



T.C.
KIRŞEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI



KIRŞEHİR İLİNİN DOĞAL FON RADYASYON HARİTASININ ÇIKARILMASI

SÜMEYRA YAMÇIÇIER

DOKTORA TEZİ

KIRŞEHİR

2024



T.C.
KIRŞEHİR AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI



KIRŞEHİR İLİNİN DOĞAL FON RADYASYON HARİTASININ ÇIKARILMASI

SÜMEYRA YAMÇIÇIER

DOKTORA TEZİ

DANIŞMAN

Prof. Dr. Doğan YAŞAR

KIRŞEHİR

2024

KIRŞEHİR AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI
ETİK BEYANI

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesini okuduğumu ve anladığımı ve Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tez olarak sunduğum bu çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda bu konuda hakkımda yapılacak tüm yasal işlemleri ve aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim. .././20..

Sümevra YAMÇIÇIER

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa No
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	I
TEŞEKKÜR	IV
ÖZET	V
ABSTRACT	VI
TABLolar DİZİNİ	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ	VIII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	X
1. GİRİŞ	1
1.1. Doğal Radyoaktivite	3
1.2. Doğal Bozunma Serileri	4
1.2.1. ²³⁸ U bozunma serisi.....	4
1.2.2. Aktinyum serisi	5
1.2.3. Toryum serisi	6
1.3. Radyoaktif Bozunma Yasası	7
1.3.1. Ardışık bozunma	8
1.3.2. Dallanmış bozunma	9
1.3.3. Alfa bozunması	9
1.3.4. Beta bozunması	12
1.3.5. Gama-ışını emisyonu	14
1.3.6. Radyoaktif denge	15
1.3.7. Geçici denge.....	15
1.3.8. Kalıcı denge	15
1.4. Gama Işınının Madde ile Etkileşimi.....	16
1.4.1. Fotoelektrik olay	16
1.4.2. Compton saçılması.....	17
1.4.3. Çift oluşum.....	18
1.5. Radyasyonun Biyolojik Etkisi ve Doz Kavramı.....	19
1.5.1. Doz nicelikleri.....	21
1.6. Toprakta Bulunan Radyasyon Kaynakları.....	22
1.7. Suda Bulunan Radyasyon Kaynakları	23
1.8. Amaç.....	23
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	25

3. MATERYAL VE METOT	27
3.1. Kırşehir İlinin Genel Özellikleri.....	27
3.2. Çevresel Gama Doz Hızının Belirlenmesi.....	30
3.2.1. Sintilasyon dedektörü.....	31
3.3. Toprak Numunelerinde ^{40}K , ^{137}Cs , ^{226}Ra ve ^{232}Th Aktivite Konsantrasyonlarının Belirlenmesi	33
3.3.1. Araziden toprak numunelerinin alınması ve analize hazırlanması	33
3.3.2. Gama spektrometresi	34
3.4. Radyasyon Parametrelerinin Hesaplanması	36
3.4.1. Karasal soğurulan gama doz hızı (D).....	36
3.4.2. Yıllık etkin doz eşdeğeri (AEDE).....	36
3.4.3. Radyum eşdeğer aktivitesi (Ra_{eq})	37
3.4.4. Dış tehlike indeksi (H_{ex})	38
3.4.5. Yaşam boyu kanser riski (ELCR).....	38
3.5. Su Numunelerinin Toplanması ve Hazırlanması.....	39
3.6. Su Numunelerinde Toplam Alfa ve Toplam Beta Analizi	41
3.7. Tarım Ürünlerinde ^{40}K , ^{137}Cs , ^{226}Ra ve ^{232}Th Aktivite Konsantrasyonlarının Belirlenmesi	42
3.7.1. Tarımsal numunelerin alınması ve analize hazırlanması	42
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	45
4.1. Kırşehir İli için Çevresel Gama Doz Hızı Sonuçları	45
4.2. Kırşehir İli Toprak Numunelerinde Belirlenen ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs Aktivite Konsantrasyonları.....	48
4.2.1. Toprak numunelerinde ^{226}Ra aktivite konsantrasyonu	50
4.2.2. Toprak numunelerinde ^{232}Th aktivite konsantrasyonu	53
4.2.3. Toprak numunelerinde ^{40}K aktivite konsantrasyonu	56
4.2.4. Toprak numunelerinde ^{137}Cs aktivite konsantrasyonu.....	59
4.2.5. Toprak numunelerinde doğal gama aktivite konsantrasyonları arasındaki korelasyon	62
4.3. Kırşehir İli Su Numunelerinde Belirlenen Toplam Alfa ve Toplam Beta Aktivite Konsantrasyonları.....	64
4.3.1. Su numunelerinde belirlenen toplam alfa aktivite konsantrasyonları.....	66
4.3.2. Su numunelerinde belirlenen toplam beta aktivite konsantrasyonları	68
4.4. Kırşehir İli Gıda Ürünlerinde Belirlenen Aktivite Konsantrasyonları	70
4.5. Doz Değerlendirmeleri	72
4.5.1. Yıllık etkin doz değeri (AEDE)	72
4.5.2. Radyum eşdeğer aktivitesi (Ra_{eq})	74

4.5.3. Dış tehlike indeksi (H_{ex})	77
4.5.4. Yaşam boyu kanser riski (ELCR).....	79
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	81
6. KAYNAKÇA	85
EK-1.....	92
EK-2.....	97
ÖZGEÇMİŞ.....	99

TEŞEKKÜR

Doktora öğrenimim boyunca her türlü desteği sağlayarak, bilgi ve deneyimlerini esirgemeyen, yardım, özveri, anlayış ve sabrından dolayı değerli danışmanım Prof. Dr. Doğan YAŞAR'a çok teşekkür ederim. Tezimin her aşamasında gerek sorularıyla gerekse yapılan tez izleme komitesi sunumlarında tezin şekillenmesinde ve nihai hale gelmesinde katkıları olan değerli jüri üyelerim Prof. Dr. T. Raci SERTBAKAN ve Doç. Dr. Cihan KÜRKCÜ'ye teşekkürlerimi içtenlikle sunarım.

Tez çalışmamın deneysel kısımlarının gerçekleştirilmesinde Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu, Nükleer Enerji Araştırma Enstitüsü Radyoaktivite ölçüm laboratuvarı çalışanlarına içtenlikle teşekkür ederim. Hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen, sabır ve hoşgörülerıyla daima yanımda olan eşim Çağatay YAMÇIÇIER'e sonsuz teşekkür ederim.

Tezimi, ailem başta olmak üzere özellikle kızlarım Hayat Lina ve Hayal Mira'ya ithaf ederim.

Ağustos, 2024

Sümevra YAMÇIÇIER

ÖZET

DOKTORA TEZİ

KIRŞEHİR İLİNİN DOĞAL FON RADYASYON HARİTASININ ÇIKARILMASI

Sümevra YAMÇIÇIER

**KIRŞEHİR AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI**

Danışman: Prof. Dr. Doğan YAŞAR
Yıl: 2024 Sayfa: 99
Jüri: Prof. Dr. Doğan YAŞAR
Prof. Dr. Bayram DEMİR
Prof. Dr. T. Raci SERTBAKAN
Doç. Dr. Murat OKUTAN
Doç. Dr. Cihan KÜRKCÜ

Bu tez çalışmasının amacı, toprak numunelerinin radyoaktivite seviyelerini, su numunelerinde toplam alfa ve beta aktivite konsantrasyonlarının belirlenmesi ve çevresel radyasyon ölçümlerini analiz ederek Türkiye'de Kırşehir ilinin radyolojik haritasını oluşturmaktır. 47 lokasyondan toplanan toprak numunelerinde ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklidleri HPGe dedektörlü gama spektrometresi kullanılarak analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs için gama radyoaktivite konsantrasyon aralıkları ve ortalama değerleri 133 ± 15 - 1515 ± 128 Bq/kg (599. 40 Bq/kg), 0.3 ± 0.09 – 21.1 ± 1.7 Bq/kg (4.61 Bq/kg), 8.7 ± 0.9 – 128.5 ± 8.5 (29.66 Bq/kg) ve 11.6 ± 8.6 – 273.8 ± 19.9 Bq/kg (48.80 Bq/kg) olarak belirlenmiştir. ^{40}K ve ^{232}Th için ortalama radyoaktivite seviyeleri dünya ortalamasının üzerindedir. Su numunelerinde analiz edilen toplam alfa aktivite konsantrasyonu il ortalama değeri 0.207 ± 0.04 Bq/L olarak tespit edilmiştir. Su numunelerinde analiz edilen toplam beta aktivite konsantrasyonu il ortalama değeri 0.275 ± 0.04 Bq/L olarak tespit edilmiştir. Su numunelerinde tespit edilen il ortalama değerleri dünya ortalaması değerinin altında tespit edilmiştir. Ortalama radyum eşdeğeri aktivite (R_{eq}), gama doz hızı (D), yıllık etkin doz eşdeğeri (AEDE), dış tehlike indeksi (H_{ex}) ve aşırı yaşam boyu kanser riski (ELCR) sırasıyla 145.45 Bq/kg, 122.13 nGy/saat, 0.15 mSv/saat, 0.392 ve 0.292×10^{-3} olarak hesaplanmıştır. Ayrıca Kırşehir ilinde yoğun olarak yetişen ve tüketilen gıda ürünlerinin radyoaktivite konsantrasyonları tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Doğal radyoaktivite, Spektrometrik analiz, HpGe dedektörü, Çevresel ölçüm, Gama doz hızı, Yıllık etkin doz

ABSTRACT

PhD THESIS

NATURAL BACKGROUND RADIATION MAPPING OF KIRŞEHİR PROVINCE

Sümevra YAMÇIÇIER

KIRŞEHİR AHİ EVRAN UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF PHYSICS

Supervisor: Prof. Dr. Doğan YAŞAR
Year: 2024, Pages: 99
Juries: Prof. Dr. Doğan YAŞAR
Prof. Dr. Bayram DEMİR
Prof. Dr. T. Raci SERTBAKAN
Assoc. Prof. Dr. Murat OKUTAN
Assoc. Prof. Dr. Cihan KÜRKCÜ

The aim of this thesis is to determine the radioactivity levels of soil samples, total alpha and beta activity concentrations in water samples and to create a radiological map of Kırşehir province in Turkey by analyzing environmental radiation measurements. Soil samples collected from 47 locations were analyzed for ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K and ^{137}Cs radionuclides using gamma spectrometer with HpGe detector. According to the results obtained, gamma radioactivity concentration ranges and mean values for ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K and ^{137}Cs were 133 ± 15 - 1515 ± 128 Bq/kg (599.40 Bq/kg), 0.3 ± 0.09 - 21.1 ± 1.7 Bq/kg (4.61 Bq/kg), 8.7 ± 0.9 - 128.5 ± 8.5 (29.66 Bq/kg) and 11.6 ± 8.6 - 273.8 ± 19.9 Bq/kg (48.80 Bq/kg). The average radioactivity levels for ^{40}K and ^{232}Th are above the world average. The provincial average value of total alpha activity concentration analyzed in water samples was 0.207 ± 0.04 Bq/L. The provincial average value of total beta activity concentration analyzed in water samples was 0.275 ± 0.04 Bq/L. The provincial average values determined in the water samples were below the world average value. Average radium equivalent activity (R_{eq}), gamma dose rate (D), annual effective dose equivalent (AEDE), external hazard index (H_{ex}) and excess lifetime cancer risk (ELCR) were calculated as 145.45 Bq/kg, 122.13 nGy/h, 0.15 mSv/h, 0.392 and 0.292×10^{-3} respectively. In addition, the radioactivity concentrations of food products grown and consumed intensively in Kırşehir province were determined.

Key Words: Natural radioactivity, Spectrometric analysis, HpGe detector, Environmental measurement, Gamma dose rate, Annual effective dose

TABLolar DİZİNİ

	Sayfa No
Tablo 1.1. Radyasyon ağırlık faktörleri	22
Tablo 1.2. Doku ağırlık faktörleri, w_T	22
Tablo 3.1. Sintilasyon malzemeleri.....	31
Tablo 4.1. İlçelere göre çevresel gama doz hızı ortalama değerleri.....	46
Tablo 4.2. İlçelere göre toprak numunelerinde belirlenen ^{226}Ra aktivite konsantrasyonu değerleri.....	50
Tablo 4.3. İlçelere göre toprak numunelerinde belirlenen ^{232}Th aktivite konsantrasyonu değerleri.....	53
Tablo 4.4. İlçelere göre toprak numunelerinde belirlenen ^{40}K aktivite konsantrasyonu değerleri.....	56
Tablo 4.5. İlçelere göre toprak numunelerinde belirlenen ^{137}Cs aktivite konsantrasyonu değerleri.....	59
Tablo 4.6. ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyoizotoplarının ilçelere göre ortalama aktivite konsantrasyonları.....	62
Tablo 4.7. İlçelere göre su numunelerinde belirlenen toplam alfa aktivite konsantrasyonu değerleri.....	66
Tablo 4.8. İlçelere göre su numunelerinde belirlenen toplam beta aktivite konsantrasyonu değerleri.....	68
Tablo 4.9. Tarım ürünlerinde ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının değerleri.....	71
Tablo 4.10. İlçelere göre hesaplanan yıllık etkin doz değerleri.....	73
Tablo 4.11. İlçelere göre Radyum eşdeğer aktivitesi değerleri.	75
Tablo 4.12. İlçelere göre dış tehlike indeksi değerleri.....	77
Tablo 4.13. İlçelere göre yaşam boyu kanser riski değerleri.....	79
Tablo 5.1. Türkiye'nin farklı illerinde yapılan radyoaktivite analizi ve doz hızı ölçümleri.....	83

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1.1. Uranyum bozunma serisi, ^{238}U ($4n+2$)	5
Şekil 1.2. Aktinyum bozunma serisi, ^{235}U ($4n+1$)	6
Şekil 1.3. Toryum bozunma serisi.....	7
Şekil 1.4. ^{40}K bozunma şeması	9
Şekil 1.5. Coulomb bariyerinden alfa parçacıklarının tünellemesinin şematik diyagramı. 10	
Şekil 1.6. Daha büyük parçalanma enerjilerine sahip a-yayımcıların genellikle daha küçük Q değerlerine sahip olanlardan daha kısa yarı ömürlere sahip olduğu Geiger-Nuttall kuralının şematik diyagramı.....	11
Şekil 1.7. Çift-çift ve tek-tek $A=40$ izobarik zincir için kütle parabolleri, ^{40}K ile ^{40}Ar ve ^{40}Ca bozunma modlarını gösterir.....	12
Şekil 1.8. ^{210}Bi 'nin (Radyum E) β^- bozunmasından kaynaklanan sürekli enerji dağılımı. 13	
Şekil 1.9. Bir K kabuğunda elektron yakalaması ve ardından karakteristik X-ışını emisyonunun şematik diyagramı.....	14
Şekil 1.10. (a) Fotoelektrik olay (b) Fotoelektronun etkileşimi ile karakteristik X-ışını yayınlanması şeması.....	16
Şekil 1.11. Compton saçılmasının şematik gösterimi	17
Şekil 1.12. Tam enerji pikine kıyasla Compton Saçılmasına aktarılan tipik enerjinin şematik gösterimi.....	18
Şekil 3.1. Kırşehir il haritası	27
Şekil 3.2. FHZ 674 NBR model sintilasyon dedektörüne uyumlu Thermo Scientific RadEye SX marka taşınabilir dijital radyasyon ölçüm cihazı.....	31
Şekil 3.3. NaI(Tl) sintilasyon dedektörü.....	33
Şekil 3.4. Analize hazırlanan toprak numuneleri.....	34
Şekil 3.5. Gama Spektrometri blok diyagramı.	35
Şekil 3.6. Gama Spektrometri analiz laboratuvarı.	35
Şekil 3.7. Su numuneleri	40
Şekil 3.8. Toplam alfa ve toplam beta ölçüm cihazı.....	41
Şekil 4.1. Çevresel gama doz hızlarının alındığı ölçüm noktaları.....	46
Şekil 4.2. İlçelere göre çevresel gama doz hızı ortalama değerlerinin dağılımı.....	47
Şekil 4.3. Çevresel gama doz hızı değerlerinin ölçüm sayısına göre dağılımı.....	47
Şekil 4.4. Kırşehir ili çevresel gama doz hızı değerlerinin dağılım haritası.	48
Şekil 4.5. Toprak numunelerinin alım noktalarının Kırşehir il haritası üzerinde dağılımı.....	49
Şekil 4.6. Toprak numunelerinde ölçülen ^{226}Ra aktivite konsantrasyon değerlerinin ilçelere göre dağılımı	51
Şekil 4.7. ^{226}Ra aktivite konsantrasyon değerlerinin ölçüm sayısına göre dağılımı.....	52
Şekil 4.8. Kırşehir ili ^{226}Ra aktivite konsantrasyon değerlerinin dağılım haritası.	52
Şekil 4.9. Toprak numunelerinde ölçülen ^{232}Th aktivite konsantrasyon değerlerinin ilçelere göre dağılımı	54
Şekil 4.10. ^{232}Th aktivite konsantrasyon değerlerinin ölçüm sayısına göre dağılımı.	55
Şekil 4.11. Kırşehir ili ^{232}Th aktivite konsantrasyon değerlerinin dağılım haritası.....	55
Şekil 4.12. Toprak numunelerinde ölçülen ^{40}K aktivite konsantrasyon değerlerinin ilçelere göre dağılımı.....	57
Şekil 4.13. ^{40}K aktivite konsantrasyon değerlerinin ölçüm sayısına göre dağılımı.....	58
Şekil 4.14. Kırşehir ili ^{40}K aktivite konsantrasyon değerlerinin dağılım haritası.....	58
Şekil 4.15. Toprak numunelerinde ölçülen ^{137}Cs aktivite konsantrasyon değerlerinin ilçelere göre dağılımı.....	60

Şekil 4.16.	^{137}Cs aktivite konsantrasyon değerlerinin ölçüm sayısına göre dağılımı.....	61
Şekil 4.17.	Kırşehir ili ^{137}Cs aktivite konsantrasyon değerlerinin dağılım haritası.....	61
Şekil 4.18.	^{226}Ra ile ^{232}Th aktivite konsantrasyonları arasındaki korelasyon grafiği.....	63
Şekil 4.19.	^{226}Ra ile ^{40}K aktivite konsantrasyonları arasındaki korelasyon grafiği.....	63
Şekil 4.20.	^{40}K ile ^{232}Th aktivite konsantrasyonları arasındaki korelasyon grafiği.....	64
Şekil 4.21.	Su numunelerinin alındığı ölçüm noktaları.....	65
Şekil 4.22.	Su numunelerinde toplam alfa aktivite konsantrasyonunun ilçe ortalama değerleri.....	67
Şekil 4.23.	Kırşehir ili su numunelerinde belirlenen toplam alfa aktivite konsantrasyonu dağılım haritası.....	67
Şekil 4.24.	Su numunelerinde toplam beta aktivite konsantrasyonunun ilçe ortalama değerleri.....	69
Şekil 4.25.	Kırşehir ili su numunelerinde belirlenen toplam beta aktivite konsantrasyonu dağılım haritası.....	69
Şekil 4.26.	Kırşehir ili tarım ürünlerinde belirlenen ^{40}K aktivite konsantrasyonu.....	72
Şekil 4.27.	Kırşehir ili hesaplanan yıllık etkin doz değerleri.....	74
Şekil 4.28.	Kırşehir ili hesaplanan radyum eşdeğer aktivitesi değerleri.....	76
Şekil 4.29.	Kırşehir ili hesaplanan radyum eşdeğer aktivitesi değerlerinin dağılım haritası.....	76
Şekil 4.30.	Kırşehir ili hesaplanan dış tehlike indeksi değerleri.....	78
Şekil 4.31.	Kırşehir ili hesaplanan dış tehlike indeksi değerlerinin dağılım haritası.....	78
Şekil 4.32.	Kırşehir ili hesaplanan yaşam boyu kanser riski değerleri.....	80

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
α	: Alfa
β	: Beta
β^-	: Beta-eksi bozunumu
β^+	: Beta-artı bozunumu
e^-	: Elektron
γ	: Gama
p^+	: Proton

Kısaltmalar	Açıklama
AEDE	: Yıllık Etkin Doz
Bq	: Becquerel
Bi	: Bizmut
C	: Karbon
cm	: Santimetre
Cs	: Sezyum
D	: Karasal Soğurulan Gama Dozu
eV	: Elektron Volt
Gy	: Grey
HpGe	: High Pure Germanium (Yüksek Safılıkta Germanyum Dedektörü)
IAEA	: International Atomic Energy Agency
ICRP	: International Commission on Radiological Protection
K	: Potasyum
KeV	: Kilo Elektron Volt
Kg	: Kilogram
MDA	: Minimum Dedekte Edilebilir Aktivite
MeV	: Mega Elektron Volt
ml	: Mili litre
μSv	: Mikro Sievert
nSv	: Nano Sievert
Pb	: Kurşun
Ra	: Radyum
Rn	: Radon
Sv	: Sievert
TENMAK	: Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu
Th	: Toryum
U	: Uranyum
UNSCEAR	: Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi
Kg	: Kilogram

1. GİRİŞ

Yerkabuğu, çevrede doğal olarak oluşan radyoaktif malzemelerin ana kaynağını oluşturan radyonüklidleri içerir. Bu radyonüklidlerin çoğu, Uranyum (^{238}U) ve Toryum (^{232}Th) ile başlayan radyoaktif bozunma serilerinin üyeleridir. Bu serilerin üyeleri, radyoaktif bir çekirdeğin bir veya daha fazla bileşen elemente dönüştüğü ve sonunda radyoaktif olarak kararlı bir izotopa dönüştüğü kendiliğinden bir süreç olan radyoaktif bozunmaya maruz kalır. UNSCEAR'a göre doğal olarak yaklaşık 340 nüklit vardır, bunların yaklaşık 70 tanesi radyoaktiftir ve ağırlıklı olarak atom numaraları 200'den büyük olan ağır elementler arasında bulunur (UNSCEAR, 1988).

1896'da Henri Becquerel, metalik Uranyumun ve tüm Uranyum tuzlarının doğal ve röntgen ışınlarına çok benzer özelliklere sahip bir radyasyon yaydığını keşfetti (Genet, 1995). Benzer fenomen Toryum'da da gözlemlendi ve enerjilerini ve nüfuz etme yeteneklerini analitik bir araç olarak kullanarak, Curi'lerin Polonyum ve Radyum adını verdikleri Uranyum'dan çok daha aktif iki maddenin keşfine yol açtı (Pasachoff, 1996). Bu tür çekirdekler ve yayınladıkları radyasyonlar, atom ve nükleer fiziğin anlaşılması ve ölçülmesi için temel özelliklere sahiptir. Radyoaktif elementlerden yayılan radyasyonların araştırılması, tanımlanması ve sınıflandırılması çekirdeğin yapısı hakkında temel bilgi kaynakları olan farklı enerji parametrelerinin (γ ışınları) varlığını göstermiştir (Krane ve Kenneth, 1988).

Nükleer bir türün kararlılığı, evrende hangi elementlerin bol veya nadir olduğunu belirleyen faktörlerden biridir. Harkins çalışmasında element bolluğu ile nükleer kararlılık arasındaki ilişkiyi ortaya koymuştur (Harkins, 1917) ve ayrıca Manuel çalışmasında element bolluğu "atomlarının çekirdeklerinin yapısı" ile ilişkili olduğunu ifade etmektedir (Manuel, 2007). Doğada 7000'den fazla nüklit türünün var olduğu tahmin edilmektedir; bunların yaklaşık %95'i radyoaktiftir ve yaklaşık %50'si bugüne kadar laboratuvarında sentezlenmiştir (Thoennesen, 2013). Doğal ve yapay radyonüklitlerden kaynaklı iyonlaştırıcı radyasyona maruz kalınmakta ve bunun sonucu olarak gıdalarda, toprakta, suda vb. radyoaktivite içermektedir (Wilson, 1994). Yaşam için gerekli besinler nedeniyle insan vücudu ^{40}K ve ^{14}C gibi radyonüklitler içerir. Toprak ve uzaysal kaynaklı çevresel radyasyon nedeniyle gama ışınına maruz kalmaktan kaçınılmaz (Whicker ve ark., 1997; Boyle, 2013).

Doğal oluşumdan kaynaklanan çevresel radyasyon jeolojik yapıya bağlı olarak değişir (Al-Sulaiti ve ark., 2010; Boyle, 2013). Tortul kayalar ve ara topraklar, granitik

kayalardan daha düşük doğal olarak oluşan radyoaktivite seviyelerine sahiptir(Whicker ve ark., 1997). Çalışmalar, ^{232}Th ve Uranyum içeren mineral monazitler veya hem Uranyum hem de Toryum içeren apatit kayaların, içermeyenlere göre daha radyoaktif olduğunu göstermektedir (Boyle, 2013).

Uluslararası atom enerji ajansına (IAEA) göre, çevrede bulunan en önemli radyonüklitler, Uranyum (^{238}U), Toryum (^{232}Th) izotopları ve bunlarla ilişkili bozunma serileri ve Potasyum'dur (^{40}K) (Hore-Lacy, 2010). Doğal olarak oluşan bu nüklitlerden yayılan gama radyasyonunun her yerde bulunması ve insanın önemli ölçüde dış ışımaya maruz kalmasından sorumludur. UNSCEAR raporunda, toplum tarafından alınan radyasyon dozunun yaklaşık %85'i doğal kaynaklardan ve yaklaşık yarısı ^{222}Rn 'den kaynaklandığı rapor edilmiştir (UNSCEAR, 1988).

Yüksek enerjili kozmik parçacıklar, dünyanın atmosferindeki gazların atom çekirdekleri ile etkileşimleriyle kozmojenik izotopların oluşmasını sağlar (UNSCEAR, 2008). Bunlar büyük ölçüde çekirdeklerin parçalanması ve bu kozmik bombardımanlar nedeniyle atmosferdeki nötron yakalama reaksiyonları nedeniyle oluşuyor (Klement, 2019). Kozmik radyasyon genellikle enerjik, pozitif yüklü protonlar ve alfa parçacıkları şeklindedir. Kozmik radyasyondan kaynaklanan doz, yükseklik farklılıkları ve dünyanın manyetik alanının etkileri nedeniyle dünya genelinde değişiklik gösterir (Shahbazi-Gahrouei, 2003; Möller ve ark., 2012). Bu şekilde üretilen en önemli iki radyonüklit ^{14}N üzerindeki (n, p) reaksiyonu ile ^{14}C ve ^{80}Kr üzerindeki (n, γ) reaksiyonu ile ^{81}Kr 'dir. Dünya dışı toz ve göktaşlarından dünya ortamına, özellikle ^{22}Na , ^{26}Al , ^{46}Sc , ^{48}V , ^{51}Cr , $^{53,54}\text{Mn}$, $^{56,57,58,60}\text{Co}$ ve ^{59}Mn 'dan kaynaklanan ve daha ağır maddelerin parçalanması sonucu ortaya çıkan ilave ve az miktarda radyoaktivite eklenir (Klement, 2019). Kozmik radyonüklitler, birkaç dakika ile 2.5 milyon yıl arasında değişen yarı ömürleri olan tipik olarak nispeten düşük atom numarasına sahip elementlerdir. Üretim oranları yaklaşık olarak sabittir ancak yükseklik ve enlem ile değişir, genellikle daha yüksek rakımda önemli ölçüde daha yüksektir. Özellikle, yüksek irtifanın etkisi, yüksekten uçan uçakların yolcuları ve mürettebatı üzerindeki ilave dozda belirgin bir şekilde gözlenir (Eisenbud ve Gesell, 1997).

Radyonüklitler, büyük ölçüde yerçekimi çökeltme ve çökeltme süreçleriyle dünyanın yüzeyine aktarılır. Sonuç olarak, kozmojenik radyonüklitlerin konsantrasyonları yalnızca rakımla değil, aynı zamanda atmosferik karıştırma süreçleri ve radyolojik yarı ömürler nedeniyle de önemli ölçüde değişir. Biyolojik açıdan en önemli iki kozmik radyonüklit Trityum (^3H) ve Karbon (^{14}C)'dir. Berilyum (^7Be), Sodyum (^{22}Na)

ve diğer radyonüklitler canlılarda da bulunabilir, ancak bunların üretim hızları, konsantrasyonları ve yarı ömürleri nedeniyle onları çok az biyolojik öneme sahip hale getirir.

Karasal radyasyon toprakta, kayalarda, suda ve okyanuslarda, bitki örtüsünde ve dolaylı olarak inşaat malzemelerinde bulunabilir. Karasal kökenli radyonüklitler, tek başına bozunan çekirdekler (örneğin ^{40}K) olarak ortaya çıkanlar ve radyoaktif elementlerin üç bozunma zincirinin parçası olanlar olarak ikiye ayrılabilir; bunlara örnek olarak ^{238}U , ^{232}Th , ^{235}U , ^{40}K vb. örnekleri verilebilir. Karasal radyasyon dozu, bulunduğu bölgeye göre değişir; toprakta daha yüksek konsantrasyonlarda Uranyum ve/veya Toryum bulunan alanlar yüksek doz seviyelerine sahiptir (Derin ve ark., 2012).

Radyoaktivite, Fransız fizikçi Henri Becquerel tarafından 1896 yılında Uranyum üzerine yapılan çalışmalarda ortaya çıkmıştır ve Becquerel ışınları adını vermiştir. 1898 yılında Marie Curie ve Pierre Curie radyoaktivite ismini vermiştir. Radyoaktivite olgusu, radyoaktif nüklitlerin bozunmasından kaynaklanır. Bu nüklitler, tipik olarak alfa, beta ve gama radyasyonu olmak üzere üç ana form yoluyla nükleer bağlanma enerjisini serbest bırakır. Bazı radyoaktif nüklitler doğada; suda, toprakta, havada ve bitkilerde bulunmaktadır. Bu nedenle, günlük olarak radyoaktivite ile etkileşime girmekte ve hayatın kaçınılmaz bir parçası durumundadır. İnsanların tipik olarak maruz kaldığı doğal radyoaktivite, ^{238}U , ^{235}U , ^{235}Th , ^{14}C ve ^{40}K dır. Doğada radyoaktif nüklitler doğal olarak oluşan ve insan yapımı olmayan veya “antropojenik” olmak üzere iki ana alt grupta sınıflandırılır. Doğal olarak oluşan radyoaktif nüklitlere; radyoaktif maddeler veya “NORM” denir (Podgorsak, 2005). Yapay radyoaktivite nükleer tıp, enerji üretimi, endüstriyel ve tarımsal uygulamalar dahil olmak üzere çeşitli uygulamalarda kullanılır. Ayrıca, radyoaktivitenin tüm bu yapay kullanımına rağmen, dünya nüfusunun aldığı tipik insan yıllık maruz kalma dozunun %85'i NORM'dan kaynaklanmaktadır (Santawamaitre ve ark., 2010).

1.1. Doğal Radyoaktivite

Kararsız radyoaktif çekirdekler, kararlı bir duruma ulaşmak için alfa, beta gibi parçacık ve gama ışını yayımlayarak bozunuma uğrarlar. Nükleer kararlılığa tek bir bozunma sonucu ulaşılmaz ve kararlı bir nihai çekirdeğe ulaşana kadar birbirini takip eden birkaç bozunma sürecinden geçebilir. Her bozunma serisinde en uzun ömürlü ana izotop tarafından tanımlanan bir dizi farklı doğal olarak meydana gelen nükleer bozunma süreci vardır. Doğada meydana gelen en yaygın üç bozunma serisi ^{238}U , ^{235}U ve ^{232}Th 'nin

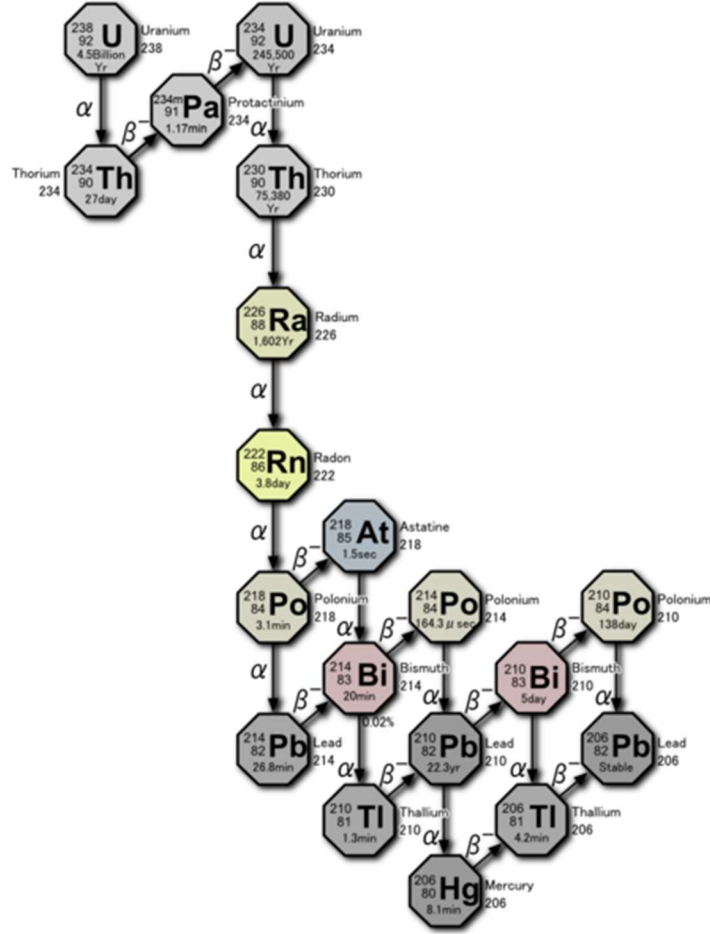
bozunmasından kaynaklanır (Ronald, 1988; Unscear, 1988). Her biri, sonunda kararlı bir çekirdeğe (sırasıyla ^{206}Pb , ^{207}Pb ve ^{208}Pb) ulaşana kadar bir dizi radyoaktif bozunmadan geçer. Bir serideki bozunmaların tamamı tek bir türden değildir (yani alfa veya beta), daha ziyade belirli radyoizotopa bağlı olarak her iki parçacıyı yayımlayarak bozunuma uğrarlar. Bu serileri anlayarak, belirli bir elementin aktivite konsantrasyonu, aktivite ölçülerek ve böylece bozunma ürünlerinin miktarı çıkarılarak hesaplanabilir. Hangi tür analiz ve aletlerin kullanılacağına dair karar, o izotopun bozunmasından sonra en bol bulunan ürünlerinin bozunma türüne bağlıdır (Krishnaswami ve ark., 1982; Lilley, 2013).

1.2. Doğal Bozunma Serileri

Eğer bir radyoaktif bozunma sürecinin yavru çekirdeği de kararsızsa, o zaman o da daha fazla bozunmaya uğrayacaktır. Bu süreç, kararlı bir izotopa ulaşılana kadar seri olarak devam eder.

1.2.1. ^{238}U bozunma serisi

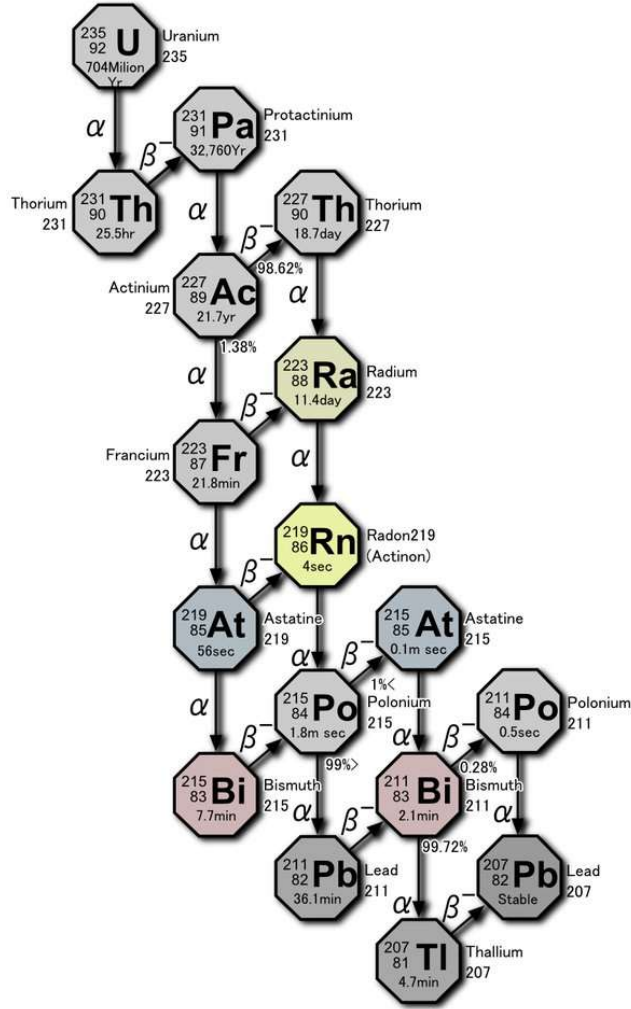
Bu bozunma aynı zamanda $4n+2$ serisi olarak da bilinen ve 4.468×10^9 yıllık bir yarı ömre sahip olan ^{238}U 'nun bozunmasıyla başlar (Bé ve ark., 2006). ^{238}U izotopu, tabiatta bulunan doğal Uranyumun %99.25'ini içerir (Eisenbud ve Gesell, 1997). ^{238}U , alfa yayımlayarak ^{234}Th a dönüşür ve daha sonra β^- , bozunmasıyla ^{234}Pa 'da metastabil bir duruma bozunur. Bu bozunma serisi, Şekil 1.1'de şematik olarak gösterildiği gibi, ^{206}Pb 'de kararlılığa ulaşana kadar devam eder. ^{238}U bozunumu, ^{206}Pb 'de kararlı hale gelene kadar 14 ardışık aşamadan geçer, bunların 8'i alfa emisyonlarına karşılık gelir (Szegvary ve ark., 2007; Gilmore, 2008). Serideki bozunma ürünlerinden bazıları, ilgili bozunma çekirdeklerinde α veya β^- bozunmalarından uyarılmış durumlara çıkan ölçülebilir gama ışını emisyonlarına sahiptir. Spesifik radyonüklit bozunmasıyla ilişkili bu karakteristik γ -ışını emisyonları, yüksek çözünürlüklü γ -ışını spektrometresi kullanılarak ölçülebilir.



Şekil 1.1. Uranyum bozunma serisi, ^{238}U ($4n+2$)

1.2.2. Aktinyum serisi

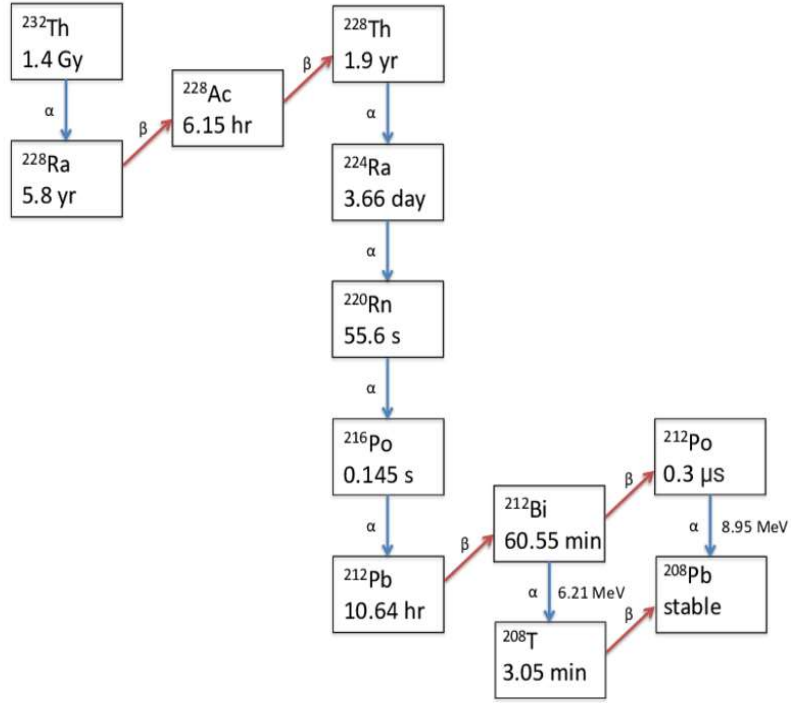
Aktinyum serisi, doğal olarak oluşan Uranyum-235 ile başlayan üç klasik radyoaktif seriden biridir. Bu radyoaktif bozunma serisi, kararlı bir çekirdeğe ulaşmaya kadar bir dizi alfa ve beta yayınlayarak bozulan kararsız ağır atom çekirdeklerinden oluşur. ^{235}U dünyadaki doğal Uranyumun % 0.72'sini içermektedir (Stacey, 2018) ve 7.03×10^8 yıllık bir yarı ömre sahiptir (Bé ve ark., 2006). $4n + 1$ serisi olarak da adlandırılan aktinyum bozunma serisinin başında yer alır. 7 adedi alfa emisyonu olmak üzere toplam 11 bozunma aşamasından geçer. ^{235}U , gama spektroskopisi kullanılarak doğrudan, ölçülememesinin nedeni, ^{232}U bozunma zincirinden ^{226}Ra bozunmasının ardından yayınlanan (186.2 keV) geçişle örtüşen ^{231}U 'dan (185.72 keV) yayınlanan fotonların enerjisinin olmasıdır. Bu nedenle, Uranyum' un iki izotopik bozunumunu ayırt etmeyi zorlaştırır. Aktinyum bozunma serisi Şekil 1.2'de gösterilmektedir.



Şekil 1.2. Aktinyum bozunma serisi, ^{235}U ($4n+1$)

1.2.3. Toryum serisi

Doğal olarak oluşan Toryum %100 ^{232}Th 'dir (yani monoizotopiktir). ^{232}Th 'nin yarı ömrü 1.4×10^{10} yıldır (Bajoga, 2016) ve 6'sı alfa emisyonu olmak üzere 10 ayrı aşamadan geçen bir bozunma serisine ($4n$) sahiptir. ^{232}Th 'nin aktivite konsantrasyonu, ^{228}Ac , ^{212}Pb , ^{212}Bi ve ^{208}Tl gibi bozunma ürünleri çekirdeklerinin aktivite konsantrasyonları ölçülerek gama spektroskopisi yoluyla çıkarılabilir. Her biri, $4n$ zinciri için kalıcı denge varsayımı altında numunedeki ^{232}Th konsantrasyonunu belirlemek için gama spektroskopisi kullanılarak ölçülebilir (Ghiassi-Nejad ve ark., 2002; Gilmore, 2008). Toryum bozunma serisi Şekil 1.3'te gösterilmektedir.



Şekil 1.3. Toryum bozunma serisi, ^{232}Th (4n)

1.3. Radyoaktif Bozunma Yasası

Radyoaktif çekirdekler enerjik olarak kararsızdır. Kütlelerinin bir kısmını veya fazla bağlanma enerjilerini radyasyon olarak serbest bırakarak kararlılık ararlar. Bu çekirdekler kütle enerjisinin bir kısmını serbest bırakarak, enerjik olarak daha dengeli bir proton ve nötron oranı sağlar ve daha kararlı bir enerji durumuna ulaşabilir (Butt ve Wilson, 1972). Radyoaktif bozunma bir anda gerçekleşmez, aksi takdirde var olan tüm çekirdekler anında kararlı duruma ulaşırdı (L'Annunziata, 2007; Lilley, 2013). Bunun yerine, radyoaktivite, bir çekirdeğin parçalanıp dağılmadığına dair istatistiksel, zamana bağlı bir olasılığa sahiptir. Bu olasılık, söz konusu radyoaktif süreç için bozunma sabiti λ tarafından belirlenir. Bir radyoaktif izotop örneğinin bozunma hızına aktivite (A) denir ve aşağıdaki denklemlerle verilir.

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N \quad (1.1)$$

Eşitlik 1.1 tek bir radyoaktif bozunma türü için üstel bir çözüme sahiptir;

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (1.2)$$

burada, N, bir t anındaki radyoaktif çekirdek sayısı, N_0 , ise t=0 anındaki radyoaktif çekirdeklerin sayısıdır.

