

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

**ADANA BÖLGESİNDE YETİŞEN YER FISTIĞI (*ARACHIS
HYPOGAEA L.*) ÖRNEKLERİNİN RADYONÜKLİT, ANA
ELEMENT VE AĞIR METAL İÇERİKLERİNİN
BELİRLENMESİ**

Amena H. Abdussalam ABUGOUFA

**Danışman
Jüri Üyesi
Jüri Üyesi**

**Prof. Dr. Şeref TURHAN
Doç. Dr. Aslı KURNAZ
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Mustafa ERER**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANA BİLİM DALI**

KASTAMONU – 2019

TEZ ONAYI

Amena H. Abdussalam ABUGOUFA tarafından hazırlanan "**Adana Bölgesinde Yetişen Yer Fıstığı (*Arachis hypogaea L.*) Örneklerinin Radyonüklit, Ana Element ve Ağır Metal İçeriklerinin Belirlenmesi**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde savunulmuş ve **oy birliği** ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Fizik Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman

Prof. Dr. Şeref TURHAN
Kastamonu Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç. Dr. Aslı KURNAZ
Kastamonu Üniversitesi



Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Mustafa ERER
Karabük Üniversitesi



06/03/2019

Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Hasbi YAPRAK



TAAHHÜTNAME

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildirir ve taahhüt ederim.



Amena H. Abdussalam ABUGOUFA

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ADANA BÖLGESİNDE YETİŞEN YER FISTIĞI (*ARACHIS HYPOGAEA* L.) ÖRNEKLERİNİN RADYONÜKLİT, ANA ELEMENT VE AĞIR METAL İÇERİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Amena H. Abdussalam ABUGOUFA

Kastamonu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Ana bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Şeref TURHAN

Baklagiller familyasının en önemli üyelerinden biri olan yer fıstığı (*Arachis hypogaea* L.), kayda değer miktarda yüksek kalitede besin yağı ve bitkisel protein içerir. Yer fıstığı, besleyici olmayan gıdaların yüksek kalitede protein seviyelerini arttırmak için birçok gıda malzemesine ilave edilmektedir. Bu çalışmada, Adana ili ve ilçelerinden toplanan 42 adet yer fıstığı örneğinin doğal olarak içerdiği radyum (^{226}Ra), toryum (^{232}Th) ve potasyum (^{40}K) radyonüklitinin aktivite derişimleri, yüksek saflıklı germanyum dedektörlü (HPGe) gama-ışını spektrometresi kullanılarak belirlendi. Yer fıstığı örneklerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K 'ın ortalama aktivite derişimi, sırasıyla $5,4 \pm 0,2$ Bq/kg, $7,3 \pm 0,2$ Bq/kg ve $422,31 \pm 14,5$ Bq/kg olarak bulundu.

Yer fıstığı örneklerindeki magnezyum (Mg), fosfor (P), kükürt (S), klor (Cl), potasyum (K), kalsiyum (Ca), vanadyum (V), krom (Cr), mangan (Mn), demir (Fe), kobalt (Co), nikel (Ni), bakır (Cu), çinko (Zn), selenyum (Se), molibden (Mo), brom (Br), kadmiyum (Cd), kalay (Sn), iyot (I), cıva (Hg) ve kurşun (Pb) elementinin seviyesi, enerji dağılımlı X-ışını flüoresans spektrometresi kullanılarak analiz edildi. Ana (esansiyel) element olan K, P, S, Ca, Mg, Cl, Zn, Fe, Mn, Cu, N, Co, V, I, Cr, Mo, Br ve Se'nin ortalama derişimleri, sırasıyla 13437, 5058, 3451, 1786, 1759, 209,1, 71,3, 59,4, 38,0, 23,3, 17,9, 8,3, 6,0, 4,6, 3,5, 2,6, 1,1 ve 0,8 mg/kg olarak bulundu. Esansiyel olmayan ağır metal Sn, Pb, Cd ve Hg'nin ortalama derişimi, sırasıyla 7,9, 1,5, 1,1 ve 0,8 mg/kg olarak ölçüldü.

Yer fıstığının tüketilmesinden dolayı erişkin bireylerin alacağı yıllık etkin radyasyon dozunun ortalama değeri, ölçülen radyonüklit aktivite derişimleri esas alınarak $8,4 \mu\text{Sv/y}$ olarak hesaplandı. Bu doz değeri, Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından tavsiye edilen $100 \mu\text{Sv/y}$ referans değerinden önemli ölçüde daha küçüktür.

Yer fıstığının tüketilmesinden dolayı yetişkin bireylerin günlük ağır metal alımı, analiz edilen ağır metal derişimleri esas alınarak, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Sn, Cd, Pb ve Hg için sırasıyla 0,36, 0,21, 2,31, 3,61, 0,50, 1,09, 1,41, 4,33, 0,48, 0,07, 0,09 ve $0,05 \mu\text{g/gün kg}$ olarak hesaplandı.

Sonuçlar, yer fıstığı örneklerinin sağlık için önemli olan besin öğelerini içerdiğini ve yer fıstığının gıda olarak tüketilmesinin, radyolojik ve ağır metal açısından herhangi bir sağlık riski oluşturmayacağını ortaya koydu.

Anahtar Kelimeler: Yer fıstığı, radyum, toryum, radyoaktif potasyum, esansiyel elementler, zehirli ağır metal, yıllık etkin radyasyon dozu, günlük ağır metal alımı

2019, 77 Sayfa
Bilim Kodu:202



ABSTRACT

MSc. Thesis

DETERMINATION OF CONTENT OF RADIONUCLIDE, ESSENTIAL ELEMENT AND HEAVY METAL IN PEANUT (*ARACHIS HYPOGAEA* L.) GROWN IN ADANA PROVINCE

Amena H. Abdussalam ABUGOUFA

Kastamonu University
Institute of Science
Department of Physics

Supervisor: Prof. Dr. Şeref TURHAN

Peanut (*Arachis hypogaea* L.), which is one of the most important members of all legumes, contains appreciable amounts of high quality dietary oil and vegetable protein. Peanuts can be added to many foods to enhance their levels of high-quality protein in diets lacking in nutrition. In this study, the activity concentrations of radium (^{226}Ra), thorium (^{232}Th), and potassium (^{40}K) radionuclides naturally contained in 42 peanut samples collected from Adana province and districts were determined by using a gamma-ray spectrometer with high purity germanium detector (HPGe). The average values of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K in peanut samples were found as 5.4 ± 0.2 , 7.3 ± 0.2 and 422.3 ± 14.5 Bq/kg, respectively.

The level of magnesium (Mg), phosphorus (P), sulphur (S), chlorine (Cl), potassium (K), calcium (Ca), vanadium (V), chromium (Cr), manganese (Mn), iron (Fe), cobalt (Co), Nickel (Ni), copper (Cu), zinc (Zn), selenium (Se), molybdenum (Mo), bromine (Br), cadmium (Cd), tin (Sn), iodine (I), mercury (Hg) and lead (Pb) in peanut samples were analysed by using energy dispersive X-ray fluorescence spectrometer. The average concentrations of K, P, S, Ca, Mg, Cl, Zn, Fe, Mn, Cu, Ni, Co, V, I, Cr, Mo, Br and Se essential elements were found as 13437, 5058, 3451, 1786, 1759, 209.1, 71.3, 59.4, 38.0, 23.3, 17.9, 8.3, 6.0, 4.6, 3.5, 2.6, 1.1 and 0.8 mg/kg, respectively. The average concentrations of Sn, Pb, Cd and Hg non-essential heavy metals were measured as 7.9, 1.5, 1.1 and 0.8 mg/kg, respectively.

The average annual effective radiation dose exposed to adults due to the consumption of peanuts was estimated as 8.4 $\mu\text{Sv/y}$ based on the measured radionuclide concentrations. This dose is significantly lower than the reference level of 100 $\mu\text{Sv/y}$ recommended by the World Health Organization (WHO).

Daily intake of heavy metals for adults due to the consumption of peanuts was calculated as 0.36, 0.21, 2.31, 3.61, 0.50, 1.09, 1.41, 4.33, 0.48, 0.07, 0.09 and 0.05 $\mu\text{g/d kg}$ for V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Sn, Cd, Pb and Hg, respectively based on the analysed heavy metal concentrations.

The results revealed that peanut samples contain health-enhancing nutritional elements and consumption of peanut samples as food does not pose any health risk for radiological and heavy metals.

Key Words: Peanut, radium, thorium, radioactive potassium, essential element, toxic heavy metal, annual effective radiation dose, daily intake of heavy metal

2019, 77 Pages

Science Code: 202



TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca bilgi ve tecrübelerinden istifade ettiğim, her zaman hoşgörü ve sabırla yardım ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Şeref TURHAN'a, saygılarımla teşekkür ederim.

Örneklerin toplanmasını sağlayan Dr. Muhammet KARATAŞLI'ya, örneklerin XRF ölçümleri konusunda yardımcı olan Fizik Bölümü Öğretim Üyesi Doç. Dr. Aslı KURNAZ'a, Fizik Bölümü Öğretim Üyesi Doç. Dr. Aybaba HANÇERLİOĞULLARI'na ve Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarları Müdürlüğüne çok teşekkür ederim.

Fizik Bölüm Başkanlığına teşekkür ederim.

Türkiye'deki tez çalışmalarım süresince maddi ve manevi desteğini esirgemeyen Libya Hükümeti'ne şükranlarımı sunarım.

Bu çalışmayı benim için çok kıymetli olan aileme ithaf ediyorum.

Amena H. Abdussalam ABUGOUFA
Kastamonu, Mart 2019

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	xii
GRAFİKLER DİZİNİ	xiii
HARİTALAR DİZİNİ	xiv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xv
TABLolar DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ	1
2. YAPILAN ÇALIŞMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	7
3. MALZEME VE ANALİZ YÖNTEMLERİ.....	20
3.1. Yer Fıstığı Örneklerinin Toplanması	20
3.2. Yer Fıstığı Örneklerinin Analiz İşlemleri İçin Hazırlanması	20
3.3. Analiz Yöntemleri.....	23
3.3.1. Doğal Radyasyon Kaynakları	23
3.3.2. İyonlaştırıcı Radyasyon.....	23
3.3.3. Elektromanyetik Radyasyonun Madde ile Etkileşmesi	26
3.3.4. Karakteristik X-ışınlarının Oluşumu.....	32
3.3.5. X- ve Gama-ışını Spektrometrik Yöntem	36
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	44
4.1. Yer Fıstığı Örneklerinin Radyonüklit İçerikleri.....	44
4.2. Yıllık Etkin Radyasyon Dozunun Değerlendirilmesi	50
4.3. Yer Fıstığı Örneklerinin Esansiyel Element İçerikleri.....	52
4.4. Yer Fıstığı Örneklerinin Esansiyel Olmayan Ağır Metal İçerikleri.....	63
4.5. Günlük Ağır Metal Alımı.....	65
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	67
5.1. Öneriler	68
KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ	77

