

**T.C.  
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KIRKLARELİ VE ÇEVRESİNDE RADYOAKTİVİTE DÜZEYİNİN  
BELİRLENMESİ VE İNSAN SAĞLIĞI İLE ÇEVRE KİRLİLİĞİ  
AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**DOKTORA TEZİ**

**Selin ÖZDEN**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**FİZİK PROGRAMI**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Serpil AKÖZCAN**

**ŞUBAT 2020**



**T.C.  
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KIRKLARELİ VE ÇEVRESİNDE RADYOAKTİVİTE DÜZEYİNİN  
BELİRLENMESİ VE İNSAN SAĞLIĞI İLE ÇEVRE KİRLİLİĞİ  
AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**DOKTORA TEZİ**

**Selin ÖZDEN  
1168250101**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**FİZİK PROGRAMI**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Serpil AKÖZCAN**

**ŞUBAT 2020**



Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 1168250101 numaralı Doktora Öğrencisi **Selin ÖZDEN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**KIRKLARELİ VE ÇEVRESİNDE RADYOAKTİVİTE DÜZEYİNİN BELİRLENMESİ VE İNSAN SAĞLIĞI İLE ÇEVRE KİRLİLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :** **Doç. Dr. Serpil AKÖZCAN** .....

Kırklareli Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** **Doç. Dr. Özlem ÇELİK** .....

Kırklareli Üniversitesi

**Dr. Öğretim Üyesi Burhan COŞKUN** .....

Kırklareli Üniversitesi

**Dr. Öğretim Üyesi Osman GÜNAY** .....

İstanbul Okan Üniversitesi

**Dr. Öğretim Üyesi Feride KULALI** .....

Üsküdar Üniversitesi

**Teslim Tarihi :** **28 Ocak 2020**

**Savunma Tarihi :** **17 Şubat 2020**





*Aileme,*





## ÖNSÖZ

Doktora çalışması süresince her türlü desteği sağlayarak, çalışmanın gerçekleştirilmesinde önemli katkıları olan ve değerli bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, her koşulda beni destekleyen değerli danışmanım Sayın Doç. Dr. Serpil AKÖZCAN'a, çalışmam boyunca desteklerini esirgemeyen ve Kırklareli Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı imkanlarından faydalanmamı sağlayan Sayın Prof. Dr. Bülent ŞENGÖRÜR'e ve Kırklareli Üniversitesi çalışanlarına, radon gazı ölçümlerinde bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen Sayın Dr. Öğretim Üyesi Osman GÜNAY ve Sayın Dr. Öğretim Üyesi Feride KULALI'ya, çalışmalarım boyunca bilgi, tecrübe ve önerilerini paylaşan Sayın Doç. Dr. Özlem ÇELİK ve Sayın Dr. Öğretim Üyesi Burhan COŞKUN'a, hayatım boyunca tüm zorlukları benimle göğüsleyen ve her zaman desteklerini esirgemeyen sevgili anneme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Şubat 2020

Selin ÖZDEN  
Öğretim Görevlisi



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR .....	xiii
ÖZET.....	xxv
SUMMARY.....	xxvii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER .....	13
2.1 Radyasyon ve Radyoaktivite.....	13
2.2 Radyasyon Çeşitleri.....	16
2.2.1 İyonlaştırıcı Radyasyon.....	16
2.2.1.1 Alfa Parçacıkları .....	17
2.2.1.2 Beta Parçacıkları .....	17
2.2.1.3 Nötronlar.....	17
2.2.1.4 X-ışınları.....	18
2.2.1.5 Gama Işınları.....	18
2.2.2 İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon.....	19
2.3 Radyoaktif Bozunma .....	20
2.3.1 Bozunma Kanunu .....	20
2.3.2 Bozunma Türleri.....	23
2.3.2.1 Alfa Bozunumu .....	23
2.3.2.2 Beta Bozunumu.....	24
2.3.2.3 Gama Bozunumu.....	25
2.3.3 Bozunma Serileri .....	26
2.3.3.1 Uranyum Serisi .....	26
2.3.3.2 Toryum Serisi .....	26
2.3.3.3 Aktinyum Serisi .....	28
2.3.3.4 Neptünyum Serisi.....	28
2.4 Radyasyon Birimleri.....	31
2.4.1 Aktivite Birimi.....	31
2.4.2 Işınlama Birimi .....	31
2.4.3 Soğurulma Doz Birimi .....	32
2.4.4 Eşdeğer Doz Birimi.....	32
2.5 Radyasyon Kaynakları.....	34
2.5.1 Doğal Radyasyon Kaynakları.....	35
2.5.1.1 Radon .....	38
2.5.2 Yapay Radyasyon Kaynakları .....	51
2.6 Toprakta ve Bitkilerde Radyoaktivite.....	52
2.6.1 Ayçiçeği .....	54
2.7 Radyasyon Dedektörleri .....	56
2.7.1 Sintilasyon Dedektörleri.....	56



2.7.2 Yarı İletken Dedektörler.....	57
<b>3. MATERYAL VE METOT.....</b>	<b>59</b>
3.1 Örnekleme Bölgeleri .....	59
3.2 Toprak Örneklerinin Gama Spektrometrik Analize Hazırlanması.....	61
3.3 Bitki Örneklerinin Gama Spektrometrik Analize Hazırlanması .....	63
3.4 Gama Spektrometrik Analiz Sistemi .....	65
3.5 Aktivite Konsantrasyonlarının Hesaplanması.....	67
3.6 Radyasyon Parametrelerinin Hesaplanması.....	68
3.6.1 Karasal Soğurulan Gama Doz Hızı (D) .....	68
3.6.2 Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (AEDE) .....	68
3.6.3 Radium Eşdeğer Aktivitesi (Ra <sub>eq</sub> ).....	69
3.6.4 Dış Tehlike İndeksi (H <sub>ex</sub> ) .....	69
3.6.5 Yaşam Boyu Kanser Riski (ELCR) .....	69
3.7 Transfer Faktörünün Hesaplanması.....	70
3.8 Toprakta Radon Gazı Ölçümü .....	70
3.8.1 AlphaGUARD PQ2000 PRO Radon Dedektör Sistemi .....	71
<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>77</b>
4.1 Aktivite Konsantrasyonları .....	77
4.1.1 Toprak Örneklerindeki <sup>226</sup> Ra, <sup>232</sup> Th, <sup>40</sup> K ve <sup>137</sup> Cs Dağılımı .....	77
4.1.2 Radyolojik Parametreler.....	106
4.1.2.1 Karasal Soğurulan Gama Doz Hızı (D).....	106
4.1.2.2 Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (AEDE).....	116
4.1.2.3 Radium Eşdeğer Aktivitesi (Ra <sub>eq</sub> ).....	125
4.1.2.4 Dış Tehlike İndeksi (H <sub>ex</sub> ) .....	134
4.1.2.5 Yaşam Boyu Kanser Riski (ELCR) .....	142
4.1.3 Ayçiçeği Örneklerindeki <sup>226</sup> Ra, <sup>232</sup> Th, <sup>40</sup> K ve <sup>137</sup> Cs Dağılımı.....	151
4.1.3.1 Transfer Faktörü.....	153
4.2 Toprak Gazı Radon Konsantrasyonları .....	157
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>165</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>167</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>181</b>



## KISALTMALAR

<b>AEDE</b>	: Yıllık Etkin Doz Eşedeğeri
<b>Akb</b>	: Atomik Kütle Birimi
<b>D</b>	: Karasal Soğurulan Gama Doz Hızı
<b>DSP</b>	: Digital Signal Processing
<b>ELCR</b>	: Yaşam Boyu Kanser Riski
<b>H<sub>ex</sub></b>	: Dış Tehlike İndeksi
<b>HPGe</b>	: High Purity Germanium Detector
<b>IAEA</b>	: Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu
<b>ICRU</b>	: Uluslararası Radyasyon Birimleri Komitesi
<b>MDA</b>	: Minimum Dedekte Edilebilir Aktivite
<b>R<sub>aeq</sub></b>	: Radyum Eşedeğer Aktivitesi
<b>SI</b>	: Uluslararası Birim Sistemi
<b>TAEK</b>	: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
<b>UNSCEAR</b>	: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation





## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

<b>Çizelge 2.1</b> : Radyasyon ağırlık faktörleri (Yuksel, 2001).....	33
<b>Çizelge 2.2</b> : Doku ve organlar için ağırlık faktörleri (Gökharman, 2016). ....	33
<b>Çizelge 2.3</b> : Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından kişi başına maruz kalınan yıllık etkin doz değerleri (UNSCEAR, 2008).....	36
<b>Çizelge 2.4</b> : Radon izotopları ve yarı ömürleri (Kulalı, 2009). ....	39
<b>Çizelge 2.5</b> : Yapay radyasyon kaynaklı çekirdekler ve özellikleri (Carpender, 1970).....	52
<b>Çizelge 2.6</b> : Topraktaki doğal radyonüklid konsantrasyonları (Bq kg <sup>-1</sup> ) (UNSCEAR, 2000).....	53
<b>Çizelge 2.7</b> : Ülkemizde yağlık ayçiçeği üretimi en fazla olan 4 ildeki üretim verileri (ton) (Gürkan ve ark., 2017). ....	55
<b>Çizelge 3.1</b> : Örneklem Noktaları, İlçesi, Koordinatları ve alınan ürün bilgisi. ....	61
<b>Çizelge 3.2</b> : Kalibrasyon işleminde kullanılan standart kaynaklar ve özellikleri. ....	67
<b>Çizelge 4.1</b> : İlkbahar mevsimi için toprak örneklerinin radyonüklid aktivite konsantrasyonları (Bq kg <sup>-1</sup> ).....	78
<b>Çizelge 4.2</b> : Yaz mevsimi için toprak örneklerinin radyonüklid aktivite konsantrasyonları (Bq kg <sup>-1</sup> ).....	82
<b>Çizelge 4.3</b> : Sonbahar mevsimi için toprak örneklerinin radyonüklid aktivite konsantrasyonları (Bq kg <sup>-1</sup> ).....	87
<b>Çizelge 4.4</b> : Kış mevsiminde alınan toprak örneklerinin radyonüklid aktivite konsantrasyonları (Bq kg <sup>-1</sup> ).....	91
<b>Çizelge 4.5</b> : Kırklareli ilinde mevsimlere göre ölçülen ortalama aktivite konsantrasyonları (Bq kg <sup>-1</sup> ).....	95
<b>Çizelge 4.6</b> : Toprak örneklerinde bulunan aktivite konsantrasyonu değerleri ile Türkiye ve Dünya ortalamalarının karşılaştırması (Bq kg <sup>-1</sup> ). ....	105
<b>Çizelge 4.7</b> : Ayçiçeği örneklerinin radyonüklid aktivite konsantrasyonları (Bq kg <sup>-1</sup> ).....	152
<b>Çizelge 4.8</b> : <sup>40</sup> K radyonüklidi için topraktan bitkiye transfer faktörleri. ....	154
<b>Çizelge 4.9</b> : Dünyanın farklı bölgelerinde topraktan bitkiye/meyveye geçişlerde elde edilen ortalama transfer faktörlerin (TF) karşılaştırması. ....	156
<b>Çizelge 4.10</b> : Dünyanın farklı bölgelerinde elde edilen topraktaki <sup>222</sup> Rn aktivite konsantrasyonu değerlerinin karşılaştırması. ....	160



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1 : Çekirdek kararlılık eğrisi (Beiser, 2008).....	15
Şekil 2.2 : Radyasyon çeşitleri. ....	16
Şekil 2.3 : Elektromanyetik Spektrum (Url-1).....	20
Şekil 2.4 : Radyoaktif bozunma kanunu grafiği (Young, 2007).....	21
Şekil 2.5 : Aktivitenin zamana göre fonksiyonu grafiği (Young, 2007).....	22
Şekil 2.6 : Radyoaktif bozunum türleri. ....	23
Şekil 2.7 : Uranyum bozunma ürünleri şeması. ....	27
Şekil 2.8 : Toryum bozunma ürünleri şeması. ....	28
Şekil 2.9 : Aktinyum bozunma ürünleri şeması. ....	29
Şekil 2.10 : Neptünyum bozunma ürünleri şeması. ....	30
Şekil 2.11 : Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan doz oranları. ....	34
Şekil 2.12 : Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon doz oranları (TAEK).....	35
Şekil 2.13 : Toprakta Radon geçirgenliği (Tufaner, 2011).....	40
Şekil 2.14 : Radon potansiyelinin konuma göre değişimi (Tufaner, 2011).....	40
Şekil 2.15 : Radonun göç yolları (Tabar, 2010).....	41
Şekil 2.16 : Lucas hücresinin şematik gösterimi (İçhedef, 2011).....	45
Şekil 2.17 : MARKUS 10 ile radon ölçümü (Url-3).....	46
Şekil 2.18 : CR-39 dedektörü ile radon ölçümünde oluşan alfa parçacıkların bıraktığı izlerin mikroskop görüntüsü (Banjanac, 2006).....	47
Şekil 2.19 : Kollektör metodu şeması (Camgöz, 2010).....	48
Şekil 2.20 : Barasol dedektörünün şematik gösterimi (İçhedef, 2011).....	49
Şekil 2.21 : AlphaGUARD Radon Cihazı. ....	50
Şekil 2.22 : Dünya genelinde yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon doz oranları (Url-4).....	51
Şekil 2.23 : Sintilasyon dedektörünün şematik gösterimi. ....	57
Şekil 3.1 : Örnekleme bölgeleri. ....	60
Şekil 3.2 : Etiketlenerek laboratuvara getirilen toprak örnekleri, (b) Etüvde kurutulmaya alınmış toprak örnekleri, (c) Öğütme işlemine alınmış toprak örneği, (d) ve (e) Sayım kabına alınmış toprak örnekleri. ....	62
Şekil 3.3 : Örnekleme yapılan ayçiçeği tarlalarından görüntüler. ....	63
Şekil 3.4 : (a) ve (b) Oda koşullarında kurumaya bırakılmış ayçiçeği örnekleri, (c) Oda koşulunda kurutulmuş ayçiçeği örnekleri, (d) Etüvde kurumaya alınmış ayçiçeği örnekleri. ....	64
Şekil 3.5 : (a) Çekirdek çıkarma işlemi, (b) ve (c) Rondodan geçirme işlemi ve (d) Sayım kabına yerleştirme işlemi. ....	64
Şekil 3.6 : Ortec GEM 70P4-95 model HPGE dedektörlü gama spektrometre sistemi. ....	65
Şekil 3.7 : HPGe Dedektör.....	66
Şekil 3.8 : Gama Spektrometresinin blok diyagramı (Kahveci, 2019).....	67
Şekil 3.9 : Radon aktivite konsatrasyonu ölçüm görüntüleri. ....	71
Şekil 3.10 : AlphaGUARD PQ 2000PRO detektörü.....	72
Şekil 3.11 : AlphaGUARD Radon detektörünün önden görünüşü (P.R.M.A. Kullanım Kılavuzu). ....	73



Şekil 3.12 : AlphaGUARD iyonizasyon odası (P.R.M.A. Kullanım Kılavuzu).....	73
Şekil 3.13 : AlphaPUMP şematik gösterimi (P.R.M.A. Kullanım Kılavuzu). ....	74
Şekil 3.14 : Toprakta radon gazı ölçümünde kullanılan ekipmanlar (P.R.M.A Kullanım Klavuzu). ....	75
Şekil 4.1 : İlkbahar mevsimi için toprak örneklerinin <sup>226</sup> Ra aktivite konsantrasyonları. ....	79
Şekil 4.2 : İlkbahar mevsimi için toprak örneklerinin <sup>232</sup> Th aktivite konsantrasyonları. ....	80
Şekil 4.3 : İlkbahar mevsimi için toprak örneklerinin <sup>40</sup> K aktivite konsantrasyonları. ....	81
Şekil 4.4 : İlkbahar mevsimi için toprak örneklerinin <sup>137</sup> Cs aktivite konsantrasyonları. ....	81
Şekil 4.5 : Yaz mevsimi için toprak örneklerinin <sup>226</sup> Ra aktivite konsantrasyonları. ....	83
Şekil 4.6 : Yaz mevsimi için toprak örneklerinin <sup>232</sup> Th aktivite konsantrasyonları. ....	84
Şekil 4.7 : Yaz mevsimi için toprak örneklerinin <sup>40</sup> K aktivite konsantrasyonları. ....	85
Şekil 4.8 : Yaz mevsimi için toprak örneklerinin <sup>137</sup> Cs aktivite konsantrasyonları. ....	85
Şekil 4.9 : Sonbahar mevsimi için toprak örneklerinin <sup>226</sup> Ra aktivite konsantrasyonları. ....	86
Şekil 4.10 : Sonbahar mevsimi için toprak örneklerinin <sup>232</sup> Th aktivite konsantrasyonları. ....	88
Şekil 4.11 : Sonbahar mevsimi için toprak örneklerinin <sup>40</sup> K aktivite konsantrasyonları. ....	89
Şekil 4.12 : Sonbahar mevsimi için toprak örneklerinin <sup>137</sup> Cs aktivite konsantrasyonları. ....	89
Şekil 4.13 : Kış mevsimi için toprak örneklerinin <sup>226</sup> Ra aktivite konsantrasyonları. ....	92
Şekil 4.14 : Kış mevsimi için toprak örneklerinin <sup>232</sup> Th aktivite konsantrasyonları. ....	93
Şekil 4.15 : Kış mevsimi için toprak örneklerinin <sup>40</sup> K aktivite konsantrasyonları. ....	94
Şekil 4.16 : Kış mevsimi için toprak örneklerinin <sup>137</sup> Cs aktivite konsantrasyonları. ....	94
Şekil 4.17 : Ortalama <sup>226</sup> Ra aktivite konsantrasyonunun ilçelere göre değişimi. ....	96
Şekil 4.18 : Ortalama <sup>232</sup> Th aktivite konsantrasyonunun ilçelere göre değişimi. ....	98
Şekil 4.19 : Ortalama <sup>40</sup> K aktivite konsantrasyonunun ilçelere göre değişimi. ....	100
Şekil 4.20 : Ortalama <sup>137</sup> Cs aktivite konsantrasyonunun ilçelere göre değişimi. ....	102
Şekil 4.21 : Kırklareli ili merkez ilçesinde mevsimlere göre karasal soğurulan gama doz hızı değerleri. ....	107
Şekil 4.22 : Kırklareli ili babaeski ilçesinde mevsimlere göre karasal soğurulan gama doz hızı değerleri. ....	108
Şekil 4.23 : Kırklareli ili Kofçaz ilçesinde mevsimlere göre karasal soğurulan gama doz hızı değerleri. ....	109
Şekil 4.24 : Kırklareli ili Lüleburgaz ilçesinde mevsimlere göre karasal soğurulan gama doz hızı değerleri. ....	110
Şekil 4.25 : Kırklareli ili Pehlivanköy ilçesinde mevsimlere göre karasal soğurulan gama doz hızı değerleri. ....	111
Şekil 4.26 : Kırklareli ili Pınarhisar ilçesinde mevsimlere göre karasal soğurulan gama doz hızı değerleri. ....	113
Şekil 4.27 : Kırklareli ili Vize ilçesinde mevsimlere göre karasal soğurulan gama doz hızı değerleri. ....	114
Şekil 4.28 : İlçelere göre yıllık ortalama karasal soğurulan gama doz hızı değerleri. ....	115
Şekil 4.29 : Kırklareli ili Merkez ilçesinde mevsimlere göre yıllık etkin doz eşdeğerleri. ....	117



<b>Şekil 4.30</b> : Kırklareli ili Babaeski ilçesinde mevsimlere göre yıllık etkin doz eşdeğerleri. ....	118
<b>Şekil 4.31</b> : Kırklareli ili Kofçaz ilçesinde mevsimlere göre yıllık etkin doz eşdeğerleri. ....	119
<b>Şekil 4.32</b> : Kırklareli ili Lüleburgaz ilçesinde mevsimlere göre yıllık etkin doz eşdeğerleri. ....	120
<b>Şekil 4.33</b> : Kırklareli ili Pehlivanköy ilçesinde mevsimlere göre yıllık etkin doz eşdeğerleri. ....	121
<b>Şekil 4.34</b> : Kırklareli ili Pınarhisar ilçesinde mevsimlere göre yıllık etkin doz eşdeğerleri. ....	122
<b>Şekil 4.35</b> : Kırklareli ili Vize ilçesinde mevsimlere göre yıllık etkin doz eşdeğerleri. ....	123
<b>Şekil 4.36</b> : İlçelere göre ortalama yıllık etkin doz eşdeğerleri. ....	124
<b>Şekil 4.37</b> : Kırklareli ili Merkez ilçesinde mevsimlere göre radyum eşdeğer aktiviteleri. ....	126
<b>Şekil 4.38</b> : Kırklareli ili Babaeski ilçesinde mevsimlere göre radyum eşdeğer aktiviteleri. ....	127
<b>Şekil 4.39</b> : Kırklareli ili Kofçaz ilçesinde mevsimlere göre radyum eşdeğer aktiviteleri. ....	128
<b>Şekil 4.40</b> : Kırklareli ili Lüleburgaz ilçesinde mevsimlere göre radyum eşdeğer aktiviteleri. ....	129
<b>Şekil 4.41</b> : Kırklareli ili Pehlivanköy ilçesinde mevsimlere göre radyum eşdeğer aktiviteleri. ....	130
<b>Şekil 4.42</b> : Kırklareli ili Pınarhisar ilçesinde mevsimlere göre radyum eşdeğer aktiviteleri. ....	131
<b>Şekil 4.43</b> : Kırklareli ili Vize ilçesinde mevsimlere göre radyum eşdeğer aktiviteleri. ....	132
<b>Şekil 4.44</b> : İlçelere göre yıllık ortalama radyum eşdeğer aktiviteleri. ....	133
<b>Şekil 4.45</b> : Kırklareli ili Merkez ilçesinde mevsimlere göre dış tehlike indeksleri. ....	134
<b>Şekil 4.46</b> : Kırklareli ili Babaeski ilçesinde mevsimlere göre dış tehlike indeksleri. ....	135
<b>Şekil 4.47</b> : Kırklareli ili Kofçaz ilçesinde mevsimlere göre dış tehlike indeksleri. ....	136
<b>Şekil 4.48</b> : Kırklareli ili Lüleburgaz ilçesinde mevsimlere göre dış tehlike indeksleri. ....	137
<b>Şekil 4.49</b> : Kırklareli ili Pehlivanköy ilçesinde mevsimlere göre dış tehlike indeksleri. ....	138
<b>Şekil 4.50</b> : Kırklareli ili Pınarhisar ilçesinde mevsimlere göre dış tehlike indeksleri. ....	139
<b>Şekil 4.51</b> : Kırklareli ili Vize ilçesinde mevsimlere göre dış tehlike indeksleri. ....	140
<b>Şekil 4.52</b> : İlçelere göre yıllık ortalama dış tehlike indeksleri. ....	141
<b>Şekil 4.53</b> : Kırklareli ili Merkez ilçesinde mevsimlere göre yaşam boyu kanser riskleri. ....	143
<b>Şekil 4.54</b> : Kırklareli ili Babaeski ilçesinde mevsimlere göre yaşam boyu kanser riskleri. ....	144
<b>Şekil 4.55</b> : Kırklareli ili Kofçaz ilçesinde mevsimlere göre yaşam boyu kanser riskleri. ....	145
<b>Şekil 4.56</b> : Kırklareli ili Lüleburgaz ilçesinde mevsimlere göre yaşam boyu kanser riskleri. ....	146





<b>Şekil 4.57</b> : Kırklareli ili Pehlivanköy ilçesinde mevsimlere göre yaşam boyu kanser riskleri. ....	147
<b>Şekil 4.58</b> : Kırklareli ili Pınarhisar ilçesinde mevsimlere göre yaşam boyu kanser riskleri. ....	148
<b>Şekil 4.59</b> : Kırklareli ili Vize ilçesinde mevsimlere göre yaşam boyu kanser riskleri. ....	149
<b>Şekil 4.60</b> : İlçelere göre yıllık ortalama yaşam boyu kanser riskleri. ....	150
<b>Şekil 4.61</b> : Ayçiçeği örneklerinin <sup>40</sup> K aktivite konsantrasyonları. ....	153
<b>Şekil 4.62</b> : <sup>40</sup> K transfer faktörleri. ....	155
<b>Şekil 4.63</b> : Yaz mevsimi için topraktaki ortalama <sup>222</sup> Rn aktivite konsantrasyonu değişimleri. ....	158
<b>Şekil 4.64</b> : Kış mevsimi için topraktaki ortalama <sup>222</sup> Rn aktivite konsantrasyonu değişimleri. ....	158
<b>Şekil 4.65</b> : Topraktaki ortalama <sup>222</sup> Rn aktivite konsantrasyonu değerlerinin yaz ve kış mevsimi için karşılaştırılması. ....	159
<b>Şekil 4.66</b> : Yaz mevsimi <sup>222</sup> Rn aktivite konsantrasyonu değerlerinin toprak sıcaklığına bağlı değişimi. ....	161
<b>Şekil 4.67</b> : Kış mevsimi <sup>222</sup> Rn aktivite konsantrasyonu değerlerinin toprak sıcaklığına bağlı değişimi. ....	161
<b>Şekil 4.68</b> : Yaz mevsimi <sup>222</sup> Rn aktivite konsantrasyonu değerlerinin toprakta ölçülen bağıl neme bağlı değişimi. ....	162
<b>Şekil 4.69</b> : Kış mevsimi <sup>222</sup> Rn aktivite konsantrasyonu değerlerinin toprakta ölçülen bağıl neme bağlı değişimi. ....	163



# KIRKLARELİ VE ÇEVRESİNDE RADYOAKTİVİTE DÜZEYİNİN BELİRLENMESİ VE İNSAN SAĞLIĞI İLE ÇEVRE KİRLİLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

## ÖZET

Canlıların radyasyona maruz kalmalarının başlıca nedenleri çevrede bulunan doğal ve yapay radyonüklidlerdir. Bu radyonüklidler toprakta farklı seviyelerde bulunmakta ve canlılara soluma, beslenme gibi çeşitli yollarla geçmektedir.

Bu tez çalışmasında, Türkiye’de Kırklareli ilinde toprakta ve ayçiçeğinde doğal ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$ ) ve yapay ( $^{137}\text{Cs}$ ) radyonüklid aktivite konsantrasyonları ölçülmüştür. 2018-2019 yıllarında mevsimsel olarak toprak örnekleri 27 tarım arazisinden toplanmıştır. Örnekler, Kırklareli Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında yüksek saflıkta germanyum (HPGe) gama spektrometresi kullanılarak analiz edilmiştir. Toprak örnekleri için  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonları sırasıyla  $8.38\pm 0.75$ - $56.85\pm 0.76$  Bq  $\text{kg}^{-1}$ ,  $8.85\pm 1.90$ - $95.82\pm 2.16$  Bq  $\text{kg}^{-1}$ ,  $106.29\pm 14.58$ - $926.86\pm 14.93$  Bq  $\text{kg}^{-1}$  ve  $<0.12$ - $6.72\pm 0.53$  Bq  $\text{kg}^{-1}$  aralığında bulunmuştur. Ayçiçeği örnekleri için  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonu  $255.86\pm 21.78$  Bq  $\text{kg}^{-1}$  ile  $426.51\pm 29.42$  Bq  $\text{kg}^{-1}$  aralığında ölçülmüş, fakat  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonları ihmal edilebilir seviyelerde elde edilmiştir.  $^{40}\text{K}$  için topraktan ayçiçeğine geçiş faktörleri hesaplanmış ve  $0.34$ - $1.17$  aralığında bulunmuştur.

Radyolojik tehlikeyi belirlemek için soğurulan gama doz hızı (D), yıllık etkin doz eşdeğeri (AEDE), radyum eşdeğer aktivitesi ( $R_{\text{eq}}$ ), dış tehlike indeksi ( $H_{\text{ex}}$ ) ve yaşam boyu kanser riski (ELCR) hesaplanmış, dünyadaki diğer çalışmalarla ve uluslararası izin verilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Soğurulan gama doz hızı (D), yıllık etkin doz eşdeğeri (AEDE), radyum eşdeğer aktivitesi ( $R_{\text{eq}}$ ), dış tehlike indeksi ( $H_{\text{ex}}$ ) ve yaşam boyu kanser riski (ELCR) değerleri sırasıyla  $24.15$ - $114.17$  nGy  $\text{h}^{-1}$ ,  $29.62$ - $140.02$   $\mu\text{Sv}$   $\text{y}^{-1}$ ,  $51.24$ - $246.61$  Bq  $\text{kg}^{-1}$ ,  $0.14$ - $0.67$  ve  $0.12\times 10^{-3}$ - $0.56\times 10^{-3}$  aralığında hesaplanmıştır.

Ayrıca, toprak gaz radon konsantrasyonları AlphaGUARD PQ 2000 radon monitörü kullanılarak tarım arazilerinde hesaplanmıştır. Toprak gazındaki radon konsantrasyonları kış mevsiminde  $1.23$  ile  $27.75$  kBq  $\text{m}^{-3}$  aralığında, yaz mevsiminde  $1.27$  ile  $64.45$  kBq  $\text{m}^{-3}$  aralığında değişmektedir. Radon konsantrasyonları yaz mevsiminde kış mevsimine göre daha yüksek bulunmuştur.



# DETERMINING THE LEVEL OF RADIOACTIVITY IN KIRKLARELI AND ITS SURROUNDING AND EVALUATION OF HUMAN HEALTH AND ENVIRONMENTAL POLLUTION

## SUMMARY

The main factors of radiation exposure to living beings are natural and artificial radionuclides in the environment. These radionuclides are present in different levels in the soil and transfers to the livings by various ways such as breathing, nutrition, etc.

In this thesis, the activity concentrations of natural ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$ ) and artificial ( $^{137}\text{Cs}$ ) radionuclides in soil and sunflower were measured in Kırklareli province of Turkey. Seasonally soil samples were collected from 27 agricultural areas during 2018-2019 periods. The samples were analyzed at Central Research Laboratory of Kırklareli University by high purity germanium (HPGe) gamma spectrometry. The activity concentrations of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  and  $^{137}\text{Cs}$  were found to be in the range of  $8.38\pm 0.75$ - $56.85\pm 0.76$  Bq kg<sup>-1</sup>,  $8.85\pm 1.90$ - $95.82\pm 2.16$  Bq kg<sup>-1</sup>,  $106.29\pm 14.58$ - $926.86\pm 14.93$  Bq kg<sup>-1</sup> and  $<0.12$ - $6.72\pm 0.53$  Bq kg<sup>-1</sup> for soil samples, respectively. The activity concentration of  $^{40}\text{K}$  ranged from  $255.86\pm 21.78$  Bq kg<sup>-1</sup> to  $426.51\pm 29.42$  Bq kg<sup>-1</sup>, but the activity concentrations of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and  $^{137}\text{Cs}$  were found as negligible levels for sunflower samples. Soil to sunflower transfer factors for  $^{40}\text{K}$  was calculated and found to be in the range of 0.34-1.17.

In order to investigate the radiological hazard; absorbed dose rate (D), annual effective dose equivalent (AEDE), radium equivalent activity ( $\text{Ra}_{\text{eq}}$ ), external hazard index ( $\text{H}_{\text{ex}}$ ) and excess lifetime cancer risk (ELCR) were determined, compared with other studies around the world and international approved values. The values for absorbed dose rate (D), annual effective dose equivalent (AEDE), radium equivalent activity ( $\text{Ra}_{\text{eq}}$ ), external hazard index ( $\text{H}_{\text{ex}}$ ) and excess lifetime cancer risk (ELCR) were determined in the range of 24.15-114.17 nGy h<sup>-1</sup>, 29.62-140.02  $\mu\text{Sv y}^{-1}$ , 51.24-246.61 Bq kg<sup>-1</sup>, 0.14-0.67 and  $0.12\times 10^{-3}$ - $0.56\times 10^{-3}$ , respectively.

In addition, soil gas radon concentrations was measured in agricultural areas by AlphaGUARD PQ 2000 radon monitor. The radon concentrations in soil gas varied from 1.23 to 27.75 kBq m<sup>-3</sup> in winter and 1.27 to 64.45 kBq m<sup>-3</sup> in summer. The radon concentrations were found higher in summer than in winter.



## 1. GİRİŞ

Radyasyon, çoğu insanın düşündüğü gibi keşfi ile birlikte ortaya çıkmamıştır. Canlılar dünyanın oluşumundan beri radyasyon ile iç içe yaşamakta; kozmik ışınlardan gelen ve yerkürede bulunan doğal radyasyona ayrıca nükleer silah denemeleri, reaktörler ve tıbbi uygulamalar gibi sebepler ile yapay radyasyona maruz kalmaktadır. Her ne kadar dünyanın oluşumundan beri radyasyon ile birlikte yaşasak da özellikle son 50 yıl içerisinde yapılan nükleer silah denemeleri ve nükleer kazalar sebebiyle radyoaktivite düzeyinde küresel boyutta artış meydana gelmiş; radyasyon düzeyi ekosistemi tehdit edici boyutlara ulaşmıştır.

Radyasyon; atmosferde, toprakta, bitkide, sedimentte, suda, yapı malzemelerinde, kısacası her alanda mevcuttur. Radyasyon; türüne, dozuna ve enerjisine göre canlı vücudunda hücrelere nüfus ederek zarar vermekte; canlı hücresinin DNA yapısında kırılmalara ve toksinlerin oluşmasına sebep olmaktadır. En fazla radyasyon dozu doğal radyoaktiviteden alınmaktadır.

Radon, kozmik ışınlar, gama ışınları ve vücut içi ışınlanma doğal radyasyon kaynaklarını oluşturmak olup; yer kabuğunda bulunan doğal radyonüklidlerin ve bozunma serisi ürünleri nedeniyle yayılan gama ışınları sonucunda vücudumuz sürekli olarak radyasyona maruz kalmaktadır. Maruz kalınan yıllık ortalama radyasyon dozu, bölgeden bölgeye değişiklik göstermekte, birbirine yakın bölgelerde bile büyük farklılıklar göstermektedir. Gelişmekte olan nükleer enerji endüstrisi kapsamında mevcut radyoaktif atıklar da toprakta, suda ve havada kirliliğe neden olmaktadır.

1945 yılından 1980 yılına kadar yapılan nükleer silah denemeleri ve 26 Nisan 1986 günü Ukrayna'da meydana gelen Çernobil nükleer kazası sonucunda atmosfere radyoaktif maddelerin yayıldığı bilinmektedir. Kaza sonucunda nükleer serpintiler ile  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{134}\text{Cs}$  gibi radyoaktif elementler kısa sürede atmosfere yayılarak çevre kirliliğine neden olmuştur. Kaza sonrasında özellikle  $^{137}\text{Cs}$ , radyoaktif bulutun geçişi ile ülkemizde Karadeniz ve Trakya Bölgelerine yayılarak nükleer kirlenme meydana getirmiştir.

Yer kabuğunda bulunan doğal radyonüklidlere ek olarak; tarımdaki verimliliği arttırmak amacıyla uygulanan gübreleme işlemleri de topraktaki radyoaktivitenin artmasına sebebiyet vermektedir. Doğal ve yapay radyonüklidler toprağa ve suya karışmakta, besin zincirine katılım göstererek topraktan bitkiye, bitkiden de canlılara geçerek canlılara zarar vermektedir. Bu nedenle; canlıların doğal ve yapay kaynaklı maruz kaldığı radyasyon dozunun ve oluşturabileceği zararın belirlenmesi oldukça önemlidir.

Literatürde; topraktaki doğal ve yapay radyonüklid konsantrasyonlarını tayin etmek, insanlar tarafından alınabilecek radyasyon dozlarını hesaplamak, topraktan bitkiye radyonüklid transferini araştırmak amacıyla ülkemizde ve dünyada yapılmış çalışmalar mevcuttur:

Almanya’da maden alanında Köhler ve arkadaşlarının yapmış oldukları bir çalışmada topraktan domatese  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{227}\text{Ac}$  radyonüklid transfer faktörleri hesaplanmış;  $^{40}\text{K}$  için  $1.4\pm 0.1$ ,  $^{238}\text{U}$  için  $0.00072\pm 0.0006$ ,  $^{226}\text{Ra}$  için  $0.0021\pm 0.0017$ ,  $^{210}\text{Pb}$  için  $0.0015\pm 0.0009$  ve  $^{227}\text{Ac}$  için  $0.0018\pm 0.0012$  olarak bulunmuştur (Köhler ve ark., 2000).

Kurnaz ve arkadaşlarının Rize’de yapmış oldukları çalışmada Fırtına Vadisi’ndeki toprak örneklerinde doğal ve yapay radyoaktivite seviyeleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlarda  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  radyonüklid aktivite konsantrasyonları sırasıyla 11–188, 10–105, 105–1235, 19–232 Bq  $\text{kg}^{-1}$  aralığında bulunmuştur. Karasal soğurulan gama doz hızlarının 19.1 ile 149.6 nGy  $\text{h}^{-1}$  aralığında değişmekte olduğu gözlenmiş ve ortalama doz hızı 77.4 nGy  $\text{h}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. Çalışmada ayrıca Fırtına Vadisi’ndeki toprak örnekleri için yıllık etkin doz eşdeğeri ile radyum eşdeğer aktivitesi değerleri belirlenmiştir. Bu değerler sırasıyla ortalama 88.7 mSv  $\text{y}^{-1}$  ve 166.3 Bq  $\text{kg}^{-1}$  bulunmuştur (Kurnaz ve ark., 2007).

Değerlier ve arkadaşları HPGe dedektörlü gama spektrometresi kullanarak Adana’da topraktaki doğal radyonüklid aktivite konsantrasyonlarını hesaplamışlardır.  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla 17.6, 21.1 ve 297.5 Bq  $\text{kg}^{-1}$  bulunmuştur. Ortalama dış gama doz hızı 67 nGy  $\text{h}^{-1}$  olarak verilmiş, yıllık etkin doz eşdeğeri ise 82  $\mu\text{Sv}$  olarak hesaplanmıştır (Değerlier ve ark., 2008).

Taşkın ve arkadaşlarının, Kırklareli ilinde 177 farklı noktada yaptıkları çalışmada toprak örnekleri gama spektrometresi kullanılarak analiz edilmiş ve ortalama  $^{226}\text{Ra}$ ,



$^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktiviteleri sırasıyla  $37\pm 18 \text{ Bq kg}^{-1}$ ,  $28\pm 13 \text{ Bq kg}^{-1}$ ,  $40\pm 18 \text{ Bq kg}^{-1}$ ,  $8\pm 5 \text{ Bq kg}^{-1}$  ve  $667\pm 281 \text{ Bq kg}^{-1}$  bulunmuştur. Bazı aktivite konsantrasyon değerlerinin yüksek çıkmasına rağmen, elde edilen sonuçların genel itibariyle dünyada ölçülen değerler arasında olduğu belirtilmiştir. Ortalama soğurulan gama doz oranı  $118\pm 34 \text{ nGy h}^{-1}$  olarak verilmiştir. Kırklareli ilinin yıllık etkin doz eşdeğeri  $144 \mu\text{Sv}$ , yaşam boyu kanser riski  $5.0\times 10^{-4}$  bulunmuştur. Çalışmada; yıllık etkin doz eşdeğeri ve yaşam boyu kanser riski dünya ortalamasının üzerinde olduğu sonucuna varılmıştır (Taşkın ve ark., 2009).

Khan ve arkadaşlarının Pakistan'da yapmış oldukları çalışmada toprak ile buğday, patates, mercimek ve karnabahar gibi temel gıdalar gama spektrometresi kullanılarak analiz edilmiş ve radyonüklid aktivite konsantrasyonları bulunmuştur. Toprak örnekleri için  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonları sırasıyla  $30.0 \text{ Bq kg}^{-1}$  ile  $81.2 \text{ Bq kg}^{-1}$ ,  $31.4 \text{ Bq kg}^{-1}$  ile  $78.3 \text{ Bq kg}^{-1}$  ve  $308.8 \text{ Bq kg}^{-1}$  ile  $2177.6 \text{ Bq kg}^{-1}$  aralığında değişmektedir. Toprakta gıda ürünlerine  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  transfer faktörleri yaklaşık olarak sırasıyla 0.07, 0.16 ve 0.17 elde edilmiştir (Khan ve ark., 2010).

Shanthi'nin Hindistan'da Kanyakumari bölgesinde yaptıkları çalışmada topraktan bitkilere ve meyvelere transfer faktörü hesaplanmış, topraktan pirince  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyonüklidlerinin transfer faktörlerini sırasıyla  $8.8\times 10^{-2}$ ,  $14.2\times 10^{-2}$ ,  $5.8\times 10^{-2}$  ve  $6.3\times 10^{-2}$  bulmuştur. Nişasta için hesaplanan  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyonüklidlerinin transfer faktörleri ise sırasıyla  $6.2\times 10^{-2}$ ,  $11\times 10^{-2}$ ,  $1.9\times 10^{-2}$  ve  $8.9\times 10^{-2}$  olarak elde edilmiştir. Meyveler için hesaplanan transfer faktörlerinin oldukça düşük olduğu gözlenmiştir (Shanthi ve ark., 2011).

Bangladeş'in Chittagong kentinde Chakraborty ve arkadaşları tarafından toprak, ot ve bitkideki radyonüklid aktivite konsantrasyonları bulunmuş ve topraktan ota ve bitkiye transfer faktörleri hesaplanmıştır. Toprak örnekleri için  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{228}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla  $22.13 \pm 2.30$ ,  $38.47 \pm 2.72$ ,  $50.47 \pm 4.75$ ,  $451.90 \pm 24.89$  ve  $2.41 \pm 0.18 \text{ Bq kg}^{-1}$  bulunmuştur. Ot örneklerinde ise bu değerler sırasıyla  $1.26 \pm 0.11$ ,  $3.66 \pm 0.31$ ,  $7.02 \pm 0.49$ ,  $134.95 \pm 3.68$  ve  $0.17 \pm 0.02 \text{ Bq kg}^{-1}$  olarak verilmiştir. Toprakta ota transfer faktörü değerleri  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{228}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  radyonüklidleri için sırasıyla 0.056, 0.089, 0.137, 0.275 ve 0.054 bulunmuştur. Bitki dalı için transfer faktörleri  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{228}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  radyonüklidleri için sırasıyla 0.062, 0.098, 0.136, 0.274 and 0.064 olarak hesaplanmış,

topraktan bitki yaprağına transfer faktörleri ise sırasıyla 0.054, 0.088, 0.127, 0.266 and 0.061 bulunmuştur (Chakraborty ve ark., 2013).

Al Mugren tarafından HPGe dedektörlü gama spektrometresi kullanarak Suudi Arabistan'daki toprak örnekleri analiz edilmiştir. Ortalama  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyonüklid aktivite konsantrasyonları sırasıyla  $23 \pm 1.6 \text{ Bq kg}^{-1}$ ,  $20 \pm 1.4 \text{ Bq kg}^{-1}$  ve  $233 \pm 12 \text{ Bq kg}^{-1}$  bulunmuştur. Ortalama radyum eşdeğer aktivitesi  $69.52 \text{ Bq kg}^{-1}$  ve ortalama dış tehlike indeksi 0.16 hesaplanmıştır. Karasal soğurulan gama doz hızı  $17.74 - 72.24 \text{ nGy h}^{-1}$  aralığında değişmektedir. Ortalama yıllık etkin doz eşdeğeri ise  $0.37 \text{ mSv y}^{-1}$  bulunmuştur (Al Mugren, 2015).

Asaduzzaman ve arkadaşlarının Malezya'da yapmış oldukları çalışmada toprak ve pirinç örneklerindeki  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyonüklid aktivite konsantrasyonlarını ölçmüşler ve topraktan pirince bu radyonüklidlerin transfer faktörlerini hesaplamışlardır. Elde edilen sonuçlarda topraktaki  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyonüklid aktivite konsantrasyonları sırasıyla  $7.2 \pm 2.0$  ile  $9.1 \pm 1.8 \text{ Bq kg}^{-1}$ ,  $11.6 \pm 1.9$  ile  $20.6 \pm 3 \text{ Bq kg}^{-1}$  ve  $76.5 \pm 5.7$  ile  $114.6 \pm 6.6 \text{ Bq kg}^{-1}$  aralığında; pirinçte ise sırasıyla  $1.5 \pm 0.4$  ile  $2.8 \pm 0.7 \text{ Bq kg}^{-1}$ ,  $3.6 \pm 1.4$  ile  $7.5 \pm 2.7 \text{ Bq kg}^{-1}$  ve  $59.9 \pm 6.0$  ile  $92.2 \pm 5.4 \text{ Bq kg}^{-1}$  aralığında değişmektedir. Topraktan pirince  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyonüklid transfer faktörleri ise sırasıyla 0.16 ile 0.32, 0.17 ile 0.47 ve 0.52 ile 1.21 aralığında hesaplanmıştır (Asaduzzaman ve ark., 2015).

Rani ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada Hindistan'da Jodhpur ve Nagaur'un farklı bölgelerinden alınan toprak örnekleri gamma spektrometresi kullanılarak analiz edilmiştir. Ortalama  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyonüklid aktivite konsantrasyonları sırasıyla  $24 \pm 9$ ,  $55 \pm 11$  ve  $549 \pm 141 \text{ Bq kg}^{-1}$  olarak bulunmuştur. Toplam soğurulan gama doz hızı ortalaması  $68 \text{ nGy h}^{-1}$ , dış tehlike indeksi ortalaması 0.39, iç tehlike indeksi ortalaması 0.45 ve yıllık etkin doz eşdeğeri ortalaması  $0.41 \text{ mSv}$  olarak hesaplanmıştır (Rani ve ark., 2015).

Sudan'da Fadol ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada NaI(TI) dedektörlü gama spektrometre sistemi kullanarak toprak örneklerinde  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  radyonüklid aktivite konsantrasyonlarını ölçmüşlerdir. Ortalama  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  radyonüklid aktivite konsantrasyonlarını  $22.83$ ,  $25.11$ ,  $284.31$  ve  $0.28 \text{ Bq kg}^{-1}$  bulmuşlardır. Ayrıca; aktivite konsantrasyonlarını kullanarak karasal soğurulan gama

doz hızı ile yıllık etkin doz eşdeğerini sırasıyla 5-29.61 nGy h<sup>-1</sup> ile 30-41µSv y<sup>-1</sup> aralığında hesaplamışlardır (Fadol ve ark., 2015).

Amasya Oluz Höyük kazı alanında Çetin ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada NaI(Tl) gama spektrometresi kullanarak farklı derinliklerden alınan toprak örneklerinde <sup>40</sup>K, <sup>226</sup>Ra ve <sup>232</sup>Th aktivite konsantrasyonlarını ölçmüşler ve sırasıyla 656.03-1791.85 Bq kg<sup>-1</sup>, 62.39-180.93 Bq kg<sup>-1</sup> ve 48.31-125.43 Bq kg<sup>-1</sup> aralığında bulmuşlardır. Toprak örneklerindeki doğal radyonüklidlerin oluşturduğu radyolojik zararı bulmak için radyum eşdeğer aktivitesi, karasal soğurulan gama doz hızı, yıllık etkin doz eşdeğeri ve dış tehlike indeksi hesaplanmış ve sırasıyla 181.99-97.97 Bq kg<sup>-1</sup>, 86.83-237.22 nGy h<sup>-1</sup>, 0.11-0.29 mSv y<sup>-1</sup> ve 0.49-1.35 bulunmuştur (Çetin ve ark., 2016).

Dizman ve arkadaşları, Rize topraklarında 132 farklı noktada yaptıkları çalışmada topraktaki <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th ve <sup>40</sup>K aktivite konsantrasyonlarını HPGe gama spektrometresi ile ölçmüşler ve ortalama <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th ve <sup>40</sup>K aktivite konsantrasyonlarını sırasıyla 85.75±11.77, 51.08±9.42, and 771.57±37.65 Bq kg<sup>-1</sup> olarak bulmuşlardır. Çalışmada ayrıca radyum eşdeğer aktivitesi, dış tehlike indeksi, karasal soğurulan gama doz hızı, yıllık etkin doz eşdeğeri ve yaşam boyu kanser riski hesaplanmış; uluslararası kabul edilen değerler ile kıyaslanmıştır. Elde edilen yıllık etkin doz eşdeğeri ve yaşam boyu kanser riski değerlerinin dünya ortalamasının üzerinde olduğu gözlenmiştir (Dizman ve ark., 2016).

Karataşlı ve arkadaşları Mersin'deki Akkuyu Nükleer Enerji Santrali bölgesindeki <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K ve <sup>137</sup>Cs aktivite konsantrasyonlarını HPGe gama spektrometresi ile ölçmüşler ve sırasıyla 14.1 ± 0.7 ile 65.4 ± 2.9, 12.0 ± 0.8 ile 51.7 ± 2.1, 172.2 ± 15.8–511.1 ± 37.8 ve <MDA ile 86.2 ± 1.4 Bq kg<sup>-1</sup> aralığında bulmuşlardır. Çalışmada topraktaki ortalama radon konsantrasyonu 23.9 kBq m<sup>-3</sup> hesaplanmıştır (Karataşlı ve ark., 2016).

Alazemi ve arkadaşları Kuveyt topraklarında <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th ve <sup>40</sup>K ortalama spesifik aktivite konsantrasyonlarını sırasıyla 18, 15 and 385 Bq kg<sup>-1</sup> olarak bulmuş, radyolojik risk faktörleri olan soğurulan gama doz oranı, radyum eşdeğer aktivitesi ile yıllık etkin doz eşdeğeri ortalama olarak sırasıyla 33.16 ± 2.46 nGy h<sup>-1</sup>, 68.5 ± 5.09 Bq kg<sup>-1</sup> ile 40.8 ± 3.0 mSv y<sup>-1</sup> olarak hesaplamıştır (Alazemi ve ark., 2016).

Alao, Nijerya’da meyve ve sebzeler üzerine yaptığı çalışmada;  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonlarını, radyum eşdeğer aktivitesi, dış tehlike indeksi, karasal soğurulan gama doz hızı, yıllık etkin doz eşdeğeri ve yaşam boyu kanser riskini hesaplamıştır. Sebzeler için hesaplanan yaşam boyu kanser riski değerlerinin  $0.049 \times 10^{-3}$ – $0.105 \times 10^{-3}$  aralığında değiştiği ve ortalama değer ise  $0.68 \times 10^{-3}$  olduğu bulunmuştur. Meyveler için ise yaşam boyu kanser riski değerinin  $0.035 \times 10^{-3}$ – $0.088 \times 10^{-3}$  aralığında değiştiği gözlenmiş, ortalama değer ise  $0.056 \times 10^{-3}$  olarak verilmiştir. Karasal soğurulan gama doz hızı sebzeler için  $11.05 - 15.52 \text{ nGyh}^{-1}$  aralığında bulunmuş, ortalama  $13.07 \text{ nGyh}^{-1}$  olarak verilmiştir. Bu değer meyvelerde ise  $8.19 - 12.34 \text{ nGyh}^{-1}$  aralığında bulunmuş, ortalama  $10.39 \text{ nGyh}^{-1}$  olarak verilmiştir. Ortalama spesifik  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  ve  $^{228}\text{Ra}$  aktivite değerleri sebzeler için sırasıyla  $95.95 \pm 18.85 \text{ Bq kg}^{-1}$ ,  $10.79 \pm 3.46 \text{ Bq kg}^{-1}$  ve  $6.83 \pm 2.32 \text{ Bq kg}^{-1}$  olarak bulunmuş, meyveler için ise sırasıyla  $77.67 \pm 18.90 \text{ Bq kg}^{-1}$ ,  $8.12 \pm 3.00 \text{ Bq kg}^{-1}$  ve  $6.17 \pm 2.15 \text{ Bq kg}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. Radyum eşdeğer aktivitesinin sebzeler ve meyveler için  $27.81 \text{ Bq kg}^{-1}$  ile  $18.60 \text{ Bq kg}^{-1}$  aralığında değiştiği gözlenmiştir. Hesaplanan tüm değerlerin dünyada izin verilen standartların altında olduğu bulunmuştur (Alao, 2016).

Irak’ta Assie ve arkadaşlarının gama spektrometresi kullanarak topraktaki doğal radyonüklid aktivite konsantrasyonlarını ölçtükleri çalışmada  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{228}\text{Ac}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  spesifik aktiviteleri sırasıyla  $0-5.2234$ ,  $0-8.7271$ ,  $101-1216.83$ ,  $0-1.4320 \text{ Bq kg}^{-1}$  aralığında değiştiği gözlenmiştir. Radyum eşdeğer aktivitesi  $107.788$  ile  $1219.472 \text{ Bq kg}^{-1}$  aralığında değişmektedir. Dış ve iç tehlike indeksi 1 değerinin altında bulunmuş olduğundan radyasyon zararının önemsiz olduğu belirtilmiştir (Assie ve ark., 2016).

Hossain ve arkadaşlarının Bangladeş’te 21 farklı örnekleme noktasından toplamış olduğu toprak örneklerinde  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ile  $^{40}\text{K}$  radyonüklid aktivite konsantrasyonlarını gama spektrometresi kullanarak ölçmüşlerdir. Ortalama  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ile  $^{40}\text{K}$  radyonüklid aktivite konsantrasyonlarını sırasıyla  $33.56$ ,  $58.39$  ve  $758.75$  bulmuşlardır. Radyum eşdeğer aktivitesi, karasal soğurulan gama doz hızı, dış tehlike indeksi ve yıllık etkin doz eşdeğerini hesaplamışlar ve ortalamalarını sırasıyla  $171.13 \text{ Bq kg}^{-1}$ ,  $83.09 \text{ nGy h}^{-1}$ ,  $0.48$  ve  $584.46 (10^{-6} \text{ Sv})$  bulmuşlardır (Hossain ve ark., 2016).

Chaudhuri ve arkadaşlarının Hindistan’da yapmış oldukları çalışmada toprak örnekleri için  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  radyonüklid aktivite konsantrasyonlarını ölçmüşlerdir.  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  ortalama aktivite konsantrasyonlarını sırasıyla  $48.7 \pm 2.8 \text{ Bq kg}^{-1}$  ve  $58.3 \pm$

3.3 Bq kg<sup>-1</sup> bulmuşlardır. <sup>137</sup>Cs aktivitesi ise çoğu örnekte dedekte edilebilir limitin altında kalmıştır (Chaudhuri ve ark., 2017).

Soniya ve arkadaşları, Kerala'da toplamış olduğu 12 farklı toprak örneğini NaI(TI) temelli gamma spektrometresi ile analiz etmişler ve <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th ile <sup>40</sup>K radyonüklid aktivite konsantrasyonlarını belirlemişlerdir. Elde edilen sonuçlarda <sup>226</sup>Ra aktivite konsantrasyonu MDA ile 20.19 Bq kg<sup>-1</sup>, <sup>232</sup>Th aktivite konsantrasyonu 13.34 ile 30.27 Bq kg<sup>-1</sup>, <sup>40</sup>K aktivite konsantrasyonu ise 65.99 ile 81.64 Bq kg<sup>-1</sup> aralığında değiştiğini bulmuşlardır. Toprak örneklerinin radyum eşdeğer aktivitesi 31.16 ile 68.30 Bq kg<sup>-1</sup> aralığında değişmektedir. Karasal soğurulan gama doz hızı ile dış tehlike indeksini hesaplamışlar ve sırasıyla 26.47-53.15 nGy h<sup>-1</sup> ve 0.155-0.315 aralığında bulmuşlardır (Soniya ve ark, 2017).

Sakarya'da yapılan bir çalışmada ise Tabar ve arkadaşları farklı bölgelerden alınan 85 toprak örneğini NaI(TL) gama spektrometresi kullanarak analiz etmişlerdir. Ölçüm sonuçlarında ortalama <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th ve <sup>40</sup>K doğal radyonüklid aktivite konsantrasyonlarını sırasıyla 23.2 ± 2.5, 21.0 ± 3.4 ve 371 ± 25.9 Bq kg<sup>-1</sup> bulmuşlardır. Elde edilen aktivite konsantrasyonları dünya ortalamasının altında olduğu belirtilmiştir. Radyolojik riskleri belirlemek için radyum eşdeğer aktivitesini, karasal soğurulan gama doz hızını, yıllık etkin doz eşdeğerini ve dış tehlike indeksini hesaplamışlar ve ortalama olarak sırasıyla 30.93 nGy h<sup>-1</sup>, 37.93 µSv y<sup>-1</sup>, 64.14 Bq kg<sup>-1</sup> ve 0.18 Bq kg<sup>-1</sup> bulmuşlardır (Tabar ve ark., 2017).

Edomi ve arkadaşlarının, Nijerya'da NaI(TL) gama spektrometresi kullanarak toprak için yapmış oldukları çalışmada <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th and <sup>40</sup>K aktiviteleri ölçülmüştür. <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th and <sup>40</sup>K radyonüklid aktivite konsantrasyonları için minimum değerler sırasıyla 83.76 ± 4.10, 4.10 ± 0.12 ve 1.92 ± 0.09 Bq kg<sup>-1</sup>; maksimum değerler sırasıyla 373.02 ± 18.25, 89.49 ± 2.09 ve 30.61 ± 1.47 Bq kg<sup>-1</sup> bulunmuştur. Ortalama <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th and <sup>40</sup>K radyonüklid aktivite konsantrasyonları ise sırasıyla 180.61 ± 2.79, 44.24 ± 1.53 ve 15.58 ± 0.72 Bq kg<sup>-1</sup> verilmiştir. <sup>232</sup>Th ve <sup>40</sup>K radyonüklid aktivite konsantrasyonlarının dünya ortalamasında olduğu gözlenmiş, ancak diğer çalışmalarla kıyaslandığında <sup>238</sup>U radyonüklid aktivite değerinin normal değerlerin üzerinde olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışmada; <sup>238</sup>U radyonüklid aktivite değerinin yüksek oluşunun, bölgedeki yağ üretim çalışmalarından kaynaklanabileceği belirtilmiştir. Ayrıca radyolojik tehlike parametreleri hesaplanmış ve ortalama radyum eşdeğer aktivitesi 80.42 Bq kg<sup>-1</sup>, karasal soğurulan gama doz hızı 37.95 nGy h<sup>-1</sup>, iç tehlike indeksi 0.336,

dış tehlike indeksi 0.216 ve yaşam boyu kanser riski  $0.016 \times 10^{-3}$  bulunmuştur. Elde edilen değerler uluslararası radyolojik sağlık standartları ile kıyaslandığında düşük bulunmuştur (Edomi ve ark., 2018).

Pourimani ve Shahroudi'nin Irak'ta yapmış oldukları çalışmada 10 toprak örneği için  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonlarını ölçmüşler, ortalama aktivite konsantrasyonlarını sırasıyla 33.35, 38.28, 430.27 ve  $5.52 \text{ Bq kg}^{-1}$  bulmuşlardır. Aynı çalışmada; buğday ve arpa için  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonlarını ölçmüşler ve transfer faktörlerini hesaplamışlardır. Buğday örnekleri için ortalama  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonları sırasıyla  $<1.46$ ,  $<1.38$ , 180.54 ve  $<0.36 \text{ Bq kg}^{-1}$  bulunmuştur. Arpa örnekleri için ise ortalama  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonları sırasıyla 1.92, 1.94, 242.22 ve  $0.39 \text{ Bq kg}^{-1}$  bulunmuştur.  $^{40}\text{K}$  radyonüklidinin topraktan buğdaya transfer faktörü 0.55,  $^{40}\text{K}$  radyonüklidinin topraktan arpaya transfer faktörü ise 0.48 hesaplanmıştır (Pourimani ve Shahroudi, 2018).

Radon ( $^{222}\text{Rn}$ ),  $^{238}\text{U}$  doğal bozunum serisindeki  $^{226}\text{Ra}$  bozunum serisi ürünüdür. Genellikle kayalarda ve topraklarda oluşan  $^{222}\text{Rn}$ , kayalardaki küçük hava boşluklarına doğru çıkmaktadır. Basınç değişimlerinden dolayı hava taşınımı, sıcaklık farklılıklarından dolayı sıcaklık taşınımı, yoğunluk farklılıklarından dolayı difüzyon gibi taşınım mekanizmaları sonucunda yüzeye doğru hareket etmekte, havaya karışmakta veya binalara girmektedir (Radolic ve ark, 2017). Radon göçü ve konsantrasyonu, kaya tipine, kayanın fiziksel durumuna (çatlaklar, eklemler, gözenekler vb.) ve yeraltı su durumuna bağlı olarak değişim göstermektedir. Radonun kısa yarı ömürlü bozunum ürünlerinin akciğer kanserine neden olması sebebiyle, radon konsantrasyonunun belirlenmesi oldukça önemlidir (Yalım ve ark., 2019). Literatürde; topraktaki radon konsantrasyonlarını tayin etmek amacıyla ülkemizde ve dünyada yapılmış çeşitli çalışmalar mevcuttur:

Ürdün'de Kullab ve arkadaşları topraktaki  $^{222}\text{Rn}$  konsantrasyonlarının mevsimlere göre değişimlerini araştırmışlardır. Çalışma bölgesi olarak fosfat madenini tercih etmişler, 10 farklı noktada tüm mevsimlerde ölçüm gerçekleştirmişlerdir. Sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz mevsimlerinde topraktaki  $^{222}\text{Rn}$  konsantrasyonları ortalamalarını sırasıyla 10.9, 2.53, 9.7 ve  $6.0 \text{ kBq m}^{-3}$  olarak bulmuşlardır (Kullab ve ark., 2001).

Vaupotic ve arkadaşlarının Slovenya’da yaptıkları çalışmada 53 okul bölgesinde topraktaki radon konsantrasyonları belirlenmiştir. Çalışmada, toprak radon konsantrasyonları 2 ile 14 kBq m<sup>-3</sup> aralığında değişmektedir. En yüksek radon konsantrasyonuna 5-10 m derinliğe sahip nehir alanlarında rastlanmışlardır (Vaupotic ve ark., 2002).

Swakon ve arkadaşlarının Polonya’da Krakow bölgesinde yapmış oldukları çalışmada AlphaGUARD PQ2000 PRO cihazı kullanarak topraktaki <sup>222</sup>Rn konsantrasyonlarını tayin etmişler; <sup>222</sup>Rn konsantrasyonlarının aritmetik ortalamasını 39 kBq m<sup>-3</sup> olarak bulmuşlardır (Swakon ve ark., 2005).

Abumurad ve Al-Tamimi tarafından Ürdün’de yapılan bir çalışmada 21 evin bahçesinde topraktaki radon konsantrasyonu ölçülmüştür. Çalışmada kış ve sonbahar mevsimlerinde radon konsantrasyonu 4 ile 21 kBq m<sup>-3</sup> aralığında bulunmuş ve ortalama radon konsantrasyonu 15 kBq m<sup>-3</sup> olarak tayin edilmiştir (Abumurad ve Al-Tamimi, 2005).

Kanada Ontario’da Chen ve arkadaşları 32 noktada topraktaki radon konsantrasyonlarını belirlemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre radon konsantrasyonlarının 4 ile 116 kBq m<sup>-3</sup> aralığında değiştiği bulunmuştur (Chen ve ark., 2008).

Kamerun’da volkanik bir alanda Ngachin ve arkadaşlarının yapmış oldukları bir çalışmada toprak örneklerindeki doğal ve yapay radyonüklid aktivite konsantrasyonu ölçümleri yapılmış, aynı bölgede topraktaki radon konsantrasyonları da belirlenmiştir. <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th ve <sup>40</sup>K radyonüklid aktivite konsantrasyonları sırasıyla 11–17 Bq kg<sup>-1</sup>, 22–36 Bq kg<sup>-1</sup> ve 43–201 Bq kg<sup>-1</sup> aralığında bulunmuştur. <sup>137</sup>Cs radyonüklidine ise bazı alanlarda oldukça küçük miktarlarda rastlanmıştır. Toprağın 50 m derinliğinde radon konsantrasyonlarının 5.5 ile 10.8 kBq m<sup>-3</sup> aralığında değiştiği gözlenmiştir (Ngachin ve ark., 2008).

Chen ve arkadaşları, Kanada’da Montreal, Gatineau, Kingston, Toronto ve Ottawa illerinde toplamda 212 noktada topraktaki radon konsantrasyonlarını ölçmüşlerdir. Ortalama radon konsantrasyonlarını Montreal, Gatineau, Kingston, Toronto ve Ottawa illerinde sırasıyla 28, 17, 11,23 ve 22 kBq m<sup>-3</sup> olarak tayin etmişlerdir (Chen ve ark., 2012).

Bayati ve arkadaşları Irak'ta 20 alanda toprakta radon gaz konsantrasyonlarını 50, 100 ve 150 cm derinlikler için ölçmüşlerdir. Topraktaki radon konsantrasyonu toprak derinliğinin artmasıyla yükselmiş, en yüksek radon konsantrasyonları  $0.4 - 4 \text{ kBq m}^{-3}$  aralığında elde edilmiştir (Bayati ve ark., 2012).

Romanya'da Cosma ve arkadaşları tarafından yapılmış bir çalışmada 2010 yılı sonbahar mevsiminde 50 cm toprak derinliğinde  $^{222}\text{Rn}$  konsantrasyonları tayin edilmiştir. Elde edilen sonuçlarda topraktaki radon seviyelerinin 20 ile  $500 \text{ kBq m}^{-3}$  aralığında değiştiği gözlenmiştir (Cosma ve ark., 2013).

Koray ve arkadaşlarının Türkiye'de Zonguldak ilinde yapmış oldukları çalışmada topraktaki  $^{222}\text{Rn}$  konsantrasyonları tayin edilmiştir. Topraktaki radon gazı konsantrasyonları 295.67 ile 852.92  $\text{Bq m}^{-3}$  aralığında değişim göstermiş ve fay hatlarına yakın bölgelerde daha yüksek radon seviyelerine rastlanmıştır (Koray ve ark., 2013).

Kulalı ve Akkurt tarafından Pamukkale-Türkiye'de yapılan çalışmada 5 farklı noktada 1 m toprak derinliğinde radon konsantrasyonları belirlenmiştir. Çalışmada topraktaki radon konsantrasyonlarının 3 ile  $75 \text{ kBq m}^{-3}$  aralığında değiştiği bulunmuştur (Kulalı ve Akkurt, 2015).

Kulalı ve arkadaşlarının Karahayıt-Türkiye'de yapmış oldukları bir çalışmada toprak gazı radon konsantrasyonları ölçülmüştür. Radon konsantrasyonlarının  $0.1-160 \text{ kBq m}^{-3}$  aralığında değiştiği bulunmuştur (Kulalı ve ark., 2017).

Hırvatistan'da Radolic ve arkadaşları 2005-2013 yılları arasında 412 noktada yaptıkları ölçüm ile topraktaki radon konsantrasyonlarını belirlemişlerdir. Topraktaki radon konsantrasyonunu ortalama olarak  $48 \text{ kBq m}^{-3}$  bulmuşlardır (Radolic ve ark, 2017).

Günay ve arkadaşları tarafından Kuzey Anadolu Fay Hattı bölgesinde 2014 ve 2015 yıllarında topraktaki radon seviyeleri ölçülmüştür. Toprak radon konsantrasyonları ölçüm yapılan bölgede  $0.10$  ile  $19.98 \text{ kBq m}^{-3}$  aralığında bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar toprak radon konsantrasyonlarının ve konsantrasyon seviye değişimlerinin fay çizgisi boyunca yüksek olduğunu göstermiştir (Günay ve ark., 2018).

Yalın ve arkadaşlarının Afyonkarahisar'da yapmış oldukları çalışmada 65 örnekleme noktasında AlphaGUARD radon ölçüm cihazı kullanılarak toprak radon



konsantrasyonları tayin edilmiştir. Toprak radon konsantrasyonları ortalama olarak  $55.45 \text{ kBq m}^{-3}$  ölçülmüştür (Yalım ve ark., 2019).

Bu tez çalışmasının amacı; HPGe dedektörlü yüksek çözünürlüklü gama spektrometresi kullanılarak Trakya Bölgesinde yer alan Kırklareli ili ve ilçelerinde farklı tarım arazilerinden toplanan toprak örneklerinde doğal ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ) ve yapay ( $^{137}\text{Cs}$ ) radyonüklid konsantrasyonlarını tayin etmek, tarım arazilerinde yetiştirilen yerel bitkilerde topraktan bitkiye radyonüklid transferini araştırmaktır. Bunlara ek olarak; örnekleme yapılan tarım arazilerinde toprakta bulunan radon aktivite konsantrasyonlarının belirlenmesidir. Elde edilen sonuçlardan Kırklareli ili ve ilçelerinde insanlar tarafından alınabilecek radyasyon dozları hesaplanıp, Dünya Sağlık Örgütü ile ilgili kuruluşların vermiş olduğu değerler karşılaştırılarak, risk değerlerinin belirlenmesi, bölgede bu radyonüklidlere bağlı kanser etki oranlarının hesaplanması amaçlanmıştır.



## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1 Radyasyon ve Radyoaktivite

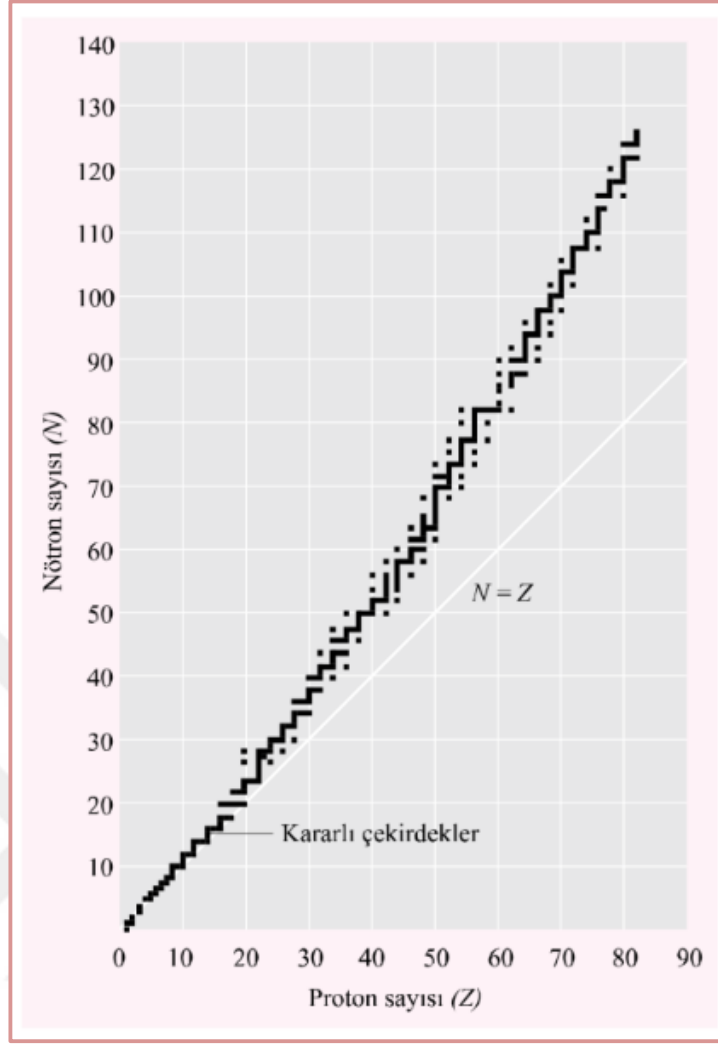
Radyasyon ya da ışınma, bir maddenin kendiliğinden ya da bir dış uyarımla elektromanyetik dalgalar ya da parçacıklar biçiminde ortama saldığı enerji olarak tanımlanmaktadır. Bu şekilde ışınma yapan atomlara “radyoaktif atom”, bu tür ışınma yapmalarına ise “radyoaktiflik” denilmektedir.

Radyoaktivitenin keşfi 1900’lü yılların öncesine, Wilhelm Conrad Röntgen’in kazara x-ışınlarını keşfetmesine dayanmaktadır. Röntgen 8 Kasım 1885 tarihinde düşük yoğunluklu cam tüpleri ile yaptığı deney esnasında deney ekipmanının tamamen örtülü olmasına rağmen gaz boşalması esnasında beklenmedik ışımaların oluştuğunu gözlemlemiş ve bu ışımalara X-ışınları adını vermiştir (Tekin, 1992). Röntgen’in bu keşfinin yalnızca bir yıl sonrasında doğada kendiliğinden radyoaktif ışımalar yaparak bozunuma uğrayan maddelerin varlığı ilk kez 1896 yılında Fransız fizikçi Henry Becquerel tarafından bulunmuştur. 1895 yılında C. Röntgen’in X-ışınlarını bulmasından etkilenen Becquerel, X-ışını yayıp yaymadığını gözlemek için fotoğraf filmi yerine kullanılan bir cam levhayı ışık geçirmeyen siyah kâğıtlara sarmış ve üzerine uranyum tuzu yerleştirerek güneşe bırakmıştır. Birkaç gün sonra siyah kâğıtları açtığında, güneş ışığının geçmesine imkân olmadığı halde camın kararmış olduğunu görmüş ve daha sonra cam filmi ve uranyum bileşigi çekmecesine koymuş, günler sonra uranyum bileşigin güneşe maruz kalmamasına rağmen cam üzerinde izler bıraktığını gözlemiştir. Becquerel yapmış olduğu bu çalışma ile X-ışınından farklı olarak yeni tipte bir radyasyon yayınladığını bulmuş ve bu olay radyoaktivite olarak adlandırılmıştır. Becquerel’in buluşundan üç yıl sonrasında, 1898 yılında, Marie Sklodowska Curie ve eşi Pierre Curie uranyumdan 60 kez daha radyoaktif olan Polonyumu (Po) ve Uranyumdan 400 kez daha radyoaktif olan Radyum’u (Ra) bulmuştur. Becquerel ve Curiler yapmış oldukları bu çalışmalar neticesinde, 1903 yılında Nobel ödülü almışlardır. Radyoaktivitenin keşfinden sonra, 1903 yılında Frederick Soddy tarafından radyoizotopluk olayı keşfedilmiş, 1934 yılında ise Pierre

ve Marie Curie'nin kızı İrene Curie ve eşi Jean Frederick Joliot-Curie tarafından yapay aktivite bulunmuştur (Myers, 1976).

Radyoaktifliğin nedeni atom çekirdeğinin kararsızlığıdır ve atom çekirdeğinin kararlı olma durumu çekirdekdeki kuvvetler ile ilişkilidir. Atom çekirdeğinde protonları ve nötronları dağılmadan bir arada tutan “güçlü çekirdek kuvveti”, protonlar ile nötronlar arasında mevcut olan “zayıf çekirdek kuvveti” ve elektronları yörüngede tutan “elektriksel itme kuvveti” olmak üzere üç tür kuvvet bulunmaktadır. Güçlü çekirdek kuvveti evrendeki en güçlü kuvvet olup, alfa radyasyonu salınımına sebep olmaktadır. Kısa menzillidir; etkisi çekirdeğin çapı kadar kısa bir mesafe ( $10^{-15}$  m) ile sınırlıdır. Güçlü çekirdek kuvvetinin yanı sıra zayıf çekirdek kuvveti de atom çekirdeğinde bulunan nötron ve proton sayılarının dengede bulunmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bu dengenin korunması için proton nötrona veya nötron protona dönüşerek beta radyasyonu salınır. Ancak zayıf çekirdek kuvvetinin etkisi yalnızca proton boyutunun %1'i kadar mesafe ( $10^{-18}$  m) ile sınırlıdır. Atom çekirdeğindeki özellikle güçlü çekirdek kuvveti çekirdeğin bir arada dengeli bir duruş sergilemesine imkân tanımaktadır. Atom çekirdeğinde bulunan nükleon sayısının olması gerekenden fazla olması durumunda nükleonlar arası mesafe artmaya başlar ve çekirdek kuvvetleri azalır. Elektriksel itme kuvveti çekirdek kuvvetleri gibi azalsa da bu azalma oldukça küçük bir mertebededir. Nükleonların artması (protonların artması) sonucunda protonlar arası elektriksel itme kuvveti çekirdek kuvvetlerini aşmaya başlar. Böylece çekirdek kararlılığı azalır ve kararsız olan çekirdek kararlı hale gelmek için kararlı bir nötron/proton sayısına ulaşıncaya kadar alfa, beta ve/veya gama radyasyonu yoluyla radyoaktif ışınım yaparak bozunuma uğrar. Kararsız olan ve ilk bozunuma uğrayan çekirdek “ana çekirdek”, ana çekirdeğin bozunumu sonucunda oluşan ve kararlı duruma geçinceye kadar bozunuma uğrayan çekirdekler ise “ürün çekirdek” olarak tanımlanmaktadır.

Doğada bilinen yaklaşık 3.000 çekirdeğin yaklaşık 266'sı kararlı yapıdadır. Çekirdeğin kararlı olma durumu atom çekirdeğindeki mevcut kuvvetler arasındaki dengenin sağlanabilmesi için yukarıda da bahsedildiği gibi nötron ve proton sayısına bağlıdır. Çekirdek kararlılığının nötron/proton değerine bağlılık eğrisi Şekil 2.1'de verilmiştir.



**Şekil 2.1 :** Çekirdek kararlılık eğrisi (Beiser, 2008).

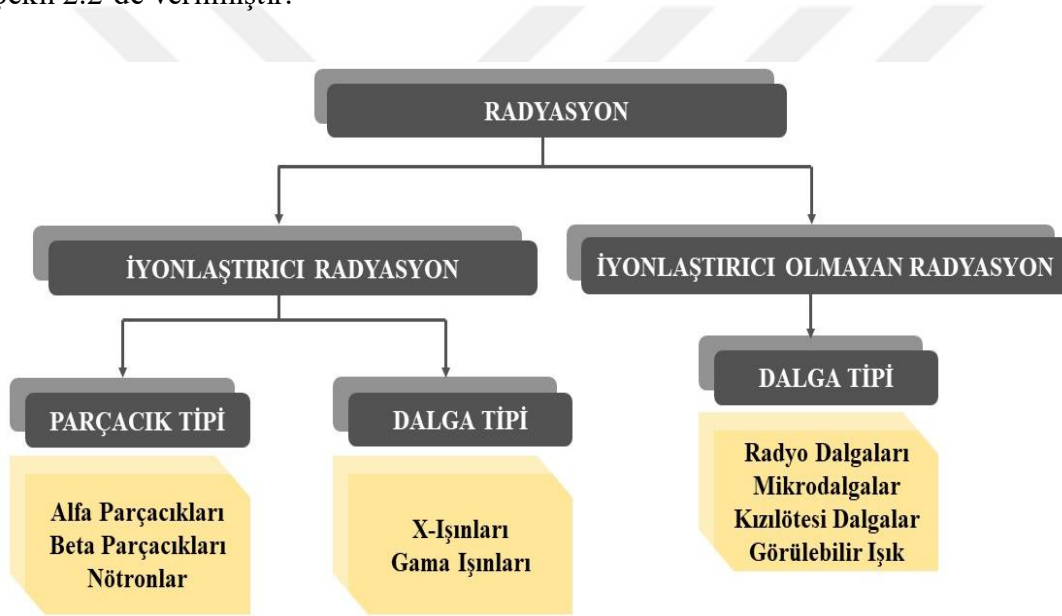
Çekirdek kararlılık eğrisine bakıldığında atom numarası 20'ye kadar olan çekirdeklerin nötron ve proton sayılarının eşit ve nötron/proton sayısı oranının 1 olduğu net bir şekilde görülmektedir. Ancak proton sayısının artmasıyla bu eşitlik bozulmaya başlamakta ve atom numarası 83'ten büyük çekirdeklerin tümünün kararsız olduğu görülmektedir. Çekirdeğin kararlı olma durumu ile ilgili bir genelleme yapılacak olunursa; nötron/proton sayısı oranı 1 ile 1.5 arasında olan atom çekirdekleri genellikle kararlı olup 1.5'ten daha büyük olan atom çekirdekleri kararsızdır diyebiliriz.

