranyum ve toryum bozunum zincirlerinden ve ^{40}K 'dan gelen gama radyasyonu ile oluşur. İç maruziyet ise radon (^{222}Rn), toron (^{220}Rn) ve kısa ömürlü bozunum ürünlerinin solunumuyla meydana gelir. Temel radyolojik parametrelerin ve yapı malzemelerindeki radyoaktif içeriklerin bilinmesi, doğal kaynaklardan gelen radyasyona maruz kalan nüfusu hesaplamamıza yardımcı olur. Elde edilen veriler, koruma önlemlerinde, jeobilimsel araştırmalarda ve bu malzemelerin kullanımı ve yönetimi için rehberlikte önemli bir rol oynar. (Ravisankar, ve diğerleri, 2012)

Aynı materyallerin doğal radyoaktivitesi, jeolojik kökeni ve jeokimyasal özelliklerine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bu nedenle, aynı yapı malzemeleri kullanılsa dahi farklı bölgelerdeki doğal radyoaktivite konsantrasyonları farklılık gösterebilir. (Günay, 2018)

Endüstriyel atıkların ve malzemelerin bina materyallerinde kullanımı son yıllarda artmıştır. Bu malzemeler arasında kömür yakma işlemlerinden elde edilen uçucu kül, killi şistli petro külü ve az rastlanan bazı mineraller bulunmaktadır. (Dayanıklı, 2004) Bu atıkların kullanımının temel nedenleri arasında ekonomik faydaların yanı sıra, çevre kirliliğinin azaltılması ve materyallerin özelliklerinin artırılması da yer almaktadır. (Özulus, 2020)

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

İZOTOP	YARILANMA SÜRESİ	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 μs	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	YARILANMA SÜRESİ	İŞIMA	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	YARILANMA SÜRESİ	İŞIMA	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 (%35, 94)	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	-	-	-

İç mekanlarda gama radyasyonuna maruziyet oranı Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi'ne (UNSCEAR) göre dış mekanlardaki maruziyet oranından daha fazladır. (UNSCEAR, SOURCES AND EFFECTS OF IONIZING RADIATION, 2000)

Tez çalışmanın amacı, Antalya' da kullanılan bina materyallerindeki radyonüklid konsantrasyonlarının tayinini yapmak, konsantrasyonları uluslararası çalışmalarla karşılaştırmak ve bina içinde geçirilen süre boyunca maruz kalınacak dozları tahmin etmek ve kanser riskini hesaplamaktır.



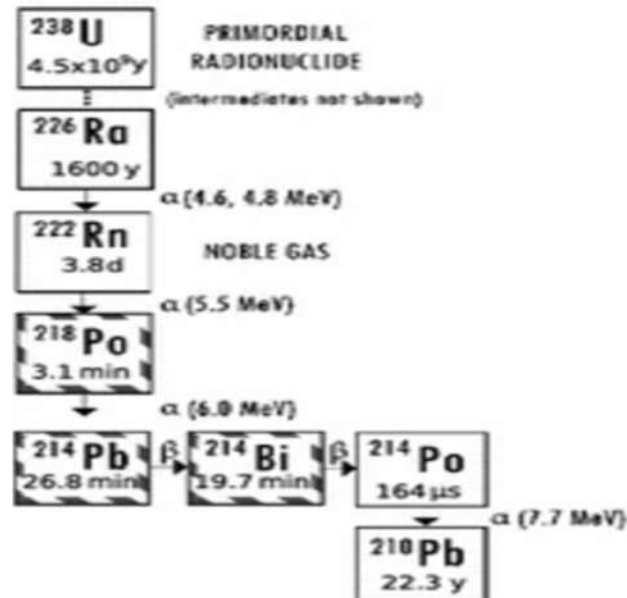
2. GENEL BİLGİLER

2.1. Radyoaktif Maddelerin Genel Özellikleri

2.1.1. ^{226}Ra 'un Özellikleri

Radyum, 1898'de Polonyalı kimyager Marie Sklodowska Curie ve Fransız kimyager Pierre Curie tarafından keşfedildi. Marie Curie, radyumun rafine edilmemiş uranyumdan daha radyoaktif olduğunu fark etti. Bu nedenle, radyum elde etmek için uranyum içeren piçblend cevherini rafine etmek gerekiyordu. Bir ton uranyum cevheri yaklaşık olarak sadece 0,14 gram radyum içerir. Günümüzde, radyum genellikle uranyumun rafinelenmesinin bir yan ürünü olarak elde edilir. (Washington State Department of Health, 2002)

1920'lerde radyum, çeşitli hastalıklar için intravenöz olarak enjekte edildi, ancak iyileşmek yerine, birçok hastanın daha sonra kemik kanseri veya diğer kötü huylu hastalıklar geliştirdiği görüldü. ^{226}Ra , fosforlu çinko sülfid ile karıştırılarak ışıltılı boya yapmak için kullanıldı. Bu ışıltılı boya, Birinci Dünya Savaşı sırasında ve sonrasında saatler, pusulalar ve diğer cihazların üzerine sürülmekteydi. Radyum boya fırçalarını kullanan kişilerde aplastik anemi, lösemi ve kemik kanseri gelişti.



Şekil 2.1 Uranyum bozunum serisi

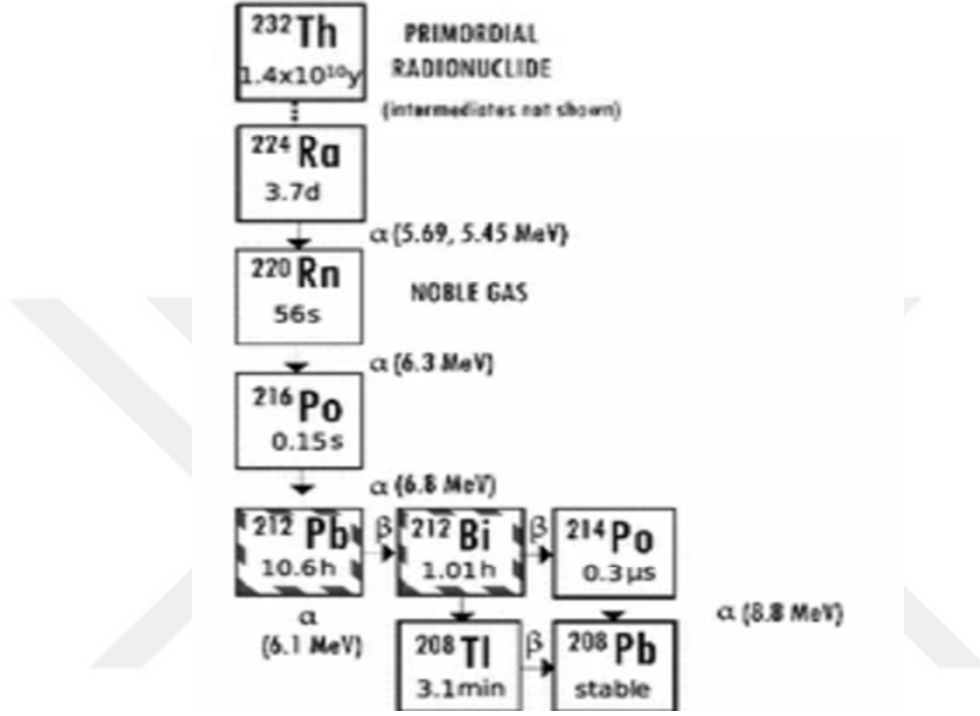
^{226}Ra , doğal ^{238}U bozunum zincirinin bir bozunma ürünüdür. Değişken miktarlarda tüm kayalar ve topraklarda bulunur. ^{226}Ra , alfa yayıcı olan radyoaktif bir alkaline toprak metalidir. Bitkiler tarafından topraktan emilir ve besin zinciri boyunca insanlara kadar geçer. Kimyasal olarak kalsiyumla benzerlik gösterir ve yutulduğunda küçük bir kısmı ince bağırsağın üzerinden geçerken çoğu kemiklerde birikir. Radyum, uranyumdan yaklaşık bir milyon kat daha aktiftir. Curies tarafından kullanılan laboratuvar defterleri o kadar yüksek düzeyde kirletilmiştir ki bugün güvenli bir şekilde elle tutulamazlar. ^{226}Ra , inert bir gaz olan ^{222}Ra 'ya alfa parçacıkları yayarak bozunur. ^{222}Ra kısa yarı ömrü (3,8 gün) nedeniyle, vücuda solunarak alındığında vücutta alfa parçacığı radyasyonu yayma olasılığı yüksektir. ^{226}Ra ve bozunma ürünleri, doğal olarak oluşan radyonüklidlerden insanlar tarafından alınan dozun büyük bir kısmından sorumludur.

2.1.2. ^{232}Th 'nin Özellikleri

Periyodik tablonun aktinit serisinin ikinci üyesi olan toryum, kimyager Jöns Jacob Berzelius tarafından 1829 yılında keşfedilmiştir. Gümüşü renkte, düşük derecede radyoaktif bir metal olan ^{232}Th , yaydığı alfa parçacıkları nedeniyle canlı dokulara zarar verebilir ve uzun süreli maruziyet halinde sağlık sorunlarına yol açabilir. (Toryum, 2021) Yer kabuğunun sadece %0,0007'sini oluşturur. Doğada serbest halde bulunmayan toryum, farklı minerallerin yapısında yer alır. Monazit gibi mineraller toryum kaynağıdır. Monazit ve torit mineralleri, nadir toprak elementleri (NTE) ile bulunur. Magnezyum toryum alaşımları, yüksek sıcaklık uygulamaları için ideal bir seçimdir, çünkü malzemeye yüksek sıcaklıklarda sertlik ve sürtünme direnci özelliği kazandırır. Balzemeler birçok endüstride kullanılmaktadır. (Toryum, 2016) Türkiye, toryum rezervi açısından oldukça zengindir.

Toryum; doğada hemen hemen her zaman ^{232}Th , ^{230}Th ve ^{228}Th olmak üzere üç radyoaktif izotop şeklinde bulunur. Ayrıca, 10'dan fazla suni olarak üretilen toryum izotopu mevcuttur. Bu izotopların bir kısmı genellikle kararsız radyonüklidlerin bozunum ve istenmeyen nükleer reaksiyon ürünleridir. (Özulus, 2020)

Toryum; bazı minerallerin özelliklerini iyileştirmek için alaşımlarda, aydınlatmalarda, yüksek ısıya dayanıklı malzeme yapımında ve nükleer teknoloji uygulamalarında yakıt olarak kullanılmaktadır. (Toryum, 2016) ^{232}Th , kararsız bir yapıdadır ve bozunduğunda ^{228}Ra ve ^{228}Th gibi bozunma ürünlerini oluşturmakta ve radyasyon yayımlamaktadır. (Özulus, 2020)



Şekil 2.2 Toryum bozunum serisi

^{232}Th 'nin ana maruziyet yolları yutma ve solunumdur. Görelî çözünmezliği ve düşük özgül aktivitesi nedeniyle, ^{232}Th hava, yiyecek ve suda önemli miktarlarda bulunmamaktadır. Normal şartlarda denizlerde bulunan toryumun çok azı, deniz canlıları tarafından emilir ve besin zincirine dahil olur. Havada düşük seviyelerde bulunan toryum, genellikle sağlık açısından önemli bir risk oluşturmaz. Ancak madenlerde, fabrikalar veya toryum içeren ürünler üreten endüstri tesislerinin yakınında yaşayanlar, daha yüksek toryum seviyelerine maruz kalabilir ve risk daha yüksek olabilir.

2.1.3. ^{40}K 'ın Özellikleri

1807'de kimyacı Sir Humphry Davy, potasyum hidroksit tuzundan potasyumu elde etmiştir. (Potasyum, 2021) Potasyum, yumuşak ve gümüş-beyaz renkli bir metaldır. ^{40}K 'ın yarı ömrü 1,3 milyar yıldır. Toprakta, tüm bitki ve hayvan dokularında bulunur. Bitkiler potasyumu topraktan ve sudan alırlar. ^{39}K ve ^{41}K potasyumun iki kararlı izotopudur.

Doğal olarak oluşan ^{40}K izotopu radyoaktiftir ve canlıda genetik mutasyonlara sebep olabilir. ^{40}K 'ın sağlık tehlikesi, radyoaktif bozunumu sırasında yaydığı iyonlaştırıcı radyasyon, canlı dokular üzerinde hasara neden olabilir ve genel olarak kanser oluşum potansiyeli vardır. ^{40}K , günlük beslenme ile vücuda alınan radyonüklidlerden biridir. Vücut içi ışınlamadan kaynaklanan ve yıllık olarak alınan ortalama etkin dozun 0,3 mSv olduğu ve bu dozun bir kısmının ^{40}K 'tan geldiği tahmin edilmektedir. (Türkiye Enerji, Nükleer Ve Maden Araştırma Kurumu, 2016) Vücuda alındığında, ^{40}K diğer potasyum izotopları gibi davranır. İnsanlar biyolojik süreçleri sürdürmek için potasyuma ihtiyaç duyarlar ve ^{40}K vücuda alım sonrasında vücutta hızla emilir ve kan dolaşımına karışır. Bu durum ^{40}K 'ın hızla tüm organlara ve dokulara dağılmasını sağlar. ^{40}K , yaklaşık bir aylık yarılanma ömrü ile vücuttan uzaklaştırılır. Vücuttaki potasyum oranı ve dengesi aktif düzenlenmektedir. Çevre koşullarındaki değişikliklerden etkilenmez ve vücuttaki ^{40}K miktarı sabittir. Yetişkin erkekte yaklaşık 100.000 pCi ^{40}K bulunur. Bu izotop, yıllık olarak vücut dokularına yaklaşık 14 mrem – 18 mrem doz verir. ^{40}K 'nın sağlık açısından tehlikesi, radyoaktif bozunma sırasında yayılan beta parçacıkları ve gama ışınlarının yol açtığı hücre hasarına bağlıdır ve bu hasar kansere neden olabilir. Sürekli olarak 1 pikoküri/gram ^{40}K içeren bir ortamda yaşayan 100.000 kişiden yaklaşık 4'ünün kanser geliştirebileceği düşünülmektedir. (Özulus, 2020)

Gübre sanayi, potasyumun en önemli kullanım alanıdır ve endüstriyel uygulamalardan günlük hayata kadar birçok alanda kullanılmaktadır.

2.2. İnşaatlarda Kullanılan Yaygın Yapı Malzemeleri

2.2.1. Çimento

Çimento, kalker ve kil bileşenlerinin uygun oranlarda homojen bir şekilde karıştırılarak döner fırında ısıtılma işleminden geçirilmesiyle elde edilen kalsiyum silikatların sentetik bir karışımıdır. Farklı çimento tipleri çeşitli hammaddeler içerir, ancak ana bileşenler kil ve kireç taşıdır.

Çimento üretiminde kullanılan kalsiyum oksit (CaO) birincil kaynağı kireç taşıdır. Kireç taşı, içeriğinde bulunan kalsiyum karbonatın (CaCO_3) fırında pişirilmesiyle kimyasal dönüşüme uğrar.

Kil çimento için gerekli olan silika (SiO_2), alümina (Al_2O_3) ve demir oksit (Fe_2O_3) gibi mineral kaynaklarını sağlar. Çimento üretiminde ayrıca silika kumu, demir cevheri ve alüminyum ile demir katkıları gibi hammaddeler de kullanılır. Silika kumu, trikalsiyum silikat oluşumuna katkıda bulunur, demir cevheri ise gerekli demir oksit sağlar. Demir oksit çimentoya gri rengini vermektedir ve çimentonun üretiminde bu mineral oranının düşük olması önemlidir. (Çimento Hakkında Bilmeniz Gerekenler)

2.2.2. Tuğla

Kumlu kil, tuğla ve kiremit üretimi için uygun topraklardır. Seramik killeriyle kıyasla daha zengin mineral içeriğine sahiptirler. İçlerinde farklı mineraller bulunur. Bazı topraklar ise amorf yapıda killeri içerir. Tuğla, insanlık tarihi boyunca, özellikle yapı taşı bulunmayan alüvyal ovalarda önemli bir yapı malzemesi olarak kullanılmıştır. Mezopotamya ve Nil Vadisi gibi bölgelerde tuğla, binlerce yıl boyunca yapıların temelini oluşturmuştur. Tuğla yapımına uygun olan topraklar, her zaman kiremit üretimine elverişli olmayabilir. Bu durumda, kumlu toprakları plastik özelliği fazla olan topraklarla karıştırmak gerekebilir. Herhangi bir işlem gerektirmeyen topraklar tuğla ve kiremitin yapımında en çok tercih edilenlerdir. (Tuğlalar nelerden ve nasıl yapılır?)

2.2.3. Yüzey Malzemeleri (Sıva, Yapıştırıcı, Derz)

Yüzey malzemeleri ve kullanımı az olan malzemeler genellikle çimento vb. katkılarla güçlendirilmiş yüzeyde düz bir görüntü elde etmek için kullanılan malzemelerdir.