1.3.1. Ardışık bozunma

$t=0$ anında bozunma ürünlerinin mevcut olmadığı varsayımı altında, böylece $N_1(t=0) = N_0$ ve $N_2(t=0) = N_3(t=0) = \dots = 0$, daha sonra t süresinden sonra, ilk ana çekirdeklerin sayısı aktivite tarafından verilen zamanın bir fonksiyonu olarak azalacaktır, öyle ki;

$$A_1 = -\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1 = A_0 e^{-\lambda_1 t} \quad (1.3)$$

Çekirdeğin (n) ardışık bir bozunma zincirinin radyoaktif olarak kararlı son ürünü olduğunu ve bozunma ürünleri sabitlerinin olduğunu varsayarsak, $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ vb. ile temsil edilir. Zincirdeki farklı radyonüklidlerin bireysel konsantrasyonları aşağıdaki gibi Bateman denklemleri (Cetnar, 2006) kullanılarak hesaplanabilir:

$$\frac{dN_i}{dt} = \lambda_{i-1} N_{i-1} - \lambda_i N_i \quad (1.4)$$

Burada λ_i , i 'inci çekirdeğin bozunma sabitidir.

Bu formüle göre, ikinci ürünün konsantrasyonu;

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \quad (1.5)$$

1.1 ve 1.4 denklemlerini çözerek aşağıdaki ilişkiler elde edilir:

$$N_1(t) = N_0 e^{-\lambda_1 t} \quad (1.6)$$

$$N_2(t) = N_0 \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \quad (1.7)$$

Buradan bozunma ürünün aktivitesi aşağıdaki denklemden:

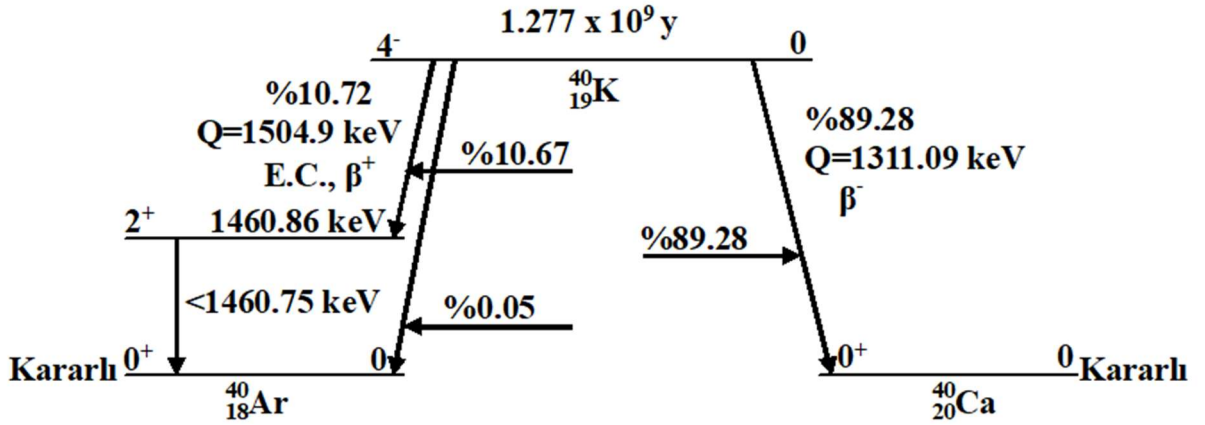
$$A_2(t) = \lambda_2 N_2(t) = N_0 \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \quad (1.8)$$

Bozunma zincirine uygulayarak ve $t=0$ anında tüm bozunma konsantrasyonlarının sıfır olduğunu varsayarak, t zamanındaki n 'inci çekirdeğin konsantrasyonu, Bateman denklemlerinin genelleştirilmiş çözümleri kullanılarak belirlenebilir (Cetnar, 2006).

$$N_n(t) = \frac{N_0}{\lambda_n} \sum_{i=1}^n \alpha_i e^{-\lambda_i t} \quad (1.9)$$

burada α söz konusu bozunmanın katsayısıdır. α_i 'nin değeri aşağıdaki formülle hesaplanabilir:

$$\alpha_i = \prod_{j=1}^n \frac{\lambda_j}{\lambda_j - \lambda_i} \quad (1.10)$$



1.3.2. Dallanmış bozunma

En yaygın radyoaktif bozunma olayı, bir ana çekirdeğin yalnızca belirli bir yavru çekirdeğe bozunduğu durumlardır, yani, yavru çekirdek her zaman aynı radyoizotoptur ve bozunma modu aynıdır. Alternatif olarak, dallanmış bozunmada, bir ana çekirdeğin birden fazla ikincil nükleer türe bozunma olasılığı vardır (Lilley, 2013). Her bir yavru tipinin göreceli bozunma olasılığına dallanma oranı denir. Bunun bir örneği Şekil 1.4'te gösterilen ^{40}K 'nin bozunmasıdır. Burada, pozitron emisyonu (%10.67) ve elektron yakalama (%0.048) ile %10.72 oranında ^{40}Ar 'a bozunma olasılığına sahiptir (Lilley, 2013), bozunmaların diğer %89.28'i ise β^- bozunmasıyla ^{40}Ca 'ya gider.

1.3.3. Alfa bozunması

Yüksek atom numaralarına ($Z > 83$) sahip doğal olarak oluşan radyoizotoplar genellikle α parçacığı yayınlamaya bozunur (Pradler ve ark., 2013). Bir alfa parçacığı kararlı, oldukça sıkı bir şekilde bağlı bir ^4He çekirdeğidir, bu nedenle emisyonu, ilk ve son radyonüklitler arasındaki kütle farkına bağlı olarak önemli bir Q-değeri açığa çıkarabilir. Alfa bozunma süreci, bir ana çekirdek (X) için aşağıdaki formülle şematik olarak yazılabilir (Krane ve Kenneth, 1988; Lilley, 2013).



Böyle bir bozunma süreci için Q değeri, ana çekirdek ile alfa parçacığı ve yavru çekirdekler (D) arasındaki kütle-enerji farkına eşittir.

$$Q = (m_X - m_D - m_\alpha)c^2 \quad (1.12)$$

Açığa çıkan enerji, alfa parçacığının kinetik enerjisi ile yavru çekirdek arasında paylaşılır. Toplam kütle-enerjinin ve doğrusal momentumun korunumu ile elde edilen,

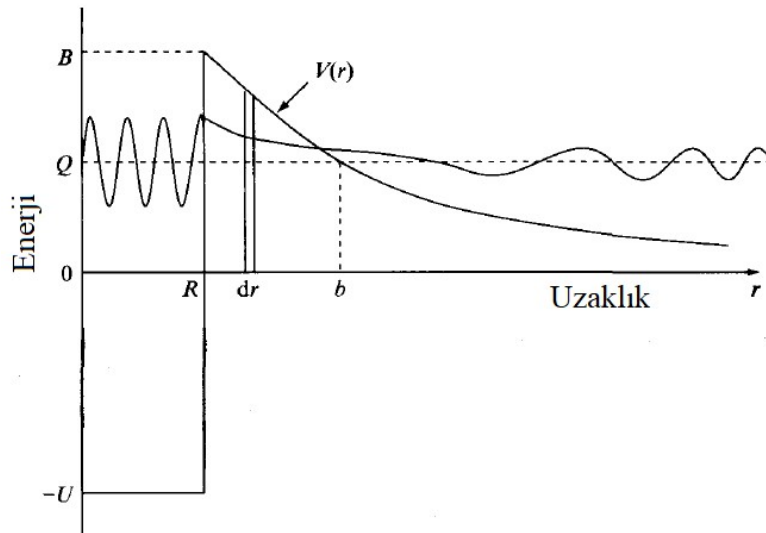
$$(m_X - m_D - m_\alpha)c^2 = E_D + E_\alpha \quad (1.13)$$

Denklem 1.12'deki Q değeri ve doğrusal momentumun korunumu kullanılarak, yayınlanan alfa parçacığının enerjisi böylece aşağıdaki eşitlik ile belirlenebilir.

$$E_\alpha = \frac{Q}{1 + \frac{m_\alpha}{m_D}} \quad (1.14)$$

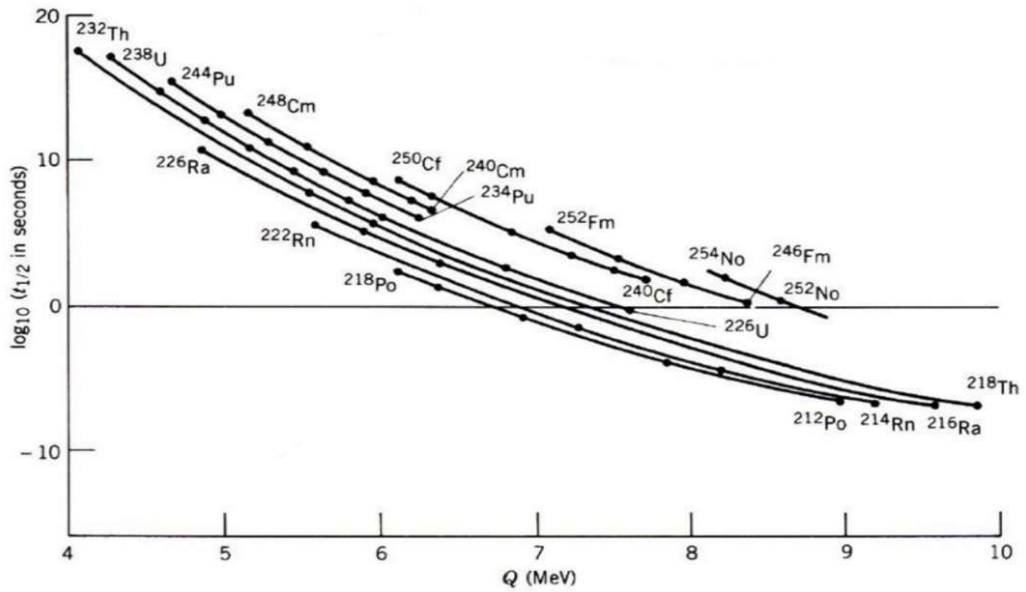
Denklem 1.14'ten, atom numarası $A \sim 200$ çekirdek için, alfa parçacığının açığa çıkan enerjinin (Q değeri) neredeyse %98'ini ortadan kaldırdığı ve yavru çekirdek için %2'den daha azını bıraktığı açıktır (Krane ve Kenneth, 1988; Shiralkar ve ark., 2003). $A > 200$ alfa parçacık bozunmalarına sahip çekirdekler için 4 ile 10.5 MeV enerji aralığında ölçülmüştür (Wahl, 2010).

Alfa parçacıklarının emisyonu klasik mekanik kullanılarak açıklanamaz. Alfa parçacığının emisyon olasılığı kuantum fiziği ve dalga fonksiyonları kavramı ile kuantum mekaniksel tünelleme fikri kullanılarak açıklanabilir.



Şekil 1.5. Coulomb bariyerinden alfa parçacıklarının tünellemesinin şematik diyagramı (Gilmore, 2008)

Potansiyel bir engele hapsolmuş bir parçacığın, o engeli aşma ve onun dışına çıkma olasılığı vardır. Parçacığın artan ayrılma enerjisi ile bu olasılık artar (Krane, 1991; L'Annunziata, 2007). Bu prensibi kullanarak ve emisyonundan önce alfa parçacığının çekirdeğin içinde ayrı bir varlık olarak var olduğunu varsayarsak, bunun çekirdeğin potansiyel bariyeri içinde hapsolmuş bir parçacık olduğu düşünebilir. Yeterli enerji verildiğinde, artan bir olasılıkla bu bariyeri aşabilir (Ronald, 1998; Lilley, 2013). Düşük enerjili alfa parçacıkları daha az emisyon olasılığına sahiptir, ana çekirdekler daha uzun yarı ömürlüdür. Yüksek enerjili parçacıklar daha yüksek emisyon olasılığı ve dolayısıyla daha kısa yarı ömürleri vardır (Lilley, 2013). Alfa emisyonu ile bozunan çift-çift çekirdekler için yarı ömürlerine ($\log t_{1/2}$) karşı Q_α 'nın logaritmik grafiği düzgün bir ilişki olduğunu gösterir (Krane, 1991). Ayrıca, yavru çekirdekteki uyarılmış durumların göreceli popülasyonunu belirleyen alfa yayıncılar için bir açısal momentum seçim kuralı vardır.



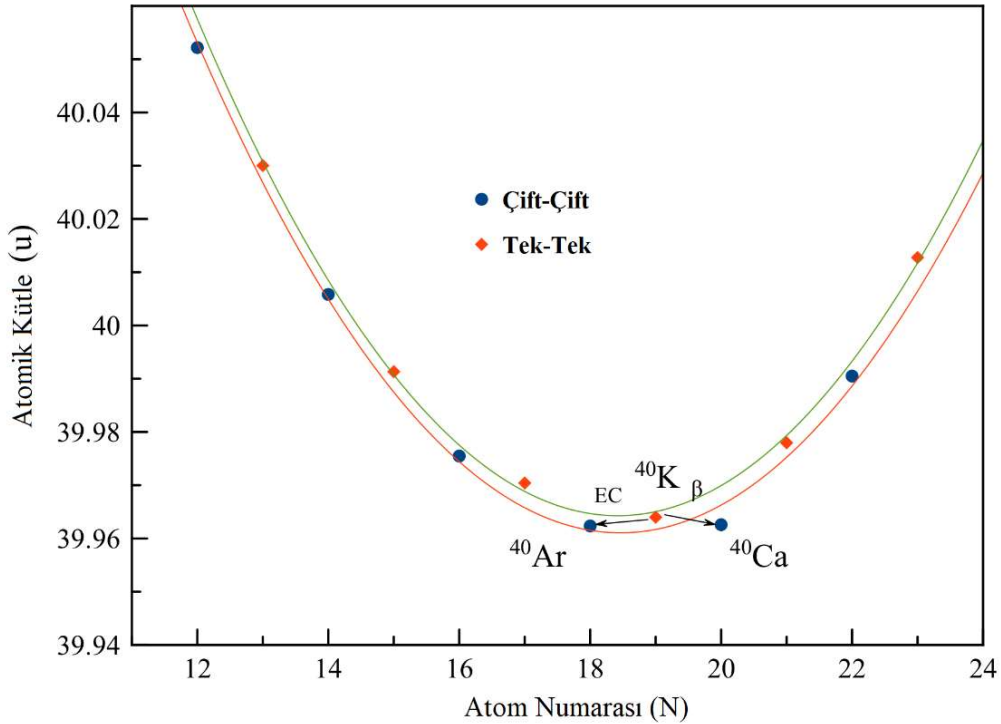
Şekil 1.6. Daha büyük parçalanma enerjilerine sahip α -yayıncıların genellikle daha küçük Q değerlerine sahip olanlardan daha kısa yarı ömürlere sahip olduğu Geiger-Nuttall kuralının şematik diyagramı (Krane, 1991).

Alfa parçacıklarının emisyonu aynı zamanda bir parite seçim kuralını $(-1)^L$ izler; burada L , α -parçacığı ile bozunma yavru çekirdek arasındaki yörüngesel açısal momentumdur. Çekirdeklerin ilk ve son durumları aynı pariteye sahipse, L çift, farklıysa L tek sayı olmalıdır. Bu prensibi kullanarak, yavru durumlara hangi doğrudan α bozunma geçişlerine izin verildiğini ve hangilerinin verilmediği belirlenebilir. (Krane, 1991).

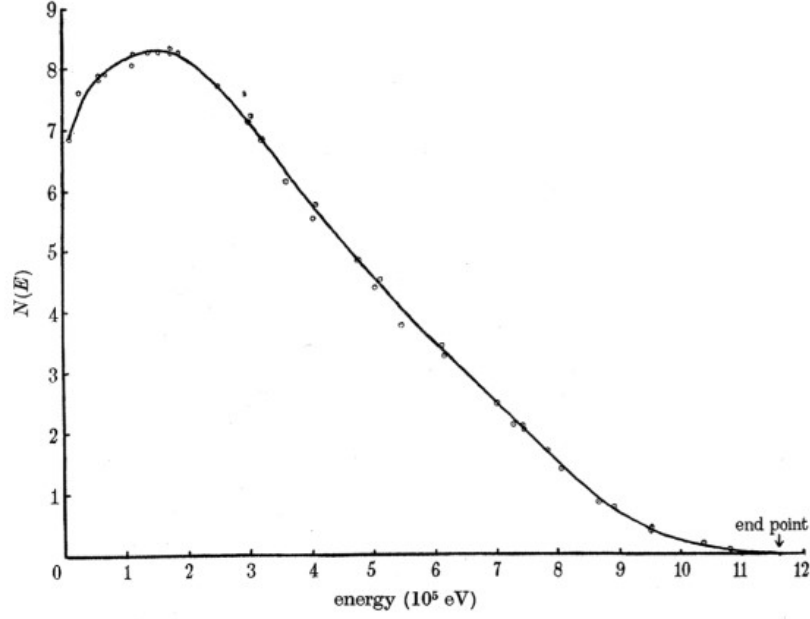
1.3.4. Beta bozunması

Beta bozunması, proton/nötron oranını ayarlamak ve ikisi arasında enerji açısından daha uygun bir orana ulaşmak için bir nötronun bir protona (β^-) veya protonun nötrona (β^+) dönüştürüldüğü bir süreçtir. Beta bozunması; (i) Beta-eksi β^- veya negatron bozunması, (ii) Beta-artı β^+ veya pozitron bozunması, (iii) ve elektron yakalama (EC) olmak üzere üç farklı süreç ile gerçekleşir. Şekil 1.7, belirli bir çekirdeğin β^+ veya β^- bozunumu anlamak için kullanılacak kütle parabolünü göstermektedir. Kütle parabolünün fazla protonlu tarafındaki izotoplar, fazla proton sayısını azaltmak ve nötron sayısını artırmak için β^+ bozunması veya elektron yakalama olayını gerçekleştirecektir. Ancak diğer taraftaki izotoplar, nötron sayısını azaltmak ve proton sayısını artırmak için β^- bozunmasına uğrayacaktır (Gilmore, 2008; Lilley, 2013). Her iki durumda da izotopik zincir, söz konusu kütle parabolünün tabanında daha kararlı nihai bir çekirdeğe ulaşacaktır. Belirli bir izobarik zincirde, toplam kütle numarası $A = Z + N$ (proton sayısı artı nötron) sabit kalır (Krane, 1991).

Beta-eksi β^- veya negatron bozunması: β^- bozunması ile bir nötron bir protona dönüşerek çekirdekte bir elektron ve bir anti-nötrino yayınlanır, yani:



Şekil 1.7. Çift-çift ve tek-tek $A=40$ izobarik zincir için kütle parabolleri, ^{40}K ile ^{40}Ar ve ^{40}Ca bozunma modlarını gösterir (Audi ve ark., 2012).



Şekil 1.8. ^{210}Bi 'nin (Radyum E) β^- bozunmasından kaynaklanan sürekli enerji dağılımı (Neary, 1940).

Burada $\bar{\nu}$ anti-nötrinodur. Q değeri veya salınan enerji aşağıdaki formülle verilir (çekirdeğin çok küçük geri tepme enerjisini ihmal edilmiştir)

$$Q_{\beta^-} = (m_X - m_D - m_e)c^2 = E_e + E_{\bar{\nu}} \quad (1.16)$$

Şekil 1.8 incelendiğinde elektron ile anti-nötrino enerjinin çoğunu kinetik enerji olarak kazanır ve bu enerjinin aralarındaki dağılımı %0 ila %100 arasında istatistiksel bir olasılıktır (Krane ve Kenneth, 1988). Beta parçacıkları tek enerjili değildir. β^- bozunması en çok, söz konusu izobarik zincirin en kararlı izobarına kıyasla daha fazla sayıda nötrona sahip izotoplarda yaygındır.

Beta-artı β^+ bozunması: β^+ bozunması ile çekirdekten bir pozitron (anti elektron) salınır. Bir proton, bir nötrona dönüşerek çekirdekten bir pozitron ve bir nötrino yayınlanır, yani:

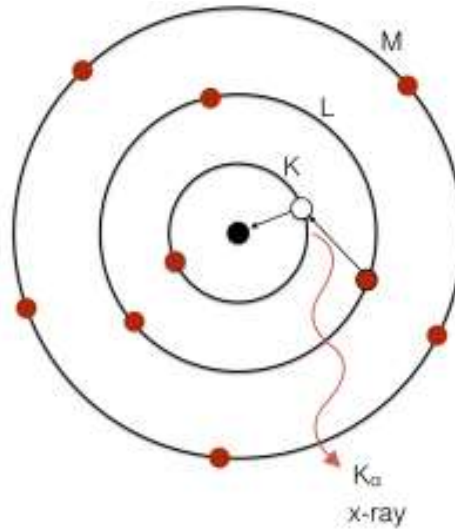
$$p^+ \rightarrow n + e^+ + \nu \quad (1.17)$$

Burada ν nötrinodur. β^+ bozunmasında olduğu gibi, enerji pozitron ve nötrino arasında dağıtılır. Bu bozunma proton fazlalığı olan çekirdeklerde yaygındır. Çekirdekten pozitif bir elektron (pozitron) yayınlanabilmesi için atom kütleleri cinsinden yazılan Q değerinin 1.022 MeV'den büyük olması gerekmektedir (Krane, 1991).

$$Q_{\beta^+} = (m_p - m_d - 2m_e)c^2 = E_{e^+} + E_{\nu} \quad (1.18)$$

Eşik Q-değeri enerjisine ulaşıldığında, pozitron yayılabilir ve kalan elektron bir protonla birleşerek bir nötronun üretilmesine neden olur.

Elektron yakalama: Elektron yakalama, beta bozunmasının farklı bir modudur. Proton, bir nötron üretmek için atomik bir elektronla etkileşime girer. Çekirdeğe çok yakın elektron, çekirdek tarafından yakalanır ve bir proton bir nötrona dönüşür.



Şekil 1.9. Bir K kabuğunda elektron yakalaması ve ardından karakteristik X-ışını emisyonunun şematik diyagramı.

K kabuğu bir elektron kaybettiğinde, daha yüksek kabuklardan diğer bir elektron boşluğu doldurur ve bir foton yayınlanır. Bu süreç, üst kabuklardan alt kabuklara doğru kademeli olarak devam eder (Gilmore, 2008; Lilley, 2013).

$$Q_{EC} = (m_p - m_d)c^2 - B_n \quad (1.20)$$

burada, B_n çekirdek tarafından yakalanan n'inci kabuk elektronunun ($n=K, L, \dots$) bağlanma enerjisidir.

1.3.5. Gama-ışını emisyonu

Hem alfa hem de beta bozunumlarında, atom numarası (Z) veya kütle numarası (N) değişir, yani, bozunma farklı bir izobar veya element oluşturur. Gama emisyonu, çekirdeğin aşırı uyarma enerjisini serbest bırakır. Uyarılmış durumdaki bir çekirdek, tanımlanmış karakteristik enerjilere sahip bir foton yayınlarken enerjiyi serbest bırakabilir, bu da çekirdeğin daha düşük bir iç enerji durumuna ulaşmasına neden olur.

1.3.6. Radyoaktif denge

Bir ana çekirdeğin ürünlerinin de radyoaktif olduğu ve sonuç olarak diğer elementlere veya izotoplara bozunduğu bir radyoaktif seride, ana ve yavru çekirdeğin aktiviteleri için 3 denge durumu bulunur. Her durumda seri, aktivite A_0 ve bozunma sabiti λ_1 olan ana çekirdek N_0 konsantrasyonuyla başlar. Ayrıca bozunma sabiti λ_2 olan yavru çekirdeğin başlangıç konsantrasyonunun N_1 olduğu varsayılır. Ana çekirdek bozdukça, yavru çekirdeğin konsantrasyonu artar. Ek ürün de zamanla bozulur. Eşitlik 1.8 ve 1.9'daki formüllerden hareketle, yavru çekirdeğin konsantrasyonunun aşağıdaki formülle verildiği çıkarılabilir (Krane, 1991).

$$N_1 = \frac{\lambda_1 N_0}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \quad (1.21)$$

Bu eşitlik, $t = 0$ anındaki $N_1(0)$ konsantrasyonundan sonra herhangi bir t zamanında yavru çekirdeğin konsantrasyonunu hesaplamak için genel formüldür (Krane, 1991; Underhill, 1998).

Ana çekirdek, yavru çekirdeklere kıyasla kısa bir bozunma yarı ömrüne sahipse, o zaman sonunda ana çekirdek tamamen bozunacak ve geriye sadece yavru kalacaktır. Ana çekirdek bozunacağı ve sadece yavru çekirdekler kalacağı için buna “dengesizlik” durumu denir (Krane, 1991; Lilley, 2013).

1.3.7. Geçici denge

Yalnızca ana çekirdek konsantrasyonunun $t = 0$ ve $N_2(t = 0) = 0$ 'da mevcut olduğunu varsayarsak, eğer ana çekirdeğin yarı ömrü yavru çekirdekten daha büyükse, ancak $t \rightarrow \infty$ limitinde aşırı bir fark yoksa, yavru A_2 'nin aktivitesi azalır (Turner, 1995).

$$A_2(t = \infty) = \frac{\lambda_2 A_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \quad (1.22)$$

A_2 aktivitesi önce maksimum bir değere ulaşana kadar artacak, daha sonra ana A_1 ile aynı oranda azalacaktır. Bu, “geçici denge” olarak bilinir.

1.3.8. Kalıcı denge

Kalıcı denge, ana çekirdeğin $T_1 = 1/\lambda_1$ 'in ortalama bozunma ömrü, yavru çekirdeğin $T_2 = 1/\lambda_2$ 'den bozunma ömründen çok daha büyük olduğu durumda oluşur. N_2 yavru konsantrasyonunun zamanla değişim oranı aşağıdaki genel formül ile yazılabilir (Krane, 1991).

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \quad (1.23)$$

Bu denklem çözüldüğünde;

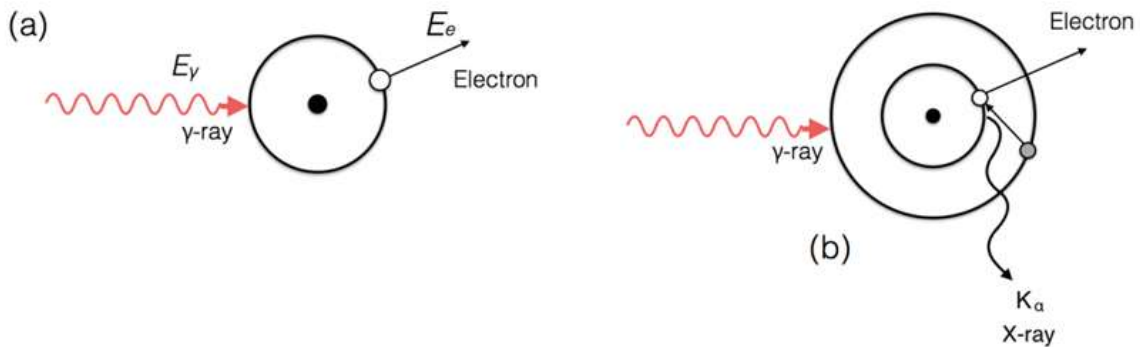
$$A_2 = A_1(1 - e^{-\lambda_2 t}) + A_2 e^{-\lambda_2 t} \quad (1.24)$$

Burada $t=0$, $A_2=0$. Daha sonra, çok uzun bozunma yarı ömrü nedeniyle ana aktivite nispeten sabit kalırken yavru aktivitenin aktivitesi artar. Daha sonra yavru aktivite, aktivitesinin (A_2) ebeveyn aktivitesine (A_1) eşit olduğu bir noktaya ulaşır. Dolayısıyla toplam aktivite $2A_1$ 'dir. Bu duruma “kalıcı denge” denir. Her bir yavrunun başka bir kısa ömürlü çekirdeğe bozunduğu birkaç bozunma varsa, o zaman toplam aktivitenin ana aktivitenin katına eşit olduğuna dikkat edilmelidir. Yani, seri olarak n adet kısa ömürlü bozunmaya sahip olmak, toplam $(n + 1)A_1$ aktivitesi üretir.

1.4. Gama Işınının Madde ile Etkileşimi

1.4.1. Fotoelektrik olay

Fotoelektrik olay, düşük enerjili bir fotonun yüksek atom numaralı bir soğurucu malzemedeki bağlı elektron tarafından soğurularak E_e kinetik enerjisine sahip bir elektronun yayınlanmasıdır. Gelen foton enerjisini soğuran elektron yörünge bağ enerjisi farkı kadar bir kinetik enerji ile bağlı durumundan saçılır ve saçılan bu elektrona fotoelektron adı verilir. Fotoelektron, soğurucu ortamdaki enerjisini esas olarak uyarılma ve iyonlaşma yoluyla kaybeder. Şekil 1.10 da verildiği üzere, atomun iç yörüngesinden elektron yayınlanırsa, dış yörüngedeki elektronlardan biri daha düşük boş seviyeyi doldurur ve bunun sonucunda elektronla birlikte X-ışını da yayınlanır (Knoll, 2010).



Şekil 1.10. (a) Fotoelektrik olay (b) Fotoelektronun etkileşimi ile karakteristik X-ışını yayınlanması şeması.

Fotoelektronun kinetik enerjisi şu şekilde hesaplanabilir:

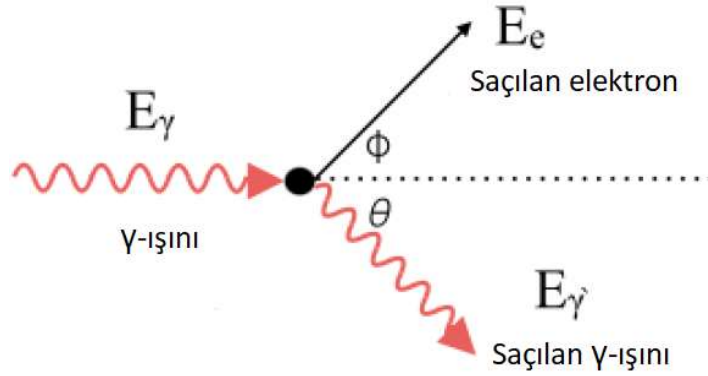
$$E_{e^-} = h\nu - E_b = E_\gamma - E_b \quad (2.25)$$

Burada, $h\nu$ gelen fotonun enerjisi. E_b elektronun yörünge bağlanma enerjisidir. Fotoelektronlar genellikle en zayıf bağlı elektron yörüngesinden veya K yörüngesinden ortaya çıkar (Knoll, 2010).

1.4.2. Compton saçılması

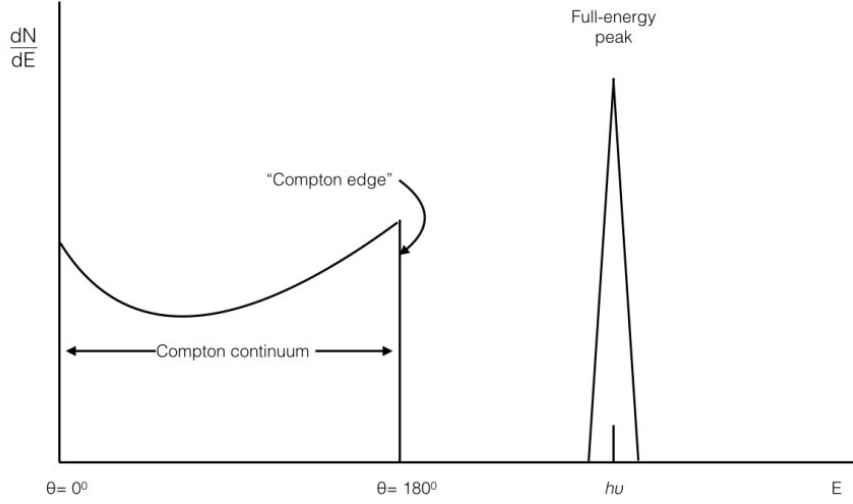
Compton saçılması, Şekil 1.11'de şematik olarak gösterildiği gibi, bir foton ile "serbest" yani bir atoma bağlanma enerjisi fotonun enerjisinden çok daha az olan bir elektron arasındaki elastik bir çarpışmadır. Soğurucu malzeme 100 keV ila 5 MeV arasındaki foton enerjilerine maruz kalması durumunda Compton saçılması etkindir (Knoll, 2010).

Bir foton ile serbest bir elektron arasındaki çarpışmada, momentum ve enerji korunacaksa, fotonun enerjisinin tamamının elektrona aktarılması mümkün değildir. Gelen foton enerjisinin bir kısmını elektrona aktarır ve geliş yönüne göre θ açısı kadar sapar.



Şekil 1.11. Compton saçılmasının şematik gösterimi

Herhangi bir sapma açısı mümkündür ve bu nedenle elektrona aktarılan enerji sıfırdan fotonun başlangıç enerjisinin büyük bir kısmına kadar değişir.



Şekil 1.12. Tam enerji pikine kıyasla Compton saçılmasına aktarılan tipik enerjinin şematik gösterimi (Knoll, 2010)

Compton saçılmasındaki fotonun enerjisi aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanabilir:

$$hv' = \frac{hv}{1 + \frac{hv}{m_0c^2}(1 - \cos \theta)} \quad (1.26)$$

Burada hv gelen foton enerjisidir ve m_0c^2 elektronun durağan kütle enerjisidir (= 511 keV/c²). Saçılan fotonların açisal dağılımı, Klein - Nishina formülü ile tahmin edilebilir (Knoll, 2010).

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = Zr_0^2 \left(\frac{1}{1 + \alpha(1 - \cos \theta)} \right)^2 \left(\frac{1 + \cos^2 \theta}{2} \right) \left(\frac{\alpha^2(1 - \cos \theta)^2}{(1 + \cos^2 \theta)[1 + \alpha(1 - \cos \theta)]} \right) \quad (1.27)$$

1.4.3. Çift oluşum

Çift oluşum, gelen fotonun enerjisi bir elektronun durağan kütle enerjisinin (1.02 MeV) iki katından daha büyük olduğunda meydana gelebilen bir süreçtir. Ancak fotonun enerjisi birkaç MeV olmadığı sürece bu sürecin gerçekleşme olasılığı Compton saçılmasına göre küçük kalır (Knoll, 2010). Bu süreç, fotonun kaybolduğu ve yerini bir elektron-pozitron çiftine bıraktığı çekirdeğin Coulomb alanında gerçekleşir. Fotonun 1.02 MeV üzerindeki fazla enerjisi kinetik enerji olarak elektron ve pozitron arasında paylaşılır. Yani,

$$E_{e^-} + E_{e^+} = hv - 2m_0c^2 \quad (1.28)$$

Yayınlanan pozitron daha sonra ortamdaki bir elektronla birleşene kadar soğurucu malzemede kademeli olarak yavaşlar. Pozitron ve elektron çifti etkileşerek doğrusal ve açısız momentumu korumak için zıt yönlerde 511 keV enerjili 2 foton yayınlanır.

1.5. Radyasyonun Biyolojik Etkisi ve Doz Kavramı

Biyolojik sistemler sürekli olarak doğal kaynaklardan gelen radyasyona maruz kalmaktadır. Vücudumuz ile radyasyon arasındaki etkileşimler, radyasyon enerjisinin dokulara transferini içerir. Radyasyon, hücre yapısını değiştirerek ve DNA'ya hasar vererek canlı dokuya zarar verebilir. Hasarın miktarı radyasyonun tipine, enerjisine ve absorblanan toplam radyasyon dozu miktarına bağlıdır. Ayrıca, bazı hücreler radyasyona diğerlerinden daha duyarlıdır. Hasar hücresel düzeyde olduğu için, küçük veya hatta orta dereceli maruziyetin etkisi ölçülemeyebilir. Bunlar, 10^{-7} saniye ile birkaç saat arasında değişen bir zaman ölçeğinde dolaylı bir biyomoleküler hasara yol açar. Ek olarak, birkaç günden haftalara kadar gözle görülür etkiler meydana gelebilir ve bu da hücrelerin ve hatta tüm organizmanın olası ölümüne yol açabilir. Fark edilmesi zor olan bazı biyolojik etkiler kansere ve bazı genetik kusurların gelecek nesillere olası bir şekilde bulaşmasına yol açabilir. İyonlaştırıcı radyasyonun biyolojik bir sistem üzerindeki etkileri, iç ve dış maruz kalma nedeniyle ortaya çıkabilir. Genel olarak, dahili maruz kalma; yiyecek, su alımı, partiküllerin veya aerosolün solunması yoluyla olur. Örneğin, ^{238}U (^{226}Ra) serisinden karasal kökenli radon gazının (^{222}Rn) solunması dahili maruziyete yol açabilir. Aslında, uzun yarı ömürleri nedeniyle ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K gibi ilkel radyonüklidlerin çoğu hala eser miktarda bulunabilir ve sonunda yiyecek ve içeceklerle karışırlar (Yu ve Mao, 1999; Shiraishi ve ark., 2000). Hesaplanan dahili doz, yayılan ve soğuran malzemenin hem biyolojik hem de fiziksel faktörlerine bağlıdır. Fiziksel faktörler radyoaktif kaynağın enerjisini ve yarı ömrünü içerirken, biyolojik faktörler radyoizotopun vücut içindeki dağılımını içerir ve bu da emilim, devir hızları ve çeşitli organ ve dokulardaki alıkonma süreleri gibi biyo-kinetik davranışına bağlıdır.

Radyasyonun biyolojik etkileri onlarca yıldır araştırılmaktadır ve halen devam etmektedir (Podgorsak, 2005). Sağlıkta ve teknolojide kolaylıklar sağlaması nedeniyle birçok alandaki maruziyet ve iş uygulamaları için güvenlik sınırlarının belirlenmesi amacıyla zararlı etkilerinin değerlendirilmesi kritik hale gelmektedir. Meydana gelen iyonizasyon miktarının ve biyolojik etkinlikle ilişkili belirli hücreler tarafından absorbe edilen enerjinin değerlendirilmesi, radyasyon dozu ölçümleri açısından ele alınabilir. ICRP raporları (ICRP, 1997; Valentin, 2007) radyasyon kaynakları ve maruziyet ile ilgili

olarak en son biyolojik ve fiziksel bilgilerin güvenlik standardı açısından tavsiyelerini vermektedir.

İyonizan radyasyonun hücre etkileşmesi direkt ve indirekt etki olarak 2 farklı şekilde gözlenir. Direkt etkide radyasyon ışınım yolu üzerinde etkileştiği hücrelerin DNA zincirinde kırılmalar meydana getirir. Bu tür etki yüksek lineer enerji transferine (LET) sahip nötron, alfa ve beta ışınım tiplerinde daha çok gözlenir. LET, yüklü parçacığın ışınım yolu üzerinde etkileştiği maddeye bıraktığı enerji miktarı olarak tanımlanır. X ve gama ışınımı düşük LET'e sahip olup enerjilerini etkileştikleri dokuya çok çabuk bir şekilde aktarmadan göreceli olarak uzun bir yol kat ederken daha uzun bir mesafede daha az hasara neden olur (Arslan, 2017).

İndirekt etkide ise iyonizan radyasyon hücre içindeki moleküllerle etkileşerek serbest oksijen radikalleri oluşumuna neden olur. Hücreden hücreye değişmekle birlikte her bir hücre %70-85 oranında su içermektedir (Arslan, 2017).

Somatik Etkiler Non-sitokastik (deterministik) etkiler: Daha çok geniş bir vücut alanının etkilenmesi ile oluşur. Bu tür etkilenmede bir eşik değeri söz konusu olup doz arttıkça hasar miktarı artar. Non-sitokastik erken ya da akut (radyasyon hastalığı, eritem, pulmoner pnömoni, epilasyon vb.) ve geç ya da kronik (katarakt, akciğer fibrozisi, keratozis, infertilite, fibroartropati vb.) dönem etkiler olarak iki ana alt grup şeklinde incelemek yerinde olacaktır (Arslan, 2017).

Sitokastik etkiler: Tüm vücut veya sadece birkaç hücre ya da dokunun etkilenmesi söz konusu olabilir. Sitokastik etki için eşik değer olmayıp doz arttıkça hasar oranı artmaz. Sitokastik etkiler için doğal radyasyon düzeyi üzerinde kesin bir "emniyet sınırı" belirlemek mümkün değildir. Ancak doz arttıkça sitokastik etkinin ortaya çıkma olasılığı artar. Lösemiler, kanserler, genetik mutasyonlar bu gruptadır. Bu grupta oluşan mutasyonların veya kanserlerin doğal yollarla oluşanlardan bir farkı yoktur (Arslan, 2017).

Genetik (Kalıtımsal) Etkiler: Bu tip etki, üreme hücrelerinde bulunan kromozomların radyasyona bağlı hasarlanması ile oluşur. Bu durumda önemli olan hasarlanan hücrenin yaşaması ve dölleme işlevini yerine getirmesidir. Böylece hasar bireyde değil çocuklarında ortaya çıkar ve sonraki kuşaklara aktarılabilir. Bu etkiler de sitotoksik tip etkilerdir.

1.5.1. Doz nicelikleri

ICRP komisyonu tarafından benimsenen efektif dozun değerlendirilmesine yönelik prosedür, absorblanan dozu temel fiziksel nicelik olarak kullanarak belirli organ ve dokular üzerinden ortalamasını almak, eşdeğer dozu elde etmek için farklı radyasyon türlerinin biyolojik etkinliğini hesaba katmak suretiyle uygun şekilde seçilmiş radyasyon ağırlık faktörlerini uygulamak ve organ ve dokuların sağlık etkilerine karşı duyarlılıklarındaki farklılıkları dikkate alan doku ağırlık faktörlerini dikkate alarak efektif radyasyon dozunu hesaplamaktır (ICRP, 2007).

Absorblanan doz: Radyasyondan korunmada absorblanan doz D, temel fiziksel doz niceliğidir ve her türlü iyonlaştırıcı radyasyon ve herhangi bir ışınlama geometrisi için kullanılır. $d\varepsilon$ 'nin dm 'ye oranı olarak tanımlanır; burada $d\varepsilon$, iyonlaştırıcı radyasyon tarafından dm kütleli maddeye verilen ortalama enerjidir (ICRP, 2007).

$$D_{T,R} = \frac{d\varepsilon}{dm} \quad (1.29)$$

Absorblanan dozun SI birimi J/kg olup özel adı greydir (Gy).

Eşdeğer doz ve radyasyon ağırlık faktörleri: Radyasyondan korunma niceliği, stokastik sağlık etkilerinin ortaya çıkmasını önlemek ve doku reaksiyonlarının oluşumunu önlemek amacıyla, radyasyona maruziyeti sınırlamak için kullanılır. Korunma niceliklerinin tanımı, radyasyonun tipine (Tablo 1.1) bağlı olarak, belirli bir organ veya doku T'nin (Tablo 1.2) hacmindeki ortalama absorblanan doza, $D_{T,R}$ 'ye dayanmaktadır. R tipli bir radyasyon, vücuda gelen veya vücut içinde bulunan radyonüklitler tarafından yayılan radyasyonun türü ve enerjisi ile verilir. Bir organ veya dokudaki korunma niceliği eşdeğer dozu (H_T), w_R 'nin radyasyon R için radyasyon ağırlık faktörü çarpımıyla tanımlanır,

$$H_T(Sv) = \sum w_R D_{T,R} \quad (1.30)$$

Eşdeğer dozun birimi J/kg'dır ve Sievert (Sv) olarak adlandırılır (ICRP, 2007).

