



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



Yüksek Lisans Tezi

**ÇEŞİTLİ GÜBRELERDEN BİTKİLERE GEÇEN
RADYONÜKLİDLERİN GAMA SPEKTROSKOPİ YÖNTEMİ İLE
İNCELENMESİ**

DİLARA OTU

Fizik Anabilim Dalı

Nükleer Fizik Programı

**DANIŞMAN
Prof. Dr. ELA GANİOĞLU NUTKU**

Şubat, 2021

İSTANBUL

Bu çalışma, 26.02.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı, Nükleer Fizik Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Prof. Dr. Ela GANİOĞLU NUTKUI(Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Prof. Dr. Latife ŞAHİN YALÇINI
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Prof. Dr. Melahat BAYAR
Kocaeli Üniversitesi
Fen Edabiyat Fakültesi

İntihal Programı Beyanı

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi’nin aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.



ÖNSÖZ

Yüksek Lisans eğitimim sürecinde bilgi ve deneyimlerinden çok şey öğrendiğim, bu süre zarfı boyunca bana çok şey katan, her zaman bana destek olan sevgili danışman hocam Prof. Dr. Ela GANİOĞLU NUTKU' ya her şey için çok teşekkür ederim.

Yüksek Lisans eğitimim sürecinde, tez çalışmam için katkı sağlayan Prof. Dr. Latife ŞAHİN YALÇIN' a teşekkür ederim.

Yüksek Lisans eğitimim sürecinde bilgisinden yararlandığım, her soruma bıkmadan cevap veren, yardıma ihtiyacım olduğu zaman bana her zaman destek olan sevgili hocam Dr. Nurgül HAFIZOĞLU ALKAN' a teşekkür ederim.

Tez çalışmam için bahçede ekim işleri için yardım eden, Hanife DURAN, Muzaffer DURAN, Ersel ACAR, Özden ACAR ve Mustafa ACAR' a teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmam ile ilgili bana destek veren, yanımda olan arkadaşım Araş. Gör. Aylin ÇALIŞKAN' a teşekkür ederim.

Son olarak, emekleriyle ve sabrıyla beni büyüten, beni bu yaşa kadar getiren canım ananeme ve tek başına beni okutup, bu günlere getiren her zaman her konuda bana desteğini esirgemeyen canım anneme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Şubat 2021

Dilara Otu

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
İÇİNDEKİLER.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
ŞEKİL LİSTESİ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
TABLO LİSTESİ.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
ÖZET	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
SUMMARY	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
1. GİRİŞ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
2. GENEL KISIMLAR.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
2.1. RADYASYON VE RADYOAKTİVİTE	5
2.1.1. Radyasyon ve Radyoaktivitenin Tanımı	5
2.1.2. Radyasyon ve Radyoaktivitenin Keşfi	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
2.1.3. Radyasyonun Türleri	6
2.1.3.1. İyonize Radyasyon	6
2.1.3.2. İyonize Olmayan Radyasyon.....	7
2.1.4. Radyasyon Kaynakları.....	7
2.1.4.1. Doğal Radyasyon Kaynakları	8
2.1.4.2. Yapay Radyasyon Kaynakları.....	9
2.1.5. Radyoaktif Bozunma Türleri	9
2.1.5.1. Alfa Bozunumu.....	9
2.1.5.2. Beta Bozunumu	10
2.1.5.3. Gama Bozunumu.....	13
2.1.6. Radyasyon Birimleri.....	13
2.2 RADYOAKTİF SERİLER.....	14
2.2.1. Doğal Seriler.....	14
2.2.1.1. Toryum Serisi.....	15
2.2.1.2. Uranyum Serisi	15
2.2.1.3. Aktinyum Serisi	16
2.2.2. Yapay Seriler	17
2.2.2.1. Neptinyum Serisi.....	17

2.3. RADYOAKTİF BOZUNMA YASASI	18
2.3.1. Radyoaktivite Bozunum Süreci.....	20
2.3.2. Radyoaktif Denge.....	22
2.4. GAMA RADYASYONUN MADDE İLE ETKİLEŞMESİ	25
2.4.1. Fotoelektrik Olay.....	25
2.4.2. Compton Olayı.....	26
2.4.3. Çift Oluşumu.....	27
2.5. İNSANIN RADYASYONA MARUZ KALMA YOLLARI	28
2.5.1. Havadan Alınan Radyasyon.....	29
2.5.2. Sudana Alınan Radyasyon.....	29
2.5.3. Besinlerden Alınan Radyasyon.....	30
2.6. TOPRAKTAKİ DOĞAL RADYOAKTİVİTE	31
2.6.1. Toprakta Bulunan Radyonüklidler.....	31
2.6.2. Topraktaki Radyonüklidlerin Bitkiye Geçmesi.....	33
2.6.3. Transfer Faktörü (TF).....	34
2.7. BİTKİ YETİŞTİRMEDE GÜBRELEMENİN ÖNEMİ	35
2.7.1. Gübre Ve Gübreleme.....	35
2.7.2. Organik Gübre.....	36
2.7.3. Kimyasal Gübre.....	36
2.7.4. Gübrelerde Bulunan Doğal Radyoaktif Elementler.....	36
2.7.5. Tarım Alanlarında Gübrelemenin Önemi.....	38
2.7.6. Ülkemizde Gübre Tüketim Durumu.....	39
2.7.7. Fosfajips'in Tanımı ve Kullanım Alanları.....	39
3. MALZEME VE YÖNTEM	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
3.1. GAMA SPEKTROSKOPİ SİSTEMİ HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.	
3.1.1. HpGe Yarıiletken Dedektörü ve Çalışma Prensipleri.....	41
3.1.2. Ön Yükselteç.....	45
3.1.3. Yükselteç.....	45
3.1.4. Çok Kanallı Analizör.....	46
3.1.5. Analog Sayısal Dönüştürücü.....	46
3.1.6. HpGe Dedektörü ile Toprak, Bitki ve Gübredeki Radyasyonun Ölçümü.....	46
3.1. ÖRNEKLERİN HAZIRLANMASI	47
3.1.1. Toprak Örneklerinin Toplanması ve Ölçüme Hazırlanması.....	47
3.1.2. Çeşitli Gübreler Kullanılarak Bitki Örneklerinin Toprağa Ekim Süreci.....	49

3.1.3. Bitki Örneklerinin Ölçüme Hazırlanması.....	50
3.1.4. Gübre Örneklerinin Ölçüme Hazırlanması.....	51
3.2. BİTKİLERDE GAMA RADYASYONUNUN ÖLÇÜLMESİ	51
3.2.1. HpGe Dedektör Sistemi ve Ölçümler	51
3.2.2. HpGe Dedektörünün Enerji ve Verim Kalibrasyonu	52
3.3. ÖRNEKLERİN ANALİZİ	54
3.3.1. Her Bir Örnek İçin Aktivite Konsantrasyon Hesabı.....	54
3.3.1.1. MDA Hesabı	55
3.3.2. Radyum Eşdeğer Aktivite Hesabı	56
3.3.3. Yıllık Etkin Doz Eşdeğerinin Hesabı	56
3.3.4. Toprakтан Bitkiye Geçen Radyonüklidlerin Transfer Faktörünün Hesaplanması.....	57
3.3.5. Gübreden Bitkiye Geçen Radyonüklidlerin Transfer Faktörünün Hesaplanması.....	57
4. BULGULAR.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
4.1. Toprak ve Bitki Örneklerinin Aktivite Konsantrasyonları.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
4.2. Yıllık Etkin Dozlar	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
4.3 Transfer Faktör Değerleri	95
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
KAYNAKLAR.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
ÖZGEÇMİŞ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Elektromanyetik spektrum [16].	7
Şekil 2.2: Doğal ve yapay radyasyon kaynakları [18,19].	8
Şekil 2.3: Alfa Bozunumu [23].	10
Şekil 2.4: β – Bozunumu [23].	11
Şekil 2.5: β + Bozunumu [23].	12
Şekil 2.6: ^{232}Th çekirdeğinin bozunum zinciri.	15
Şekil 2.7: ^{238}U çekirdeğinin bozunum zinciri.	16
Şekil 2.8: ^{238}U çekirdeğinin bozunum zinciri.	17
Şekil 2.9: ^{237}Np çekirdeğinin bozunum zinciri.	18
Şekil 2.10: Radyoaktif bir örneğin zamanla değişimi [34].	19
Şekil 2.11: Aktivitenin zamanla değişim grafiği.	20
Şekil 2.12: ^{32}P çekirdeğinin zamana karşılık gün başına bozunumu [36].	21
Şekil 2.13: ^{113}Sn çekirdeği ile bozunduğu $^{113\text{m}}\text{In}$ arasındaki kalıcı denge gösterimi.	24
Şekil 2.14: Foton enerjisine göre fotoelektrik olay, Compton saçılması ve çift oluşum olaylarının baskın olduğu bölgeler [24].	25
Şekil 2.15: Fotoelektrik Olay [38].	26
Şekil 2.16: Compton Saçılması Olayı [42].	27
Şekil 2.17: Çift Oluşum Olayı [38].	28
Şekil 3.1: Yalıtkan, iletken ve yarıiletken malzemelerin band yapıları [82].	42
Şekil 3.2: N ve p tipi maddelerin yapısı [85].	44
Şekil 3.3: Gama spektroskopisi sistemi [22].	45
Şekil 3.4: Kurutulan toprak örnekleri.	47
Şekil 3.5: Toprağın eleme işlemi.	48

Şekil 3.6: Paketlenmiş toprak örneği.	48
Şekil 3.7: Ekim yapım aşaması.	49
Şekil 3.8: Bahçenin ekim yapıldıktan sonraki hali.....	49
Şekil 3.9: Kurutulma işlemindeki bitkiler.	50
Şekil 3.10: Kurutulup paketlenen bitki örnekleri.	51
Şekil 3.11:İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarında bulunan gama spektroskopisi ölçüm sistemi.....	52
Şekil 3.12: Enerji Kalibrasyonu.	53
Şekil 3.13: Verim Kalibrasyonu.....	54
Şekil 4.1: Çeşitli gübrelerle ekilen marul bitkisinin ^{238}U aktivite konsantrasyonu.	61
Şekil 4.2: Çeşitli gübrelerle ekilen ıspanak bitkisinin ^{238}U aktivite konsantrasyonu.....	61
Şekil 4.3: Çeşitli gübrelerle ekilen maydanoz bitkisinin ^{238}U aktivite konsantrasyonu.	62
Şekil 4.4: Çeşitli gübrelerle ekilen taze soğan bitkisinin ^{238}U aktivite konsantrasyonu.	62
Şekil 4.5: Çeşitli gübrelerle ekilen tere bitkisinin ^{238}U aktivite konsantrasyonu.	63
Şekil 4.6: Çeşitli gübrelerle ekilen havuç bitkisinin ^{238}U aktivite konsantrasyonu.	63
Şekil 4.7: Çeşitli gübrelerle ekilen patates bitkisinin ^{238}U aktivite konsantrasyonu.....	63
Şekil 4.8: Çeşitli gübrelerle ekilen pırasa bitkisinin ^{238}U aktivite konsantrasyonu.	64
Şekil 4.9: Çeşitli gübrelerle ekilen marul bitkisinin ^{232}Th aktivite konsantrasyonu.	64
Şekil 4.10: Çeşitli gübrelerle ekilen ıspanak bitkisinin ^{232}Th aktivite konsantrasyonu.	65
Şekil 4.11: Çeşitli gübrelerle ekilen maydanoz bitkisinin ^{232}Th aktivite konsantrasyon.	65
Şekil 4.12: Çeşitli gübrelerle ekilen tere bitkisinin ^{232}Th aktivite konsantrasyonu.	65
Şekil 4.13: Çeşitli gübrelerle ekilen havuç bitkisinin ^{232}Th aktivite konsantrasyonu.....	66
Şekil 4.14: Çeşitli gübrelerle ekilen patates bitkisinin ^{232}Th aktivite konsantrasyonu.	66
Şekil 4.15: Çeşitli gübrelerle ekilen pırasa bitkisinin ^{232}Th aktivite konsantrasyonu.....	66
Şekil 4.16: Çeşitli gübrelerle ekilen marul bitkisinin ^{40}K aktivite konsantrasyonu.....	67
Şekil 4.17: Çeşitli gübrelerle ekilen ıspanak bitkisinin ^{40}K aktivite konsantrasyonu.	67
Şekil 4.18: Çeşitli gübrelerle ekilen maydanoz bitkisinin ^{40}K aktivite konsantrasyonu.....	67

Şekil 4.19: Çeşitli gübrelerle ekilen taze soğan bitkisinin ^{40}K aktivite konsantrasyonu.	68
Şekil 4.20: Çeşitli gübrelerle ekilen tere bitkisinin ^{40}K aktivite konsantrasyonu.	68
Şekil 4.21: Çeşitli gübrelerle ekilen havuç bitkisinin ^{40}K aktivite konsantrasyonu.	68
Şekil 4.22: Çeşitli gübrelerle ekilen patates bitkisinin ^{40}K aktivite konsantrasyonu.	69
Şekil 4.23: Çeşitli gübrelerle ekilen pırasa bitkisinin ^{40}K aktivite konsantrasyonu.	69
Şekil 4.24: Çeşitli gübrelerle karıştırılan toprak örneklerinin ^{238}U aktivite konsantrasyonu.	69
Şekil 4.25: Çeşitli gübrelerle karıştırılan toprak örneklerinin ^{232}Th aktivite konsantrasyonu.	70
Şekil 4.26: Çeşitli gübrelerle karıştırılan toprak örneklerinin ^{40}K aktivite konsantrasyonu.	70
Şekil 4.27: Çeşitli gübrelerle karıştırılan toprak örneklerinin ^{137}Cs aktivite konsantrasyonu.	70
Şekil 4.28: Hayvan gübresinin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonu.	71
Şekil 4.29: NPK 0-20-20 gübresiyle ekilen taze soğan, maydanoz ve marul bitkisinin ^{238}U aktivite konsantrasyonu.	71
Şekil 4.30: NPK 0-20-20 gübresiyle ekilen taze soğan, maydanoz ve marul bitkisinin ^{232}Th aktivite konsantrasyonu.	72
Şekil 4.31: NPK 0-20-20 gübresiyle ekilen taze soğan, maydanoz ve marul bitkisinin ^{40}K aktivite konsantrasyonu.	72
Şekil 4.32: NPK 10-20-20 gübresiyle ekilen taze soğan, havuç, ıspanak, tere ve marul bitkisinin ^{238}U aktivite konsantrasyonu.	73
Şekil 4.33: NPK 10-20-20 gübresiyle ekilen taze soğan, havuç, ıspanak, tere ve marul bitkisinin ^{232}Th aktivite konsantrasyonu.	73
Şekil 4.34: NPK 10-20-20 gübresiyle ekilen taze soğan, havuç, ıspanak, tere ve marul bitkisinin ^{40}K aktivite konsantrasyonu.	74
Şekil 4.35: AS gübresiyle ekilen taze soğan, ıspanak, marul, tere ve maydanoz bitkisinin ^{238}U aktivite konsantrasyonu.	74
Şekil 4.36: AS gübresiyle ekilen taze soğan, ıspanak, marul, tere ve maydanoz bitkisinin ^{232}Th aktivite konsantrasyonu.	74
Şekil 4.37: AS gübresiyle ekilen taze soğan, ıspanak, marul, tere ve maydanoz bitkisinin ^{40}K aktivite konsantrasyonu.	75

Şekil 4.38: DAP gübresiyle ekilen ıspanak, taze soğan, marul ve tere bitkisinin ^{238}U aktivite konsantrasyonu.	75
Şekil 4.39: DAP gübresiyle ekilen ıspanak, taze soğan, marul ve tere bitkisinin ^{232}Th aktivite konsantrasyonu.	75
Şekil 4.40: DAP gübresiyle ekilen ıspanak, taze soğan, marul ve tere bitkisinin ^{40}K aktivite konsantrasyonu.	76
Şekil 4.41: Gübresiz ekim yapılan marul, taze soğan, pırasa, patates, ıspanak, tere ve maydanoz bitkisinin ^{238}U aktivite konsantrasyonu.	76
Şekil 4.42: Gübresiz ekim yapılan marul, taze soğan, pırasa, patates, ıspanak, tere ve maydanoz bitkisinin ^{232}Th aktivite konsantrasyonu.	76
Şekil 4.43: Gübresiz ekim yapılan marul, taze soğan, pırasa, patates, ıspanak, tere ve maydanoz bitkisinin ^{40}K aktivite konsantrasyonu.	77
Şekil 4.44: Hayvan gübresiyle ekilen taze soğan, marul, pırasa, maydanoz, ıspanak, tere ve patates bitkisinin ^{238}U aktivite konsantrasyonu.	77
Şekil 4.45: Hayvan gübresiyle ekilen taze soğan, marul, pırasa, maydanoz, ıspanak, tere ve patates bitkisinin ^{232}Th aktivite konsantrasyonu.	78
Şekil 4.46: Hayvan gübresiyle ekilen taze soğan, marul, pırasa, maydanoz, ıspanak, tere ve patates bitkisinin ^{40}K aktivite konsantrasyonu.	78
Şekil 4.47: NPK 15-15-15 + Zn gübresiyle ekilen taze soğan, ıspanak, marul ve maydanoz bitkisinin ^{238}U aktivite konsantrasyonu.	79
Şekil 4.48: NPK 15-15-15 + Zn gübresiyle ekilen taze soğan, ıspanak, marul ve maydanoz bitkisinin ^{232}Th aktivite konsantrasyonu.	79
Şekil 4.49: NPK 15-15-15 + Zn gübresiyle ekilen taze soğan, ıspanak, marul ve maydanoz bitkisinin ^{40}K aktivite konsantrasyonu.	80
Şekil 4.50: NPK 15-15-15 + 12(SO ₃) gübresiyle ekilen taze soğan, ıspanak, marul, tere ve maydanoz bitkisinin ^{238}U aktivite konsantrasyonu.	80
Şekil 4.51: NPK 15-15-15 + 12(SO ₃) gübresiyle ekilen taze soğan, ıspanak, marul, tere ve maydanoz bitkisinin ^{232}Th aktivite konsantrasyonu.	81
Şekil 4.52: NPK 15-15-15 + 12(SO ₃) gübresiyle ekilen taze soğan, ıspanak, marul, tere ve maydanoz bitkisinin ^{40}K aktivite konsantrasyonu.	81
Şekil 4.53: Solucan gübresiyle ekilen marul, ıspanak, havuç, taze soğan ve tere bitkisinin ^{238}U aktivite konsantrasyonu.	82
Şekil 4.54: Solucan gübresiyle ekilen marul, ıspanak, havuç, taze soğan ve tere bitkisinin ^{232}Th aktivite konsantrasyonu.	82

Şekil 4.55: Solucan gübresiyle ekilen marul, ıspanak, havuç, taze soğan ve tere bitkisinin ^{40}K aktivite konsantrasyonu.	83
Şekil 4.56: NPK Süper kompoze gübresiyle ekilen taze soğan, ıspanak, marul ve tere bitkisinin ^{238}U aktivite konsantrasyonu.	83
Şekil 4.57: NPK Süper kompoze gübresiyle ekilen taze soğan, ıspanak, marul ve tere bitkisinin ^{232}Th aktivite konsantrasyonu.	83
Şekil 4.58: NPK Süper kompoze gübresiyle ekilen taze soğan, ıspanak, marul ve tere bitkisinin ^{40}K aktivite konsantrasyonu.	84
Şekil 4.59: Üre gübresiyle ekilen marul, taze soğan, ıspanak ve tere bitkisinin ^{238}U aktivite konsantrasyonu.	84
Şekil 4.60: Üre gübresiyle ekilen marul, taze soğan, ıspanak ve tere bitkisinin ^{232}Th aktivite konsantrasyonu.	84
Şekil 4.61: Üre gübresiyle ekilen marul, taze soğan, ıspanak ve tere bitkisinin ^{40}K aktivite konsantrasyonu.	85
Şekil 4.62: Çeşitli gübreler ile karıştırılan toprak ve hayvan gübresinin absorblanmış ve yıllık etkin doz.	89
Şekil 4.63: AS gübresi ile ekilen taze soğan, ıspanak, marul, tere ve maydanoz bitkisinin absorblanmış ve yıllık etkin doz.	89
Şekil 4.64: DAP gübresi ile ekilen taze soğan, ıspanak, marul, tere bitkisinin absorblanmış ve yıllık etkin doz.	90
Şekil 4.65: Gübresiz ekilen taze soğan, ıspanak, marul, tere, pırasa, patates ve maydanoz bitkisinin absorblanmış ve yıllık etkin doz.	90
Şekil 4.66: Hayvan gübresi ile ekilen taze soğan, marul, pırasa, maydanoz, ıspanak, tere ve patates bitkisinin absorblanmış ve yıllık etkin doz.	91
Şekil 4.67: NPK 0-20-20 gübresi ile ekilen taze soğan, marul ve maydanoz bitkisinin absorblanmış ve yıllık etkin doz.	91
Şekil 4.68: NPK 10-20-20 gübresi ile ekilen marul, havuç, taze soğan, ıspanak ve tere bitkisinin absorblanmış ve yıllık etkin doz.	92
Şekil 4.69: Solucan gübresi ile ekilen marul, ıspanak, havuç, taze soğan ve tere bitkisinin absorblanmış ve yıllık etkin doz.	92
Şekil 4.70: 15-15-15 + Zn gübresi ile ekilen taze soğan, ıspanak, marul ve maydanoz bitkisinin absorblanmış ve yıllık etkin doz.	93
Şekil 4.71: NPK Süper kompoze gübresi ile ekilen taze soğan, ıspanak, marul ve tere bitkisinin absorblanmış ve yıllık etkin doz.	93

Şekil 4.72: NPK 15-15-15 + 12(SO ₃) gübresi ile ekilen taze soğan, ıspanak, marul, tere ve maydanoz bitkisinin absorblanmış ve yıllık etkin doz.	94
Şekil 4.73: Üre gübresi ile ekilen marul, taze soğan, ıspanak ve tere bitkisinin absorblanmış ve yıllık etkin doz.	94
Şekil 4.74: Fosfojips için absorblanmış ve yıllık etkin doz.	95



TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1: Çeşitli kayalardaki yıllık radyasyon doz şiddetleri [55].	32
Tablo 1 (devamı): Çeşitli kayalardaki yıllık radyasyon doz şiddetleri [55]. Hata! Yer işareti tanımlanmamış.	
Tablo 2: Ülkemizde 2015-2019 yılları arasında gübre tüketim durumu [75].	39
Tablo 3: Kullanılan standart kaynağa ait özellikler.	53
Tablo 4: Çeşitli gübrelerle ekilen bitkilerin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları.	58
Tablo 4 (devam): Çeşitli gübrelerle ekilen bitkilerin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları.	59
Tablo 5: Toprak ve gübre örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları.	59
Tablo 6: Toprak ve gübre örneği için Radyum eşdeğer (R_{eq}) değeri.	85
Tablo 7: Bitki örnekleri için doğal radyasyona bağlı absorblanmış ve yıllık etkin doz miktarları.	86
Tablo 7 (devam): Bitki örnekleri için doğal radyasyona bağlı absorblanmış ve yıllık etkin doz miktarları.	87
Tablo 8: Toprak ve gübre örnekleri için doğal radyasyona bağlı absorblanmış ve yıllık etkin doz.	87
Tablo 9: Toprak örneklerinin yapay radyasyona bağlı absorblanmış ve yıllık etkin dozları.	88
Tablo 10: Hayvan gübresiyle ekilen bitkilerin, hayvan gübrelili topraktan bitkilere geçen ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklidlerinin transfer faktörü.	95
Tablo 11: NPK 15-15-15 + 12(SO_3) gübresiyle ekilen bitkilerin, NPK 15-15-15 + 12(SO_3) gübrelili topraktan bitkilere geçen ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklidlerinin transfer faktörü.	96
Tablo 12: NPK 10-20-20 gübresiyle ekilen bitkilerin, NPK 10-20-20 gübrelili topraktan bitkilere geçen ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklidlerinin transfer faktörü.	96
Tablo 13: AS gübresiyle ekilen bitkilerin, AS gübrelili topraktan bitkilere geçen ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklidlerinin transfer faktörü.	97

Tablo 14: Solucan gübresiyle ekilen bitkilerin, solucan gübreli topraktan bitkilere geçen ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklidlerinin transfer faktörü.	97
Tablo 15: Hayvan gübresiyle ekilen bitkilerin, hayvan gübresinden bitkilere geçen ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklidlerinin transfer faktörü.	98
Tablo 16: Bitki örneklerinde bulunan ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklidlerinin UNSCEAR raporuna ve bu alanda yapılan diğer çalışmalar ile kıyaslanması.	100
Tablo 17: Transfer faktörüyle ilgili yapılan çalışmalarla, bu çalışmada yapılan transfer faktörünün karşılaştırılması.	102



SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
α	: Alfa parçacığı
β	: Beta parçacığı
β^-	: Beta-Eksi Bozunması
β^+	: Beta-Artı Bozunması
γ	: Gama ışını
e^+	: Pozitron
e^-	: Elektron
ϵ	: Elektron Yakalama
$t_{1/2}$	: Yarı ömür
τ	: ortalama ömür
ν_e	: Nötrino
$\bar{\nu}_e$	: Antinötrino
λ	: Bozunma sabiti
D	: Absorblanmış doz
A_{Ei}	: i çekirdeği için E enerjisindeki kütle başına aktivite
t	: Ölçüm süresi
m	: Örneğin kütlesi

Kısaltmalar	Açıklama
Bq	: Becquerel
Ci	: Curie
Gy	: Gray
Kg	: Kilogram
HPGe	: Yüksek Saflıklı Germanyum (High Purity Germanium)
MDA	: Minimum dedekte edilebilir aktivite
MeV	: Mega Elektron Volt
μSv	: Mikro Sievert
nSv	: Nano Sievert
sa	: Saat

sn	: Saniye
R	: Röntgen
TF	: Transfer faktör
Zn	: Çinko
mSv	: Mili Sievert
Sv	: Sievert
Bq/kg	: Kilogram başına becquerel
eV	: Elektronvolt
keV	: Kiloelektronvolt
$\mu\text{Sv y}^{-1}$	: Yıl başına mikrosievert
J	: Joule
ADC	: Analog Dijital Dönüştürücü
MCA	: Çok Kanallı Analizör
V	: Volt
μm	: Mikrometre
m	: Metre
cm	: Santimetre
kg y^{-1}	: Yıl başına kilogram
nGy h^{-1}	: Saat başına nanogray
AEDE	: Yıllık Etkin Doz
FWHM	: Yarı Yükseklikteki Tam Genişlik
UNSCEAR	: The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇEŞİTLİ GÜBRELERDEN BİTKİLERE GEÇEN RADYONÜKLİDLERİN GAMA SPEKTROSKOPİ YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ

DİLARA OTU

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. ELA GANİOĞLU NUTKU

Doğada birçok radyasyon kaynağı vardır. Tüm canlılar bu kaynaklardan yayınlanan radyasyonlara maruz kalırlar. Bitkilerin doğada bulunan radyonüklidleri içermesinin nedenlerinden biri kökleri vasıtasıyla bu radyonüklitleri topraktan almalarıdır. Bitkilerin daha verimli yetiştirilmesi için kullanılan ve yapılarında doğal radyoaktif elementler içeren gübreler, bitkilerdeki radyoaktivite konsantrasyonunun artmasına neden olmaktadır.

Bu tez çalışmasında, İstanbul ilinin Şile ilçesinin Ağva beldesinin Büyükbucaklı köyünde çeşitli organik ve kimyasal gübreyle ekilen farklı bitki ve gübreli toprak örneği için aktivite konsantrasyonları Gama Spektroskopi Sistemi kullanılarak belirlenmiştir. Bu bölgede yaşayan insanların maruz kaldıkları yıllık etkin doz değerleri, canlıların maruz kaldığı absorblanmış ve yıllık etkin dozlar hesaplanmıştır. Topraktan bitkiye geçen ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklidlerinin transfer faktörü hesaplanmıştır.

Şubat 2021, 129. sayfa.

Anahtar kelimeler: Radyoaktivite, Transfer Faktör, Gama Spektroskopisi, Uranyum-238, Toryum-232, Potasyum-40, Sezyum-137

SUMMARY

M.Sc. THESIS

INVESTIGATION OF RADIONUCLIDES PASSED FROM VARIOUS FERTILIZERS TO PLANTS BY GAMMA SPECTROSCOPY METHOD

DİLARA OTU

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Sciences

Department of Physics

Supervisor : Prof. Dr. ELA GANİOĞLU NUTKU

There are many sources of radiation in nature. All living creatures are exposed to the radiation emitted from these sources. One of the reasons why plants contain naturally occurring radionuclides is that they take these radionuclides from the soil through their roots. Fertilizers that are used to grow plants more efficiently and contain natural radioactive elements in their structures cause an increase in the concentration of radioactivity in plants.

In this thesis study, activity concentrations for different plant and fertilized soil samples planted with various organic and chemical fertilizers in Büyükbucaklı village of Ağva town of Şile district in Istanbul province were determined using the Gamma Spectroscopy System. The annual effective dose values exposed by the people living in this region, the absorbed exposure of the living creatures and the annual effective doses were calculated. The transfer factor of ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K and ^{137}Cs radionuclides from soil to plant was calculated.

February 2021, 129 pages.

Keywords: Radioactivity, Transfer Factor, Gamma Spectroscopy, Uranium-238, Thorium-232, Potassium-40, Cesium-137

1. GİRİŞ

Doğada hem doğal hem de yapay radyoaktif elementler bulunur. Tüm canlılar doğal ve yapay radyasyona çeşitli yollar ile maruz kalmaya devam etmektedir. Doğal radyoaktif elementlerin varlığı dünyanın oluşumuna dayanmaktadır. Doğal radyasyon çoğunlukla topraktan kaynaklanmaktadır. Toprakta bulunan radyoaktif elementler, radyasyon yayarak toprağın 1 metre üzerinden hava yolu ile canlıların doğal radyasyona maruz kalmasına neden olurlar. Aynı zamanda bitkilerin sahip olduğu kök sistemi aracılığıyla toprakta bulunan radyoaktif elementlerin bitkiye transfer edilmesiyle radyoaktif elementler bitkinin bünyesinde bulunmaktadır. Daha sonra bu bitkilerin tüketilmesiyle canlıya sindirim yolu ile geçmektedir. Tüm canlıların maruz kaldığı radyasyonun %85 'ini doğal radyasyon oluşturmaktadır [1].

Canlılar, nükleer reaktör kazası, medikal uygulamalar ve nükleer olayların süreçleri vb. ortaya çeşitli yollarla ortaya çıkan yapay radyoaktif elementlerin toprağa ve bitkiye dahil olmasıyla yapay radyasyona maruz kalmaktadır. Bu yüzden toprak ve bitkide bulunan radyoaktivitenin araştırılması canlıların sağlığı bakımından önemlidir.

İlk çağlarda yaklaşık 10 bin yıl önce insanoğlu avcılık ve toplayıcılık ile serüvenine başlarken toprağın keşfedilmesi ile toprak ekilmeye başlanmış ve tarımın çağı başlamıştır. TÜİK'in 2001 verilerine göre Türkiye'de toplam tarım alanı 40.967 bin hektar iken 2019 verilerine göre Türkiye'de toplam tarım alanı 37.716 bin hektardır [2]. Nüfusun artması ile tarım alanları azalmaktadır ama kişi başına düşen bitki gereksinimi de artmaktadır. Tarım ve Orman Bakanlığı verilerine göre Türkiye'de 2002 yılında sebze üretim miktarı 25. 823. 567 iken bu değer 2019 yılında 31. 089. 644 olmaktadır. Yani kişi başına düşen gereksinim miktarı yaklaşık 10 kat artmıştır [3].

Besin miktarını arttırmak ve kişi başına düşen besin ihtiyacını karşılamak için organik ve inorganik gübre kullanılarak ekim yapılmaktadır. Organik gübre, bitkisel ve hayvansal içerikli olup belirli işlemlerden geçtikten sonra tarımda kullanılabilir hale gelir. Organik gübreler bitkisel ve hayvansal kökenli olduğundan içeriğinde doğal radyoaktif elementler bulunmaktadır. İnorganik gübre ise kimyasal içeriklidir. 2018 yılında Türkiye'de gübre tüketim miktarı 5,3-5,5 milyon ton aralığındadır [4].

Radyoaktivite açısından bakıldığında toprak, bitki ve gübrede bulunan doğal ve yapay radyoaktif çekirdek konsantrasyonlarını tespit etmek, toprakta ve gübrede bulunan radyoaktif elementlerin bitkiye ne kadarının geçtiğini ve insan sağlığı açısından incelemek için Türkiye’de ve Dünya’da çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Toprakta ve o toprakla ekilen bitkide bulunan doğal radyoaktivitenin kaynağı olan bazı radyoaktif çekirdekler, ^{238}U (Uranyum), ^{232}Th (Toryum) ve ^{40}K (Potasyum)’dır. Aynı zamanda Çernobil nükleer kazasından sonra radyoaktif serpinti ile havaya karışan yapay radyoaktiviteye sebep olan ^{137}Cs (Sezyum) radyoaktif elementi bazı bölgelerdeki toprak ve bitkide bulunduğu tespit edilmiş ve toprakta bulunan radyoaktif elementlerin o toprakla ekilen bitkiye kök sistemi yoluyla geçtiği gözlemlenmiştir.

Hindistan’da yapılan bir çalışmada, Kerala eyaletinin Malnad bölgesinden doğal olarak yetiştirilen bir tıbbi bitki olan *ficus racemosa* bitkisi yüksek çözünürlüklü bir HPGe gama spektrometresi kullanılarak doğal ve yapay radyonüklidler, ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs için analiz edilmiştir. Toprakta bulunan doğal ve yapay radyoaktif elementler, ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs için aktivite konsantrasyonları sırasıyla; 31.16 ± 1.30 , 31.49 ± 4.20 , 51.34 ± 2.24 , 225.00 ± 12.91 ve 3.65 ± 0.60 Bq/kg olarak bulunmuştur. Bitkinin yaprağında bulunan ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoaktif elementlerin aktivite konsantrasyonları sırasıyla; MDA (minimum dedekte etme verimi), 98.37 ± 9.09 , MDA, 1043.00 ± 77.28 Bq/kg ve MDA’dır. Bu bitkinin tüketimi nedeniyle tahmini yıllık etkin doz değerlerinin dünya ortalamasının 0.3 mSv y^{-1} ’nin çok altında olduğu bulunmuştur. Toprakta bulunan ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoaktif elementlerin *ficus racemosa* bitkisinin yaprağına geçişini hesaplayan transfer faktörü (TF) sırasıyla; 0, 3.12, 0, 4.63, 0 olarak hesaplanmıştır [5].

Bangladeş’te yapılan bir çalışmada, Bangladeş’in Güney kısmında bulunan Karnaphuli Nehri’nin kıyısından 60 toprak, 10 çim ve 5 bitki örneği toplanmıştır. Toplanan toprak, çim ve bitkinin doğal ve yapay radyoaktivite konsantrasyonunu ölçmek için %35 nispi verimliliğe ve 1.33 MeV’de (ilişkili elektroniklerle) 1.81 keV çözünürlüğe (FWHM) sahip 344cc p-tipi Koaksiyel HPGe dedektörü kullanılmıştır. Toprak örneklerinde bulunan doğal ve yapay radyoaktif elementler, ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{238}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs için ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla; 22.13 ± 2.30 , 38.47 ± 2.72 , 50.47 ± 4.75 , 451.90 ± 24.89 ve 2.41 ± 0.18 Bq/kg olarak bulunmuştur. ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{238}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları UNSCEAR (The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) tarafından bildirilen bu radyonüklidlerin konsantrasyonları dünya ortalamasına göre yüksek aktivite konsantrasyon

değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Toprakta, 10 çim örneğine geçen doğal ve yapay radyoaktif elementlerin ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{238}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları sırasıyla; 26 ± 0.11 , 3.66 ± 0.31 , 7.02 ± 0.49 , 134.95 ± 3.68 ve 0.17 ± 0.02 Bq/kg olarak bulunmuştur. Aktivite konsantrasyonunun çim türlerine göre değiştiği ve farklı türler için TF oranının farklı olduğu gözlenmiştir. Tüm türler için, ^{40}K daha yüksek bir konsantrasyon göstermiştir. Ayrıca topraktan çim bitkisine geçen radyoaktif elementlerin geçiş sıralaması büyükten küçüğe, $^{40}\text{K} > ^{228}\text{Th} > ^{232}\text{Th} > ^{226}\text{Ra} > ^{137}\text{Cs}$ şeklinde olduğu bulunmuştur [6].

Yemen’de yapılan bir çalışmada, Abyan Deltası’ndan 28 adet toprak ve 10 adet gıda maddesi (soğan, mısır, yer fıstığı, turp, roka, ebegümece, kişniş gibi) toplanmıştır. Tarımsal topraklardaki doğal radyoaktiviteyi ölçmek için p tipi HpGe dedektörüne sahip gama spektroskopisi kullanılmaktadır. Yapılan çalışmanın amacı, doğal radyoaktiviteyi ölçmek ve transfer faktörünü hesaplayarak toprak ve gıda maddeleri arasındaki etkileşimi incelemektir. Tarımsal topraklarda bulunan doğal radyoaktif elementlerin ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları sırasıyla; 33.15 Bq/kg, 77.25 Bq/kg ve 1220.59 Bq/kg olarak ölçülmüştür. Gıda örneklerinde bulunan doğal radyoaktif elementlerin ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları sırasıyla; 4.88 ± 0.30 , 2.50 ± 0.14 ve 351.30 ± 11.25 Bq/kg olarak ölçülmüştür. ^{232}Th ve ^{40}K ortalama TF değerleri sırasıyla; 0.05 ve 1.00 varsayılan değerlerden daha düşük ancak ^{226}Ra ortalama TF değeri 0.04 referans değerinden biraz yüksek olduğu tespit edilmiştir [7].

Bu tez çalışmasında İstanbul’un Şile ilinin Ağva bölgesinin Büyükbucaklı köyünden toplanıp 5 farklı gübreye karıştırılmış olan 5 farklı toprak örneği ve çeşitli gübrelerle ekilen 53 bitki örneği (pırasa, taze soğan, patates, tere, maydanoz, ıspanak, havuç ve marul) temin edilmiştir. Toplanan her bir toprak ve bitki örneği için doğal ve yapay radyoaktiviteye sebep olan ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoaktif elementlerin miktarları İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik Anabilim Dalı Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarı’nda bulunan yüksek saflıkta germanyum dedektörüne (HPGe) sahip Gama Spektroskopi Sistemi kullanılarak ölçülmüştür.

Gamma Vision 6.2 programı kullanılarak ölçümü alınan radyoaktif elementlerin spektrum analizleri yapılmış ve daha sonra her bir çekirdeğe ait aktivite değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar UNSCEAR’ın raporlarında yer alan değerler ile karşılaştırılarak o bölgede yaşayanların maruz kaldığı yıllık etkin dozlar hesaplanmıştır.

Farklı gübrelerle karıştırılan 5 farklı toprakla ve bu 5 farklı toprakla ekilen bitkiye toprakta bulunan radyoaktif elementlerin bitkiye ne kadarının geçtiği transfer faktörü ile hesaplanmıştır. Bu çalışma kapsamında ülkemizde farklı gübrelerin bitkiler üzerinde radyoaktivite birikiminin etkisi ile ilk kez incelenmiştir. Aynı zamanda bir gübre fabrikasından temin edilen ve gübre üretiminde atık olarak çıkan ve gübreye nazaran daha ucuz olduğu için bazı bölgelerde bitki yetiştirmede gübrenin yerine kullanılan Fosfojips'in (gübre posası) aktivite değerleri ölçülmüş ve yıllık etkin doz miktarı hesaplanmıştır.



2. GENEL KISIMLAR

2.1. RADYASYON VE RADYOAKTİVİTE

2.1.1. Radyasyon ve Radyoaktivitenin Tanımı

Radyasyon, enerjinin madde veya uzayda yayılımı ya da aktarımı olarak tanımlanır. Elektromanyetik dalgalar veya enerjik parçacıklar formunda olabilir. Maddenin yapısını atomlar oluşturur. Atomlar da proton, nötron ve elektronlardan meydana gelir. Atomun çekirdeğindeki, proton ve nötron sayıları belirli oranda olduğu zaman atom kararlı yapı gösterir [8].

Bir atomun çekirdeğindeki nötron ve proton sayısındaki bu oran bozulduğunda, bu çekirdek kararsız bir yapı gösterir ve kararsız olan bu çekirdeğin kararlı hale geçerken parçacıklar veya enerji yayınlamaya kendiliğinden bozunmasına radyoaktivite denir. Daha yaşam ortaya çıkmadan önce hem radyasyon hem de radyoaktivite vardı. Aslında, radyoaktivite ve radyasyon evrenin başlangıcından beri uzayda mevcuttur ve radyoaktif madde yeryüzünün bir parçasıdır [9].

2.1.2. Radyasyon ve Radyoaktivitenin Keşfi

1896'da Fransız fizikçi Antoine Henri Becquerel, uranyum cevheri adı verilen uranyum açısından zengin bir mineralin, opak bir zarf içine alınmış bir fotografik levhayı karartabilecek, bu levhaya nüfuz eden görünmez ışınlar yaydığını buldu. Fosforlu malzemeler üzerinde çalışırken, bir parça filimi örtmek için kullandığı siyah kâğıt üzerine uranyum cevherini yerleştirdi. Daha dikkatli baktığında, filmin üzerinde çok sayıda yama olduğunu ve kâğıda başka öğeler yerleştirildiğinde bunun gerçekleşmediğini fark etti. Sonunda bu etkiyi üretmek için uranyum kristallerinden bazı ışınların gelmesi gerektiği sonucuna vardı. Bu ışınların enerji taşıdığı, ancak uranyum cevherinden herhangi bir enerji girişi olmaksızın sürekli olarak ışın yaydığı anlamına gelir. Kısa süre sonra Becquerel 'in ışınlarının atomların çekirdeklerinden kaynaklandığı anlaşıldı. Bu ışınların yayılmasına radyoaktivite denir.

Radyasyon yaymak için kütlelerinin bir kısmını kendiliğinden yok eden bir çekirdeğin bozulduğu söylenir. Radyasyon yayan bir maddenin radyoaktif olduğu söylenir. Becquerel, radyasyonun uranyum gibi belirli elementlerle ilişkili olduğunu buldu. Uranyum ister element

ister bileşik formunda olsun radyoaktiftir. 1898'de Marie Curie, Becquerel 'in ışınları üzerine doktora çalışmasına başladı. O ve kocası Pierre, kısa bir süre sonra, anavatanı Polonya'dan sonra polonyum adını verdiği iki yeni radyoaktif element ve yaydığı için radyumu keşfetti. Bu iki yeni element periyodik tablodaki boşlukları doldurdu ve uranyumdan çok daha yüksek seviyede radyoaktif olduğu bulundu. Dört yıldan fazla bir süredir, kötü koşullar altında çalışan ve kendi fonlarını harcayan Curie'ler yalnızca bir gram radyum tuzunu izole etmek için bir tondan fazla uranyum cevheri işledi. Radyum, uranyumdan yaklaşık iki milyon kat daha fazla radyoaktif olduğu için oldukça cazip hale geldi. Curie'lerin radyum tuzu, radyasyondan dolayı gözle görülür şekilde parlıyordu. Yine de bu radyasyon, onlara ve diğer habersiz araştırmacılara zarar verdi.

Marie doktorasını tamamladıktan kısa bir süre sonra hem Curie hem de Becquerel radyoaktivite konusundaki çalışmaları nedeniyle 1903 Nobel Fizik Ödülü'nü paylaştı [10,11].

2.1.3. Radyasyonun Türleri

Radyasyonun maddedeki erimine, enerjisine ve etkileşimine bağlı olarak ya iyonize radyasyon ya da iyonize olmayan radyasyon türünde olabilir. Elektromanyetik spektrumdaki ışınlar enerjilerine göre iki gruba ayrılır [12].