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AAS	Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi
Ag	Gümüş
Ba	Baryum
BGO	Bizmut germanyum oksit
Bq	Becquerel (Bekerel)
Br	Brom
Ca	Kalsiyum
Cd	Kadmiyum
CsI	Sezyum iyodür
Cl	Klor
Co	Kobalt
cm	Santimetre
Cr	Krom
Cu	Bakır
DNA	Deoksinükleik asit
EDXRF	Enerji Dağılımlı X-ışını Flüoresans
Eu	Evropiyum
F	Flor
FAAS	Alevli Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi
Fe	Demir
g	gram
GFAAS	Grafit Fırınlı Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi
W	Watt
Hg	Cıva
HPGe	Yüksek saflıklı germanyum (high purity germanium)
HPLC	Yüksek performanslı sıvı kromatografi
I	İyot
ICP-AES	Endüktif Eşlenmiş Plazma Atomik Emisyon Spektrometresi
ICP-OES	Endüktif Eşlenmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi
ICP-MS	Endüktif Eşlenmiş Plazma Kütle Spektrometresi
K	Kelvin
³⁹ K	Potasyum
⁴⁰ K	Radyoaktif potasyum
KOH	Potasyum hidroksit
keV	Kilo elektron volt
kg	Kilogram
L	Litre
Li	Lityum
meq	Miliekivalen
MeV	Milyon elektron volt
mg	miligram
mm	milimetre
Mn	Mangan
Mo	Molibden
Mg	Magnezyum

NaI	Sodyum iyodür
NAA	Nötron Aktivasyon Analiz
Ni	Nikel
NIRS	Yakın kızılötesi spektroskopisi
P	Fosfor
Pb	Kurşun
ppm	parts per million
²²⁶ Ra	Radyum-226
²²² Rn	Radon-222
RNA	Ribonükleik asit
S	Kükürt
Si	Silisyum
Se	Selenyum
SH	Standart hata
Sn	Kalay
SS	Standart sapma
Sr	Stronsiyum
Sv	Sievert
²³⁸ Th	Toryum-232
Tl	Talyum
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
²³⁸ U	Uranyum-238
²³⁵ U	Uranyum-235
WDXRF	Dalga boyu Dağılımlı X-ışını Flüoresans
XRF	X-ışını Flüoresans
V	Vanadyum
YF	Yer fıstığı
Zn	Çinko

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

	Sayfa
Fotoğraf 3.1. EDXRF spektrometresi	41
Fotoğraf 3.2. HPGe dedektörlü gama-ışını spektrometresi.....	43



GRAFİKLER DİZİNİ

	Sayfa
Grafik 1.1. Türkiye'nin 2008-2017 yılları arasındaki yer fıstığı üretimi.....	5
Grafik 3.1. Foton etkileşmesinin bağıl önemi (Knoll, 2000; Temirci, 2017)	30
Grafik 4.1. Yer fıstığı örneklerinde ölçülen ²²⁶ Ra aktivite derişimleri	46
Grafik 4.2. ²²⁶ Ra aktivite değerlerinin histogramı	47
Grafik 4.3. Yer fıstığı örneklerinde ölçülen ²³² Th aktivite derişimleri	48
Grafik 4.4. ²³² Th aktivite değerlerinin histogramı	48
Grafik 4.5. Yer fıstığı örneklerinde ölçülen ⁴⁰ K aktivite derişimleri	49
Grafik 4.6. ⁴⁰ K aktivite değerlerinin histogramı	49
Grafik 4.7. Radyonüklitlerin YERD'e olan katkıları	50



HARİTALAR DİZİNİ

	Sayfa
Harita 3.1. Yer fıstığı örnek noktaları	22



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Uranyum (^{238}U) radyoaktif serisi ve radyoaktif bozunum tipleri.....	24
Şekil 3.2. Toryum (^{232}Th) radyoaktif serisi ve radyoaktif bozunum tipleri.....	25
Şekil 3.3. Fotoelektrik olayı (Temirci, 2017).....	26
Şekil 3.4. Compton saçılması (Temirci, 2017)	28
Şekil 3.5. Çift oluşumu.	30
Şekil 3.6. X- ve gama-ışını şiddetinin üstel azalması	31
Şekil 3.7. Karakteristik X-ışınının oluşması (Brouwer, 2013; Yıldırım, 2018)..	33
Şekil 3.8. Enerjiye karşı soğurulma (Brouwer, 2013; Yıldırım, 2018).....	32
Şekil 3.9. K, L ve M elektronları için flüoresans verim (Yıldırım, 2018).....	34
Şekil 3.10. Ana çizgiler ve elektron geçişleri (Yıldırım, 2018).....	35
Şekil 3.11. X- veya gama-ışını etkileşme süreci ve fotopik oluşumu	38
Şekil 3.12. EDXRF (üstteki) ve WDXRF spektrometrelerinin gösterimi (Brouwer, 2013)	40

TABLolar DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 3.1. Yer fıstığı örneklerinin toplandığı yerler	21
Tablo 3.2. Yüksek saflıklı germanyum dedektörünün özellikleri.....	43
Tablo 4.1. Aktivite sonuçlarına ilişkin tanımlayıcı istatistiki bilgi	44
Tablo 4.2. Yer fıstığı örneklerinde ölçülen radyonüklit seviyeleri	45
Tablo 4.3. Yıllık etkin radyasyon doz değerleri.....	51
Tablo 4.4. Esansiyel element derişimlerine ilişkin tanımlayıcı istatistiki bilgi ..	52
Tablo 4.5. Yer fıstığı örneklerinin esansiyel minör-majör element içerikleri.....	53
Tablo 4.6. K, P, Ca ve Mg içeriklerinin literatür değerleri ile karşılaştırılması..	54
Tablo 4.7. Yer fıstığı örneklerinin esansiyel eser element içerikleri	57
Tablo 4.8. Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Zn ve Se içeriklerinin literatür değerleri ile karşılaştırılması	58
Tablo 4.9. Yer fıstığı örneklerinin esansiyel eser halojen içerikleri	62
Tablo 4.10. Yer fıstığı örneklerinin esansiyel olmayan ağır metal içerikleri.....	64
Tablo 4.11. Günlük ağır meta alımı	66

1. GİRİŞ

Bitkisel ve hayvansal gıdalar, insan vücudunun gerek duyduğu protein, karbonhidrat, yağ, vitamin ve mineral kaynağıdır. Bu yüzden enerji ve besin kaynağı olan gıdalar ile beslenme; büyüme, gelişme, hareket etme, çalışma, oynama, düşünme, öğrenme, sağlıklı ve aktif olma gibi faaliyetlerin sürdürülebilmesi için insan hayatının vazgeçilmez önemli bir unsurudur. Bitkiler, önemli bir besin kaynağıdır. Tarih boyunca 3500 bitki türü, beşeri gıda olarak kullanılmıştır (Sathe, 1996). Bu bitkilerin en az 150 farklı türü, yeterli miktarda yetiştirilmekte ve dünya gıda ticaretinde önemli yer tutmaktadır. Bu bitki türlerinden 30'u, insanın ihtiyacı olan kalori ve proteinin % 95'ini karşılamaktadır. Çok sayıda meyve ve sebze türü hariç tutulduğunda tahıl (hububat), insan beslenmesinde en önemli besin grubunu oluşturur. Baklagiller, beşeri besin kaynakları olarak, ekonomik ve besleyici önemleri açısından tahılların yanında yer almıştır. Baklagiller, sadece protein ve karbonhidrat (tahıllar gibi) içerikleri için değil aynı zamanda yağ içeriklerinden (soya fasulyesi ve yer fıstığı gibi yağlı tohumlu baklagiller) dolayı da değerlidir. Baklagillerin toprak-ekosistemindeki atmosferik azotu sabitleme kapasitesi, tüm bitki türleri arasındaki benzersiz ve faydalı özelliklerinden biridir. Toprakta sabitlenmiş azot miktarı, ticari gübrelerden gelen azot miktarına eşittir (Sathe, 1996). Az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde baklagiller, önemli bir protein kaynağıdır ve bazı bölgelerde diyet proteinlerinin ana kaynağıdır. Baklagiller, diyet proteinlerinin mükemmel ve nispeten ucuz bir kaynağı olmasının yanı sıra, bazı istenen özelliklere de sahiptir. Bu özellikler; düşük sodyum içeriği, yüksek potasyum içeriği, kompleks karbonhidratların bolluğu, insanlarda serum kolesterolü düşürme kabiliyeti, yüksek lif içeriği, düşük yağ içeriği (yağlı tohumlar hariç), yüksek derişimde çoklu doymamış yağ asitleri, uzun raf ömrü ve bunlardan yapılabilecek gıdaların çeşitliliği sayılabilir (Sathe, 1996).

İnsan, flor, bor potasyum, klor, kalsiyum, fosfor, sodyum, magnezyum, selenyum demir, bakır çinko, iyot mangan, molibden ve krom gibi 20 den fazla ana (esansiyel) mineral elementlere gereksinim duyar (Fraga, 2005). Magnezyum, insan vücudu için gerekli olan esansiyel metalik bir elementtir. İnsan vücudunda sadece 300'den fazla

enzimi aktive etmekle kalmaz, aynı zamanda insan vücudundaki kas ve sinir fonksiyonlarının etkin olmasına da yardımcı olur (Faryadi, 2012). Potasyum, insan vücudunda çeşitli biyolojik işlevler sergileyen en önemli esansiyel elementlerden biridir. Potasyum, insülin sekresyonu, kreatin fosforilasyonu, karbonhidrat metabolizması ve protein sentezi için gereklidir (Ringer ve Bartlett, 2007). Kalsiyum, kemiklerin oluşması, kasların kasılması ve gevşemesi, kanın pıhtılaşması ve uygun sinir fonksiyonu gibi çeşitli işlevleri sergileyen esansiyel elementtir (Desideri vd., 2011). Magnezyum, potasyum ve kalsiyum, hastalıkların önlenmesi ve kontrolü için çok önemlidir (Desideri vd., 2011). Fosfor, genellikle ortamda fosfat olarak bulunan bir esansiyel elementtir. Fosfor, DNA ve RNA'nın temel yapısal bir bileşenidir (Childers vd., 2011). Sülfür, insan vücudunda yedinci en çok bulunan esansiyel elementtir. Sülfür, esas olarak, gıda ve hayvansal proteinlerde bulunan önemli amino asitlerden bir olan metiyonin alımı ile sağlanır (Ingenbleek ve Kimura, 2013). Vanadyum, esas olarak kemikler ve dişler için yapı malzemesi olarak işlev gören bir esansiyel elementtir (Badmaev vd., 2007). Krom, doğal olarak meydana gelen bir esansiyel metalik elementtir. Krom (III), tipik protein, yağ ve karbonhidrat metabolizması için gerekli bir esansiyel besin maddesidir (Chowdhury vd., 2003). Mangan, demir, bakır ve çinko, enzim metabolizması için gerekli olan esansiyel metalik eser elementlerdir (Desideri vd., 2011). Mangan, kemiklerin gelişimi ve amino asitler, lipitler ve karbonhidratların metabolizması için gerekli olmasının yanı sıra diyabetin kontrol edilmesinde de hayati bir rol oynamaktadır (Fraga, 2005; Desideri vd., 2011). Demir, insanın sağlıklı durumunu sürdürülebilmesi için önemlidir (Desideri vd., 2011). Bakır, bağ dokularının, sinir kaplamalarının ve kemiklerin gelişimi için gereklidir (Fraga, 2005). Çinko, hücresel DNA'lara olabilecek oksidatif hasarı azaltarak, çocukluk ve ergenlik döneminde normal büyümeyi ve gelişmeyi destekleyerek bir antioksidan görevi görür (Fraga, 2005; Desideri vd., 2011). Kobalt, B12 vitamininin bir parçası olduğu için bir esansiyel metalik elementtir. Kobalt, metiyonin metabolizmasında rol oynar ve kırmızı kan hücrelerinin üretimini uyarır (Prashanth vd., 2015). Nikel, bağırsaklardaki demirin emiliminde bir kofaktör olarak fizyolojik süreçlerde rol oynadığı düşünülen önemli bir esansiyel metalik eser elementtir (Das vd., 2008). Selenyum, bağışıklık sisteminin uygun şekilde çalışması için gerekli olan bir esansiyel eser elementtir (Rayman, 2000). Molibden, sülfat oksidaz, ksantin oksidaz, aldehit oksidaz ve mitokondriyel

amidoksim indirgeyici bileşen dahil olmak üzere en az dört enzim için bir kofaktör olarak işlev gören bir esansiyel metalik eser elementtir (Novotny, 2011). Klor, bir esansiyel halojen elementtir ve kas iritabilitesinden sorumlu ekstraselüler sıvının baş anyonudur (Desideri vd., 2011). İyot, omurgasızlarda iodoproteinlerin var olmasına rağmen, omurgalılarda tiroit hormonlarının sentezlenmesi için gerekli olan bir esansiyel halojen elementidir (Soetan vd., 2010).