Tablo 1.1. Radyasyon ağırlık faktörleri (ICRP, 1991)

Radyasyon türü	Radyasyon ağırlık faktörü, w_R
Fotonlar	1
Elektronlar ve müonlar	1
Protonlar ve yüklü pilyonlar	2
Alfa parçacıkları, fisyon parçaları, ağır iyonlar	20
Nötronlar	5
< 10 keV	5
10 keV ila 100 keV	10
> 100 keV ile 2 MeV	20
> 2 MeV ile 20 MeV	10
> 20 MeV	5

Efektif doz ve doku ağırlık faktörleri: Efektif doz, radyasyondan korunmada çalışanların ve halkın radyasyona maruz kalma ve radyonüklid alımına karşı yıllık radyasyon doz sınırlarını hesaplamak için kullanılmaktadır. Efektif doz, tek başına bir kişiye uygulanan gerçek radyasyon dozu değildir; temsili bir modele uygulanan stokastik riskin yaklaşık bir ölçüsünü temsil eden hesaplanmış bir sayıdır (Paquet ve ark., 2016) ICRP Yayını 103'e göre etkin doz, referans kişi için hesaplanır.

$$E(Sv) = \sum_T w_T H_T \quad (1.31)$$

Efektif doz E'nin birimi kilogram başına joule'dür (J/kg), burada etkin doz için özel olarak adlandırılan birim Sv'dir. Doku ağırlık faktörleri (w_T), Tablo 1.2'de verilmektedir.

Tablo 1.2. Doku ağırlık faktörleri, w_T (ICRP, 2007)

Organ/Doku	Dokuların sayısı	w_T	Toplam katkı
Akciğer, mide, kolon, kemik iliği, meme, geriye kalan	6	0.12	0.72
Gonadlar	1	0.08	0.08
Tiroid, yemek borusu, mesane, karaciğer	4	0.04	0.16
Kemik yüzeyi, deri, beyin, Tükürük bezleri	4	0.01	0.04

1.6. Toprakta Bulunan Radyasyon Kaynakları

Toprakta doğal radyasyon kaynağı, dünyanın oluşumu ile ortaya çıkan doğal radyoaktif maddelerin varlığından kaynaklanan bir süreçtir. Bu radyoaktif maddeler genellikle radyoaktif bozunma süreciyle yayınlanan alfa, beta veya gama ışınlarıyla tanımlanır. Toprağın doğal radyoaktivitesi, çeşitli radyoaktif elementlerin varlığına bağlıdır. Toprakta bulunan en önemli radyasyon kaynakları, 4.7×10^{10} yıl yarıömüre sahip ^{87}Rb , 1.41×10^{10} yıl yarıömüre sahip ^{232}Th , 4.47×10^9 yıl yarıömüre sahip ^{238}U ve 1.28×10^9 yıl yarıömüre sahip ^{40}K dır.

Bu elementler, yer kabuğundaki mineral ve kayalarda doğal olarak bulunurlar. Bunlar bozunma sürecine uğrayarak radyoaktif hale gelir ve enerji yayımlarlar. Toprakta doğal radyoaktivitenin seviyesi, bölgeden bölgeye farklılık gösterebilir. Bazı bölgelerde

toprakta daha yüksek miktarda radyoaktif madde bulunabilirken, diğer bölgelerde ise daha düşük miktarlarda olabilir. Bu farklılıklar genellikle jeolojik yapı, yeraltı suyu hareketleri ve yer kabuğundaki mineral bileşimi gibi faktörlerden kaynaklanır.

Doğal radyoaktivite genellikle insan sağlığına doğrudan bir tehdit oluşturmaz. Ancak yüksek radyoaktivite seviyelerine uzun süre maruz kalma durumunda sağlık riskleri ortaya çıkabilir. Bu nedenle, radyoaktif maddelerin yoğun olduğu bölgelerde uzun süreli yaşam veya tarım faaliyetleri, uygun önlemler alınarak değerlendirilmelidir.

1.7. Suda Bulunan Radyasyon Kaynakları

Suyun radyoaktif kirliliği, kararsız çekirdekli atomlar olarak tanımlanan radyonüklidlerin varlığından kaynaklanmaktadır. Radyonüklitler, gama ve/veya alfa beta gibi yüksek hızlı parçacıklar yayımlayarak kararlı hale gelmektedir.

Radyonüklitler ayrıca yeryüzündeki doğal kaynaklardan ya da nükleer enerji santralleri veya laboratuvarlardan salınan sulara da değişen miktarlarda bulunur. Örneğin kuyulardan gelen su, Uranyum, Radyum ve Toryum gibi radyoaktif maddelere katkıda bulunabilecek kaya oluşumlarına maruz kalabilir. Dünya üzerindeki tüm sular bir miktar radyoaktivite içerir.

Tüm sular bir miktar radyoaktivite içermesine rağmen, türü ve miktarı çeşitli faktörlere bağlıdır. Kayalarda ve toprakta doğal olarak bulunan en yaygın alfa parçacıkları Radyum-226, Uranyum-238, Radon-222 ve Polonyum-210 dur. Birincil beta parçacıkları tipik olarak Stronsiyum-90 gibi insan yapımıdır, ancak Potasyum-40 ve C-14 gibi bazıları doğal olarak oluşur. Madencilik faaliyetlerinin yakınındaki yeraltı sularında veya kaya ve toprağın bozulduğu alanlarda daha yüksek seviyelerde radyoaktif kirlilik bulunabilir.

1.8. Amaç

Bu çalışmada, jeolojik ve bölgesel özellikleri bakımından Türkiye'nin hayvancılık ve tarım ürünleri açısından önemli illerinden biri olan Kırşehir ili sınırları içerisindeki, toprak, su ve tarım ürünlerinin doğal radyoaktivite konsantrasyonlarını belirlemek ve havadaki radyasyon doz hızı seviyesinin ölçülmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma aynı zamanda Türkiye'nin radyasyon haritasının çıkarılması çalışmasının bir parçası durumundadır. Böylece, toplumun radyasyon sağlığı bakımından bölgede yaşayan halkın maruz kalabileceği risklerin belirlenmesi ve gerekli olması durumunda önlemlerin alınması amaçlanmaktadır.

Çalışmanın 2. bölümünde dünyada ve ülkemizin çeşitli illerinde yapılan çalışmalar ve çalışma için gerekli olan temel bilgilere, 3. bölümde çalışmada kullanılan analiz yöntemleri ve metotları ile kimyasal işlemler verilmiştir. Bölüm 4'te Kırşehir ilinde belirlenen örnekleme noktalarındaki toprak örüntüsü kaldırıldıktan sonra 0-10 cm derinlikten alınan toprak numunelerinde ^{137}Cs , ^{40}K , ^{232}Th ve ^{226}Ra aktivite konsantrasyonları, bölge halkının kullanmış olduğu şebeke suyu ve kaynak sularında toplam alfa ve beta aktivite konsantrasyonları analiz sonuçları, havadaki doğal radyasyon (gama doz hızları) ölçülmüş ve haritalandırılmıştır. Bölüm 5'te ise elde edilen sonuçlar literatürde bulunan sonuçlar ile karşılaştırılmış ve değerlendirmeler yapılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Son yıllarda dünyanın çeşitli bölgelerinde ve ülkemizde belirli bölgelerin radyolojik açıdan incelenmesi amacıyla yapılan birçok çalışma mevcuttur.

Myrick ve arkadaşlarının Amerika'da yaptıkları bir çalışmada toprak numunelerinde ^{226}Ra , ^{238}U ve ^{232}Th doğal radyoaktivite konsantrasyonları, ^{226}Ra için 327 numuneden elde edilen ortalama 0.23- 4.2 pCi/g, ^{232}Th için 331 numuneden elde edilen ortalama 0.10 – 3.4 pCi/g ve ^{238}U için 355 numuneden ortalama 0.12-3.8 olarak elde etmişlerdir (Myrick ve ark., 1983).

İstanbul'un çevresel doz tayininin belirlenmesi için toprak numunelerinde yapılan çalışmada ^{238}U için ortalama 21 Bq/kg, ^{232}Th için ortalama 37 Bq/kg, ^{40}K için ortalama 342 Bq/kg ve ^{137}Cs için ortalama 16.5 Bq/Kg olarak elde etmiştir. Ayrıca içme sularındaki yaptıkları çalışma ile ^{222}Rn ve ^{226}Ra aldıkları etkin dozun 0.856 μSv olarak elde etmiştir (Karahan, 1997).

Tekirdağ ve çevresi için yapılan çalışmada çevresel gama radyasyon değerinin ortalama 43 nGy/saat olarak tayin etmiştir. Toprak numunelerinden yapmış olduğu ^{40}K , ^{238}U , ^{226}Ra ve ^{232}Th için radyoaktif konsantrasyonlarını sırasıyla 579, 25, 36 ve 39 Bq/kg olarak elde etmiştir (Kam, 2004).

Kırıkkale ve çevresi için yapılan çalışmada çevresel gama doz hızını 121 nGy/saat olarak belirlenmiştir. Su numunelerinde toplam alfa 0.17 Bq/L ve beta 0.23 Bq/L olarak belirlenmiştir. Ayrıca toprak numuneleri için ^{232}Th , ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{137}Cs için sırasıyla ortalama 38.1, 577.3, 20.9 ve 3.6 Bq/kg olarak elde etmiştir (Albayrak, 2011).

Nevşehir ve çevresi için yapılan çalışmada 455 noktada alınan çevresel gama doz hızı ortalaması 152.05 ± 58.08 nGy/saat olarak belirlenmiştir. 323 toprak örneğinden ^{226}Ra için 49.89 ± 21.29 Bq/kg, ^{232}Th için 54.58 ± 20.87 Bq/kg, ^{40}K için 697.691 ± 231.72 Bq/kg ve ^{137}Cs için 7.49 ± 7.89 olarak radyoaktivite konsantrasyonlarını elde etmiştir (Bingöldağ, 2017).

Türkiye atom enerji kurumunun 2014 yılında hazırlamış olduğu teknik raporda Mersin, Kars, Iğdır, Bartın ve Karabük illerinin doğal radyasyon fon haritasının belirlenmesi için yapılan çalışmada, Mersin ili için toplam 63 toprak numunesinde gerçekleştirilen ortalama ^{40}K , ^{137}Cs , ^{226}Ra ve ^{232}Th değerleri sırasıyla 401.32 , 6.71, 24.83 ve 23.57 Bq/kg , Kars ili için toplam 112 toprak numunesinde gerçekleştirilen ortalama ^{40}K , ^{137}Cs , ^{226}Ra ve ^{232}Th değerleri sırasıyla 512.98, 10.55, 24.56 ve 32.66 Bq/kg, Iğdır ili için toplam 69 toprak numunesinde gerçekleştirilen ortalama ^{40}K , ^{137}Cs , ^{226}Ra ve ^{232}Th

değerleri sırasıyla 441.20, 12.98, 14.12 ve 16.13 Bq/kg, Bartın ili için toplam 64 toprak numunesinde gerçekleştirilen ortalama ^{40}K , ^{137}Cs , ^{226}Ra ve ^{232}Th değerleri sırasıyla 326.12, 15,78, 18.21 ve 21.40 Bq/kg ve Karabük ili için toplam 64 toprak numunesinde gerçekleştirilen ortalama ^{40}K , ^{137}Cs , ^{226}Ra ve ^{232}Th değerleri sırasıyla 363.94, 10.20, 16.56 ve 21.42 Bq/kg olarak elde edilmiştir. Mersin, Kars, Iğdır, Bartın ve Karabük illeri için su numunelerinden yapılan ortalama alfa konsantrasyonları sırasıyla 0.059, 0.030, 0.053, 0.041 ve 0.039 Bq/L ve sırasıyla toplam beta konsantrasyonları 0.120, 0.136, 0.198, 0.113 ve 0.135 Bq/L olarak elde edilmiştir. Ayrıca Mersin, Kars, Iğdır, Bartın ve Karabük illeri için ortalama gama radyasyon doz hızı sırasıyla 83, 150, 81, 78 ve 68 nGy/ saat olarak elde edilmiştir (Karahana ve ark., 2015).

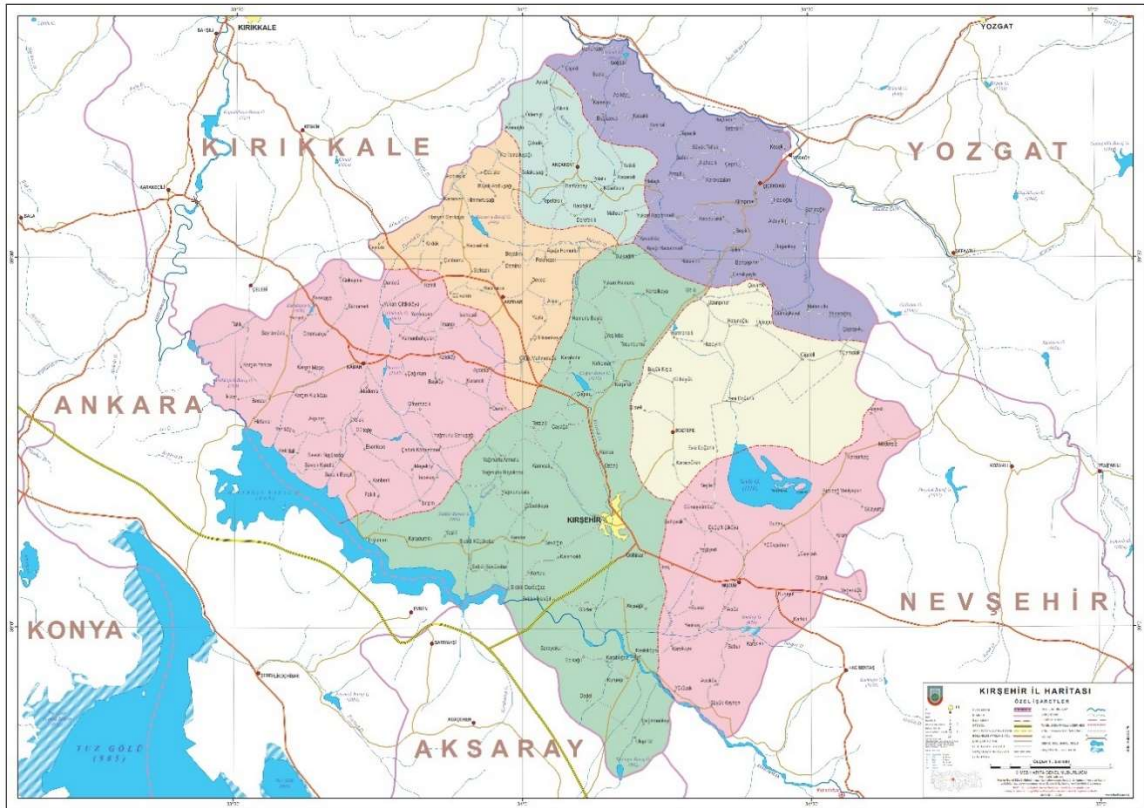
Türkiye atom enerji kurumunun 2017 yılında hazırlamış olduğu teknik raporda Antalya, Nevşehir, Karaman, Hatay ve Artvin illerinin doğal radyasyon fon haritasının belirlenmesi için yapılan çalışmada, Antalya ili için toplam 63 toprak numunesinde gerçekleştirilen ortalama ^{40}K , ^{137}Cs , ^{226}Ra ve ^{232}Th değerleri sırasıyla 381.28 , 8.32, 21.47 ve 26.2 Bq/kg , Nevşehir ili için toplam 59 toprak numunesinde gerçekleştirilen ortalama ^{40}K , ^{137}Cs , ^{226}Ra ve ^{232}Th değerleri sırasıyla 730.95, 10.07, 47.92 ve 56.86 Bq/kg, Karaman ili için toplam 42 toprak numunesinde gerçekleştirilen ortalama ^{40}K , ^{137}Cs , ^{226}Ra ve ^{232}Th değerleri sırasıyla 311.15, 10.07, 23.43 ve 22.28 Bq/kg, Hatay ili için toplam 55 toprak numunesinde gerçekleştirilen ortalama ^{40}K , ^{137}Cs , ^{226}Ra ve ^{232}Th değerleri sırasıyla 342.36, 8.19, 23.35 ve 14.54 Bq/kg ve Artvin ili için toplam 117 toprak numunesinde gerçekleştirilen ortalama ^{40}K , ^{137}Cs , ^{226}Ra ve ^{232}Th değerleri sırasıyla 390.47, 18.48, 47.85 ve 29.27 Bq/kg olarak elde edilmiştir. Antalya, Nevşehir, Karaman, Hatay ve Artvin illeri için su numunelerinden yapılan ortalama alfa konsantrasyonları sırasıyla 0.09, 0.185, 0.05, 0.036 ve 0.045 Bq/L ve sırasıyla toplam beta konsantrasyonları 0.107, 0.263, 0.1, 0.116 ve 0.091 Bq/L olarak elde edilmiştir. Ayrıca Antalya, Nevşehir, Karaman, Hatay ve Artvin illeri için ortalama gama radyasyon doz hızı sırasıyla 22, 21, 11, 55 ve 173 nGy/ saat olarak elde edilmiştir (Karahana ve ark., 2017).

3. MATERYAL VE METOT

Bu araştırmada Kırşehir ilinin doğal radyasyon fon dağılımını belirlenmiştir. İl genelinde homojen bir dağılım sergilemesi amacıyla örnekleme koordinatları belirlenen noktalardan toprak numuneleri, hava ölçümleri, su numuneleri ve bazı bölgelerden tarım ürünleri elde edilerek doğal radyasyon seviyelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen verilerden yararlanarak bölgede yaşayan halkın maruz kaldığı radyasyon dozu hesapları yapılmıştır.

3.1. Kırşehir İlinin Genel zellikleri

Coğrafi olarak iç Anadolu bölgesinin orta Kızılırmak bölümünde yer alan, 39°41'-39°48' kuzey enlemleri ile 33°25'-34°43' doğu boylamları arasında bulunmaktadır. Kırşehir ili Şekil 3.1'de görüldüğü üzere doğu ve güneydoğuda Nevşehir, güneyde Aksaray, kuzeybatıda Kırıkkale, kuzeydoğu ve doğuda Yozgat, batıda Ankara ile vrilidir (Anonim, 2024).



Şekil 3.1. Kırşehir il haritası

6530 km² yüz ölümü bulunan ve deniz seviyesinden yüksekliği 985 m olan Kırşehir ilinin 2022 yılı istatistiklerine göre nüfusu 244.519'dur. Kırşehir'in merkez ilçede dahil olmak üzere toplam 7 tane ilçesi vardır. Bu ilçeler; Akçakent, Akpınar, Boztepe,

Çiçekdağı, Kaman, Merkez ve Mucurdur. Bu ilçeler konumları ile renklendirilmiş olarak Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Kırşehir ili orta Anadolu masifinin bir parçasıdır (Anonim, 2024).

Türkiye'de bulunan dokuz masif arasında en geniş olanı Kırşehir masifi, tuz gölünün derinliklerine kadar uzanmaktadır. Bu masif kütlesi, tektonik hareketlerin etkisiyle birkaç kez kıvrılma geçirmiş ve daha sonra sertleşerek 2000-2500 m yüksekliğinde bir yapı haline gelmiştir. Masifin yapısında, yukarıdan aşağıya doğru kireçli şistler, fil latalar, yeşil şistler, mermer kuşakları, küçük taneli billuru kuvarsitler, mikaşistler ve mermer katmanları bulunmaktadır. İlin ana platosunda, dört farklı dönemde oluşan formasyonlar mevcuttur. Kuzeybatı-Güneydoğu yönünde uzanan fay hattı ve Seyfe Gölü çöküntü alanı, IV. zaman alüvyonları ile kaplıdır ve fay hattının doğusu, başkalaşım geçirmiş dizelerden billuru şistlerle örtülüdür. İl alanının batısı ise mermerleşmiş kireçtaşı ve dolomitlerle, geri kalan bölgeler ise III. zaman Neojen göl tortuları ile kaplıdır. Başkalaşım geçirmiş billurlu kütlelerin diziliş yönleri; Kırşehir-Kaman bölgesinde Kuzeybatı-Güneydoğu doğrultusunda, Kervansaray Dağları civarında ise Güney doğrultusundadır. Bu başkalaşım geçirmiş billurlu kütlelerin yaşları tam olarak belirlenememekle birlikte, Kaman'ın batısında bulunan Karalan Dağları'nın başkalaşım kütlelerinin Tebeşir dönemi öncesine ait olduğu kesin olarak tespit edilmiştir. Başkalaşım katmanlarının altındaki oluşumların ise Paleozoik döneme ait olduğu düşünülmektedir (Anonim, 2024).

Kırşehir, orta Anadolu'nun fay hattı üzerinde konumlanmıştır. Başkalaşım serilerinin kıvrılmaları sırasında oluşan bir kırılma sonucunda, Kuzeybatı-Güneydoğu yönünde uzanan bir fay hattı ortaya çıkmıştır. İl sınırları içinde ikinci bir fay hattı da mevcuttur ve bu fay hattı, ilin Ankara ile sınırını oluşturacak şekilde kuzeye doğru uzanır. İlk kıvrılmalar sırasında meydana gelen fay hattının uzunluğu 15 kilometredir. Kırşehir'deki Terme Kaplıca suyu, bu fay hattının derinliklerinden kaynaklanan sıcak su kaynaklarına dayanmaktadır. Kırşehir, Orta Anadolu deprem alanının üçüncü derece deprem bölgesinde yer almaktadır ve deprem üst merkezinin etki alanındadır. Fay hatları ve çevresi, depremlerin yoğun olduğu kırık dizisi içinde bulunurken, diğer bölgeler ise 2. ve 3. derece deprem kuşağında yer almaktadır (Anonim, 2024).

Kırşehir, güney ve güneybatıda Kızılırmak, batı ve kuzeybatıda Kılıçözü Deresi, kuzey ve kuzeydoğuda Delice Irmağı, doğuda ise Seyfe Gölü çöküntü alanı ile çevrili bir konumda yer almaktadır. Bu bölge, ortalama yüksekliği 1000 metreyi aşan geniş bir yayla manzarasına sahiptir. Kırşehir Masifi olarak bilinen bu plato, birkaç dağ kütlesi ile çevrili

olup, Kızılırmak, Delice Irmağı ve onun kolları tarafından oluşturulan dalgalı bir düzlük görünümündedir. Seyfe Gölü kapalı havzası da bu platoda yer almaktadır. İl topraklarında yüksekliği 1500 metreyi aşan dağların sayısı oldukça sınırlıdır. Toplamda, il topraklarının %64.5'i plato, %17.2'si dağlık alan ve %18.3'ü ise ova şeklinde kaplanmıştır (Anonim, 2024).

Kırşehir'de, kışları soğuk ve kar yağışlı, yazları ise sıcak ve kurak bir karasal iklim hakimdir. Thorntwait'in iklim tasnifine göre, Kırşehir, yarı kurak iklim özelliklerini taşımaktadır. İl genelinde yıllık ortalama sıcaklık 11.3 °C, yıllık yağış miktarı ise 400 mm'nin altındadır. Dağlık ve ovalık bölgeler arasındaki yıllık ortalama sıcaklık farkı sınırlıdır ve ilçeler arasındaki sıcaklık farkı yaklaşık 1 °C civarındadır. Merkez ilçede yıllık ortalama sıcaklık 11.3 °C iken, Kaman'da 10.9 °C ve Çiçekdağı'nda ise 12.2 °C olarak ölçülmüştür (Anonim, 2024).

Kırşehir'in çevre illerle olan sıcaklık farkı da yaklaşık 1 °C civarındadır. Bu kurak ve tektonik bölgede, toprak özellikleri, iklim ve ana maddeye bağlı olarak çeşitlilik gösterir. İlin büyük bir kısmı kahverengi topraklarla kaplıdır, özellikle pek çok kurak Orta Anadolu bölgesinde yaygın olan bu toprak türü, pekişmemiş kireçtaşları üzerinde bulunur. Çiçekdağı'nın kuzeybatısı ile güneyindeki platolar ve Kaman'ın güneybatısı ile Merkez İlçe'nin güneyi kırmızı-kahverengi topraklarla örtülüdür. Çiçekdağı'nın 1000 metreyi aşan kesimlerinde genellikle kahverengi orman toprakları görülür ki bunlar organik madde bakımından zengin, olgun topraklardır. Bu bölgelerde yer yer orman alanları bulunmaktadır. Orman örtüsünün seyrek olduğu alanlarda erozyon etkisi daha belirgindir. Dağın güney kesiminde, orman topraklarının altında kalan yükseltiler, kestane renkli topraklarla kaplıdır. Çiçekdağı ilçesinin batısında Bayındır-Boyacık kasabaları arasında ve Kaman'ın güneyinde kalan alanın bir kısmı kireçsiz kahverengi topraklarla örtülüdür. Bu tür topraklar kuru tarım için uygun bir zemindir. Seyfe Gölü'nün kuzeyi, batısı ve güneyi ile Kırşehir Kılıçözü ve Delice Irmağı vadileri, alüvyon topraklarla kaplıdır. Bu topraklar, akarsuların taşıdığı materyallerle zenginleşmiş, organik madde bakımından zengin, koyu renkli topraklardır. Ayrıca, vadi tabanlarında az miktarda kolüvyal topraklar da bulunmaktadır. Bu topraklar, her tür bitkinin yetişmesi için elverişlidir (Anonim, 2024).

Kırşehir'de, yukarıda bahsedilen ana toprak grupları dışında, Merkez ilçe ile Kaman arasında uzanan Baran Dağı'nın yüksek kesimlerinde çıplak kayalıklar ve Seyfe Gölü çevresinde tuzluluğa bağlı olarak oluşan çorak topraklar da mevcuttur. Ancak, bu tür toprakların tarımsal bir değeri bulunmamaktadır. Kırşehir, çeşitli maden kaynaklarına

sahip olmakla birlikte, bu kaynaklar genellikle ekonomik açıdan yeterli değildir. İldeki en önemli madenler arasında demir, flüorit, mermer ve tuz bulunmaktadır. Demir yatakları özellikle Merkez ve Kaman ilçelerinde yer almaktadır. Flüorit yatakları ise Merkez, Çiçekdağı ve Kaman ilçelerinde bulunup, zaman zaman bu bölgelerde üretim yapılmaktadır. Merkez ilçe, Kaman ve Mucur çevresinde Oniks adı verilen mermer yatakları bulunmaktadır ve bu yataklardan periyodik olarak üretim gerçekleştirilmektedir. Kırşehir'de ekonomik öneme sahip bir diğer doğal kaynak da tuzdur. İldeki en zengin tuz yatakları Tepesidelik ve Sekili bölgelerinde bulunmaktadır. Çiçekdağı ilçesindeki linyit yatakları ise 60.000 ton rezervle sınırlı olup, sadece yerel ihtiyaçları karşılayacak ölçüdedir. Tuğla ve kiremit hammaddesi ise Çiçekdağı ve Akçakent ilçelerinde bulunmaktadır. Kırşehir'de sayılan madenlerin dışında, amyant, antimon, alüminyum, altın, bakır, boraks, baryum, çinko, grafit, gümüş, krom, kurşun, kuvarsit, manganez, mika, taşkömürü, uranyum, volfram, kükürt ve zımpara taşı gibi çeşitli madenler de bulunmaktadır. Ancak, bu madenler genellikle ekonomik olarak işlenmeye uygun değildir (Anonim, 2024).

3.2. Çevresel Gama Doz Hızının Belirlenmesi

Bölgenin coğrafi ve toprak yapısına bağlı olarak, karasal ve kozmik radyasyondan kaynaklanan doğal gama radyasyonu doz hızı değerleri değişim göstermektedir. Şekil 3.2'de gösterilen yüksek hassasiyetli FHZ 674 NBR (Natural Background Rejection) model sintilasyon dedektörüne uyumlu Thermo Scientific RadEye SX marka yüzey radyasyon ölçüm cihazı, bu çalışmada çevresel gama doz hızlarını belirlemek için kullanılmıştır. Bu cihaz, 0.01 μ Sv/saat ile 100 μ Sv/saat arasında ölçüm yapabilen, -20 °C ile 50 °C aralığında verimli ölçüm alabilen 3 kg ağırlığa sahip tek el ile kullanıma uygun bir cihazdır.



Şekil 3.2. FHZ 674 NBR model sintilasyon dedektörüne uyumlu Thermo Scientific RadEye SX marka taşınabilir dijital radyasyon ölçüm cihazı.

3.2.1. Sintilasyon dedektörü

Sintilasyon dedektörü, iyonlaştırıcı bir parçacığın kinetik enerjisini bir ışık parıltısına dönüştüren bir düzendir. Tarihsel olarak, radyasyonu ölçmenin en eski yollarından biri sintilasyon sayımıydı. Rutherford, alfa parçacıklarının saçılması üzerine yaptığı klasik deneylerde, radyasyonun birincil dedektörü olarak bir çinko sülfür kristali kullandı; alfa parçacıkları çinko sülfite çarptığında ortaya çıkan ışık titreşimlerini görmek için gözünü kullandı. Günümüzde ışık, çıkış darbeleri yükseltilebilen, boyuta göre sıralanabilen ve sayılabilen fotoçoğaltıcı tüpler veya fotodiyotlar tarafından elektronik olarak görüntülenmektedir. Çeşitli radyasyonlar, uygun sintilasyon malzemesi kullanılarak sintilasyon sayaçları ile tespit edilebilir. Tablo 3.1'de bu amaçla kullanılan bazı maddeler listelenmektedir.

Tablo 3.1. Sintilasyon malzemeleri (Swank, 1954)

Posfor	Yoğunluk (g.cm ⁻³)	Maksimum emisyonun dalga boyu (Å°)	Relatif darbe yüksekliği	Bozunma süresi (µs)
NaI (Tl)	3.67	4100	210	0.25
CsI (Tl)	4.51	Blue	55	1.1
KI (Tl)	3.13	4100	50	1.0
Anthracene	1.25	4400	100	0.032
Trans-Stilbene	1.16	4100	60	0.0064
Plastic		3550–4500	28–48	0.003–0.005
Liquid		3550–4500	27–49	0.002–0.008
p-Terphenyl	1.23	4000	40	0.005

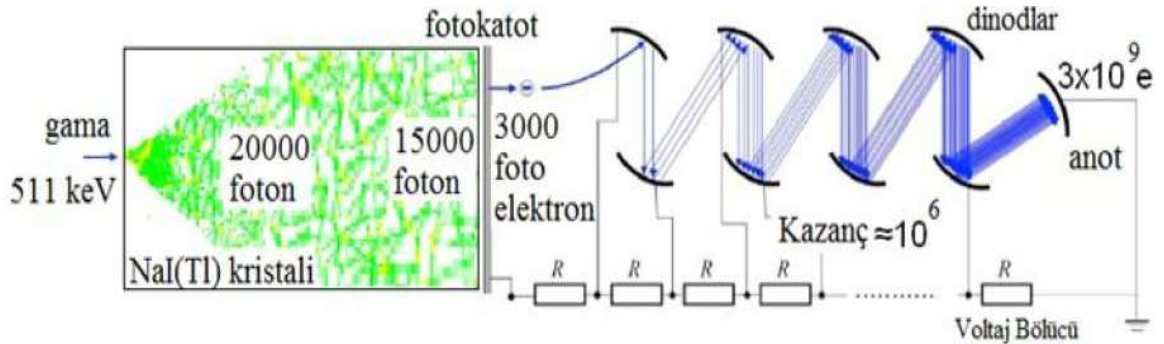
Sintilasyon sayaçları gama ışınlarını ve düşük enerjili beta parçacıklarını saymak için yaygın olarak kullanılır. Düşük enerjili betalar için GM veya orantısal sayaçların sayma verimliliği, beta enerjisinin numune içinde dağılmasından dolayı çok düşük olabilir (Bu olguya kendi kendine soğurma denir). Bu dezavantaj, radyoaktif numunenin parıldayan bir sıvı içinde çözülmesiyle aşılabılır. Bu tür sıvı sintilasyon sayaçları %100'e yaklaşan tespit verimliliğiyle sonuçlanır. Özellikle biyokimya alanındaki araştırma uygulamalarında ve sağlık fizikçileri tarafından ^{14}C ve ^3H 'yi ölçmek için yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Cember, 1969).

Gaz dolu sayaçların doğal algılama verimliliği, sayaca giren alfa veya betalar için %100'e yakın olmasına rağmen, gama ışınlarına yönelik algılama verimliliği çok düşüktür; genellikle %1'den azdır. Öte yandan katı parıldayan kristaller, gama ışınları için nispeten yüksek algılama verimliliğine sahiptir. Ayrıca, detektördeki ışık titremesinin yoğunluğu, ışığı üreten gama ışınının enerjisiyle orantılı olduğundan, bir sintilasyon detektörü, uygun elektroniklerin yardımıyla bir gama ışını spektrometresi olarak kullanılabilir. Gama ışını ölçümü için en sık kullanılan sintilasyon detektörü, bir fotoçoğaltıcı tüpe optik olarak bağlanan talyum NaI(Tl) ile etkinleştirilen bir sodyum iyodür kristalidir. Kristal yapısında yaklaşık %0,2 oranında "safsızlık" olarak bulunan talyum aktivatörü, kristalde emilen enerjii ışığa dönüştürür. Kristalin yüksek yoğunluğu, yüksek etkili atom numarasıyla birlikte, yüksek tespit verimliliğiyle sonuçlanır (Şekil 3.3). Kristalden geçen gama ışını fotonları, fotoelektrik absorpsiyon, Compton saçılması ve çift oluşum gibi etkileşimlerle kristalin atomlarıyla etkileşime girer. Gama ışını etkileşimlerinden kaynaklanan birincil iyonlaştırıcı parçacıklar (fotoelektronlar, Compton elektronları ve pozitron-elektron çiftleri), kristaldeki atomları uyararak ve iyonlaştırarak kinetik enerjilerini tüketirler (Cember, 1969).

Uyarılmış atomlar, ışık kuantumlarının yayılmasıyla temel duruma geri döner. Bu ışık darbeleri, fotoçoğaltıcı tüpün ışığa duyarlı katoduna çarptığında, elektronların katottan fırlatılmasına neden olur. Bu elektronlar, potansiyeli fotokatoda göre yaklaşık 100 V pozitif olan, dinot adı verilen ikinci bir elektroda hızlandırılır. Dinota çarpan her elektron, birkaç başka elektronun dinottan dışarı fırlatılmasına neden olur, böylece orijinal fotoakım "çarptılır". Bu işlem, bu şekilde üretilen tüm elektronların fotoçoğaltıcı tüpün anodu tarafından toplanmasından önce yaklaşık on kez tekrarlanır. Büyüklüğü birincil iyonlaştırıcı parçacığın enerjisiyle orantılı olan bu akım darbesi daha sonra

yükseltilebilir ve sayılabilir. Şekil 3.3 bir fotonun sintilasyon sayacı tarafından tespit edilmesindeki olayların sırasını şematik olarak göstermektedir (Cember, 1969).

Kristal içindeki bir fotoelektrik etkileşim, esas olarak monoenerjetik fotoelektronlar üretir ve bunlar da yaklaşık olarak aynı yoğunlukta ışık darbeleri üretir. Eşit yoğunluktaki bu ışık darbeleri, yaklaşık olarak aynı büyüklükte akım çıkış darbelerine yol açar. Öte yandan Compton saçılımında, Compton elektronundan sürekli bir enerji spektrumu ortaya çıkar; en enerjik elektron, gelen fotonun 180° geri saçılımından kaynaklanan elektrondur. Bu en enerjik Compton elektronuna sintilasyon spektrometresinde “Compton edge” adı verilir. Saçılan foton kristalin dışına çıkabilir veya fotoelektrik absorpsiyon veya başka bir Compton saçılması yoluyla tekrar etkileşime girebilir. En enerjik Compton elektronu, gelen fotonun 180° geri saçılımından kaynaklanır. Fotonlar 0° ile 180° arasında değişen açılarla saçılabileceğinden, Compton elektronlarının 180° geri saçılım nedeniyle en enerjik olanından, çok küçük açılarla saçılan fotonlar nedeniyle elektronlara doğru bir sürekliliği vardır (Cember, 1969). NaI(Tl) sintilasyon dedektörünün şeması gösterimi, Şekil 3.3’de verilmektedir.



Şekil 3.3. NaI(Tl) sintilasyon dedektörü (Tapan, 2011)

3.3. Toprak Numunelerinde ^{40}K , ^{137}Cs , ^{226}Ra ve ^{232}Th Aktivite Konsantrasyonlarının Belirlenmesi

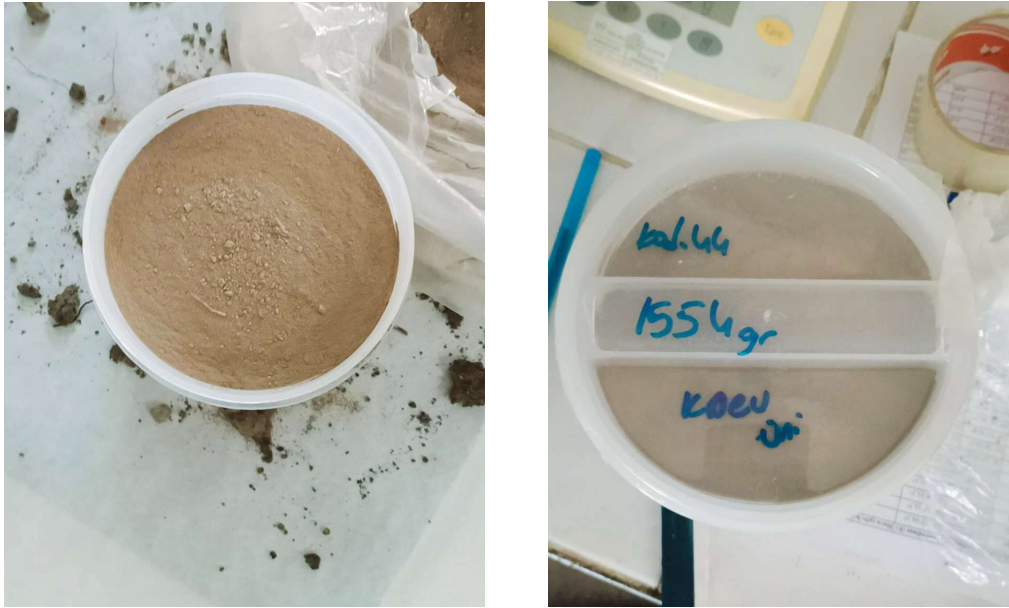
3.3.1. Araziden toprak numunelerinin alınması ve analize hazırlanması

Kırşehir bölgesinin yüzey topraklarındaki aktivite konsantrasyonlarının belirlemek için, toplam 47 adet toprak örneği belirlenen bölgelerden alınmıştır. Numuneler alınırken bölgenin nüfus yoğunluğu, yerleşim alanlarına yakınlığı, işlem görmemiş, ekim yapılmamış, açık ve düz alanlardan numune alınması tercih edilmiştir.

Toprak numunelerini almak için ilk olarak belirlenen noktada yüzey toprağı bitki örüntüsünden temizlenmiştir. Numuneler 0-10 cm derinliğine kadar inebilen 20 cm çapındaki alet yardımıyla ve bir kürek vasıtasıyla numuneler en az 2 kg olacak şekilde

etiketlenmiş plastik poşetlere numunelerdeki yabancı maddelerden kurtulmak için elendikten sonra konulmuştur. Toprak numunelerinin alındığı noktalar GPS ile belirlenip kaydedilmiştir. Toplanmış olan tüm numuneler analiz edilmek üzere TENMAK (Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu) İstanbul Yerleşkesi, Radyoaktivite Ölçüm Laboratuvarlarına analizleri yapılmak üzere götürülmüştür.

Analiz için 47 adet toprak numunesi ilk olarak sırası ile kaba öğütücü makineden geçirilmiş ardından 1 mm²'lik gözenekli elekten geçirilmiştir. Elekten geçirilen numuneler Şekil 3.4'de görülen 1000 mL hacimli boş marinelli sayım kaplarını tamamen dolduracak şekilde konulmuş ve kaplarının darası alındıktan sonra örneğin net ağırlığı tartılarak kaydedilmiştir. Her bir örneğin marinelli kapların ağzı önce sıkıca kapatılmış ve hava almaması için geniş bir bant yardımıyla bantlanmıştır. Kaplar analize hazır hale getirildikten sonra, toprakta bulunan toron ve radon gibi bozunma ürünlerinin, radyoaktif dengeye gelmeleri için yaklaşık 30 gün bekletildikten sonra sayıma hazır hale getirilmiştir.

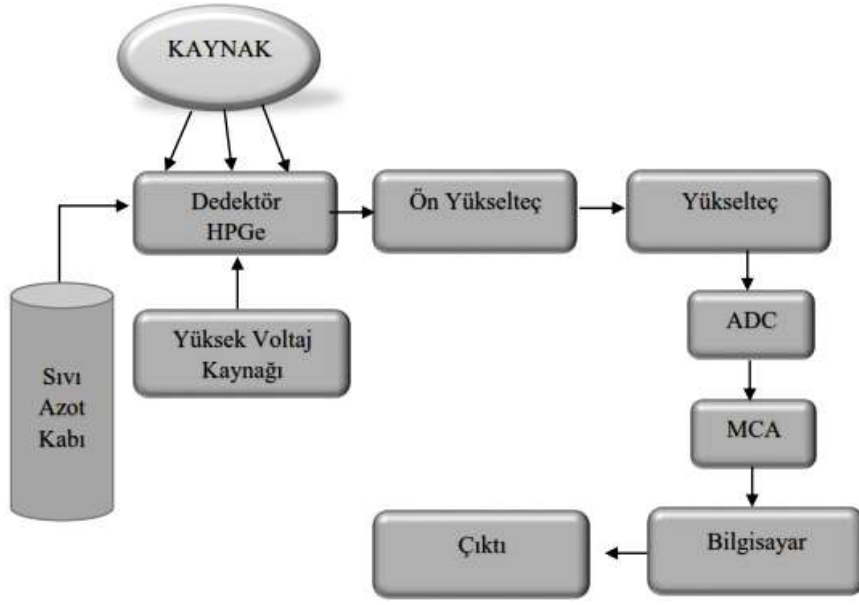


Şekil 3.4. Analize hazırlanan toprak numuneleri

3.3.2. Gama spektrometresi

Kırşehir toprak numunelerinde ⁴⁰K, ¹³⁷Cs, ²²⁶Ra ve ²³²Th aktivite konsantrasyonlarının belirlenmesinde gama spektrometresi kullanılmıştır. Radyoaktivite analizlerinde kullanılan gama spektrometresinin blok diyagramı Şekil 3.5'te gösterilmektedir. Spektrometrik analiz sistemi yüksek voltaj güç kaynağı, ön yükselteç

ve yükselteç, yüksek saflıkta germanyum yarı iletken dedektörü (HpGe), sayısal dijital dönüştürücü (ADC), çok kanallı analizör (MCA), bilgisayar ve yazıcıdan oluşmaktadır. Radyoaktif dengeye ulaşan toprak numunelerinin analiz işlemleri Şekil 3.6’da gösterilen TENMAK, Radyoaktivite Ölçüm Laboratuvarlarında Gama Spektrometrik laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.5. Gama Spektrometri blok diyagramı.



Şekil 3.6. Gama Spektrometri analiz laboratuvarı.

Bu gama spektrometri cihazında dedektör olarak Canberra marka GX5020 model, p-tip standart eşeksenli yarı iletken HpGe dedektörü kullanılmıştır. HpGe yarı iletken dedektörleri direnci yüksek safsızlığı az olmasından dolayı enerji ayırma gücünün yüksek olması, piklerinin daha kolay ayırt edilebilmesi ve gerilim uygulandığında oda sıcaklığında tutulabilir olması nedeniyle oldukça avantajlıdır (Bingöldağ, 2017).

Gama ışınları dedektörle etkileşerek gama spektrometresinde ön yükselteçte toplanır. Ön yükselteçte toplanan sinyaller büyütülür ve direnç mertebesi ayarlanır. Buradan geçen sinyaller yeniden yükseltmek ve şekillendirilmek amacıyla yükseltece iletilir. Genliği ve sinyal-gürültü oranı ayarlanan sinyaller çok kanallı analize iletilir ve yüksekliklerine göre sıralandırılır. En son olarak analog-sayısal dönüştürücü sinyalleri sayısal verilere dönüştürür ve sayım sonuçları elde edilir.