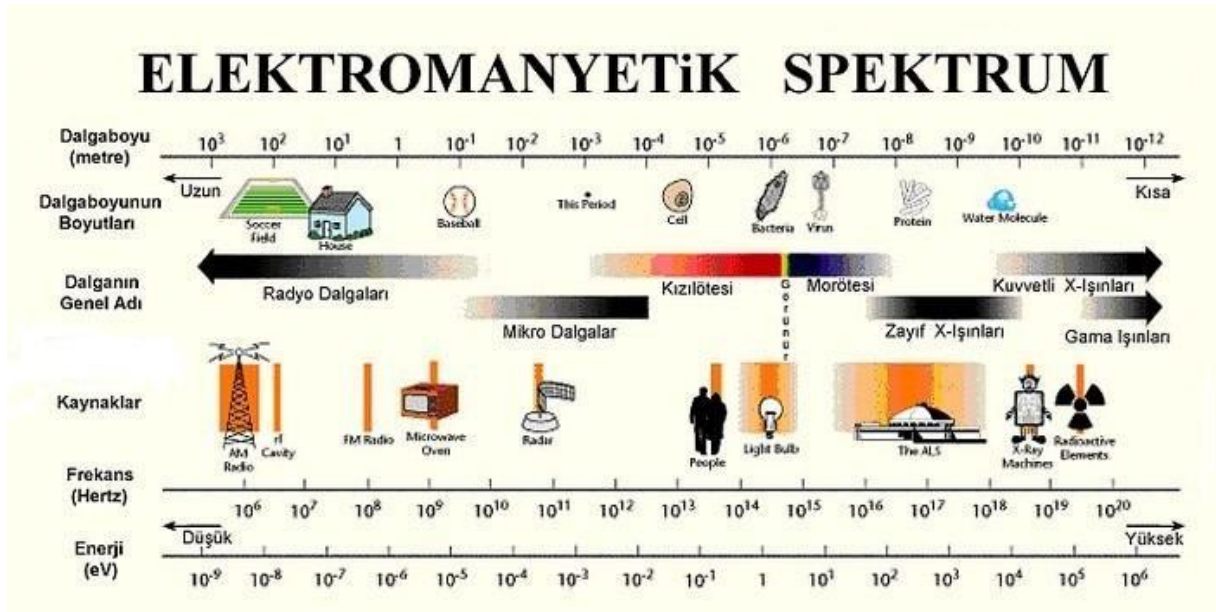
2.1.3.1. İyonize Radyasyon

İyonize radyasyon, bir atomdan elektronları koparabilmek için yeterli enerjiye sahip bir tür parçacık veya elektromanyetik dalgadır. İyonize radyasyon, görünür ışığa benzer bir yapıya sahip fakat çok daha kısa dalga boyu ve daha yüksek frekanstadır. Burada atomları iyonize edebilen iki tip elektromanyetik dalga vardır: X ışınları ve gama ışınlarıdır. Bazı zamanlarda X ışınları ve gama ışınları aynı enerjiye sahiptirler. Gama radyasyonu, çekirdek içindeki etkileşimler tarafından üretilirken, X ışınları çekirdek dışında elektronlar tarafından üretilir.

İyonlaştırıcı radyasyon tehlikelidir çünkü canlı hücrelerin iç yapılarına zarar verir. Bu, kısa bir süre içinde yüksek dozlarda hücre ölümüne ve daha uzun süreler boyunca daha düşük dozlarda üreme sürecinde hatalara (mutasyonlar) neden olabilir [13,14].

2.1.3.2. İyonize Olmayan Radyasyon

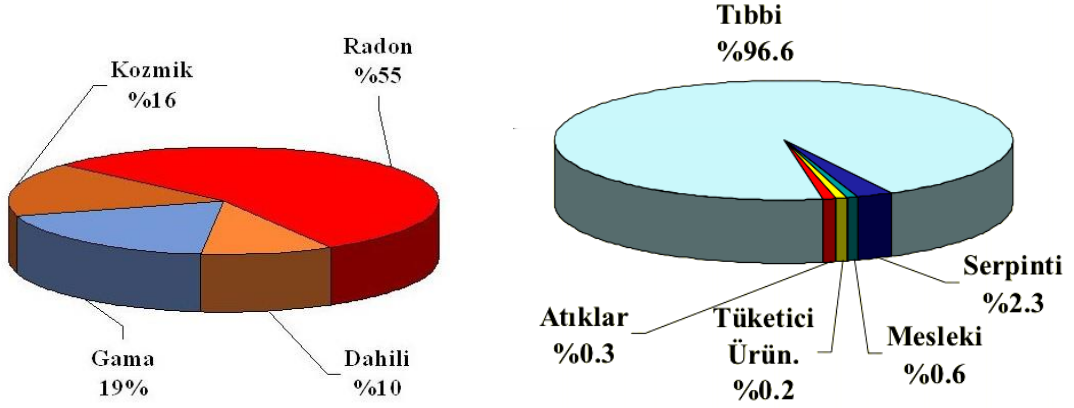
İyonize olmayan radyasyon, maddeyi iyonlaştırmak için yeterli foton enerjisine sahip olmayan bir elektromanyetik radyasyon türüdür. İyonize olmayan radyasyon, maddenin içerisinde geçerken yüklü iyonlar meydana getirmek yerine, atom ve molekülleri titreştirme becerisine sahiptir. İyonize radyasyona göre enerjileri daha düşüktür. Radyo frekansları, mikrodalgalar, görünür ve ultraviyole ışık iyonize olmayan radyasyon türüne girer [15].



Şekil 2.1: Elektromanyetik spektrum [16].

2.1.4. Radyasyon Kaynakları

Dünyanın oluşumundan beri, doğada çok uzun ömürlü radyoaktif elementler bulunur. Doğada bulunan bu radyoaktif elementler yaşadığımız çevrede kaçınılmaz biçimde bir radyasyon alanı meydana getirmiştir ve bundan dolayı dünyada yaşayan tüm canlılar varoluşundan bu yana, sürekli olarak radyasyona maruz kalmış ve hala da kalmaktadır. Bu radyasyon, doğadaki sudan, havadan ve topraktan kaynaklanacağı gibi son yüzyılda gelişen teknolojiye de kaynaklanır. Dünyadaki radyasyon kaynağının %88'ini doğal, %12'sini yapay kaynaklar oluşturmaktadır [17].



Şekil 2.2: Doğal ve yapay radyasyon kaynakları [18,19].

2.1.4.1. Doğal Radyasyon Kaynakları

Dünyanın oluşumundan beri, çevremiz hem dünyanın çekirdeği ve kabuğundaki radyoaktif materyallerden hem de dış uzaydan dolayı radyasyona maruz kalmaktadır. Bu doğal kaynaklardan kaçınmanın bir yolu yoktur. Birçok radyoizotop, doğal yolla meydana gelir ve güneş sisteminin oluşumu sırasında ve kozmik ışınların atmosferdeki moleküller ile etkileşimi sırasında ortaya çıkar. The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), doğal radyasyona maruz kalmanın dört ana kaynağını belirtir; kozmik radyasyon, karasal radyasyon, solunum ve sindirimdir [20].

Kozmik Radyasyon:

Genellikle kozmik radyasyon dünyamızın dış atmosferinde yani uzayda var olan ve güneş ve evrendeki diğer göksel olaylar dahil olmak üzere çeşitli kaynaklardan gelen hızlı hareket eden yüksek enerjili proton olarak tarif edilebilir. Dünyanın dış atmosferi sürekli olarak kozmik radyasyon tarafından bombardıman edilmektedir.

Karasal Radyasyon:

Dünyanın kabuğunun bileşimi büyük bir doğal radyasyon kaynağıdır. Karasal radyasyona büyük katkı sağlayan, doğal bozunma sürecinde olan ve az miktarda radyasyon salınımı yapan uranyum, toryum ve potasyum birikintileridir. Uranyum ve toryum her yerde bulunur. Bu minerallerin izleri yapı malzemelerinde de bulunur, bu nedenle doğal radyasyona maruz kalma iç mekanlarda ve dış mekanlarda ortaya çıkabilir.

Solunum:

Doğal radyasyona maruz kalmadaki değişimin çoğu, toprakta ve ana kayada bulunan radyoaktif minerallerin ürettiği radyoaktif gazların solunmasından kaynaklanmaktadır. Radon, uranyumun bozunması sonucu oluşan kokusuz ve renksiz bir radyoaktif gazdır. Thoron, toryumun bozunması sonucu oluşan radyoaktif bir gazdır. Radon ve thoron seviyeleri, toprak ve ana kaya bileşimine bağlı olarak yere göre önemli ölçüde değişiklik göstermektedir.

Sindirim:

Yiyecek ve içme suyunda doğal olarak az miktarda radyoaktif mineral bulunur. Örneğin, sebzeler genel olarak radyoaktif mineral içeren toprak ve yer altı sularında yetiştirilmektedir. Bu mineraller sindirim yoluyla bir kez alındığında iç radyasyona maruz kalmayla sonuçlanır.

2.1.4.2. Yapay Radyasyon Kaynakları

İnsan yapımı olan yapay radyasyon, X ışını makinaları gibi cihazlarda üretilen radyasyondur ve bir reaktörde veya hızlandırıcıda yapay olarak üretilen radyoizotoplardır. Bu tür radyasyon hem tıpta hem de sanayi de kullanılır. Genel olarak yapay radyasyona maruz kalınan yerler, hastaneler ve ilaç tesisleri gibi tıbbi tesisler, nükleer reaktörler ve nükleer silah üretiminde yer alan federal tesislerdir [21].

2.1.5. Radyoaktif Bozunma Türleri

Alfa (α) bozunumu, beta (β) bozunumu ve gama (γ) bozunumu radyoaktif bozunma türleridir. Radyoaktif bozunumda alfa, beta ve gama parçacığının yüklerinden dolayı iki tür durum vardır. Bu durumdan ilki enerjisi çok fazla olan yani kararlı olan çekirdek, fazla enerjisini alfa veya beta parçacığı yayınlarak kararlı duruma gelmeye çalışır. İkincisi ise kararlı olmayan çekirdek gama ışını yayınlarak temel seviyeye (kararlı çekirdek) gelmeye çalışır.

Sonuç olarak, kararsız bir çekirdek kararlı hale gelebilmek için, bu bozunum türlerinden birini veya birden fazlasını yapmalıdır [22].

2.1.5.1. Alfa Bozunumu

Alfa bozunması çekirdeğin içinde olan bir bozunma olduğu için alfa bozunmasına nükleer bozunma da denilir. Nükleer bir işlemdir. Protonu fazla olan çekirdeklerde Coulomb itmesi

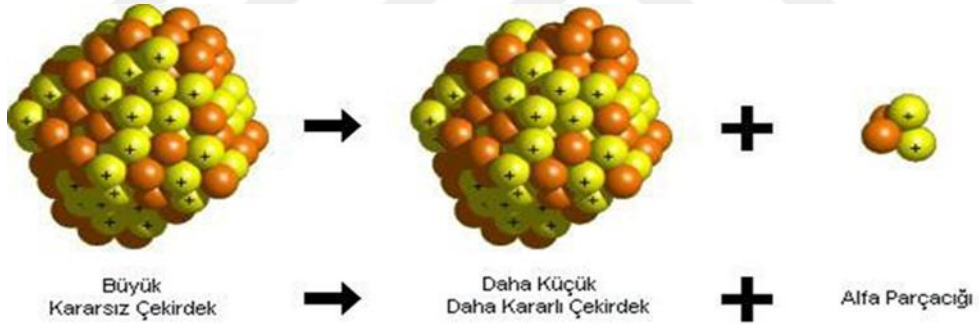
meydana gelir ve bundan dolayı alfa bozunmasının temelini Coulomb itmesinin bir sonucu olduğu düşünülür. Alfa bozunması genelde protonu fazla olan ağır çekirdeklerde meydana gelir.

Alfa bozunmasında, ana çekirdek dışarıya bir alfa (α) parçacığı yayımlar. Alfa parçacığı 2 proton ve 2 nötrona sahip olan bir helyum (${}^4_2\text{He}$) çekirdeğidir. Alfa parçacığının elektrik yükü diğer radyasyonlara nazaran büyük olduğu için yüksek iyonlaştırıcı özelliğe sahiptir ve bundan dolayı erimi kısa olan parçacıklardır. Bu parçacıkları çok ince kalınlıktaki maddeler tarafından durdurmak mümkündür.

Bir alfa parçacığı yayınlanmasıyla bozunan ${}^{210}_{84}\text{Po}$ 'un bozuma denklemi, denklem 2.1'de gösterilmiştir.



Alfa bozunmasında atom numarası değiştiğinden ana çekirdek ile kız çekirdek farklı elementlerdir ve bu nedenle farklı kimyasal özelliklere sahiptirler.



Şekil 2.3: Alfa Bozunumu [23].

2.1.5.2. Beta Bozunumu

Beta bozunması zayıf nükleer kuvvetin etkileşmesinden kaynaklanır. Beta bozunması, kararsız bir çekirdeğin daha kararlı hale gelmesi için fazla protonunu nötrona veya fazla nötronunu protona dönüştürdüğü bir bozunma işlemidir. Beta bozunumunda ana çekirdek dışarıya (β) parçacığı yayımlar.

Beta parçacığının erimi, alfa parçacığına göre daha uzundur ve beta parçacığının iyonlaştırıcı özelliği alfa parçacığına göre daha fazla olduğu için giriciliği de alfa parçacığına göre daha fazladır. Beta bozunması 3 farklı yolla olabilir.

Beta-Eksi Bozunumu (β^-):

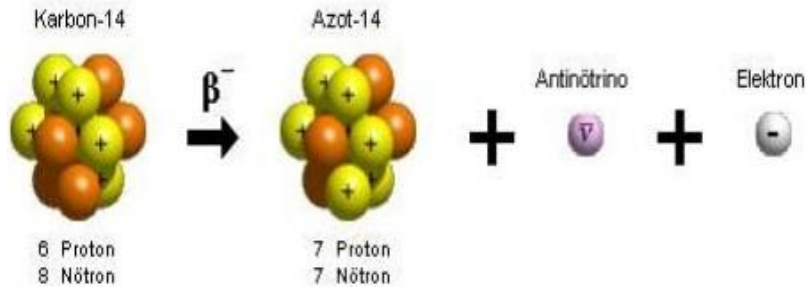
Beta bozunum türlerinden ilki olan beta-eksi bozunumunda, kararsız olan bir çekirdeğin nötronlarının sayısı fazla ise bir nötronunu bir protona dönüştürürken dışarıya bir elektron ve bir antinötrino yayınlar. Bozunma sonucunda açığa çıkan bu elektron hemen çekirdekten dışarıya atılır ve atılan bu parçacığa β^- parçacığı denir. β^- bozunumunun denklemi, denklem 2.2’de gösterilmiştir.

$$n \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}_e \quad (2.2)$$

Bozunma sırasında açığa çıkan antinötrino yüksüzdür. β^- bozunumuna bir örnek, denklem 2.3’te gösterilmiştir.

$$^{137}_{55}\text{Cs} \rightarrow ^{137}_{56}\text{Ba} + \beta^- + \bar{\nu}_e \quad (2.3)$$

Bu β^- bozunum sürecinde kararsız çekirdeğin kütle numarası aynı kalırken atom numarası bir artarak kararlı bir izobara dönüşür [24]. β^- bozunumuna bir örnek şekil 2.4’te gösterilmiştir.



Şekil 2.4: β^- Bozunumu [23].

Beta-Artı Bozunumu (β^+):

Beta bozunumunun diğer bir türü olan β^+ bozunmasında, proton sayısı fazla olan bir kararsız çekirdek kararlı duruma gelmek için bir protonunu bir nötrona dönüştürürken dışarıya e^+ ve ν yayınlar. Ortaya çıkan bu e^+ parçacığına β^+ parçacığı denir. β^+ bozunum denklemi, denklem 2.4’te gösterilmiştir.

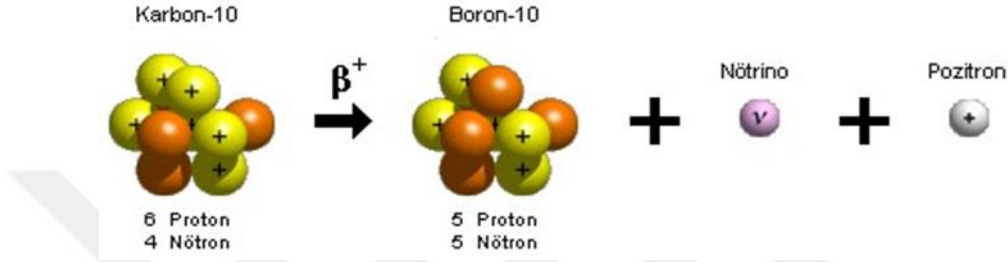
$$p \rightarrow n + e^+ + \nu_e \quad (2.4)$$

Bozunum sırasında ortaya çıkan nötrino yüksüzdür.

β^+ bozunumuna bir örnek denklem, 2.5'te gösterilmiştir.



Bu β^+ bozunum sürecinde kararsız çekirdeğin kütle numarası aynı kalırken nötron sayısı bir artarak daha kararlı bir izobara dönüşür [25]. β^+ bozunumuna örnek şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5: β^+ Bozunumu [23].

Elektron Yakalama (ϵ):

Elektron yakalama olayı β^+ bozunmasında olduğu gibi, proton sayısı nötron sayısından fazla olan kararsız bir çekirdek kararlı duruma gelmek için çekirdeğe en yakın (K, L) yörüngelerden elektron yakalar.

Yakalanan bu elektron çekirdeğin içindeki protonla bir araya gelerek nötrona dönüşür. Elektron yakalama olayının β^+ bozunumundan farkı, bozunma sırasında parçacık açığa çıkması nötrino (ν) yayınlamasıdır.

Elektron yakalama olayının denklemi, 2.6'da gösterilmiştir.



Elektron yakalama olayına bir örnek denklem, 2.7'de gösterilmiştir.



Elektron yakalama sürecinde kararsız çekirdeğin kütle numarası aynı kalırken yörüngeden bir elektron yakalayarak daha kararlı bir izobara dönüşür.

2.1.5.3. Gama Bozunumu

Kararsız çekirdek kararlı duruma gelebilmek için fazla olan enerjisini radyasyon yayınlıyarak (α , β) atarak uyarılmış duruma geçer. Bozunan bu çekirdek fazla enerjisini tam olarak atamadığında yarı kararlı duruma gelir. Çekirdek kalan enerjisini gama (γ) radyasyonu şeklinde yayınlıyarak yarı kararlı durumdan kararlı duruma geçer.

Alfa (α) ve beta (β) radyasyonunun aksine gama (γ) radyasyonu, çekirdeğin atom ve kütle numarasında değişiklik olmaz. Gama bozunmasına bir örnek denklem, 2.8’de gösterilmiştir.



Gama radyasyonu, α ve β radyasyonu ile kıyaslandığında erimi çok yüksektir ve yarı ömrü çok kısadır. Genelde 10^{-9} saniyesinde bozunur. Gama radyasyonunun giriciliği fazladır [26].

2.1.6. Radyasyon Birimleri

Dünya üzerinde yaşayan bütün canlılar radyasyona maruz kalırlar. Bu yüzden radyasyonun çevreye verdiği zararlı biyolojik etkileri saptayabilmek için radyasyonun varlığının ve miktarının bilinmesi gerekir [27]. Radyasyon doğal yollarla belirlenemediği için, hassas cihazlarla radyasyonun varlığı belirlenip miktarının ölçümü yapılabilmektedir.

Radyasyonun ölçümü, radyasyon ve radyasyonun girdiği ortamın etkileşmesine dayalıdır. Radyasyon girdiği ortamı iyonlaştırır ve enerjisinin bir kısmını ya da tamamını kaybeder. Radyasyonun neden olduğu iyonizasyon mekanizmalarını elektrik sinyallerine çevirmesiyle çalışır. Radyasyonun ortamdan ortama etkileşimi farklıdır. Etkileştiği ortamların farklılığından dolayı farklı radyasyon birimleriyle ifade edilmiştir. Radyasyonun verdiği zararı ölçmek ve radyasyondan korunmak için kullanılan radyasyon birimleri 4 farklı şekilde sınıflandırılır [28].

Aktivite Birimi

Bir radyoaktif çekirdeğin birim zamanda bozunma miktarını verir. Eski birim sisteminde aktivite birimi Curie (Ci) olarak ifade edilmektedir. 1 Curie, radyoaktif maddenin 1 saniyede $3,7 \times 10^{10}$ bozunma miktarını gösterir. SI birim sisteminde aktivite birimi Becquerel (Bq) olarak ifade edilmektedir. 1 Bq, radyoaktif maddenin bir saniyede bozunma miktarıdır. Curie ile Becquerel birimi arasındaki bağlantı denklem, (2.9)’da gösterilmiştir.

$$1\text{Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq} \quad (2.9)$$

İşnlama Birimi

Radyasyonun havayla etkileşmesiyle ortaya çıkan X ve gama ışının havada yarattığı iyonizasyon miktarını verir. Eski birim sisteminde işnlama birimi Röntgen (R)'dir. 1 Röntgen, normal koşullar altında havanın 1 cm^3 'de iyonlar oluşturan gama ve X ışının miktarıdır. SI birim sisteminde işnlama birimi, Coulomb/Kg olarak tanımlanır. $1 \text{ Coulomb/Kg} = 3876 \text{ Röntgen}$ 'dir.

Absorblanan Doz Birimi

İşnlama birimi sadece hava ortamında tanımlanmasından dolayı maddesel ortamlarda kullanılmaz. Bundan dolayı absorbe doz birimi maddesel ortamlarda radyasyonun açığa çıkardığı enerji olarak tanımlanır. Eski birim sisteminde Rad ile tanımlanır. SI birim sisteminde gray (Gy) olarak tanımlanır. $1 \text{ Gy} = 1 \text{ Joule/Kg}$ 'dır. $1 \text{ Gray} = 100 \text{ Rad}$ [29].

Eşdeğer Doz Birimi

Radyasyonun, canlı vücudu üzerinde yarattığı biyolojik etkiyi belirlemek için kullanılan birimdir. Eşdeğer doz biriminin eski sistemde tanımı rem 'dır. SI birim sisteminde eşdeğer doz birimi Sievert (Sv) ile tanımlanır. Bu iki sistem arasındaki ilişki: $1 \text{ Sievert} = 100 \text{ rem}$ ' dir.

2.2 RADYOAKTİF SERİLER

Ağır elementlerin doğada bulunan radyoaktif izotopları kararsız yapıda olduklarından art arda bozunmaya başlar ve bu durum kararlı yapıya geçene kadar devam eder. Bu radyoaktif izotopların art arda bozunması ile oluşan radyoaktif izotoplar bir radyoaktif aileyi veya radyoaktif seriyi oluşturur. Bu radyoaktif elementler seriler halinde bulunur ve bu radyoaktif seriler 2 gruba ayrılır. Doğal ve Yapay Radyoaktif Seriler.

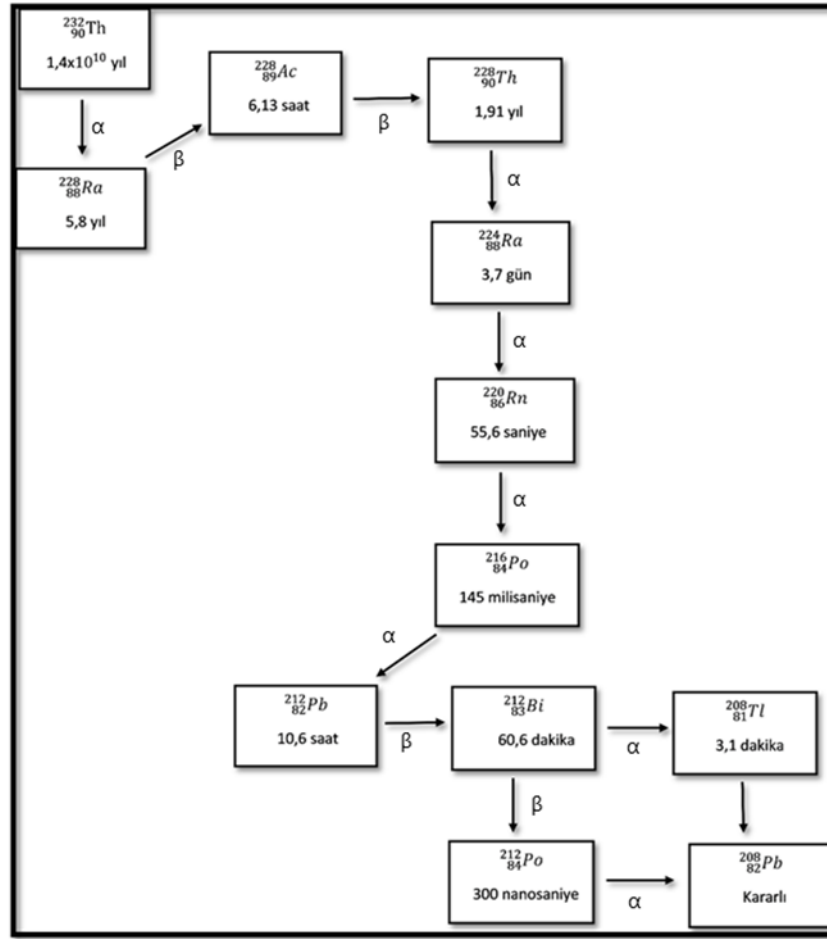
2.2.1. Doğal Seriler

Atom numarası 81 ile 92 arasında olan çekirdekler doğada radyoaktif halde bulunur. Doğada 3 adet bozunma serisi bulunur. Bunlar; toryum, uranyum ve aktinyum serileridir. Toryum serisinin kütle numarası $4n$ ve ^{208}Pb 'e kadar, uranyum serisinin kütle numarası $4n+2$ ve ^{207}Pb 'e

kadar, aktinyum serisinin kütle numarası $4n+3$ ve ^{206}Pb 'a kadar bozunarak kararlı duruma gelirler [30].

2.2.1.1. Toryum Serisi

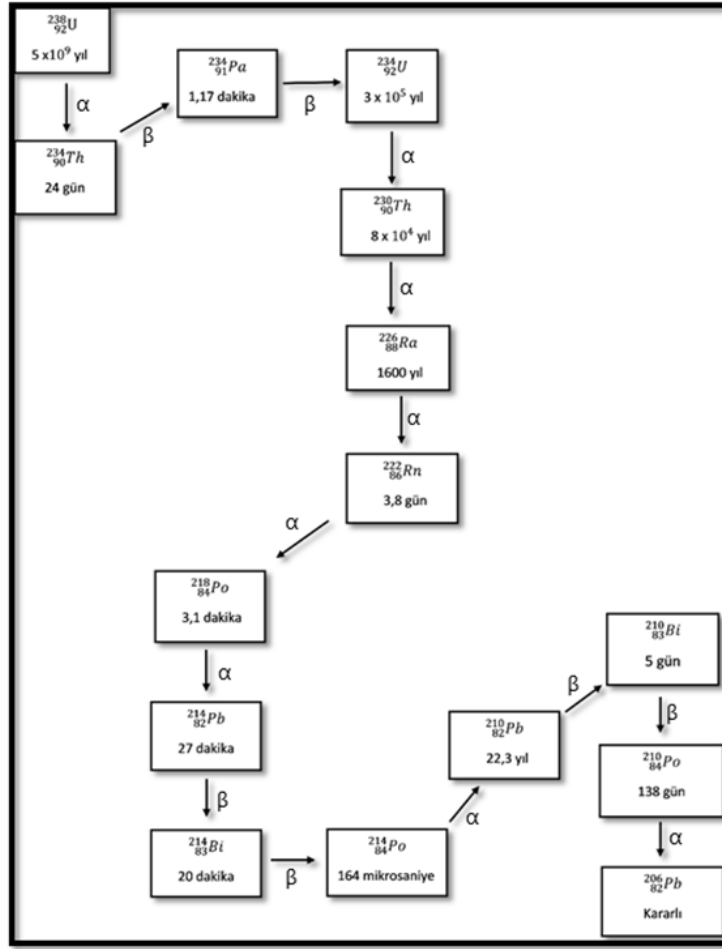
Toryum serisi doğal olarak oluşan ^{232}Th ile başlayan üç klasik radyoaktif seriden biridir. Bu radyoaktif bozunma zinciri çekirdek kararlı duruma gelene kadar devam eder. Toryum serisi kararlı çekirdek olan ^{208}Pb ile son bulur. Toryum serisinde radyoaktif çekirdekler α , β ve γ yayınlayarak 12 bozunum gerçekleştirir. Toryum serisi Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.6: ^{232}Th çekirdeğinin bozunum zinciri.

2.2.1.2. Uranyum Serisi

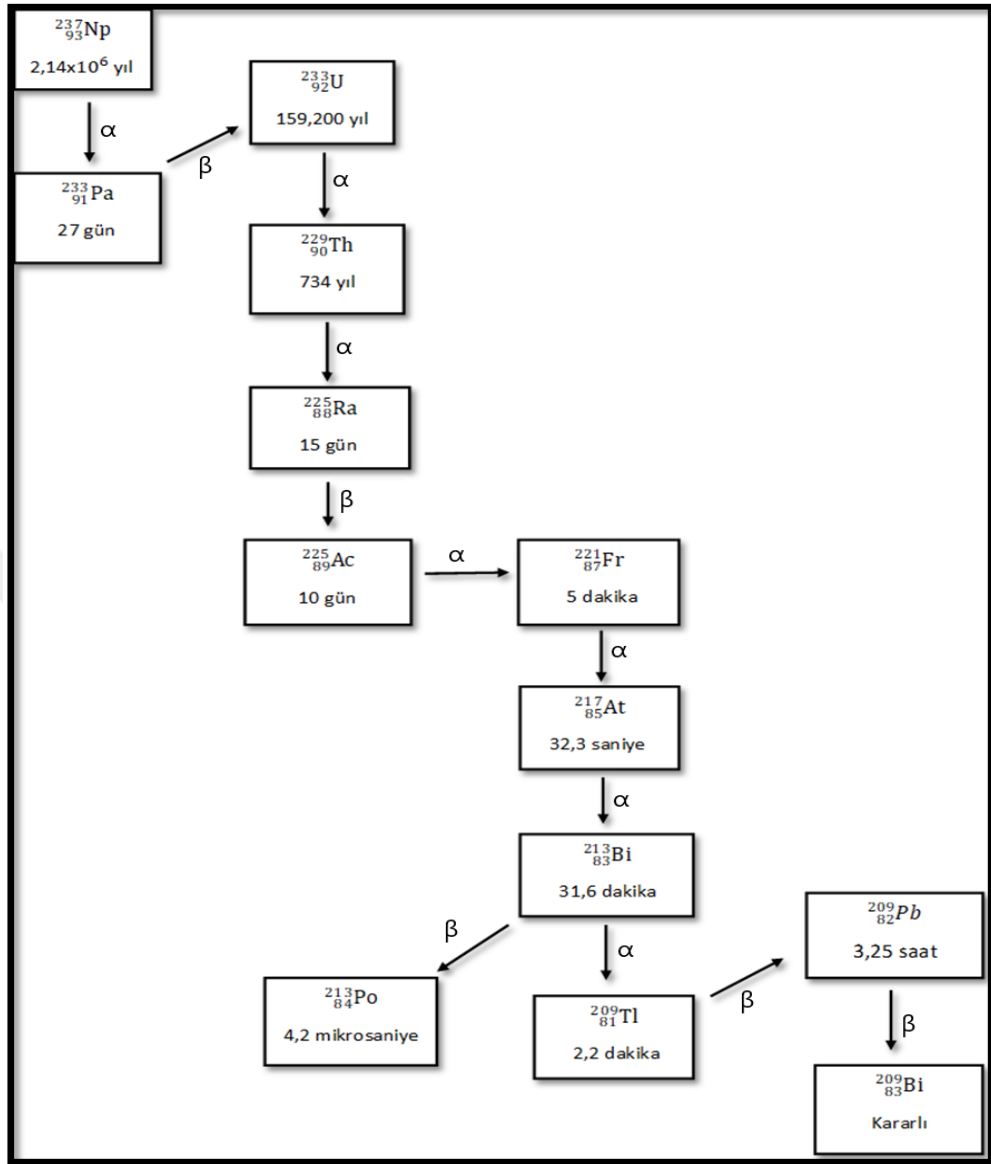
Uranyum serisi doğal yolla oluşan ^{238}U ile başlar ve kararlı olan çekirdek ^{206}Pb ile biter. Uranyum bozunma zincirinde radyoaktif çekirdekler α , β ve γ yayınlayarak kararlı olana kadar 15 bozunum gerçekleştirir. Uranyum serisi şekil 2.7' de verilmiştir.



Şekil 2.7: ^{238}U çekirdeğinin bozunum zinciri.

2.2.1.3. Aktinyum Serisi

Aktinyum serisi doğada bulunan ^{238}U ile başlar ve kararlı durumda olan çekirdek ^{207}Pb ile biter. Aktinyum bozunma zincirinde radyoaktif çekirdekler α , β ve γ yayınlarak kararlı duruma gelene kadar 15 bozunum gerçekleştirir. Aktinyum serisi şekil 2.8 de gösterilmiştir.



Şekil 2.9: ^{237}Np çekirdeğinin bozunum zinciri.

2.3. RADYOAKTİF BOZUNMA YASASI

Fiziksel olarak, radyoaktif bir örnekteki bir atomun ne zaman bozunacağı bilinmez. Radyoaktif bozunma, olasılık teorisi ve istatistiklerin belirlediği özelliklere göre zamana bağlı olarak rastgele ve keyfi olarak meydana gelir. Önemli olan, çekirdeği ayrı ayrı incelemek değil, radyoaktif bir çekirdeğin bozunma olasılığını birim zamanda ele almaktır. Bu olasılık, λ ile gösterilen radyoaktif bozunma sabiti ile orantılıdır. Radyoaktivitenin bozunma yasasına göre, bozunma olasılığı λ sabittir [31].

Radyoaktif bir çekirdeğin birim zamanda meydana gelen bozunma sayısı, çekirdeğin bozunma aktivitesi olarak tanımlanır. T zamanında N tane radyoaktif çekirdek varsa ve herhangi bir anda örneğe hiçbir çekirdek eklenmez ise dt aralığında bozunan çekirdek sayısı, N ile orantılı olacaktır [32,33].

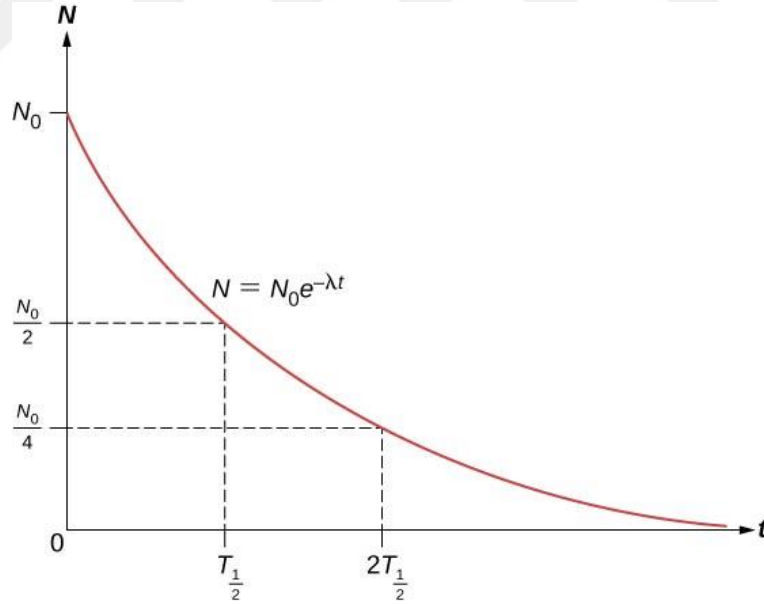
$$dN(t) = -\lambda N(t)dt \quad (2.10)$$

(2.10) denkleminde (–) işaretin olmasının sebebi, çekirdek sayısının zamanla azalmasından dolayıdır. Denklem (2.10) çözülürse;

$$\int \frac{dN(t)}{N(t)} = \int -\lambda dt \quad (2.11)$$

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.12)$$

(2.12) denkleminde radyoaktif üstel bozunma yasası elde edilmiş olur. (2.12) denkleminde N_0 ($t=0$) anındaki çekirdek sayısı, $N(t)$ ise bozunumdan sonra geriye kalan çekirdek sayısıdır.[33].



Şekil 2.10: Radyoaktif bir örneğin zamanla değişimi [34].

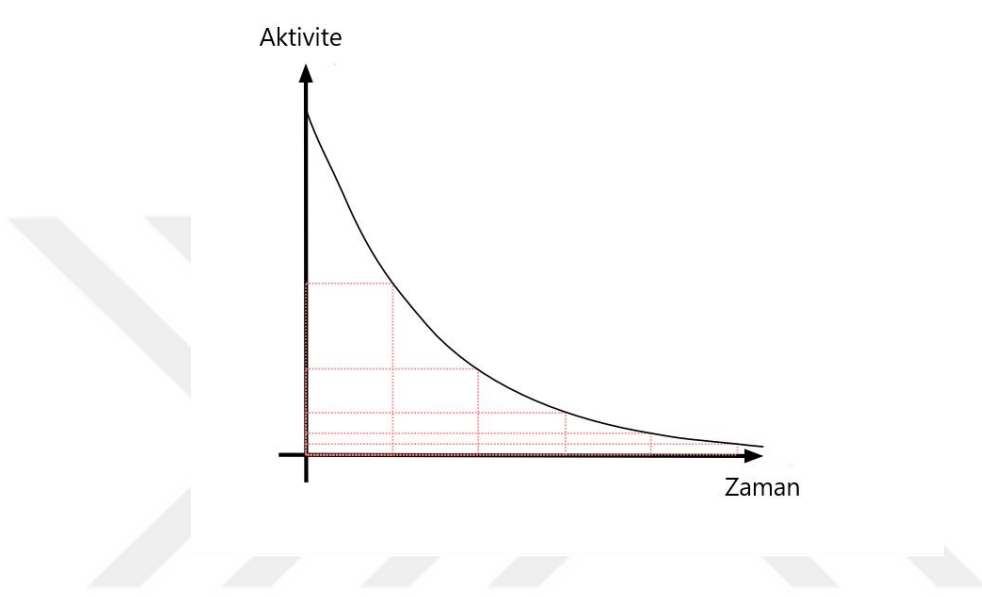
(2.12) denkleminin her iki kısmı da λ ile çarpılır ise aktivite için bir ifade şu şekilde bulunur;

$$\lambda N(t) = \lambda N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.13)$$

Yukarıdaki $N\lambda$ ifadesi birim zaman başına bozunma sayısını gösterir ve A ile temsil edilir. Birimi ise bozunma/saniye'dir [35].

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t} \quad (2.14)$$

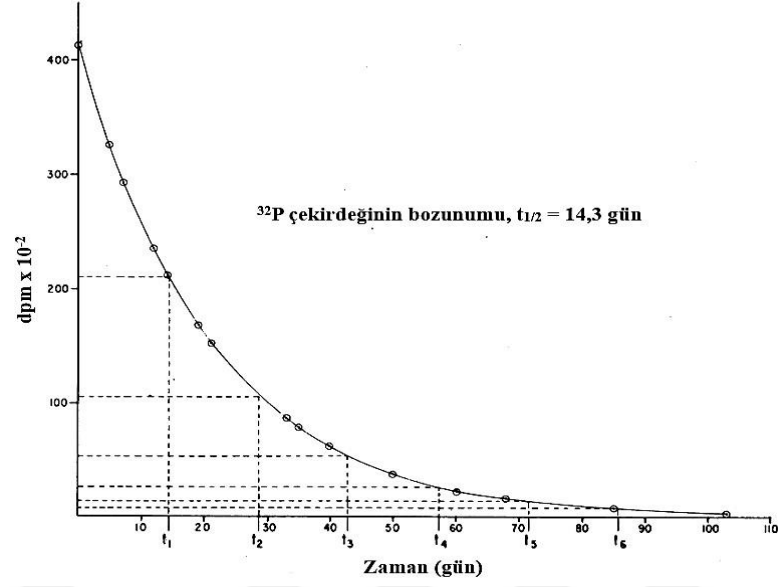
Burada; $A (= \lambda N)$ t zamanındaki aktivitedir ve $A_0 (= \lambda N_0)$ ise $t=0$ zamanındaki aktivitedir.



Şekil 2.11: Aktivitenin zamanla değişim grafiği.

2.3.1. Radyoaktivite Bozunum Süreci

Radyoaktif bir çekirdeğin aktivitesi, birim zaman başına bozunan çekirdek sayısı olarak ifade edilir. Bozunan radyoaktif çekirdeğin aktivitesi zamanla azalmaktadır. Örneğin ^{32}P çekirdeğinin aktivitesi, gün cinsinden zamana karşı çizildiğinde;



Şekil 2.12: ^{32}P çekirdeğinin zamana karşılık gün başına bozunumu [36].

Yukarıda gösterilen eğri elde edilir. Veriler, ^{32}P çekirdeğinin yarısının 14,3 gün içinde bozunduğu gözlemlenmiştir. Demek oluyor ki ^{32}P çekirdeğinin yarı ömrü 14,3 gündür. Herhangi bir radyonüklidin başlangıçtaki miktarının yarısına düşmesi için gereken süreye yarılanma ömür denir ve her radyonüklidin kendine has yarılanma ömrü vardır. Radyonüklidlerin yarılanma ömürleri mikrosaniye ile milyonlarca yıl arasında değişir [36]. Yarı ömrü yani $t_{1/2}$ ' yi bulabilmek için $N = N_0/2$ olarak alınır;

$$\frac{N}{2} = N_0 e^{-\lambda t_{1/2}} \quad (2.15)$$

$$\frac{1}{2} = e^{-\lambda t_{1/2}} \quad (2.16)$$

Her iki tarafın logaritması alınır;

$$-\lambda t_{1/2} = \ln\left(\frac{1}{2}\right) = -\ln 2 \quad (2.17)$$

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (2.18)$$

Yarı ömür elde edilmiş olur.