2.3. Radyoaktivitelerin Yapı Malzemelerinde Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi

2.3.1. Türkiye'deki Çalışmalar

Mavi ve Akkurt (2011) yılında Isparta' da konut inşaatlarında sıklıkla kullanılan malzemelerin doğal radyoaktivitesi ölçüm çalışması yapmıştır. NaI(TI) sintilasyon detektörlü bir gama ışını spektrometresi çalışmada kullanılmıştır. Granitlerde ^{40}K konsantrasyonu 142,6 Bq/kg, ^{232}Th aktivitesi 5,3 Bq/kg ve ^{226}Ra aktivitesi ise 21,9 Bq/kg olarak bulunmuştur. Mozaik örneğindeki ^{40}K konsantrasyonu 150,7 Bq/kg, ^{232}Th aktivitesi 5,7 Bq/kg ve ^{226}Ra aktivitesi ise 11,7 Bq/kg olarak bulunmuştur. Fayans örneğindeki ^{40}K konsantrasyonu 106,9 Bq /kg, ^{232}Th aktivitesi ND Bq/kg ve ^{226}Ra aktivitesi ise 19,1 Bq/kg olarak bulunmuştur. Traverten örneğinde ise ^{40}K konsantrasyonu 54,1 Bq/kg, ^{232}Th aktivitesi 2 Bq/kg ve ^{226}Ra aktivitesi ise 12,4 Bq/kg olarak bulunmuştur. Ölçüm sonuçları, kabul edilebilir sınırların oldukça altında bulunmuştur. (Mavi & Akkurt, 2011)

Günoğlu, Mavi ve Akkurt (2011) yılında Muğla ilinden çıkarılan 4 farklı mermerin doğal radyoaktivitesi ölçüm çalışmaları yapmıştır. NaI(TI) sintilasyon detektörlü bir gama ışını spektrometresi çalışmadaki örnekleri ölçmüştür. Mermerlerin ^{40}K konsantrasyonu 66,80 ile 357,684 Bq/kg aralığında ve ortalaması 225,876 Bq/kg bulunmuştur. Örneklerin ^{232}Th aktiviteleri 31,977 ile 52,998 Bq /kg aralığında ve ortalaması 45,625 Bq/kg bulunmuştur. ^{226}Ra aktivitesi ise 22,141 ile 88,58 Bq/kg aralığında ve ortalama 60,406 Bq/kg olarak bulunmuştur. ^{40}K aktivitesi limit değerin altındadır. ^{226}Ra aktivite değeri sadece bir örnekte limit değerin altındayken diğer üç örnekte limit değerden fazla çıkmıştır. ^{232}Th aktivite değeri ise iki örnekte limit değerden çok az yüksek tayin edilmiştir. Aktivite değerlerinin limit değerin üzerinde olmasının nedenini anlamak için bu

mermerlerin kayaç yapılarının incelenmesi ve bu amaçla numunelerin jeolojik ve radyometrik özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. (Günoğlu, Mavi, & Akkurt, 2011)

Güneş (2014) yılında dokuz tane beton karışımı ve ham beton örneklerinin ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarını HPGe detektörlü gama ışını spektrometresi kullanarak ölçmüştür. ^{40}K konsantrasyonları $265,18 \pm 7,02 - 337,45 \pm 8,71$ Bq/kg aralığında ve konsantrasyonların ortalaması $293,862$ Bq/kg olarak bulunmuştur. ^{232}Th konsantrasyonları ise $8,61 \pm 0,73 - 15,32 \pm 1,00$ Bq/kg aralığında ve konsantrasyonların ortalaması $11,087$ Bq/kg olarak bulunmuştur. ^{226}Ra konsantrasyonları ise $12,91 \pm 0,59 - 22,95 \pm 0,74$ Bq/kg aralığında ve ortalama $17,751$ Bq/kg olarak bulunmuştur. Tüm örneklerin aktivite değerleri Dünya Sağlık Örgütü'nün tavsiye ettiği maksimum seviyeden daha düşük çıkmıştır. (Güneş, 2014)

Bilgici Cengiz ve arkadaşları (2017) yılında Kars'ta yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerinde radyonüklidlerin konsantrasyonları belirleyerek, radyolojik doz hesaplama ve kullanım kaynaklı oluşabilecek risk değerlendirme çalışması yapmışlardır. Çeşitli bölgelerden 60 örnek toplamışlardır. HPGe gama ışını spektrometre sistemi ile örneklerdeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyoizotoplarının aktivite konsantrasyonlarını ölçmüşlerdir ve ortalama aktivite konsantrasyonlarını $22,87$ Bq /kg , $19,49$ Bq/kg , $265,29$ Bq/kg olarak bulmuşlardır. (Cengiz, Aras, Ertap, & Karabulut, 2017)

Özulus (2020) yılında İzmir ili konut inşaatlarında kullanılan malzemelerden doğal radyoaktivite ölçüm çalışmaları yapmıştır. NaI(Tl) sintilasyon detektörlü bir gama ışını spektrometresi çimento, kaolin, tuğla ve granit örneklerinin ^{40}K , ^{232}Th ve ^{226}Ra aktiviteleri için kullanılmıştır. Çalışmadaki çimentolarda ^{40}K aktivitesi $149,10$ ile $315,51$ Bq/kg, ^{226}Ra aktivitesi $1,87$ ile $68,09$ Bq/kg ve ^{232}Th aktivitesi ise $19,90$ ile $42,89$ Bq/kg arasındadır. Çalışmadaki tuğlalarda ^{40}K aktivitesi $639,77$ ile $851,28$ Bq/kg, ^{226}Ra aktivitesi $25,62$ ile $52,33$ Bq/kg ve ^{232}Th aktivitesi ise $33,10$ ile $60,87$ Bq/kg arasındadır. Granit örneklerindeki ^{40}K aktivitesi $851,01$ ile $1113,01$ Bq/kg, ^{226}Ra aktivitesi $34,04$ ile $127,35$ Bq/kg ve ^{232}Th aktivitesi ise $32,38$ ile $39,72$ Bq/kg arasında bulunmuştur. Yine çalışmada kullanılan kaolin örneklerinde ise ^{40}K aktivitesi en yüksek $299,30$

Bq/kg, ^{226}Ra 'un aktivitesi 21,14 ile 205,87 Bq/kg arasında ve ^{232}Th aktivitesi ise 23,93 ile 125,56 Bq/kg arasında bulunmuştur. (Özulus, 2020)

2.3.2. Yurtdışında Yürütülmüş Çalışmalar

Ngachin ve arkadaşları, 2007 yılında Kamerun'da yapı malzemelerindeki ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyoizotoplarını ve bu radyoizotopların neden olduğu radyasyon tehlikelerini değerlendirmişlerdir. Çalışmalarında, ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonlarının ortalama değerlerinin sırasıyla $0,35 \pm 0,02$ – 139 ± 13 Bq/kg ve 19 ± 2 – 1161 ± 108 Bq/kg aralığında olduğunu belirlemişlerdir. En yüksek aktivite konsantrasyonları kırmızı tuğla örneklerinde, ^{232}Th için 139 ± 13 Bq/kg ve ^{40}K için 1162 ± 108 Bq/kg olarak tespit edilmiştir. (Ngachin, Garavaglia, Giovani, Kwato Njock, & Nourreddine, 2007)

Trevisi ve arkadaşları, (2011) yılında "Avrupa Birliği ülkelerinde yapı malzemelerinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyon ölçümlerinin yer aldığı bir veri tabanı oluşturma çalışması yapmışlardır. Avrupa Birliği üyesi ülkelerde inşaat sektöründe kullanılan yaklaşık 10.000 adet çeşitli örnekleri incelemişlerdir. Elde edilen veriler, Avrupa Birliği'nde kullanılan tuğla, fosfojips ve beton gibi malzemeler için "Euratom Temel Güvenlik Standartları Direktifi" taslağı hazırlanmış ve bu taslak aktivite konsantrasyon endekslerini hesaplamada temel olarak alınmıştır. Veriler, özellikle volkanik kökenli magmatik taşlarda yüksek konsantrasyonda ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K bulunduğunu ve hacimli taş malzemelerde, metamorfik malzemelerde oldukça düşük doğal radyonüklid içeriği olduğunu göstermiştir. (Trevisi, Risica, D'Alessandro, Paradiso, & Nuccetelli, 2011)

Kuzmonavic ve arkadaşları (2020) yılında Sırbistan'da kullanılan yapı malzemelerinde (beton, harç, kil tuğla, granit, siporex, seramik karo, beton kiremit, çatı kiremit. Toplam 47 adet) HPGe gamma spektrometresi kullanarak ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları belirleme çalışması yapmışlardır. Analiz edilen 47 yapı malzemesinden yalnızca bir örnekte radyum eşdeğer aktivite indeksi önerilen 370 Bq/kg değerinin üzerindedir. Yapı malzemelerinin çoğunun aktivite konsantrasyonları tavsiye edilen değerleri aşmadığı görülmüştür. (Kuzmanović, ve diğerleri, 2020)

Sabbarese ve arkadaşları (2020) yılında İtalya’da otuz bir adet bina materyalinin ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K 'nın aktivite konsantrasyonları HPGe gamma spektrometresi kullanılarak belirlenmiştir. ^{226}Ra için radyoaktivite konsantrasyonları 15–713 Bq/kg, ^{232}Th için 5–1048 Bq/kg ve ^{40}K için 50–11286 Bq/kg arasında değişmektedir. (Sabbarese, Ambrosino, D'Onofrio, & Vincenzo, 2020)

Tuo ve arkadaşları (2020) yılında Pekin’de kullanılan toplam 92 numunede radyonüklidlerin radyoaktivitesini ölçmüşlerdir. Yüksek saflıkta germanyum gama ışın spektrometresi kullanılarak konsantrasyonlar belirlenmiştir. Tüm numunelerdeki ^{226}Ra konsantrasyonu 10.1 ile 661 arasında, ^{232}Th konsantrasyonu 3.3 ile 555 arasında ve ^{40}K aktivite konsantrasyonu 3.2 ile 2945 Bq/kg arasında değişmekte olup, ortalama konsantrasyonlar sırasıyla ^{226}Ra için 127.8, ^{232}Th 114.8 ve ^{40}K 701.5 Bq/kg olarak bulunmuştur. (Tuo, Peng, Zhou, & Zhang, 2020)

İmani ve arkadaşları (2021) yılında İran’da yaygın olarak kullanılan kum ve çakıl, tuğla, çimento, alçı, fayans, seramik, granit, mermer ve mozaiklerin ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları, yarı iletken yüksek saflıkta germanyum gama dedektörü kullanılarak belirlenmiştir. Çalışılan yapı malzemelerinde, ^{226}Ra ortalama aktivite konsantrasyonu $7\pm1 - 301 \pm 7$ Bq/kg, ^{232}Th ortalama aktivite konsantrasyonu $7\pm1 - 47\pm 8$ Bq/kg ve ^{40}K ortalama aktivite konsantrasyonu ise $34\pm 3 - 917\pm 101$ Bq/kg arasında değişmektedir. (Imani, ve diğerleri, 2021)

Othman ve arkadaşları (2022) yılında Erbil’de çeşitli pazarlardan ve yapı malzemeleri tedarikçilerinden rastgele seçilen yapı taşı, beton blok, kum, tuğla, kırmızı tuğla, çimento, beyaz çimento, alçı, alçı levha, kireç taşı, gaz beton, seramik, granit, mermer ve mozaik gibi malzemelerin ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarını NaI(Tl) sintilasyon dedektörü ile ölçtüler. İncelenen örneklerdeki ^{226}Ra aktivite konsantrasyonu ortalama değeri 28 ± 5.5 Bq/kg olarak, ^{232}Th konsantrasyonu ortalama değeri 20.7 ± 4 Bq/kg olarak ve ^{40}K konsantrasyon ortalama değeri 340.8 ± 18 Bq/kg olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, verilerin çoğunluğu yapı malzemeleri için dünya ortalama değerlerinin altında kalmıştır, bu da bu malzemelerden yapılan binaların sakinler için radyolojik olarak güvenli olduğu sonucuna varılmıştır. (Othman, Ahmed, & Mohammed, 2022)

Oborah ve arkadaşları (2023) yılında Kenya'da inşaatlarda yaygın olarak kullanılan 33 adet kil tuğla, beton blok ve kum örneklerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyoaktivite konsantrasyonlarını NaI(Tl) sintilasyon dedektörü ile ölçtüler. ^{40}K için ölçülen aktivite konsantrasyonu 55 ± 3 ile 2647 ± 132 Bq/kg arasında değişirken ortalama değeri 831 ± 42 Bq/kg olarak bulunmuştur. ^{238}U için aktivite konsantrasyonu 39 ± 2 ile 3602 ± 180 Bq/kg arasındadır ve ortalama değer 378 ± 19 Bq/kg'dır. ^{232}Th 'nin aktivite konsantrasyonu ise minimum 5 ± 0.03 Bq/kg ve maksimum 4213 ± 211 Bq/kg arasında olup ortalama değeri 290 ± 15 Bq/kg olarak belirlenmiştir. Çalışma Kenya'da yaygın olarak kullanılan inşaat malzemelerinin ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th konsantrasyonlarının ortalama değerlerinin dünya ortalamasının üzerinde olduğunu ortaya koymuştur. (Oborah, Hashim, Migwi, & Rotich, 2023)

Baha ve arkadaşları (2023) yılında Malezya'da iç mekan dekoratif taşların (granit, porselen, mermer ve kuvars dahil olmak üzere) doğal radyoaktivitesini ölçmek amacıyla HPGe gama spektroskopisi kullanılarak bir çalışma yapmışlardır. Radyoaktivite konsantrasyonları, ^{238}U için 0.23 ile 317.25 Bq/kg, ^{232}Th için 1.35–116.81 Bq/kg ve ^{40}K için 0.74–2712.55 Bq/kg arasında değişmiştir. Çalışma sonucunda Johor, Malezya'da incelenen dekoratif taşların radyolojik açıdan güvenli olduğu ve önemli bir radyolojik tehlike oluşturmadığı belirtilmiştir. (Baha, ve diğerleri, 2023)

3. Ölçüm Yöntemi

3.1. Materyal ve Metot

3.1.1. Örneklerin Hazırlanma Süreci

Kullanılan malzemeler; Antalya'nın yerel üreticilerden ve satıcılardan temin edilen çimento, derz, sıva, yapıştırıcı ve tuğladır ve yüksek enerji gama spektroskopisi kullanılmıştır. Materyallerin seçiminde Antalya'daki her yapıda ortak olarak kullanılan yapı malzemelerinin türü dikkate alınmıştır. Yerel satıcıdan alınan tuğlalar tanecik boyutu 80 Mesh olacak şekilde kırılmış ve elenmiştir. Daha sonrasında tüm örnekler kurutulmuştur. Radon kaçıışını engellemek için 7 cm çaplı 77 cc'lik silindirik kaplara konan numunelerin ağzı kapatılarak ^{226}Ra ve ürünleri arasındaki radyoaktif dengenin oluşması için yaklaşık olarak 1 ay süreyle bekletilmiştir. Radonun kısmi kaçıış nedeniyle bozulan radyoaktif denge, örneklerin hazırlanması sürecinde yeniden kurulmuştur.

Ağzı kapatılan 28 farklı örnek her bir örnekten üç tekrar yapılarak ve üç tekrarın ortalaması alınarak yaklaşık olarak bir gün boyunca sayılmıştır.



Şekil 3.1 Ürünlerin konulduğu sayım kabı

3.1.2. Örneklerin Analizi ve Kullanılan Sistemin Yapısı

Bir aylık bekleme süresinin ardından yüksek enerjili gama ışınları ölçümleri Aristoteles Üniversitesi Nükleer Teknoloji Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Ölçümlerde Eurisys p - tipi koaksiyel Germanyum Dedektörü kullanılmıştır. (EGPC 50-210-R Seri Numarası: 53259). Gama spektrometre sisteminin çalışma voltajı 3500 V'tur. Kullanılan germanyum dedektörünün ölçülen ayırma gücü:

- 122 keV’ de 0,75 keV
- 1332 keV’ de 1,75 keV’dir.

1332 keV ‘de sistemin rölatif verimi 50.1% dir. Pik/Compton oranı ise 77’dir. Germanyum kristalinin karakteristik  zellikleri;

- Dış  apı: 66.9 mm
- Hassas hacim: 192 cm³
- Uzunluk: 56.3 mm
-  rnek kabından uzaklık: 5 mm
-  l  katman: 500  Ge

Kristal alüminyum kılıfla kaplıdır. Alüminyum kılıfın uzunluğu 165 mm, çapı 90 mm ve kalınlığı 1 mm’den azdır. Gama spektrometresinde PSC 821 tipi preamplifikatör kullanılmıştır.



şekil 3.2 çalışmada kullanılan gama spektrometre sistemi.