Kararlı çekirdeklerin çoğunda proton ve/veya nötron sayıları çifttir. 266 kararlı çekirdeğin 159 tanesinde hem nötron ve hem de proton sayılarının çift olduğu, 103 tanesinde nötron veya proton sayılarının çift olduğu belirlenmiştir. Geriye kalan 4 kararlı çekirdeğin ise hem nötron ve hem de proton sayıları tek olup bunlar  ${}^2_1H_1$ ,  ${}^6_3Li_3$ ,

$^{10}_5B_5$  ve  $^{14}_7N_7$ 'tur. Belirli sayıda nötron ve/veya protona sahip çekirdekler diğer çekirdeklere kıyasla daha kararlı yapıdadırlar. Bu sayı değerlerine “sihirli sayılar” adı verilmektedir. Bu sihirli sayılar 2, 8, 20, 28, 50, 82 ve 126'dır. Sihirli sayılara sahip kararlı çekirdekler 56 tanedir ve bunlara  $^4He$ ,  $^{15}N$ ,  $^{16}O$ ,  $^{40}Ca$  ve  $^{112}Sn$  örnek olarak verilebilir (Bloch, 1946).

## 2.2 Radyasyon Çeşitleri

Radyasyon enerjisine göre düşük ve yüksek enerjili radyasyon, madde ile etkileşimine göre de “iyonlaştırıcı radyasyon” ve “iyonlaştırıcı olmayan radyasyon” olarak ikiye ayrılmaktadır. Radyasyonun madde ile etkileşimine göre çeşitlerini özetleyen şema Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2 : Radyasyon çeşitleri.

### 2.2.1 İyonlaştırıcı Radyasyon

İyonlaştırıcı radyasyon atomla etkileşime girerek iyonizasyon meydana getiren yüksek enerjili radyasyon türüdür. İyonizasyon olayı herhangi bir maddede, insanlar dahil tüm canlılarda oluşabilmektedir. İyonlaştırıcı radyasyon; radyasyon türüne, dozuna ve enerjisine bağlı olarak hücrelere nüfuz ederek biyolojik olarak canlılara zarar verebilmekte, iyonlaşma ve uyarılma meydana getirerek hücrenin DNA zincirlerinde kırılmalara ve hücre içerisinde toksinlerin oluşmasına neden olabilmektedir (Coşkun, 2011). İyonlaştırıcı radyasyon kendi içinde dalga tipi ve parçacık tipi olarak ikiye ayrılmaktadır. Parçacık tipi iyonlaştırıcı radyasyon türleri; alfa parçacıkları, beta

parçacıkları ve nötronlardır. Dalga tipi iyonlaştırıcı radyasyon türleri ise X-ışınları ve gama ışınlarıdır.

### **2.2.1.1 Alfa Parçacıkları**

Alfa parçacıkları, iki proton ve iki nötrondan oluşan +2e'lik pozitif yüke sahip bir helyum ( ${}^4_2\text{He}$ ) çekirdeğidir. Genellikle, atom numarası 83'ten büyük olan izotopların bozunumu sırasında ortaya çıkmaktadır. Alfa parçacıklarının bağıl kütlesi elektron kütlesinin yaklaşık 8000 katıdır. "α" ile sembolize edilen bu parçacıkların ortalama enerjileri 5 MeV civarında olup giricilikleri oldukça azdır, bu nedenle de ince bir kağıt tabakası ile bile durdurulabilmektedir. Alfa parçacıkları yolları üzerinde birçok iyonlaşma meydana getirerek enerjilerini hızlı bir şekilde kaybeder. Bu nedenle de aldıkları mesafe oldukça kısa olmaktadır. Giriciliklerinin az olması nedeniyle dış radyasyon tehlikesi oluşturmazlar. Ancak; sindirim, solunum ve yaralar ile vücuda girdiklerinde çok tehlikeli olabilirler (Karpuzcu, 1991).

### **2.2.1.2 Beta Parçacıkları**

Beta parçacıkları elektronlarla aynı kütleye sahip ( $5.49 \times 10^{-4}$  akb) negatif veya pozitif yüklü parçacıklardır. Beta parçacıkları da alfa parçacıklarında olduğu gibi belli bir yük ve kütleye sahip olduklarından yolları üzerinde iyonlaşmaya sebep olurlar. Ancak "β" ile sembolize edilen bu parçacıklar alfa parçacıklarına kıyasla daha az iyonlaşmaya sebep olurlar. Beta parçacıkları alfa parçacıklarına göre 8000 kat daha hafif ve yüz kere daha giricidirler. Ortalama enerjileri 1 MeV civarındadır. Beta parçacıklarından ince alüminyum levhadan veya plastikten yapılmış zırh malzemeleri ile korunmak mümkündür (Alpen,1997).

### **2.2.1.3 Nötronlar**

Nötronlar yüksüz parçacıklardır, bu nedenle de giricilikleri oldukça fazladır. Nötrondan korunmak için su, parafin, polietilen veya kalın beton zırhlanması kullanılmaktadır. Doğrudan bir iyonlaşmaya neden olmazlar. Atmosferde kozmik ışınların etkileşmesi, nükleer fizyon ve füzyon sonucunda ortaya çıkarlar (Karpuzcu, 1991).

#### 2.2.1.4 X-ışınları

Dalga tipi iyonlaştırıcı radyasyon türlerinden olan X-ışınları ise gözle görülemeyen, dalga boyları 0.01-10 nm arasında olan, elektromanyetik spektrumda gama ışınları ve ultraviyole ışınlar arasında yer alan elektromanyetik dalgalardır. X-ışınları doğal ve yapay olmak üzere iki şekilde oluşabilmektedir. Doğal olarak oluşan X-ışınları bir atoma dışarıdan gelen veya gönderilen yüksek enerjili elektronların atomda bir enerji seviyesinde bulunan elektronu koparması sonucunda oluşur. Koparılan bu elektronun boşluğu daha yüksek enerji seviyesinden bir elektronun atlaması ile doldurulur. Böylece yüksek enerji seviyesinden daha düşük enerji seviyesine elektron atlaması sonucunda bir enerji fazlalığı ortaya çıkar. Bu enerji fazlalığı dışarıya X-ışını olarak salınır. Oluşan X-ışınına “karakteristik X-ışını” adı verilmektedir.

X-ışınları yapay olarak ise röntgen tüplerinde elde edilmektedir. X-ışını tüpü de denen röntgen tüpü havası alınmış, anot ve katottan oluşan bir diyottur. X-ışını tüpünde bulunan katot ısıtılır ve katottan çıkan elektronlar yüksek gerilimle hızlandırılarak katotun karşısında yer alan anota çarptırılır. Çarpışma sonucunda elektronlar durdurulur ve kaybettikleri enerji x-ışınları olarak yayımlanır. Bu olaya “Bremmstrahlung olayı”, oluşan x-ışınına ise “Bremmstrahlung (frenleme ışını)” adı verilmektedir. X-ışınlarından korunmak için kurşun zırhlar kullanılmaktadır. X-ışınlarının tıpta, sanayide ve bilimsel amaçlı olarak yaygın kullanımı mevcuttur (Singh, 2005).

#### 2.2.1.5 Gama Işınları

Gama ışınları, X-ışınları gibi giriciliği oldukça yüksek, yüksek enerjili, yüksüz ve kısa dalgaboylu elektromanyetik dalgalardır. Simgesi “ $\gamma$ ” olan gama ışınlarının iyonlaşmaya sebep olma etkileri oldukça düşüktür. Alfa ve beta bozunumu sonucunda radyoaktif bozunmaya uğrayan çekirdek kararlı hale gelebilmek için gama ışını yayımlayarak fazla enerjisini atar ve kararlı hale gelir. Gama ışınlarının giriciliği çok yüksek olduğu için kalın kurşun zırhlar korunmak amacıyla kullanılmaktadır. Yapay olarak  $\text{Ir}^{192}$  ve  $\text{Co}^{60}$  gibi izotopların bozunması sonucunda elde edilir ve tıpta kanser hücrelerini öldürmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Dams, 2013).



### 2.2.2 İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon

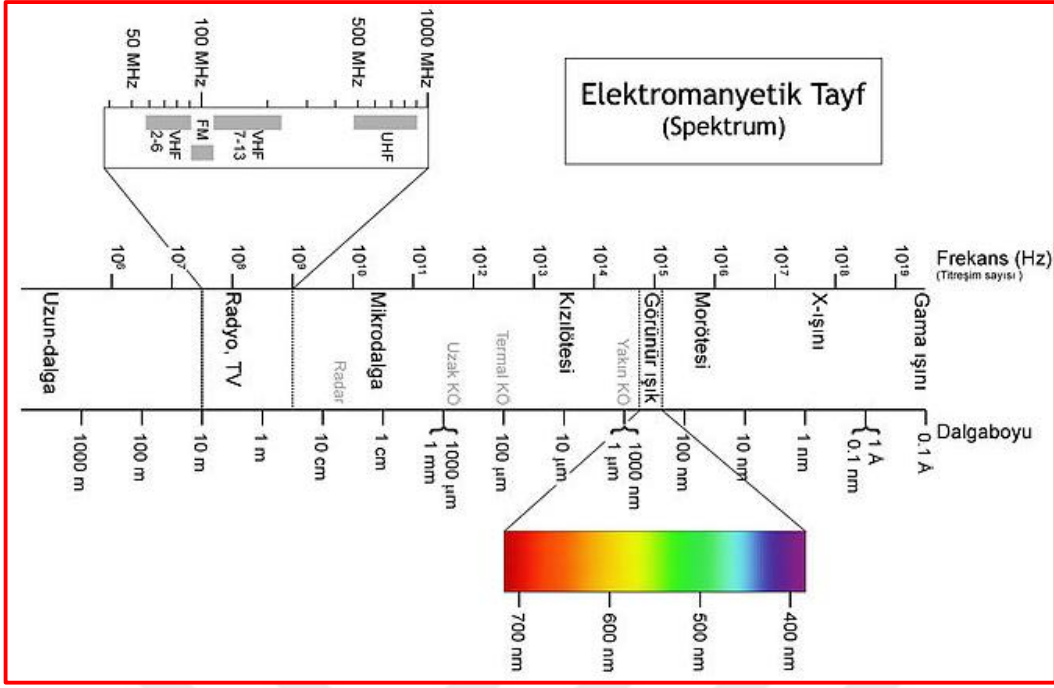
İyonlaştırıcı olmayan radyasyon düşük enerjili radyasyon türüdür. Enerjisi atomla etkileştiğinde iyonizasyon meydana getirebilecek kadar yüksek olmadığı için yalnızca uyarmakla kalır. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon türü dalga tipinde olup; radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızılötesi dalgalar ve görülebilir ışık bu radyasyon türüne örnek olarak verilebilir.

Radyo dalgaları; elektromanyetik spektrumda en büyük dalga boyuna sahip (1 mm-100 km) iyonlaştırıcı olmayan radyasyon türlerinden biridir. Hızları ışık hızına eşittir. Şimşekler doğal radyo dalgalarına; radyo ve televizyon yayınları, navigasyon sistemleri ve uydu haberleşme sistemleri yapay radyo dalga kaynaklarına örnek olarak verilebilir (Özdemir, 2015).

Mikrodalgaların dalga boyu ise 0.01 mm ile 0.1 m arasındadır. Yağmur, sis ve kar içinden geçebilme özelliğine sahip olduğundan genellikle iletişim amacıyla kullanılmaktadır. Radarlar, cep telefonları, mikrodalga fırınlar gibi birçok alanda mikrodalgalardan faydalanılmaktadır (Özdemir, 2015).

Kızılötesi dalgalar; 750 nm ile 10 µm arasında dalgaboyuna sahip ışınlardır. Elektromanyetik spektrumda görülebilir ışıktan daha uzun, mikrodalgalardan daha kısa dalga boyuna sahiptir. Gece görüş, hedef tespiti ve kısa mesafeli haberleşme gibi alanlarda kullanılmaktadır (Özdemir, 2015).

Görülebilir ışık; insan gözü tarafından görülebilen dalga boyu 400 nm ile 700 nm arasında değişen radyasyon türüdür. Farklı dalga boylarındaki ışığın gözde farklı şiddetteki uyarılar yapması sonucunda insan gözü ışığı farklı renklerde algılamaktadır. En uzun dalga boylu görünür ışık kırmızı renkte, en kısa dalga boylu görünür ışık ise mor renktedir (Özdemir, 2015).



Şekil 2.3 : Elektromanyetik Spektrum (Url-1).

## 2.3 Radyoaktif Bozunma

### 2.3.1 Bozunma Kanunu

Radyoaktif bozunma kanunu; başlangıçta bir t anında bulunan N radyoaktif çekirdeğin dt süresi içinde bozulan dN çekirdek sayısı ile ilişkisini ifade etmektedir. Bir radyoaktif çekirdeğin birim zamandaki bozunma olasılığına “bozunma sabiti” adı verilir ve  $\lambda$  ile gösterilmektedir. Bozunma olasılığı;

$$\lambda = -\frac{dN}{dt} \quad (2.1)$$

olarak ifade edilmektedir. Birimi  $s^{-1}$ 'dir. Denklemdaki negatif işaret başlangıçtaki N radyoaktif çekirdeğin bozunmalar sonucunda azaldığını göstermektedir. Bu denklemin integrali bozunma kanununu vermektedir:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.2)$$

burada  $t=0$ 'da başlangıçtaki N radyoaktif çekirdeği ve N(t) ise t süresinde bozunmadan kalan çekirdek sayısını göstermektedir. Radyoaktif çekirdeğin herhangi bir anda miktarının yarısının bozunması için geçen süreye “yarılanma süresi” ya da “yarı ömür”

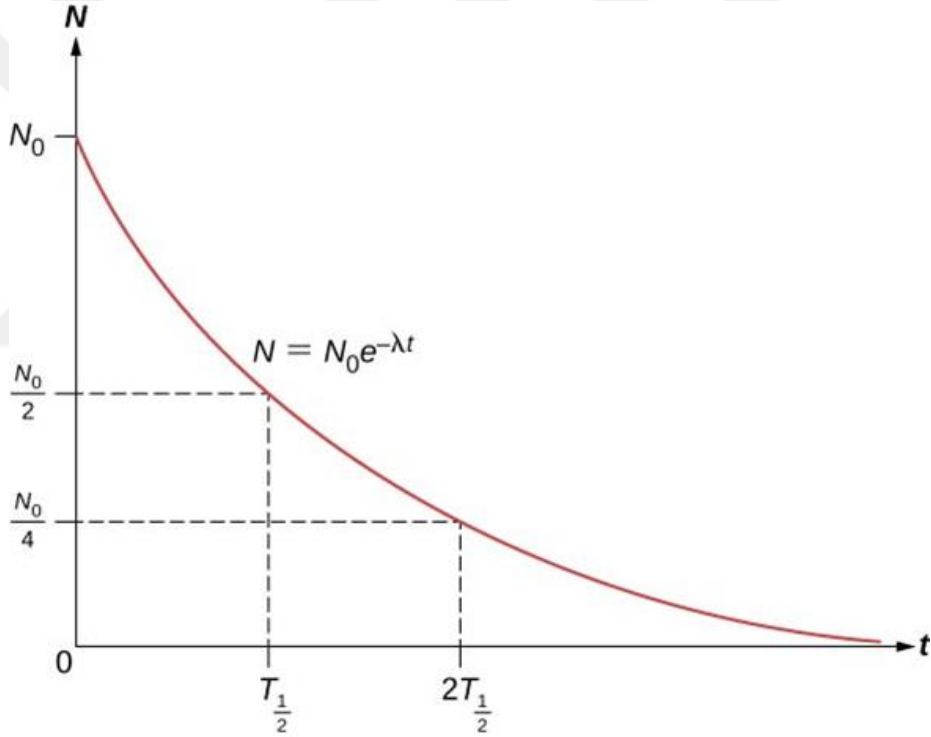
adı verilmektedir. Denklem 2.2’de  $N$  yerine  $N_0/2$  konulursa ve  $t$  anı yarı ömür olarak  $t_{1/2}$  olarak ifade edilirse;

$$\frac{1}{2} = e^{-\lambda t_{1/2}} \quad (2.3)$$

ifadesi bulunur. Bu ifadenin her iki tarafının  $e$  tabanına göre logaritması alınır ve  $t_{1/2}$ ’ye göre düzenlenirse yarı ömür;

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda} \quad (2.4)$$

olarak bulunur. Yarı ömür, denklem 2.4’te de görüldüğü gibi radyoaktif maddenin miktarına bağlı değildir. Yarı ömür radyoaktif maddeler için ayırt edici bir özelliktir.



Şekil 2.4 : Radyoaktif bozunma kanunu grafiği (Young, 2007).

Radyoaktif çekirdeğin bozunmaya kadar geçirdiği ortalama süresine ise “ortalama ömür” denilmektedir. Ortalama ömür  $\tau$ ;

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{t_{1/2}}{\ln 2} = 1.44 t_{1/2} \quad (2.5)$$

olarak ifade edilir. Ortalama ömür değeri yarı ömür değerinden 1.44 kat daha yüksektir.

Radyoaktif maddenin canlı dokuya veya organa verilmesi sonucunda verilen miktarının biyolojik ortamdan yarısının atılması için geçen süreye “biyolojik yarı ömür” denilmektedir ve  $t_B$  ile gösterilmektedir.

Vücutta radyoaktif maddenin etkin olduğu süreye ise “etkin yarı ömür” denilmektedir ve  $t_{eff}$  ile gösterilmektedir. Etkin yarı ömür;

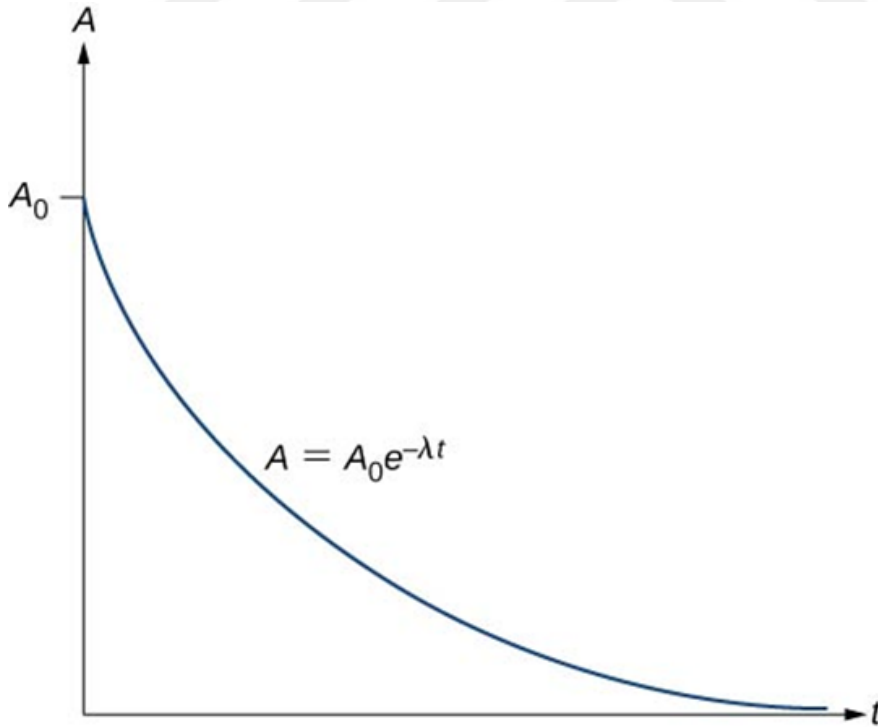
$$t_{eff} = \frac{t_B \cdot t_{1/2}}{t_B + t_{1/2}} \quad (2.6)$$

denklemini ile ifade edilir.

Bir radyoaktif maddenin birim zamandaki bozunma miktarına aktivite denilmektedir. Bir radyoaktif maddenin aktifliği  $A$  ile gösterilir ve aşağıdaki denklem ile tanımlanır:

$$A(t) = \lambda N(t) = A_0 e^{-\lambda t} \quad (2.7)$$

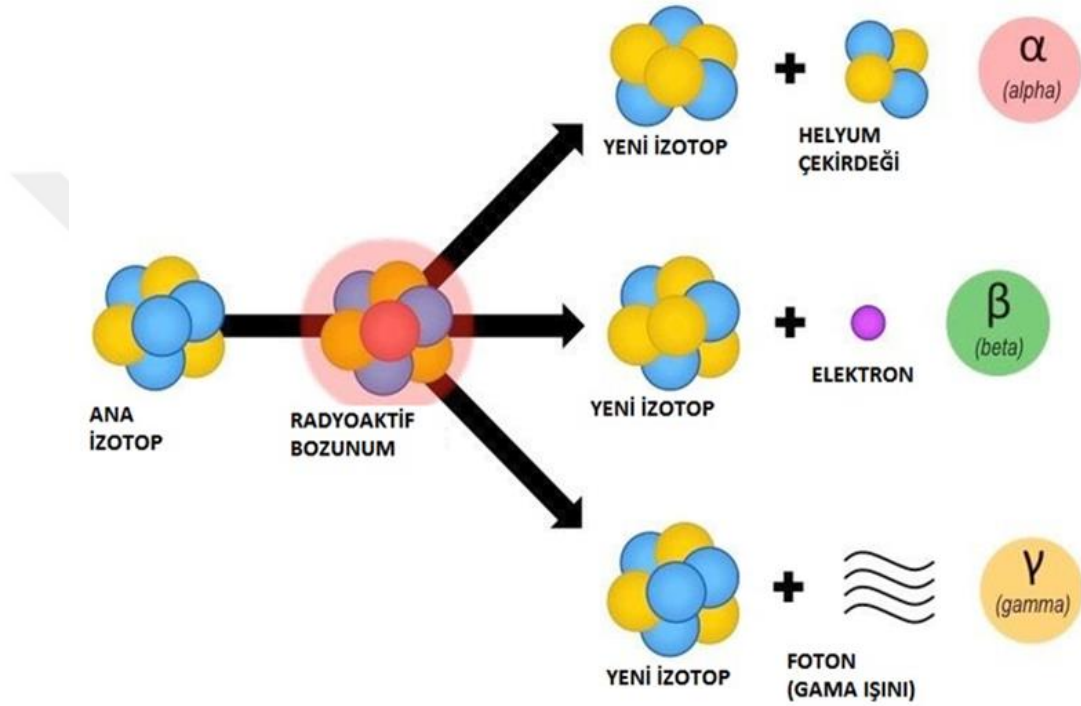
$A_0$ ;  $t=0$  anındaki yani başlangıçtaki aktivitedir. Denklem 2.7’de verilen eşitlik aktifliğin zaman içinde üstel olarak azaldığını göstermektedir.



Şekil 2.5 : Aktivitenin zamana göre fonksiyonu grafiği (Young, 2007).

### 2.3.2 Bozunma Türleri

Kararsız çekirdekler çeşitli yollar ile bozunuma uğrayarak kararlı duruma geçmeye çalışır. Bu süreçte kararsız ana ve ürün radyoaktif çekirdekler alfa, beta ve/veya gama bozunumu yolları ile daha kararlı bir çekirdek haline gelmeye çalışır. Genel olarak; alfa bozunumu, beta bozunumu ve gama bozunumu olmak üzere üç çeşit radyoaktif bozunum türü bulunmaktadır. Radyoaktif bozunum türleri Şekil 2.6’da şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.6 : Radyoaktif bozunum türleri.

#### 2.3.2.1 Alfa Bozunumu

Hem proton hem de nötron fazlalığından dolayı çekirdek kararsızlığı mevcut ise kararsız çekirdek bir alfa parçacığı yayımlayarak kararlı hale geçmeye çalışır. Yayımlanan alfa parçacığı iki proton ve iki nötrondan oluşan bir Helyum ( ${}^4_2\text{He}$ ) çekirdeğidir. Alfa bozunumu durumunda kararsız çekirdeğin kütle numarasında 4 ve atom numarasında 2 eksilme olur. Bu durum genel olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir:



burada A çekirdeğin kütle numarasını, Z proton sayısını, X kararsız durumdaki bozunuma uğrayan çekirdeği ve Y ise radyoaktif bozunum sonucunda oluşan ürünü ifade etmektedir. Alfa bozunumu sonucunda elektriksel yük, enerji ve momentum korunmaktadır. Bu bozunma türüne Uranyum izotopu olan  $^{238}\text{U}$ 'in alfa bozunumuna uğrayarak  $^{234}\text{Th}$ 'e dönüşümü örnek olarak verilebilir:

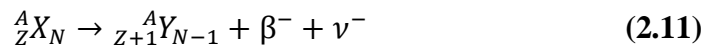


Kararsız çekirdeğin alfa bozunumuna uğraması sonucunda yeni oluşan çekirdek kararlı durumda veya kararsız durumda olabilmektedir. Yeni oluşan çekirdeğin kararsız olması durumunda yeni oluşan çekirdek gama bozunumuna uğrayarak kararlı duruma geçmektedir.

### 2.3.2.2 Beta Bozunumu

Beta bozunumunda bir proton nötrona veya bir nötron protona dönüşerek kararsız durumda olan çekirdek kararlı duruma geçebilir. Negatif elektron yayınlama (negatron ( $\beta^-$ ) bozunumu), pozitif elektron yayınlama (pozitron ( $\beta^+$ ) bozunumu) ve elektron yakalama olayı olmak üzere üç farklı şekilde beta bozunumu oluşabilmektedir. Her üç beta bozunumu sonucunda kütle numarasında herhangi bir değişiklik meydana gelmez.

$\beta^-$  bozunumu nötron fazlalığı nedeniyle kararsız çekirdeğin kararlı olmak için yaptığı bozunum türüdür. Bu durumda kararsız çekirdek, nötronlarından birini proton, elektron ve anti-nötrinosa dönüştürür. Sonuçta kararsız çekirdeğin atom numarası bir artarak kendinden sonraki elementin izobarına dönüşür.  $\beta^-$  bozunumu süreci aşağıdaki gösterimlerle ifade edilmektedir:



burada X kararsız bozunan çekirdek, Y bozunma sonucu oluşan yeni çekirdek,  $\bar{\nu}$  ise anti-nötrinodur.  $\beta^+$  bozunumu nötron azlığı nedeniyle kararsız çekirdeğin kararlı olmak için yaptığı bozunum türüdür. Bu bozunma türünde kararsız çekirdek protonlarından birini nötron, elektron ve elektron nötrinosa dönüştürür.  $\beta^+$  bozunum süreci aşağıdaki gösterimlerle ifade edilmektedir:

$$p \rightarrow n + e^+ + \nu \quad (2.12)$$

$${}^A_ZX_N \rightarrow {}^A_{Z-1}Y_{N+1} + \beta^+ + \nu \quad (2.13)$$

burada X kararsız bozunan çekirdek, Y bozunma sonucu oluşan yeni çekirdek,  $\nu$  ise nötrindir.

Elektron yakalama olayında ise düşük enerjili elektronun kararsız çekirdek tarafından yakalanması durumudur. Yakalanan elektrondan boşalan enerji düzeyi daha yüksek enerji düzeyindeki elektron tarafından doldurulur. Elektron yakalama süreci aşağıdaki gösterimlerle ifade edilmektedir:

$$p + e^- \rightarrow n + \nu \quad (2.12)$$

$${}^A_ZX_N + e^- \rightarrow {}^A_{Z-1}Y_{N+1} + \nu \quad (2.13)$$

burada X kararsız bozunan çekirdek, Y bozunma sonucu oluşan yeni çekirdek,  $\nu$  ise nötrindir.

Beta bozunumunda, alfa bozunumunda olduğu gibi bozunumuna uğraması sonucunda yeni oluşan çekirdek kararlı durumda veya kararsız durumda olabilmektedir. Yeni oluşan çekirdeğin kararsız olması durumunda yeni oluşan çekirdek gama bozunumuna uğrayarak kararlı duruma geçmektedir.

### 2.3.2.3 Gama Bozunumu

Kararsız çekirdek alfa ve beta bozunumu sonrasında genellikle uyarılmış durumdadır ve kararlı duruma geçmek için bir veya birden fazla gama ışınması yaparak çekirdek uyarılmış halden kararlı duruma geçer. Gama bozunumu her zaman bir bozunum sonrasında meydana gelmektedir; kendiliğinden meydana gelmez. Beta bozunumu sonrasında gama bozunumu süreci aşağıdaki gibi örneklendirilerek ifade edilebilir:

$${}^A_ZX_N \rightarrow {}^A_{Z-1}Y_{N+1} + \beta^+ + \nu \quad (2.14)$$

$${}^A_{Z-1}Y_{N+1} \rightarrow {}^A_{Z-1}Y_{N+1} + \gamma \quad (2.15)$$

veya alfa bozunumu sonrasında gama bozunumu süreci aşağıdaki gibi verilebilir:

$${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z-2}Y + {}^4_2He \quad (2.16)$$

$$\frac{A-4}{Z-2}Y \rightarrow \frac{A-4}{Z-2}Y + \gamma \quad (2.17)$$

burada X kararsız bozunan çekirdek, Y bozunma sonucu oluşan yeni çekirdek,  $\nu$  nötrino ve  $\gamma$  ise gama ışınıdır.

### 2.3.3 Bozunma Serileri

Kararsız çekirdekler alfa, beta veya gama radyasyonu yoluyla kararlı duruma geçmeye çalışırlar. Kararsız çekirdeklerin kararlı yapıya geçmeleri çoğunlukla doğrudan meydana gelmez. Bu nedenle; ana radyoaktif çekirdekler kararlı duruma geçinceye kadar ardışık bozunmalara uğrayabilir ve yeni ürün çekirdekler meydana getirerek “radyoaktif bozunma serileri” oluşturabilir. Uranyum, toryum, aktinyum ve neptünyum serileri olmak üzere dört adet radyoaktif bozunma serisi bulunmaktadır. Bu bozunma serilerinden uranyum, toryum ve aktinyum serileri “doğal bozunma serisi”, neptünyum serisi ise “yapay bozunma serisi” olarak adlandırılmaktadır. Doğal ve yapay bozunma serilerinin her biri seriyi tamamladıktan sonra kararlı bir çekirdeğe dönüşür.

#### 2.3.3.1 Uranyum Serisi

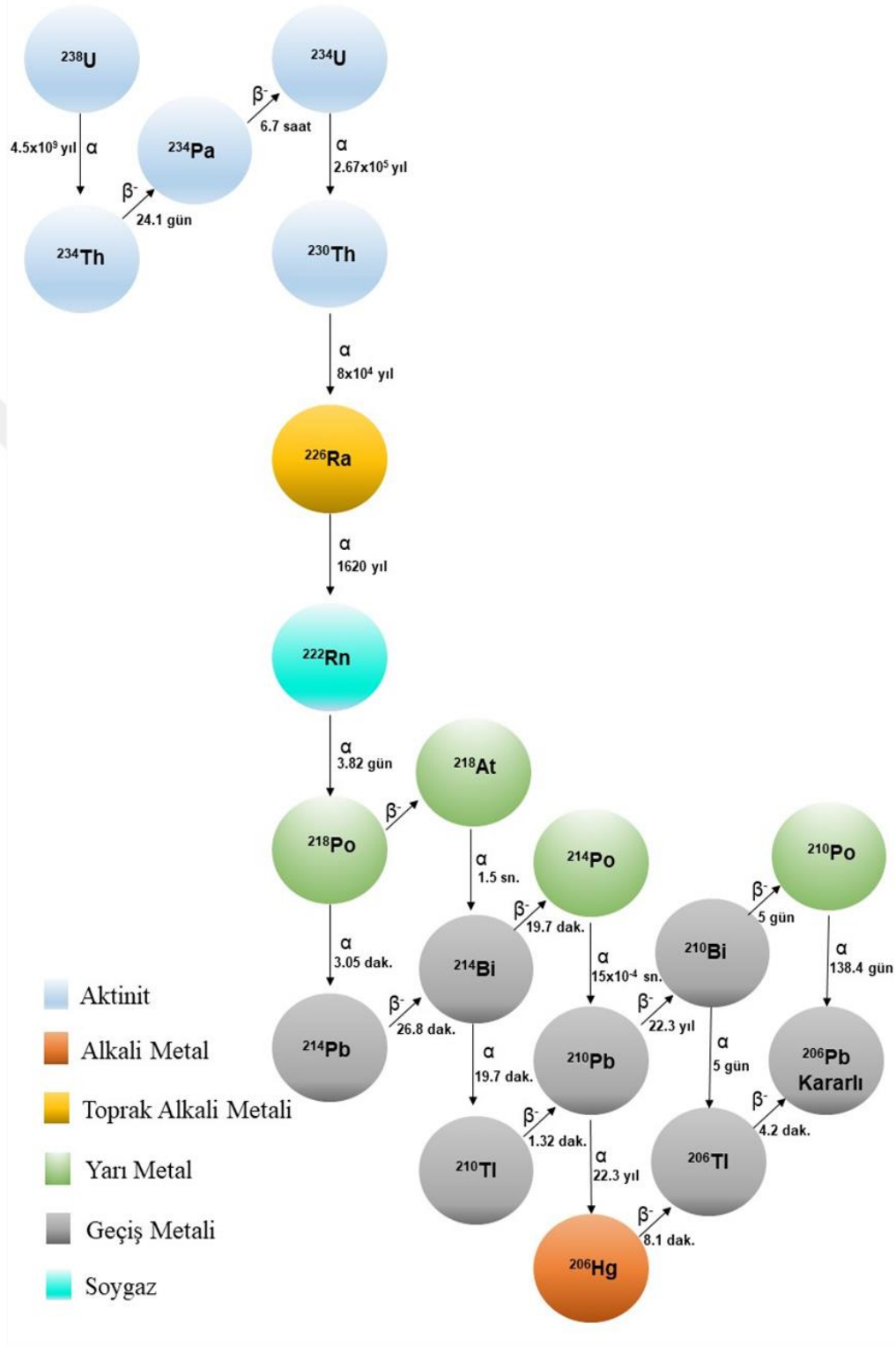
Uranyum serisinin kararsız ana çekirdeği  $^{238}\text{U}$  izotopudur. n bir tamsayı olmak üzere bu serinin kütle numaraları  $4n+2$  şeklindedir ve bu nedenle  $4n+2$  serisi olarak da isimlendirilmektedir. Seride bulunan yavru çekirdekler alfa, beta ve gama bozunumuna uğrar ve seri kurşunun bir izotopu olan kararlı  $^{206}\text{Pb}$  izotopu ile sonlanır. Uranyum serisinde  $^{238}\text{U}$  izotopundan kararlı  $^{206}\text{Pb}$  izotopuna kadar salınan toplam enerji 51.7 MeV’tur. Uranyum serisi ürünleri ve yarı ömürleri Şekil 2.7’de gösterilmiştir. Uranyum; gümüş-beyaz renkte ve parlak ağır bir metaldir.  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  ve  $^{234}\text{U}$  olmak üzere üç farklı izotopu bulunmaktadır. Bunlardan  $^{238}\text{U}$ , uranyumun %99.28’lik kısmını oluşturur (Young, 2009).

#### 2.3.3.2 Toryum Serisi

Toryum serisinin kararsız ana çekirdeği  $^{232}\text{Th}$  izotopudur. Toryumun bilinen 27 izotopu bulunmaktadır. Bunlardan  $^{232}\text{Th}$ ,  $1.4 \times 10^{10}$  yıl yarı ömrü ile en yavaş bozunan izotopudur. Toryum serisinde n bir tamsayı olmak üzere kütle numaraları  $4n$  şeklindedir ve bu nedenle  $4n$  serisi olarak da isimlendirilmektedir.  $^{232}\text{Th}$  izotopu ile başlayan seri Şekil 2.8’de gösterildiği gibi farklı yarı ömürlerle bozunma serisi



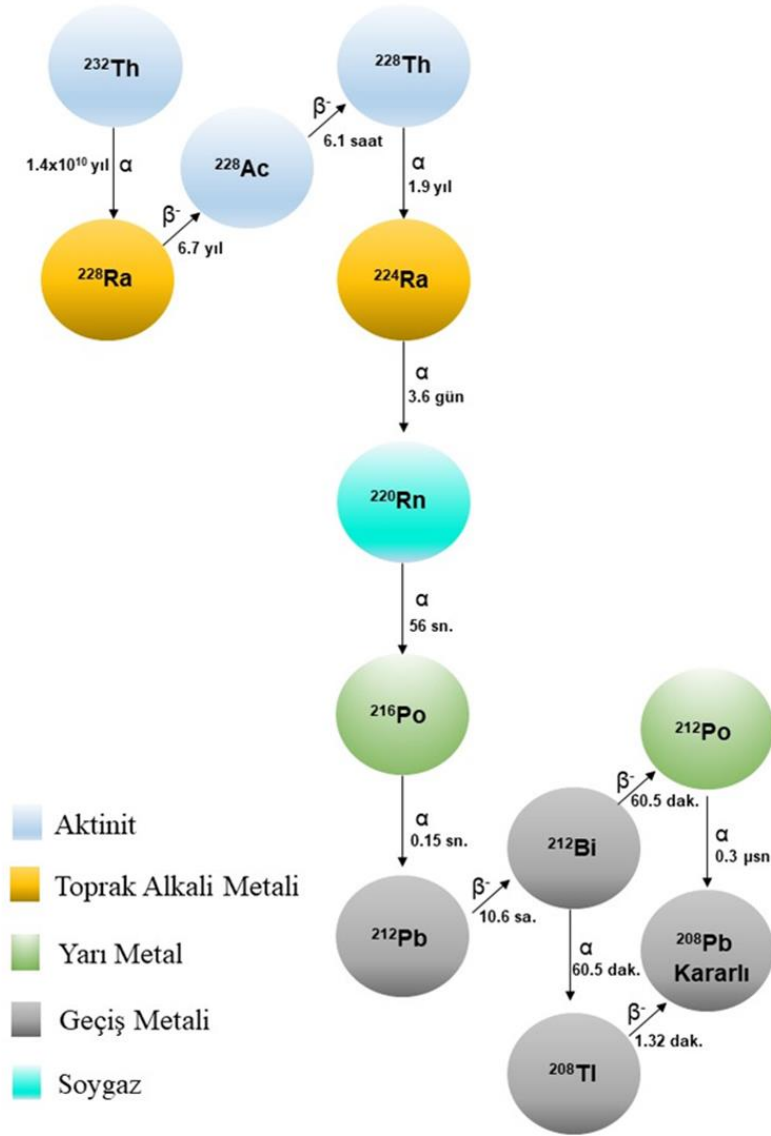
ürünlerine dönüşerek kararlı  $^{208}\text{Pb}$  izotopu ile sonlanır. Uranyum serisinde  $^{232}\text{Th}$  izotopundan kararlı  $^{208}\text{Pb}$  izotopuna kadar salınan toplam enerji 42.6 MeV'tur (Young, 2009; Parsons, 2014).



Şekil 2.7 : Uranyum bozunma ürünleri şeması.

### 2.3.3.3 Aktinyum Serisi

Aktinyum serisinin kararsız ana çekirdeği  $^{235}\text{U}$  izotopudur.  $n$  bir tam sayı olmak üzere aktinyum serisinde kütle numaraları  $4n+3$  şeklindedir ve bu nedenle  $4n+3$  serisi olarak da isimlendirilmektedir. Bu seride kararsız ana çekirdek  $^{235}\text{U}$  izotopu kararlı  $^{207}\text{Pb}$  izotopuna ulaşana kadar bozunmaya uğramaktadır ve bozunmada salınan toplam enerji 46.4 MeV'tur (Young, 2009). Aktinyum serisi Şekil 2.9'da gösterilmiştir.

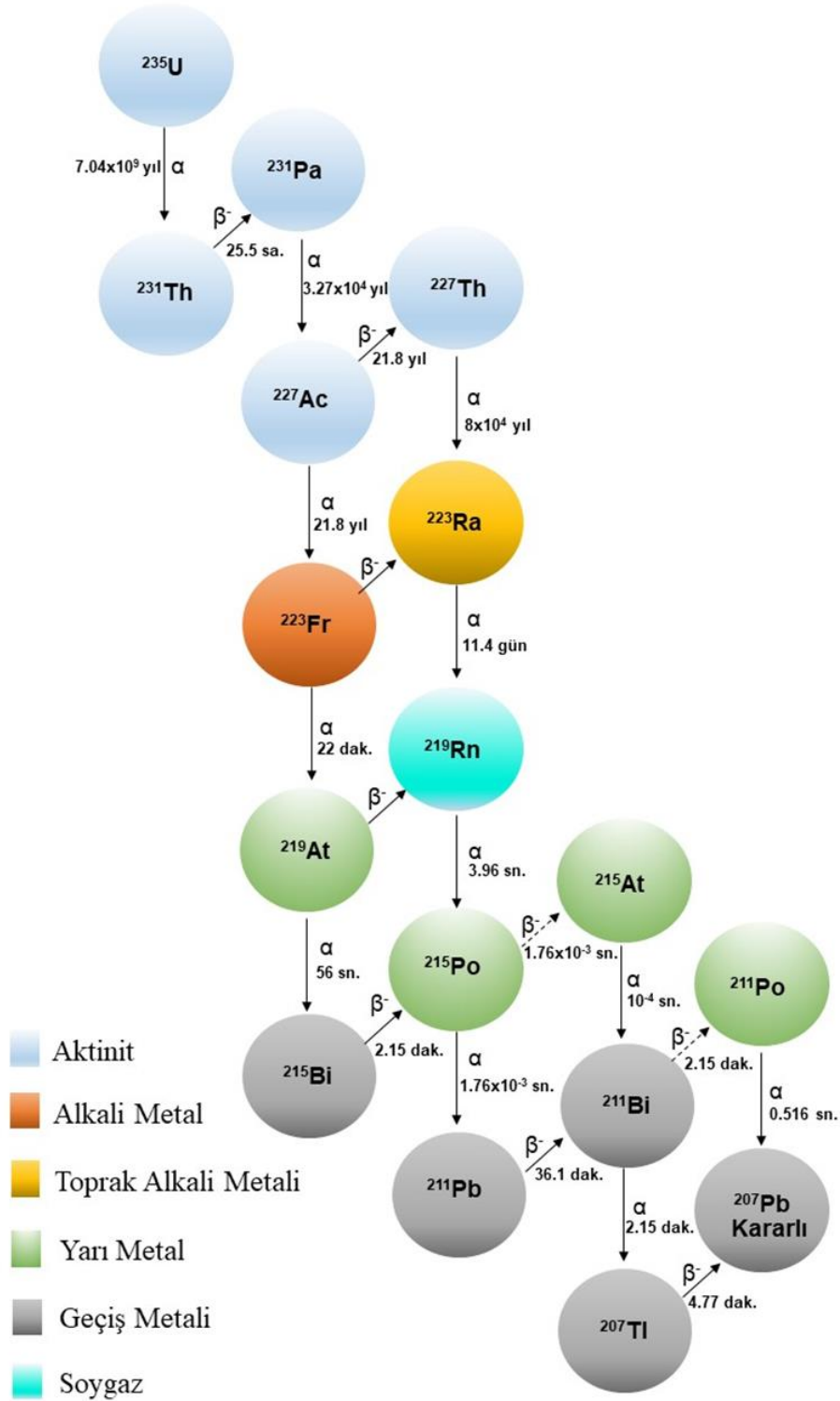


Şekil 2.8 : Toryum bozunma ürünleri şeması.

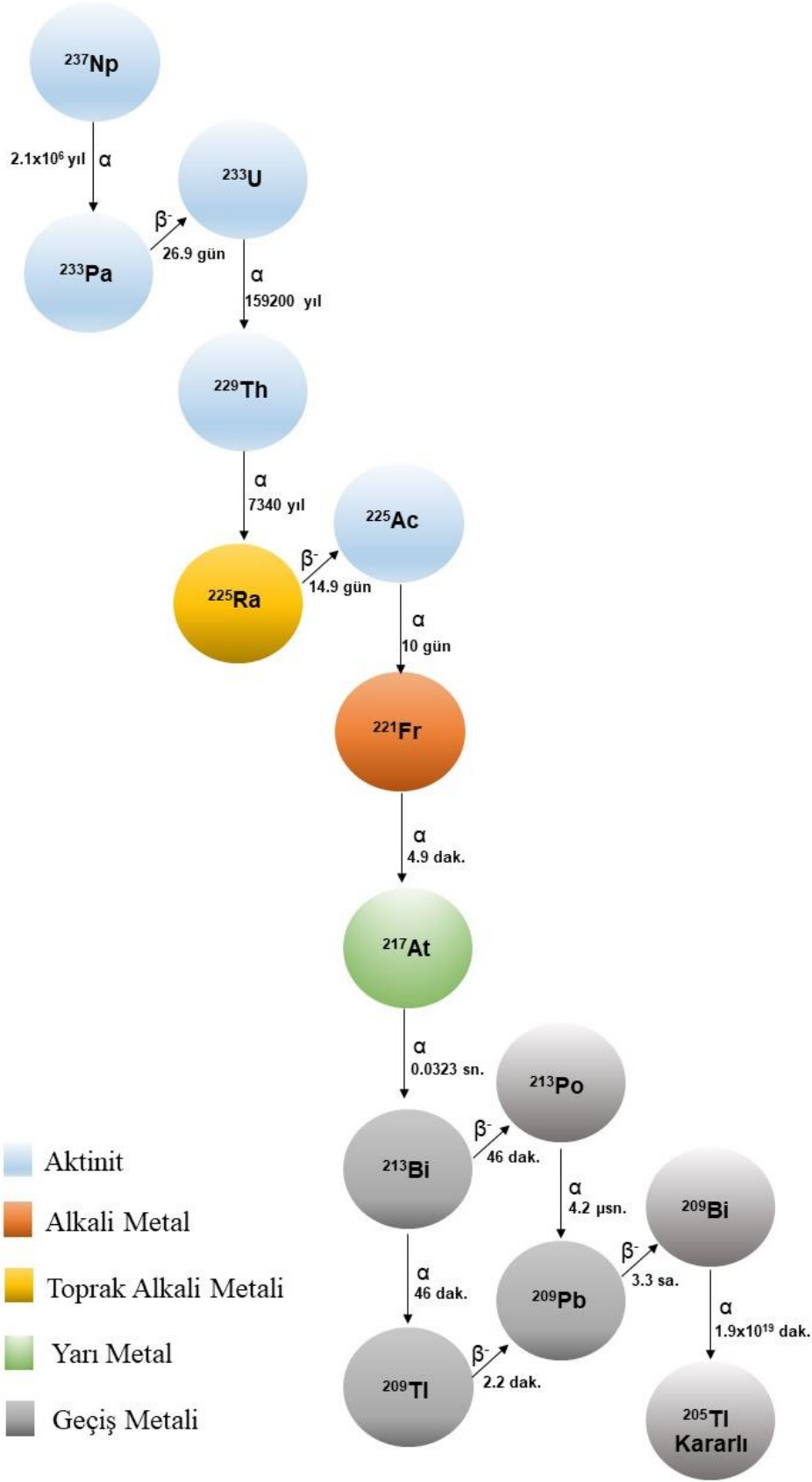
### 2.3.3.4 Neptünyum Serisi

Neptünyum serisi yapay bozunum serisi olup seride Bizmut ve Talyum dışında doğada bulunan başka bir element bulunmamaktadır (Kurt, 2015). Bu serinin kararsız ana çekirdeği  $^{237}\text{Np}$  izotopudur.  $n$  bir tamsayı olmak üzere serinin kütle numaraları  $4n+1$

şeklindedir ve bu nedenle  $4n+1$  serisi olarak da isimlendirilmektedir. Bu seri diğer serilerden farklı olarak kararlı kurşun izotopu ile son bulmamaktadır. Son kararlı bozunma ürünü  $^{205}\text{Tl}$ 'dir (Young, 2009). Serinin bozunma ürünleri şeması Şekil 2.10'da verilmiştir.



Şekil 2.9 : Aktinyum bozunma ürünleri şeması.



Şekil 2.10 : Neptünyum bozunma ürünleri şeması.

## 2.4 Radyasyon Birimleri

Radyasyon çalışmalarında 1986 yılına kadar “Uluslararası Radyasyon Birimleri Komitesi (ICRU)” tarafından aktivite, ışınlama dozu, soğurulma dozu ve doz eşdeğeri için belirlenen özel birimler kullanılmaktaydı. Ancak 1986 yılından sonra bu birimler yerine tüm dünyada kullanılan birimlerin aynı olması için “Uluslararası Birimler Sistemi (SI)” kullanılmaya başlanılmıştır. Radyasyon çalışmalarında kullanılan tanımlamalar ve birimleri aşağıda verilmiştir.

### 2.4.1 Aktivite Birimi

Eski birimi Curie (Ci) olan aktivitenin SI birim sisteminde birimi Becquerel (Bq)'dir. Adını Marie ve Pierre Curie'den alan Curie (Ci); saniyede  $3.7 \times 10^{10}$  bozunum veya parçalanma gösteren maddenin aktivitesidir. Aktivitenin SI birim sistemindeki birimi Becquerel ise (Bq) saniyede ortalama bir bozunum gösteren maddenin aktivitesidir. Radyoaktivite ölçümlerinde sıvılar için Bq/lt, katılar için Bq kg<sup>-1</sup>, hava için Bq m<sup>-3</sup> ifadeleri kullanılmaktadır.

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq} \quad (2.18)$$

$$1 \text{ Bq} = 2.7 \times 10^{-11} \text{ Ci} \quad (2.19)$$

### 2.4.2 Işınlama Birimi

1962'de ICRU tarafından radyasyona maruz kalma ölçüsü Röntgen (R) olarak verilmiştir. Röntgen; normal hava şartlarında (0°C ve 760 mm Hg basınçta) havanın 1 kg'ında  $2.58 \times 10^{-4}$  C'luk elektrik yükü değerinde (+) pozitif ve (-) negatif iyonlar oluşturan x ve gama radyasyonu miktarıdır. SI birim sisteminde ise radyasyona maruz kalma ölçüsü Coulomb/kilogram (C/kg) olarak verilmiş olup normal hava şartlarında (0°C ve 760 mm Hg basınçta) havanın 1 kg'ında 1 C'luk elektrik yükü değerinde (+) pozitif ve (-) negatif iyonlar oluşturan x ve gama radyasyonu miktarı olarak tanımlanabilir.

$$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C / kg} \quad (2.20)$$

$$1 \text{ C/kg} = 3.88 \times 10^3 \text{ R} \quad (2.21)$$

### 2.4.3 Soğurulma Doz Birimi

Doz; herhangi bir maddenin belirli bir zaman içinde kullanılan ya da tüketilen miktarını ifade etmektedir. Radyasyona maruz kalan nesne veya canlı tarafından soğurulan enerji miktarını tanımlamak için ise soğurulma doz birimleri kullanılmaktadır. ICRU tarafından soğurulma doz birimi Rad olarak, SI birim sisteminde ise Gray (Gy) olarak verilmiştir. Soğurulma doz birimleri olan Rad ve Gray her tür iyonlaştırıcı radyasyon için kullanılabilir. Rad; ışınlanan maddenin 1 kg'ına  $10^{-2}$  joule'lük enerji veren radyasyon miktarıdır. Gray ise ışınlanan maddenin 1 kg'ına 1 joule'lük enerji veren radyasyon miktarıdır.

$$1 \text{ Rad} = 10^{-2} \text{ Gy} \quad (2.22)$$

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ Rad} \quad (2.23)$$

### 2.4.4 Eşdeğer Doz Birimi

Eşdeğer doz terimi radyasyona maruz kalmış dokudaki biyolojik etkiyi ifade etmek için kullanılmaktadır. ICRU tarafından eşdeğer doz birimi Rem (radiation equivalent for man) olarak, SI birim sisteminde ise Sievert (Sv) olarak verilmiştir. Rem; 1 Röntgenlik X veya gama ışını ile aynı biyolojik etkiyi oluşturan herhangi bir radyasyon miktarıdır. Sievert ise 1 Gray'lık X ve gama ışını ile aynı biyolojik etkiyi meydana getiren radyasyon miktarıdır.

$$1 \text{ Rem} = 10^{-2} \text{ Sv} \quad (2.24)$$

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ Rem} = 1 \text{ J.kg}^{-1} \quad (2.25)$$

Soğurulan doz miktarları ve maruz kalınan farklı radyasyon türleri canlılar üzerinde çeşitli hasarlar oluşturmaktadır. Radyasyon türlerinin oluşturduğu biyolojik etkisini hesaplamak için farklı radyasyon türleri için radyasyon ağırlık faktörü ( $W_R$ ) tanımlanmıştır. Eşdeğer doz (H);

$$H (\text{rem}) = D (\text{rad}) \cdot W_R \quad (2.26)$$

eşitliği ile ifade edilir. Radyasyon türlerine göre radyasyon ağırlık faktörleri Çizelge 2.1'de verilmiştir.

**Çizelge 2.1 : Radyasyon ağırlık faktörleri (Yuksel, 2001).**

<b>Radyasyon Tipi</b>	<b>Ağırlık Faktörü (<math>W_R</math>)</b>
x ve $\gamma$ ışınları, $\beta$ parçacığı, elektron	1
( $<10$ keV)	5
(10-100 keV)	10
Nötronlar (100 keV-2 MeV)	20
(2-20 MeV)	10
(>20 MeV)	5
$\alpha$ parçacığı ve diğer ağır parçacıklar	20

Doku veya organların almış olduğu radyasyon dozunun tüm vücut için göstermiş olduğu riski tanımlamak için “etkin doz” kavramı kullanılmaktadır. Her doku veya organ için alınan radyasyon dozu tüm vücut için farklı risk değerleri oluşturmaktadır. Bu nedenle doku ve organlar için farklı doku ağırlık faktörü ( $W_T$ ) tanımlanmış olup; Çizelge 2.2’de ağırlık faktör değerleri verilmiştir. Etkin doz (E);

$$E=H_T \cdot \sum_T W_T \quad (2.27)$$

eşitliği ile verilir. Burada  $H_T$  doku veya organdaki eşdeğer dozu ifade etmektedir.

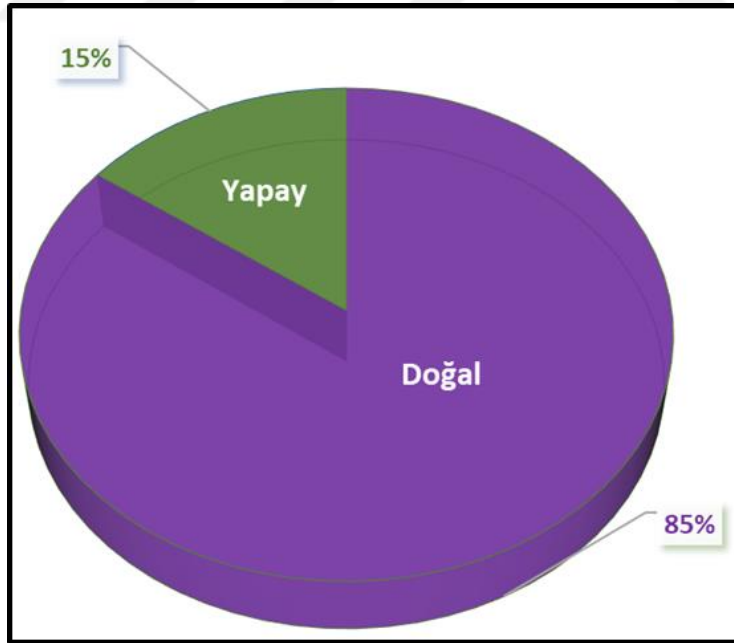
**Çizelge 2.2 : Doku ve organlar için ağırlık faktörleri (Gökharman, 2016).**

<b>Doku / Organ</b>	<b>Ağırlık Faktörü (<math>W_T</math>)</b>
Kemik İliği	0.12
Mesane	0.05
Kemik Yüzeyi	0.01
Meme	0.05
Kolon	0.12
Gonad	0.20
Karaciğer	0.05
Akciğer	0.12
Ösefagus	0.05
Deri	0.01
Mide	0.12
Tiroid	0.05
Diğer	0.05

## 2.5 Radyasyon Kaynakları

Günümüzde mevcut olan çoğu element yaklaşık 4.5 milyar yıl önce Dünyanın oluşumu ile birlikte meydana gelmiştir. Kararsız olan elementler yani radyoaktif olanları hemen bozunmaya başlamış, kısa yarı ömre sahip olanlar tamamen bozunuma uğrayarak yok olmuş, yarı ömürleri kainatın ömrüyle kıyaslanacak kadar büyük olan (en az  $10^{10}$  yıl) radyoizotoplar ise halen bozunmaya devam etmektedir (Fisne, 2002). İnsanlar ve diğer canlılar evrenin oluşumundan beri sürekli olarak kozmik ışıklardan gelen ve yerkürede bulunan doğal radyasyona ve buna ek olarak nükleer silah denemeleri, reaktörler ve tıbbi uygulamalar gibi nedenler ile yapay radyasyona maruz kalmaktadırlar.

Çevremizde radyasyon kaynakları doğal radyasyon kaynakları ve yapay radyasyon kaynakları olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozları oranları Şekil 2.11’de verilmiştir. Canlıların maruz kaldığı radyasyon dozunun yaklaşık %85’i doğal radyasyon kaynaklarından, %15’i ise yapay radyasyon kaynaklarından kaynaklanmaktadır (Tezsezer, 2010).



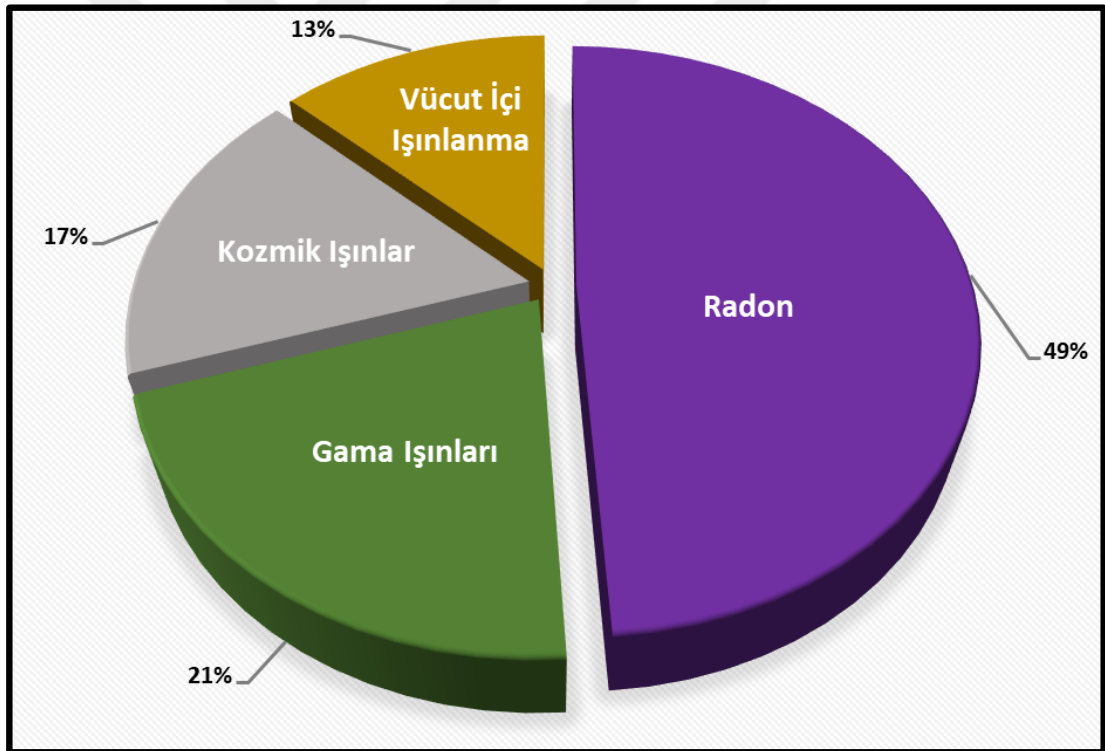
**Şekil 2.11 :** Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan doz oranları.



### 2.5.1 Doğal Radyasyon Kaynakları

Canlılar; evrenden gelen kozmik ışınlar, yerkabuğunda doğal olarak mevcut olan radyoizotoplar ve besinlerde bulunan doğal radyoizotoplar nedeniyle hayatları boyunca radyasyona maruz kalmaktadır.

UNSCEAR 2000 raporuna göre doğal ve yapay radyasyon yolu ile alınan dünya nüfusuna bağlı ortalama yıllık etkin doz yaklaşık olarak 2.8 mSv'tir. Bu toplam yıllık etkin dozun yaklaşık 2.4 mSv'i doğal radyasyon yolu ile alınan dozu, yaklaşık 0.4 mSv'ini ise yapay radyasyon yolu ile alınan dozu oluşturmaktadır (UNSCEAR, 2000). Radon, kozmik ışınlar, gama ışınları ve vücut içi ışınlanma doğal radyasyon kaynaklarını oluşturmaktadır. Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon doz oranları Şekil 2.12'de ve değerleri Çizelge 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.12 : Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon doz oranları (TAEK).

**Çizelge 2.3** : Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından kişi başına maruz kalınan yıllık etkin doz değerleri (UNSCEAR, 2008).

Işınlanma Kaynağı		Yıllık Etkin Doz Değeri (mSv)	
		Ortalama Değer	Değişim Aralığı
Kozmik Radyasyon	Foton Bileşeni	0.28	0.3-1.0 <sup>(a)</sup>
	Nötron Bileşeni	0.10	
	Kozmojenik Radyoizotoplar	0.01	
	Toplam	0.39	
Yeryüzü Kaynaklı Dış Işınlanma	Bina Dışı	0.07	0.3-0.6 <sup>(b)</sup>
	Bina İçi	0.41	
	Toplam	0.48	
Solunum Yolu İle Işınlanma	Uranyum ve Toryum Serileri	0.006	0.2-10 <sup>(c)</sup>
	Radon	1.15	
	Toron	0.10	
	Toplam	1.26	
Beslenme Yolu İle Işınlanma	<sup>40</sup> K	0.17	0.2-0.8 <sup>(d)</sup>
	Uranyum ve Toryum Serileri	0.12	
	Toplam	0.29	
Genel Toplam		2.4	1-10

(a) Deniz seviyesinden yüksekliğe bağlıdır.

(b) Toprak ve yapı malzemelerinin karışımlarına bağlıdır.

(c) Radon gazı konsantrasyonuna bağlıdır.

(d) Yiyecek ve içme sularındaki radyoizotopların konsantrasyonlarına bağlıdır.

Dünyamız sürekli olarak uzaydan gelen çeşitli atomaltı parçacıklara maruz kalmaktadır. Yıldızların oluşumu, ömrünü tamamlaması ve güneş patlamaları gibi nedenlerle oluşan ve dünyamıza ulaşan bu yüksek enerjili atomaltı parçacıklara kozmik radyasyon denilmektedir. Yüksek enerjili atomaltı parçacıkların büyük bir kısmını atmosfere ulaşan protonlar oluşturmaktadır. Kozmik radyasyonun büyük bir kısmı atmosferden geçerken tutulmaktadır ve az bir miktarı yeryüzüne ulaşmaktadır.

Kozmik radyasyon; birincil (primer) ve ikincil (sekonder) kozmik ışınlar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Birincil kozmik ışınlar; uzaydan dünya atmosferine giren yüksek enerjili büyük parçacıklar ve protonlardır ( $10^8$  eV üstü). Birincil kozmik ışınların bir kısmı güneş patlamaları sonucunda oluşmaktadır. İkincil kozmik ışınlar ise birincil kozmik ışınların atmosferde atom çekirdekleri ile etkileşime girmesi sonucu oluşur.

Bunlar; nötron, proton, pion, kaon ve  $^3\text{H}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{22}\text{Na}$  ve  $^{24}\text{Na}$  gibi reaksiyon ürünü olan kozmojenik nüklidlerdir. Bu radyoizotoplardan kaynaklanan yıllık tahmini ortalama etkin doz değerleri  $^3\text{H}$  için  $0,01 \mu\text{Sv}$ ,  $^7\text{Be}$  için  $0,03 \mu\text{Sv}$ ,  $^{14}\text{C}$  için  $12 \mu\text{Sv}$  ve  $^{22}\text{Na}$  için  $0,15 \mu\text{Sv}$  'dir (Soğukpınar, 2013).

Günlük hayatımızda birincil ve ikincil kozmik radyasyon nedeniyle maruz kalınan radyasyon dozunun dünya ortalaması toplam  $0.39 \text{ mSv/yıl}$ 'dır. Kozmik radyasyondan alınan doz miktarı yükseklikle doğru orantılı olarak artmaktadır. Bu nedenle, bir pilotun uçak seyahatlerinde aldığı doz miktarı, deniz seviyesinde çalışan bir kişinin aldığı doz miktarından daha fazladır. Ayrıca; uzaydan dünya atmosferine ulaşan protonlar dünyanın manyetik alanından etkilenmektedir. Bu nedenle de kozmik radyasyon yoğunluğu ve canlıların almış olduğu radyasyon dozu ekvatoran kutuplara gidildikçe artmaktadır.

Yerkabuğunda bulunan doğal radyonüklidlerin ve bozunma serisi ürünlerinin yaymış olduğu gama ışınları nedeniyle vücudumuz radyasyona maruz kalmaktadır. Canlıların maruz kaldığı radyasyon ışınlarının başlıca nedeni toprak, su ve atmosferde yer alan doğal radyasyon kaynaklarıdır. Yerkabuğunda bulunan  $^{238}\text{U}$ , bozunma ürünü  $^{226}\text{Ra}$  ve  $^{235}\text{U}$  doğal radyoaktif serilerinde bulunan radyonüklidler ile  $^{40}\text{K}$ ,  $^{87}\text{Rb}$ ,  $^{138}\text{La}$ ,  $^{147}\text{Sm}$  ve  $^{176}\text{Lu}$  gibi radyonüklidlerin miktarları bölgeye göre değişiklik göstermektedir (UNSCEAR, 2000).

Dünya atmosferinden yeryüzüne inen doğal radyoizotoplar, solunum ve besinler yolu ile iç ışınlanmaya neden olurlar. Havada bulunan  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  bozunum zincirlerindeki radyoizotoplar ile özellikle radon bozunum ürünleri iç ışınlanmanın önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Ancak  $^{235}\text{U}$  izotropik bolluğunun  $^{238}\text{U}$ 'e kıyasla daha düşük olması nedeniyle  $^{235}\text{U}$  doğal radyoaktif serilerinde bulunan radyonüklidlerin ışınlamaya katkısı oldukça düşüktür. Besinlerde bulunan  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  serileri ise sindirim yolu ile alınmakta ve iç ışınlamaya neden olmaktadır. İç ışınlama nedeniyle alınan yıllık etkin doz miktarı  $0.3 \text{ mSv}$  olduğu ve bunun %50'sinin  $^{40}\text{K}$  kaynaklı oluşu tahmin edilmektedir (Soğukpınar, 2013). İç ışınlamaya ek olarak yeryüzündeki radyoizotopların saldıdığı gama ışınları nedeniyle tüm vücudumuz dış kaynaklı radyasyona maruz kalmaktadır. Yeryüzündeki gama yayınlayan  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  serileri ile  $^{40}\text{K}$  radyoizotopların neden olduğu bu ışınlanmaya dış ışınlama denilmektedir.

### 2.5.1.1 Radon

1900 yılında Friedrich Ernest Dorn tarafından keşfedilen Radon; “Rn” simgesi ile gösterilen, atom numarası 86 ve atom ağırlığı 222.0176 olan periyodik tablonun 8A grubundaki radyoaktif bir asal gazdır. Normal sıcaklık ve atmosfer basıncında gözle görülemez olup, rengi, kokusu ve tadı olmayan bir gazdır. Radon, doğal radyasyon kaynaklarının en önemli bileşeni olup, kayalarındaki ve topraktaki  $^{238}\text{U}$ 'in bozunması sonucunda oluşmaktadır.  $^{238}\text{U}$  bozunum zincirindeki Radon; Şekil 2.7’de de gösterildiği gibi  $^{226}\text{Ra}$  izotopunun alfa bozunumu yapması sonucunda meydana gelmektedir ve yarı ömrü 3.82 gündür (Url-2).

Havadan yedi buçuk kez ve hidrojenden ise yüz kez daha ağır olan Radon tek atom şeklinde bulunmaktadır ve diğer elementler ile kimyasal reaksiyona girmez. Ancak; elektron ilgisi yüksek olan bazı atomlarla etkileşip kararlı bileşikler yapabilir (Yılmaz, 2016). Bilinen en ağır gazdır. Radon gazı  $-62\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de sıvı hale geçmektedir ve  $-71\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de donmaktadır.  $-71\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den daha düşük sıcaklıklara soğutulması durumunda yumuşak sarı bir renk alarak parlamaya başlar. Sıvı hava sıcaklığına ( $-195\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ulaşması durumunda ise turuncu ile kırmızı arası bir renk alır (Url-2).

Canlıların maruz kaldığı doğal radyasyon dozunun %49'u radon ve izotoplarından kaynaklanmaktadır. Dünya geneline bakıldığında Radon gazı nedeniyle maruz kalınan ortalama yıllık radyasyon dozu  $1.3\text{ mSv}$ 'dir (Özdemir, 2006). Doğada Radon gazının yirmiye yakın izotopu bulunduğu bilinmesine rağmen en başlıcaları  $^{222}\text{Rn}$  (Radon),  $^{220}\text{Rn}$  (Thoron) ve  $^{219}\text{Rn}$  (Aktinon)'dur.  $^{219}\text{Rn}$ ;  $^{235}\text{U}$  zincirinde bulunmaktadır ve  $^{223}\text{Ra}$  bozunumu sonucunda oluşmaktadır.  $^{219}\text{Rn}$  ise  $^{232}\text{Th}$  bozunum zincirinde yer almaktadır ve  $^{224}\text{Ra}$  bozunumu sonucunda açığa çıkmaktadır.  $^{220}\text{Rn}$  ve  $^{219}\text{Rn}$  yarı ömürleri  $^{222}\text{Rn}$  ile kıyaslandığında oldukça düşüktür ve yarı ömürleri sırasıyla 55.6 ve 3.96 s'dir.  $^{220}\text{Rn}$  ve  $^{219}\text{Rn}$  yarı ömürlerinin oldukça kısa olması nedeniyle hızla bozunuma uğramaktadır ve doğal ortamda  $^{222}\text{Rn}$  ile kıyaslandığında oldukça az miktarlarda bulunmaktadır. Radon izotoplarının bazıları ve yarı ömürleri Çizelge 2.4'te verilmiştir.

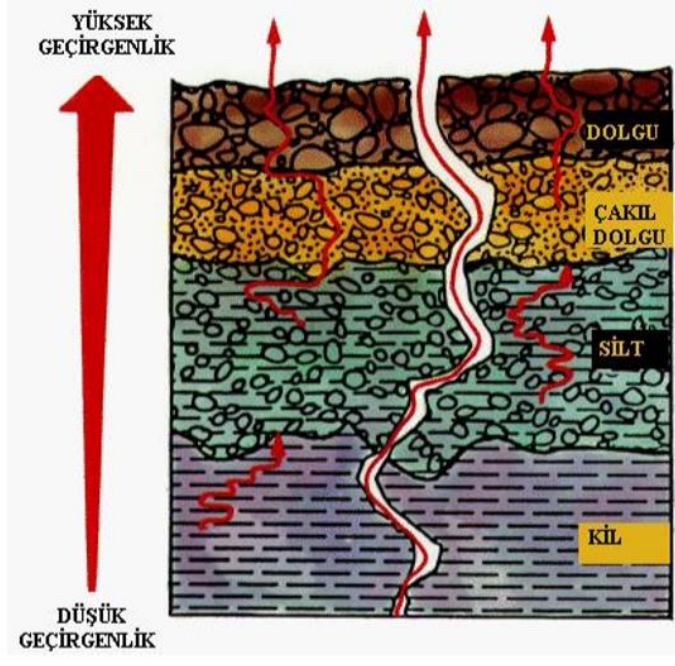
**Çizelge 2.4 :** Radon izotopları ve yarı ömürleri (Kulalı, 2009).

İzotop	Yarı Ömür (s.)
$^{211}\text{Rn}$	52560
$^{212}\text{Rn}$	1440
$^{213}\text{Rn}$	$25 \times 10^{-3}$
$^{214}\text{Rn}$	$27 \times 10^{-6}$
$^{215}\text{Rn}$	$23 \times 10^{-7}$
$^{216}\text{Rn}$	$45 \times 10^{-6}$
$^{217}\text{Rn}$	$6 \times 10^{-4}$
$^{218}\text{Rn}$	$35 \times 10^{-3}$
$^{219}\text{Rn}$	3.96
$^{220}\text{Rn}$	55.6
$^{221}\text{Rn}$	1500
$^{222}\text{Rn}$	330350.4

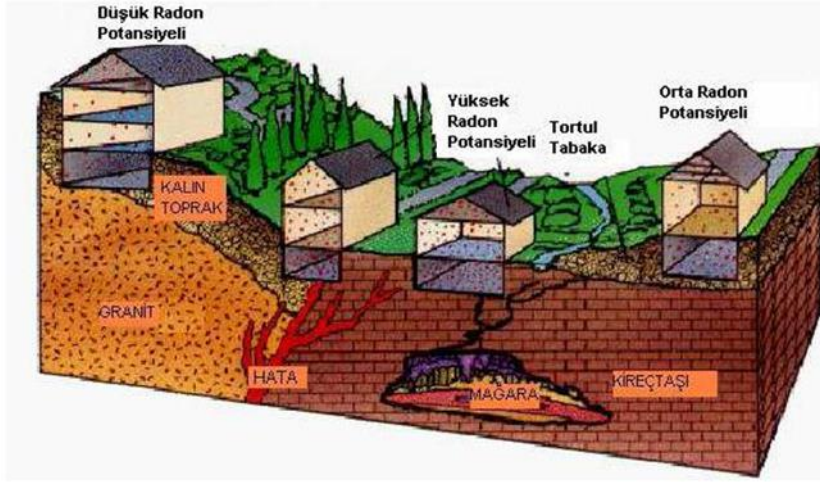
#### **Radonun Bulunduğu Yerler**

Radonun ana kaynağı yer kürede bulunan biyosfer tabakasıdır. Biyosfer tabakasında serbest halde bulunan radon gazı difüzyon ve çözünme yolları ile atmosfere ulaşır. Uranyum konsantrasyonuna bağlı olarak toprakta, suda ve havada farklı yoğunluklarda bulunmaktadır (Demirel, 2013).

Radon; coğrafik bölgenin jeolojik yapısına bağlı olarak yayılım göstermektedir. Radon kaynağı olan toprağın azaldığı yerleşim yerlerinde özellikle adalar ve kutup bölgesinde radon konsantrasyonu düşük seviyelerdedir (Iakovleva, 2003). Granit, volkanik, tortul ve fosfat kayaları önemli radon kaynaklarını oluşturmaktadır. Bazı tebeşir çökelti bölgelerinde ise az miktarlarda radon konsantrasyonu gözlenmektedir.



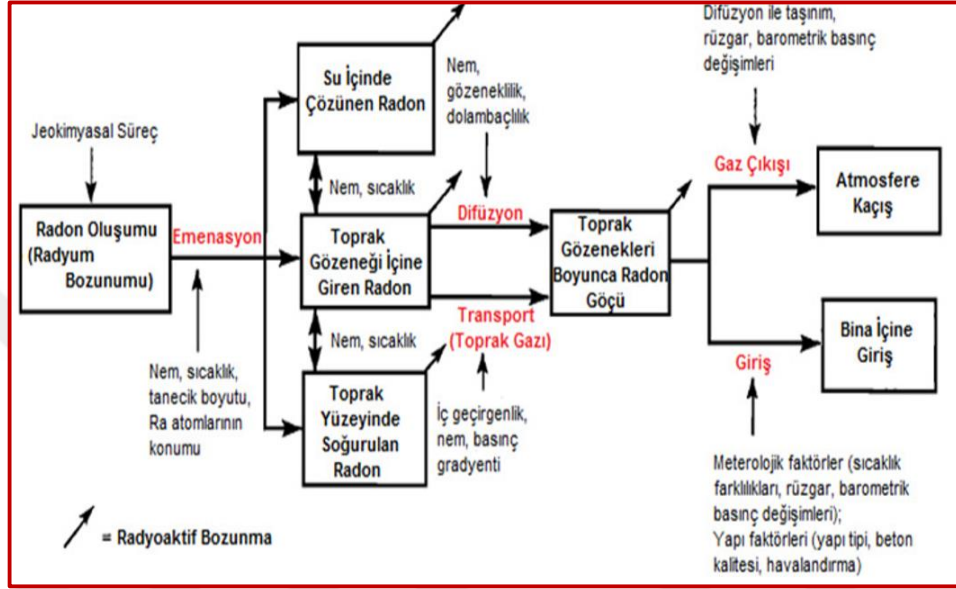
Şekil 2.13 : Toprakta Radon geçirgenliği (Tufaner, 2011).



Şekil 2.14 : Radon potansiyelinin konuma göre değişimi (Tufaner, 2011).

Radon gazı; topraktaki gözeneklerden, toprak taneciklerinden ve kayalardaki kırıklardan hareket ederek atmosfere yayılım göstermektedir. Radonun atmosferdeki konsantrasyonu genellikle düşük seviyelerdedir ve  $1-100 \text{ Bq m}^{-3}$  arasında değişmektedir (UNSCEAR, 2000). Toprağın nem oranı, topraktaki gözeneklerin büyüklükleri, toprağın geçirgenliği, toprak ve kayacın sıcaklığı, Radyumun radyoaktivite kütle konsantrasyonu ile havanın basıncı radon yayılımını etkinleyen faktörlerdir (Meggett, 1983). Toprağın geçirgen olduğu bölgelerde radon gazı toprak yüzeyine doğru kolayca taşınabilir. Yeraltı suyu tabakalarının veya nemli kil varlığı

radon gazının toprak yüzeyine doğru taşınmasını belirli oranlarda engellemektedir. Toprakta Radon geçirgenliği Şekil 2.13'te gösterilmiştir. Radon konsantrasyonu zengin uranyum yatağına sahip alanlarda, yüksek geçirgenliğe sahip topraklarda, geçirgen ve çoğunlukla kuru durumda olan topraklarda ve kireç taşı içeren büyük yeraltı mağaralarının bulunduğu bölgelerde yüksektir. Radon potansiyelinin konuma göre değişimi Şekil 2.14'te verilmiştir.



Şekil 2.15 : Radonun göç yolları (Tabar, 2010).

Radyumun bozunumu sonucunda açığa çıkan radonun oluşma mekanizması jeokimyasal bir süreçtir. Radonun göç yolları Şekil 2.15'te de gösterildiği gibi nem, sıcaklık, tanecik boyutu ve radyum atomlarının konumu gibi etmenlere bağlı olarak su içinde çözünmesi, toprak gözenekleri içine girmesi ve toprak yüzeyinde soğurulması ile başlamaktadır.