Radyoaktif çekirdekler aynı anda bozunma gerçekleştirmez bu sebeple her çekirdek farklı ömürlere sahiptir. Radyoaktif bir çekirdeğin yaklaşık ne kadar zaman aktif durumda kalacağını ortalama ömür olarak ifade edilir ve ortalama ömür τ ile temsil edilir ve ortalama ömür denklem (2.19)'da gösterilmiştir [37].

$$\tau = \frac{1}{N_0} \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \quad (2.19)$$

2.3.2. Radyoaktif Denge

Bozunma serisinde olduğu gibi radyonüklidler arasındaki ilişkiler şu şekilde yazılabilir;

$$\text{Nüklid K} \rightarrow \text{Nüklid L} \rightarrow \text{Nüklid M (kararlı)} \quad (2.20)$$

Nüklid 1, radyoaktif bozunma ile nüklid 2' ye ve nüklid 2 radyoaktif bozunma ile nüklid 3'e dönüşür ve kararlı hale gelir. Nüklid 1, nüklid 2'nin ana nüklidi ve nüklid 1'in kızı nüklid 2 dir. Herhangi bir anda nüklid 2'nin oluşma oranı, nüklid 1'in bozunma oranına bağlıdır [36];

$$\frac{dN_L}{dt} = -\frac{dN_K}{dt} - \lambda_L N_L = \lambda_K N_K - \lambda_L N_L \quad (2.21)$$

(2.21) denkleminde verilen $\lambda_L N_L$ Nüklid L'nin bozunma oranıdır. Nüklid K'nın bozunma oranı aşağıdaki gibidir;

$$\frac{dN_L}{dt} + \lambda_L N_L + \lambda_K N_K^0 e^{-\lambda_K t} = 0 \quad (2.22)$$

Bu denklemde N_K^0 , $t = 0$ zamanında nüklid K'nın atomlarının sayısıdır. Yukarıdaki denklemin çözümü;

$$N_L = \frac{\lambda_K}{\lambda_L - \lambda_K} N_K^0 (e^{-\lambda_K t} - e^{-\lambda_L t}) + N_L^0 e^{-\lambda_L t} \quad (2.23)$$

Burada N_L^0 , $t = 0$ zamanında nüklid L'nin atomlarının sayısıdır. $t = 0$ da $N_L^0 = 0$ için [36,37];

$$N_L = \frac{\lambda_K}{\lambda_L - \lambda_K} N_K^0 (e^{-\lambda_K t} - e^{-\lambda_L t}) \quad (2.24)$$

Yukarıdaki denklem düzenlenirse;

$$N_L = \frac{\lambda_K}{\lambda_L - \lambda_K} N_K (1 - e^{-(\lambda_K - \lambda_L) t}) \quad (2.25)$$

Denklem (2.25)'deki bozunma sabiti yerine yarılanma ömrü olan $t_{1/2}$ yazıldığında ve uzun bir süre geçtikten sonra, denklem (2.25)'deki üstel fonksiyon sıfır olur, radyoaktif denge kurulur;

$$N_L = \frac{\lambda_K}{\lambda_L - \lambda_K} N_1 = \frac{t_{1/2} (L) / t_{1/2} (K)}{1 - \frac{t_{1/2}}{t_{1/2} (K)}} \quad (2.26)$$

Bir radyoaktif dengede ana ve kız çekirdeğin kütle ve aktivite oranı sabit kalır. Radyoaktif dengenin kurulması için gereken süre hem ana hem de kız çekirdeğin yarı ömrüne bağlıdır. Bu durumda üç farklı denge durumu ortaya çıkar;

1. Kız çekirdeğin yarı ömrü, ana çekirdeğin yarı ömründen çok daha kısadır;

$$t_{1/2} (K) \gg t_{1/2} (L)$$

2. Ana çekirdeğin yarı ömrü, kız çekirdeğin yarı ömründen daha uzundur ve ana çekirdeğin bozunması ihmal edilmez.

$$t_{1/2} (K) > t_{1/2} (L)$$

3. Ana çekirdeğin yarı ömrü, kız çekirdeğin yarı ömründen çok daha kısadır.

$$t_{1/2} (K) < t_{1/2} (L)$$

Kalıcı Denge: Kalıcı dengede, ana çekirdeğin yarı ömrü kız çekirdeğin yarı ömründen çok daha uzundur.

$$t_{1/2} (K) \gg t_{1/2} (L)$$

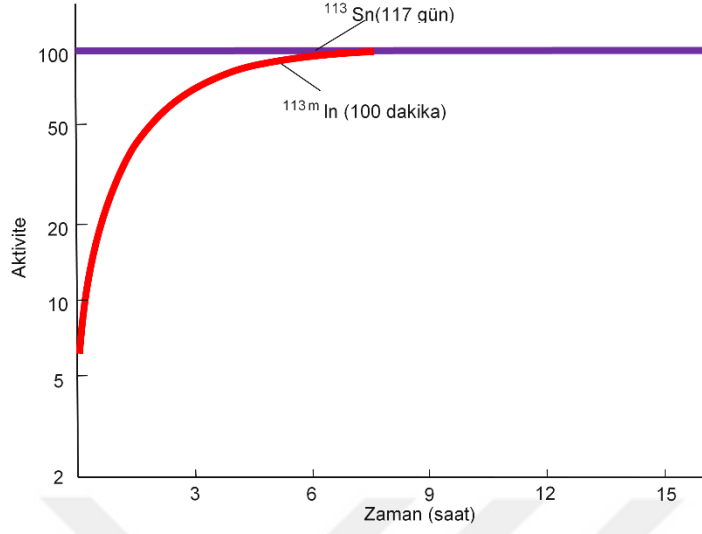
Denklem (2.24) düzenlenirse;

$$N_L = \frac{\lambda_K}{\lambda_L} N_K (1 - e^{-\lambda_L t}) \quad (2.27)$$

Daha sonra $t \gg t_{1/2} (L)$ olduğunda radyoaktif denge kurulur;

$$\frac{N_L}{N_K} = \frac{\lambda_K}{\lambda_L} = \frac{t_{1/2} (L)}{t_{1/2} (K)} = N_L \lambda_L = N_K \lambda_K \quad (2.28)$$

$$A_K = A_L \quad (2.29)$$



Şekil 2.13: ^{113}Sn çekirdeği ile bozunduğu $^{113\text{m}}\text{In}$ arasındaki kalıcı denge gösterimi.

Geçici Denge: Geçici dengede, ana çekirdeğin yarı ömrü kız çekirdeğin yarı ömründen çok fazla büyüktür. $t_{1/2} (K) > t_{1/2} (L)$. Kız çekirdeğin genel denkleminde;

$$N_L = \frac{\lambda_K}{\lambda_L - \lambda_K} N_K^0 (e^{-\lambda_K t} - e^{-\lambda_L t}) \quad (2.30)$$

$$N_L = \frac{\lambda_K}{\lambda_L - \lambda_K} N_K^0 e^{-\lambda_K t} \quad (2.31)$$

$$\frac{N_L}{N_K} = \frac{t_{1/2} (L)}{t_{1/2} (K) - t_{1/2} (L)} \quad (2.32)$$

Kalıcı radyoaktif dengede ana ve kız çekirdeğin aktiviteleri aynıdır. Geçici dengede ise kız çekirdeğin aktivitesi her zaman daha yüksektir;

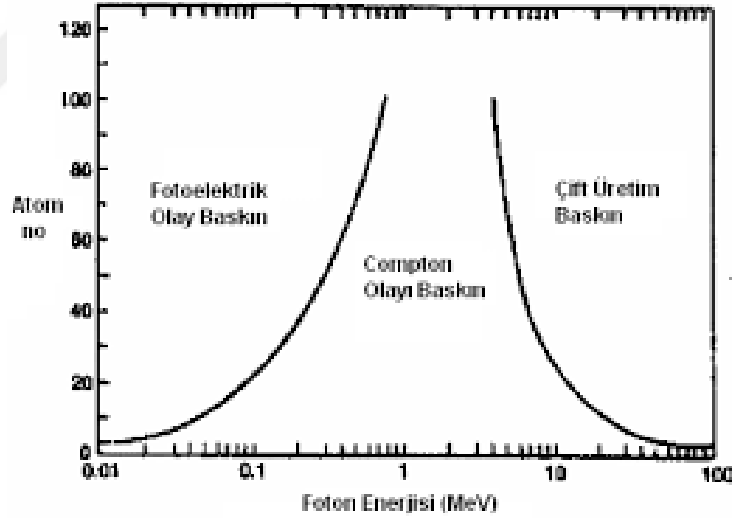
$$\frac{A_K}{A_L} = \frac{\lambda_K N_K}{\lambda_L N_L} = 1 - \frac{\lambda_K}{\lambda_L} = 1 - \frac{t_{1/2} (L)}{t_{1/2} (K)} \quad (2.33)$$

Dengede Olmama Durumu: Denge olmaması durumunda, ana çekirdeğin yarı ömrü kız çekirdeğin yarı ömründen daha kısadır. Ana çekirdeğin yarı ömrü, kız çekirdeğinkinden daha kısa bir yarı ömrü olur [36].

2.4. GAMA RADYASYONUNUN MADDE İLE ETKİLEŞMESİ

Gama radyasyonu, alfa ve beta yani yüklü parçacık radyasyonundan çok farklıdır. En önemli fark ise gama radyasyonunun kütlesi ve yükü olmamasıdır. Gama fotonları her zaman çekirdekten yayınlanırken X ışınları fotonları ise iç elektron orbitalleri tarafından yayınlanır. Bununla birlikte hem gama hem de X ışını radyasyonları elektromanyetik radyasyondur. Bu nedenle madde ile etkileşimleri birlikte ele alınabilir. Ek olarak yok olma olayında gama fotonları üretilirken X ışınları fotonları elektronların Brehmsstrahlung'u tarafından oluşturulur. En önemli etkileşimden biri olan gamanın madde ile etkileşmesi enerjiye göre 3 şekilde sınıflandırılır [38].

- Fotoelektrik Olay
- Compton Saçılması
- Çift Oluşum



Şekil 2.14: Foton enerjisine göre fotoelektrik olay, Compton saçılması ve çift oluşum olaylarının baskın olduğu bölgeler [24].

2.4.1. Fotoelektrik Olay

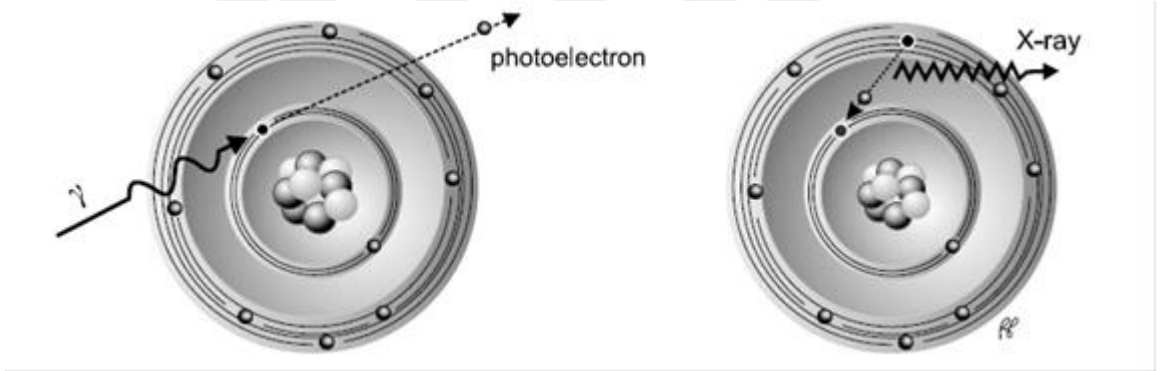
Düşük enerjide gelen bir fotonun enerjisi bir atom tarafından tamamen soğurulabilir. Bu durumda, foton tüm enerjisini atomun bir elektronuna aktarır ve böylece kinetik enerji kazanan elektron yörüngeden dışarıya atılır, dışarıya atılan bu elektrona foto elektron adı verilir ve bu

olaya da fotoelektrik olay denir. Sonuç olarak uyarılan elektronun enerjisi, elektronun bağlanma enerjisinden daha küçük olan gelen fotonun enerjisine eşittir. Bu olay Einstein'ın fotoelektrik denklemi ile tanımlanır;

$$E_e = h\nu - \phi \quad (2.34)$$

Burada E_e , atomun yörüngesinden dışarıya atılan elektronun enerjisidir, $h\nu$ gelen fotonun enerjisi ve ϕ ise elektronun bağlanma enerjisi veya elektronu atomdan koparmak için gereken enerjidir [38,39].

Fotoelektrik olay, atomun iç elektron kabuklarından ağırlıklı olarak K elektron kabuğunda meydana gelir. Bir iç atomik K veya L kabuğundan bir elektron çıkarıldığında yörüngede bir elektron boşluğu oluşur ve bu boşluğu doldurmak için dış kabuktaki bir elektron iç elektron kabuklarına düşer ve böylece X ışını açığa çıkar [40].



Şekil 2.15: Fotoelektrik Olay [38].

2.4.2. Compton Olayı

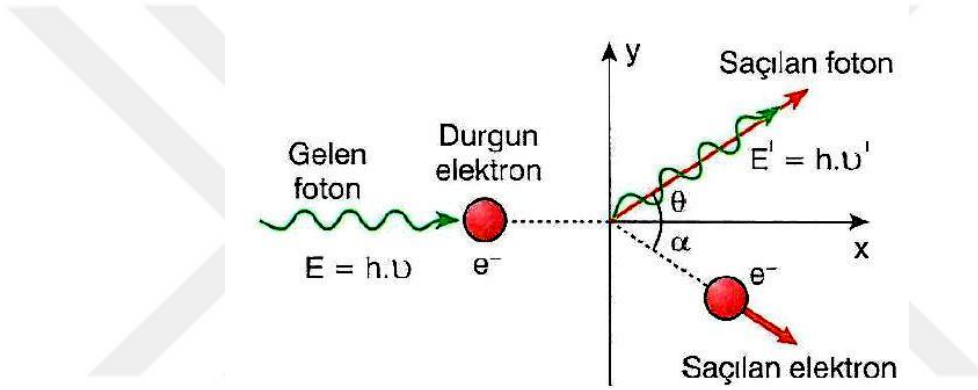
Orta enerjide gelen bir foton, atomun yörüngelerindeki serbest bağlı bir elektrona çarptığında gelen foton enerjisinin bir kısmını elektrona aktararak elektrona kinetik enerji kazandırır ve enerji kazanan elektron atomun yörüngesinden dışarıya atılır. Foton geriye kalan enerjisiyle elektrondan saçılarak yoluna devam eder. Bu olaya Compton Olayı denir. Gelen ve saçılan fotonların dalga boyları arasındaki fark;

$$\lambda_{saçılan} - \lambda_{gelen} = \frac{h}{m_0c} (1 - \cos\theta) \quad (2.35)$$

Burada $\lambda_{saçılan}$, saçılan fotonun dalga boyu iken λ_{gelen} , gelen fotonun dalga boyudur, h Planck sabitidir, m_0 elektronun durgun kütlesi, c ışık hızıdır ve θ ise fotonun saçılma açısıdır [41].

Compton saçılmasında, foton elektronla çarpışmasında kaybedilen enerji nedeniyle, saçılan foton, gelen fotondan her zaman daha uzun dalga boyuna sahip olacaktır. Gelen fotonun enerjisini ve fotonun saçılma açısını biliyorsak doğrudan Compton saçılma fotonunun enerjisini hesaplayabiliriz;

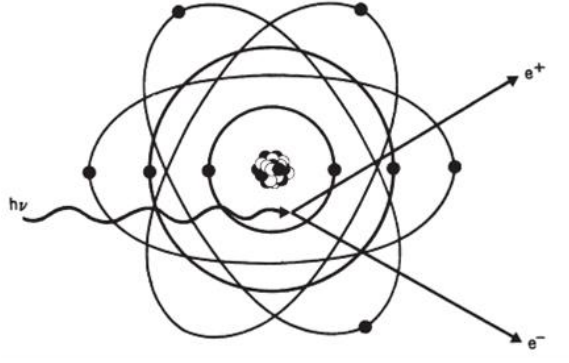
$$E_{\gamma'} = \frac{E_{\gamma}}{1 + \left(\frac{E_{\gamma}}{mc^2} \right) (1 - \cos\theta)} \quad (2.36)$$



Şekil 2.16: Compton Saçılması Olayı [42].

2.4.3. Çift Oluşumu

Yüksek enerjide gelen bir foton (1,022 MeV), atomun çekirdeği etrafından geçerken yoğunlaşarak maddeye (e^- ve e^+ çiftine) dönüşür. Ortaya çıkan bu elektron ve pozitron çiftinin kütlesi, elektronun kütle enerjisinin iki katıdır $2(0,51) = 1,022$ MeV, bu da reaksiyonun sadece gama ışınının en az bu miktarda enerjiye sahip olması durumunda ortaya çıkabileceği anlamına gelir. Ortaya çıkan bir elektron ve bir pozitron ile birleşerek yok olur, bu yok olma olayına Annihilasyon olayı denir ve açığa 2 foton çıkar. Yok olma olayında zıt yönlü eşit enerjili 2 foton meydana getirir. Fotonların her biri enerji-momentum korunumunu sağlamak için 0,511 MeV'lik enerjiye sahip olurlar.



Şekil 2.17: Çift Oluşum Olayı [38].

2.5. İNSANIN RADYASYONA MARUZ KALMA YOLLARI

Tüm canlı organizmalar sürekli olarak her zaman doğada var olan radyasyona maruz kalırlar. Bu radyasyon kaynakları uzaydan ve güneşin yüzeyinden gelen kozmik ışınlar, dünya kabuğunda ve binalarda meydana gelen karasal radyonüklidler ve havada, suda, gıdalarda ve insan vücudunda bulunan radyonüklidlerdir.

Radyasyona maruz kalma, vücudun radyasyon varlığında olduğu durumu ifade eder. İki tür radyasyona maruz kalma durumu vardır. Bunlar; iç (dahili) maruz kalma ve dış (harici) maruz kalma durumudur. Dış (harici) maruz kalma, toprakta, havada veya vücudun yüzeyiyle temasta bulunan radyoaktif maddelerden gelen radyasyona maruz kalmayı ifade eder. Dış radyasyona maruz kalmanın tersine iç (dahili) radyasyona maruz kalma durumu, bir canlının, yiyecek ve içeceklerde bulunan radyoaktif maddeleri vücudunun içerisine alması (sindirim), havada bulunan radyoaktif maddeleri bir canlı nefes alıp vererek bu radyoaktif maddeleri vücudunun içerisine alması (solunum), radyoaktif maddeler deriden emildiğinde, radyoaktif maddeler açık bir yaradan vücudunun içerisine girdiğinde ve tıbbi tedavi amacıyla radyoaktif maddelerin vücuda alınmasıdır. Radyoaktif maddeler vücuda girdikten sonra radyoaktif maddenin biyolojik yarılanma ömrü geçene kadar vücut radyasyona maruz kalmaya devam edecektir. İç ve dış maruz kalma yolları arasındaki fark, radyasyon yayan kaynağın vücudun içinde mi yoksa dışında mı olduğudur [43,44].

2.5.1. Havadan Alınan Radyasyon

Günlük hayatımıza devam ederken çevrede çeşitli radyasyon formlarına maruz kalınmaktadır. Havadan maruz kalınan radyasyonun kaynaklarından biri toprak ve kayada bulunan radyonüklidler ve dünya atmosferindeki kozmik ışınların etkileşimlerinden ortaya çıkan radyasyondan kaynaklanmaktadır. Havadan alınan radyasyon kaynağının bir diğeri de topraktan ve yapı malzemesinden çıkan radon gazından kaynaklanmaktadır. Çoğunlukla havada bulunan radyoaktif maddeler akciğerde birikime sebep olur ancak bazı elementler akciğer dokusundan da emilebilir ve diğer organlara taşınabilir. Solunum yoluyla maruz kalınan çeşitli elementlerden radon en büyük doza sebep olur [45].

^{222}Rd (radon), sürekli olarak kaya ve toprakta oluşan bir gazdır. Normalde açık havada radon konsantrasyonu düşüktür. Ancak kapalı bir yerde radon konsantrasyonu yüksek seviyelerde olabilir. Radon, yerden duvardaki çatlaklara ve deliklere sızarak evlere ve diğer binalara girer. Binaların içinde hapsolmuş birikmiş radon, bina uygun şekilde havalandırılmadığı takdirde sağlık için tehlike oluşturabilir. Aynı zamanda thoron ^{222}Rd 'nin izotopudur ve iki radyoaktif maddenin özellikleri benzerdir ama thoron radona göre daha düşük doza sahiptir. Thoron da radon gibi topraktan yapı malzemesi olan duvardaki çatlak ve deliklerden geçerek eve sızar.

Havada var olan radyasyon kaynaklarından biri de galaksilerden ve güneşten gelen kozmik ışınlardır. Kozmik ışınlar esas olarak proton ve alfa parçacıklarından oluşur. Dünya atmosferinin üst katmanlarında bu parçacıklar da müonlar, nötronlar, elektronlar, pozitronlar ve fotonlardır. Kozmik ışınlardan kaynaklanan radyasyona maruz kalma büyük ölçüde yüksekliğe bağlıdır. Çünkü kozmik ışınlar düşük yüksekliklerde atmosferde bulunan oksijen ve azot atomları ile etkileşmeye girer ve böylece enerji kaybederek yere ulaşan radyasyon miktarının azalmasına neden olur. Yani kozmik ışınlar yüksek rakımlarda daha tehlikeli dozda iken düşük rakımlarda düşük dozdadır [46].

2.5.2. Sudan Alınan Radyasyon

Dünya üzerinde yaşayan tüm canlıların yaşamlarını sürdürebilmeleri için suya ihtiyaçları vardır. Başta insanlar olmak üzere tüm canlılar suyu önce içme gereksinimi olarak kullanır bunun dışında su ve yeraltı suları çeşitli amaçlar için de kullanılır. Suyun doğal radyoaktivitesi öncelikle suyun temas ettiği radyoaktif kayalar ve minerallerden elde edilir. Bazı bölgelerde erimiş magmalardan çıkan radyoaktif gazlar doğal su kaynaklarına radyoaktivite katmış

olabilir. Aynı şekilde yeraltı suları da temas ettiği kayalardan geçerken kayadaki radyoaktif maddelerin çözünmesiyle yeraltı suyuna radyoaktivite katabilir. ^{40}K , ^{87}Rb , ^{235}Th , ^{235}U ve ^{238}U radyoaktif elementleri yeraltı sularında çokça bulunur. ^{222}Rn (radon) toprak ve kayalarda çok fazla miktarda bulunduğundan dolayı yeraltı sularında da bulunur.

Doğada doğal olarak bulunan radyoaktif element serisi vardır; uranyum serisi, toryum serisi ve aktinyum serisidir. Uranyum serisinde, doğal olarak oluşan uranyumun %99,28'ini oluşturan uranyum izotopu ^{238}U sekiz alfa parçacığı ve altı beta parçacığı yayınlamaya bozunur ve nihai ürün kararlı kurşun ^{200}Pb ile son bulur. Doğada bulunan bileşiklerin yarılanma ömürlerindeki farklılıklar nedeniyle ^{238}U ve ^{226}Rd radyonüklidleri suda saptanabilir miktarda bulunan uranyum serisinin tek üyeleridir. Su kaynağını başlıca yaşamak için içme gereksinimi olarak alırken bitkileri yetiştirmek içinde su kaynakları kullanılır. Aynı zamanda deniz, göl ve nehir gibi su kaynaklarında bulunan radyoaktif maddeler deniz canlılarına geçer [44,47].

2.5.3. Besinlerden Alınan Radyasyon

Radyonüklidler genellikle su zincirinde (okyanus, deniz ev göllerde) veya besin zincirinde kolayca biyo-konsantre olabilen karasal tabakalarda (toprak ve kayalarda) görülür.

Dünyanın oluşumundan beri var olan radyonüklidler kayalarda tespit edilmiştir ve bu kayalarda baskın olan radyonüklidler sırasıyla; uranyum, toryum, radyum ve potasyumdur. Bu radyoaktif elementlerin hayati organlarda veya vücut sıvılarında birikmesinin çok çeşitli fizyolojik bozukluklara yol açabilmektedir. Büyük miktarlarda radyoizotop çevreye boşaltıldığında, meyve, sebze ve hayvan yemi gibi yiyeceklerin yüzeyine hava birikintileri olarak veya kirlenmiş yağmur suyu/kar yoluyla yiyecekleri etkileyebilir. Sudaki radyoaktivite nehirlerde ve denizde de birikebilir ve buradan da balık ve deniz mahsullerine geçebilir. Çevreye girdikten sonra radyoaktif madde, bitki ve deniz ürünleri tarafından alındığı veya hayvanlar tarafından yutulduğu için besinlerde de radyoaktivite dahil edilir. [48,49].

İnsanlarda doğal radyasyona maruz kalma genelde besin zinciri transferinden kaynaklanmaktadır. Besinlerdeki radyonüklidlerin seviyeleri değişken olmakla birlikte toprak özelliklerine, PH, mineral, gübre ve besinin üretildiği coğrafi bölge dahil olmak üzere çeşitli faktörlere bağlıdır. Besinlerde yaygın olarak ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{238}U radyonüklidleri ve bunların bozunum ürünleri bulunur. Genel olarak bitkilerde ^{40}K en sık görülen doğal radyonüklidtir [50].

Genellikle bir bitki veya bir sebze içinde radyonüklid kontaminasyonu meydana geldiğinde iki mekanizma dahil edilebilir. Bu kök alımı yoluyla topraktaki radyonüklidin bitkiye geçmesi veya hava ile bitkilerin yaprakları üzerinde biriken radyoaktif kalıntılardır. Toprağın üst katmanlarında radyonüklidlerin varlığı, insan besin zincirine entegrasyon şanslarının artması nedeni ile çevre insan sağlığı için ciddi tehlike oluşturur. Bu yüzden bir besinde radyonüklidlerin mevcut olduğu seviyelerin incelenmesi zorunludur. Sindirim yoluyla radyonüklidlere maruz kalmayla ilişkili sağlık riskleri ile ilgili yeterli bilgi sağlaması genel popülasyon için çok önemlidir [51].

2.6. TOPRAKTAKİ DOĞAL RADYOAKTİVİTE

2.6.1. Toprakta Bulunan Radyonüklidler

Doğada yaklaşık 340 nüklid bulunmuştur, bunların yaklaşık 70'i radyoaktiftir ve esas olarak ağır elementler arasında bulunur. Atom numarası 80'den büyük olan tüm elementler radyoaktif izotoplara sahiptir ve 83'den ağır elementlerin tüm izotopları radyoaktiftir.

Dünyanın radyoaktivitesi üç ana kategori içerir. Bu kategoriden birincisi olan primordial radyonüklidlerin, evrenin oluşumundan bu yana hayatta kalabildikleri kadar uzun yarı ömürleri vardır. İkincil radyonüklidler, primordiallerin radyoaktif bozulmasından türetilir. Üçüncü kategorideki kozmojenik radyonüklidler sürekli olarak öncelikle atmosferde olmak üzere kararlı nüklidlerin kozmik ışınlar tarafından bombardımanı ile üretilir. Şu anda var olan primordial radyonüklidler, yarı ömrü en azından evrenin yaşı ile karşılaştırılabilir olanlardır. Bu primordial yani evrenin oluşumundan beri var olan çok uzun yarı ömürlü olan radyasyon kaynakları, toprağın ve toprak tabakasının altındaki kaya tabakasının radyoaktif olmasına sebep olmaktadır [52].

Bu toprakta bulunan ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K gibi radyonüklid konsantrasyonları toprak tipine, mineral içeriğine, jeolojik özelliklere ve jeolojik koşullara bağlı olarak değişmektedir. Bu koşullar radyonüklidlerin topraktaki dağılımını ciddi şekilde etkileyebilir. ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K gibi radyonüklidler daha çok volkanik, tuz ve granit yapılarında yüksek konsantrasyonda, tortul kayalarında da düşük konsantrasyonlarda bulunurlar [53].

Kaya tabakalarında bu radyonüklidler zamanla yağmur, kar, rüzgâr gibi çevresel şartlara bağlı olarak aşınır, ufalanır ve yağmur veya yeraltı sularıyla toprağa taşınır. Özellikle, gama

ışınlarının önemli bir kısmının 0-25 cm derinlikteki yüzey tabakadan kaynaklandığı bilinmektedir. Bu sebep ile topraktaki doğal radyoaktivite artar.

Aynı zamanda tarım, yüzyıllardır hayatta kalmanın ve beslenmenin en önemli araçlarındadır. Bundan dolayı tarımsal çalışmalarda ve toprağın verimini arttırmak için kullanılan inorganik gübrelerde bulunan radyonüklidler de toprağın radyoaktivite seviyesini artırır [54]. Tablo1 'de çeşitli kayalardaki yıllık radyasyon doz şiddetleri gösterilmektedir.

Tablo 1: Çeşitli kayalardaki yıllık radyasyon doz şiddetleri [55].

KAYA ÇEŞİTLERİ	ÇEKİRDEK	DOZ ŞİDDETİ (mSv/saat)
VOLKANİK KAYAÇLAR	^{226}Ra	2,4
	^{238}U	2,6
	^{232}Th	3,7
	^{40}K	3,5
TORTUL KAYALAR		
KUMTAŞI	^{226}Ra	1,3
	^{238}U	0,7
	^{232}Th	1,8
	^{40}K	1,5
	^{226}Ra	2
TABAKALI	^{238}U	0,7
KALKERLİ	^{232}Th	3,1
	^{40}K	3,6
	^{226}Ra	0,7
	^{238}U	0,8
	^{232}Th	0,4
	^{40}K	0,4

Topraktaki doğal radyoaktivite, toprak tabakasının altındaki kayaç çeşidine ve toprak derinliğine göre farklılıklar göstermektedir. ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{238}U gibi toprak içinde bulunan doğal radyonüklidler toprakta bulunma oranlarına göre çevrenin ve ortamın doğal radyoaktivite seviyesini belirlemektedir [43].

2.6.2. Topraktaki Radyonüklidlerin Bitkiye Geçmesi

Doğada birçok radyasyon kaynağı vardır. Karasal arka fon radyasyonu olarakta adlandırılan, doğal yolla oluşan radyonüklidlerden yayılan gama radyasyonu, insan vücudunun ana dış ışınlama kaynağını temsil eder. Yerkabuğunun ayrışması, doğal arka plan radyasyonunun ana kaynağını oluşturan primordial radyonüklidlerin toprağa salınması için nihai mekanizmadır. Bitkinin radyonüklidler ile etkileşimleri iki düzeyde gerçekleşir: bitkinin filiz kısmında veya bitkinin rizosfer veya toprak kök bölgesinde etkileşir. Bu iki mod tarafından birikme, beklendiği gibi birbiriyle ilişkilidir, çünkü bitkinin yapraklarına ve sürgününe ulaşan radyonüklidler sonunda yapraklardan elüte edilecek veya aşınacak ve sonuçta toprağa ulaşacaktır. Bitkiler, doğada bulunan ^{40}K , ^{232}Th , ^{238}U radyonüklidlerini havada parçacıklar veya aerosoller (ve gazlar) olarak veya toprak-kök bölgesinde asılı kalmaları neticesinde birikimle bünyelerine alırlar ve topraktan alınan bu radyonüklidlerin bir kısmı diğer bitki kısımlarına da taşınır [57,58].

Bitkiler tarafından topraktan radyonüklid alım oranı, bitki köklerinin farklı elementleri veya bileşikleri emme hızı ve toprak çözeltisindeki radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonları ile belirlenir. Doğal yolla toprakta biriken ve toprağın radyoaktif olmasına sebep olan ^{40}K , ^{232}Th , ^{238}U radyonüklidleri toprakta bulunan diğer kimyasal bileşikler ile etkileşime girip kimyasal bağ yaparak toprakta tutulurlar ve böylece toprağın radyoaktifliği de artar. Bundan sebebiyetle bitkinin topraktan radyonüklid alımı bu kimyasal etkileşimden dolayı azalır. Toprakta bulunan radyonüklidler kimyasal bileşikler ile etkileşime girmez ise bitkinin topraktan radyonüklidleri kök yardımı ile alımı daha kolaylaşır aynı zamanda toprağın radyoaktifliği de düşük olur.

Bitki sadece kök yardımı ile değil gövde ve yaprak yardımı ile de havadaki radyasyon alımını gerçekleştirir. Havada bulunan ve kozmik ışınlardan gelen alfa, beta parçacıkları ve gama ışını dünyamızın atmosferi ile etkileşerek yeryüzünde asılı kalır. Yeryüzünde ve havada asılı kalan radyonüklidleri, bitkiler yaprak ve gövde yüzeyiyle tutar. Bitkinin yüzey alanı ne kadar geniş

ise o kadar fazla radyonüklid Emilimi gerçekleştirir. Yaprak ve gövdede tutulan radyonüklidler daha sonra bitkinin diğer kısımlarına aktarılır [59].

Aynı zamanda sadece doğal radyasyonu değil yapay radyasyonu da bitkiler havadan ve topraktan alır. Bunlar nükleer tesislerden yayılan yapay radyasyonlardır ve hava ile etkileşime geçerek yeryüzünde bulutlar ile taşınabilir veya yağmur bulutları ile taşınarak yağmur şeklinde yüzeyde ve toprakta birikebilir. Doğada bulunan bitkileri, bazı canlılar yaşamak için tüketmek zorundadır. Bu sebep ile bitkide biriken radyonüklidler tüketim yolu ile besin zincirine girerler [60,61].

2.6.3. Transfer Faktörü (TF)

İnsan doğası, kararsız çekirdeklerden yayınlanan alfa, beta ve gama parçacıkları, doğal ve yapay yolla oluşan radyonüklidler ile doludur. Doğal kökenli radyasyon kaynağından gelen dünya nüfusu tarafından her yıl alınan toplam radyasyon dozunun yaklaşık % 96.1'i, % 3.9'unu oluşturan insan yapımı kaynaklardan gelen radyasyon dozuna kıyasla büyüktür. Doğal radyonüklidlerin bitkiler tarafından alınmasıyla radyonüklidlerin çevreye, besin zincirine ve canlılara geçiş yollarının ve bu doğal radyonüklidlerin salınımlarının etkilerinin değerlendirilmesinde büyük önem taşımaktadır. İnsanın iç radyasyona maruz kalması esas olarak gıda tüketimi ile ilişkilidir [62].

Radyonüklidlerin topraktan bitkilere alımı, bitkide biriken radyonüklid miktarının bir tahmininde kullanılan transfer faktörü (TF) olarak adlandırılan bitki sistemine transferi, toprak-bitki aktivite konsantrasyon oranında yaygın olarak kullanılan bir değerlendirme modelidir. Radyonüklidlerin topraktan bitkiye transferi aşağıdaki formül ile hesaplanır;

$$TF = \frac{\text{Radyonüklidin bitkideki aktivite konsantrasyonu (Bq/Kg)}}{\text{Radyonüklidin topraktaki aktivite konsantrasyonu (Bq/Kg)}} \quad (2.39)$$

Bununla birlikte, belirli bir radyonüklid için TF verileri, toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerine, toprak ve bitkideki radyonüklid davranışına ve çevresel değişikliklere bağlı olarak bitkiden diğerine ve çevreden diğerine önemli ölçüde değişebilir [63,64].

2.7. BİTKİ YETİŞTİRMEDE GÜBRELEMENİN ÖNEMİ

Canlılar gibi bitkilerin de yaşamlarını ve gelişimlerini sürdürebilmek için besine ihtiyaçları vardır. Bu ihtiyaç duydukları besinlerin bir kısmını havadan alırken diğer kısmını topraktan kökleriyle alırlar. Her bitkinin ihtiyaç duyduğu besin maddesi farklı olabilir. Bitkinin daha iyi gelişebilmesi ve daha fazla ürün verebilmesi için ihtiyacı olan besin maddeleri toprağa verilmelidir. Bitkinin ihtiyacı olan besin maddeleri verilmez ise toprakta kalan besin maddelerinin tükenmesi nedeniyle ürünün verimi azalır. Bitkilerin daha verimli ve daha kaliteli olması için toprağa, her bitkinin ihtiyaç duyduğu besin maddeleri katılarak bitkilerin beslenmesi gerekir.

2.7.1. Gübre ve Gübreleme

Bitki için daha iyi bir gelişim sağlamak, ürün miktarını yani verimi arttırmak ve toprağın yapısını iyileştirmek için hem toprağa hem de bitkiye uygulanabilen ve bir veya birden fazla bitki ve toprağın ihtiyaç duyduğu besin maddelerini bir arada bulunduran bileşiklere gübre denir. Bu besin maddelerini barındıran bileşiklerde azot, fosfor, potasyum, kalsiyum, magnezyum, kükürt gibi besin maddeleri bulunur. Yetiştirilen bitkinin verimini ve kalitesini arttırmak için içerisinde bir veya birden fazla bitki besin maddesi içeren organik ve kimyasal bileşiklerin yani gübrenin toprağa ve bitkiye verilmesine gübreleme denir.

Gübrelemenin iki temel amacı vardır. Bunlardan birincisi toprağa bitki besin maddesini vererek toprağın verimini arttırmak ve sürekliliğini sağlamak, ikincisi ise toprağa bitki besin maddesi vererek toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirerek ekilecek olan bitkinin daha iyi gelişmesini sağlamaktır. Yetiştirilen bitkilerin daha iyi gelişmesi için gübreleme çeşitleri konusu önemlidir. Bitkiler toprağa ekilmeden önce toprağa gübre verilmesine temel gübreleme denir. Bitkilerde temel gübreleme yapıldıktan sonra uzun süre sonra bitki zamanla toprakta bulunan besin maddelerini tüketir. Tüketimden sonra bitkinin ihtiyacına göre bitki besin maddesi verilmelidir. Bu işleme de üst gübreleme denir. Toprağa bitki besin maddesini katı formda verilmesine de katı gübreleme denir.

Ülkemizde genellikle katı gübreleme yapılmaktadır. Özellikle açık alanlardaki tarım uygulamalarında kullanılır. Bitki besin elementlerinin sıvı şeklinde verilmesine de sıvı gübreleme denir. Sıvı gübreleme ise seracılıkta çok kullanılmaktadır [65,66].

2.7.2. Organik Gübre

Bitkiye göre toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirerek bitkilerin ihtiyacı olduğu besinleri ve mineralleri içinde bulunduran, bitkilerin ihtiyacı olduğu besinleri kolaylıkla topraktan almasını sağlayan maddeye gübre denir. Hayvanların katı atıklarından ve buna benzer doğal yollarla olan gübreye organik gübre denir. Organik gübreler, içerisinde bulunan minerallerle toprağa ve bitkiye dayanıklılık kazandırır. Böylelikle bitkilerden elde edilen mahsulün verimi artar [67].

2.7.3. Kimyasal Gübre

Toprakta olması gereken kimyasal maddeleri desteklemek amacı ile yapay yolla kimyasal metotlar ile üretilen maddelere kimyasal gübre denir. Kimyasal gübre üretiminde besin elementleri önemlidir fakat üretilirken toprağın yapısı düşünülmez. Toprağa verilen kimyasal gübreler toprakta bulunan organizmaların çalışmasını olumsuz yönde etkiler ve bu da toprağın pH seviyesini düşürür. Toprağın, kimyasal gübre ile teması sonucu oluşan reaksiyonlarla mikroorganizma dengesizliği bozulur. Mikroorganizmanın bulunmadığı bir toprakta bitki ve böcek artıklarının parçalanması olumsuz etkilenir. Bundan dolayı toprağın verimliliği azalarak toprak fakirleşir [68].

2.7.4. Gübrelerde Bulunan Doğal Radyoaktif Elementler

Bitkilerin büyümesi ve gelişmesi için gerekli olan besin elementlerini gübre içinde bulundurur. Hayvansal gübreler genel olarak toprağın verimini arttırmak için kullanılır. Hayvansal gübreler organik madde açısından zengindir. Aynı zamanda toprağın yapısını düzenler ve toprağa önemli miktarda azot (N), fosfor (P), potasyum (K), kükürt (S), kalsiyum (Ca) gibi besin elementlerini sağlarlar. Bu tez çalışmasında kullanılan, hayvan (ahır) gübresi ve solucan gübresi organik gübrelerdendir. Bu hayvansal gübrelerin içerisinde azot (N), fosfor (P), potasyum (K), kükürt (S) ve kalsiyum (Ca) gibi doğal radyoaktif elementler bulunur [69].

Azot (N): Bitkilerde bulunan klorofilin temel yapıtaşıdır. Klorofil de bitkilerin protein ana maddesi olan güneş enerjisini bitki için yararlı hale getirir. Azot bitkilerin yaprak ve gövde sisteminin oluşumunu destekler. Bitkinin verimini ve gelişimini etkiler.

Fosfor (P): Toprağın yapısını düzenleyerek bitkinin kalitesini arttırır. İlk kök oluşumunu ve gelişmesini destekler. Çoğu sebzenin kalitesini iyileştirir. Tohum oluşumunda etkili olup bitkinin diğer bölümlerine göre tohumdaki içeriği yüksektir. Köklerin hızlı gelişmesine yardımcı olur. Bazı bitkilerde hastalıklara karşı direnç sağlar.

Potasyum (K): Genellikle kumlu ve organik topraklarda ihtiyaç vardır. Bitkilerin kök sisteminin gelişmesini hızlandırır. Bitkide nişasta ve şeker oluşumunda rol oynar. Bitkinin hastalıklara karşı direncini artırır.

Kükürt (S): Proteinin ana bileşenidir. Enzim ve vitaminlerin gelişmesinde etkilidir. Metabolizma aktivasyonunda klorofil, fotosentez, nişasta oluşumu ve şeker dolaşımında gereklidir. Amino asitlerin ana bileşenidir.

Kalsiyum (Ca): Kök ve yaprak sisteminin gelişmesinde gerekli bir besin elementidir. Hücre duvarının yapı taşlarını oluşturur. Molibden elementinin kullanılabilirliğini ve diğer besin elementlerinin alımını artırır.

Gübreler içerisinde en çok kullanılan gübre de kimyasal gübredir. Organik gübrelere göre kimyasal gübreler yüksek miktarda bitki besin maddesi içerir ve suda kolayca çözünebilir. Yapılan tez çalışmasında kullanılan kimyasal gübreler;

NPK 0-20-20: %20 potasyum ve %20 fosfor ve 0 azotlu kimyasal gübredir. Gübreler, toprakta eksik olan besin maddelerinin seviyesini arttırmak için kullanılır. 0-20-20 gübresi eklendiğinde toprağın fosfor ve potasyum seviyesini arttırır. Bu gübre, genellikle kış aylarında kullanılır. Çünkü, kışın bitkiler çok az veya sıfır azot tüketir ve yağmurdan dolayı su, topraktaki azotu yıkayarak uzaklaştırır.

Üre: Azotlu gübreler içinde azot oranı en yüksek olan gübredir. Üre 'nin kimyasal formülü $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ olup, içeriğindeki azot (N) oranı %46'dır. Bitkilerin azot ihtiyacını karşılamak için kullanılır.

DAP (Diamonyum Fosfat) 18-46-0: %18 azot (N) ve fosfor pentaoksit (P_2O_5) olarak %46 fosfor bulunduran iki besinli bir gübredir. DAP gübresi, bitki beslenmesi için mükemmel bir potasyum (P) ve nitrojen (N) kaynağıdır [70].

NPK Süper Kompoze: İçeriğinde %15 azot (N), %15 fosfor (P_2O_5), %15 potasyum (K_2O), %9 kükürt (S), %1 çinko (ZN) bulunur. İçeriğinde bulunan potasyum sayesinde özellikle ürünün kalitesi artar. Gübre bileşimine ilave edilen çinko, kök oluşumu ve büyüme üzerinde etkilidir. İçeriğinde %9 oranında bulunan kükürt, SO_4 formunda olup bitkiler tarafından doğrudan alınabilir. Potasyum, bitkilerde don ve soğuklarda dayanıklılık sağlar. Aynı zamanda hastalık ve zararlılara karşı bitkinin direnci yükselir.

AS (Amonyum Sülfat): Ağırlıkça %21 azot (N) ve %24 kükürt (S) bulunan suda çözünür bir gübredir. Yüksek pH'lı topraklara sahip bölgelerde, amonyum sülfattaki kükürt toprak pH seviyelerinin düşürülmesine yardımcı olur [71].

NPK 15-15-15 + Zn: Bileşiminde %15 azot (N), %15 fosfor (P_2O_5) ve %15 potasyumu (K_2O) eşit oranda içeren kompoze gübrede ayrıca %1 oranında çinko (ZN) bulunmaktadır. Dengeli gübreleme yapmak için ideal bir ürün olan 15.15.15 + ZN gübresi mahsulde verime etki etmektedir.

NPK 15-15-15 + 12(SO_3): Bileşiminde %15 azot (N), %15 fosfor (P_2O_5) ve %15 potasyumu (K_2O) ve %12 kükürt (SO_3) bulunur. Toprağın pH seviyesini ayarlar.

NPK 10-20-20 + 15(SO_3) + Zn: İçeriğinde, %10 azot (N), %20 fosfor pentaoksit (P_2O_5), %20 potasyum oksit (K_2O), %15 kükürt (SO_3) ve %1 çinko (Zn) bulunur. Yüksek verim ve kaliteli üründe etkilidir.

2.7.5. Tarım Alanlarında Gübrelemenin Önemi

İnsanoğlunun varoluşundan beri süre gelen en eski kültürel faaliyetlerde biri olan tarım, geçmişten bugüne kadar çeşitli süreçlerden geçerek gelişmiştir. Tarımla alakalı sanayilerin kurulması, gelişmesi ve tarım alanında birçok bilimsel gelişme olması tarımda devrim niteliğinde değişimler yaşanmasına neden olmuştur. Aynı zamanda toprak uygulamalarının gelişmesi, birim alandan alınan verimin artmasına neden olmuştur.

Ülkemizde nüfusun çoğunluğu tarımla uğraşıp geçimini tarımsal ürünlerden karşılar. Topraktaki bitki besin maddelerinin bitkiler tarafından alınması, aynı zamanda toprağın yıkanması ve erozyon sonucunda bitki besin maddelerinin topraktan uzaklaşmasıyla toprak zamanla fakirleşmektedir. Toprağın verimini ve bitkinin kalitesini arttırmak için tarım

alanlarında gübreleme çok önemlidir. Gübre, topraktaki zararlı mikroorganizmalara karşı mücadele eder, toprağın ihtiyacı olduğu mineralleri ve bitkinin ihtiyacı olduğu bitki besin maddelerini karşılar. Böylece tarımsal işlemler gübre sayesinde daha verimli hale getirilerek toprağın fakirleşmesi önlenir [72,73].

2.7.6. Ülkemizde Gübre Tüketim Durumu

Ülkemizin nüfusunun hızla artmasıyla ihtiyaç duyulan gıda maddelerindeki artış ve kişi başına düşen gıda maddelerinin azalmasıyla birlikte duyulan ihtiyacı azaltmak için tarım alanlarında gübrenin kullanılması kaçınılmazdır [74]. Ülkemizin 2015-2019 yılları arasında gübre tüketim durumu aşağıdaki Tablo2’de gösterilmiştir;

Tablo 2: Ülkemizde 2015-2019 yılları arasında gübre tüketim durumu [75].