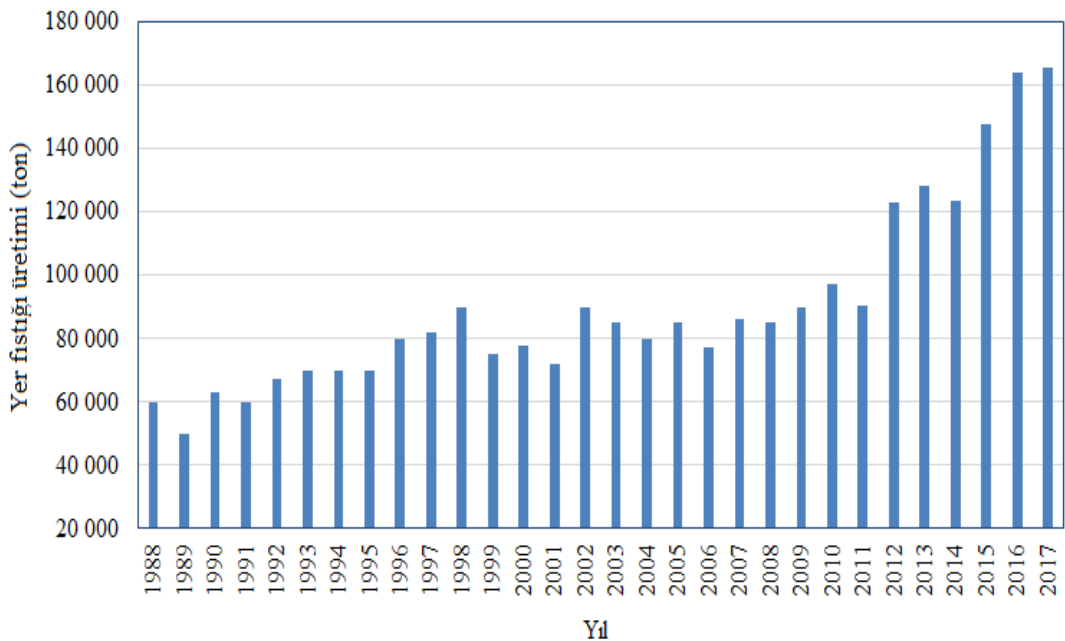
İnsan vücudunun normal işleyişi için elzem olan bazı ana elementler aynı zamanda ağır metal niteliğindedir ve yüksek seviyeleri aşırı derecede zehirli (toksik) olabilir. Toprak yapısının etkileri, tarımsal kimyasallaşma (böcek ve bitki öldürücü ilaçlar dahil) ve gıda tedarikleri ile ilgili sanayi faaliyetlerden dolayı, gıda maddelerindeki esansiyel elementlerin ve/veya zehirli ağır metallerin derişimi (seviyesi), bölgeden bölgeye değişim gösterebilmektedir (Adotey et al., 2009). Eş zamanlı olarak hızlı gelişen sanayileşme ve nüfus artışı, bitki öldürücü ilaçların (herbisitlerin), haşere öldürücü ilaçların (pestisitlerin) ve kimyasal gübrelerin yoğun ve gelişigüzel kullanımı, katı atık yönetimi ve motorlu taşıt araçları, tarım yapılan toprakların dolayısıyla gıda maddelerinin, zehirli ağır metaller ile kirlenmesinin birincil amilleri olarak gösterilebilir (Khan et al., 2008). Zehirlilik derecesine göre öncelikli olan arsenik, kadmiyum, krom, kurşun ve cıva, eser miktarda bulunmalarına rağmen insan, hayvan ve bitki bünyesinde birikebildikleri ve ayrışmadıkları için teknolojinin hızlı gelişmesi ve büyüyen çevre problemleri ile birlikte sağlıklı yaşamı tehdit eden boyutlara ulaşmıştır (Özkaynak, 2014). Özellikle baklagiller gibi bitkisel gıda ürünleri, toprak, su ve hava aracılığı ile bünyelerine aldıkları ağır metalleri biriktirerek bu metallerin, gıda zincirine aktarılmasına sebep olurlar (Özkaynak, 2014). Aynı zamanda bitkisel gıda ürünleri, doğal olarak mevcut olan uranyum (^{238}U), toryum (^{232}Th) radyoaktif serilerine ait radyonüklitleri ve doğal potasyumun (^{39}K 'un) izotopu olan radyoaktif potasyumu (^{40}K 'ı), yetiştikleri ortam (kayaç, toprak ve su) aracılığı ile bünyelerine alarak bu tür radyonüklitlerin de gıda zincirine girmesini sağlarlar (UNSCEAR, 2000). Gıdaların sindirilmesi ile insan vücudunun farklı organlarına yerleşen doğal radyonüklitlerin, radyoaktif bozunum süreçleri sonucunda yayınladıkları iyonlaştırıcı radyasyonlar (alfa-, beta- ve gama-ışınları) iç ışınlamaya sebep olurlar (UNSCEAR, 2000). Bu sebeplerden dolayı temel insanlık hakkı olan gıda güvenliği ve güvencesi, hayati ve stratejik önem arz etmektedir. Gıda

güvenliği için ağır metaller, radyoaktif elementler, organik çözücüler, hidrokarbonlar, pestisit ve herbisitler gibi gıda maddeleri kirleticilerinin azami sınırlarının belirlenmesi ve bu sınırlarının aşılmadığının kontrol edilmesi son derece önemlidir. Bu durum da, kalite kontrolüne yönelik olarak gıda maddelerinin içerdikleri ana element, ağır metal ve diğer kirleticilerinin nitel ve nicel analizlerinin yapılması gerektirmektedir.

Meksika, Orta ve Güney Amerika kökenli kadim bir geçmişe sahip yer fıstığı, baklagiller familyasından olan *Arachis hypogaea* L. bitkisinin yenilebilir tohumudur (Stalker, 1997). Yer fıstığı, bitkisel protein ve yağ olarak insani tüketim amaçlı kullanılmak için yaklaşık 100 ülkede, tropik, alt-tropik ve sıcak iklimlerde yetiştirilmektedir (Nwkolo, 1996; Stalker, 1997; Sarvamangala vd., 2011). 2016 yılı itibarıyla, dünya yer fıstığı üretiminin % 37,8'i Çin, % 15,6'sı Hindistan, % 6,9'u Nijerya, % 5,9'u Amerika Birleşik Devletleri, % 4,2'si Sudan, % 3,6'sı Myanmar, % 2,4'ü Çad, % 2,3'ü Arjantin ve % 0,37'si Türkiye tarafından gerçekleştirilmiştir (Kadiroğlu, 2018). Dünyadaki toplam yıllık yer fıstığı üretiminin yaklaşık % 55'i, Çin ve Hindistan tarafından karşılanmaktadır (Kadiroğlu, 2018). Yer fıstığı, % 20 – % 25 oranında protein, % 45 – % 55 oranında yüksek kaliteli yağ, % 16 – % 18 oranında karbonhidrat ve % 5 oranında mineral içermektedir (Gulluoglu, 2011; Onat vd., 2017). Yer fıstığı yağında ise çok düşük oranda (% 0,0 – % 0,1) laurik asit, myristik asit ve alfa linoleik asit (ω 3), % 36,4 – % 67,1 oranında oleik asit, % 14,0 – % 43,0 oranında linoleik asit (ω 6), % 8,3 – % 14,0 oranında palmitik asit, % 2,1– % 4,4 oranında behenik asit, % 1,9 – % 4,4 oranında stearik asit ve % 1,1 – % 1,7 oranında ise arasidik asit bulunmaktadır (Lukaniuk vd., 2011). Bu yüzden yer fıstığı, yetersiz veya kötü beslenme ile mücadelede ekonomik bir besin takviyesi olmasının yanı sıra özellikle yağ sanayi ve çerez yapımında kullanılan değerli bir gıda maddesidir (Nwkolo, 1996). Ayrıca yer fıstığının sapı, kuru ot olarak ve kabuğu da farklı şekillerde değerlendirilmektedir. Dünyada üretilen yer fıstığının yaklaşık % 41'i (Kuzey Amerika'da yaklaşık % 74'ü) doğrudan gıda olarak tüketilmektedir (Kadiroğlu, 2018). Yer fıstığı yağı yüksek oranda oleik asit içerdiği için raf ömrü yüksektir. Yer fıstığı yüksek yanma sıcaklığına sahip olduğundan, kızartma yağı olarak da dünyada çok tercih edilmektedir (Kadiroğlu, 2018). Rafine edilmiş yer fıstığı yağı, gıda sanayisinde, sos, mayonez, margarin, pasta, bisküvi, gevrek,

şekerleme vb. yapımında ve balık konserveciliğinde kullanılmaktadır (Kadiroğlu, 2018). Otuzdan fazla türü tespit edilen yer fıstığı aynı zamanda, havanın serbest azotunu toprağa bağlayarak kendisinden sonraki ekimdeki bitkiler için azot ve organik madde deposu gibi görev yapar.

Yer fıstığı, Türkiye’de üretilen yağ bitkileri (yağlı tohumlar) kategorisinde yer almaktadır. Türkiye’nin 1988-2017 yılları arasındaki yer fıstığı üretimi, Grafik 1.1’de gösterilmektedir (URL-1). Son 29 yılda, yer fıstığı ekim alanının, toplam tohumlu yağlar (soya, ayçiçeği, susam, aspir, kolza, çığit, keten, kenevir ve haşhaş) ekim alanındaki yeri, % 2,51’den (235.000 dekar) % 4,53 (419.495 dekar) çıkararak yaklaşık 2 kat artmıştır. Grafik 1.1’den de görülebileceği gibi bazı yıllarda inişler ve çıkışlar olmasına rağmen yer fıstığı üretimi, son 29 yılda yaklaşık 3 kat artmıştır. Türkiye’de yer fıstığı ekiminin % 90’ı, Çukurova Bölgesinde yer alan Adana ve Osmaniye illerinde yapılmaktadır (Kadiroğlu, 2018). Yıllık üretimin yarısından fazlasını Adana ili tek başına karşılamaktadır. 2016 yılında üretilen 164.186 ton yer fıstığının % 60,5’i Adana’da üretilmiştir (URL-1). Türkiye’de üretilen yer fıstığının büyük bir bölümü iç piyasada kavrulularak çerez olarak tüketilmekte ve yaklaşık % 5’lik kısmı ise pasta, çikolata, şekerleme vb. yapımında kullanılmaktadır (Kadiroğlu, 2018). Kalitesi düşük olan ikinci sınıf ürünler (yıllık üretimin yaklaşık % 0,02’si), yağ sanayisinde değerlendirilmektedir (Kadiroğlu, 2018).