Dedektör koruması Eurisys tarafından sağlanmıştır. Sayımlardaki standart belirsizlik %10'dur. (Kaissas, Clouvas, Postatziis, Xanthos, & Omirou, 2023)

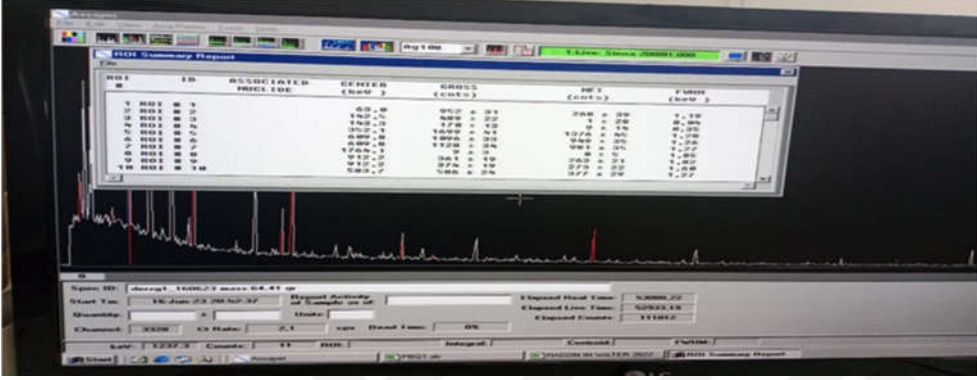
Gama spektroskopisi, günümüzde nükleer analizlerde en sık tercih edilen yöntemlerden biridir. Bu yöntem, örneklerin herhangi bir işlemde geçirilmeden analiz edilmesini mümkün kılar ve tek bir ölçümle, örnek içerisinde bulunan farklı elementlerin gama yayan izotopların eş zamanlı gözlemlenmesini sağlar. Gamalar, yüksek enerjili elektromanyetik dalgalar olduklarından maddeden geçerken yoğunlukları bir miktar azalır; bu nedenle örnekteki kendi kendine absorpsiyon ihmal edilebilecek düzeydedir. Bu durum, sayım istatistiğinin iyileştirilerek ve analiz süresini kısaltarak örneğin miktarının büyük tutulmasına olanak tanır.

Örneklerin sayıldığı laboratuvar (ALMERA, 2023) “**IAEA-TERC-2023-01/02 Proficiency Test Exercise on the determination of anthropogenic and natural radionuclides in water, soil and simulated contaminated surface samples.**” kalibrasyon çalışmasına katılmıştır. Kullanılan gama spektrometre sisteminin enerji ve verim kalibrasyonu IAEA tarafından sağlanan kaynaklarla yapılmıştır.

IAEA, ALMERA ağı üyeleri için düzenli olarak yeterlilik testleri ve laboratuvarlar arası karşılaştırma çalışmaları yapmaktadır. Bu çalışmalar, ağ üyelerinin performansını ve analitik yeteneklerini izlemek, sergilemek ve geliştirilmesi gereken alanları belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Katılımcı laboratuvarlara gönderilen numune seti, antropojenik ve doğal alfa, beta ve gama yayıcı radyonüklidleri belirlemek üzere çeşitli çevresel örnekler içermektedir. IAEA, ALMERA ağı için yılda en az bir kez çalışma düzenlemektedir. Katılımcılar, ölçüm sonuçlarını istedikleri radyonüklidler üzerinde bildirebilirler; tüm istenen radyonüklidler üzerinde sonuç bildirme zorunluluğu yoktur. Sonuçların değerlendirilmesi, yalnızca katılımcı laboratuvarların bildirdiği ölçüm sonuçlarına dayalı olarak yapılmaktadır.

ALMERA yeterlilik testlerinin bir özelliği, ALMERA üyelerine acil durum müdahalesinde gerekli olduğu gibi, gama yayıcı radyonüklidler üzerindeki sonuçlarını çok kısa bir süre içinde bildirme imkânı verilmesidir. (ALMERA, 2023)

Örneklerdeki radyonüklid konsantrasyonlarını belirlerken seçilen gama pikleri, ürünün yarılanma süresi, çekirdekten yayınlanma yoğunluğu, enerji ve spektrumdaki diğer gama ışınlarıyla karışmaması ve etkileşmemesi gibi etkenler göz önünde bulundurularak seçilmiştir. Bu nedenle, kompleks olmayan pikler tercih edilmiştir. ^{238}U serisinden ^{214}Pb (352 keV) ve ^{214}Bi 'nin (609 keV), ^{232}Th serisinden ^{228}Ac 'ın (911 keV) ve ^{40}K için 1461 keV'lik gama ışını zirveleri ölçüldü. (Omiro, Clouvas, Leontaris, & Kaissas, 2023)



Şekil 3.3 D1 nolu örneğe ait gama spektrumu

Farklı radyonüklidlerin gama enerjileri birbirine yakın olduğunda, o kanala diğer kanallardan gelen katkıların çıkarılması gerekmektedir. Bu katkı oranları, "sıyırma faktörleri" olarak adlandırılan ve kullanılan spektrometrenin ayarlarına ve geometrisine bağlı olarak belirlenen oranlardır. Bu faktörler alfa, beta ve gama olarak tanımlanır ve standartların kullanımıyla belirlenir. Alfa, spektrumlarda toryumdan uranyuma, beta toryumdan potasyuma ve gama ise uranyumdan potasyuma gelen katkıları belirler. Standart konsantrasyonlarla belirlenen enerji aralıkları ve geometriye ait duyarlılık faktörleri ise K_{Th} , K_U ve K_K olarak ifade edilir.

Faktörlerin birlikte kullanımı ve her bir radyoelementin konsantrasyonu $e_{Th}(\text{ppm})$, $e_{U(Ra)}(\text{ppm})$ ve $\% K$ olarak elde edilir.

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

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

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

Radyoelementlerin konsantrasyonları Bq.kg⁻¹ olarak verilmiştir. 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 aktiviteleridir.

m : Örneklerin kg cinsinden kütlesidir.

t : Saniye olarak ölçülen süredir.

I : Belirlenen enerjide gamanın çekirdekten çıkış intensitesidir.

ϵ_i : Dedektör için seçilen gama enerjisindeki verimidir.

$C_{i(net)}$: Sayımlarında katkı düzeltmesi yapıldıktan sonra örneklerin net sayımlarıdır.

Antalya’da inşaatlardaki çimento, tuğla, sıva, derz ve yapıştırıcı gibi örneklerdeki radyonüklid konsantrasyonları hem Bq/kg hem de ppm olarak belirlenmiş ve aktivite sınırlaması için;

$$I = \frac{A_{Ra}}{300 \text{ Bq/kg}} + \frac{A_{Th}}{200 \text{ Bq/kg}} + \frac{A_K}{3000 \text{ Bq/kg}} \quad (5)$$

(5) nolu bağıntı kullanılarak örneklerin tek tek toplam aktivite indisleri hesaplanmıştır. Verilen eşdeğer Radium aktivitesinin hesaplanmasına ilişkin;

$$Ra_{eq} = A_{Ra} + (A_{Th} \times 1,43) + (A_K \times 0,077) \quad (6)$$

(6) nolu bağıntı kullanılarak her bir örneğe Ra_{eq} hesaplanmıştır.

Doz sınırlamaları için ise;

$$D_R(nGyh^{-1}) = 0,92 \times A_{Ra} + 1,1 \times A_{Th} + 0,08 \times A_K \quad (7)$$

(7) nolu bağıntı ile örneklerden kaynaklanabilecek bina içi yıllık doz oranları tahmin edilmiştir. (Özulus, 2020)

Radyoaktif maddelerin yerden 1 metre yükseklikte havaya yaydığı doz oranları (8) ve (9) nolu bağıntılar kullanılarak hesaplanmıştır.

$$D_{out} (nGyh^{-1}) = 0.429A_{Ra} + 0.606A_{Th} + 0.0417A_K \quad (8)$$

$$D_{in} (nGyh^{-1}) = 0.92A_{Ra} + 1.1A_{Th} + 0.081A_K \quad (9)$$

Bir insanın yapı malzemelerinde bulunan radyonüklidlerin radyoaktivite konsantrasyonu nedeniyle yıllık aldığı doz yıllık etkin eşdeğer doz ile hesaplanır.

$$AEDE_{out}(mSvy^{-1}) = D_{out}(nGyh^{-1}) \times 8760 (hy^{-1}) \times 0.2 \times 0.7 (Sv Gy^{-1}) \times 10^{-6} \quad (10)$$

$$AEDE_{in}(mSvy^{-1}) = D_{in}(nGyh^{-1}) \times 8760 (hy^{-1}) \times 0.8 \times 0.7 (Sv Gy^{-1}) \times 10^{-6} \quad (11)$$

8760 saat bir yıl içindeki zamanı, 10^{-6} nano birimden mili birime dönüşüm katsayısını, $0.7 (Sv Gy^{-1})$ etkin doza dönüşüm faktörü ve 0.2 dış ortam faktörünü temsil eder. Dış ortam faktörü için, zamanın %20'sinin dışarıda, geri kalan %80'inin ise iç mekanlarda geçirildiği varsayılır.

Kişinin yaşamı boyunca belirli bir radyasyon dozuna maruziyeti sonucunda kansere maruz kalma ihtimali bulunmaktadır. Kapalı ortamlarda geçirilen süre boyunca bu doza maruziyetin sebep olduğu akciğer kanseri riskini hesaplamak için (12), (13) ve (14) nolu bağıntılar kullanılmaktadır.

$$ELCR_{in} = AEDE_{in} (mSvy^{-1}) \times DL(yıl) \times RF(Sv^{-1}) \quad (12)$$

$$ELCR_{out} = AEDE_{out} (mSvy^{-1}) \times DL(yıl) \times RF(Sv^{-1}) \quad (13)$$

$$ELCR_{top} = ELCR_{in} + ELCR_{out} \quad (14)$$

DL insanın ortalama yaşam süresini (70 yıl) ve RF ise risk faktörünü ($0.05 Sv^{-1}$) ifade etmektedir. (Gebremeskel, Deressu, & Chaubey, 2022) Risk faktörü, Uluslararası Radyoloji Koruma Komisyonu'na (ICRP) göre stokastik etkilerde ölümcül kanser riskini ifade etmektedir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Çimentolardaki Bulgular

Antalya ilinde yaygın olarak kullanılan 12 adet çimento örneği içerisindeki potasyum, radyum ve toryum radyonüklid aktiviteleri yüksek enerjili gama spektrometresiyle belirlenmiştir. Ölçümler neticesinde radyonüklid tayinleri Bq/kg olarak Tablo 4.1’ de görülmektedir. Çalışmada kullanılan çimento örneklerindeki ^{40}K aktivitesi 24,69 ile 546,12 Bq/kg arasındadır. ^{40}K aktivitesi en yüksek Ç2’nindir. ^{226}Ra ’un aktivitesi 65,06 ile 102,64 Bq/kg arasındadır. Ç9 örneğinde ^{226}Ra aktivitesi en yüksektir. Örneklerde hesaplanan aktivitesi ^{232}Th için 11,04 ile 81,71 Bq/kg arasındadır ve ^{232}Th aktivitesi en yüksek Ç11’dedir. Kullanılan çimentolarda R_{eq} değerleri de 118,56 ile 252,506 arasındadır. Hesaplanan en büyük R_{eq} değeri 252,506 ile Ç9 örneğidir.

Örneklerin aktivite sınırlamalarını değerlendirmek için aktivite konsantrasyonları ile (5) nolu eşitlik kullanılmıştır. Değerler 0,40 ile 0,90 arasında değişmiş ve sonuçlar uluslararası standartlara göre değerlendirildiğinde çimento örneklerinin yapılarda kullanılmalarında herhangi bir sakınca olmadığı sonucuna varılmıştır.

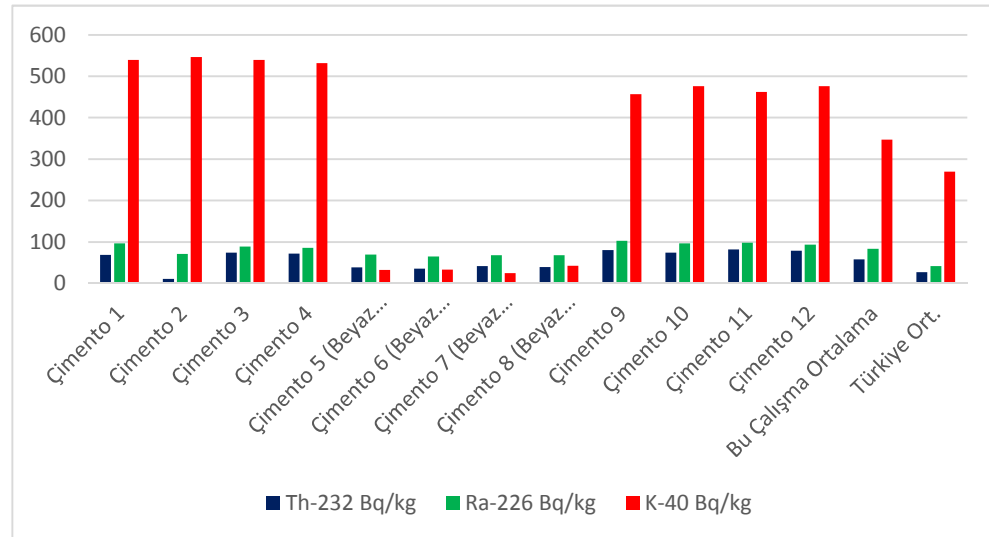
Tablo 4.1 Çimentolarda aktivite konsantrasyonları

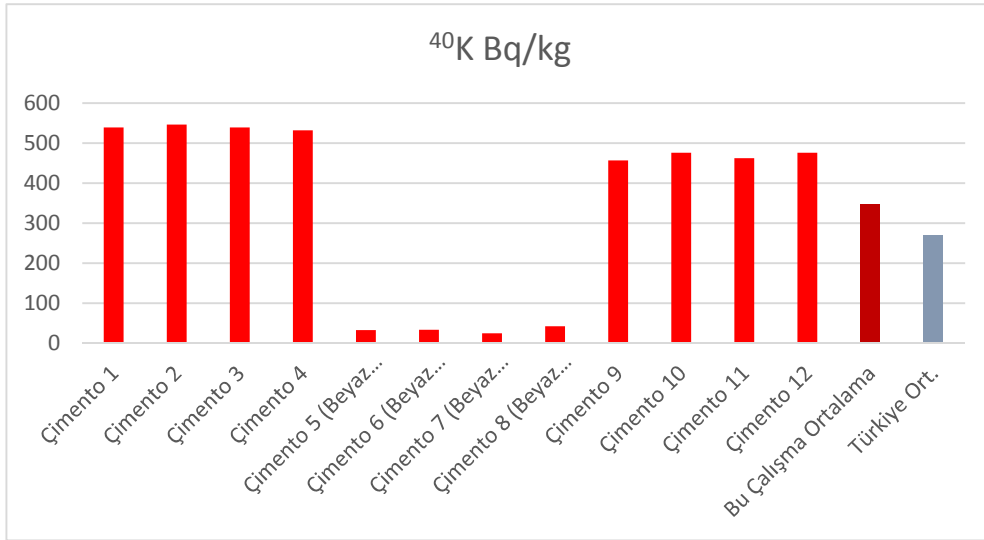
Örnek	^{226}Ra Bq/kg	^{232}Th Bq/kg	^{40}K Bq/kg	Doz hızı mrem/y	Ra_{eq}	I
Çimento 1	97	69	539	208	237	0,84
Çimento 2	72	11	546	122	129	0,47
Çimento 3	90	74	539	207	237	0,84
Çimento 4	86	72	532	201	230	0,82
Çimento 5 (Beyaz Çimento)	69	38	33	108	126	0,43
Çimento 6 (Beyaz Çimento)	65	35	33	101	118	0,40
Çimento 7 (Beyaz Çimento)	68	42	25	111	130	0,44
Çimento 8 (Beyaz Çimento)	68	40	43	110	128	0,44
Çimento 9	103	80	457	219	253	0,89
Çimento 10	97	74	476	209	237	0,85
Çimento 11	98	82	462	217	250	0,88
Çimento 12	93	79	476	206	243	0,86

Çalışmada 12 adet çimento örneğinin $\text{eU}(\text{Ra})(\text{ppm})$, $\text{eTh}(\text{ppm})$ ve $\%K$ olarak radyonüklid konsantrasyonları tablo 4.2’ de verilmiştir. Tabloya göre $\text{eU}(\text{Ra})(\text{ppm})$ sonuçları 1 ppm ile 1,90 ppm arasında değişmektedir. Örneklerdeki en yüksek aktivite konsantrasyon Ç10 örneğinde 1,90 ppm olarak hesaplanmıştır. eTh ölçümlerinin 1,10 ppm ile 2,40 ppm arasında tayin edilmiştir. En yüksek eTh konsantrasyonu ise 2,40 ppm ile Ç10 nolu örnekte hesaplanmıştır. $\%K$ değerleri ise 4 ppm ile 11,20 ppm arasında değişmektedir. En yüksek potasyum aktivite konsantrasyonu da Ç10 nolu örnekte hesaplanmıştır.