3.4. Radyasyon Parametrelerinin Hesaplanması

3.4.1. Karasal soğurulan gama doz hızı (D)

Karasal soğurulan gama doz hızı, aktivite konsantrasyonları UNSCEAR 2008 modelindeki formüle göre doza çevrilmiştir. Toprak yüzeyinden 1 metre yükseklikteki doğal radyonüklitlerden kaynaklanan gama radyasyonunun doz hızı, Eşitlik 3.1'e göre hesaplanmıştır (UNSCEAR, 2008).

$$D \text{ (nGy/saat)} = 0.462 C_{Ra} + 0.604 C_{Th} + 0.0417 C_K \quad (3.1)$$

Eşitlik 3.1' de denklemin sağ tarafında bulunan katsayılar UNSCEAR raporunda verilen radyonüklidlerin doz katsayılarıdır. C_{Ra} , C_{Th} ve C_K sırasıyla ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklidlerin Bq/kg cinsinden aktivite konsantrasyonlarını temsil eder.

3.4.2. Yıllık etkin doz eşdeğeri (AEDE)

Radyasyon günlük yaşantımızın bir parçasıdır ve birçok farklı kaynağı mevcuttur. İyonlaştırıcı radyasyon, karasal kökenli doğal radyoaktivite, radyoizotopların medikal uygulamaları ve endüstriyel uygulamaları, nükleer enerji üretiminde kullanılması ve uçak yolculuğu esnasında kozmik radyasyonlar olarak birçok farklı uygulamada karşımıza çıkabilir. Ancak, radyasyonun insan sağlığına olan potansiyel etkilerini anlamak ve kontrol altında tutmak için belirli bir ölçüm birimi gereklidir ve bu birim "Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri" (AEDE) olarak adlandırılır.

AEDE, radyasyona maruz kalmanın insan vücudu üzerindeki etkilerini ölçmek ve değerlendirmek için kullanılan bir standart birimdir. Radyasyonun biyolojik etkileri,

radasyonun türüne, dozuna, süresine ve vücuttaki etkilenen bölgelere bağlı olarak değişebilir. AEDE, millisievert (mSv) cinsinden ifade edilir ve belirli bir süre içinde bir kişinin maruz kaldığı iyonlaştırıcı radyasyon miktarını temsil eder. Bu parametre, radyolojik görüntüleme uygulamaları, nükleer tıp, radyoterapi gibi medikal radyasyon uygulamaları, havacılık, nükleer enerji üretimi ve çevresel radyasyon gibi bir dizi uygulama alanında önemlidir.

Bu durumda yıllık ortalama etkin doz eşdeğeri, Eşitlik 3.2'den hesaplanır:

$$AEDE \left(\frac{\mu Sv}{yil} \right) = YAD \times M \times T \times DF$$

$$AEDE = YAD (nGy/saat) \times 8766 \text{ saat} \times 0.2 \times 0.7 \text{ SvGy}^{-1} \quad (3.2)$$

YAD: yıllık ortalama havada absorblanmış gama doz hızı ($\mu\text{Gy/yıl}$),

M: meşguliyet faktörü, UNSCEAR tarafından önerilen ve zamanın %20'sinin dışarıda geçirildiğini gösteren 0.2 açık hava meşguliyet faktörü kullanılarak tahmin edilir.

T: saat cinsinden zaman (1 yıl 8766 saat) bir yıl 365 gün 6 saat olarak düşünüldüğünde ve 24 saat boyunca radyasyona maruz kalındığı göz önüne alındığında, bir insanın bir yıl boyunca 8766 saat radyasyona maruz kalmaktadır.

DF: doz dönüşüm faktörü katsayısı (yetişkinler için 0.7 Sv/Gy)

3.4.3. Radium eşdeğer aktivitesi (R_{eq})

Radium Eşdeğer Aktivitesi (R_{eq}), radyasyonun ölçümü ve değerlendirmesi için kullanılan önemli bir kavramdır. R_{eq} , özellikle radyoaktif maddelerin ve bileşiklerin gamma (γ) radyasyon yayma yeteneklerini temsil eder. Bu ölçüm, farklı radyoaktif izotopların iç içe geçmiş etkilerini ve katkılarını hesaba katarak yapılır. R_{eq} hesaplamaları, yer altı su kaynaklarının radyoaktif kirliliğinin izlenmesinden nükleer endüstriye kadar birçok alanda kullanılır. Bu ölçüm, insanların radyasyona maruz kalma düzeyini belirlemek, sınırlamak ve kontrol altına almak için kritik bir araçtır. Ayrıca, çevresel radyasyonun etkilerini değerlendirmek ve radyasyonla ilgili düzenlemeleri oluşturmak için de önemlidir. R_{eq} , radyasyonun insan sağlığına ve çevreye olan potansiyel etkilerini anlamamıza yardımcı olan bir anahtar ölçü birimidir.

Radium eşdeğer aktivitesi, 370 Bq/kg ^{226}Ra , 259 Bq/kg ^{232}Th ve 4810 Bq/kg ^{40}K tarafından sağlanan gama doz hızlarının aynı olduğu varsayımı dikkate alınarak hesaplanabilir (Beretka ve Mathew, 1985). Bu durumda, radium eşdeğer aktivitesi Radium (Ra), Toryum (Th) ve Potasyum (K) aktivitelerinin ağırlıklı toplamı olarak

belirlenir. Eşitlik 3.3 olarak gösterilen bu denklem, radyum eşdeğer aktivitelerinin tahmin edilmesini sağlar.

$$Ra_{eq} = C_{Ra} + 1.43 C_{Th} + 0.077 C_K \quad (3.3)$$

Eşitlik 3.3'ten radyum eşdeğer aktivitesi Bg/kg cinsinden hesaplanmıştır.

3.4.4. Dış tehlike indeksi (H_{ex})

Dış Tehlike İndeksi (H_{ex}), nükleer ve radyolojik olaylardan kaynaklanabilecek potansiyel tehditleri değerlendirmek ve bu olaylara hazırlık düzeyini belirlemek için kullanılan kritik bir endeks olarak öne çıkmaktadır. H_{ex} , nükleer kazalar, radyoaktif madde taşıma kazaları veya diğer radyasyon olayları gibi acil durumları değerlendirmek için tasarlanmış bir araçtır. Bu endeks, olayın yer aldığı bölgedeki radyasyon seviyelerini, çevresel koşulları, nüfusu ve diğer faktörleri dikkate alarak bir tehlike seviyesi belirler. H_{ex} , acil durumların yönetimi ve tahliye planlarının geliştirilmesi için rehberlik sağlar ve radyasyon güvenliği alanında önemli bir rol oynar. Aynı zamanda H_{ex} , toplumların ve otoritelerin bu tür olaylara karşı daha etkili bir şekilde hazırlıklı olmalarına yardımcı olurken, halk sağlığını ve güvenliğini koruma amacına hizmet eder. Eşitlik 3.4'de verilen eşitlik kullanarak Dış tehlike indeksi hesaplanabilir (Beretka ve Mathew, 1985).

$$H_{ex} = C_{Ra}/370 + C_{Th}/259 + C_K/4810 \leq 1 \quad (3.4)$$

Eşitlikte C_{Ra} , C_{Th} ve C_K sırasıyla ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerinin Bq/kg biriminde aktivite konsantrasyonlarıdır. Radyasyon zararının önemsiz sayılması için H_{ex} 'in değerinin 1'e eşit veya 1'den küçük olması gerekmektedir.

3.4.5. Yaşam boyu kanser riski (ELCR)

Yaşam Boyu Kanser Riski (ELCR), çevresel maruziyetler veya belirli maddelere olan uzun vadeli maruziyetlerin potansiyel kanser riskini değerlendirmek için kullanılan önemli bir ölçüdür. ELCR, bir kişinin yaşam boyunca kansere yakalanma olasılığını hesaplamak için kullanılır. Bu risk, radyasyon, kimyasal maddeler, çevresel kirlilik veya işyeri maruziyeti gibi faktörlere bağlı olarak değişebilir. ELCR, riskin belirli bir maruziyet düzeyi için ne kadar arttığını veya azaldığını anlamamıza yardımcı olur ve bu bilgi, radyasyondan koruma, çevre politikaları ve iş güvenliği gibi alanlarda önemli kararlar alınmasına katkı sağlar. Aynı zamanda, ELCR, insanların daha sağlıklı ve güvenli bir çevrede yaşamalarını sağlama amacına hizmet eder ve kanser riskini en aza

indirgeme çabalarını destekler. Eşitlik 3.5’de verilen denklem kullanarak yaşam boyu kanser riski hesaplanabilir (ICRP, 1997).

$$ELCR = AEDE \times DL \times RF \quad (3.5)$$

Eşitlik 3.5’te AEDE, yıllık etkin doz eşdeğeri, DL, ortalama bir insanın yaşam süresi (70 yıl) ve RF, risk faktörü (0.05 Sv^{-1}).

3.5. Su Numunelerinin Toplanması ve Hazırlanması

Radyoaktivite, çevresel sağlık ve güvenlik açısından önemli bir endişe kaynağıdır ve özellikle içme suyu kaynakları üzerinde büyük bir etkiye sahip olabilir. Bu nedenle, sulardaki radyoaktivite seviyelerini değerlendirmek ve izlemek kritik bir öneme sahiptir. İnsanlar için içme suyunun güvenli ve radyasyon açısından düşük risk taşıyan bir kaynaktan gelmesi büyük bir öneme sahiptir. Sulardaki radyoaktivite seviyelerinin izlenmesi, potansiyel sağlık risklerini azaltmak ve çevresel radyasyon düzeylerini kontrol altına almak için önemlidir. Bu çalışmada, ayrıca su kaynaklarının radyoaktivite seviyelerini değerlendirmek ve bölgede yaşayan insanların güvenli içme suyu teminini sağlamak için önemli bir adımdır. Belirlenen ilçe merkezleri ve köylerden toplamda 48 adet su örneği alınmıştır.

Alınan her bir örneğin koordinatı GPS uygulaması ile belirlenerek, numuneler konulmadan önce temizlenmiş 1.5 L’lik plastik şişelere alınmıştır. Alınan numunelerin üstlerine, numunenin kodu, alındığı yerin ismi, alım tarihi ve sıcaklık gibi bilgileri içeren etiketler yapıştırılmıştır. Toplanan su numunelerinin analizleri TENMAK, Radyoaktivite Ölçüm Laboratuvarlarında, toplam alfa /beta laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Çalışma bölgesinden toplanan ve etiketlenen su numunelerinin iki adedi Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Su numuneleri

Su numuneleri içinde mevcut olan elementlerin çökelek oluşturmaması ve numune kabının çeperlerine yapışmaması için her bir numuneye bir miktar konsantre nitrik asit (%65'lik HNO_3) eklenmiştir. Bu asit eklemesi, elementlerin suda çözünmesini ve daha sonra analiz için homojen bir numune elde edilmesini kolaylaştırır. Nitrik asit eklemesi ayrıca numunenin pH seviyesini düşürerek ($\text{pH} < 2$), belirli elementlerin çözünürlüğünü artırır. Bu, analizin daha hassas ve doğru olmasını sağlar. Analiz yapılan kadar su numuneleri, sıcaklığı 4°C olan soğuk bir odada saklanmıştır. Bu düşük sıcaklık, numunenin kimyasal stabilitesini korur ve elementlerin çökmesini veya kimyasal değişiklikleri minimize eder.

Su numunelerinin toplam alfa ve toplam beta aktivite analizleri için iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Bu iki yöntemden hangisinin kullanılacağına karar verilmesi için ilk olarak kalıntı tayini yapılması gerekmektedir. Daha sonra her bir numuneden 20'şer mL alınarak düşük sıcaklıkta kuruluğa yakın olana kadar buharlaştırılmış etüvde kurutulduktan sonra tartımı yapıp kalıntı miktarına bakılmış ve 1 litredeki çözünmüş madde miktarı hesaplanmıştır. Kalıntı miktarı $500 \text{ mg}'\text{in}$ üzerinde olan numuneler için SM 7110 C çöktürme yöntemi ve $500 \text{ mg}'\text{in}$ altında olan numuneler için ise EPA 900.0 buharlaştırma yöntemi kullanılmıştır. Şekil 3.8'de toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri için kullanılan cihaz gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Toplam alfa ve toplam beta ölçüm cihazı

3.6. Su Numunelerinde Toplam Alfa ve Toplam Beta Analizi

Alfa ve beta radyasyonu içme sularında iç ışınlamalara yol açabilen önemli radyasyon kaynaklarıdır. Bu nedenle, içme sularındaki alfa ve beta konsantrasyonunun belirli sınırları aşmaması, insan sağlığı açısından kritik bir öneme sahiptir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), bu sınırları belirleyerek hem içme suyu kalitesini hem de insan sağlığının korunmasını amaçlamaktadır. WHO tarafından belirlenen sınır alfa radyasyonu için 0.5 Bq/L olarak belirlenmiştir. Bu sınır, alfa radyasyonunun içme suyunda kabul edilebilir düzeyde olmasını ve insan sağlığını korumayı hedefler. Beta radyasyonu için belirlenen sınır ise 1.0 Bq/L'dir. Beta radyasyonu da içme suyu kalitesi açısından önemlidir ve bu sınır, sağlıklı içme suyu temini için belirtilmiştir. Bu sınırların aşılması, içme suyunun güvenli ve sağlıklı olmasını sağlamak için gereklidir. Alfa ve beta radyasyonunun yüksek düzeyde olduğu içme suyu, iç ışınlama yoluyla insan sağlığına zarar verebilir ve kanser riskini artırabilir. Bu nedenle, su kaynaklarının ve içme suyunun düzenli olarak izlenmesi, bu sınırların altında kaldığından emin olmak için önemlidir. Bu izleme işlemi, suyun kalitesini korumak ve radyasyonla ilgili sağlık risklerini minimize etmek amacıyla yapılır. Alfa ve beta konsantrasyonlarının doğru tespit edilmesi için numunenin

hazırlanması ve sayılması sırasında yapılan hataların en aza indirilmesi çok önemlidir. Hataların azaltılması, analiz sonuçlarının güvenilirliğini artırır ve suyun içeriğindeki radyoaktivite konsantrasyonunun doğru bir şekilde belirlenmesini sağlar.

Su numunelerinin toplam alfa ve beta analizleri Şekil 3.8’de gösterilen 10 kanallı düşük seviyeli alfa-beta sayım sistemi kullanılarak yapılmıştır. 10 adet numune için aynı anda sayma gerçekleştirme kapasitene sahip cihazda, numuneler 500 dakika boyunca toplamda 3 kez sayılmış ve ortalamaları alınarak toplam alfa ve toplam beta konsantrasyonları elde edilmiştir. Eşitlik 3.6 kullanılarak her bir numune için aktivite sonuçları hesaplanmıştır.

$$Aktivite (Bq/L) = \frac{(C_a - C_b)}{60 \cdot \epsilon \cdot V} \quad (3.6)$$

Burada, C_a , dakikada numune sayımı (cpm), C_b , dakikada blank sayımı, $C_a - C_b$, net sayım, V , analiz edilen numunenin hacmi, ϵ , α -standardından (Am-241) ve β -standardından (Sr-90) elde edilen sayım sisteminin verimi (cpm/dpm).

3.7. Tarım Ürünlerinde ^{40}K , ^{137}Cs , ^{226}Ra ve ^{232}Th Aktivite Konsantrasyonlarının Belirlenmesi

3.7.1. Tarımsal numunelerin alınması ve analize hazırlanması

Gıda canlı organizmaların yaşamlarını sürdürebilmeleri ve sağlıklarını koruyabilmeleri için temel bir gereksinimdir. Bu besinler, toprak ve su aracılığıyla bitkiler tarafından alınarak insanlara ulaştırılır. Ancak, bu besinlerin içerisinde bulunan elementlerin miktarı ve türleri önemlidir, çünkü bazı elementler vücudun normal fizyolojik fonksiyonlarını yerine getirebilmesi için gereklidir, diğerleri toksik veya kanserojen olabilir ve insan sağlığına zarar verebilir. İnsan vücudu için gerekli olan elementlere "esansiyel elementler" denir. Örneğin, Demir, Kalsiyum, Magnezyum, Potasyum, Selenyum ve Çinko gibi elementler vücutta çeşitli biyokimyasal işlevler için gereklidir. Toksinler ve kanserojenler, Kurşun, Cıva, Arsenik gibi bazı elementler veya kimyasal bileşikler, vücuda toksik etkiler yapabilir ve uzun vadeli maruziyet sonucunda kanserojen olabilir. Sonuç olarak, toprak ve su kaynaklarının element içeriğinin izlenmesi, tarım ürünlerinin ve gıdaların element içeriğinin belirlenmesi, insan sağlığını ve gıda güvenliğini korumak için önemlidir. Elementlerin etkileri ve miktarları hakkında bilgi sahibi olmak, sağlıklı beslenmeyi ve çevresel korumayı destekler.

Bu nedenle çalışmada, Kırşehir bölgesinde yaşayan halkın çoğunlukla hem ürettiği hem de tükettiği tarım ürünlerinden, buğday, arpa, kuru fasulye, nohut ve mısır olmak üzere toplam 6 adet ürün en az 2 kg olacak şekilde temin edilmiş ve şeffaf poşetlere konularak etiketlenmiştir. Daha sonra elde edilen ürünler laboratuvara ulaştırılmış ve analize uygun hale getirilmek için ilk olarak toprak numunelerinde olduğu gibi ürünler 1000 mL hacimli plastik marinelli kaplara doldurulmuş ve tartılarak kayıt işlemleri yapılmıştır. Marinelli kaplarda 30 gün bekletildikten sonra Canberra marka GX 5020 model HpGe yarı iletken dedektör ile gama ışınması yapan doğal radyonüklidlerin ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve fizyon ürünü olan ^{137}Cs 'nin aktivite konsantrasyonu belirlemek için sayım işlemi yapılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, Anadolu bölgesinin orta Kızılırmak bölümünde yer alan Kırşehir ili radyolojik açıdan incelenmiştir. Kırşehir ilini temsil edecek şekilde, çevresel gama doz hızları, toprak numunelerinde ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs 'un aktivite konsantrasyonları, su numunelerinde toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri ve tarım ürünlerinde ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs 'un aktivite konsantrasyonları tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda Kırşehir ili için fon radyasyon dağılım haritası çıkarılmış ve bölgede yaşayan insanların yıllık olarak maruz kaldıkları doz miktarı ve kanser riskleri hesaplanmıştır.

4.1. Kırşehir İli için Çevresel Gama Doz Hızı Sonuçları

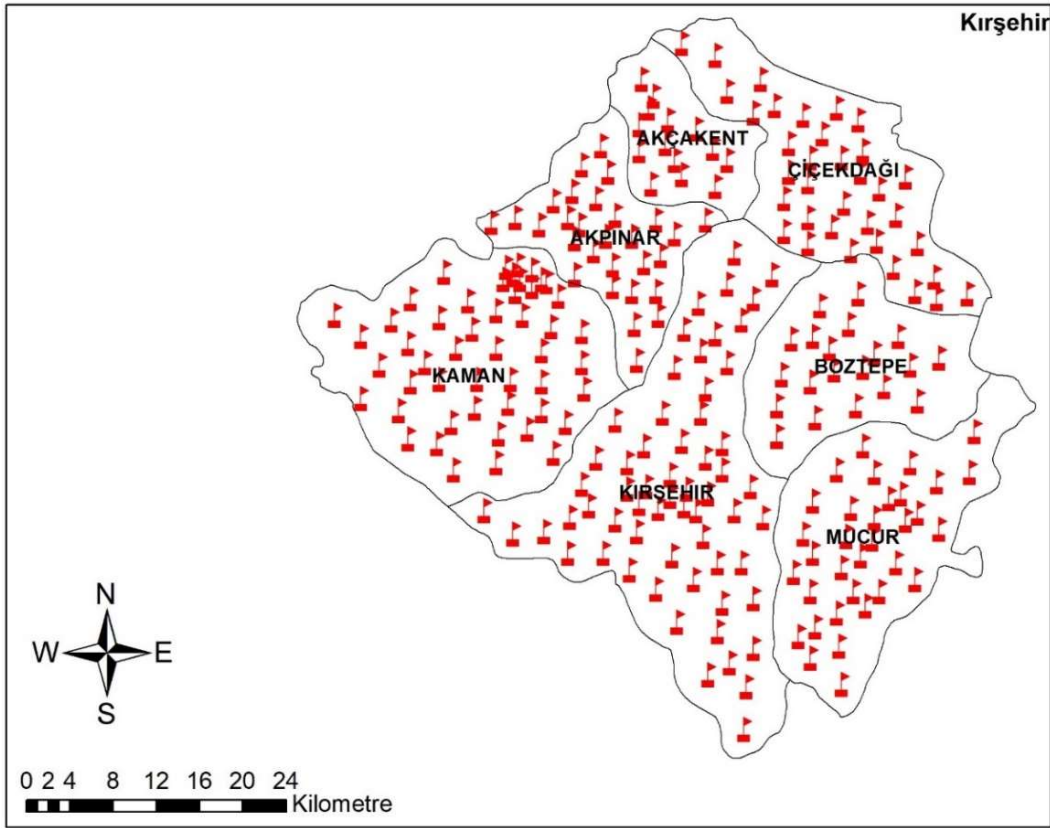
Doğal kaynaklı radyasyona maruz kalmak, insanların yaşamları boyunca karşılaştıkları yaygın bir durumdur. Bu radyasyon kaynaklarından biri, uzaydan gelen kozmik ışıklardan kaynaklanır. Atmosferdeki etkileşmeler sonucu oluşan bu kozmik radyasyon, dünya yüzeyine sürekli olarak ulaşır ve insanlar da dahil olmak üzere canlı organizmaların maruz kaldığı bir radyasyon kaynağıdır.

Buna ek olarak, yer kabuğundaki radyoaktif maddelerden yayılan karasal radyasyon da doğal bir kaynaktır. Bu radyoaktif maddeler, yer altında bulunan Uranyum, Toryum ve Potasyum gibi elementlerin bozunması sonucu ortaya çıkar. Bu radyasyon kaynağı da insanların yaşadığı yerlere bağlı olarak değişiklik gösterebilir.

Çevresel gama radyasyon doz hızı değerleri, bir bölgenin jeolojik ve coğrafik yapısına, yeraltı kaynaklarının dağılımına ve diğer çevresel faktörlere bağlı olarak büyük ölçüde farklılık gösterebilir. Bazı bölgelerde bu değerler daha yüksek olabilirken, diğer bölgelerde daha düşük olabilir. Bu nedenle, çevresel gama radyasyon doz hızı değerlerinin belirlenmesi ve izlenmesi, radyasyona maruz kalma düzeyini anlamamız ve uygun önlemleri almak için önemlidir (Karahana, 1997).

Kırşehir ili için 241 ayrı noktadan sintilasyon dedektörü ile havada çevresel gama doz hızları ölçülmüş ve sonuçlar kaydedilmiştir. Her bir noktanın koordinatı GPS uygulamasıyla kaydedilmiştir. Elde edilen çevresel gama doz hızları Ek-1 de verilmektedir. Kırşehir ili için elde edilen çevresel gama doz hızlarının ilçelere göre ortalamaları Tablo 4.1 görülmektedir. Kırşehir il genelinde ölçüm alınan noktalar Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda Kırşehir ili için en düşük gama doz hızı 40 nGy/saat ile Merkez ilçesine bağlı Bahçelievler mahallesinde, Kaman ilçesi

Kargınmeşe köyünde ve Akçakent ilçesi merkezinde elde edilmiştir. En yüksek gama doz hızı ise 630 nGy/saat olarak Kaman ilçesine bağlı Mollaosmanlar köyünde elde edilmiştir.



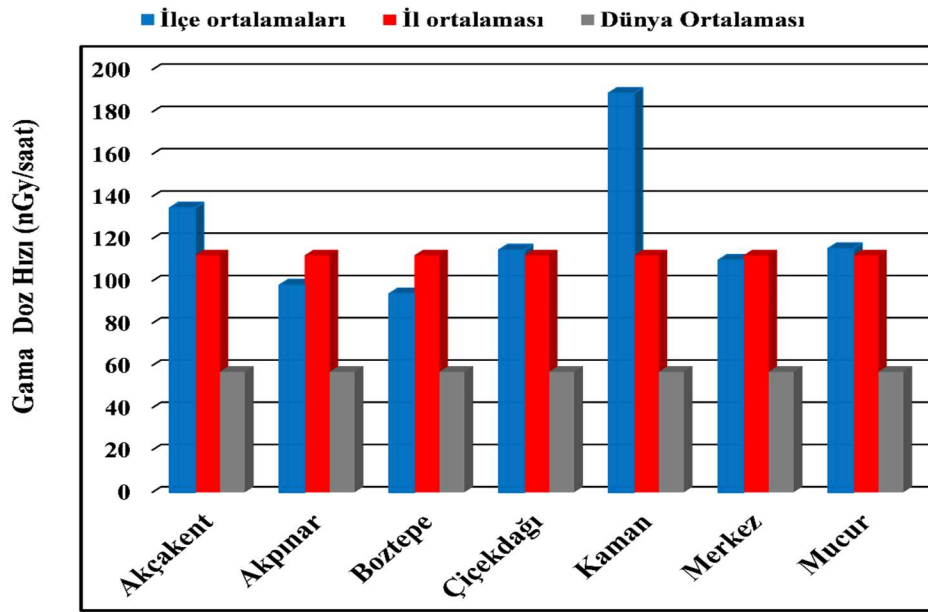
Şekil 4.1. Çevresel gama doz hızlarının alındığı ölçüm noktaları.

Tablo 4.1'e bakıldığında ilçe ortalamalarına göre 18 ayrı noktadan alınan ölçüme göre en düşük doz hızı değeri 93.89 nGy/saat ortalama ile Boztepe ilçesinde elde edilmiştir. 50 ayrı noktadan alınan doz hızı değeri 188.82 nGy/saat ortalama değerine göre en yüksek Kaman ilçesinde elde edilmiştir.

Tablo 4.1. İlçelere göre çevresel gama doz hızı ortalama değerleri

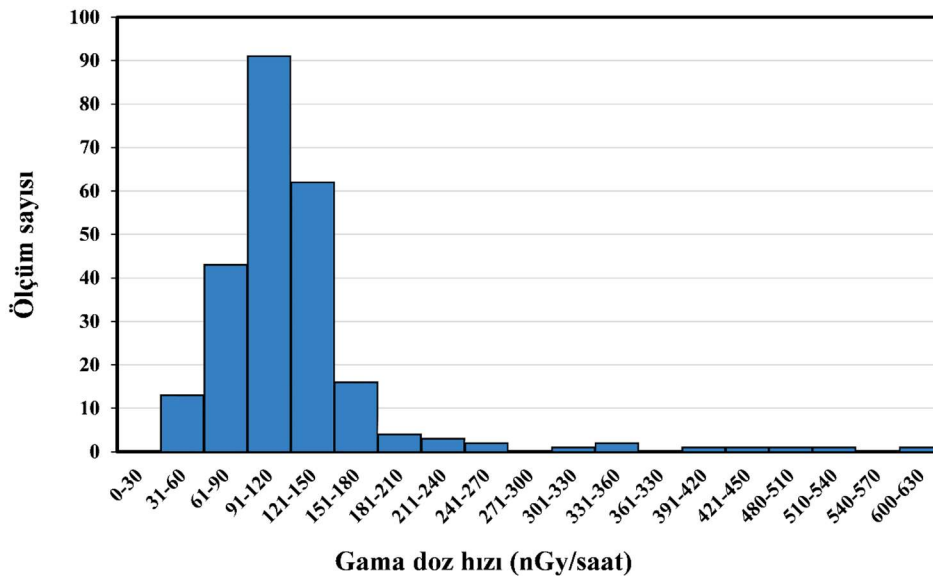
İlçe	Ölçüm Sayısı	Gama Doz Hızı (nGy/saat)		
		Düşük	Yüksek	Ortalama
Akçakent	20	40	220	134.50
Akpınar	30	50	170	98.00
Boztepe	18	60	120	93.89
Çiçekdağı	39	80	150	114.61
Kaman	50	40	630	188.82
Merkez	50	40	170	109.80
Mucur	34	80	160	115.29
İl	241	40	630	122.13

UNSCEAR'a göre havada belirlenen ortalama gama doz hızı 60 nGy/saat olarak sunulmuştur. Kırşehir ili için ortalama 122.13 nGy/ saat olarak elde edilmiştir. İlçe ortalamaları bakıldığında Akçakent, Çiçekdağı, Kaman ve Mucur il ortalama değerinin üzerinde, Akpınar Boztepe ve Merkez ilçeleri il ortalaması değerinin altındadır. Fakat hem il ortalaması hem de ilçe ortalama değerleri UNSCEAR'ın sunmuş olduğu dünya ortalaması değerinin üzerindedir. Şekil 4.2'de ilçe ortalama değerlerinin çevresel gama doz hızları verilmiştir.



Şekil 4.2. İlçelere göre çevresel gama doz hızı ortalama değerlerinin dağılımı.

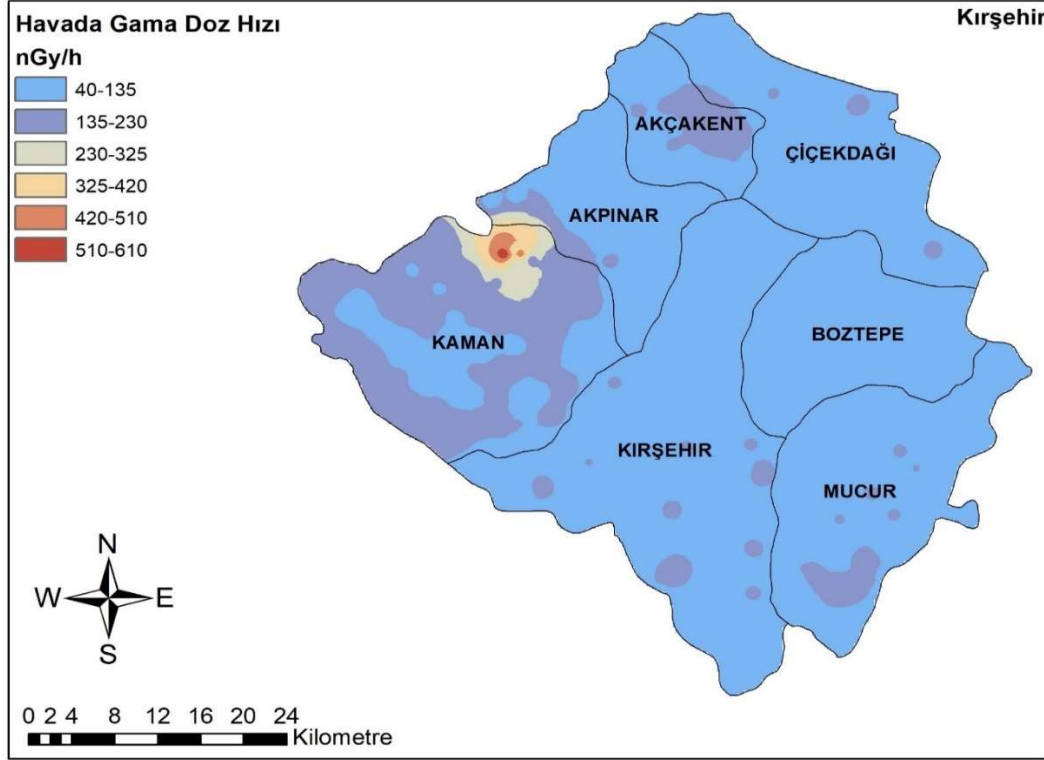
Kırşehir ili genelinde elde edilen ölçümlerin dağılımı Şekil 4.3'te verilmektedir.



Şekil 4.3. Çevresel gama doz hızı değerlerinin ölçüm sayısına göre dağılımı

Şekil 4.3 grafiği incelendiğinde 91 ile 120 nGy/saat arasında gama doz hızı ölçümleri tüm ölçüm sonuçlarının %37.76'sını oluşturmaktadır. Tüm ölçüm sonuçları dikkate alındığında 61 ile 150 nGy/saat aralığındaki gama doz hızı ölçüm sonuçları %80.5'ini oluşturmaktadır.

Kırşehir ilinin çevresel gama doz hızı dağılım haritası Şekil 4.4'te gösterilmektedir.



Şekil 4.4. Kırşehir ili çevresel gama doz hızı değerlerinin dağılım haritası.

4.2. Kırşehir İli Toprak Numunelerinde Belirlenen ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs Aktivite Konsantrasyonları

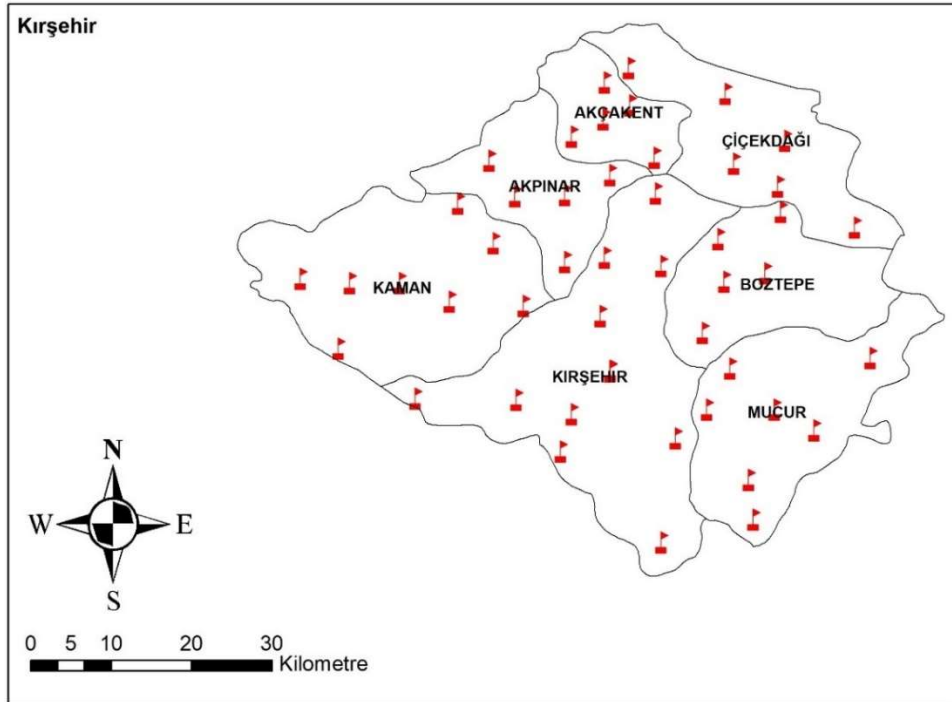
İnsanlar sürekli olarak hem yapay hem de doğal radyasyon kaynaklarından gelen ortam radyasyonuna maruz kalmaktadır (UNSCEAR, 1993). Doğal radyasyon kaynakları, ^{40}K , ^{232}Th ve ^{238}U gibi uzun yarı ömürlü radyonüklitlerdir ve bunlar Dünya'nın başlangıcından beri mevcuttur. Bölgenin jeolojik yapısı, bölgeye özgü atmosferik koşullar ve yeraltı doğal su kaynakları, o bölgenin doğal ve yapay radyoaktivite seviyesinin oluşumundaki ana faktörlerdir. Güç reaktörlerinde veya nükleer silah testlerinde meydana gelen radyoaktif kirlilik, atmosferik hareketle toz bulutları şeklinde taşınması ve jeolojik yapıya bağlı olarak yeraltı suyundan doğal radyonüklidlerin taşınması, bölgenin radyoaktivite seviyesini artırır. Bu nedenle, radyonüklidlerin çevreye

taşınması ve insanların, hayvanların, toprak ve su ile bitkilerin etkileşimi, radyasyona maruz kalmanın ana nedenleridir (Ahmad ve ark., 2015).

1986'da Çernobil'deki nükleer enerji santrali kazası sonucunda ortaya çıkan radyoaktif kül bulutları, çevredeki ülkeleri atmosferik hareketle etkiledi ve özellikle ülkemizin Doğu Karadeniz ve Trakya bölgesi oldukça etkilendi. Bu nedenle, kaza sonucunda atmosfere salınan yapay ^{137}Cs radyonüklidi bu bölgelerde radyoaktif kirliliğe neden oldu.

Kırşehir ili, "Orta Anadolu Masifi"nin bir parçası olan "Kırşehir Masifi" üzerinde yer almaktadır. Tuz Gölü'nün tabanına kadar devam eden bu masif Türkiye'nin en büyük masifidir. Kırşehir Masifi içerisinde; siyenit, granit, biyotit granitler, tonolit, homblengrenit, aglilit, pegmatit, kuvars diyorit, granodiyorit, monzonit bulunmaktadır. Kırşehir il alanının büyük bir bölümü kahverengi topraklarla kaplıdır (Anonim, 2023).

Kırşehir ilini temsil edecek şekilde 47 ayrı noktadan alınan toprak numunelerinde ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs analizleri gama spektrometresi ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler ile bu radyoizotopların dağılım haritası oluşturulmuştur. Şekil 4.5'te Kırşehir ilinden alınan toprak numunelerinin konumları gösterilmiştir. Kırşehir ilinin toprak numunelerinde belirlenen ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite değerleri EK-1'de verilmiştir.



Şekil 4.5. Toprak numunelerinin alım noktalarının Kırşehir il haritası üzerinde dağılımı.

4.2.1. Toprak numunelerinde ²²⁶Ra aktivite konsantrasyonu

Radyolojik açıdan bakıldığında, ²³⁸U radyoaktif serisinin en ilginç ürünleri ²²⁶Ra ve ²²²Rn'dir. Özellikle ²²⁶Ra ve onun doğrudan ürünleri, kemiklerde yoğunlaşma eğiliminde olduğundan, nüfusun aldığı radyasyon dozuna yüksek oranda katkıda bulunur (Cinelli ve ark., 2019). ²³⁸U olduğu gibi, ²²⁶Ra da çeşitli doğal bileşiklerde bulunur. ²²⁶Ra, alfa parçacıkları ve gama ışınları yayarak bozunur. Bu radyoaktif bozunma süreci, elementin zaman içinde başka elementlere dönüşmesine neden olur. ²²⁶Ra, vücuda alındığında genellikle kemiklere yerleşir, özellikle kalsiyum benzeri elementlere bağlanma eğilimindedir. Bu durum, kemik dokusundaki alfa parçacıklarının neden olduğu yerel hasarı artırabilir ve kemik iliği ile ilişkilendirilmiş kanser riskini artırabilir. Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC), ²²⁶Ra'nın insanlar için kanserojen bir madde olduğunu sınıflandırmıştır (Bingöldağ, 2017).

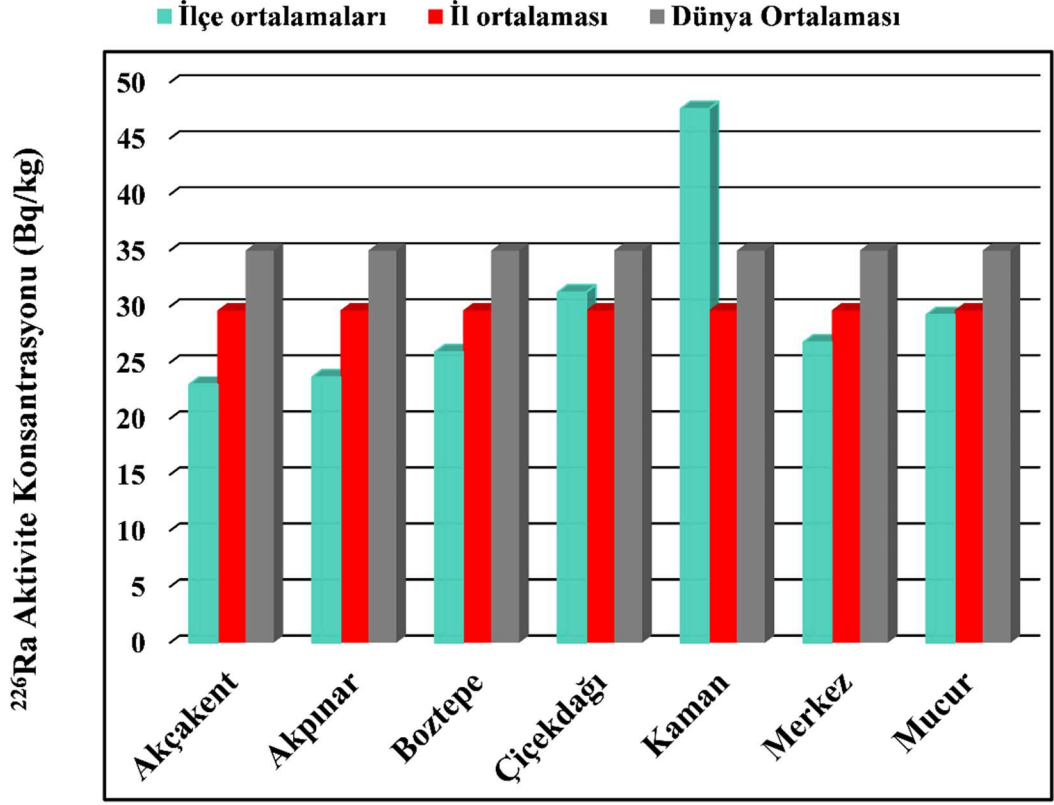
Kırşehir ili için elde edilen ²²⁶Ra aktivite konsantrasyonlarının değerleri Tablo 4.2'de gösterilmiştir.

Tablo 4.2. İlçelere göre toprak numunelerinde belirlenen ²²⁶Ra aktivite konsantrasyonu değerleri

İlçe	Numune Sayısı	²²⁶ Ra aktivite konsantrasyon (Bq/Kg)		
		Düşük	Yüksek	Ortalama
Akçakent	5	8.7	37	23.04±3.06
Akpınar	5	11.5	45.4	23.70±1.7
Boztepe	5	17.7	34.2	25.94±2.36
Çiçekdağı	6	21.1	44.9	31.27±2.77
Kaman	8	24.5	128.5	47.64±3.91
Merkez	11	17.8	48.4	26.81±1.96
Mucur	7	21	49.4	29.26±2.49
İl	47	8.7	128.5	29.66±2.64

Elde edilen verilere göre en düşük ²²⁶Ra aktivite konsantrasyon değeri 8.7 Bq/kg ile Akçakent ilçe merkezinden alınan numunede belirlenirken, en yüksek değer ise 128.5 Bq/kg olarak Kaman ilçesine bağlı Hamit köyünden alınan numunede tespit edilmiştir. Kırşehir ili genelinde ortalama ²²⁶Ra aktivite konsantrasyon değeri 29.66±2.64 Bq/kg olarak elde edilmiştir. Ölçülen ²²⁶Ra aktivite konsantrasyon değerlerinin ilçe ortalamalarına bakıldığında 23.04±3.06 Bq/kg ile en düşük değere Akçakent ilçesi sahip iken, 47.64±3.91 Bq/kg ile en yüksek değer Kaman ilçesinden elde edilmiştir. Çiçekdağı ve Kaman ilçelerinin elde edilen ²²⁶Ra aktivite konsantrasyon değerleri il ortalama değerinin üzerinde kalırken, Akçakent, Akpınar, Boztepe, Merkez ve Mucur ilçelerinin

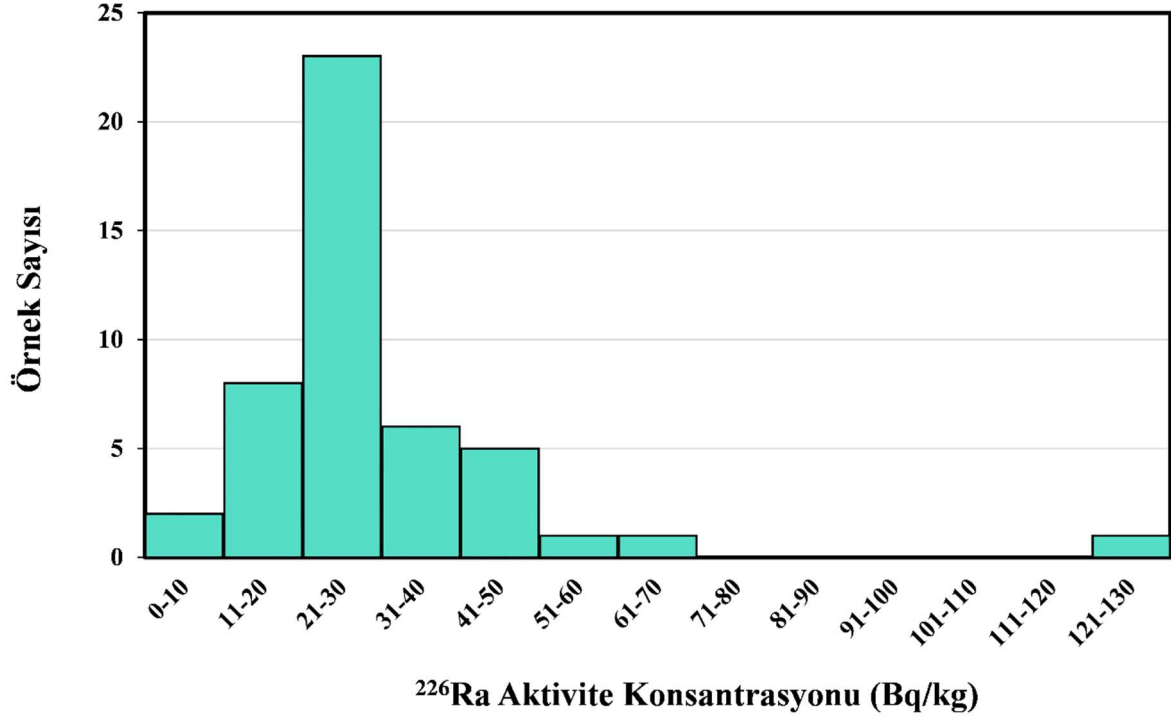
ortalama ^{226}Ra aktivite konsantrasyon değerleri il ortalama değerinin altında kalmaktadır. Şekil 4.6’ da Kırşehir ili için toprak numunelerinde ölçülen ^{226}Ra aktivite konsantrasyon değerinin dünya ortalaması ve il ortalaması ile karşılaştırmalı olarak ilçe ortalama değerleri gösterilmiştir.