Gaz fazda bulunan radonun göç olayı difüzyon ve transport mekanizmaları ile toprak gözenekleri boyunca devam eder. Radonun toprak gözenekleri boyunca taşınımı sonucunda atmosfere veya çatlaklardan ve boşuklardan girerek binalara ulaşır. Radonun bu taşınım yolları rüzgar ve barometrik basınç değişimleri gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Binalara ulaşması ise rüzgar, barometrik basınç değişimleri, sıcaklık gibi meteorolojik faktörlere, havalandırma ve beton kalitesi gibi yapı faktörlerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Atmosfer basıncının düşmesi radon göçünün artmasına neden olmaktadır. Sıcaklık ve rüzgar gibi hava koşulları da radon konsantrasyonunda önemli değişikliklere neden

olmaktadır. Yağışlı ve soğuk havalarda toprağın nemlenmesi nedeniyle toprakta bulunan gözenekler kapanmakta ve böylece radonun difüzyon yoluyla yukarı doğru taşınması zorlaşmaktadır. Bu olay topraktaki radon yoğunluğunun azalmasına neden olmaktadır. Tam tersi durumda, diğer bir deyişle sıcak havalarda ise toprağın kuruması nedeniyle toprak gözenekleri açılmakta ve çoğalmaktadır. Bu durumda radonun topraktan geçişi kolaylaşmakta ve radon yoğunluğu artmaktadır (Tüfekcioğlu, 2015).

Radonun bir kısmı toprak yüzeyine taşınarak havaya karışırken bir kısmı da çözünerek yeraltı sularına karışmaktadır. Yer kabuğundaki değişiklikler ve kayalardaki gerilmeler sonucunda oluşan genleşmeler yeraltı sularına radonun geçişini artırmaktadır. Bu nedenle; sismik faaliyetin başlamasından önceki süreçte faaliyetin oluşacağı bölgede özellikle kuyu ve kaynak sularındaki radon konsantrasyonunda belli oranlarda artış gözlenmektedir.

Musluktan akan sularda da radon bulunmaktadır. Musluktaki suyun kullanılmasıyla bina içine suda bulunan radon yayılmaktadır. Musluk suyunda bulunan radonun 10.000'de biri kadarı bina içerisine yayılım göstermektedir. Suyun geçtiği bölgedeki toprak ve kayalardaki uranyum miktarının artışı ile su sıcaklığının artışı ortama yayılan radon miktarının artmasına neden olmaktadır (UNSCEAR, 1993).

Yapı malzemeleri bileşimlerinin toprak ve kumdan oluşması, belli miktarlarda uranyum içermesine neden olmaktadır. İnşaat sektöründe kullanılan bu yapı malzemelerinde bulunan uranyumun bozunumu radon düzeyini arttırıcı etkenlerdendir. Bu nedenle; yer kabuğundan binalara çatlaklar ve boşuklardan radonun taşınımına ek olarak bina duvarlarından da sürekli olarak radon gazı salınımı görülmektedir (Çelebi, 1995). Kapalı ortamlarda bulunan radon gazı konsantrasyonunun kontrolü için çeşitli ülkeler ve uluslararası kuruluşlar tarafından evlerde müsaade edilebilir radon konsantrasyonları belirlenmiştir. Türkiye'de evlerde müsaade edilebilir radon konsantrasyonu limiti  $400 \text{ Bq m}^{-3}$  olarak belirlenmiştir (TAEK, 2014).

### **Radon ve Deprem İlişkisi**

Radon değişimlerinin deprem araştırmalarında çalışılması yirminci yüzyılın ikinci yarısından itibaren başlamıştır. Özellikle 1966 Taşkent Özbekistan depremi ile yapılan çalışmalar yeraltı su kaynaklarında deprem öncesinde radon anomalilerinin oluştuğunu göstermiştir (Bayrak, 2012). 1966 Taşkent depreminden sonra radon,



radyum ve Helyum gibi hidrojeokimyasal izleyiciler deprem tahminlerinde kullanılmaya başlanmıştır (İçhedef, 2011).

Radon ile deprem ilişkisini çalışan araştırmacılar zaman içinde deprem öncesinde radon gazı anomalilerinin oluşmasını açıklayabilmek için farklı teoriler geliştirmişlerdir. Bunlardan ilki sıkışma modelidir. Bu modelde deprem başlamadan önce yerkabuğunun alt tabakalarında radonun yoğunlaşarak sıkıştığı ve sıkışma sonucunda yüzeye itilerek yüzeyde radon konsantrasyonu değişimine neden olduğu ortaya atılmıştır (King, 1978). Diğer model ise genişleme modelidir. Bu modelde yerkabuğunda tektonik stresin artması sonucunda kaya kütlelerinde meydana gelen genişleme ile kırılmaların oluşması ve gözenek sularının hızlı şekilde atılmasına neden olacağı ortaya atılmıştır (Scholz, 1973).

Dünya genelinde bu alanda yapılan çalışmalar çok öncesine dayansa da ülkemizde bu alanda yapılan çalışmalar sınırlı sayıdadır ve son yıllarda hız kazanmaya başlamıştır. Ülkemizde ilk olarak 1988 yılında Friedmann ve arkadaşları tarafından Bolu tarafından geçen fay hattı üzerinde radon ve deprem ilişkisi incelenmiştir (Friedmann, 1988). 2005 yılında Saç ve Camgöz tarafından İzmir ve çevresinde yapılan çalışmalarda bazı bölgelerde radon konsantrasyonlarındaki artışla beraber sismik aktivite görülmüştür (Saç ve Camgöz, 2005). 2006 yılında ise Baykara ve Doğru tarafından Kuzey ve Doğu Anadolu Fay hattı üzerinden alınan su örneklerinde radon gazı konsantrasyonu çalışmaları yapılmıştır (Baykara ve Doğru, 2006). 2007 yılında ise Denizli'deki termal sulardaki radon konsantrasyonu ile sismik aktiviteler incelenmiş ve deprem öncesinde radon konsantrasyonlarında artış olduğu görülmüştür (Ereeş, 2007).

Günümüze kadar sismik aktivite ile radon gazı konsantrasyonu değişimi üzerine birçok çalışma yapılmış, model üretilmiş ve teoriler ortaya atılmış olsa da deprem ve radon ilişkisi kesin olarak kurulamamıştır.

### **Radonun Sağlık Üzerine Etkileri**

Radon gazının çoğu topraktan havaya doğru hareketi sonucunda atmosfere karışmakta, bir kısmı da yüzey altında kalarak suda çözünmekte ve yeraltı sularına karışmaktadır. Radon bir soygaz olmasına rağmen, radonun Po, Bi ve Pb gibi kısa yarı ömürlü bozunum ürünleri elektriksel olarak yüklü parçacıklardır ve havada asılı olan taneciklere, toza ve su damlacıklarına yapışabilmektedir. Radon gazının solunması baş

ağrısı ve öksürük gibi belirgin şikayetlere neden olmamaktadır. Ancak radon gazının ve bozunma ürünlerinin solunumu radonun bozunum sürecinin devam etmesi nedeniyle akciğerlerde radyasyon dozu artmakta ve böylece akciğer dokusunun zarar görmesiyle sonuçlanmaktadır. Bu nedenle; radon ve radonun kısa yarı ömürlü bozunum ürünleri solunduğunda akciğerlere tutunarak kansere neden olmaktadır (Si, 2018).

Çoğu kişi evlere ve işyerlerine binalarda bulunan çatlaklar ve boşluklardan radonun girmesi ve kolayca ortamda birikmesi nedeniyle radona maruz kalmaktadır. Bu durumda bina içi radon konsantrasyonu halk sağlığını önemli ölçüde tehdit etmektedir (Chen, 2012). Birçok ülkede radon, sigaradan sonra ikinci kanser etmenidir (Kim, 2018). Epidemiyolojik çalışmalar Avrupa, Kuzey Amerika ve Çin’de radona maruz kalmanın akciğer kanserine yakalanma oranlarını arttırdığını göstermektedir (Darbly, 2005; Darbly, 2006; Krewski, 2005; Lubin, 2004). Çevre koşullarına göre radon konsantrasyonları madenlerde evlere göre daha yüksek olmaktadır (Kim 2018). Çoğu çalışma madencilerin akciğer kanserine yakalanma riskinin evlerde radona maruz kalan bireylere göre daha yüksek olduğunu kabul etmektedir (Kim, 2016).

Radon gazının evlerde ve işyerlerinde birikmesini önlemek ve radon konsantrasyonunu azaltmak için binalar sık sık havalandırılmalı, bina yapı malzemeleri iyi seçilmeli, bina ve toprak arasında basınç farkı radon akışına izin vermeyecek şekilde ayarlanmalı ve topraktaki radon gazının az olduğu bölgelere konutlar yapılmalıdır (Si, 2018).

### **Radon Ölçüm Metodları**

Radon ölçümünde kullanılan metodlar genellikle radonun çeşitli izotoplarının 5.5 MeV ile 7.7 MeV arasında yayınlamış oldukları alfa parçacıklarının algılanmasına dayanmaktadır. Radon ölçüm metodları ölçüm süresine bağlı olarak anlık, bütünleşik ve sürekli radon ölçümleri olmak üzere üçe ayrılmaktadır:

Anlık radon ölçümleri, radon konsantrasyonunun kısa bir süre içinde ölçülmesi esasına dayanmaktadır.

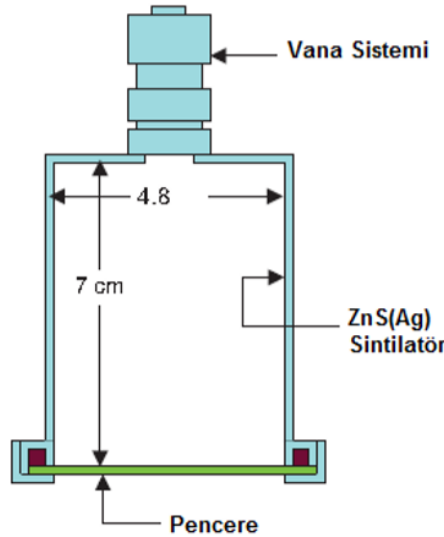
Bütünleşik radon ölçümlerinde, ölçülen değer radon konsantrasyonunun belli süre aralığındaki ortalamasını vermektedir.

Sürekli radon ölçümünde ise hafta veya ay olarak uzun bir zaman aralığı belirlenerek bu süre içindeki radon değişimleri tespit edilebilmektedir (Papastefanou, 2007).

Anlık radon ölçümünde bilinen en eski yöntem Lucas hücresi metodudur. Ayrıca; taşınabilir bir cihaz olan MARKUS 10 ile de anlık radon ölçümleri yapılabilmektedir.

#### Lucas Hücresi:

Lucas hücresi ilk olarak 1955 yılında Vandilla ve Taysum tarafından tasarlanmış ve 1957 yılında Lucas tarafından son şekli verilmiştir (Eappen et al., 2008). Şekil 2.16'da Lucas hücresi şematik olarak gösterilmiştir. Lucas hücreleri genellikle 0.1 L ile 3 L arasında değişen silindirik bir yapıya sahiptir. Yan duvarları metal veya plastikten, tabanı ise camdan bir pencereden oluşmaktadır. Yan duvarlarının iç yüzeyi gümüş ile katkılanmış çinko sülfür (ZnS(Ag)) ile kaplıdır. Silindirin üst kısmında hava girişinin sağlanması için vana bulunmaktadır.



**Şekil 2.16 :** Lucas hücresinin şematik gösterimi (İçhedef, 2011).

Lucas hücresi ile radon ölçümü yapmak için ilk olarak toprak içerisinde 1 m derinlikte bir çukur açılır. Lucas hücresi vakum ortamında çalışmaktadır. Bu nedenle hücre içerisindeki hava, pompa yardımıyla boşaltılır ve toprakta açılan çukurdan hücreye toprak gazı doldurulur. Toprak gazında bulunan radon ve bozunum ürünlerinden yayımlanan alfa parçacıkları hücre duvarında kaplı bulunan ZnS(Ag)'nin sintilasyon özelliğini meydana getirmektedir. Alfa parçacıklarının ZnS(Ag) ile kaplı hücre duvarına çarpmasıyla 450 nm dalga boylu ışık yayınlanır ve hücrenin tabanına bağlı

fotoçoğaltıcı tüp vasıtasıyla puls oluşur. Oluşan pulsler elektronik aksam tarafından dedekte edilir.

Lucas hücresi toprak ölçümlerinin yanı sıra suda radon konsantrasyonu ölçümleri için de kullanılmaktadır. Su ölçümleri için Lucas hücresine gaz arıtma ünitesi eklenmektedir (Eappen et al., 2008).

Hücre içerisinde hava kaçaklarının meydana gelmesi, elektronik sistemlerdeki kalibrasyon hataları ve meydana gelen görünür ışıklarının sistemden dışarı kaçması gibi nedenler Lucas hücresi ile radon ölçümlerinde sorunlar oluşturabilmektedir (Günay, 2016).

#### MARKUS 10:

MARKUS 10, taşınabilir özellikte, genellikle saha çalışmalarında tercih edilen, yarıiletken silikon dedektörlü bir radon ölçüm cihazıdır. İlk olarak 1989 yılında üretilmiştir. Şekil 2.17’de de gösterildiği gibi bir boru aksamıyla toprakta bulunan radon gazı dedektöre yönlendirilmekte ve elektronik bileşenleri ile ölçüm gerçekleştirilmektedir. Cihazın ön yüzünde bulunan ekranda anlık radon ölçümleri sonuçları  $1 \text{ Bq m}^{-3}$  ile  $1 \text{ MBq m}^{-3}$  aralığında görülebilmektedir (Ruckerbauer ve Winkler, 2001).



**Şekil 2.17 :** MARKUS 10 ile radon ölçümü (Url-3).

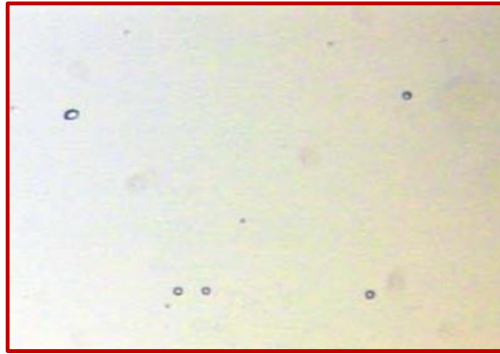
Bütünleşik radon ölçüm metodlarında elde edilen sonuçlar ölçüm zaman aralığındaki ortalama radon konsantrasyon sonucu hakkında bilgi edinmemizi sağlamaktadır. Bu metodda ölçüm aralığı haftalık, on beş günlük veya bir aylık sürelerde yapılmaktadır. Elde edilen ortalama radon konsantrasyon sonucu genellikle  $\text{iz.cm}^{-2}.\text{gün}^{-1}$  birimlerde verilmektedir. Bütünleşik radon ölçüm metodlarında katıhal nükleer iz kazıma

dedektörleri ve kollektör metodu olmak üzere genellikle iki metot kullanılmaktadır (Günay, 2016).

#### Katıhal Nükleer İz Kazıma Dedektörleri:

Nükleer iz kazıma dedektörleri ilk olarak 1958 yılında Young tarafından Lityum Florür (LiF) kristalin üzerinde iz bulunması ile kullanılmaya başlanmıştır (Nikezic and You, 2004). Nükleer iz kazıma dedektörleri genellikle mineral, kristal, plastik içeren, elektriksel olarak yalıtılmış malzemelerden oluşmaktadır. Bu dedektörler alfa parçacığına duyarlıdır. Alfa parçacıklarının algılanabilmesi için kullanılan en uygun dedektör materyali polimerik plastiklerdir. Polimerik plastikler yüksek duyarlılığa sahip, dayanıklı, ucuz ve kolay kullanımı nedeniyle yaygın olarak tercih edilen dedektör malzemesidir. Selüloz nitrat (LR-115), polyallyl di-glycol karbonat (CR-39) ve bisphenol A polikarbonat (makrofol) nükleer iz kazıma metodu ile radon ölçümü için yaygın olarak kullanılan polimerik plastiklerdir.

Dedektörlerden geçen alfa parçacıkları, dedektör materyalinde geçtikleri yollar boyunca moleküllerin kırılması neticesinde 1-10 nm boyutlarında gizli iz adı verilen hasarlar bırakmaktadır (Fleischer, 1975). Oluşan izlerin görüntülenmesi işleminde boyutlarının küçük olması nedeniyle elektron mikroskopları kullanılmaktadır. Ancak, dedektörler basit alkali (örneğin NaOH veya KOH) veya asit (örneğin HF veya HNO<sub>3</sub>) ile banyo edilirse gizli izlerin boyutları nm'den birkaç  $\mu\text{m}$ 'ye kadar genişlemektedir. Banyo işleminin uygulanması izlerin optik mikroskop altında da görüntülenebilmesine olanak sağlamaktadır (Tabar, 2017). İz kazıma dedektörlerinde ölçüm işlemleri oluşan gizli izlerin mikroskop görüntülerinde sayılarak yoğunluklarının hesaplanmasına dayanmaktadır (Banjanac, 2006). Gizli izlerin yoğunluğu radon konsantrasyonu ile orantılı olarak değişim göstermektedir (Karakılıç, 2013).

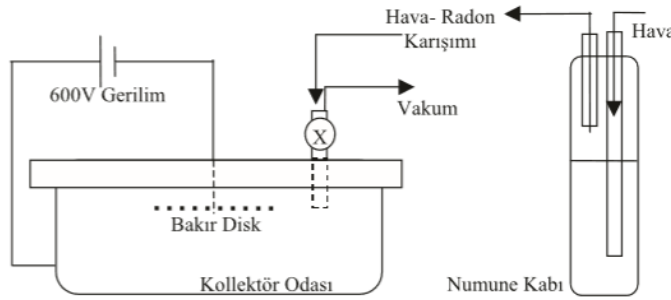


**Şekil 2.18 :** CR-39 dedektörü ile radon ölçümünde oluşan alfa parçacıklarının bıraktığı izlerin mikroskop görüntüsü (Banjanac, 2006).

### Kollektör Metodu:

Kollektör metodu çalışma prensibi kap içerisine konulan örnekte bulunan radon ve bozunum ürünlerinin potansiyel yardımıyla kollektör üzerinde toplanması ve böylece alfa aktivitesinin sayılmasına dayanmaktadır. Kollektör metodunda ölçüm sistemi köpürtme şişesi, kollektör odası ve sayım sistemi olmak üzere üç bileşenden oluşmaktadır.

Köpürtme şişesi 100 mL boyutundadır. Toplanan örnek ilk olarak köpürtme şişesine alınarak köpürtme işlemi uygulanır. Köpürtülen örnek sonrasında içerisinde bakır disk bulunan kollektör odasına alınır. Kollektör odasına 600 voltluk bir potansiyel uygulanarak radon ve bozunum ürünlerinin bakır disk üzerinde birikmesi sağlanır. Bakır disk üzerinde biriken radon ve bozunum ürünleri dedektörde sayılarak örnekte bulunan radon konsantrasyonu hakkında bilgi edinilir. Elde edilen sonuçlar  $Bq L^{-1}$  birimindedir (Kumru, 1992).



**Şekil 2.19 :** Kollektör metodu şeması (Camgöz, 2010).

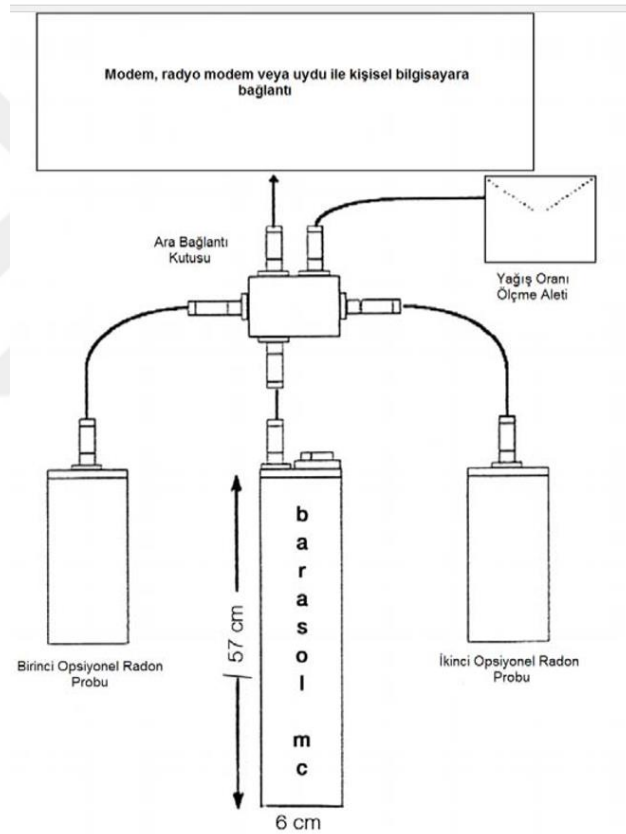
Sürekli radon ölçüm metodları özellikle son yıllarda tercih edilen, elde edilen verilerin saklanabileceği ve durmaksızın 1 dakika ile 48 saat aralığında değişen sürelerde ölçüm yapmaya imkan sağlayan sistemlerdir (İçhedef, 2011). BARASOL dedektörleri, Clipperton Dedektörleri, SARAD Radon/Toron Monitörü ve AlphaGUARD radon cihazı sürekli radon ölçüm metodlarıdır.

### Barasol Dedektörleri:

Barasol dedektörleri 590 mL hacimli, ortamda bulunan radon konsantrasyonunun ölçülmesini sağlayan sürekli radon ölçüm metodudur (Papastefanou, 2007). Barasol dedektörlerinin dış kısmı koruyucu ve ışığa duyarlı alüminyum ile kaplanmıştır. Dedektörün iç kısmı ise silikon eklem, ön yükselteç, yükselteç, enerji ayırımını

sağlayan pencere ve mikro işlemciden oluşmaktadır. Barasol dedektörünün şematik gösterimi Şekil 2.20’de verilmiştir.

Sistem çalıştırıldığında radon difüzyonla filtrelerden geçerek enerji ayırımını sağlayan pencereye ulaşır. Pencere sayesinde toron ve radonun kısa yarı ömürlü bozunum ürünlerinin dedektöre ulaşımı engellenmiş olur. Dedektör; 15 dk ile birkaç saat arasında değişen ölçüm periyoduna sahiptir ve toplamda 10 ay boyunca sürekli çalıştırılarak ölçüm yapılabilmektedir. Ölçümler mikro işlemci vasıtasıyla gerçekleştirilmekte ve ölçüm sonuçları sisteme bağlanan bilgisayar ve özel yazılımlarla alınabilmektedir. Sistem ile radon konsantrasyonuna ek olarak sıcaklık, atmosferik basınç ve yağış bilgileri de edinilebilmektedir (Richon, 2007).



**Şekil 2.20** : Barasol dedektörünün şematik gösterimi (İç hedef, 2011).

#### Clipperton Dedektörleri:

Clipperton dedektörü Montpellier Üniversitesi tarafından geliştirilen, 590 mL hacimli ve suda sürekli radon ölçümü yapılmasına imkan sağlayan bir metoddur (Papastefanou, 2007). Sistem; silikon diyot dedektör, veri işleyici ve veri depolama aksamlarından oluşmaktadır. Dedektör 5 cm çapındaki su geçirmeyen bir tüp içerisine

yerleştirilmiş durumdadır. Düşük enerji tüketimi sayesinde uzun süreli ölçüm yapılması sistemin önemli bir avantajıdır. Sistem ile 1 dakika ve 48 saat aralığında değişen periyotlarda ölçüm yapılabilmektedir (Monnin, 1997).

#### SARAD Radon/Toron Monitörü:

SARAD Radon/Toron monitörü 270 mL hacimli ve toprak ile suda sürekli radon ölçümü yapılmasına imkan sağlayan bir metoddur. Sistem 1 dakika ile 24 saat aralığında sürekli olarak çalışabilmektedir. Sisteme 0.4-3 L/dak aralığında akış hızı ile pompalanan radon gazı silikon dedektöre toplanarak ölçüm gerçekleştirilir ve radon ile toron bozunum ürün konsantrasyonlarının zamana göre değişimleri analiz edilir (Papastefanou, 2007).

#### AlphaGUARD Radon Cihazı:

AlphaGUARD radon cihazı taşınabilir özellikte, havadaki, sudaki, topraktaki ve yapı malzemelerindeki radon gazı ölçümlerinde kullanılan, iyonizasyon odasına sahip bir cihazdır. Cihazın dış kısmı koruyucu alüminyum gövdeden oluşmaktadır. İç kısmında ise cihazın ölçüm yapmasını sağlayan elektronik bileşenler bulunmaktadır. İyonizasyon odasının iç kısmı metalik bir yapıdadır ve cihaz çalıştırıldığında 750 voltluk bir iç gerilimle yüklenerek anot kutbu görevini görür.

Odanın iç kısmında ise yatay eksen boyunca uzanmış bir çubuk bulunmaktadır ve katot görevini yerine getirmektedir. Cihazın çalıştırılması ile anot ve katot arasında bir gerilim farkı oluşur ve katyonlar ile anyonlar hareket etmeye başlar. Yüklerin bu şekilde hareket etmesiyle birkaç miliamper büyüklüğünde akım meydana gelir ve oluşan akım AlphaGUARD tarafından anlamlı verilere dönüştürülerek radon gazı ölçümü gerçekleştirilmiş olur. Cihaz; atmosfer basıncı, sıcaklık ve nem değerlerinin eş zamanlı olarak ölçülmesine olanak sağlamaktadır.



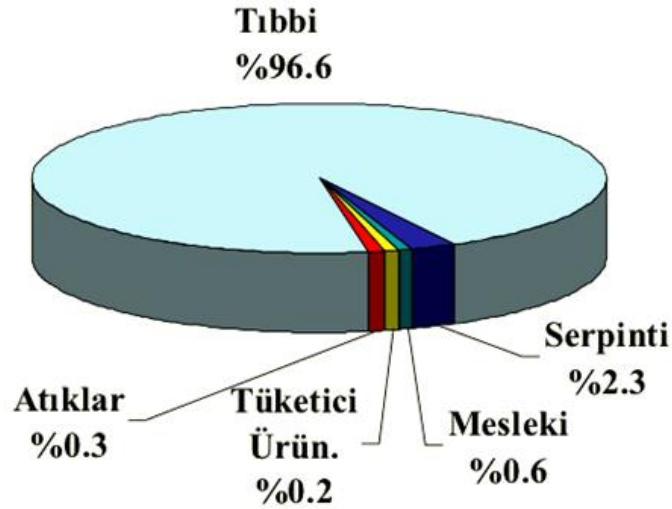
**Şekil 2.21 :** AlphaGUARD Radon Cihazı.



## 2.5.2 Yapay Radyasyon Kaynakları

UNSCEAR raporuna göre doğal ve yapay radyasyon yolu ile alınan dünya nüfusuna bağlı ortalama 2.8 mSv'lik yıllık etkin dozun yaklaşık 0.4 mSv'i yapay radyasyon yolu ile alınmaktadır (UNSCEAR 2000). Tıbbi uygulamalar, nükleer serpintiler, nükleer atıklar, tüketici ürünleri ve mesleki uygulamalar yapay radyasyon kaynaklarıdır. Dünya genelinde yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon doz oranları Şekil 2.22'de verilmiştir.

1945 yılından 1980 yılına kadar yeryüzünde yapılan nükleer silah denemeleri ve 1986 yılındaki Çernobil nükleer kazası sonucunda çevreye yapay radyoaktif elementlerin yayıldığı bilinmektedir. Çernobil kazasından sonra ve nükleer bomba ile silah denemeleri sonucunda meydana gelen nükleer serpintiler ile  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{134}\text{Cs}$  gibi radyoaktif elementler çevreye yayılarak çevre kirliliğine neden olmuştur. Özellikle  $^{137}\text{Cs}$ , Türkiye'de Karadeniz ve Trakya Bölgelerine yayılarak nükleer kirlenme meydana getirmiştir. Yapay radyasyon kaynaklı çekirdekler, yarı ömürleri ve oluşum kaynakları Çizelge 2.5'te verilmiştir.



Şekil 2.22 : Dünya genelinde yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon doz oranları (Url-4).

**Çizelge 2.5** : Yapay radyasyon kaynaklı çekirdekler ve özellikleri (Carpender, 1970).

Element	Yarı Ömür	Oluşum Kaynağı
$^3\text{H}$	12.3 yıl	Silah denemeleri ve fisyon reaktörleri
$^{131}\text{I}$	8.04 gün	Silah denemeleri, fisyon reaktörleri ve troid hastalığının tedavisinde
$^{129}\text{I}$	$1.57 \times 10^7$ yıl	Silah denemeleri ve fisyon reaktörlerinde fisyon ürünlerinin üretimi
$^{137}\text{Cs}$	30.17 yıl	Silah denemeleri ve fisyon reaktörlerinde fisyon ürünlerinin üretimi
$^{90}\text{Sr}$	28.78 yıl	Silah denemeleri ve fisyon reaktörlerinde fisyon ürünlerinin üretimi
$^{99}\text{Tc}$	$2.11 \times 10^5$ yıl	Tıpta tanıda kullanılan $^{99}\text{Mo}$ 'un bozunma ürünü
$^{239}\text{Pu}$	$2.41 \times 10^4$ yıl	$^{238}\text{U}$ 'in nötron bombardımanından üretilir

Tıbbi radyasyon uygulamaları hastalıkların teşhis ve tedavisinde önemli bir rol oynamaktadır. Radyasyondan yararlanarak görüntü elde etme, tümör tedavileri ve organ fonksiyonu hakkında bilgi edinme gibi uygulamalar günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Endüstriyel alanda da boru ve makine aksamaları gibi ürünlerin hata içerip içermediğini tespit etmek için X ve gama ışınlarından yararlanılmaktadır. Ayrıca günlük yaşantımızda kullandığımız televizyonlar, cep telefonları, duman dedektörleri, fosforlu saatler, paratonerler ve lüks lambası fitilleri gibi bazı tüketici ürünleri az miktarlarda da olsa radyoaktif madde içermeleri nedeniyle sürekli olarak radyasyona maruz kalmaktayız (Url-5).

## 2.6 Toprakta ve Bitkilerde Radyoaktivite

Toprakta mevcut olan radyasyon kaynakları oldukça uzun yarı ömürlü olup birkaç milyar yıl önceden beri yeryüzünde bulunmaktadır. Toprakta bulunan  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  gibi doğal radyonüklidler ile  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  bozunum serisi ürünleri ( $^{226}\text{Ra}$  ve özellikle  $^{222}\text{Rn}$ ) toprağın radyoaktif olmasına sebep olmaktadır. Toprakta bulunan doğal radyonüklidler ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{226}\text{Ra}$ ) bulunduğu oranlara göre o çevrenin doğal radyasyon seviyesini belirlemekte ve canlıların doğal radyasyona maruz kalmalarına sebep olarak canlılara zarar vermektedirler.

**Çizelge 2.6 :** Topraktaki doğal radyonüklid konsantrasyonları (Bq kg<sup>-1</sup>) (UNSCEAR, 2000).

Radyonüklid	Değişim Aralığı	Ortalama Değer
<sup>40</sup> K	140-850	400
<sup>238</sup> U	16-110	35
<sup>226</sup> Ra	17-60	35
<sup>232</sup> Th	11-64	30

Toprağın jeolojik yapısı, toprak ve kayalardaki granit yapısı miktarı ve topraktaki radyoizotop bileşimi, radyasyon dozunun değişimine etki eden faktörlerdir (Taşköprü, 2014). Toprakta bulunan <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th ve <sup>40</sup>K gibi radyonüklidlerin miktarı, toprağın temelini oluşturan kaya çeşidine bağlıdır. Bu radyonüklidler daha çok volkanik, fosfat, granit ve tuz kayalarında bulunmaktadır.

Özellikle granit kayalarında <sup>232</sup>Th oranı oldukça yüksektir. Tortul kayalarda ise daha düşük radyasyon seviyeleri görülmektedir. Doğal olaylarla zamanla kayalar ufalanarak çok küçük parçalar halinde yağmur veya akıntı sularıyla toprağa karışırlar ve radyonüklidlerin taşınmasına neden olurlar.

Toprakta bulunan uranyum ve toryumun dünya ortalamasına göre yaymış oldukları gama radyoaktivitesi değeri <sup>238</sup>U için 0.025 Bq g<sup>-1</sup> (0.01-0.05); <sup>232</sup>Th için 0.025 Bq g<sup>-1</sup> (0.07-0.05)'dir (Valkovic, 2000). Ağırlıkça kıyaslandığında <sup>40</sup>K, kayalarda ve toprakta <sup>238</sup>U ve <sup>232</sup>Th'a göre 10.000 kat daha fazla bulunmaktadır. Toprakta bulunan <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K ve <sup>226</sup>Ra radyonüklid konsantrasyonları Çizelge 2.6'da verilmiştir. <sup>40</sup>K, kayalar ve topraklara ek olarak mineral sularında ve tuzlu sularda da önemli miktarda bulunmaktadır. Ayrıca; toprağın verimliliğini artırmak amacıyla potasyum sülfat ve potasyum klorür, nitrojen ve fosforla birlikte suni gübre olarak kullanımları da mevcuttur (Akkaya, 2011).

Tarımdaki verimliliği arttırmada kullanılan çeşitli suni gübreler <sup>32</sup>P radyoizotopunu içermekte olduğunda tarım arazilerinde yapılan gübreleme işlemleri de topraktaki aktivitenin artmasına neden olur. Binalar da taş ve topraktan yapıldıkları için belli miktarlarda radyoaktivite içerebilmektedir. Bu nedenle de insanlar bina dışında olduğu gibi, bina içlerinde de radyasyona maruz kalmaktadırlar.

Doğal ve yapay radyonüklidler besin zincirine topraktan bitkiye, bitkiden canlıya transfer edilerek canlılara etki etmektedir. Toprakta yetişen ürünlerde ölçülen doğal

ve yapay radyonüklid değerleri ve transfer faktörleri; canlıların besin tüketimi yoluyla aldıkları doz değerlerinin belirlenmesinde önem kazanmaktadır.

Bitkiler toprakta ve ortamda bulunan radyonüklidleri temelde direkt ve direkt olmayan olmak üzere iki farklı yol ile bünyelerine alırlar. Direkt alım; nükleer serpinti ile atmosferde bulunan radyonüklidlerin hava yoluyla alınmasıdır. Direkt olmayan alım ise; radyonüklidlerin bitkinin kökleri vasıtasıyla alınmasıdır (Jazzar ve Thabayneh, 2014). Bitkinin bu yollarla radyonüklidleri bünyelerine almaları sonucunda radyonüklidler besin zinciri ile canlılara geçerler.

Nicholson ve Long'un 1990 yılında yaptığı çalışmada, topraktan bitkiye radyonüklid geçişine etki eden faktörlerden başlıcalarını toprak çeşidi, toprağın su içeriği, bitkinin büyüme hızı, deposit süresi, tarımdaki sürme ve gübreleme işlemleri, iklim ve otlatma olarak belirtmiştir (Köseoğlu, 1992).

Radyonüklidlerin topraktan bitkiye geçişi, toprak ve bitki türlerinde oldukça farklılık göstermektedir. Bitki köklerinden radyonüklidlerin alımını en çok etkileyen dış faktörler sürme, kireçleme, gübreleme ve sulamadır. Toprak karakteristiği, elektriksel iletkenlik, pH, toprak/sıvı dağılım katsayısı, toprağın organik madde içeriği ve bikarbonat içeriği topraktan bitkiye radyonüklid transferini etkileyen etmenlerdir (Jazzar ve Thabayneh, 2014).

Topraktan bitkiye doğal ve yapay radyonüklidlerin transferi konusunda dünyada farklı bölgelerde çeşitli çalışmalar yürütülmüştür (Alharbi and El-Taher, 2013; Harb ve ark. 2013; Chakraborty ve ark. 2013). Çernobil kazası sonrasında Türkiye'de ise Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu (IAEA) projesi yürütülmüş ve bu kapsamda Rize ilinde topraktan çay, greyfurt, mandalina, kivi, çilek, karalahana ve pazı örneklerine <sup>137</sup>Cs'nin transfer faktörleri hesaplanmıştır (Topçuoğlu ve ark. 2003).

### **2.6.1 Ayçiçeği**

Ayçiçeği 51 türe ve 19 alt türe sahip tek yıllık bir bitkidir. Morfolojik özellikleri ve yetiştirme verimi çoğunlukla toprak yapısına ve iklimine bağlıdır. Genellikle deniz seviyesinde ve üç bin metre yüksekliğe kadar pek çok bölgede yetiştirilebilmektedir. Yağlı tohumlar içinde ayçiçeği yüksek yağ oranına sahip olması sebebiyle ülkemizde önemli bir konumdadır (Meral, 2019).

Dünyada yetiştirilen ayçiçeği tohumunun yaklaşık olarak %90'ı yağ, küspe ve biyodizel için işlenmekte ve kalan %10'u çerezlik olarak kullanılmaktadır (TEPGE, 2018). Bunlara ek olarak kimya, kozmetik, boya, motor yağı, biyodizel, hidrolik yağ ve sabun yapımında da kullanımı mevcuttur (Arioğlu 1999; Meral 2019).

Tıbbi tedavilerde de ayçiçeğinin yaygın olarak kullanımı mevcuttur. Doğal bir kolesterol düşürücü olmasının yanı sıra bağırsak, mesane, meme ve prostat kanserine karşı koruyucudur. Ayçiçeğinin tohumları iyi derecede E vitamini, kolin, lignin, betain, arjinin ve phonelik asit kaynağı içermektedir. Ayçiçeği kabuğunun ligno-selülozik bir madde olmasından dolayı mayalanma ile şeker üretimi için az maliyetli bir kaynaktır.

Dünya geneline bakıldığında ayçiçeği üretimi en fazla Ukrayna, Rusya ve Arjantin'de yapılmaktadır. Ülkeler bazında kıyaslama yapıldığında 2016 verilerine göre Türkiye ayçiçeği üretimindeki payı %3.53 olup; 7. sırada yer almaktadır (Meral, 2019). Ülkemizde ayçiçeği yetiştiriciliği ağırlıklı olarak Edirne, Kırklareli, Tekirdağ ve Konya'da yapılmaktadır. Trakya ve Konya kesimi ülkemizdeki ayçiçeği üretiminin %52'sini oluşturmaktadır (TEPGE, 2018). Ülkemizde il bazında değerlendirildiğinde Kırklareli ili yıllık 170.278 tonluk ayçiçeği üretimi ile dördüncü sırada yer almaktadır (Çizelge 2.7).

Ülkemizde ve özellikle Kırklareli ilinde üretiminin ve kullanımının oldukça yüksek olması nedeniyle topraktan bitkiye radyonüklid transferini araştırmak ve canlıların besin tüketimi yoluyla aldıkları radyoaktivite değerlerinin belirlenmesi amacıyla ayçiçeği bitkisi çalışmada tercih edilmiştir.

**Çizelge 2.7 :** Ülkemizde yağlık ayçiçeği üretimi en fazla olan 4 ildeki üretim verileri (ton) (Gürkan ve ark., 2017).

Yıllar/İller	Konya	Edirne	Tekirdağ	Kırklareli	Adana
2010	46.764	332.894	259.562	139.407	78.739
2011	98.938	240.417	253.471	130.889	103.860
2012	210.792	176.862	177.837	103.314	108.220
2013	262.930	175.857	211.671	146.682	100.677
2014	263.581	258.568	260.753	165.206	89.565
2015	210.307	226.573	267.012	188.998	134.361
2016	205.274	222.064	283.838	170.278	166.524

## 2.7 Radyasyon Dedektörleri

Radyasyonun algılanması ve ölçülmesi çeşitli hassas dedektörler kullanılarak, radyasyonun madde ile etkileşmesi prensibine dayanarak yapılmaktadır. Radyasyon, geçtiği maddenin atom veya molekülleri ile etkileşerek enerjisinin bir kısmını veya tamamını iyonlaştırma ve uyarma olayları ile kaybeder. Dedektörler ise radyasyonu, radyasyonun madde ile etkileşmesi sonucunda oluşan iyonlaşma ve uyarma olaylarını elektrik sinyallerine dönüştürerek algılar. Radyasyon dedektörleri ortamdaki radyasyon varlığını, belli bir zamanda detektöre gelen parçacık sayısını, enerjisini, parçalanma hızını ve aktivitesini belirlemeye olanak sağlar (Knoll, 2000). Radyasyon ölçümünde Sintilasyon Dedektörleri ile Yarı İletken Dedektörler yaygın olarak kullanılan radyasyon dedektörleridir.

### 2.7.1 Sintilasyon Dedektörleri

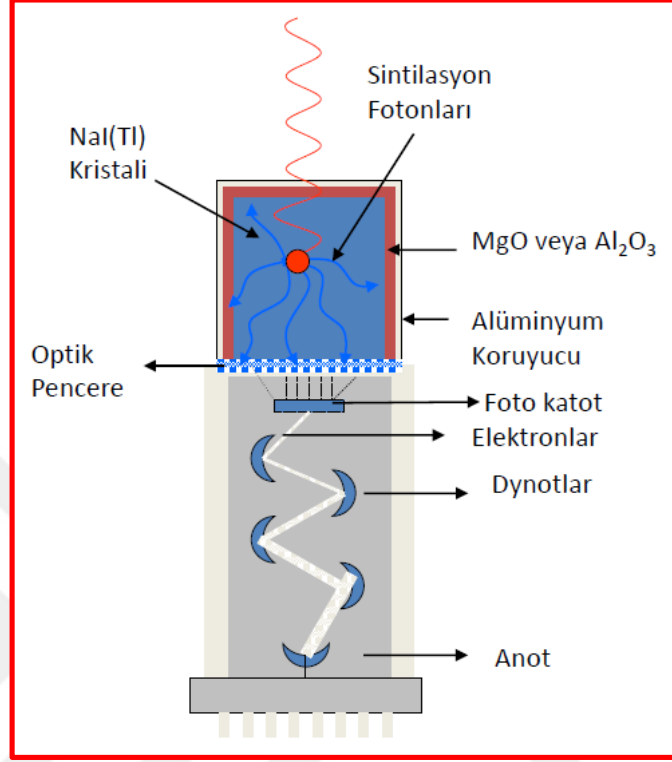
Sintilasyon Dedektörleri radyasyon ölçümünde kullanılan en eski tekniklerden biridir. Bu dedektörler, sintilatör olarak kullanılan bir madde ve foto çoğaltıcı (photomultipler) tüp olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Sintilasyon parıldama anlamına gelmektedir.

Sintilasyon Dedektörlerinin genel yapısını gösteren şema Şekil 2.23'de verilmiştir. Şekil 2.23'de gösterildiği gibi sintilatör madde içine giren radyasyon ortamdaki madde atomlarıyla etkileşerek enerjisini kaybeder ve lüminesans özelliği göstererek fotoelektrik olay, Compton saçılması ve çift oluşumu yolları ile düşük enerjili fotonlar yayınlanır. Yayınlanan fotonlar optik pencereden geçerek foto duyarlı katoda çarparak foton başına bir elektron salınmasına neden olur. Elektronlar foto çoğaltıcı tüpler tarafından algılanır ve anotta toplanır. Anota gelen elektronlar genliği radyasyon enerjisi ile orantılı pulslara dönüşür.

Sintilatörler, ışıkla etkileştiğinde görünür bölgede veya ona yakın bir bölgede ışık yayımlayan kristal veya amorf maddelerdir. Sintilatör madde, inorganik ve organik olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Kıyaslandığında organik sintilatörlerin cevap verme süreleri inorganik sintilatörlere göre daha kısadır.

En yaygın kullanılan inorganik sintilatörlere NaI(Tl), CsI(Tl), CaI(Na), LiI(Eu) ve CaF<sub>2</sub>(Eu) örnek olarak verilebilir. Bunlardan NaI(Tl), yıllardan beri X-ışınları ve gama

ışınları algılama için en çok tercih edilen inorganik sintilatördür. Organik sintilatörler ise çözelti içinde sıvı veya plastik olarak hazırlanabilmektedirler. Yaygın olarak antrasen ve trans-stilben kristalleri kullanılmaktadır (Kapoor, 1986).



Şekil 2.23 : Sintilasyon dedektörünün şematik gösterimi.

### 2.7.2 Yarı İletken Dedektörler

Sintilasyon dedektörlerinde kullanılan sintilatör her ne kadar büyük boyutta üretilebilse de, sintilasyon dedektörlerinin düşük enerji çözünürlüğü nedeniyle radyasyon algılamada yarı iletken detektörlere kıyasla daha az tercih edilmektedir. Yarı iletken dedektörlerde malzeme olarak genellikle Si veya Ge kullanılmaktadır. Ge yarı iletkeni, hem büyük boyutlarda üretilebilmesi hem de yüksek enerji çözünürlüğü özellikleriyle radyasyon algılamada yaygın olarak kullanılmaktadır.

Katkısız ideal yarı iletkenlerde, iletim bandı ve değerlik bandı arasındaki yasak band aralığında elektron veya deşik bulunmaz, elektron ve deşik sayıları birbirine eşittir. Uygulamada ise çoğu yarı iletken iletkenliğini arttırmak için katkılanır ve elektron-deşik yoğunlukları değiştirilir. Katkılanan yarı iletkenlerde elektron sayısı fazla ise n-tipi yarı iletken, deşik sayısı fazla ise p-tipi yarı iletken denilmektedir.

Atom numarası  $Z$  olan bir yarı iletken, atom numarası  $Z+1$  olan bir element ile katkılandırıldığında yarı iletken ile element arasında kurulan bağda bir elektron serbest halde kalır. Bu tip katkılama ile oluşan yarı iletken n-tipi yarı iletken adı verilmektedir. Atom numarası  $Z$  olan bir yarı iletken, atom numarası  $Z-1$  olan bir element ile katkılandırıldığında ise yarı iletken ile element arasında kurulan bağda bir elektron eksikliği oluşur ve komşu atomdan bir elektron alır. Bu durumda komşu atomda bir boşluk oluşur. Bu tip katkılama ile oluşan yarı iletken p-tipi yarı iletken adı verilmektedir.

Yarı iletken dedektörlerde hem n-tipi hem de p-tipi yarı iletken türlerinin ikisi birden kullanılmaktadır. Yarı iletken dedektöre dışarıdan voltaj uygulandığı zaman n-tipi yarı iletkende bulunan yük taşıyıcıları (elektronlar) ile p-tipi yarı iletkende bulunan yük taşıyıcıları (deşikler) n ve p tipinin birleştiği ara kesite doğru hareket ederek elektrik alan oluşturur. Dedektöre gelen gama ışını, oluşan ara kesitle etkileşmesi sonucunda dedektör çıkışında bir puls meydana gelir.

Günümüzde radyasyon algılamada yaygın olarak kullanılan yarı iletken dedektörler Ge(Li) dedektörleri ve HPGe dedektörleridir. Ge(Li) dedektörleri, p tipi Ge yarı iletkenine Li katkılandırılarak elde edilmiştir. 1960'lı yıllardan beri kullanılan bu dedektör çeşidinde Li katkılanmasından dolayı belirli sıcaklıklarda oluşan ara kesitte difüzyon oluşturmaktadır. Bu nedenle sürekli olarak  $77^{\circ}\text{K}$ 'de tutulması gerekmektedir. HPGe dedektörlerde ise Li katkılanması yapılmadığı için dedektörün yalnızca kullanıldığı süre boyunca soğutulması yeterli olmaktadır (Baykal, 2007).



### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1 Örnekleme Bölgeleri

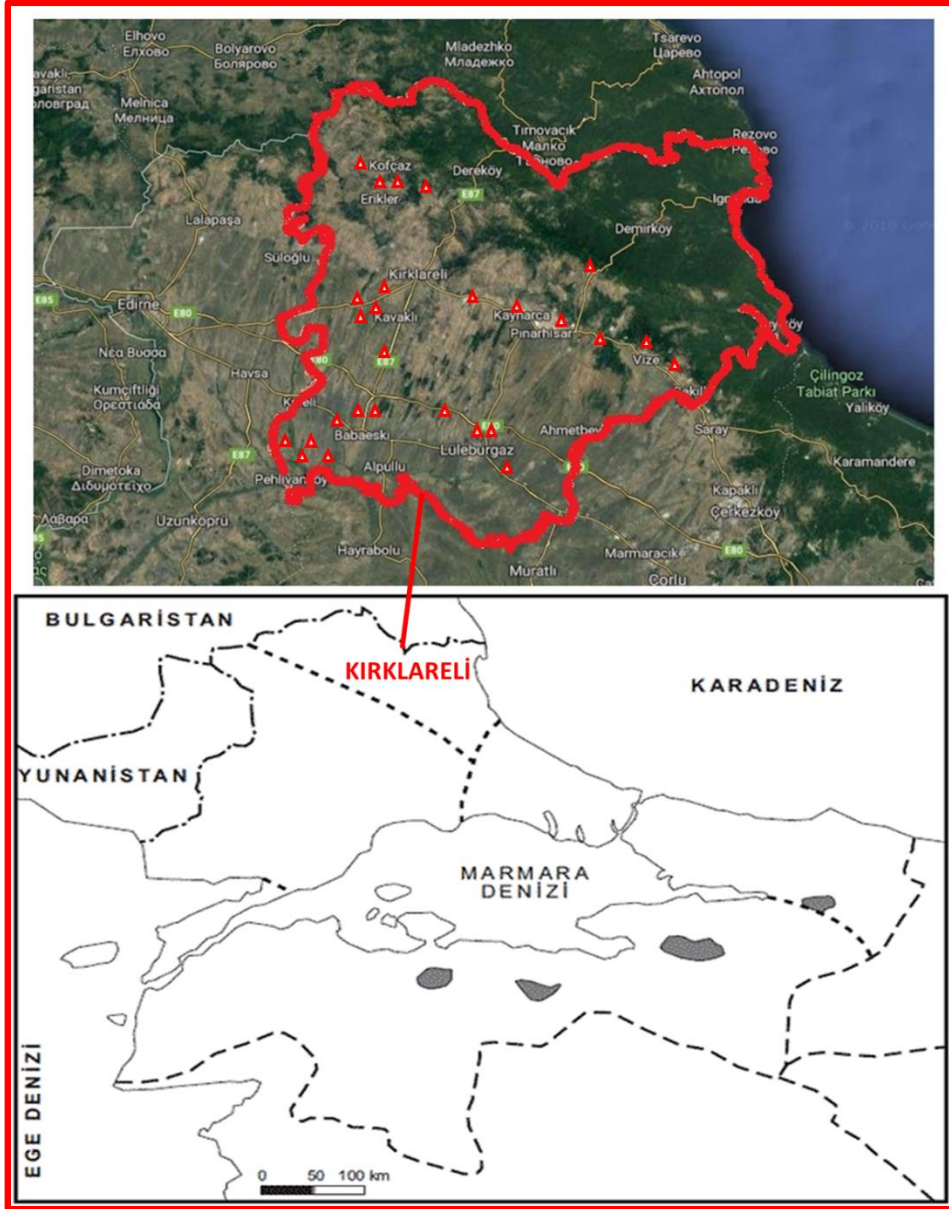
Çalışmada Kırklareli ilçelerinde bulunan tarım arazilerinde Mayıs 2018, Ağustos 2018, Ekim 2018 ve Ocak 2019 aylarında olmak üzere ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimlerinde toprak örnekleme yapılmıştır. Ayrıca, tarım arazilerinde yetiştirilen yerel bitkilerde topraktan bitkiye radyonüklid transferini araştırmak için Ağustos ayında ayçiçeği örnekleri toplanmıştır. Merkez, Kofçaz, Lüleburgaz, Pehlivanköy, Babaeski'den 4'er tarım arazisi, Pınarhisar ve Vize'den 3'er tarım arazisi, Pınarhisar-Demirköy yolundan 1 tarım arazisi olmak üzere toplamda 27 tarım arazisinde örnekleme yapılmıştır. Bu tarım arazilerinin 20'sinde ayçiçeği yetiştirilmektedir. Diğer tarım arazilerinde ise 2018 yılında ürün yetiştirilmemiştir. Örnekleme bölgelerinin yeri Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Örnekleme noktalarının konumları (lokasyonları) GPS sistemi kullanılarak kaydedilmiştir. Örnekleme bölgeleri ve koordinatları Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Kırklareli, Merkez dışında Babaeski, Demirköy, Kofçaz, Lüleburgaz, Pehlivanköy, Pınarhisar ve Vize olmak üzere 7 ilçesi ile Türkiye'de Marmara Bölgesi'nin Trakya kesiminde yer alan bir şehirdir. 6.550 km<sup>2</sup>'lik yüzölçümüne sahip olan il 41°13'34" ve 42°05'03" kuzey enlemleri ile 26°54'14" ve 28° 06'15" doğu boylamları arasında yer almaktadır.

Kırklareli ili, 4. derece deprem bölgesi olarak kabul edilmektedir. İl coğrafyasının %48'i dağlardan oluşmakta olup en önemlisi ilin kuzeybatı-güneydoğu doğrultusunda uzanan Yıldız Dağları (Istranca)'dır. Yıldız Dağları'nın kuzey kesimlerinde Karadeniz iklimi görülmekte ve yazlar serin, kışlar ise soğuk geçmektedir. İlin daha iç kesimlerinde karasal iklim görülmekte, yaz ve kış mevsimleri arasındaki sıcaklık farkı daha yüksek olmaktadır.

İlin yüzölçümünün %38'ini orman alanları, %42'sini tarım arazileri ve %5'ini ise mera alanları oluşturmaktadır. Kırklareli ilinin önemli gelir kaynakları gıda, tarım ve hayvancılıktır. TÜİK verilerine bakıldığında bölgenin tarımsal üretim değeri yaklaşık

olarak %77.4'ü bitkisel üretimden, %22.6'sı ise hayvansal üretimden oluşmaktadır. Bölgede yetiştirilen en önemli ürünler buğday, ayçiçeği ve çeltiktir. Bölge, Türkiye buğday (%12'si), ayçiçeği (%61'i) ve pirinç (%54'ü) üretimini büyük oranda karşılamaktadır (Semerci, 2006).



Şekil 3.1 : Örnekleme bölgeleri.

Yağlık ayçiçeği üretimi Türkiye geneline bakıldığında en çok Marmara Bölgesi'nin Trakya kesiminde bulunmaktadır. Yağlık ayçiçeği üretimine bakıldığında Türkiye genelinde Kırklareli yıllık 170.278 tonluk üretimle dördüncü sırada yer almaktadır (TÜİK). Kırklareli ili ve ilçeleri, geniş tarım arazisi kapasitesine sahip olması ve

özellikle ayçiçeği üretiminin oldukça yüksek olması nedeniyle çalışma bölgesi olarak belirlenmiştir.

**Çizelge 3.1 : Örnekleme Noktaları, İlçesi, Koordinatları ve alınan ürün bilgisi.**

Örnekleme Noktası	Örnek Kodu	İlçe	Koordinat	Ürün
1	M1	Merkez	41° 40.734'N, 27° 02.450'E	-
2	M2	Merkez	41° 40.410'N, 27° 00.346'E	Ayçiçeği
3	M3	Merkez	41° 40.006'N, 26° 57.670'E	Ayçiçeği
4	M4	Merkez	41° 39.998'N, 26° 57.662'E	-
5	B1	Babaeski	41° 32.334'N, 27° 07.719'E	Ayçiçeği
6	B2	Babaeski	41° 26.702'N, 27° 01.992'E	Ayçiçeği
7	B3	Babaeski	41° 26.696'N, 27° 02.010'E	Ayçiçeği
8	B4	Babaeski	41° 27.284'N, 27° 02.255'E	Ayçiçeği
9	K1	Koçaz	41° 49.376'N, 27° 11.580'E	Ayçiçeği
10	K2	Koçaz	41° 49.407'N, 27° 11.563'E	Ayçiçeği
11	K3	Koçaz	41° 50.567'N, 27° 10.761'E	Ayçiçeği
12	K4	Koçaz	41° 52.166'N, 27° 10.477'E	Ayçiçeği
13	L1	Lüleburgaz	41° 24.607'N, 27° 14.864'E	Ayçiçeği
14	L2	Lüleburgaz	41° 20.954'N, 27° 17.942'E	-
15	L3	Lüleburgaz	41° 23.190'N, 27° 20.557'E	-
16	L4	Lüleburgaz	41° 23.164'N, 27° 20.566'E	Ayçiçeği
17	PK1	Pehlivanköy	41° 25.614'N, 27° 01.654'E	-
18	PK2	Pehlivanköy	41° 25.613'N, 27° 01.686'E	-
19	PK3	Pehlivanköy	41° 24.777'N, 27° 01.227'E	Ayçiçeği
20	PK4	Pehlivanköy	41° 21.550'N, 26° 56.705'E	Ayçiçeği
21	PH1	Pınarhisar	41° 40.236'N, 27° 27.597'E	Ayçiçeği
22	PH2	Pınarhisar	41° 39.230'N, 27° 29.287'E	-
23	PH3	Pınarhisar	41° 37.452'N, 27° 37.626'E	Ayçiçeği
24*	PH4	Pınarhisar	41° 40.560'N, 27° 36.954'E	Ayçiçeği
25	V1	Vize	41° 36.949'N, 27° 38.890'E	Ayçiçeği
26	V2	Vize	41° 35.304'N, 27° 44.426'E	Ayçiçeği
27	V3	Vize	41° 33.044'N, 27° 48.916'E	Ayçiçeği

\*Pınarhisar-Demirköy yolu üzerinde bulunmaktadır.

M:Merkez B: Babaeski K: Koçaz L: Lüleburgaz PK: Pehlivanköy PH: Pınarhisar V: Vize

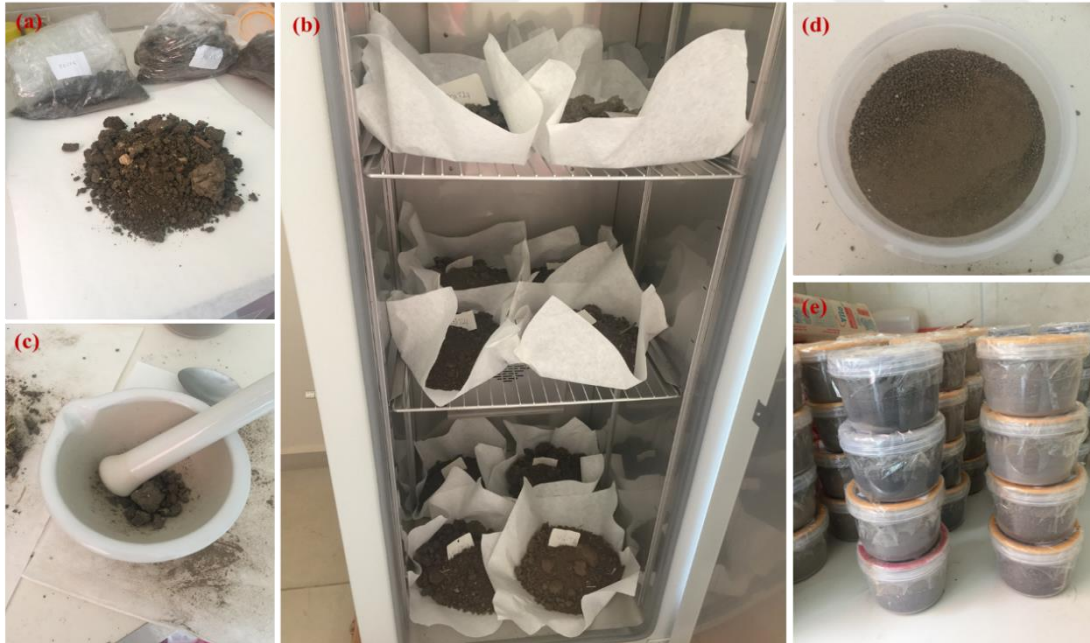
### 3.2 Toprak Örneklerinin Gama Spektrometrik Analize Hazırlanması

Bir tarım arazisinde toprağın özelliği aynı tarla için genellikle farklılıklar gösterebilmektedir. Bu nedenle; toprağın tarlayı tanımlaması için tarlanın farklı noktalarından toprak örneklerinin alınması gerekmektedir. Toprak örneklerinin analize hazırlama işlemlerinde yaygın olarak iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan ilki bölgede rastgele zigzaglar çizerek toprak örneklerinin toplanması ve

karıştırılarak analizlerin gerçekleştirilmesidir. Diğer bir yöntem ise analiz edilecek bölgenin büyüklüğüne göre 5-10 farklı nokta belirleyerek toprak örneklerinin toplanması ve karıştırılarak analize hazırlanmasıdır.

Bu çalışmada toprak örnekleri Mayıs 2018, Ağustos 2018, Ekim 2018 ve Ocak 2019 aylarında tarım arazilerinde 5 ayrı noktadan 0-20 cm derinlikten kürek yardımı ile toplanmıştır.

Toprak örnekleri alındıktan sonra poşetlere konulmuş ve etiketlenerek numaralandırılmıştır. Laboratuvara getirilen örneklerde bulunan taş, ot, odun parçaları gibi yabancı cisimler ayıklanmış, neminin alınması ve daha uzun süre saklanması için 105 °C'de etüvde 48 saat boyunca kurutulmuştur. Kurutma işleminin ardından her tarım arazisi için 5 farklı noktadan alınan toprak örnekleri eşit miktarlarda karıştırılmış ve homojen olması için öğütülerek elekten geçirilmiştir. Toprak örnekleri son olarak 250 mL hacimli sayım kaplarına örnek numarası ve kapatıldığı tarih yer alacak şekilde etiketlenerek konulmuştur. Toprak örneklerinde bulunan radyonüklidlerin radyoaktif dengeye ulaşması için örnekler hava almayan sayım kaplarında beklemeye alınmıştır (Şekil 3.2).



**Şekil 3.2 :** Etiketlenerek laboratuvara getirilen toprak örnekleri, (b) Etüvde kurutulmaya alınmış toprak örnekleri, (c) Öğütme işlemine alınmış toprak örneği, (d) ve (e) Sayım kabına alınmış toprak örnekleri.

### 3.3 Bitki Örneklerinin Gama Spektrometrik Analize Hazırlanması

Çalışmada ayçiçeği örnekleri; Ağustos 2018’de belirlenen tarım arazilerinde 5 ayrı noktadan baş kısımları kesilerek alınmıştır. Ayçiçeği örnekleri alındıktan sonra poşetlere yerleştirilmiş ve etiketlenerek numaralandırılmıştır. Laboratuvara getirilen örnekler öncelikli olarak oda koşulunda kurumaya bırakılmış, sonrasında ise 105 °C’de etüvde 48 saat boyunca kurutulmuştur. Kurutma işleminin ardından her bir tarım arazisinde 5 farklı noktadan alınan ayçiçeği örneklerinin çekirdek kısımları çıkarılmış ve ayçiçeklerin baş kısımlarının dörtte biri kesilerek eşit miktarlarda karıştırılmıştır.

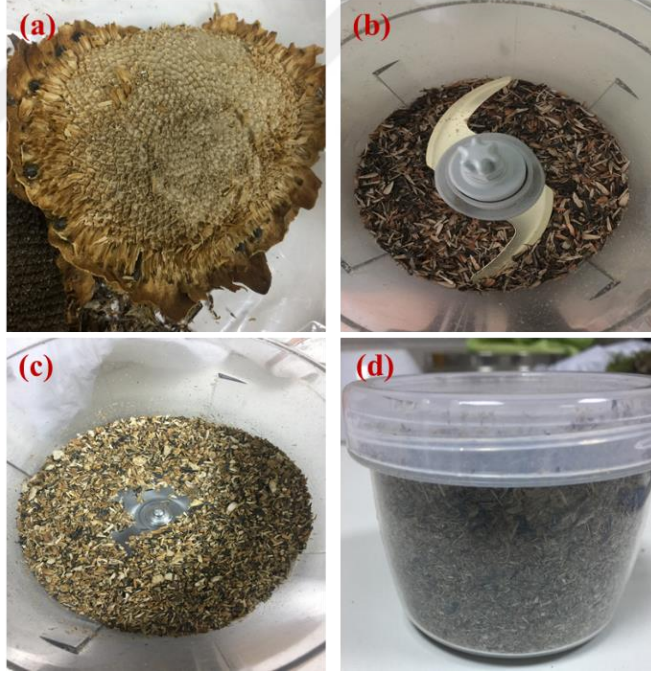
Karıştırma işleminin ardından ayçiçeği örnekleri rondodan geçirilmiştir. Örnekler son olarak 250 mL hacimli sayım kaplarına örnek numarası ve kapatıldığı tarih yer alacak şekilde etiketlenerek koyulmuştur. Toprak örneklerinde olduğu gibi ayçiçeği örneklerinde bulunan radyonüklidlerin radyoaktif dengeye ulaşması için havayla temas etmeyen sayım kaplarında beklemeye alınmıştır (Şekil 3.4 ve Şekil 3.5).



Şekil 3.3 : Örnekleme yapılan ayçiçeği tarlalarından görüntüler.



**Şekil 3.4 :** (a) ve (b) Oda koşullarında kurumaya bırakılmış ayçiçeği örnekleri, (c) Oda koşulunda kurutulmuş ayçiçeği örnekleri, (d) Etüvde kurumaya alınmış ayçiçeği örnekleri.



**Şekil 3.5 :** (a) Çekirdek çıkarma işlemi, (b) ve (c) Rondodan geçirme işlemi ve (d) Sayım kabına yerleştirme işlemi.

### 3.4 Gama Spektrometrik Analiz Sistemi

Çalışmada Kırklareli il merkezi ve ilçelerinden toplanan toprak ve bitki örneklerindeki  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonlarını belirlemek için Kırklareli Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan yüksek çözünürlüklü gama-ışını spektrometresi kullanılmıştır. Ölçümlerde kullanılan Ortec marka yüksek saflıkta germanyum (HPGe) dedektörlü gama spektrometre sistemi Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de verilmiştir.



**Şekil 3.6 :** Ortec GEM 70P4-95 model HPGe dedektörlü gama spektrometre sistemi.

Gama spektrometresi; bir örnek için çeşitli radyoaktif çekirdekleri aynı anda analiz edebilme, örnek hazırlama işlemlerinin kolaylığı, doğru ve kararlı ölçüm sonuçlarına ulaşma gibi özellikleri nedenleriyle aktivite konsantrasyonu ölçümlerinde yaygın olarak tercih edilmektedir. Gama spektrometresi bileşenleri Şekil 3.8’de gösterilmiştir. Dedektör, önyükselteç, yükselteç ve çok kanallı analizör ölçüm düzeneğinin temelini oluşturmaktadır.

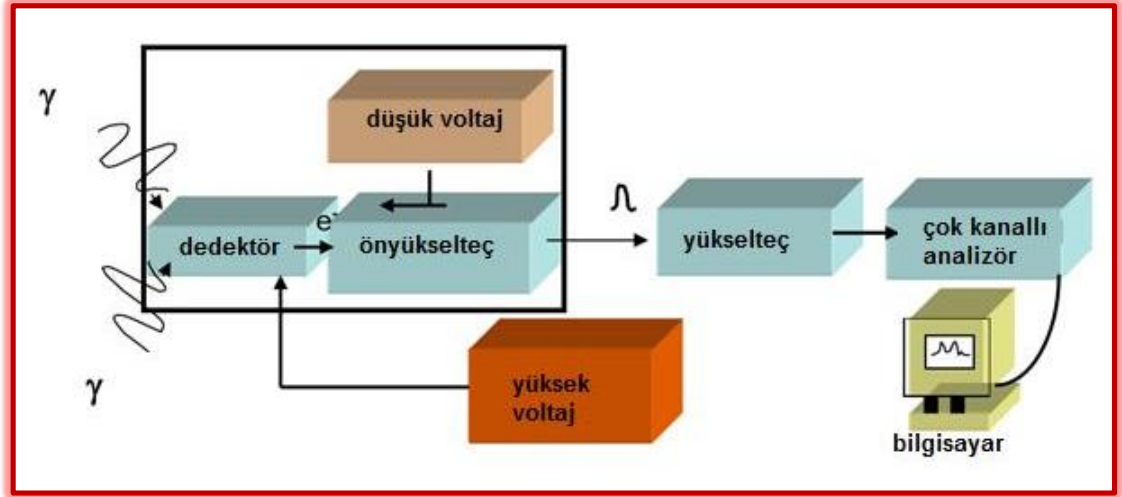


**Şekil 3.7 : HPGe Dedektör.**

Gama spektrometresinde gama ışınları dedektörle etkileşerek önyükselteçte toplanır. Toplanan sinyaller önyükselteç tarafından büyütülür ve direnç mertebesi ayarlanır. Önyükselteçten geçen pulslar yeniden şekillendirilmek ve yükseltmek amacıyla yükselteç gönderilir. Yükselteçte sinyal-gürültü oranı ile genliği ayarlanan pulslar çok kanallı analizöre gönderilir ve çok kanallı analizörde yüksekliklerine göre sıralandırılır. Son olarak da analog-sayısal dönüştürücü pulsları sayısal verilere dönüştürerek sayım sonuçları elde edilir.

Gama spektrometresinin ölçümlerden önce kalibre edilmesi gerekmektedir. Kalibrasyon, enerjileri bilinen standart kaynaklar kullanılarak yapılmaktadır. Kalibre işlemi Çizelge 3.2’de özellikleri verilen standart kaynaklar (Eckert & Ziegler Isotope Products Laboratories) ile gerçekleştirilmiştir.





Şekil 3.8 : Gama Spektrometresinin blok diyagramı (Kahveci, 2019).

Çizelge 3.2 : Kalibrasyon işleminde kullanılan standart kaynaklar ve özellikleri.

Gama Işını Enerjisi (keV)	Radyonüklid Adı	Yarı Ömür	Gama Işını Şiddeti (%)	Aktivite ( $\mu\text{Ci}$ )
47	$^{210}\text{Pb}$	22.3 yıl	4.18	0.3053
60	$^{241}\text{Am}$	432.17 yıl	36.0	0.03073
88	$^{109}\text{Cd}$	462.6 gün	3.63	0.4411
122	$^{57}\text{Co}$	271.79 gün	85.6	0.01587
166	$^{139}\text{Ce}$	137.640 gün	79.9	0.02006
279	$^{203}\text{Hg}$	46.595 gün	81.5	0.06015
392	$^{113}\text{Sn}$	115.09 gün	64.9	0.08151
514	$^{85}\text{Sr}$	64.849 gün	98.4	0.09832
662	$^{137}\text{Cs}$	30.17 yıl	85.1	0.06853
898	$^{88}\text{Y}$	106.630 gün	94.0	0.1589
1173	$^{60}\text{Co}$	5.272 yıl	99.86	0.08395
1333	$^{60}\text{Co}$	5.272 yıl	99.98	0.08395
1836	$^{88}\text{Y}$	106.630 gün	99.4	0.1589

### 3.5 Aktivite Konsantrasyonlarının Hesaplanması

Tarım arazilerinden toplanan toprak ve bitki örneklerinin aktivite konsantrasyon değerleri  $\text{Bq kg}^{-1}$  (kuru ağırlık) biriminde aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır:

$$A = \frac{N_{net}}{\epsilon.t.I.m} \quad (3.1)$$

Burada  $A$ ,  $N_{net}$ ,  $\epsilon$ ,  $t$ ,  $m$  ve  $I$  sırasıyla; aktivite ( $Bq\ kg^{-1}$ ), net pik alanı, dedektör verimi, sayım süresi, örnek kütlesi ( $kg$ ) ve gama enerjisinin yayınlanma olasılığıdır (Kaya ve ark., 2015; Bostancı, 2011).

### 3.6 Radyasyon Parametrelerinin Hesaplanması

#### 3.6.1 Karasal Soğurulan Gama Doz Hızı (D)

Karasal soğurulan gama doz hızı ( $D$ ), toprak yüzeyinden 1 metre yükseklikteki karasal radyasyona maruz kalma nedeniyle vücudun saatte soğurmuş olduğu gama doz oranıdır. Karasal soğurulan gama doz oranı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilmektedir (Aközcan, 2018; UNSCEAR, 2000; Alajeli, 2019):

$$D\ (nGy\ h^{-1}) = 0.462A_{Ra} + 0.604A_{Th} + 0.0417A_K \quad (3.2)$$

Burada 0.462, 0.604, ve 0.0417 sayıları UNSCEAR raporunda verilmiş olan sırasıyla  $^{226}Ra$ ,  $^{232}Th$  ve  $^{40}K$  radyonüklid doz katsayılarıdır.  $A_{Ra}$ ,  $A_{Th}$  ve  $A_K$  sırasıyla  $^{226}Ra$ ,  $^{232}Th$  ve  $^{40}K$  radyonüklidlerinin  $Bq\ kg^{-1}$  biriminde aktivite konsantrasyonlarıdır. Çalışmada eşitlikteki bağıntı kullanılarak tarım arazilerinden alınan toprak örnekleri için karasal soğurulan gama doz hızı  $nGy\ h^{-1}$  cinsinden hesaplanmıştır.

#### 3.6.2 Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (AEDE)

Yıllık etkin doz eşdeğeri (AEDE), havada soğurulan gama doz oranının canlıda oluşturacağı biyolojik etkiyi ve bir yıl boyunca radyasyona maruz kaldığı radyasyon dozunu belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Yıllık etkin doz eşdeğeri aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır (UNSCEAR, 2000):

$$AEDE\ (\mu Sv\ y^{-1}) = D(nGy\ h^{-1}) \times 8760(h) \times 0.2 \times 0.7(Sv\ Gy^{-1}) \times 10^{-3} \quad (3.3)$$

Gama ışınlarının canlıda oluşturduğu etkiyi hesaplarken radyasyona ne kadar süre maruz kaldığının bilinmesi gerekmektedir. Maruz kalma süresi meşguliyet faktörü olarak tanımlanmaktadır. Bir yıl 365 gün olarak alındığında ve 24 saat boyunca radyasyona maruziyet olduğu düşünüldüğünde, insanlar bir yıl boyunca 8760 saat radyasyona maruz kalmaktadırlar. Ortalama olarak bir insanın günde yaklaşık 5 saatini açık alanda geçirdiği varsayılırsa meşguliyet faktörü 0.2 olarak alınmaktadır. Eşitlikteki 0.7 katsayısı ise yetişkinler için havadan soğurulan dozun etkin doza

dönüşüm katsayısıdır. Çalışmada her bir toprak örneği için yıllık etkin doz eşdeğeri hesaplanmıştır.

### 3.6.3 Radium Eşdeğer Aktivitesi ( $R_{eq}$ )

$^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyonüklidleri aynı bölgede homojen olarak dağılım göstermemektedir. Çalışmada tarım arazilerinden alınan toprak örneklerinde bulunan  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyonüklidlerinin aktivite konsantrasyonunu karşılaştırmak ve gama ışınlarının bireylerde oluşturduğu etkiyi belirlemek için Beretka ve Mathew tarafından verilen eşitlik kullanılarak  $\text{Bq kg}^{-1}$  cinsinden radium eşdeğer aktivitesi hesaplanmıştır (Beretka ve Mathew, 1985):

$$R_{(eq)} (\text{Bq kg}^{-1}) = A_{\text{Ra}} + 1.43A_{\text{Th}} + 0.077A_{\text{K}} \quad (3.4)$$

Burada  $A_{\text{Ra}}$ ,  $A_{\text{Th}}$  ve  $A_{\text{K}}$  sırasıyla  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyonüklidlerinin  $\text{Bq kg}^{-1}$  biriminde aktivite konsantrasyonlarıdır. Eşitlikte  $^{226}\text{Ra}$  radyonüklidinin 370  $\text{Bq kg}^{-1}$ 'lık aktivitesi,  $^{232}\text{Th}$  radyonüklidinin 259  $\text{Bq kg}^{-1}$ 'lık aktivitesi ve  $^{40}\text{K}$  radyonüklidinin 4810  $\text{Bq kg}^{-1}$ 'lık aktivitesinin aynı gama doz oranını ürettiği kabul edilmektedir.

### 3.6.4 Dış Tehlike İndeksi ( $H_{ex}$ )

Dış tehlike indeksi, radyasyonun vermiş olduğu zararı belirlemek için kullanılır ve Beretka ile Mathew tarafından verilen eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır (Kregier, 1981; Al-Hamarneh, 2009):

$$H_{ex} = A_{\text{Ra}}/370 + A_{\text{Th}}/259 + A_{\text{K}}/4810 \quad (3.5)$$

Eşitlikte  $A_{\text{Ra}}$ ,  $A_{\text{Th}}$  ve  $A_{\text{K}}$  sırasıyla  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyonüklidlerinin  $\text{Bq kg}^{-1}$  biriminde aktivite konsantrasyonlarıdır. Radyasyon zararının önemsiz sayılması için  $H_{ex}$ 'in değerinin 1'e eşit veya 1'den küçük olması gerekmektedir.

### 3.6.5 Yaşam Boyu Kanser Riski (ELCR)

Yaşam boyu kanser riski, bir popülasyonun hayatı boyunca iyonize radyasyona maruz kalması sonucunda oluşabilecek kanser riski olasılığını ifade etmektedir. Yaşam boyu kanser riski (ELCR) aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanabilmektedir (Taskin, 2009; Kolo, 2017):

$$ELCR = AEDE(\mu Sv y^{-1}) \times DL(y) \times RF(Sv^{-1}) \quad (3.6)$$

Burada AEDE çalışmada hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğeri; DL ise ortalama yaşam süresi (70 yıl)'dir. RF, risk faktörü Sievert başına ölümcül kanser riskini ifade etmektedir ve  $0.057 \mu Sv^{-1}$  olarak alınmıştır (ICRP, 2007). UNSCEAR'a göre ELCR değerinin dünya ortalaması  $0.29 \times 10^{-3}$  olarak verilmiştir (UNSCEAR, 2000).

### 3.7 Transfer Faktörünün Hesaplanması

Toprakta bulunan radyonüklidlerin bitki metabolizmasına geçiş oranını transfer faktörü (TF) vermektedir. TF değerleri bitkideki ve topraktaki radyonüklid aktivite konsantrasyonları kullanılarak aşağıda verilen denklemle hesaplanmaktadır:

$$TF = \frac{A_B}{A_T} \quad (3.7)$$

Burada  $A_B$  bitkide bulunan radyonüklidin  $Bq kg^{-1}$  biriminde aktivite konsantrasyonu ve  $A_T$  toprakta bulunan radyonüklidin  $Bq kg^{-1}$  biriminde aktivite konsantrasyonudur (IAEA, 1994).

### 3.8 Toprakta Radon Gazı Ölçümü

Çalışmada örnekleme yapılan tarım arazilerinde radon ( $^{222}Rn$ ) aktivite konsantrasyonlarının ölçülmesi amacıyla yaz mevsimi için Ağustos 2018 ve kış mevsimi için Ocak 2019 aylarında Kırklareli Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan AlphaGUARD PQ2000 PRO cihazı kullanılmıştır. Ölçüm işlemleri örnekleme bölgelerinde 27 tarım arazisinde gerçekleştirilmiştir. Her tarım arazisinde 2 farklı noktadan olmak üzere yaz ve kış mevsimi için toplamda 108 noktadan ölçümler alınmıştır. AlphaGUARD dedektörü ile toprakta radon ölçümü gerçekleştirmek için 1 m uzunluğundaki toprak gazı probu kullanılmıştır. Çalışmada toprak gazı sondasının ucu 30-40 cm derinlikte olacak şekilde ölçümler alınmıştır. Ölçüm görüntüleri Şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.9 : Radon aktivite konsatrasyonu ölçüm görüntüleri.