Tablo 4.2 Çimentolarda eU(Ra), eTh ve % K konsantrasyonları

Örnek	%K	eU(Ra) (ppm)	eTh (ppm)
Çimento 1	8	1	1
Çimento 2	8	1	2
Çimento 3	8	1	2
Çimento 4	8	1	2
Çimento 5 (Beyaz Çimento)	4	1	1
Çimento 6 (Beyaz Çimento)	3	1	1
Çimento 7 (Beyaz Çimento)	5	1	2
Çimento 8 (Beyaz Çimento)	5	1	2
Çimento 9	10	2	2
Çimento 10	11	2	2
Çimento 11	10	2	2
Çimento 12	10	2	2

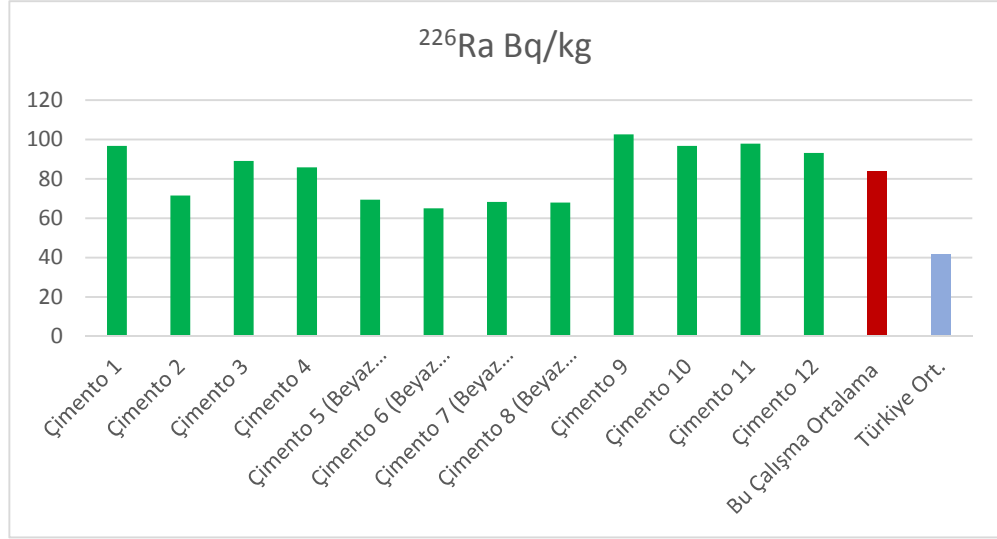
**Şekil 4.1** Çimentolarda ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları



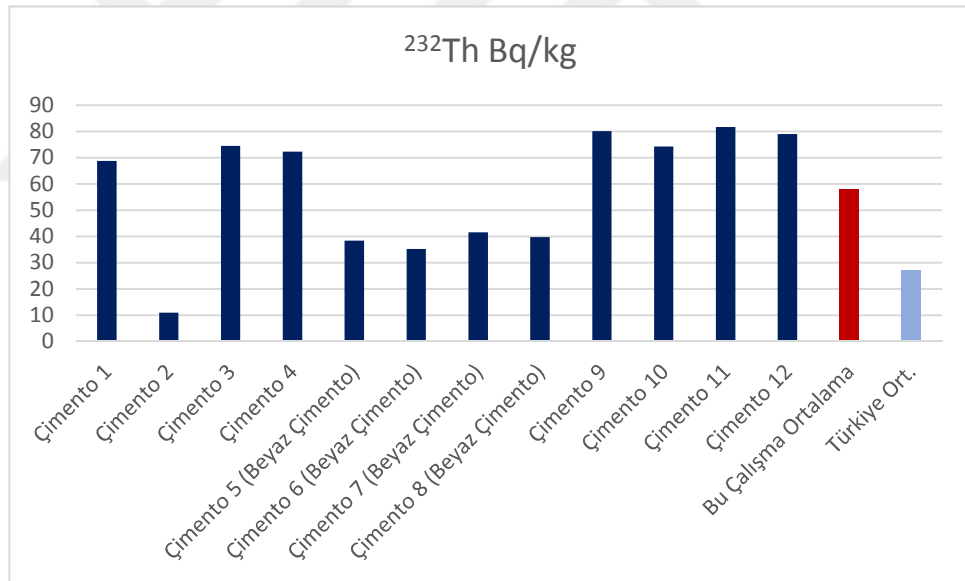
Şekil 4.2 Çimentolarda ^{40}K aktivite konsantrasyonları

Çalışmada sadece beyaz çimento örneklerinde ^{40}K aktivite konsantrasyonları Türkiye ortalamasından düşüktür. Diğer çimento örneklerinde ^{40}K aktivite konsantrasyonu Türkiye ortalamasından yüksektir. Çimento örneklerin tümünde ^{226}Ra aktivite konsantrasyonları Türkiye ortalamasının üstündedir. Ç2 örneği için ^{232}Th aktivite konsantrasyonu Türkiye ortalamasının altındadır ve diğer örneklerde konsantrasyon ortalamasının üstündedir.

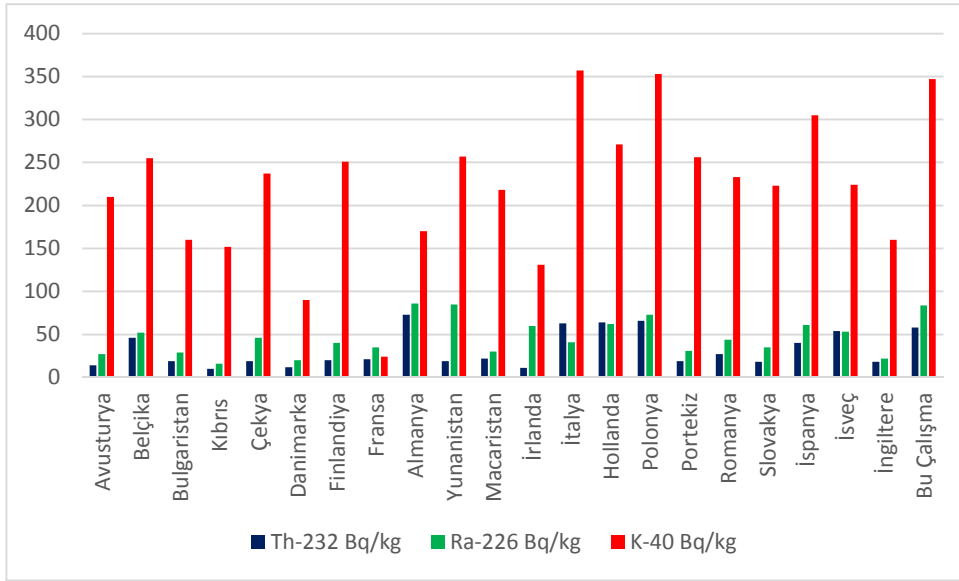
Çalışmada çimento örneklerindeki değerler Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi'ne (UNSCEAR) raporundaki sınırlamalara yakındır. Doz tayini hesaplamaları çoğunlukla tek bir bina malzemesi için yapılırken, gerçek hayatta binanın iç ortamındaki doz hızına tüm yapı malzemelerinin toplam katkısı çok daha yüksek olacaktır. (UNSCEAR, SOURCES AND EFFECTS OF IONIZING RADIATION, 2000)



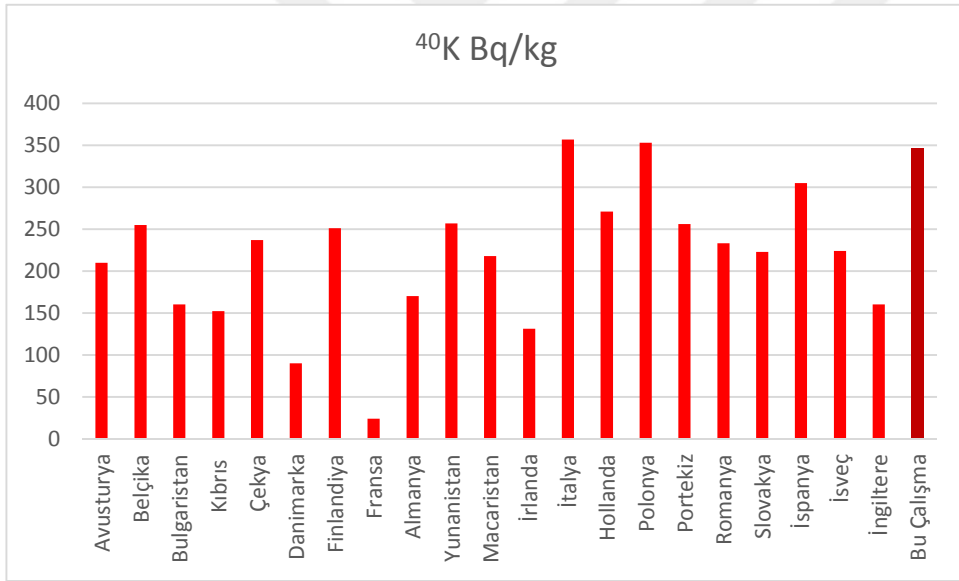
Şekil 4.3 Çimentolarda ^{226}Ra aktivite konsantrasyonları



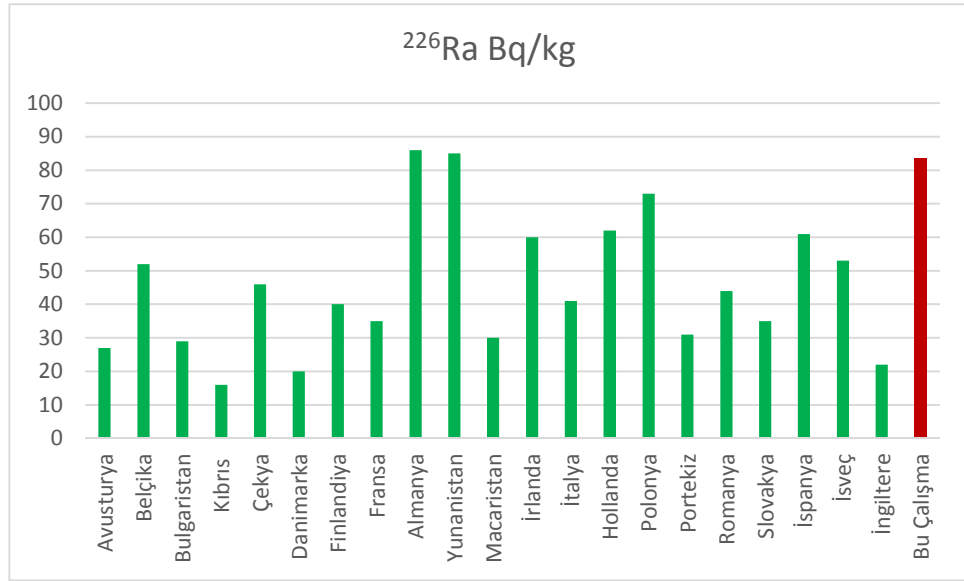
Şekil 4.4 Çimentolarda ^{232}Th aktivite konsantrasyonları



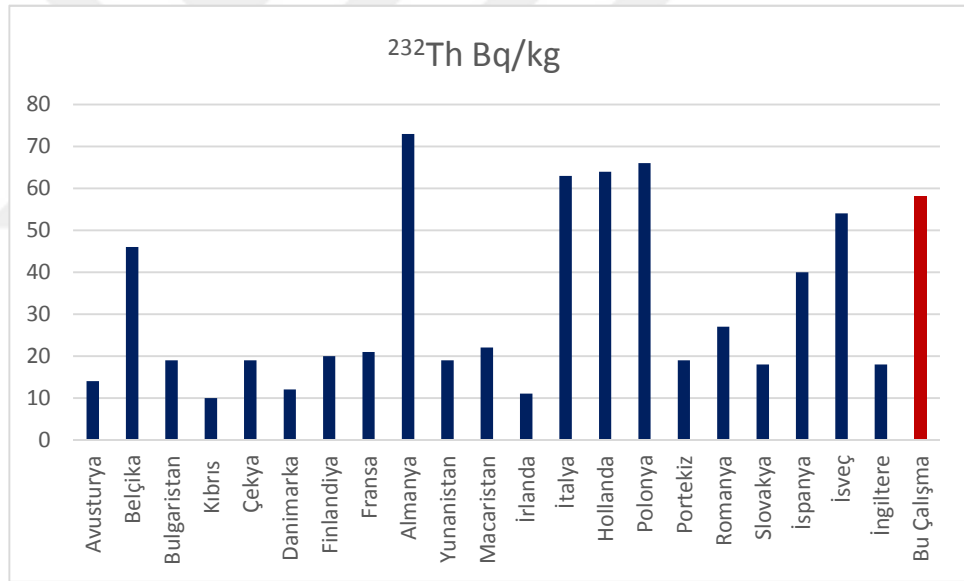
Şekil 4.5 Avrupa Birliği ülkelerde çimentolarda ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları



Şekil 4.6 Avrupa Birliği ülkelerde çimento örneklerindeki ^{40}K aktivite konsantrasyonları



Şekil 4.7 Avrupa Birliği ülkelerde çimento örneklerindeki ^{226}Ra aktivite konsantrasyonları



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

4.2. Tuğlalardaki Bulgular

Çalışmada Antalya ilinde yaygın olarak kullanılan 4 adet tuğla örneği içerisindeki potasyum, radyum ve toryum radyonüklid aktiviteleri yüksek enerjili gama spektrometresiyle belirlenmiştir. Ölçümler neticesinde radyonüklid tayinleri

Bq/kg olarak Tablo 4.3' de görülmektedir. Çalışmada kullanılan tuğla örneklerindeki ^{40}K aktivitesi 481 ile 519 Bq/kg arasındadır. Örnekler içerisinde T4'te ^{40}K aktivitesi en yüksektir. ^{226}Ra 'un aktivitesi 73 ile 82 Bq/kg arasındadır ve ^{226}Ra aktivitesi en yüksek T1'dedir. Örneklerdeki ^{232}Th aktivitesi ise 58 ile 65 Bq/kg arasındadır ve ^{232}Th aktivitesi yine en yüksek T1'dedir. Tuğla örneklerinde hesaplanan Ra_{eq} değerleri de 158 ile 178 arasındadır. Hesaplanan en büyük Ra_{eq} değeri 178 ile T1 örneğidir.

Örneklerin aktivite sınırlamalarını değerlendirmek için aktivite konsantrasyonları ile (5) nolu eşitlik kullanılmıştır. Değerler 0,68 ile 0,76 arasında değişmiş ve sonuçlar uluslararası standartlara göre değerlendirildiğinde tuğla örneklerinin yapılarda kullanılmalarında herhangi bir sakınca olmadığı sonucuna varılmıştır.

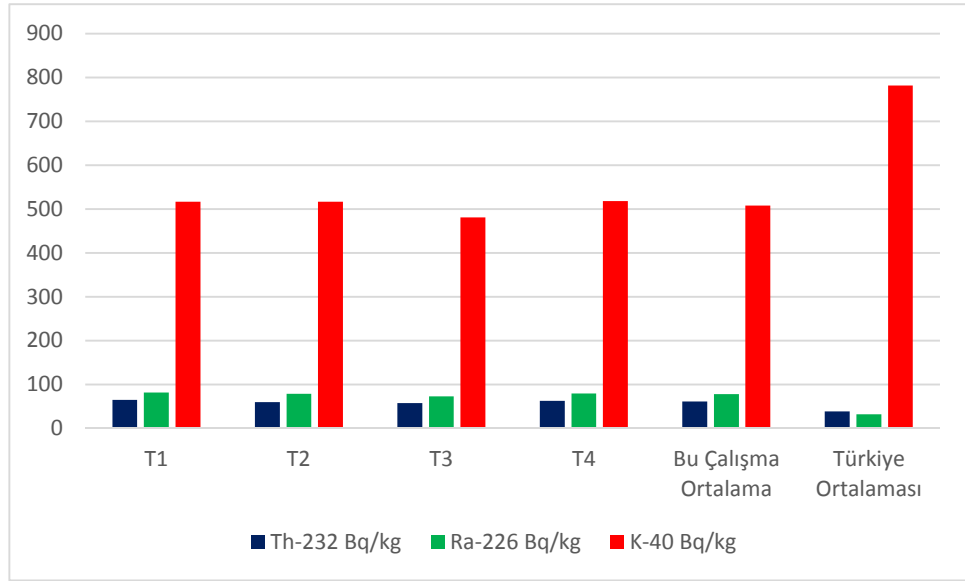
Tablo 4.3 Tuğlalarda aktivite konsantrasyonları

Örnek	^{226}Ra Bq/kg	^{232}Th Bq/kg	^{40}K Bq/kg	Doz hızı mrem/y	Ra_{eq}	I
Tuğla 1	82	65	517	188	178	0,76
Tuğla 2	79	59	517	179	167	0,73
Tuğla 3	72	57	481	167	158	0,68
Tuğla 4	79	63	518	183	173	0,74

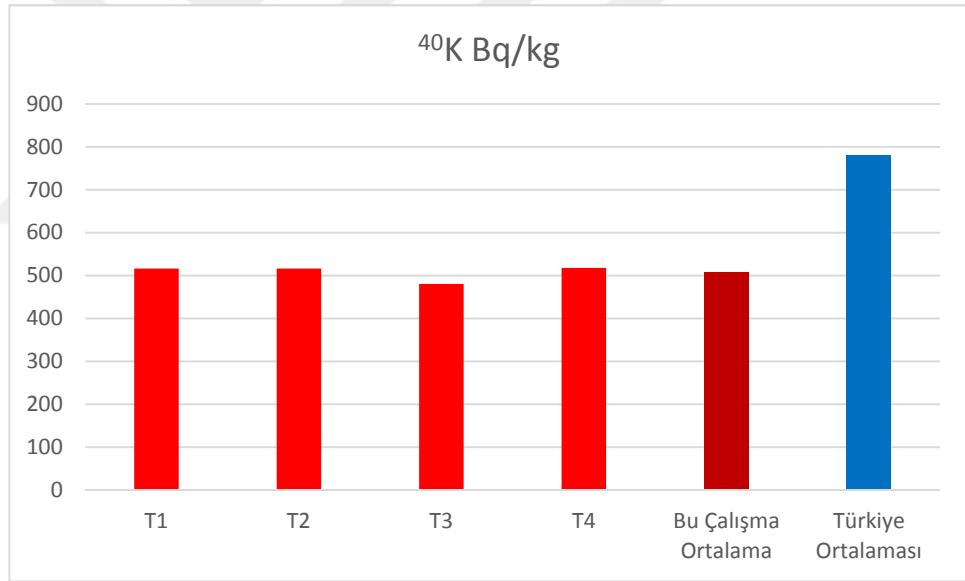
Çalışmada 4 adet tuğlanın $\text{eU}(\text{Ra})$ (ppm), eTh (ppm) ve %K radyonüklid konsantrasyonları tablo 4.4' de verilmiştir. Tabloda verildiği gibi $\text{eU}(\text{Ra})$ (ppm) sonuçları 1,30 ppm ile 1,60 ppm arasında değişmektedir ve en yüksek konsantrasyon T4'tedir. eTh 1,60 ile 2 ppm arasındadır. eTh konsantrasyonu ise 2 ppm olarak T4 nolu örnekte en yüksektir. %K değerleri ise 9 ile 11 ppm arasındadır. Potasyum konsantrasyonu ise T4 nolu örnekte en yüksektir.