GÜBRE ÇEŞİTLERİ	2015	2016	2017	2018	2019
Amonyum Sülfat (AS)	91.297	174.319	179.226	83.821	173.240
Üre	427.982	294.922	434.783	502.148	508.296
Diamonyum Sülfat (DAP)	286.467	292.116	332.034	259.700	271.307
Triple Süper Fosfat	145.560	60.900	85.795	62.959	44.200
NPK 0-20-20	555.159	542.446	622.567	604.273	748.183
NPK 15-15-15 +Zn	118.030	129.467	139.322	136.435	147.075
NPK 10-20-20	-	-	-	-	-
NPK 0-20-20 +Zn	393.513	366.906	359.731	380.154	420.026

2.7.7. Fosfojips’in Tanımı ve Kullanım Alanları

Dünyanın oluşumundan beri yerkabuğunda var olan doğal radyoaktif seriler, uranyum (^{238}U), toryum (^{232}Th) ve aktinyum (^{235}U) serilerinin ürünleri ve bu serilerin ürünleri haricinde yerkabuğunda doğal yolla var olan radyoaktif potasyum (^{40}K) vb. radyonüklidler çevredeki radyoaktivite için önemli bir kaynaktır. Yerkabuğunda bulunan fosfat madeni, doğal radyoaktif serilerine ait radyonüklidleri içerisinde bulundurmaz. Tarımda kullanılan fosfatlı gübrelerin bir hammaddesi olan fosfatik kayalardır. Fosfatik kayalar, fosforik asit veya sülfürik asitle kimyasal tepkimesi sonucunda fosfojips atık madde olarak elde edilir. Fosfojips atık maddesinin kimyasal analizlerinde, bu atık malzemenin yaklaşık %93’ünün fosfojips, geri kalan %7’sinin fosfat, florid ve organik maddeler olduğu bulunmuştur. Gübre üretim sürecinde radyum (^{226}Ra) büyük ölçüde fosfojipse geçer.

Fosfojips, inşaat sektöründe katkı ham maddesi olarak ve yol, köprü yapımı gibi uygulamalarda kaplama veya dolgu malzemesi olarak kullanılır. Aynı zamanda tarım alanlarının iyileştirmesinde kullanılır [76,77].



3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. GAMA SPEKTROSKOPİ SİSTEMİ

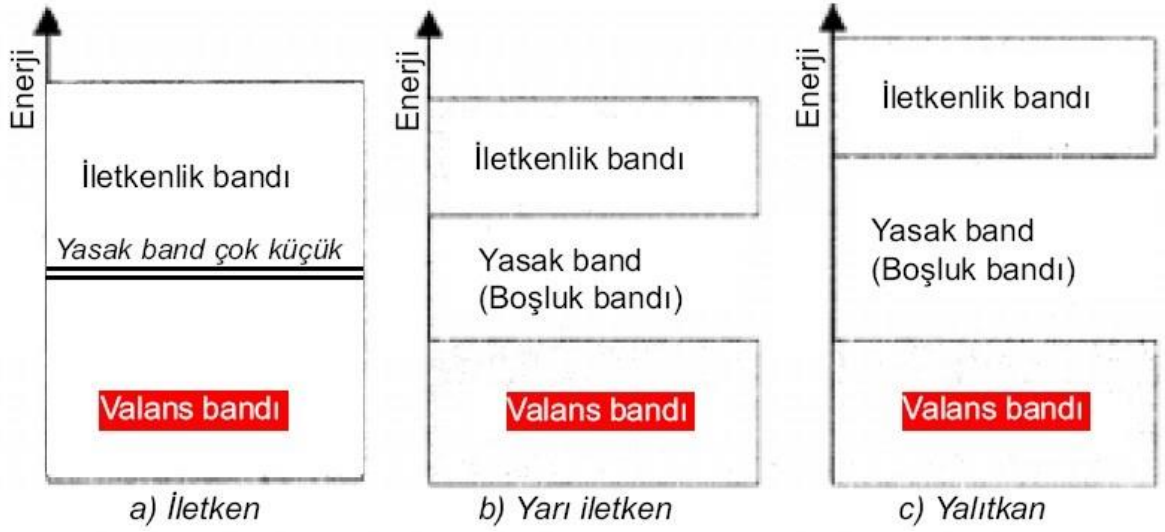
Bir materyalin veya bir kaynağın radyoaktif olup olmadığını, eğer kaynak veya materyal radyoaktif ise yayınlanan radyoaktif çekirdeklerin dedekte edilmesini, bu radyoaktivitenin hangi radyonüklitden kaynaklandığını belirlemek için ve bu radyonüklitlerden yayımlanan gama ışınlarını dedekte edebilen bir dedeksiyon sistemidir. Bir kaynaktan yayımlanan gama radyasyonunun dedekte edilmesi, gelen radyasyonun dedektör malzemesi ile etkileşerek enerjisinin tamamını ya da bir kısmını soğurucu malzeme içerisindeki elektrona aktarmasıyla alakalıdır. Bu sebeple, gelen gama ışınlarının dedektör malzemesiyle etkileşiminde bir veya daha fazla hızlı elektron üretebilmesi için yüksek bir etkileşim olasılığına sahip olduğu bir dönüştürme ortamı olarak işlev görmelidir [78].

3.1.1. HpGe Yarıiletken Dedektörü ve Çalışma Prensibi

Gama ışınları yüksüz oldukları için madde ile etkileşimlerinde iyonize olamazlar. Bir gama ışınının dedekte edilebilmesi için gelen ışın, enerjisinin tamamını veya bir kısmını dedektör malzemesiyle etkileşerek elektrona aktarmalıdır ama gama ışınları dedektör malzemesi ile etkileşim yapmadan malzemedan geçebilir bu yüzden gama ışınlarının dedekte edilmesi zordur. Gama ışınlarını dedekte etmek ve enerjilerini ölçmek için yüksek çözünürlüklü dedektör seçimi yapılmalıdır.

İlk olarak Van Heerden 1945 yılında yarıiletken kristallerin dedektör olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Si (Li) ve Ge (Li) dedektörlerinde katkılanmış Li atomları yüksek sıcaklıklarda hareket eder bundan dolayı bu tip dedektörler her zaman soğutulmalıdır. Ge ile katkılanmış dedektörlerde, dedektörün soğutulma işlemi sıvı azot veya mekanik soğutucu ile yapılır bu da daha kolaydır ve sadece kullanıldıkları süre boyunca soğutulmaları yeterli olur. Bundan dolayı gama ışınlarının ölçülmesinde yüksek saflıkta germanyum kristali ile yapılan yarıiletken dedektörler kullanılır. Yarıiletken Ge dedektörleri, sintilasyon dedektörleri ile karşılaştırıldığında en önemli üstünlükleri, yüksek enerji çözünürlüğüne sahip olmalarıdır. Gama ışınlarının dedekte edilmesinde en çok kullanılan yöntem yüksek enerji çözünürlüğünden dolayı ve dedektörün kolay soğutulmasından dolayı HpGe (High Purity Germanium) dedektörüdür [79,80].

Bir atomun en dış yörüngesine valans bandı denir ve valans bandında bulunan elektronlara da valans elektronları denir. Valans bandında bulunan elektrona dışarıdan bir kuvvet ile elektrona yeteri kadar enerji kazandırılırsa elektron valans bandından kopar ve serbest hale gelir. Elektronun serbest halde bulunduğu banda iletim bandı denir. Valans bandı ile iletim bandı arasında belli bir enerji seviyesine sahip bir bant aralığı bulunur bu aralığa da yasak band denir [81]. Yalıtkan, iletken ve yarıiletken malzemelerin band yapıları şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Yalıtkan, iletken ve yarıiletken malzemelerin band yapıları [82].

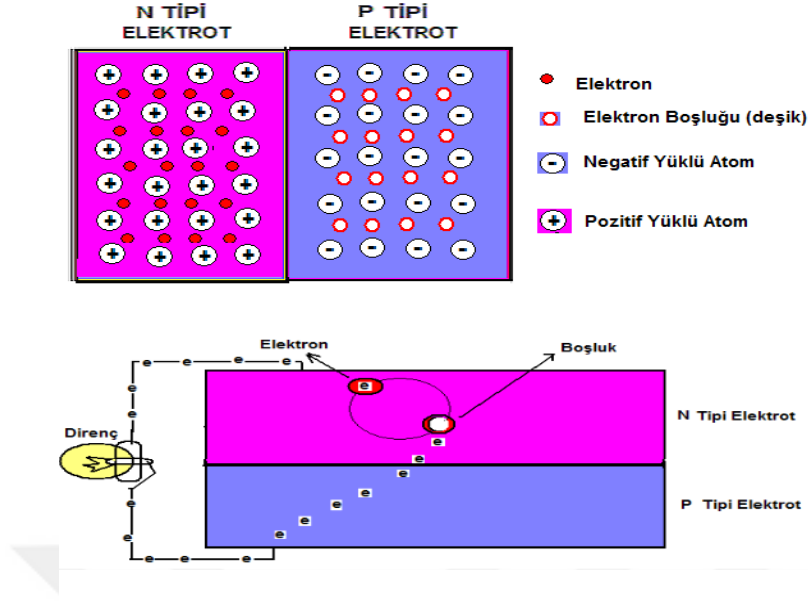
Yalıtkanlar elektrik akımını iletmezler. Yalıtkan bir malzemenin son yörüngesindeki elektron sayısı çok fazladır bu yüzden son yörüngesinden herhangi bir elektronu koparmak çok zordur. Yalıtkan malzemenin band yapısında, iletim bandı ile valans bandı arasında belli bir enerjiye sahip geniş bir yasak bandı bulunur, yasak bölge dışarıdan uygulanacak enerji ile aşılamayacak kadar geniştir ve valans bandından iletim bandına elektronların geçmesi zordur. Yalıtkanlarda, yasak bandının enerjisi, $E > 5 \text{ eV}$ 'dir [83,22].

İletkenler elektrik akımını iletirler. İletken bir malzemenin son yörüngesindeki elektron sayısı azdır. İletken bir malzemenin band yapısı, iletim bandı ile valans bandı arasında yasak bandı çok küçüktür hatta iletim bandı ile valans bandının enerji seviyeleri bitişiktir. Dışarıdan verilen çok küçük bir enerji bile valans bandında bulunan elektronların serbest hale gelmesini sağlar.

Yarıiletkenlerin iletkenlikleri, yalıtkanlar ve iletkenler arasında özellikleri olan maddelerdir. Yarıiletken malzemeden meydana gelen kristalin son yörüngesindeki elektronlar zayıf bağlı olduğu için valans bandında bulunur. Valans elektronlar zayıf bağlıdır, zayıf bağlı elektrona en az bant aralığı kadar enerji verilir ise bağlı olduğu atomun yörüngesinden ayrılır ve serbest hale geçer ve serbest halde bulunduğu band ise iletkenlik bandıdır. İletkenlik bandı ile valans band arasındaki yasak band, bu iki band arasındaki farka eşittir ve 1 eV 'dir. Bir yarıiletken malzemenin serbest halde bulunan elektronları mutlak sıfırda ve 0 derece valans bandında bulunur ama oda sıcaklığında valans bandında bulunan elektronlar, yasak bandı aşmaya yetecek kadar enerjiyi alır. Bundan sebep ile HpGe dedektörü -176 C°'de soğutulmalıdır.

Yalıtkan malzemeden oluşan kristalin, dışarıdan enerji alarak valans bandından koparılan elektron iletim bandına geçtiğinde valans bantta bir boşluk oluşturur ve bu sebeple elektrik akımı oluşturur. Böylece iyonizasyon ile iki farklı taşınır yük oluşur. Bunlar elektronlar ve boşluklardır. İletim bandında bulunan elektronlar bir yöne doğru hareket eder, boşluklar ise elektronlara göre ters yöne doğru hareket eder ve elektronların birikmesiyle bir puls oluşmaktadır [84].

Yarıiletken malzemeler ne yalıtkan gibi ne de iletken gibi davranır. Ge ve Si kristallerine serbest elektron sayısı veya boşluk sayısı eklenerek yarıiletken malzemelerin iletkenliklerinin daha iyi olabilmesi sağlanır. Bunun içinde saf Ge ve Si kristallerine katkı maddesi eklenerek sağlanır. Bunlara n tipi ve p tipi madde denir. N ve p tipi maddelerin yapısı şekil 3.2'de gösterilmiştir.



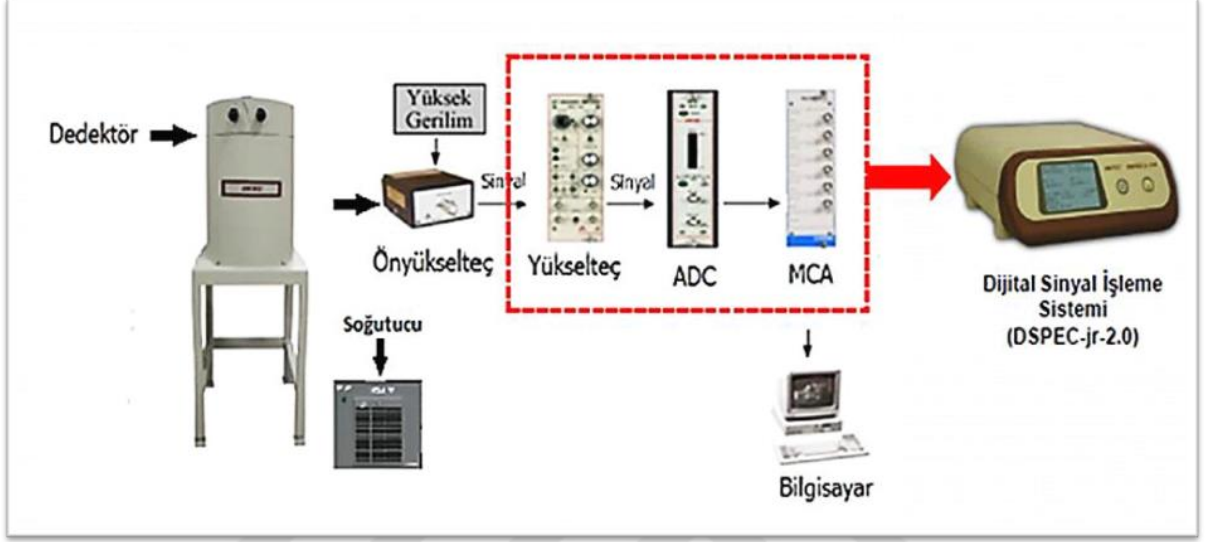
Şekil 3.2: N ve p tipi maddelerin yapısı [85].

Son yörüngesinde 4 elektronu olan yarıiletken saf bir Ge veya Si kristallerine, son yörüngesinde 5 valans elektron bulunan Arsenik (As) ve Fosfor (F) gibi katkı maddeleri belirli oranda eklenirse arsenik veya fosfor atomunun yörüngesinde bulunan 5 valans elektrondan dördü, kendine komşusu olan Ge veya Si atomunun birer elektronu ile kovalent bağ yapar. Bağ yapmayan 5. elektron boşta kalır ve bu boşta kalan elektron iletkenliği artırır. Bünyesinde fazla elektron bulunan Si veya Ge kristallerine n tipi yarı iletken denir [85,84].

Son yörüngesinde 4 elektronu olan yarıiletken saf bir Ge veya Si kristallerine, son yörüngesinde 3 valans elektronu olan Bor (B), Galyum (Ga) ve Alüminyum (Al) gibi katkı maddelerini belirli oranda karıştırarak oluşturulan yeni örgüde katkı maddesinin atomları kovalent bağ yapabilmesi için bir elektron eksikliği olduğu görülmektedir. Bu elektronun eksik olmasından dolayı ortaya çıkan boşluğa deşik denmektedir. Bu durumda deşik elektron almak için uygundur. Bu yöntemle elde edilen yeni malzemeye P tipi yarıiletken malzeme denir. Deşikler, pozitif yüklüdür ve p tipi malzemede akım taşıyıcılarıdır [84,83].

Yarıiletken dedektörler hem p tipi hem de n tipi yarıiletken kullanılmaktadır. Bu yarıiletken malzemenin uçlarında elektrotlar vardır ve voltaj uygulanır. Dedektörün p ucuna -, n ucuna + voltaj uygulanırsa buna ters besleme denir. Geri besleme yapılırsa, elektronlar n tipi bölgedeki

elektrotlara, deşikler ise p tipi elektrota doğru gider. Geride kalan bölge de nötr bölgesidir ve yarıiletken dedektörlerde bu bölge tüketim bölgesi olarak adlandırılır. Dedektöre gelen gama ışını tüketim bölgesi ile etkileşime girerse bu bölgede bir elektron-deşik çifti oluşur ve dedektör çıkışında puls meydana gelir. [80]. Gama spektroskopisi Şekil 3.3’de gösterilmiştir.



Şekil 3.3: Gama spektroskopisi sistemi [22].

3.1.2. Ön Yükselteç

Radyasyonun bir HPGe dedektöründen geçmesi sonucu enerji kaybından dolayı üretilen sinyal atması genellikle çok dar bir genişliğe, kısa süreye, gürültüye ve küçük bir genliğe sahiptir, bu nedenle doğrudan sayısallaştırılamaz ve hatta sayılamaz. Bu nedenle, gelen sinyal kuvvetlendirmek için bir ön yükseltmeden geçmesi gereklidir [86].

3.1.3. Yükselteç

Ön yükselteçten gelen atmaların, sayılabilecek kadar yüksekliğini arttırmak ve iyi bir enerji ayrımı yapacak şekilde şekillendirilmeyi sağlar. Aslında, yükseltecin ana işlevleri: sinyallerin kazancını düzeltmek (genliği artırmak) ve gürültüyü filtrelemektir. Yükselteçten çıkan iki çıkış sinyali vardır. Bunlardan biri pozitif loblu tek kutuplu (sinyalin pozitif veya negatif pik kısmı), diğeri ise pozitif loblu bipolardır (çift kutuplu).

3.1.4. Çok Kanallı Analizör

Çok kanallı Analizör (MCA), gelen atmaları atma yüksekliğine göre sıralayan ve çok kanallı bir bellekte her yükseklikte sayımın sayısını tutan bir cihazdır. Her kanalın içeriği daha sonra bir ekranda görüntülenebilir. Her kanal belirli bir enerjiye karşılık gelir ve sayım boyunca gelen atmaların birikmesiyle pikler oluşur. Gelen atmaların genliğini, atma yüksekliğine göre bir değeri ilişkilendiren bir analog-dijital dönüştürücü (ADC) aracılığıyla dijitalleştirir [87].

3.1.5. Analog Sayısal Dönüştürücü

Yükselteçten gelen sinyalleri genlikleri ile orantılı olarak sayısal sisteme dönüştürür.

3.1.6. HpGe Dedektörü ile Toprak, Bitki ve Gübredeki Radyasyonun Ölçümü

Uranyum ve toryum bozunma zincirinden gelen doğal radyonüklidlerin doğada ve toprakta bulunmasından dolayı bitkiler, hayvanlar ve insanlar radyasyona maruz kalır. Aynı zamanda nükleer kazalardan sızan yapay kaynaklı radyasyon hava yoluyla taşınarak toprağı ve bitkiyi etkileyebilir.

Süregelen yıllarda ülkemizdeki nüfus artışından dolayı, kişi başına düşen gıda miktarı fazlalaşmış ve tüm insanların gıdaya ihtiyacı da artmıştır. Bu sebep ile tarım alanlarında fazla gıdanın olması için gübre kullanımı çok fazla yaygınlaşmıştır. Hem kimyasal hem de doğal gübre vardır. Kimyasal gübreler birçok kimyasal süreçlerden geçerek üretilir. Bu kimyasal gübreler tarımda kullanıldığında gübrenin içinde bulunan radyonüklidler toprak, bitkiyi ve dolaylı yoldan insanları etkileyebilir.

Doğal kaynaklı radyasyon, insanlar için bir döngüdür. Evrenin oluşumundan beri var olan ve kozmik ışınlardan kaynaklanan, doğal radyasyondan dolayı sürekli olarak hava, toprak ve canlı ile etkileşim halindedir. Aynı zamanda toprakta var olan radyasyon bitkilere geçer. Beslenmek için de bitkilerden sindirim yolu ile bitkideki radyasyon insana ve hayvana geçer. Bu böyle süregelen bir döngüdür.

Gama radyasyonu ölçümünde en çok kullanılan dedektörden biri de HpGe dedektörüdür. Toprakta ve bitkide bulunan kaynağı toprak olan doğada doğal yolla bulunan ^{238}U , ^{232}Th serilerinden gelen ve ^{40}K radyonüklidleri ölçmek, toprakta bulunan radyonüklidlerin bitkiye ne kadarının geçtiğini belirlemek ve gübrede bulunan radyonüklidleri ölçmek ve gübreden

bulunan radyonüklidlerin ne kadarının bitkiye geçtiğini belirlemek için HpGe dedektörü kullanılır. HPGe dedektörü ile sebze, meyve, toprak, tütün, gübre, gibi örneklerin analizleri yapılabilir.

3.1. ÖRNEKLERİN HAZIRLANMASI

3.1.1. Toprak Örneklerinin Toplanması ve Ölçüme Hazırlanması

İstanbul'un Şile ilçesindeki Ağva beldesinin Büyük Bucaklı köyünde bitki örnekleri için ekime hazırlanan bahçenin çeşitli yerlerinden yerin 1-2 cm derinliğinden 2 adet gübresiz toprak ve ekim yapılan yerin 1-2 cm derinliğinden 10 adet çeşitli gübreli toprak örnekleri toplanmış ve gama spektroskopisi sisteminde ölçülmek üzere hazırlanmıştır. Toprak örnekleri için ilk olarak kurutulma işlemi yapılmıştır.

Kurutulan toprak örnekleri Şekil 3.4'te gösterilmiştir;



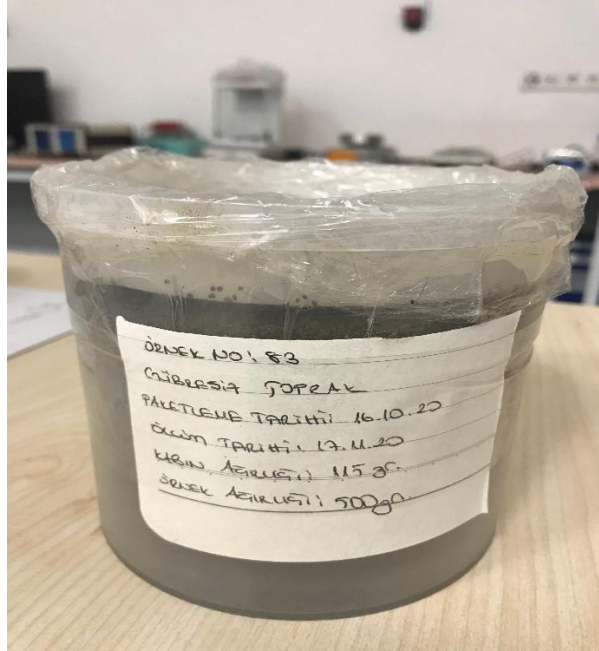
Şekil 3.4: Kurutulan toprak örnekleri.

Kurutulma işlemi yapıldıktan sonra 1 x 1 mm² 'lik elekler yardımıyla elenmiştir. Eleme işlemi Şekil 3.5'te gösterilmiştir;



Şekil 3.5: Toprağın eleme işlemi.

Elenen topraklar, 500 ml'lik marinelli beaker geometrisine sahip ölçüm kaplarına doldurulup, hava sızdırmayacak biçimde kapatılmıştır. Her bir örnek kabının üzerine örnek bilgisini, paketleme tarihi, ölçüm tarihi, örnek ağırlığı ve kap ağırlığı yazılmıştır. Elenmiş toprağın marinelli beaker kaba paketlenmiş hali Şekil 3.6'da gösterilmiştir;



Şekil 3.6: Paketlenmiş toprak örneği.

3.1.2. Çeşitli Gübreler Kullanılarak Bitki Örneklerinin Toprağa Ekim Süreci

Organik ve inorganik gübre olmak üzere toplam 10 adet gübre satın alınmıştır. 10 gübrenin 8 tanesi inorganik, 2 tanesi organik gübredir. İnorganik gübre satın alınırken dikkat edilen unsur, gübrelerin fosfat, potasyum, azot gibi radyonüklidler içermesidir. Pırasa, havuç, patates, maydanoz, tere, taze soğan, ıspanak ve marul bitkilerinin tohumları aktardan alınmış ve pırasa, havuç, patates, maydanoz, tere, taze soğan, ıspanak ve marul bitkilerinin her biri 10 adet gübre ile ve ayrıca gübresiz olarak bahçeye ekilmiştir. Ekim yapım aşaması ve bahçenin ekim yapıldıktan sonraki hali Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7: Ekim yapım aşaması.



Şekil 3.8: Bahçenin ekim yapıldıktan sonraki hali.

Bitkilerin ekim sürecinde, ilk önce ekim yapılacak bahçenin toprağının havalandırılması yapılmış daha sonra 2019 Ekim ayının sonuna doğru toprağa tohum serpilmiştir. Ekilen

bitkilerin daha iyi büyüebilmesi için haftada bir bitkilerin yan taraflarından çıkan yabancı otlar temizlenmiştir. Sonbahar ve kış aylarında yağmur yağdığı için sulama yapılmamış İlkbahar aylarında sabah güneş çıkmadan önce ve akşam güneş battıktan sonra bahçenin sulaması yapılmıştır. Nisan ayının başında ekilen bitkiler toplanmıştır.

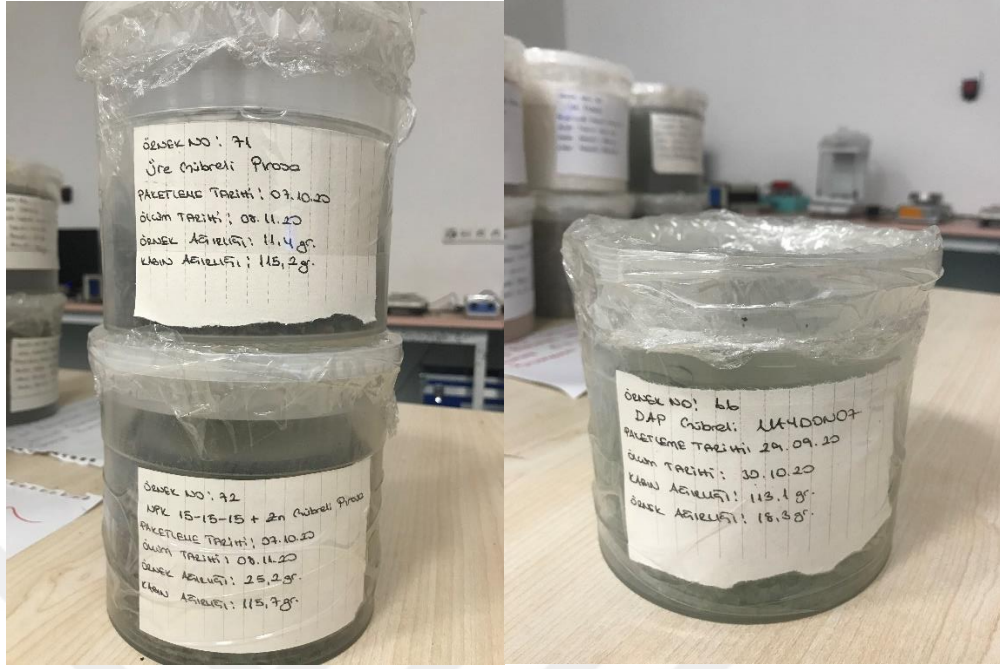
3.1.3. Bitki Örneklerinin Ölçüme Hazırlanması

Çeşitli gübrelerle yetiştirilen bitkiler toplanarak torbalara doldurulmuştur. Bitki örneklerinin ölçüme hazırlanması için, ilk önce toplanan bitki örnekleri evde bir örtünün üzerine serilerek 1 hafta kurutulma işlemine tabii tutulmuştur. Kurutulma sürecindeki bitki örnekleri Şekil 3.9’da gösterilmiştir;



Şekil 3.9: Kurutulma işlemindeki bitkiler.

1 hafta kurutulma işlemine tabii tutulduktan sonra bitkileri marinelli ölçüm kaplarına koyabilmek için el blenderinden geçirilerek toz haline getirilmiştir. Toz haline getirilen bitkiler, 500 ml’lik marinelli beaker geometrisine sahip ölçüm kaplarına doldurulup, hava sızdırmayacak biçimde kapatılmıştır. Her bir örnek kabının üzerine örnek bilgisini, paketleme tarihi, ölçüm tarihi, örnek ağırlığı ve kap ağırlığı yazılmıştır. Paketlenen bitki örnekleri Şekil 3.10’da gösterilmiştir;



Şekil 3.10: Kurutulup paketlenen bitki örnekleri.

3.1.4. Gübre Örneklerinin Ölçüme Hazırlanması

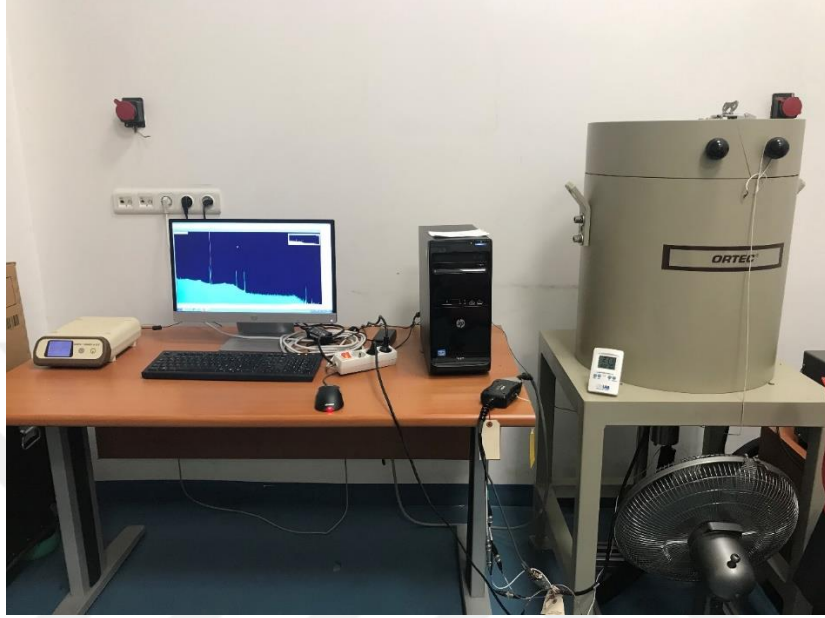
Satın alınan organik ve inorganik gübreler, 500 ml'lik marinelli beaker geometrisine sahip ölçüm kaplarına doldurulup, hava sızdırmayacak biçimde kapatılmıştır. Her bir örnek kabının üzerine örnek bilgisini, paketleme tarihi, ölçüm tarihi, örnek ağırlığı ve kap ağırlığı yazılmıştır.

3.2. BİTKİLERDE GAMA RADYASYONUNUN ÖLÇÜLMESİ

3.2.1. HpGe Dedektör Sistemi ile Ölçümler

Bitki örneklerinde bulunan radyonüklidlerin analizinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Toprak, bitki ve gübre örneklerinde bulunan radyonüklidlerin analizinde yüksek saflıkta germanyum dedektörü (HpGe) kullanılmıştır. İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik Anabilim Dalı Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarında bulunan Gama spektroskopi sistemi, yüksek enerji çözme gücüne sahip, düşük arka planlı, %35 verime sahip olan p-tipi yüksek saflıklı HpGe dedektörünü içermektedir. Bu dedektör, 40 keV ile 10 MeV arasında olan gama enerjilerini ölçmektedir. Çalışmada kullanılan, gama spektroskopi ölçüm sistemi ORTEC firmasına ait Ortec GEM 70P4-95 HPGe kurşun zırh içindeki p-tipi saf germanyum gama detektörü, dijital sinyal işlemcisi olan çok kanallı analizör, Gamma Vision-32 spektrum analiz yazılımı ve bilgisayardan meydana gelmektedir. Dedektörün penceresi

alüminyumdur ve dedektörün üsten açılan dikey geometrili kısmı yaklaşık 10 cm kalınlığa sahip kurşun, bakır ve kalay kaplamalı bir zırha sahiptir. Gama spektroskopi sisteminin soğutulması için mekanik soğutucu (X-COOLER III) kullanılmaktadır [80,22].



Şekil 3.11:İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarında bulunan gama spektroskopisi ölçüm sistemi.

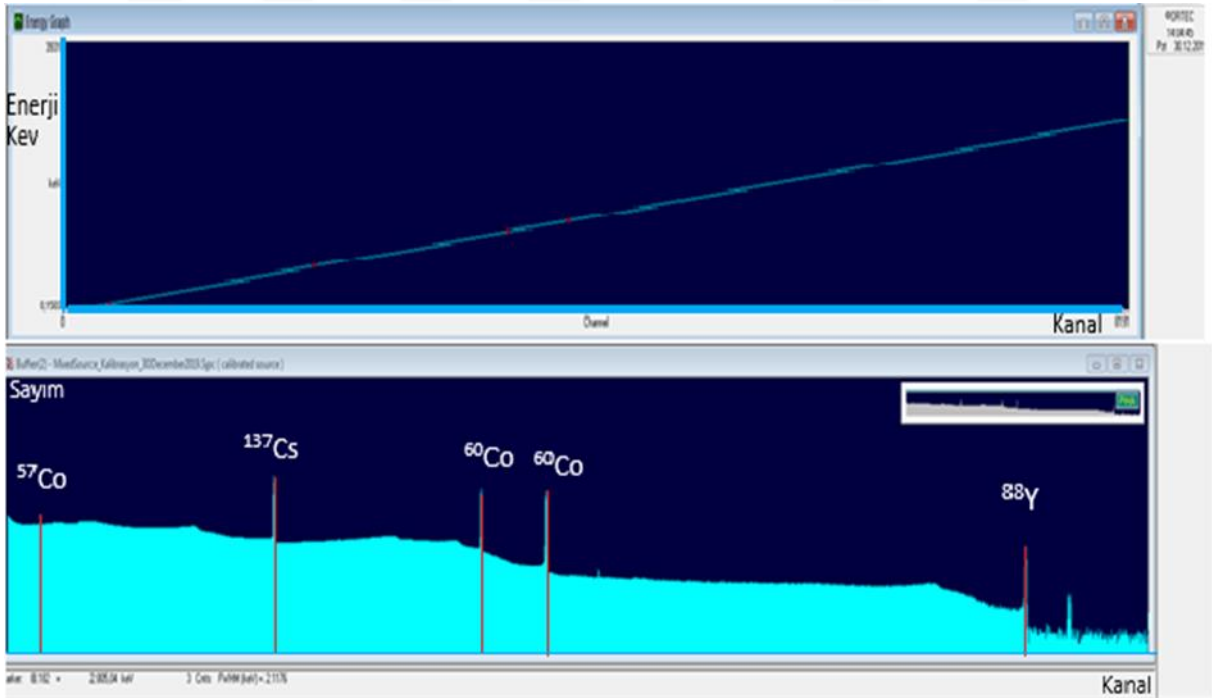
Tüm toprak, bitki ve gübre örnekleri radyoaktif dengeye ulaşılması için 1 ay marinelli beaker kaplarda bekletildikten sonra her bir örnek için 21600 saniye boyunca ölçüm alınmıştır. Örnekleri ölçmeden önce arkafon ölçümü alınmıştır. Arkafon ölçümü de 21600 saniye süreyle alınmıştır.

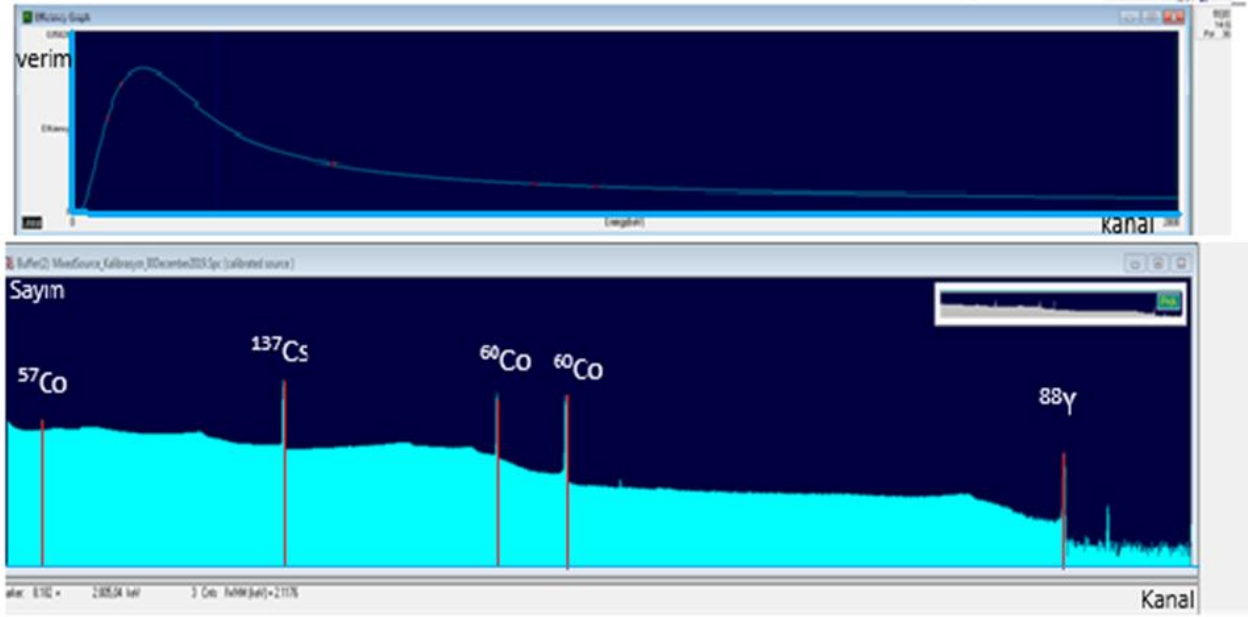
3.2.2. HpGe Dedektörünün Enerji ve Verim Kalibrasyonu

Ölçümden sonra elde edilen spektrumdaki piklere karşılık gelen enerji değerlerini belirlemek için enerji kalibrasyonu yapılır. Enerji kalibrasyonunu yapabilmek için enerji değerleri bilinen piklere ihtiyaç duyulur. Bu nedenle kalibrasyon kaynağı olarak örneklerle aynı marinelli beaker kap geometrisine sahip karışık toprak standartlı (mixed source) kullanılmıştır. Böylece karışık toprak (mixed source) standardı kaynağının sayımı yapılarak elde edilen spektrumda hangi kanalın hangi enerjiye karşılık geldiği belirlenmiştir [22]. Kullanılan standart kaynağa ait özellikler Tablo3’de gösterilmiştir;

Tablo 3: Kullanılan standart kaynağa ait özellikler.

Çekirdek	Gama Işını Enerjisi (MeV)	Aktivite (Bq/kg)	Emisyon Oranı (s ⁻¹)
Kadmiyum-109	0,088	$1,35 \times 10^4$	$4,88 \times 10^2$
Kobalt-57	0,122	$5,06 \times 10^2$	$4,33 \times 10^2$
Seryum-139	0,166	$5,69 \times 10^4$	$4,55 \times 10^2$
Civa-203	0,279	$8,59 \times 10^2$	$6,99 \times 10^2$
Kalay-113	0,392	$1,96 \times 10^3$	$1,27 \times 10^3$
Stronsiyum-85	0,514	$1,92 \times 10^3$	$1,89 \times 10^3$
Sezyum-137	0,662	$2,65 \times 10^3$	$2,25 \times 10^3$
İtriyum-88	0,898	$4,04 \times 10^3$	$3,80 \times 10^3$
Kobalt-60	1,173	$3,03 \times 10^3$	$3,03 \times 10^3$
Kobalt-60	1,333	$3,03 \times 10^3$	$3,03 \times 10^3$
İtriyum-88	1,836	$4,04 \times 10^3$	$4,01 \times 10^3$

**Şekil 3.12:** Enerji Kalibrasyonu.



Şekil 3.13: Verim Kalibrasyonu.

Ölçümden sonra elde edilen spektrumdan, spektrumda bulunan sayımların sayısı ile kaynağın yaydığı gama ışınlarının sayısı arasında bağlantı kurmaya verim denir. İlgilendiğimiz pikin altında kalan alandan yararlanarak aktiviteler hesaplanmıştır.

Enerji ve verim kalibrasyonunda tanımlanan enerjiler, Kadmiyum-109 88 keV, Kobalt-57 122 keV, Sezyum-137 662 keV, Kobalt-60 1173 keV ve İtiryum-88 1836 keV'dir ve Şekil 3.13'de gösterilmiştir.

3.3. ÖRNEKLERİN ANALİZİ

88 adet toprak, bitki ve gübre örneği için ölçüm süresi 21600 saniye olacak şekilde HPGe dedektörünü içeren Gama Spektroskopi Sistemi ile ölçülmüş ve her bir örnek için gama spektrumları elde edilmiştir. Arkafon ölçümleri için de toprak, bitki ve aynı gübre örnekleri ile aynı zamanda gerçekleştirilmiş ve marinelli beaker kap geometrisi kullanılmıştır.

3.3.1. Her Bir Örnek İçin Aktivite Konsantrasyon Hesabı

Bir E enerjisine sahip bir i çekirdeğinin enerjisine karşılık gelen pikin aktivite konsantrasyon hesabı [80];

$$A_{Ei} = \frac{N}{\varepsilon_E \cdot m \cdot t \cdot I_\gamma} \quad (3.1)$$

A_{Ei} : Bir i çekirdeği için aktivite konsantrasyonu (Bq kg-1),

N: Bir E enerjisine sahip i çekirdeğin enerjisine karşılık gelen pikin altında kalan net sayım,

ε : E_i enerjili pikin verimi,

m: Ölçülen örneğin kütlesi (kilogram),

t: Ölçüm süresi (saniye),

I_γ : E_γ enerjisindeki gama bozunma olasılığı.

Elde ettiğimiz spektrumlarda tespit edilen çekirdekler ^{238}U ve ^{232}Th serilerinin üyeleri olduklarından dolayı, ^{238}U ve ^{232}Th çekirdekleri için aktivitenin hesaplanması için bu serilere ait olan çekirdeklerin enerjileri dikkate alınmış ve ağırlıklı aktivite değerleri hesaplanmıştır. Ağırlıklı aktivite denklemi [80];

$$A_{Ei} = \frac{\sum A_{Ei} I_\gamma}{\sum I_\gamma} \quad (3.2)$$

3.3.1.1. MDA Hesabı

Minimum dedekte edilebilir aktivite (MDA), belirlenen bir ölçüm için en küçük radyoaktivite miktarı olarak tanımlanır. Minimum dedekte edilebilir aktivite (MDA), MDA hesabı [22];

$$\text{MDA} = \frac{2,71 + 4,66 + \sqrt{B}}{t \times I_\gamma \times \varepsilon \times m} \quad (3.3)$$

B: Arka plan net sayımı

t: Ölçüm süresi (sn)

I_γ : Gama ışını bozunma olasılığı

ε : Dedeksiyon verimi

m: Örnek kütlesi (kg)

3.3.2. Radium Eşdeğer Aktivite Hesabı

Ekim yapılabilmesi için gübre ile toprak karıştırılmalıdır. Gübrenin içeriğinde kimyasal maddelerin fazla miktarda bulunması, radyasyon açısından bakıldığında, topraktaki radon konsantrasyonunu artırır. Yaygın olarak kullanılan radyasyon tehlike indeksi Ra_{eq} radium eşdeğer aktivite olarak adlandırılır ve Ra_{eq} hesabı;

$$Ra_{eq} = A_{Ra} + 1,43A_{Th} + 0,077A_K \quad (3.4)$$

Burada, A_{Ra} , A_{Th} ve A_K , ^{226}Ra , ^{40}K ve ^{232}Th aktiviteleridir [88].