### 3.8.1 AlphaGUARD PQ2000 PRO Radon Dedektör Sistemi

AlphaGUARD dedektörü havada, suda, toprakta ve yapı malzemelerindeki radon gazını ölçmekte kullanılan taşınabilir nitelikte bir cihazdır. Havada yapılan ölçümlerde herhangi bir ek ekipmana ihtiyaç duyulmazken; su, toprak ve yapı malzemeleri için yapılan ölçümlerde ek ekipmana ihtiyaç duyulmaktadır. AquaKIT aparatı ile suda, toprak gazı sondası (Soil Gas Probe) ile toprak ve yapı malzemelerinde radon aktivite konsantrasyonu ölçümleri gerçekleştirilebilmektedir.

Cihaz, hem kolay ve pratik kullanımı hem de uzun süreli ölçümler gerçekleştirebilmesi nedeniyle radon gazını ölçmede yaygın olarak tercih edilmektedir. Ölçüm esnasında doğrudan bir güç kaynağına bağlı olarak kullanılabilmesi gibi, bataryası 10 gün boyunca ölçüm yapılmasına imkan sağlamaktadır (Günay ve ark., 2018). Dedektörün hata payı  $20 \text{ Bq m}^{-3}$ 'te 1 CPM ve ya  $100 \text{ Bq m}^{-3}$ 'te 4.5 CPM'dir. Hassasiyeti oldukça düşük olup, doğrusallık hata payı yaklaşık olarak %3'tür.

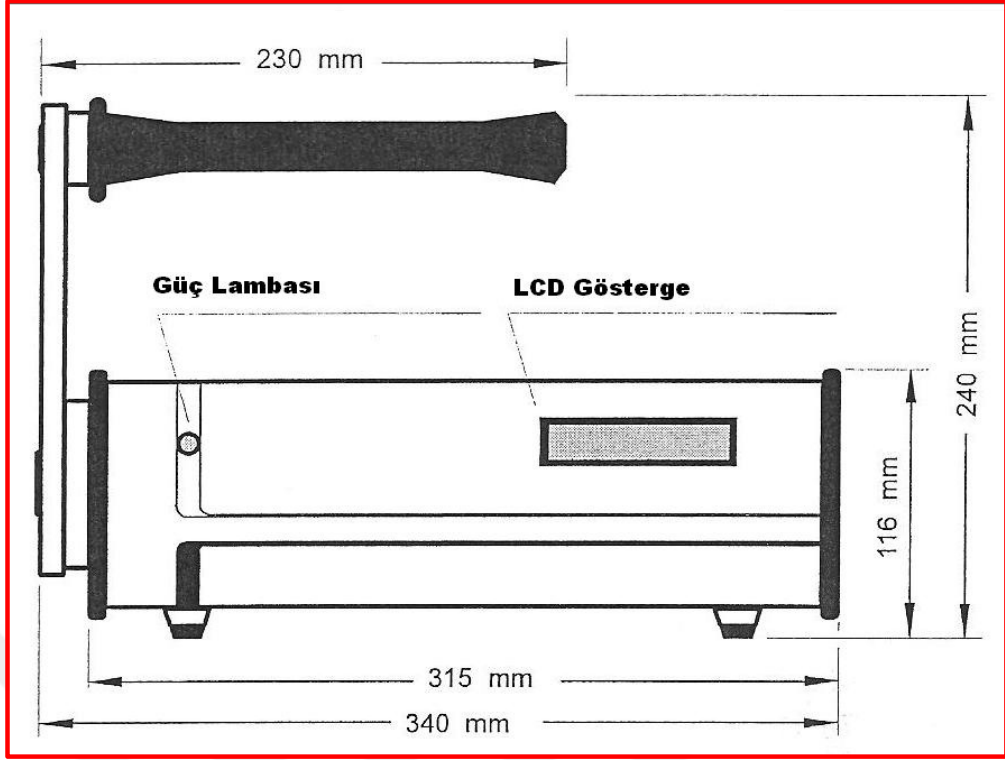
Cihaz ile  $2-2 \times 10^6 \text{ Bq m}^{-3}$  aralığındaki radon yoğunlukları ve eş zamanlı olarak topraktaki sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ), nem oranı (%Rh) ve atmosfer basıncı (mbar) ölçülebilmektedir. AlphaGUARD iyonizasyon odalı bir cihazdır. AlphaGUARD cihazının dış çeperi korunaklı bir alüminyum gövdeden oluşmaktadır. Alüminyum gövdenin içinde ise ölçümün gerçekleşmesini sağlayan bileşenler bulunmaktadır.



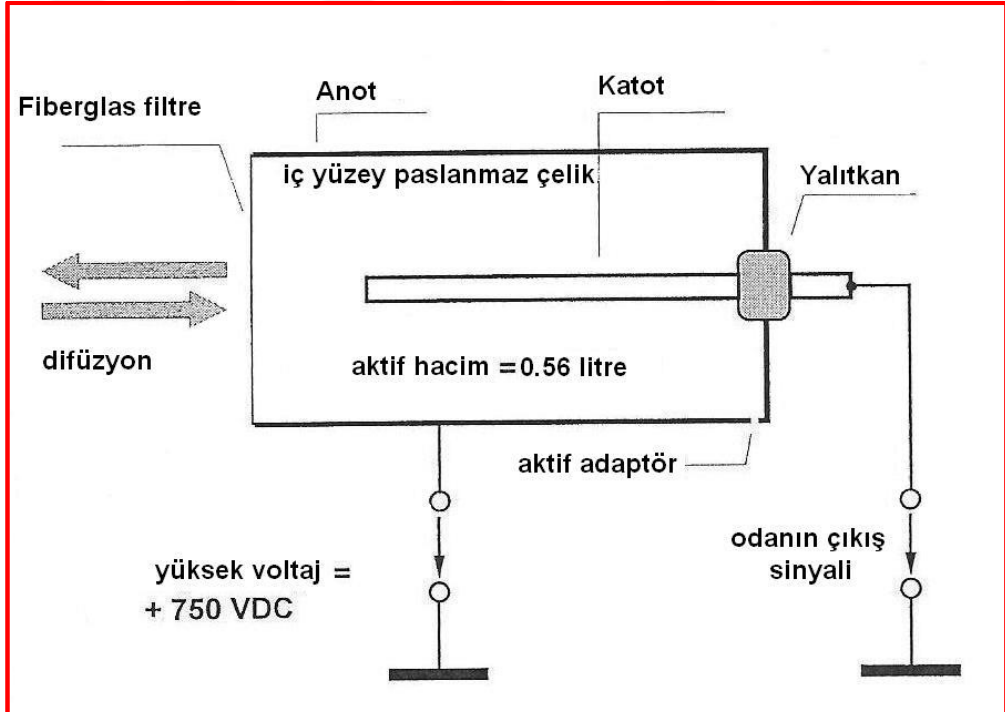
**Şekil 3.10 :** AlphaGUARD PQ 2000PRO detektörü.

Cihazın ön kısmında LCD göstergesi ve güç lambası bulunmaktadır. LCD göstergede ölçüm sırasında radon konsantrasyonundaki ve iklimsel parametrelerdeki değişimleri göstermektedir. Cihazın arka kısmında ise dedektörün içine hava girişini sağlayan vida yuvası bulunmaktadır. Cihazın iç kısmında ise ölçüm yapılmasını sağlayan 0.56 litrelik silindirik atma iyonizasyon çemberi ve bu iyonizasyon odasından gelen sinyalleri sayısal verilere dönüştüren sinyal işleme birimi DSP (Digital Signal Processing-Sayısal Sinyal İşleme) bulunmaktadır. Şekil 3.10 ve Şekil 3.11’de AlphaGUARD Radon detektörünün önden görünüşü ve Şekil 3.12’de iyonizasyon çemberinin şematik gösterimi verilmiştir.

İyonizasyon çemberinin iç kısmı metalik bir yapıda olup cihaz çalıştırıldığında 750 voltluk bir iç gerilimle yüklenir ve anot kutbu haline gelir. Dedektörün merkezinde yatay eksen boyunca uzanan paslanmaz çelikten yapılmış bir çubuk bulunmaktadır ve 0 voltluk katot kutbu görevini yerine getirir. Anot ve katot arasındaki 750 voltluk gerilim farkı sonucunda iyonizasyon sonucu meydana gelen katyonlar (- yüklü iyonlar) katota, anyonlar (+ yüklü iyonlar) ise anota hareket ederler. Böylece yüklerin bu hareketi sonucunda birkaç miliamper büyüklüğünde akım meydana gelir ve oluşan akım AlphaGUARD cihazının elektronik birimi tarafından anlamlı verilere çevrilir.



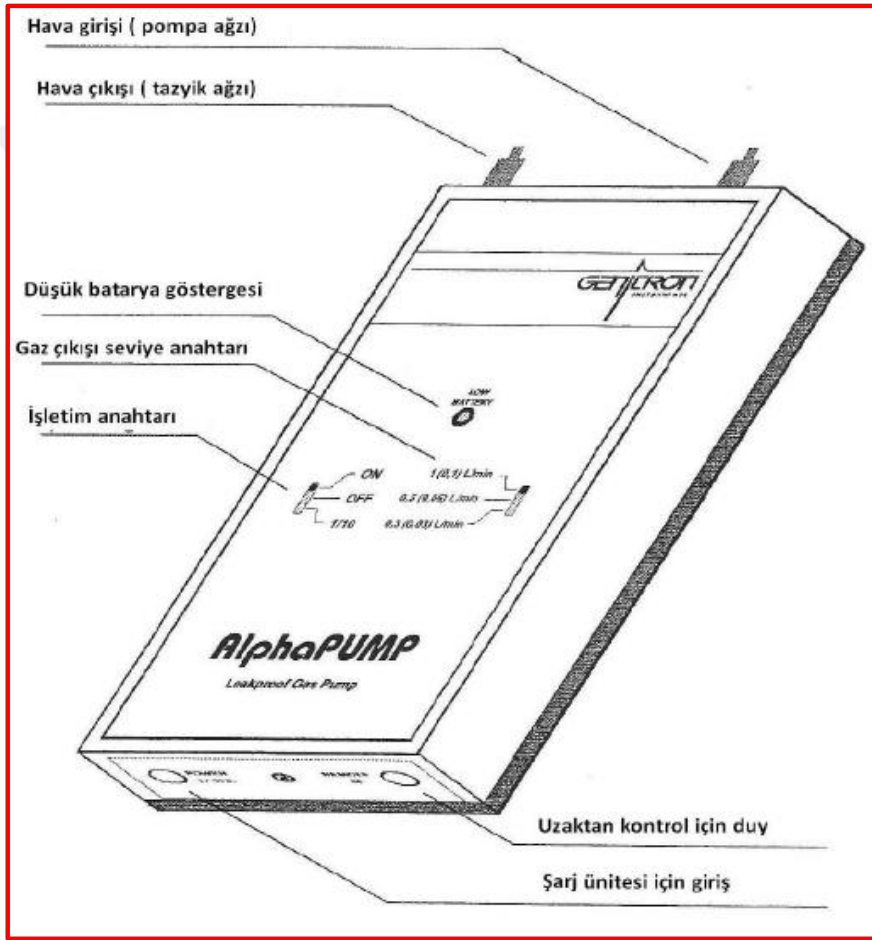
Şekil 3.11 : AlphaGUARD Radon detektörünün önden görünüşü (P.R.M.A. Kullanım Kılavuzu).



Şekil 3.12 : AlphaGUARD iyonizasyon odası (P.R.M.A. Kullanım Kılavuzu).

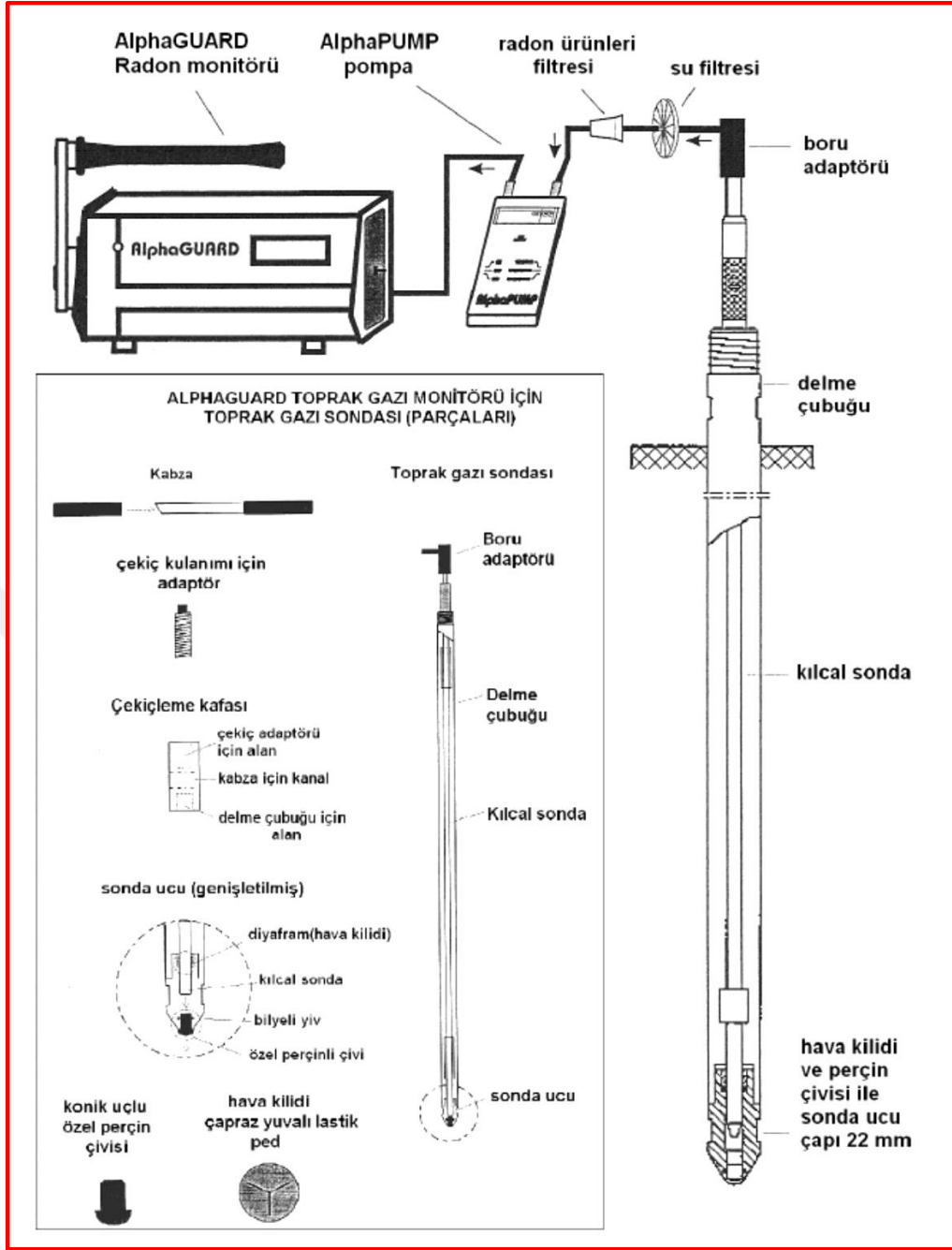
Radon gazı ölçümlerinde cihaz, difüzyon modu ve akış modu olmak üzere iki farklı modda çalıştırılabilmektedir. Ölçüm sıklığına göre difüzyon modunda 10 veya 60 dakikalık ölçümler, akış modunda ise 1 veya 10 dakikalık ölçümler alınabilmektedir.

Çalışmada pompalama işlemi için AlphaPUMP'ın üzerindeki birinci anahtar "ON" konumuna, diğer anahtar ise "1 L/min" konumuna getirilmiş, dakikada 1 litre gaz pompalanması sağlanmıştır. AlphaGUARD dedektörü menüsünde ise 10 min FLOW modu seçilerek 10 dakikalık periyotta ölçülen ortalama radon konsantrasyonu değeri kaydedilmiştir.



Şekil 3.13 : AlphaPUMP şematik gösterimi (P.R.M.A. Kullanım Kılavuzu).





**Şekil 3.14 :** Toprakta radon gazı ölçümünde kullanılan ekipmanlar (P.R.M.A Kullanım Klavuzu).



## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1 Aktivite Konsantrasyonları

#### 4.1.1 Toprak Örneklerindeki $^{226}\text{Ra}$ , $^{232}\text{Th}$ , $^{40}\text{K}$ ve $^{137}\text{Cs}$ Dağılımı

Kırklareli il merkezi ve ilçelerinde 27 farklı tarım arazisinin 5 farklı noktasından alınan toprakların karıştırılması ile elde edilen örneklerinde ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  radyonüklidlerinin aktivite konsantrasyonları belirlenmiştir. İlkbahar mevsiminde toplanan toprak örnekleri için hesaplanan  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  radyonüklidlerinin aktivite konsantrasyonları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

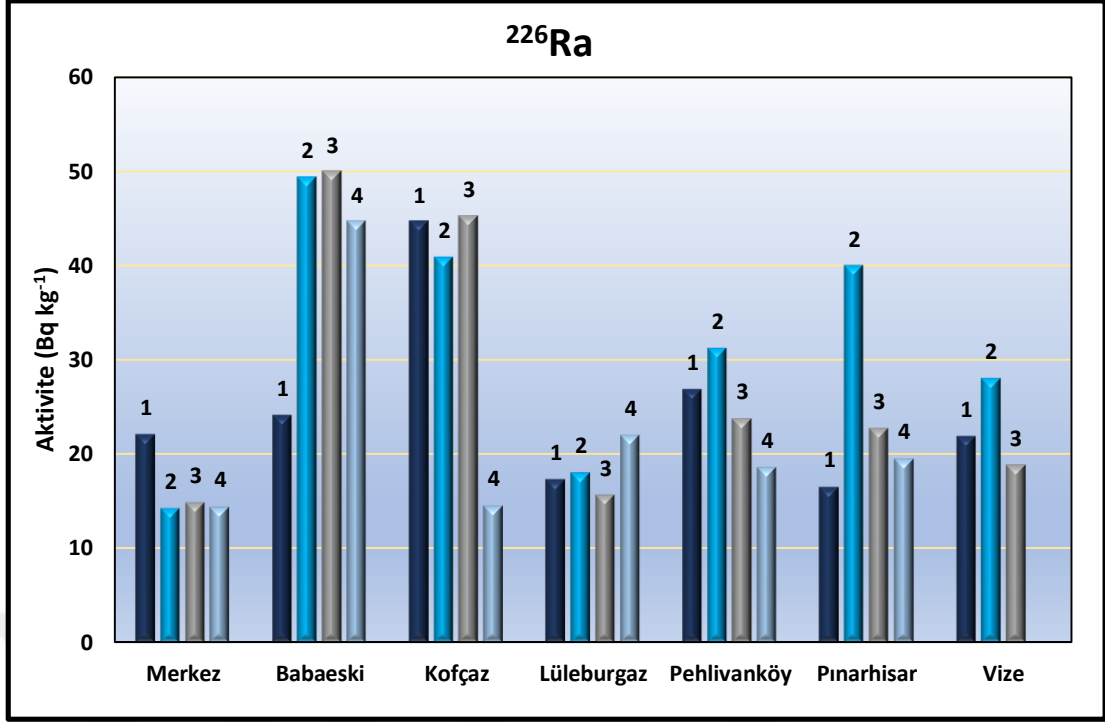
Örnekleme noktaları kıyaslandığında  $^{226}\text{Ra}$  aktivite konsantrasyonu değeri  $14.31 \pm 1.19$  Bq  $\text{kg}^{-1}$  ile  $50.06 \pm 1.24$  Bq  $\text{kg}^{-1}$  arasında değişim göstermektedir (Şekil 4.1). En yüksek  $^{226}\text{Ra}$  aktivite konsantrasyonu Babaeski (B3 örnek kodu) ilçesinden alınan toprak örneğinde ölçülürken en düşük konsantrasyon ise Merkez (M2 örnek kodu) ilçesinden alınan toprak örneğinde tayin edilmiştir.

Ortalama aktivite konsantrasyonu  $25.81 \pm 1.83$  Bq  $\text{kg}^{-1}$ ’dir.  $^{226}\text{Ra}$  radyonüklidinin aktivitelerinin ortalama değeri UNSCEAR raporundaki  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesi için belirtilen ortalama değer olan 35 Bq  $\text{kg}^{-1}$  değerinin altındadır. B2, B3, B4, K1, K2 ve PH2 kodlu örneklerde  $^{226}\text{Ra}$  aktivite konsantrasyonları UNSCEAR raporundaki  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesi için belirtilen ortalama değer olan 35 Bq  $\text{kg}^{-1}$  değerinin üzerinde olduğu görülmektedir (Çizelge 4.1).

**Çizelge 4.1 :** İlkbahar mevsimi için toprak örneklerinin radyonüklid aktivite konsantrasyonları (Bq kg<sup>-1</sup>).

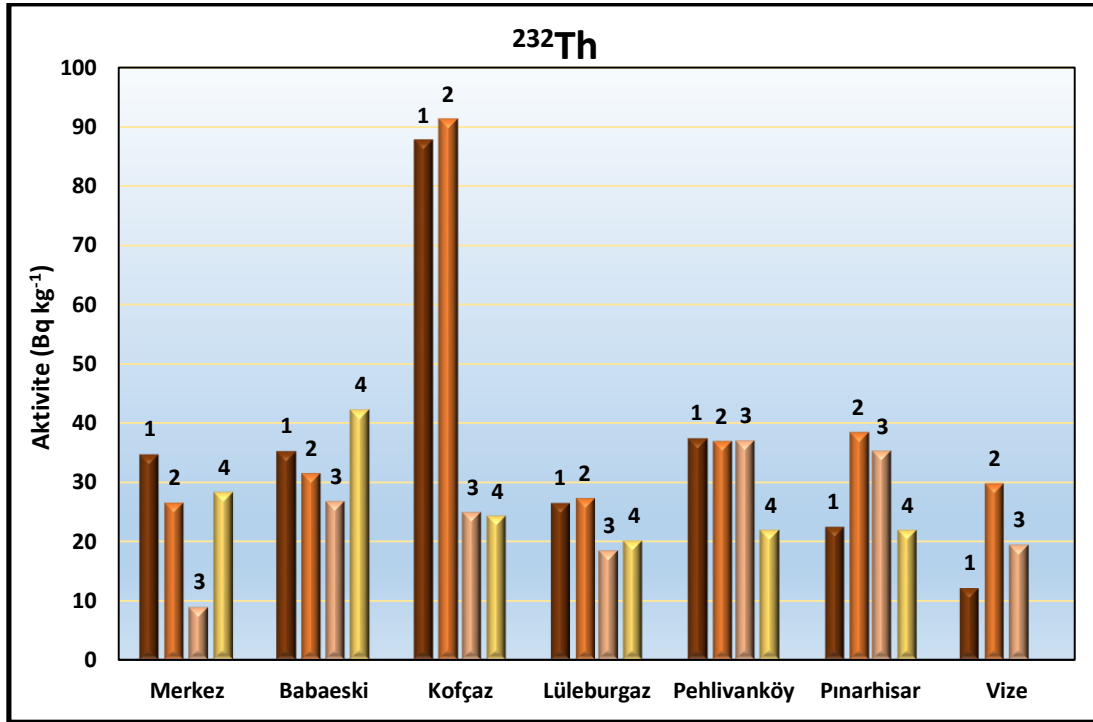
Örnek Kodu	<sup>226</sup> Ra	<sup>232</sup> Th	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs
M1	22.21±2.12	34.66±1.34	486.5±9.72	4.55±0.39
M2	14.31±1.19	26.46±1.18	491.63±6.11	5.05±0.35
M3	14.94±0.70	8.85±1.90	442.03±10.50	4.97±0.37
M4	14.52±0.92	28.22±0.62	512.27±10.47	3.99±0.62
B1	24.27±0.78	35.18±0.52	543.96±9.49	<0.12*
B2	49.44±1.74	31.39±0.66	532.06±10.87	3.87±0.30
B3	50.06±1.24	26.69±0.60	412.25±9.46	4.04±0.47
B4	44.75±1.35	42.11±0.68	537.80±10.32	1.37±0.29
K1	40.98±4.51	87.64±2.93	869.30±12.21	2.63±0.52
K2	45.35±1.54	91.16±0.95	846.95±15.65	2.45±0.50
K3	14.67±1.04	24.85±0.57	781.29±12.91	2.71±0.56
K4	18.63±0.76	24.13±0.48	426.47±9.78	2.09±0.33
L1	17.46±0.60	26.44±0.56	420.10±10.01	2.38±0.46
L2	18.14±0.92	27.23±0.55	444.73±10.41	3.83±0.51
L3	15.74±0.78	18.30±1.88	476.97±10.70	3.15±0.38
L4	22.13±4.14	20.00±1.73	473.41±9.17	3.37±0.25
PK1	26.98±2.89	37.39±0.46	455.54±7.33	3.32±0.32
PK2	31.33±4.37	36.83±0.63	461.42±10.30	3.56±0.35
PK3	23.88±0.93	36.89±0.64	436.70±9.96	3.39±0.47
PK4	18.72±0.77	21.79±0.51	555.31±10.58	3.62±0.51
PH1	16.64±0.86	22.43±1.88	339.81±9.95	4.48±0.38
PH2	40.09±2.16	38.32±2.92	380.81±17.82	4.58±0.80
PH3	22.82±5.12	35.15±0.64	381.38±9.94	5.36±0.52
PH4	19.62±2.29	21.82±0.51	478.92±9.35	4.13±0.36
V1	22.02±0.86	12.09±2.01	176.66±8.09	6.72±0.53
V2	28.13±4.22	29.69±0.60	495.65±13.80	3.81±0.39
V3	18.93±0.72	19.33±1.48	557.13±8.40	3.73±0.34
Minimum	14.31±1.19	8.85±1.90	176.66±8.09	<0.12*
Maksimum	50.06±1.24	91.16±0.95	869.30±12.21	6.72±0.53
Ortalama	25.81±1.83	32.04±1.09	496.93±10.49	3.60±0.43

\*MDA: Minimum dedekte edilebilir aktivite



**Şekil 4.1 :** İlkbahar mevsimi için toprak örneklerinin <sup>226</sup>Ra aktivite konsantrasyonları.

Toprak örneklerindeki <sup>232</sup>Th aktivite konsantrasyon değerleri ise  $8.85 \pm 1.90 \text{ Bq kg}^{-1}$  ile  $91.16 \pm 0.95 \text{ Bq kg}^{-1}$  arasında değişmektedir (Şekil 4.2). En yüksek <sup>232</sup>Th aktivite konsantrasyonu Kofçaz (K2 örnek kodu) ilçesinden alınan toprak örneğinde ölçülürken en düşük konsantrasyon ise Merkez (M3 örnek kodu) ilçesinden alınan toprak örneğinde tayin edilmiştir. Ortalama aktivite konsantrasyonu  $32.04 \pm 1.09 \text{ Bq kg}^{-1}$  bulunmuştur. Örnekleme noktaları kıyaslandığında M1, B1, B2, B4, K1, K2, PK1, PK2, PK3, PH2 ve PH3 kodlu örneklerde <sup>232</sup>Th aktivite konsantrasyonları UNSCEAR raporundaki <sup>232</sup>Th aktivitesi için belirtilen ortalama değer olan  $30 \text{ Bq kg}^{-1}$  değerinin üstündedir (UNSCEAR, 2000).

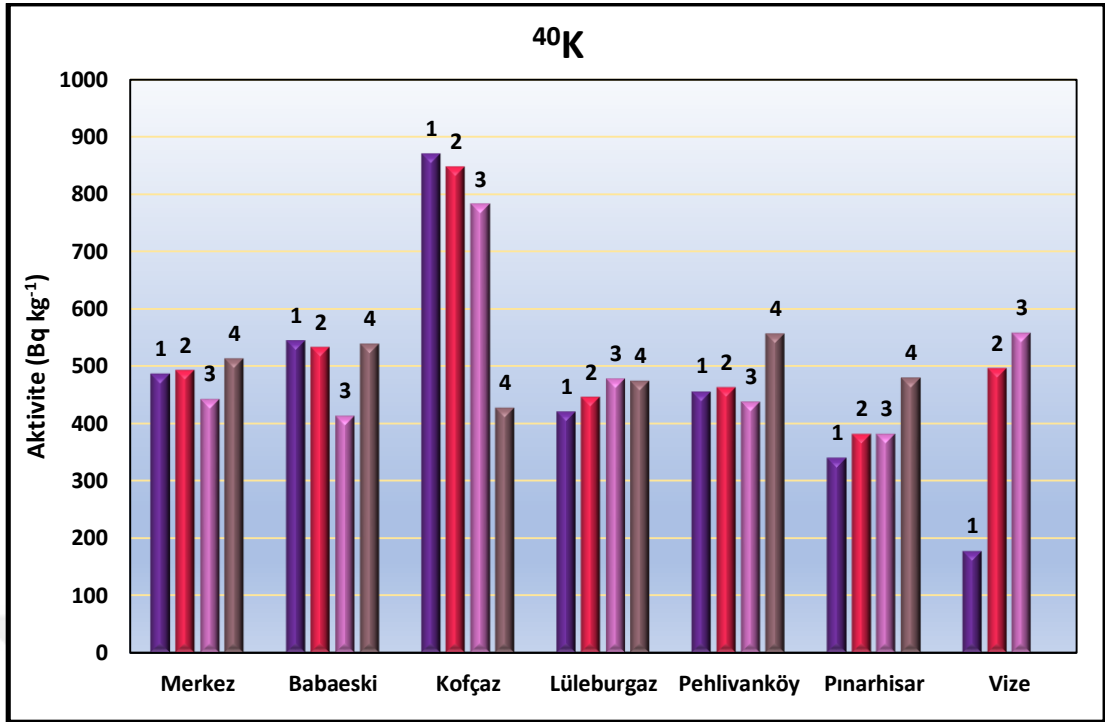


Şekil 4.2 : İlkbahar mevsimi için toprak örneklerinin <sup>232</sup>Th aktivite konsantrasyonları.

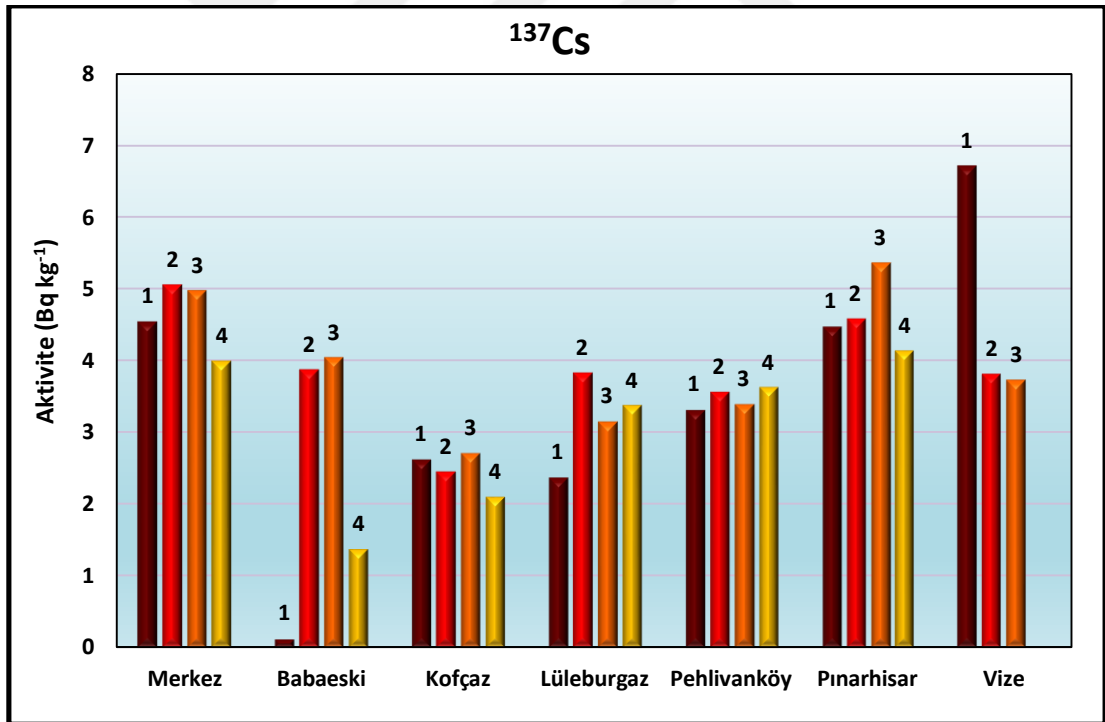
İlkbahar mevsiminde toplanan toprak örnekleri için hesaplanan <sup>40</sup>K aktivite konsantrasyonu  $176.66 \pm 8.09$  Bq kg<sup>-1</sup> ile  $869.30 \pm 12.21$  Bq kg<sup>-1</sup> aralığında değişmektedir (Şekil 4.3). En yüksek <sup>40</sup>K aktivite konsantrasyonu Kofçaz (K1 örnek kodu) ilçesinden alınan toprak örneğinde ölçülürken en düşük konsantrasyon ise Vize (V1 örnek kodu) ilçesinden alınan toprak örneğinde tayin edilmiştir.

Ortalama aktivite konsantrasyonu  $496.93 \pm 10.49$  Bq kg<sup>-1</sup>'dir. <sup>40</sup>K radyonüklidinin aktivitelerinin ortalama değeri UNSCEAR raporundaki <sup>40</sup>K aktivitesi için belirtilen ortalama değer olan 400 Bq kg<sup>-1</sup> değerinin üstündedir (UNSCEAR, 2000). PH1, PH2, PH3 ve V1 kodlu örnekler dışındaki örneklerde <sup>40</sup>K aktivite konsantrasyonları UNSCEAR raporundaki <sup>40</sup>K aktivitesi için belirtilen ortalama değer olan 400 Bq kg<sup>-1</sup> değerinin üzerinde olduğu görülmüştür.

İlkbahar mevsiminde toplanan toprak örnekleri için bulunan <sup>137</sup>Cs aktivite konsantrasyonu değeri ise  $<0.12$  ile  $6.72 \pm 0.53$  Bq kg<sup>-1</sup> arasında değişmektedir. Toprak örnekleri için hesaplanan <sup>137</sup>Cs'nin ortalama aktivite konsantrasyonu  $3.60 \pm 0.43$  Bq kg<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur (Çizelge 4.1).



Şekil 4.3 : İlkbahar mevsimi için toprak örneklerinin <sup>40</sup>K aktivite konsantrasyonları.



Şekil 4.4 : İlkbahar mevsimi için toprak örneklerinin <sup>137</sup>Cs aktivite konsantrasyonları.

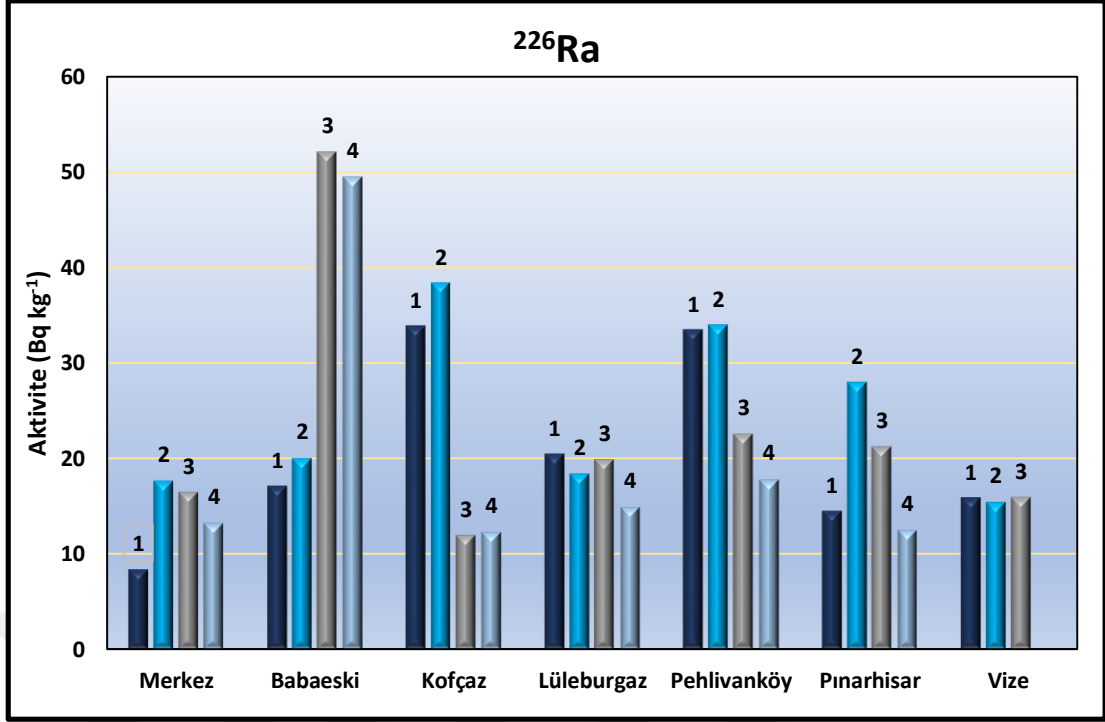
Yaz mevsimi için toprak örneklerindeki radyonüklid aktivite konsantrasyonları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

**Çizelge 4.2 :** Yaz mevsimi için toprak örneklerinin radyonüklid aktivite konsantrasyonları (Bq kg<sup>-1</sup>).

Örnek Kodu	<sup>226</sup> Ra	<sup>232</sup> Th	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs
M1	8.38±0.75	11.66±0.38	597.84±9.31	1.24±0.33
M2	17.73±0.95	29.09±0.58	497.63±10.12	4.21±0.36
M3	16.51±0.84	25.61±0.54	398.05±9.13	4.82±0.43
M4	13.35±1.88	20.92±1.81	405.46±9.79	1.97±0.26
B1	17.09±0.76	31.49±2.11	554.98±11.82	1.26±0.44
B2	20.10±3.08	31.93±0.65	532.18±11.11	3.61±0.69
B3	52.17±1.21	26.59±2.07	553.56±11.13	3.97±0.30
B4	49.54±2.03	41.56±1.22	538.28±18.02	4.54±0.72
K1	33.84±4.19	60.41±0.62	920.22±10.72	4.52±0.40
K2	38.39±4.91	95.82±2.16	924.68±15.21	<0.21*
K3	11.97±0.64	17.42±1.56	723.36±10.15	3.31±0.36
K4	12.39±0.59	15.13±0.37	223.50±6.82	0.73±0.20
L1	20.45±1.08	27.61±0.59	381.78±9.87	1.26±0.41
L2	18.47±1.36	27.34±0.94	451.43±15.90	3.25±0.95
L3	19.91±2.10	21.93±1.85	455.07±9.39	3.36±0.31
L4	15.03±0.83	24.55±0.53	471.23±9.85	3.15±0.34
PK1	33.45±1.02	33.24±2.18	437.25±11.65	4.06±0.46
PK2	34.02±3.34	33.39±1.56	463.77±7.64	3.59±0.33
PK3	22.61±0.94	36.17±0.61	424.38±9.97	3.02±0.41
PK4	17.90±0.76	22.02±0.51	557.50±9.66	4.43±0.37
PH1	14.45±0.84	21.69±0.53	259.44±8.74	4.75±0.72
PH2	28.00±1.54	33.18±1.06	415.61±16.10	3.72±0.72
PH3	21.28±1.27	32.85±0.77	340.56±11.44	1.91±0.46
PH4	12.59±0.81	17.05±0.43	390.96±11.95	3.07±0.54
V1	15.88±0.87	26.39±1.97	305.42±9.48	6.28±0.49
V2	15.53±0.83	20.97±0.50	589.08±11.14	1.80±0.26
V3	15.92±0.81	18.86±0.45	494.01±8.25	3.57±0.32
Minimum	8.38±0.75	11.66±0.38	223.50±6.82	<0.21*
Maximum	52.17±1.21	95.82±2.16	924.68±15.21	6.28±0.49
Ortalama	22.11±1.49	29.81±1.06	492.86±10.90	3.17±0.44

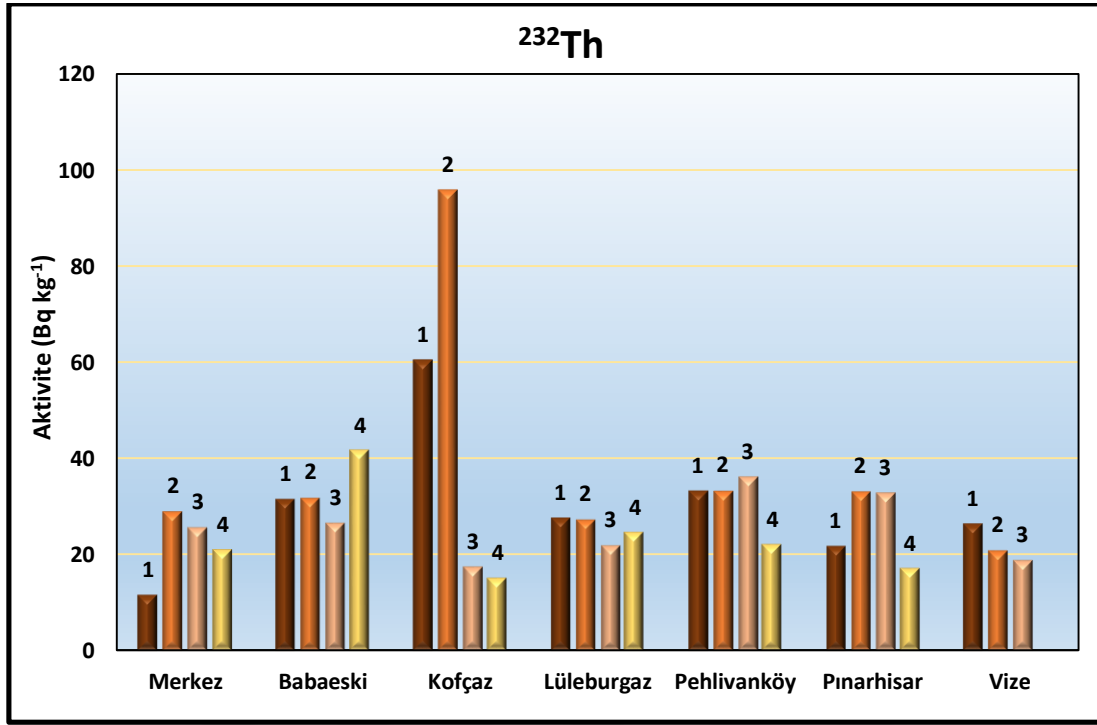
\*MDA: Minimum dedekte edilebilir aktivite





**Şekil 4.5 :** Yaz mevsimi için toprak örneklerinin <sup>226</sup>Ra aktivite konsantrasyonları.

Yaz mevsiminde toplanan toprak örnekleri için hesaplanan <sup>226</sup>Ra aktivite konsantrasyonu  $8.38 \pm 0.75 \text{ Bq kg}^{-1}$  ile  $52.17 \pm 1.21 \text{ Bq kg}^{-1}$  aralığında değişmektedir. Ortalama aktivite konsantrasyonu  $22.11 \pm 1.49 \text{ Bq kg}^{-1}$ 'dir. Elde edilen verilere göre <sup>226</sup>Ra radyonüklidinin aktivitelerinin ortalama değeri UNSCEAR raporundaki <sup>226</sup>Ra aktivitesi için belirtilen ortalama değer olan  $35 \text{ Bq kg}^{-1}$  değerinin altındadır (UNSCEAR, 2000). Örnekleme noktaları kıyaslandığında ise B3, B4 ve K2 kodlu örneklerde <sup>226</sup>Ra aktivite konsantrasyonları UNSCEAR raporundaki <sup>226</sup>Ra aktivitesi için belirtilen ortalama değer olan  $35 \text{ Bq kg}^{-1}$  değerinin üzerinde olduğu görülmüştür (Şekil 4.5).

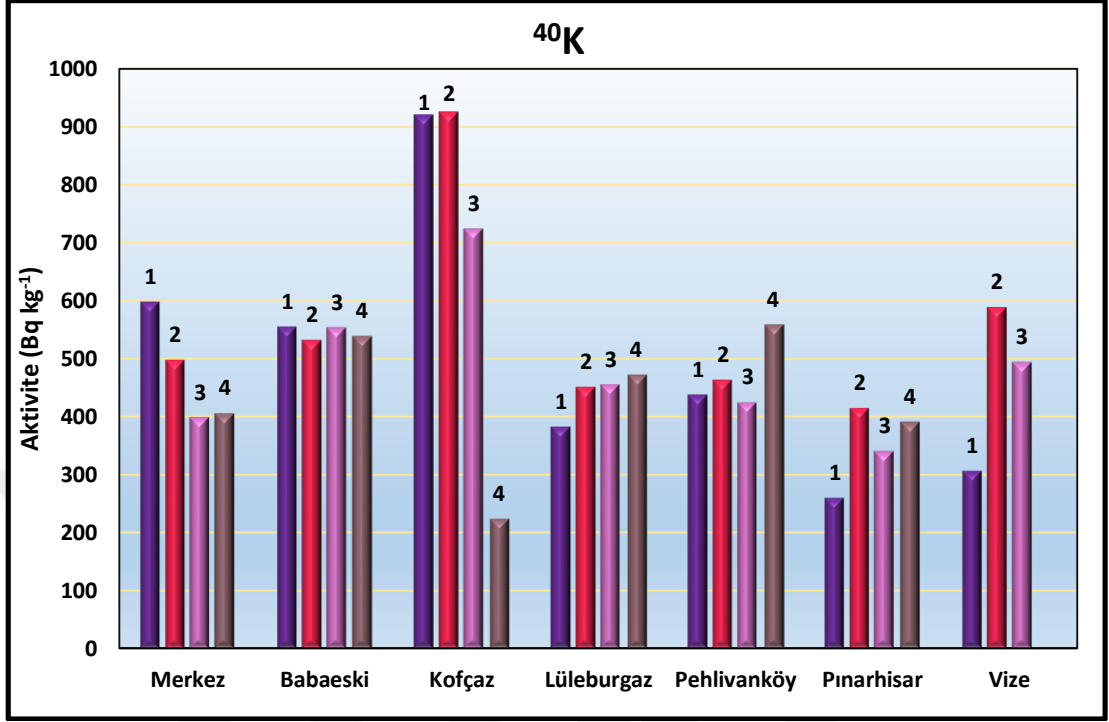


Şekil 4.6 : Yaz mevsimi için toprak örneklerinin  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonları.

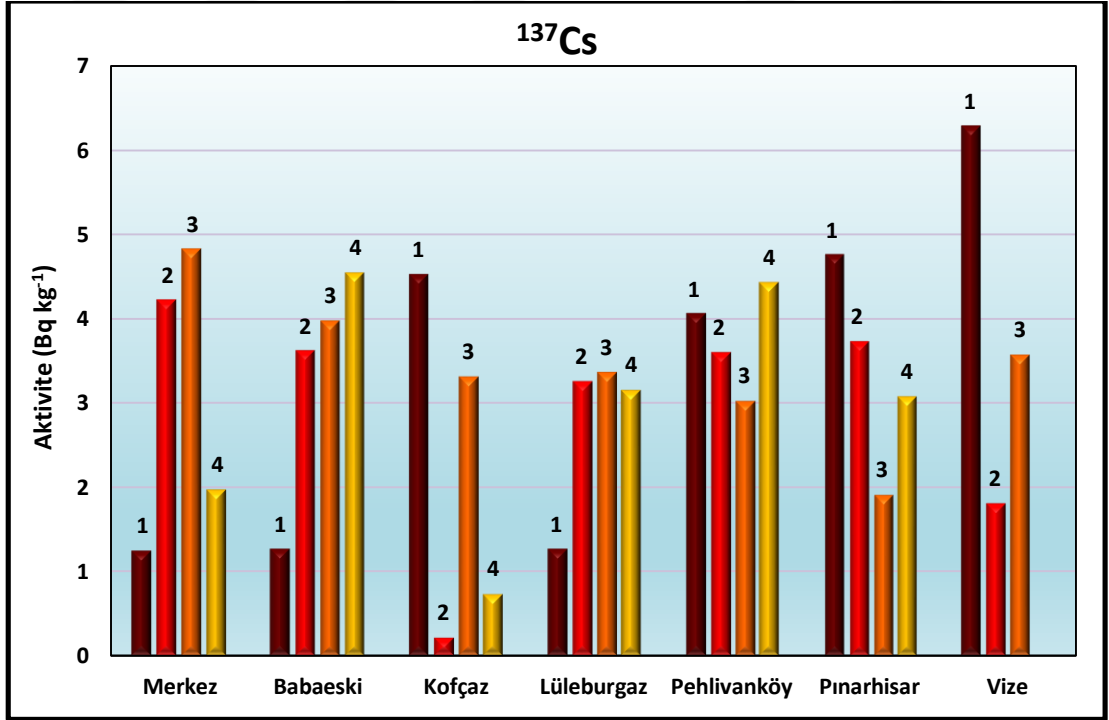
Yaz mevsiminde toplanan toprak örnekleri için hesaplanan  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonu  $11.66 \pm 0.38 \text{ Bq kg}^{-1}$  ile  $95.82 \pm 2.16 \text{ Bq kg}^{-1}$  aralığında değişmektedir. Ortalama aktivite konsantrasyonu ise  $29.81 \pm 1.06 \text{ Bq kg}^{-1}$ 'dir. Elde edilen verilere göre  $^{232}\text{Th}$  radyonüklidinin aktivitelerinin ortalama değeri UNSCEAR raporundaki  $^{232}\text{Th}$  aktivitesi için belirtilen ortalama değer olan  $30 \text{ Bq kg}^{-1}$  değerinin altındadır (UNSCEAR, 2000). Örnekleme noktaları kıyaslandığında ise B1, B2, B4, K1, K2, PK1, PK3, PH2 ve PH3 kodlu örneklerde  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonları UNSCEAR raporundaki  $^{232}\text{Th}$  aktivitesi için belirtilen ortalama değer olan  $30 \text{ Bq kg}^{-1}$  değerinin üzerinde olduğu görülmüştür (Şekil 4.6).

Yaz mevsiminde toplanan toprak örnekleri için hesaplanan  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonu  $223.50 \pm 6.82 \text{ Bq kg}^{-1}$  ile  $924.68 \pm 15.21 \text{ Bq kg}^{-1}$  aralığında değişmektedir. Ortalama aktivite konsantrasyonu  $492.86 \pm 10.90 \text{ Bq kg}^{-1}$ 'dir. Elde edilen verilere göre  $^{40}\text{K}$  radyonüklid aktivitelerinin ortalama değeri UNSCEAR raporundaki  $^{40}\text{K}$  aktivitesi için belirtilen ortalama değer olan  $400 \text{ Bq kg}^{-1}$  değerinin üstündedir (UNSCEAR, 2000). Örnekleme noktaları kıyaslandığında ise M3, K4, L1, PH1, PH4 ve V1 kodlu örnekler dışındaki örnekleme noktalarında  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonları UNSCEAR raporundaki  $^{40}\text{K}$  aktivitesi için belirtilen ortalama değer olan  $400 \text{ Bq kg}^{-1}$  değerinin üzerinde olduğu görülmüştür (Şekil 4.7). Bunun nedeninin

tarım arazilerindeki verimliliği artırmak için kullanılan gübrelerin topraktaki  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonlarını arttırması olduğu düşünülmektedir.



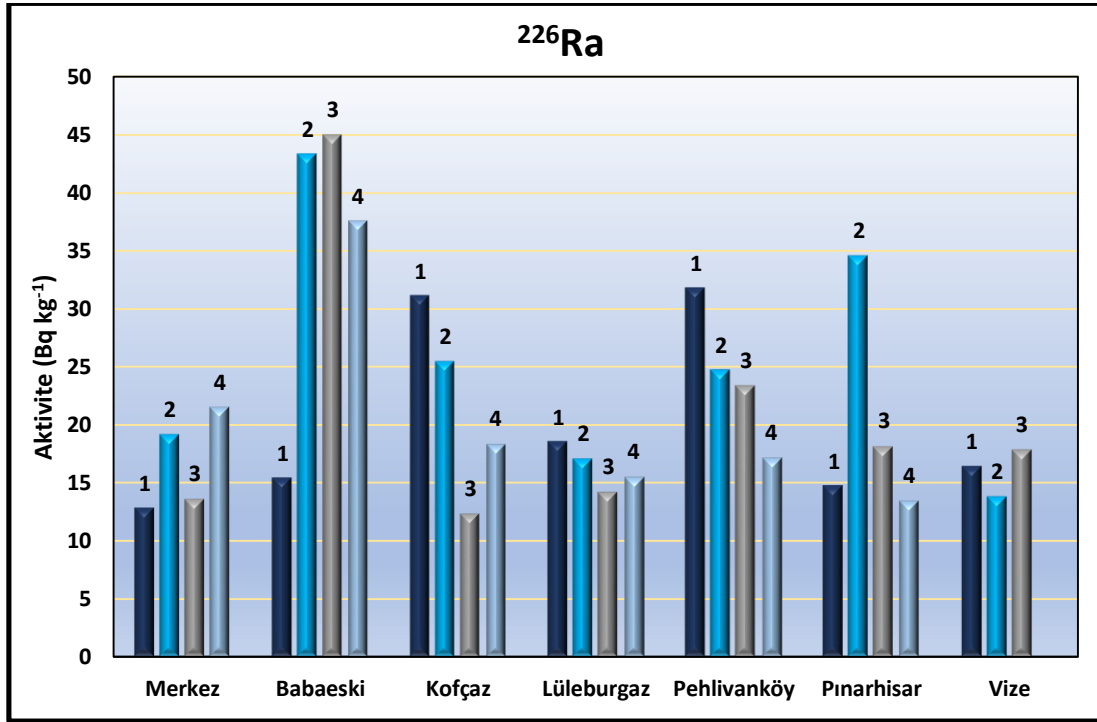
Şekil 4.7 : Yaz mevsimi için toprak örneklerinin  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonları.



Şekil 4.8 : Yaz mevsimi için toprak örneklerinin  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonları.

Yaz mevsiminde toplanan toprak örnekleri için hesaplanan  $^{137}\text{Cs}$ 'nin ortalama aktivite konsantrasyonu  $3.17 \pm 0.44 \text{ Bq kg}^{-1}$  olarak bulunmuştur.  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonu değeri  $<0.21$  ile  $6.28 \pm 0.49 \text{ Bq kg}^{-1}$  arasında değişmektedir (Şekil 4.8). Çevrede bulunan  $^{137}\text{Cs}$  radyonüklid varlığı nükleer deneme ve kazalar sonucu oluşan nükleer serpintilerden ileri gelmektedir.

Sonbahar mevsimi için toprak örneklerindeki radyonüklid aktivite konsantrasyonları Çizelge 4.3'te verilmiştir. Sonbahar mevsiminde toplanan toprak örnekleri için hesaplanan  $^{226}\text{Ra}$  aktivite konsantrasyonları örnekleme noktalarına göre değişimi Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9 : Sonbahar mevsimi için toprak örneklerinin  $^{226}\text{Ra}$  aktivite konsantrasyonları.

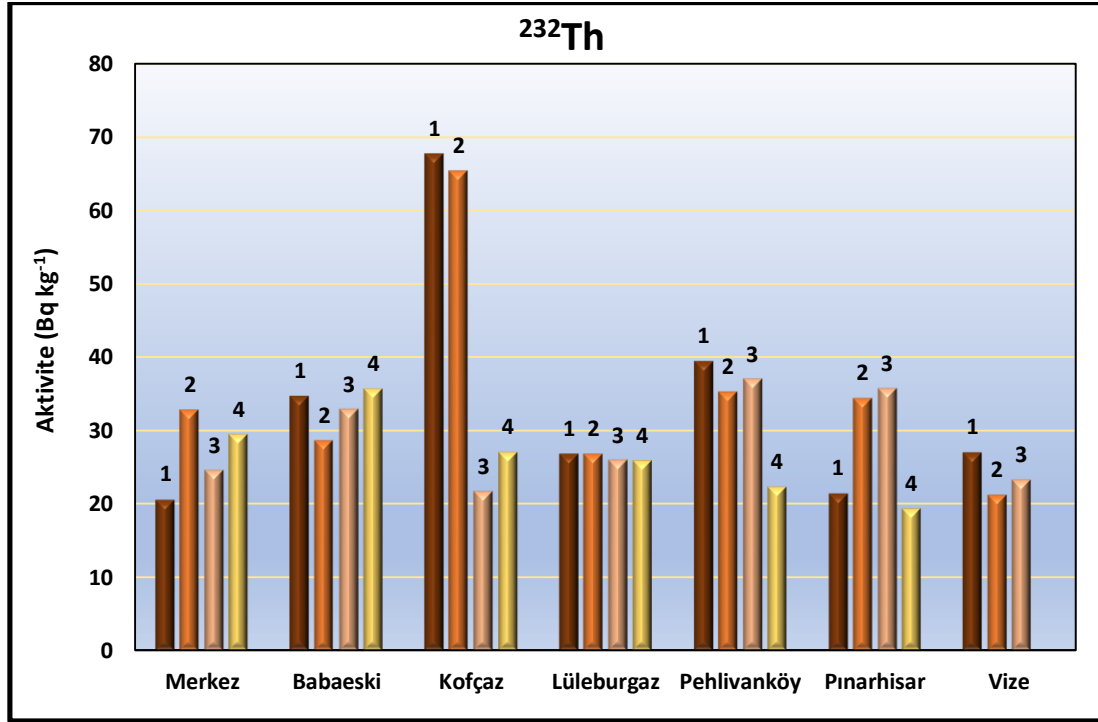
Sonbahar mevsiminde toplanan toprak örnekleri için hesaplanan  $^{226}\text{Ra}$  aktivite konsantrasyonu değeri  $12.32 \pm 1.00 \text{ Bq kg}^{-1}$  ile  $44.99 \pm 2.24 \text{ Bq kg}^{-1}$  arasında değişim göstermektedir. Ortalama aktivite konsantrasyonu  $21.71 \pm 1.38 \text{ Bq kg}^{-1}$ 'dir.  $^{226}\text{Ra}$  aktivitelerinin ortalama değeri UNSCEAR raporundaki  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesi için belirtilen ortalama değer olan  $35 \text{ Bq kg}^{-1}$  değerinin altındadır (UNSCEAR, 2000). En yüksek  $^{226}\text{Ra}$  aktivite konsantrasyonu Babaeski (B3 örnek kodu) ilçesinden alınan toprak örneğinde ölçülürken en düşük konsantrasyon ise Kofçaz (K3 örnek kodu) ilçesinden alınan toprak örneğinde tayin edilmiştir.

**Çizelge 4.3 :** Sonbahar mevsimi için toprak örneklerinin radyonüklid aktivite konsantrasyonları (Bq kg<sup>-1</sup>).

Örnek Kodu	<sup>226</sup> Ra	<sup>232</sup> Th	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs
M1	12.74±0.91	20.61±0.60	583.82±11.99	2.39±0.28
M2	19.13±0.99	32.79±0.64	500.64±10.98	4.77±0.51
M3	13.59±1.09	24.48±0.68	459.66±13.73	4.58±0.34
M4	21.49±2.99	29.44±0.91	457.07±16.61	4.78±0.72
B1	15.34±1.12	34.72±0.77	523.2±12.27	0.54±0.56
B2	43.29±1.25	28.59±0.63	483.24±12.54	2.74±0.33
B3	44.99±2.24	32.79±2.74	551.42±19.73	4.29±0.63
B4	37.5±1.35	35.62±0.79	509.6±12.43	3.84±0.57
K1	31.07±3.19	67.63±1.98	926.86±14.93	4.83±0.88
K2	25.43±1.06	65.4±2.03	926.47±11.32	2.79±0.44
K3	12.32±1.00	21.62±0.47	733.38±10.54	2.17±0.35
K4	18.33±0.77	27±0.52	423.09±9.32	2.08±0.38
L1	18.48±1.44	26.85±0.97	397.34±15.56	2.63±0.60
L2	17.05±1.14	26.8±0.63	410.54±12.18	3.29±0.69
L3	14.23±0.82	25.89±1.06	434.44±9.79	2.38±0.35
L4	15.49±1.28	25.79±0.95	466.03±16.23	4.39±0.65
PK1	31.75±1.94	39.41±1.20	316.15±16.76	3.96±0.78
PK2	24.69±1.35	35.3±0.80	420.16±12.78	3.35±0.34
PK3	23.37±1.40	36.89±0.77	423.3±11.89	2.93±0.59
PK4	17.13±0.85	22.24±0.51	519.54±9.63	3.28±0.34
PH1	14.64±1.36	21.45±0.91	106.29±14.58	5.51±0.69
PH2	34.53±2.06	34.42±1.08	425.87±17.16	3.12±0.55
PH3	18.16±1.07	35.61±0.66	361.74±9.34	3.85±0.73
PH4	13.47±1.03	19.32±0.60	439.17±11.32	2.08±0.36
V1	16.34±1.63	27.06±0.99	303.44±15.38	5.67±0.74
V2	13.78±1.15	21.18±0.66	352.98±13.24	3.19±0.53
V3	17.87±0.88	23.23±0.54	495.85±9.86	4.72±0.29
Minimum	12.32±1.00	19.32±0.60	106.29±14.58	0.54±0.56
Maksimum	44.99±2.24	67.63±1.98	926.86±14.93	5.67±0.74
Ortalama	21.71±1.38	31.19±0.93	479.68±13.04	3.49±0.53

Sonbahar mevsiminde toplanan toprak örnekleri için hesaplanan <sup>232</sup>Th aktivite konsantrasyonu 19.32±0.60 Bq kg<sup>-1</sup> ile 67.63±1.98 Bq kg<sup>-1</sup> aralığında değişmektedir. Ortalama aktivite konsantrasyonu ise 31.19±0.93 Bq kg<sup>-1</sup>'dir. Elde edilen verilere göre <sup>232</sup>Th radyonüklidinin aktivitelerinin ortalama değeri UNSCEAR raporundaki <sup>232</sup>Th aktivitesi için belirtilen ortalama değer olan 30 Bq kg<sup>-1</sup> değerinin üstündedir (UNSCEAR, 2000). Örnekleme noktalarındaki aktivite değerleri kıyaslandığında ise

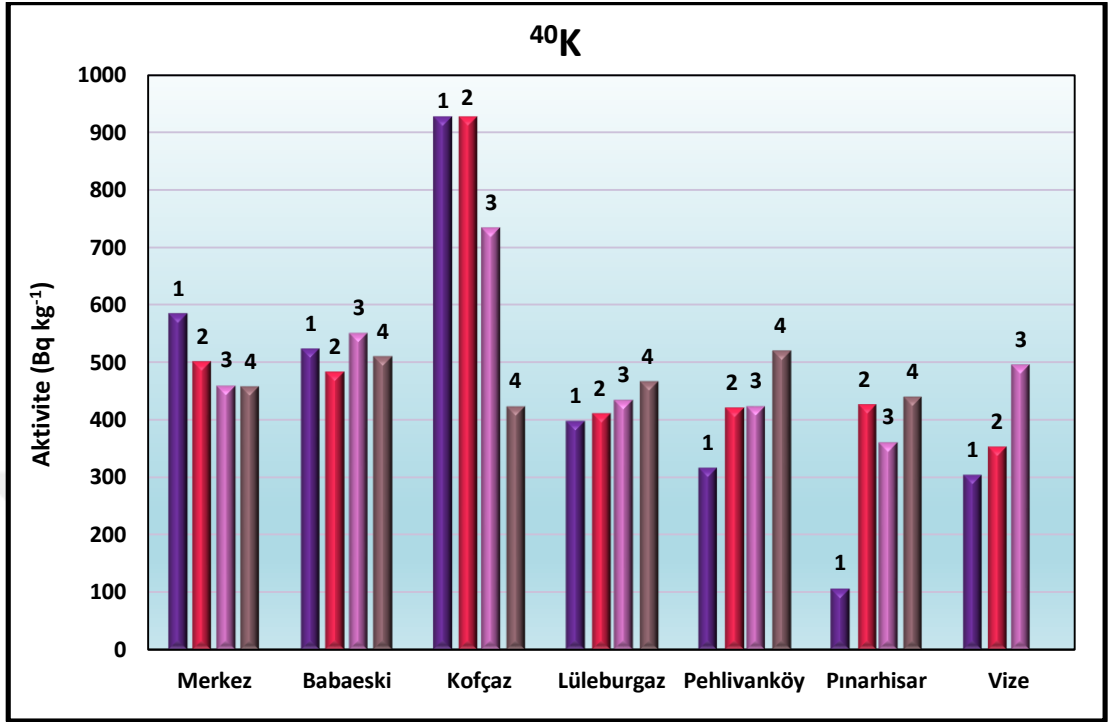
M2, B1, B3, B4, K1, K2, PK1, PK2, PK3, PH2 ve PH3 kodlu örneklerde  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonları sonbahar mevsiminde UNSCEAR raporundaki  $^{232}\text{Th}$  aktivitesi için belirtilen ortalama değer olan  $30 \text{ Bq kg}^{-1}$  değerinin üzerinde olduğu görülmüştür (Şekil 4.10). En yüksek  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonları  $67.63 \pm 1.98 \text{ Bq kg}^{-1}$  ve  $65.4 \pm 2.03 \text{ Bq kg}^{-1}$  ile Kofçaz ilçesinde bulunmuştur. En düşük  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonu Pınarhisar-Demirköy yolundan alınan (PH4 örnek kodu) toprak örneğinde tayin edilmiştir.



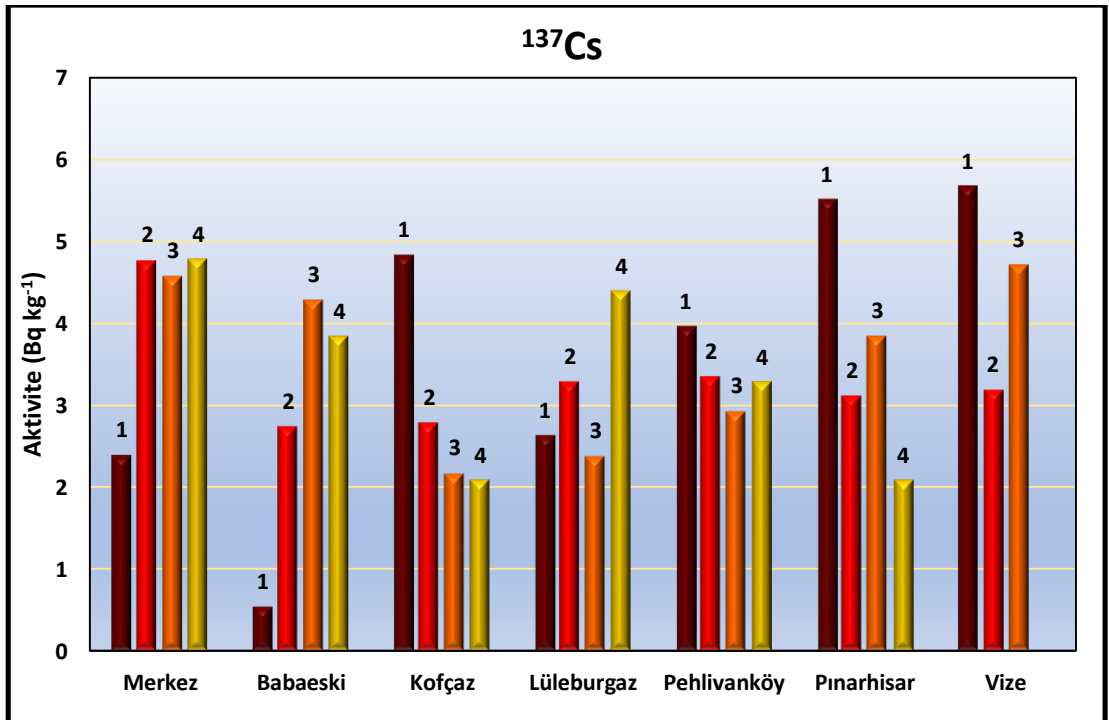
Şekil 4.10 : Sonbahar mevsimi için toprak örneklerinin  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonları.

Sonbahar mevsiminde toplanan toprak örnekleri için hesaplanan  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonu  $106.29 \pm 14.58 \text{ Bq kg}^{-1}$  ile  $926.86 \pm 14.93 \text{ Bq kg}^{-1}$  aralığında değişmektedir. Ortalama aktivite konsantrasyonu  $479.68 \pm 13.04 \text{ Bq kg}^{-1}$ 'dir. Elde edilen verilere göre  $^{40}\text{K}$  radyonüklidinin aktivitelerinin ortalama değeri UNSCEAR raporundaki  $^{40}\text{K}$  aktivitesi için belirtilen ortalama değer olan  $400 \text{ Bq kg}^{-1}$  değerinin üstündedir (UNSCEAR, 2000). Örnekleme noktalarına göre bulunan aktivite konsantrasyonları kıyaslandığında ise L1, PK1, PH1, PH3, V1 ve V2 kodlu örnekler dışındaki toprak örneklerinde  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonları UNSCEAR raporundaki  $^{40}\text{K}$  aktivitesi için belirtilen ortalama değer olan  $400 \text{ Bq kg}^{-1}$  değerinin üzerinde olduğu görülmüştür (UNSCEAR, 2000) (Şekil 4.11). En yüksek  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonu Kofçaz ilçesindeki tarım arazisinden alınan (K1 örnek kodu) toprak örneğinde

bulunmuştur. En düşük  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonu ise Pınarhisar ilçesindeki tarım arazisinden toplanan (PH1 örnek kodu) toprak örneğinde tayin edilmiştir.



Şekil 4.11 : Sonbahar mevsimi için toprak örneklerinin  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonları.



Şekil 4.12 : Sonbahar mevsimi için toprak örneklerinin  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonları.

Sonbahar mevsiminde toplanan toprak örnekleri için bulunan  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonu değeri  $0.54\pm 0.56$  ile  $5.67\pm 0.74$   $\text{Bq kg}^{-1}$  arasında değişmektedir. Toprak örnekleri için hesaplanan  $^{137}\text{Cs}$ 'nin ortalama aktivite konsantrasyonu  $3.49\pm 0.53$   $\text{Bq kg}^{-1}$  olarak bulunmuştur. Sonbahar mevsiminde en yüksek  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonu Vize ilçesinden alınan (V1 örnek kodu) toprak örneğinde ölçülürken en düşük konsantrasyon ise Babaeski ilçesinden alınan (B1 örnek kodu) toprak örneğinde tayin edilmiştir.

Kış mevsiminde toplanan toprak örnekleri için hesaplanan  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  radyonüklidlerinin aktivite konsantrasyonları Çizelge 4.4'te verilmiştir. Örnekleme noktaları kıyaslandığında  $^{226}\text{Ra}$  aktivite konsantrasyonu değeri kış mevsimi için  $9.86\pm 0.67$   $\text{Bq kg}^{-1}$  ile  $56.85\pm 0.76$   $\text{Bq kg}^{-1}$  arasında değişim göstermektedir (Şekil 4.13).

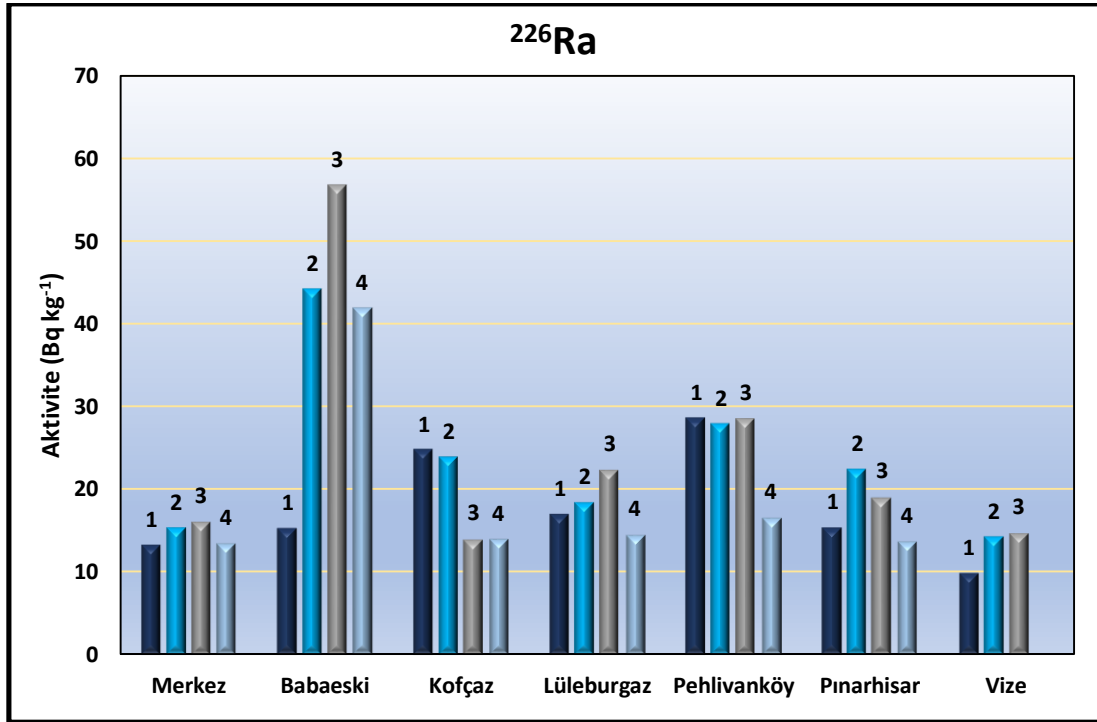
Ortalama aktivite konsantrasyonu  $21.36\pm 1.22$   $\text{Bq kg}^{-1}$  bulunmuştur.  $^{226}\text{Ra}$  radyonüklidinin aktivitelerinin ortalama değeri UNSCEAR raporundaki  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesi için belirtilen ortalama değer olan  $35$   $\text{Bq kg}^{-1}$  değerinin altındadır.  $^{226}\text{Ra}$  aktivite konsantrasyonu Babaeski ilçesinden alınan (B2, B3 ve B4 örnek kodu) toprak örneklerinde UNSCEAR raporunda  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesi için belirtilen ortalama değer üstündedir (Şekil 4.13). Kış mevsiminde en yüksek  $^{226}\text{Ra}$  aktivite konsantrasyonu Babaeski ilçesinden alınan (B3 örnek kodu) toprak örneğinde, en düşük konsantrasyon ise Vize ilçesinden alınan (V1 örnek kodu) toprak örneğinde bulunmuştur.



**Çizelge 4.4 : Kış mevsiminde alınan toprak örneklerinin radyonüklid aktivite konsantrasyonları (Bq kg<sup>-1</sup>).**

Örnek Kodu	<sup>226</sup> Ra	<sup>232</sup> Th	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs
M1	13.28±1.59	17.48±0.84	447.46±16.3	<1.49*
M2	15.33±0.78	24.36±0.51	445.6±9.69	4.21±0.26
M3	16.17±1.04	25.19±0.88	433.44±14.55	5.48±0.70
M4	13.49±0.93	27.61±0.68	480.58±11.31	3.59±0.45
B1	15.25±0.45	36.52±0.8	515.58±5.88	0.80±0.17
B2	44.2±1.27	31.69±0.64	535.37±11.12	3.33±0.47
B3	56.85±0.76	25.6±0.32	446.18±5.72	1.68±0.13
B4	41.95±1.27	35.2±0.68	511.65±12.43	3.74±0.45
K1	24.77±0.96	74.55±1.76	919.13±11.11	5.37±0.51
K2	23.86±0.68	68.14±1.66	910.88±11.52	2.3±0.26
K3	14.05±0.71	24.82±0.72	123.20±16.54	2.42±0.42
K4	13.99±1.06	16.30±0.53	222.57±8.43	0.81±0.29
L1	16.97±0.50	25.48±0.34	392.50±5.78	1.69±0.20
L2	18.39±1.38	30.11±1.08	436.34±16.37	3.19±0.64
L3	22.46±4.8	25.91±0.72	465.84±12.31	2.27±0.41
L4	14.51±0.58	27.15±0.92	442.35±6.52	3.67±0.26
PK1	28.58±1.64	38.64±1.12	413.56±16.39	4.77±0.72
PK2	27.92±2.39	38.84±1.36	412.96±9.69	4.13±0.49
PK3	28.65±2.41	35.38±0.61	223.17±9.06	3.25±0.45
PK4	16.6±1.28	21.55±1.82	527.99±15.73	3.86±0.60
PH1	15.36±1.29	22.7±1.8	238.06±11.48	5.17±0.69
PH2	22.39±0.99	34.85±2.03	398.92±9.87	2.95±0.43
PH3	19.1±0.70	33.52±0.4	343.13±6.55	4.26±0.35
PH4	13.74±0.73	18.53±0.47	421.81±8.88	2.77±0.33
V1	9.86±0.67	24.14±0.97	230.01±6.88	3.58±0.41
V2	14.22±1.46	22.71±0.89	612.45±18.53	3.01±0.64
V3	14.83±0.62	18.68±0.50	474.43±9.58	3.14±0.40
Minimum	9.86±0.67	16.30±0.53	123.20±16.54	0.80±0.17
Maksimum	56.85±0.76	74.55±1.76	919.13±11.11	5.48±0.70
Ortalama	21.36±1.22	30.58±0.93	445.38±11.05	3.22±0.43

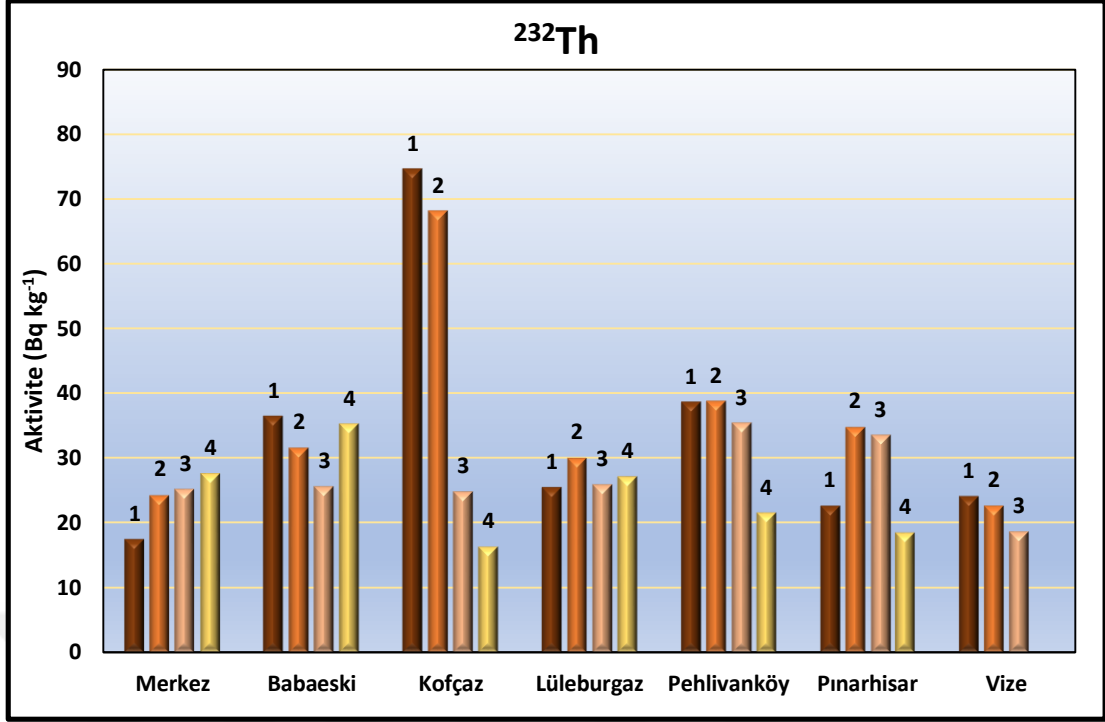
\*MDA: Minimum dedekte edilebilir aktivite



Şekil 4.13 : Kış mevsimi için toprak örneklerinin  $^{226}\text{Ra}$  aktivite konsantrasyonları.