Tablo 4.4 Tuğlalarda $\text{eU}(\text{Ra})$, eTh ve % K konsantrasyonları

Örnek	%K	$\text{eU}(\text{Ra})$ (ppm)	eTh (ppm)
Tuğla 1	10	2	2
Tuğla 2	10	1	2
Tuğla 3	9	1	1
Tuğla 4	11	2	2

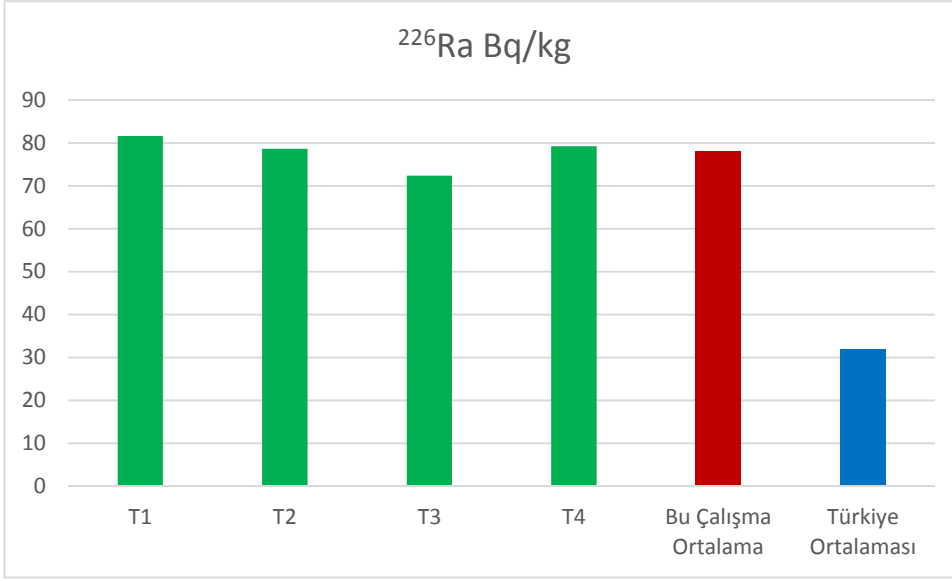


Şekil 4.9 Tuğlalarda ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları

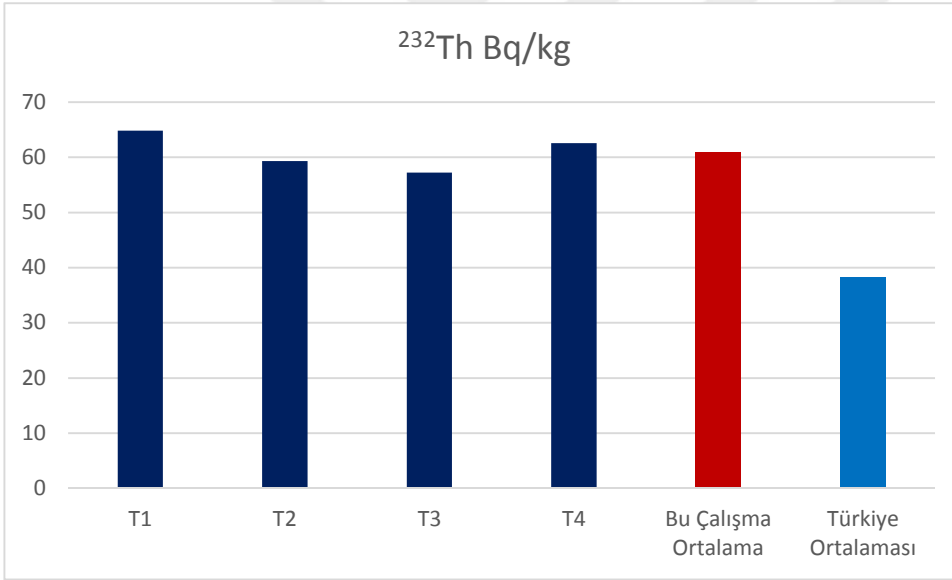


Şekil 4.10 Tuğlalarda ^{40}K aktivite konsantrasyonları

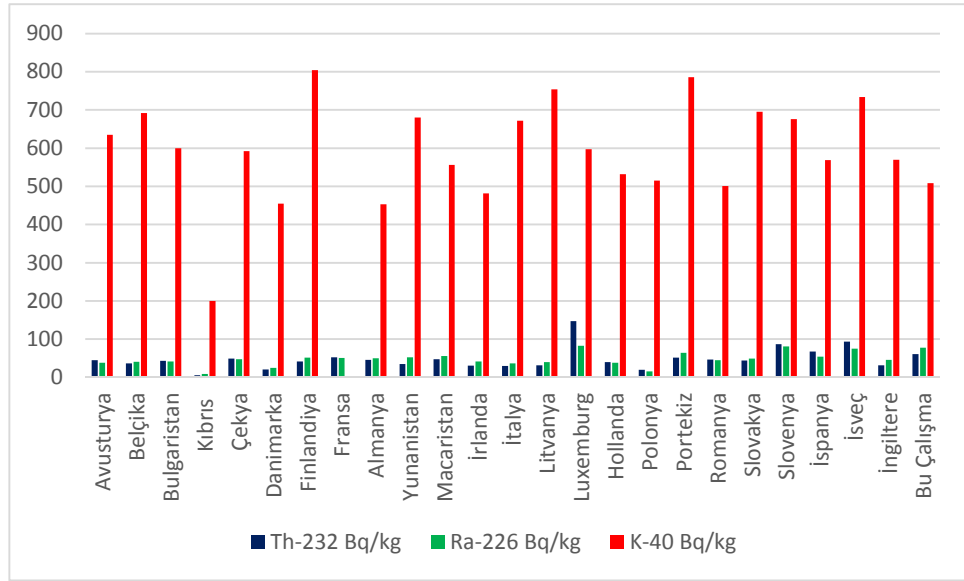
Çalışmadaki bütün tuğla örneklerinde ^{40}K aktivite konsantrasyonları Türkiye ortalamasından düşüktür. Tuğla örneklerin hepsinde ^{226}Ra ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları Türkiye ortalamasının üstündedir.



Şekil 4.11 Tuğlalarda ^{226}Ra aktivite konsantrasyonları



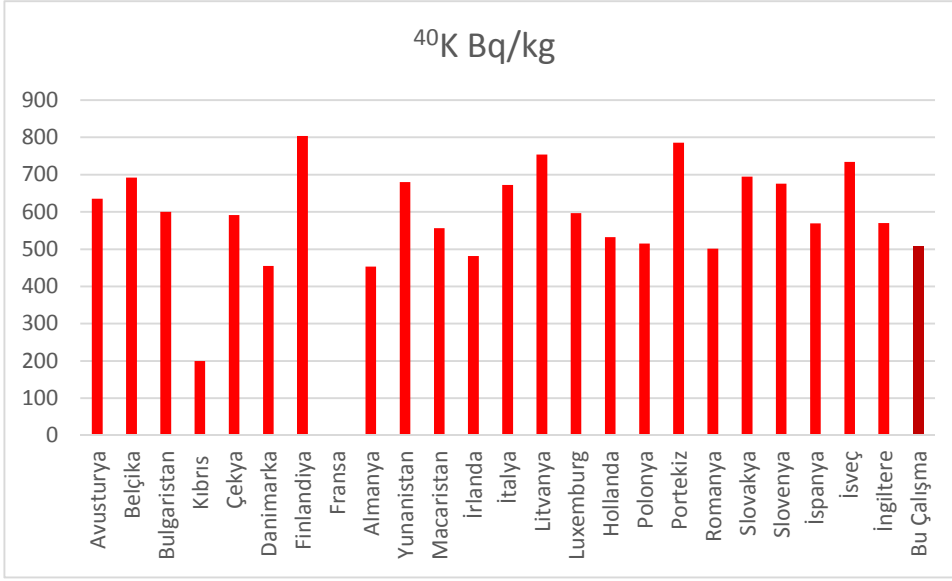
Şekil 4.12 Tuğlalarda ^{232}Th aktivite konsantrasyonları



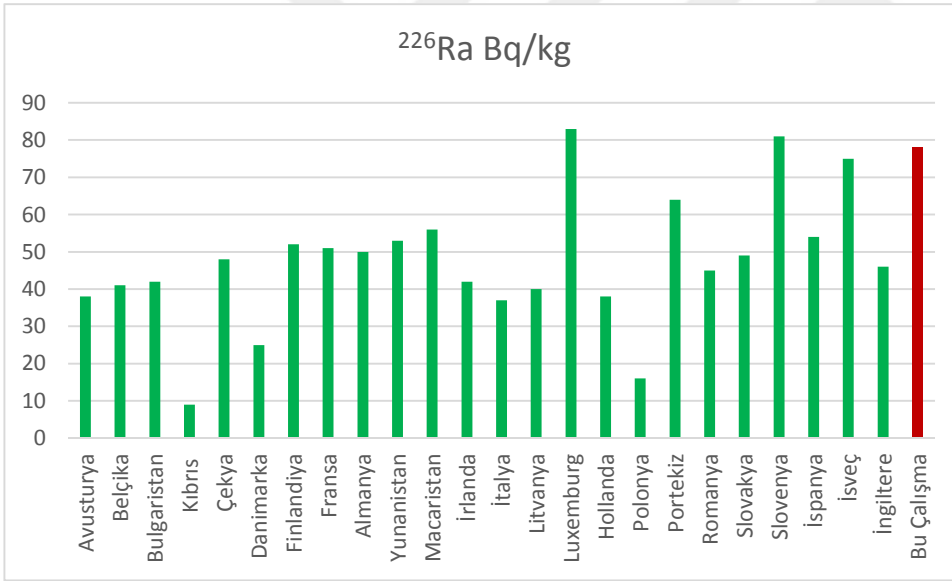
Şekil 4.13 Avrupa Birliği ülkelerde tuğlalarda ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları

Avrupa ülkelerindeki ^{226}Ra aktivite konsantrasyonları Luxemburg ve Slovenya'daki bulunan değerler haricinde çalışmada bulunduğumuz konsantrasyonların altındadır. ^{232}Th aktivite konsantrasyonları Luxemburg, Slovenya ve İsveç'te bulunan aktiviteler çalışmada bulunduğumuz aktivite konsantrasyonlarından yüksektir. Tuğla örneklerinde bulunduğumuz ^{40}K aktivite konsantrasyonları birçok Avrupa ülkelerinin konsantrasyonlarının altında kalmıştır. Kıbrıs'tan alınan örneklerde, ^{226}Ra , ^{40}K ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları hem diğer ülkelerdeki sonuçlardan hem de bizim çalışmamızda bulunan sonuçlardan daha düşük bulunmuştur.

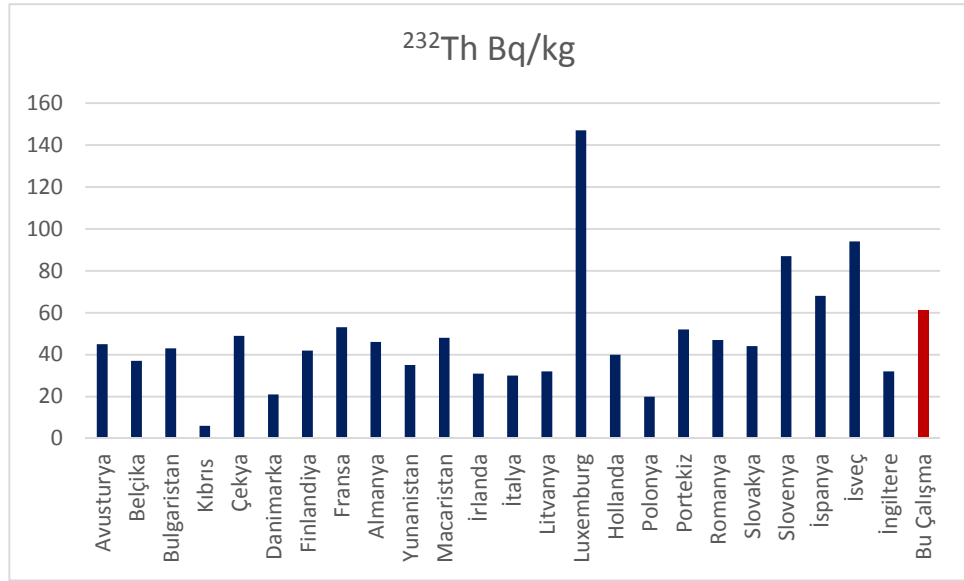
Çalışmada tuğla örneklerindeki ^{232}Th ve ^{226}Ra konsantrasyonları Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi'ne (UNSCEAR) (1982) raporunda belirtilen endüstriyel kaynaklı kırmızı çamur tuğlasının ^{232}Th ve ^{226}Ra konsantrasyonundan düşük bulunmuştur. Çalışmadaki her 4 tuğla örneğinin ^{40}K konsantrasyonu ise raporda belirtilen değerden yüksek bulunmuştur. (UNSCEAR, IONIZING RADIATION: SOURCES AND BIOLOGICAL EFFECTS, 1982)



Şekil 4.14 Avrupa Birliği ülkelerde tuğlalarda ^{40}K aktivite konsantrasyonları



Şekil 4.15 Avrupa Birliği ülkelerde tuğlalarda ^{226}Ra aktivite konsantrasyonları



Şekil 4.16 Avrupa Birliği ülkelerde tuğlalarda ^{232}Th aktivite konsantrasyonları

4.3. Yapıştırıcılardaki Bulgular

Yine çalışmada Antalya ilinde yaygın olarak kullanılan 4 farklı yapıştırıcı örneği içerisindeki potasyum, radyum ve toryum radyonüklid aktiviteleri yüksek enerjili gama spektrometresiyle belirlenmiştir. Ölçümler neticesinde radyonüklid tayinleri Bq/kg olarak Tablo 4.5’ de görülmektedir. Çalışmada kullanılan yapıştırıcı örneklerindeki ^{40}K aktivitesi 2 ile 20 Bq/kg arasındadır. Örnekler içerisinde Y2 örneğinin ^{40}K aktivitesi en yüksektir. Hesaplanan ^{226}Ra aktivitesi 7 ile 14 Bq/kg arasındadır ve ^{226}Ra aktivitesi Y1 örneğinin en yüksek hesaplanmıştır. Hesaplanan ^{232}Th aktivitesi ise 1 ile 4 Bq/kg arasındadır. Y2 örneğinde ^{232}Th aktivitesi en yüksektir. Tuğlaların R_{eq} değerleri de 11 ile 19 arasındadır. Örnekler arasında Y2’nin R_{eq} değeri en büyüktür.

Örneklerin aktivite sınırlamalarını değerlendirmek için aktivite konsantrasyonları ile (5) nolu eşitlik kullanılmıştır. Değerler 0,04 ile 0,06 arasında değişmiş ve sonuçlar uluslararası standartlara göre değerlendirildiğinde yapıştırıcı örneklerinin yapılarda kullanılmalarında herhangi bir sakınca olmadığı sonucuna varılmıştır.