Grafik 1.1. Türkiye’nin 1988-2017 yılları arasındaki yer fıstığı üretimi

Bu tezin amacı,

(1) Türkiye’de üretilen yer fıstığı örneklerinin doğal olarak içerdiği radyonüklitlerin seviyelerini belirlemek,

(2) yer fıstığı örneklerinin tüketilmesi sonucunda yetişkin bireylerin maruz kaldığı iç ışınlama sebebiyle alabileceği yıllık etkin radyasyon dozu değerlendirmek,

(3) yer fıstığı örneklerinin içerdiği esansiyel element ve/veya ağır metal seviyelerini belirlemek ve

(4) yer fıstığı örneklerinin tüketilmesi sonucunda yetişkin bireylerin günlük ağır metal alımını hesaplamaktır.

Bu amaç için tez kapsamında, Türkiye’de yer fıstığının en çok üretildiği Adana ili ve ilçelerinde bulunan 42 farklı ekim alanından toplanan yer fıstığı örneklerinin doğal olarak içerdiği (1) ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitinin aktivite derişimleri, HPGe dedektörlü gama-ışını spektrometresi kullanılarak ölçüldü ve (2) esansiyel elementler (K, P, S, Ca, Mg, Cl, Zn, Fe, Mn, Cu, N, Co, V, I, Cr, Mo, Br ve Se) ve esansiyel olmayan ağır metaller (Sn, Pb, Cd ve Hg), enerji dağılımlı X-ışını flüoresans (EDXRF) spektrometresi kullanılarak analiz edildi. Yıllık etkin radyasyon dozu ve günlük ağır metal alımı, analiz verileri esas alınarak hesaplandı.

Bu tez beş bölümden oluşmaktadır. Çalışmanın birinci bölümünde; gıda, beslenme, baklagiller, ana elementler, ağır metaller, radyonüklitler, yer fıstığı, Türkiye’nin yer fıstığı üretimi ve tezin amacı hakkında bilgi verildi. İkinci bölümde, yer fıstığı ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar özetlendi. Üçüncü bölümde, yer fıstığı örneklerinin toplanmasına, ölçme işlemi için hazırlanmasına, ölçme yöntemlerine ilişkin bilgi verildi. Dördüncü bölümde, her bir yer fıstığı örneği için ölçülen radyonüklitlerin, ana element ve/veya ağır metallerin derişimleri, tablolar ve grafikler şeklinde sunuldu. Beşinci bölümde, elde edilen ortalama değerler, literatürdeki değerler ile ağır metal seviyeleri ise ulusal kodeks değerleri ile karşılaştırıldı ve yer fıstığı üretimine yönelik bazı öneriler yer aldı.

2. YAPILAN ÇALIŞMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde, yer fıstığı ile ilgili olarak daha önce yapılan ve literatürde yer alan ulusal ve uluslararası çalışmalar hakkında bilgi verildi.

Galvao, Lopez ve Williams (1978) tarafından yapılan çalışmada, ticari olarak satılan yer fıstığı ve fıstık ezmesi örneklerinde esansiyel olarak kabul edilen 13 element, atomik absorpsiyon spektrofotometri (AAS) ile analiz edildi. Çalışma sonucunda, hem yer fıstığının hem de fıstık ezmesinin, dört esansiyel element için yeterli bir gıda kaynağı olduğu ve diğer 7 esansiyel elementi ise besinsel olarak önemli miktarda içerdiği gösterildi.

Khalil ve Chughtai (1983), yüksek verimli ithal 4 ve yerel 1 yer fıstığı çeşidi, yerli toprak ve iklim şartlarında (Pakistan'da) yetiştirerek bunların kimyasal bileşenlerini ve besleyici özelliklerini karşılaştırdı. Çalışma sonucunda, (1) yerli yer fıstığı çeşidinin azami % 28,3 ve ithal yer fıstığı çeşidinin ise azami % 49,5 yağ içerdiği ve (2) potasyum (673,9 mg/100 g), magnezyum (168 mg/100 g), fosfor (248,4 mg/100 g), demir (1,3 mg/100 g), çinko (4,6 mg/100 g), bakır (1,5 mg/100 g) ve manganın (1,7 mg/100 g) bütün çeşitlerde besleyici önemde ve karşılaştırılabilir olduğu bulundu.

Singh ve Abrol (1983), değiş-tokuş edilebilir sodyum yüzdesinin, yer fıstığının (M-13 çeşidi) rekolte, kimyasal bileşen, protein, yağ içeriği ve besin alımı üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla tekrarlı alan deneyleri yaptı. Çalışma sonucunda, (1) sodyum yüzdesi, % 20 olduğunda, yer fıstığı üretiminin % 50 azaldığı, (2) topraktaki sodyum yüzdesi daha da arttırıldığında, sodyumun arttığı ve potasyum, kalsiyum ve azot içeriklerinin azaldığı ancak bitkinin magnezyum, fosfor, kükürt, demir, mangan, çinko ve bakır içeriğinin etkilenmediği ve (3) topraktaki sodyum yüzdesinin artış ile bütün besinlerin alımının azaldığı gözlemlendi.

Groso ve Guzman (1995), Peru kaynaklı 29 yerli *Arachis hypogaea* çeşidinin tohumlarının yağ, protein, kül içeriği, iyot değeri, yağ asidi ve sterol bileşenlerini inceledi. Elde edilen sonuçlar, *hypogaea* çeşidinin protein yüzdesinin, diğer çeşitlerin

(*fastigiata*, *aequatoriana* ve *peruviana*) protein içeriklerinden daha düşük ve oleik asit derişiminin de diğer çeşitlerin oleik asit derişimlerinden daha yüksek olduğunu gösterdi.

Golombek, Sridhar ve Singh (1995), (gün/gece) 20/14 °C (T1), 26/20 °C (T2), 32/26 °C (T3) ve 38/32 °C (T4) farklı toprak sıcaklık düzeninin, 3 farklı İspanya yer fıstığı genotiplerinin tohum bileşenlerine olan etkisini araştırdı. Çalışma sonucunda, (1) T1'den T2'ye yağ derişiminin arttığı ve nişasta derişiminin kayda değer oranda düştüğü ancak T3'e geçişte bu değişimin daha hafif olduğu ve (2) T1'den T3'e oleik/linoleik asit oranının arttığı gözlemlendi.

Stalker (1997) tarafından yapılan çalışmada, yer fıstığının tarihçesi, kaynağı, bitkisel tanımı, besleyici özelliği, üretimi ve kullanımına ilişkin bilgi verildi.

Grosso, Lucini, López ve Guzmán (1999), Uruguay kökenli yerli 9 *Arachis hypogaea* alt tür tohumlarının yağ, protein, karbonhidrat, kül içeriği, iyot değeri, yağ asidi ve sterol bileşenlerini inceledi. Çalışma sonucunda, (1) *fastigiata* alt tür çeşitlerinin, *hypogaea* alt tür çeşitlerine göre daha yüksek seviyede protein içerdiği ve (2) yer fıstığı örneklerinin palmitik, searik, oleik, linoleik, arasidik, eikosenoik, behenik, lignoserik asitleri içerdiği bulundu.

Holzhauser ve Vieths (1999), farklı gıdalarda 2 mg/kg'a kadar düşen gizli yer fıstığı protein kalıntılarının algılanmasına imkân veren ELISA (enzyme-linked immunosorbent assay) yöntemini geliştirdi.

Sanders, McMichael, Hendrix (2000), birkaç yer fıstığı örneğindeki resveratrol içeriğini, yüksek performanslı sıvı kromatografi (HPLC) cihazı kullanarak analiz etti. Çalışma sonucunda, 3 farklı yer fıstığının 15 çeşidinin nicel analizlerinde, 0,02 – 1,79 mg/kg aralığında resveratrol içeriği tespit edildi.

McLaughlin, Bell, Wright ve Cozens (2000), 2 farklı yer fıstığı çeşidinin (cv. NC7 ve Streeton) kadmiyum alım mekanizmasını inceledi. Çalışma sonucunda, (1) dış ortamdaki (solüsyon veya topraktaki) kadmiyum seviyesi aynı olmasına rağmen cv. NC7 çeşidinin kadmiyum içeriğinin daha yüksek olduğu ve (2) hem toprak hem de

kum/solüsyon kültürü sonucunda yer fıstığının, kadmiyumu etkin olarak ana kök sistemi aracılığı ile aldığı ve (3) tohum zarfından alınan kadmiyumun, çekirdeğin içerdiği kadmiyum miktarından % 5 daha az olduğu bulundu.

Awad, Chan, Downie ve Fink (2000), yer fıstığı ve ürünlerindeki, kolon, prostat ve göğüs kanserlerinde koruyucu rolü olan fitosteroller (PS), özellikle β -sitosterol miktarını belirledi. Çalışma sonucunda, (1) kavrulmuş yer fıstığının PS içeriğinin, 61 mg/100 g – 114 mg/100 g aralığında değiştiği ve bu aralığın % 78 – % 83'nün β -sitosterol formunda olduğu, (2) rafine edilmemiş yer fıstığı yağının PS içeriğinin, 207 mg/100 g olduğu ve bu miktarın rafine edilmemiş zeytin yağının PS içeriğinden daha büyük olduğu, (3) yer fıstığı ezmesinin PS içeriğinin, 144 mg/100 g – 157 mg /100 g aralığında değiştiği, (4) yer fıstığı ununun PS içeriğinin, 55 mg/100 g – 60 mg/100 g aralığında değiştiği ve (5) yer fıstığı ve ürünlerinin iyi bir PS kaynağı olduğu bulundu.

Grosso, Nepote ve Guzmán (1999), bazı yabancı *Arachis trinitensis* tohumlarının yağ, protein, karbonhidrat, kül içeriği, iyot değeri, yağ asidi ve sterol bileşenlerini inceledi. Çalışma sonucunda, incelenen yabancı yer fıstığı örneklerinden elde edilen yağların kimyasal kalitesi ve kararlılığının, kültürlü yer fıstığından elde edilenden daha iyi olmadığı bulundu.

Casini vd., (2003) tarafından yapılan çalışmada, Arjantin Córdoba'nın 21 farklı yer fıstığı ekim alanlarından toplanan Florman INTA çeşit yer fıstığının içerdiği oleik asit linoleik asit oranı, tokoferal ve şeker miktarı ve bunların yağmur ve sıcaklık değişimi arasındaki ilişkisi incelendi.

Özcan ve Seven (2003) tarafından yapılan çalışmada, (1) ÇOM ve NC-7 yer fıstığı çeşidinin ve bunlardan yapılan yer fıstığı ezmesinin içerdiği nem, protein, yağ, selüloz, kül ve enerji, (2) 1000 adet yer fıstığı tohumunun ağırlığı ve büyüklüğü, (3) endüktif eşlenmiş plazma atomik emisyon spektrometresi (ICP-AES) kullanılarak örneklerin içerdiği sodyum, potasyum, kalsiyum, fosfor, demir, çinko, bakır, magnezyum, mangan, alüminyum, arsenik, bor, sezyum, krom, lityum, kurşun, kalay ve vanadyum seviyeleri, (4) yer fıstığı çekirdeklerinin ve yer fıstığı ezmesi

örneklerinin asitliği, iyot ve peroksit değeri, bağıl yoğunluğu, kırılma indisi, tokoferal, sabunlaşma değeri ve sabunlaşmayan madde miktarı ve (5) gaz kromatografi ile yer fıstığı çeşitlerinin tohum ve yağlarının miyristik, palmitik, palmitoleik, stearik, oleik, linoelik, arasidik, gadoleik ve behenik asit içerikleri belirlendi. Çalışma sonucunda, (1) oleik, linoleik ve palmitik asitlerin, her iki çeşit yer fıstığı tohumları ve ezmesinde en çok bulunan asitler olduğu ve her iki çeşidin de yüksek miktarda oleik asit içerdiği, (2) her iki çeşidin tohum ve ezmesinin, yağ, protein, oleik asit, linoleik asit ve mineral bakımından zengin olduğu ve (3) yer fıstığı ezmesinin beslenme değeri olarak yer fıstığına denk olduğu bulundu.