Şekil 4.6 Toprak numunelerinde ölçülen ^{226}Ra aktivite konsantrasyon değerlerinin ilçelere göre dağılımı

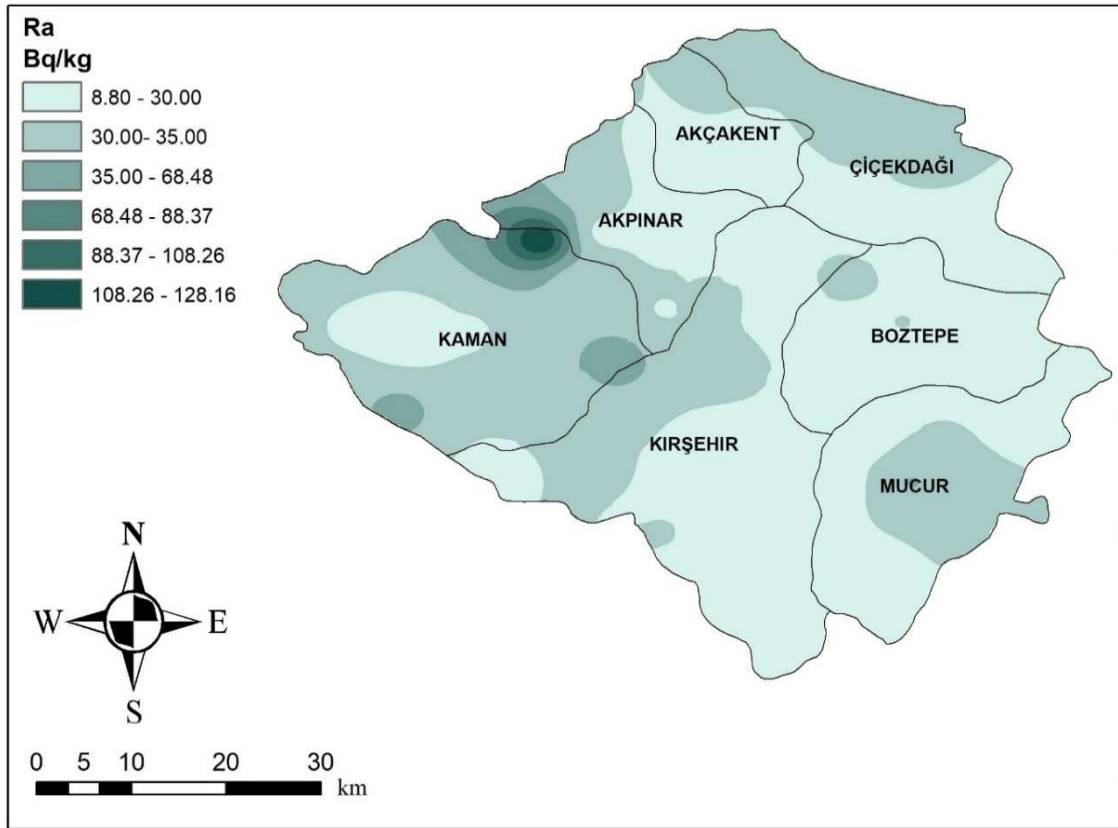
UNSCEAR 2000’e göre, toprakta bulunan ^{226}Ra aktivite konsantrasyon değerinin dünya ortalaması 35 Bq/kg tır. Buna göre Kırşehir ili için il ortalama değerine baktığımızda ^{226}Ra aktivite konsantrasyon değeri dünya ortalaması değeri altında kalmaktadır. İlçe ortalama değerlerine bakıldığında Kaman ilçe ortalama değeri dünya ortalama değerini üzerinde bulunmaktadır. ^{226}Ra aktivite konsantrasyonun bu bölgede yüksek olmasının sebebi Kaman ilçesinde bulunan florit kaynakları ve potansiyel jeotermal kaynaklardan dolayı yüksek olduğu söylenebilir (Akbudak ve ark., 2022; Anonim, 2023).

Kırşehir ili genelinde elde edilen ölçümlerin dağılımı Şekil 4.7’de verilmektedir. Şekil 4.7’ ye bakıldığında elde edilen dağılımın 21 ile 30 Bq/kg arasındaki elde edilen ölçümlerin tüm ölçüm sonuçlarının %49’unu oluşturmaktadır. Tüm ölçüm sonuçlarına bakıldığında 11 ile 50 Bq/kg aralığındaki sonuçlar %89.3’ünü oluşturmaktadır.



Şekil 4.7. ^{226}Ra aktivite konsantrasyon değerlerinin ölçüm sayısına göre dağılımı.

Kırşehir ilinin ^{226}Ra aktivite konsantrasyon değerlerinin dağılım haritası Şekil 4.8'te gösterilmektedir.



Şekil 4.8. Kırşehir ili ^{226}Ra aktivite konsantrasyon değerlerinin dağılım haritası.

4.2.2. Toprak numunelerinde ^{232}Th aktivite konsantrasyonu

^{232}Th , doğada bulunan ve radyoaktif bir element olan Toryumun en yaygın izotopudur. ^{232}Th , doğada bulunan ^{238}U 'in bozunma serisinde bir ara üründür. ^{232}Th , alfa bozunması yaparak ^{234}Pa 'e dönüşür. Bu bozunma zinciri sonunda ^{232}U 'ya ulaşılır. Toryum, doğada genellikle Toryum minerali içeren kayalarda, monazit, toryum, uraninit ve toryum, toriyum mineralleri gibi cevherlerde bulunur. Bu mineraller genellikle granit ve metamorfik kayalarda bulunur. ^{232}Th 'nin bir nükleer yakıt olarak kullanım potansiyeli vardır. Nükleer reaktörlerde ^{232}Th , nötron yakalama sonucu ^{233}U 'e dönüşerek enerji üretebilir. Ancak, bu tür bir nükleer enerji üretimi teknolojisi henüz geniş ölçekte ticari olarak kullanılmamaktadır. ^{232}Th 'nin radyoaktif olduğu ve alfa parçacıkları yaydığı bilinmektedir. Alfa parçacıkları, temas halinde oldukları dokulara derinlemesine nüfuz edebilir, bu da iç radyasyon ve hücrel hasara yol açabilir. Bu tür radyoaktif maddelerle maruz kalma, uzun süreli ve yüksek düzeyde olduğunda kanserojen etkilerin ortaya çıkma olasılığını artırabilir (Humans, 2012).

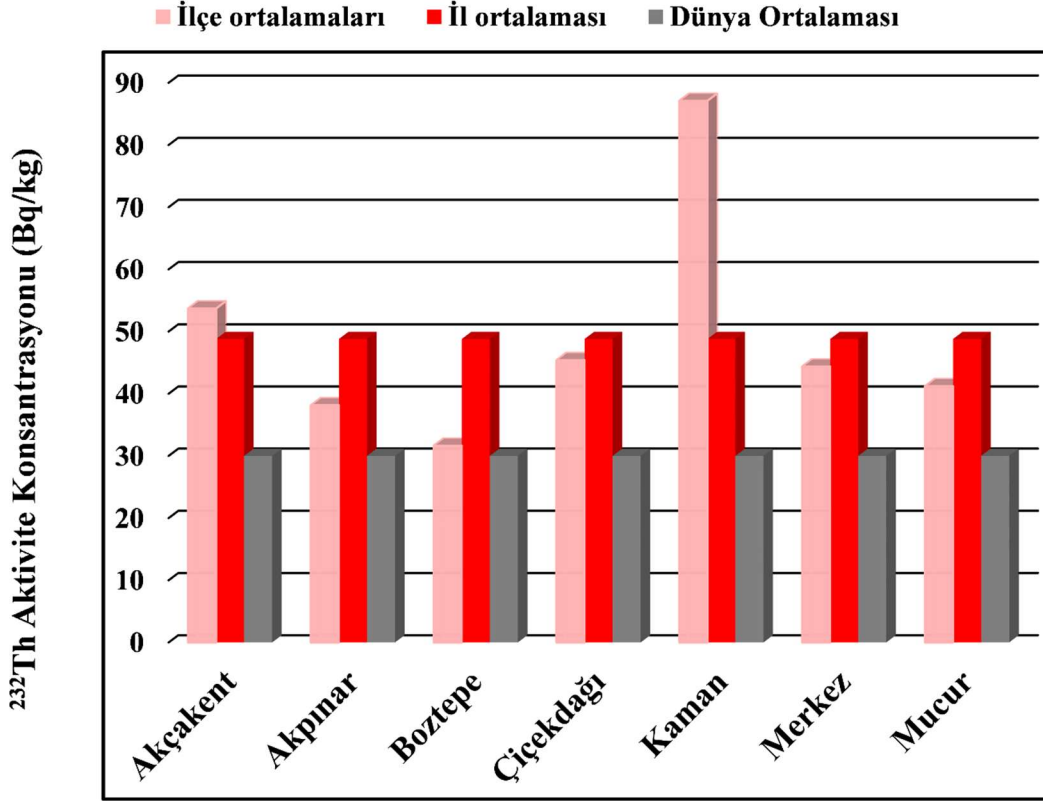
Kırşehir ili için elde edilen ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarının değerleri Tablo 4.3'te gösterilmiştir.

Tablo 4.3. İlçelere göre toprak numunelerinde belirlenen ^{232}Th aktivite konsantrasyonu değerleri

İlçe	Numune Sayısı	^{232}Th aktivite konsantrasyon (Bq/Kg)		
		Düşük	Yüksek	Ortalama
Akçakent	5	14.8	116	53.7±4.52
Akpınar	5	18	64.5	38.14±2.96
Boztepe	5	30.3	34.5	31.64±2.96
Çiçekdağı	6	36.3	74.7	45.4±4.18
Kaman	8	11.6	273.8	87.1±6.82
Merkez	11	26.1	79.2	44.37±3.39
Mucur	7	28.7	64	41.2±3.63
İl	47	11.6	273.8	48.80±4.38

Elde edilen verilere göre en düşük ^{232}Th aktivite konsantrasyon değeri 11.6 Bq/kg ile Kaman ilçesi Demirli köyünden alınan numunede belirlenirken, en yüksek değer ise 273.8 Bq/kg olarak Kaman ilçesine bağlı Hamit köyünden alınan numunede tespit edilmiştir. Kırşehir ili genelinde ortalama ^{232}Th aktivite konsantrasyon değeri 48.80±4.38 Bq/kg olarak elde edilmiştir. Ölçülen ^{232}Th aktivite konsantrasyon değerlerinin ilçe ortalamalarına bakıldığında 31.64±2.96 Bq/kg ile en düşük değere Boztepe ilçesi sahip iken, 87.1±6.82 Bq/kg ile en yüksek değer Kaman ilçesinden elde edilmiştir. Akçakent

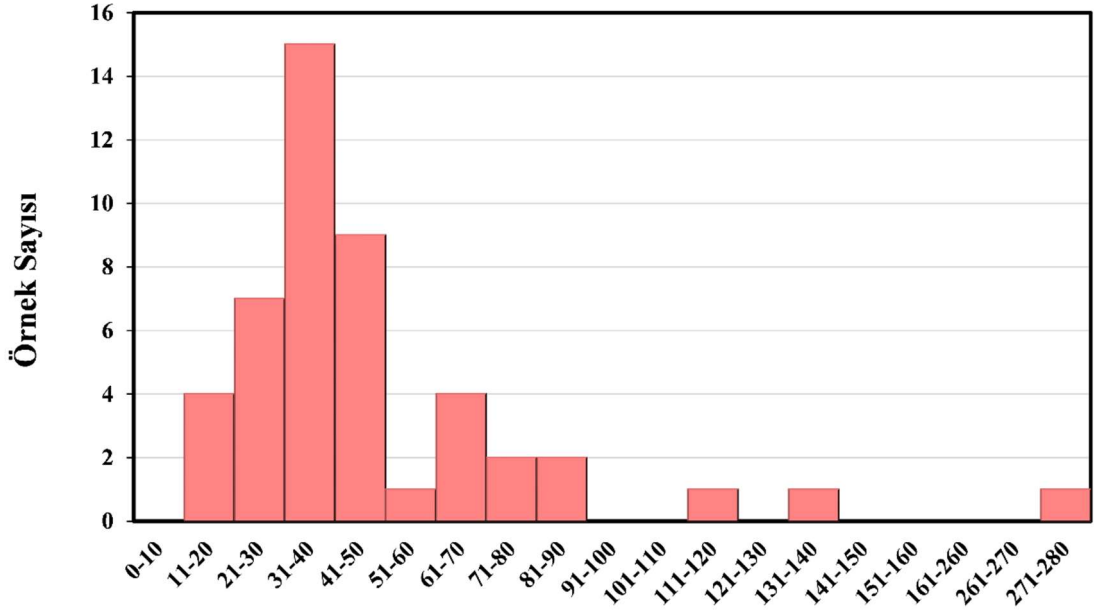
ve Kaman ilçelerinin elde edilen ^{232}Th aktivite konsantrasyon değerleri il ortalama değerinin üzerinde kalırken, Akpınar, Boztepe, Çiçekdağı, Merkez ve Mucur ilçelerinin ortalama ^{232}Th aktivite konsantrasyon değerleri il ortalama değerinin altında kalmaktadır. Şekil 4.9’ da Kırşehir ili için toprak numunelerinde ölçülen ^{232}Th aktivite konsantrasyon değerinin dünya ortalaması ve il ortalaması ile karşılaştırmalı olarak ilçe ortalama değerleri gösterilmiştir.



Şekil 4.9 Toprak numunelerinde ölçülen ^{232}Th aktivite konsantrasyon değerlerinin ilçelere göre dağılımı

UNSCEAR 2000’e göre, toprakta bulunan ^{232}Th aktivite konsantrasyon değerinin dünya ortalaması 30 Bq/kg tır. Buna göre Kırşehir ili için il ortalama değerine baktığımızda ^{232}Th aktivite konsantrasyon değeri dünya ortalaması değeri üzerindedir. İlçe ortalama değerlerine bakıldığında tüm ilçelerin ortalama değerleri dünya ortalama değerinin üzerinde bulunmaktadır.

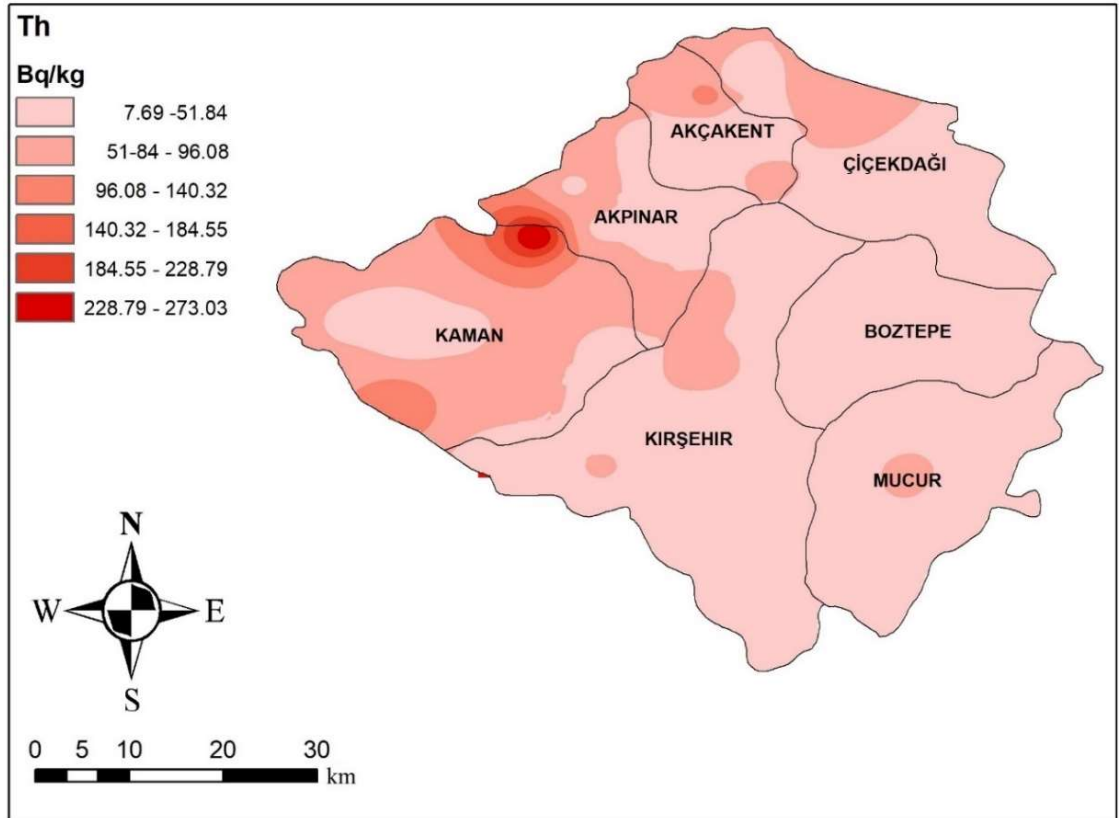
Kırşehir ili genelinde elde edilen ^{232}Th aktivite konsantrasyon ölçümlerinin dağılımı Şekil 4.10’da verilmektedir. Şekil 4.10’a bakıldığında elde edilen dağılımın 31 ile 40 Bq/kg arasındaki elde edilen ölçümlerin tüm ölçüm sonuçlarının %32’sini oluşturmaktadır. Tüm ölçüm sonuçlarına bakıldığında 21 ile 50 Bq/kg aralığındaki sonuçlar %66’sını oluşturmaktadır.



^{232}Th Aktivite Konsantrasyonu (Bq/kg)

Şekil 4.10. ^{232}Th aktivite konsantrasyon değerlerinin ölçüm sayısına göre dağılımı.

Kırşehir ilinin ^{232}Th aktivite konsantrasyon değerlerinin dağılım haritası Şekil 4.11’de gösterilmektedir.



Şekil 4.11. Kırşehir ili ^{232}Th aktivite konsantrasyon değerlerinin dağılım haritası.

4.2.3. Toprak numunelerinde ⁴⁰K aktivite konsantrasyonu

⁴⁰K, periyodik tablonun alkali metal grubundan bir element olan Potasyumun radyoaktif izotopudur. Bu izotop, doğal olarak oluşan bir radyoaktif elementtir ve toprak numunelerinde genellikle mineral ve organik maddelerde bulunur. Potasyum, bitkiler ve diğer organizmalar için hayati önem taşıyan bir besin elementidir ve bu nedenle toprak ekosistemlerinde yaygın olarak bulunur. ⁴⁰K'nın radyoaktif bozunma süreci beta bozunmasıdır. Bu süreçte, ⁴⁰K, bir beta parçacığı ve bir antinötrino yayarak ⁴⁰Ar'a dönüşür. Bu bozunma süreci, toprak numunelerindeki ⁴⁰K konsantrasyonunu belirleme ve radyometrik ölçümlerle izleme olanağı sağlar. Toprak numunelerindeki ⁴⁰K konsantrasyonları genellikle belirli bir bölgenin jeolojik ve coğrafi özelliklerine bağlı olarak değişir. Radyometrik teknikler, özellikle gama spektrometrisi, bu konsantrasyonları belirlemede yaygın olarak kullanılır. Bu ölçümler, toprakların jeokimyasal ve çevresel özelliklerini anlamak, radyasyon düzeylerini değerlendirmek ve potansiyel çevresel riskleri belirlemek için önemlidir.

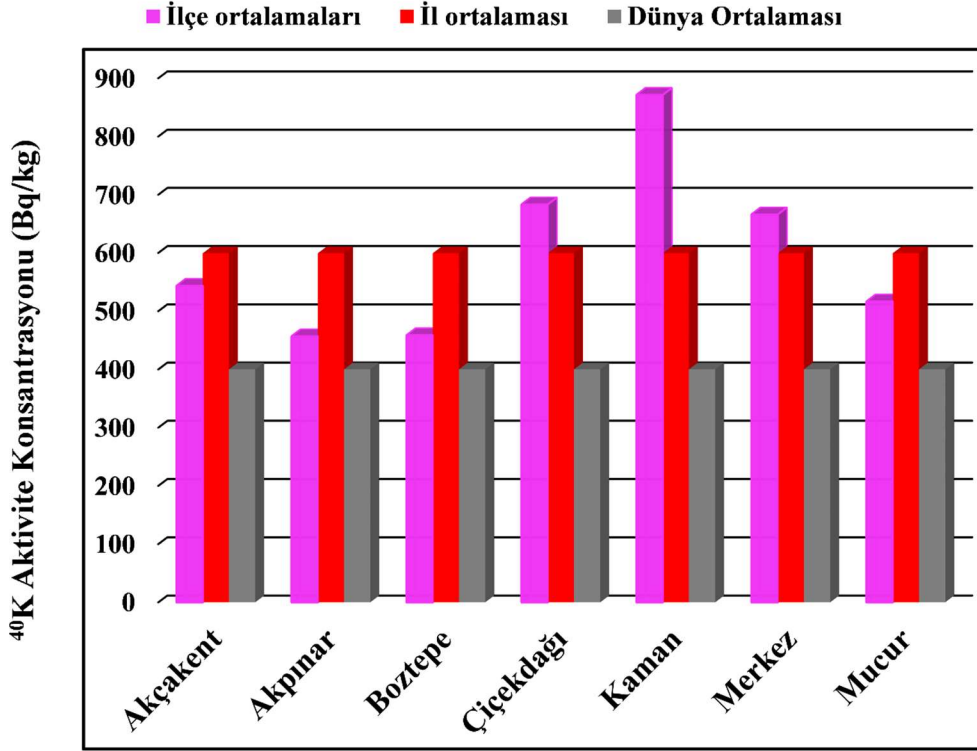
Kırşehir ili için elde edilen ⁴⁰K aktivite konsantrasyonlarının değerleri Tablo 4.4'te gösterilmiştir.

Tablo 4.4. İlçelere göre toprak numunelerinde belirlenen ⁴⁰K aktivite konsantrasyonu değerleri

İlçe	Numune Sayısı	⁴⁰ K aktivite konsantrasyon (Bq/Kg)		
		Düşük	Yüksek	Ortalama
Akçakent	5	166	1067	543.48±54.48
Akpınar	5	279.8	713.2	456.74±40.66
Boztepe	5	343	638	458.46±48.38
Çiçekdağı	6	457.2	888	683.2±69.18
Kaman	8	133.9	1515	871.36±78.12
Merkez	11	340.9	884	666.01±53.65
Mucur	7	320	971.5	516.51±50.32
İl	47	133.9	1515	599.40±58.34

Elde edilen verilere göre en düşük ⁴⁰K aktivite konsantrasyon değeri 133.9 Bq/kg ile Kaman ilçesi Karginmeşe köyünden alınan numunede belirlenirken, en yüksek değer ise 1515 Bq/kg olarak Kaman ilçesine bağlı Hamit köyünden alınan numunede tespit edilmiştir. Kırşehir ili genelinde ortalama ⁴⁰K aktivite konsantrasyon değeri 599.40±58.34 Bq/kg olarak elde edilmiştir. Ölçülen ⁴⁰K aktivite konsantrasyon değerlerinin ilçe ortalamalarına bakıldığında 456.74±40.66 Bq/kg ile en düşük değere Akpınar ilçesi sahip iken, 871.36±78.12 Bq/kg ile en yüksek değer Kaman ilçesinden elde

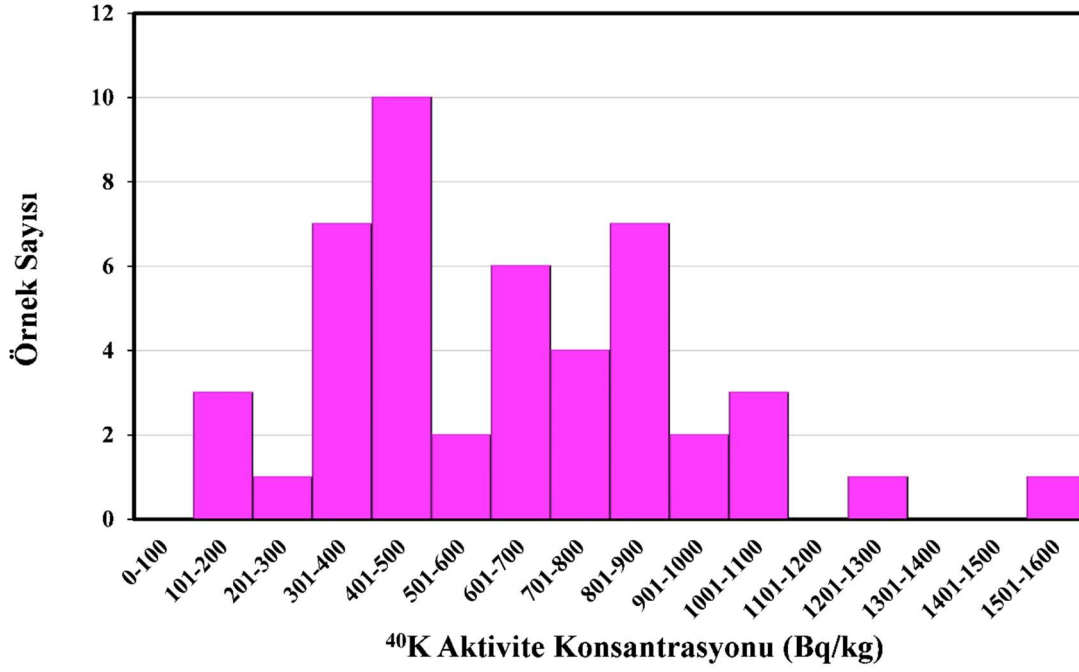
edilmiştir. Çiçekdağı, Kaman ve Merkez ilçelerinin elde edilen ^{40}K aktivite konsantrasyon değerleri il ortalama değerinin üzerinde kalırken, Akçakent, Akpınar, Boztepe ve Mucur ilçelerinin ortalama ^{40}K aktivite konsantrasyon değerleri il ortalama değerinin altında kalmaktadır. Şekil 4.12’ de Kırşehir ili için toprak numunelerinde ölçülen ^{40}K aktivite konsantrasyon değerinin dünya ortalaması ve il ortalaması ile karşılaştırmalı olarak ilçe ortalama değerleri gösterilmiştir.



Şekil 4.12 Toprak numunelerinde ölçülen ^{40}K aktivite konsantrasyon değerlerinin ilçelere göre dağılımı

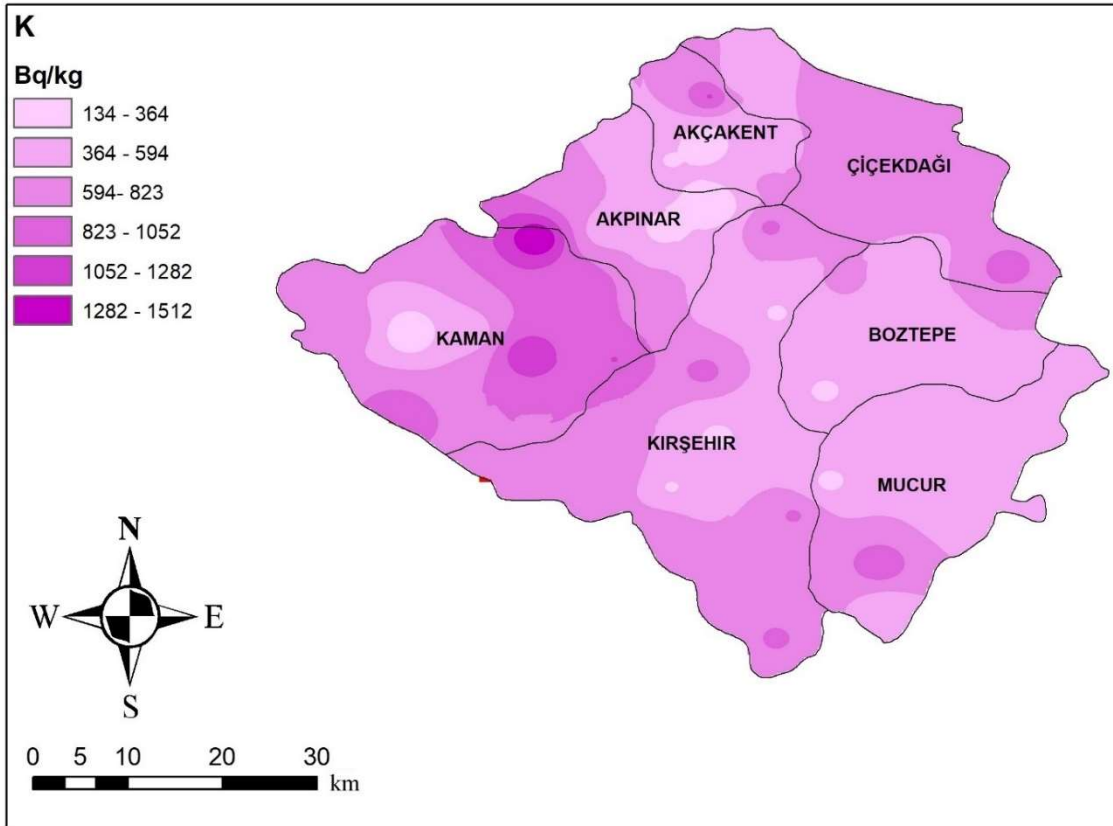
UNSCEAR 2000’e göre, toprakta bulunan ^{40}K aktivite konsantrasyon değerinin dünya ortalaması 400 Bq/kg tır. Buna göre Kırşehir ili için il ortalama değerine baktığımızda ^{40}K aktivite konsantrasyon değeri dünya ortalaması değeri üzerindedir. İlçe ortalama değerlerine bakıldığında tüm ilçelerin ortalama değerleri dünya ortalama değerinin üzerinde bulunmaktadır.

Kırşehir ili genelinde elde edilen ^{40}K aktivite konsantrasyon ölçümlerin dağılımı şekil 4.13’te verilmektedir. Şekil 4.13’e bakıldığında elde edilen dağılımın 401 ile 500 Bq/kg arasındaki elde edilen ölçümlerin tüm ölçüm sonuçlarının %21.3’ünü oluşturmaktadır. Tüm ölçüm sonuçlarına bakıldığında 301 ile 500 Bq/kg aralığındaki sonuçlar %36’sını oluşturmaktadır. Aynı zamanda 601 ile 900 Bq/kg aralığındaki sonuçlar %36’sını oluşturmaktadır.



Şekil 4.13. ^{40}K aktivite konsantrasyon değerlerinin ölçüm sayısına göre dağılımı.

Kırşehir ilinin ^{40}K aktivite konsantrasyon değerlerinin dağılım haritası Şekil 4.14'te gösterilmektedir.



Şekil 4.14. Kırşehir ili ^{40}K aktivite konsantrasyon değerlerinin dağılım haritası.

4.2.4. Toprak numunelerinde ¹³⁷Cs aktivite konsantrasyonu

¹³⁷Cs, nükleer reaktör patlamaları veya nükleer kazalar gibi olaylar sonucu atmosfere salınan bir radyoaktif izotoptur. ¹³⁷Cs, nükleer reaktörlerin yanı sıra nükleer silah testleri sırasında da atmosfere salınmıştır. Bu salınım, özellikle 1950'lerden 1980'lere kadar olan dönemde yoğunlaşmıştır. Atmosferdeki ¹³⁷Cs, yağmurlar aracılığıyla toprağa düşmüş ve toprak numunelerinde ölçülebilir konsantrasyonlara yol açmıştır. ¹³⁷Cs, uzun bir yarı ömre sahip olan bir radyoaktif izotoptur (yaklaşık 30 yıl). Bu özellik, toprakta birikmesine ve çevresel sistemlere uzun vadeli etkiler yapmasına neden olur. Bu izotop, toprak numunelerinde belirli bir derinlikte birikebilir ve bu durum, toprak profillerini inceleyerek çevresel değişiklikleri takip etmek için kullanışlı bir gösterge haline gelir.

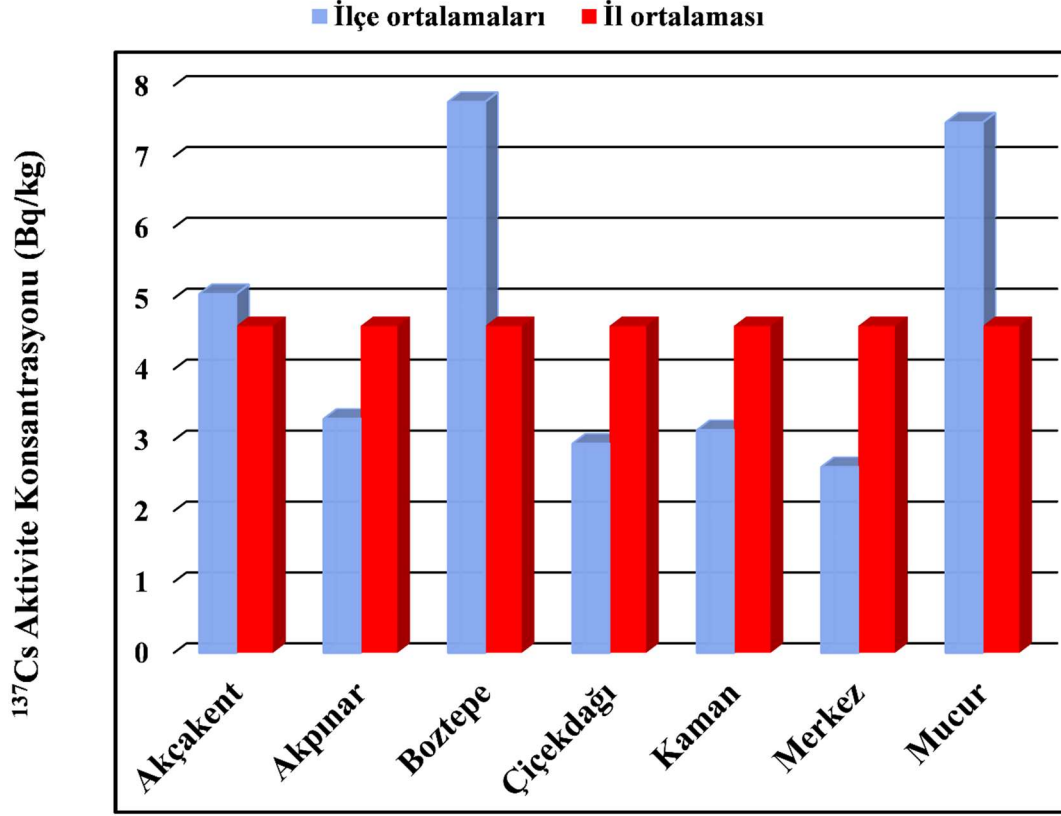
Kırşehir ili için elde edilen ¹³⁷Cs aktivite konsantrasyonlarının değerleri Tablo 4.5'te gösterilmiştir.

Tablo 4.5. İlçelere göre toprak numunelerinde belirlenen ¹³⁷Cs aktivite konsantrasyonu değerleri

İlçe	Numune Sayısı	¹³⁷ Cs aktivite konsantrasyon (Bq/Kg)		
		Düşük	Yüksek	Ortalama
Akçakent	5	0.3	12.3	5.06±0.50
Akpınar	5	MDA	7.6	3.30±0.20
Boztepe	5	0.7	15.8	7.77±0.82
Çiçekdağı	6	MDA	6.6	2.95±0.44
Kaman	8	0.6	7.6	3.14±0.41
Merkez	11	0.3	11.1	2.62±0.31
Mucur	7	1.3	21.1	7.48±0.77
İl	47	0.3	21.1	4.61±0.49

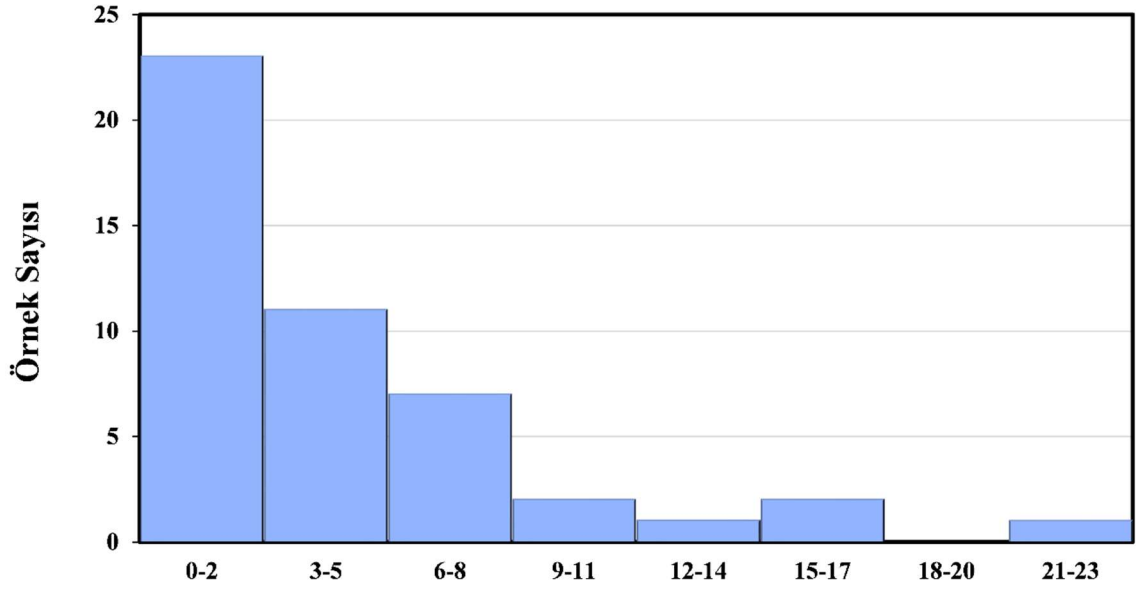
¹³⁷Cs aktivite konsantrasyonu MDA değer aralığı 0.10-3.20 Bq/kg'dır. Elde edilen verilere göre en düşük ¹³⁷Cs aktivite konsantrasyon değerleri 0.3 Bq/kg ile Akçakent ilçesi Mahsenli köyünden alınan numunede ve Merkez ilçesi Sıdıklı Küçükoba köyünden belirlenirken, en yüksek değer ise 21.1 Bq/kg olarak Mucur ilçesine bağlı Avcı köyünden alınan numunede tespit edilmiştir. Kırşehir ili genelinde ortalama ¹³⁷Cs aktivite konsantrasyon değeri 4.61±0.49 Bq/kg olarak elde edilmiştir. Ölçülen ¹³⁷Cs aktivite konsantrasyon değerlerinin ilçe ortalamalarına bakıldığında 2.62±0.31 Bq/kg ile en düşük değere Merkez ilçesi sahip iken, 7.77±0.82 Bq/kg ile en yüksek değer Boztepe ilçesinden elde edilmiştir. Akçakent, Boztepe ve Mucur ilçelerinin elde edilene ¹³⁷Cs aktivite konsantrasyon değerleri il ortalama değerinin üzerinde kalırken, Akpınar, Çiçekdağı,

Kaman ve Merkez ilçelerinin ortalama ^{137}Cs aktivite konsantrasyon değerleri il ortalama değerinin altında kalmaktadır. Şekil 4.15’ de Kırşehir ili için toprak numunelerinde ölçülen ^{137}Cs aktivite konsantrasyon değerinin il ortalaması ile karşılaştırmalı olarak ilçe ortalama değerleri gösterilmiştir.



Şekil 4.15 Toprak numunelerinde ölçülen ^{137}Cs aktivite konsantrasyon değerlerinin ilçelere göre dağılımı

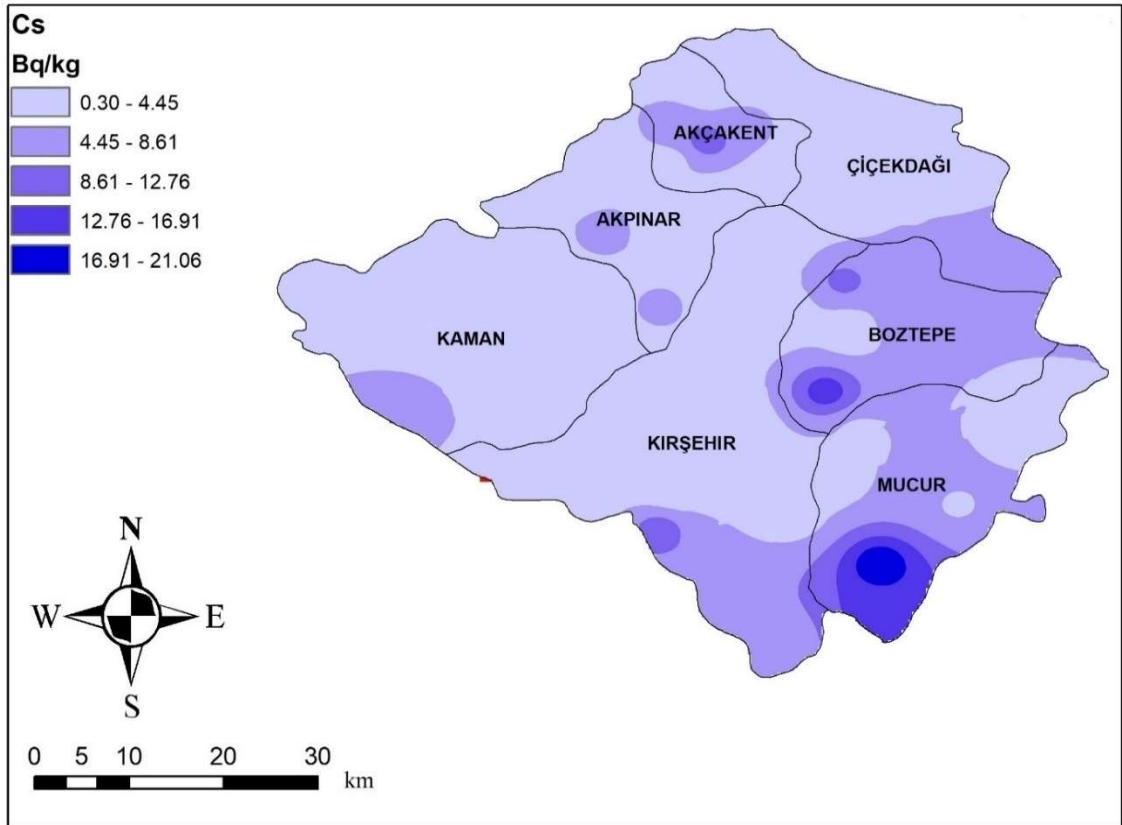
Kırşehir ili genelinde elde edilen ^{137}Cs aktivite konsantrasyon ölçümlerinin dağılımı Şekil 4.16’da verilmektedir. Şekil 4.16’a bakıldığında elde edilen dağılımın 0 ile 2 Bq/kg arasındaki elde edilen ölçümlerin tüm ölçüm sonuçlarının %49’unu oluşturmaktadır. Tüm ölçüm sonuçlarına bakıldığında 0 ile 8 Bq/kg aralığındaki sonuçlar %89’unu oluşturmaktadır.