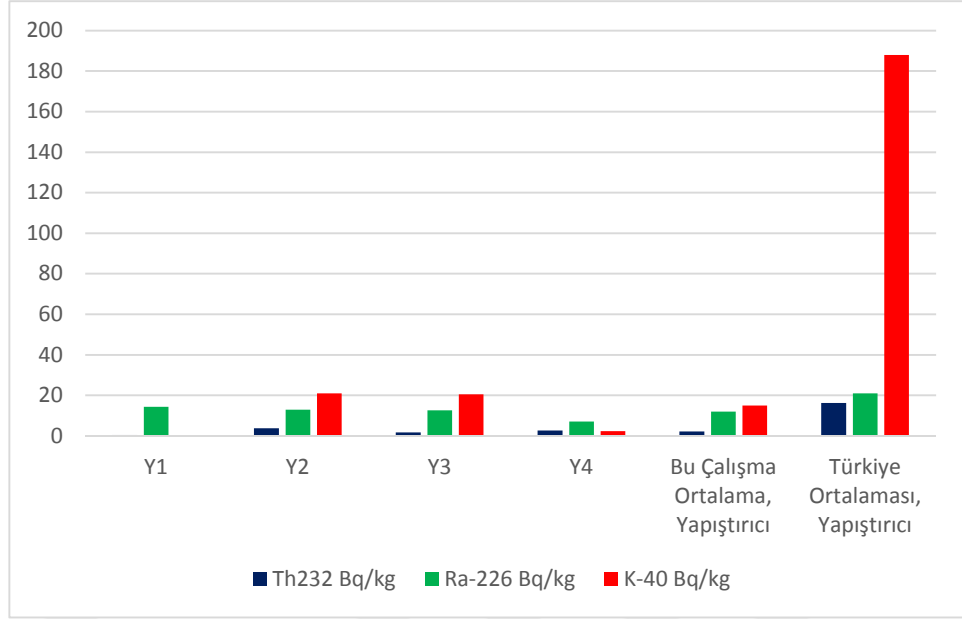
Tablo 4.5 Yapıştırıcılarda aktivite konsantrasyonları

Örnek	²²⁶ Ra Bq/kg	²³² Th Bq/kg	⁴⁰ K Bq/kg	Doz hızı mrem/y	Ra _{eq}	I
Yapıştırıcı 1	14	1	UD	14	15,74	0,05
Yapıştırıcı 2	13	4	21	18	18,64	0,06
Yapıştırıcı 3	13	2	21	16	15,54	0,05
Yapıştırıcı 4	7	3	2	10	11	0,04

Çalışmada 4 adet yapıştırıcının eU(Ra)(ppm), eTh(ppm) ve %K olarak radyonüklid konsantrasyonları tablo 4.6’ da verilmiştir. Tablodaki gibi eU(Ra)(ppm) sonuçları her 4 örnek için yaklaşık olarak 1 ppm olarak görülmektedir. eTh ölçümleri de her örnek için yaklaşık olarak 1 ppm’dir. %K değerleri ise 2 ppm ile 4 ppm arasında değişmektedir. En yüksek potasyum konsantrasyonu Y2 nolu örnekte hesaplanmıştır.

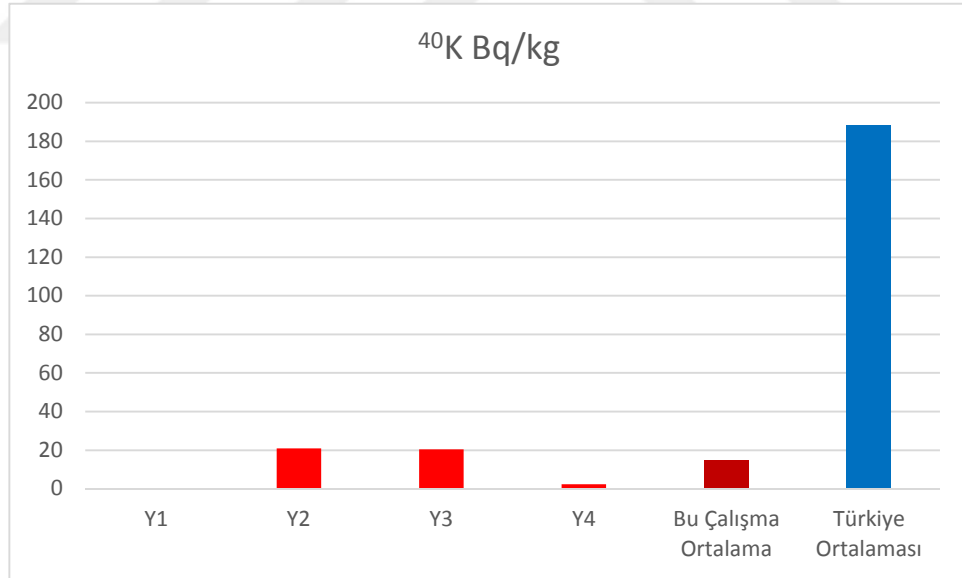
Tablo 4.6 Yapıştırıcılarda eU(Ra), eTh ve % K konsantrasyonları

Örnek	%K	eU(Ra) (ppm)	eTh (ppm)
Yapıştırıcı 1	3	1	1
Yapıştırıcı 2	4	1	1
Yapıştırıcı 3	3	1	1
Yapıştırıcı 4	3	1	1

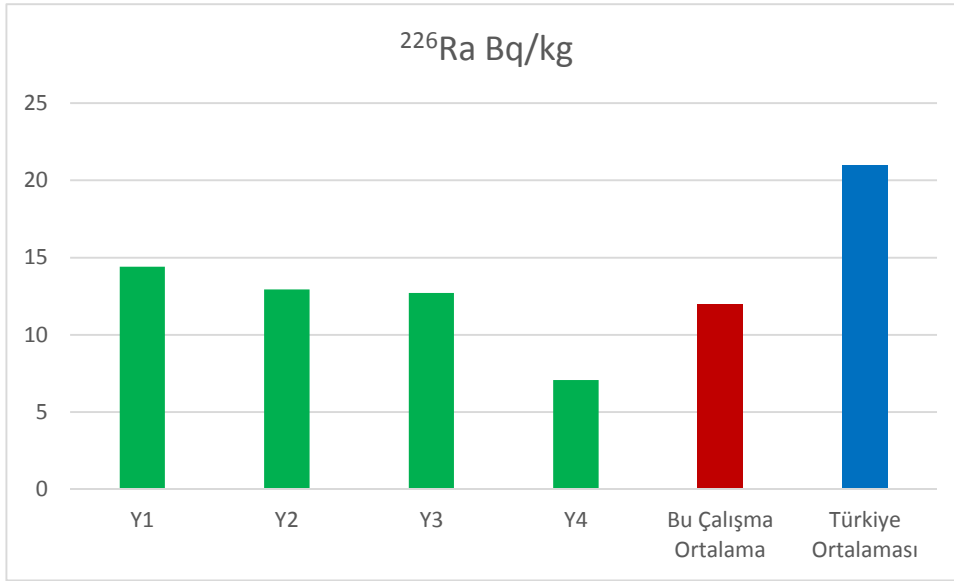


Şekil 4.17 Yapıştırıcılarda ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları

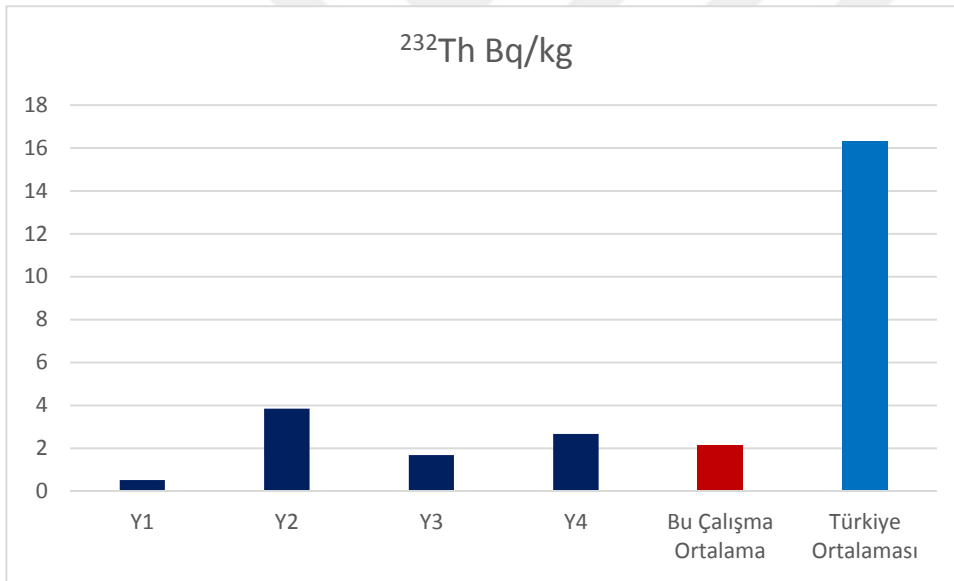
Çalışmadaki her 4 farklı yapıştırıcı örneğinin ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları Türkiye ortalamasının altındadır.



Şekil 4.18 Yapıştırıcılarda ^{40}K aktivite konsantrasyonları



Şekil 4.19 Yapıştırıcılarda ^{226}Ra aktivite konsantrasyonları



Şekil 4.20 Yapıştırıcılarda ^{232}Th aktivite konsantrasyonları

4.4. Sıvalardaki Bulgular

Yine çalışmada Antalya ilinde yaygın olarak kullanılan 4 farklı sıva örneği içerisindeki potasyum, radyum ve toryum radyonüklid aktiviteleri yüksek enerjili gama spektrometresiyle belirlenmiştir. Ölçümler neticesinde radyonüklid tayinleri Bq/kg olarak Tablo 4.7’ de görülmektedir. Çalışmada kullanılan sıva örneklerindeki ^{40}K aktivitesi 22 ile 40 Bq/kg arasındadır. ^{226}Ra ’un hesaplanan aktivitesi 7 ile 10 Bq/kg arasındadır ve ^{232}Th ’un tayin edilen aktivitesi ise 3 ile 6 Bq/kg arasında değişmektedir. S2 örneğinde her üç radyonüklitte en yüksek hesaplanmıştır. Sıva örneklerinde hesaplanan Ra_{eq} değerleri de 9 ile 19 arasındadır. Burada hesaplanan en büyük Ra_{eq} değeri 19’dur ve S2 nolu örneğe aittir.

Örneklerin aktivite sınırlamalarını değerlendirmek için aktivite konsantrasyonları ile (5) nolu eşitlik kullanılmıştır. Değerler 0,03 ile 0,07 arasında değişmiş ve sonuçlar uluslararası standartlara göre değerlendirildiğinde sıva örneklerinin yapılarda kullanılmalarında herhangi bir sakınca olmadığı sonucuna varılmıştır.

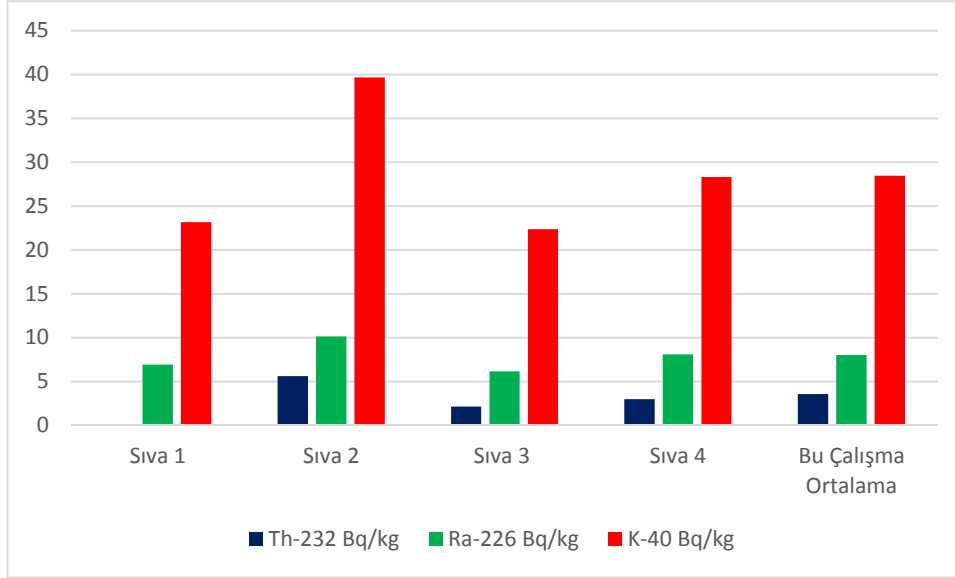
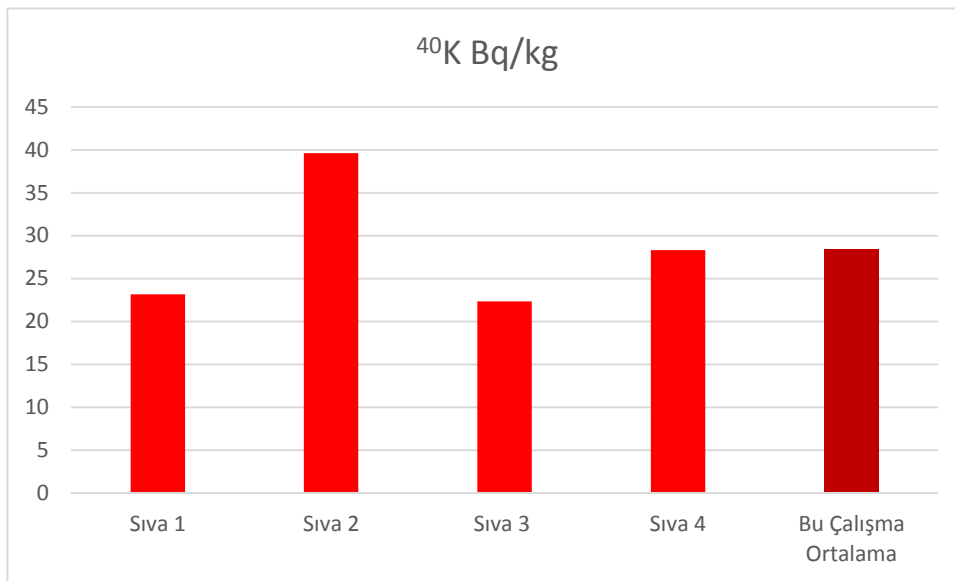
Tablo 4.7 Sıvalarda aktivite konsantrasyonları

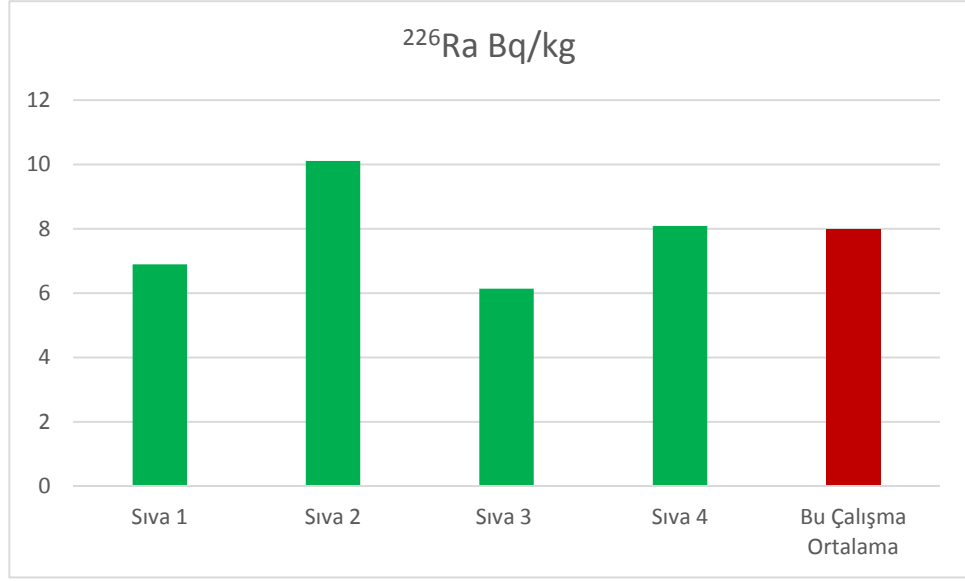
Örnek	^{226}Ra Bq/kg	^{232}Th Bq/kg	^{40}K Bq/kg	Doz hızı mrem/y	Ra_{eq}	I
Sıva 1	7	UD	23	8,28	9	0,03
Sıva 2	10	6	40	19	18,97	0,07
Sıva 3	6	2	22	9	10	0,03
Sıva 4	8	3	28	13	13	0,05

Çalışmada 4 adet sıvanın eU(Ra) (ppm), eTh (ppm) ve %K olarak radyonüklid konsantrasyonları tablo 4.8’ de verilmiştir. Tablodaki gibi eU(Ra) (ppm) sonuçları her 4 örnek için yaklaşık olarak 1 ppm olarak görülmektedir. eTh ölçümleri de her örnek için maksimum olarak 1 ppm’dir. %K değerleri ise 4 ppm ile 5 ppm arasında değişmektedir. En yüksek potasyum konsantrasyonu S2 nolu örnekte hesaplanmıştır.