Kış mevsiminde toplanan toprak örnekleri için hesaplanan  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonu  $16.30 \pm 0.53 \text{ Bq kg}^{-1}$  ile  $74.55 \pm 1.76 \text{ Bq kg}^{-1}$  aralığında değişmektedir (Çizelge 4.4). Ortalama aktivite konsantrasyonu ise  $30.58 \pm 0.93 \text{ Bq kg}^{-1}$ 'dir. Kış mevsimi için elde edilen verilere göre  $^{232}\text{Th}$  radyonüklidinin aktivitelerinin ortalama değeri UNSCEAR raporundaki  $^{232}\text{Th}$  aktivitesi için belirtilen ortalama değer olan  $30 \text{ Bq kg}^{-1}$  değerinin üstündedir (UNSCEAR, 2000).

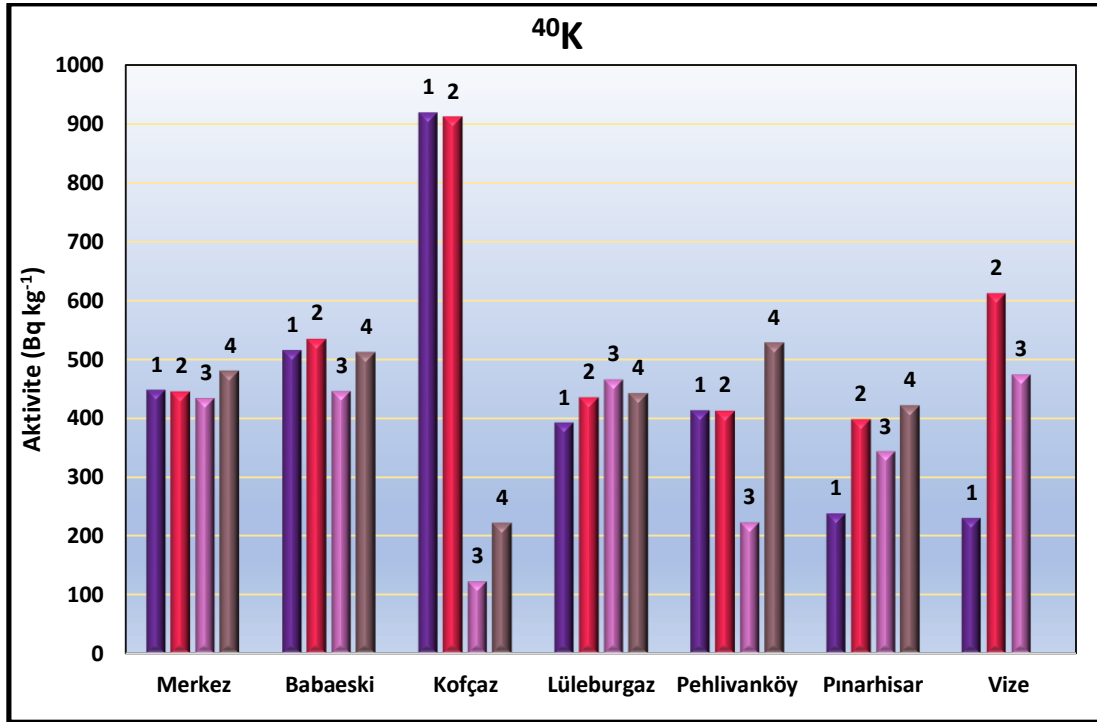
$^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonu B1, B2, B4, K1, K2, L2, PK1, PK2, PK3, PH2 ve PH3 kodlu örneklerden alınan toprak örneklerinde UNSCEAR raporunda  $^{232}\text{Th}$  aktivitesi için belirlenen ortalama değer üstündedir (Şekil 4.13). Kış mevsiminde en yüksek  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonu Kofçaz ilçesindeki tarım arazisinden alınan (K1 örnek kodu) toprak örneğinde, en düşük konsantrasyon ise Kofçaz ilçesindeki diğer tarım arazisinden alınan (K4 örnek kodu) toprak örneğinde tayin edilmiştir.



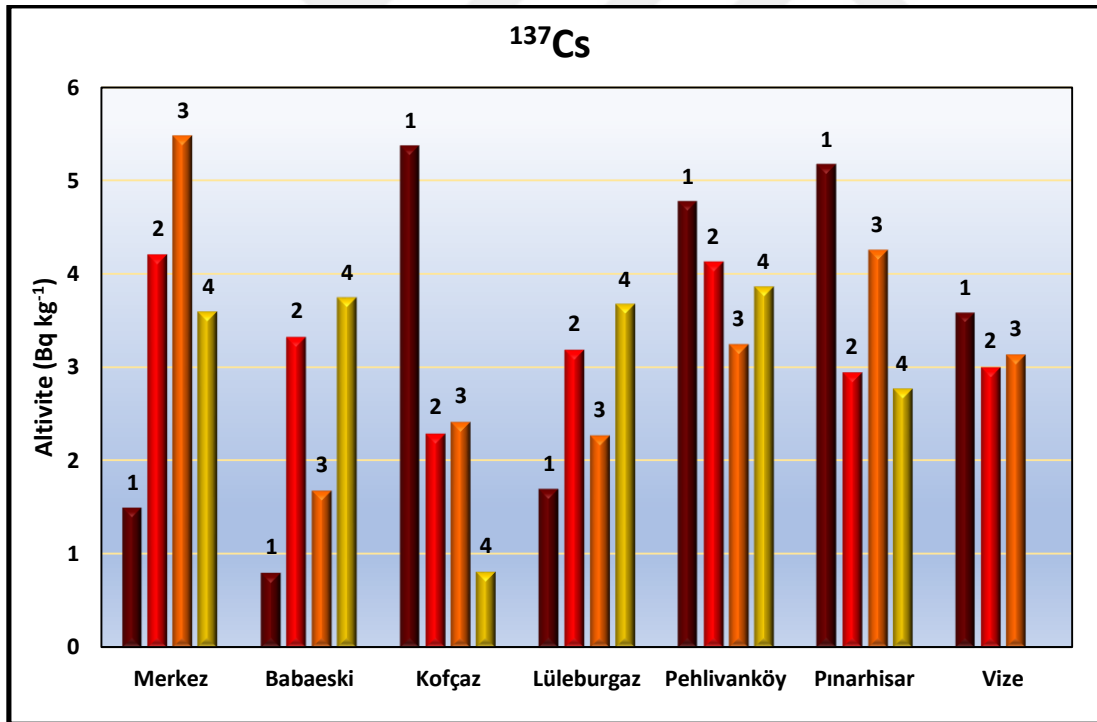
Şekil 4.14 : Kış mevsimi için toprak örneklerinin <sup>232</sup>Th aktivite konsantrasyonları.

Kış mevsiminde toplanan toprak örnekleri için hesaplanan <sup>40</sup>K aktivite konsantrasyonu 123.2±16.54 Bq kg<sup>-1</sup> ile 919.13±11.11 Bq kg<sup>-1</sup> aralığında değişmektedir (Çizelge 4.4). Ortalama aktivite konsantrasyonu 445.38±11.05 Bq kg<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır. Elde edilen verilere göre <sup>40</sup>K radyonüklidinin aktivitelerinin ortalama değeri UNSCEAR raporundaki <sup>40</sup>K aktivitesi için belirtilen ortalama değer olan 400 Bq kg<sup>-1</sup> değerinin üstündedir (UNSCEAR, 2000).

K3, K4, L1, PK3, PH1, PH2, PH3 ve V1 kodlu örnekler dışındaki noktalardan alınan toprak örneklerindeki <sup>40</sup>K aktivite konsantrasyonu UNSCEAR raporunda belirlenen ortalama değer üstündedir (Şekil 4.15). En yüksek <sup>40</sup>K aktivite konsantrasyon Kofçaz ilçesinden alınan (K1 örnek kodu) toprak örneğinde ölçülürken en düşük konsantrasyon Kofçaz ilçesindeki diğer tarım arazisinden alınan (K3 örnek kodu) örnekte tayin edilmiştir.



Şekil 4.15 : Kış mevsimi için toprak örneklerinin <sup>40</sup>K aktivite konsantrasyonları.



Şekil 4.16 : Kış mevsimi için toprak örneklerinin <sup>137</sup>Cs aktivite konsantrasyonları.

Kış mevsiminde toplanan toprak örnekleri için <sup>137</sup>Cs aktivite konsantrasyonu değeri  $0.80 \pm 0.17$  ile  $5.48 \pm 0.70$  Bq kg<sup>-1</sup> arasında değişmektedir (Çizelge 4.4). Toprak örnekleri için hesaplanan <sup>137</sup>Cs'nin ortalama aktivite konsantrasyonu  $3.22 \pm 0.43$  Bq kg<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur. En yüksek <sup>137</sup>Cs aktivite konsantrasyon Merkez

ilçesinden alınan (M3 örnek kodu) toprak örneğinde ölçülürken en düşük konsantrasyon Babaeski ilçesinden alınan (B1 örnek kodu) örnekte tayin edilmiştir.

**Çizelge 4.5 :** Kırklareli ilinde mevsimlere göre ölçülen ortalama aktivite konsantrasyonları (Bq kg<sup>-1</sup>).

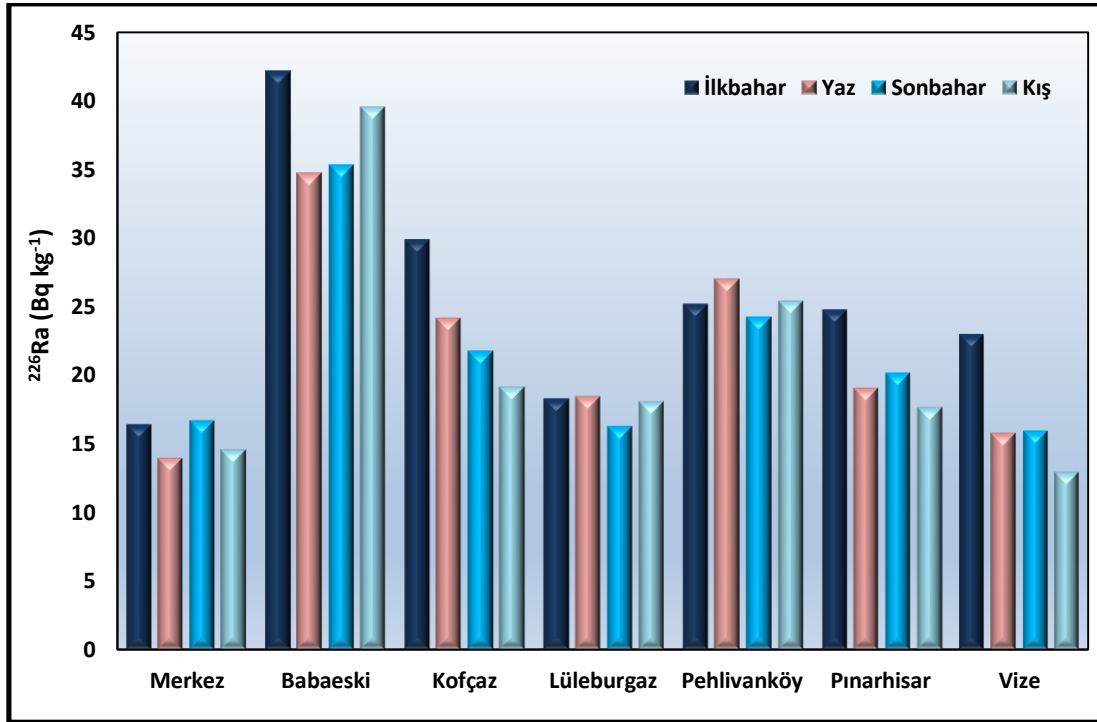
Mevsim	<sup>226</sup> Ra <sub>ort</sub>	<sup>232</sup> Th <sub>ort</sub>	<sup>40</sup> K <sub>ort</sub>	<sup>137</sup> Cs <sub>ort</sub>
İlkbahar	25.81±1.83	32.04±1.09	496.93±10.49	3.60±0.43
Yaz	22.11±1.49	29.81±1.06	492.86±10.90	3.17±0.44
Sonbahar	21.71±1.38	31.19±0.93	479.68±13.04	3.49±0.53
Kış	21.36±1.22	30.58±0.93	445.38±11.05	3.22±0.43

Kırklareli ilinde mevsimlere göre toprak örnekleri için ölçülen <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K ve <sup>137</sup>Cs ortalama aktivite konsantrasyonları Çizelge 4.5'te verilmiştir. <sup>226</sup>Ra ortalama aktivite konsantrasyonları ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için sırasıyla 25.81±1.83, 22.11±1.49, 21.71±1.38 ve 21.36±1.22 Bq kg<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır. <sup>226</sup>Ra radyonüklidinin aktivitelerinin ortalama değeri UNSCEAR raporundaki <sup>226</sup>Ra aktivitesi için belirtilen ortalama değer olan 35 Bq kg<sup>-1</sup> değerinin altındadır (UNSCEAR, 2000).

<sup>232</sup>Th ortalama aktivite konsantrasyonları ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için sırasıyla 32.04±1.09, 29.81±1.06, 31.19±0.93 ve 30.58±0.93 Bq kg<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır. İlkbahar, sonbahar ve kış mevsimlerinde <sup>232</sup>Th aktivitelerinin ortalama değeri UNSCEAR raporundaki <sup>232</sup>Th aktivitesi için belirtilen ortalama değer olan 30 Bq kg<sup>-1</sup> değerinin üstünde tayin edilmiştir.

<sup>40</sup>K ortalama aktivite konsantrasyonları ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için sırasıyla 496.93±10.49, 492.86±10.90, 479.68±13.04 ve 445.38±11.05 Bq kg<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur. <sup>40</sup>K aktivitelerinin ortalama değeri UNSCEAR raporundaki <sup>40</sup>K aktivitesi için belirtilen ortalama değer olan 400 Bq kg<sup>-1</sup> değerinin üstündedir.

<sup>137</sup>C ortalama aktivite konsantrasyonları ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için sırasıyla 3.60±0.43, 3.17±0.44, 3.49±0.53 ve 3.22±0.43 Bq kg<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır. Mevsimlerin <sup>137</sup>C ortalama aktivite konsantrasyonları karşılaştırmalarına bakıldığında birbirlerine yakın değerlerin elde edildiği görülmüştür. Kırklareli ilindeki <sup>137</sup>Cs radyonüklid varlığının nükleer deneme ve Çernobil gibi kazalar sonucu oluşan nükleer serpintilerden ileri geldiği düşünülmektedir.



Şekil 4.17 : Ortalama <sup>226</sup>Ra aktivite konsantrasyonunun ilçelere göre değişimi.

Şekil 4.17’de ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimlerinde ortalama <sup>226</sup>Ra aktivite konsantrasyonunun ilçelere göre değişimi verilmiştir.

Merkez ilçesindeki ortalama <sup>226</sup>Ra aktivite konsantrasyonları ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için sırasıyla 16.50, 13.99, 16.74 ve 14.57 Bq kg<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır. Merkez ilçesinde <sup>226</sup>Ra radyonüklidinin aktivitelerinin ortalama değeri tüm mevsimler için UNSCEAR raporundaki <sup>226</sup>Ra aktivitesi için belirtilen ortalama değer olan 35 Bq kg<sup>-1</sup> değerinin altındadır (UNSCEAR, 2000).

Babaeski ilçesindeki ortalama <sup>226</sup>Ra aktivite konsantrasyonları ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için sırasıyla 42.13, 34.73, 35.28 ve 39.56 Bq kg<sup>-1</sup> bulunmuştur. Babaeski ilçesinde en yüksek <sup>226</sup>Ra aktivite konsantrasyonu ilkbahar mevsiminde tayin edilmiştir. Babaeski ilçesinde <sup>226</sup>Ra radyonüklidinin aktivitelerinin ortalama değeri ilkbahar ve kış mevsimleri için UNSCEAR raporundaki <sup>226</sup>Ra aktivitesi için belirtilen ortalama değer olan 35 Bq kg<sup>-1</sup> değerinin üstündedir.

Kofçaz ilçesindeki ortalama <sup>226</sup>Ra aktivite konsantrasyonları ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için sırasıyla 29.91, 24.15, 21.79 ve 19.17 Bq kg<sup>-1</sup> bulunmuştur. En yüksek <sup>226</sup>Ra aktivite konsantrasyonu ilkbahar mevsiminde, en düşük <sup>226</sup>Ra aktivite konsantrasyonu ise kış mevsiminde tayin edilmiştir. Kofçaz ilçesinde <sup>226</sup>Ra radyonüklidinin aktivitelerinin ortalama değeri tüm mevsimler için UNSCEAR

raporundaki  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesi için belirtilen ortalama değer olan  $35 \text{ Bq kg}^{-1}$  değerinin altında bulunmuştur.

Lüleburgaz ilçesindeki ortalama  $^{226}\text{Ra}$  aktivite konsantrasyonları ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için sırasıyla 18.37, 18.47, 16.31 ve  $18.08 \text{ Bq kg}^{-1}$  bulunmuştur. En düşük  $^{226}\text{Ra}$  aktivite konsantrasyonu sonbahar mevsiminde tayin edilmiştir. Lüleburgaz ilçesinde  $^{226}\text{Ra}$  radyonüklidinin aktivitelerinin ortalama değeri tüm mevsimler için UNSCEAR raporundaki  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesi için belirtilen ortalama değer olan  $35 \text{ Bq kg}^{-1}$  değerinin altındadır.

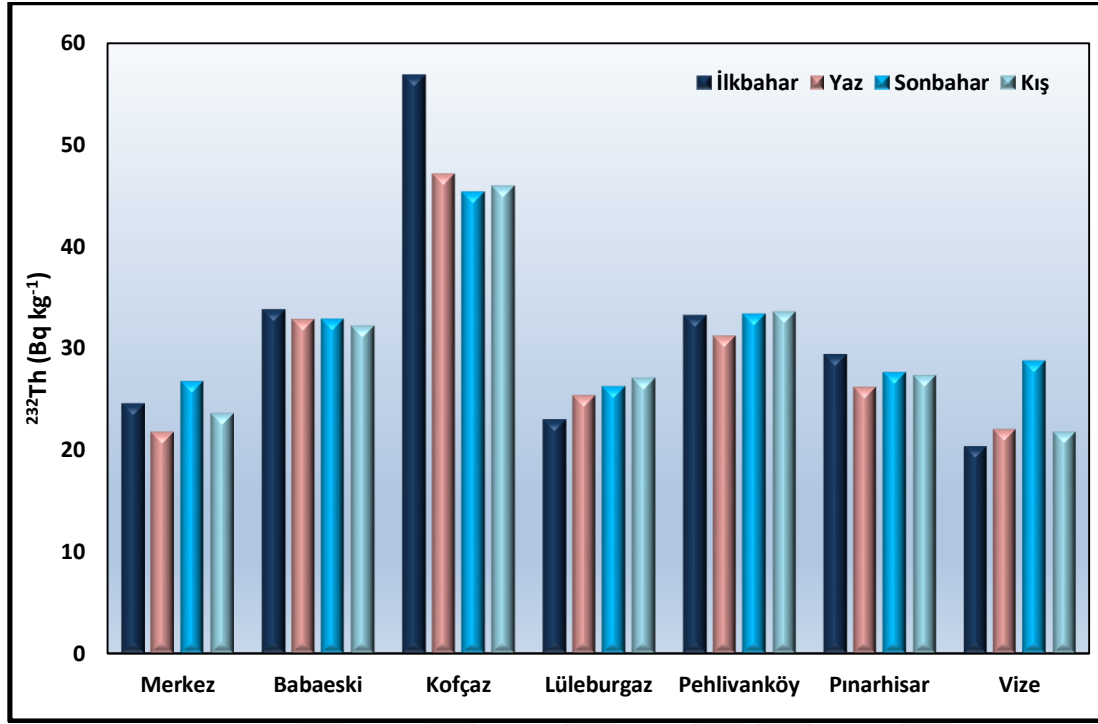
Pehlivanköy ilçesindeki ortalama  $^{226}\text{Ra}$  aktivite konsantrasyonları ise ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için sırasıyla 25.23, 27.00, 24.24 ve  $25.44 \text{ Bq kg}^{-1}$  hesaplanmıştır. Pehlivanköy ilçesinde  $^{226}\text{Ra}$  radyonüklidinin aktivitelerinin ortalama değeri tüm mevsimler için UNSCEAR raporundaki  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesi için belirtilen ortalama değer olan  $35 \text{ Bq kg}^{-1}$  değerinin altındadır. Lüleburgaz ve Pehlivanköy ilçelerinde elde edilen  $^{226}\text{Ra}$  ortalama aktivite konsantrasyonları değerlerinin tüm mevsimler için yakın değerler olduğu görülmüştür.

Pınarhisar ilçesindeki ortalama  $^{226}\text{Ra}$  aktivite konsantrasyonları ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için sırasıyla 24.79, 19.08, 20.20 ve  $17.65 \text{ Bq kg}^{-1}$  bulunmuştur. Pınarhisar ilçesinde  $^{226}\text{Ra}$  radyonüklidinin aktivitelerinin ortalama değeri tüm mevsimler için UNSCEAR raporundaki  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesi için belirtilen ortalama değer olan  $35 \text{ Bq kg}^{-1}$  değerinin altındadır. En yüksek  $^{226}\text{Ra}$  aktivite konsantrasyonu ilkbahar mevsiminde, en düşük  $^{226}\text{Ra}$  aktivite konsantrasyonu ise kış mevsiminde tayin edilmiştir.

Vize ilçesindeki ortalama  $^{226}\text{Ra}$  aktivite konsantrasyonları ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için sırasıyla 23.03, 15.78, 16.00 ve  $12.97 \text{ Bq kg}^{-1}$  bulunmuştur. En yüksek  $^{226}\text{Ra}$  aktivite konsantrasyonu ilkbahar mevsiminde, en düşük  $^{226}\text{Ra}$  aktivite konsantrasyonu ise kış mevsiminde tayin edilmiştir. Vize ilçesinde  $^{226}\text{Ra}$  radyonüklidinin aktivitelerinin ortalama değeri tüm mevsimler için UNSCEAR raporundaki  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesi için belirtilen ortalama değer olan  $35 \text{ Bq kg}^{-1}$  değerinin altındadır.

Şekil 4.17’de ilçelere ve mevsimlere göre yapılan ortalama  $^{226}\text{Ra}$  aktivite konsantrasyonları karşılaştırmasında en düşük  $^{226}\text{Ra}$  aktivite konsantrasyonu Vize

ilçesinde kış mevsiminde, en yüksek  $^{226}\text{Ra}$  aktivite konsantrasyonu ise Babaeski ilçesinde ilkbahar mevsiminde tayin edilmiştir.



Şekil 4.18 : Ortalama  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonunun ilçelere göre değişimi.

Şekil 4.18’de ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimlerinde ortalama  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonunun ilçelere göre değişimi verilmiştir.

Merkez ilçesindeki ortalama  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonları ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için sırasıyla 24.55, 21.82, 26.83 ve 23.66  $\text{Bq kg}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. Merkez ilçesinde  $^{232}\text{Th}$  radyonüklid aktivitelerinin ortalama değeri tüm mevsimler için UNSCEAR raporundaki  $^{232}\text{Th}$  aktivitesi için belirtilen ortalama değer olan 30  $\text{Bq kg}^{-1}$  değerinin altındadır. En yüksek  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonu sonbahar mevsiminde, en düşük aktivite konsantrasyonu ise yaz mevsiminde tayin edilmiştir.

Babaeski ilçesindeki ortalama  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonları ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için sırasıyla 33.84, 32.89, 32.93 ve 32.25  $\text{Bq kg}^{-1}$  bulunmuştur. Babaeski ilçesinde  $^{232}\text{Th}$  aktivitelerinin ortalama değeri tüm mevsimler için UNSCEAR raporundaki  $^{232}\text{Th}$  aktivitesi için belirtilen ortalama değer olan 30  $\text{Bq kg}^{-1}$  değerinin üstündedir. Elde edilen  $^{232}\text{Th}$  ortalama aktivite konsantrasyonları değerlerinin tüm mevsimler için yakın değerler olduğu görülmüştür.



Koçaz ilçesindeki ortalama  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonları ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için sırasıyla 56.95, 47.20, 45.41 ve 45.95 Bq kg<sup>-1</sup> bulunmuştur. En yüksek  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonu ilkbahar mevsiminde, en düşük  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonu ise sonbahar mevsiminde tayin edilmiştir. Koçaz ilçesinde  $^{232}\text{Th}$  aktivitelerinin ortalama değeri tüm mevsimler için UNSCEAR raporundaki  $^{232}\text{Th}$  aktivitesi için belirtilen ortalama değer olan 30 Bq kg<sup>-1</sup> değerinin üstünde bulunmuştur.

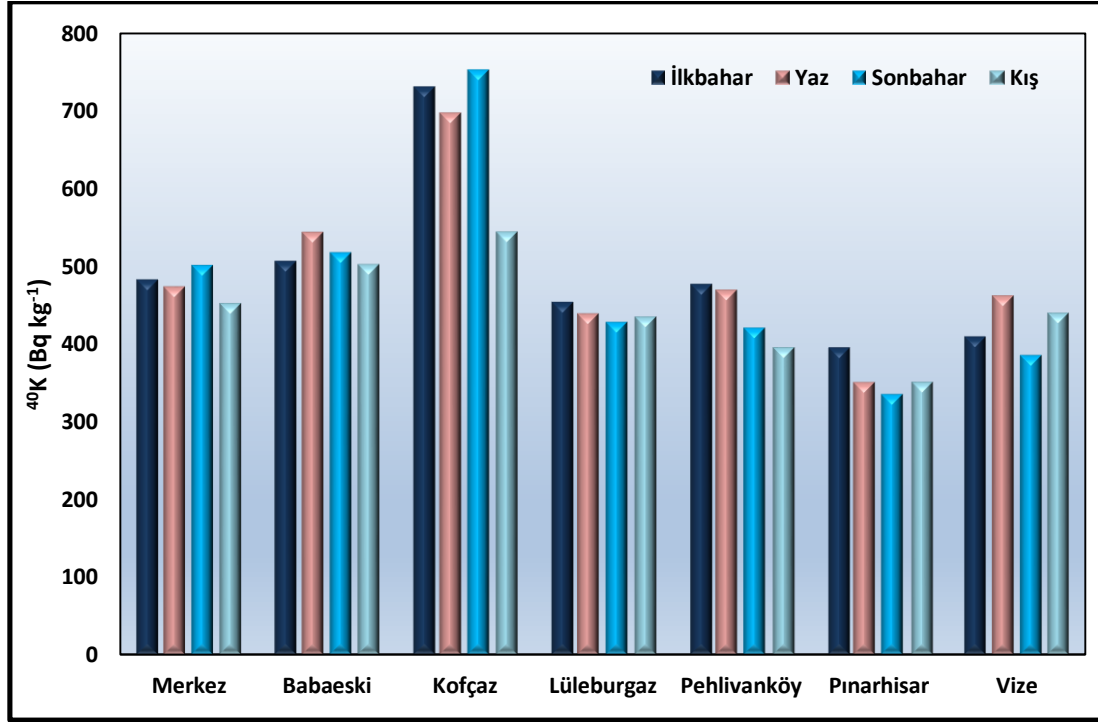
Lüleburgaz ilçesindeki ortalama  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonları ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için sırasıyla 22.99, 25.36, 26.33 ve 27.16 Bq kg<sup>-1</sup> bulunmuştur. En düşük  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonu ilkbahar mevsiminde tayin edilmiştir. Lüleburgaz ilçesinde  $^{232}\text{Th}$  radyonüklidinin aktivitelerinin ortalama değeri tüm mevsimler için UNSCEAR raporundaki  $^{232}\text{Th}$  aktivitesi için belirtilen ortalama değer olan 30 Bq kg<sup>-1</sup> değerinin altındadır.

Pehlivanköy ilçesindeki ortalama  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonları ise ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için sırasıyla 33.23, 31.21, 33.46 ve 33.60 Bq kg<sup>-1</sup> hesaplanmıştır. Pehlivanköy ilçesinde  $^{232}\text{Th}$  radyonüklidinin aktivitelerinin ortalama değeri tüm mevsimler için UNSCEAR raporundaki  $^{232}\text{Th}$  aktivitesi için belirtilen ortalama değer olan 30 Bq kg<sup>-1</sup> değerinin üstündedir. Pehlivanköy ilçesinde elde edilen  $^{232}\text{Th}$  ortalama aktivite konsantrasyonları değerlerinin tüm mevsimler için yakın değerler olduğu görülmüştür.

Pınarhisar ilçesindeki ortalama  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonları ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için sırasıyla 29.43, 26.19, 27.70 ve 27.40 Bq kg<sup>-1</sup> bulunmuştur. Pınarhisar ilçesinde  $^{232}\text{Th}$  radyonüklidinin aktivitelerinin ortalama değeri tüm mevsimler için UNSCEAR raporundaki  $^{232}\text{Th}$  aktivitesi için belirtilen ortalama değer olan 30 Bq kg<sup>-1</sup> değerinin altındadır. Pınarhisar ilçesinde elde edilen  $^{232}\text{Th}$  ortalama aktivite konsantrasyonları değerlerinin tüm mevsimler için yakın değerler olduğu görülmüştür.

Vize ilçesindeki ortalama  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonları ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için sırasıyla 20.37, 22.07, 28.82 ve 21.84 Bq kg<sup>-1</sup> bulunmuştur. En yüksek  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonu sonbahar mevsiminde, en düşük  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonu ise ilkbahar mevsiminde tayin edilmiştir. Vize ilçesinde  $^{232}\text{Th}$  aktivitelerinin ortalama değeri tüm mevsimler için UNSCEAR raporundaki  $^{232}\text{Th}$  aktivitesi için belirtilen ortalama değer olan 30 Bq kg<sup>-1</sup> değerinin altındadır.

Şekil 4.18’de ilçelere ve mevsimlere göre yapılan ortalama  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonları karşılaştırmasında en düşük  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonu Vize ilçesinde ilkbahar mevsiminde, en yüksek  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonu ise Kofçaz ilçesinde ilkbahar mevsiminde tayin edilmiştir.



Şekil 4.19 : Ortalama  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonunun ilçelere göre değişimi.

Şekil 4.19’da ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimlerinde ortalama  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonunun ilçelere göre değişimi verilmiştir. Merkez ilçesindeki ortalama  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonları ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için sırasıyla 483.11, 474.76, 500.30 ve 451.77  $\text{Bq kg}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. Merkez ilçesinde  $^{40}\text{K}$  radyonüklidinin aktivitelerinin ortalama değeri tüm mevsimler için UNSCEAR raporundaki  $^{40}\text{K}$  aktivitesi için belirtilen ortalama değer olan 400  $\text{Bq kg}^{-1}$  değerinin üstünde bulunmuştur. En yüksek  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonu sonbahar mevsiminde, en düşük aktivite konsantrasyonu ise kış mevsiminde tayin edilmiştir.

Babaeski ilçesindeki ortalama  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonları ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için sırasıyla 506.52, 544.72, 516.87 ve 502.195  $\text{Bq kg}^{-1}$  bulunmuştur. Babaeski ilçesinde  $^{40}\text{K}$  radyonüklidinin aktivitelerinin ortalama değeri tüm mevsimler için UNSCEAR raporundaki  $^{232}\text{Th}$  aktivitesi için belirtilen ortalama değer olan 400  $\text{Bq kg}^{-1}$  değerinin üstündedir.  $^{40}\text{K}$  ortalama aktivite konsantrasyonu en yüksek yaz mevsiminde, en düşük kış mevsiminde elde edilmiştir.

Koçaz ilçesindeki ortalama  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonları ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için sırasıyla 731.00, 697.94, 752.45 ve 543.95 Bq kg<sup>-1</sup> bulunmuştur. En yüksek  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonu sonbahar mevsiminde, en düşük  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonu ise kış mevsiminde tayin edilmiştir. Koçaz ilçesinde  $^{40}\text{K}$  radyonüklidinin aktivitelerinin ortalama değeri tüm mevsimler için UNSCEAR raporundaki  $^{40}\text{K}$  aktivitesi için belirtilen ortalama değeri olan 400 Bq kg<sup>-1</sup> değerinin üstünde bulunmuştur.

Lüleburgaz ilçesindeki ortalama  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonları ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için sırasıyla 453.80, 439.88, 427.09 ve 434.26 Bq kg<sup>-1</sup> bulunmuştur. En düşük  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonu sonbahar mevsiminde, en yüksek aktivite konsantrasyonu ise ilkbahar mevsiminde tayin edilmiştir. Lüleburgaz ilçesinde  $^{40}\text{K}$  radyonüklidinin aktivitelerinin ortalama değeri tüm mevsimler için UNSCEAR raporundaki  $^{40}\text{K}$  aktivitesi için belirtilen ortalama değeri olan 400 Bq kg<sup>-1</sup> değerinin üstündedir.

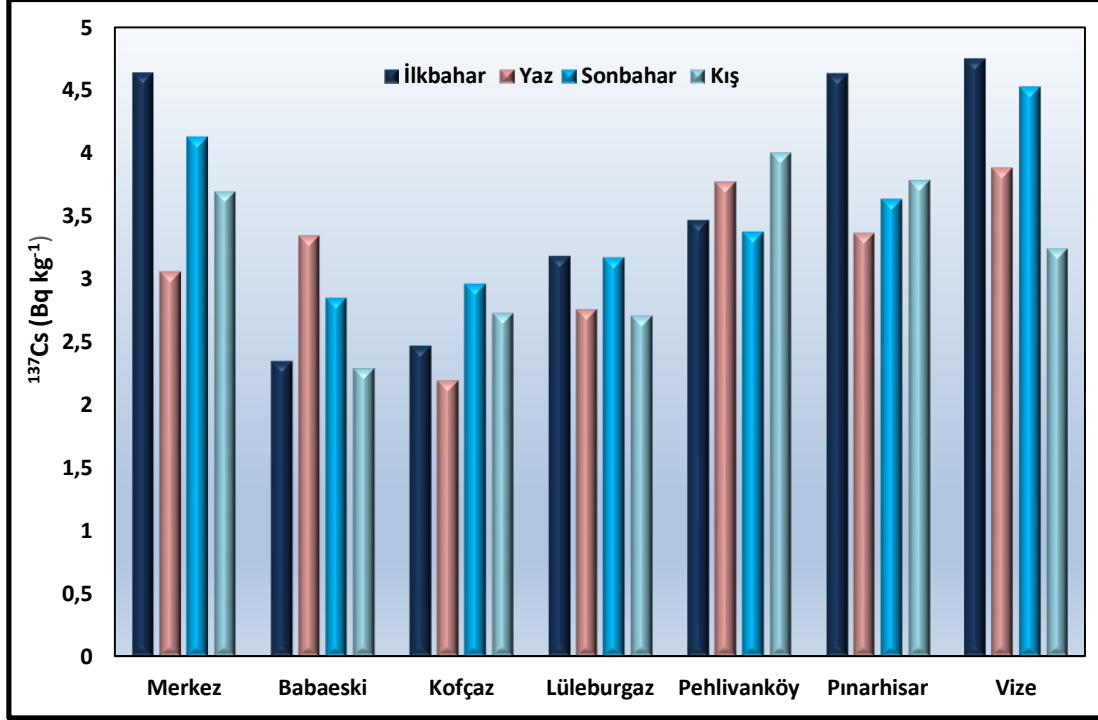
Pehlivanköy ilçesindeki ortalama  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonları ise ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için sırasıyla 477.24, 470.73, 419.79 ve 394.42 Bq kg<sup>-1</sup> hesaplanmıştır. Pehlivanköy ilçesinde  $^{40}\text{K}$  radyonüklidinin aktivitelerinin ortalama değeri ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimleri için UNSCEAR raporundaki  $^{40}\text{K}$  aktivitesi için belirtilen ortalama değeri olan 400 Bq kg<sup>-1</sup> değerinin üstünde, kış mevsimi için altında bulunmuştur.

Pınarhisar ilçesindeki ortalama  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonları ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için sırasıyla 395.23, 351.64, 333.27 ve 350.48 Bq kg<sup>-1</sup> bulunmuştur. Pınarhisar ilçesinde  $^{40}\text{K}$  radyonüklidinin aktivitelerinin ortalama değeri tüm mevsimler için UNSCEAR raporundaki  $^{40}\text{K}$  aktivitesi için belirtilen ortalama değeri olan 400 Bq kg<sup>-1</sup> değerinin altındadır. Pınarhisar ilçesinde elde edilen  $^{40}\text{K}$  ortalama aktivite konsantrasyonu en düşük sonbahar mevsiminde, en yüksek ilkbahar mevsiminde tayin edilmiştir.

Vize ilçesindeki ortalama  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonları ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için sırasıyla 409.81, 462.84, 384.09 ve 438.96 Bq kg<sup>-1</sup> bulunmuştur. En yüksek  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonu yaz mevsiminde, en düşük  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonu ise sonbahar mevsiminde tayin edilmiştir. Vize ilçesinde  $^{40}\text{K}$  radyonüklidinin aktivitelerinin ortalama değeri ilkbahar, yaz ve kış mevsimleri için

UNSCEAR raporundaki  $^{40}\text{K}$  aktivitesi için belirtilen ortalama değer olan  $400 \text{ Bq kg}^{-1}$  değerinin üstünde, sonbahar mevsimi için ise altındadır.

İlçelere ve mevsimlere göre yapılan ortalama  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonları karşılaştırmasında en düşük  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonu Pınarhisar ilçesinde sonbahar mevsiminde, en yüksek  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonu ise Kofçaz ilçesinde ilkbahar mevsiminde tayin edilmiştir (Şekil 4.19).



Şekil 4.20 : Ortalama  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonunun ilçelere göre değişimi.

Şekil 4.20’de ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimlerinde ortalama  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonlarının ilçelere göre değişimi verilmiştir.

Merkez ilçesindeki ortalama  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonları ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için sırasıyla  $4.64$ ,  $3.06$ ,  $4.13$  ve  $3.69 \text{ Bq kg}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. En yüksek  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonu ilkbahar mevsiminde, en düşük aktivite konsantrasyonu ise yaz mevsiminde tayin edilmiştir.

Babaeski ilçesindeki ortalama  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonları ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için sırasıyla  $2.35$ ,  $3.35$ ,  $2.85$  ve  $2.88 \text{ Bq kg}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. En yüksek  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonu yaz mevsiminde, en düşük aktivite konsantrasyonu ise ilkbahar mevsiminde bulunmuştur. Kofçaz ilçesindeki ortalama  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonları ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için sırasıyla

2.47, 2.19, 2.97 ve 2.73 Bq kg<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır. En yüksek <sup>137</sup>Cs aktivite konsantrasyonu sonbahar mevsiminde, en düşük aktivite konsantrasyonu ise yaz mevsiminde tayin edilmiştir.

Lüleburgaz ilçesindeki ortalama <sup>137</sup>Cs aktivite konsantrasyonları ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için sırasıyla 3.18, 2.76, 3.17 ve 2.71 Bq kg<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır. En yüksek <sup>137</sup>Cs aktivite konsantrasyonu ilkbahar mevsiminde, en düşük aktivite konsantrasyonu ise yaz mevsiminde olduğu görülmüştür. Pehlivan köy ilçesindeki ortalama <sup>137</sup>Cs aktivite konsantrasyonları ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için sırasıyla 3.47, 3.77, 3.38 ve 4.00 Bq kg<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır. En yüksek <sup>137</sup>Cs aktivite konsantrasyonu kış mevsiminde, en düşük aktivite konsantrasyonu ise sonbahar mevsiminde bulunmuştur.

Pınarhisar ilçesindeki ortalama <sup>137</sup>Cs aktivite konsantrasyonları ise ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için sırasıyla 4.64, 3.36, 3.64 ve 3.79 Bq kg<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır. En yüksek <sup>137</sup>Cs aktivite konsantrasyonu ilkbahar mevsiminde, en düşük aktivite konsantrasyonu ise yaz mevsiminde tayin edilmiştir.

Vize ilçesindeki ortalama <sup>137</sup>Cs aktivite konsantrasyonları ise ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için sırasıyla 4.75, 3.88, 4.53 ve 3.24 Bq kg<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır. En yüksek <sup>137</sup>Cs aktivite konsantrasyonu ilkbahar mevsiminde, en düşük aktivite konsantrasyonu ise kış mevsiminde bulunmuştur.

Şekil 4.20’de ilçelere ve mevsimlere göre yapılan ortalama <sup>137</sup>Cs aktivite konsantrasyonları karşılaştırmasında en düşük <sup>137</sup>Cs aktivite konsantrasyonu Kofçaz ilçesinde yaz mevsiminde, en yüksek <sup>137</sup>Cs aktivite konsantrasyonu ise Vize ilçesinde ilkbahar mevsiminde tayin edilmiştir.

Çizelge 4.6’da Türkiye’deki ve Dünya’daki farklı bölgelerde toprak örneklerinde yapılmış çalışmalardan elde edilmiş <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th ve <sup>40</sup>K ve <sup>137</sup>Cs aktivite konsantrasyon değerleri karşılaştırılmıştır.

Çalışma bölgesini temsilen toplanan tüm toprak örneklerinde dört mevsim için elde edilen ortalama <sup>226</sup>Ra konsantrasyonu, Mısır ve Ganos Fayı’nda yapılan çalışmalarda elde edilen <sup>226</sup>Ra konsantrasyonlarından yüksek bulunurken; Bursa ve Rize’de elde edilen sonuçlara yakın değerler bulunmuştur. Malezya, Irak, Bangladeş, Küçük Menderes Nehri, Trakya Bölgesi ve Edirne’de yapılan çalışmalarla kıyaslandığında ise bu çalışmada elde edilen ortalama <sup>226</sup>Ra konsantrasyonu düşük bulunmuştur.

Kırklareli’de Taşkın ve arkadaşları tarafından 2009 yılında yapılan çalışmada bulunan değerlerin bu çalışmada elde edilen değerden daha yüksek olduğu görülmüştür. Çalışma bölgesinde elde edilen ortalama  $^{226}\text{Ra}$  konsantrasyonu UNSCEAR raporundaki  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesi için belirtilen ortalama değer olan  $35 \text{ Bq kg}^{-1}$  değerinin altındadır (UNSCEAR, 2000).

Kırklareli merkezi ve ilçelerinde dört mevsim için elde edilen ortalama  $^{232}\text{Th}$  konsantrasyonu Etiyopya, Mısır, Filistin, Küçük Menderes Nehri, Trakya Bölgesi ve Samsun’da elde edilen sonuçlardan yüksek, Bursa ve Ganos Fayı’nda yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlara yakın bulunmuştur (Akkaya, 2011; Günay ve ark., 2019). Bu çalışmada hesaplanan ortalama  $^{232}\text{Th}$  konsantrasyonu; Malezya, Irak, Bangladeş, Hindistan, Edirne, Tekirdağ, Ardahan, Rize ve Kırklareli’nde yapılan çalışmalarda bulunan değerlerin altında olduğu görülmüştür (Ahmad ve ark., 2015; Pourimani ve Shadroudi, 2018; Hossain ve ark., 2016; Kannan ve ark., 2002; Zaim ve Atlas, 2016; Kam ve ark., 2009; Bilici Cengiz, 2017; Durusoy ve Yıldırım, 2017; Taşkın ve ark.,2009). Çalışma bölgesinde elde edilen ortalama  $^{232}\text{Th}$  konsantrasyonu, UNSCEAR raporundaki  $^{232}\text{Th}$  aktivitesi için belirtilen ortalama değer olan  $30 \text{ Bq kg}^{-1}$  değerine yakın elde edilmiştir (UNSCEAR, 2000).

Tüm mevsimler ve toprak örnekleri için bulunan  $^{40}\text{K}$  konsantrasyonu Malezya, Mısır, Filistin, Irak, Hindistan, Ganos Fayı, Edirne, Bursa, Ardahan ve Rize’de yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlardan yüksek bulunmuştur (Ahmad ve ark., 2015; Salama ve ark., 2015; Samreh ve ark., 2015; Pourimani ve Shadroudi, 2018; Kannan ve ark., 2002; Günay ve ark., 2019; Zaim ve Atlas, 2016; Akkaya, 2011; Bilici Cengiz, 2017; Durusoy ve Yıldırım, 2017). Ortalama  $^{40}\text{K}$  konsantrasyonu; Etiyopya, Bangladeş, Küçük Menderes Nehri, Trakya Bölgesi, Tekirdağ, Samsun ve Kırklareli’de yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlardan ise düşük bulunmuştur (Pradeep ve ark., 2016; Hossain ve ark., 2016; Aközcan, 2014; Aközcan ve ark., 2014; Kam ve ark., 2009; Bostancı, 2011; Taşkın ve ark.,2009). Bu çalışmada hesaplanan ortalama  $^{40}\text{K}$  konsantrasyonu UNSCEAR raporundaki  $^{40}\text{K}$  aktivitesi için belirtilen ortalama değer olan  $400 \text{ Bq kg}^{-1}$  değerinin üzerinde elde edilmiştir (UNSCEAR, 2000). Çalışmada bulunan  $^{40}\text{K}$  konsantrasyonlarının yüksek olmasının nedeninin tarım arazilerinde uygulanan gübreleme işlemlerinin olduğu düşünülmektedir.

Çalışmada bulunan  $^{137}\text{Cs}$  konsantrasyonları, Türkiye’de ve Dünya’da yapılan diğer çalışmalarda bulunan konsantrasyonları yakın olmakla birlikte Karadeniz Bölgesi’nde bulunan değerlerin altında olduğu görülmüştür.  $^{137}\text{Cs}$  radyonüklidi özellikle Çernobil Nükleer Santral kazası sonrasında Türkiye’nin Karadeniz ve Marmara bölgelerini etkilemiş olduğu göz önüne alındığında bu bölgelerde yüksek sonuçların çıkması beklenen bir etkidir.

**Çizelge 4.6 :** Toprak örneklerinde bulunan aktivite konsantrasyonu değerleri ile Türkiye ve Dünya ortalamalarının karşılaştırması ( $\text{Bq kg}^{-1}$ ).

Bölge	$^{226}\text{Ra}$	$^{232}\text{Th}$	$^{40}\text{K}$	$^{137}\text{Cs}$	Referans
Etiyopya	-	8.60	576.46	-	Pradeep ve ark., 2016
Malezya	51.06	78.44	125.66	-	Ahmad ve ark., 2015
Mısır	9.9	6.6	172.15	0.09	Salama ve ark., 2015
Katar	-	-	-	2.15	Sulaiti ve ark., 2016
Filistin	-	19.5	113.3	-	Samreh ve ark., 2015
Irak	33.35	38.28	430.27	5.52	Pourimani ve Shadroudi, 2018
Bangladeş	33.56	58.39	758.75	-	Hossain ve ark., 2016
Hindistan	-	119	406	-	Kannan ve ark., 2002
Türkiye/Küçük Menderes Nehri	48.4	20.5	744.8	3.3	Aközcan, 2014
Türkiye/Trakya Bölgesi	32	22.86	1318	20.92	Aközcan ve ark., 2014
Türkiye/Ganos Fayı	17	27	445	-	Günay ve ark., 2019
Türkiye/Edirne	39.73	55.85	407.12	8.76	Zaim ve Atlas, 2016
Türkiye/Bursa	24	30	433	5.66	Akkaya, 2011
Türkiye/Tekirdağ	-	39	580	5.2	Kam ve ark., 2009
Türkiye/Samsun	-	22.06	525	14.85	Bostancı, 2011
Türkiye/Ardahan	-	36.7	435.1	15.5	Bilici Cengiz, 2017
Türkiye/Rize	24.5	51.8	344.9	26.3	Durusoy ve Yıldırım, 2017
Türkiye/Kırklareli	37	40	667	8	Taşkın ve ark., 2009
UNSCEAR	35	30	400	-	UNSCEAR, 2000
Türkiye/Kırklareli	22.75	30.91	478.71	3.37	Bu çalışma

## 4.1.2 Radyolojik Parametreler

### 4.1.2.1 Karasal Soğurulan Gama Doz Hızı (D)

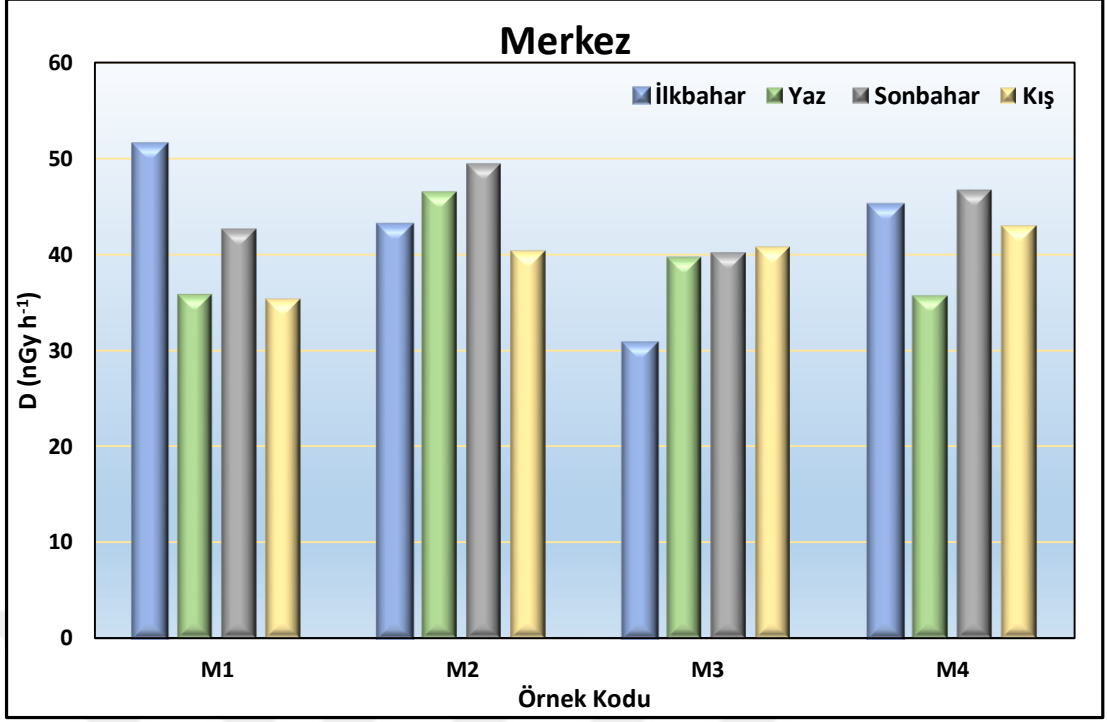
Toprak yüzeyinden 1 metre yükseklikteki karasal radyasyona maruz kalma sebebiyle vücudun saatte soğurduğu doz oranını veren “karasal soğurulan gama doz hızı (D)” toprak örnekleme yapılan her tarım arazisi için hesaplanmıştır. Kırklareli ili Merkez ilçesi için mevsimlere ve örnekleme noktalarına göre hesaplanan karasal soğurulan gama doz hızı değerleri Şekil 4.21’de karşılaştırılmıştır. Merkez ilçe M1 kodlu örnek için en yüksek karasal gama doz hızı değeri ilkbahar mevsiminde  $51.48 \text{ nGy h}^{-1}$  ve en düşük karasal soğurulan gama doz hızı değeri kış mevsiminde  $35.35 \text{ nGy h}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. M1 kodlu örnek için bulunan karasal soğurulan gama doz hızı değerleri dört mevsim için de dünya ortalaması olan  $57 \text{ nGy h}^{-1}$  değerinden küçüktür.

Merkez ilçe M2 kodlu örnek için ise en yüksek karasal soğurulan gama doz hızı değeri sonbahar mevsiminde hesaplanmıştır. En düşük karasal soğurulan gama doz hızı değeri M1 kodlu örnekte olduğu gibi kış mevsiminde elde edilmiştir. M2 kodlu örnek için hesaplanan karasal soğurulan gama doz hızı değerleri dört mevsim için de dünya ortalamasından düşüktür.

Merkez ilçe M3 kodlu örnek için hesaplanan karasal soğurulan gama doz hızı değerleri yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için oldukça yakın değerlerdir. En yüksek karasal soğurulan gama doz hızı değeri kış mevsiminde  $40.76 \text{ nGy h}^{-1}$  olarak bulunmuştur. En düşük karasal soğurulan gama doz hızı değeri ise ilkbahar mevsiminde  $30.68 \text{ nGy h}^{-1}$  olarak bulunmuştur. M3 kodlu örnek için tüm mevsimlerde hesaplanan karasal soğurulan gama doz hızı değerleri dünya ortalamasından küçüktür.

Merkez ilçe M4 kodlu örnek için ise en yüksek karasal soğurulan gama doz hızı değeri sonbahar mevsiminde  $46.77 \text{ nGy h}^{-1}$ , en düşük karasal soğurulan gama doz hızı değeri yaz mevsiminde  $35.71 \text{ nGy h}^{-1}$  olarak bulunmuştur. Hesaplanan karasal soğurulan gama doz hızı değerleri bu örnekleme noktası için dört mevsimde de dünya ortalamasından düşük bulunmuştur.





**Şekil 4.21** : Kırklareli ili merkez ilçesinde mevsimlere göre karasal soğurulan gama doz hızı değerleri.

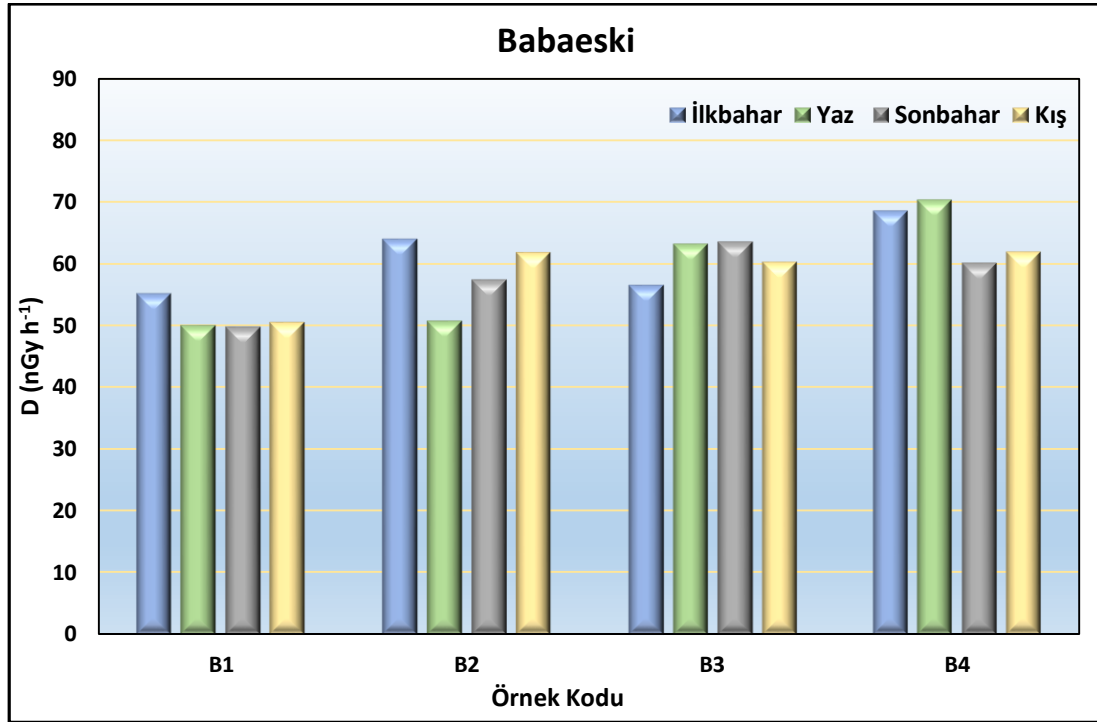
Kırklareli ili Babaeski ilçesi için mevsimlere ve örnekleme noktalarına göre hesaplanan karasal soğurulan gama doz hızı değerleri Şekil 4.22’de verilmiştir. B1 kodlu örnek için en yüksek karasal gama doz hızı değeri ilkbahar mevsiminde  $55.14 \text{ nGy h}^{-1}$  ve en düşük karasal soğurulan gama doz hızı değeri sonbahar mevsiminde  $49.88 \text{ nGy h}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. Yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için bulunan D değerleri oldukça yakın değerlerdir. B1 kodlu örnek için bulunan karasal soğurulan gama doz hızı değerleri dört mevsim için de dünya ortalaması olan  $57 \text{ nGy h}^{-1}$  değerinden küçük bulunmuştur.

Babaeski ilçesi B2 kodlu örnek için ise en yüksek karasal soğurulan gama doz hızı değeri ilkbahar mevsiminde  $63.99 \text{ nGy h}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. En düşük karasal soğurulan gama doz hızı değeri ise  $50.76 \text{ nGy h}^{-1}$  olarak yaz mevsiminde elde edilmiştir. B2 kodlu örnek için hesaplanan karasal soğurulan gama doz hızı değerleri ilkbahar ve kış mevsimleri için dünya ortalaması olan  $57 \text{ nGy h}^{-1}$  değerinden yüksek bulunmuştur.

B3 kodlu örnek için hesaplanan karasal soğurulan gama doz hızı en yüksek sonbahar mevsiminde  $63.58 \text{ nGy h}^{-1}$  olarak bulunmuştur. En düşük karasal soğurulan gama doz hızı değeri ise ilkbahar mevsiminde  $56.44 \text{ nGy h}^{-1}$  olarak bulunmuştur. B3 kodlu örnek

için hesaplanan karasal soğurulan gama doz hızı değerleri yaz, sonbahar ve kış mevsimlerinde dünya ortalamasından yüksek, ilkbahar mevsimi için ise dünya ortalamasından küçük elde edilmiştir.

B4 kodlu örnek için ise en düşük karasal soğurulan gama doz hızı değeri sonbahar mevsiminde  $60.09 \text{ nGy h}^{-1}$ , en yüksek karasal soğurulan gama doz hızı değeri yaz mevsiminde  $70.44 \text{ nGy h}^{-1}$  olarak elde edilmiştir. Hesaplanan karasal soğurulan gama doz hızı değerleri bu örnekleme noktası için dört mevsimde de dünya ortalamasından yüksek bulunmuştur.



Şekil 4.22 : Kırklareli ili babaeski ilçesinde mevsimlere göre karasal soğurulan gama doz hızı değerleri.

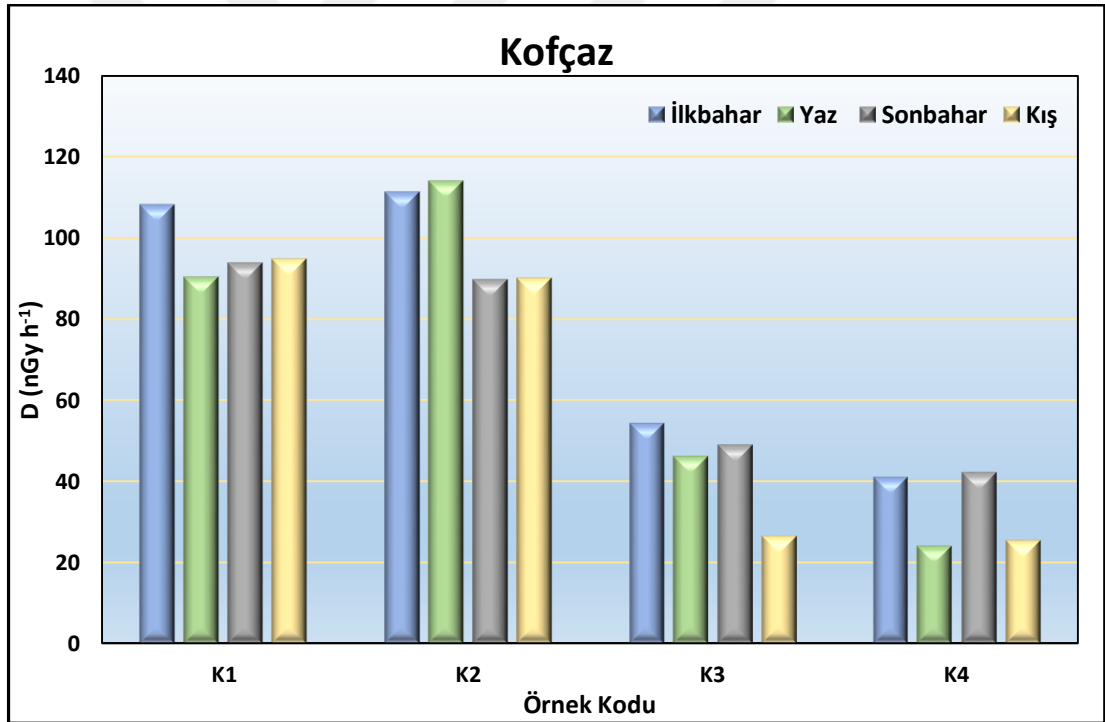
Kırklareli ili Kofçaz ilçesi için mevsimlere ve örnekleme noktalarına göre hesaplanan karasal soğurulan gama doz hızı değerleri Şekil 4.23'te karşılaştırılmıştır. K1 kodlu örnek için en yüksek karasal gama doz hızı değeri ilkbahar mevsiminde  $108.12 \text{ nGy h}^{-1}$  ve en düşük karasal soğurulan gama doz hızı değeri yaz mevsiminde  $90.49 \text{ nGy h}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. K1 kodlu örnek için bulunan karasal soğurulan gama doz hızı değerleri dört mevsim için de dünya ortalaması olan  $57 \text{ nGy h}^{-1}$  değerinden yüksektir.

Kofçaz ilçesi K2 kodlu örnek için ise en yüksek karasal soğurulan gama doz hızı değeri yaz mevsiminde  $114.17 \text{ nGy h}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. En düşük karasal soğurulan gama doz hızı değeri ise  $89.88 \text{ nGy h}^{-1}$  olarak sonbahar mevsiminde elde edilmiştir.

K2 kodlu örnek için hesaplanan karasal soğurulan gama doz hızı değerleri tüm mevsimler için dünya ortalaması olan  $57 \text{ nGy h}^{-1}$  değerinden yüksek bulunmuştur.

Koçaz ilçesi K3 kodlu örnek için hesaplanan karasal soğurulan gama doz hızı en yüksek ilkbahar mevsiminde  $54.37 \text{ nGy h}^{-1}$  olarak bulunmuştur. En düşük karasal soğurulan gama doz hızı değeri ise kış mevsiminde  $26.62 \text{ nGy h}^{-1}$  olarak bulunmuştur. K3 kodlu örnek için hesaplanan karasal soğurulan gama doz hızı değerleri dört mevsim için de dünya ortalamasından küçük elde edilmiştir.

K4 kodlu örnek için ise en düşük karasal soğurulan gama doz hızı değeri yaz mevsiminde  $24.18 \text{ nGy h}^{-1}$ , en yüksek karasal soğurulan gama doz hızı değeri ise sonbahar mevsiminde  $42.42 \text{ nGy h}^{-1}$  olarak elde edilmiştir. Hesaplanan karasal soğurulan gama doz hızı değerleri koçaz ilçesinde bu örnekleme noktası için dört mevsimde de dünya ortalamasından düşük bulunmuştur.



**Şekil 4.23** : Kırklareli ili Koçaz ilçesinde mevsimlere göre karasal soğurulan gama doz hızı değerleri.

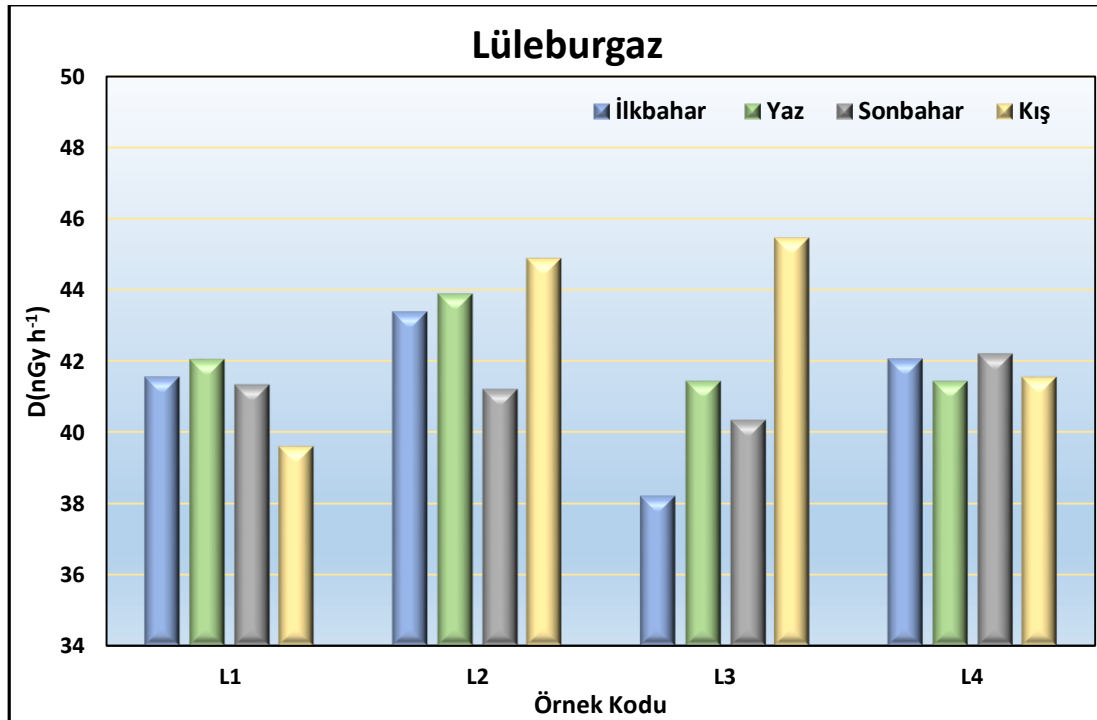
Kırklareli ili Lüleburgaz ilçesi için mevsimlere ve örnekleme noktalarına göre hesaplanan karasal soğurulan gama doz hızı değerleri Şekil 4.24'te karşılaştırılmıştır. L1 kodlu örnek için en düşük karasal gama doz hızı değeri kış mevsiminde  $39.60 \text{ nGy h}^{-1}$  ve en yüksek karasal soğurulan gama doz hızı değeri yaz mevsiminde  $42.04 \text{ nGy h}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. L1 kodlu örnek için bulunan karasal soğurulan gama

doz hızı değerleri dört mevsim için de dünya ortalaması olan  $57 \text{ nGy h}^{-1}$  değerinden düşüktür.

Lüleburgaz ilçesi L2 kodlu örnek için ise en yüksek karasal soğurulan gama doz hızı değeri kış mevsiminde  $44.88 \text{ nGy h}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. En düşük karasal soğurulan gama doz hızı değeri ise  $41.18 \text{ nGy h}^{-1}$  olarak sonbahar mevsiminde elde edilmiştir. L2 kodlu örnek için hesaplanan karasal soğurulan gama doz hızı değerleri tüm mevsimler için dünya ortalamasından küçük bulunmuştur.

L3 kodlu örnek için hesaplanan karasal soğurulan gama doz hızı ise en yüksek kış mevsiminde  $45.45 \text{ nGy h}^{-1}$  olarak bulunmuştur. En düşük karasal soğurulan gama doz hızı değeri ise ilkbahar mevsiminde  $38.21 \text{ nGy h}^{-1}$  olarak bulunmuştur. L3 kodlu örnek için hesaplanan karasal soğurulan gama doz hızı değerleri dört mevsim için de dünya ortalamasından küçük elde edilmiştir.

L4 kodlu örnek için ise en düşük karasal soğurulan gama doz hızı değeri yaz mevsiminde  $41.42 \text{ nGy h}^{-1}$ , en yüksek karasal soğurulan gama doz hızı değeri sonbahar mevsiminde  $42.17 \text{ nGy h}^{-1}$  olarak elde edilmiştir. Lüleburgaz ilçesi L4 kodlu örnek için hesaplanan karasal soğurulan gama doz hızı değerleri tüm mevsimlerde oldukça birbirine yakın ve dünya ortalamasından düşük bulunmuştur.



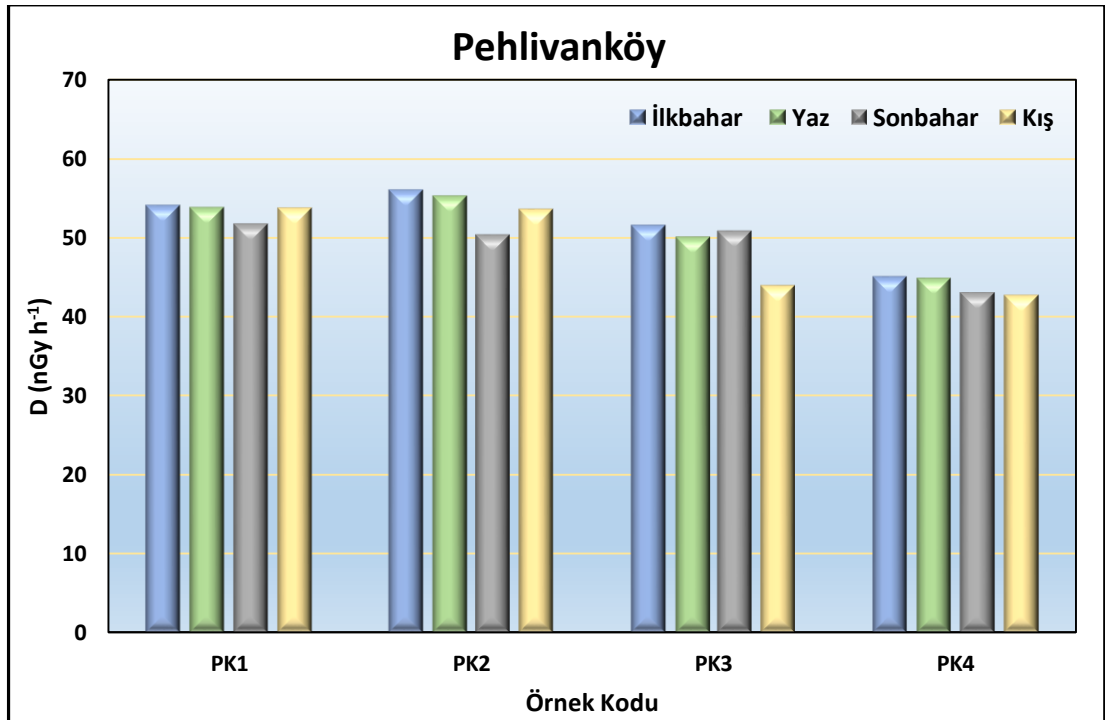
Şekil 4.24: Kırklareli ili Lüleburgaz ilçesinde mevsimlere göre karasal soğurulan gama doz hızı değerleri.

Kırklareli ili Pehlivanköy ilçesi için mevsimlere ve örnekleme noktalarına göre hesaplanan karasal soğurulan gama doz hızı değerleri Şekil 4.25'te verilmiştir. PK1 kodlu örnek için en düşük karasal gama doz hızı değeri sonbahar mevsiminde 51.66 nGy h<sup>-1</sup> ve en yüksek karasal soğurulan gama doz hızı değeri ilkbahar mevsiminde 54.04 nGy h<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır.

Pehlivanköy ilçesi PK2 kodlu örnek için ise en yüksek karasal soğurulan gama doz hızı değeri ilkbahar mevsiminde 55.96 nGy h<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır. En düşük karasal soğurulan gama doz hızı değeri ise 50.25 nGy h<sup>-1</sup> olarak sonbahar mevsiminde elde edilmiştir.

PK3 kodlu örnek için hesaplanan karasal soğurulan gama doz hızı ise en yüksek ilkbahar mevsiminde 51.52 nGy h<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur. En düşük karasal soğurulan gama doz hızı değeri ise kış mevsiminde 43.91 nGy h<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur.

PK4 kodlu örnek için ise en düşük karasal soğurulan gama doz hızı değeri kış mevsiminde 42.70 nGy h<sup>-1</sup>, en yüksek karasal soğurulan gama doz hızı değeri ilkbahar mevsiminde 44.97 nGy h<sup>-1</sup> olarak elde edilmiştir. Pehlivanköy ilçesi örnekleme noktaları için hesaplanan karasal soğurulan gama doz hızı değerleri tüm mevsimlerde dünya ortalamasından düşük bulunmuştur.



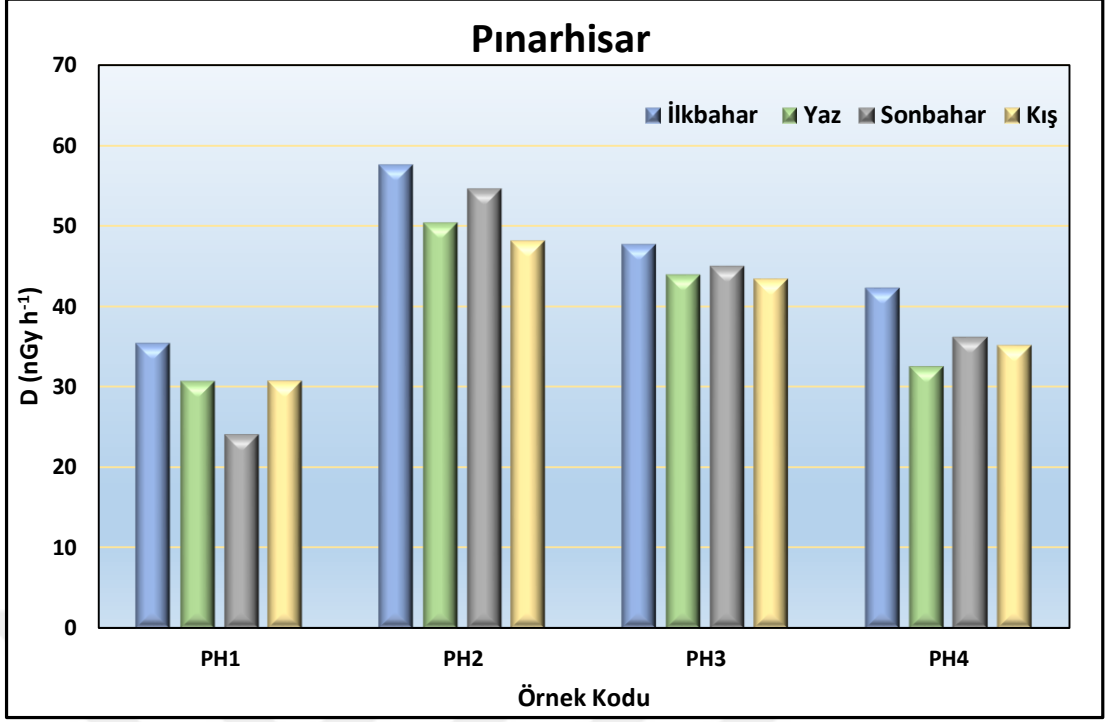
Şekil 4.25 : Kırklareli ili Pehlivanköy ilçesinde mevsimlere göre karasal soğurulan gama doz hızı değerleri.

Kırklareli ili Pınarhisar ilçesi için mevsimlere ve örnekleme noktalarına göre hesaplanan karasal soğurulan gama doz hızı değerleri Şekil 4.26'da karşılaştırılmıştır. PH1 kodlu örnek için en düşük karasal soğurulan gama doz hızı değeri sonbahar mevsiminde  $24.15 \text{ nGy h}^{-1}$  ve en yüksek karasal soğurulan gama doz hızı değeri ilkbahar mevsiminde  $35.41 \text{ nGy h}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. PH1 kodlu örnek için bulunan karasal soğurulan gama doz hızı değerleri dört mevsim için de dünya ortalaması olan  $57 \text{ nGy h}^{-1}$  değerinden düşük bulunmuştur.

Pınarhisar ilçesi PH2 kodlu örnek için ise en yüksek karasal soğurulan gama doz hızı değeri ilkbahar mevsiminde  $57.55 \text{ nGy h}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. En düşük karasal soğurulan gama doz hızı değeri ise  $48.03 \text{ nGy h}^{-1}$  olarak kış mevsiminde elde edilmiştir. PH2 kodlu örnek için hesaplanan karasal soğurulan gama doz hızı değerleri ilkbahar mevsimi için dünya ortalamasında, diğer mevsimlerde ise dünya ortalamasından düşüktür.

PH3 kodlu örnek için hesaplanan karasal soğurulan gama doz hızı ise en yüksek ilkbahar mevsiminde  $47.68 \text{ nGy h}^{-1}$  olarak bulunmuştur. En düşük karasal soğurulan gama doz hızı değeri ise kış mevsiminde  $43.38 \text{ nGy h}^{-1}$  olarak bulunmuştur. PH3 kodlu örnek için hesaplanan karasal soğurulan gama doz hızı değerleri dört mevsim için de dünya ortalamasından küçük elde edilmiştir.

PH4 kodlu örnek için ise en düşük karasal soğurulan gama doz hızı değeri yaz mevsiminde  $32.42 \text{ nGy h}^{-1}$ , en yüksek karasal soğurulan gama doz hızı değeri ilkbahar mevsiminde  $42.21 \text{ nGy h}^{-1}$  olarak elde edilmiştir. Pınarhisar ilçesi PH4 kodlu örnek için hesaplanan karasal soğurulan gama doz hızı değerleri tüm mevsimler için dünya ortalamasından düşük bulunmuştur.

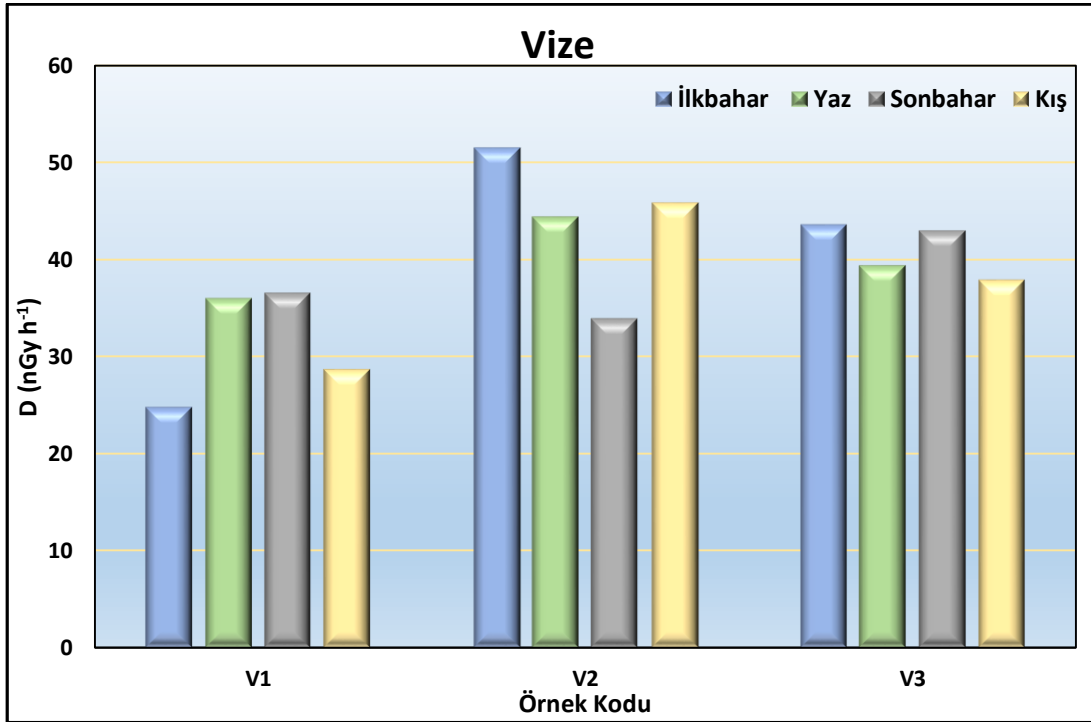


**Şekil 4.26:** Kırklareli ili Pınarhisar ilçesinde mevsimlere göre karasal soğurulan gama doz hızı değerleri.

Kırklareli ili Vize ilçesi için mevsimlere ve örnekleme noktalarına göre hesaplanan karasal soğurulan gama doz hızı değerleri Şekil 4.27’de verilmiştir. V1 kodlu örnek için en düşük karasal soğurulan gama doz hızı değeri ilkbahar mevsiminde 24.84 nGy h<sup>-1</sup> ve en yüksek karasal soğurulan gama doz hızı değeri sonbahar mevsiminde 36.55 nGy h<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır.