Alper ve Mattes (2003), çok miktarda gerçekleştirilen yer fıstığı tüketiminin, farklı şartlarda yer fıstığı alım şekli ile serum lipitler, magnezyum ve homosistein derişimlerinin yanı sıra diyet kompozisyonuna olan etkisini araştırdı. Çalışma sonucunda, yer fıstığının düzenli bir şekilde tüketilmesinin (1) serum trigliseritini düşürdüğü, (2) kalp ve damar hastalığı riskini azalttığı ve (3) serum magnezyum derişimini arttırdığı gözlemlendi.

Işık ve Gül (2004) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye'deki yer fıstığı üretiminin büyük bir kısmının gerçekleştirildiği Adana, Osmaniye ve İçel illerindeki yer fıstığı yetiştiriciliğine ilişkin olarak yer fıstığı üretiminin ekonomik ve yapısal problemleri gözden geçirildi.

Jonnala, Dunford ve Dashiell (2005) tarafından yapılan çalışmada, alışlagelmiş tohumlama yöntemi ile Amerika Oklahoma'da yetiştiren Tamrun OL 01, Tamrun OL 02, TX 977164, Tamrun 96 ve TX 977239 adlı yüksek oleik asit içeren beş yer fıstığı çeşidinin kimyasal bileşenleri incelendi. Çalışma sonucunda, (1) analiz edilen yer fıstığı çekirdeklerinin % 42 – % 49 aralığında yağ, % 25 – % 29 aralığında protein, % 9 – % 12 aralığında diyet lifi, % 2'ye yakın kül ve % 5 nem içerdiği, (2) yer fıstığının potasyum bakımında zengin olduğu ve (3) incelenen yer fıstığı örneklerinin tamamında fosfor ve kalsiyumun ana mineral olduğu bulundu.

Zuo, Ren, Zhang ve Jiang (2007) tarafından yapılan çalışmada, kalkerli toprakta yetiştirilen Strategy I yer fıstığı bitkilerinde, bikarbonat etkili demir kloroz (demir

eksikliği) ile sonuçlanabilen ve ayarlanabilir toprak su içeriğinden kaynaklanan bikarbonat dalgalanmaları araştırıldı. Çalışma sonucunda, makul uygulanabilir sulama ve drenajın, kalkerli toprakta yetişen Strategy I bitkilerindeki demir eksikliği klorozunu engelleyeceği öngörüldü.

Ching, Binag ve Alejandro (2008), yapay olarak ağır metaller ile kirletilen toprakta yetişen yer fıstığının (*Arachis hypogaea* L.) birkaç ağır metal alımını ve dağılımını araştırdı. Çalışma sonucunda, (1) toprak saksılarda yetişen yer fıstığı tohumlarının bakır, çinko, mangan, kadmiyum, krom ve kurşun ile düşük ve yüksek seviyede kirlendiği, (2) bitki (yapraklar, gövde ve kök) kısımlarının, tekrar üretebilen (çiçekler, meyveler ve tohumlar) kısımlara göre toprağa daha duyarlı olduğu ve (3) ağır metaller arasında krom, bakır ve çinkonun daha çok yer fıstığının kök ve yapraklarında biriktiği gözlemlendi.

Asibuo, Akromah, Safo, Adu-Dapaah, Ohemeng-Dapaah ve Agyeman (2008) tarafından yapılan çalışmada, Gana'da yetişen 20 adet yer fıstığı çeşidinin içerdiği yağ, protein, toplam karbonhidrat, kalsiyum, potasyum, magnezyum, sodyum, çinko, bakır, demir ve mangan seviyesi belirlendi. Çalışma sonucunda, (1) yer fıstığı içerikleri arasında önemli farklar olduğu, (2) *hypogaea* alt türlerinin ortalama yağ içeriklerinin, *fastigiata* alt türlerinin yağ içeriklerinden daha yüksek olduğu, (3) *fastigiata* alt türlerinin ortalama protein içeriklerinin, *hypogaea* alt türlerinin protein içeriklerinden daha büyük olduğu ve (4) Broni fufuo çeşidinin, en yüksek protein içeriğine ve en düşük yağ içeriğine sahip olduğu bulundu.

Nagajyoti, Dinakar, Prasad, Suresh ve Damodharam (2008) tarafından yapılan çalışmada, sanayi alanından toplanan yer fıstığı örnekleri, farklı derişim oranlarında (% 25, % 50, % 75 ve % 100) sanayi atık suyu ile ağır metal seviyelerine maruz bırakılarak 10, 15, 20, 25 ve 30 gün sonra toprak ve bitkideki ağır metal (krom, bakır, mangan, demir, kobalt, nikel, kurşun, kadmiyum ve çinko) dağılımı, AAS ile belirlendi. Çalışma sonucunda, (1) 10, 15, 20 ve 25 gün deneylerinde ve % 100'lük atık su derişiminde demir seviyesinin yüksek olduğu, (2) % 25'lik atık su derişiminde, yer fıstığının kök uzunluğunun ve çimlenmenin arttığı ve (3) klorofil içeriğinin, 20'inci güne kadar arttığı ve daha sonra azaldığı bulundu.

Mondragón vd., (2009) tarafından yapılan çalışmada, Meksika’da yetiştirilen 6 çeşit yer fıstığının (*Arachis hypogaea* L.) tarımsal verimi, kimyasal kompozisyonu (protein, yağ, karbonhidratlar, lif ve kül), amino asit profili, sindirebilirlik, tokoferol ve sterol içerikleri belirlendi. Çalışma sonucunda, (1) Ranferi Diaz ve Col-61-Gto yer fıstığı çeşidinin en yüksek verime (6,3 ton/hektar) sahip olduğu, (2) protein içeriklerinin % 23,5 – % 26,6 ve yağ içeriğinin % 49,8 – % 53,4 aralığında değiştiği, (3) ortalama sindirebilirliğin % 86 olduğu ve (4) toplam doymuş yağ asitlerinin % 15 – % 18 oleik/linoleik asit oranının 1,3 – 1,4 aralığında değiştiği bulundu.

Atasie, Akinhanmi ve Ojiodu (2009) tarafından yapılan çalışmada, yer fıstığının kısmi fiziko-kimyasal ve element analizi yapıldı. Çalışma sonucunda, (1) yer fıstığı örneğinin % 47 yağ, % 38,61 protein, % 5,8 nem, % 1081 karbonhidrat, % 3,70 lif ve % 3,08 kül içerdiği, (2) 42 mg/100 g sodyum, 705 mg/100 g potasyum, 3,98 mg/100 g magnezyum, 2,28 mg/100 g kalsiyum, 6,97 mg/100 g demir, 3,20 mg/100 g çinko ve 10,55 mg/100 g fosfor içerdiği ve (3) sabunlaşma değerinin 193,2 mgKOH/g, iyot değerinin 38,71 g/100 g, asit değerinin 5,99 mgKOH/g, serbest yağ asit değerinin 3,01 mgKOH/g, peroksit değerinin 1,50 meq/kg, kırılma indisinin 1,5 ve baskın yağ asidinin % 41,11 ile oleik asit olduğu bulundu.

Anyasor, Ogunwenmo, Oyelana, Ajayi ve Dangana (2009) tarafından yapılan çalışmada, Nijerya’nın kuzey, güney ve batı bölgelerinde yetiştirilen 6 çeşit yer fıstığı tohumundan elde edilen yağlar gaz kromatografi ile analiz edildi. Çalışma sonucunda, (1) bütün yağ örneklerinde oleik ve linoleik asit derişimlerinin yüksek olduğu ve (2) batıda yetişen yer fıstığından elde edilen yağın en yüksek iyot değerine ve kuzeyde yetişen yer fıstığından elde edilen yağın en yüksek asit ve yağ seviyesine sahip olduğu bulundu.

Ayoola ve Adoyeye (2010) tarafından yapılan çalışmada, çiğ, güneşte kurutulmuş ve kavrulmuş yer fıstığı (*Arachis hypogaea*) tohumlarının, besin değeri olarak önemli bazı mineral içeriği belirlenerek ve kısmi kompozisyon analizi yapılarak sıcaklığın, yer fıstığının kimyasal bileşenleri ve fiziko-kimyasal özellikleri üzerindeki etkisi araştırıldı. Çalışma sonucunda, (1) çiğ, güneşte kurutulmuş ve kavrulmuş yer fıstığının sırasıyla, % 46,10, % 43,80 ve % 40,60 yağ; % 24,70, % 21,80 ve % 18,40

protein; % 17,41, % 27,19 ve % 36,11 karbonhidrat; % 7,48, % 3,40 ve % 1,07 nem; % 2,83, % 2,43 ve % 2,41 lif ve % 1,48, % 1,38 ve % 1,41 kül içerdği, (2) çığ, güneşte kurutulmuş ve kavrulmuş yer fıstığının sırasıyla, % 0,71, % 0,69 ve % 0,57 sodyum; % 0,68, % 0,65 ve % 0,69 fosfor; % 0,47, % 0,51 ve % 0,55 potasyum; % 0,44, % 0,42 ve % 0,50 çinko ve % 0,40, % 0,47 ve % 0,43 demir içerdği ve (3) kavrulmuş yer fıstığının iyi bir değerli mineral kaynağı ve çığ yer fıstığının da yüksek besleyici değeri olan iyi bir protein kaynağı olduğu bulundu.

Özcan (2010), Silifke, Mersin, Anamur, Alanya, Aydıncık, Osmaniye’de yetiştirilen yer fıstığı ve bunlardan elde edilen yağların (toplam yer fıstığı miktarının % 32,7 – % 45,4’lık kısmı) bazı besleyici özelliklerini belirledi. Çalışma sonucunda, (1) protein içeriğinin % 25,9 – % 32,4 aralığında değiştiği, (2) yer fıstığı örneklerinde ICP-AES ile belirlenen ortalama sodyum içeriğinin 1004,7 mg/kg ve fosfor içeriğinin 3433,91 mg/kg olduğu, (3) yağ örneklerinin kırılma indisi değerinin 1,451 – 1,461 aralığında ve sabunlaşma değerinin 165,3 – 187,6 aralığında değiştiği ve (4) araştırılan yer fıstığı örneklerinin yenilebilir veya diğer sanayi uygulamalarında kullanılacak değerde olduğu bulundu.

Parengam, Judprasong, Srianujata, Jittinandana, Laoharajanaphand ve Busamongko (2010) tarafından yapılan çalışmada, Bangkok (Tayland) bölgesi ve kırsal alanları temsil eden Talad-Thai ve Yoawarat marketlerinden toplanan dört çeşit pirinç ve altı çeşit baklagil (siyah fasulye, yeşil fasulye, yer fıstığı, kırmızı fasulye, barbunya ve soya) örneğindeki besleyici ve zehirli elementlerin içerikleri, nötron aktivasyon analiz (NAA) ve grafit fırınlı atomik absorpsiyon spektrofotometresi (GFAAS) ile analiz edildi.

Thien, Wright ve Lee (2010) tarafından yapılan çalışmada, Avustralya’da farklı ortamlarda (çevrelerde) yetiştirilen 9 farklı yer fıstığı genotipinin içerdği 15 ana (esansiyel) element (bor, kalsiyum, kobalt, krom, bakır, demir, potasyum, magnezyum, mangan, molibden, sodyum, nikel, fosfor, selenyum ve çinko) endüktif eşlenmiş plazma optik emisyon spektrometresi (ICP-OES) ile analiz edildi. Çalışma sonucunda, (1) genotip, çevre ve genotip-çevre etkileşmesi etkisinin, krom hariç bütün elementler için önemli olduğu ve (2) mineral kompozisyonunun, kalsiyum,

molibden, potasyum, sodyum ve fosfor içeriklerinde büyük genotip farklar ile baskın olduğu bulundu.