¹³⁷Cs Aktivite Konsantrasyonu (Bq/kg)

Şekil 4.16. ¹³⁷Cs aktivite konsantrasyon değerlerinin ölçüm sayısına göre dağılımı.

Kırşehir ilinin ¹³⁷Cs aktivite konsantrasyon değerlerinin dağılım haritası şekil 4.17’de gösterilmektedir.



Şekil 4.17. Kırşehir ili ¹³⁷Cs aktivite konsantrasyon değerlerinin dağılım haritası.

4.2.5. Toprak numunelerinde doğal gama aktivite konsantrasyonları arasındaki korelasyon

Korelasyon analizi, iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için kullanılan bir istatistiksel yöntemdir. Bu analiz, değişkenler arasındaki ilişkinin ne kadar güçlü olduğunu ve hangi yönde olduğunu belirlemeye çalışır. Genellikle Pearson Korelasyon Katsayısı veya Spearman Sıralı Korelasyon Katsayısı gibi istatistiksel ölçümler kullanılarak gerçekleştirilir. Pearson Korelasyon Katsayısı, iki sürekli değişken arasındaki doğrusal ilişkiyi ölçen bir istatistiksel katsayıdır. Bu katsayı, genellikle "r" ile gösterilir. Pearson Korelasyon Katsayısı, verilerin ne kadar iyi bir doğrusal ilişki içinde olduğunu ve bu ilişkinin ne kadar güçlü olduğunu değerlendirir. Pearson Korelasyon Katsayısı, aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$r = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X_i - \bar{X})^2 \sum(Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (4.1)$$

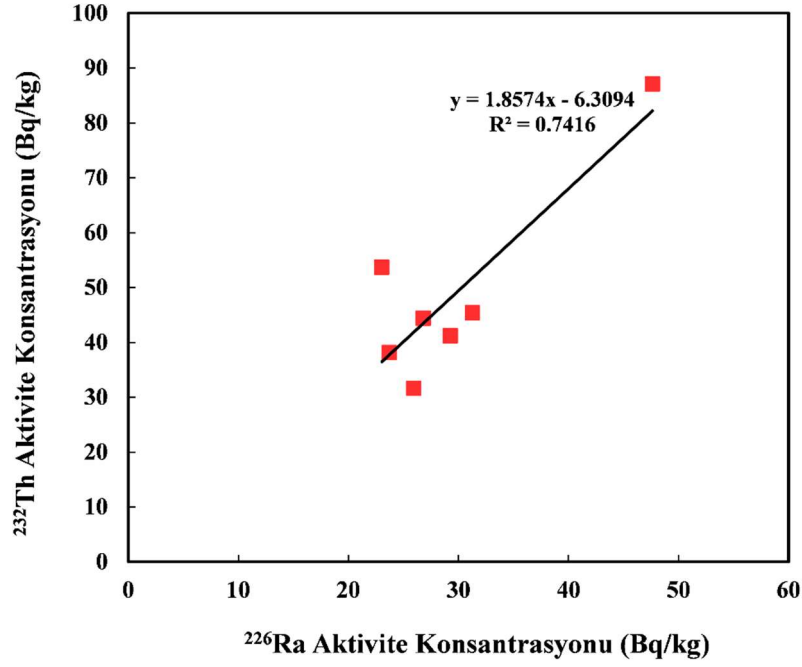
Denklem 4.1'de X_i ve Y_i her bir gözlemdaki X ve Y değişkenlerini temsil eder, \bar{X} ve \bar{Y} ise X ve Y değişkenlerinin ortalamalarını temsil eder. Korelasyon katsayısı r -1 ile 1 arasında değişen değerlere sahip olabilir. Eğer bu değer 0 ise iki değişken arasında doğrusal bir ilişki olmadığı anlamına gelir. Korelasyon katsayısı değeri -1'e yaklaşan bir değer, negatif bir doğrusal ilişkiyi gösterir. Yani, bir değişken arttığında diğeri de azalır. Bu değer 1'e yaklaştığında pozitif bir doğrusal ilişkiyi gösterir. Yani, bir değişken arttığında diğeri de artar.

Bu çalışmada elde edilen aktivite konsantrasyonları arasındaki ilişki Tablo 4.6'da verilen değerler kullanılarak tanımlanmıştır.

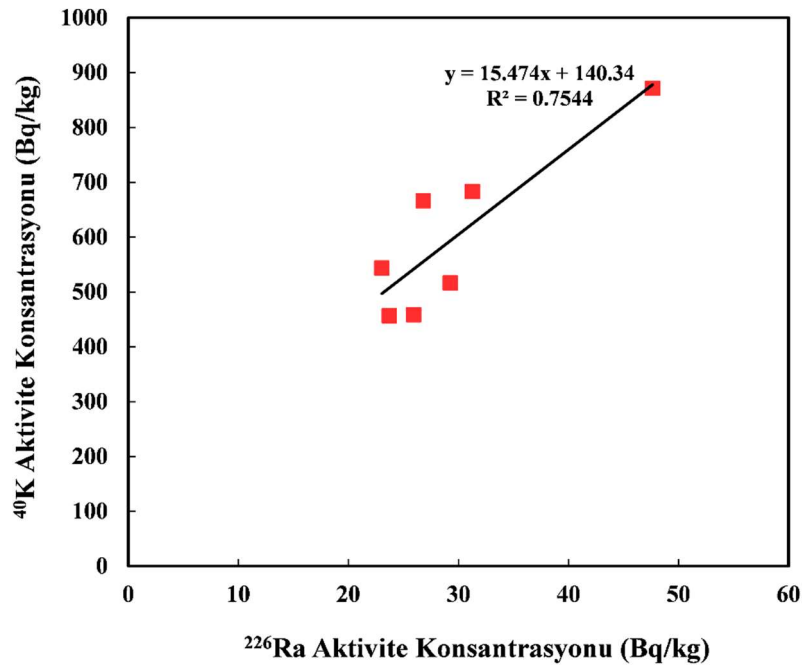
Tablo 4.6. ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyoizotoplarının ilçelere göre ortalama aktivite konsantrasyonları

Ortalama aktivite konsantrasyonları (Bq/Kg)			
İlçe	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Akçakent	23.04	53.7	543.48
Akpınar	23.7	38.14	456.74
Boztepe	25.94	31.64	458.46
Çiçekdağı	31.27	45.4	683.2
Kaman	47.64	87.1	871.36
Merkez	26.81	44.37	666.01
Mucur	29.26	41.2	516.51

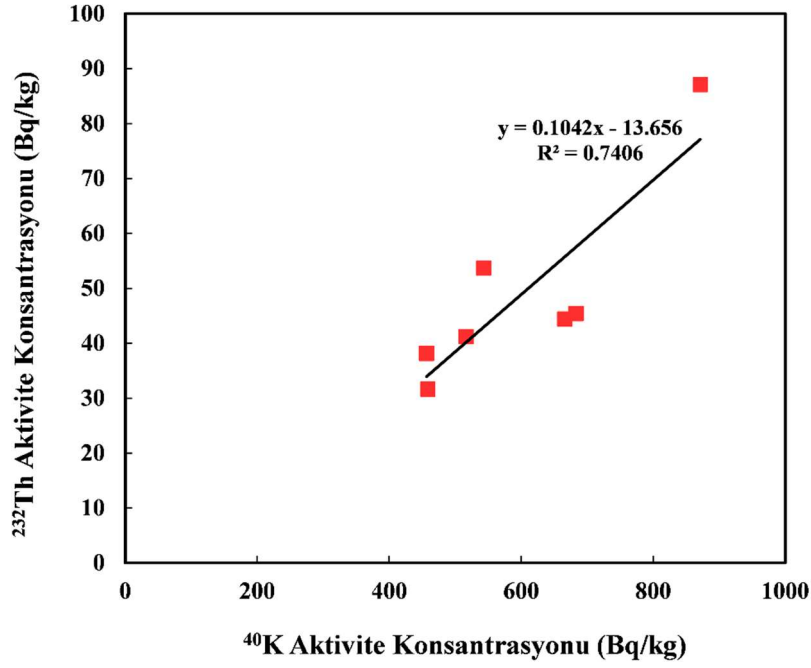
Tablo 4.6'daki verilerden yararlanılarak sırasıyla ^{226}Ra - ^{232}Th , ^{226}Ra - ^{40}K ve ^{232}Th - ^{40}K için korelasyon katsayıları 0.7416, 0.7544 ve 0.7406 olarak elde edilmiş ve Şekil 4.18-20 oluşturulmuştur. Elde edilen korelasyon katsayılarına bakıldığında birbirlerine çok yakın değerler görülmektedir. Ayrıca değerlerin 1 değerine yakınsaması aralarındaki doğrusal ilişkiye işaret etmektedir.



Şekil 4.18. ^{226}Ra ile ^{232}Th aktivite konsantrasyonları arasındaki korelasyon grafiği.



Şekil 4.19. ^{226}Ra ile ^{40}K aktivite konsantrasyonları arasındaki korelasyon grafiği



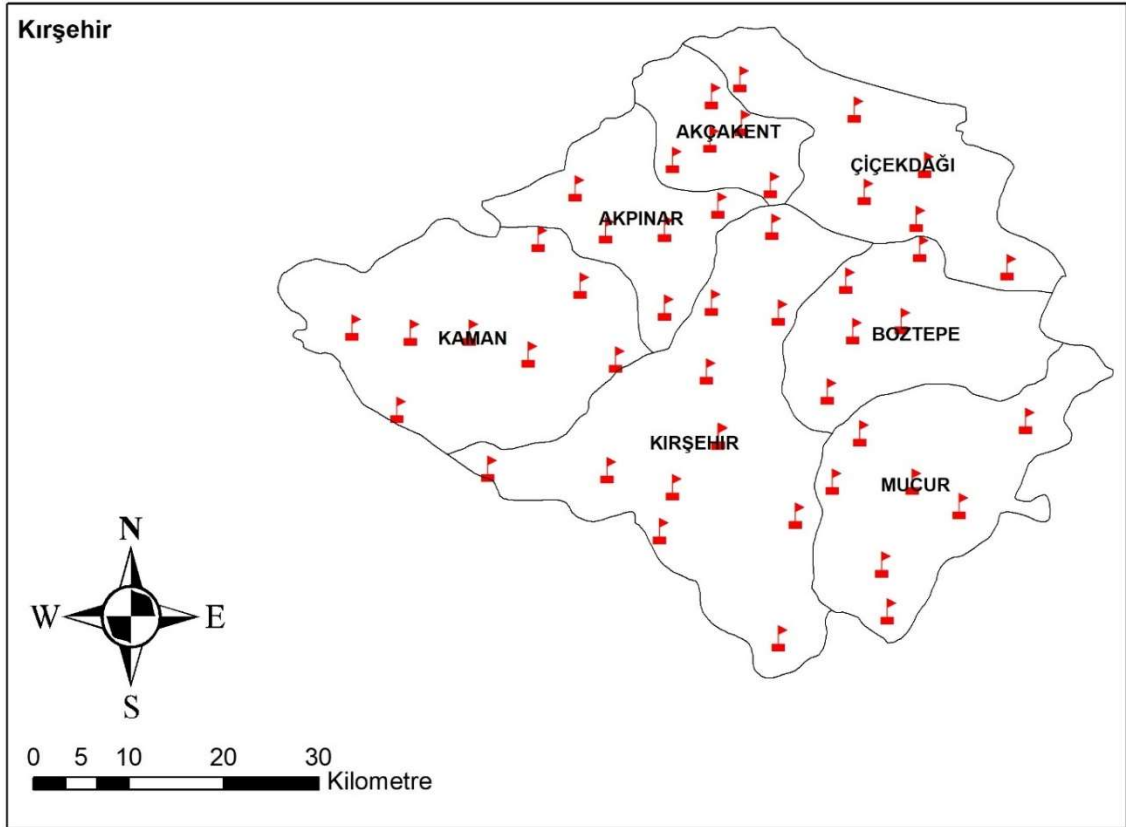
Şekil 4.20. ⁴⁰K ile ²³²Th aktivite konsantrasyonları arasındaki korelasyon grafiği

4.3. Kırşehir İli Su Numunelerinde Belirlenen Toplam Alfa ve Toplam Beta Aktivite Konsantrasyonları

Su, yaşamın temel bileşenlerinden biri olmasının yanı sıra içerdiği radyoaktif elementlerle de dikkate değer bir çevresel unsurdur. Radyoaktif kirlilik ve çevresel radyasyon, su kaynaklarının sağlığı ve güvenliği açısından önemli bir endişe kaynağıdır. Bu nedenle, su numunelerindeki toplam alfa ve toplam beta aktivitesi analizleri, suyun içerdiği radyoaktif maddelerin tespitini ve ölçümünü sağlayarak çevresel sağlık risklerini değerlendirme amacını taşır. Su numunelerindeki toplam alfa ve toplam beta aktivitesi analizleri, su kaynaklarının radyoaktif kirlilik düzeyini belirleme, çevresel sağlık risklerini değerlendirme ve su kalitesini izleme amacıyla önemli bir araçtır. Bu analizler, suyun içerdiği radyoaktif elementlerin tespiti ve miktarının belirlenmesini sağlar. Ayrıca, içme suyu standartlarına uygunluğun değerlendirilmesi ve çevresel düzenlemelere uyumun sağlanması için kritik bir rol oynar. Su numunelerindeki toplam alfa aktivitesi, genellikle doğal kaynaklardan gelen alfa parçacıkları ile ilişkilidir. Özellikle, Uranyum ve Toryum gibi doğal radyoaktif elementlerin çözelti içindeki varlığı bu aktiviteyi etkiler. Toplam alfa aktivitesi analizi, su kaynaklarında potansiyel radyoaktif kirliliği belirleme, yerel içme suyu standartlarına uygunluğu değerlendirme ve çevresel düzenlemelere uyumu kontrol etme açısından önemlidir. Toplam beta aktivitesi, su numunelerindeki beta parçacıkları ile ilişkilidir. Bu parçacıklar, özellikle doğal radyoaktif elementlerin yanı sıra yapay radyoaktif elementlerden kaynaklanabilir. Su numunelerindeki toplam beta

aktivitesi analizi, su kalitesini değerlendirmenin yanı sıra, nükleer enerji tesislerinden kaynaklanan potansiyel kirlilikleri izleme ve değerlendirme açısından kritiktir.

Kırşehir ilinde yaşıyan insanların sulardan kaynaklanan sıkıntılarını tespit edebilmek amacıyla numune toplanmasında insanların içme suyu olarak kullandıkları noktalar tercih edilmiştir. Kırşehir Valiliği evre, Şehircilik ve İklim Değişikliği il müdürlüğünün 2021 yılında yayınlamış olduğu evre durum raporuna göre içme sularının tamamına yakını yeraltı kaynaklarından sağlamaktadır (Anonim, 2021). Kırşehir ilini temsil edecek şekilde numune toplanacak noktalar halkın içme suyu olarak kullandığı yerlerden ayrıca Kırşehir merkezde bulunan kaplıcadan alınan toplam 48 adet su örneği alınmıştır. Su numunelerinin toplandığı noktalar Şekil 4.21’de gösterilmiştir.



Şekil 4.21. Su numunelerinin alındığı ölçüm noktaları.

Kırşehir ilinden alınan su numuneleri EPA 900.0 deney metodu, SM 7110C şartnamesine uygun olarak ve Berthold marka LB770 model gaz akışlı orantılı cihaz kullanılarak Bq/L cinsinden tespit edilmiştir. Elde edilen toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyonları verileri EK-2’de sunulmuştur. Toplam alfa aktiviteleri için minimum dedekte edilebilir aktivite (MDA) 0.02 ile 0.15 Bq/L aralığında ve toplam beta için 0.03 ile 0.012 Bq/L aralığında belirlenmiştir.

Dünya sağlık örgütünün 2008 yılında yayınlamış olduğu “Guidelines for Drinking-water Quality” (Edition, 2011) kaynağa göre toplam alfa aktivitesi üst sınırı 0.5 Bq/L ve toplam beta aktivitesi üst sınırı 1.0 Bq/L olarak verilmiştir. Kırşehir ilinden toplanan su numuneleri dünya sağlık örgütünün belirlemiş olduğu sınırlara göre tartışılmıştır.

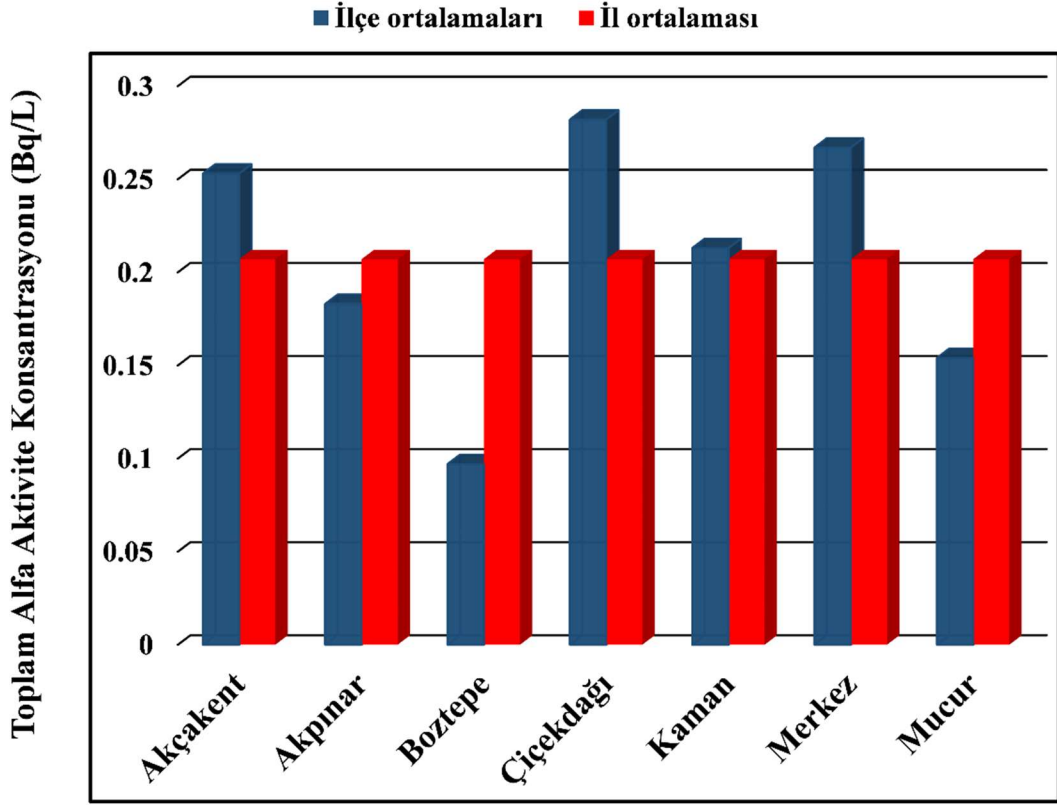
4.3.1. Su numunelerinde belirlenen toplam alfa aktivite konsantrasyonları

Kırşehir ilinde 48 ayrı noktadan toplanan su numunelerinden elde edilen verilerin toplam alfa aktivite konsantrasyonlarının ilçelere göre minimum, maksimum ve ortalama değerleri Tablo 4.7’de sunulmuştur. İlçe ortalamaları değerleri ile il ortalama değerini karşılaştırılan toplam alfa aktivitesi dağılım grafiği Şekil 4.22’de sunulmuştur. Toplam alfa aktivite konsantrasyonları için elde edilen verilere bakıldığında en yüksek değer 1.04 ± 0.19 Bq/L ile Merkez ilçesine bağlı Karahıdır köyünden elde edilirken, en küçük değer ise 0.04 ± 0.01 Bq/L ile Merkez ilçesine bağlı Çadırlı Hacı Yusuf köyünden elde edilmiştir. Aynı zamanda toplam alfa aktivite konsantrasyonları için 10 adet numune ölçülebilen limitler altında elde edilmiştir.

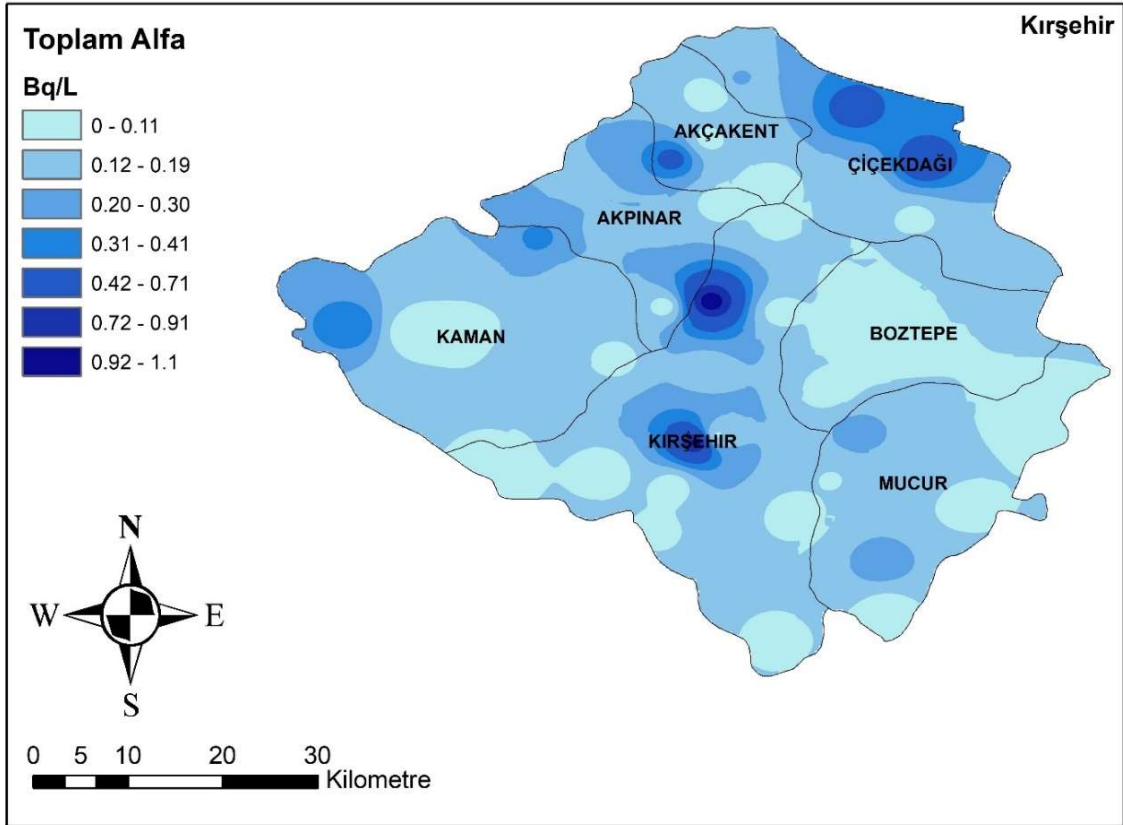
Tablo 4.7. İlçelere göre su numunelerinde belirlenen toplam alfa aktivite konsantrasyonu değerleri

İlçe	Numune Sayısı	Toplam alfa aktivite konsantrasyon (Bq/L)		
		Düşük	Yüksek	Ortalama
Akçakent	5	0.06	0.49	0.253 ± 0.04
Akpınar	5	0.18	0.19	0.183 ± 0.03
Boztepe	5	0.08	0.12	0.097 ± 0.03
Çiçekdağı	6	0.07	0.57	0.282 ± 0.04
Kaman	8	0.06	0.41	0.213 ± 0.04
Merkez	12	0.04	1.04	0.267 ± 0.04
Mucur	7	0.06	0.30	0.154 ± 0.03
İl	48	0.04	1.04	0.207 ± 0.04

Tablo 4.7’den görüleceği üzere en düşük toplam alfa aktivite ortalaması 0.097 ± 0.03 Bq/L ile Boztepe ilçesinde, en yüksek toplam alfa aktivitesi 0.282 ± 0.04 Bq/L ile Çiçekdağı ilçesinden elde edilmiştir. Kırşehir ili için toplam alfa konsantrasyonu aktivitesi ortalaması 0.207 ± 0.04 Bq/L olarak elde edilmiştir. Ayrıca Kırşehir ili için toplam alfa aktivitesi konsantrasyonu dağılım haritası Şekil 4.23’te gösterilmiştir.



Şekil 4.22. Su numunelerinde toplam alfa aktivite konsantrasyonunun ilçe ortalama değerleri



Şekil 4.23. Kırşehir ili su numunelerinde belirlenen toplam alfa aktivite konsantrasyonu dağılım haritası.

Kırşehir ili için elde edilen toplam alfa aktivite değerlerine bakıldığında hem il ortalama değerlerinin hem de ilçe ortalama değerlerinin dünya sağlık örgütünün belirlemiş olduğu 0.5 Bq/L üst sınırının altında olduğu belirlenmiştir. Fakat Çiçekdağı'na bağlı Büyükteflek köyünün, merkez ilçesine bağlı Karahıdır köyünün, Çiçekdağı ilçesinin merkezi ve merkez ilçede bulunan kaplıcadan alınan su numunelerinde toplam aktivite konsantrasyonu değerlerinin dünya sağlık örgütünün belirlemiş olduğu üst sınırdan daha büyük olduğu tespit edilmiştir.

4.3.2. Su numunelerinde belirlenen toplam beta aktivite konsantrasyonları

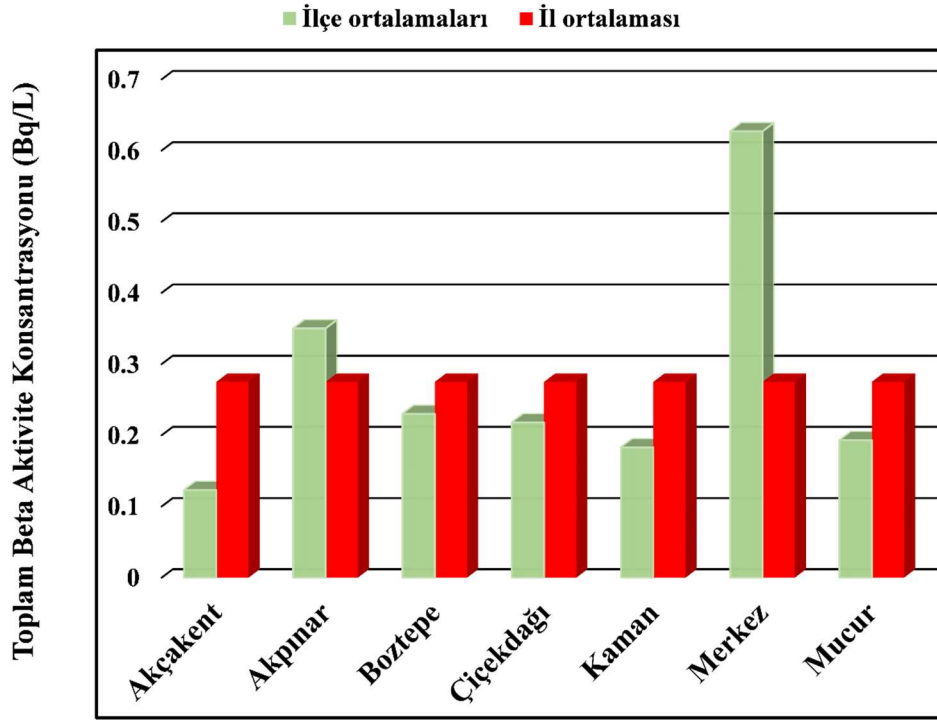
Kırşehir ilinde 48 ayrı noktadan toplanan su numunelerinden elde edilen verilerin toplam beta aktivite konsantrasyonlarının ilçelere göre minimum, maksimum ve ortalama değerleri Tablo 4.8'de sunulmuştur. İlçe ortalamaları değerleri ile il ortalama değerini karşılaştırılan toplam beta aktivitesi dağılım grafiği Şekil 4.24'te sunulmuştur. Toplam beta aktivite konsantrasyonları için elde edilen verilere bakıldığında en yüksek değer 2.47 ± 0.18 Bq/L ile Merkez ilçesindeki kaplıca suyundan elde edilirken, en küçük değer ise 0.07 ± 0.03 Bq/L ile Akçakent ilçesine bağlı Mahsenli köyünden ve Merkez ilçesine bağlı Çayağzı köyünden elde edilmiştir. Aynı zamanda toplam beta aktivite konsantrasyonları için 17 adet numune ölçülebilen limitler altında elde edilmiştir.

Tablo 4.8. İlçelere göre su numunelerinde belirlenen toplam beta aktivite konsantrasyonu değerleri

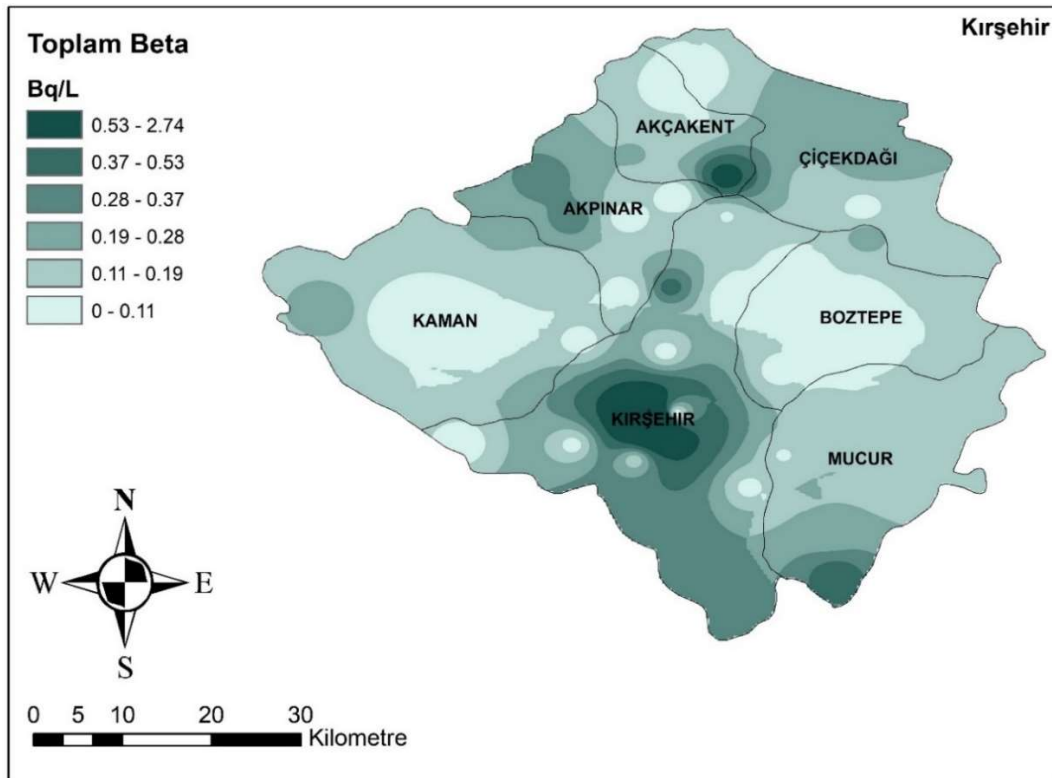
İlçe	Numune Sayısı	Toplam beta aktivite konsantrasyon (Bq/L)		
		Düşük	Yüksek	Ortalama
Akçakent	5	0.07	0.20	0.123±0.03
Akpınar	5	0.35	0.35	0.350±0.07
Boztepe	5	0.23	0.23	0.230±0.03
Çiçekdağı	6	0.15	0.28	0.218±0.03
Kaman	8	0.12	0.25	0.183±0.05
Merkez	12	0.07	2.47	0.627±0.07
Mucur	7	0.10	0.45	0.193±0.04
İl	48	0.07	2.47	0.275±0.04

Tablo 4.8'de verilen Akpınar ilçesinden alınan numunelerin 3 adeti ölçülebilen limitler altında kalırken diğer iki sonuçta 0.35 Bq/L olarak belirlenmiştir. Boztepe ilçesinden alınan numunelerden ise 4 adeti ölçülebilen limitler altında kalırken diğer tek kalan sonuç ise 0.23 Bq/L olarak elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Merkez ilçesi 0.627 ± 0.07 Bq/L ile en yüksek ortalamaya sahip iken, 0.123 ± 0.03 Bq/L ile Akçakent ilçesi en küçük ortalama değere sahiptir. İl ortalama değeri 0.275 ± 0.04 Bq/L olarak elde

edilmiştir. Ayrıca Kırşehir ili için toplam beta aktivitesi konsantrasyonu dağılım haritası Şekil 4.25'te gösterilmiştir.



Şekil 4.24. Su numunelerinde toplam beta aktivite konsantrasyonunun ilçe ortalama değerleri



Şekil 4.25. Kırşehir ili su numunelerinde belirlenen toplam beta aktivite konsantrasyonu dağılım haritası.

Kırşehir ili için elde edilen toplam beta aktivite değerlerine bakıldığında hem il ortalama değerlerinin hem de ilçe ortalama değerlerinin dünya sağlık örgütünün belirlemiş olduğu 1.00 Bq/L üst sınırının altında olduğu belirlenmiştir. Fakat merkez ilçede bulunan kaplıcadan alınan su örneğinin toplam beta aktivite konsantrasyonu değerlerinin dünya sağlık örgütünün belirlemiş olduğu üst sınırdan daha büyük olduğu tespit edilmiştir.

4.4. Kırşehir İli Gıda Ürünlerinde Belirlenen Aktivite Konsantrasyonları

Dünya genelinde artan endüstrileşme, enerji üretimi ve nükleer faaliyetler, çeşitli çevresel etkilere yol açarak doğal ekosistemleri etkilemektedir. Bu etkilerden biri de tarım alanlarındaki toprak ürünlerindeki radyoaktivite düzeyleridir. Radyoaktivite, doğal kaynaklardan veya antropojenik (insan kaynaklı) etkenlerden kaynaklanabilir ve topraktan bitkilere geçerek gıda zincirine ulaşabilir. Tarım ürünlerindeki radyoaktivite, genellikle doğal radyoaktif elementlerle ilişkilidir. Özellikle Uranyum (^{238}U), Toryum (^{232}Th) ve Potasyum (^{40}K) gibi elementler, toprak içinde doğal olarak bulunur ve bitkiler tarafından absorbe edilir. Antropojenik etkenlerden kaynaklanan radyoaktivite ise nükleer kazalar, nükleer enerji tesislerinin atıkları, nükleer silah testleri ve radyoaktif atıkların kontrolsüz boşaltılması gibi insan kaynaklı nedenlerle ortaya çıkabilir. Bu etkenler, çevre ve tarım alanları üzerinde uzun vadeli etkilere neden olabilir ve toprak ürünlerinin radyoaktivite düzeylerini artırabilir. Toprak ürünlerindeki radyoaktivitenin çevresel etkileri, insan sağlığı ve ekosistemler üzerindeki potansiyel riskleri beraberinde getirir. Radyoaktif maddelerin birikimi, bitkilerden hayvanlara ve nihayetinde insanlara geçerek biyolojik çeşitliliği etkileyebilir. Bu nedenle, toprak ürünlerindeki radyoaktivite düzeylerinin izlenmesi ve kontrol altında tutulması, sürdürülebilir tarım uygulamaları ve çevresel sağlık açısından kritik bir öneme sahiptir.

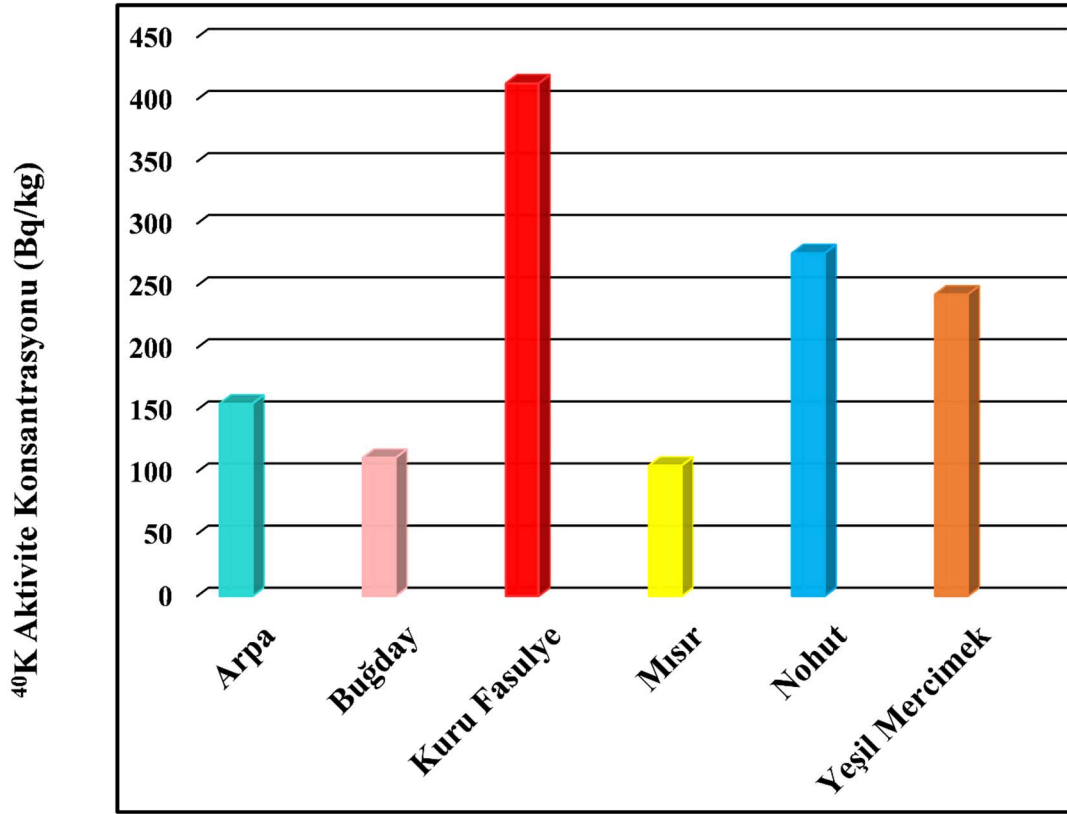
Kırşehir ilinde yoğun olarak yetiştiriciliği yapılan ve halk tarafından tüketilen tarım ürünlerinden, nohut, fasulye, yeşil mercimek, buğday, arpa ve mısır ürünlerinden elde edilen aktivite konsantrasyonlarının yapılan diğer çalışmalar ile karşılaştırmalı bir şekilde Tablo 4.9'da sunulmuştur.

Tablo 4.9. Tarım ürünlerinde ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının değerleri

Tarım ürünü	Bölge	^{226}Ra	^{232}Th	^{137}Cs	^{40}K	Referans
Buğday	Kırşehir	MDA	MDA	MDA	111.4±15.2	Bu çalışma
	İstanbul	1.02±0.52	-	-	67.0±8.9	(Karahan, 1997)
	Nevşehir	MDA	MDA	MDA	94.1-130.3	(Bingöldağ, 2017)
	Muğla	1.9±0.18	1.44±0.12	-	39.88±6.16	(Altıkulaç, 2021)
	İran	1.67	0.5	-	91.73	(Changizi ve ark., 2013)
	Fransa	0.570±0.05	MDA	MDA	146.3±7.3	(Akhtar ve ark., 2005)
Arpa	Kırşehir	MDA	MDA	MDA	155.0±17.2	Bu çalışma
	Irak	1.92±0.36	1.94±0.34	0.39±0.03	242.22±10.76	(Pourimani ve Shahroodi, 2018)
	Libya	68.95	69.59	-	154.15	(AL-abrdi, 2023)
Nohut	Kırşehir	MDA	MDA	MDA	276.1±28.7	Bu çalışma
	Nevşehir	MDA	0.19±0.15	MDA	269.9±32.8	(Bingöldağ, 2017)
	İstanbul	-	-	-	177.8±17.7	(Karahan, 1997)
	Muğla	1.70	1.75	-	217.4	(Altıkulaç, 2021)
	Arabistan	3.58±0.18	1.53±0.09	-	170.47±14.66	(Baz ve Alamoudi, 2017)
Mısır	Kırşehir	MDA	MDA	MDA	105.1±9.7	Bu çalışma
	Muğla	1.19	1.98	-	38.12	(Altıkulaç, 2021)
	İran	0.81	0.85	-	101.52	(Changizi ve ark., 2013)
	Artvin	9.5	12.7	23.5	279.0	(Koby ve ark., 2015)
Yeşil Mercimek	Kırşehir	MDA	MDA	MDA	242.9±23.7	Bu çalışma
Kuru Fasulye	Kırşehir	MDA	MDA	MDA	412.85±38.2	Bu çalışma
	Artvin	10.7	16.3	41.1	392.5	(Koby ve ark., 2015)
	İstanbul	-	-	-	374.30±12.56	(Karahan, 1997)
	Muğla	1.47	0.98	-	370.4	(Altıkulaç, 2021)

Kırşehir ilinde yetiştirilen ve halkın tükettiği tarım ürünlerinden buğday, arpa, nohut, mısır, yeşil mercimek ve kuru fasulye gibi 11 adet örneğin ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite konsantrasyon ölçümleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre tüm tarım ürünleri için ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları değerleri minimum ölçülebilir değerden küçük elde edilmiştir. ^{40}K aktivite konsantrasyonuna bakıldığında en yüksek değere kuru fasulye sahiptir. Buğday için elde edilen sonuca göre İstanbul, Muğla, Nevşehir ve İran'dan elde edilen sonuçlardan yüksek, Fransa'dan elde edilen sonuçlardan düşük çıkmıştır. Arpa için elde edilen sonuçlara göre Libya'da elde edilen sonuçlara çok yakın değere sahip iken Irak'tan elde edilen sonuçtan küçüktür. Nohut için elde edilen verilere bakıldığında tabloda bulunan diğer numunelerden daha yüksek değere sahip

olduğu görülmektedir. Mısır örneği için elde edilen sonuçlara göre Artvin ilinde ölçülen değerden küçük değere sahip iken diğer verilen numunelerden daha yüksek bir değere sahiptir. Kuru fasulye örneği için elde edilen sonuçlar tablodaki diğer verilerden daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.26'da Kırşehir ilindeki gıda numunelerinden elde edilen ^{40}K aktivite konsantrasyonları gösterilmiştir.



Şekil 4.26. Kırşehir ili tarım ürünlerinde belirlenen ^{40}K aktivite konsantrasyonu

Şekil 4.26'dan görüleceği üzere Kırşehir ili için en yüksek ^{40}K aktivite konsantrasyonu değerine kuru fasulye sahip iken en düşük ^{40}K aktivite konsantrasyonu değerine mısır sahiptir.