Vize ilçesi V2 kodlu örnek için ise en yüksek karasal soğurulan gama doz hızı değeri ilkbahar mevsiminde 51.60 nGy h<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır. En düşük karasal soğurulan gama doz hızı değeri ise 33.88 nGy h<sup>-1</sup> olarak sonbahar mevsiminde elde edilmiştir.

V3 kodlu örnek için hesaplanan karasal soğurulan gama doz hızı ise en yüksek ilkbahar mevsiminde 43.65 nGy h<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur. En düşük karasal soğurulan gama doz hızı değeri ise kış mevsiminde 37.92 nGy h<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur. Vize ilçesi örnekleme noktaları için hesaplanan karasal soğurulan gama doz hızı değerleri dört mevsim için de dünya ortalamasından küçük elde edilmiştir.



**Şekil 4.27:** Kırklareli ili Vize ilçesinde mevsimlere göre karasal soğurulan gama doz hızı değerleri.

Mevsimlere göre elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında ise; ilkbahar mevsiminde tüm bölgeyi kapsayan toprak için D değeri ortalaması  $51.99 \text{ nGy h}^{-1}$  bulunmuştur. İlkbahar mevsiminde toprak için hesaplanan karasal soğurulan gama doz hızı değerleri  $24.84$  ile  $111.33 \text{ nGy h}^{-1}$  aralığında değişmektedir. En düşük karasal soğurulan gama doz hızı değeri Vize ilçesinde, en yüksek karasal soğurulan gama doz hızı değeri ise Kofçaz ilçesinde bulunmuştur. İlkbahar mevsiminde toplanan toprak örnekleri için hesaplanan ortalama karasal soğurulan gama doz hızı değeri dünya ortalaması olan  $57 \text{ nGy h}^{-1}$  değerinden küçüktür.

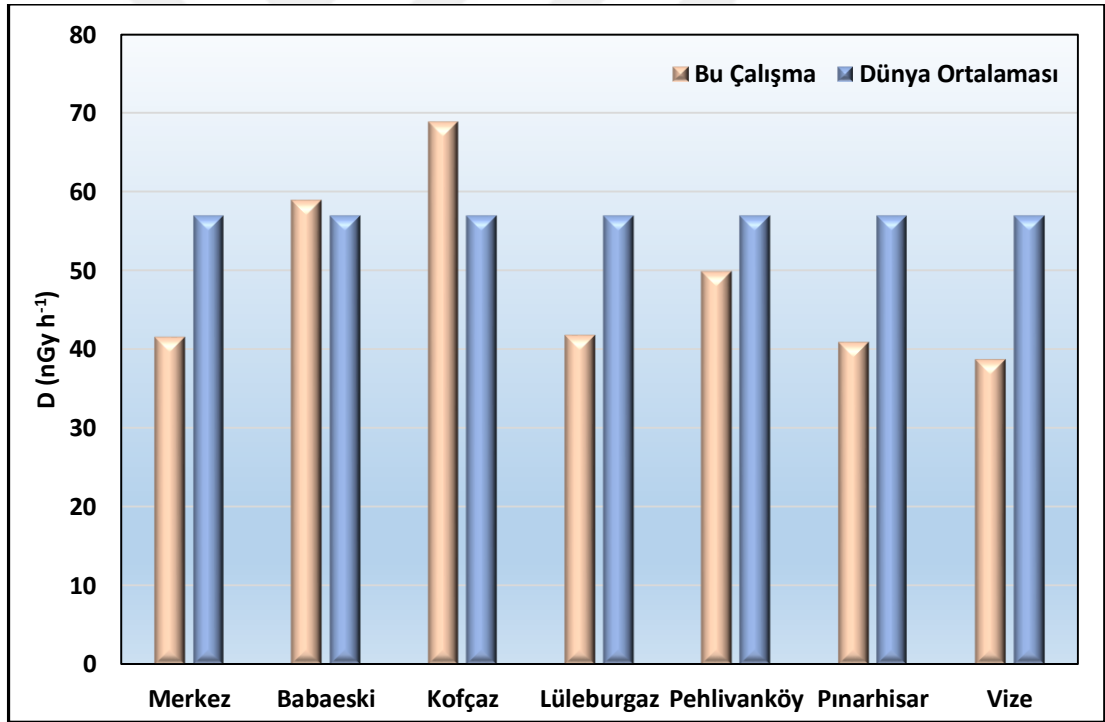
Yaz mevsiminde toplanan toprak örnekleri için hesaplanan karasal soğurulan gama doz hızı değerleri  $24.18$  ile  $114.17 \text{ nGy h}^{-1}$  aralığında değişmektedir. En düşük karasal soğurulan gama doz hızı değeri Kofçaz ilçesinde K4 kodlu örnekte, en yüksek karasal soğurulan gama doz hızı değeri ise Kofçaz ilçesinde K2 kodlu örnekte bulunmuştur. Yaz mevsiminde tüm bölgeyi kapsayan toprak için D değeri ortalama  $48.77 \text{ nGy h}^{-1}$  bulunmuştur. Yaz mevsiminde toplanan toprak örnekleri için hesaplanan ortalama karasal soğurulan gama doz hızı değeri dünya ortalamasından düşüktür.

Sonbahar mevsiminde alınan toprak örnekleri için hesaplanan karasal soğurulan gama doz hızı değerleri  $24.15$  ile  $93.85$  aralığındadır. En düşük karasal soğurulan gama doz



hızı değeri Pınarhisar ilçesinde, en yüksek karasal soğurulan gama doz hızı değeri ise Kofçaz ilçesinde bulunmuştur. Sonbahar mevsiminde ise tüm tarım arazilerinden toplanan toprak örnekleri için hesaplanan karasal soğurulan gama doz hızı ortalaması 48.87 nGy h<sup>-1</sup> hesaplanmıştır. Yaz ve ilkbahar mevsiminde olduğu gibi sonbahar mevsiminde de toplanan toprak örnekleri için hesaplanan ortalama karasal soğurulan gama doz hızı değeri dünya ortalamasından düşük bulunmuştur.

Kış mevsiminde toplanan toprak örnekleri için hesaplanan karasal soğurulan gama doz hızı değerleri 25.59 ile 94.79 nGy h<sup>-1</sup> aralığında değişmektedir. En düşük karasal soğurulan gama doz hızı değeri Kofçaz ilçesinde K4 kodlu örnekte, en yüksek karasal soğurulan gama doz hızı değeri ise Kofçaz ilçesinde K1 kodlu örnekte bulunmuştur. Tüm bölgeyi kapsayan toprak için D değeri ortalama 46.91 nGy h<sup>-1</sup> bulunmuştur. Diğer mevsimlerde olduğu gibi kış mevsiminde de toplanan toprak örnekleri için hesaplanan ortalama karasal soğurulan gama doz hızı değeri dünya ortalamasından düşüktür.



Şekil 4.28 : İlçelere göre yıllık ortalama karasal soğurulan gama doz hızı değerleri.

Kırklareli ilçelerine göre ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimlerinde hesaplanan karasal soğurulan gama doz hızı değerinin ortalaması alınarak bir yıl için karasal soğurulan gama doz hızı değerleri bulunmuş, Şekil 4.28’de ilçelere ve dünya ortalamasına göre karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Babaeski ve Kofçaz

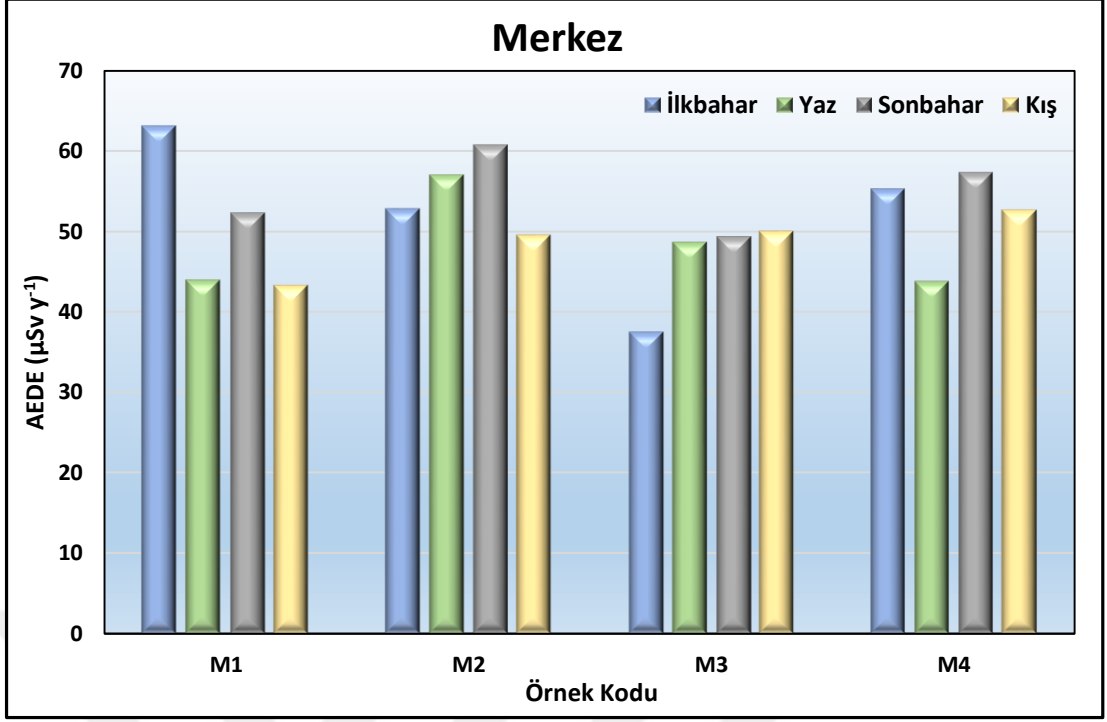
ilçeleri için hesaplanan ortalama karasal soğurulan gama doz hızı değerleri sırasıyla 59.02 ve 68.91 nGy h<sup>-1</sup> olup; dünya ortalamasının üzerinde olduğu görülmektedir.

#### **4.1.2.2 Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (AEDE)**

Havada soğurulan gama doz hızının canlılarda meydana getireceği biyolojik etkiyi ve bir yıl süresince canlıların maruz kaldığı radyasyon dozunu belirlemek için yıllık etkin doz eşdeğeri (AEDE) ifadesi kullanılmaktadır. Bu çalışmada toprak örnekleme yapılan her tarım arazisi için AEDE değeri hesaplanmıştır.

Kırklareli ili Merkez ilçesi için mevsimlere ve örnekleme noktalarına göre hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri Şekil 4.29'da karşılaştırılmıştır. M1 kodlu örnek için en yüksek yıllık etkin doz eşdeğeri ilkbahar mevsiminde 63.14 µSv y<sup>-1</sup> ve en düşük yıllık etkin doz eşdeğeri kış mevsiminde 43.36 µSv y<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır.

M2 kodlu örnek için ise en yüksek yıllık etkin doz eşdeğeri 60.73 µSv y<sup>-1</sup> olarak sonbahar mevsiminde hesaplanmıştır. En düşük yıllık etkin doz eşdeğeri 49.52 µSv y<sup>-1</sup> olarak kış mevsiminde elde edilmiştir. M3 kodlu örnek için hesaplanan en yüksek yıllık etkin doz eşdeğeri kış mevsiminde 49.99 µSv y<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur. En düşük yıllık etkin doz eşdeğeri ise ilkbahar mevsiminde 37.63 µSv y<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır. M4 kodlu örnek için ise en yüksek yıllık etkin doz eşdeğeri sonbahar mevsiminde 57.36 µSv y<sup>-1</sup>, en düşük yıllık etkin doz eşdeğeri yaz mevsiminde 43.80 µSv y<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur. Merkez ilçesi için hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri tüm örnekleme noktaları için dört mevsimde de dünya ortalaması olan 70 µSv y<sup>-1</sup>'den düşük bulunmuştur.



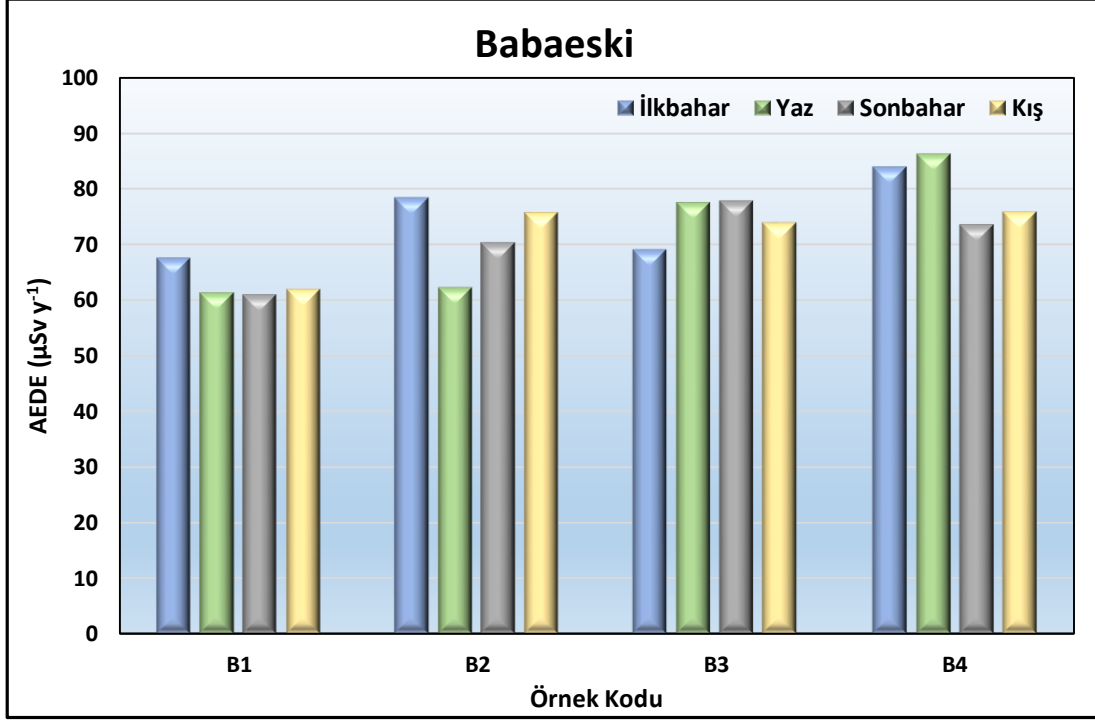
Şekil 4.29 : Kırklareli ili Merkez ilçesinde mevsimlere göre yıllık etkin doz eşdeğerleri.

Kırklareli ili Babaeski ilçesi için mevsimlere ve örnekleme noktalarına göre hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri karşılaştırması Şekil 4.30'da verilmiştir. B1 kodlu örnek için en yüksek yıllık etkin doz eşdeğeri ilkbahar mevsiminde  $67.63 \mu\text{Sv y}^{-1}$  ve en düşük yıllık etkin doz eşdeğeri sonbahar mevsiminde  $61.17 \mu\text{Sv y}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. B1 kodlu örnek için elde edilen yıllık etkin doz eşdeğerleri tüm mevsimler için dünya ortalamasından düşüktür.

B2 kodlu örnek için ise en yüksek yıllık etkin doz eşdeğeri  $78.47 \mu\text{Sv y}^{-1}$  olarak ilkbahar mevsiminde hesaplanmıştır. En düşük yıllık etkin doz eşdeğeri  $62.26 \mu\text{Sv y}^{-1}$  olarak yaz mevsiminde elde edilmiştir. B2 kodlu örnek için hesaplanan AEDE değerlerine bakıldığında sonbahar mevsiminde dünya ortalamasında, ilkbahar ve kış mevsimleri için dünya ortalamasının üzerinde olduğu görülmüştür.

Babaeski ilçesi B3 kodlu örnek için hesaplanan en yüksek yıllık etkin doz eşdeğeri sonbahar mevsiminde  $77.98 \mu\text{Sv y}^{-1}$  olarak bulunmuştur. En düşük yıllık etkin doz eşdeğeri ise ilkbahar mevsiminde  $69.22 \mu\text{Sv y}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. B3 kodlu örnek için elde edilen AEDE değerleri karşılaştırıldığında yaz, sonbahar ve kış mevsimlerinde dünya ortalamasının üzerinde; ilkbahar mevsiminde dünya ortalamasının artında olduğu görülmüştür.

B4 kodlu örnek için ise en yüksek yıllık etkin doz eşdeğeri yaz mevsiminde  $86.38 \mu\text{Sv y}^{-1}$ , en düşük yıllık etkin doz eşdeğeri sonbahar mevsiminde  $73.69 \mu\text{Sv y}^{-1}$  olarak bulunmuştur. Babaeski ilçesi için hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri B4 kodlu örnek için dört mevsimde de dünya ortalaması olan  $70 \mu\text{Sv y}^{-1}$  değerinin üzerinde bulunmuştur.



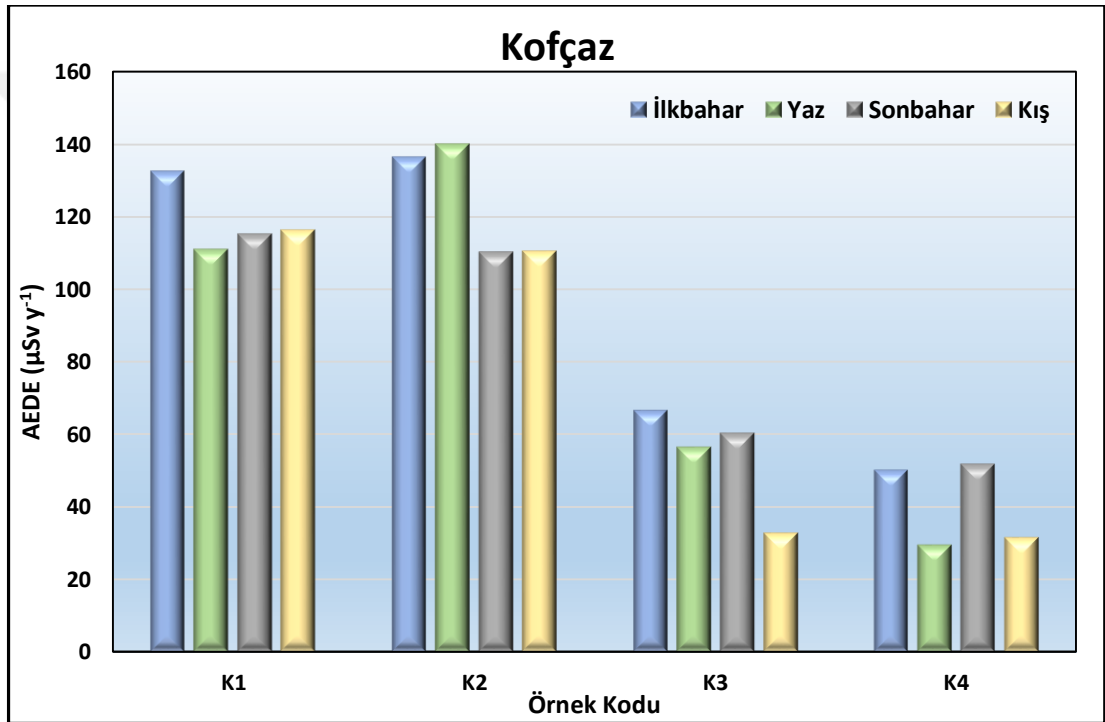
**Şekil 4.30** : Kırklareli ili Babaeski ilçesinde mevsimlere göre yıllık etkin doz eşdeğerleri.

Kırklareli ili Kofçaz ilçesi için mevsimlere ve örnekleme noktalarına göre hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri karşılaştırılmış ve Şekil 4.31’de verilmiştir. K1 kodlu örnek için en yüksek yıllık etkin doz eşdeğeri ilkbahar mevsiminde  $132.59 \mu\text{Sv y}^{-1}$  ve en düşük yıllık etkin doz eşdeğeri yaz mevsiminde  $110.98 \mu\text{Sv y}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. K1 kodlu örnek için elde edilen yıllık etkin doz eşdeğerleri tüm mevsimler için dünya ortalamasının üzerindedir.

K2 kodlu örnek için ise en yüksek yıllık etkin doz eşdeğeri  $140.02 \mu\text{Sv y}^{-1}$  olarak yaz mevsiminde hesaplanmıştır. En düşük yıllık etkin doz eşdeğeri  $110.23 \mu\text{Sv y}^{-1}$  olarak sonbahar mevsiminde elde edilmiştir. K2 kodlu örnek için hesaplanan AEDE değerlerine bakıldığında, K1 kodlu örnekte olduğu gibi tüm mevsimler için dünya ortalamasının üzerinde bulunmuştur.

Koçaz ilçesi K3 kodlu örnek için hesaplanan en yüksek yıllık etkin doz eşdeğeri ilkbahar mevsiminde  $66.68 \mu\text{Sv y}^{-1}$  olarak bulunmuştur. En düşük yıllık etkin doz eşdeğeri ise kış mevsiminde  $32.65 \mu\text{Sv y}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. K3 kodlu örnek için elde edilen AEDE değerleri tüm mevsimler için dünya ortalamasının altında olduğu görülmüştür.

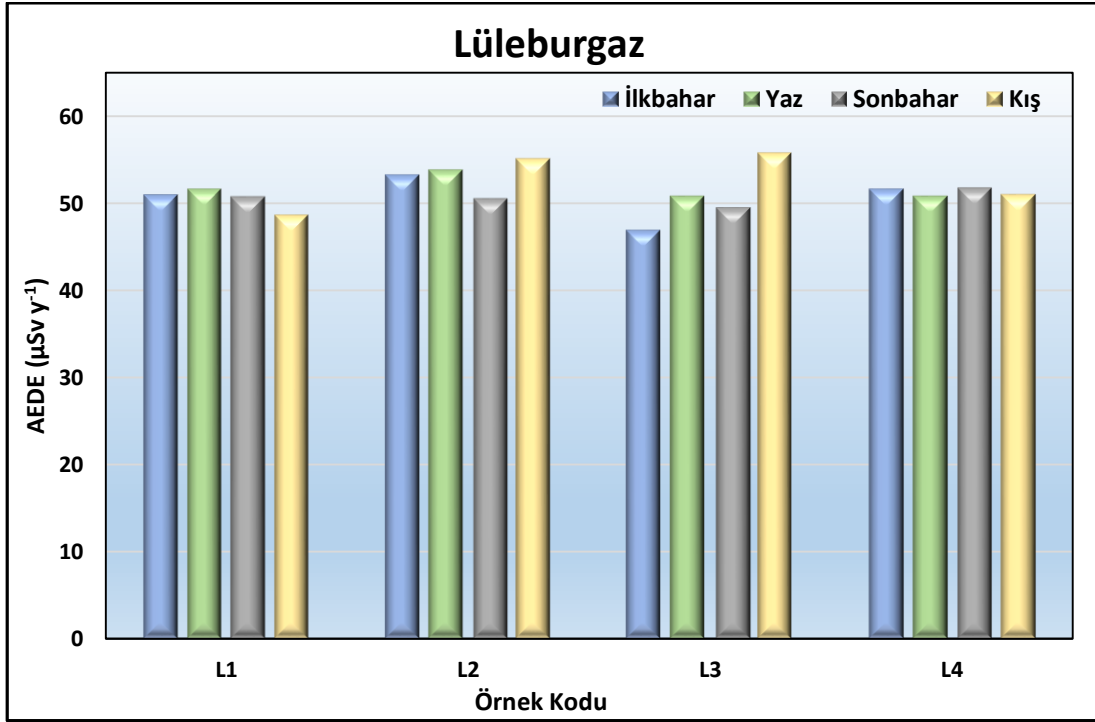
K4 kodlu örnek için ise en yüksek yıllık etkin doz eşdeğeri sonbahar mevsiminde  $52.02 \mu\text{Sv y}^{-1}$ , en düşük yıllık etkin doz eşdeğeri yaz mevsiminde  $29.66 \mu\text{Sv y}^{-1}$  olarak bulunmuştur. Koçaz ilçesi K4 kodlu örnek için hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri dört mevsimde de dünya ortalaması olan  $70 \mu\text{Sv y}^{-1}$  değerinin altında bulunmuştur.



**Şekil 4.31** : Kırklareli ili Koçaz ilçesinde mevsimlere göre yıllık etkin doz eşdeğerleri.

Kırklareli ili Lüleburgaz ilçesi için mevsimlere ve örnekleme noktalarına göre hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri Şekil 4.32’de karşılaştırılmıştır. L1 kodlu örnek için en yüksek yıllık etkin doz eşdeğeri yaz mevsiminde  $51.56 \mu\text{Sv y}^{-1}$  ve en düşük yıllık etkin doz eşdeğeri kış mevsiminde  $48.56 \mu\text{Sv y}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. L2 kodlu örnek için ise en yüksek yıllık etkin doz eşdeğeri  $53.80 \mu\text{Sv y}^{-1}$  olarak yaz mevsiminde hesaplanmıştır. En düşük yıllık etkin doz eşdeğeri  $50.51 \mu\text{Sv y}^{-1}$  olarak sonbahar mevsiminde elde edilmiştir.

Lüleburgaz ilçesi L3 kodlu örnek için hesaplanan en yüksek yıllık etkin doz eşdeğeri kış mevsiminde  $55.74 \mu\text{Sv y}^{-1}$  olarak bulunmuştur. En düşük yıllık etkin doz eşdeğeri ise ilkbahar mevsiminde  $46.87 \mu\text{Sv y}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. L4 kodlu örnek için ise en yüksek yıllık etkin doz eşdeğeri sonbahar mevsiminde  $51.71 \mu\text{Sv y}^{-1}$ , en düşük yıllık etkin doz eşdeğeri yaz mevsiminde  $50.80 \mu\text{Sv y}^{-1}$  olarak bulunmuştur. Lüleburgaz ilçesi için hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri dört mevsimde de tüm örnekleme noktaları için dünya ortalaması olan  $70 \mu\text{Sv y}^{-1}$  değerinin altında bulunmuştur.

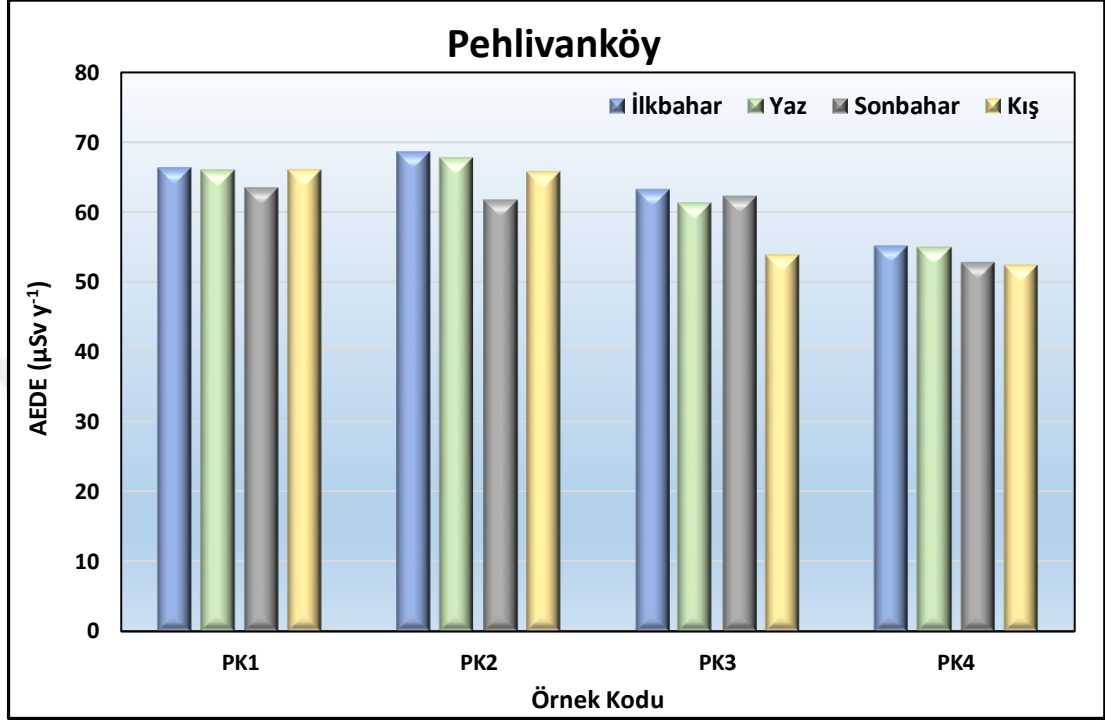


**Şekil 4.32 :** Kırklareli ili Lüleburgaz ilçesinde mevsimlere göre yıllık etkin doz eşdeğerleri.

Kırklareli ili Pehlivan köy ilçesi için mevsimlere ve örnekleme noktalarına göre hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri Şekil 4.33'te verilmiştir. PK1 kodlu örnek için en yüksek yıllık etkin doz eşdeğeri ilkbahar mevsiminde  $66.28 \mu\text{Sv y}^{-1}$  ve en düşük yıllık etkin doz eşdeğeri sonbahar mevsiminde  $63.35 \mu\text{Sv y}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. PK2 kodlu örnek için ise en yüksek yıllık etkin doz eşdeğeri  $68.63 \mu\text{Sv y}^{-1}$  olarak ilkbahar mevsiminde hesaplanmıştır. En düşük yıllık etkin doz eşdeğeri  $61.63 \mu\text{Sv y}^{-1}$  olarak sonbahar mevsiminde elde edilmiştir.

Pehlivan köy ilçesi PK3 kodlu örnek için hesaplanan en yüksek yıllık etkin doz eşdeğeri ilkbahar mevsiminde  $63.19 \mu\text{Sv y}^{-1}$  olarak bulunmuştur. En düşük yıllık etkin doz eşdeğeri ise kış mevsiminde  $53.85 \mu\text{Sv y}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. PK4 kodlu örnek için ise en yüksek yıllık etkin doz eşdeğeri ilkbahar mevsiminde  $55.15 \mu\text{Sv y}^{-1}$ , en

düşük yıllık etkin doz eşdeğeri kış mevsiminde  $52.37 \mu\text{Sv y}^{-1}$  olarak bulunmuştur. Pehlivanköy ilçesi için hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri dört mevsimde de tüm örnekleme noktalarında dünya ortalaması olan  $70 \mu\text{Sv y}^{-1}$  değerinin altında bulunmuştur.

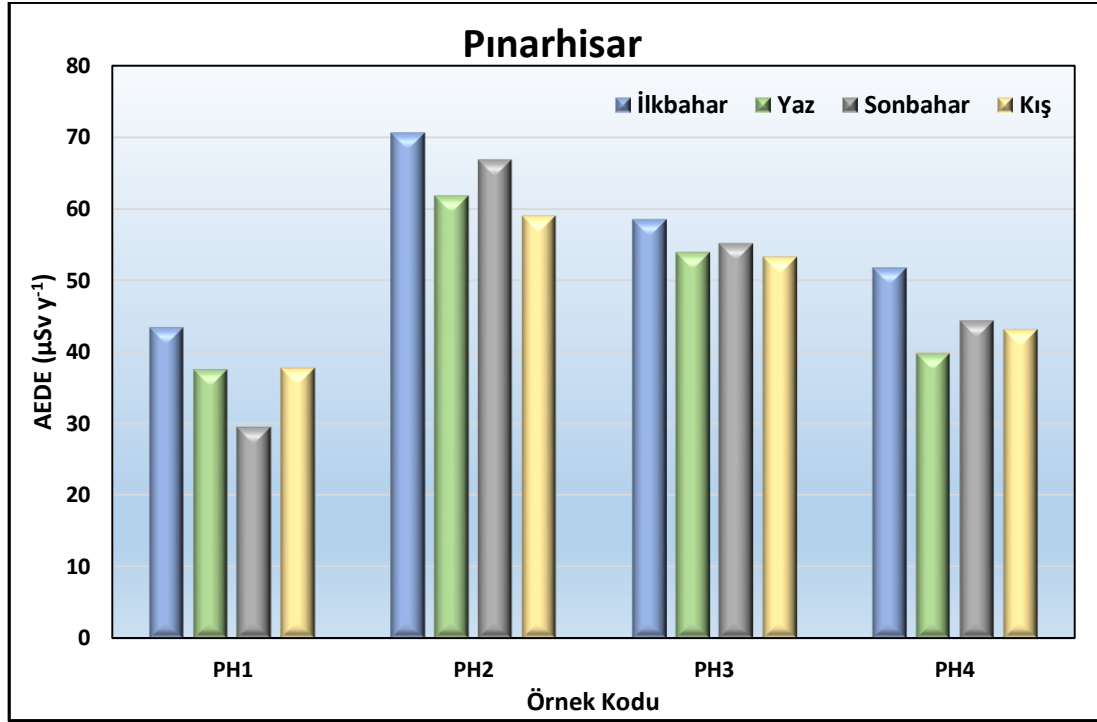


Şekil 4.33 : Kırklareli ili Pehlivanköy ilçesinde mevsimlere göre yıllık etkin doz eşdeğerleri.

Kırklareli ili Pınarhisar ilçesi için mevsimlere ve örnekleme noktalarına göre hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri karşılaştırması Şekil 4.34’te verilmiştir. PH1 kodlu örnek için en yüksek yıllık etkin doz eşdeğeri ilkbahar mevsiminde  $43.42 \mu\text{Sv y}^{-1}$  ve en düşük yıllık etkin doz eşdeğeri sonbahar mevsiminde  $29.62 \mu\text{Sv y}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. PH2 kodlu örnek için ise en yüksek yıllık etkin doz eşdeğeri  $70.58 \mu\text{Sv y}^{-1}$  olarak ilkbahar mevsiminde hesaplanmıştır. En düşük yıllık etkin doz eşdeğeri  $58.90 \mu\text{Sv y}^{-1}$  olarak kış mevsiminde elde edilmiştir. Pınarhisar ilçesi PH3 kodlu örnek için hesaplanan en yüksek yıllık etkin doz eşdeğeri ilkbahar mevsiminde  $58.47 \mu\text{Sv y}^{-1}$  olarak bulunmuştur. En düşük yıllık etkin doz eşdeğeri ise kış mevsiminde  $53.20 \mu\text{Sv y}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır.

PH4 kodlu örnek için ise en yüksek yıllık etkin doz eşdeğeri ilkbahar mevsiminde  $51.77 \mu\text{Sv y}^{-1}$ , en düşük yıllık etkin doz eşdeğeri yaz mevsiminde  $39.76 \mu\text{Sv y}^{-1}$  olarak bulunmuştur. Pınarhisar ilçesi PH2 kodlu örnek için hesaplanan yıllık etkin doz

eşdeğerleri ilkbahar mevsiminde dünya ortalamasında, diğer örneklerde ve mevsimlerde dünya ortalaması olan  $70 \mu\text{Sv y}^{-1}$  değerinin altında bulunmuştur.



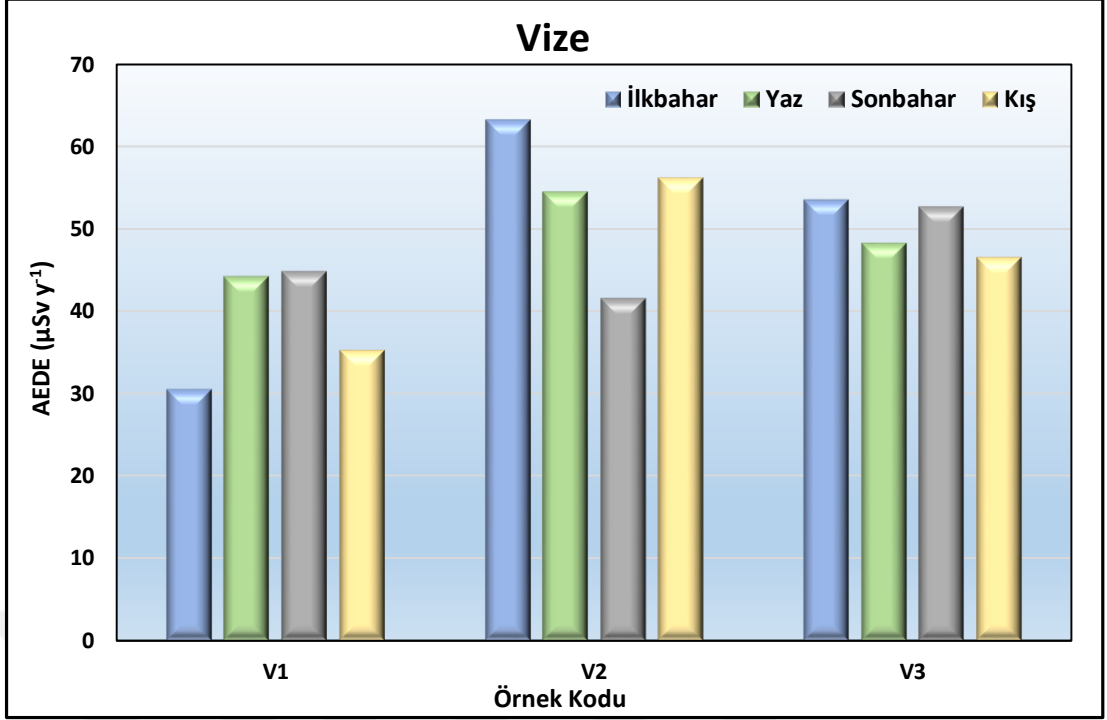
**Şekil 4.34** : Kırklareli ili Pınarhisar ilçesinde mevsimlere göre yıllık etkin doz eşdeğerleri.

Kırklareli ili Vize ilçesi için mevsimlere ve örnekleme noktalarına göre elde edilen yıllık etkin doz eşdeğerleri Şekil 4.35'te karşılaştırılmıştır. V1 kodlu örnek için en yüksek yıllık etkin doz eşdeğeri sonbahar mevsiminde  $44.82 \mu\text{Sv y}^{-1}$  ve en düşük yıllık etkin doz eşdeğeri ilkbahar mevsiminde  $30.47 \mu\text{Sv y}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. V1 kodlu örnek için elde edilen yıllık etkin doz eşdeğerleri tüm mevsimler için dünya ortalamasının altında bulunmuştur.

V2 kodlu örnek için ise en yüksek yıllık etkin doz eşdeğeri  $63.28 \mu\text{Sv y}^{-1}$  olarak ilkbahar mevsiminde hesaplanmıştır. En düşük yıllık etkin doz eşdeğeri  $41.55 \mu\text{Sv y}^{-1}$  olarak sonbahar mevsiminde elde edilmiştir. V2 kodlu örnek için hesaplanan AEDE değerlerine bakıldığında, V1 kodlu örnekte de olduğu gibi tüm mevsimler için dünya ortalamasından küçük bulunmuştur.

V3 kodlu örnek için hesaplanan en yüksek yıllık etkin doz eşdeğeri ilkbahar mevsiminde  $53.54 \mu\text{Sv y}^{-1}$  olarak bulunmuştur. En düşük yıllık etkin doz eşdeğeri ise kış mevsiminde  $46.50 \mu\text{Sv y}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. V3 kodlu örnek için elde edilen AEDE değerleri tüm mevsimler için dünya ortalamasının altında bulunmuştur.





**Şekil 4.35 :** Kırklareli ili Vize ilçesinde mevsimlere göre yıllık etkin doz eşdeğerleri.

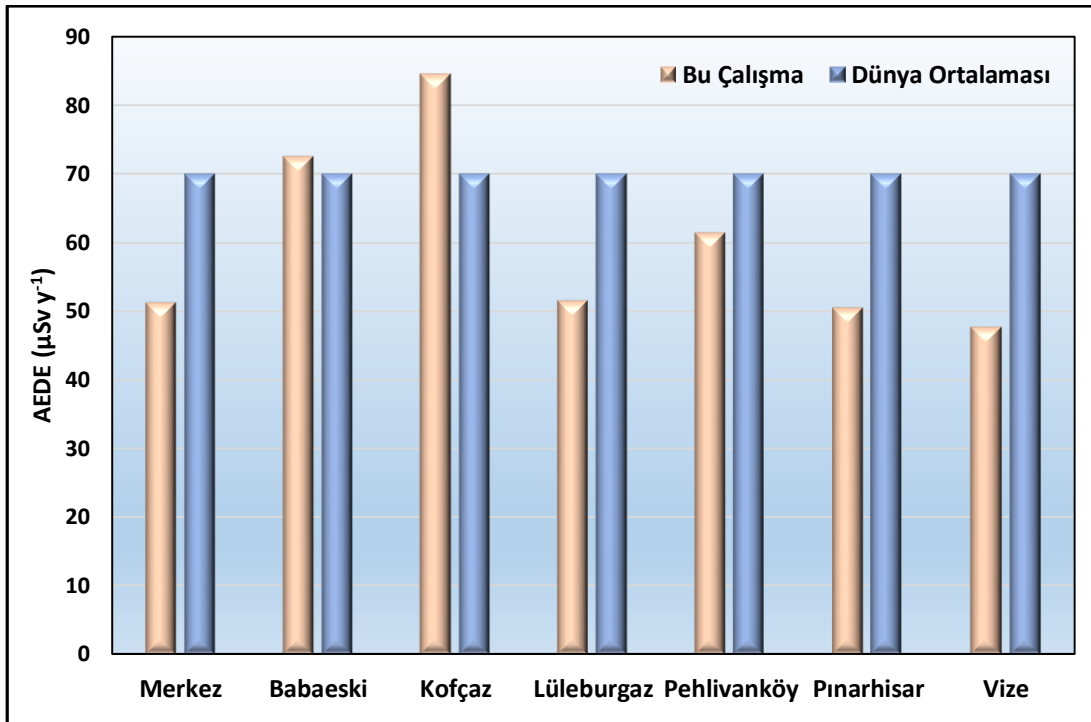
Mevsimlere göre elde edilen yıllık etkin doz eşdeğerleri karşılaştırıldığında; İlkbahar mevsimini için hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri 30.47 ile 136.54 nGy h<sup>-1</sup> aralığında değişmektedir. En düşük yıllık etkin doz eşdeğerleri Vize ilçesinde V1 kodlu örnekte, en yüksek yıllık etkin doz eşdeğerleri ise Kofçaz ilçesinde K2 kodlu örnekte bulunmuştur. İlkbahar mevsiminde AEDE değeri ortalaması 63.77 μSv y<sup>-1</sup> bulunmuş olup; dünya ortalaması olan 70 μSv y<sup>-1</sup> değerinin altında bulunmuştur.

Yaz mevsimi için hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri ise 29.66 ile 140.02 μSv y<sup>-1</sup> aralığında değişmektedir. En düşük AEDE değeri Kofçaz ilçesinde K4 kodlu örnekte, en yüksek AEDE değeri ise Kofçaz ilçesinde K2 kodlu örnekte bulunmuştur. Yaz mevsiminde AEDE değeri ortalama 59.81 μSv y<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır. İlkbahar mevsiminde olduğu gibi yaz mevsiminde toplanan toprak örnekleri için hesaplanan ortalama yıllık etkin doz eşdeğeri de dünya ortalamasının altında bulunmuştur.

Sonbahar mevsiminde alınan toprak örnekleri için hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri 29.62 ile 115.10 μSv y<sup>-1</sup> aralığındadır. En düşük yıllık etkin doz eşdeğeri Pınarhisar ilçesinde (PH1 örnek kodu), en yüksek yıllık etkin doz eşdeğeri ise Kofçaz ilçesinde (K1 örnek kodu) bulunmuştur. Sonbahar mevsimi için AEDE ortalaması 59.94 μSv y<sup>-1</sup> hesaplanmıştır. Yaz ve ilkbahar mevsiminde olduğu gibi sonbahar

mevsiminde de toplanan toprak örnekleri için hesaplanan ortalama yıllık etkin doz eşdeğeri dünya ortalamasının altında bulunmuştur.

Kış mevsimi için hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri 31.38 ile 116.26  $\mu\text{Sv y}^{-1}$  aralığında değişmektedir. En düşük yıllık etkin doz eşdeğeri Kofçaz ilçesinde K4 kodlu örnekte, en yüksek yıllık etkin doz eşdeğeri ise Kofçaz ilçesinde K1 kodlu örnekte bulunmuştur. AEDE değeri ortalaması 57.53  $\mu\text{Sv y}^{-1}$  olup; diğer mevsimlerde olduğu gibi kış mevsiminde de toplanan toprak örnekleri için hesaplanan ortalama yıllık etkin doz eşdeğeri dünya ortalamasından düşüktür.



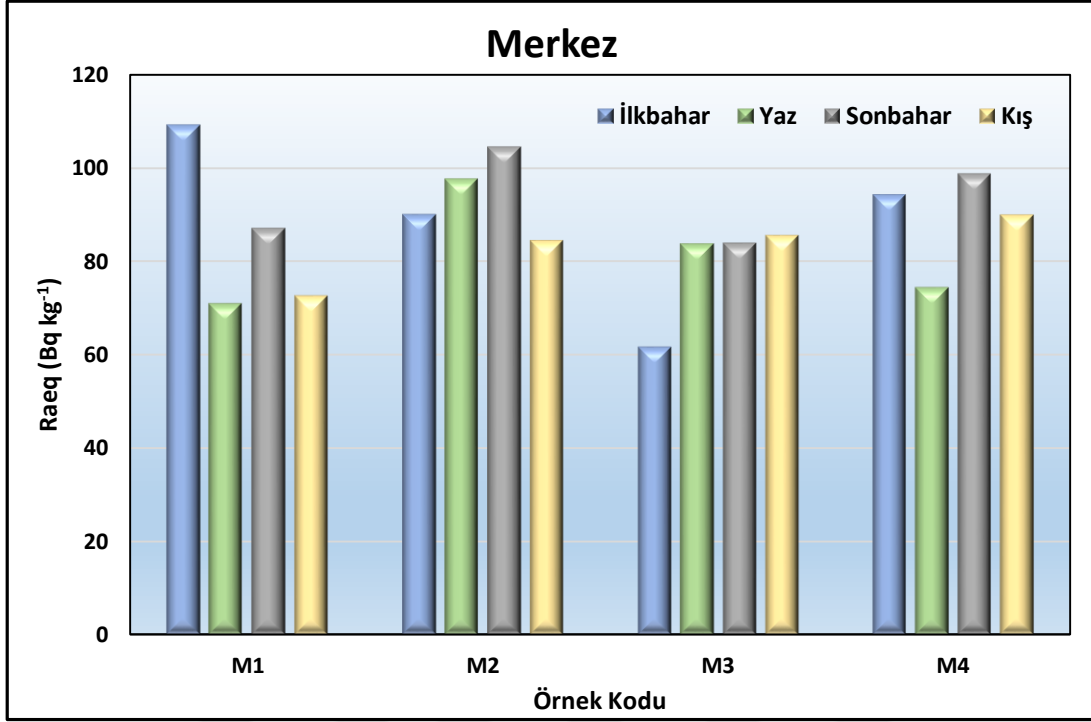
Şekil 4.36 : İlçelere göre ortalama yıllık etkin doz eşdeğerleri.

Kırklareli ilçelerine göre ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimlerinde hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerlerinin ortalaması alınmış ve ortalama değerler Şekil 4.36'da ilçelere ve dünya ortalamasına göre karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Babaeski ve Kofçaz ilçeleri için hesaplanan ortalama yıllık etkin doz eşdeğerleri sırasıyla 72.39 ve 84.51  $\text{nGy h}^{-1}$  olarak hesaplanmış olup; dünya ortalamasının üzerinde bulunmuştur.

#### 4.1.2.3 Radyum Eşdeğer Aktivitesi ( $R_{eq}$ )

Kırklareli ilçeleri tarım arazilerinden alınan toprak örneklerinde bulunan  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyonüklidlerinin aktivite konsantrasyonlarını karşılaştırmak ve gama ışınlarının canlılarda oluşturduğu etkiyi belirlemek için radyum eşdeğer aktiviteleri ( $R_{eq}$ ) hesaplanmıştır. Kırklareli ili Merkez ilçesi için mevsimlere ve örnekleme noktalarına göre hesaplanan radyum eşdeğer aktiviteleri Şekil 4.37’de verilmiştir. M1 kodlu örnek için en yüksek radyum eşdeğer aktivitesi ilkbahar mevsiminde  $109.23 \text{ Bq kg}^{-1}$  ve en düşük radyum eşdeğer aktivitesi yaz mevsiminde  $71.09 \text{ Bq kg}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır.

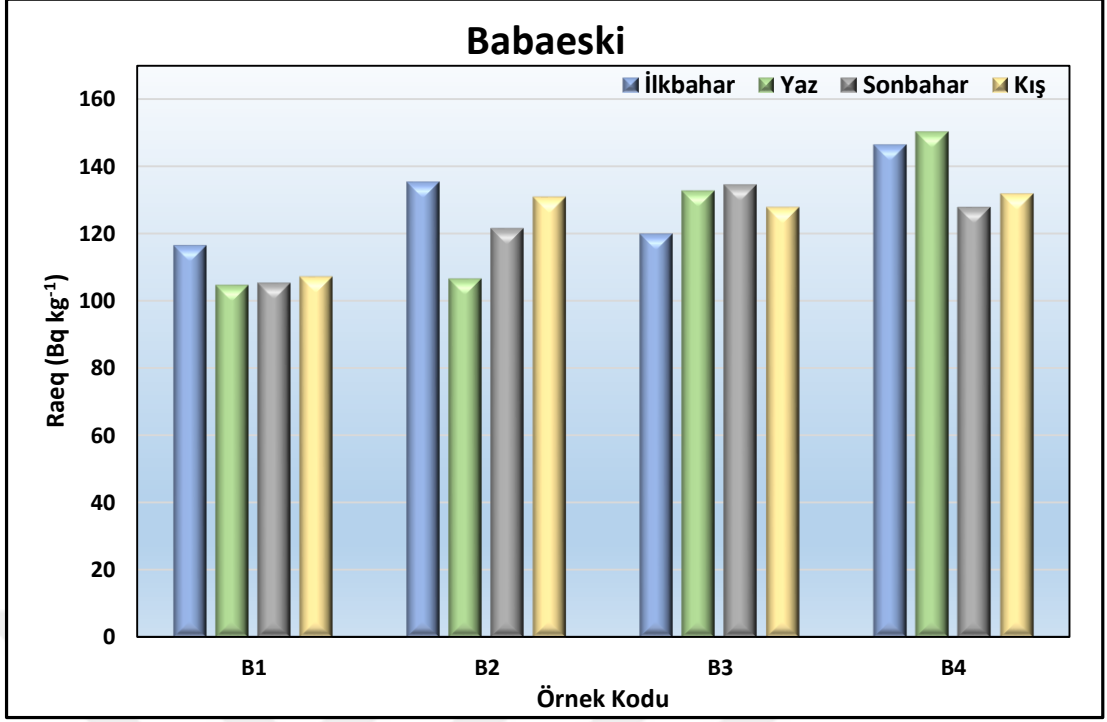
M2 kodlu örnekte ise en yüksek radyum eşdeğer aktivitesi  $104.57 \text{ Bq kg}^{-1}$  olarak sonbahar mevsiminde hesaplanmıştır. En düşük radyum eşdeğer aktivitesi  $84.48 \text{ Bq kg}^{-1}$  olarak kış mevsiminde elde edilmiştir. M3 kodlu örnek için hesaplanan en yüksek radyum eşdeğer aktivitesi kış mevsiminde  $85.57 \text{ Bq kg}^{-1}$  olarak bulunmuştur. En düşük radyum eşdeğer aktivitesi ise ilkbahar mevsiminde  $61.63 \text{ Bq kg}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. M4 kodlu örnek için ise en yüksek radyum eşdeğer aktivitesi sonbahar mevsiminde  $98.78 \text{ Bq kg}^{-1}$ , en düşük radyum eşdeğer aktivitesi yaz mevsiminde  $74.49 \text{ Bq kg}^{-1}$  olarak bulunmuştur. Merkez ilçesi için hesaplanan radyum eşdeğer aktiviteleri tüm örnekleme noktaları için dört mevsimde de maksimum kabul edilebilir değer olan  $370 \text{ Bq kg}^{-1}$ ’den düşük bulunmuştur.



Şekil 4.37 : Kırklareli ili Merkez ilçesinde mevsimlere göre radyum eşdeğer aktiviteleri.

Babaeski ilçesi için mevsimlere ve örnekleme noktalarına göre hesaplanan radyum eşdeğer aktiviteleri karşılaştırmaları Şekil 4.38'de verilmiştir. B1 kodlu örnek için en yüksek radyum eşdeğer aktivitesi ilkbahar mevsiminde  $116.46 \text{ Bq kg}^{-1}$  ve en düşük radyum eşdeğer aktivitesi yaz mevsiminde  $104.85 \text{ Bq kg}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır.

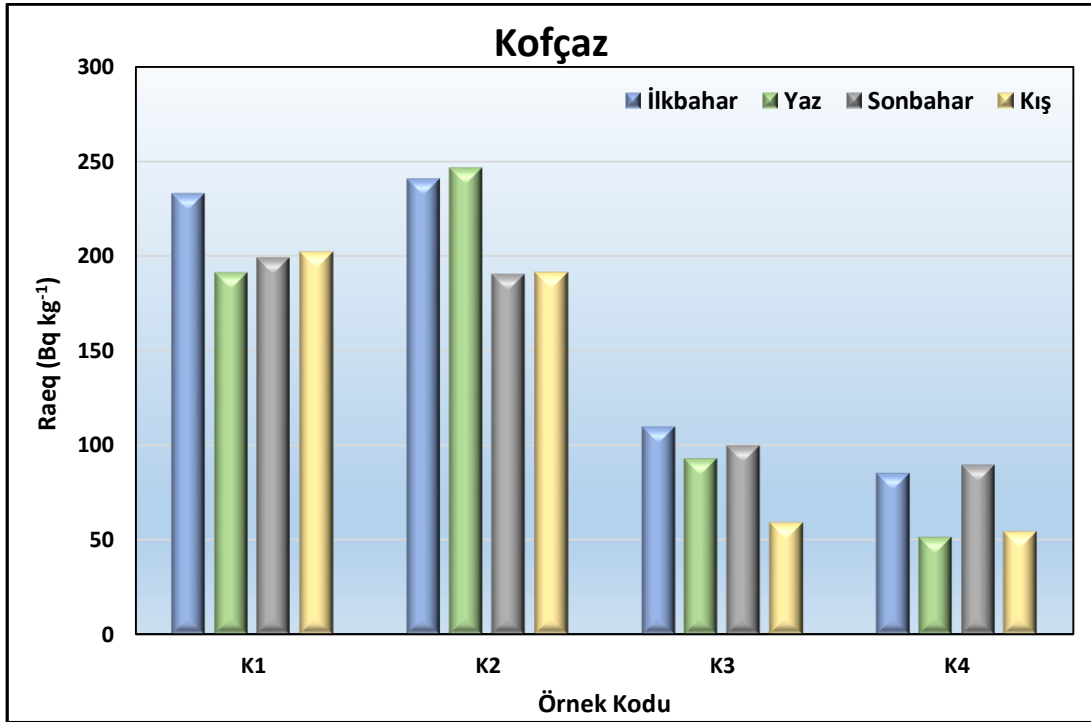
B2 kodlu örnek için ise en yüksek radyum eşdeğer aktivitesi  $135.30 \text{ Bq kg}^{-1}$  olarak ilkbahar mevsiminde, en düşük radyum eşdeğer aktivitesi  $106.74 \text{ Bq kg}^{-1}$  olarak yaz mevsiminde elde edilmiştir. B3 kodlu örnek için hesaplanan en yüksek radyum eşdeğer aktivitesi sonbahar mevsiminde  $134.34 \text{ Bq kg}^{-1}$  olarak bulunmuştur. En düşük radyum eşdeğer aktivitesi ise ilkbahar mevsiminde  $119.97 \text{ Bq kg}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. B4 kodlu örnekte ise en yüksek radyum eşdeğer aktivitesi yaz mevsiminde  $150.42 \text{ Bq kg}^{-1}$ , en düşük radyum eşdeğer aktivitesi sonbahar mevsiminde  $127.68 \text{ Bq kg}^{-1}$  olarak elde edilmiştir. Babaeski ilçesi için hesaplanan radyum eşdeğer aktiviteleri tüm örnekleme noktaları için dört mevsimde de maksimum kabul edilebilir değer olan  $370 \text{ Bq kg}^{-1}$ 'nin altında bulunmuştur.



**Şekil 4.38 :** Kırklareli ili Babaeski ilçesinde mevsimlere göre radyum eşdeğer aktiviteleri.

Koçaz ilçesi için toplanan toprak örneklerinde mevsimlere ve örnekleme noktalarına göre hesaplanan radyum eşdeğer aktiviteleri karşılaştırmaları Şekil 4.39’da verilmiştir. K1 kodlu örnek için en yüksek radyum eşdeğer aktivitesi ilkbahar mevsiminde 233.24 Bq kg<sup>-1</sup> ve en düşük radyum eşdeğer aktivitesi yaz mevsiminde 191.08 Bq kg<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır.

K2 kodlu örnekte ise en yüksek radyum eşdeğer aktivitesi 246.61 Bq kg<sup>-1</sup> olarak yaz mevsiminde, en düşük radyum eşdeğer aktivitesi 190.29 Bq kg<sup>-1</sup> olarak sonbahar mevsiminde elde edilmiştir. K3 kodlu örnek için hesaplanan en yüksek radyum eşdeğer aktivitesi ilkbahar mevsiminde 110.36 Bq kg<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur. En düşük radyum eşdeğer aktivitesi ise kış mevsiminde 59.03 Bq kg<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır. K4 kodlu örnekte ise en yüksek radyum eşdeğer aktivitesi ilkbahar mevsiminde 85.97 Bq kg<sup>-1</sup>, en düşük radyum eşdeğer aktivitesi yaz mevsiminde 51.24 Bq kg<sup>-1</sup> olarak elde edilmiştir. Koçaz ilçesi için hesaplanan radyum eşdeğer aktiviteleri tüm örnekleme noktaları için dört mevsimde de maksimum kabul edilebilir değerin altında bulunmuştur.

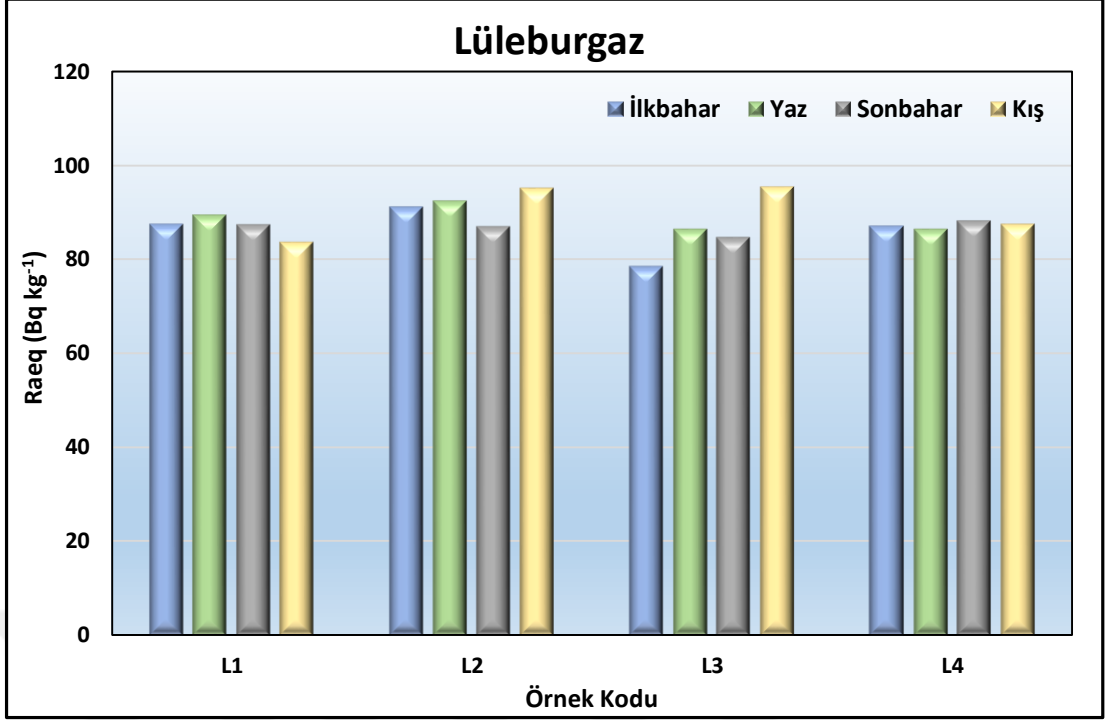


**Şekil 4.39** : Kırklareli ili Kofçaz ilçesinde mevsimlere göre radyum eşdeğer aktiviteleri.

Lüleburgaz ilçesi için mevsimlere ve örnekleme noktalarına göre hesaplanan radyum eşdeğer aktiviteleri Şekil 4.40'da gösterilmiştir. L1 kodlu örnek için en yüksek radyum eşdeğer aktivitesi yaz mevsiminde  $89.33 \text{ Bq kg}^{-1}$  ve en düşük radyum eşdeğer aktivitesi kış mevsiminde  $83.63 \text{ Bq kg}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır.

L2 kodlu örnek için ise en yüksek radyum eşdeğer aktivitesi  $95.05 \text{ Bq kg}^{-1}$  olarak kış mevsiminde, en düşük radyum eşdeğer aktivitesi  $86.99 \text{ Bq kg}^{-1}$  olarak sonbahar mevsiminde elde edilmiştir. L3 kodlu örnek için hesaplanan en yüksek radyum eşdeğer aktivitesi kış mevsiminde  $95.38 \text{ Bq kg}^{-1}$  olarak bulunmuştur. En düşük radyum eşdeğer aktivitesi ise ilkbahar mevsiminde  $78.64 \text{ Bq kg}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır.

L4 kodlu örnek için bulunan radyum eşdeğer aktiviteleri tüm mevsimler için oldukça yakındır. En yüksek radyum eşdeğer aktivitesi sonbahar mevsiminde  $86.25 \text{ Bq kg}^{-1}$ , en düşük radyum eşdeğer aktivitesi yaz mevsiminde  $86.42 \text{ Bq kg}^{-1}$  olarak elde edilmiştir. Lüleburgaz ilçesi için hesaplanan radyum eşdeğer aktiviteleri tüm örnekleme noktaları için dört mevsimde de maksimum kabul edilebilir değerin altında bulunmuştur.

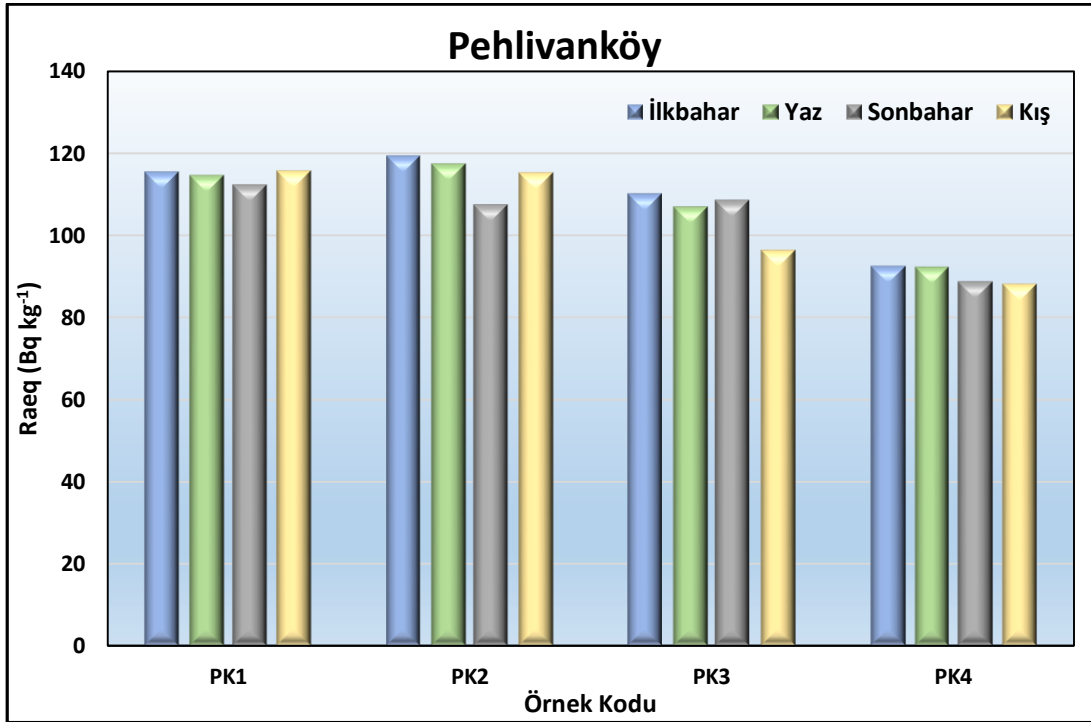


**Şekil 4.40** : Kırklareli ili Lüleburgaz ilçesinde mevsimlere göre radyum eşdeğer aktiviteleri.

Pehlivanköy ilçesi için mevsimlere ve örnekleme noktalarına göre hesaplanan radyum eşdeğer aktiviteleri Şekil 4.41’de verilmiştir. PK1 kodlu örnek için en yüksek radyum eşdeğer aktivitesi kış mevsiminde  $115.68 \text{ Bq kg}^{-1}$  ve en düşük radyum eşdeğer aktivitesi sonbahar mevsiminde  $112.45 \text{ Bq kg}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. İlkbahar, yaz ve kış mevsiminde elde edilen sonuçlar birbirine oldukça yakındır.

PK2 kodlu örnekte ise en yüksek radyum eşdeğer aktivitesi  $119.53 \text{ Bq kg}^{-1}$  olarak ilkbahar mevsiminde, en düşük radyum eşdeğer aktivitesi  $107.52 \text{ Bq kg}^{-1}$  olarak sonbahar mevsiminde elde edilmiştir.

PK3 kodlu örnek için hesaplanan en yüksek radyum eşdeğer aktivitesi ise ilkbahar mevsiminde  $110.26 \text{ Bq kg}^{-1}$  olarak bulunmuştur. En düşük radyum eşdeğer aktivitesi kış mevsiminde  $96.43 \text{ Bq kg}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. PK4 kodlu örnek için en yüksek radyum eşdeğer aktivitesi ilkbahar mevsiminde  $92.64 \text{ Bq kg}^{-1}$ , en düşük radyum eşdeğer aktivitesi kış mevsiminde  $88.07 \text{ Bq kg}^{-1}$  olarak elde edilmiştir. İlkbahar ve yaz mevsimi için elde edilen sonuçlar PK4 kodlu örnek için birbirine oldukça yakındır. Pehlivanköy ilçesi için hesaplanan radyum eşdeğer aktiviteleri tüm örnekleme noktaları için dört mevsimde de maksimum kabul edilebilir değerden küçüktür.



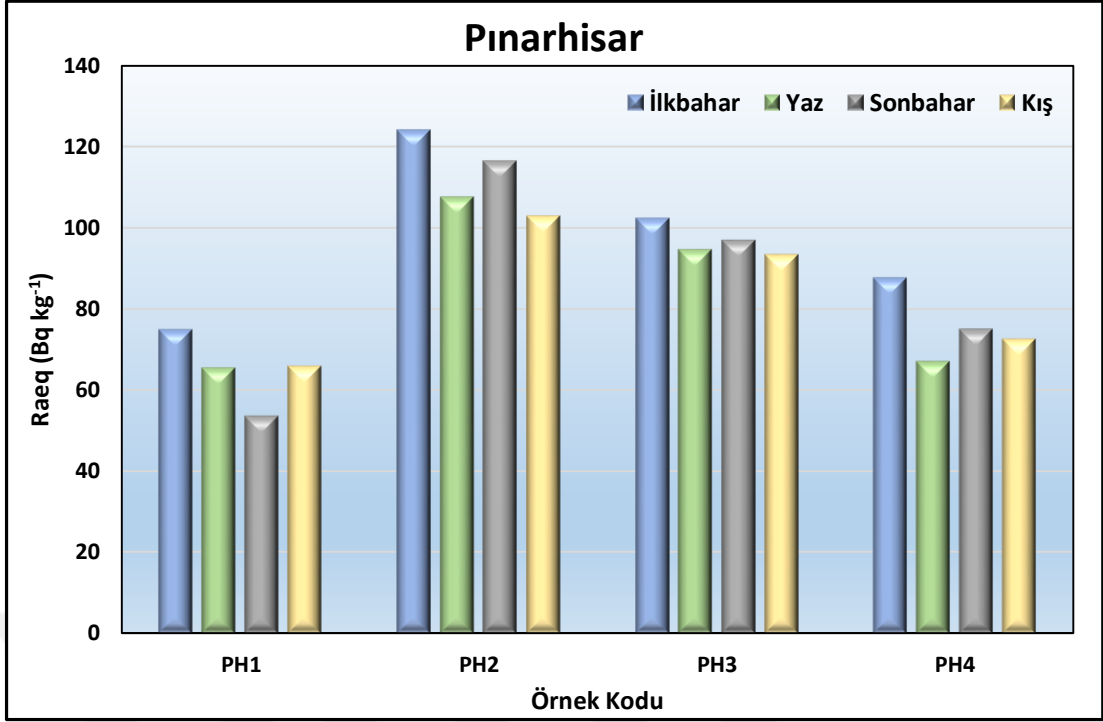
**Şekil 4.41 :** Kırklareli ili Pehlivanköy ilçesinde mevsimlere göre radyum eşdeğer aktiviteleri.

Pınarhisar ilçesinden toplanan toprak örnekleri için mevsimlere ve örnekleme noktalarına göre hesaplanan radyum eşdeğer aktiviteleri Şekil 4.42’de verilmiştir. PH1 kodlu örnek için en yüksek radyum eşdeğer aktivitesi ilkbahar mevsiminde 74.88 Bq kg<sup>-1</sup> ve en düşük radyum eşdeğer aktivitesi sonbahar mevsiminde 53.50 Bq kg<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır.

PH2 kodlu örnekte ise en yüksek radyum eşdeğer aktivitesi 124.21 Bq kg<sup>-1</sup> olarak ilkbahar mevsiminde, en düşük radyum eşdeğer aktivitesi 102.94 Bq kg<sup>-1</sup> olarak kış mevsiminde elde edilmiştir. PH3 kodlu örnek için hesaplanan en yüksek radyum eşdeğer aktivitesi ise ilkbahar mevsiminde 102.45 Bq kg<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur. En düşük radyum eşdeğer aktivitesi kış mevsiminde 93.45 Bq kg<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır.

PH4 kodlu örnek için en yüksek radyum eşdeğer aktivitesi ilkbahar mevsiminde 87.70 Bq kg<sup>-1</sup>, en düşük radyum eşdeğer aktivitesi yaz mevsiminde 67.08 Bq kg<sup>-1</sup> olarak elde edilmiştir. Pınarhisar ilçesi için hesaplanan radyum eşdeğer aktiviteleri tüm örnekleme noktaları için dört mevsimde de maksimum kabul edilebilir değerin altında bulunmuştur.

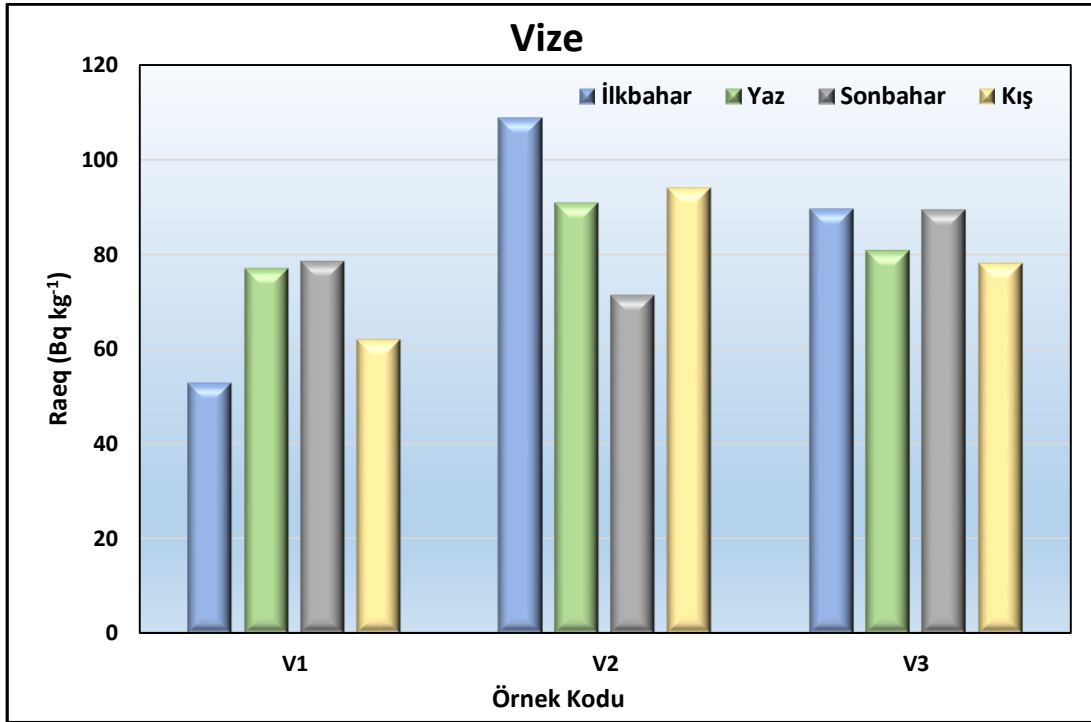




**Şekil 4.42 :** Kırklareli ili Pınarhisar ilçesinde mevsimlere göre radyum eşdeğer aktiviteleri.

Vize ilçesi için mevsimlere ve örnekleme noktalarına göre hesaplanan radyum eşdeğer aktiviteleri karşılaştırmaları Şekil 4.43'te verilmiştir. V1 kodlu örnek için en yüksek radyum eşdeğer aktivitesi sonbahar mevsiminde  $78.40 \text{ Bq kg}^{-1}$  ve en düşük radyum eşdeğer aktivitesi ilkbahar mevsiminde  $52.91 \text{ Bq kg}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır.

V2 kodlu örnekte ise en yüksek radyum eşdeğer aktivitesi  $108.75 \text{ Bq kg}^{-1}$  olarak ilkbahar mevsiminde, en düşük radyum eşdeğer aktivitesi  $71.25 \text{ Bq kg}^{-1}$  olarak sonbahar mevsiminde elde edilmiştir. V3 kodlu örnek için hesaplanan en yüksek radyum eşdeğer aktivitesi ise ilkbahar mevsiminde  $89.47 \text{ Bq kg}^{-1}$  olarak bulunmuştur. En düşük radyum eşdeğer aktivitesi kış mevsiminde  $78.07 \text{ Bq kg}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. Bu örnek için ilkbahar ve sonbahar  $R_{eq}$  değerleri birbirine oldukça yakındır. Vize ilçesi için hesaplanan radyum eşdeğer aktiviteleri tüm örnekleme noktaları için dört mevsimde de maksimum kabul edilebilir değerin altında bulunmuştur.



**Şekil 4.43 :** Kırklareli ili Vize ilçesinde mevsimlere göre radyum eşdeğer aktiviteleri.

Mevsimlere göre elde edilen radyum eşdeğer aktiviteleri karşılaştırıldığında; İlkbahar mevsimini için hesaplanan radyum eşdeğer aktiviteleri 52.91 ile 240.92 Bq kg<sup>-1</sup> aralığında değişmektedir. En düşük radyum eşdeğer aktivitesi Vize ilçesinde V1 kodlu örnekte, en yüksek radyum eşdeğer aktivitesi ise Kofçaz ilçesinde K2 kodlu örnekte bulunmuştur. İlkbahar mevsiminde  $R_{a_{eq}}$  değeri ortalaması 109.88 Bq kg<sup>-1</sup> olup; maksimum kabul edilebilir değer olan 370 Bq kg<sup>-1</sup> değerinin altında bulunmuştur.

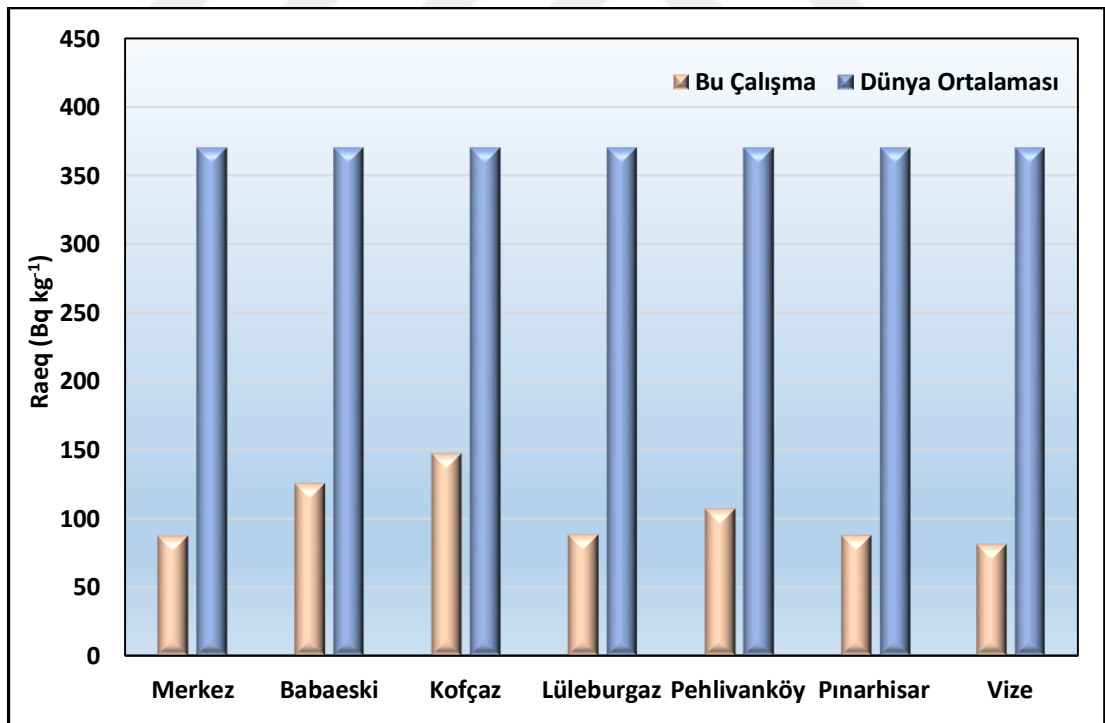
Yaz mevsimi için hesaplanan radyum eşdeğer aktiviteleri ise 51.24 ile 246.61 Bq kg<sup>-1</sup> aralığında değişmektedir. En düşük  $R_{a_{eq}}$  değeri Kofçaz ilçesinde K4 kodlu örnekte, en yüksek  $R_{a_{eq}}$  değeri ise Kofçaz ilçesinde K2 kodlu örnekte bulunmuştur. Yaz mevsiminde  $R_{a_{eq}}$  değeri ortalama 102.69 Bq kg<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır. İlkbahar mevsiminde olduğu gibi yaz mevsiminde toplanan toprak örnekleri için hesaplanan ortalama radyum eşdeğer aktiviteleri de maksimum kabul edilebilir değerinin altında bulunmuştur.