Settaluri, Kandala, Puppala ve Sundaram (2012) tarafından yapılan çalışmada, (1) yer fıstığının kompozisyonu, biyomolekül bileşenleri ve bunların biyolojik işlevleri açısından gözden geçirildi ve (2) yer fıstığının tüketimi ve insan metabolizması ve fizyolojisi arasındaki ilişki tartışıldı.

Thien, Wright ve Lee (2012) tarafından yapılan çalışmada, Avustralya'da farklı ortamlarda yetiştirilen 56 yer fıstığı genotipinde, 15 esansiyel element (bor, kalsiyum, kobalt, krom, bakır, demir, potasyum, magnezyum, mangan, molibden, sodyum, nikel, fosfor, selenyum ve çinko) analiz için ICP-OES ve endüktif eşlenmiş plazma kütle spektrometresinin (ICP-MS) tekniklerinin kullanımı, bir dinamik reaksiyon hücresi ile ve dinamik reaksiyon hücresi kullanmaksızın araştırıldı.

Gashti, Vishekaei ve Hosseinzadeh (2012) tarafından yapılan çalışmada, İran, Guilan'ın doğusunda üç tekrarlı yapılan deneyler ile kalsiyum ve potasyum uygulanarak bu elementlerin, yer fıstığı verimi ve verim bileşenleri üzerindeki etkisi araştırıldı. Çalışma sonucunda, (1) kalsiyum uygulamasının, çekirdek ve yağ veriminde önemli ölçüde etkili olduğu, (2) bu durumun yer fıstığı çekirdeğinin protein içeriğinde etkili olmadığı, (3) kalsiyum ve potasyum miktarının artırılması ile çekirdek veriminde de artış olduğu ve (4) kalsiyum ve potasyum içeren gübre uygulamasının yer fıstığı verimini arttıracığı bulundu.

Gad (2012), iki farklı alan deneyi ile farklı azot seviyesi altında kobalt elementinin, yer fıstığı örneklerinin nodül verimi, büyümesi, verimi, mineral kompozisyonu ve kimyasal karakteristiği üzerindeki önemi ve rolünü değerlendirdi. Çalışma sonucunda, (1) kobaltın, azot aktivitesini arttırdığı, (2) gübre uygulanmamış ürüne göre % 75 azot uygulamasına takiben % 100 azot uygulamasında, kobaltın yer fıstığı ürün parametrelerine ve büyümesine azami ölçüde pozitif yönde etkili olduğu ve (3) % 75 azot uygulamasına takiben % 100 azot uygulamasında kobaltın, yer fıstığında azot, fosfor, potasyum, mangan ve çinko seviyelerini arttırdığını gözledi.

Alaviani, Mahmoudyar, Miraftabi, Salehisormghi ve Qomi (2012) tarafından yapılan çalışmada, İran'da yetiştirilen badem, yer fıstığı, fındık, sulama suyu ve ekim yapılan toprağı örneklerinin içerdiği sodyum, potasyum, kalsiyum, mangan, krom, çinko ve demir seviyeleri AAS ile analiz edildi. Çalışma sonucunda, (1) badem örneğinin potasyum, kalsiyum, demir, çinko, sodyum, mangan ve krom derişiminin, sırasıyla, 186,04 – 216,01, 16,49 – 20,84, 10,1 – 10,9, 3,7 – 6,3, 1,68 – 4,81, 0,56 – 0,93 ve 0,12 – 0,48 mg/100 g aralığında değıştiğı, (2) yer fıstığı örneğinin potasyum, demir, sodyum, çinko, kalsiyum, mangan ve kromun ortalama derişiminin, sırasıyla, 212,7, 39,96, 8,34, 6,38, 3,84, 0,13 ve 0,44 mg/100 g olduğı ve (3) çeşitlerdeki mineral seviyelerindeki farkların, gübre, ekim yöntemleri, toprak yapısı ve jeolojik şartlar ile ilgili olduğı bulundu.

Shokunbi, Fayomi, Sonuga ve Tayo (2012) tarafından yapılan çalışmada, Nijerya'nın güney batısında yaygın olarak tüketilen yer fıstığının beş çeşidinin besleyici (β -karoten, tyamin, niasin, tokoferol, nem, kül, protein, yağ, lif ve karbonhidrat, sodyum, potasyum, kalsiyum, fosfor, magnezyum, demir, mangan, çinko, bakır, selenyum, kobalt, alüminyum, arsenik, kadmiyum ve kurşun) özelliğı araştırıldı. Çalışma sonucunda, (1) yer fıstığı çeşitlerinin nem, kül, protein, yağ, lif ve karbonhidrat içeriklerinin, sırasıyla % 4,12 – % 9,26, % 2,77 – % 3,31, % 24,26 – % 26,35, % 45,41 – % 48,14, % 2,51 – % 2,94 ve % 15,90 – % 17,75 aralığında değıştiğı, (2) β -karoten, tyamin, niasin ve tokoferol içeriklerinin sırasıyla, 63,62 – 65,35 mg/100 g, 0,73 – 0,98 mg/100 g, 14,00 – 16,03 mg/100 g ve 18,62 – 21,07 mg/100 g aralığında değıştiğı ve (3) kobalt, arsenik, kadmiyum ve kurşun gibi ağır metallerin algılanmadığı bulundu.

Akhtar, Khalid, Ahmed, Shahzad ve Suleria (2014) tarafından yapılan çalışmada, yer fıstığı yağının fizikokimyasal ve fonksiyonel özelliğı ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar gözden geçirildi.

Shi, Su, Lu, Liu ve Wang (2014) tarafından yapılan çalışmada, (1) 15 yer fıstığı çeşidinin tohumlarında kadmiyum metalinin birikmesi ve dağılımındaki genotipik değışim değılendirildi, (2) tohumlardaki ve bitki kütlelerinin yanı sıra bitkinin diğerkısımlarındaki kadmiyum birikimi arasındaki ilişki analiz edildi ve (3) tohum

bileşenlerinin, yer fıstığı çeşitleri arasındaki tohumlardaki kadmiyum birikimdeki farkları belirleyip belirlemeyeceği araştırıldı. Çalışma sonucunda yer fıstığı tohumlarındaki kadmiyum seviyesini, esas olarak kadmiyumun bitkisel dokuların yüksek biyokütelleri ile azaltılmasının ve tohumlardaki kadmiyum protein bağlanmasının belirlediği bulundu.

Janila, Nigam, Abhishek ve Kumar (2015) tarafından yapılan çalışmada, Hindistan'da 8 farklı ortamda, 64 farklı yer fıstığı genotipler ile ilgili yapılan deneyler ile yer fıstığı tohumlarındaki demir ve çinko derişimlerine ilişkin olarak genetik değişimler değerlendirildi. Çalışma sonucunda, tohumlardaki demir (33 – 68 mg/kg), çinko (44 – 95 mg/kg), protein (150 – 310 mg/g) ve yağ (410 – 610 mg/g) derişimlerine ilişkin olarak ortam ve genotip arasında önemli farklılıklar gözlemlendi.

Waliyar vd., (2015) tarafından yapılan çalışmada, Mali'de Kayes, Kita ve Kolokani bölgelerinde yer fıstığı ekim alanlarından ve ürün depolarından toplanan örneklerde, hasat öncesi ve sonrası aflatoksin analizleri yapıldı. Çalışma sonucunda, Kayes'deki yer fıstığı ürünlerinin bağıl olarak Kita ve Kolokani ürünlerine göre daha güvenli olduğu bulundu.

Çıkkılı, Samet ve Dursun (2015) tarafından yapılan çalışmada, farklı oranda bor (0, 4, 8, 16 ve 32 mg/kg) ve çinko (0, 10 mg/kg ve 20 mg/kg) ile beslenen toprakta yetiştirilen yer fıstığı cv. NC-7 çeşidinin membran geçirgenliği ve besleyici niteliği üzerindeki bor ve çinkonun etkisi araştırıldı. Çalışma sonucunda, (1) bitkinin büyümesinin bor artışı ile azaldığı, (2) çinkonun, bor etkisini azalttığı, (3) çinko uygulanmamış bitkilerde, bor ve çinko içeriğinin arttığı ve (4) bor artışının, yer fıstığı filizlerindeki fosfor, potasyum, kalsiyum, demir, bakır ve sodyum içeriğini arttırdığı bulundu.

Gulluoglu, Bakal, Onat, Sabagh ve Arioglu (2016) tarafından yapılan çalışmada, Adana Çukurova Üniversitesi Çiftliğinde farklı zamanlarda yetiştirilen 12 çeşit yer fıstığı örneklerinin yağ kalitesi ve yağ asit bileşenleri belirlendi. Çalışma sonucunda, (1) yağ içeriğinin iki yıllık ortalamasının ana hasatta % 47,55 – % 51,55 ve ikili hasatta % 43,71– % 50,48, (2) oleik asit içeriğinin, ana hasatta % 39,80 – % 81,13 ve

ikili hasatta % 39,42 – % 81,51 ve (3) linoleik asit içeriğinin, ana hasatta % 1,73 – % 36,38 ve ikili hasatta % 2,66 – % 37,72 olduğu bulundu.

Çil, Çil, Akkaya ve Şahin (2016) tarafından yapılan çalışmada, Adana ve Osmaniye’de deneme alanlarında yetiştirilen yer fıstığı genotiplerinin bazı tarımsal özellikleri belirlendi. Çalışma sonucunda, (1) yer fıstığı çeşitlerinin yağ içeriklerinin % 50,9 – % 47,2 arasında değiştiği ve (2) ICGV-88365 ve 70/1145-1/03 genotipinde en yüksek yağ içeriğinin ve M-44-A genotipinde ise en düşük yağ içeriğinin elde edildiği bulundu.

Meena, Meena ve Yadav (2016) tarafından yapılan çalışmada, 2 yer fıstığı çeşidinin (TG 37A ve GG 2) normal şartlarda ve tuzlu ortamda hasat edilen tohumları, farklı tuz seviyeli ortamda yetiştirilerek tuzlu ortamda yetiştirilen yer fıstığı tohumlarının kullanılmasının, yer fıstığı verimliliğindeki keskin azalmanın sebebi olup olmayacağı araştırıldı. Çalışma sonucunda, özellikle tuzlu şartlarda daha verimli yer fıstığı üretimi yapılabilmesi için tuzlu ortamda yetişen yer fıstığı tohumlarının tekrar kullanılmaması gerektiği vurgulandı.

Çınar, Aydınşakir, Dinç, Büyüктаş ve Işık (2016) tarafından yapılan çalışmada, buharlaşma kabında, % 0, % 25, % 50, % 75 ve % 100 buharlaşma oranı altında, su baskısının, NC-7 yer fıstığı çeşidinin stoma parametreleri (stoma yoğunluğu, eni, boyu ve indeksi) ve epidermal hücre sayısı üzerindeki etkisi belirlendi. Çalışma sonucunda su baskısının, stoma eni dışında stoma yoğunluğu, boyu ve indeksi ve epidermal hücre sayısı üzerine istatistiksel olarak etki ettiği belirlendi.

Georgievski, Kostik, Georgievska, Kochubovski ve Memeti (2016) tarafından yapılan çalışmada, 78 yer fıstığı örneklerinde nitel ve nicel toplam aflatoksin (AFB₁+AFB₂+AFG₁+AFG₂) analizi yapıldı. Çalışma sonucunda, örneklerin % 23’ünün, izin verilen sınırın üzerinde toplam aflatoksin içerdiği belirlendi.