4.5. Doz Değerlendirmeleri

4.5.1. Yıllık etkin doz değeri (AEDE)

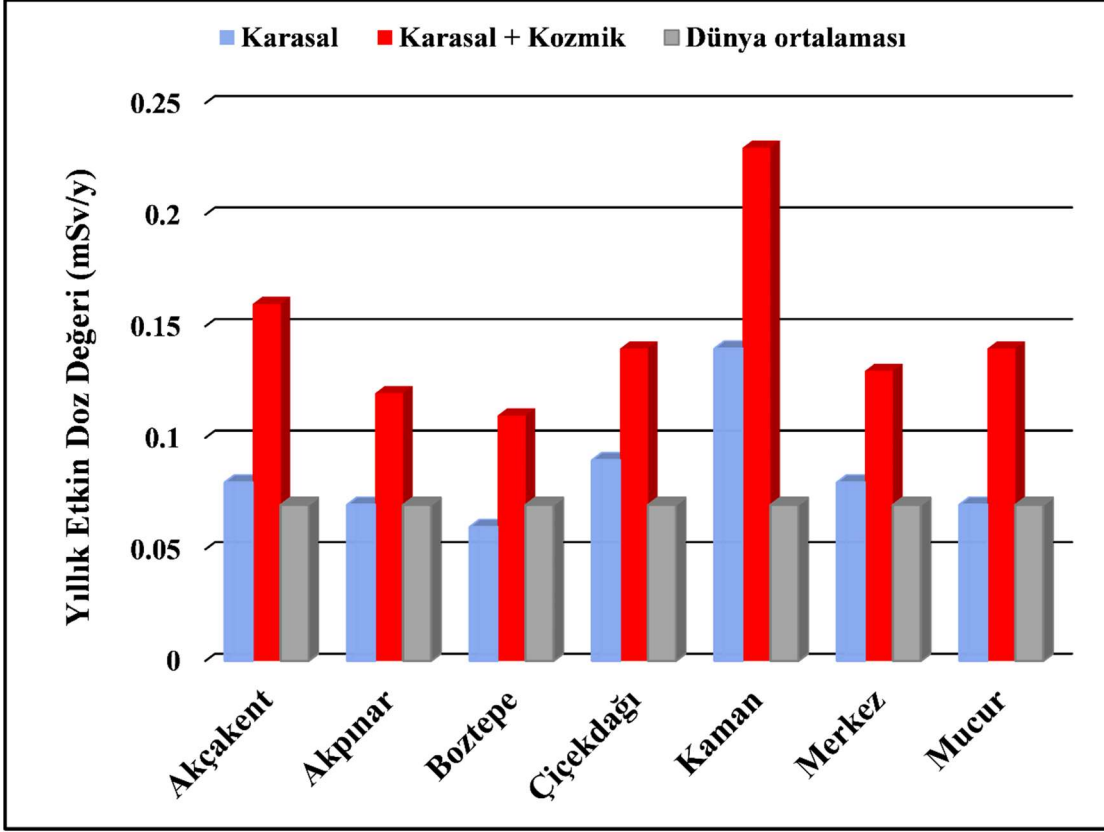
Radyasyonun biyolojik etkilerini değerlendirmede kullanılan önemli bir ölçüt, yıllık etkin doz değeridir. Yıllık etkin doz, vücuda giren radyasyonun potansiyel zararlarını tek bir sayı ile temsil eden bir ölçü birimidir ve millisievert (mSv) cinsinden ifade edilir. Yıllık etkin doz değeri, çeşitli radyasyon kaynaklarından kaynaklanan maruziyeti birleştirerek, bu maruziyetin potansiyel biyolojik etkilerini değerlendirmeyi amaçlar. Doz değeri, genellikle bir yıl içindeki radyasyon maruziyetini ifade eder ve farklı

organ ve dokuların radyasyon hassasiyetini dikkate alarak hesaplanır. Radyasyonun etkilerini değerlendirmede kullanılan yıllık etkin doz değeri, ulusal ve uluslararası radyasyon koruma kuruluşları tarafından belirlenen limitlere dayanır. Bu limitler, genellikle nükleer çalışanlar, radyolojik tıp hastaları, halk ve diğer potansiyel maruz kalan gruplar için belirlenir. Bu çalışmada toprak numunelerinden elde edilen veriler ile Kırşehir ili için yıllık etkin doz değeri hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalardan elde edilen veriler Tablo 4.10’da sunulmuştur.

Tablo 4.10. İlçelere göre hesaplanan yıllık etkin doz değerleri

İlçe	D (nGy/saat)		AEDE (mSv/y)	
	Karasal	Karasal + Kozmik	Karasal	Karasal + Kozmik
Akçakent	65.51	134.50	0.08	0.16
Akpınar	53.13	98.00	0.07	0.12
Boztepe	50.44	93.89	0.06	0.11
Çiçekdağı	70.45	114.61	0.09	0.14
Kaman	111.04	188.82	0.14	0.23
Merkez	66.70	109.80	0.08	0.13
Mucur	60.16	115.29	0.07	0.14
İl ortalaması	68.25	122.13	0.08	0.15

Tablo 4.10’da sunulan karasal + kozmik yıllık etkin doz değeri direk olarak havadan dedektörle ölçülen değerleri temsil etmektedir. Karasal olarak verilen değerler ise topraktaki aktivite değerlerinden hesaplanan değerlerdir. Karasal + kozmik değerlerin, karasal değerlerden büyük olması beklenen bir durumdur. Hesaplanan değerlere bakıldığı zaman en yüksek ortalama Kaman ilçesinin sahip olduğu görülmektedir. En düşük ortalama değere ise Boztepe ilçesi sahiptir. En yüksek AEDE değeri 0.288 mSv/y ile Kaman ilçesine bağlı Hamit köyünde ve en düşük AEDE değeri 0.02 mSv/y ile Akçakent ilçesinin merkezinde hesaplanmıştır. Kırşehir il ortalaması 0.15 mSv/y olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan diğer ilçe ortalamalarına bakıldığında Akçakent ve Kaman ilçe ortalamaları il ortalama değerinden büyük iken, Akpınar, Boztepe, Çiçekdağı, Merkez ve Mucur ortalama ilçe değerleri il ortalama değerinin altındadır. UNSCEAR’a göre dünya ortalaması Karasal için 0.07 mSv/y ve Karasal + Kozmik 0.52 mSv/y tır. Bu verilere göre Kırşehir ili için karasal ortalamasına bakıldığında dünya ortalamasının biraz üzerinde hesaplanmıştır. Karasal + kozmik olarak dünya ortalaması değerinin altındadır. Ayrıca Akçakent, Çiçekdağı, Kaman ve Merkez ilçe değerleri karasal hesaplamalar için dünya ortalama değerinin üzerindedir. Şekil 4.27’de Kırşehir ili için hesaplanan yıllık etkin doz değerleri sunulmuştur.



Şekil 4.27. Kırşehir ili hesaplanan yıllık etkin doz değerleri

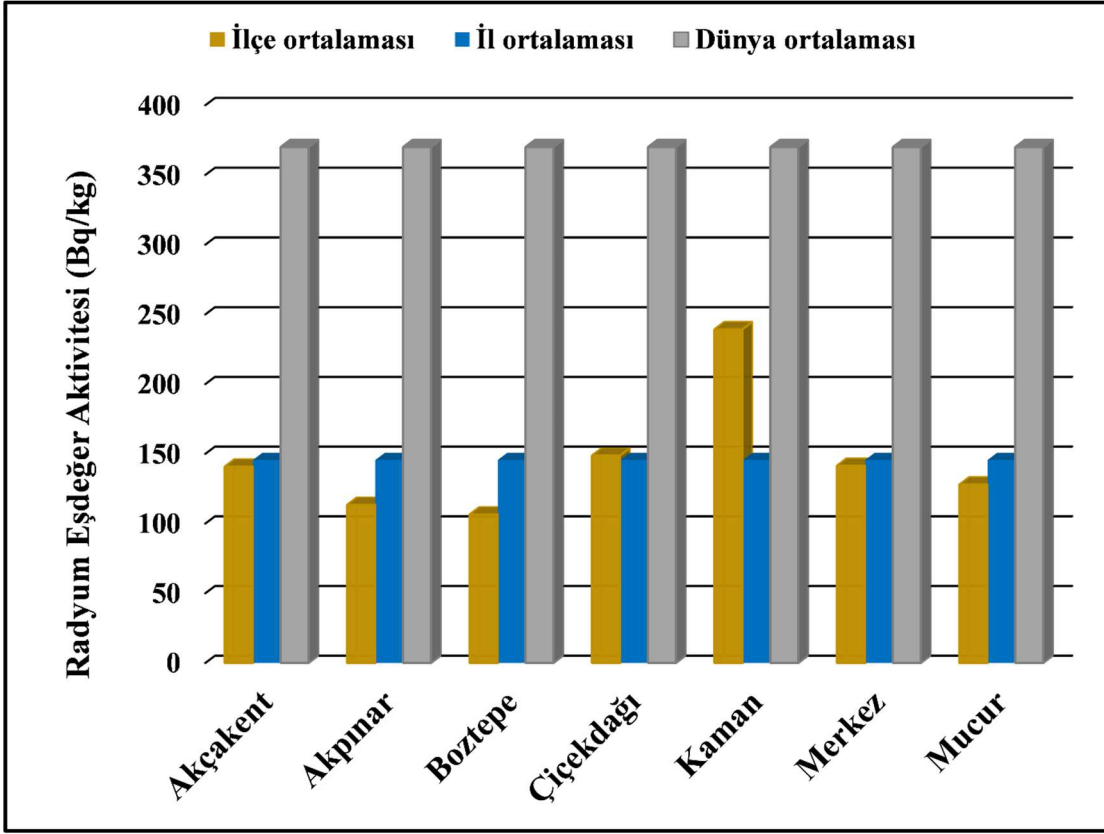
4.5.2. Radyum eşdeğer aktivitesi (R_{eq})

Radyum Eşdeğer Aktivitesi (R_{eq}), radyasyonun ölçümü ve değerlendirilmesi için kullanılan önemli bir kavramdır. R_{eq} , özellikle radyoaktif maddelerin ve bileşiklerin gama (γ) radyasyon yayma yeteneklerini temsil eder. Bu ölçüm, farklı radyoaktif izotopların iç içe geçmiş etkilerini ve katkılarını hesaba katarak yapılır. R_{eq} hesaplamaları, yer altı su kaynaklarının radyoaktif kirliliğinin izlenmesinden nükleer endüstriye kadar birçok alanda kullanılır. Bu ölçüm, insanların radyasyona maruz kalma düzeyini belirlemek, sınırlamak ve kontrol altına almak için kritik bir araçtır. Ayrıca, çevresel radyasyonun etkilerini değerlendirmek ve radyasyonla ilgili düzenlemeleri oluşturmak için de önemlidir. R_{eq} , radyasyonun insan sağlığına ve çevreye olan potansiyel etkilerini anlamamıza yardımcı olan bir anahtar ölçü birimidir. Tablo 4.11’de Kırşehir ili için hesaplanan Radyum Eşdeğer Aktivitesi değerleri sunulmuştur.

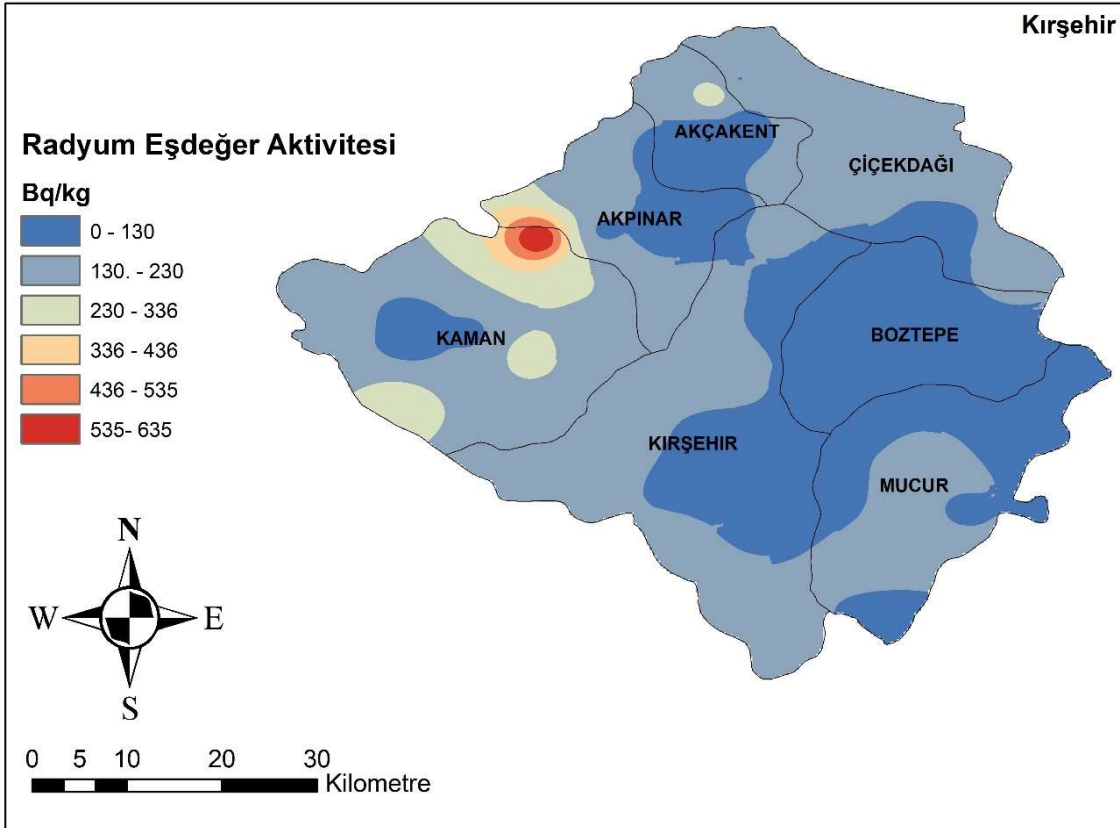
Tablo 4.11. İlçelere göre Radyum eşdeğer aktivitesi değerleri

Radyum Eşdeğer Aktivitesi (Bq/kg)			
İlçe	Düşük	Yüksek	Ortalama
Akçakent	42.65	285.04	140.78
Akpınar	51.24	174.35	113.41
Boztepe	94.81	126.66	106.49
Çiçekdağı	128.45	207.31	148.79
Kaman	38.49	636.69	239.28
Merkez	82.53	170.73	141.45
Mucur	88.98	186.47	127.94
İl	38.49	636.69	145.45

Kırşehir ili için en düşük Ra_{eq} değeri 38.49 Bq/kg olarak Kaman ilçesinin Kargınmeşe köyünde, en yüksek Ra_{eq} değeri ise 636.69 Bq/kg olarak Kaman ilçesinin Hamit köyünde hesaplanmıştır. En yüksek ilçe ortalaması değeri 239.28 Bq/kg ile Kaman ilçesinde iken, en düşük ilçe ortalaması değeri 106.49 Bq/kg ile Boztepe ilçesine aittir. Kırşehir ili için ortalama Radyum eşdeğer aktivite değeri 145.45 Bq/kg olarak hesaplanmıştır. İlçe ortalaması değerlerine bakıldığında Akçakent, Akpınar, Boztepe, Merkez ve Mucur ilçelerinin ortalama Radyum aktivite değerleri il ortalaması değerinin altında hesaplanmıştır. Kaman ve Çiçekdağı ilçelerinin ortalama değerleri il ortalaması değerinin üzerinde bulunmuştur. UNSCEAR'a göre radyum eşdeğer aktivitesi için dünya ortalaması 370 Bq/kg dır. Kırşehir için elde edilen ortalama değerler dünya ortalaması değerinin altındadır. Toprak örneği alınan 47 adet yerden sadece Kaman ilçesine bağlı Hamit köyünde radyum aktivitesi değeri dünya ortalaması değerinin üzerindedir. Şekil 4.28'de Kırşehir ili için hesaplanan Radyum eşdeğer aktivitesi değerleri sunulmuştur. Şekil 4.29'da Kırşehir ili için Radyum eşdeğer aktivitesi değerlerinin dağılım haritası gösterilmiştir.



Şekil 4.28. Kırşehir ili hesaplanan radyum eşdeğer aktivitesi değerleri



Şekil 4.29. Kırşehir ili hesaplanan radyum eşdeğer aktivitesi değerlerinin dağılım haritası

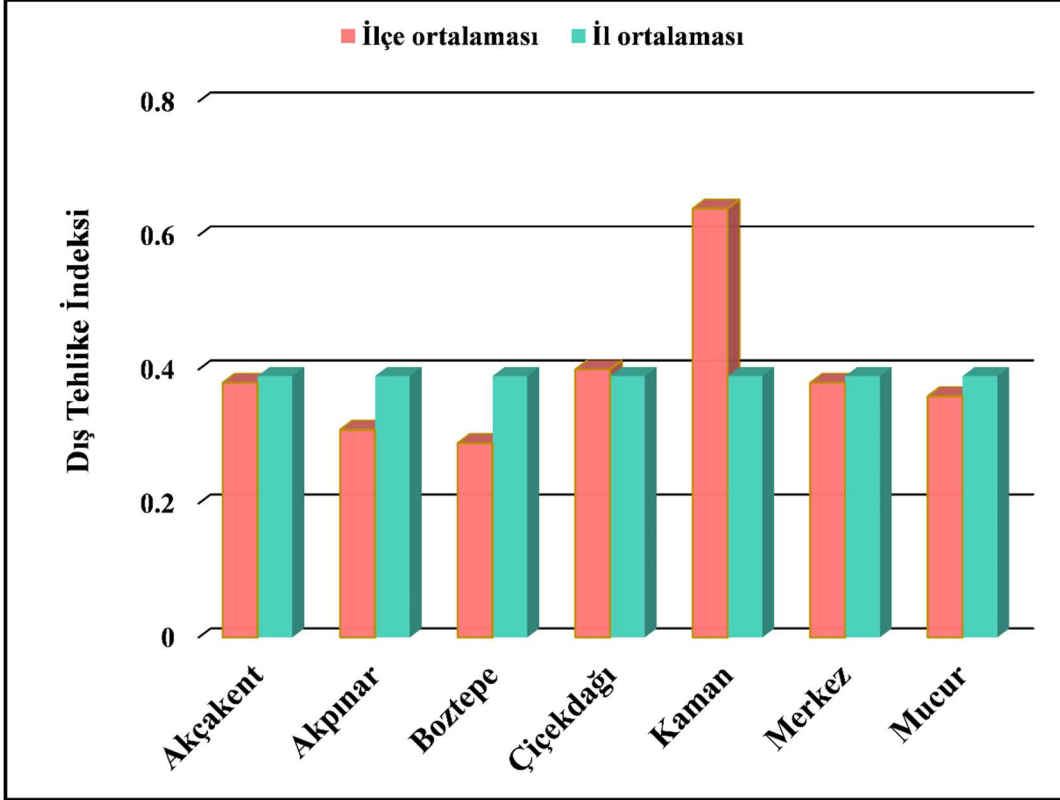
4.5.3. Dış tehlike indeksi (H_{ex})

Dış Tehlike İndeksi (H_{ex}), nükleer ve radyolojik olaylardan kaynaklanabilecek potansiyel tehditleri değerlendirmek ve bu olaylara hazırlık düzeyini belirlemek için kullanılan kritik bir endeks olarak öne çıkmaktadır. H_{ex} , nükleer kazalar, radyoaktif madde taşıma kazaları veya diğer radyasyon olayları gibi acil durumları değerlendirmek için tasarlanmış bir araçtır. Bu endeks, olayın yer aldığı bölgedeki radyasyon seviyelerini, çevresel koşulları, nüfusu ve diğer faktörleri dikkate alarak bir tehlike seviyesi belirler. H_{ex} , acil durumların yönetimi ve tahliye planlarının geliştirilmesi için rehberlik sağlar ve radyasyon güvenliği alanında önemli bir rol oynar. Aynı zamanda H_{ex} , toplumların ve otoritelerin bu tür olaylara karşı daha etkili bir şekilde hazırlıklı olmalarına yardımcı olurken, halk sağlığını ve güvenliğini koruma amacına hizmet eder. Tablo 4.12’de Kırşehir ili için hesaplanan dış tehlike indeksi değerleri sunulmuştur.

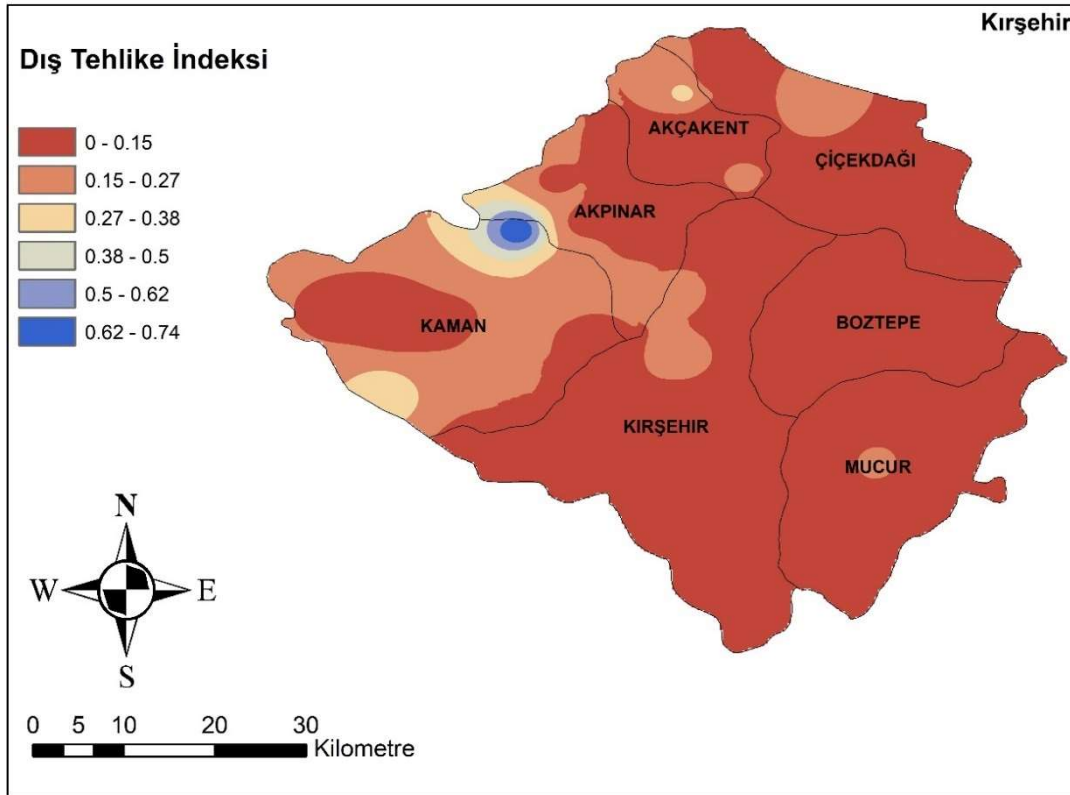
Tablo 4.12. İlçelere göre dış tehlike indeksi değerleri

İlçe	Dış Tehlike İndeksi		
	Düşük	Yüksek	Ortalama
Akçakent	0.115	0.770	0.382
Akpınar	0.177	0.471	0.306
Boztepe	0.256	0.342	0.287
Çiçekdağı	0.347	0.560	0.402
Kaman	0.104	1.720	0.646
Merkez	0.223	0.620	0.382
Mucur	0.240	0.503	0.345
İl	0.104	1.720	0.392

Kırşehir ili için en düşük H_{ex} değeri 0.104 olarak Kaman ilçesinin Kargınmeşe köyünde, en yüksek H_{ex} değeri ise 1.720 olarak Kaman ilçesinin Hamit köyünde hesaplanmıştır. En yüksek ilçe ortalaması değeri 0.646 ile Kaman ilçesinde iken, en düşük ilçe ortalama değeri 0.287 ile Boztepe ilçesine aittir. Kırşehir ili için ortalama H_{ex} değeri 0.392 olarak hesaplanmıştır. İlçe ortalama değerlerine bakıldığında Akçakent, Akpınar, Boztepe, Merkez ve Mucur ilçelerinin ortalama H_{ex} değerleri il ortalama değerinin altında hesaplanmıştır. Kaman ve Çiçekdağı ilçelerinin ortalama değerleri il ortalama değerinin üzerinde bulunmuştur. UNSCEAR’a göre H_{ex} için kabul edilen eşik değeri 1 dir. Kırşehir için elde edilen ortalama değerler eşik değerinin altındadır. Toprak örneği alınan 47 adet yerden sadece Kaman ilçesine bağlı Hamit köyünde H_{ex} değeri eşik değerinin üzerindedir. Şekil 4.30’da Kırşehir ili için hesaplanan H_{ex} değerleri sunulmuştur. Şekil 4.31’de Kırşehir ili için H_{ex} değerlerinin dağılım haritası gösterilmiştir.



Şekil 4.30. Kırşehir ili hesaplanan dış tehlike indeksi değerleri



Şekil 4.31. Kırşehir ili hesaplanan dış tehlike indeksi değerlerinin dağılım haritası

4.5.4. Yaşam boyu kanser riski (ELCR)

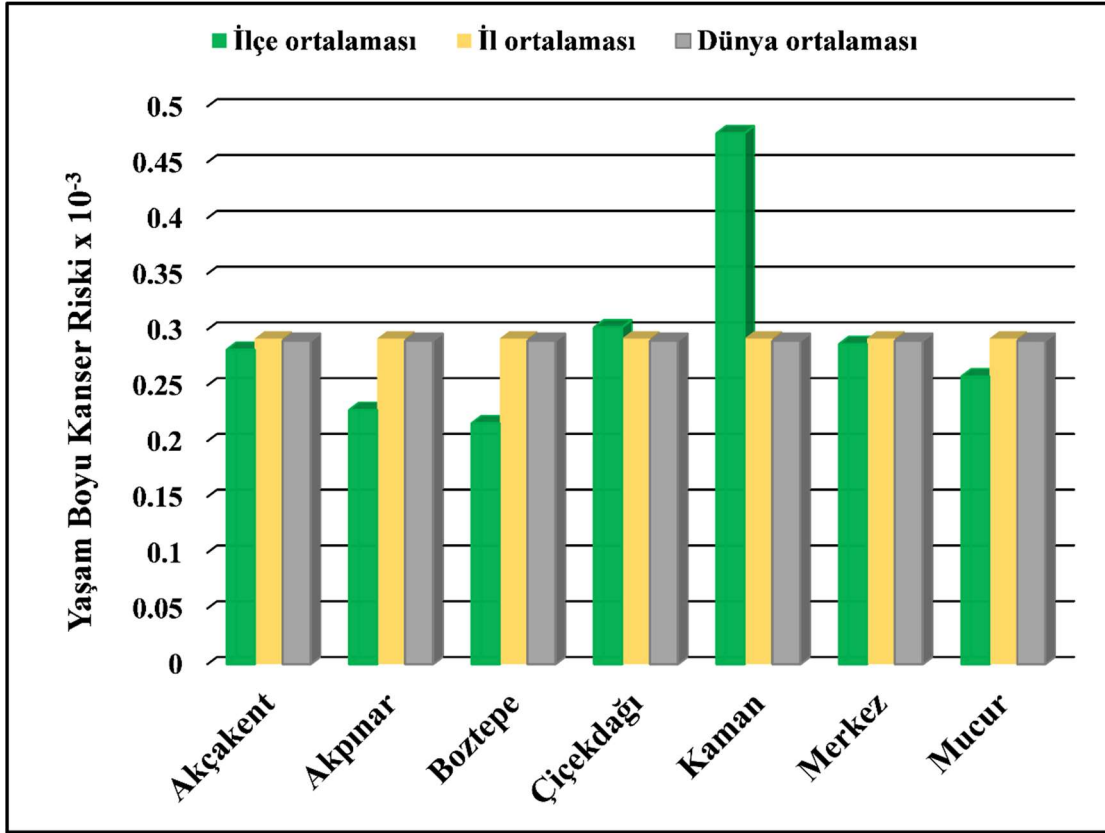
Yaşam Boyu Kanser Riski (ELCR), çevresel maruziyetler veya belirli maddelere olan uzun vadeli maruziyetlerin potansiyel kanser riskini değerlendirmek için kullanılan önemli bir ölçüdür. ELCR, bir kişinin yaşam boyunca kansere yakalanma olasılığını hesaplamak için kullanılır. Bu risk, radyasyon, kimyasal maddeler, çevresel kirlilik veya işyeri maruziyeti gibi faktörlere bağlı olarak değişebilir. ELCR, riskin belirli bir maruziyet düzeyi için ne kadar arttığını veya azaldığını anlamamıza yardımcı olur ve bu bilgi, radyasyon koruma, çevre politikaları ve iş güvenliği gibi alanlarda önemli kararlar alınmasına katkı sağlar. Aynı zamanda, ELCR, insanların daha sağlıklı ve güvenli bir çevrede yaşamalarını sağlama amacına hizmet eder ve kanser riskini en aza indirme çabalarını destekler. Tablo 4.13'te Kırşehir ili için hesaplanan yaşam boyu kanser riski değerleri sunulmuştur.

Tablo 4.13. İlçelere göre yaşam boyu kanser riski değerleri

Yaşam Boyu Kanser Riski x 10 ⁻³			
İlçe	Düşük	Yüksek	Ortalama
Akçakent	0.087	0.570	0.282
Akpınar	0.102	0.328	0.228
Boztepe	0.191	0.261	0.216
Çiçekdağı	0.259	0.412	0.302
Kaman	0.077	1.236	0.476
Merkez	0.166	0.459	0.287
Mucur	0.178	0.370	0.258
İl	0.077	1.236	0.292

Kırşehir ili için en düşük ELCR değeri 0.077×10^{-3} olarak Kaman ilçesinin Kargınmeşe köyünde, en yüksek ELCR değeri ise 1.236×10^{-3} olarak Kaman ilçesinin Hamit köyünde hesaplanmıştır. En yüksek ilçe ortalaması değeri 0.476×10^{-3} ile Kaman ilçesinde iken, en düşük ilçe ortalama değeri 0.216×10^{-3} ile Boztepe ilçesine aittir. Kırşehir ili için ortalama yaşam boyu kanser riski değeri 0.292×10^{-3} olarak hesaplanmıştır. İlçe ortalama değerlerine bakıldığında Akçakent, Akpınar, Boztepe, Merkez ve Mucur ilçelerinin ortalama yaşam boyu kanser riski değeri il ortalama değerinin altında hesaplanmıştır. Kaman ve Çiçekdağı ilçelerinin ortalama değerleri il ortalama değerinin üzerinde bulunmuştur. UNSCEAR'a göre yaşam boyu kanser riski değeri için dünya ortalaması 0.29×10^{-3} tür. Kırşehir için elde edilen ortalama değerler dünya ortalaması değeri sınırındadır. Kaman ve Çiçekdağı ilçeleri dünya ortalama

değerinin üzerinde bulunmuştur. Şekil 4.32’de Kırşehir ili için hesaplanan yaşam boyu kanser riski değerleri sunulmuştur.



Şekil 4.32. Kırşehir ili hesaplanan Yaşam boyu kanser riski değerleri

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması, Türkiye sınırları içerisinde iller bazında toprak, su kaynakları, bitki ve çevresel radyasyon doz hızı düzeylerinin belirlenmesi ve bölgelerin doğal radyasyon ve radyoaktivite düzeylerinin referans veri olarak kayıt altına alınması projesinin bir parçası olarak gerçekleştirilmiştir.

Bu bağlamda, Kırşehir ilindeki toprak ve su numunelerindeki doğal radyoaktivite analizleri ile ve çevresel gama doz hızlarının ölçülmesi ile elde edilen veriler bölge için temel referans düzeylerini oluşturmaktadır. Kırşehir ili sınırları içerisinde çeşitli noktalarından alınan toprak numunelerinde doğal oluşum kaynaklı ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve 1986 yılında meydana gelen Çernobil nükleer güç santrali kazası kaynaklı fisyon ürünü ^{137}Cs radyonüklidlerin spesifik aktiviteleri, gama spektrometre sistemine dayalı bir HpGe dedektörü kullanılarak belirlenmiştir.

Toprak numunelerinden elde edilen ^{226}Ra aktivite konsantrasyonu en yüksek Kaman ilçesine bağlı Hamit köyünde 128.5 Bq/kg, en düşük 8.7 Bq/kg ile Akçakent ilçe merkezinde bulunmuştur. ^{232}Th aktivite konsantrasyonu en yüksek Kaman ilçesine bağlı Hamit köyünde 273.8 Bq/kg, en düşük 11.6 Bq/kg ile Kaman ilçesi Demirli köyünde bulunmuştur. ^{40}K aktivite konsantrasyonu en yüksek Kaman ilçesine bağlı Hamit köyünde 1515 Bq/kg, en düşük 133.9 Bq/kg ile Kaman ilçesi Kargınmeşe köyünde bulunmuştur. ^{137}Cs aktivite konsantrasyonu en yüksek Akçakent ilçesine bağlı Mahsenli köyünde ve Merkez ilçesi Sıdıklı Küçükoba köyünde 0.3 Bq/kg, en düşük 21.1 Bq/kg ile Mucur ilçesi Avcı köyünde bulunmuştur. Toprak numunelerinden elde edilen ortalama ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonu değerleri sırasıyla 29.66 ± 2.64 Bq/kg, 48.80 ± 4.38 Bq/kg, 599.40 ± 58.34 Bq/kg ve 4.61 ± 0.49 Bq/kg olarak elde edilmiştir. ^{226}Ra aktivite konsantrasyonu için il ortalaması değeri dünya ortalama değerinin altında tespit edilmiştir. ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonu için il ortalaması değerleri dünya ortalaması değerlerinin üzerinde tespit edilmiştir. ^{137}Cs yapay bir radyoizotoptur ve nükleer santral kazası sonucu oluşan radyoaktif serpinti olarak toprakta bulunabileceği gibi meteorolojik doğa olayları ile birlikte de taşınabilir. Türkiye ve diğer birçok ülke 1986 yılında Ukrayna'da meydana gelen Çernobil nükleer santral kazasından etkilenmiştir. Bu çalışmada en yüksek ^{137}Cs radyoaktivite konsantrasyonu Mucur ilçesine bağlı Avcı köyünde 21.10 ± 1.7 Bq/kg olarak ölçülmüştür. Bu bulgular ^{137}Cs radyonüklidinin Kırşehir topraklarında hala var olduğunu göstermektedir.

Kırşehir ili için yapılan çevresel gama doz hızı sonuçlarına göre en düşük gama doz hızı Merkez ilçesine bağlı Bahçelievler mahallesinde ve Kaman ilçesine bağlı Kargınmeşe köyünde 40 nGy/saat, en yüksek gama doz hızı kaman ilçesine bağlı Mollaosmanlar köyünde 630 nGy/saat olarak tespit edilmiştir. Kırşehir ili için çevresel gama doz hızı ortalama değeri 122.13 nGy/saat olarak tespit edilmiştir, elde edilen bu değer dünya ortalama değerinin üzerindedir.

Kırşehir ili su numunelerinde toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyonları ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Toplam alfa aktivite konsantrasyonları için elde edilen en yüksek değer 1.04 ± 0.19 Bq/L ile Merkez ilçesine bağlı Karahıdır köyünden elde edilirken, en küçük değer ise 0.04 ± 0.01 Bq/L ile Merkez ilçesine bağlı Çadırlı Hacı Yusuf köyünden elde edilmiştir. Toplam alfa aktivite konsantrasyonunun ortalaması 0.207 ± 0.04 Bq/L olarak elde edilirken, bu değer dünya ortalaması değerinin altındadır. Toplam beta aktivite konsantrasyonları için elde edilen verilere bakıldığında en yüksek değer 2.47 ± 0.18 Bq/L ile Merkez ilçesindeki kaplıca suyundan elde edilirken, en küçük değer ise 0.07 ± 0.03 Bq/L ile Akçakent ilçesine bağlı Mahsenli köyünden ve Merkez ilçesine bağlı Çayağzı köyünden elde edilmiştir. Kırşehir ili için ortalama toplam beta aktivite konsantrasyonu değeri 0.275 ± 0.04 Bq/L elde edilmiş ve bu değer dünya ortalama değerinin altındadır.

Gama doz hızından faydalanarak hesaplanan yıllık etkin doz değeri en yüksek Kaman ilçesine bağlı Hamit köyünde 0.288 mSv/y, en düşük yıllık etkin doz değeri 0.02 mSv/y ile Akçakent ilçesinin merkezinde hesaplanmıştır. Kırşehir il ortalama yıllık etkin doz değeri 0.15 mSv/y olarak hesaplanmıştır. Bu değer dünya ortalaması değerinin altında kalmaktadır. Radyum eşdeğer aktivite değeri, Kırşehir ili için en düşük R_{eq} değeri 38.49 Bq/kg olarak Kaman ilçesinin Kargınmeşe köyünde, en yüksek R_{eq} değeri ise 636.69 Bq/kg olarak Kaman ilçesinin Hamit köyünde hesaplanmıştır. Kırşehir ili için ortalama radyum eşdeğer aktivite değeri 145.45 Bq/kg olarak hesaplanmıştır. Bu değer dünya ortalaması değerinin altında tespit edilmiştir. Dış tehlike indeksi, Kırşehir ili için en düşük H_{ex} değeri 0.104 olarak Kaman ilçesinin Kargınmeşe köyünde, en yüksek H_{ex} değeri ise 1.720 olarak Kaman ilçesinin Hamit köyünde hesaplanmıştır. Kırşehir ili için ortalama H_{ex} değeri 0.392 olarak hesaplanmıştır. Yaşam Boyu Kanser Riski, Kırşehir ili için en düşük ELCR değeri 0.077×10^{-3} olarak Kaman ilçesinin Kargınmeşe köyünde, en yüksek ELCR değeri ise 1.236×10^{-3} olarak Kaman ilçesinin Hamit köyünde hesaplanmıştır.

Kırşehir ilinde yoğun olarak üretimi ve tüketimi gerçekleştirilen tarım ürünlerinde ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının ölçümleri sonuçlarına göre ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{137}Cs sonuçları minimum ölçülebilen değerler altındadır. ^{40}K aktivite konsantrasyonu sonucuna göre 412.85 ± 38.2 Bq/kg ile kuru fasulye en yüksek değere sahip iken, 105.1 ± 9.7 Bq/kg ile mısırın en düşük değere sahip olduğu tespit edilmiştir.

Dış tehlike indeksi için kabul edilebilir sınır olan birlik değerinden daha düşük olduğu ve Ra_{eq} aktivitesinin 370 Bq/kg'dan daha küçük olduğu görülmüştür. Bu da seçilen bölgede incelenen radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonlarının nominal olduğunu ve bölgede insan sağlığına zararlı bir etkiye neden olmadığını ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, bu veriler incelenen alan için genel bir arka plan seviyesi sağlayabilir ve herhangi bir radyolojik kaza durumunda gelecekteki radyoaktivite araştırmaları ve radyonüklitlerin değerlendirilmesi için bir kılavuz sağlayabilir.

Tablo 5.1. Türkiye'nin farklı illerinde yapılan radyoaktivite analizi ve doz hızı ölçümleri

Bölge	^{40}K (Bq/kg)	^{226}Ra (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	Gama Doz Hızı (nGy/saat)	Referans
Kırşehir	599.40	29.66	48.80	122.13	Bu çalışma
Adana	297.50	25.57	21.10	67.00	(Degerlier ve ark., 2008)
Antalya	381.28	21.47	26.20	22.00	(Karahana ve ark., 2017)
Artvin	390.47	47.85	29.27	173.00	(Karahana ve ark., 2017)
Bartın	326.12	18.21	21.40	78.00	(Karahana ve ark., 2015)
Bursa	430.00	55.90	32.10	90.00	(Karahana, 2010)
Çanakkale	1273.00	114.9	110.4	66.40	(Kam ve ark., 2010)
Hatay	242.36	23.35	14.54	55.00	(Karahana ve ark., 2017)
Iğdır	441.20	14.12	16.13	81.00	(Karahana ve ark., 2015)
Karabük	363.94	16.56	21.42	68.00	(Karahana ve ark., 2015)
Karaman	311.15	23.43	22.28	11.00	(Karahana ve ark., 2017)
Kars	512.98	24.56	32.66	150.00	(Karahana ve ark., 2015)
Kastamonu	431.43	37.40	27.17	48.03	(Kam ve Bozkurt, 2007)
Kayseri	429.66	35.51	37.27	114.43	(Otansev ve ark., 2012)
Kırkkale	598.00	20.40	38.80	121.00	(Albayrak, 2011)
Kırklareli	667.00	37.00	40.00	118.00	(Taskin ve ark., 2009)
Manisa	340.00	-	27.00	54.00	(Ereş ve ark., 2006)
Mersin	401.32	24.83	23.57	83.00	(Karahana ve ark., 2015)
Nevşehir	730.95	47.92	56.86	21.00	(Bingöldağ, 2017)
Şanlıurfa	298.61	20.80	24.95	60.90	(Bozkurt ve ark., 2007)
Tekirdağ	578.22	36.29	38.33	43.00	(Kam, 2004)

Tablo 5.1'de Türkiye'de diğer illerde gerçekleştirilen çalışmalar verilmiştir. Çalışmalar karşılaştırıldığında Kırşehir ilindeki ^{40}K ortalama radyoaktivite konsantrasyonu, Nevşehir, Çanakkale ve Kırklareli illerinden daha düşük, tabloda verilen diğer illerin ortalama ^{40}K radyoaktivite konsantrasyonundan daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. ^{226}Ra 'nın ortalama radyoaktivite konsantrasyonu Artvin, Çanakkale, Tekirdağ, Nevşehir, Kırklareli, Kayseri, Kastamonu ve Bursa illerinin ortalama

değerlerinden daha düşük elde edilmiştir. Ortalama ^{232}Th radyoaktivite konsantrasyonu Çanakkale ve Nevşehir illerinden daha düşüktür. Nevşehir, Kırşehir ve Kırıkkale illeri bölge itibariyle aynı jeolojik formasyonda olduğu için değerler birbirine yakındır. Ayrıca gama doz hızı incelendiğinde Kırşehir ilinin ölçülen değerinin Artvin ve Kars illerinden düşük değerde gözlemlenirken, diğer illerden daha yüksek değere sahip olduğu görülmektedir.

Çalışmanın bulguları, belirlenen araştırma alanı içerisinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklidlerin aktivite seviyelerinde önemli farklılıklar olduğunu ortaya koymuştur. Çeşitli lokasyonlar arasında gözlemlenen veri farklılıkları muhtemelen bu lokasyonların farklı jeolojik oluşumlardan kaynaklandığına atfedilebilir.

6. KAYNAKÇA

- Ahmad, N., Jaafar, M. S., Bakhsh, M., & Rahim, M. (2015). An overview on measurements of natural radioactivity in Malaysia. *Journal of radiation research and applied sciences*, 8(1), 136-141.
- Akbudak, İ. K., Ketenci, D. E., & Gürbüz, M. (2022). Kaman (Kırşehir-Türkiye) floritlerinin mineralojik ve gemolojik özellikleri. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12(4), 1012-1023.
- Akhtar, N., Tufail, M., Ashraf, M., & Iqbal, M. M. (2005). Measurement of environmental radioactivity for estimation of radiation exposure from saline soil of Lahore, Pakistan. *Radiation measurements*, 39(1), 11-14.
- AL-abrdi, A. M. (2023). Measurements of natural radioactivity and evaluation of radiation hazard indices in Barley Samples in Libya Markets, *Libyan Journal of Basic Sciences*, 20(2), 51-64.
- Al-Sulaiti, H., Regan, P., Bradley, D., Malain, D., Santawamaitre, T., Habib, A., Matthews, M., Bukhari, S., & Al-Dosari, M. (2010). A preliminary report on the determination of natural radioactivity levels of the State of Qatar using high-resolution gamma-ray spectrometry. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 619(1-3), 427-431.
- Albayrak, N. (2011). Kırıkkalede (Türkiye) doğal radyasyon kaynaklarının belirlenmesi ve gama doz oranlarının değerlendirilmesi. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı.
- Altıkulaç, A. (2021). Analysis of natural radioactivity and determination of potassium content in foods. *Fresenius Environmental Bulletin*, 30(6B), 7859-7865.
- Anonim. (2021). *Kırşehir ili 2021 yılı çevre durum raporu*. Türkiye Cumhuriyeti Kırşehir Valiliği Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü. Retrieved 15.04.2024 from <https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/kirsehir-ilcdr-2021-20220928143148.pdf>
- Anonim, (2023). Kırşehir ili maden ve enerji kaynakları. https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi_merkezi/maden_potansiyel_2010/kirsehir_madenler.pdf, Erişim Tarihi: 15 Nisan 2024.
- Anonim, (2024). Coğrafya. <http://www.kirsehir.gov.tr/cografya>, Erişim Tarihi: 08 Nisan 2024.