Sonbahar mevsiminde alınan toprak örnekleri için hesaplanan radyum eşdeğer aktiviteleri 53.50 ile 199.15 Bq kg<sup>-1</sup> aralığındadır. En düşük radyum eşdeğer aktivitesi Pınarhisar ilçesinde (PH1 örnek kodu), en yüksek radyum eşdeğer aktivitesi ise Kofçaz ilçesinde (K1 örnek kodu) bulunmuştur. Sonbahar mevsimi için  $R_{a_{eq}}$  ortalaması 103.25 Bq kg<sup>-1</sup> hesaplanmıştır. Yaz ve ilkbahar mevsiminde olduğu gibi sonbahar

mevsiminde de toplanan toprak örnekleri için hesaplanan radyum eşdeğer aktiviteleri maksimum kabul edilebilir değerin altında olduğu görülmüştür.

Kış mevsimi için hesaplanan radyum eşdeğer aktiviteleri 54.44 ile 202.15 Bq kg<sup>-1</sup> aralığında değişmektedir. En düşük radyum eşdeğer aktivitesi Kofçaz ilçesinde K4 kodlu örnekte, en yüksek radyum eşdeğer aktivitesi ise Kofçaz ilçesinde K1 kodlu örnekte bulunmuştur. Ra<sub>eq</sub> değeri ortalaması 99.38 Bq kg<sup>-1</sup> bulunmuş olup; diğer mevsimlerde olduğu gibi kış mevsiminde de toplanan toprak örnekleri için hesaplanan ortalama radyum eşdeğer aktivitesi maksimum kabul edilebilir değerden düşüktür.

Kırklareli ilçelerine göre ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimlerinde hesaplanan radyum eşdeğer aktivitelerinin ortalaması alınmış ve ortalama değerler Şekil 4.44'te ilçelere ve dünya ortalamasına göre karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre en yüksek radyum eşdeğer aktivitesi ortalaması Kofçaz ilçesinde 146.11 Bq kg<sup>-1</sup> ve en düşük radyum eşdeğer aktivitesi Vize ilçesinde 81.08 Bq kg<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur. Hesaplanan ortalama radyum eşdeğer aktiviteleri tüm ilçelerde maksimum kabul edilebilir değer olan 370 Bq kg<sup>-1</sup>'in altında olduğu görülmüştür.

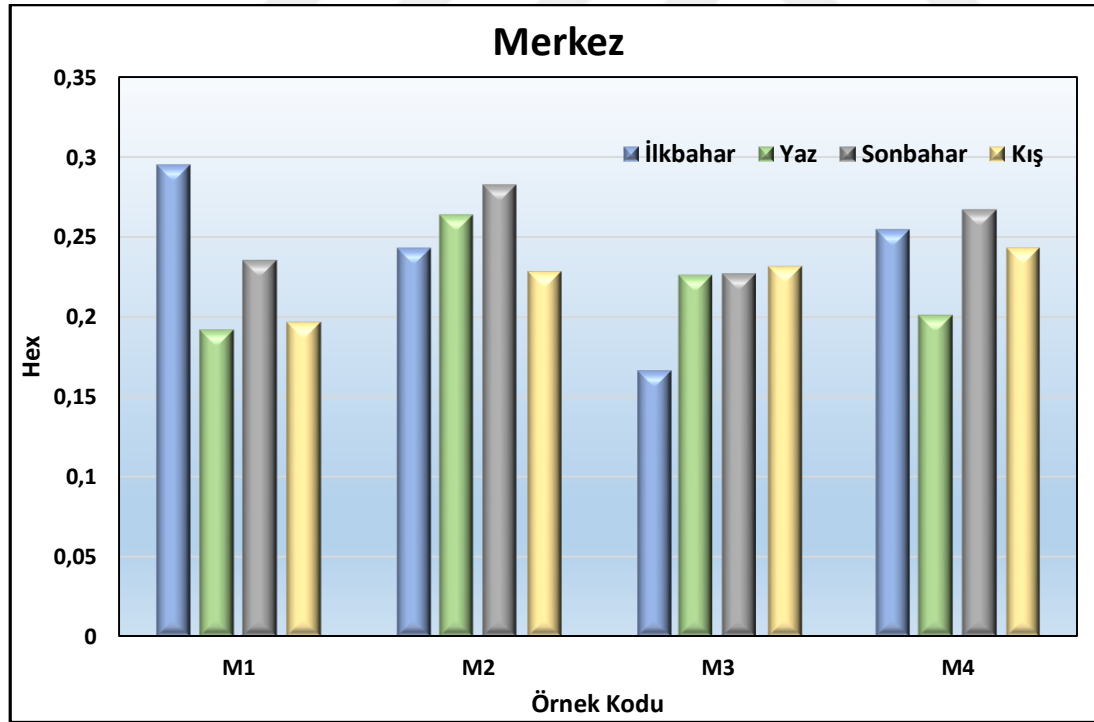


Şekil 4.44 : İlçelere göre yıllık ortalama radyum eşdeğer aktiviteleri.

#### 4.1.2.4 Dış Tehlike İndeksi ( $H_{ex}$ )

Radyasyonun vermiş olduğu zararı belirlemek amacıyla örnekleme yapılan tüm tarım arazilerinden toplanan toprak örnekleri için dış tehlike indeksi hesaplanmıştır. Kırklareli ili Merkez ilçesi için mevsimlere ve örnekleme noktalarına göre hesaplanan dış tehlike indeksleri Şekil 4.45'te karşılaştırılmıştır.

M1 kodlu örnek için en yüksek dış tehlike indeksi ilkbahar mevsiminde 0.29 ve en düşük dış tehlike indeksi yaz mevsiminde 0.19 olarak hesaplanmıştır. M2 kodlu örnek için ise en yüksek dış tehlike indeksi 0.28 olarak sonbahar mevsiminde, en düşük dış tehlike indeksi 0.23 olarak kış mevsiminde elde edilmiştir. M3 kodlu örnek için hesaplanan en yüksek dış tehlike indeksi kış mevsiminde 0.23 olarak bulunmuştur. En düşük dış tehlike indeksi ise ilkbahar mevsiminde 0.17 olarak hesaplanmıştır. M4 kodlu örnek için ise en yüksek dış tehlike indeksi sonbahar mevsiminde 0.27, en düşük dış tehlike indeksi yaz mevsiminde 0.20 olarak bulunmuştur. Merkez ilçesi için hesaplanan dış tehlike indeksleri tüm örnekleme noktaları için dört mevsimde de 1 değerinin altındadır ve radyolojik zarar yönünden önemsizdir.

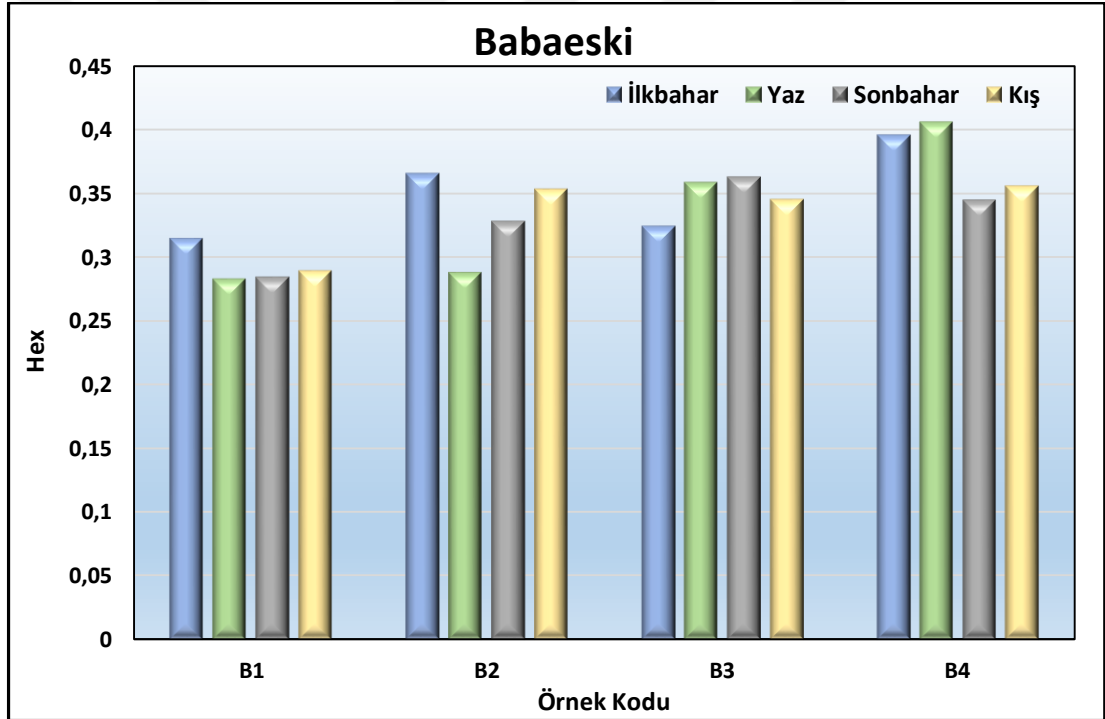


Şekil 4.45 : Kırklareli ili Merkez ilçesinde mevsimlere göre dış tehlike indeksleri.

Babaeski ilçesinde mevsimlere ve örnekleme noktalarına göre dış tehlike indekslerindeki değişim Şekil 4.46'da verilmiştir. B1 kodlu örnek için en yüksek dış tehlike indeksi ilkbahar mevsiminde 0.31 ve en düşük dış tehlike indeksi yaz

mevsiminde 0.28 olarak hesaplanmıştır. Yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için elde edilen dış tehlike indeksleri birbirine oldukça yakındır. B2 kodlu örnek için ise en yüksek dış tehlike indeksi 0.37 olarak ilkbahar mevsiminde, en düşük dış tehlike indeksi 0.29 olarak yaz mevsiminde elde edilmiştir.

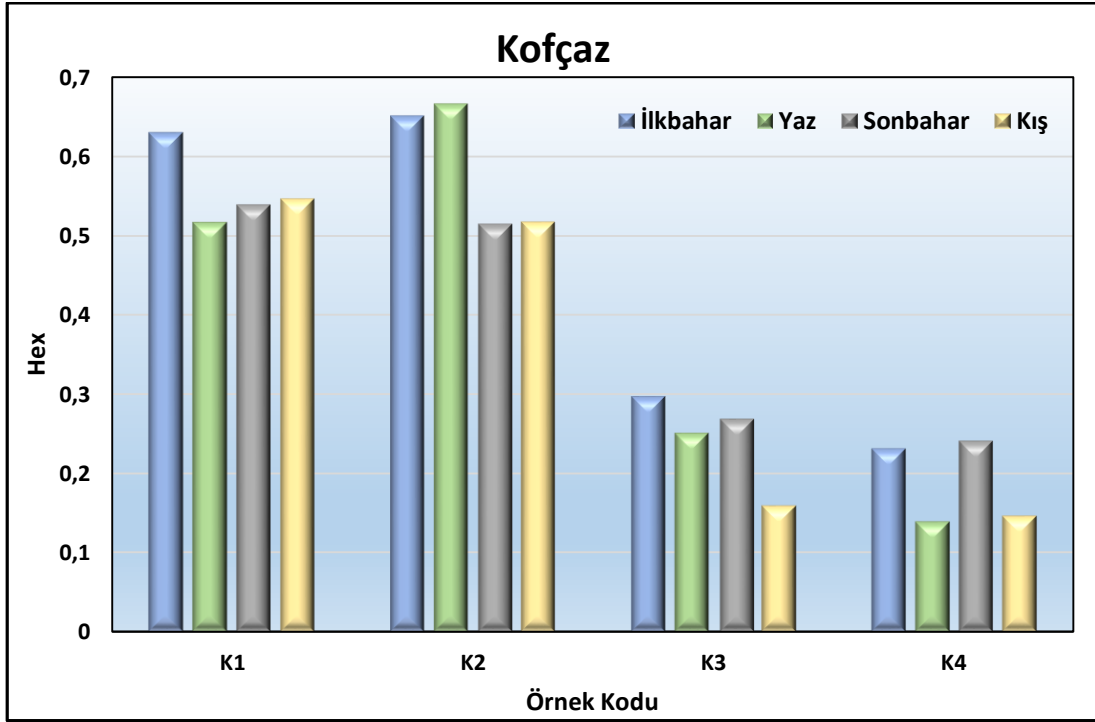
B3 kodlu örnek için hesaplanan en yüksek dış tehlike indeksi sonbahar mevsiminde 0.36 olarak bulunmuştur. En düşük dış tehlike indeksi ise ilkbahar mevsiminde 0.32 olarak hesaplanmıştır. B4 kodlu örnek için ise en yüksek dış tehlike indeksi yaz mevsiminde 0.41, en düşük dış tehlike indeksi sonbahar mevsiminde 0.34 olarak bulunmuştur. Babaeski ilçesi için hesaplanan dış tehlike indeksleri tüm örnekleme noktaları için dört mevsimde de 1 değerinin altında bulunmuştur ve radyolojik zarar açısından önemsizdir.



Şekil 4.46 : Kırklareli ili Babaeski ilçesinde mevsimlere göre dış tehlike indeksleri.

Koçaz ilçesi için mevsimlere ve örnekleme noktalarına göre hesaplanan dış tehlike indeks karşılaştırmaları Şekil 4.47’de verilmiştir. K1 kodlu örnek için en yüksek dış tehlike indeksi ilkbahar mevsiminde 0.63 ve en düşük dış tehlike indeksi yaz mevsiminde 0.52 olarak hesaplanmıştır. K2 kodlu örnekte ise en yüksek dış tehlike indeksi 0.67 olarak yaz mevsiminde, en düşük dış tehlike indeksi 0.51 olarak sonbahar mevsiminde elde edilmiştir. Sonbahar ve kış mevsimleri için hesaplanan dış tehlike indeksleri birbirine oldukça yakındır.

K3 kodlu örnek için hesaplanan en yüksek dış tehlike indeksi ilkbahar mevsiminde 0.30 olarak bulunmuştur. En düşük dış tehlike indeksi ise kış mevsiminde 0.16 olarak hesaplanmıştır. K4 kodlu örnekte ise en yüksek dış tehlike indeksi sonbahar mevsiminde 0.24, en düşük dış tehlike indeksi yaz mevsiminde 0.14 olarak bulunmuştur. Kofçaz ilçesi için belirlenen dış tehlike indeksleri tüm örnekleme noktaları için dört mevsimde de 1 değerinin altındadır ve radyolojik zarar açısından önemsizdir.

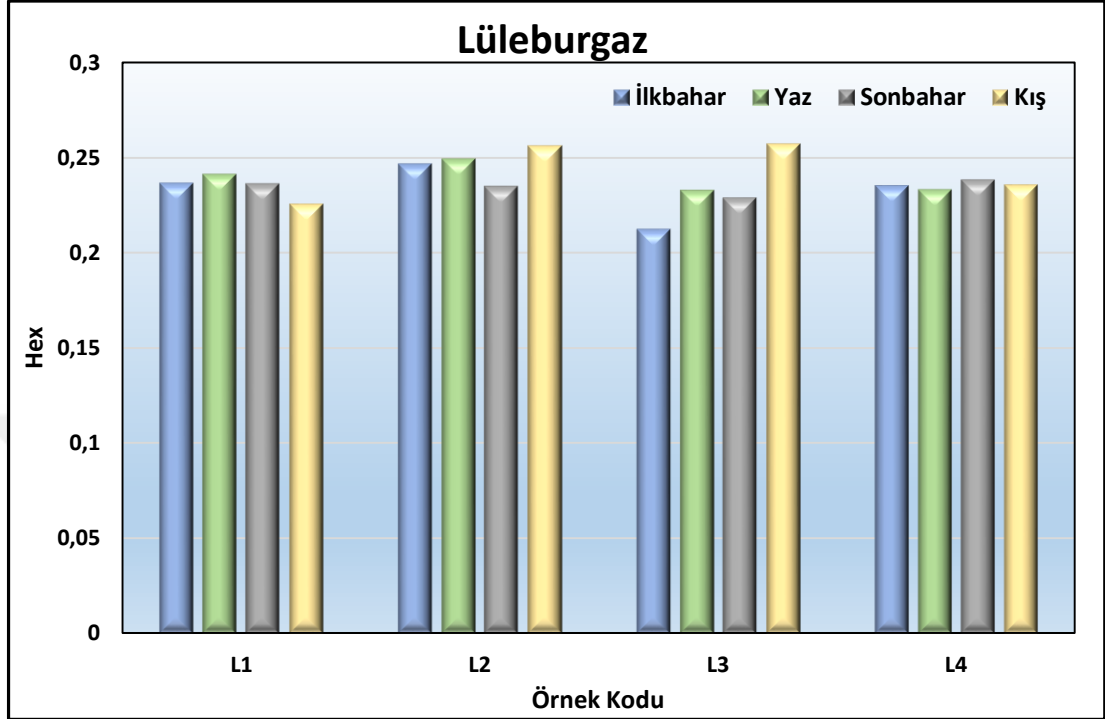


Şekil 4.47 : Kırklareli ili Kofçaz ilçesinde mevsimlere göre dış tehlike indeksleri.

Lüleburgaz ilçesi için mevsimlere ve örnekleme noktalarına göre hesaplanan dış tehlike indeksleri Şekil 4.48’de karşılaştırılmıştır. L1 kodlu örnek için en yüksek dış tehlike indeksi yaz mevsiminde 0.24 ve en düşük dış tehlike indeksi kış mevsiminde 0.23 olarak hesaplanmıştır. Bu örnekleme noktası için elde edilen  $H_{ex}$  değerleri tüm mevsimler için birbirine oldukça yakındır. L2 kodlu örnek için ise en yüksek dış tehlike indeksi 0.26 olarak kış mevsiminde, en düşük dış tehlike indeksi 0.23 olarak sonbahar mevsiminde elde edilmiştir.

L3 kodlu örnek için hesaplanan en yüksek dış tehlike indeksi L2 kodlu örnekte olduğu gibi kış mevsiminde 0.26 olarak bulunmuştur. En düşük dış tehlike indeksi ise ilkbahar mevsiminde 0.21 olarak hesaplanmıştır. L4 kodlu örnekte ise en yüksek dış tehlike indeksi sonbahar mevsiminde 0.24, en düşük dış tehlike indeksi yaz mevsiminde 0.23

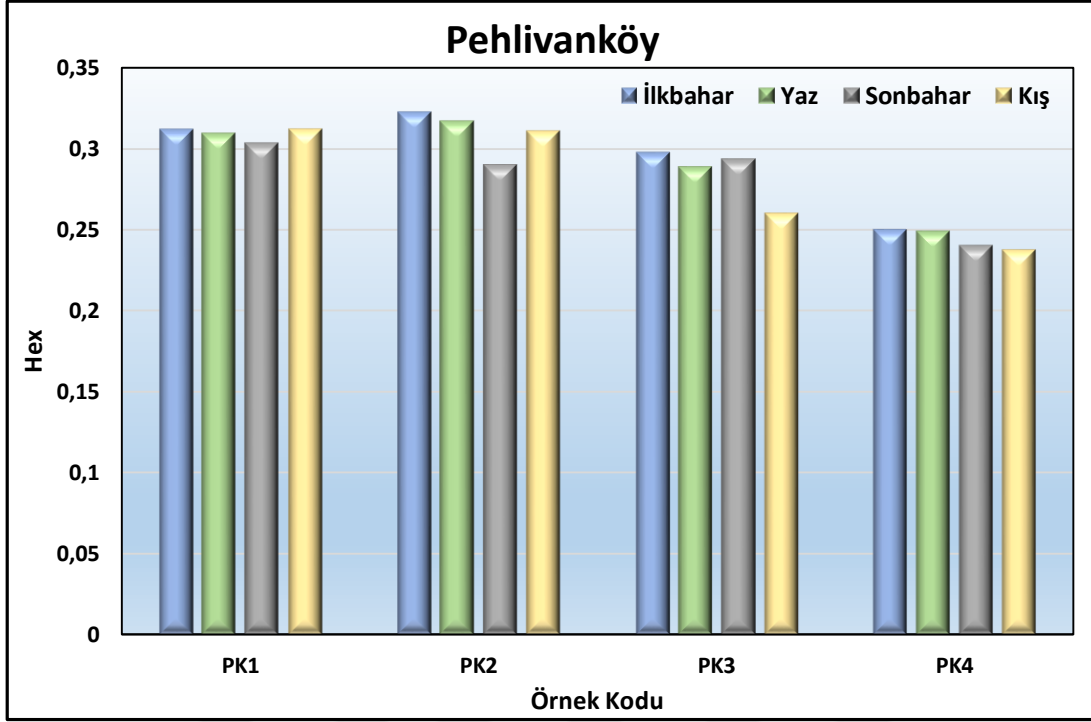
olarak bulunmuştur. L4 kodlu örnekte elde edilen değerler birbirine oldukça yakındır. Lüleburgaz ilçesi için hesaplanan dış tehlike indeksleri tüm örnekleme noktaları için dört mevsimde de 1 değerinin altındadır ve radyolojik zarar açısından önemsizdir.



Şekil 4.48 : Kırklareli ili Lüleburgaz ilçesinde mevsimlere göre dış tehlike indeksleri.

Pehlivanköy ilçesi için mevsimlere ve örnekleme noktalarına göre hesaplanan dış tehlike indeksleri karşılaştırılmış olup; Şekil 4.49’da verilmiştir. PK1 kodlu örnek için en yüksek dış tehlike indeksi kış mevsiminde 0.31 ve en düşük dış tehlike indeksi sonbahar mevsiminde 0.30 olarak hesaplanmıştır. Bu örnekleme noktası için elde edilen  $H_{ex}$  değerleri tüm mevsimler için birbirine oldukça yakındır. PK2 kodlu örnekte ise en yüksek dış tehlike indeksi 0.32 olarak ilkbahar mevsiminde, en düşük dış tehlike indeksi 0.29 olarak sonbahar mevsiminde elde edilmiştir.

PK3 kodlu örnek için hesaplanan en yüksek dış tehlike indeksi ilkbahar mevsiminde 0.30 olarak bulunmuştur. En düşük dış tehlike indeksi ise kış mevsiminde 0.26 olarak hesaplanmıştır. PK4 kodlu örnekte ise en yüksek dış tehlike indeksi ilkbahar mevsiminde 0.25, en düşük dış tehlike indeksi kış mevsiminde 0.24 olarak bulunmuştur. Bu örnekleme noktası için hesaplanan  $H_{ex}$  değerleri birbirine oldukça yakındır. Pehlivanköy ilçesi için hesaplanan dış tehlike indeksleri tüm örnekleme noktaları için dört mevsimde de 1 değerinin altındadır ve radyolojik zarar bakımından önemsizdir.

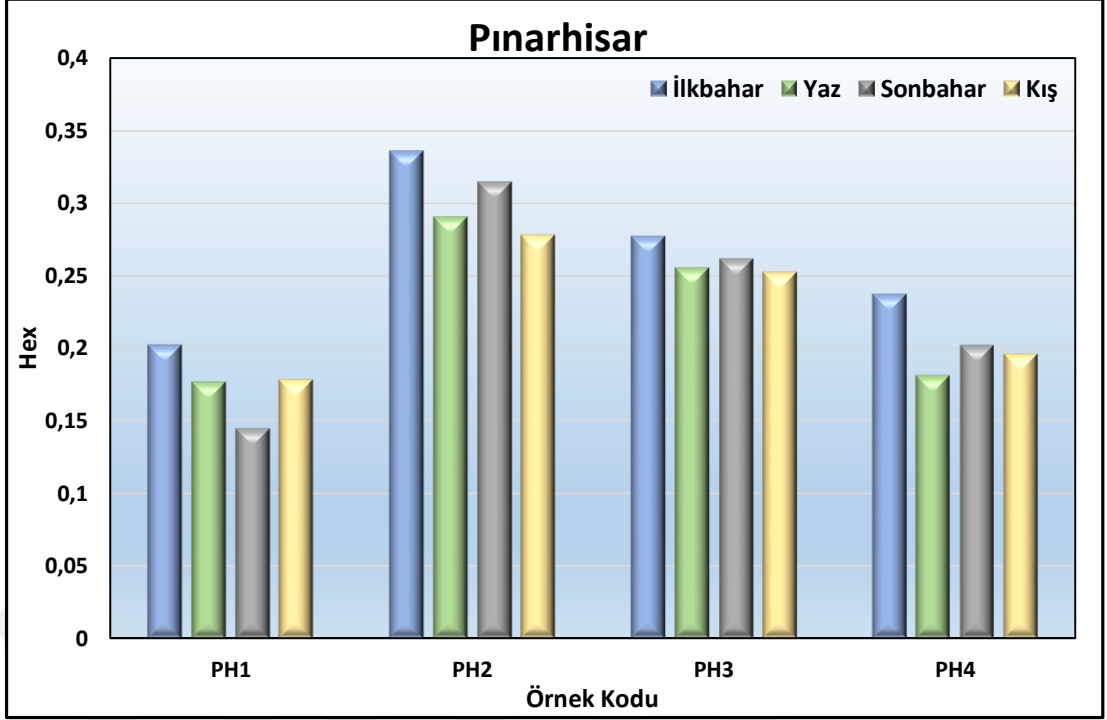


**Şekil 4.49 :** Kırklareli ili Pehlivanköy ilçesinde mevsimlere göre dış tehlike indeksleri.

Pınarhisar ilçesi için mevsimlere ve örnekleme noktalarına göre belirlenen dış tehlike indeksleri Şekil 4.50’de verilmiştir. PH1 kodlu örnek için en yüksek dış tehlike indeksi ilkbahar mevsiminde 0.20 ve en düşük dış tehlike indeksi sonbahar mevsiminde 0.14 olarak hesaplanmıştır. PH2 kodlu örnekte ise en yüksek dış tehlike indeksi 0.33 olarak ilkbahar mevsiminde, en düşük dış tehlike indeksi 0.28 olarak kış mevsiminde elde edilmiştir.

PH3 kodlu örnek için hesaplanan en yüksek dış tehlike indeksi ilkbahar mevsiminde 0.28 olarak bulunmuştur. En düşük dış tehlike indeksi ise kış mevsiminde 0.25 olarak hesaplanmıştır. PH4 kodlu örnekte ise en yüksek dış tehlike indeksi ilkbahar mevsiminde 0.24, en düşük dış tehlike indeksi yaz mevsiminde 0.18 olarak bulunmuştur. Pınarhisar ilçesi için hesaplanan dış tehlike indeksleri tüm örnekleme noktaları için dört mevsimde de 1 değerinin altında bulunmuştur ve radyolojik zarar bakımından önemsizdir.

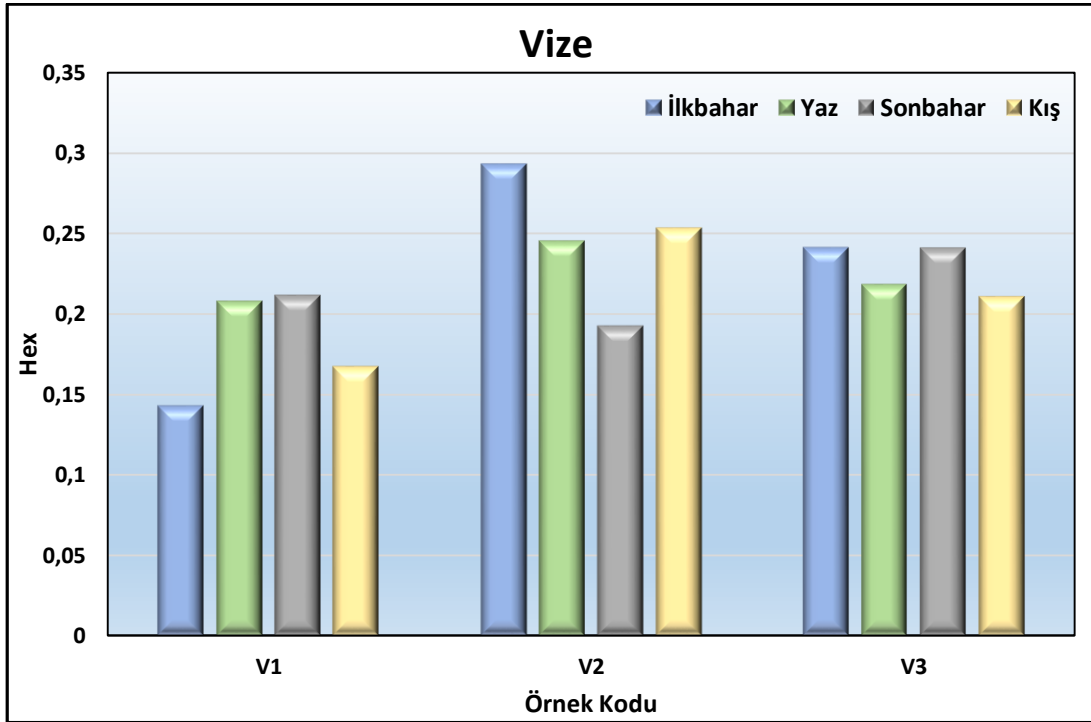




**Şekil 4.50** : Kırklareli ili Pınarhisar ilçesinde mevsimlere göre dış tehlike indeksleri.

Vize ilçesi için mevsimlere ve örnekleme noktalarına göre belirlenen dış tehlike indeksleri Şekil 4.51’de karşılaştırılmıştır. V1 kodlu örnek için en yüksek dış tehlike indeksi sonbahar mevsiminde 0.21 ve en düşük dış tehlike indeksi ilkbahar mevsiminde 0.14 olarak hesaplanmıştır. V2 kodlu örnekte ise en yüksek dış tehlike indeksi 0.29 olarak ilkbahar mevsiminde, en düşük dış tehlike indeksi 0.19 olarak sonbahar mevsiminde elde edilmiştir.

V3 kodlu örnek için hesaplanan en yüksek dış tehlike indeksi ilkbahar mevsiminde 0.24 olarak bulunmuştur. En düşük dış tehlike indeksi ise kış mevsiminde 0.21 olarak hesaplanmıştır. Bu örnekleme noktasında ilkbahar ve sonbahar mevsimleri için elde edilen dış tehlike indeksleri birbirine oldukça yakındır. Vize ilçesi için hesaplanan dış tehlike indeksleri diğer ilçelerde olduğu gibi tüm örnekleme noktaları için dört mevsimde de 1 değerinin altında bulunmuştur ve radyolojik zarar bakımından önemsizdir.



**Şekil 4.51** : Kırklareli ili Vize ilçesinde mevsimlere göre dış tehlike indeksleri.

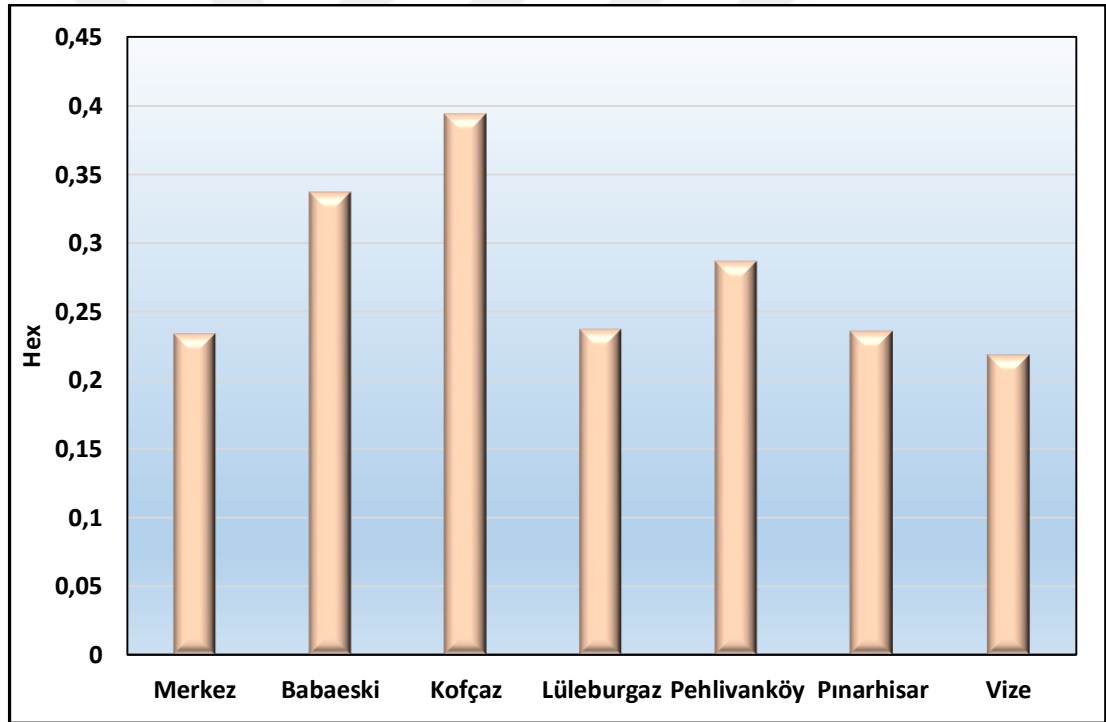
Mevsimlere göre kıyaslama yapıldığında ise; ilkbahar mevsimini için hesaplanan dış tehlike indeksleri 0.14 ile 0.65 aralığında değişmektedir. En düşük dış tehlike indeksi Vize ilçesinde V1 kodlu örnekte, en yüksek dış tehlike indeksi ise Kofçaz ilçesinde K2 kodlu örnekte bulunmuştur. İlkbahar mevsiminde  $H_{ex}$  değeri ortalaması 0.30 bulunmuş olup; 1 değerinin altında olduğu için radyolojik zarar önemsiz kabul edilmektedir.

Yaz mevsimi için hesaplanan dış tehlike indeksleri ise 0.14 ile 0.67 aralığında değişmektedir. En düşük  $H_{ex}$  değeri Kofçaz ilçesinde K4 kodlu örnekte, en yüksek  $H_{ex}$  değeri ise Kofçaz ilçesinde K2 kodlu örnekte bulunmuştur. Yaz mevsiminde  $H_{ex}$  değeri ortalama 0.28 olarak hesaplanmıştır. İlkbahar mevsiminde olduğu gibi yaz mevsiminde toplanan toprak örnekleri için hesaplanan ortalama dış tehlike indeksi de radyolojik olarak zararsız olduğunu göstermektedir.

Sonbahar mevsiminde alınan toprak örnekleri için hesaplanan dış tehlike indeksleri 0.14 ile 0.54 aralığındadır. En düşük dış tehlike indeksi Pınarhisar ilçesinde (PH1 örnek kodu), en yüksek dış tehlike indeksi ise Kofçaz ilçesinde (K1 örnek kodu) bulunmuştur. Sonbahar mevsimi için  $H_{ex}$  ortalaması 0.28 olarak hesaplanmıştır. Yaz ve ilkbahar mevsiminde olduğu gibi sonbahar mevsiminde de toplanan toprak örnekleri için hesaplanan ortalama  $H_{ex}$  değeri radyolojik zararın önemsiz olduğunu göstermektedir.

Kış mevsimi için hesaplanan dış tehlike indekleri 0.15 ile 0.55 aralığında değişmektedir. En düşük  $H_{ex}$  değeri Kofçaz ilçesinde K4 kodlu örnekte, en yüksek  $H_{ex}$  değeri ise Kofçaz ilçesinde K1 kodlu örnekte bulunmuştur.  $H_{ex}$  değeri ortalaması 0.27 bulunmuş olup; diğer mevsimlerde olduğu gibi kış mevsiminde de toplanan toprak örnekleri için hesaplanan ortalama  $H_{ex}$  değeri radyolojik zararın önemsiz olduğunu göstermektedir.

Kırklareli ilçelerine göre ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimlerinde hesaplanan dış tehlike indeksleri ortalaması alınmış ve ortalama değerler Şekil 4.52’de ilçelere göre karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre en yüksek dış tehlike indeksi ortalaması Kofçaz ilçesinde 0.39 ve en düşük dış tehlike indeksi ortalaması Vize ilçesinde 0.22 olarak bulunmuştur. Hesaplanan ortalama dış tehlike indeksleri tüm ilçelerde 1 değerinin altında olup; radyolojik zarar bakımından önemsizdir.



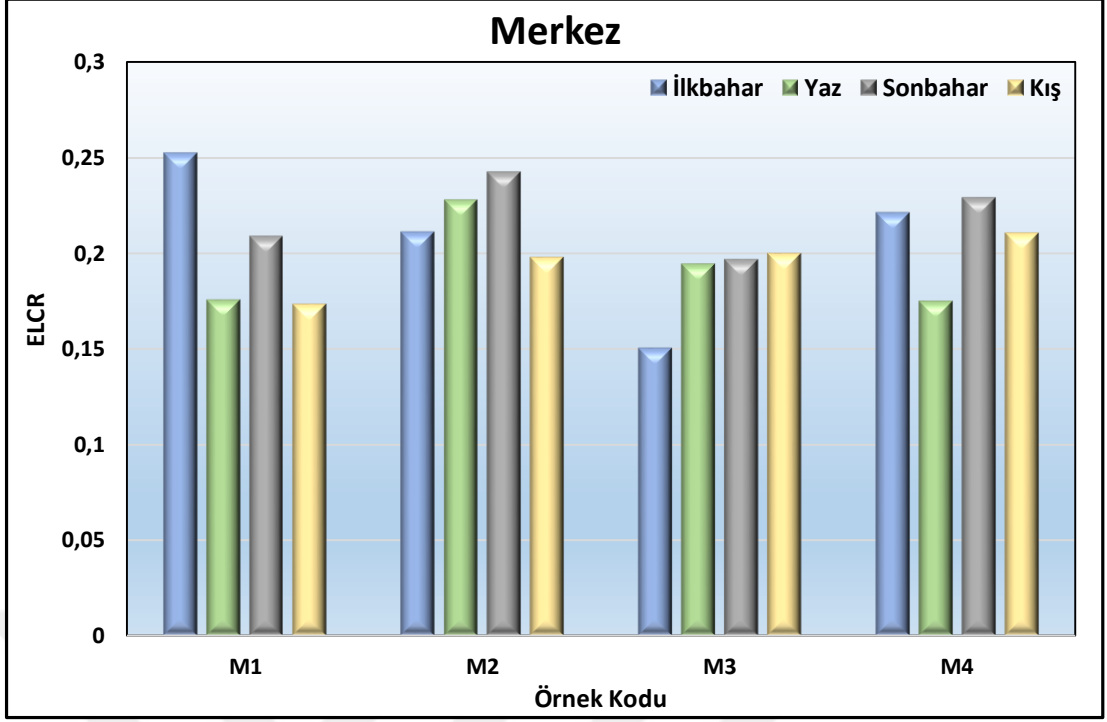
Şekil 4.52 : İlçelere göre yıllık ortalama dış tehlike indeksleri.

#### 4.1.2.5 Yaşam Boyu Kanser Riski (ELCR)

Yaşam boyu kanser riski, Kırklareli ili ve ilçelerinde yaşayan bireylerin hayatı boyunca iyonize radyasyona maruz kalması sonucunda oluşabilecek kanser riski olasılığını belirlemek için hesaplanmıştır.

Kırklareli ili Merkez ilçesi için mevsimlere ve örnekleme noktalarına göre hesaplanan yaşam boyu kanser riskleri Şekil 4.53'te karşılaştırılmıştır. M1 kodlu örnek için en yüksek yaşam boyu kanser riski ilkbahar mevsiminde  $0.25 \times 10^{-3}$  ve en düşük yaşam boyu kanser riski kış mevsiminde  $0.17 \times 10^{-3}$  olarak hesaplanmıştır. M2 kodlu örnekte ise en yüksek yaşam boyu kanser riski  $0.24 \times 10^{-3}$  olarak sonbahar mevsiminde, en düşük yaşam boyu kanser riski  $0.20 \times 10^{-3}$  olarak kış mevsiminde elde edilmiştir.

M3 kodlu örnek için hesaplanan en yüksek yaşam boyu kanser riski kış mevsiminde  $0.20 \times 10^{-3}$  olarak bulunmuştur. En düşük yaşam boyu kanser riski ise ilkbahar mevsiminde  $0.15 \times 10^{-3}$  olarak hesaplanmıştır. M4 kodlu örnekte ise en yüksek yaşam boyu kanser riski sonbahar mevsiminde  $0.23 \times 10^{-3}$ , en düşük yaşam boyu kanser riski yaz mevsiminde  $0.17 \times 10^{-3}$  olarak bulunmuştur. Merkez ilçesi için hesaplanan yaşam boyu kanser riskleri tüm örnekleme noktaları için dört mevsimde de UNSCEAR tarafından dünya ortalaması olarak verilen  $0.29 \times 10^{-3}$  değerinin altındadır (UNSCEAR, 2000).



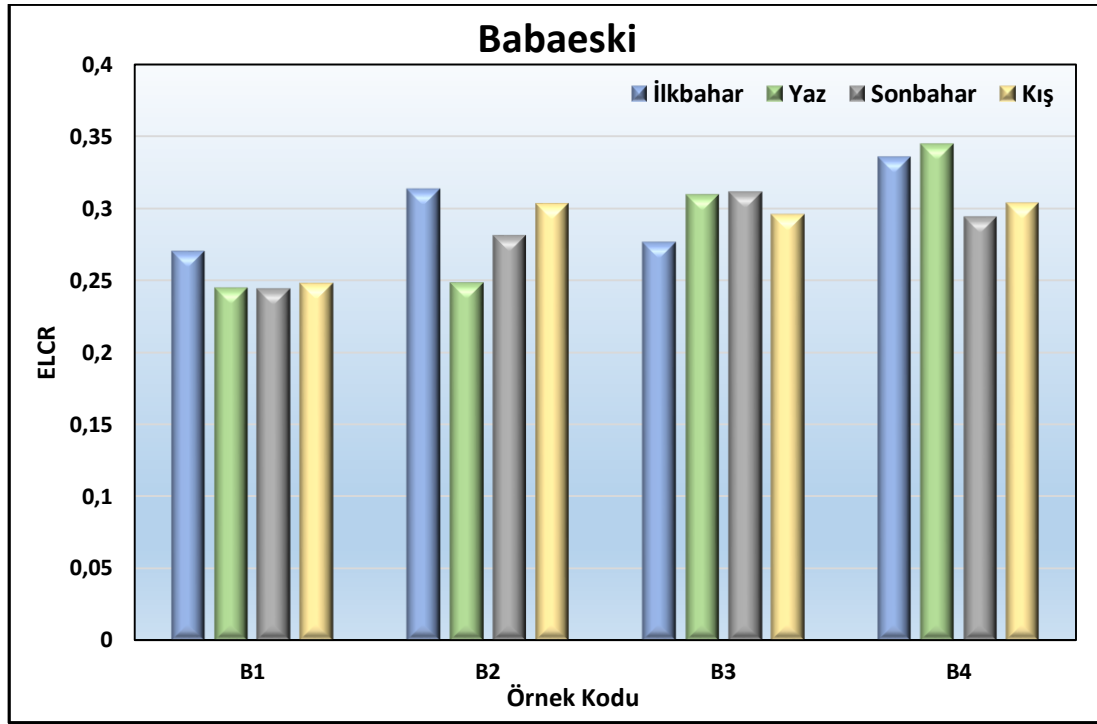
**Şekil 4.53** : Kırklareli ili Merkez ilçesinde mevsimlere göre yaşam boyu kanser riskleri.

Kırklareli ili Babaeski ilçesi için mevsimlere ve örnekleme noktalarına göre hesaplanan yaşam boyu kanser riskleri Şekil 4.54'te verilmiştir. B1 kodlu örnek için en yüksek yaşam boyu kanser riski ilkbahar mevsiminde  $0.27 \times 10^{-3}$  ve en düşük yaşam boyu kanser riski sonbahar mevsiminde  $0.24 \times 10^{-3}$  olarak hesaplanmıştır. Yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için hesaplanan ELCR değerleri birbirine oldukça yakındır. B1 kodlu örnek için tüm mevsimlerde hesaplanan ELCR değerleri dünya ortalamasının altında bulunmuştur.

B2 kodlu örnek için ise en yüksek yaşam boyu kanser riski  $0.31 \times 10^{-3}$  olarak ilkbahar mevsiminde, en düşük yaşam boyu kanser riski  $0.25 \times 10^{-3}$  olarak yaz mevsiminde elde edilmiştir. İlkbahar ve kış mevsimlerinde hesaplanan ELCR değerleri dünya ortalamasının üzerindedir. B3 kodlu örnek için hesaplanan en yüksek yaşam boyu kanser riski sonbahar mevsiminde  $0.31 \times 10^{-3}$  olarak bulunmuştur. Yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için ELCR değerleri dünya ortalamasının üzerindedir ve sonbahar ile yaz mevsimindeki ELCR değerleri birbirine oldukça yakındır. En düşük yaşam boyu kanser riski ise ilkbahar mevsiminde  $0.28 \times 10^{-3}$  olarak hesaplanmıştır.

B4 kodlu örnekte ise en yüksek yaşam boyu kanser riski yaz mevsiminde  $0.34 \times 10^{-3}$ , en düşük yaşam boyu kanser riski sonbahar mevsiminde  $0.29 \times 10^{-3}$  olarak bulunmuştur.

Sonbahar mevsiminde bulunan ELCR değeri dünya ortalamasında, kış, ilkbahar ve yaz mevsimlerinde ise dünya ortalamasının üzerinde elde edilmiştir.

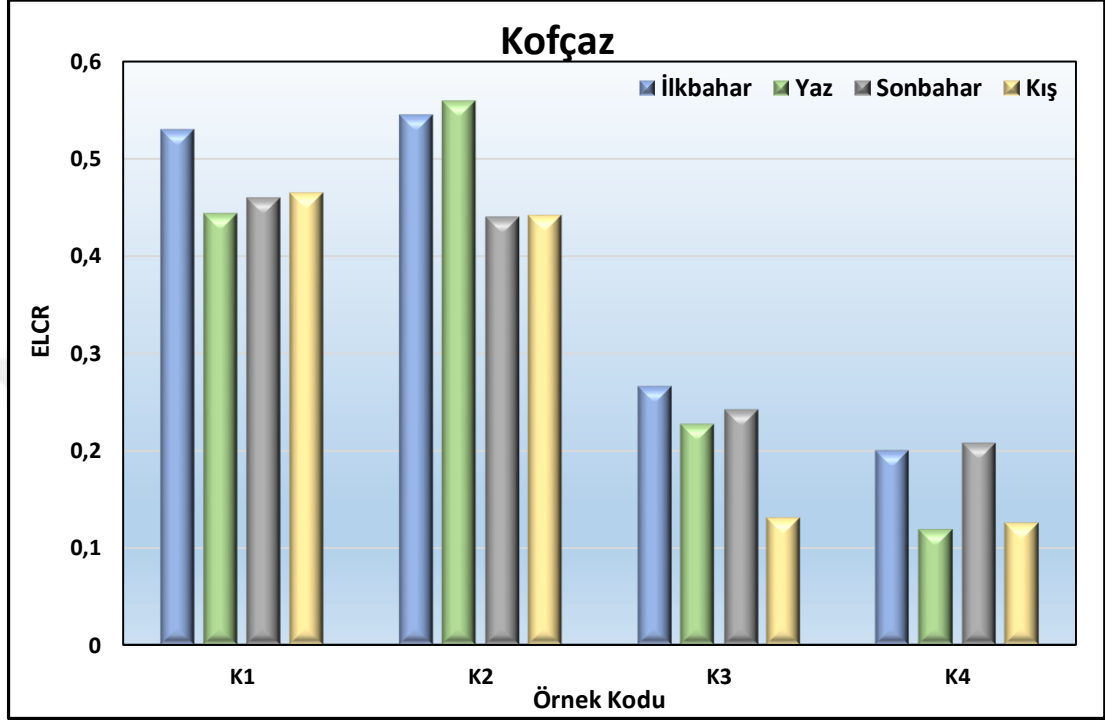


Şekil 4.54 : Kırklareli ili Babaeski ilçesinde mevsimlere göre yaşam boyu kanser riskleri.

Kırklareli ili Kofçaz ilçesi için mevsimlere ve örnekleme noktalarına göre belirlenen yaşam boyu kanser riskleri Şekil 4.55'te karşılaştırılmıştır. K1 kodlu örnek için en yüksek yaşam boyu kanser riski ilkbahar mevsiminde  $0.53 \times 10^{-3}$  ve en düşük yaşam boyu kanser riski yaz mevsiminde  $0.44 \times 10^{-3}$  olarak hesaplanmıştır. K1 kodlu örnek için tüm mevsimlerde hesaplanan ELCR değerleri dünya ortalamasının üzerinde bulunmuştur.

K2 kodlu örnekte ise en düşük yaşam boyu kanser riski  $0.44 \times 10^{-3}$  olarak sonbahar mevsiminde, en yüksek yaşam boyu kanser riski  $0.56 \times 10^{-3}$  olarak yaz mevsiminde elde edilmiştir. Sonbahar ve kış mevsimlerinde hesaplanan ELCR değerleri birbirine oldukça yakındır ve tüm mevsimlerde dünya ortalamasının üzerindedir. K3 kodlu örnek için hesaplanan en yüksek yaşam boyu kanser riski ilkbahar mevsiminde  $0.27 \times 10^{-3}$  olarak bulunmuştur. En düşük yaşam boyu kanser riski ise kış mevsiminde  $0.13 \times 10^{-3}$  olarak hesaplanmıştır. K3 kodlu örnek için elde edilen ELCR değerleri dünya ortalamasının altındadır.

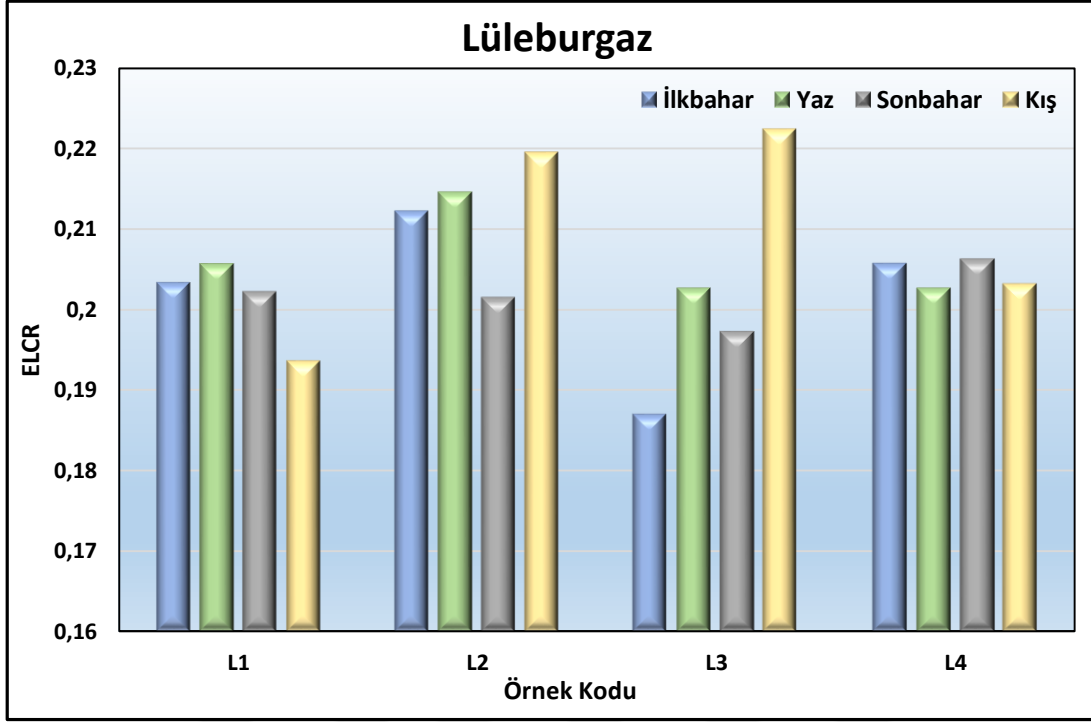
K4 kodlu örnekte ise en yüksek yaşam boyu kanser riski sonbahar mevsiminde  $0.21 \times 10^{-3}$ , en düşük yaşam boyu kanser riski yaz mevsiminde  $0.12 \times 10^{-3}$  olarak bulunmuştur. K4 kodlu örnek için hesaplanan ELCR değerleri dünya ortalamasının altında bulunmuştur.



**Şekil 4.55 :** Kırklareli ili Kofçaz ilçesinde mevsimlere göre yaşam boyu kanser riskleri.

Kırklareli ili Lüleburgaz ilçesi için mevsimlere ve örnekleme noktalarına göre hesaplanan yaşam boyu kanser riskleri Şekil 4.56’da karşılaştırılmıştır. L1 kodlu örnek için en yüksek yaşam boyu kanser riski yaz mevsiminde  $0.21 \times 10^{-3}$  ve en düşük yaşam boyu kanser riski kış mevsiminde  $0.19 \times 10^{-3}$  olarak hesaplanmıştır. L2 kodlu örnek için ise en düşük yaşam boyu kanser riski  $0.20 \times 10^{-3}$  olarak sonbahar mevsiminde, en yüksek yaşam boyu kanser riski  $0.22 \times 10^{-3}$  olarak kış mevsiminde elde edilmiştir.

L3 kodlu örnekte ise en yüksek yaşam boyu kanser riski kış mevsiminde  $0.22 \times 10^{-3}$ , en düşük yaşam boyu kanser riski ilkbahar mevsiminde  $0.19 \times 10^{-3}$  olarak bulunmuştur. L4 kodlu örnek için en yüksek yaşam boyu kanser riski sonbahar mevsiminde  $0.21 \times 10^{-3}$  ve en düşük yaşam boyu kanser riski yaz mevsiminde  $0.20 \times 10^{-3}$  olarak hesaplanmıştır. L4 kodlu örnek için elde edilen ELCR değerleri birbirine oldukça yakındır ve Lüleburgaz ilçesi tüm örnekleme noktaları için hesaplanan ELCR değerleri dünya ortalamasının altındadır.



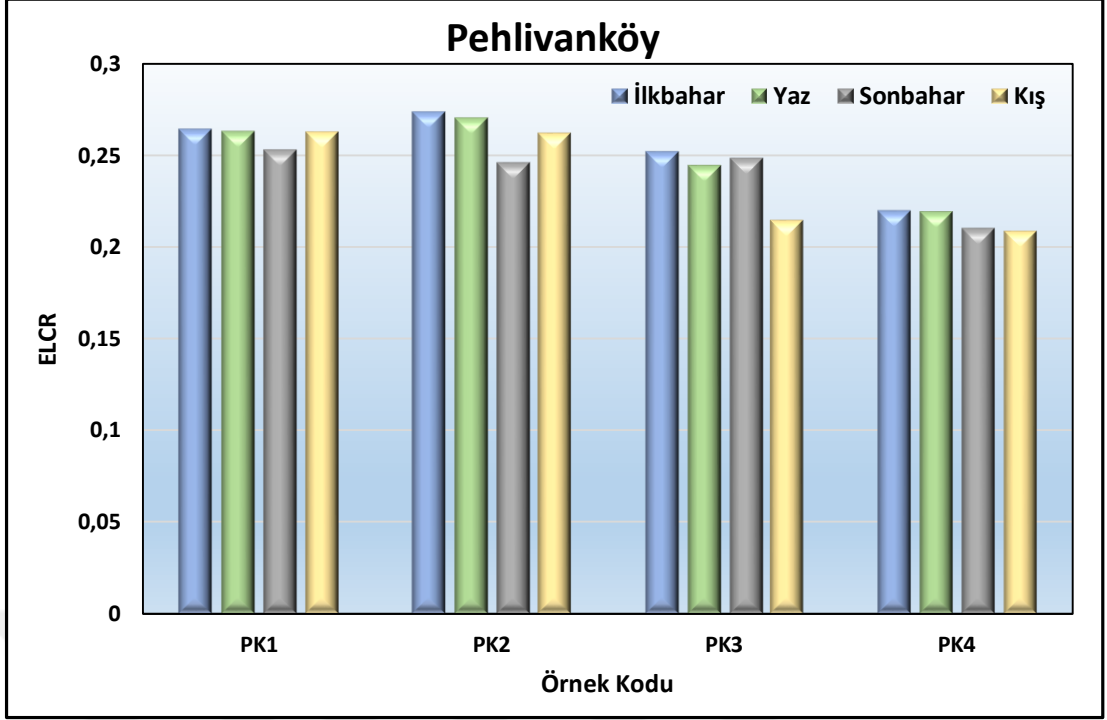
**Şekil 4.56 :** Kırklareli ili Lüleburgaz ilçesinde mevsimlere göre yaşam boyu kanser riskleri.

Kırklareli ili Pehlivanköy ilçesi için mevsimlere ve örnekleme noktalarına göre belirlenen yaşam boyu kanser riskleri Şekil 4.57’de karşılaştırılmıştır. PK1 kodlu örnek için en yüksek yaşam boyu kanser riski ilkbahar mevsiminde  $0.26 \times 10^{-3}$  ve en düşük yaşam boyu kanser riski sonbahar mevsiminde  $0.25 \times 10^{-3}$  olarak hesaplanmıştır. Tüm mevsimlerde elde edilen sonuçlar birbirine oldukça yakındır.

PK2 kodlu örnek için ise en düşük yaşam boyu kanser riski  $0.25 \times 10^{-3}$  olarak sonbahar mevsiminde, en yüksek yaşam boyu kanser riski  $0.27 \times 10^{-3}$  olarak ilkbahar mevsiminde elde edilmiştir. Sonbahar ve ilkbahar mevsimlerinde hesaplanan ELCR değerleri birbirine oldukça yakındır. PK3 kodlu örnek için hesaplanan en yüksek yaşam boyu kanser riski ilkbahar mevsiminde  $0.25 \times 10^{-3}$  olarak bulunmuştur. En düşük yaşam boyu kanser riski ise kış mevsiminde  $0.21 \times 10^{-3}$  olarak hesaplanmıştır.

PK4 kodlu örnek için ise en yüksek yaşam boyu kanser riski ilkbahar mevsiminde  $0.22 \times 10^{-3}$ , en düşük yaşam boyu kanser riski kış mevsiminde  $0.21 \times 10^{-3}$  olarak bulunmuştur. Elde edilen değerler birbirine oldukça yakındır. Pehlivanköy ilçesi tüm örnekleme noktalarında elde edilen ELCR değerleri dünya ortalamasının altında bulunmuştur.

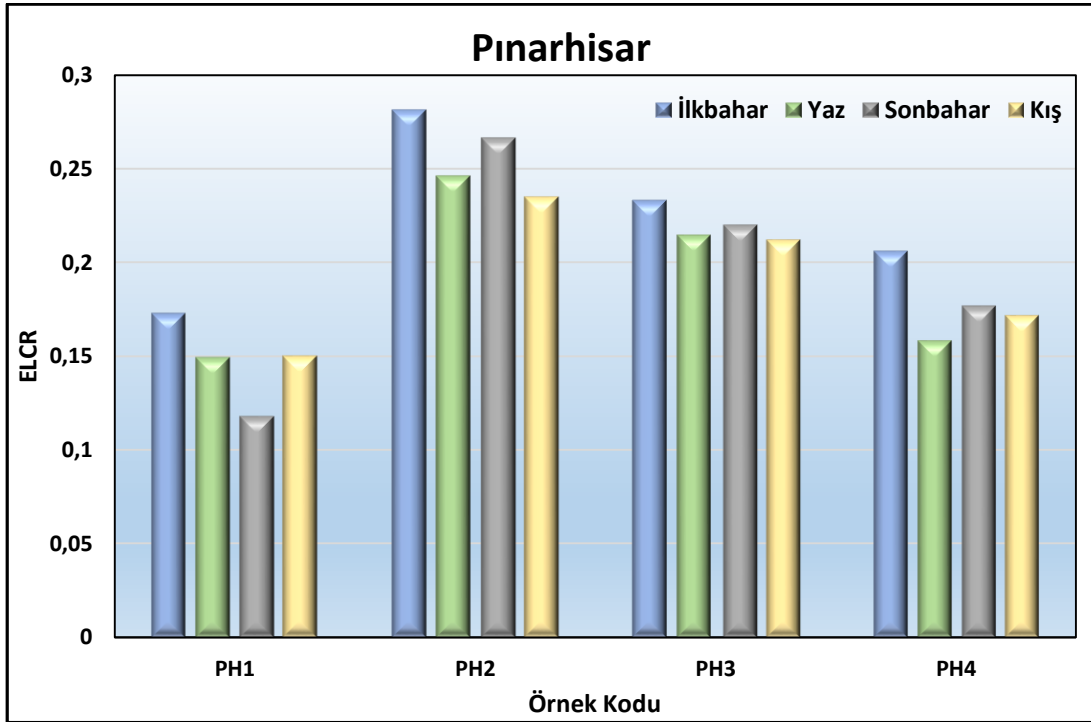




**Şekil 4.57 :** Kırklareli ili Pehlivan köy ilçesinde mevsimlere göre yaşam boyu kanser riskleri.

Kırklareli ili Pınarhisar ilçesi için mevsimlere ve örnekleme noktalarına göre belirlenen yaşam boyu kanser riskleri Şekil 4.58’de verilmiştir. PH1 kodlu örnek için en yüksek yaşam boyu kanser riski ilkbahar mevsiminde  $0.17 \times 10^{-3}$  ve en düşük yaşam boyu kanser riski sonbahar mevsiminde  $0.12 \times 10^{-3}$  olarak hesaplanmıştır. PH2 kodlu örnek için ise en düşük yaşam boyu kanser riski  $0.24 \times 10^{-3}$  olarak kış mevsiminde, en yüksek yaşam boyu kanser riski  $0.28 \times 10^{-3}$  olarak ilkbahar mevsiminde elde edilmiştir.

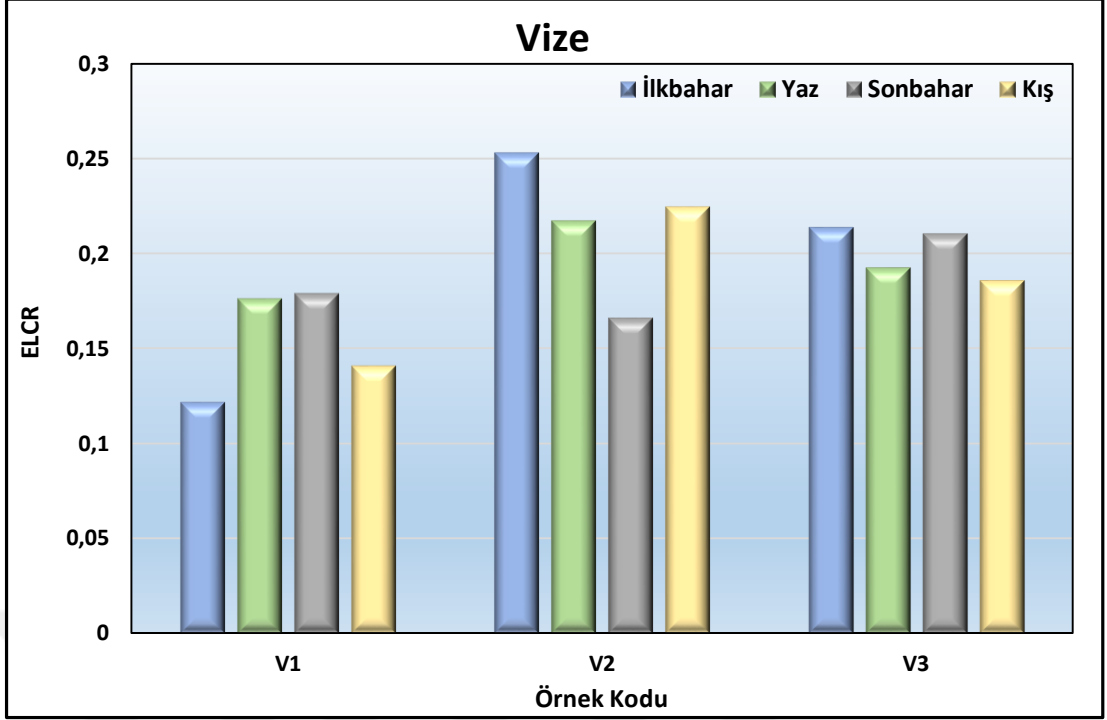
PH3 kodlu örnek için hesaplanan en yüksek yaşam boyu kanser riski ilkbahar mevsiminde  $0.23 \times 10^{-3}$  olarak bulunmuştur. En düşük yaşam boyu kanser riski ise kış mevsiminde  $0.21 \times 10^{-3}$  olarak hesaplanmıştır. Bu örnekleme noktası için bulunan değerler birbirine oldukça yakındır. PH4 kodlu örnekte ise en yüksek yaşam boyu kanser riski ilkbahar mevsiminde  $0.21 \times 10^{-3}$ , en düşük yaşam boyu kanser riski yaz mevsiminde  $0.16 \times 10^{-3}$  olarak bulunmuştur. Pınarhisar ilçesindeki örnekleme noktalarının tümünde hesaplanan ELCR değerleri dünya ortalaması olan  $0.29 \times 10^{-3}$  değerinden düşüktür.



**Şekil 4.58** : Kırklareli ili Pınarhisar ilçesinde mevsimlere göre yaşam boyu kanser riskleri.

Kırklareli ili Vize ilçesi için mevsimlere ve örnekleme noktalarına göre hesaplanan yaşam boyu kanser riskleri Şekil 4.59’da verilmiştir. V1 kodlu örnek için en yüksek yaşam boyu kanser riski sonbahar mevsiminde  $0.18 \times 10^{-3}$  ve en düşük yaşam boyu kanser riski ilkbahar mevsiminde  $0.12 \times 10^{-3}$  olarak hesaplanmıştır. Yaz ve sonbahar mevsimlerindeki değerler birbirine oldukça yakındır. V2 kodlu örnekte ise en düşük yaşam boyu kanser riski  $0.17 \times 10^{-3}$  olarak sonbahar mevsiminde, en yüksek yaşam boyu kanser riski  $0.25 \times 10^{-3}$  olarak ilkbahar mevsiminde elde edilmiştir.

V3 kodlu örnek için hesaplanan en yüksek yaşam boyu kanser riski ilkbahar mevsiminde  $0.21 \times 10^{-3}$  olarak bulunmuştur. En düşük yaşam boyu kanser riski ise kış mevsiminde  $0.19 \times 10^{-3}$  olarak hesaplanmıştır. Bu örnekleme noktası için bulunan değerler birbirine oldukça yakındır. Vize ilçesindeki örnekleme noktalarının tümünde hesaplanan ELCR değerleri dünya ortalamasının altındadır.



**Şekil 4.59** : Kırklareli ili Vize ilçesinde mevsimlere göre yaşam boyu kanser riskleri.

Hesaplanan ELCR değerleri mevsimlere göre kıyaslandığında; ilkbahar mevsimini için hesaplanan değerler  $0.12 \times 10^{-3}$  ile  $0.54 \times 10^{-3}$  aralığında değişmektedir. En düşük yaşam boyu kanser riski Vize ilçesinde V1 kodlu örnekte, en yüksek yaşam boyu kanser riski ise Kofçaz ilçesinde K2 kodlu örnekte bulunmuştur. İlkbahar mevsiminde ELCR değeri ortalaması  $0.25 \times 10^{-3}$  bulunmuş olup; bu değer dünya ortalamasının altındadır.

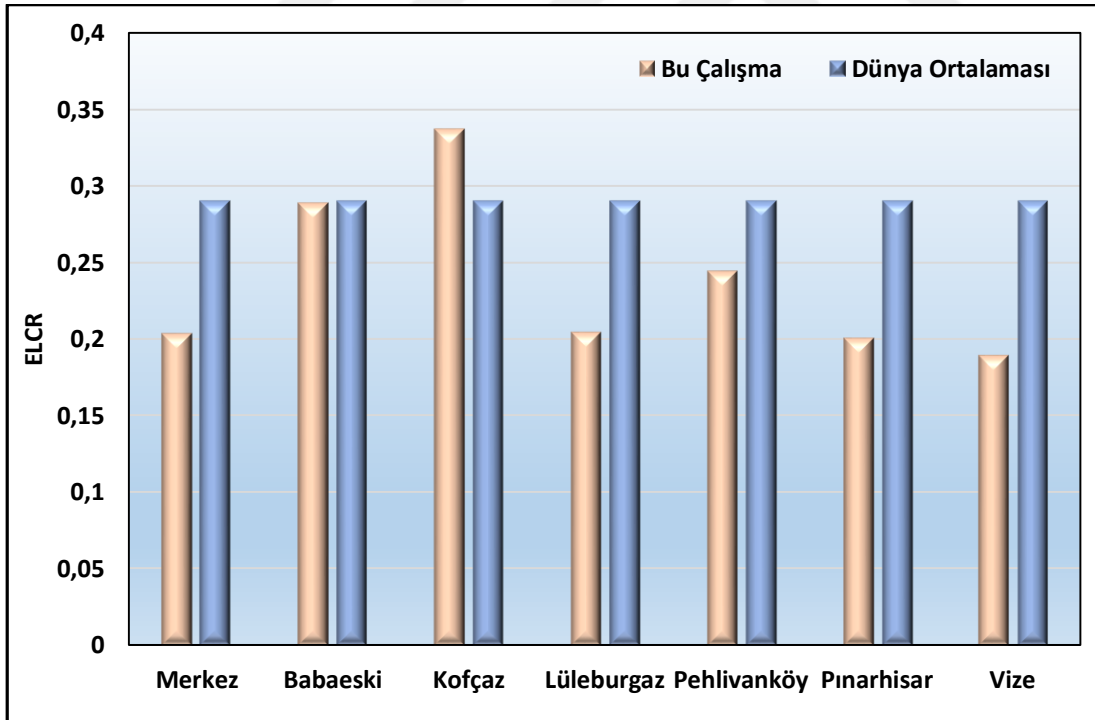
Yaz mevsimi için hesaplanan ELCR değerleri ise  $0.12 \times 10^{-3}$  ile  $0.56 \times 10^{-3}$  aralığında değişmektedir. En düşük ELCR değeri Kofçaz ilçesinde K4 kodlu örnekte, en yüksek ELCR değeri ise Kofçaz ilçesinde K2 kodlu örnekte bulunmuştur. Yaz mevsiminde ELCR değeri ortalama  $0.24 \times 10^{-3}$  olarak hesaplanmıştır. İlkbahar mevsiminde olduğu gibi yaz mevsiminde toplanan toprak örnekleri için hesaplanan ortalama yaşam boyu kanser riski de dünya ortalamasının altında bulunmuştur.

Sonbahar mevsiminde alınan toprak örnekleri için hesaplanan ELCR değerleri  $0.12 \times 10^{-3}$  ile  $0.46 \times 10^{-3}$  aralığındadır. En düşük ELCR değeri Pınarhisar ilçesinde (PH1 örnek kodu), en yüksek ELCR değeri ise Kofçaz ilçesinde (K1 örnek kodu) bulunmuştur. Sonbahar mevsimi için ELCR ortalaması  $0.24 \times 10^{-3}$  olarak hesaplanmıştır. Yaz ve ilkbahar mevsiminde olduğu gibi sonbahar mevsiminde de

toplanan toprak örnekleri için hesaplanan ortalama ELCR değeri dünya ortalamasının altındadır.

Kış mevsimi için hesaplanan ELCR değerleri  $0.13 \times 10^{-3}$  ile  $0.46 \times 10^{-3}$  aralığında değişmektedir. En düşük ELCR değeri Kofçaz ilçesinde K4 kodlu örnekte, en yüksek ELCR değeri ise Kofçaz ilçesinde K1 kodlu örnekte bulunmuştur. ELCR değeri ortalaması kış mevsiminde  $0.23 \times 10^{-3}$  bulunmuş olup; diğer mevsimlerde olduğu gibi kış mevsiminde de toplanan toprak örnekleri için hesaplanan ortalama ELCR değeri dünya ortalamasından düşüktür.

Kırklareli ilçelerine göre ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimlerinde hesaplanan yaşam boyu kanser riskleri ortalaması alınmış ve ortalama değerler Şekil 4.60'da ilçelere göre karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre en yüksek yaşam boyu kanser riski ortalaması Kofçaz ilçesinde  $0.34 \times 10^{-3}$  ve en düşük yaşam boyu kanser riski ortalaması Vize ilçesinde  $0.19 \times 10^{-3}$  olarak bulunmuştur. Kofçaz ilçesi için hesaplanan ELCR değeri ortalaması dünya ortalamasının üzerinde olup, diğer ilçelerde hesaplanan değerler dünya ortalamasının altında bulunmuştur.



Şekil 4.60 : İlçelere göre yıllık ortalama yaşam boyu kanser riskleri.

### 4.1.3 Ayçiçeği Örneklerindeki $^{226}\text{Ra}$ , $^{232}\text{Th}$ , $^{40}\text{K}$ ve $^{137}\text{Cs}$ Dağılımı

Kırklareli ili ve ilçelerinde 20 farklı tarım arazisinden 5 farklı noktadan alınan ayçiçeği örneklerinin karıştırılması ile elde edilen  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  radyonüklidlerinin aktivite konsantrasyonları belirlenmiştir. Ayçiçeği örneklerindeki radyonüklid aktivite konsantrasyonları Çizelge 4.7’de verilmiştir.

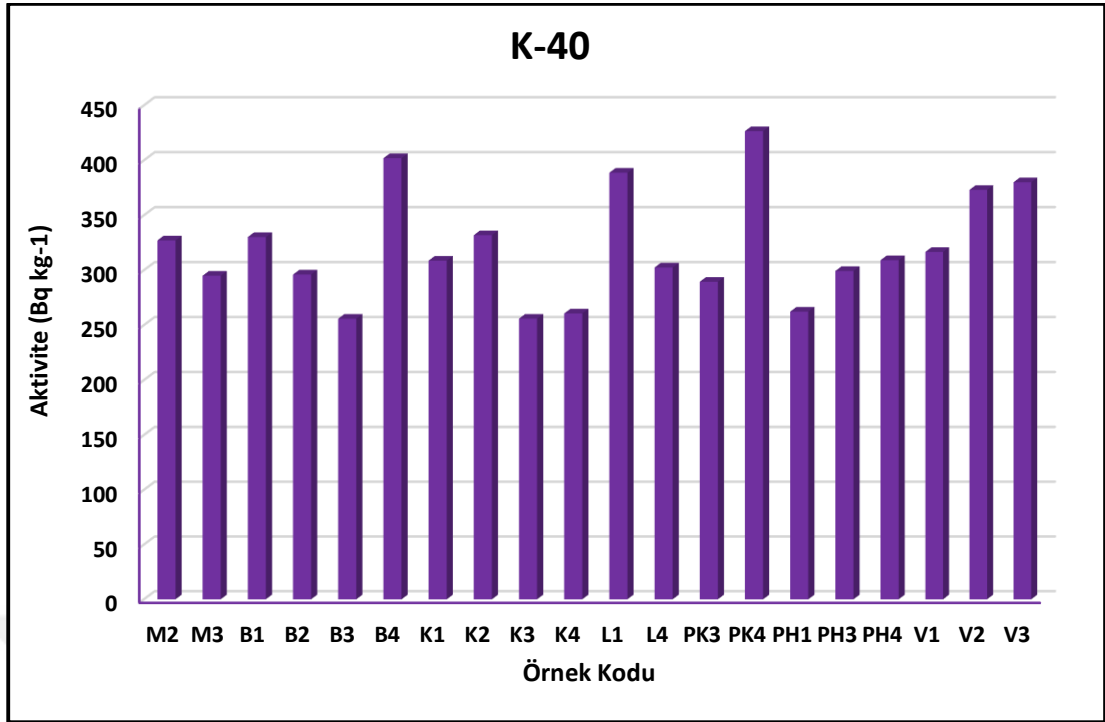
Bitkideki ve gıda ürünlerindeki radyoaktivite, toprak, su ve hava vasıtasıyla direkt ve ya dolaylı olarak aktarılmaktadır. Bu geçiş yaprakların hava ile etkileşimi, bitki köklerinin toprak ve su ile etkileşimi gibi yollarla gerçekleşmektedir (Izrael, 2002). Radyonüklid bitki-toprak oranı radyonüklidin fiziko-kimyasal yapısı, bitki türleri ve bitkideki içsel translokasyon mekanizması, toprak karakteristiği, gübreler ve tarımsal kimyasallar, organik maddeler, radyonüklidlerin topraktaki dağılımı gibi birçok faktörlere bağlıdır (El-Taher ve Al-Turki, 2014).

Ayçiçeği örneklerinde  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  radyonüklid aktivite konsantrasyonları ihmal edilebilir düzeydeyken, belirgin miktarlarda  $^{40}\text{K}$  radyonüklidine rastlanmıştır. Potasyum radyoaktif bir element olsa da sucül bitki sistemine zarar vermemektedir. Bitkinin çevresel stresine adaptasyonu için potasyum oldukça önemlidir (Saeed ve ark., 2012). Hesaplanan  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonu  $225.86 \pm 21.78 \text{ Bq kg}^{-1}$  ile  $426.51 \pm 29.42 \text{ Bq kg}^{-1}$  aralığında değişmektedir. Ortalama aktivite konsantrasyonu  $320.53 \pm 19.72 \text{ Bq kg}^{-1}$ ’dır. En yüksek  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonu Pehlivan köyü (PK4 kodlu örnek) ilçesinden alınan ayçiçeği örneğinde ölçülürken en düşük konsantrasyon ise Babaeski (B3 kodlu örnek) ilçesinden alınan ayçiçeği örneğinde tayin edilmiştir (Şekil 4.61). Ayçiçeği örneklerinde  $^{40}\text{K}$  radyonüklidinin bulunmasının nedeni tarım arazilerindeki verimliliği artırmak için kullanılan gübrelerin topraktaki  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonlarını arttırması ve ayçiçeği örneklerine yüksek oranda bu radyonüklidin geçmiş olabileceğidir.