3.3.3. Yıllık Etkin Doz Eşdeğerinin Hesabı

Toprakta bulunan doğal radyoaktif çekirdekler aynı zamanda hava ortamında absorblanan doz oranına katkı sağlar. Bu yüzden, ^{226}Ra , ^{40}K ve ^{232}Th doğal radyoaktif çekirdeklerin topraktaki aktivitesi biliniyorsa yerin yüzeyinden 1m yükseklikte maruz kalınan doz bulunabilir [89];

$$D \text{ (nGy h}^{-1}\text{)} = 0,462 \times A_{226R} + 0,604 \times A_{232Th} + 0,0417 \times A_{40K} \quad (3.5)$$

D: Yerden 1 m yükseklikteki doz oranı,

A_{226R} : ^{226}Ra 'un aktivite konsantrasyonu,

A_{232Th} : ^{232}Th 'nin aktivite konsantrasyonu,

A_{40K} : ^{40}K 'ın aktivite konsantrasyonunu göstermektedir.

Toprakta bulunan yapay radyoaktif çekirdek olan ^{137}Cs için de dönüşüm faktörü;

$$D \text{ (nGy h}^{-1}\text{)} = 0,1125 \times A_{137Cs} \quad (3.6)$$

İle gösterilmektedir. Burada A_{137Cs} ^{137}Cs 'nin aktivitesidir.

Yıllık etkin doz oranını bulabilmek için yukarıdaki denklemleri hesaba katmak gerekir. Yıllık etkin doz oranı [89];

$$AEDE \text{ (}\mu\text{Sv y}^{-1}\text{)} = D \times 8760 \times 0,2 \times 0,7 \times 0,001 \quad (3.7)$$

8760: maruz kalma süresi (365 gün x 24 saat),

0,2: Dışsal maruz kalma faktörü,

0,7: Sv Gy⁻¹ biriminde dönüşüm faktörüdür.

3.3.4. Toprakdan Bitkiye Geçen Radyonüklidlerin Transfer Faktörünün Hesaplanması

Radyonüklidlerin topraktan bitkilere alımı, bitkide biriken radyonüklid miktarının bir tahmininde kullanılan transfer faktörü (TF) olarak adlandırılan bitki sistemine transferi, toprak-bitki aktivite konsantrasyon oranında yaygın olarak kullanılan bir değerlendirme modelidir. Radyonüklidlerin topraktan bitkiye transferi aşağıdaki formül ile hesaplanır [90];

$$TF = \frac{\text{Radyonüklidin bitkideki aktivite konsantrasyonu (Bq/Kg)}}{\text{Radyonüklidin topraktaki aktivite konsantrasyonu (Bq/Kg)}} \quad (3.8)$$

3.3.5. Gübreden Bitkiye Geçen Radyonüklidlerin Transfer Faktörünün Hesaplanması

Radyonüklidlerin gübrelerden bitkilere alımı, bitkide biriken radyonüklid miktarının bir tahmininde kullanılan transfer faktörü (TF) olarak adlandırılan bitki sistemine transferi aşağıdaki formül ile hesaplanır [90];

$$TF = \frac{\text{Radyonüklidin bitkideki aktivite konsantrasyonu (Bq/Kg)}}{\text{Radyonüklidin gübredeki aktivite konsantrasyonu (Bq/Kg)}} \quad (3.9)$$

4. BULGULAR

1. Toprak ve Bitki Örneklerinin Aktivite Konsantrasyonları

Toprak, gübre ve bitki örneklerinin spektrum analizi sonucunda her bir örnek için aktivite konsantrasyonu hesaplanmış ve Tablo 4 ve Tablo 5’te gösterilmiştir;

Tablo 4: Çeşitli gübrelerle ekilen bitkilerin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları.

BİTKİ ÖRNEKLERİ	EKİLEN GÜBRE ÇEŞİTLERİ	^{238}U (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)
MARUL	GÜBRESİZ	65,72 ± 3,73	8,03 ± 1	7338,5 ± 81,4
	HAYVAN GÜBRESİ	<MDA	<MDA	2460,7 ± 51
	SOLUCAN GÜBRESİ	<MDA	5,18 ± 0,99	2948,9 ± 53,2
	NPK 10-20-20	<MDA	<MDA	3009,8 ± 65,7
	NPK 0-20-20	<MDA	2,95 ± 0,75	3194,9 ± 60,7
	NPK 15-15-15 + Zn	<MDA	<MDA	2819,4 ± 54,4
	NPK 15-15-15 + 12(SO ₃)	22,26 ± 2,86	<MDA	2434,8 ± 51,8
	NPK SÜPER KOMPOZE	3,69 ± 1,31	<MDA	2413,9 ± 38,6
	ÜRE	<MDA	<MDA	2977,6 ± 70,8
	DAP	13,25 ± 1,6	<MDA	2917,9 ± 44,6
	AS	9,64 ± 2,58	<MDA	2222,2 ± 48,6
TAZE SOĞAN	GÜBRESİZ	<MDA	<MDA	1504,1 ± 32
	HAYVAN GÜBRESİ	7,42 ± 1,17	<MDA	1675,9 ± 29,3
	SOLUCAN GÜBRESİ	11,67 ± 2,08	<MDA	1130,9 ± 33,4
	NPK 0-20-20	<MDA	2,85 ± 0,59	1461,8 ± 34
	NPK 10-20-20	16,33 ± 1,9	<MDA	1454,7 ± 34,1
	NPK 15-15-15 + Zn	14,9 ± 2,44	4,06 ± 0,98	1960,9 ± 47,3
	NPK 15-15-15 + 12(SO ₃)	17,18 ± 1,92	<MDA	1260,9 ± 31,6
	NPK SÜPER KOMPOZE	23,69 ± 2,8	1,88 ± 0,63	1318 ± 39,3
	ÜRE	<MDA	<MDA	2018,3 ± 54,9
	DAP	14,1 ± 4,46	<MDA	944,9 ± 45
	AS	8,9 ± 2	<MDA	1196,1 ± 33,6
PIRASA	GÜBRESİZ	<MDA	4,83 ± 0,82	1731,2 ± 36,6
	HAYVAN GÜBRESİ	<MDA	<MDA	1803,9 ± 39
HAVUÇ	SOLUCAN GÜBRESİ	4,59 ± 0,9	1,63 ± 0,28	1382,5 ± 22,3
	NPK 10-20-20	<MDA	1,15 ± 0,21	1198,9 ± 17,9
MAYDANOZ	GÜBRESİZ	<MDA	0,66 ± 0,23	518,1 ± 20,6
	HAYVAN GÜBRESİ	19,97 ± 2,51	4,06 ± 0,87	1417 ± 41,6
	NPK 0-20-20	<MDA	<MDA	3004 ± 86,5

Tablo 5 (devam): Çeşitli gübrelerle ekilen bitkilerin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları.

MAYDANOZ	NPK 15-15-15 + Zn	44,08 ± 6,26	<MDA	2115,5 ± 72
	NPK 15-15-15 + 12(SO ₃)	19,77 ± 3,95	4 ± 1,1	2439,7 ± 69
	AS	29,2 ± 2,76	<MDA	2181,8 ± 49,2
ISPANAK	GÜBRESİZ	<MDA	1,96 ± 0,57	2198,8 ± 44,7
	HAYVAN GÜBRESİ	13,46 ± 1,53	2,53 ± 0,44	2263,5 ± 35,5
	SOLUCAN GÜBRESİ	6,96 ± 1,03	2,82 ± 0,46	2254,4 ± 32,3
	NPK 10-20-20	<MDA	<MDA	2334,2 ± 43
	NPK 15-15-15 + Zn	12,68 ± 2,48	<MDA	2313,1 ± 49,5
	NPK 15-15-15 + 12(SO ₃)	25,76 ± 3,86	<MDA	2716,9 ± 64,4
	NPK SÜPER KOMPOZE	21,61 ± 2,71	4,48 ± 0,92	2738,8 ± 57,4
	ÜRE	10,56 ± 3,33	3,64 ± 1,38	3115,8 ± 70,9
	DAP	-	<MDA	3535,1 ± 82,6
	AS	10,76 ± 1,54	<MDA	2654,8 ± 43,8
TERE	GÜBRESİZ	12,65 ± 3,26	6,08 ± 1,06	1661,2 ± 53
	HAYVAN GÜBRESİ	8,03 ± 1,71	2,44 ± 0,55	2164,9 ± 39,7
	SOLUCAN GÜBRESİ	8,45 ± 2,29	<MDA	1953,4 ± 45,7
	NPK 10-20-20	17,81 ± 2,71	-	2091,6 ± 51,1
	NPK 15-15-15 + 12(SO ₃)	7,55 ± 1,87	<MDA	1759,6 ± 40,6
	NPK SÜPER KOMPOZE	9,6 ± 1,47	3,84 ± 0,5	1763,9 ± 34,3
	ÜRE	5,57 ± 1,5	0,88 ± 0,4	2117,1 ± 39,8
	DAP	<MDA	0,38 ± 0,38	2198,6 ± 40,6
	AS	7,79 ± 2,65	1,09 ± 0,68	1536 ± 46
PATATES	GÜBRESİZ	<MDA	<MDA	785,8 ± 10,2
	HAYVAN GÜBRESİ	<MDA	<MDA	831,9 ± 11,8

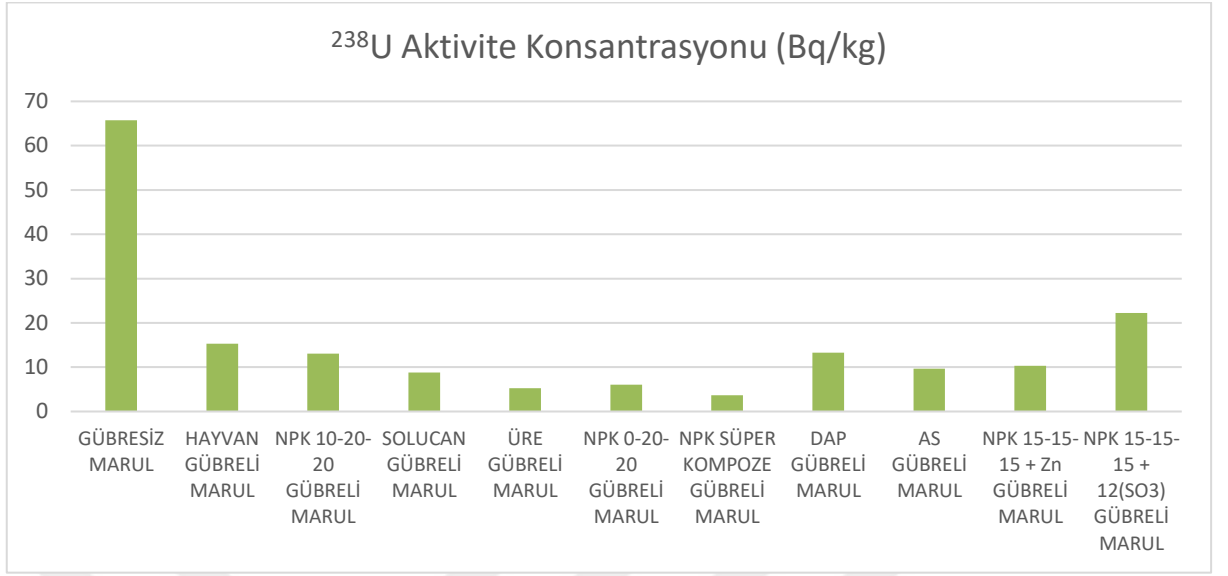
Tablo 6: Toprak ve gübre örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları.

ÖRNEKLER	^{238}U (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)	^{137}Cs (Bq/kg)
HAYVAN GÜBRELİ TOPRAK	37,52 ± 1,8	11,09 ± 0,36	611,38 ± 7,93	16,02 ± 0,32
NPK 15-15-15 + 12(SO ₃) GÜBRELİ TOPRAK	41,5 ± 1,9	8,44 ± 0,31	724,87 ± 8,62	7,17 ± 0,22
NPK 10-20-20 GÜBRELİ TOPRAK	21,9 ± 1,48	6,17 ± 0,27	702,63 ± 84,9	12,03 ± 0,34
AS GÜBRELİ TOPRAK	25,6 ± 1,64	6,56 ± 0,28	699,3 ± 8,47	6,1 ± 0,2
SOLUCAN GÜBRELİ TOPRAK	31,45 ± 1,77	6,04 ± 0,27	651,8 ± 8,19	13,29 ± 0,3
HAYVAN GÜBRESİ	32,25 ± 2,95	3,5 ± 0,3	1088,87 ± 16,8	—

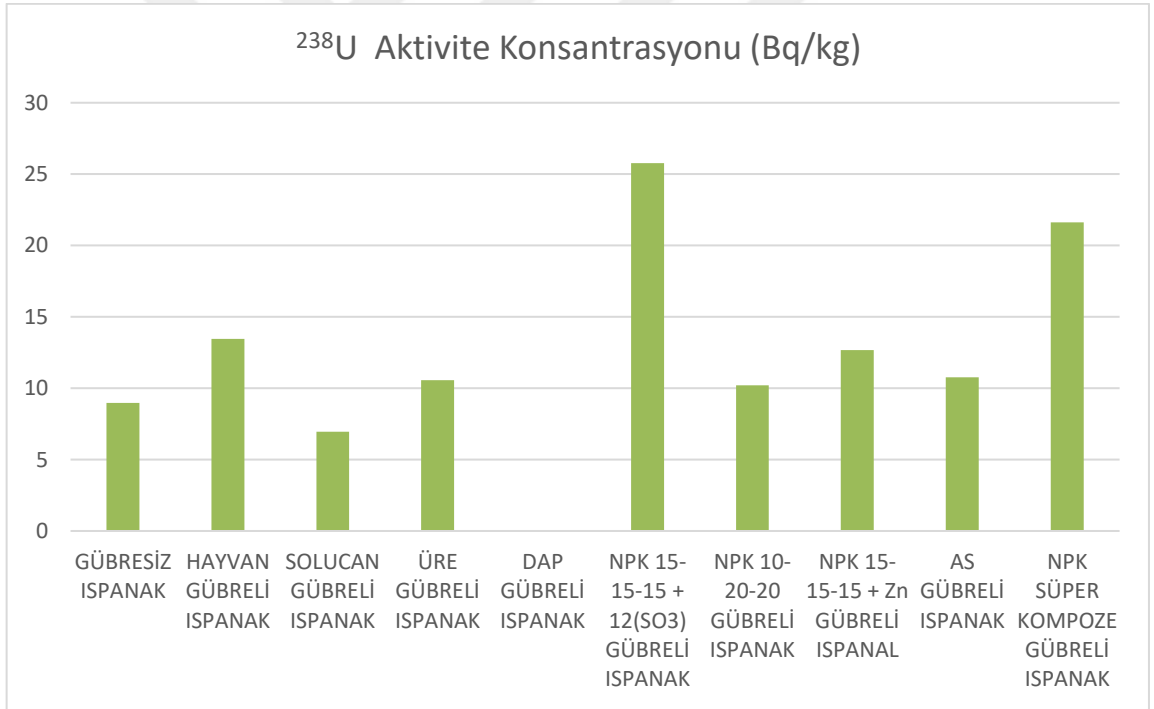
Bu çalışmaya ek olarak incelenen Fosfojips için ^{238}U radyonüklidi dışında ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklidleri görülmemiştir. Fosfojipse ait ^{238}U aktivite konsantrasyonu $675,3 \pm 3,3$ Bq/kg değerindedir.

Her bir toprak, bitki ve gübre örnekleri için ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonları hesaplanmış ve her bir örnek için ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklidlerin aktiviteleri Şekil 4.1 – Şekil 4.61’de verilmiştir.

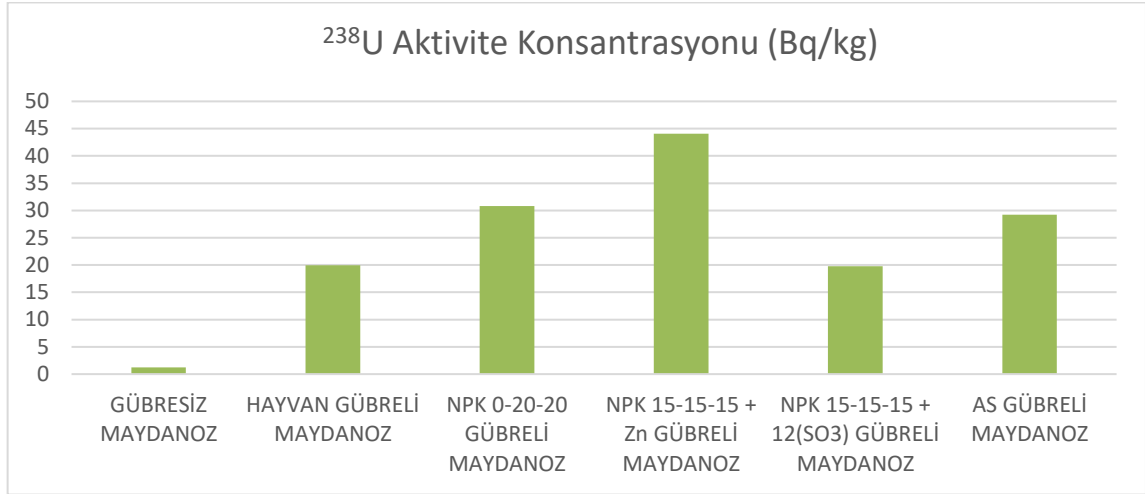




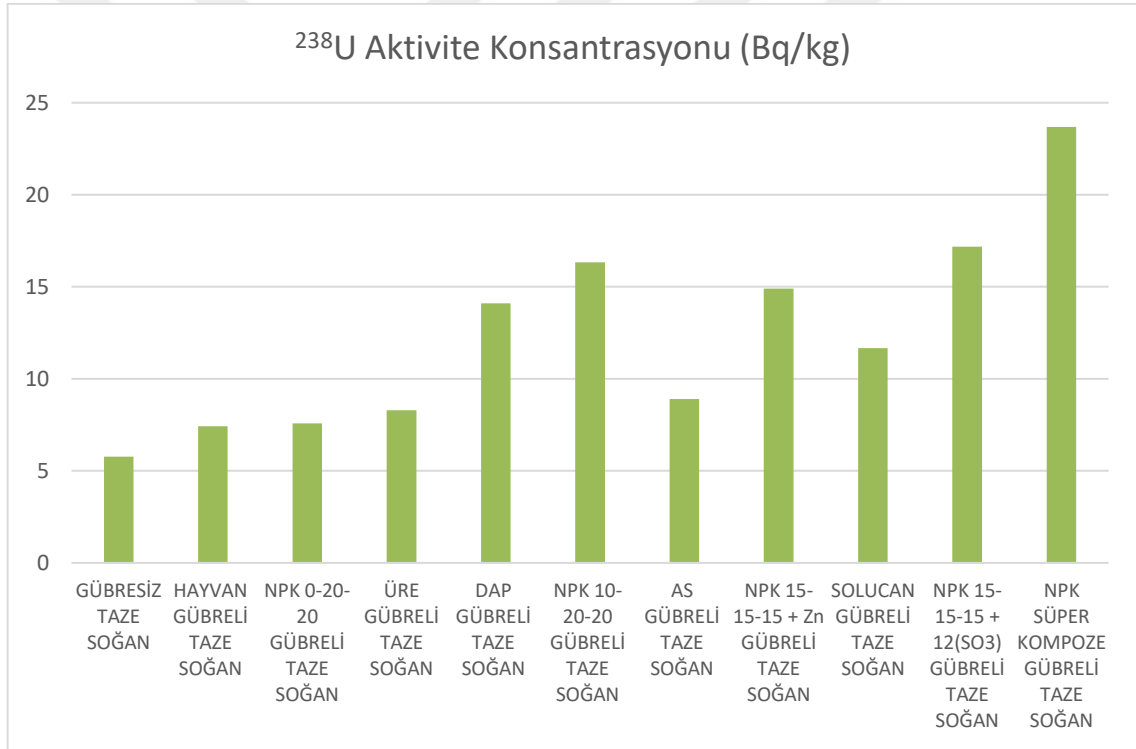
Şekil 4.1: Çeşitli gübrelerle ekilen marul bitkisinin ^{238}U aktivite konsantrasyonu.



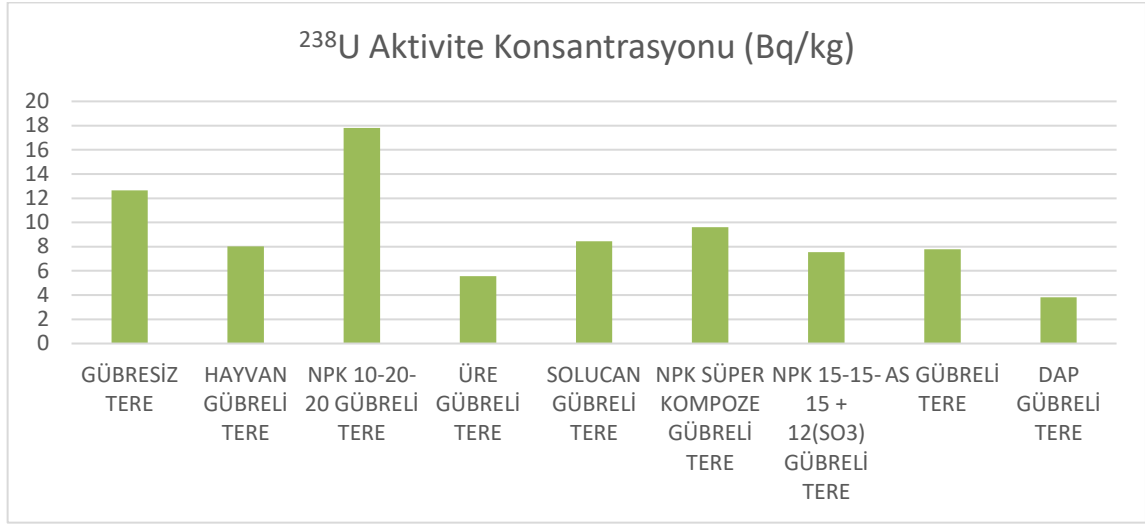
Şekil 4.2: Çeşitli gübrelerle ekilen ıspanak bitkisinin ^{238}U aktivite konsantrasyonu.



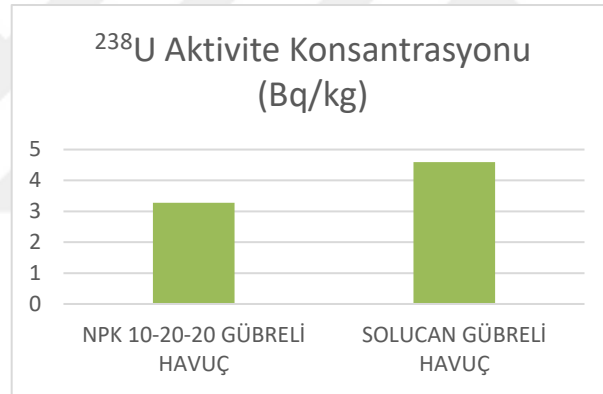
Şekil 4.3: Çeşitli gübrelerle ekilen maydanoz bitkisinin ^{238}U aktivite konsantrasyonu.



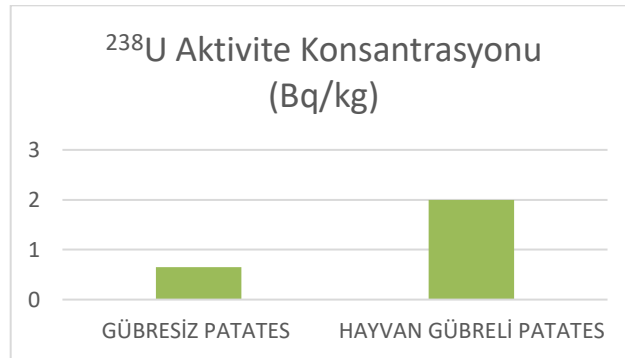
Şekil 4.4: Çeşitli gübrelerle ekilen taze soğan bitkisinin ^{238}U aktivite konsantrasyonu.



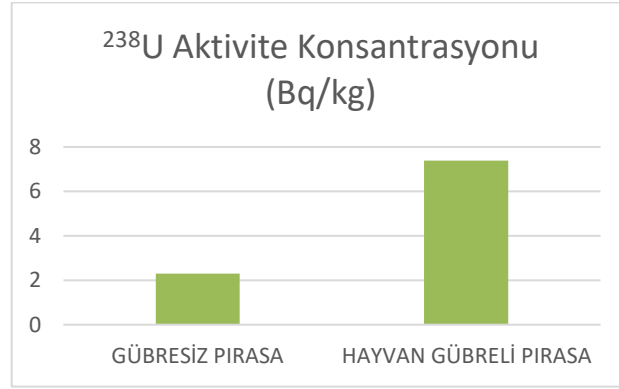
Şekil 4.5: Çeşitli gübrelerle ekilen tere bitkisinin ^{238}U aktivite konsantrasyonu.



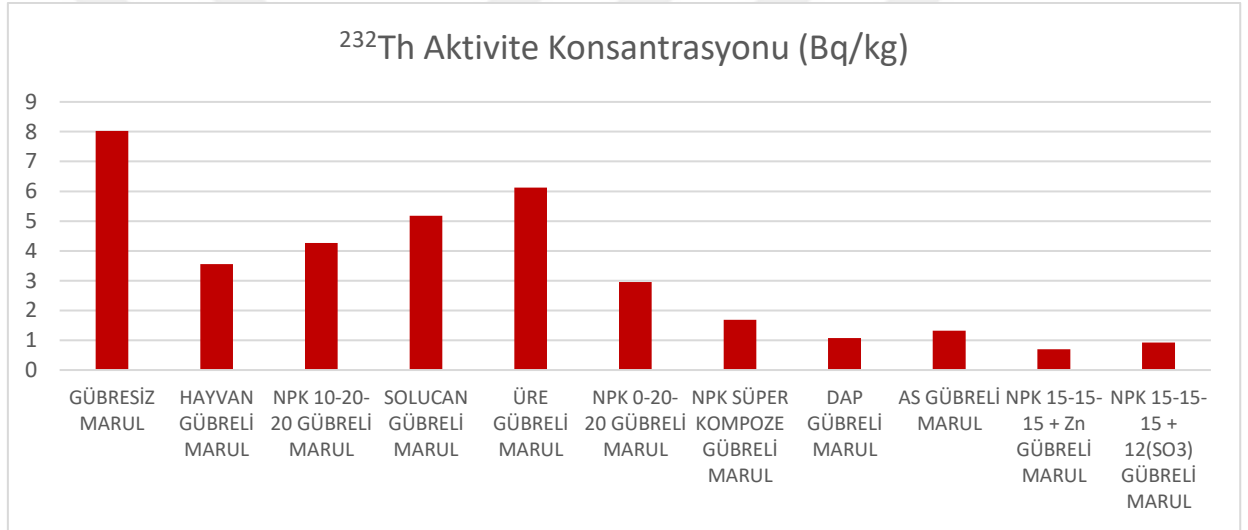
Şekil 4.6: Çeşitli gübrelerle ekilen havuç bitkisinin ^{238}U aktivite konsantrasyonu.



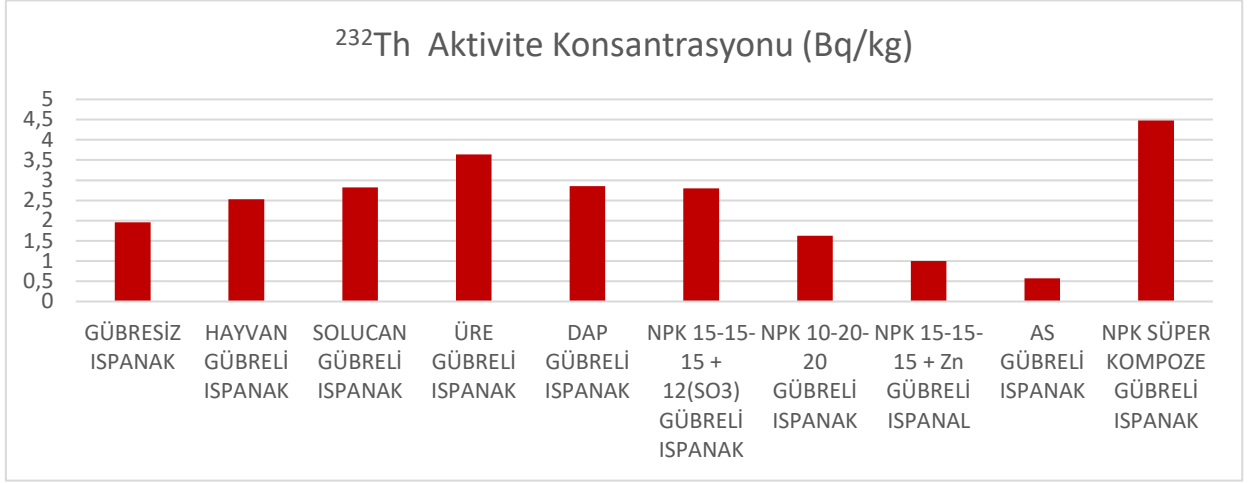
Şekil 4.7: Çeşitli gübrelerle ekilen patates bitkisinin ^{238}U aktivite konsantrasyonu.



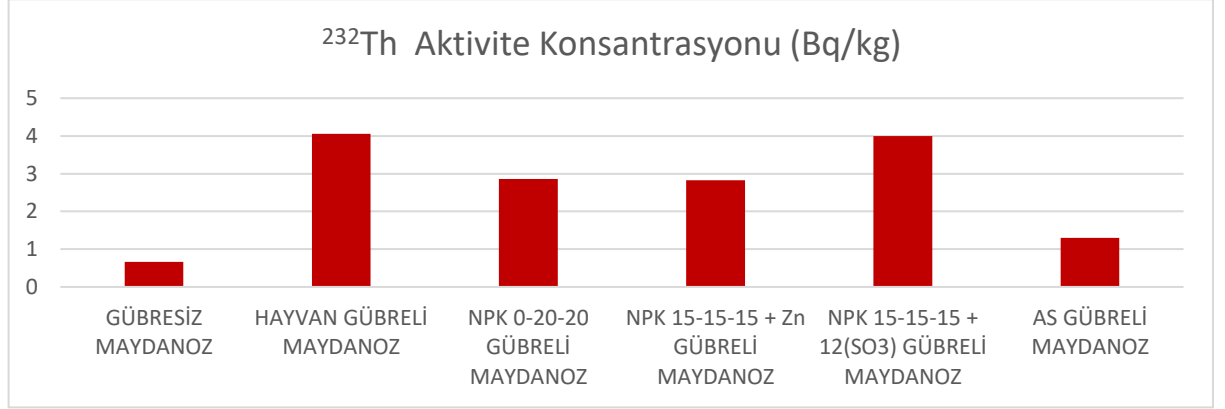
Şekil 4.8: Çeşitli gübrelerle ekilen pırasa bitkisinin ^{238}U aktivite konsantrasyonu.



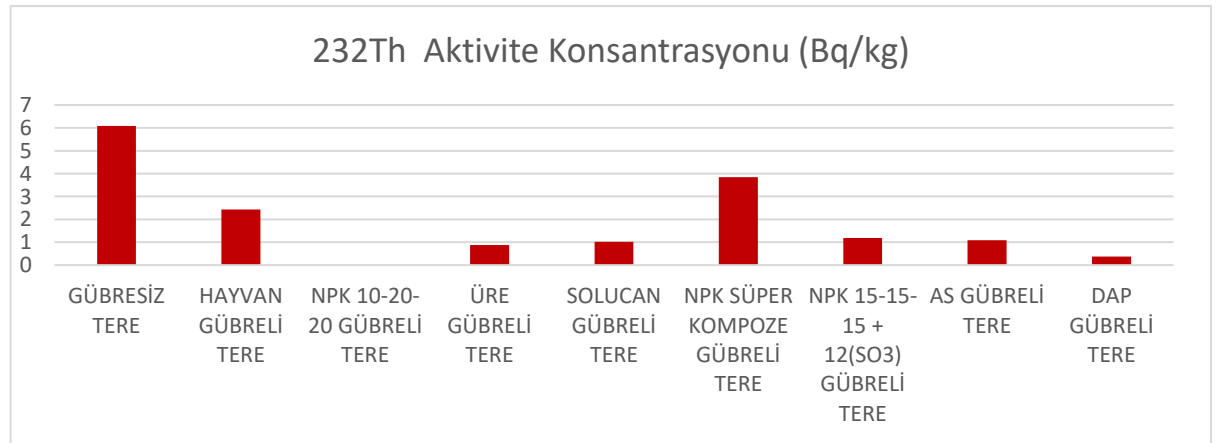
Şekil 4.9: Çeşitli gübrelerle ekilen marul bitkisinin ^{232}Th aktivite konsantrasyonu.



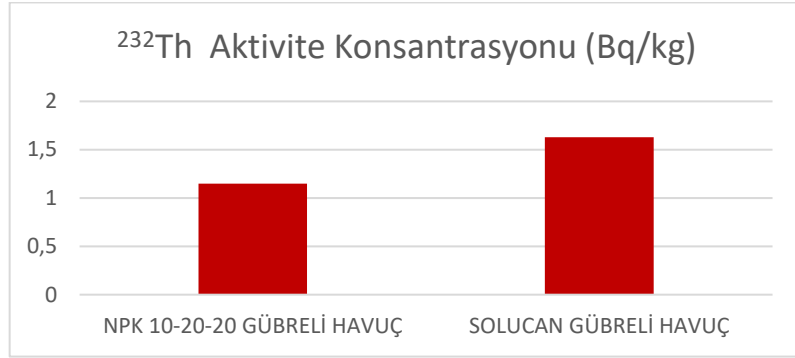
Şekil 4.10: Çeşitli gübrelerle ekilen ıspanak bitkisinin ^{232}Th aktivite konsantrasyonu.



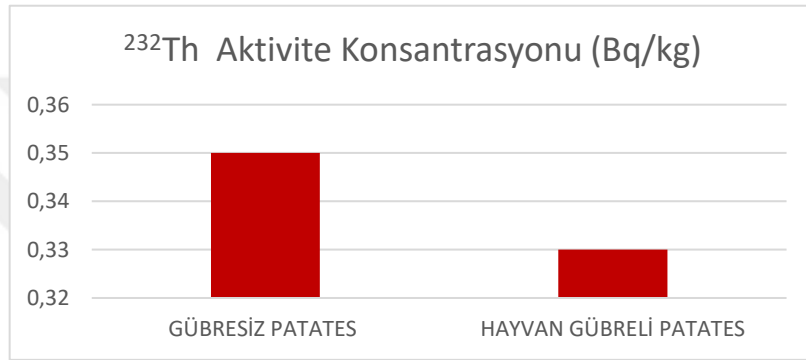
Şekil 4.11: Çeşitli gübrelerle ekilen maydanoz bitkisinin ^{232}Th aktivite konsantrasyonu.



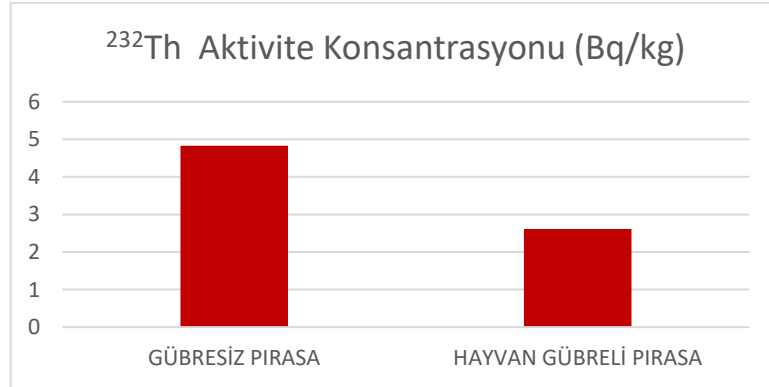
Şekil 4.12: Çeşitli gübrelerle ekilen tere bitkisinin ^{232}Th aktivite konsantrasyonu.



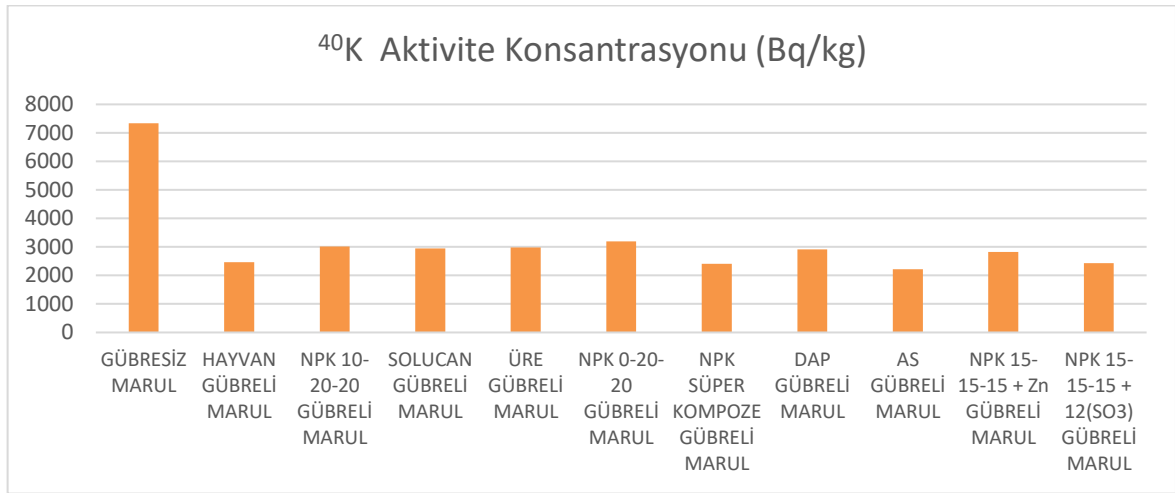
Şekil 4.13: Çeşitli gübrelerle ekilen havuç bitkisinin ^{232}Th aktivite konsantrasyonu.



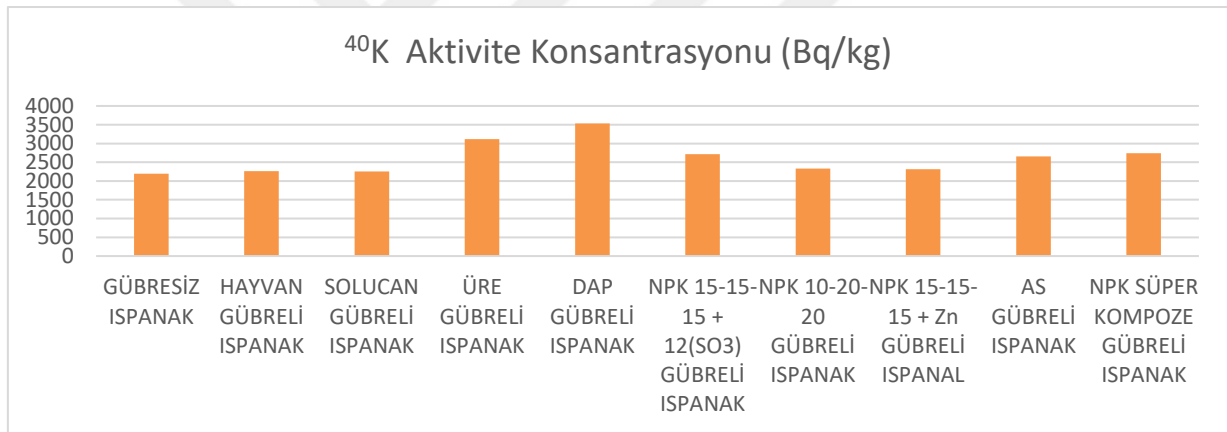
Şekil 4.14: Çeşitli gübrelerle ekilen patates bitkisinin ^{232}Th aktivite konsantrasyonu.



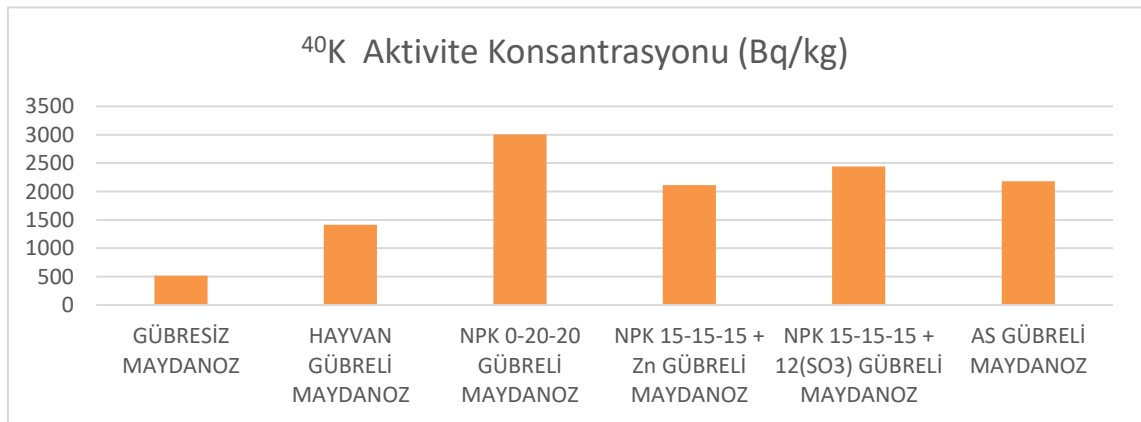
Şekil 4.15: Çeşitli gübrelerle ekilen pırasa bitkisinin ^{232}Th aktivite konsantrasyonu.



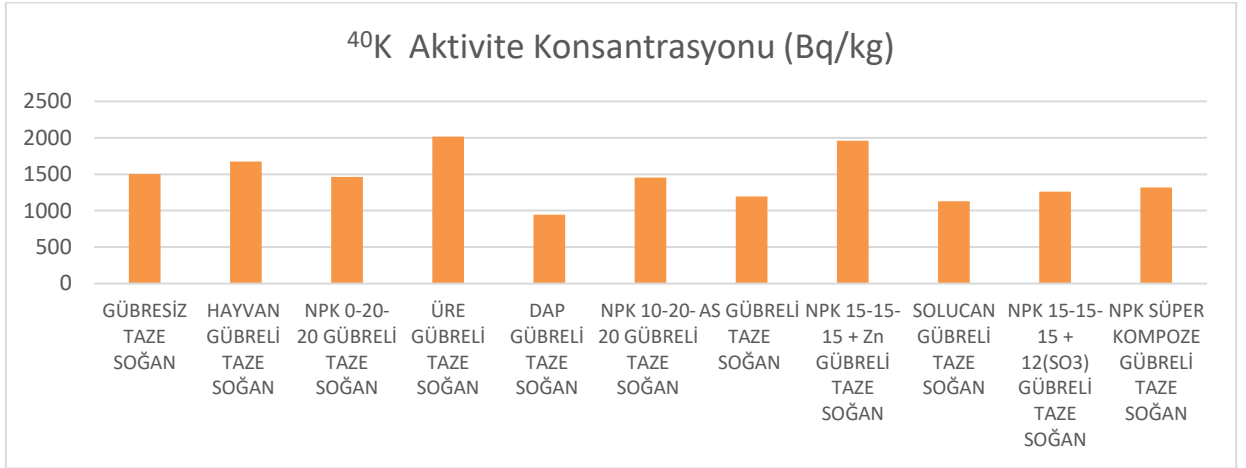
Şekil 4.16: Çeşitli gübrelerle ekilen marul bitkisinin ^{40}K aktivite konsantrasyonu.



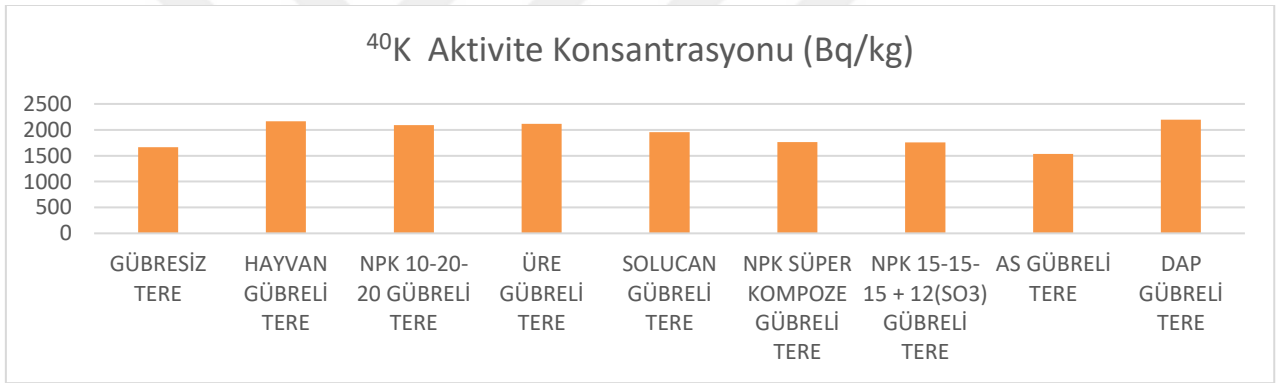
Şekil 4.17: Çeşitli gübrelerle ekilen ıspanak bitkisinin ^{40}K aktivite konsantrasyonu.