Akkaya, Yücel, Duman, Didin, Özer ve Kola (2017) tarafından yapılan çalışmada, yağ ve çerez olarak tüketilen yer fıstığının yağ, protein ve nem oranları yakın kızılötesi spektroskopisi (NIRS) ile belirlendi. Çalışma sonucunda, (1) yer fıstığı örneklerindeki protein, yağ ve nem içeriğinin, sırasıyla % 19,90 – % 30,10, % 44,03 –

% 53,70 ve % 5,03 – % 6,16 aralığında olduğu bulundu ve (2) NIRS yönteminin, yer fıstığı ile ilgili bazı kalite parametrelerinin belirlenmesinde hızlı ve etkili bir yöntem olabileceği gösterildi.

Karpagavalli ve Raju (2017) tarafından yapılan çalışmada, yer fıstığı yaprağı örneklerinin demir, çinko ve kadmiyum içerikleri, ICP-AES ile analiz edilerek toprağın ağır metal kirliliği ve demir, çinko ve kadmiyumun zehir etkisi ve faydaları tartışıldı.

Karataşlı ve Özer (2017) tarafından yapılan çalışmada, Osmaniye ilinden toplanan 9 adet yer fıstığı örneğinin doğal olarak içerdiği radyum (^{226}Ra), toryum (^{232}Th) ve potasyum (^{40}K) radyonüklitlerinin aktivite derişimleri, yüksek saflıkta germanyum dedektörlü (HPGe) bir gama-ışını spektrometresi kullanılarak ölçüldü. Çalışma sonucunda, ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K 'in aktivite derişimlerinin, 3,1 – 7,6 Bq/kg, 3,2 – 6,6 Bq/kg ve 256,0 – 304,5 Bq/kg aralığında değiştii bulundu.

Yol, Furat, Upadhyaya ve Uzun (2018) tarafından yapılan çalışmada, Akdeniz havzasından toplanan 132 adet *hypogaea* alt çeşidi ve 124 adet *fastigiata* alt çeşidi olmak üzere toplam 256 yer fıstığı genotipi arasındaki genetik farklılıklar ve ilişkiler araştırıldı. Çalışma sonucunda, % 9,10 – % 33,98 aralığında değişen varyasyon katsayısının, incelenen bütün çeşitler arasında önemli ölçüde farklılık gösterdiği bulundu.

Bu bölümde yapılan literatür araştırmalarının değerlendirilmesinden,

(1) Türkiye’de yetiştirilen yer fıstığı çeşitlerinin içerdiği esansiyel elementlere yönelik çalışmaların çok az sayıda olduğu,

(2) Türkiye’de yetiştirilen yer fıstığı çeşitlerinin doğal olarak içerdiği radyonüklitlerin ve yer fıstığının tüketilmesi sonucunda bireylerin aldıkları yıllık etkin radyasyon dozunun değerlendirilmesine yönelik olarak tek bir çalışmanın yapıldığı,

(3) yer fıstığı örneklerinin element ve/veya ağır metal içeriklerinin, genellikle kimyasal analitik yöntemler ile belirlendiği, sadece bir çalışmada element ve/veya ağır metal analizlerinin, NAA tahribatsız analiz yöntemi kullanılarak yapıldığı ve

(4) bu tez kapsamında EDXRF spektrometresi kullanılarak yapılan çalışmanın, Adana ilinde yetiştirilen örneklerinin radyonüklit, esansiyel element ve ağır metal içeriklerinin belirlenmesi ile ilgili ilk ayrıntılı çalışma olduğu açıkça görülebilmektedir.



3. MALZEME VE ANALİZ YÖNTEMLERİ

3.1. Yer Fıstığı Örneklerinin Toplanması

Yer fıstığı örnekleri, Adana ili ve ilçelerinden (Tablo 3.1) Harita 3.1’de gösterilen noktalardan toplandı. Her bir noktadan yaklaşık 2 kg kadar toplanan 42 adet yer fıstığı örneği, plastik poşetlerde örnek hazırlama laboratuvarına getirildi. Yer fıstığı örnekleri, ilk olarak çakıl, taş vb. kalıntılardan temizlendikten sonra atmosfer ortamında kurutulmaya bırakıldı.

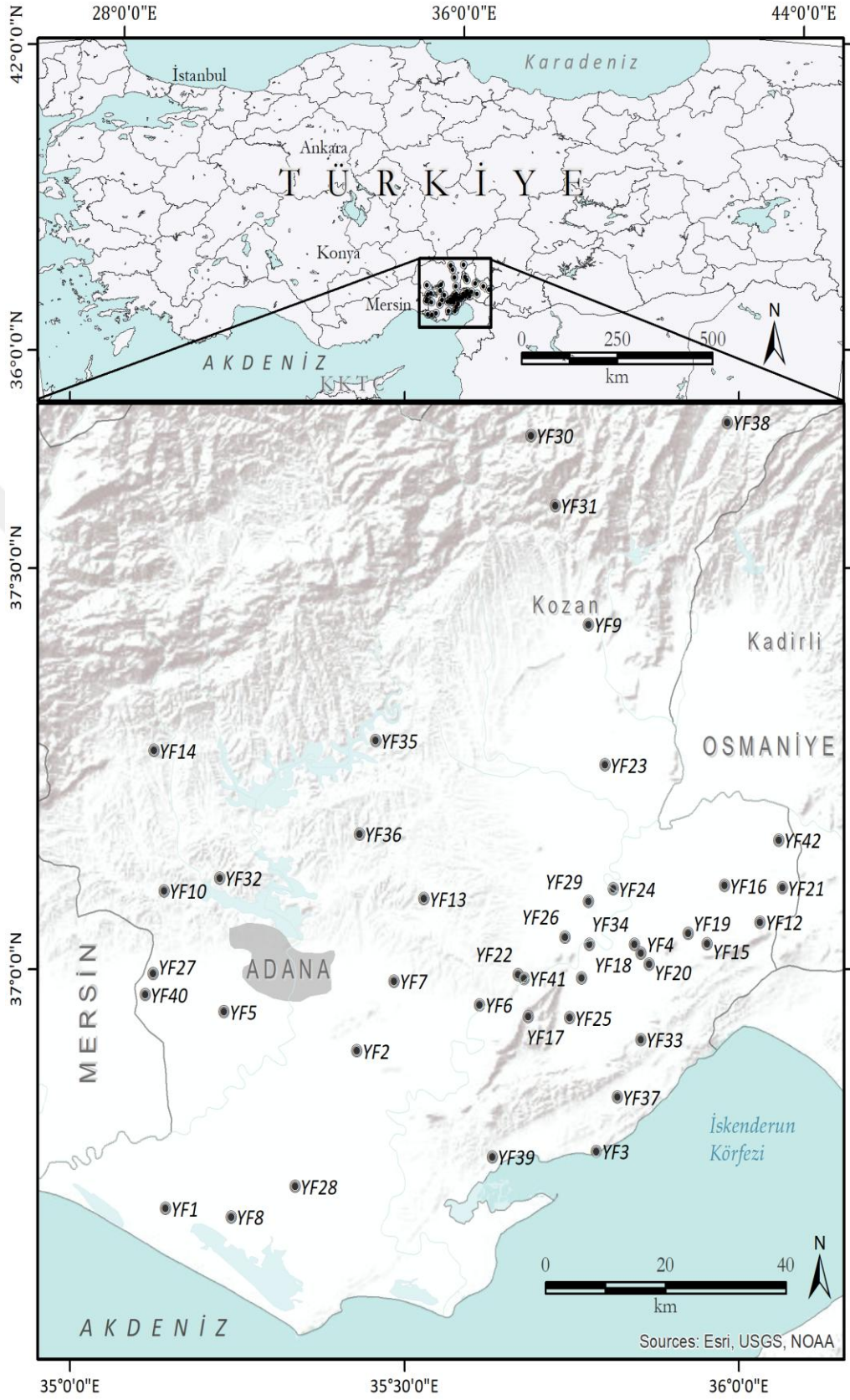
3.2. Yer Fıstığı Örneklerinin Analiz İşlemleri İçin Hazırlanması

Kabuklarından çıkarılan yer fıstığı örnekleri, gama-ışını spektrometrik ölçümlerde dedektörün kalibrasyon için kullanılan referans malzeme ile aynı geometriye sahip olabilmesi için öğütülerek toz hâline getirildi. Her bir örnek, toplandıkları yer ve noktalara ait bilgiyi içerecek şekilde YF ile kodlandı. Yer fıstığı örnekleri, nemlerinden arındırmak amacıyla 50 °C’de etüvde 3-4 saat bekletilerek kurutuldu ve kuru/yaş oranı belirlendi. Gama-ışını spektrometrik analizler için her bir yer fıstığı örneği, kalibrasyon kaynakları ile aynı boyuta sahip 5x6 cm’lik ebatlara sahip polietilen örnek kaplarına aktarıldı. Örnekler tartma işleminden geçirilerek net kütleleri belirlendi. Teflon bant ile kapak bölümleri sıkıca sarılan örnek kapları, radyum (^{226}Ra) ve bozunum ürün olan radon (^{222}Rn) arasındaki kalıcı dengeyi temin etmek için en az bir ay bekletildi.

Neminden arındırılan toz hâlindeki her bir yer fıstığı örneğinden 50 gram alındı ve agat havan takımı ile homojen hâline getirildi. Daha sonra örnekler, analiz için kullanılan enerji dağılımlı X-ışını flüoresans spektrometresindeki kalibre edilmiş pelet geometrisine uygun hâle getirmek için paslanmaz çelikten yapılmış kalıp takımına konuldu ve 20-25 ton basınç uygulanarak pelet hâline getirildi.

Tablo 3.1. Yer fıstığı örneklerinin toplandığı yerler

Örnek kodu	Örnek yerleri
YF1	Tuzla
YF2	Yüreğir
YF3	Yumurtalık
YF4	Ceyhan
YF5	Seyhan
YF6	Misis
YF7	Kürkçüler
YF8	Karataş
YF9	Kozan
YF10	Çukurova
YF11	Tokmaklı
YF12	Azizli
YF13	Sarıçam
YF14	Karisalı
YF15	Soğukpınar
YF16	Dağıstan
YF17	Kızıldere
YF18	Büyükmangıt
YF19	Hamdilli
YF20	Değirmendere
YF21	Mustafabeyli
YF22	Çakaldere Köyü
YF23	Camızağlı Köyü
YF24	Hamitbeybucağı Köyü
YF25	Yeniköy (Nazımbey Köyü)
YF26	Yılanlı köyü
YF27	Zeytinli Köyü (Seyhan)
YF28	Yüzbaşı Köyü (Karataş)
YF29	Küçükmandıt
YF30	Velcanlı Köyü (Kozan)
YF31	Kuytucak Köyü(Kozan)
YF32	Memişlü Köyü(Karisalı)
YF33	Narlık Köyü (Ceyhan)
YF34	Sarıkeçili Köyü (Ceyhan)
YF35	Sayca Köyü (İmamoğlu)
YF36	Turunçlu köyü (Kozan)
YF37	Sugözü (Yumurtalık)
YF38	Kuyubeli Köyü (Kozan)
YF39	Deveciüşağı Köyü (Yumurtalık)
YF40	Gökçeler Köyü (Seyhan)
YF41	Çakaldere Köyü (Ceyhan)
YF42	Burhanlı Köyü (Ceyhan)