**Çizelge 4.7 :** Ayçiçeği örneklerinin radyonüklid aktivite konsantrasyonları (Bq kg<sup>-1</sup>).

Örnekleme Noktası	Örnek Kodu	<sup>226</sup> Ra	<sup>232</sup> Th	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs
2	M2	<1.62*	<1.40*	327.07±12.72	<0.15*
3	M3	<2.73*	3.76±4.17	294.98±21.82	0.36±0.68
5	B1	<2.90*	<2.30*	330.15±20.95	0.78±0.77
6	B2	<1.75*	<1.41*	296.07±14.47	<0.11*
7	B3	<2.83*	<2.36*	255.86±21.78	<0.21*
8	B4	<2.32*	<2.04*	401.91±16.98	<0.11*
9	K1	17.19±12.31	<3.14*	308.68±25.72	<0.27*
10	K2	<3.21*	<2.44*	331.84±22.13	<0.28*
11	K3	<2.19*	<1.75*	255.90±14.75	0.40±0.58
12	K4	<1.98*	<1.77*	260.63±16.61	<0.20*
13	L1	<2.77*	<2.26*	388.70±18.61	<0.23*
16	L4	<4.03*	<3.36*	302.46±28.68	<0.30*
19	PK3	<2.01*	<1.77*	289.47±14.68	<0.19*
20	PK4	<3.29*	<2.27*	426.51±29.42	<0.36*
21	PH1	<2.93*	<2.11*	262.31±21.48	<0.25*
23	PH3	<2.82*	<2.39*	299.28±21.21	<0.20*
24	PH4	<1.29*	<0.97*	309.13±10.61	<0.11*
25	V1	<2.18*	<1.69*	316.59±15.40	<0.18*
26	V2	<1.76*	<1.39*	373.08±13.04	<0.15*
27	V3	<4.87*	<3.70*	380.01±33.33	1.98±1.79
Minimum	-	<1.29*	<0.97*	255.86±21.78	<0.11*
Maximum	-	17.19±12.31	3.76±4.17	426.51±29.42	1.98±1.79
Ortalama	-	-	-	320.53±19.72	-

\*MDA: Minimum dedekte edilebilir aktivite



**Şekil 4.61** : Ayçiçeği örneklerinin  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonları.

#### 4.1.3.1 Transfer Faktörü

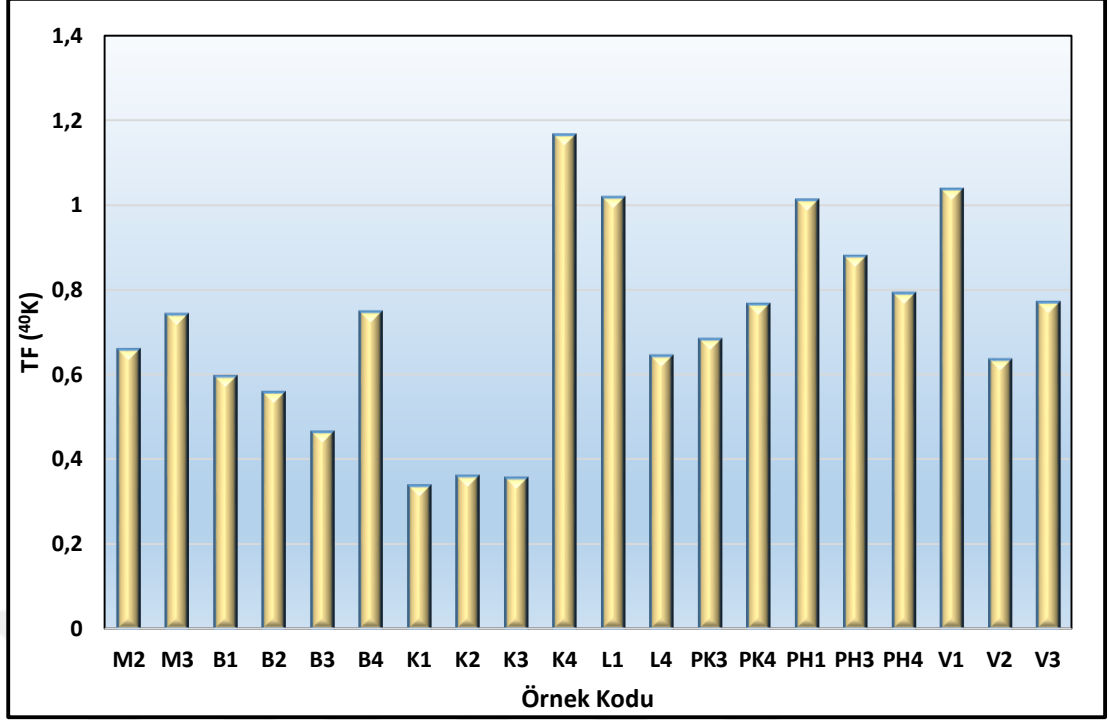
Ayçiçeği örneklerin mevcut olan  $^{40}\text{K}$  radyonüklidinin geçiş oranları transfer faktörü ile belirlenmiş ve Çizelge 4.8’de verilmiştir. Canlı varlıkların yaşayabilmesi için organizmaların ihtiyacı olan öğelerin belirli bir seviyede dengede tutulmasına homeostatik denge denir. Bitkilerde potasyum homeostatik dengede bulunmakta, bitki tarafından emilmekte ve genellikle yüksek transfer faktörü değerleri gözlenmektedir (Pulhani ve ark., 2005). Çalışma bölgesinde  $^{40}\text{K}$  radyonüklidi için topraktan bitkiye transfer faktörleri 0.34 ile 1.17 aralığında değişmektedir.

Örnekleme noktalarına göre transfer faktörleri Şekil 4.62’de karşılaştırılmıştır. En düşük transfer faktörü Kofçaz ilçesinde K1 kodlu örnekte, en yüksek transfer faktörü ise Kofçaz ilçesinde K4 kodlu örnekte bulunmuştur.

**Çizelge 4.8 :** <sup>40</sup>K radyonüklidi için topraktan bitkiye transfer faktörleri.

Örnekleme Noktası	Örnek Kodu	<sup>40</sup> K <sub>Toprak</sub>	<sup>40</sup> K <sub>Ayçiçeği</sub>	TF( <sup>40</sup> K)
2	M2	497.63±10.12	327.07±12.72	0.66
3	M3	398.05±9.13	294.98±21.82	0.74
5	B1	554.98±11.82	330.15±20.95	0.59
6	B2	532.18±11.11	296.07±14.47	0.56
7	B3	553.56±11.13	255.86±21.78	0.46
8	B4	538.28±18.02	401.91±16.98	0.75
9	K1	920.22±10.72	308.68±25.72	0.34
10	K2	924.68±15.21	331.84±22.13	0.36
11	K3	723.36±10.15	255.90±14.75	0.35
12	K4	223.50±6.82	260.63±16.61	1.17
13	L1	381.78±9.87	388.70±18.61	1.02
16	L4	471.23±9.85	302.46±28.68	0.64
19	PK3	424.38±9.97	289.47±14.68	0.68
20	PK4	557.50±9.66	426.51±29.42	0.77
21	PH1	259.44±8.74	262.31±21.48	1.01
23	PH3	340.56±11.44	299.28±21.21	0.88
24	PH4	390.96±11.95	309.13±10.61	0.79
25	V1	305.42±9.48	316.59±15.40	1.04
26	V2	589.08±11.14	373.08±13.04	0.63
27	V3	494.01±8.25	380.01±33.33	0.77
Minimum	-	223.50±6.82	255.86±21.78	0.34
Maksimum	-	924.68±15.21	426.51±29.42	1.17
Ortalama	-	492.86±10.90	320.53±19.72	0.71





Şekil 4.62 : <sup>40</sup>K transfer faktörleri.

Çizelge 4.9’da Dünya’daki farklı bölgelerde topraktan bitkiye ve meyveye geçişlerde elde edilen ortalama transfer faktörleri karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada hesaplanan <sup>40</sup>K radyonüklidi için topraktan ayçiçeğine ortalama transfer faktörü, Tanzanya’da fasulye, Irak’ta buğday ve arpa, Yemen’de kuru soğan, kırmızı turp, fıstık ve mısır, Hindistan’da buğday ve muz için bulunan transfer faktörlerinden yüksek bulunmuştur (Banzi ve ark., 2017; Pourimani ve Shahroudi, 2018; El-Gamal ve ark., 2019; Pulhani ve ark., 2005; Shanthi ve ark., 2011).

Almanya’da domates için yapılan çalışma ile kıyaslandığında; ayçiçeği için bulunan transfer faktörünün daha düşük olduğu görülmüştür (Köhler ve ark., 2000). Mısır, Suudi Arabistan, Bangladeş ve Filistin’de çeşitli bitkiler ve çimen için transfer faktörleri hesaplanmıştır (Çizelge 4.9). Mısır ve Filistin’de elde edilen sonuçların, bu çalışmada elde edilen değerlerden yüksek olduğu görülmüştür (Harb ve ark., 2013; Jazzar ve Thabayneh, 2014).

**Çizelge 4.9** : Dünyanın farklı bölgelerinde topraktan bitkiye/meyveye geçişlerde elde edilen ortalama transfer faktörlerin (TF) karşılaştırması.

Ülke	Örnek Türü	TF( <sup>40</sup> K)	Referans
Mısır	Bitkiler	1.06	Harb ve ark., 2013
Suudi Arabistan	Bitkiler	0.16	Alharbi ve El-Taher, 2013
Bangladeş	Çimen	0.28	Chakraborty ve ark., 2013
	Bitkiler	0.27	
Filistin	Bitkiler	1.70	Jazzar ve Thabayneh, 2014
	Çimen	1.20	
Tanzanya	Fasülye	0.13	Banzi ve ark., 2017
	Mısır	0.8	
Irak	Buğday	0.55	Pourimani ve Shahroudi, 2018
	Arpa	0.48	
Yemen	Kuru Soğan	0.10	El-Gamal ve ark., 2019
	Kırmızı Turp	0.10	
	Fıstık	0.25	
	Mısır	0.15	
Hindistan	Buğday	0.16	Pulhani ve ark., 2005
Hindistan	Muz	0.14	Shanthi ve ark., 2011
Almanya	Domates	1.4	Köhler ve ark., 2000
Türkiye	Ayçiçeği	0.71	Bu çalışma

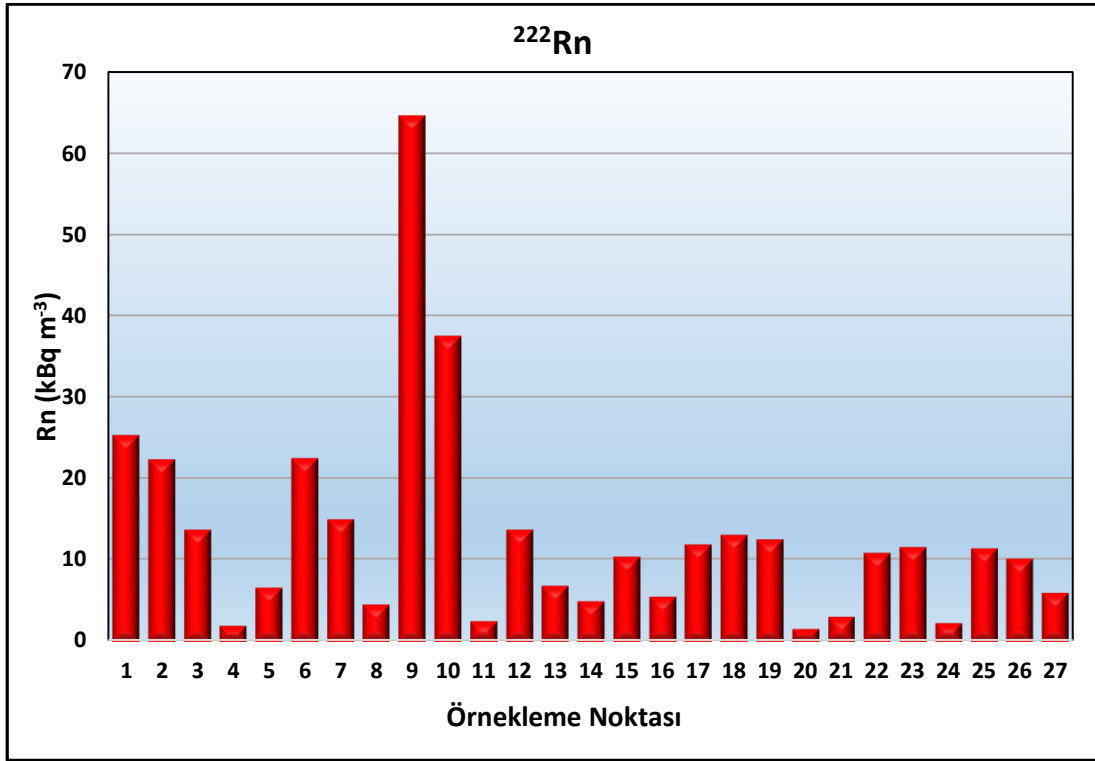
## 4.2 Toprak Gazı Radon Konsantrasyonları

Kırklareli ili tarım arazileri topraklarında  $^{222}\text{Rn}$  aktivite konsantrasyonları yaz ve kış mevsimleri için AlphaGUARD PQ2000 PRO cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Ölçüm işlemleri örnekleme bölgelerinde 27 tarım arazisinde gerçekleştirilmiştir. Her tarım arazisinde 2 farklı noktadan olmak üzere yaz ve kış mevsimi için toplamda 108 noktadan ölçüm alınmıştır. Şekil 4.63'te yaz mevsimi için topraktaki ortalama  $^{222}\text{Rn}$  aktivite konsantrasyonu değişimleri verilmiştir.

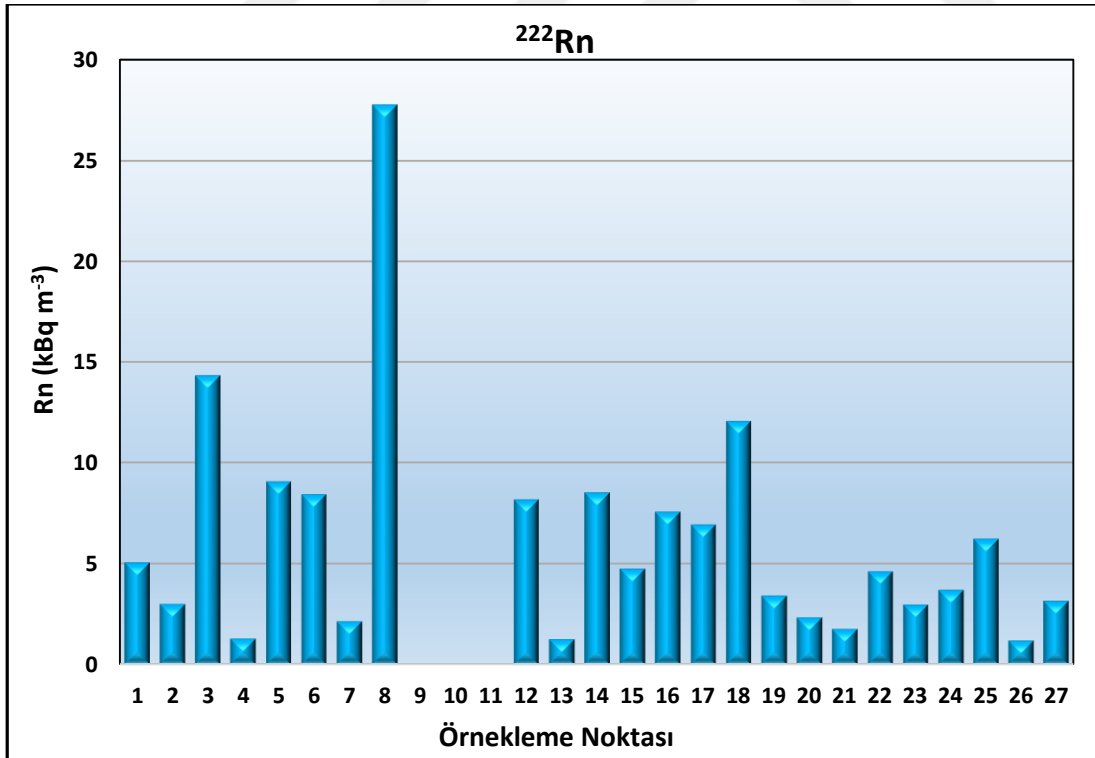
Toprak altı radon gazı ölçümleri değerlendirildiğinde yaz mevsimi için en düşük radon aktivite konsantrasyonu değeri  $1.27 \text{ kBq m}^{-3}$  olarak Pehlivan köyü'nde ölçülmüş, en yüksek radon konsantrasyonu değeri ise  $64.45 \text{ kBq m}^{-3}$  olarak Kofçaz'da ölçülmüştür.

Kış mevsimi için topraktaki ortalama  $^{222}\text{Rn}$  aktivite konsantrasyonu değişimleri Şekil 4.64'te verilmiştir. Toprak altı radon gazı ölçümleri değerlendirildiğinde kış mevsimi için en düşük radon aktivite konsantrasyonu değeri  $1.23 \text{ kBq m}^{-3}$  olarak Vize'de ölçülmüş, en yüksek radon konsantrasyonu değeri ise  $27.75 \text{ kBq m}^{-3}$  olarak Babaeski'de ölçülmüştür. Kofçaz'da bulunan 9, 10 ve 11 numaralı ölçüm noktalarında herhangi bir ölçüm değeri bulunamamıştır. 9, 10 ve 11 numaralı ölçüm noktalarında ölçüm alınamaması nedeninin havanın yağışlı olması ile topraktaki nem oranının oldukça yüksek olması, radon gazı geçişini sağlayan boruda su birikmesi ve gaz geçişinin azalması olarak düşünülmektedir.

Tipik bir topraktaki  $^{222}\text{Rn}$  aktivite konsantrasyonu 2 ile  $50 \text{ kBq m}^{-3}$  aralığında değişim göstermektedir (Huxtable ve ark., 2017). Toprak altı radon gazı ölçümleri değerlendirildiğinde yaz mevsiminde Kofçaz ilçesindeki 9 numaralı ölçüm noktasında  $^{222}\text{Rn}$  aktivite konsantrasyonu değeri  $50 \text{ kBq m}^{-3}$  değerinin üzerinde elde edilmiştir.



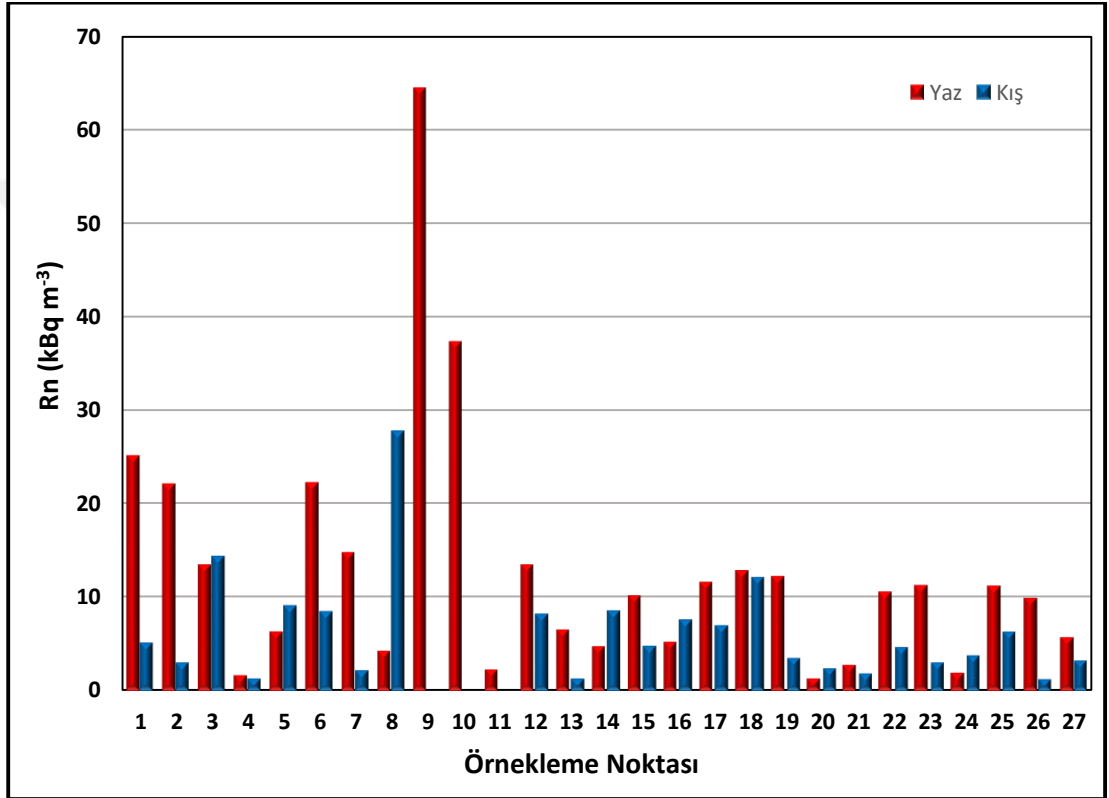
Şekil 4.63 : Yaz mevsimi için topraktaki ortalama <sup>222</sup>Rn aktivite konsantrasyonu değişimleri.



Şekil 4.64 : Kış mevsimi için topraktaki ortalama <sup>222</sup>Rn aktivite konsantrasyonu değişimleri.

Şekil 4.65'te yaz ve kış mevsimi için toprakta ölçülen ortalama  $^{222}\text{Rn}$  aktivite konsantrasyonu değerleri karşılaştırılmıştır. Kış mevsiminde ölçülen  $^{222}\text{Rn}$  aktivite konsantrasyonu değerlerinin örnekleme noktalarının çoğunda düştüğü gözlenmiştir.

Literatürde yapılan çalışmalar topraktaki  $^{222}\text{Rn}$  aktivite konsantrasyonunun en yüksek değerlere yaz sonunda ve sonbahar başında ulaştığını göstermektedir. Kış mevsiminde ise toprağın nem oranının artması nedeniyle en düşük  $^{222}\text{Rn}$  aktivite konsantrasyonu değerleri gözlenmektedir (Kullab, 2005; Kikaj ve ark., 2016).



Şekil 4.65 : Topraktaki ortalama  $^{222}\text{Rn}$  aktivite konsantrasyonu değerlerinin yaz ve kış mevsimi için karşılaştırılması.

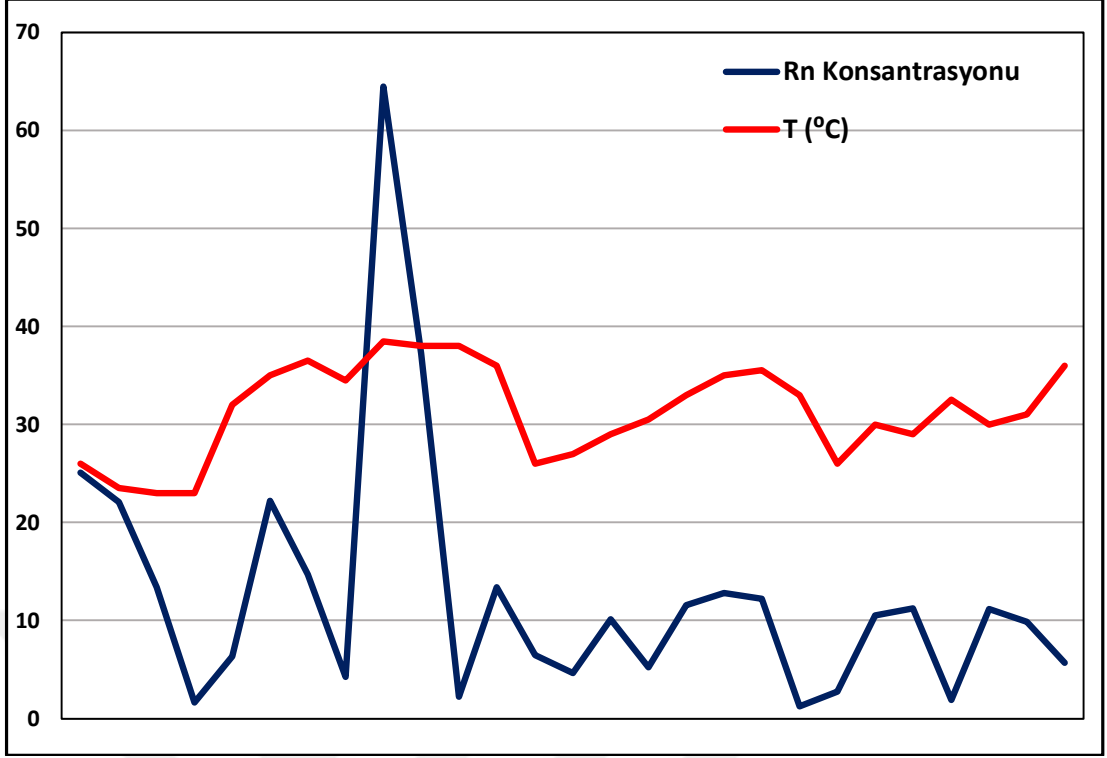
Çizelge 4.10'da Dünyanın farklı bölgelerinde elde edilen topraktaki  $^{222}\text{Rn}$  aktivite konsantrasyonu değerleri karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada ölçülen  $^{222}\text{Rn}$  aktivite konsantrasyonu değerlerinin Türkiye'de Pamukkale ve Afyonkarahisar'da elde edilen değerlerle yaklaşık olarak aynı aralıklarda olduğu görülmüştür (Yalım ve ark., 2018; Kulalı ve Akkurt, 2015). Türkiye Karahayıt'ta ise  $^{222}\text{Rn}$  aktivite konsantrasyonu değeri ise  $160 \text{ kBq m}^{-3}$  değerine ulaşmıştır (Kulalı ve ark., 2017). Bu çalışmada elde edilen  $^{222}\text{Rn}$  aktivite konsantrasyonu değeri Rusya, Portekiz, Kosova, Hindistan ve İngiltere'de ölçülen değerlerden yüksek bulunmuştur (Iakovleva and Ryzhakova,

2003; Pereira ve ark., 2010; Kikaj ve ark., 2016; Mittal ve ark., 2016; Huxtable ve ark., 2017).

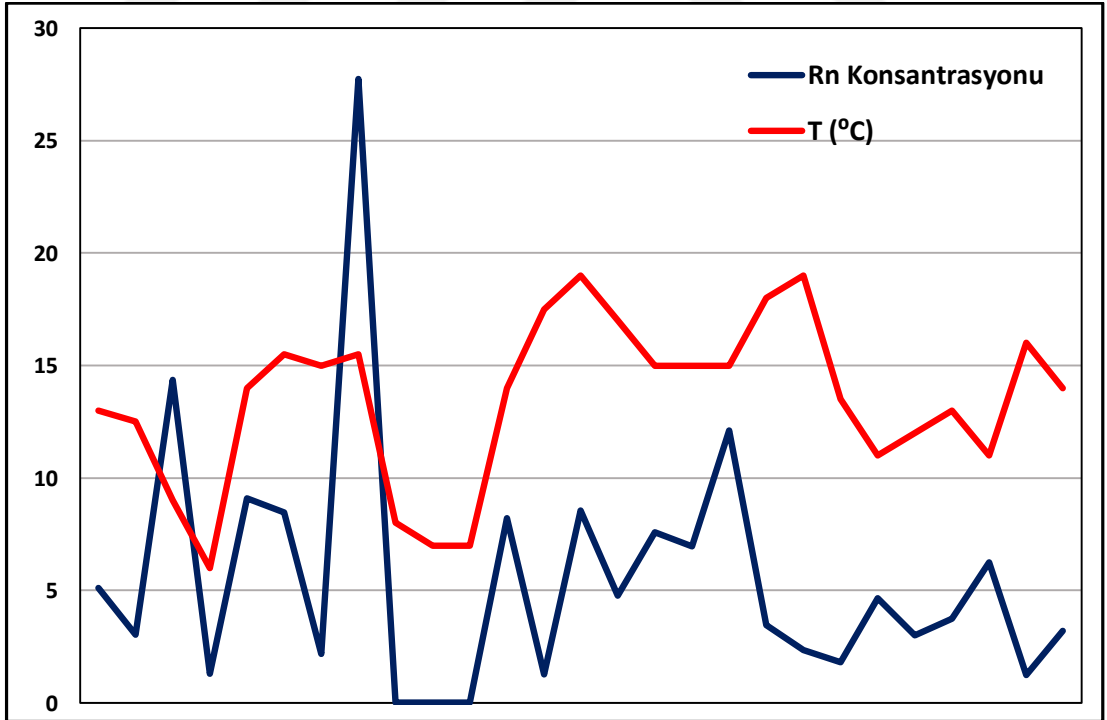
**Çizelge 4.10 :** Dünyanın farklı bölgelerinde elde edilen topraktaki <sup>222</sup>Rn aktivite konsantrasyonu değerlerinin karşılaştırması.

Ülke	<sup>222</sup> Rn (kBq m <sup>-3</sup> )	Referans
Fransa	14-90	Perrier ve ark., 2009
Rusya	2-24	Iakovleva and Ryzhakova, 2003
Portekiz	5-13	Pereira ve ark., 2010
Pakistan	17-73	Ali ve ark., 2010
Malezya	0.13-143	Almayahi ve ark., 2013
Kosova	0.3-32	Kikaj ve ark., 2016
Hindistan	0.9-10	Mittal ve ark., 2016
İngiltere	10-40	Huxtable ve ark., 2017
Makedonya	7-84	Stojanovska ve ark., 2017
Türkiye (Afyonkarahisar)	34-72	Yalım ve ark., 2018
Türkiye (Pamukkale)	3-75	Kulalı ve Akkurt, 2015
Türkiye (Karahayıt)	0.1-160	Kulalı ve ark., 2017
Türkiye (Kırklareli)	1-64	Bu çalışma

Yaz ve kış mevsimi için <sup>222</sup>Rn aktivite konsantrasyonu değerlerinin 40 cm toprak derinliğinde ölçülen sıcaklığa ve bağıl neme bağlı değişimleri AlphaGUARD dedektörü ile incelenmiştir.



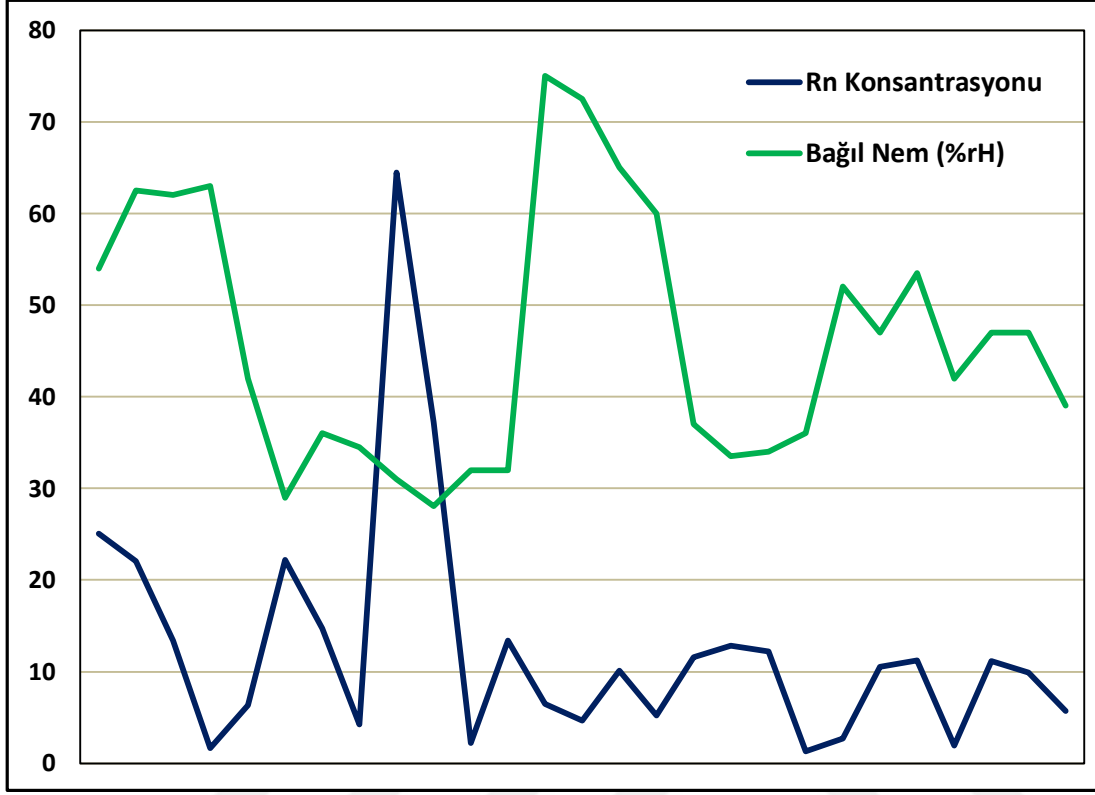
Şekil 4.66 : Yaz mevsimi  $^{222}\text{Rn}$  aktivite konsantrasyonu değerlerinin toprak sıcaklığa bağlı değişimi.



Şekil 4.67 : Kış mevsimi  $^{222}\text{Rn}$  aktivite konsantrasyonu değerlerinin toprak sıcaklığa bağlı değişimi.

Şekil 4.66 ve Şekil 4.67’de yaz ve kış mevsimi için  $^{222}\text{Rn}$  aktivite konsantrasyonu değerlerinin 40 cm toprak derinliğinde ölçülen sıcaklığa bağlı değişim grafikleri

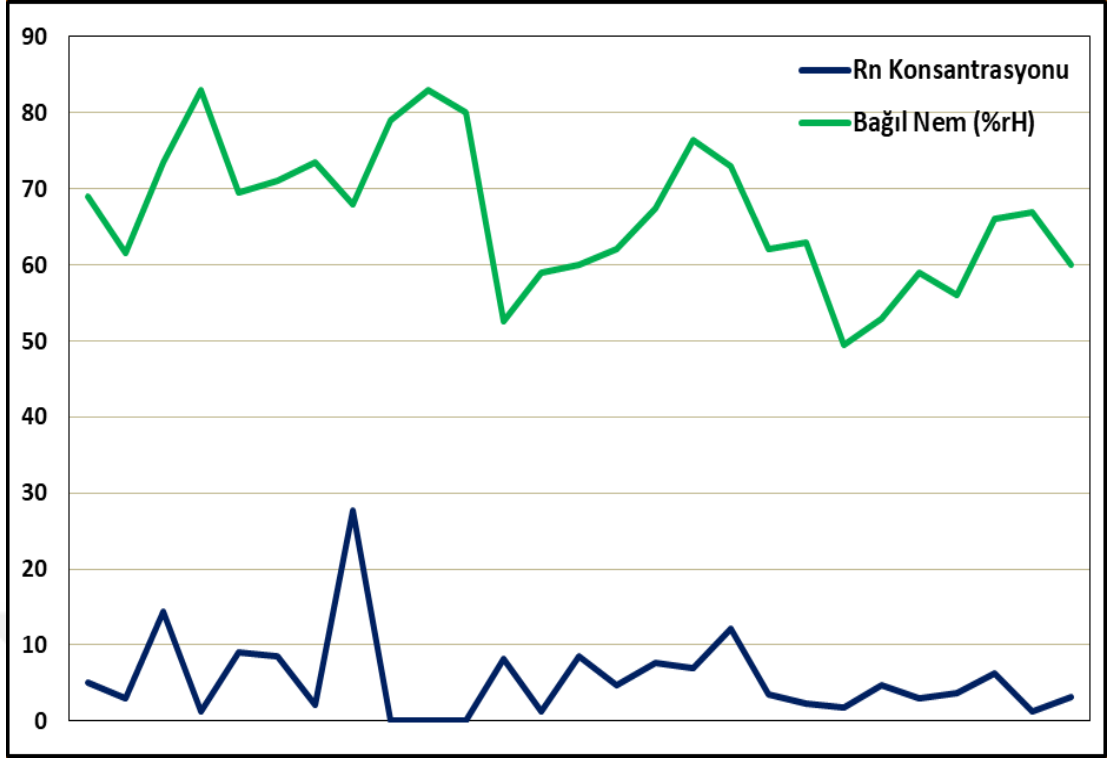
verilmiştir. Grafiklerde toprak sıcaklığı ile  $^{222}\text{Rn}$  aktivite konsantrasyonu değerleri doğru orantılı olarak değişmekte olduğu görülmüştür.



**Şekil 4.68 :** Yaz mevsimi  $^{222}\text{Rn}$  aktivite konsantrasyonu değerlerinin toprakta ölçülen bağıl neme bağlı değişimi.

Şekil 4.68 ve Şekil 4.69’da yaz ve kış mevsimi için  $^{222}\text{Rn}$  aktivite konsantrasyonu değerlerinin 40 cm toprak derinliğinde ölçülen bağıl neme bağlı değişim grafikleri verilmiştir. Grafiklerde  $^{222}\text{Rn}$  aktivite konsantrasyonu değerlerinin topraktaki bağıl nemin azalmasıyla arttığı görülmüştür. Özellikle kış mevsiminde bağıl nemin en yüksek değerlere çıktığı ölçüm noktalarında  $^{222}\text{Rn}$  aktivite konsantrasyonu değerlerinin çok düşük olması neticesinde ölçüm sonucu alınamamıştır.





Şekil 4.69 : Kış mevsimi  $^{222}\text{Rn}$  aktivite konsantrasyonu değerlerinin toprakta ölçülen bağıl neme bağlı değişimi.



## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında Kırklareli ili ve ilçelerinin doğal ve yapay radyoaktivite düzeyleri toprak ve bitki örnekleri için belirlenmiştir. Ayrıca radyolojik açıdan insanların maruz kalabilecekleri doz değerleri de hesaplanmış ve dünya ortalamaları ile karşılaştırılarak yorumlanmaya çalışılmıştır.

Toprak örnekleri için en yüksek  $^{226}\text{Ra}$  aktivite konsantrasyonu  $56.85 \pm 0.76 \text{ Bq kg}^{-1}$  olarak kış mevsiminde Babaeski ilçesinde, en yüksek  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonu  $95.82 \pm 2.16 \text{ Bq kg}^{-1}$  ile yaz mevsiminde Kofçaz ilçesinde bulunmuştur. En yüksek  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonu ise  $926.86 \pm 14.93 \text{ Bq kg}^{-1}$  olarak sonbahar mevsiminde Kofçaz ilçesinde elde edilmiştir. Tarım arazilerinden toplanan toprak örneklerinde  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonları karşılaştırıldığında en yüksek değer  $6.72 \pm 0.53 \text{ Bq kg}^{-1}$  ile ilkbahar mevsiminde Vize ilçesindedir. Radyolojik tehlikeyi belirlemek için hesaplanan soğurulan gama doz hızı (D), yıllık etkin doz eşdeğeri (AEDE) ve yaşam boyu kanser riski (ELCR) değerleri en yüksek yaz mevsiminde Kofçaz ilçesinde bulunmuş ve sırasıyla  $114.17 \text{ nGy h}^{-1}$ ,  $140.02 \text{ } \mu\text{Sv y}^{-1}$  ve  $0.56 \times 10^{-3}$  olarak elde edilmiştir. Ayçiçeği örnekleri için en yüksek  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonu  $426.51 \pm 29.42 \text{ Bq kg}^{-1}$  olarak Pehlivan köyünde ölçülmüş olup,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonları ihmal edilebilir seviyelerde elde edilmiştir.  $^{40}\text{K}$  için topraktan ayçiçeğine transfer faktörleri hesaplanmış ve en yüksek transfer faktörü 1.17 olarak Kofçaz ilçesinde bulunmuştur.

Topraktaki en yüksek radon gaz konsantrasyonu yaz mevsiminde Kofçaz ilçesinde  $64.45 \text{ kBq m}^{-3}$  olarak ölçülmüştür.  $^{222}\text{Rn}$  ve  $^{220}\text{Rn}$  sırasıyla  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  bozunum serisi ürünüdür. Bu nedenle;  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  konsantrasyonlarının yüksek olduğu yerlerde  $^{222}\text{Rn}$  ve  $^{220}\text{Rn}$  konsantrasyonlarının da yüksek olması beklenmektedir (Yalın ve ark., 2019).  $^{238}\text{U}$  bozunum zincirinde yer alan  $^{222}\text{Rn}$ ;  $^{226}\text{Ra}$ 'nın alfa bozunumuna uğraması sonucunda oluşmaktadır. Dolayısıyla, topraktaki  $^{226}\text{Ra}$  aktivite konsantrasyonu radon konsantrasyonu hakkında tahmin yürütmemizi sağlamaktadır (Zhang ve ark., 2009).  $^{226}\text{Ra}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonlarının yüksek olduğu Kofçaz ilçesinde en yüksek radon gaz konsantrasyonu değerleri ölçülmüştür. Kofçaz

ilçesinde aktivite konsantrasyonlarının incelenmesine yönelik detaylı çalışmaların gelecekte de yapılması planlanmaktadır.

Bilindiği gibi, günümüzde canlıların maruz kaldığı radyasyon dozunun %85'i doğal, %15'i de yapay radyonüklidlerden kaynaklanmaktadır. Yaşadığımız çevrede doğal radyonüklid konsantrasyonları, başta fosil yakıtlar, fosfat endüstrisi, yapay olarak üretilen gübreler ve tarım zirai ilaçları nedenleriyle sürekli artış göstermektedir. Ayrıca, topraktaki radyonüklid konsantrasyonları toprağın bazı önemli fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre de değişim göstermektedir. Tüm bunlara ilave olarak özellikle 1986 yılında meydana gelen Çernobil Nükleer Santral kazası sonrası ülkemiz özellikle Karadeniz ve Marmara bölgesi olarak ciddi anlamda radyoaktiviteye maruz kalmıştır. Bu kaza sonrasında yapay bir radyonüklid olan  $^{137}\text{Cs}$  çevreye yayılmıştır.  $^{137}\text{Cs}$ , 30 yıl gibi uzun bir yarı ömre sahiptir ve yıllarca etkisi sürmektedir. Tüm bunlar göz önüne alındığı zaman ülkemizde bu tür çevre izleme çalışmalarının yapılması önem arz etmektedir.

Radyonüklidlerin solunum ve besin yolu ile vücuda alınması, maruz kalınan doz açısından önemli ve tehlike arz eden bir durumdur. Bu nedenle, radyonüklid konsantrasyonlarının toprakta olduğu kadar bitkilerde de saptanması ve transfer faktörlerinin bulunması gereklidir.

Bu zamana kadar Kırklareli'nde bu konuda geniş kapsamlı yapılmış bir tez yapılmamış olup bu çalışma ile bölgede oluşabilecek bir kontaminasyona karşı hazırlıklı olunabileceği gibi, tüm verilerin bulunacağı bir radyoaktivite veri bankasının temeli atılmış olacaktır. Ayrıca, bu çalışma ileride yapılacak bu konudaki tezler ve çalışmalar için bilim insanlarına katkılar sağlayacaktır.

## KAYNAKLAR

- Abumurad, K. M., & Al-Tamimi, M. H.** (2005). Natural radioactivity due to radon in Soum region, Jordan. *Radiation measurements*, 39(1), 77-80.
- Ahmad, N., Jaafar, M., & Alsaffar, M.** (2015). Natural radioactivity in virgin and agricultural soil and its environmental implications in Sungai Petani, Kedah, Malaysia. *Pollution*, 1(3), 305-313.
- Aközcan, S., Yılmaz, M., & Külahcı, F.** (2014). Dose rates and seasonal variations of <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th, <sup>226</sup>Ra <sup>40</sup>K and <sup>137</sup>Cs radionuclides in soils along Thrace, Turkey. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 299(1), 95-101.
- Aközcan, S.** (2014). Natural and artificial radioactivity levels and hazards of soils in the Küçük Menderes Basin, Turkey. *Environmental earth sciences*, 71(10), 4611-4614.
- Aközcan, S., Külahcı, F., & Mercan, Y.** (2018). A suggestion to radiological hazards characterization of <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K and <sup>137</sup>Cs: spatial distribution modelling. *Journal of hazardous materials*, 353, 476-489.
- Akkaya, G.** (2011). "Bursa İli Toprak Numunelerinde Radyonüklid Dağılımının İncelenmesi"., Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens., Fizik ABD., Doktora Tezi.
- Alao, A. A.** (2016). Determination of excess lifetime cancer risk due to gamma radiation in some agricultural products obtained from two oil fields in the Niger Delta region of Nigeria. *IJSR. NET*, 5, 10.
- Ali, N., Khan, E. U., Akhter, P., Khan, F., & Waheed, A.** (2010). Estimation of mean annual effective dose through radon concentration in the water and indoor air of Islamabad and Murree. *Radiation protection dosimetry*, 141(2), 183-191.
- Alajeeli, A., Elmahroug, Y., Mohammed, S., & Trabelsi, A.** (2019). Determination of natural radioactivity and radiological hazards in soil samples: Alhadba and Abuscabh agriculture projects in Libya. *Environmental Earth Sciences*, 78(6), 194.
- Alazemi, N., Bajoga, A. D., Bradley, D. A., Regan, P. H., & Shams, H.** (2016). Soil radioactivity levels, radiological maps and risk assessment for the state of Kuwait. *Chemosphere*, 154, 55-62.

- Alharbi, A., & El-Taher, A.** (2013). A study on transfer factors of radionuclides from soil to plant. *Life Science Journal*, 10(2), 532-539.
- Al-Hamarneh, I. F., & Awadallah, M. I.** (2009). Soil radioactivity levels and radiation hazard assessment in the highlands of northern Jordan. *Radiation Measurements*, 44(1), 102-110.
- Almayahi, B. A., Tajuddin, A. A., & Jaafar, M. S.** (2013). In situ soil  $^{222}\text{Rn}$  and  $^{220}\text{Rn}$  and their relationship with meteorological parameters in tropical Northern Peninsular Malaysia. *Radiation Physics and Chemistry*, 90, 11-20.
- Al Mugren, K. S.** (2015). Assessment of natural radioactivity levels and radiation dose rate in some soil samples from historical area, Al-Rakkah, Saudi Arabia. *Natural Science*, 7(05), 238.
- Alpen, E. L.** (1997). *Radiation biophysics*. Academic Press.
- Arioğlu, H.** (1999). Yağ Bitkileri Yetiştirme ve Islahı. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No: 220, Adana.
- Asaduzzaman, K., Khandaker, M. U., Amin, Y. M., & Mahat, R.** (2015). Uptake and distribution of natural radioactivity in rice from soil in north and west part of peninsular malaysia for the estimation of ingestion dose to man. *Annals of Nuclear Energy*, 76, 85-93.
- Assie, A., Oudah, A. J. A., Jassim, A. S., & Al-Mashhadani, A. H.** (2016). Determination of natural radioactivity by gamma spectroscopy in Balad soil, Iraq. *Pelagia Research Library Advances in Applied Science Research*, 7(1), 35-41.
- Banjanac, R., Dragić, A., Grabež, B., Joković, D., Markushev, D., Panić, B., Aničin, I.** (2006). Indoor radon measurements by nuclear track detectors: Applications in secondary schools. *Facta universitatis-series: Physics, Chemistry and Technology*, 4(1), 93-100.
- Banzi, F., Msaki, P., & Mohammed, N.** (2017). Assessment of radioactivity of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$  in soil and plants for estimation of transfer factors and effective dose around Mkuju River Project, Tanzania. *Mining of Mineral Deposits*.
- Bayati, A. A. A., Mashhadani, A. H. A., Jabar, Q. S., & Al-Hamidawi, A. A.** (2012). Measurement of radon and thoron concentrations of soil-gas in Al-Kufa city using RAD-7 detector. *Iraqi Journal of Physics*, 10(19), 110-116.
- Baykal, S.** (2007). Yeni Tıp Gama Dedektörleri Ve İz Sürme Tekniği, Ankara Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi.
- Baykara, O. and Doğru, M.** (2006). Measurements of radon and uranium concentration in water and soil samples from East Anatolian Active Fault Systems (Turkey), *Radiation Measurements*, 41, 362–367.

- Bayrak, A.** (2012). Silikon Pın Fotodiyot Bazlı Radon Saha Monitörü Dizayn Ve Optimizasyonu (Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Beiser, A.** (2008). Modern fizigin kavramları 6. Baskıdan Ceviri (cev.: Gulsen Onengut).
- Beretka J and Mathew PJ.** (1985). Natural radioactivity of Australian building materials, industrial wastes and byproducts. *Health Phys*, **48**: 87-95.
- Bilici Cengiz, G.** (2017), “ Natural radioactivity analysis in soil samples of Ardahan province, Turkey for the assessment of the average effective dose”, *Sakarya Üniversitesi Fen Bil. Enstitüsü Dergisi* 21 (6), 1583-1590.
- Bloch, F.** (1946). Nuclear introduction. *Physiol Rev* (Vol. 70).
- Bostancı, S.** (2011). “Ondokuz Mayıs Üniversitesi Kurupelit Kampüsü ve Samsun Ğl Merkezinin Doğal Radyoaktivite Seviyesinin Belirlenmesi”, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens., Fizik ABD, Y.Lisans Tezi.
- Camgöz, B., Saç, M. M., Bolca, M., Özen, F., Oruç, Ö. E., & Demirel, N.** (2010). Termal Suların Radyoaktivite ve Kimyasal İçeriklerinin İncelenmesi; İzmir, Seferihisar Bölgesi Örneği. *Ekoloji*, 19(76), 78-87.
- Çelebi, N.,** (1995). Çevresel Örneklerde Uranyum, Radyum ve Radon Ölçüm Tekniklerinin Geliştirilmesi, Doktora Tezi
- Çetin, B., Öner, F., & Akkurt, I.** (2016). Determination of natural radioactivity and associated radiological hazard in excavation field in Turkey (Oluz Höyük). *Acta Physica Polonica A*, 130(1), 475-478.
- Chakraborty, S. R., Azim, R., Rahman, A. R., & Sarker, R.** (2013). Radioactivity concentrations in soil and transfer factors of radionuclides from soil to grass and plants in the Chittagong city of Bangladesh. *Journal of Physical Science*, 24(1), 95.
- Chaudhuri, P., Naskar, N., & Lahiri, S.** (2017). Measurement of background radioactivity in surface soil of Indian Sundarban. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 311(3), 1947-1952.
- Chen, J., Moir, D., MacLellan, K., Leigh, E., Nunez, D., Murphy, S., & Ford, K.** (2011). Soil radon measurements in the Canadian cities. *Radiation protection dosimetry*, 151(1), 172-174.
- Cosma, C., Cucuș-Dinu, A., Papp, B., Begy, R., & Sainz, C.** (2013). Soil and building material as main sources of indoor radon in Băița-Ștei radon prone area (Romania). *Journal of environmental radioactivity*, 116, 174-179.
- Coşkun, Ö.** (2011). Biological Effects of Ionizing Radiation, 1(2), 13–17.
- Carpender, J. W. J.; Crosby, E. Howard.** (1970). Handbook of Radioactive Nuclides.

- Chen, J., Ly, J., Bergman, L., Wierdsma, J., & Klassen, R. A.** (2008). Variation of soil radon concentrations in southern Ontario. *Radiation protection dosimetry*, 131(3), 385-389.
- Chen J, Moir D, Whyte J.** (2012). Canadian population risk of radon induced lung cancer: a re-assessment based on the recent cross-Canada radon survey. *Radiat Prot Dosimetry* 2012;152:9-13.
- Darby S, Hill D, Auvinen A, Barros-Dios JM, Baysson H, Bochicchio F.** (2005). Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *BMJ* 2005;330:223.
- Darby S, Hill D, Deo H, Auvinen A, Barros-Dios JM, Baysson H.** (2006). Residential radon and lung cancer--detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7148 persons with lung cancer and 14,208 persons without lung cancer from 13 epidemiologic studies in Europe. *Scand J Work Environ Health*;32 Suppl 1:1-83.
- Dams, R. C. C. E. A. F.** (2013). *Applied gamma-ray spectrometry*. Elsevier, 41.
- 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.
- Demirel, S.** (2013). Konya'nın İçme Suyunun Sağlandığı Bazı Kuyu Sularında  $^{222}\text{Rn}$  Konsantrasyonu Değişimlerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi.
- Dizman, S., Görür, F. K., & Keser, R.** (2016). Determination of radioactivity levels of soil samples and the excess of lifetime cancer risk in Rize province, Turkey. *International Journal of Radiation Research*, 14(3), 237-244.
- Durusoy, A., Yıldırım, M.** (2017), "Determination of Radioactivity Concentrations in Soil Samples and Dose Assessment For Rize Province, Turkey", *Journal of Radiation Research and Applied Sciences* 10, 348-352.
- Eappen, K.P., Nair, R.N. and Mayya, Y.S.** (2008). Simultaneous measurement of radon and thoron using Lucas scintillation cell, *Radiation Measurements*, 43, 91–97.
- Edomi, O., Mokobia, C. E., & Oghenevovwero, E. E.** (2018). Radiological Evaluation of Soil in Some Selected Oil and Gas Producing Communities in Delta Central, Delta State Nigeria. *Asian Journal of Physical and Chemical Sciences*, 1-10.
- El-Gamal, H., Hussien, M. T., & Saleh, E. E.** (2019). Evaluation of natural radioactivity levels in soil and various foodstuffs from Delta Abyan, Yemen. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 12(1), 226-233.



- El-Taher, A., & Al-Turki, A.** (2014). Soil-to-plant transfer factors of naturally occurring radionuclides for selected plants growing in Qassim, Saudi Arabia. *Life Science Journal*, 11(10).
- Ereeş, F.S., Aytaş, Ş., Saç, M.M., Yener, G. and Şalk, M.** (2007). Radon concentrations in thermalwaters related to seismic events along faults in the Denizli Basin, Western Turkey *Radiation Measurements*, 42, 80–86.
- Fadol, N., Salih, I., Idriss, H., Elfaki, A., & Sam, A.** (2015). Investigation of natural radioactivity levels in soil samples from North Kordofan State, Sudan. *Research Journal of Physical Sciences* ISSN, 2320, 4796.
- Fleischer, R. L., Price, P. B., Walker, R. M., & Walker, R. M.** (1975). *Nuclear tracks in solids: principles and applications*. Univ of California Press.
- Fisne, A.** (2002) Yer altı Madenlerinde Radon Gazı Konsantrasyon Seviyelerinin Belirlenmesi ve İşçi Sağlığı Üzerine Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Maden Mühendisliği Fakültesi, İstanbul, 82 s.
- Gökharman, D., Aydın, S., & Koşar, P.** (2016). Radyasyon güvenliğinde mesleki olarak bilmemiz gerekenler. *SDÜ Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(2), 35–40.
- Günay, O.** (2016) Batı Marmara Bölgesi'nde Toprak Gazı Radon Konsantrasyon Değişimleri İle Yer Kabuğu Hareketleri Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir.
- Günay, O., Aközcan, S., & Kulalı, F.** (2018). Bina içi radon konsantrasyonlarının belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (13), 91-97.
- Günay, O., Saç, M. M., İçedef, M., & Taşköprü, C.** (2018). Soil gas radon concentrations along the Ganos Fault (GF). *Arabian Journal of Geosciences*, 11(9), 213.
- Günay, O., Saç, M. M., İçedef, M., & Taşköprü, C.** (2019). Natural radioactivity analysis of soil samples from Ganos fault (GF). *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(9), 5055-5058.
- Gürkan, H., Bulut, H., Eskiöglu, O., & Çalık, Y.** (2017) İklim modelleri ile ayçiçeği (*helianthus annuus* L.) verimi projeksiyonları. IV. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi.
- Harb, S., El-Kamel, A. H., El-Mageed, A. A., Abbady, A., & Rashed, W.** (2013). Radioactivity levels and soil-to-plant transfer factor of natural radionuclides from Protectorate area in Aswan, Egypt. *World Journal of Nuclear Science and Technology*, 2014.
- Hossain, M. A., Sakib, K. N., & Billah, M. M.** (2016). Determination of Natural and Artificial Radionuclides in Soil Samples of Bhola District, Bangladesh. *Journal of Pure Applied and Industrial Physics*, 6(4), 57-64.

- Huxtable, D., Read, D., Shaw, G.** (2017). Measuring radon-222 in soil gas with high spatial and temporal resolution. *Journal of environmental radioactivity*, 167, 36-42.
- Friedmann, H., Aric, K., Gutdeutsch, R., King, C. Y., Altay, C., & Sav, H.** (1988). Radon measurements for earthquake prediction along the North Anatolian Fault Zone: a progress report. *Tectonophysics*, 152(3-4), 209-214.
- Jazzar, M. M., & Thabayneh, K. M.** (2014). Transfer of natural radionuclides from soil to plants and grass in the Western North of West Bank Environment, Palestine. *Int. J. Environ. Monitoring and Analysis*, 2, 252-258.
- Iakovleava, V.S., Ryzhakova, N.K.** (2003). Spatial and Temporal Variations of Radon Concentration in Soil Air, *Radiation Measurements*, 36: 385-388.
- International Union of Radioecologists.** (1994). Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in temperate environments. Technical reports series no. 364. Vienna: International Atomic Energy Agency (IAEA).
- ICRP (International Commission on Radiological Protection).** (2007). The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Ann. ICRP* 37(2-4). Elsevier Ltd.
- Izrael, Y. A.** (2002). Radioactive fallout after nuclear explosions and accidents (Vol. 3). Elsevier.
- İçhedef, M.** (2011). Radon Difüzyon Hızının Farklı Büyük Toprak Gruplarına Göre Değişimlerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü, 123
- Kahveci Ö.** (2019). Ergene Nehri Havzasının Radyoaktivite Düzeyinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Kannan V, Rajan MP, Iyengar MAR, Ramesh R.** (2002). Distribution of natural and anthropogenic radionuclides in soil and beach sand samples of Kalpakkam (India) using hyperpure germanium (HPGe) gamma ray spectrometry. *Appl Radiat Isot* 57:109-119
- Kam, E., Yarar, Y., & Bozkurt, A.** (2009). A study of background radioactivity level for Tekirdag, Turkey. *Radiation protection dosimetry*, 138(1), 40-44.
- Kapoor, S. S., & Ramamurthy, V. S.** (1986). Nuclear radiation detectors (Vol. 1). New Age International.
- Karakılıç, V., Kuşçu, T., Eryıldız, G., & Kürkçüoğlu, M.** (2013). Ekonomik Bir Nükleer İz Kazıma Ünitesinin Üretilmesi ve Performansının Test Edilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 17(3), 1-8.

- Karataşlı, M., Turhan, Ş., Varinlioğlu, A., & Yeğingil, Z.** (2016). Natural and fallout radioactivity levels and radiation hazard evaluation in soil samples. *Environmental Earth Sciences*, 75(5), 424.
- Karpuzcu, M.** (1991). Çevre Kirlenmesi ve Kontrolü. Kubbealtı Publishing.
- Kaya, S., Karabıdak, S. M., & Çevik, U.** (2015). Gümüşhane İli Çevresinde Toplanan Toprak ve Karayosunu Örneklerinde Doğal (226 Ra, 232 Th ve 40 K) ve Yapay (137 Cs) Radyoaktivite Konsantrasyonlarının Belirlenmesi. Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 24-33.
- Khan, H. M., Chaudhry, Z. S., Ismail, M., & Khan, K.** (2010). Assessment of radionuclides, trace metals and radionuclide transfer from soil to food of Jhangar Valley (Pakistan) using gamma-ray spectrometry. *Water, Air, & Soil Pollution*, 213(1-4), 353-362.
- Kikaj, D., Jeran, Z., Bahtijari, M., & Stegnar, P.** (2016). Radon in soil gas in Kosovo. *Journal of environmental radioactivity*, 164, 245-252.
- Kim, S. H., Koh, S. B., Lee, C. M., Kim, C., & Kang, D. R.** (2018). Indoor radon and lung cancer: estimation of attributable risk, disease burden, and effects of mitigation. *Yonsei medical journal*, 59(9), 1123-1130.
- Kim SH, Hwang WJ, Cho JS, Kang DR.** (2016). Attributable risk of lung cancer deaths due to indoor radon exposure. *Ann Occup Environ Med*; 28:8.
- King, C. Y.** (1978), Radon Emanation on San Andreas Fault, *Nature*, 271, 516-519.
- Knoll, G. F.** (2000). *Radiation Detection and Measurement* 3rd edition John Wiley and Sons. New York.
- Kolo, M. T., Amin, Y. M., Khandaker, M. U., & Abdullah, W. H. B.** (2017). Radionuclide concentrations and excess lifetime cancer risk due to gamma radioactivity in tailing enriched soil around Maiganga coal mine, Northeast Nigeria. *International Journal of Radiation Research*, 15(1), 71.
- Koray, A., Akkaya, G., Kahraman, A., & Kaynak, G.** (2013). Measurements of radon concentrations in waters and soil gas of Zonguldak, Turkey. *Radiation protection dosimetry*, 162(3), 375-381.
- Köhler, M., Gleisberg, B., & Niese, S.** (2000). Investigation of the soil–plant transfer of primordial radionuclides in tomatoes by low-level  $\gamma$ -ray spectrometry. *Applied Radiation and Isotopes*, 53(1-2), 203-208.
- Köseoğlu K.** (1992). Eskişehir toryum yataklarına yakın yerleşim bölgelerinde üretilen tahıllardaki toryum ve ürünleri konsantrasyonunun belirlenmesi, E.Ü. Fen Bil. Ens. Nükleer Bil. ABD, Yüksek Lisans Tezi.

- Krieger, R.** (1981). Radioactivity of construction materials. *Betonwerk Fertigteil Techn*, 47(468).
- Krewski D, Lubin JH, Zielinski JM, Alavanja M, Catalan VS, Field RW.** (2005). Residential radon and risk of lung cancer: a combined analysis of 7 North American case-control studies. *Epidemiology* 16:137-45.
- Kulali, F.** (2009). Topraktaki Radon Konsantrasyonu Ölçümü ve Deprem İlişkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi.
- Kulali, F., & Akkurt, İ.** (2015). Investigation of radon concentrations in Pamukkale-Turkey. *Acta Phys Pol A*, 128, 445-446.
- Kulali, F., Akkurt, I., & Özgür, N.** (2017). The effect of meteorological parameters on radon concentration in soil gas. *Acta Phys Pol, A*, 132, 999-1001.
- Kullab, M. K., Al-Bataina, B. A., Ismail, A. M., & Abumurad, K. M.** (2001). Seasonal variation of radon-222 concentrations in specific locations in Jordan. *Radiation measurements*, 34(1-6), 361-364.
- Kullab, M.** (2005). Assessment of radon-222 concentrations in buildings, building materials, water and soil in Jordan. *Applied radiation and isotopes*, 62(5), 765-773.
- Kumru, M. N.** (1992). Determination of radium-226 in environmental samples by the collector chamber method. *International journal of radiation applications and instrumentation. Part A. Applied radiation and isotopes*, 43(8), 1031-1034.
- Kurnaz, A., Küçükömeroğlu, B., Keser, R., Okumusoglu, N. T., Korkmaz, F., Karahan, G., & Çevik, U.** (2007). Determination of radioactivity levels and hazards of soil and sediment samples in Fırtına Valley (Rize, Turkey). *Applied Radiation and Isotopes*, 65(11), 1281-1289.
- Kurt, A.** (2015). İstanbul İli Fatih İlçesi İlköğretim Okullarında İç Hava Radon Konsantrasyonlarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi.
- Meggitt, G. C.** (1983). Radon and Thoron in Buildings. *Radiat. Prot. Dosim.* 5, 5-17.
- Meral, U.B.** (2019). Ayçiçeği (*Helianthus annuus L.*) Bitkisinin Önemi ve Üretimine Genel Bir Bakış *International Journal of Life Sciences and Biotechnology*, 2(2): p. 58-71.
- Mittal, S., Rani, A., & Mehra, R.** (2016). Estimation of radon concentration in soil and groundwater samples of Northern Rajasthan, India. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 9(2), 125-130.
- Monnin, M.M. and Siedel, J.L.** (1997). Physical Models Related to Radon Emission in Connection with Dynamic Manifestations in the Upper Terrestrial Crust: A Review, *Radiation Measurements*, 28 (I-6), 703-712.

- Myers, W. G.** (1976). Becquerel's Discovery of Radioactivity in 1896, 17(7), 579–582.
- Ngachin, M., Garavaglia, M., Giovani, C., Njock, M. K., & Nourreddine, A.** (2008). Radioactivity level and soil radon measurement of a volcanic area in Cameroon. *Journal of environmental radioactivity*, 99(7), 1056-1060.
- Özdemir, F.B.** (2006). "Afyon ve Çevresindeki Kuyu sularında Radon (Rn-222) Aktivitesi Tayini", Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özdemir, İ.** (2015). Temel tıbbi (radyolojik) görüntüleme tekniği. Hiperlink eğit. ilet. yay. san. tic. ve ltd. sti.
- Papastefanou, C.** (2007). Measuring radon in soil gas and groundwaters: a review, *Annals of geophysics*, 50:569-578.
- Pereira, A. J. S. C., Godinho, M. M., & Neves, L. J. P. F.** (2010). On the influence of faulting on small-scale soil-gas radon variability: a case study in the Iberian Uranium Province. *Journal of environmental radioactivity*, 101(10), 875-882.
- Perrier, F., Richon, P., & Sabroux, J. C.** (2009). Temporal variations of radon concentration in the saturated soil of Alpine grassland: the role of groundwater flow. *Science of the total environment*, 407(7), 2361-2371.
- Radolić, V., Poje Sovilj, M., Stanić, D., & Miklavčić, I.** (2017). Radon in soil gas and constructed geogenic radon potential in Croatia. 29. симпозијум ДЗЗСЦГ: зборник радова, 192-199.
- Parsons, P.** (2014). *The Periodic Table: A Visual Guide to the Elements*. Quercus.
- Rani, A., Mittal, S., Mehra, R., & Ramola, R. C.** (2015). Assessment of natural radionuclides in the soil samples from Marwar region of Rajasthan, India. *Applied Radiation and Isotopes*, 101, 122-126.
- Richon, P., Bernard, P., Laved, V., Sabroux, J.-C., Beneito, A., Lucius, D., Abbad, S. and Robe, M.-C.** (2007). Results of monitoring <sup>222</sup>Rn in soil gas of the Gulf of Corinth region, Greece, *Radiation Measurements*, 42, 87 – 93.
- Pourimani, R., & Mortazavi Shahroudi, S. 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.
- Pradeep, A. S., Geremew, H., & Getachew, B.** (2016). Natural radio activity levels in water and soil at Kemessie Hot Spring, north-eastern Ethiopia. *Radiat. Sci. and Technol*, 2(1), 1-5.

- P.R.M.A** (Portatif Radon Monitörü “AlphaGUARD”) Kullanım Kılavuzu.
- Ruckerbauer, F. ve Winkler, R.** (2001). Radon concentration in soil gas: a comparison of methods, *Applied Radiation and Isotopes*, 55, 273–280.
- Pulhani, V. A., Dafauti, S., Hegde, A. G., Sharma, R. M., & Mishra, U. C.** (2005). Uptake and distribution of natural radioactivity in wheat plants from soil. *Journal of environmental radioactivity*, 79(3), 331-346.
- Saç, M.M. ve Camgöz, B.** (2005). İzmir’ de Sismik Aktiviteler ile Radon Konsantrasyonları arasındaki İlişkinin İncelenmesi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, Cilt 7, Sayı 3, 47-54.
- Saeed, M. A., Yusof, S. S., Hossain, I., Ahmed, R., Abdullah, H. Y., Shahid, M., & Ramli, A. T.** (2012). Soil to rice transfer factor of the natural radionuclides in Malaysia. *Rom J Phys*, 57(9-10), 1417-1424.
- Salama, E., El-Fiki, S. A., Ibrahim, A., & Diab, H. M.** (2015). Distribution of radionuclides in soil and beach samples of the Western Coast of Suez Gulf, Egypt. *Arab J Nucl Sci Appl*, 48(2), 63-69.
- Samreh, M. M. A., Thabayneh, K. M., & Khrais, F. W.** (2015). Measurement of activity concentration levels of radionuclides in soil samples collected from Bethlehem Province, West Bank, Palestine. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 38(2), 113-125.
- Scholz, C.H., Sykes, L.R., Agrawal, Y.P.** (1973). Earthquake prediction: a physical basis, *Science*, 181, 803-810.
- Semerci, A.** (2006). Trakya’da tarımsal yapı, verimlilik ve gelişmişlik düzeyi. *Tarım ve Mühendislik Dergisi*, (76-77).
- Shanthi, G., Thanka Kumaran, J. T., Gnana Raj, G. A., & Maniyan, C. G.** (2011). Transfer factor of the radionuclides in food crops from high-background radiation area of south west India. *Radiation protection dosimetry*, 149(3), 327-332.
- Si, H.** (2018). Indoor air pollution, lung cancer and solutions, *Cancer Cell Research*, 464-470.
- Singh, A. K.** (2005). *Advanced x-ray techniques in research and industry*. IOS Press.
- Soğukpınar, H.** (2013). “Eskişehir ilinde kapalı ortam radon yoğunlukları için mevsimsel düzeltme faktörlerinin belirlenmesi”, *Doktora Tezi*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Soniya, S. R., Monica, S., Vishnu Prasad, A. K., & Jojo, P. J.** (2017). Heterogeneity of radioactivity in soil from Varkala, Kerala. *Int J Pure Appl Phys*, 13, 209-14.

- Stojanovska, Z., Boev, B., Dimov, G., & Ajka, S.** (2017). Spatial and temporal variability of soil gas radon concentration and permeability: study performed in Eastern part of Macedonia.
- Swakoń, J., Kozak, K., Paszkowski, M., Gradziński, R., Łoskiewicz, J., Mazur, J., Olko, P.** (2005). Radon concentration in soil gas around local disjunctive tectonic zones in the Krakow area. *Journal of Environmental Radioactivity*, 78(2), 137-149.
- Al-Sulaiti, H., Nasir, T., Al Mugren, K. S., Alkhomashi, N., Al-Dahan, N., Al-Dosari, M., & Malain, D.** (2016). Determination of the activity concentration levels of the artificial radionuclide  $^{137}\text{Cs}$  in soil samples collected from Qatar using high-resolution gamma-ray spectrometry. In *International Journal of Modern Physics: Conference Series* (Vol. 44, p. 1660237). World Scientific Publishing Company.
- Chakraborty, S. R., Azim, R., Rahman, A. R., & Sarker, R.** (2013). Radioactivity concentrations in soil and transfer factors of radionuclides from soil to grass and plants in the Chittagong city of Bangladesh. *Journal of Physical Science*, 24(1), 95.
- Tabar E.** (2010). Dikili ve Bergama Bölgelerindeki Tektonik Aktivitenin Jeotermal Sularda Radon Ölçümleri İle Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü.
- Tabar, E.** (2017). Radon Ölçümünde Kullanılan Lr-115 Tip-II Detektörlerinin Kalibrasyonu. *Sakarya University Journal of Science*, 21(3), 356-362.
- Tabar, E., Yakut, H., Saç, M. M., Taşköprü, C., İçhedef, M., & Kuş, A.** (2017). Natural radioactivity levels and related risk assessment in soil samples from Sakarya, Turkey. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 313(1), 249-259.
- Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü Raporu** (2018).
- Taskin H, Karavus M, Ay P, Topuzoglu A, Hideoğlu S, Karahan G** (2009) Radionuclide concentrations in soil and lifetime cancer risk due to gamma radioactivity in Kırklareli, Turkey. *Journal of Environmental Radioactivity*, 100(1): 4953. 36.
- Taşköprü C.** (2014). Küçük Menderes havzası topraklarında radon difüzyon katsayılarının belirlenmesi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri enstitüsü, Fizik Bölümü, Yüksek Lisans Tezi
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK)** (2014). Teknik Rapor, Konutlarda Radon Ölçümleri.
- Tekin, B.** (1992). Radyoaktiviteden Atom Bombasına.
- Tezsezer, Ş.** (2010). Ayvalık Sarımsaklı Kumsalı Deniz Suyu Ve Kum Örneklerinde K-40 Radyoizotopu Tayini, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

**Topcuoğlu, S., Güngör, N., Köse, A., Kırbasoğlu, Ç., Akkurt, İ.** The classification of soil systems on the basis of transfer factors of radionuclides from soil to reference plants. IAEA, CRP Project: 10572/RÖ, Final Report, 2003.

**Tufaner, F.** (2011). Doğal Radon Emisyonunun İnsan Sağlığına Etkileri ve Alınması Gereken Tedbirler, Çankırı Araştırmaları Dergisi.

**Tüfekcioğlu, F.** (2015). Radon Konsantrasyonlarının Ölçümü ve Süreksizliklerin Araştırılması. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği ABD., Doktora Tezi.

**TÜİK,** Bitkisel Üretim İstatistikleri

**Yalım, H. A., Gümüş, A., Başaran, C., Bağcı, M., Yıldız, A., Açil, D., Ünal, R.** (2018). Comparison of radon concentrations in soil gas and indoor environment of Afyonkarahisar Province. Arabian Journal of Geosciences, 11(11), 246.

**Yalım, H. A., Gümüş, A., & Ünal, R.** (2019). Correlation between Soil Gas Radon Concentrations and Terrestrial Radioactivity (U-238 and Th-232) in Afyonkarahisar. ALKÜ Fen Bilimleri Dergisi, 188-194.

**Yılmaz, E.** (2016). Akşehir Fay Hattında Toprakta Radon Konsantrasyonu Ölçümü, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi.

**Young, H. D., Freedman, R. A., & Ford, L.** (2007). University Physics Vol 2 (Chapters 21-37) (Vol. 2). Pearson education.

**Young, M. F.** (2009). Essential Physics for Manual Medicine E-Book. Elsevier Health Sciences.

**Yuksel, D., & F. S., K.** (2001). Radyasyon biyolojisi.

**United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR).** (1993). Sources, Effects, and Risks of Ionizing Radiation. United Nations sales publication No.E. 94.IX.2. New York

**United Nations Scientific Committee on the effects of atomic radiation (UNSCEAR).** (2000). Sources And Effects Of Ionizing Radiation, UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly with Scientific Annexes.

**United Nations Scientific Committee on the effects of atomic radiation (UNSCEAR).** (2008). Sources and effects of ionizing radiation. United Nations, New York.

**Url-1** <[https://tr.wikipedia.org/wiki/Elektromanyetik\\_spektrum](https://tr.wikipedia.org/wiki/Elektromanyetik_spektrum)>, alındığı tarih: 20.03.2019.

**Url-2** <<https://www.britannica.com/science/radon#ref237174>>, alındığı tarih: 12.05.2019.



**Url-3** <<https://www.labor-gumm.de/leistungen/beratung-und-begutachtung/radon-messungen>>, alındığı tarih: 28.03.2019.

**Url-4** <<https://docplayer.biz.tr/11571781-Radyasyon-sagligi-ve-korunma.html>>, alındığı tarih: 12.06.2019.

**Url-5** <<https://www.taek.gov.tr/tr/2016-06-09-00-43-46/1084-yapay-radyasyon-kaynaklari.html>>, alındığı tarih: 12.06.2019.

**Valkovic, V.** (2000). Radioactivity in the Environment.

**Vaupotič, J., Andjelov, M., & Kobal, I.** (2002). Relationship between radon concentrations in indoor air and in soil gas. *Environmental Geology*, 42(6), 583-587.

**Zaim, N., & Atlas, H.** (2016). Assessment of radioactivity levels and radiation hazards using gamma spectrometry in soil samples of Edirne, Turkey. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 310(3), 959-967.

**Zhang, W., Ungar, K., Chen, J., St-Amant, N., & Tracy, B. L.** (2009). An accurate method for the determination of <sup>226</sup>Ra activity concentrations in soil. *Journal of radioanalytical and nuclear chemistry*, 280(3), 561-567.



## ÖZGEÇMİŞ

**Ad Soyad** : Selin ÖZDEN  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : İzmir – 17/11/1988  
**E-Posta** : selinnozden@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2011, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü
- **Yükseklisans** : 2014, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Programı

### DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Özden, S., & Koç, M. M. (2019). Wet-chemical etching of GaAs (211) B wafers for controlling the surface properties. *International Journal of Surface Science and Engineering*, 13(2-3), 79-109.
- Özden, S., & Koc, M. M. (2018). Spectroscopic and microscopic investigation of MBE-grown CdTe (211) B epitaxial thin films on GaAs (211) B substrates. *Applied Nanoscience*, 8(4), 891-903.
- Bilgilişoy, E., Özden, S., Bakali, E., Karakaya, M., & Selamet, Y. (2015). Characterization of CdTe growth on GaAs using different etching techniques. *Journal of Electronic Materials*, 44(9), 3124-3133.
- S. Aközcan and S. Özden "Radioactivity Measurements In Sediments Collected From Aliğa, İzmir (Turkey)", International Natural Science, Engineering and Material Technologies Conference (NEM2019), Sep 9-10, 2019- İstanbul / TURKEY.
- S. Özden, S. Aközcan "Ege Bölgesi'nin Farklı Noktalarından Toplanan Topraklarda 137Cs Ölçümü" Trakya Üniversiteler Birliği IV. Lisansüstü Öğrenci Kongresi, 2019.
- S. Özden and M. M. Koç "Chemical Treatment and Characterization of (211)B GaAs Wafer Surfaces", 3 rd International Organic Electronic Material Technology Conference (OEMT2018), 20-22 September 2018, İğneada Kırklareli.

- S. Özden and M. M. Koç "CdTe Thin Films for Infrared Detector Applications", 3rd International Organic Electronic Material Technology Conference (OEMT2018), 20-22 September 2018, İğneada Kırklareli.
- S. Aközcan, O. Günay, M. B. Öztürk, S. Özden "Determination of  $^{137}\text{Cs}$  concentrations in Kadikoy-Istanbul", 3rd International Organic Electronic Material Technology Conference (OEMT2018), 20-22 September 2018, İğneada Kırklareli.
- S. Özden and M. M. Koç "Etch Pit Studies In CdTe (211)B Films For Buffer Layer Applications", International Conference On Agriculture, Technology, Engineering and Sciences, 19-21 September 2018, Lviv Ukraina.
- S. Özden and M. M. Koç "Characterization of Molecular Beam Epitaxial Grown CdTe (211)B Films on GaAs (211)B", International Conference on Physical Chemistry and Functional Materials (PCFM'18), 19-21 June 2018, Elazığ.
- S. Aközcan and S. Özden "A Survey of Natural Terrestrial Radionuclides in Soil Samples from the Aegean Region (Turkey)", International Conference on Physical Chemistry and Functional Materials (PCFM'18), 19-21 June 2018, Elazığ.
- E. Bilgilişoy, S. Özden, E. Bakali, M. Karakaya, Y. Selamet "Characterization of CdTe Growth on GaAs with Using Different Etching Techniques", II-VI Workshop 2014 Chicago.
- S. Özden, S. Duman, Y. Selamet "Temperature Dependence of Raman Scattering in (211)B CdTe/GaAs Grown by Molecular Beam Epitaxy", Science and Applications of Thin Films Conference and Exhibition, 2014.
- S. Özden, E. Tarhan, Y. Selamet "Islak Kimyasal Aşındırma ve Oksit Katman Kaldırma İşlemleri Sonrası GaAs(211)B Yüzeyinin Raman Spektroskopisi Analizi" Yoğun Madde Fiziği İzmir Toplantısı, 2014.
- M. Polat, S. Özden, O. Arı, E. Özçeri, Y. Selamet "GaAs (211)B Hazır Tabanının Yüzey İncelemesi", GEFİK 2014.
- S. Özden, M. Polat, O. Arı, N. Yağmırcukardeş, E. Tarhan, Y. Selamet "Investigation of Wet-Chemically Etched GaAs(211)B Surface Before Cadmium Telluride Growth", II-VI Workshop 2013 Chicago.
- S. Özden, D. Abukay "YBCO İnce Filmlerin Atımlı Lazer Yığıma Tekniği (PLD) ile Üretilmesi ve Karakterizasyonu", Yoğun Madde Fiziği İzmir Toplantısı, 2012.
- S. Özden, D. Abukay "Fabrication of YBCO Thin Films by Pulsed Laser Deposition", International Student Workshop on Condensed Matter and Materials Physics, 2011.