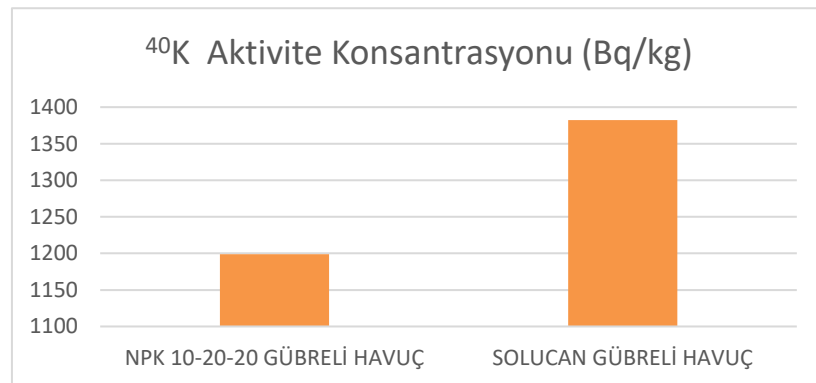
Şekil 4.18: Çeşitli gübrelerle ekilen maydanoz bitkisinin ^{40}K aktivite konsantrasyonu.



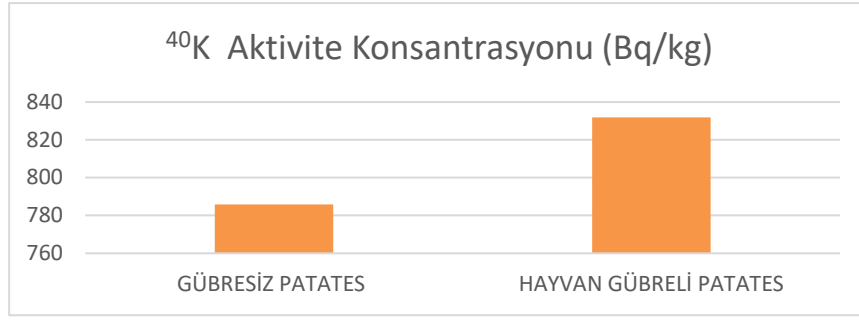
Şekil 4.19: Çeşitli gübrelerle ekilen taze soğan bitkisinin ^{40}K aktivite konsantrasyonu.



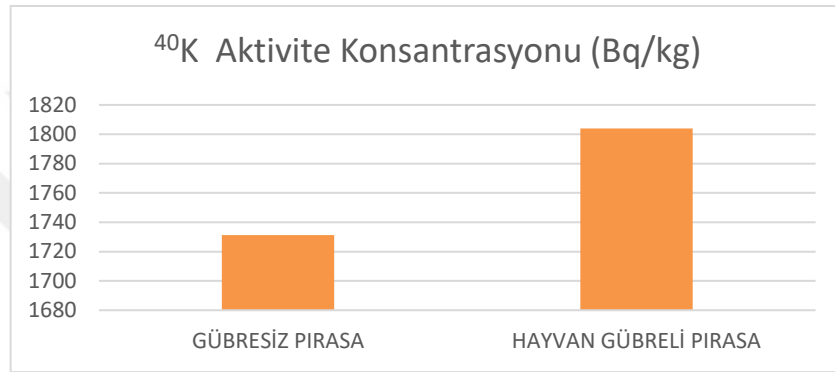
Şekil 4.20: Çeşitli gübrelerle ekilen tere bitkisinin ^{40}K aktivite konsantrasyonu.



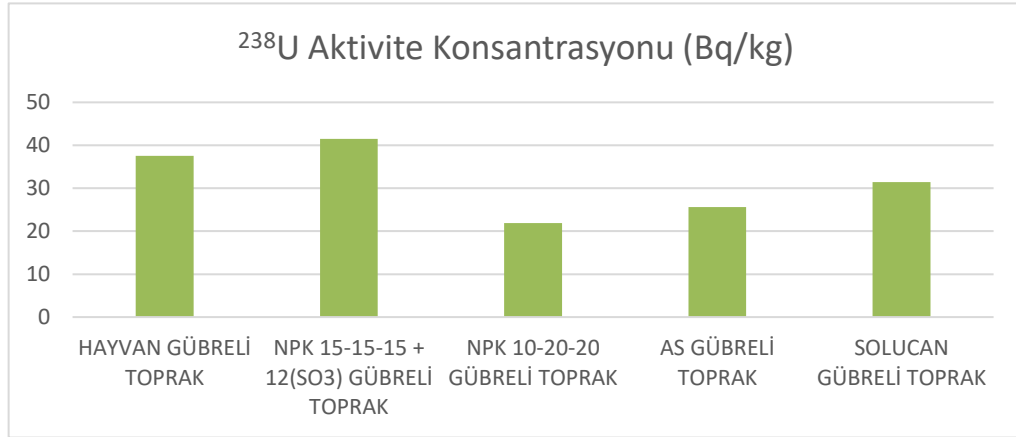
Şekil 4.21: Çeşitli gübrelerle ekilen havuç bitkisinin ^{40}K aktivite konsantrasyonu.



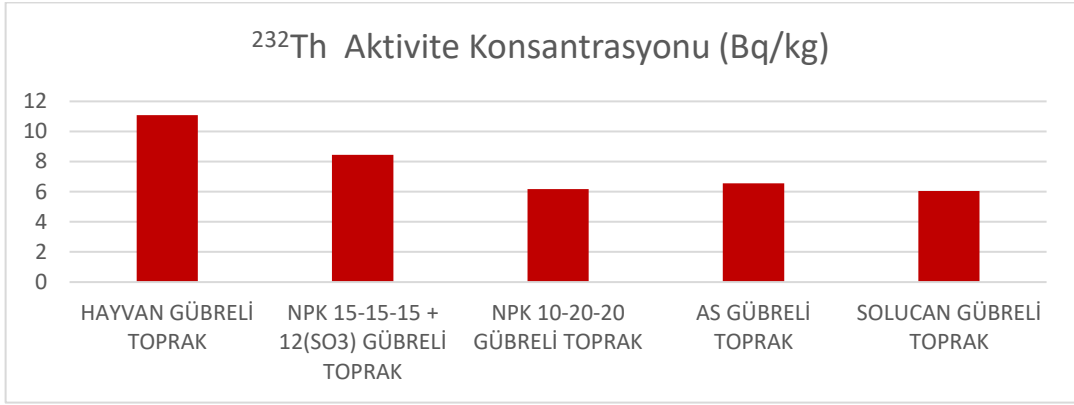
Şekil 4.22: Çeşitli gübrelerle ekilen patates bitkisinin ^{40}K aktivite konsantrasyonu.



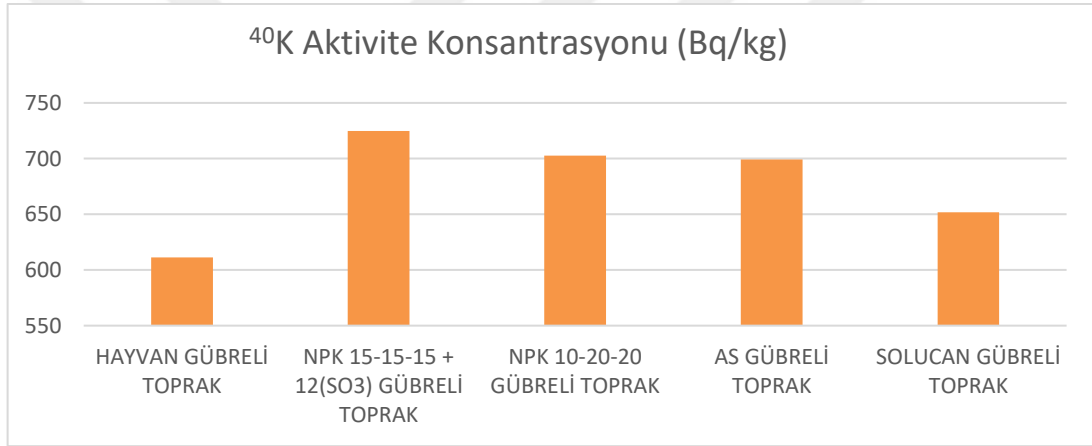
Şekil 4.23: Çeşitli gübrelerle ekilen pırasa bitkisinin ^{40}K aktivite konsantrasyonu.



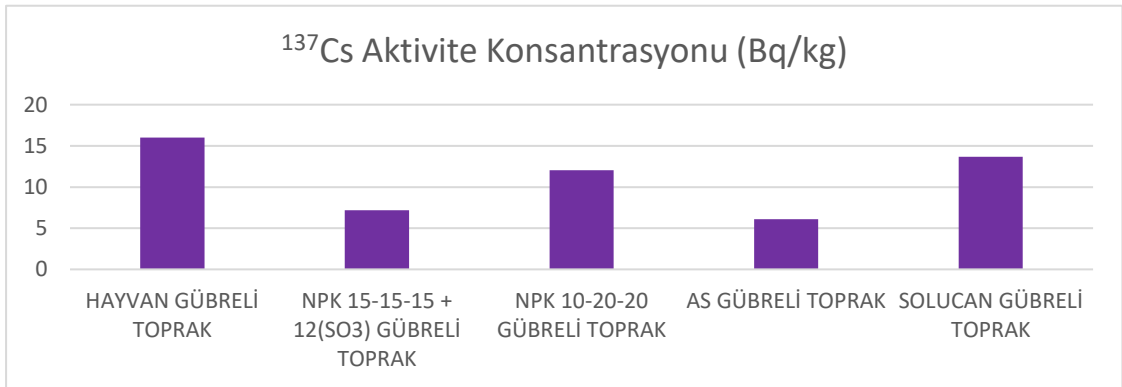
Şekil 4.24: Çeşitli gübrelerle karıştırılan toprak örneklerinin ^{238}U aktivite konsantrasyonu.



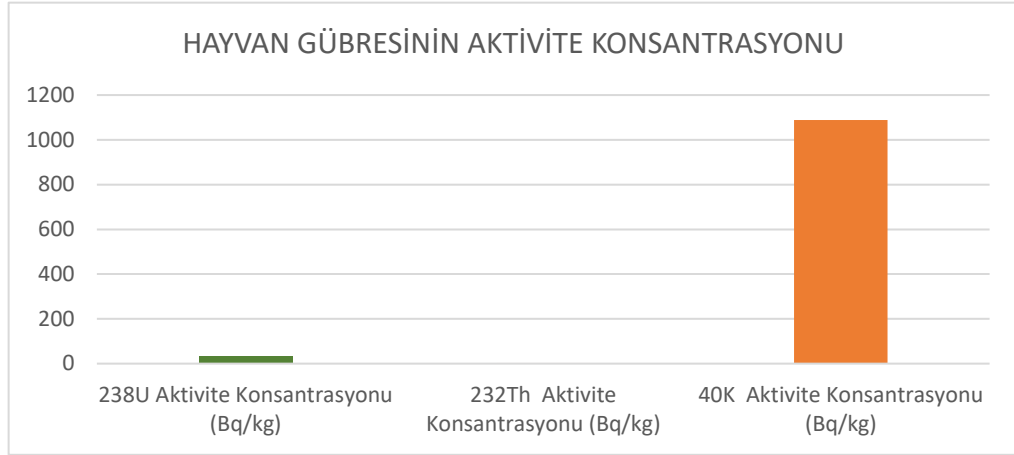
Şekil 4.25: Çeşitli gübrelerle karıştırılan toprak örneklerinin ^{232}Th aktivite konsantrasyonu.



Şekil 4.26: Çeşitli gübrelerle karıştırılan toprak örneklerinin ^{40}K aktivite konsantrasyonu.

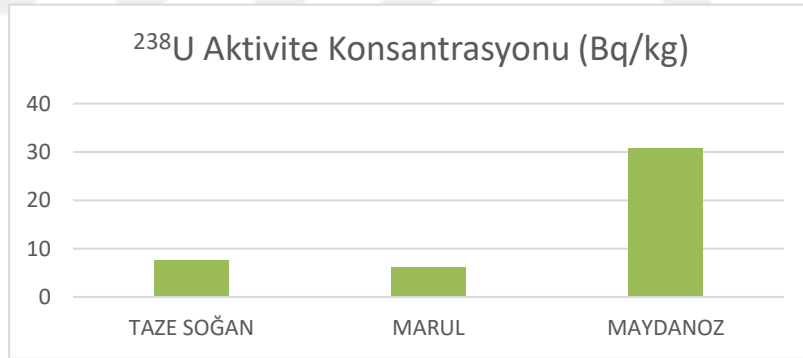


Şekil 4.27: Çeşitli gübrelerle karıştırılan toprak örneklerinin ^{137}Cs aktivite konsantrasyonu.

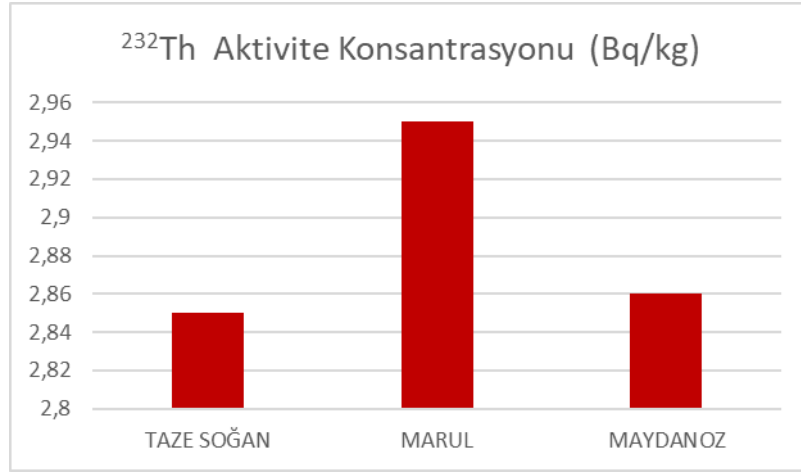


Şekil 4.28: Hayvan gübresinin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonu.

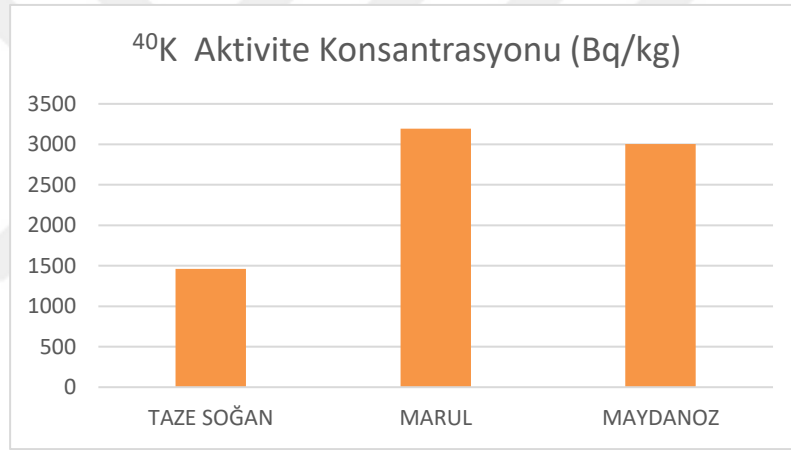
Aynı zamanda aynı gübreyle ekilen çeşitli bitkilerin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklidlerinin aktivite konsantrasyonlarının grafikleri;



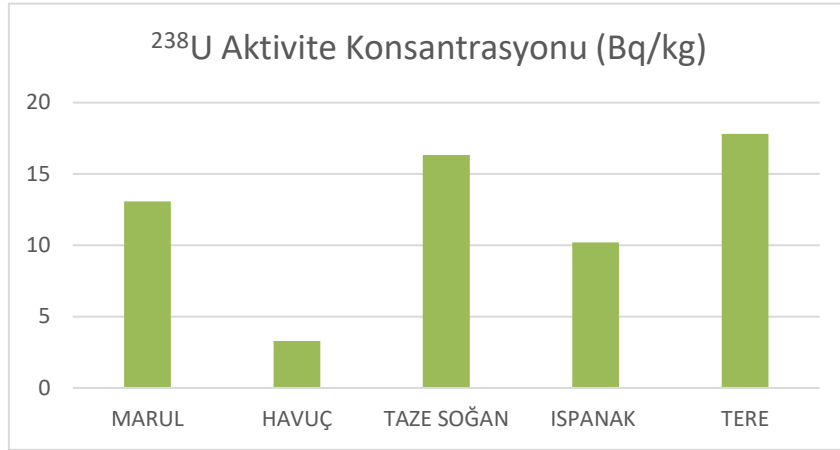
Şekil 4.29: NPK 0-20-20 gübresiyle ekilen taze soğan, maydanoz ve marul bitkisinin ^{238}U aktivite konsantrasyonu.



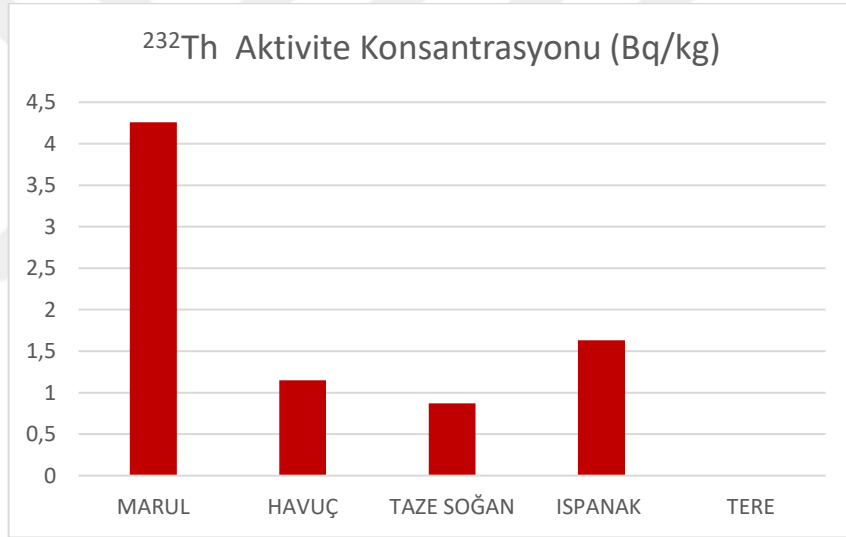
Şekil 4.30: NPK 0-20-20 gübresiyle ekilen taze soğan, maydanoz ve marul bitkisinin ^{232}Th aktivite konsantrasyonu.



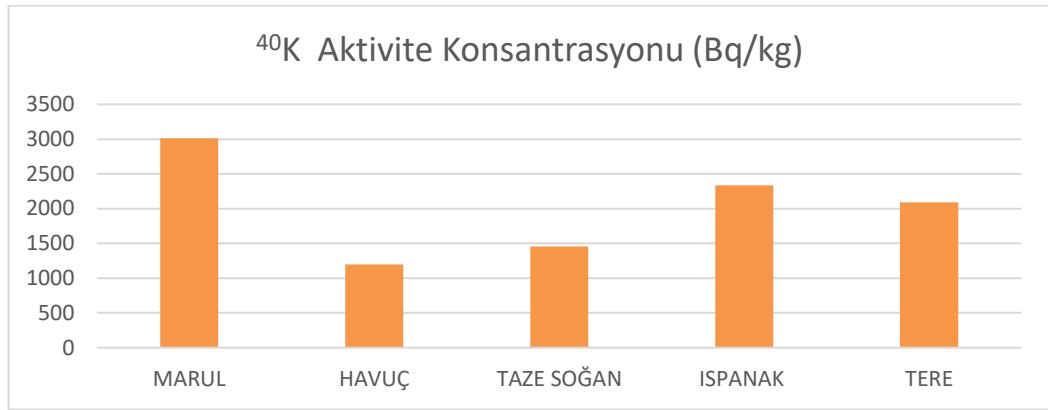
Şekil 4.31: NPK 0-20-20 gübresiyle ekilen taze soğan, maydanoz ve marul bitkisinin ^{40}K aktivite konsantrasyonu.



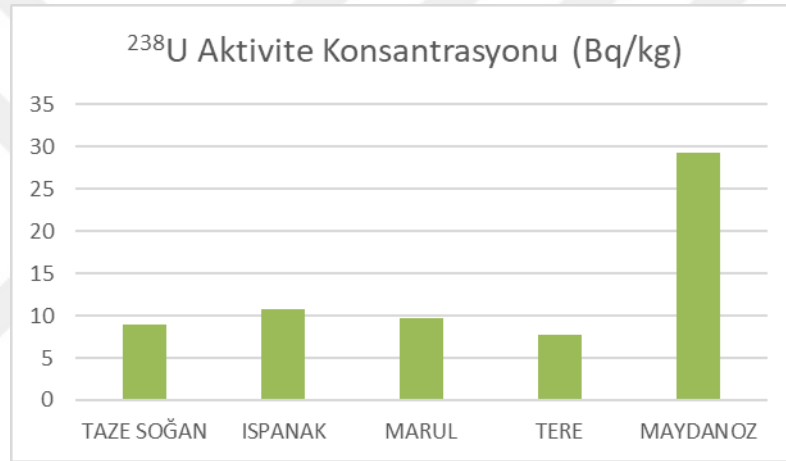
Şekil 4.32: NPK 10-20-20 gübresiyle ekilen taze soğan, havuç, ıspanak, tere ve marul bitkisinin ^{238}U aktivite konsantrasyonu.



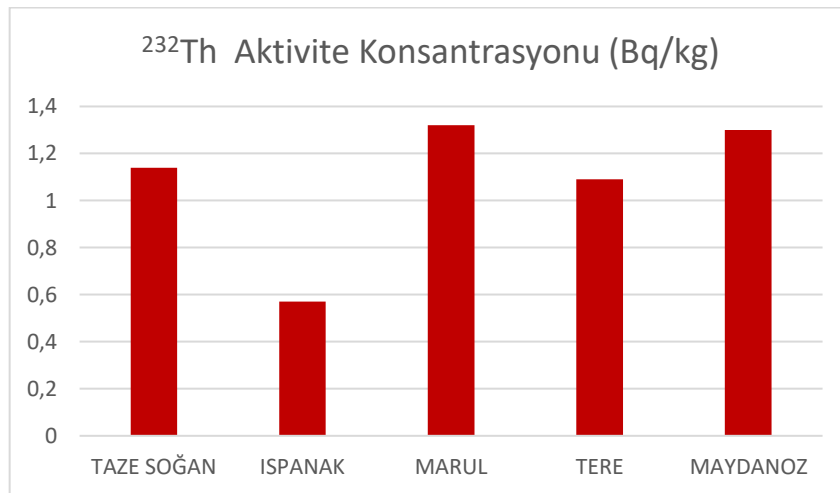
Şekil 4.33: NPK 10-20-20 gübresiyle ekilen taze soğan, havuç, ıspanak, tere ve marul bitkisinin ^{232}Th aktivite konsantrasyonu.



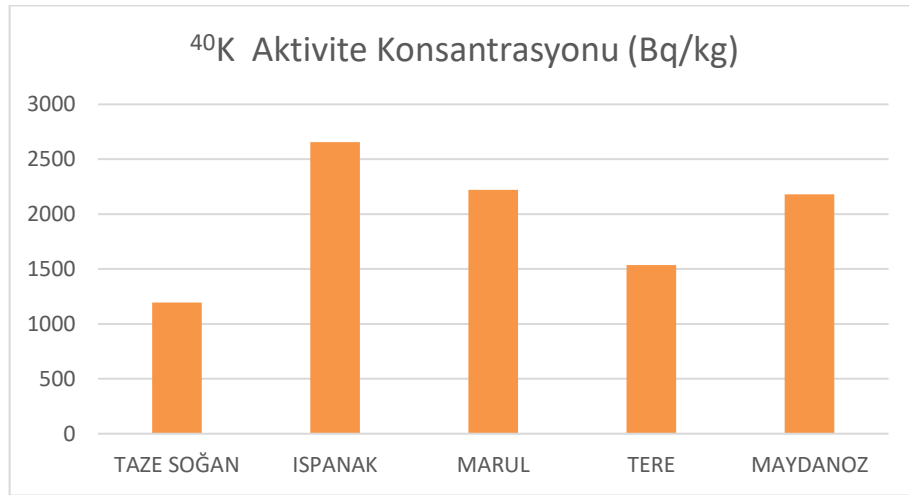
Şekil 4.34: NPK 10-20-20 gübresiyle ekilen taze soğan, havuç, ıspanak, tere ve marul bitkisinin ^{40}K aktivite konsantrasyonu.



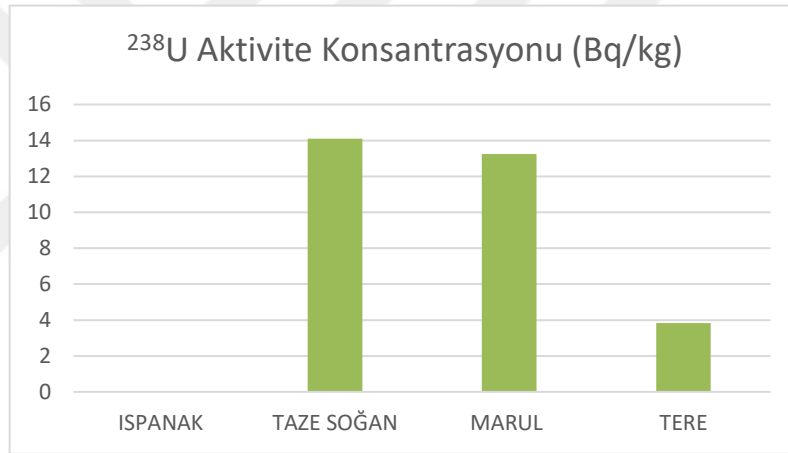
Şekil 4.35: AS gübresiyle ekilen taze soğan, ıspanak, marul, tere ve maydanoz bitkisinin ^{238}U aktivite konsantrasyonu.



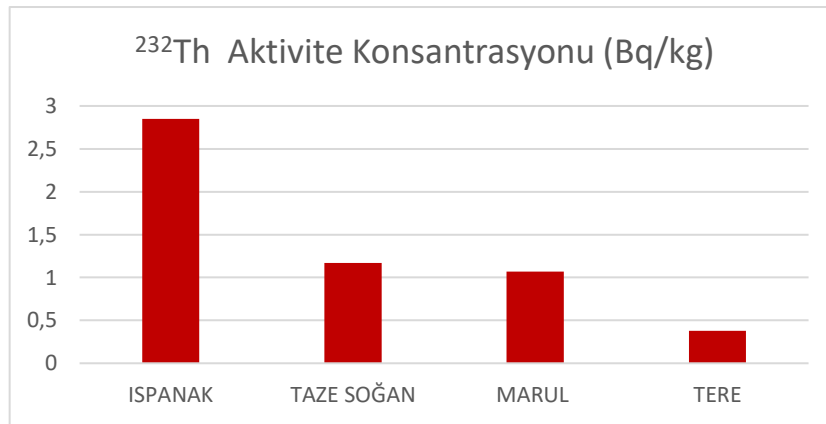
Şekil 4.36: AS gübresiyle ekilen taze soğan, ıspanak, marul, tere ve maydanoz bitkisinin ^{232}Th aktivite konsantrasyonu.



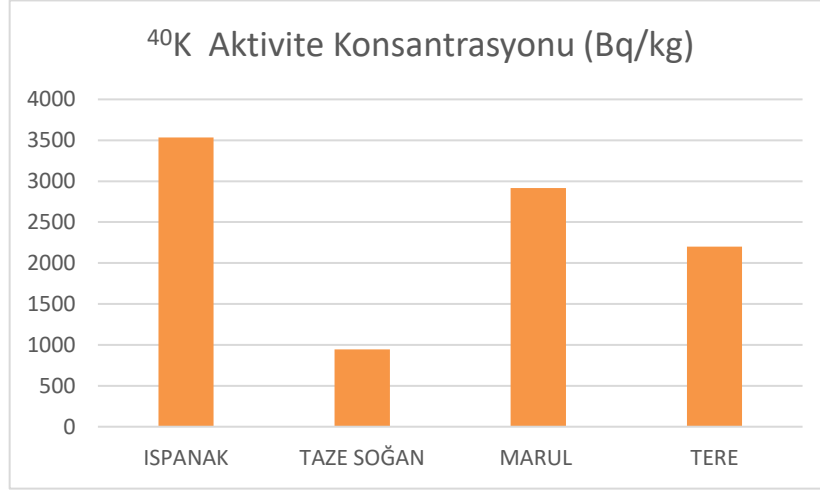
Şekil 4.37: AS gübresiyle ekilen taze soğan, ıspanak, marul, tere ve maydanoz bitkisinin ^{40}K aktivite konsantrasyonu.



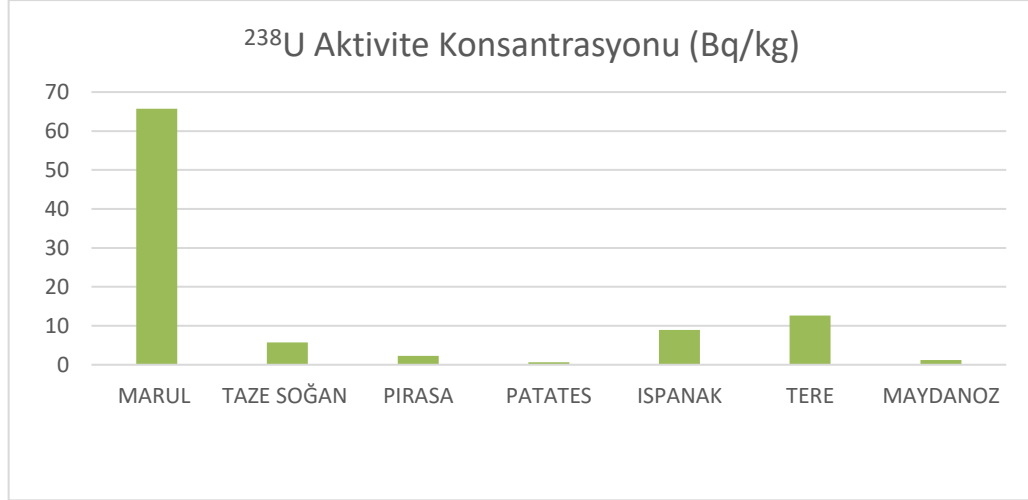
Şekil 4.38: DAP gübresiyle ekilen ıspanak, taze soğan, marul ve tere bitkisinin ^{238}U aktivite konsantrasyonu.



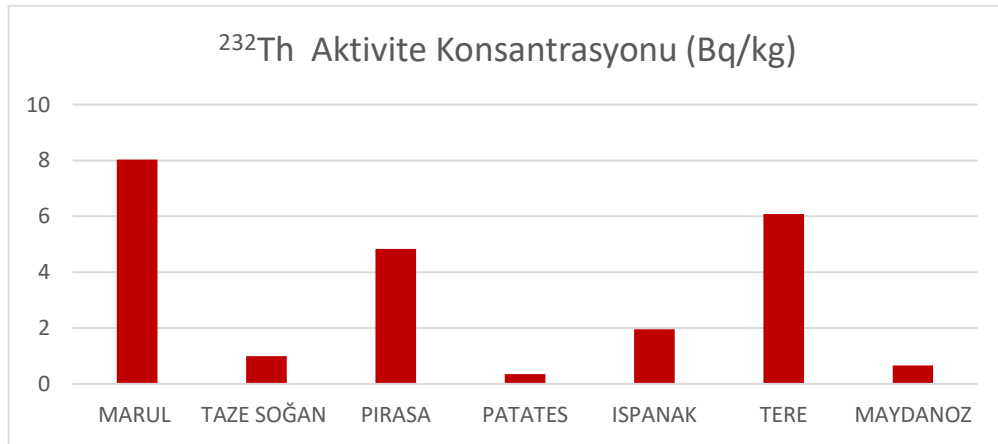
Şekil 4.39: DAP gübresiyle ekilen ıspanak, taze soğan, marul ve tere bitkisinin ^{232}Th aktivite konsantrasyonu.



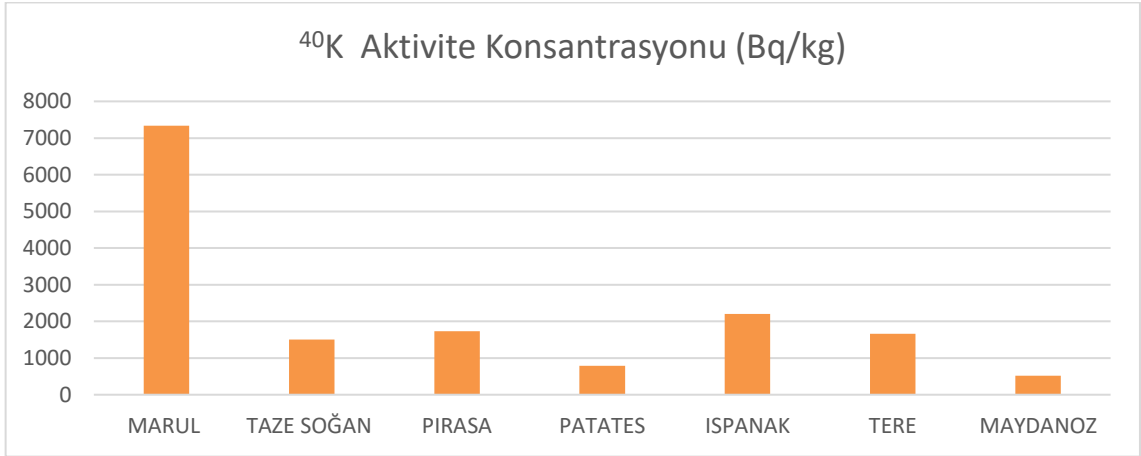
Şekil 4.40: DAP gübresiyle ekilen ıspanak, taze soğan, marul ve tere bitkisinin ^{40}K aktivite konsantrasyonu.



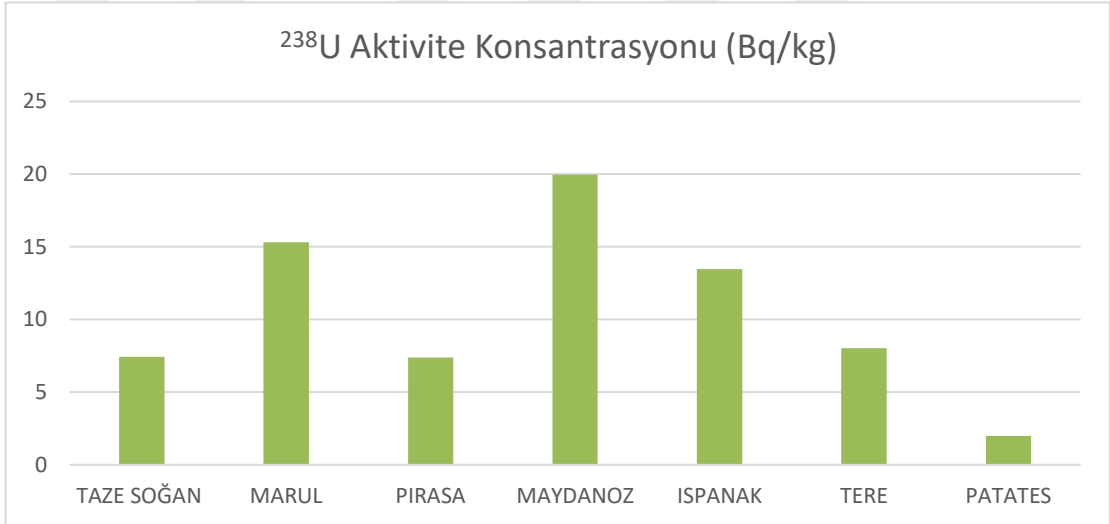
Şekil 4.41: Gübresiz ekim yapılan marul, taze soğan, pırasa, patates, ıspanak, tere ve maydanoz bitkisinin ^{238}U aktivite konsantrasyonu.



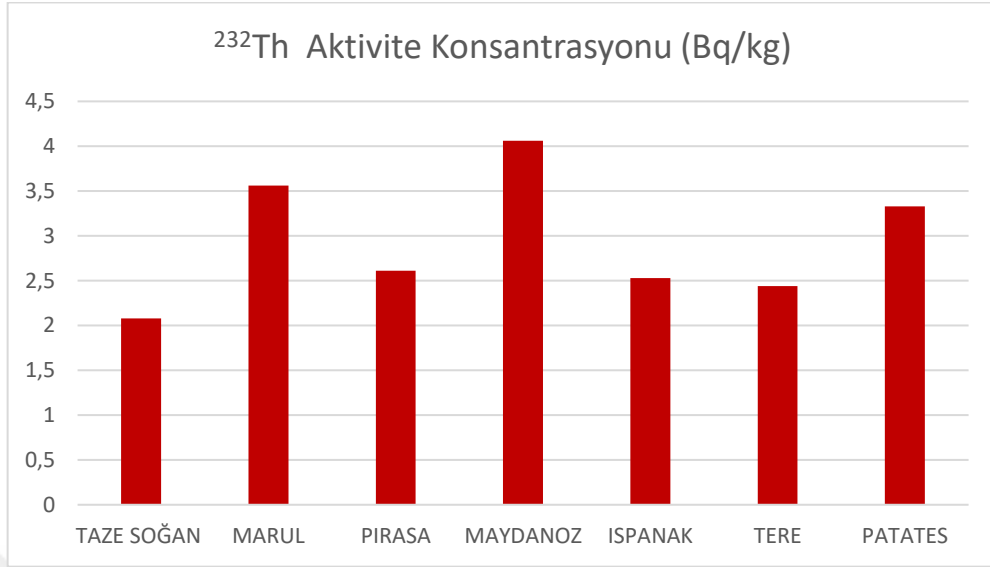
Şekil 4.42: Gübresiz ekim yapılan marul, taze soğan, pırasa, patates, ıspanak, tere ve maydanoz bitkisinin ^{232}Th aktivite konsantrasyonu.



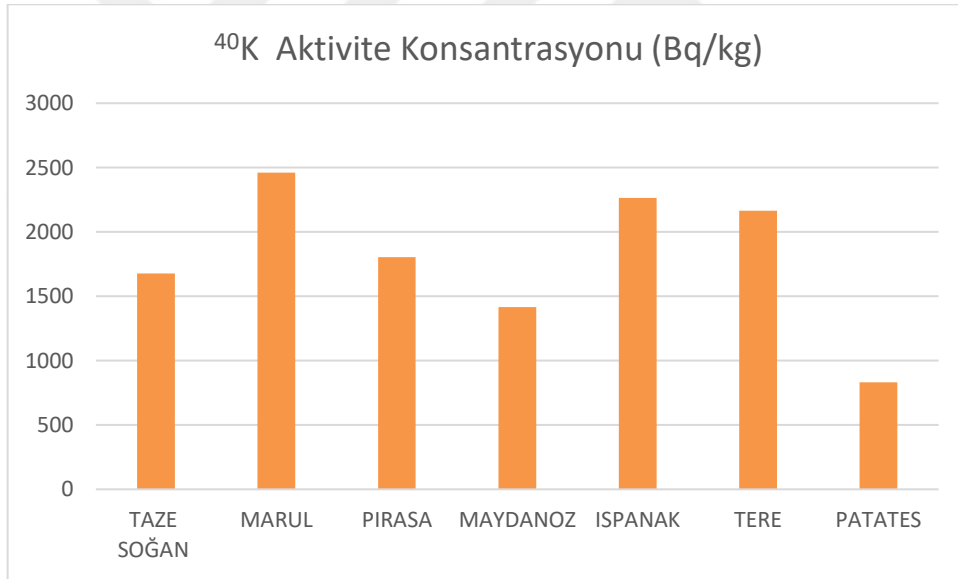
Şekil 4.43: Gübresiz ekim yapılan marul, taze soğan, pırasa, patates, ıspanak, tere ve maydanoz bitkisinin ^{40}K aktivite konsantrasyonu.



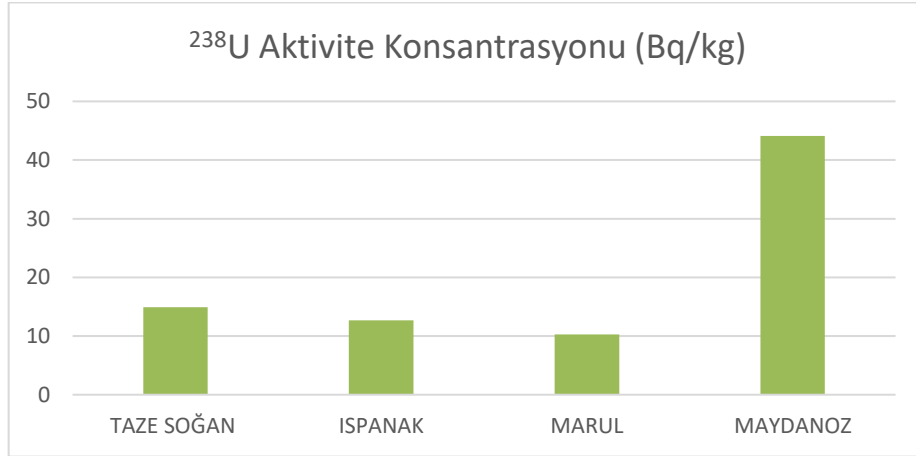
Şekil 4.44: Hayvan gübresiyle ekilen taze soğan, marul, pırasa, maydanoz, ıspanak, tere ve patates bitkisinin ^{238}U aktivite konsantrasyonu.



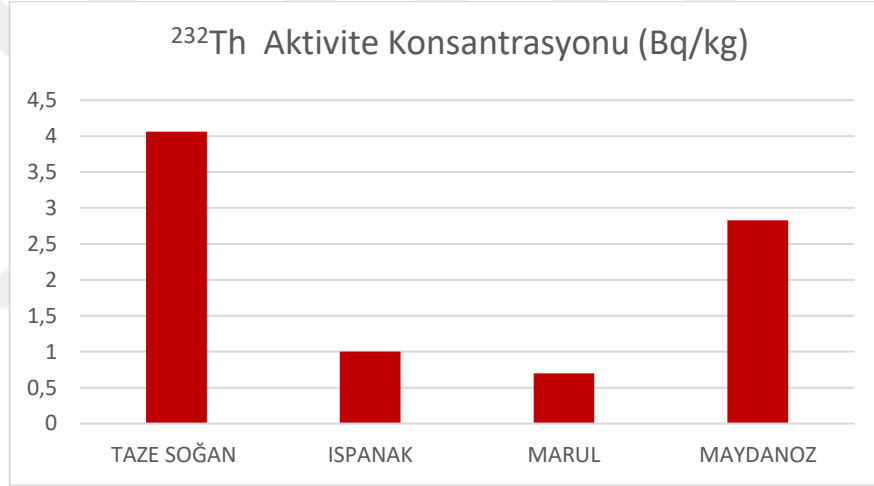
Şekil 4.45: Hayvan gübresiyle ekilen taze soğan, marul, pırasa, maydanoz, ıspanak, tere ve patates bitkisinin ^{232}Th aktivite konsantrasyonu.



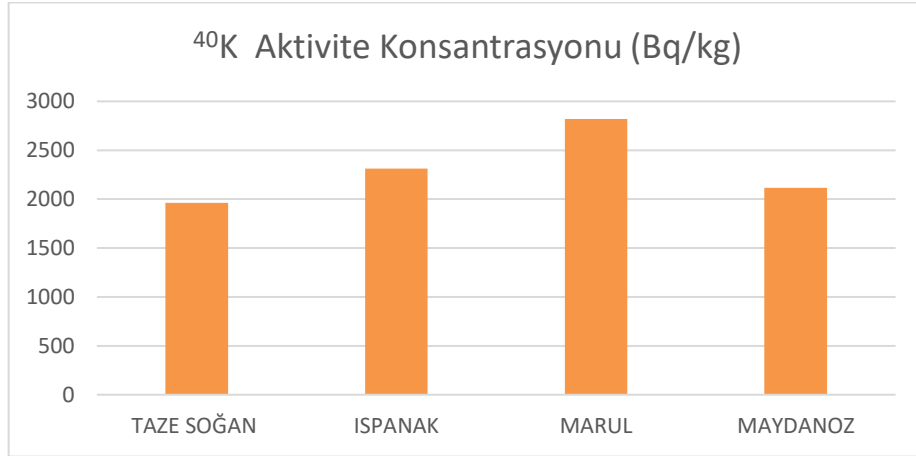
Şekil 4.46: Hayvan gübresiyle ekilen taze soğan, marul, pırasa, maydanoz, ıspanak, tere ve patates bitkisinin ^{40}K aktivite konsantrasyonu.