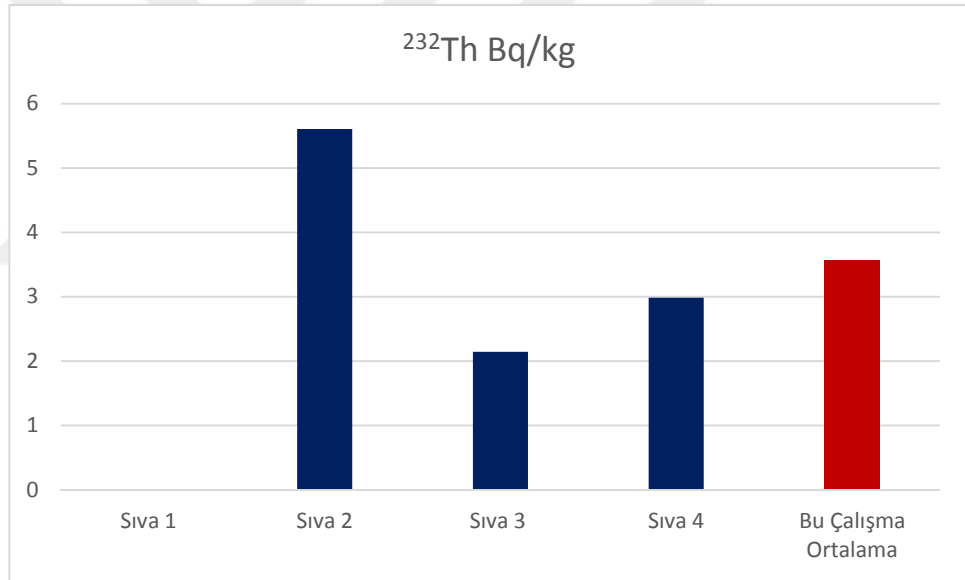
Tablo 4.8 Sıvalarda eU(Ra), eTh ve % K konsantrasyonları

Örnek	%K	eU(Ra) (ppm)	eTh (ppm)
Sıva 1	4	1	1
Sıva 2	4	1	1
Sıva 3	4	1	1
Sıva 4	4	1	1

**Şekil 4.21** Sıvalarda ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları**Şekil 4.22** Sıvalarda ^{40}K aktivite konsantrasyonları



Şekil 4.23 Sıvalarda ^{226}Ra aktivite konsantrasyonları



Şekil 4.24 Sıvalarda ^{232}Th aktivite konsantrasyonları

4.5. Derzlerdeki Bulgular

Yine inşaatlarda yaygın olarak kullanılan 4 farklı derz örneği içerisindeki potasyum, radyum ve toryum radyonüklid aktiviteleri yüksek enerjili gama spektrometresiyle belirlenmiştir. Ölçümler neticesinde radyonüklid tayinleri Bq/kg olarak Tablo 4.9’ da görülmektedir. Çalışmada kullanılan derz örneklerindeki ^{40}K aktivitesi 28 ile 33 Bq/kg arasındadır. En yüksek ^{40}K aktivitesi D3 örneğindir. ^{226}Ra ’un hesaplanan aktivitesi 15 ile 19 Bq/kg arasındadır ve en

yüksek ^{226}Ra aktivitesi D1 nolu örnektir. ^{232}Th 'un hesaplanan aktivitesi ise 8 ile 11 Bq/kg arasındadır ve ^{232}Th aktivitesi D1'de en yüksektir. Örneklerindeki Ra_{eq} değerleri de 30 ile 37 arasındadır. En büyük Ra_{eq} değeri 36,88 ile D1'dir.

Örneklerin aktivite sınırlamalarını değerlendirmek için aktivite konsantrasyonları ile (5) nolu eşitlik kullanılmıştır. Değerler 0,10 ile 0,12 arasında değişmiş ve sonuçlar uluslararası standartlara göre değerlendirildiğinde derz örneklerinin yapılarda kullanılmalarında herhangi bir sakınca olmadığı sonucuna varılmıştır.

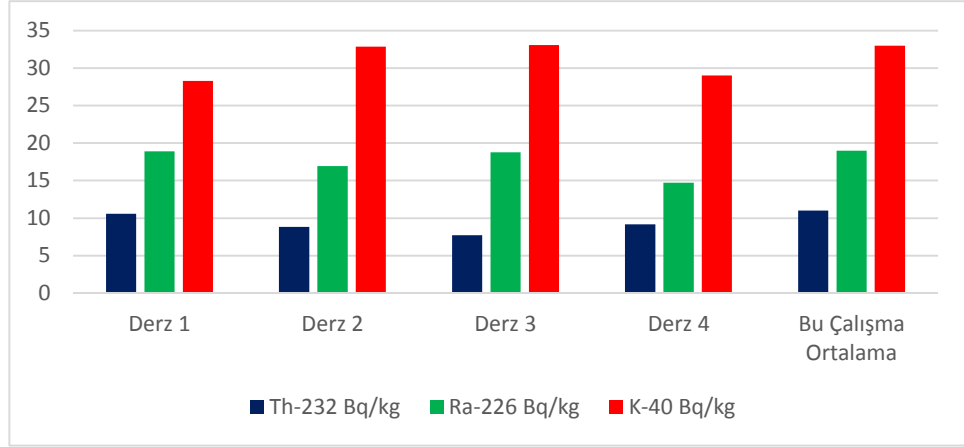
Tablo 4.9 Derzlerde aktivite konsantrasyonları

Örnek	^{226}Ra Bq/kg	^{232}Th Bq/kg	^{40}K Bq/kg	Doz hızı mrem/y	Ra_{eq}	I
Derz 1	19	11	28	32	36,88	0,12
Derz 2	17	9	33	28	32,33	0,11
Derz 3	19	8	33	29	32,98	0,11
Derz 4	15	9	29	26	30,10	0,10

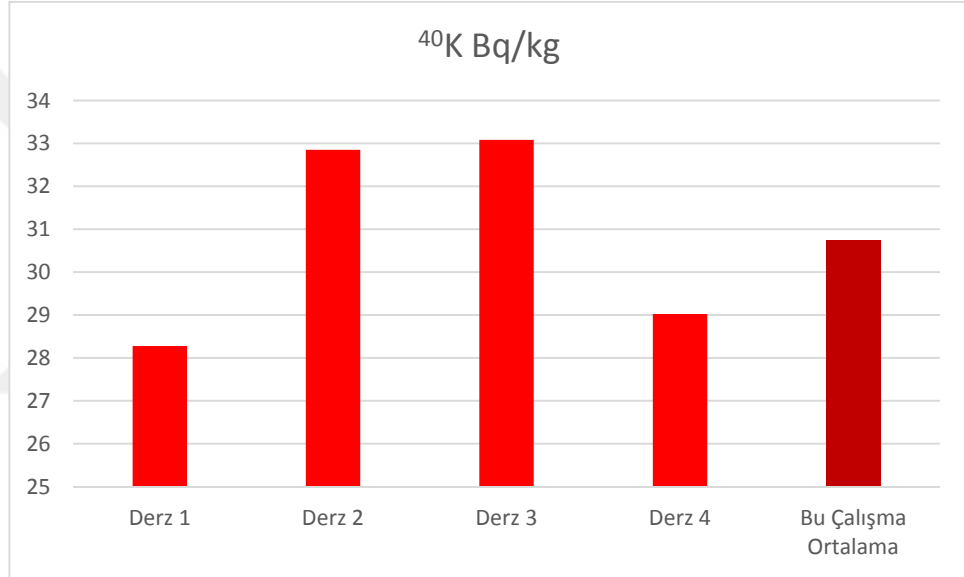
Çalışmada 4 adet derzin eU(Ra) (ppm), eTh (ppm) ve %K olarak radyonüklid konsantrasyonları tablo 4.10' da verilmiştir. Tablodaki gibi eU(Ra) (ppm) sonuçları her 4 örnek için yaklaşık olarak 1 ppm olarak görülmektedir. eTh ölçümleri de her örnek için maksimum olarak 1 ppm'dir. %K değerleri ise 4 ppm ile 5 ppm arasında değişmektedir. En yüksek potasyum konsantrasyonu D4 nolu örnekte hesaplanmıştır.

Tablo 4.10 Derzlerde eU(Ra) , eTh ve % K konsantrasyonları

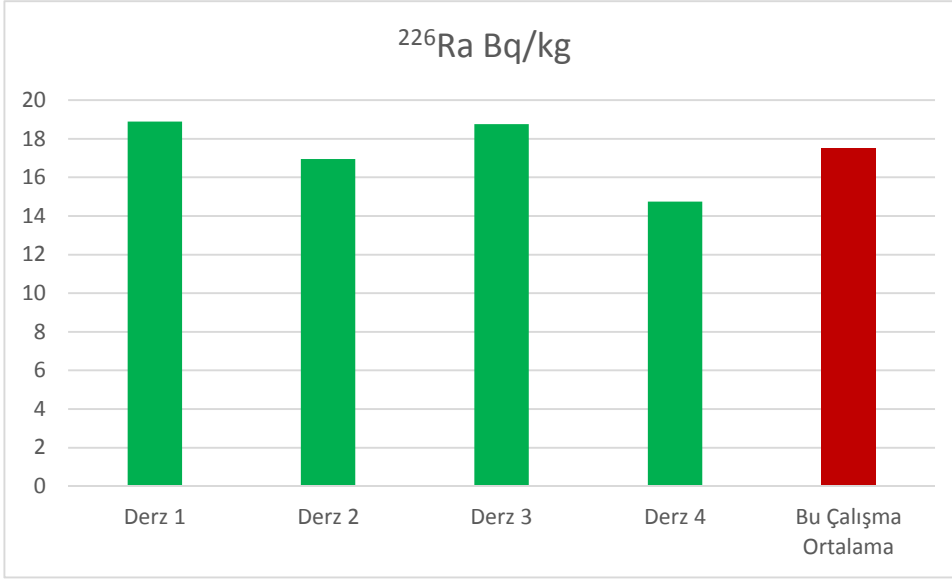
Örnek	%K	eU(Ra) (ppm)	eTh (ppm)
Derz 1	5	1	1
Derz 2	4	1	1
Derz 3	4	1	1
Derz 4	5	1	1



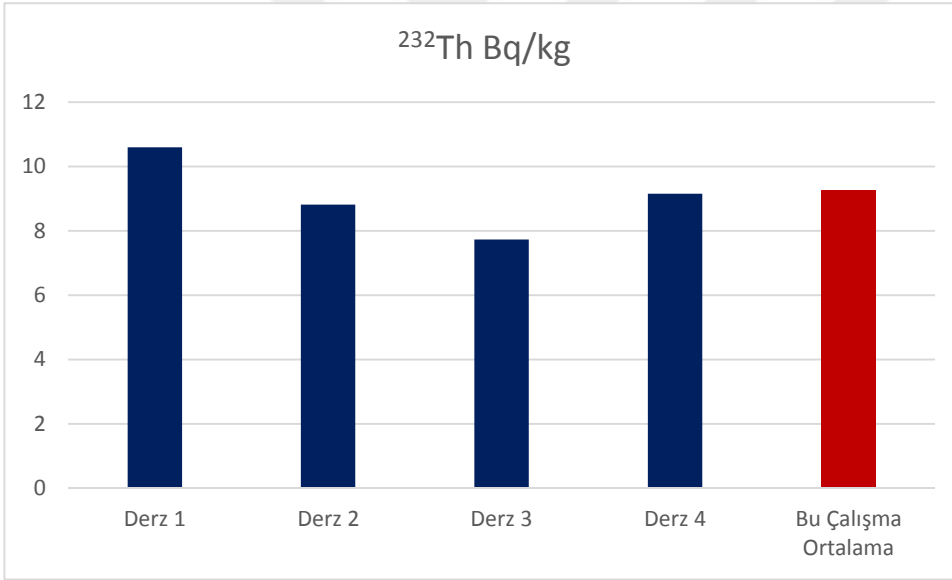
Şekil 4.25 Derzlerde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları



Şekil 4.26 Derzlerde ^{40}K aktivite konsantrasyonları



Şekil 4.27 Derzlerde ^{226}Ra aktivite konsantrasyonları



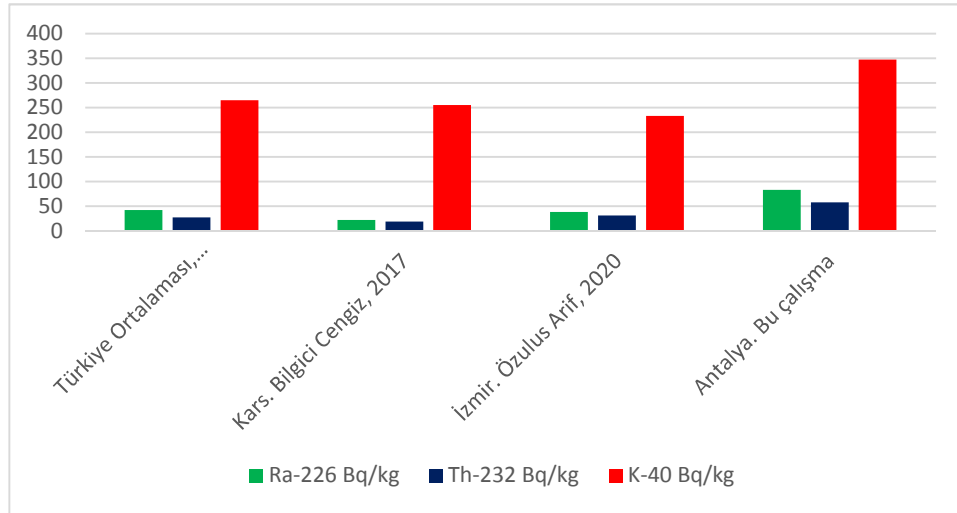
Şekil 4.28 Derzlerde ^{232}Th aktivite konsantrasyonları

5. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

Antalya’da inşaatlarda yaygın olarak kullanılan çimento örneklerinin hesaplanan radyoaktivite konsantrasyon ortalamaları sırasıyla ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için 84, 58 ve 347 Bq/kg’dır. Çimento örneklerinde hesaplanan ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları TAEK 2008 raporundaki ortalama değerlerden yüksektir. ^{232}Th konsantrasyonu İzmir ve Kars’taki çimento örneklerinde Türkiye ortalamalarının üstünde bulunmuştur. Antalya’da yaygın kullanılan çimento örneklerinin ^{40}K konsantrasyonları ortalamadan oldukça yüksek bulunmuştur.

Tablo 5.1 Türkiye’de çimentolarda hesaplanan aktivite değerleri

ÖRNEK	YER	^{226}Ra Bq/kg	^{232}Th Bq/kg	^{40}K Bq/kg	Referans
Çimento	Türkiye Ortalaması	42	27,1	264,9	TAEK 2008
Çimento	Kars	22	18	255	Bilgici Cengiz, 2017
Çimento	İzmir	38	31	233	Özulus Arif, 2020
Çimento	Antalya	83	58	347	Bu çalışma

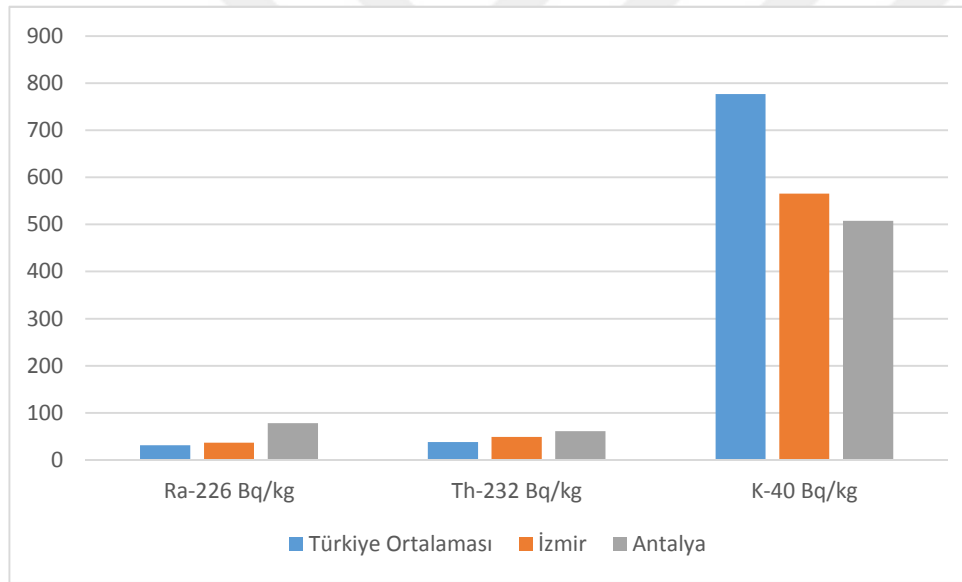


Şekil 5.1 Türkiye’deki çimentolarda ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları

Antalya’da inşaatlarda yaygın olarak kullanılan tuğla örneklerinin hesaplanan radyoaktivite konsantrasyon ortalamaları sırasıyla ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için 78, 61 ve 508 Bq/kg’dır. ^{40}K konsantrasyonu Türkiye ortalamasının altında, İzmir ve Türkiye geneli çalışmada ^{226}Ra ve ^{232}Th konsantrasyon değerleri çalışmamızdaki değerlerden daha düşüktür.