- Arslan, N. (2017). The Effects of Radiation on Biological Systems/Radyasyonun Biyolojik Sistemler Uzerindeki Etkileri. *Nuclear Medicine Seminars*, 3(3), 178+. <https://link.gale.com/apps/doc/A541892454/HRCA?u=anon~741608d2&id=googleScholar&xid=e1d8f0c2>, Erişim Tarihi: 17 Mart 2024.
- Audi, G., Kondev, F., Wang, M., Pfeiffer, B., Sun, X., Blachot, J., & MacCormick, M. (2012). The NUBASE2012 evaluation of nuclear properties. *Chinese Physics C*, 36(12), 1157.
- Bajoga, A. D. (2016). *Evaluation of natural and anthropogenic radioactivity in environmental samples from Kuwait using high-resolution gamma-ray spectrometry*. (Publication No. 10176433) [Doctoral dissertation, University of Surrey]. ProQuest Dissertations & Theses Global.
- Baz, S. S., & Alamoudi, Z. M. (2017). Naturally occurring radioactive nuclides from cereal grains, legumes and some foodstuffs consumed in Saudi Arabia. *Life Science Journal*, 14(7), 35-39.
- Bé, M.-M., Chisté, V., Dulieu, C., Browne, E., Baglin, C., Chechev, V., Kuzmenko, N., Helmer, R. L., Kondev, F., & Macmahon, T. D. (2006). *Table of radionuclides (Vol. 3-A= 3 to 244)*. Pavillon de Breteuil.
- Beretka, J., & Mathew, P. (1985). Natural radioactivity of Australian building materials, industrial wastes and by-products. *Health physics*, 48(1), 87-95.
- Bingöldağ, N. (2017). Nevşehir ilinin toprak, su ve tarım ürünlerinde doğal radyoaktivitenin ve ağır metallerin belirlenmesi. Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı.
- Boyle, R. W. (2013). *Geochemical prospecting for thorium and uranium deposits*. Elsevier Scientific Publishing Company.
- Bozkurt, A., Yorulmaz, N., Kam, E., Karahan, G., & Osmanlioglu, A. E. (2007). Assessment of environmental radioactivity for Sanliurfa region of southeastern Turkey. *Radiation measurements*, 42(8), 1387-1391.
- Butt, D., & Wilson, A. (1972). A study of the radioactive decay law. *Journal of Physics A: General Physics*, 5(8), 1248.
- Cember, H. (1969). *Introduction to health physics*. Pergamon Press Ltd.
- Cetnar, J. (2006). General solution of Bateman equations for nuclear transmutations. *Annals of Nuclear Energy*, 33(7), 640-645.

- Changizi, V., Shafiei, E., & Zareh, M. R. (2013). Measurement of ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs and ^{40}K activities of wheat and corn products in Ilam province–Iran and Resultant annual ingestion radiation dose. *Iranian journal of public health*, 42(8), 903.
- Cinelli, G., Tollefsen, T., Bossew, P., Gruber, V., Bogucarskis, K., De Felice, L., & De Cort, M. (2019). Digital version of the European Atlas of natural radiation. *Journal of environmental radioactivity*, 196, 240-252.
- Degerlier, M., Karahan, G., & Ozger, G. (2008). Radioactivity concentrations and dose assessment for soil samples around Adana, Turkey. *Journal of environmental radioactivity*, 99(7), 1018-1025.
- Derin, M. T., Vijayagopal, P., Venkatraman, B., Chaubey, R. C., & Gopinathan, A. (2012). Radionuclides and radiation indices of high background radiation area in Chavara-Neendakara placer deposits (Kerala, India). *Plos One*, 7(11), e50468.
- Edition, F. (2011). *Guidelines for drinking-water quality* (3rd ed.). World Health Organization, 38(4), 104-108.
- Eisenbud, M., & Gesell, T. F. (1997). *Environmental radioactivity from natural, industrial and military sources: from natural, industrial and military sources*. Elsevier Scientific Publishing Company.
- Ereeş, F., Aközcan, S., Parlak, Y., & Cam, S. (2006). Assessment of dose rates around Manisa (Turkey). *Radiation measurements*, 41(5), 598-601.
- Ghiassi-Nejad, M., Mortazavi, S., Cameron, J., Niroomand-Rad, A., & Karam, P. (2002). Very high background radiation areas of Ramsar, Iran: preliminary biological studies. *Health physics*, 82(1), 87-93.
- Gilmore, G. (2008). *Practical gamma-ray spectroscopy*. John Wiley & Sons.
- Harkins, W. D. (1917). The Evolution of the Elements and the Stability of Complex Atoms. I. A New Periodic System Which Shows a Relation Between the Abundance of the Elements and the Structure of the Nuclei of Atoms. *Journal of the American Chemical Society*, 39(5), 856-879.
- Hore-Lacy, I. (2010). *Nuclear Energy in the 21st Century: World Nuclear University Press*. Elsevier Scientific Publishing Company.
- Humans, I. W. (2012). *A review of human carcinogens: Part B: Biological agents*. World Health Organisation.
- ICRP. (1991). 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Ann ICRP*, 21(1-3), 1-201.

- ICRP. (1997). Individual monitoring for internal exposure of workers. *Ann. ICRP*, 27(3/4).
- ICRP. (2007). Preface, executive summary and glossary. *Annals of the ICRP*, 37(2-4), 9-34.
- Kam, E. (2004). Tekirdağ'ın Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Tayini. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı.
- Kam, E., & Bozkurt, A. (2007). Environmental radioactivity measurements in Kastamonu region of northern Turkey. *Applied Radiation and Isotopes*, 65(4), 440-444.
- Kam, E., Bozkurt, A., & Ilgar, R. (2010). A study of background radioactivity level for Canakkale, Turkey. *Environmental monitoring and assessment*, 168, 685-690.
- Karahan, G. (1997). İstanbul'un çevresel doğal radyoaktivitesinin tayini ve doğal radyasyonların yıllık etkin doz eşdeğeri. Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Nükleer Enerji Enstitüsü.
- Karahan, G. (2010). Risk assessment of baseline outdoor gamma dose rate levels study of natural radiation sources in Bursa, Turkey. *Radiation protection dosimetry*, 142(2-4), 324-331.
- Karahan, G., Bıyık, R., Bingöldağ, N., Koçak, M., Ataksor, B., Baş Mor, H., Taşkın, H., Yüksel, A., Küçükcezzar, R., & Varinoğlu, A. (2017). Antalya-Nevşehir-Karaman-Hatay-Artvin illerinin doğal fon radyasyonu haritasının çıkarılması ve eser element analizleri. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu.
- Karahan, G., Bıyık, R., Güngör, E., Bingöldağ, N., Ataksor, B., Şimşek, V., Özüağ, C., Akkaş, A., Baş Mor, H., & Koçak, M. (2015). Mersin-Kars-Iğdır-Bartın-Karabük illerinin doğal fon radyasyonu haritasının çıkarılması ve eser element analizleri. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu.
- Klement, A. W. (2019). *Handbook of environmental radiation*. CRC press.
- Knoll, G. F. (2010). *Radiation detection and measurement*. John Wiley & Sons.
- Kobyay, Y., Taşkın, H., Yeşilkanat, C. M., Varinlioğlu, A., & Korcak, S. (2015). Natural and artificial radioactivity assessment of dam lakes sediments in Çoruh River, Turkey. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 303, 287-295.
- Krane, E., & Kenneth, S. (1988). Oregon State University. *Introductory Nuclear Physics*, John Wiley & Sons, New York.
- Krane, K. S. (1991). *Introductory nuclear physics*. John Wiley & Sons.

- Krishnaswami, S., Graustein, W. C., Turekian, K. K., & Dowd, J. F. (1982). Radium, thorium and radioactive lead isotopes in groundwaters: Application to the in situ determination of adsorption-desorption rate constants and retardation factors. *Water Resources Research*, 18(6), 1663-1675.
- L'Annunziata, M. F. (2007). Introduction: radioactivity and our well-being. *Radioactivity*, 1-45.
- Lilley, J. (2013). *Nuclear physics: principles and applications*. John Wiley & Sons.
- Manuel, O. K. (2007). *Origin of elements in the solar system: implications of post-1957 observations*. Springer Science & Business Media.
- Möller, T., Burmeister, S., Ehresmann, B., Heber, B., Labrenz, J., Panitzsch, L., Wimmer-Schweinguber, R., & Berger, T. (2012). Altitude Dependence of the Dose Rate from Ground up to the Stratosphere. *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft*, 47(2).
- Myrick, T., Berven, B., & Haywood, F. (1983). Determination of concentrations of selected radionuclides in surface soil in the US. *Health physics*, 45(3), 631-642.
- Neary, G. (1940). The β -ray spectrum of radium e. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences*, 175(960), 71-87.
- Otansev, P., Karahan, G., Kam, E., Barut, I., & Taskin, H. (2012). Assessment of natural radioactivity concentrations and gamma dose rate levels in Kayseri, Turkey. *Radiation protection dosimetry*, 148(2), 227-236.
- Paquet, F., Bailey, M., Leggett, R. W., & Harrison, J. (2016). Assessment and interpretation of internal doses: uncertainty and variability. *Annals of the ICRP*, 45(1_suppl), 202-214.
- Podgorsak, E. B. (2005). *Radiation oncology physics: a handbook for teachers and students*. International Atomic Energy Agency.
- Pourimani, R., & Shahroodi, S. M. M. (2018). Radiological assessment of the artificial and natural radionuclide concentrations of wheat and barley samples in Karbala, Iraq. *Iranian Journal of Medical Physics*, 15(2), 126-131.
- Pradler, J., Singh, B., & Yavin, I. (2013). On an unverified nuclear decay and its role in the DAMA experiment. *Physics Letters B*, 720(4-5), 399-404.
- Santawamaitre, T., Regan, P., Bradley, D., Matthews, M., Malain, D., & Al-Sulaiti, H. (2010). An evaluation of the level of naturally occurring radioactive material in soil samples along the Chao Phraya river basin. *Nuclear Instruments and Methods*

- in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 619(1-3), 453-456.
- Shahbazi-Gahrouei, D. (2003). Natural background radiation dosimetry in the highest altitude region of Iran. *Journal of radiation research*, 44(3), 285-287.
- Shiraishi, K., Tagami, K., Muramastu, Y., & Yamamoto, M. (2000). Contributions of 18 food categories to intakes of ²³²Th and ²³⁸U in Japan. *Health physics*, 78(1), 28-36.
- Shiralkar, S., Rennie, A., Snow, M., Galland, R., Lewis, M., & Gower-Thomas, K. (2003). Doctors' knowledge of radiation exposure: questionnaire study. *Bmj*, 327(7411), 371-372.
- Stacey, W. M. (2018). Nuclear reactor physics (3rd ed.). Wiley.
- Swank, R. K. (1954). Characteristics of scintillators. *Annual review of nuclear science*, 4(1), 111-140.
- Szegvary, T., Conen, F., Stöhlker, U., Dubois, G., Bossew, P., & De Vries, G. (2007). Mapping terrestrial γ -dose rate in Europe based on routine monitoring data. *Radiation measurements*, 42(9), 1561-1572.
- Tapan, İ., T. (2011, Ağustos, 2021). *Parçacık Dedektörleri II: Sintilasyon Dedektörleri*, VII. Uluslararası Katılımcı Parçacık Hızlandırıcıları ve Dedektörleri Yaz Okulu, Bodrum, Muğla, Türk Fizik Derneği.
- Taskin, H., Karavus, M., Ay, P., Topuzoglu, A., Hidiroglu, S., & Karahan, G. (2009). Radionuclide concentrations in soil and lifetime cancer risk due to gamma radioactivity in Kirklareli, Turkey. *Journal of environmental radioactivity*, 100(1), 49-53.
- Thoennessen, M. (2013). Current status and future potential of nuclide discoveries. *Reports on Progress in Physics*, 76(5), 056301.
- Turner, J. E. (1995). *Atoms, radiation and radiation protection*. (3rd ed.). Wiley.
- Underhill, P. (1998). Naturally Occurring Radioactive Material: Principles and Practices. *Journal of Radiological Protection*, 18(3), 028.
- UNSCEAR. (1988). *Sources, Effects and risks of Ionizing Radiation*. United Nations Publication. <https://www.unscear.org/unscear/en/publications/1988.html>.
- UNSCEAR. (1993). *Sources and Effects of Ionizing Radiation*. United Nations Publication. <https://www.unscear.org/unscear/en/publications/1993.html>.
- UNSCEAR. (2000). *Sources and Effects of Ionizing Radiation*. United Nations Publication. https://www.unscear.org/unscear/en/publications/2000_1.html.

- UNSCEAR. (2008). *Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Publication.* <https://www.unscear.org/unscear/en/publications/2008/2.html>.
- Valentin, J. (2007). *The 2007 recommendations of the international commission on radiological protection* (Vol. 37). Elsevier Oxford.
- Wahl, W. (2010). *Radionuclide Handbook for Laboratory Workers: In Spectrometry, Radiation Protection and Medicine.* ISuS.
- Whicker, F. W., Eisenbud, M., & Gesell, T. (1997). Environmental radioactivity from natural, industrial, and military sources. *Radiation Research*, 148(4), 402.
- Wilson, W. (1994). A guide to naturally occurring radioactive material. *Oklahoma: Pennwell Books.*
- Yu, K., & Mao, S. (1999). Assessment of radionuclide contents in food in Hong Kong. *Health physics*, 77(6), 686-696.

EK-1**Kırşehir ili ve ilçelerinde tespit edilen gama doz hızları**

Örneğin Alındığı İlçe	Örneğin Alındığı Köy	Koordinat (N)	Koordinat (E)	Hava (nGy/saat)
AKÇAKENT	YAYLAÖZÜ	39° 36' 53.2"	34° 10' 48.1"	220
AKÇAKENT	ÖMERUŞAĞI	39° 43' 21.8"	34° 05' 16.9"	100
AKÇAKENT	MAHSENLİ	39° 33' 36.1"	34° 10' 51.7"	130
AKÇAKENT	MERKEZ	39° 36' 58.8"	34° 05' 32.6"	40
AKÇAKENT	SOLAKUŞAĞI	39° 36' 47.9"	34° 02' 49"	90
AKÇAKENT	HASANALİ	39°37'01.2"	34°09'24.9"	90
AKÇAKENT	TAŞLIOLUK	39°35'17.1"	34°04'17.5"	100
AKÇAKENT	AVANOĞLU	39°41'09.0"	33°58'38.7"	110
AKÇAKENT	TEPEFAKILI	39°32'37.1"	34°03'10.9"	120
AKÇAKENT	HAMZABEY	39°36'16.2"	34°04'26.1"	120
AKÇAKENT	MERKEZ	39°37'28.7"	34°05'37.9"	130
AKÇAKENT	AYVALI	39°44'12.5"	34°02'55.0"	140
AKÇAKENT	POLATLI	39°36'18.0"	34°07'10.9"	150
AKÇAKENT	KİLİMLİ	39°42'13.3"	34°03'22.3"	150
AKÇAKENT	HACIFAKILI	39°33'57.9"	34°07'31.7"	150
AKÇAKENT	YETİKLİ	39°37'54.3"	34°10'16.7"	160
AKÇAKENT	DEREFKILI	39°33'34.6"	34°05'31.1"	160
AKÇAKENT	ÖDEMİŞLİ	39°41'54.9"	34°00'13.0"	170
AKÇAKENT	YEŞİLDERE	39°36'00.1"	34°09'18.1"	180
AKÇAKENT	GÜLLÜHÜYÜK	39°35'26.2"	34°05'54.3"	180
AKPINAR	HANYERİ SARIKAYA	39° 32' 38.1"	33° 41' 36"	90
AKPINAR	MERKEZ	39° 26' 54.1"	33° 58' 52.2"	100
AKPINAR	KÖŞKER	39° 27' 23.70"	34° 02' 33.55"	60
AKPINAR	ÇİFTLİK MEHMETAĞA	39° 21' 57.9"	33° 59' 58.8"	140
AKPINAR	AŞAĞI HOMURLU	39° 30' 52.6"	34° 05' 45.1"	100
AKPINAR	ÇİFTLİK MEHMETAĞA	39°19'52.7"	34°00'57.2"	50
AKPINAR	BÜYÜKABDİUŞAĞI	39°35'42.8	33°58'57.5"	80
AKPINAR	DURMUŞLU	39°27'45.5"	33°53'12.0"	90
AKPINAR	HACİMİRZA	39°27'19.2"	33°55'40.9"	100
AKPINAR	DEMİRCİ	39°29'48.7"	33°58'00.3	100
AKPINAR	KARAOVA	39°34'48.8"	33°53'41.1"	110
AKPINAR	EŞREFLİ	39°27'33.3"	33°54'42.1"	120
AKPINAR	BOYALIK	39°30'33.0"	33°59'51.5"	130
AKPINAR	HACISELİMLİ	39°31'15.8"	33°53'43.4"	150
AKPINAR	SOFRAZLI	39°29'06.2"	33°54'39.4"	170
AKPINAR	ÇELEBİUŞAĞI	39°33'10.8"	33°54'33.7"	60
AKPINAR	GÜLVEREN	39°27'16.6"	33°52'18.7"	70
AKPINAR	DEMİRCİ	39°29'48.9"	33°57'59.2"	70
AKPINAR	SOFRAZLI	39°29'05.5"	33°54'39.3"	80
AKPINAR	ELDELEKLİDEMİREL	39°28'47.6"	33°58'41.2"	80
AKPINAR	MERKEZ	39°27'04.9"	33°58'15.8"	90
AKPINAR	EŞREFLİ	39°27'31.9"	33°54'37.5"	90
AKPINAR	ÇALIBURNU	39°29'47.1"	33°51'32.4"	90
AKPINAR	BOYALIK	39°30'27.9"	33°59'51.4"	90
AKPINAR	ELDELEKLİORTAOBA	39°29'09.0"	33°56'57.2"	100
AKPINAR	DEVECİ	39°28'17.3"	34°01'02.5"	100
AKPINAR	ÇEBİŞLER	39°38'29.2"	33°57'24.8"	100
AKPINAR	ÇAYÖZÜ	39°31'19.4"	33°45'01.8"	100

AKPINAR	ALİŞAR	39°26'23.6"	34°03'45.1"	110
AKPINAR	PEKMEZCİ	39°29'56.5"	34°02'27.6"	120
BOZTEPE	YENİDOĞANLI	39° 18' 20.5"	34° 20' 31.2"	80
BOZTEPE	KARACAÖREN	39° 12' 58.8"	34° 15' 59.3"	90
BOZTEPE	MERKEZ	39° 16' 46.1"	34° 15' 32.2"	70
BOZTEPE	HARMANALTI	39° 23' 52.3"	34° 15' 39.8"	100
BOZTEPE	ÇEVİRME	39° 27' 21.4"	34° 24' 51.6"	80
BOZTEPE	HÜSEYİNLİ	39°23'20.1"	34°18'47.4"	60
BOZTEPE	ÇİĞDELİ	39°21'47.5"	34°29'13.5"	70
BOZTEPE	UZUNPINAR	39°26'17.4"	34°19'21.8"	80
BOZTEPE	ESKİDOĞANLI	39°14'25.0"	34°20'17.6"	90
BOZTEPE	ÜÇKUYU	39°24'36.4"	34°24'28.0"	100
BOZTEPE	ÇAMALAK	39°22'33.6"	34°33'19.6"	100
BOZTEPE	KÜLHÜYÜK	39°19'55.1"	34°15'48.4"	100
BOZTEPE	HATUNOĞLU	39°24'38.3"	34°21'37.7"	100
BOZTEPE	HARMANALTI	39°24'26.1"	34°15'27.0"	110
BOZTEPE	BÜYÜKKIŞLA	39°20'43.6"	34°13'16.2"	110
BOZTEPE	BAĞBAŞI	39°15'44.5"	34°15'12.2"	110
BOZTEPE	HARMANALTI	39°22'47.1"	34°16'00.1"	120
BOZTEPE	ÇİMELİ	39°17'41.6"	34°12'45.6"	120
ÇİÇEKDAĞI	BOĞAZEVCİ	39° 42' 1.56"	34° 8' 36.4"	120
ÇİÇEKDAĞI	BÜYÜKTEFLEK	39° 38' 42.8"	34° 20' 32.5"	150
ÇİÇEKDAĞI	HACIHASANLI	39° 32' 38.6"	34° 17' 47.7"	130
ÇİÇEKDAĞI	YALNIZAGAÇ	39° 25' 24.5"	34° 31' 52.3"	120
ÇİÇEKDAĞI	BAHÇEPINAR	39° 30' 08.6"	34° 25' 05.1"	110
ÇİÇEKDAĞI	MERKEZ	39° 35' 59.8"	34° 24' 57.6"	110
ÇİÇEKDAĞI	ALANKÖY	39°39'22.1"	34°12'47.7"	80
ÇİÇEKDAĞI	MERKEZ	39°37'44.6"	34°27'51.5"	90
ÇİÇEKDAĞI	KIZILCALI	39°40'29.3"	34°13'28.1"	90
ÇİÇEKDAĞI	AŞAĞIHACIAHMETLİ	39°31'18.5"	34°17'09.4"	90
ÇİÇEKDAĞI	ALİMPINAR	39°34'26.8"	34°22'41.6"	90
ÇİÇEKDAĞI	PÖHRENK	39°25'45.8"	34°27'05.6"	100
ÇİÇEKDAĞI	MERKEZ	39°36'10.7"	34°25'10.6"	100
ÇİÇEKDAĞI	KAVAKLIÖZ	39°32'01.3"	34°12'00.6"	100
ÇİÇEKDAĞI	KABAKLI	39°41'18.1"	34°11'36.3"	100
ÇİÇEKDAĞI	HALAÇLI	39°35'41.2"	34°13'29.6"	100
ÇİÇEKDAĞI	HACIOĞLU	39°34'37.1"	34°26'10.4"	100
ÇİÇEKDAĞI	BARAKLI	39°34'37.8"	34°27'16.7"	100
ÇİÇEKDAĞI	TOPALALI	39°32'41.0"	34°12'57.7"	110
ÇİÇEKDAĞI	TEPECİK	39°40'02.4"	34°16'23.7"	110
ÇİÇEKDAĞI	KONURKALE	39°47'18.5"	34°08'42.5"	110
ÇİÇEKDAĞI	ÇOPRAŞIK	39°24'17.1"	34°35'05.9"	110
ÇİÇEKDAĞI	AKBIYIKLI	39°32'56.0"	34°27'43.1"	110
ÇİÇEKDAĞI	YUKARIHACIAHMETLİ	39°33'21.2"	34°16'13.6"	120
ÇİÇEKDAĞI	SAFALI	39°38'20.5"	34°17'42.0"	120
ÇİÇEKDAĞI	MAHMUTLU	39°25'55.7"	34°29'55.9"	120
ÇİÇEKDAĞI	KIRDÖK	39°33'15.1"	34°14'45.2"	120
ÇİÇEKDAĞI	HACIHASANLI	39°32'56.0"	34°17'41.5"	120
ÇİÇEKDAĞI	HACIDURAKLI	39°33'25.9"	34°20'53.8"	120
ÇİÇEKDAĞI	ÇİFTLİK	39°38'48.9"	34°27'12.6"	120
ÇİÇEKDAĞI	ÇANAKPINAR	39°31'16.5"	34°25'07.3"	120
ÇİÇEKDAĞI	ORTAHACIAHMETLİ	39°32'48.4"	34°16'30.2"	130
ÇİÇEKDAĞI	KÖSELİ	39°39'55.1"	34°25'37.3"	130

ÇİÇEKDAĞI	BEŞİKLİ	39°32'21.6"	34°22'11.7"	130
ÇİÇEKDAĞI	BAHÇEPINAR	39°30'02.3"	34°25'05.0"	130
ÇİÇEKDAĞI	ARMUTLU	39°36'36.3"	34°16'46.5"	130
ÇİÇEKDAĞI	HAYDARLI	39°41'27.2"	34°22'18.2"	140
ÇİÇEKDAĞI	ALAHACILI	39°37'39.1"	34°18'30.7"	140
ÇİÇEKDAĞI	TATBEKİRLİ	39°40'51.9"	34°23'11.4"	150
KAMAN	SAVCILI BÜYÜKOBA	39° 14' 28.3"	33° 40' 59.4"	220
KAMAN	KARGINYENİCE	39° 20' 54.6"	33° 30' 54.2"	110
KAMAN	KARGINMEŞE	39° 20' 52.1"	33° 38' 05.6"	40
KAMAN	MERKEZ	39° 21' 24.3"	33° 41' 53.8"	90
KAMAN	ÇAĞIRKAN	39° 20' 47.3"	33° 47' 03.3"	200
KAMAN	İSAHOCALI	39° 24' 17.7"	33° 54' 15.4"	140
KAMAN	HAMİT	39° 27' 50.4"	33° 49' 52.9"	420
KAMAN	DEMİRLİ	39° 18' 42.9"	33° 56' 56.2"	150
KAMAN	AYDINLAR	39°20'46.2"	33°57'15.4"	60
KAMAN	GÜLTEPE	39°15'45.3"	33°42'26.1"	90
KAMAN	İMANCI	39°24'27.4"	33°52'30.8"	100
KAMAN	HİRFANLI	39°17'00.2"	33°32'03.2"	100
KAMAN	MOLLAOSMANLAR	39°24'21.5"	33°49'00.6"	110
KAMAN	BAHÇELİEVLER	39°22'17.0"	33°44'19.3"	110
KAMAN	FAKILI	39°09'48.7"	33°44'28.7"	120
KAMAN	AĞAPINAR	39°24'44.1"	33°26'59.8"	120
KAMAN	ESENTEPE	39°14'38.3"	33°43'27.9"	130
KAMAN	ÇAĞIRKAN	39°22'18.0"	33°48'27.4"	130
KAMAN	BÜĞÜZ	39°22'37.1"	33°26'08.5"	130
KAMAN	ÖMERKAHYA	39°24'10.6"	33°39'45.4"	140
KAMAN	KURANCILI	39°21'38.8"	33°54'35.6"	140
KAMAN	KARAKÜTÜK	39°22'52.6"	33°48'32.9"	140
KAMAN	KARAKAYA	39°26'35.9"	33°38'08.8"	140
KAMAN	DEĞİRMENÖZÜ	39°27'03.2"	33°43'44.4"	140
KAMAN	ÇADIRLI HACIBAYRAM	39°14'42.2"	33°52'43.0"	140
KAMAN	BAYINDIR	39°24'11.4"	33°50'48.5"	140
KAMAN	YAZIYOLU	39°25'18.7"	33°37'44.5"	150
KAMAN	TATIK	39°24'26.6"	33°30'49.1"	150
KAMAN	KARAHABALI	39°13'04.9"	33°45'20.7"	150
KAMAN	KALE	39°22'20.8"	33°51'22.4"	150
KAMAN	ÇADIRLI KÖRMEHMET	39°14'58.2"	33°51'20.4"	150
KAMAN	BENZER	39°19'13.7"	33°33'19.5"	150
KAMAN	İKİZLER	39°18'38.8"	33°30'25.1"	160
KAMAN	BAYRAMÖZÜ	39°23'45.7"	33°35'22.1"	160
KAMAN	MOLLAOSMANLAR	39°24'10.4"	33°48'56.7"	170
KAMAN	MEŞE	39°13'02.2"	33°48'28.6"	170
KAMAN	DARIÖZÜ	39°27'48.6"	33°45'40.3"	170
KAMAN	BAŞKÖY	39°20'21.3"	33°50'58.1"	170
KAMAN	İBRİŞİM	39°10'24.5"	33°49'18.6"	190
KAMAN	YELEK	39°17'04.3"	33°42'05.0"	191
KAMAN	YENİYAPAN	39°25'55.0"	33°50'19.2"	210
KAMAN	MOLLAOSMANLAR	39°24'51.8"	33°49'31.5"	220
KAMAN	ÇAMSARI	39°27'01.9"	33°51'18.6"	260
KAMAN	YENİYAPAN	39°26'30.9"	33°50'37.0"	270
KAMAN	ÇAMSARI	39°26'55.5"	33°51'08.6"	330
KAMAN	ÇAMSARI	39°27'27.5"	33°50'50.7"	350
KAMAN	ÇAMSARI	39°27'36.2"	33°50'25.3"	350

KAMAN	ÇAMSARI	39°27'36.8"	33°50'24.1"	480
KAMAN	ÇAMSARI	39°27'31.9"	33°50'40.8"	510
KAMAN	MOLLAOSMANLAR	39°24'58.0"	33°49'48.8"	630
MERKEZ	KÖRPINAR	39° 20' 09.3"	34° 10' 50.8"	80
MERKEZ	ÇAĞAĞZI	39° 16' 37.5"	34° 05' 08.7"	170
MERKEZ	AKÇAAĞIL	39° 01' 37.7"	34° 12' 15.5"	110
MERKEZ	DULKADIRLI	39° 30' 53.9"	34° 09' 48.2"	130
MERKEZ	KARAHIDIR	39° 22' 01.7"	34° 05' 09.2"	130
MERKEZ	SIDIKLI KÜÇÜKOBA	39° 06' 41.6"	33° 53' 47.3"	130
MERKEZ	TOKLÜMEN	39° 07' 30.5"	33° 43' 21.6"	100
MERKEZ	SIDIKLI İKİZAĞIL	39° 02' 12.9"	34° 03' 03.4"	110
MERKEZ	ÇADIRLIHACIYUSUF	39° 11' 10.6"	33° 53' 37.09"	100
MERKEZ	ULUPINAR	38° 51' 22.9"	34° 11' 17.1"	120
MERKEZ	MERKEZ (GÜLDİKEN)	39° 07' 55.1"	34° 09' 19"	50
MERKEZ	BAHÇELİEVLER MAH.	39°06'39.1"	34°10'41.8"	40
MERKEZ	KUŞDİLİ	39°06'34.9"	34°09'07.2"	50
MERKEZ	KERVANSARAY	39°09'27.3"	34°10'03.4"	50
MERKEZ	YEŞİLLİ KÖY	39°07'35.1"	33°51'58.3"	60
MERKEZ	KINDAM	39°09'09.0"	34°12'26.2"	60
MERKEZ	AHİEVİRAN MAH.	39°10'26.0"	34°08'59.3"	70
MERKEZ	KOCABEY	38°59'21.1"	34°06'54.0"	80
MERKEZ	AŞIKPAŞA MAH.	39°08'50.8"	34°10'02.2"	80
MERKEZ	KORTULU	39°04'42.4"	34°00'33.9"	90
MERKEZ	KIRKPINAR	39°21'56.3"	34°09'36.2"	90
MERKEZ	GÜZLER	39°01'41.7"	34°07'49.6"	90
MERKEZ	YEŞİLOBA	39°23'15.5"	34°08'48.7"	100
MERKEZ	YAĞMURLUKALE	39°10'51.9"	33°57'51.2"	100
MERKEZ	KURUAĞIL	38°56'10.5"	34°10'48.4"	100
MERKEZ	YUKARIHAMORLU	39°27'43.2"	34°08'34.7"	110
MERKEZ	UZUNALIÜŞAĞI	39°06'58.2"	33°49'58.0"	110
MERKEZ	SEYREKÖY	39°26'36.5"	34°16'24.7"	110
MERKEZ	HOMURLU	39°25'13.3"	34°08'15.3"	110
MERKEZ	YAĞMURLUBÜYÜKOBA	39°12'25.6"	33°57'45.9"	120
MERKEZ	SEVDİĞİN	39°07'25.0"	34°02'21.0"	120
MERKEZ	SARAYCIK	38°58'18.0"	34°03'45.6"	120
MERKEZ	KESİKKÖPRÜ	38°57'49.4"	34°11'42.2"	120
MERKEZ	HAMURLUBEŞLER	39°25'00.8"	34°08'15.0"	120
MERKEZ	GÖLLÜ	39°26'59.8"	34°17'58.4"	120
MERKEZ	DULKADIRLIKARAİSA	39°29'33.2"	34°08'06.0"	120
MERKEZ	DEĞİRMENKAŞI	38°51'57.8"	34°12'35.1"	120
MERKEZ	YAĞMURLUARMUTLU	39°14'10.8"	33°57'33.0"	130
MERKEZ	TOSUNBURNU	39°23'16.3"	34°12'51.9"	130
MERKEZ	TATARİLYASYAYLA	39°26'05.0"	34°06'49.6"	130
MERKEZ	ÖZBAĞ	39°13'37.5"	34°08'21.7"	130
MERKEZ	KÖRPINAR	39°20'09.0"	34°10'33.8"	130
MERKEZ	KALANKALDI	39°05'49.3"	34°03'41.1"	130
MERKEZ	YARIMKALE	39°30'06.1"	34°11'13.8"	140
MERKEZ	TEPESİDELİK	39°02'42.2"	34°14'05.4"	140
MERKEZ	KARINCALI	39°13'06.1"	34°03'21.1"	140
MERKEZ	DEDELİ	38°54'07.0"	34°06'46.2"	140
MERKEZ	KARALAR	39°07'04.1"	33°59'07.5"	150
MERKEZ	ÇUĞUN	39°18'48.4"	34°07'00.2"	150
MERKEZ	KARTALKAYA	39°27'09.6"	34°12'40.4"	160

MUCUR	MERKEZ	39° 03' 17.1"	34° 23' 04.3"	150
MUCUR	KIZILDAĞYENİYAPAN	39° 10' 51.5"	34° 31' 16.7"	110
MUCUR	KURUGÖL	39° 02' 38.1"	34° 26' 53.2"	100
MUCUR	AYDOĞMUŞ	38° 52' 42.2"	34° 21' 31.1"	80
MUCUR	DALAKÇI	39° 10' 38"	34° 17' 51.9"	90
MUCUR	İNAÇ	39° 05' 07.9"	34° 15' 38.2"	80
MUCUR	AVCI	38° 55' 41.5"	34° 20' 02.4"	130
MUCUR	YEĞENAĞA	39°02'45.8"	34°35'08.7"	80
MUCUR	KIZILAĞIL	38°54'42.4"	34°17'20.2"	80
MUCUR	BAZLAMAC	39°14'13.7"	34°37'05.8"	80
MUCUR	MEDETSİZ	39°15'20.4"	34°38'57.4"	90
MUCUR	GEYCEK	39°06'04.4"	34°28'45.4"	90
MUCUR	BABUR	38°58'51.8"	34°21'14.2"	90
MUCUR	SEYFE	39°11'45.5"	34°19'59.8"	100
MUCUR	BUDAK	39°08'20.1"	34°27'19.3"	100
MUCUR	OBRUK	39°03'33.7"	34°31'06.6"	110
MUCUR	KIRAN	39°07'26.5"	34°32'49.1"	110
MUCUR	ASMAKARADAM	38°59'50.5"	34°27'02.4"	110
MUCUR	YEŞİLYURT	39°06'14.2"	34°18'15.9"	120
MUCUR	KILIÇLI	39°15'55.2"	34°40'47.0"	120
MUCUR	GÜMÜŞKÜMBET	39°10'10.2"	34°20'27.3"	120
MUCUR	BÜYÜKKAYABA	38°53'49.0"	34°19'39.5"	120
MUCUR	BAYRAMUŞAĞI	39°17'42.1"	34°36'46.4"	120
MUCUR	ALTINYAZI	38°59'37.3"	34°25'28.5"	120
MUCUR	KARAKUYU	38°58'47.6"	34°15'31.9"	130
MUCUR	DEVEPINARI	38°55'57.1"	34°16'54.4"	130
MUCUR	AKSAKLI	38°59'21.5"	34°22'40.6"	130
MUCUR	YÜRÜCEK	38°55'01.0"	34°15'48.9"	140
MUCUR	KEPEZ	38°58'46.5"	34°20'31.6"	140
MUCUR	KARKIN	39°00'38.9"	34°28'05.8"	140
MUCUR	GÜZYURDU	39°09'58.0"	34°35'24.5"	140
MUCUR	KARARKAÇ	39°14'17.5"	34°33'51.8"	150
MUCUR	KARACALI	38°59'03.6"	34°23'58.1"	160
MUCUR	ÇATALARKAÇ	38°57'22.9"	34°20'02.7"	160

EK-2

Kırşehir ili ve ilçelerinde elde edilen toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyonları

Sıra	Numune Alım Yeri		Koordinatlar		Aktivite Konsantrasyonları (Bq/L)	
	İlçe Adı	Köy /Mahalle Adı	Kuzey	Doğu	Alfa	Beta
1	AKÇAKENT	YAYLAÖZÜ	39° 36' 53.2"	34° 10' 48.1"	MDA	MDA
2	AKÇAKENT	ÖMERUŞAĞI	39° 43' 21.8"	34° 05' 16.9"	0.21±0.04	0.1±0.03
3	AKÇAKENT	MAHSENLİ	39° 33' 36.1"	34° 10' 51.7"	MDA	0.07±0.02
4	AKÇAKENT	MERKEZ	39° 36' 58.8"	34° 05' 32.6"	0.06±0.02	0.12±0.03
5	AKÇAKENT	SOLAKUŞAĞI	39° 36' 47.9"	34° 02' 49"	0.49±0.06	0.2±0.04
6	AKPINAR	HANYERİ SARIKAYA	39° 32' 38.1"	33° 41' 36"	0.19±0.03	0.35±0.07
7	AKPINAR	MERKEZ	39° 26' 54.1"	33° 58' 52.2"	0.18±0.04	0.35±0.077
8	AKPINAR	KÖŞKER	39° 27' 23.70"	34° 02' 33.55"	0.18±0.04	MDA
9	AKPINAR	ÇİFTLİK MEHMETAĞA	39° 21' 57.9"	33° 59' 58.8"	MDA	MDA
10	AKPINAR	AŞAĞI HOMURLU	39° 30' 52.6"	34° 05' 45.1"	MDA	MDA
11	BOZTEPE	YENİDOĞANLI	39° 18' 20.5"	34° 20' 31.2"	0.08±0.02	MDA
12	BOZTEPE	KARACAÖREN	39° 12' 58.8"	34° 15' 59.3"	MDA	MDA
13	BOZTEPE	MERKEZ	39° 16' 46.1"	34° 15' 32.2"	MDA	MDA
14	BOZTEPE	HARMANALTI	39° 23' 52.3"	34° 15' 39.8"	0.09±0.02	MDA
15	BOZTEPE	ÇEVİRME	39° 27' 21.4"	34° 24' 51.6"	0.12±0.04	0.23±0.03
16	ÇİÇEKDAĞI	BOĞAZEVCI	39° 42' 1.56"	34° 8' 36.4"	0.22±0.03	MDA
17	ÇİÇEKDAĞI	BÜYÜKTEFLEK	39° 38' 42.8"	34° 20' 32.5"	0.51±0.06	0.28±0.05
18	ÇİÇEKDAĞI	HACIHASANLI	39° 32' 38.6"	34° 17' 47.7"	0.11±0.02	0.15±0.04
19	ÇİÇEKDAĞI	YALNIZAĞAÇ	39° 25' 24.5"	34° 31' 52.3"	0.21±0.04	0.17±0.06
20	ÇİÇEKDAĞI	BAHÇEPINAR	39° 30' 08.6"	34° 25' 05.1"	0.07±0.02	MDA
21	ÇİÇEKDAĞI	MERKEZ	39° 35' 59.8"	34° 24' 57.6"	0.57±0.07	0.27±0.07
22	KAMAN	SAVCILI BÜYÜKOBA	39° 14' 28.3"	33° 40' 59.4"	0.16±0.03	0.14±0.04
23	KAMAN	KARGINYENİCE	39° 20' 54.6"	33° 30' 54.2"	0.41±0.06	0.25±0.11
24	KAMAN	KARGINMEŞE	39° 20' 52.1"	33° 38' 05.6"	MDA	MDA
25	KAMAN	MERKEZ	39° 21' 24.3"	33° 41' 53.8"	0.06±0.02	MDA
26	KAMAN	ÇAĞIRKAN	39° 20' 47.3"	33° 47' 03.3"	0.17±0.04	MDA
27	KAMAN	İSAHOCALI	39° 24' 17.7"	33° 54' 15.4"	0.14±0.04	0.12±0.04
28	KAMAN	HAMİT	39° 27' 50.4"	33° 49' 52.9"	0.34±0.05	0.22±0.03
29	KAMAN	DEMİRLİ	39° 18' 42.9"	33° 56' 56.2"	MDA	MDA
30	MERKEZ	KÖRPINAR	39° 20' 09.3"	34° 10' 50.8"	0.06±0.02	MDA
31	MERKEZ	ÇAĞAĞZI	39° 16' 37.5"	34° 05' 08.7"	0.11±0.03	0.07±0.03
32	MERKEZ	AKÇAAĞIL	39° 01' 37.7"	34° 12' 15.5"	MDA	MDA
33	MERKEZ	DULKADİRLİ	39° 30' 53.9"	34° 09' 48.2"	0.09±0.02	MDA
34	MERKEZ	KARAHIDIR	39° 22' 01.7"	34° 05' 09.2"	1.04±0.19	0.42±0.09
35	MERKEZ	SIDIKLI KÜÇÜKOBA	39° 06' 41.6"	33° 53' 47.3"	0.05±0.02	0.08±0.03
36	MERKEZ	TOKLÜMEN	39° 07' 30.5"	33° 43' 21.6"	MDA	MDA
37	MERKEZ	SIDIKLI İKİZAĞIL	39° 02' 12.9"	34° 03' 03.4"	0.09±0.02	0.29±0.07
38	MERKEZ	ÇADIRLIHACIYUSUF	39° 11' 10.6"	33° 53' 37.09"	0.04±0.01	0.14±0.06
39	MERKEZ	ULUPINAR	38° 51' 22.9"	34° 11' 17.1"	0.09±0.02	0.29±0.07
40	MERKEZ	GÜLDİKEN	39° 07' 55.1"	34° 09' 19"	0.1±0.02	MDA

41	MUCUR	MERKEZ	39° 03' 17.1"	34° 23' 04.3"	0.2±0.03	0.18±0.04
42	MUCUR	KIZILDAĞYENİYAPAN	39° 10' 51.5"	34° 31' 16.7"	0.07±0.02	0.13±0.03
43	MUCUR	KURUGÖL	39° 02' 38.1"	34° 26' 53.2"	0.07±0.02	0.12±0.02
44	MUCUR	AYDOĞMUŞ	38° 52' 42.2"	34° 21' 31.1"	0.28±0.04	0.14±0.03
45	MUCUR	DALAKÇI	39° 10' 38"	34° 17' 51.9"	0.06±0.02	0.45±0.06
46	MUCUR	İNAÇ	39° 05' 07.9"	34° 15' 38.2"	0.1±0.03	0.1±0.03
47	MUCUR	AVCI	38° 55' 41.5"	34° 20' 02.4"	0.3±0.04	0.23±0.04
48	MERKEZ	KAPLICA SUYU	39° 8' 5.13"	34° 9' 12.49"	0.99±0.12	2.47±0.18

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER	
Adı Soyadı:	Sümevra YAMÇIÇIER
Uyruğu:	T.C
Orcid Numarası:	https://orcid.org/0000-0003-2730-0583

EĞİTİM BİLGİLERİ	
Lisans	
Üniversite:	Tokat Gaziosmanpaşa
Fakülte:	Fen ve Edebiyat
Bölümü:	Fizik
Mezuniyet Yılı:	2011
Yüksek Lisans	
Üniversite:	Tokat Gaziosmanpaşa
Enstitü:	Fen Bilimleri
Anabilim Dalı:	Fizik
Mezuniyet Yılı:	2013
Doktora	
Üniversite:	Kırşehir Ahi Evran
Enstitü:	Fen Bilimleri
Anabilim Dalı:	Fizik
Mezuniyet Yılı:	Devam ediyor

Tezden Üretilen Makaleler ve Bildiriler
<p>Uluslararası Hakemli Dergilerde Yayınlanan Makaleler Yamçıçier, S., & Yaşar, D. (2024). Determination of natural and artificial radioactivity levels and radiation hazard indices for soil samples in Kırşehir. <i>Radiochimica Acta</i>, 112(1), 53-61.</p> <p>Uluslararası Konferans ve Sempozyumlarda Sunulan Bildiriler Yamçıçier, S., Yaşar, D., & Sertbakan, R. T. (2023, 22-23 July 2023). <i>Determination of Radioactivity Concentrations and Dose Evaluation in Soil Samples in Kırşehir Province</i> 1 st Bilisel International Sumela Scientific Researches Congress, Trabzon/Turkey</p>