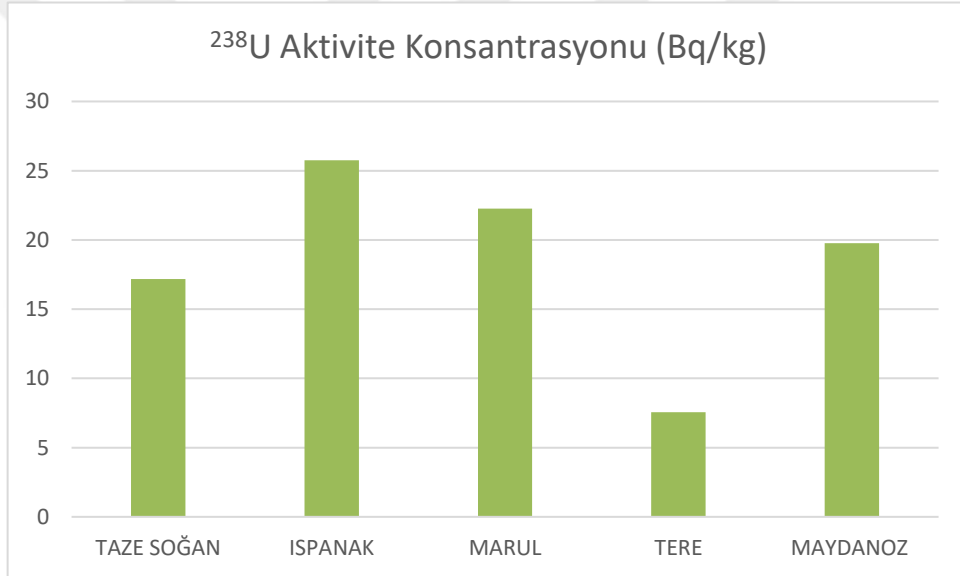
Şekil 4.47: NPK 15-15-15 + Zn gübresiyle ekilen taze soğan, ıspanak, marul ve maydanoz bitkisinin ^{238}U aktivite konsantrasyonu.



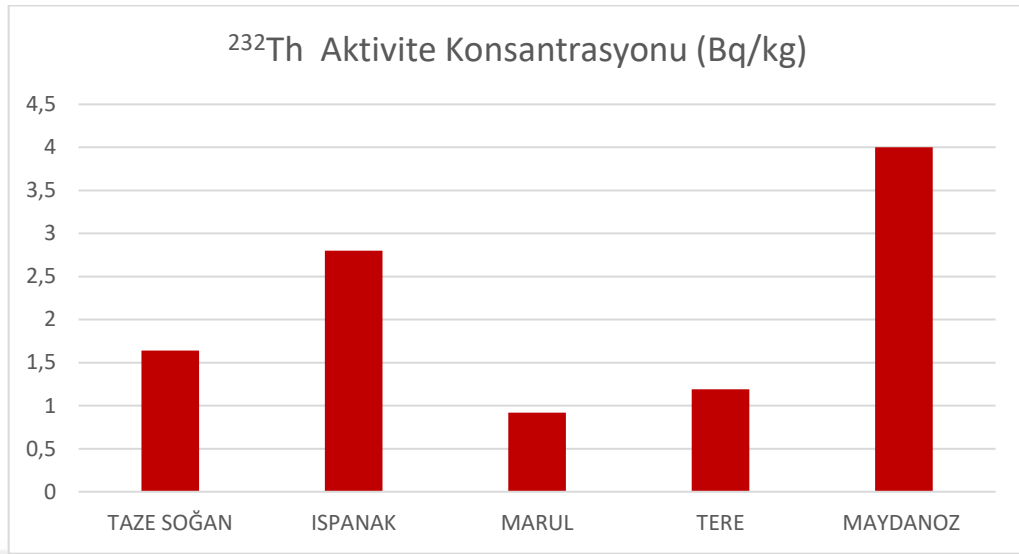
Şekil 4.48: NPK 15-15-15 + Zn gübresiyle ekilen taze soğan, ıspanak, marul ve maydanoz bitkisinin ^{232}Th aktivite konsantrasyonu.



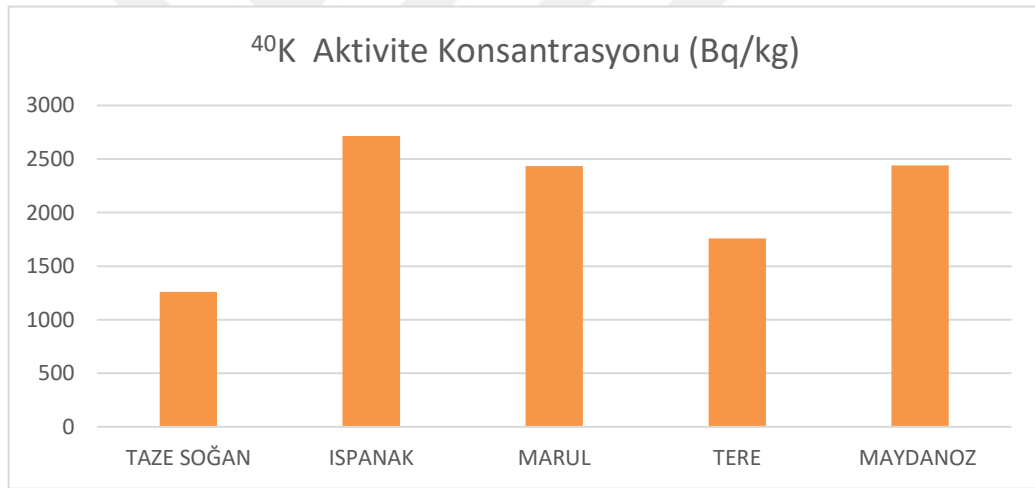
Şekil 4.49: NPK 15-15-15 + Zn gübresiyle ekilen taze soğan, ıspanak, marul ve maydanoz bitkisinin ^{40}K aktivite konsantrasyonu.



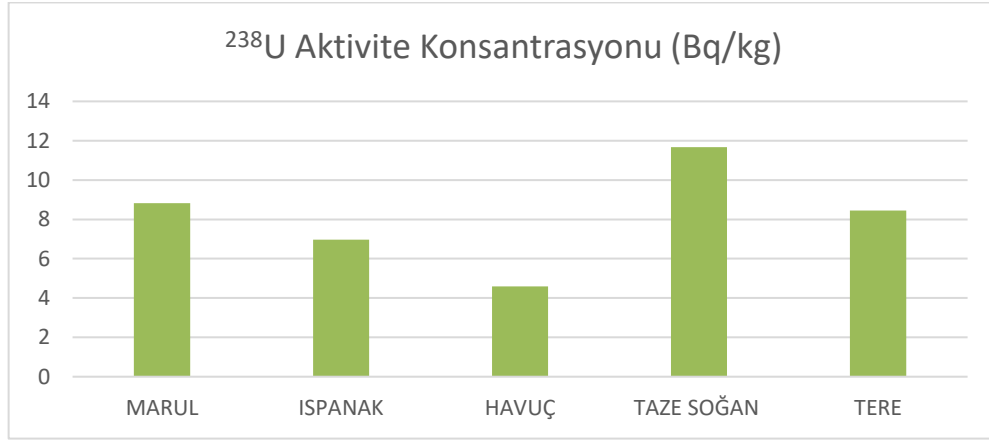
Şekil 4.50: NPK 15-15-15 + $12(\text{SO}_3)$ gübresiyle ekilen taze soğan, ıspanak, marul, tere ve maydanoz bitkisinin ^{238}U aktivite konsantrasyonu.



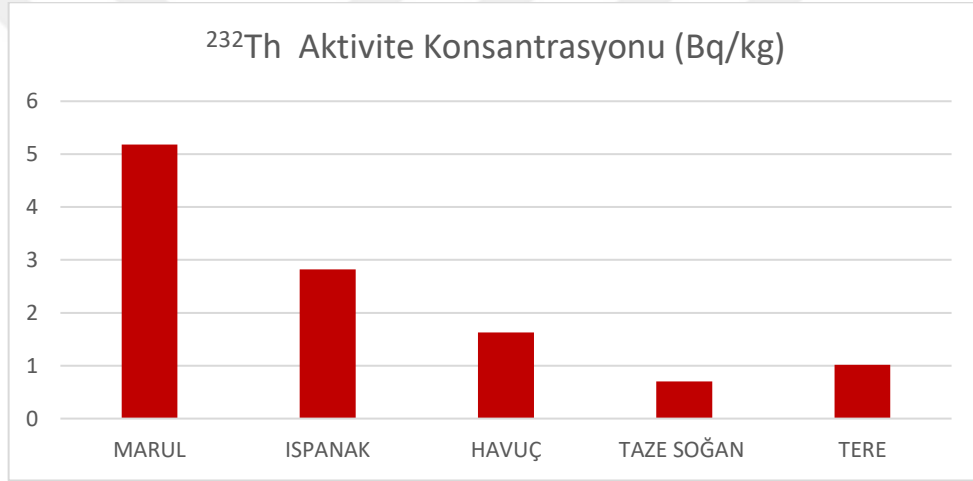
Şekil 4.51: NPK 15-15-15 + 12(SO₃) gübresiyle ekilen taze soğan, ıspanak, marul, tere ve maydanoz bitkisinin ^{232}Th aktivite konsantrasyonu.



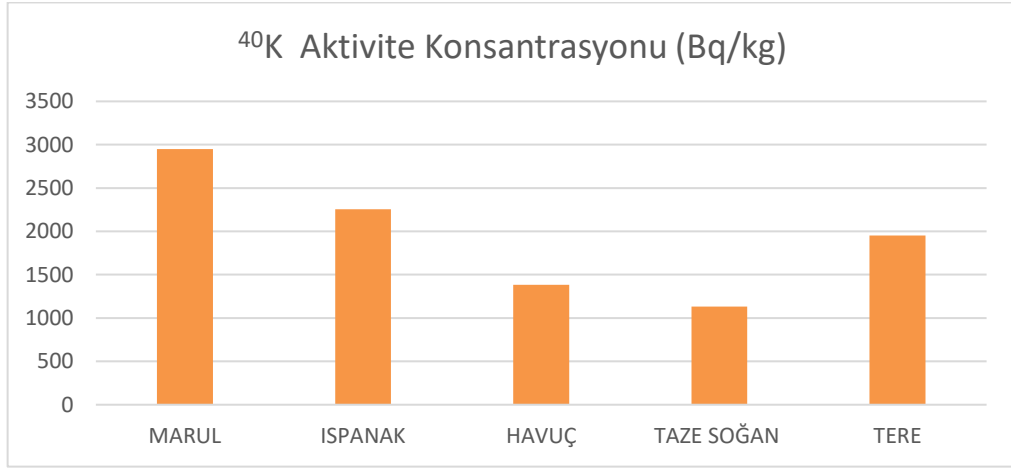
Şekil 4.52: NPK 15-15-15 + 12(SO₃) gübresiyle ekilen taze soğan, ıspanak, marul, tere ve maydanoz bitkisinin ^{40}K aktivite konsantrasyonu.



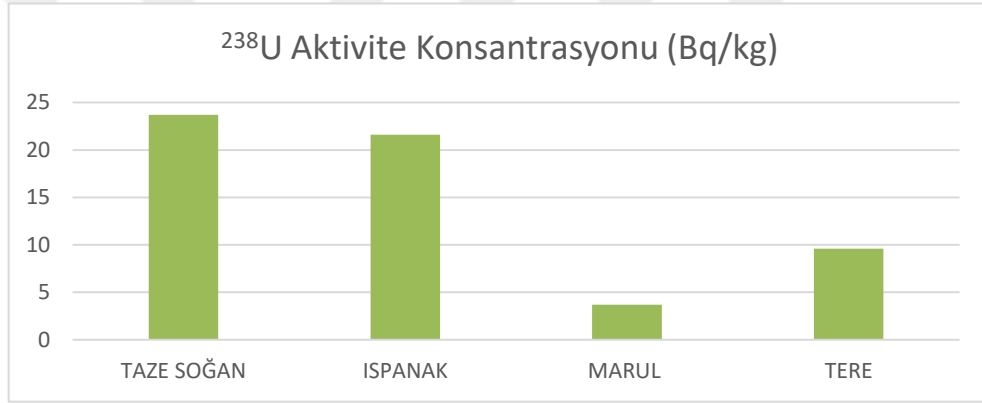
Şekil 4.53: Solucan gübresiyle ekilen marul, ıspanak, havuç, taze soğan ve tere bitkisinin ^{238}U aktivite konsantrasyonu.



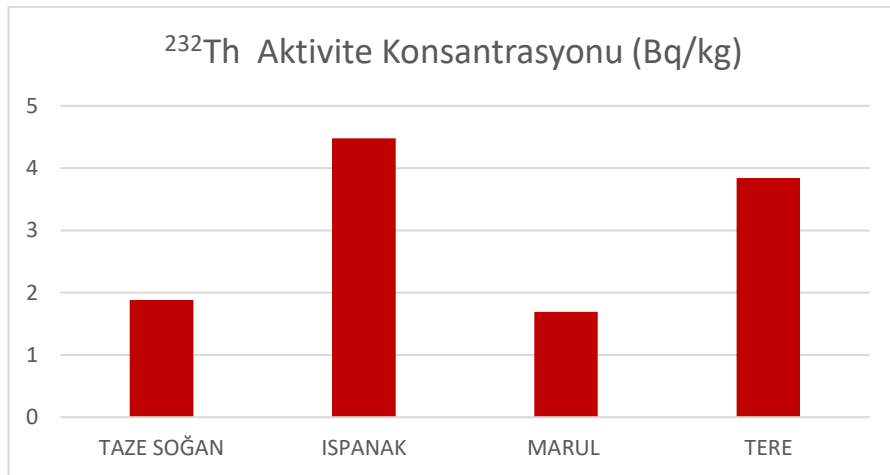
Şekil 4.54: Solucan gübresiyle ekilen marul, ıspanak, havuç, taze soğan ve tere bitkisinin ^{232}Th aktivite konsantrasyonu.



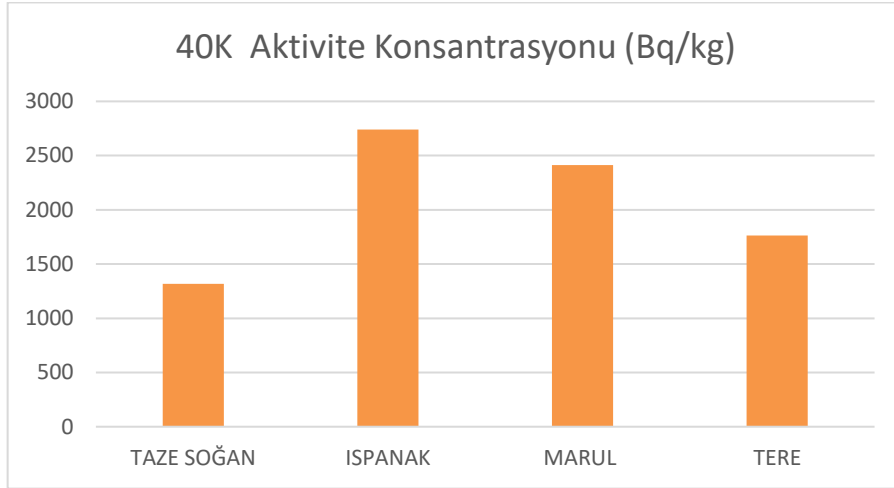
Şekil 4.55: Solucan gübresiyle ekilen marul, ıspanak, havuç, taze soğan ve tere bitkisinin ^{40}K aktivite konsantrasyonu.



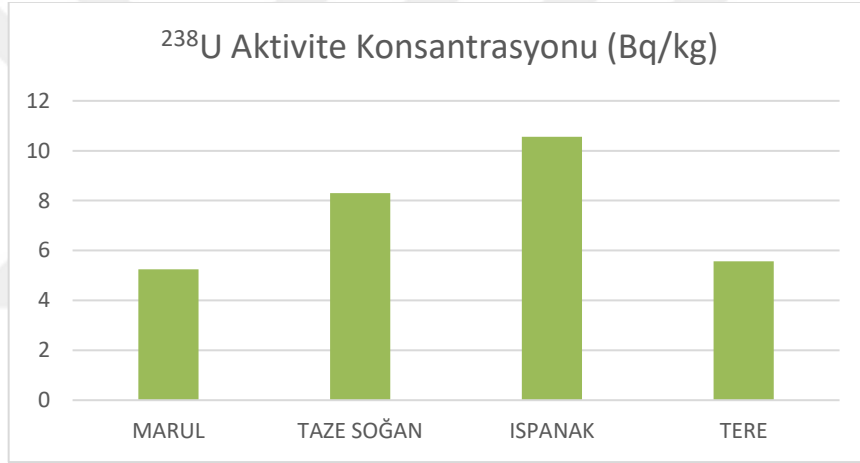
Şekil 4.56: NPK Süper kompoze gübresiyle ekilen taze soğan, ıspanak, marul ve tere bitkisinin ^{238}U aktivite konsantrasyonu.



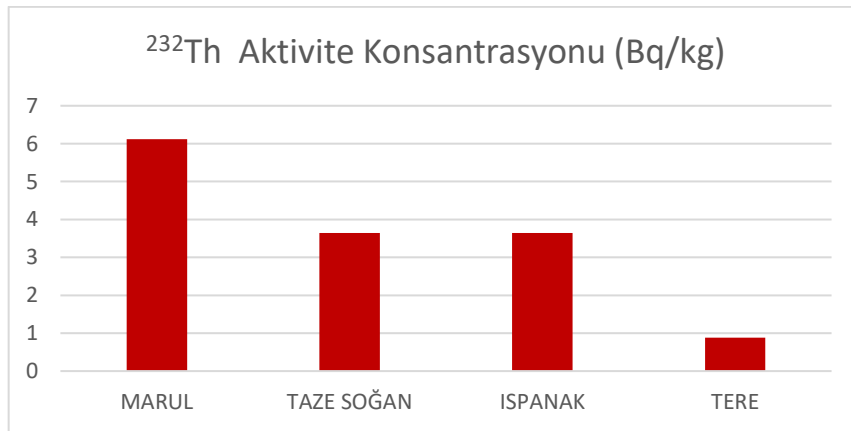
Şekil 4.57: NPK Süper kompoze gübresiyle ekilen taze soğan, ıspanak, marul ve tere bitkisinin ^{232}Th aktivite konsantrasyonu.



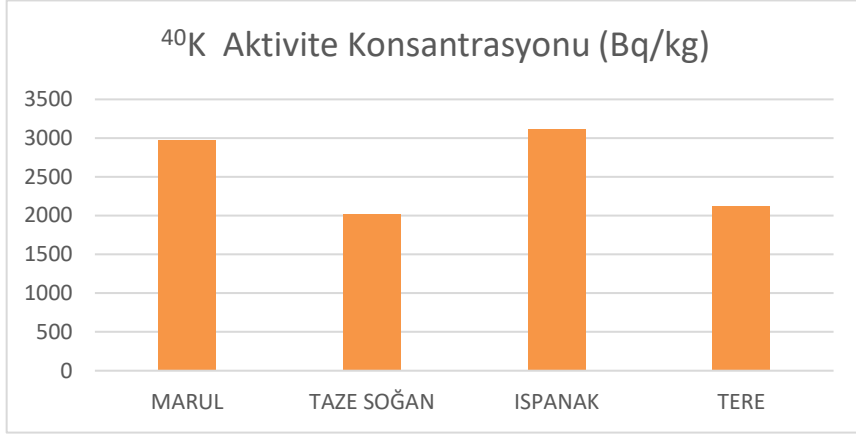
Şekil 4.58: NPK Süper kompoze gübresiyle ekilen taze soğan, ıspanak, marul ve tere bitkisinin ^{40}K aktivite konsantrasyonu.



Şekil 4.59: Üre gübresiyle ekilen marul, taze soğan, ıspanak ve tere bitkisinin ^{238}U aktivite konsantrasyonu.



Şekil 4.60: Üre gübresiyle ekilen marul, taze soğan, ıspanak ve tere bitkisinin ^{232}Th aktivite konsantrasyonu.



Şekil 4.61: Üre gübresiyle ekilen marul, taze soğan, ıspanak ve tere bitkisinin ^{40}K aktivite konsantrasyonu.

Toprak ve gübre için radyum eşdeğer (R_{eq}) değeri Tablo 6’da gösterilmiştir;

Tablo 7: Toprak ve gübre örneği için Radyum eşdeğer (R_{eq}) değeri.

ÖRNEKLER	R_{eq} (Bq/kg)
HAYVAN GÜBRELİ TOPRAK	79,1188
NPK 15-15-15 + 12(SO ₃) GÜBRELİ TOPRAK	88,5845
NPK 10-20-20 GÜBRELİ TOPRAK	119,0783
AS GÜBRELİ TOPRAK	76,129
SOLUCAN GÜBRELİ TOPRAK	73,7826
HAYVAN GÜBRESİ	72,1358

4.2. Yıllık Etkin Dozlar

Toprak ve bitki örneklerinin spektrum analizi sonucunda ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklidlerin aktivitelerine bağlı olarak yapay ve doğal olmak üzere absorblanmış doz ve yıllık etkin doz seviyeleri hesaplanmış ve Tablo 7’te gösterilmiştir;

Tablo 8: Bitki örnekleri için doğal radyasyona bağlı absorblanmış ve yıllık etkin doz miktarları.

BİTKİ ÖRNEKLERİ	EKİLEN GÜBRE ÇEŞİTLERİ	DOĞAL RADYASYON
		YILLIK ETKİN DOZ ($\mu\text{Sv y}^{-1}$)
MARUL	GÜBRESİZ	433,36
	HAYVAN GÜBRESİ	142,13
	SOLUCAN GÜBRESİ	165,55
	NPK 10-20-20	170,48
	NPK 0-20-20	175,18
	NPK 15-15-15 + Zn	155,9
	NPK 15-15-15 + 12(SO ₃)	142,6
	NPK SÜPER KOMPOZE	131,4
	ÜRE	165,76
	DAP	163,13
	AS	124,4
TAZE SOĞAN	GÜBRESİZ	83,83
	HAYVAN GÜBRESİ	94,77
	SOLUCAN GÜBRESİ	67,24
	NPK 0-20-20	84,15
	NPK 10-20-20	87,23
	NPK 15-15-15 + Zn	115,8
	NPK 15-15-15 + 12(SO ₃)	78,08
	NPK SÜPER KOMPOZE	85,07
	ÜRE	114,7
	DAP	59,2
	AS	69,45
PIRASA	GÜBRESİZ	96,97
	HAYVAN GÜBRESİ	101,96
HAVUÇ	SOLUCAN GÜBRESİ	77,23
	NPK 10-20-20	66,35
MAYDANOZ	GÜBRESİZ	28,7
	HAYVAN GÜBRESİ	89,93
	NPK 0-20-20	179,3

Tablo 9 (devam): Bitki örnekleri için doğal radyasyona bağlı absorblanmış ve yıllık etkin doz miktarları.

MAYDANOZ	NPK 15-15-15 + Zn	139,9
	NPK 15-15-15 + 12(SO ₃)	143,9
	AS	133,5
ISPANAK	GÜBRESİZ	123,3
	HAYVAN GÜBRESİ	129,77
	SOLUCAN GÜBRESİ	125,86
	NPK 10-20-20	130,9
	NPK 15-15-15 + Zn	130,7
	NPK 15-15-15 + 12(SO ₃)	161,13
	NPK SÜPER KOMPOZE	161,25
	ÜRE	174,14
	DAP	189,6
	AS	147,34
TERE	GÜBRESİZ	100,3
	HAYVAN GÜBRESİ	121,33
	SOLUCAN GÜBRESİ	109,2
	NPK 10-20-20	121,12
	NPK 15-15-15 + 12(SO ₃)	98,56
	NPK SÜPER KOMPOZE	102,1
	ÜRE	116,1
	DAP	119,01
	AS	86,77
PATATES	GÜBRESİZ	42,3
	HAYVAN GÜBRESİ	45,5

Toprak ve gübre örneklerinin yapay ve doğal olmak üzere absorblanmış ve yıllık etkin dozları Tablo 8’da gösterilmiştir;

Tablo 10: Toprak ve gübre örnekleri için doğal radyasyona bağlı absorblanmış ve yıllık etkin doz.

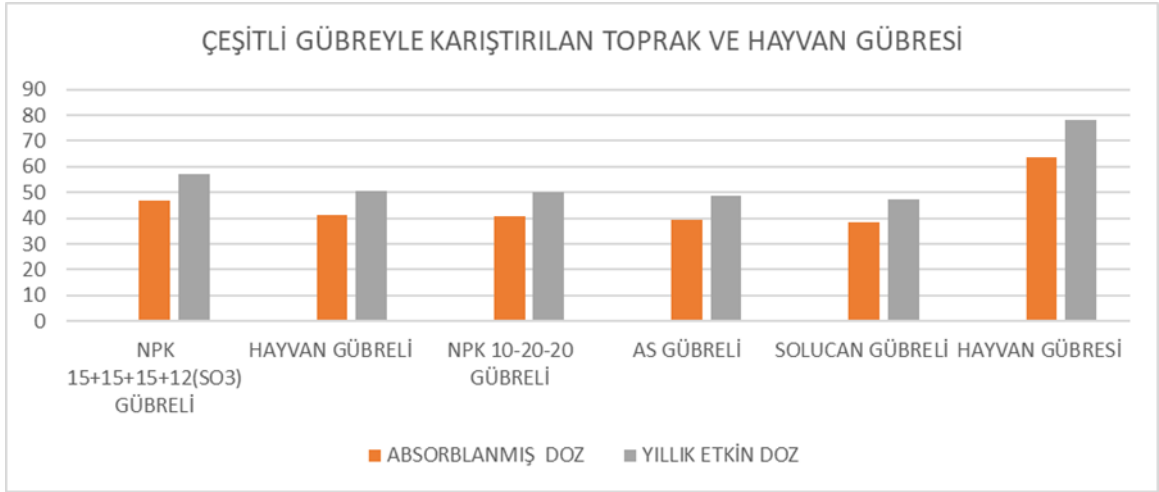
ÖRNEKLER	DOĞAL RADYASYON	
	ABSORBLANMIŞ DOZ (nGy h⁻¹)	YILLIK ETKİN DOZ (μSv y⁻¹)
HAYVAN GÜBRELİ TOPRAK	41,4	50,76
NPK 15-15-15 + 12(SO ₃) GÜBRELİ TOPRAK	46,67	57,24
NPK 10-20-20 GÜBRELİ TOPRAK	63,62	49,88
AS GÜBRELİ TOPRAK	40,7	48,49
SOLUCAN GÜBRELİ TOPRAK	39,5	47,14
HAYVAN GÜBRESİ	38,4	78,03

Tablo 11: Toprak örneklerinin yapay radyasyona bağlı absorblanmış ve yıllık etkin dozları.

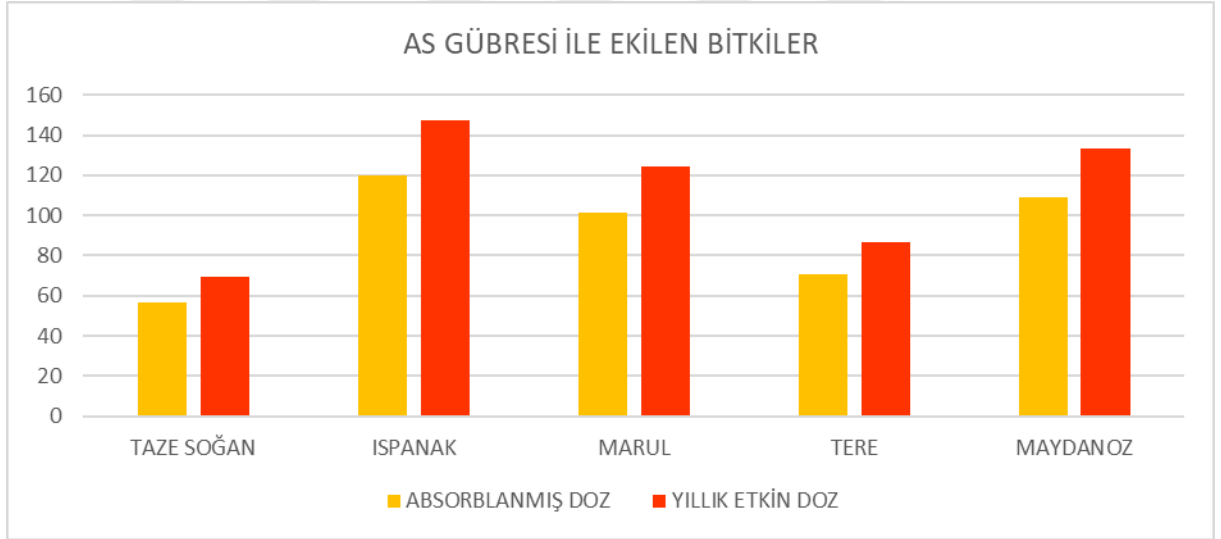
ÖRNEKLER	YAPAY RADYASYON	
	ABSORBLANMIŞ DOZ (nGy h ⁻¹)	YILLIK ETKİN DOZ (μSv y ⁻¹)
HAYVAN GÜBRELİ TOPRAK	1,8	2,2
NPK 15-15-15 + 12(SO ₃) GÜBRELİ TOPRAK	0,8	0,1
NPK 10-20-20 GÜBRELİ TOPRAK	1,35	1,65
AS GÜBRELİ TOPRAK	0,69	0,85
SOLUCAN GÜBRELİ TOPRAK	0,22	0,02

Fosfojips için absorblanmış doz 318,7 nGy h⁻¹ ve yıllık etkin doz 390,85 μSv y⁻¹ değerindedir.

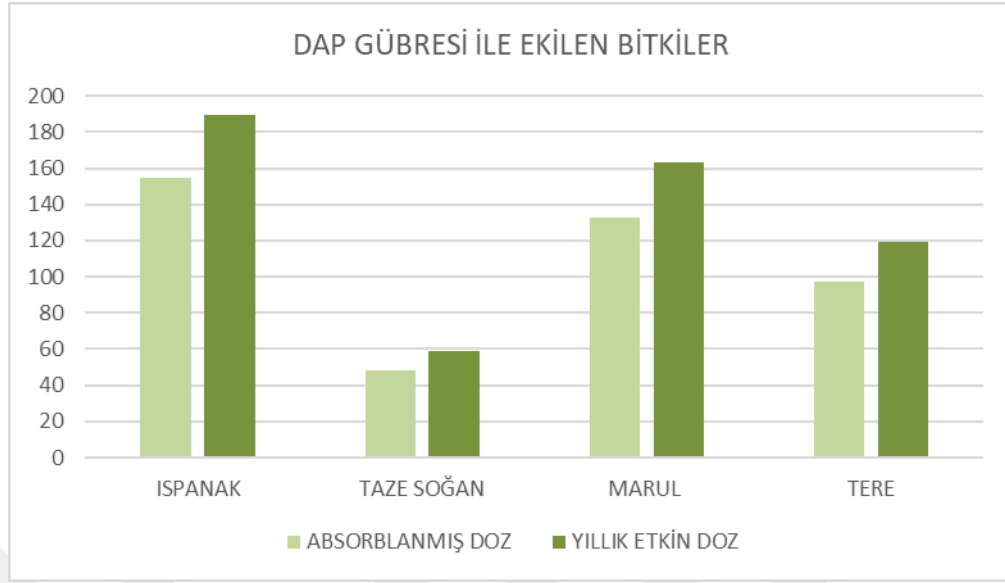
Toprak, bitki, gübre ve fosfojips örnekleri için absorblanmış ve yıllık etkin doz değerleri Şekil 4.62 – Şekil 4.74’de verilmiştir.



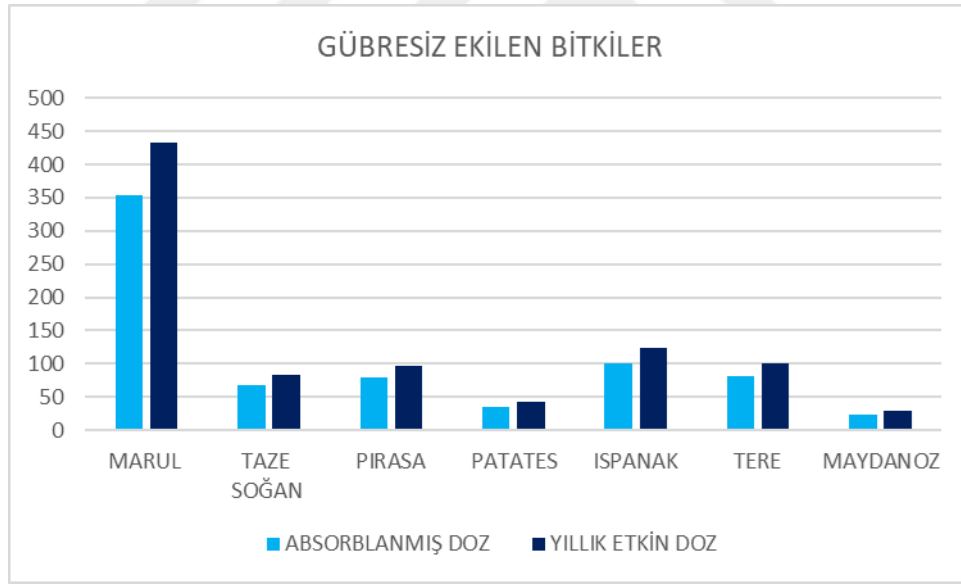
Şekil 4.62: Çeşitli gübreler ile karıştırılan toprak ve hayvan gübresinin absorblanmış ve yıllık etkin doz.



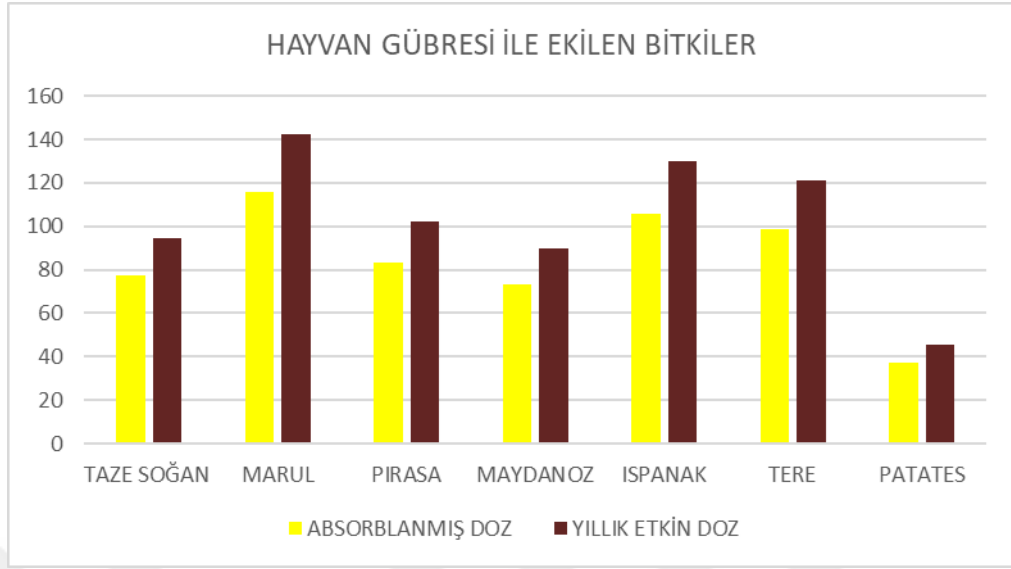
Şekil 4.63: AS gübresi ile ekilen taze soğan, ıspanak, marul, tere ve maydanoz bitkisinin absorblanmış ve yıllık etkin doz.



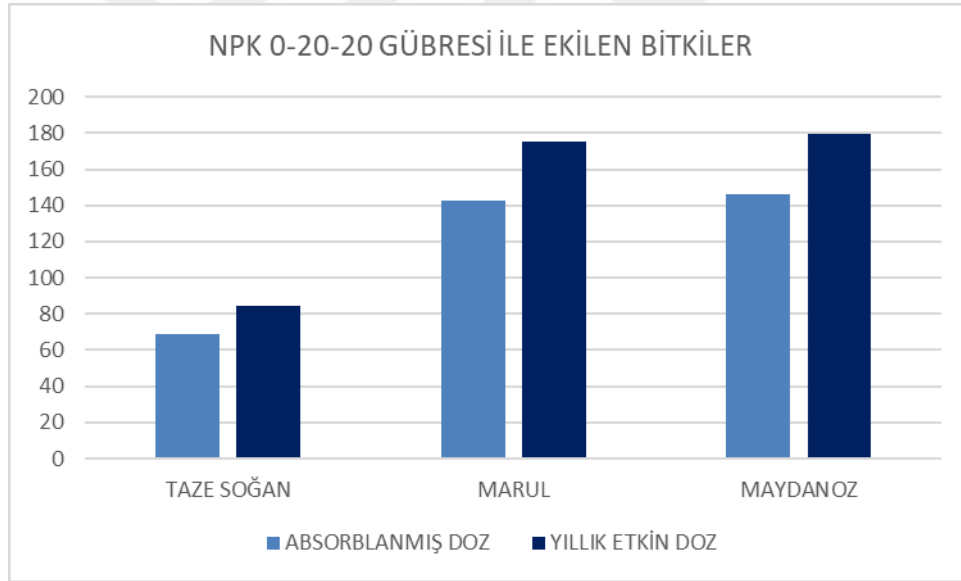
Şekil 4.64: DAP gübresi ile ekilen taze soğan, ıspanak, marul, tere bitkisinin absorblanmış ve yıllık etkin doz.



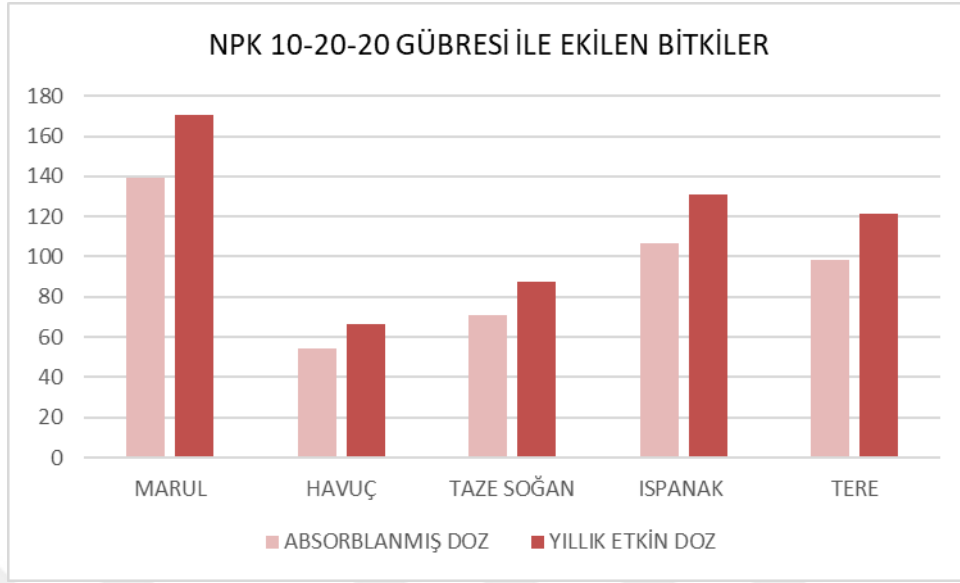
Şekil 4.65: Gübresiz ekilen taze soğan, ıspanak, marul, tere, pırasa, patates ve maydanoz bitkisinin absorblanmış ve yıllık etkin doz.



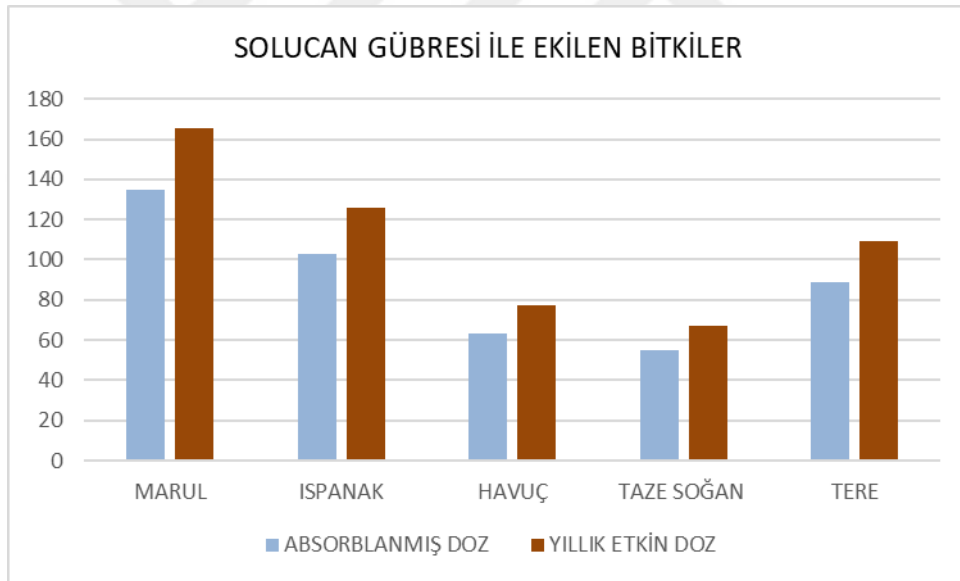
Şekil 4.66: Hayvan gübresi ile ekilen taze soğan, marul, pırasa, maydanoz, ıspanak, tere ve patates bitkisinin absorblanmış ve yıllık etkin doz.



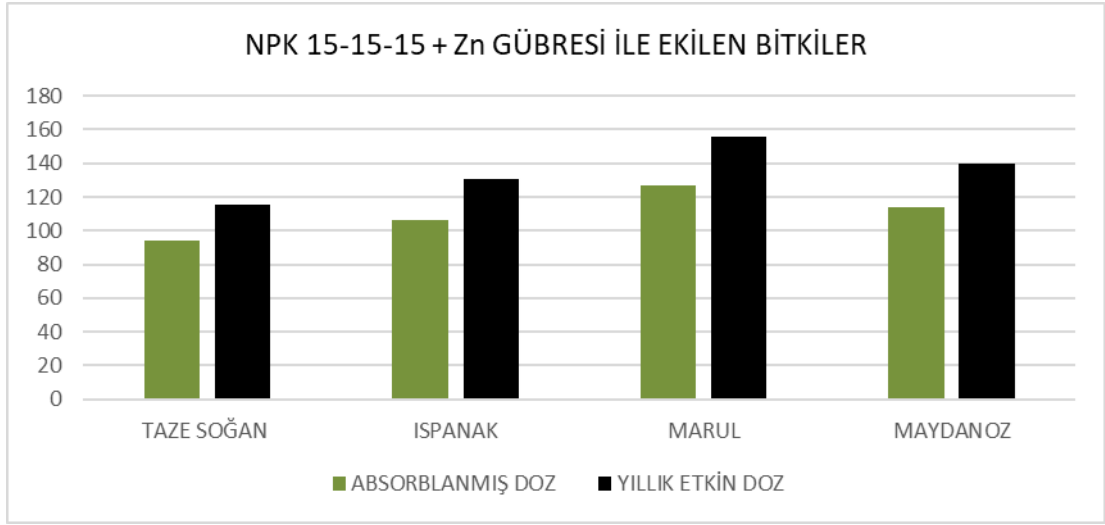
Şekil 4.67: NPK 0-20-20 gübresi ile ekilen taze soğan, marul ve maydanoz bitkisinin absorblanmış ve yıllık etkin doz.