Tablo 5.2 Türkiye’de tuğlalarda hesaplanan aktivite değerleri

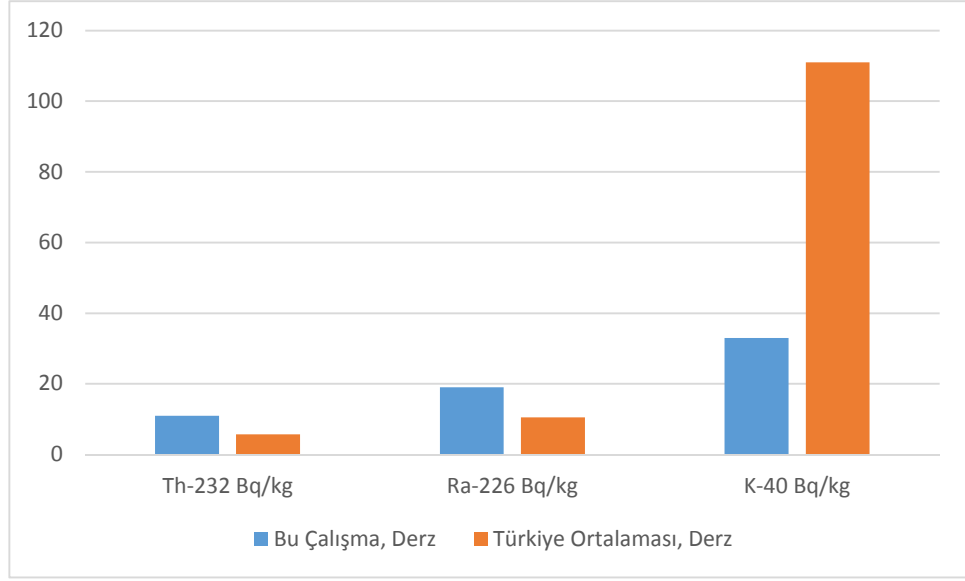
ÖRNEK	YER	^{226}Ra Bq/kg	^{232}Th Bq/kg	^{40}K Bq/kg	Referans
Tuğla	Türkiye Ortalaması	31	38	777	TAEK 2008
Tuğla	İzmir	37,03	48,67	565,4	Özulus Arif, 2020
Tuğla	Antalya	78	61	508	Bu çalışma



Şekil 5.2 Türkiye’deki tuğlalarda ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları

Tablo 5.3 Türkiye’de derzlerde hesaplanan aktivite değerleri

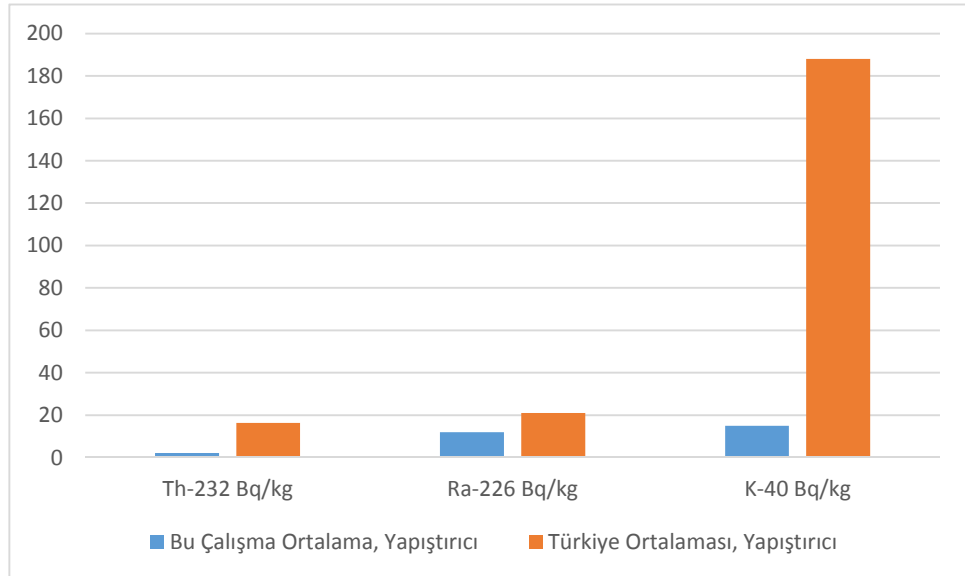
Örnek	Yer	^{226}Ra Bq/kg	^{232}Th Bq/kg	^{40}K Bq/kg	Referans
Derz	Türkiye Ortalaması	10,5	5,7	111	TAEK 2008
Derz	Antalya	19	11	33	Bu Çalışma



Şekil 5.3 Türkiye’de derzlerde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları

Tablo 5.4 Türkiye’de yapıştırıcılarda hesaplanan aktivite değerleri

ÖRNEKLER	^{232}Th Bq/kg	^{226}Ra Bq/kg	^{40}K Bq/kg
Bu Çalışma Ortalama, Yapıştırıcı	2,17	12	15
Türkiye Ortalaması, Yapıştırıcı	16,3	21	188



Şekil 5.4 Türkiye’de yapıştırıcılarda ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları

Tablo 5.5 Yapı malzemeleri için absorblanan doz oranları, yıllık etkin doz eşdeğerleri ve kanser riski

Örnekler	Absorblanan Doz Oranı D(nGyh ⁻¹)		Yıllık Efektif Doz (mSvy ⁻¹)		ELCR × 10 ⁻³ (Yaşam boyu kanser riski)	
	D _{out}	D _{in}	AEDE _{out}	AEDE _{in}	ELCR _{in}	ELCR _{out}
Çimento 1	106	209	0.13	1	3.58	0.45
Çimento 2	60	123	0.07	0.60	2.10	0.25
Çimento 3	106	208	0.12	1.02	3.57	0.45
Çimento 4	103	201	0.12	1	3.45	0.44
Çimento 5	54	109	0.06	0.53	1.87	0.23
Çimento 6	50.47	101	0.06	0.50	1.73	0.21
Çimento 7	56	111	0.06	0.54	1.90	0.23
Çimento 8	55	110	0.06	0.53	1.88	0.23
Çimento 9	112	220	0.13	1.07	3.77	0.47
Çimento 10	106	209	0.13	1.02	3.59	0.45
Çimento 11	111	218	0.13	1.06	3.73	0.47
Çimento 12	108	211	0.13	1.03	3.62	0.46
Tuğla 1	96	189	0.11	0.92	3.24	0.41
Tuğla 2	91	179	0.11	0.88	3.08	0.41
Tuğla 3	85	168	0.10	0.82	2.88	0.36
Tuğla 4	94	184	0.11	0.90	3.15	0.40
Yapıştırıcı 1	6.61	13.98	0.008	0.06	0.24	0.02
Yapıştırıcı 2	8.87	18.06	0.01	0.08	0.31	0.03
Yapıştırıcı 3	7.66	15.86	0.009	0.077	0.27	0.03
Yapıştırıcı 4	4.90	9.9	0.006	0.04	0.17	0.02
Sıva 1	4	8.3	0.004	0.04	0.14	0.01
Sıva 2	9.6	19	0.01	0.09	0.32	0.04
Sıva 3	4.70	9.5	0.005	0.04	0.16	0.02
Sıva 4	6.41	12.92	0.007	0.06	0.22	0.02
Derz 1	16	32	0.01	0.15	0.54	0.06
Derz 2	14	28	0.01	0.13	0.48	0.06
Derz 3	14.37	29	0.01	0.14	0.49	0.06
Derz 4	13	26	0.01	0.12	0.44	0.05

İç mekanlarda geçirilen süre boyunca kanser riski (ELCR_{in}), dış alanda geçirilen süre boyunca kanser riski (ELCR_{out}) ve toplam kanser riski dünya ortalama değerleri 1.16×10^{-3} , 0.29×10^{-3} ve 1.45×10^{-3} tür. (Mohammed & Ahmed, 2017) (Gebremeskel, Deressu, & Chaubey, 2022)

Yapıştırıcı, derz ve sıva gibi yüzey malzemelerinde $ELCR_{in}$ değerleri dünya ortalama değerlerinden düşüktür. Çalışmada kullanılan örneklerin $ELCR_{out}$ değerleri dünya ortalama değerine yakın bulunmuştur.

Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı'ı (IAEA) halkın kapalı ortamlardaki doğal radyasyonlardan korunmasına yönelik çeşitli çalışmalar düzenlemektedir. Yapı malzemelerinden kaynaklanan yıllık etkin doz için referans değer olarak 1 mSv önerilmektedir. Antalya'da yaygın olarak kullanılan çimento, tuğla, sıva, yapıştırıcı ve derz örneklerindeki I değerleri hesaplanmış ve hepsi 1 mSv değerinden düşük doz değerleri tayin edilmiştir.

Türk Standartları Enstitüsü (TSE) standartlarına uygun yapı malzemelerinin radyoaktivite açısından değerlendirilmesiyle ilgili değerlendirme bulunmamaktadır. Ancak, insan sağlığına etkileri göz önüne alındığında, TSE' ne uygun yapı malzemelerinin radyoaktivite değerlendirilmelidir.

6. KAYNAKLAR DİZİNİ

- ALMERA, I. (2023).** *ALMERA Proficiency Tests.*
- Aşkın, A., & Dal, M. (2018).** *Yapılarda kullanılan malzemelerden yayılan doğal radyasyonun araştırılmasına yönelik çalışmalar.*
- Baha, A., Hashim , S., M Sanusi, M., Chik, E., Abu Hanifah, N., Hassan, H., & Zulkeplee, S. (2023).** *Radioactivity in decorative building materials: Insights from Johor, Malaysia.* Johor.
- Baskaran, M. (2016).** *Radon: A Tracer for Geological, Geophysical and Geochemical Studies.*
- Cengiz, G. B., Aras, İ., Ertap, H., & Karabulut, M. (2017).** *Kars İlinde Kullanılan Bazı Yapı Malzemelerindeki Doğal Radyoaktivite ve Radyolojik Tehlikelerin Değerlendirilmesi.* Kars.
- Çimento Hakkında Bilmeniz Gerekenler.** (tarih yok). ÇİMSA: <https://cimsa.com.tr/formulhane/gri-cimento/cimento-hakkinda-bilmeniz-gerekenler/> adresinden alındı
- Dayanıklı, Ş. A. (2004).** *Manisa İlinde Kullanılan Bina Materyallerinde Radyoaktivite Tayini .* Manisa.
- Doğal Radyasyon Kaynakları. (2016, Haziran 9).** Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu: <https://www.tenmak.gov.tr/2016-06-09-00-43-46/1087-dogal-radyasyon-kaynaklari.html> adresinden alındı
- Gebremeskel, D. K., Deressu, T., & Chaubey, A. (2022).** *Assessment of natural radioactivity levels and radiological hazards in building materials commonly used in Ethiopian constructions.* Ethiopia.
- Günay, O. (2018).** *İstanbul-Beykoz'daki Bazı Toprak Örneklerinde Doğal Radyoaktivite ve Radyolojik Parametre Tayini.* İstanbul.
- Güneş, B. E. (2014).** *Bazı İnşaat Betonlarında Doğal Radyoaktivite Seviyelerinin Ölçülmesi.* Rize.
- Günoğlu, K., Mavi, B., & Akkurt, İ. (2011).** *BAZI MERMER ÖRNEKLERİNDE DOĞAL RADYOAKTİVİTE.* Muğla.

- Imani, M., Adelikhah, M., Shahrokhi, A., Azimpour, G., Yadollahi, A., Kocsis, E., . . . Kovács, T. (2021).** *Natural radioactivity and radiological risks of common building materials used in Semnan Province dwellings, Iran.* Semnan.
- Kaissas, I., Clouvas, A., Postatzis, M., Xanthos, S., & Omirou, M. (2023).** *Long-term study (1987-2023) on the distribution of ^{137}Cs in soil following the Chernobyl nuclear accident: a comparison of temporal migration measurements and compartment model predictions.*
- Kuzmanović, P., Todorović, N., Petrović, L., Mrda, D., Forkapić, S., Nikolov, J., & Knežević, J. (2020).** *Radioactivity of building materials in Serbia and assessment of radiological hazard of gamma radiation and radon exhalation.* Srbistan.
- Mavi, B., & Akkurt, İ. (2011).** *GAMA SPEKTROMETRESİ KULLANILARAK BAZI YAPI MALZEMELERİNDE DOĞAL RADYOAKTİVİTE.* Isparta.
- Mohammed, R. S., & Ahmed, R. (2017).** *Estimation of excess lifetime cancer risk and radiation hazard indices in southern Iraq.* Iraq.
- Ngachin, M., Garavaglia, M., Giovani, C., Kwato Njock, M., & Nourreddine, A. (2007).** *Assessment of natural radioactivity and associated radiation hazards in some Cameroonian building materials.* Cameroon.
- Oborah, K. A., Hashim, N., Migwi, C., & Rotich, C. (2023).** *Assessment of radioactivity concentration for building materials used in Babadogo Estate, Nairobi City County, Kenya.* Kenya.
- Omrou, M., Clouvas, A., Leontaris, F., & Kaissas, I. (2023).** *In-depth study of radon in water in a Greek village with enhanced radon concentrations.* Greek Village.
- Othman, S. Q., Ahmed, A., & Mohammed, S. (2022).** *Natural radioactivity and radiological risk assessment due to building materials commonly used in Erbil city, Kurdistan region, Iraq.* Erbil.
- Özulus, A. (2020).** *İZMİR İLİ KONUT İNŞAATLARINDA KULLANILAN ÇİMENTO, KAOLİN VE TUĞLALARDA RADYONÜKLİD İÇERİĞİNİN SAPTANMASI.* İzmir.
- Potasyum. (2021, Ocak 14).** Tübitak: <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/periodik-tablo/potasyum> adresinden alındı

- Ravisankar, R., Vanasundar, K., Chandrasekaran, A., Rajalakshmi, A., Suganya, Y., Vijayagopal, P., & Meenakshisundaram, V. (2012).** *Measurement of natural radioactivity in building materials of Namakkal, Tamil Nadu, India using gamma-ray.* Namakkal.
- Sabbarese, C., Ambrosino, F., D'Onofrio, A., & Vincenzo, R. (2020).** *Radiological characterization of natural building materials from the Campania region (Southern Italy).* Southern Italy.
- Toryum. (2016, Haziran 9).** Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu: <https://www.tenmak.gov.tr/2016-06-09-00-43-55/162-nukleer-yakit-cevrimi/1071-toryum.html> adresinden alındı
- Toryum. (2021, Ocak 14).** Tübitak: <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/periodyik-tablo/toryum> adresinden alındı
- 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.*
- Tuğlalar nelerden ve nasıl yapılır?** (tarih yok). <https://ibuilders-tr.techinfus.com/kirpich/kak-delayut/> adresinden alındı
- Tuo, F., Peng, X., Zhou, Q., & Zhang, Z. (2020).** *ASSESSMENT OF NATURAL RADIOACTIVITY LEVELS AND RADIOLOGICAL HAZARDS IN BUILDING MATERIALS.* Pekin.
- Türkiye Enerji, Nükleer Ve Maden Araştırma Kurumu. (2016, Haziran 9).** <https://www.tenmak.gov.tr/2016-06-09-00-43-46/1087-dogal-radyasyon-kaynaklari.html> adresinden alındı
- UNSCEAR. (1982).** *IONIZING RADIATION: SOURCES AND BIOLOGICAL EFFECTS.*
- UNSCEAR. (2000).** *SOURCES AND EFFECTS OF IONIZING RADIATION.* USA.
- Washington State Department of Health. (2002, Temmuz).** https://doh.wa.gov/sites/default/files/legacy/Documents/Pubs/320-081_ra226_fs.pdf adresinden alındı

7. TEŞEKKÜR

Eğitim hayatım boyunca, benimle paylaştığı değerli bilgiler ve deneyimleriyle bana yol gösteren, yardımlarını ve önerilerini titizlikle ileten danışman hocam Sayın Prof. Dr. Aysun Uğur Görgün'e,

Aristoteles Üniversitesi Nükleer Teknoloji Laboratuvarı'nda çalıştığım süre boyunca, bilgi ve deneyimleriyle büyük katkıları olmuş, çalışmalarım boyunca beni sürekli destekleyen ve deneylerimi gerçekleştirme fırsatı bulduğum için Sayın Doç. Dr. Ioannis Kaissas'a,

Kısa bir tanışıklığımız olsa da takıldığım noktalarda amacımı bana tekrar hatırlatan değerli hocam Mustafa Acungil'e,

Sınıf arkadaşlarıma,

Ve en önemlisi bugünlere gelmemde büyük katkısı olan ve her konuda beni destekleyen canım annem ve babam Ayşe-Mahmut Kaplan'a ve kız kardeşlerime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

8. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Farika Ravza Kaplan

EĞİTİM BİLGİLERİ:

- 2021** Uşak Üniversitesi
Uşak, Türkiye
Lisans, İş Sağlığı ve Güvenliği
- 2023** Aristoteles Üniversitesi
Selanik, Yunanistan
Nükleer Teknoloji Laboratuvarı'nda öğrenci
- 2024** Ege Üniversitesi, İzmir
Yüksek Lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü, Radyasyon Güvenliği ve Koruma