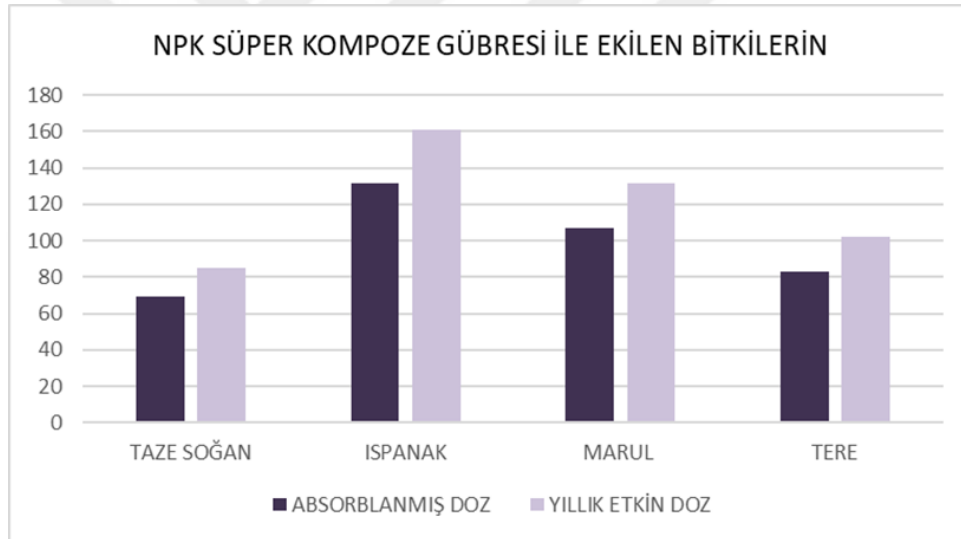
Şekil 4.68: NPK 10-20-20 gübresi ile ekilen marul, havuç, taze soğan, ıspanak ve tere bitkisinin absorblanmış ve yıllık etkin doz.



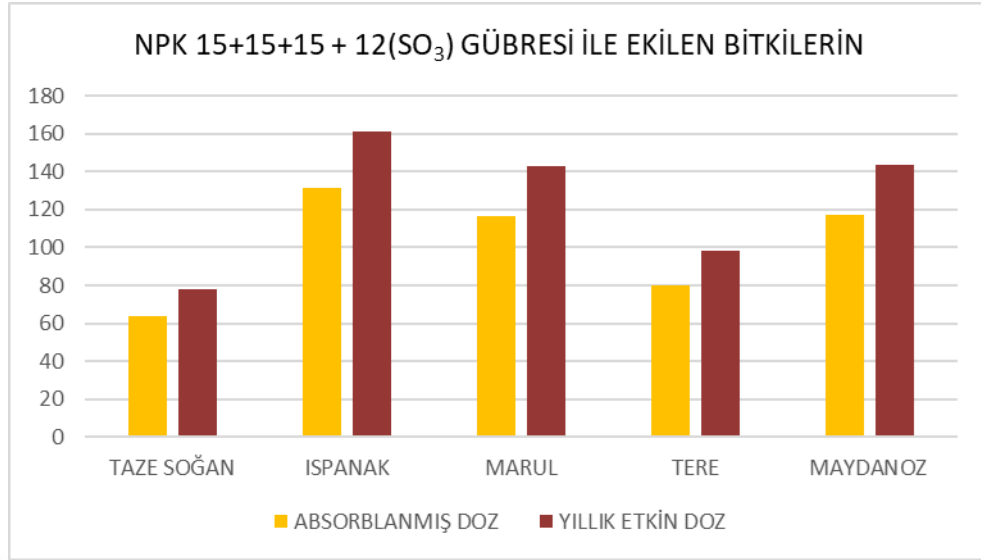
Şekil 4.69: Solucan gübresi ile ekilen marul, ıspanak, havuç, taze soğan ve tere bitkisinin absorblanmış ve yıllık etkin doz.



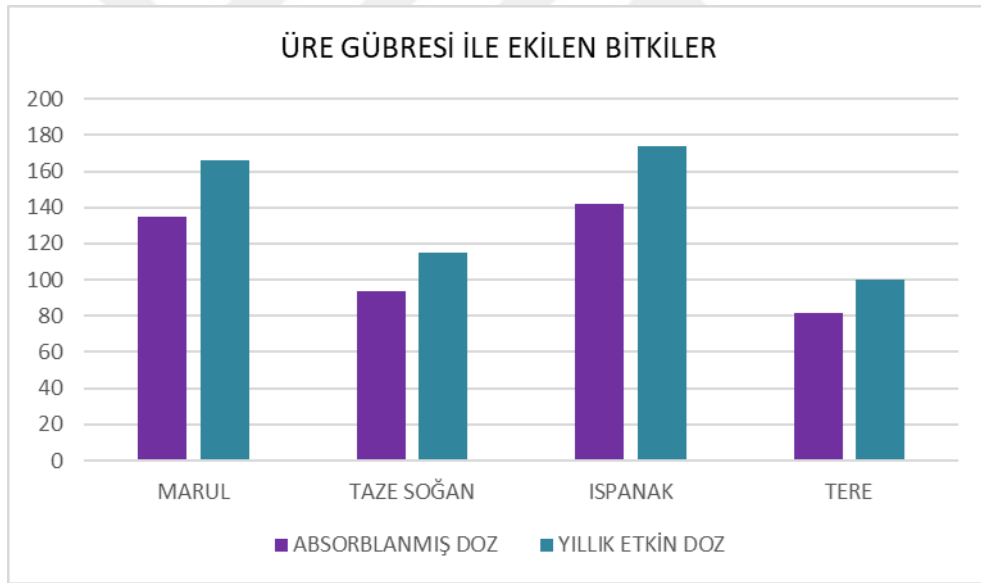
Şekil 4.70: 15-15-15 + Zn gübresi ile ekilen taze soğan, ıspanak, marul ve maydanoz bitkisinin absorblanmış ve yıllık etkin doz.



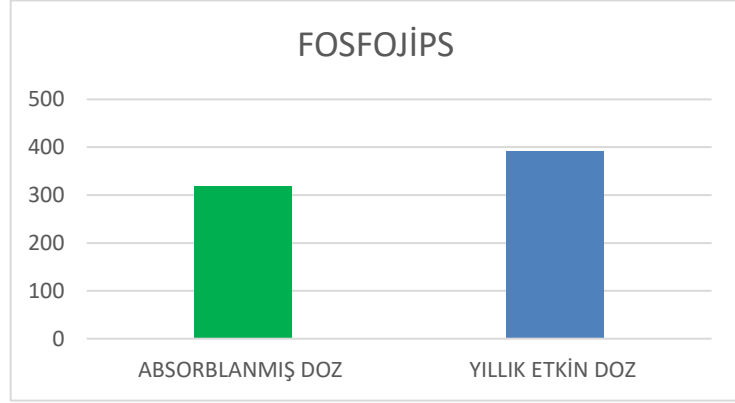
Şekil 4.71: NPK Süper kompoze gübresi ile ekilen taze soğan, ıspanak, marul ve tere bitkisinin absorblanmış ve yıllık etkin doz.



Şekil 4.72: NPK 15-15-15 + 12(SO₃) gübresi ile ekilen taze soğan, ıspanak, marul, tere ve maydanoz bitkisinin absorblanmış ve yıllık etkin doz.



Şekil 4.73: Üre gübresi ile ekilen marul, taze soğan, ıspanak ve tere bitkisinin absorblanmış ve yıllık etkin doz.



Şekil 4.74: Fosfojips için absorblanmış ve yıllık etkin doz.

4.3 Transfer Faktör Değerleri

Toprak, bitki ve gübre analizlerinin sonucunda toprakta ve gübrede bulunan ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklidlerinin ne kadarının bitkiye geçtiğini veren transfer faktör değerleri Tablo 10- Tablo 15’de gösterilmiştir;

Tablo 12: Hayvan gübresiyle ekilen bitkilerin, hayvan gübrelili topraktan bitkilere geçen ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklidlerinin transfer faktörü.

HAYVAN GÜBRESİYLE EKİLEN BİTKİLER	TRANSFER FAKTÖR (T/F)		
	^{238}U	^{232}Th	^{40}K
TAZE SOĞAN	$0,2 \pm 0,04$	$0,19 \pm 0,04$	$2,74 \pm 0,08$
MARUL	$0,4 \pm 0,11$	$0,3 \pm 0,1$	$4,02 \pm 0,13$
PIRASA	$0,2 \pm 0,05$	$0,23 \pm 0,06$	$2,9 \pm 0,1$
MAYDANOZ	$0,53 \pm 0,09$	$0,37 \pm 0,09$	$2,3 \pm 0,1$
TERE	$0,21 \pm 0,05$	$0,2 \pm 0,06$	$3,5 \pm 0,1$
İSPANAK	$0,36 \pm 0,06$	$0,25 \pm 0,05$	$3,7 \pm 0,1$
PATATES	$0,05 \pm 0,01$	$0,03 \pm 0,01$	$1,4 \pm 0,04$

Tablo 13: NPK 15-15-15 + 12(SO₃) gübresiyle ekilen bitkilerin, NPK 15-15-15 + 12(SO₃) gübreli topraktan bitkilere geçen ²³⁸U, ²³²Th ve ⁴⁰K radyonüklidlerinin transfer faktör.

NPK 15-15-15 + 12(SO ₃) GÜBRESİYLE EKİLEN BİTKİLER	TRANSFER FAKTÖR (T/F)		
	²³⁸ U	²³² Th	⁴⁰ K
MARUL	0,54 ± 0,09	0,1 ± 0,04	3,36 ± 0,1
TERE	0,18 ± 0,05	0,14 ± 0,04	2,43 ± 0,08
ISPANAK	0,62 ± 0,12	0,33 ± 0,1	3,75 ± 0,13
TAZE SOĞAN	0,41 ± 0,06	0,19 ± 0,08	1,74 ± 0,06

Tablo 14: NPK 10-20-20 gübresiyle ekilen bitkilerin, NPK 10-20-20 gübreli topraktan bitkilere geçen ²³⁸U, ²³²Th ve ⁴⁰K radyonüklidlerinin transfer faktörü.

NPK 10-20-20 GÜBRESİYLE EKİLEN BİTKİLER	TRANSFER FAKTÖR (T/F)		
	²³⁸ U	²³² Th	⁴⁰ K
MARUL	0,6 ± 0,18	0,7 ± 0,3	4,3 ± 0,6
TERE	0,81 ± 0,18	0	3 ± 0,4
ISPANAK	0,47 ± 0,1	0,3 ± 0,1	3,32 ± 0,5
TAZE SOĞAN	0,74 ± 0,14	0,14 ± 0,04	2,07 ± 0,3
HAVUÇ	0,15 ± 0,04	0,19 ± 0,04	1,7 ± 0,2

Tablo 15: AS gübresiyle ekilen bitkilerin, AS gübreli topraktan bitkilere geçen ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklidlerinin transfer faktörü.

AS GÜBRESİYLE EKİLEN BİTKİLER	TRANSFER FAKTÖR (T/F)		
	^{238}U	^{232}Th	^{40}K
MAYDANOZ	$0,2 \pm 0,06$	$4,45 \pm 0,6$	$3,1 \pm 0,1$
MARUL	$0,37 \pm 0,12$	$0,2 \pm 0,06$	$3,18 \pm 0,1$
TERE	$0,3 \pm 0,12$	$0,17 \pm 0,11$	$2,2 \pm 0,09$
ISPANAK	$0,42 \pm 0,09$	$0,09 \pm 0,09$	$3,8 \pm 0,1$
TAZE SOĞAN	$0,35 \pm 0,1$	$0,17 \pm 0,06$	$1,7 \pm 0,07$

Tablo 16: Solucan gübresiyle ekilen bitkilerin, solucan gübreli topraktan bitkilere geçen ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklidlerinin transfer faktörü.

SOLUCAN GÜBRESİYLE EKİLEN BİTKİLER	TRANSFER FAKTÖR (T/F)		
	^{238}U	^{232}Th	^{40}K
MARUL	$0,3 \pm 0,09$	$0,85 \pm 0,2$	$4,5 \pm 0,14$
TERE	$0,27 \pm 0,09$	$0,17 \pm 0,06$	$3 \pm 0,1$
ISPANAK	$0,22 \pm 0,04$	$0,5 \pm 0,1$	$3,4 \pm 0,09$
TAZE SOĞAN	$0,37 \pm 0,09$	$0,11 \pm 0,07$	$1,73 \pm 0,07$
HAVUÇ	$0,15 \pm 0,04$	$0,3 \pm 0,06$	$2,12 \pm 0,06$

Tablo 17: Hayvan gübresiyle ekilen bitkilerin, hayvan gübresinden bitkilere geçen ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklidlerinin transfer faktörü.

HAYVAN GÜBRESİYLE EKİLEN BİTKİLER	TRANSFER FAKTÖR (T/F)		
	^{238}U	^{232}Th	^{40}K
TAZE SOĞAN	$0,23 \pm 0,06$	$0,6 \pm 0,16$	$1,5 \pm 0,05$
MARUL	$0,5 \pm 0,15$	$1 \pm 0,4$	$2,26 \pm 0,08$
PIRASA	$0,23 \pm 0,07$	$0,7 \pm 0,23$	$1,65 \pm 0,06$
MAYDANOZ	$0,6 \pm 0,13$	$1,16 \pm 0,35$	$1,3 \pm 0,06$
TERE	$0,25 \pm 0,07$	$0,7 \pm 0,2$	$2 \pm 0,07$
ISPANAK	$0,4 \pm 0,08$	$0,8 \pm 0,2$	$2,08 \pm 0,06$
PATATES	$0,06 \pm 0,02$	$0,09 \pm 0,04$	$0,8 \pm 0,02$

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, İstanbul ilinin Şile ilçesinin Ağva bölgesinde Büyükbucaklı köyünde çeşitli organik ve kimyasal gübrelerle ekilen bitkilerin (taze soğan, ıspanak, pırasa, marul, maydanoz, patates, havuç ve tere) ve toplanan gübreli toprakların gama spektroskopi yöntemi kullanılarak, spektrum analizi sonucunda 53 adet bitki, 5 adet toprak, 1 adet gübre ve 1 adet Fosfojips örneğinin aktivite konsantrasyonu, canlıların maruz kaldığı absorblanmış ve yıllık etkin dozlar ve topraktan bitkiye, gübreden bitkiye geçen ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklidlerin transfer faktörleri hesaplanmıştır.

Toprak örneklerinde ^{238}U aktivite konsantrasyonu için NPK 10-20-20 gübreli toprak 21,9 Bq/kg ve NPK 15-15-15 + 12(SO_3) gübreli toprak 41,5 Bq/kg değerleri arasındadır. Toprak örneklerinde ortalama ^{238}U aktivite konsantrasyonu 31,6 Bq/kg değerindedir.

Bitki örneklerinde ^{238}U aktivite konsantrasyonu için gübresiz marul 65,7 Bq/kg ve gübresiz patates 0,65 Bq/kg değerleri arasındadır. Bitki örneklerinde ortalama ^{238}U aktivite konsantrasyonu 13,08 Bq/kg'dır. Hayvan gübresinde ^{238}U aktivite konsantrasyonu 30,26 Bq/kg değerindedir.

Toprak örneklerinde ^{232}Th aktivite konsantrasyonu için hayvan gübreli toprak 11,09 Bq/kg ve solucan gübreli toprak 6,04 Bq/kg değerleri arasındadır. Toprak örneklerinde ortalama ^{232}Th aktivite konsantrasyonu 7,66 Bq/kg değerindedir.

Bitki örneklerinde ^{232}Th aktivite konsantrasyonu için gübresiz marulda 8,03 Bq/kg ve hayvan gübreli patates 0,34 Bq/kg değerleri arasındadır. Bitki örneklerinde ortalama ^{232}Th aktivite konsantrasyonu 2,36 Bq/kg'dır. Hayvan gübresinde ^{232}Th aktivite konsantrasyonu 3,5 Bq/kg değerindedir.

Toprak örneklerinde ^{40}K aktivite konsantrasyonu için NPK 15-15-15 + 12(SO_3) gübreli toprak 724,87 Bq/kg ve hayvan gübreli toprak 611,38 Bq/kg değerleri arasındadır. Toprak örneklerinde ortalama ^{40}K aktivite konsantrasyonu 677,99 Bq/kg'dır. Hayvan gübresinde ^{40}K aktivite konsantrasyonu 1088,87 Bq/kg değerindedir.

Bitki örneklerinde ^{40}K aktivite konsantrasyonu için, gübresiz marulda 7338,5 Bq/kg ve gübresiz maydanozda 518,1 Bq/kg değerleri arasındadır. Bitki örneklerinde ortalama ^{40}K aktivite konsantrasyonu 2140,5 Bq/kg değerindedir.

Toprak örneklerinde ^{137}Cs aktivite konsantrasyonu için hayvan gübreli toprak 16,02 Bq/kg ve AS gübreli toprak için 6,1 Bq/kg değerleri arasındadır. Toprak örneklerinde ortalama ^{137}Cs aktivite konsantrasyonu 11,06 Bq/kg değerindedir.

UNSCEAR'ın 2000 raporuna göre topraktaki ^{238}U aktivite konsantrasyonu, 35 Bq/kg değerindedir. Bu çalışmada hesaplanan ^{238}U aktivite konsantrasyonu değeri UNSCEAR raporuna göre ortalama değerin altındadır. UNSCEAR'ın 2000 raporuna göre topraktaki ^{232}Th aktivite konsantrasyonu 30 Bq/kg değerindedir. Bu çalışmada hesaplanan ^{232}Th aktivite konsantrasyonu UNSCEAR raporuna göre ortalama değerin altındadır. UNSCEAR'ın 2000 raporuna göre topraktaki ^{40}K aktivite konsantrasyonu 400 Bq/kg değerindedir. Bu çalışmada hesaplanan ^{40}K aktivite konsantrasyonu UNSCEAR raporuna göre ortalama değerin üzerindedir [39].

Bu çalışmada hesaplanan aktivite konsantrasyonlarının ortalama değerin üzerinde çıkmasının sebebi toprakta kullanılan gübreden kaynaklı olabileceğini göstermektedir.

Bitkideki ortalama ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyon değerleri UNSCEAR 2000 raporu ve bu alanda yapılan diğer çalışmalarda bulunan aktivite değerleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir [39];

Tablo 18: Bitki örneklerinde bulunan ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklidlerinin UNSCEAR raporuna ve bu alanda yapılan diğer çalışmalar ile kıyaslanması.

REFERANSLAR	^{238}U (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)
UNSCEAR 2000 (yaş ağırlık-yapraklı ürünler)	0,05	0,015	—
UNSCEAR 2000 (yaş ağırlık-kök bitkiler)	0,03	0,0005	—
Yen-Chuan Kuo 1997 (yaş ağırlık)	0,03	—	—
Badran 2003 (yaş ağırlık)	—	—	106,3
Ekdal 2003-2005 (kuru ağırlık)	10,14	17,38	4374,88
Bolca 2007 (kuru ağırlık)	27,74	10,17	1497,88
Bu çalışma (kuru ağırlık)	13,08	2,36	2140,5

Bu çalışmada hesaplanan bitkilerdeki (kuru ağırlık) ortalama ^{238}U aktivite konsantrasyonu, 13,08 Bq/kg, ortalama ^{232}Th aktivite konsantrasyonu 2,36 Bq/kg ve ortalama ^{40}K aktivite konsantrasyonu ise 2140,5 Bq/kg değerinde olup UNSCEAR'ın 2000 raporuna göre kıyaslandığında ortalama ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyon değerleri ortalamanın üzerindedir. Bu alanda yapılan diğer çalışmalarla kıyaslandığında ortalama ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyon değerleri ortalama değerdedir. Aynı zamanda bu çalışmada bitkilerde doğal radyoaktivite dışında ^{137}Cs 'ye rastlanmamıştır [39,91,92,93,94].

İstanbul ilinin Şile ilçesinin Büyükbucaklı köyünden toplanmış gübreli toprak örneklerinde ve çeşitli organik ve kimyasal gübrelere ekilen bitki örneklerinde (taze soğan, ıspanak, pırasa, marul, maydanoz, patates, havuç ve tere) bulunan doğal radyonüklidlerin (^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K) ve yapay radyonüklidlerin (^{137}Cs) aktivite değerleri ve bu spesifik aktivite değerlerine göre yıllık etkin doz değerleri hesaplanmıştır.

Toprak örneklerinde yıllık etkin doz, NPK 15-15-15 + 12(SO_3) gübreli toprakta $57,24 \mu\text{Sv y}^{-1}$ ve solucan gübreli toprakta $47,14 \mu\text{Sv y}^{-1}$ değerleri arasındadır. Toprak örneklerinde ortalama yıllık etkin doz $50,7 \mu\text{Sv y}^{-1}$ değerindedir. UNSCEAR 2000 raporuna göre toprak örneklerinde belirlediği ortalama yıllık etkin doz sınır değerleri ortalama $66 \mu\text{Sv y}^{-1}$ değerindedir. Bu çalışmada hesaplanan ortalama yıllık etkin doz değeri $50,7 \mu\text{Sv y}^{-1}$ değerinde olup UNSCEAR 2000 raporuna göre ortalama değerin altındadır [39]. Bu sebeple bu bölgede yaşayanların sağlığı açısından bir risk oluşmadığı görülmektedir.

Çeşitli gübrelere ekilen bitkilerin (taze soğan, ıspanak, pırasa, marul, patates, havuç, tere ve maydanoz) ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklidleri için aktivite değerleri hesaplanmış ve bu spesifik aktivite değerlerine göre maruz kalınan yıllık etkin doz değerleri hesaplanmıştır;

Bitki örneklerinde yıllık etkin doz, gübresiz marulda $433,36 \mu\text{Sv y}^{-1}$ ve gübresiz maydanoz $28,7 \mu\text{Sv y}^{-1}$ aralığındadır.

Topraktan bitkiye geçen radyonüklidlerin araştırılmasıyla ilgili bu alanda yapılan diğer çalışmalar;

Tablo 19: Transfer faktörüyle ilgili yapılan çalışmalarla, bu çalışmada yapılan transfer faktörünün karşılaştırılması.

REFERANSLAR	TRANSFER FAKTÖR (TF)		
	²³⁸ U	²³² Th	⁴⁰ K
M.S. Al-Masri	(3-57) x 10 ⁻³	—	1-5
S. HARB	—	0,09-0,88	0,3 -2,95
Jazzar ve Thabayneh	0,5	0,31	1,7
HAQUE M. VE FERDOUS M. J.	0,07	—	0,38
Augustine Kolapo	0,08	0,05	0,265

Bu çalışmada hesaplanan, ²³⁸U için transfer faktör 0,05-0,81 aralığındadır. ²³²Th için transfer faktör, 0-4,45 aralığındadır ve ⁴⁰K için transfer faktör, 1,4-4,5 aralığındadır. Toprakta bulunan ²³⁸U, ²³²Th ve ⁴⁰K radyonüklidlerinin yapılan diğer çalışmalarla kıyaslandığında topraktan bitkiye daha çok geçtiğini göstermektedir [95,96,97,98,99].

Fosfojips için sadece ²³⁸U radyonüklid aktivite konsantrasyonu bulunmuştur. ²³⁸U için aktivite konsantrasyonu 675,3 ± 3,3 Bq/kg, absorblanmış doz 318,7 nGy h⁻¹ ve yıllık etkin doz 390,85 µSv y⁻¹ değerlerinde bulunmuştur. Bu alanda yapılan bir çalışmada fosfojipste bulunan ortalama ²³⁸U aktivite konsantrasyonu 250,8 ± 6,2 Bq/kg değerinde ve kıyaslama yapıldığında bu çalışmada hesaplanan ²³⁸U ortalama aktivite konsantrasyonu ortalamanın üzerindedir [76]. Fosfojips inşaat malzemelerinde bulunduğu ve ucuz olduğu için gübre olarak kullanıldığından dolayı canlıların sağlığı açısından bir risk oluşabileceğini göstermektedir.

Bu tez çalışmasıyla ülkemizde farklı gübrelerle yetiştirilen bitkiler üzerinde radyoaktivite birikiminin etkisinin ilk kez incelenmiş olması, ileride yapılacak olan benzer çalışmalara referans oluşturabilecektir.

KAYNAKLAR

- [1]. AFAD. T.C İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Bakanlığı, 2019, *Radyasyon Kaynakları*, <https://www.afad.gov.tr/kbrn/radyasyon-kaynaklari>, [Ziyaret Tarihi: 15 Aralık 2019].
- [2]. TÜİK. T.C Türkiye İstatistik Kurumu Başkanlığı, 2012, *Tarım Alanları*, <https://tuikweb.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist>, [Ziyaret Tarihi: 15 Aralık 2019].
- [3]. T.C Tarım ve Orman Bakanlığı, 2019, *Sebze Üretim Miktarı ve Değişimi*, <https://www.tarimorman.gov.tr/Konular/Bitkisel-Uretim/Tarla-Ve-Bahce-Bitkileri/Urunler-Ve-Uretim>, [Ziyaret Tarihi: 17 Aralık 2019].
- [4]. T.C Tarım ve Orman Bakanlığı, 2019, *Gübre İstatistikleri*, <https://www.tarimorman.gov.tr/Konular/Bitkisel-Uretim/Bitki-Besleme-ve-Tarimsal-Teknolojiler/Bitki-Besleme-Istatistikleri>, [Ziyaret Tarihi: 21 Aralık 2019].
- [5]. Chandrashekara, K. and Somashekarappa H. M., 2015, Soil to plant Transfer Factors of Radionuclides in Ficus racemosa (L.), a Medicinal plant, *International Research Journal of Biological Sciences*, 4 (9), 43-47.
- [6]. Shyamal R, C., et al., 2013, Radioactivity Concentrations in Soil Transfer Factors of Radionuclides from Soil to Grass and Plants in the Chittagong City of Bangladesh, *Journal of Physical Science*, 24 (1), 95-113.
- [7]. El-Gamal H., et al., 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.
- [8]. Kuş, K., 2011, *Radyasyon Nedir?*, <http://bilheal.bilkent.edu.tr/aykonu/ay2011/radyasyonturk.htm>, [Ziyaret Tarihi: 13 Eylül 2019].
- [9]. United Nations Environment Programme (UNEP), 2016, *Radiation Effects and Sources*, United Nations, New York, ISBN: 978-92-807-3517-8.
- [10]. Discovery of Radioactivity, <https://courses.lumenlearning.com/introchem/chapter/discovery-of-radioactivity/>, [Ziyaret Tarihi: 14 Eylül 2019].
- [11]. Kathren, R., 1998, Norm sources and their origins, *Journal of Environmental Radioactivity*, 49 (3), 149-168.
- [12]. Magill, J. and Galy, J., 2004, *Radioactivity Radionuclides Radiation*, 1 st ed., Springer, Germany, ISBN: 3-540-21116-0.
- [13]. Doss, H., 2018, *Shields up: What's holding up human travel to mars?*, <https://www.physicscentral.com/explore/action/shields-up.cfm>, [Ziyaret Tarihi: 15 Eylül 2019].

- [14]. Rouse, M., 2005, *Ionizing radiation*, <https://whatis.techtarget.com/definition/ionizing-radiation>, [Ziyaret Tarihi: 15 Eylül 2019].
- [15]. Radiation and Your Health, 2015, *The Electromagnetic Spectrum: Ionizing Radiation*, https://www.cdc.gov/nceh/radiation/ionizing_radiation.html, [Ziyaret Tarihi: 16 Eylül 2019].
- [16]. Madran, Ö., 2018, *Elektronik Dalgaların Spektrumu*, <https://www.muhendisbeyinler.net/elektromanyetik-dalgalarin-spektrumu/>, [Ziyaret Tarihi: 16 Eylül 2019].
- [17]. TAEK. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, 2009, *Radyasyon “Radyasyon ve Biz”*, <https://www.taek.gov.tr/ogrenci/r05.htm>, [Ziyaret Tarihi: 17 Eylül 2019].
- [18]. Şimşek, Y. ve Doğan, H., 2016, *Radyasyon Sağlığı ve Korunma*, <https://docplayer.biz.tr/11571781-Radyasyon-sagligi-ve-korunma.html>, [Ziyaret Tarihi: 17 Eylül 2019].
- [19]. Kılınç, Ö., 2016, *Radyasyon Güvenliği*, <https://slideplayer.biz.tr/slide/5582643/>, [Ziyaret Tarihi: 17 Eylül 2019].
- [20]. CNSC. Canadian Nuclear Safety Commission, 2012, *Introduction to radiation*, Canadian, Ottawa, ISBN: 978-1-100-21572-3, 8-10.
- [21]. Cember, H. and Johnson, T., 2009, *Introduction to health physics*, 4th ed., McGraw-Hill Companies Inc., New York, USA, ISBN: 978-0-07-142308-3.
- [22]. Ağgez, G., 2017, *Türkiye’de yetişen tütünlerdeki radyoaktif çekirdek konsantrasyonlarının ölçülmesi*, Tez (Yüksek Lisans), İstanbul Üniversitesi.
- [23]. Davutoğlu, H., 2008, *Radon Gazını Ölçme Metotları*, Tez (Yüksek Lisans), Dumlupınar Üniversitesi.
- [24]. Krane, Kenneth S., 2011, *Nükleer Fizik*, Palme Yayıncılık, Ankara, ISBN: 0-471-80553-X.
- [25]. Hanania, J., et al., 2018, *Beta decay*, https://energyeducation.ca/encyclopedia/Beta_decay, [Ziyaret Tarihi: 20 Eylül 2019].
- [26]. Görür, Ş., 2006, *Çevresel Radyoaktivite ile Bu Çevrede Yaşayanlara Ait Dış Örneklerindeki Radyoaktivite Arasındaki İlişkinin Araştırılması*, Tez (Yüksek Lisans), Çukurova Üniversitesi.
- [27]. Çimen, B., 2018, *İyonlaştırıcı radyasyon ve çevre güvenliği*, Tez (Yüksek Lisans), Selçuk Üniversitesi.
- [28]. Engizek, T., 1999, *Sağlık Fiziği*, İ.Ü. Fen Fakültesi Basımevi, İstanbul, ISBN: 975-404477-5.

- [29]. Valkovic, V., 2000, *Radioactive nuclides in nature*, 1st ed., Elsevier science, Amsterdam, The Netherlands, ISBN: 978-0-444-82954-2.
- [30]. Balcı, S., 2013, *Investigation of Possible Changes in Beta Decay Rates Due to the Influence of the Sun*, Thesis (Master), North Carolina State University.
- [31]. Krane, K. S., 1998, *Introductory nuclear physics*, John wiley & sons, New York, ISBN: 0-471-85914-1.
- [32]. Cember, H. and Johnson, T., 1999, *Introduction to health physics*, 3th ed., McGraw-Hill Companies Inc., New York, USA, ISBN: 0-9625963-6-1
- [33]. Yılmaz, İ., 2019, *Türkiye’de Satılan Bazı Tütün Ürünlerinde Radyoaktivite Seviyelerinin Belirlenmesi*, Tez (Yüksek Lisans), Karadeniz Teknik Üniveristesi.
- [34]. Radioactive Decay, <https://opentextbc.ca/universityphysicsv3openstax/chapter/radioactive-decay/>, [Ziyaret Tarihi: 24 Eylül 2019].
- [35]. Magill, J. and Galy, J., 2004, *Radioactivity Radionuclides Radiation*, 1st ed., Springer, Germany, ISBN: 3-540-21116-0.
- [36]. L’ Annunziata, M., 2007, *Radioactivity: Introduction and history*, 1st ed., Elsevier science, Amsterdam, The Netherlands, ISBN: 978-0-444-52715-8.
- [37]. Konya, J. and Nagy, N.M., 2018, *Nuclear and radiochemistry*, 2nd ed., Elsevier science, Amsterdam, The Netherlands, ISBN: 978-0-12-813643-0.
- [38]. Şahin, L., 2013, *Radyasyonun Madde ile Etkileşimi*, Ders Notu, İstanbul.
- [39]. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), 2000, *Sources and effects of ionizing radiation – Annex B*, United Nations, New York, ISBN: 92-1-142238-8.
- [40]. Komperod, M., et al., 2015, *Radiation doses to the Norwegian population*, Report, Norway, ISBN: 1891-5205.
- [41]. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), 1993, *Exposure from natural sources of radiation*, United Nations, New York, ISBN: 921-142200-0.
- [42]. Yılmaz, A., 2015, *Compton Olayı*, <https://www.fizik.net.tr/site/compton-olayi/>, [Ziyaret Tarihi: 13 Ekim 2019].
- [43]. Gönen, E., 2012, *Edirne ilinin çevresel radyoaktivitesinin belirlenmesi*, Tez (Yüksek Lisans), Namık Kemal Üniversitesi.
- [44]. Goode, E., 2014, *Levels of natural and artificial Radioactivity in soils, water and tuber crops in the tano-north district of brong-ahofa Region; Ghana*, Thesis (Master), Kwame Nkrumah University of Science Technology.

- [45]. Eisenbud, M., 1987, Environmental Radioactivity: from Natural, Industrial, and Military Sources, Academic Pres, San Diego.
- [46]. Choppin, Liljenzin and Reydberg, G.J.J., 2002, *Radiochemistry and Nuclear Chemistry*, Third Edition, Oxford U.K, ISBN: 978-0-7506-7463-8.
- [47]. Livingston, H. D., 2004, *Marine Radioactivity*, 1st Edition., Netherlands, ISBN: 0-08-043714-1.
- [48]. Pendias and Mukherjee, A. A., 2007, *Trace Elements from Soil to Human*, Springer, Berlin, ISBN: 978-3-540-32714-1.
- [49]. Scott, E. M., 2003, *Modelling Radioactivity in the Enviroment*, 1st Edition., Netherlands, ISBN: 0-08-043663-3.
- [50]. Carini, F., 2001, Raionuclide transfer from soil to fruit, *Journal of enviromental Radioactivity*, 52, 237-279.
- [51]. Kapanadze K., et al., 2018, Distribution of Natural Radionuclides in the Soils and Assessment of Radiation Hazards in the Khrami Late Variscan Crystal Massif (Georgia), *Heliyon* 5, Article no. e01377, 19 p.
- [52]. Povinec, P., 2008, *Analysis of the environmental Radionuclides*, 1st Edition., Hungary, ISBN: 978-0-08-044988-3.
- [53]. International Atomic Energy Agency, 1989, Measurement of Radionuclides in Food and the Environment, Report, Vienna, ISSN: 0074-1914.
- [54]. NCRP Report 45, (1977), National Council on Radiation Protection and Measurement No.45, Natural Background Radiation in the U.S. Soil Radiactivity.
- [55]. Usluer, A., 2018, *Tekirdağ'ın Çorlu bölgesindeki toprak ve içme sularındaki doğal radyoaktivitenin belirlenmesi*, Tez (Yüksek Lisans), Dumlupınar Üniversitesi.
- [56]. Albayrak, N., 2011, *Kırıkkale'de (Türkiye) Doğal Radyasyon Kaynaklarının Belirlenmesi ve Gama Doz Oranlarının Belirlenmesi*, Tez (Yüksek Lisans), İstanbul Üniversitesi.
- [57]. Chakraborty, S., et al., 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), 95-113.
- [58]. Efroymson, R., et al., 2009, Uptake of inorganic chemicals from soil by plant leaves; Regressions of field data, *Environmental Toxicology and Chemistry*, 20, 2561-2571.
- [59]. Alharbi, A. and El-Taher, A., 2013, A Study on Transfer Factors of Radionuclides from Soil to plant, *Life Science Journal*, 10 (2), 532-539.
- [60]. Saeed, M., et al., 2011, Soil to Rice Transfer Factor of the Natural Radionuclides in Malaysia, *Romanian Journal of Physics*, 57, 1417-1424.

- [61]. Koranda J. and Robison W., 1978, Accumulation of Radionuclides by Plants as a Monitor System, *Environmental Health Perspectives*, 27, 165-179.
- [62]. Olufunmbi. A., et al., 2016, The Concentration of Natural Radionuclides in Soil Samples from the Practical Year Agricultural Farmland, University of Ibadan, *Journal of Applied Physics*, 8, 60-68.
- [63]. Alausa, S., et al., 2017, Transfer Factor of Radionuclides from Soil to Palm Oil Produced from Elere Palm Tree Plantation Near Ibadan Oyo State, *Nigeria Journal of Pure and Applied Physics*, 7, 7-12.
- [64]. Al-Hamarneh I., et al., 2016, Study on the Radioactivity and Soil to Plant Transfer Factor ^{226}Ra , ^{234}U and ^{238}U Radionuclides in Irrigated Farms the Northwestern Saudi Arabia, *Journal of Environmental Radioactivity*, 160, 1-7.
- [65]. Milli Eğitim Bakanlığı, 2016, *Gübrelemenin Esasları*, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller/G%C3%BCbrelemenin%20Esaslar%C4%B1, [Ziyaret Tarihi: 16.07.2020].
- [66]. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, 2013, *Gübreleme*, <https://erzurum.tarimorman.gov.tr/Belgeler/Yay%C4%B1nlar/g%C3%BCbreleme.pdf>, [Ziyaret Tarihi: 17.07.2020].
- [67]. All you need to know about organic fertilizer, <https://www.pennington.com/all-products/fertilizer/resources/what-is-organic-fertilizer>, [Ziyaret Tarihi: 27.07.2020].
- [68]. 2019, *Kimyasal Gübreler ve Olumsuz Etkileri*, <https://www.gubrekapimda.com/blog/icerik/kimyasal-gubreler-ve-olumsuz-etkileri>, [Ziyaret Tarihi: 27.07.2020].
- [69]. Toros Tarım, 2016, *Gübre Ürün Kataloğu*, <https://www.toros.com.tr/documents/file/FlipBook/GubreUrunKatalogu'16-2016-08-17-12-11-56/GubreUrunKatalogu'16/files/assets/common/downloads/publication.pdf>, [Ziyaret Tarihi: 01.08.2020].
- [70]. Diammonium Phosphate, <https://www.croplnutrition.com/resource-library/diammonium-phosphate>, [Ziyaret Tarihi: 01.08.2020].
- [71]. Ammonium Sulfate as a Lawn Fertilizer, <http://www.grasshopperfertilizer.com/ammonium-sulfate-as-a-lawn-fertilizer>, [Ziyaret Tarihi: 01.08.2020].
- [72]. Şahin, G., 2016, *Türkiye’de Gübre Kullanım Durumu ve Gübreleme Konusunda Yaşanan Problemler*, *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 22 (1), 19-32.
- [73]. Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği, 2019, *Ülkemizde Gübre Üretimi ve tüketimi üzerine bir değerlendirme*, <https://www.tmmob.org.tr/icerik/zmo-ulkemizde-gubre-uretimi-ve-tuketimi-uzerine-bir-degerlendirme>, [Ziyaret Tarihi: 03.08.2020].

- [74]. Bayar, R., 2018, *Arazi kullanımı açısından Türkiye’de tarım alanlarının değişimi*, *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 16 (2), 187-200.
- [75]. T.C Tarım ve Orman Bakanlığı, 2019, *Gübre İstatistikleri*, <https://www.tarimorman.gov.tr/Konular/Bitkisel-Uretim/Bitki-Besleme-ve-Tarimsal-Teknolojiler/Bitki-Besleme-Istatistikleri>, [Ziyaret Tarihi: 03.08.2020].
- [76]. Gezer, F., 2011, *Fosfojips’in Doğal Radyoaktifliğinin Belirlenmesi*, Tez (Yüksek Lisans), Çukurova Üniversitesi.
- [77]. Parmaksız, A., 2004, *Gama Spektrometrik Yöntem ile Fosfojipsteki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K Aktivitelerinin ölçülmesi*, Tez (Yüksek Lisans), Gazi Üniversitesi.
- [78]. Knoll, G. F., Radiation Detection and Measurement, 3rd ed., John Willey & Sons, Inc..
- [79]. Regan, P. H., 1997, 2 nd Year Radiation Detection and Measurement, Lecture Notes.
- [80]. Hafızoğlu, N., 2012, *Kütahya İli Ve İlçelerinde Çevresel Gama Radyasyonu Ölçümü*, Tez (Yüksek Lisans), Dumlupınar Üniversitesi.
- [81]. Baykal, S., 2007, *Yeni Tip Gama Dedektörleri ve İz Sürme Tekniği*, Tez (Yüksek Lisans), Ankara Üniversitesi.
- [82]. “N” ve “P” Tipi Yarı iletkenlerde Elektron ve Oyuk Hareketleri, 2012, <https://kimyasimya.blogspot.com/2012/02/>, [Ziyaret Tarihi: 30 Temmuz 2020].
- [83]. Kephart, J., 2009, *Method of Evaluating the effect of HPGe Desing on the Sensitivity of Physics Experiments*, Thesis (PhD), North Carolina State University.
- [84]. Adapazarı Meslek Yüksekokulları Modülleri, *Atom, İletken, yalıtkan ve Yarıiletkenler*, <https://barakli.sakarya.edu.tr/sites/barakli.sakarya.edu.tr/file/h1.pdf>, [Ziyaret Tarihi: 2 Ağustos 2020].
- [85]. *Yarıiletkenler*, <http://eng.harran.edu.tr/~nbesli/SEG/02.Yariiletkenler.pdf>, [Ziyaret Tarihi: 10 Ağustos 2020].
- [86]. Erdurmuş, B., 2007, *İzmit körfezinde ^{137}Cs ve ^{210}Po radyonüklidlerin seviyelerini ve ürünlere topraktan transfer faktörlerini saptamak*, Tez (Yüksek Lisans), Kocaeli Üniversitesi.
- [87]. Mavi, B., 2010, *Isparta’daki bazı yapı malzemelerinde doğal radyoaktivite tayini*, Tez (Doktora), Süleyman Demirel Üniversitesi.
- [88]. Elijah, K., 2011, *Radioactivity Concentrations and dose assessment for soil samples from wheat plantation areas of Narok county, Kenya*, Thesis ((MSc), Kenyatta University.
- [89]. Mehdi, S., et al., 2016, *Assessment of Annual Effective Dose from Measured Soil Radioactivity Levels Using HPGe Dedector*, *Universal Journal of Engineering Science*, 4 (4), 79-83.

- [90]. Ehlken, S. and Kirchner G., 2000, Environmental processes affecting plant root uptake of Radioactive trace elements and variability of transfer factor data: a review, *Journal of Environmental Radioactivity*, 58, 97-112.
- [91]. Kuo, Y. C., et al., 1997, Activity concentrations and population dose from radium-226 in food and drinking water in Taiwan, *Applied Radiation and Isotopes*, 48 (9), 1245–1249.
- [92]. Badran, H. M., et al., 2003, Levels of ^{137}Cs and ^{40}K in edible parts of some vegetables consumed in Egypt, *Journal Environmental Radioactivity*, 67, 181–190.
- [93]. Ekdal, E., et al., 2005, Radioactivity in soils and vegetables from Küçük Menderes Basin of Turkey, X. European Ecological Congress 08–13 November 2005, Kuşadası-TURKEY.
- [94]. Bolca, M., et al., 2007, Radioactivity in soils and various foodstuffs from the Gediz River Basin of Turkey, *Radiation Measurements*, 42, 263-270.
- [95]. Al-Masri M., et al., 2008, Transfer of ^{40}K , ^{238}U , ^{210}Pb ve ^{210}Po from soil to plant in various locations in South of Syria, *Journal of Environmental Radioactivity*, 99, 322-331.
- [96]. Harb S., et al., 2014, Radioactivity Levels and Soil-to-Plant Transfer Factor of Natural Radionuclides from Protectorate Area in Aswan, Egypt, *World Journal of Nuclear Science and Technology*, 4, 7-15.
- [97]. Jazzar, M., et al., 2014, Transfer of natural Radionuclides from soil to plants and grass in the western North of West Bank environment- Palestine, *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*, 2 (5), 252-258.
- [98]. Haque, M., Ferdous, M. J., 2017, Transfer of natural Radionuclides from soil to plants in Savar Dhaka, *SJSS. Spanish Journal of Soil Science*, 7 (2), 134-143.
- [99]. Ademola A., 2019, Natural radionuclide transfer from soil to plants in high background areas in Oyo state, Nigeria, *Radiation Protection and Environment*, 42 (3), 112-118.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı DİLARA OTU
 Doğum Yeri
 Doğum Tarihi Tarih girmek için tıklayın veya dokununuz.
 Uyruğu ☒ T.C. ☐ Diğer:
 Telefon
 E-Posta Adresi
 Web Adresi

Eğitim Bilgileri

Lisans

Üniversite İstanbul Üniversitesi
 Fakülte Fen Fakültesi
 Bölümü Fizik Bölümü
 Mezuniyet Yılı 24.06.2016

Yüksek Lisans

Üniversite İstanbul Üniversitesi
 Enstitü Adı Fen Bilimleri Enstitüsü
 Anabilim Dalı Fizik Anabilim Dalı
 Programı Nükleer Fizik Programı