Harita 3.1. Yer fıstığı örnek noktaları

3.3. Analiz Yöntemleri

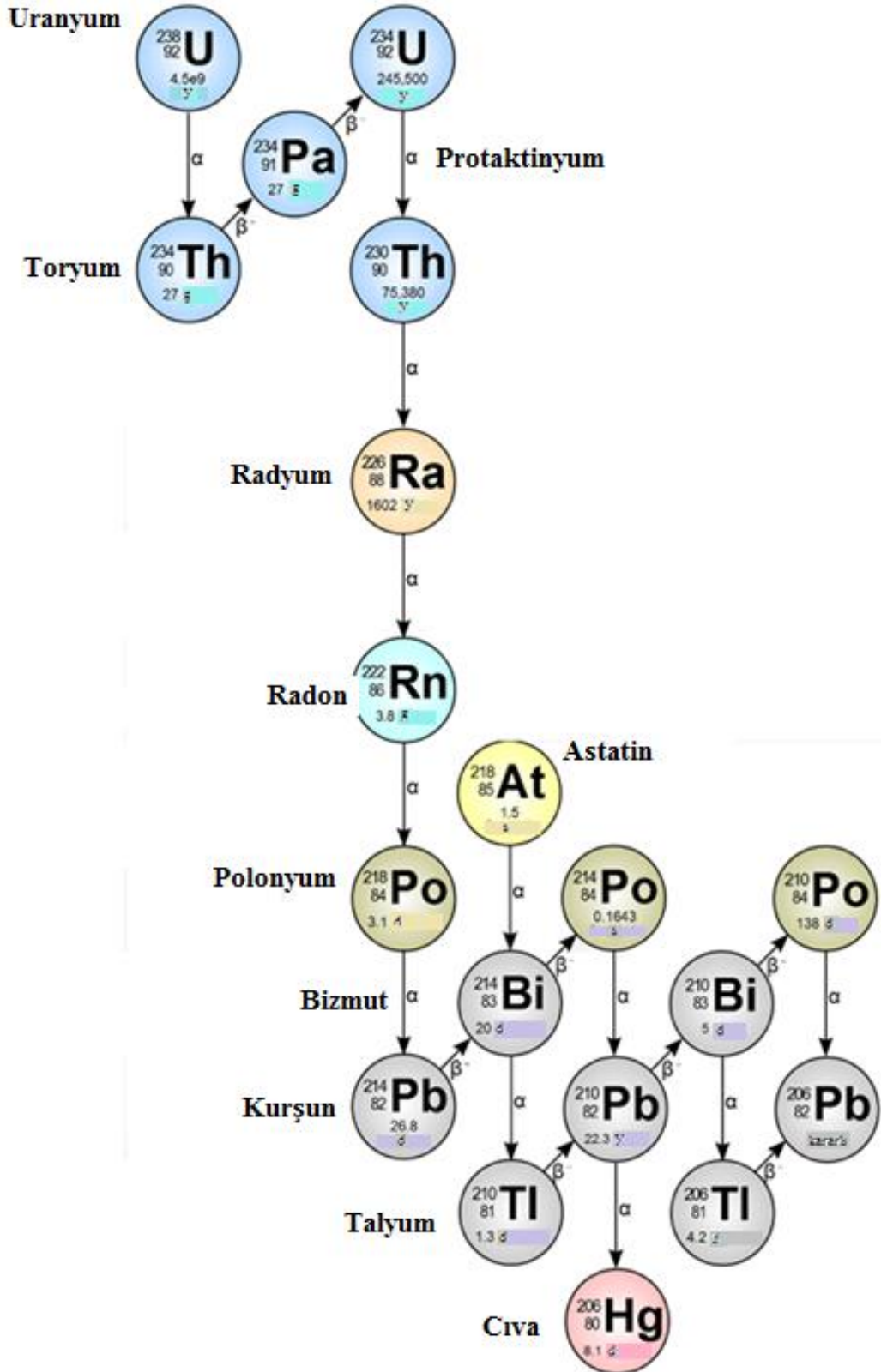
Tez kapsamında, yer fıstığı örneklerinin doğal olarak içerdiği (1) radyonüklitlerin (^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K) aktivite derişimleri (seviyeleri), gama-ışını spektrometrik yöntem ve (2) ana element ve/veya ağır metal seviyeleri ise X-ışını spektrometrik yöntem kullanılarak belirlendi. Bu kısımda, doğal radyasyon kaynakları, iyonlaştırıcı radyasyon ve madde ile etkileşmesi, analiz yöntemleri ve kullanılan spektrometrelere ilişkin özlü bilgi verildi. Daha ayrıntılı bilgi için okuyucular kaynaklara yönlendirildi.

3.3.1. Doğal Radyasyon Kaynakları

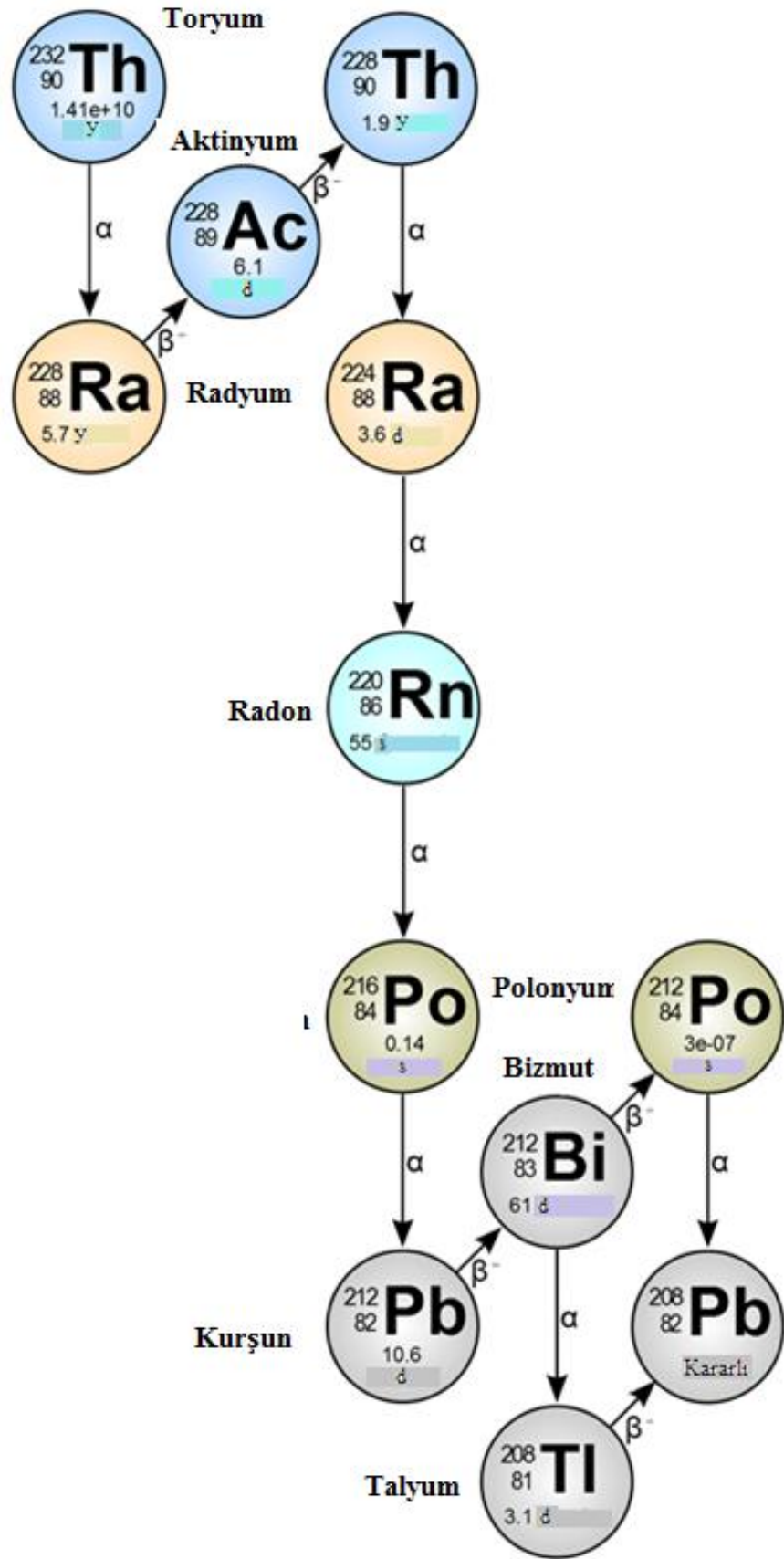
Doğal iyonlaştırıcı radyasyon kaynakları, uzay ve yer kabuğu kökenli olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır (UNSCEAR, 2000; Temirci, 2017). Yer kabuğu kökenli radyonüklitler, uranyum (^{238}U), toryum (^{232}Th) ve aktinyum (^{235}U) doğal radyoaktif serilerine ait radyonüklitlerden ve potasyum (^{40}K) vb. radyonüklitlerden oluşmaktadır. Aktinyum serisindeki radyonüklitlerin, bireylerin maruz kaldıkları radyasyon dozuna olan katkıları düşük seviyededir (UNSCEAR, 2000; Temirci, 2017). Uranyum (Şekil 3.1) ve toryum (Şekil 3.2) doğal radyoaktif serilerine ait radyonüklitler ile radyoaktif potasyum, bozunum süreçlerine (alfa, beta ve gama bozunumu) bağlı olarak alfa-, beta- ve gama-ışını gibi iyonlaştırıcı radyasyon yayınlamaları.

3.3.2. İyonlaştırıcı Radyasyon

Radyasyon, enerjinin parçacık veya elektromanyetik dalga şeklinde uzayda yayılması veya taşınması olarak tarif edilebilir (Temirci, 2017). Radyasyon, etkileşmesine göre iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan olmak üzere ikiye ayrılır. Etkileştiği maddenin içerdiği atom veya molekülün dış yörüngesinden bir elektron koparmak için yeterli enerjiye sahip radyasyon, iyonlaştırıcı radyasyon olarak tanımlanır (Krane, 1987; Temirci, 2017). Alfa, beta vb. yüklü parçacıklar, doğrudan iyonlaştırıcı tanecik radyasyonu olarak bilinirken elektromanyetik spektrumun yüksek frekans bölgesinde yer alan elektromanyetik dalga özelliğine sahip X- ve gama-ışınları yükü olmayan dolaylı iyonlaştırıcı radyasyon olarak bilinir.



Şekil 3.1. Uranyum (^{238}U) radyoaktif serisi ve radyoaktif bozunum tipleri



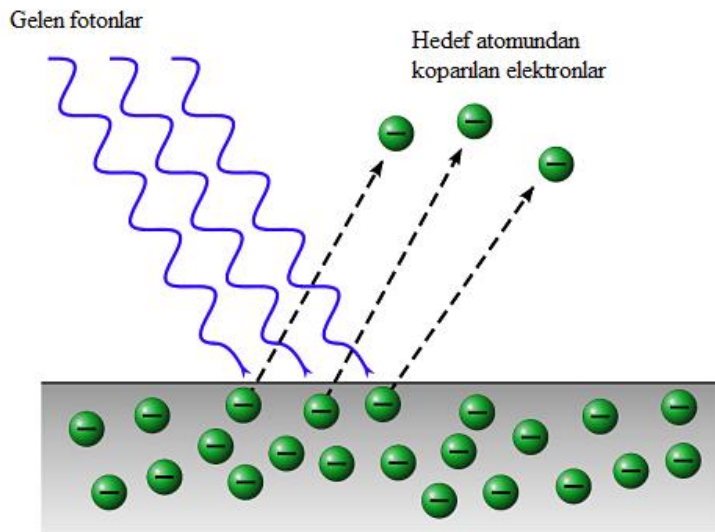
Şekil 3.2. Toryum (^{232}Th) radyoaktif serisi ve radyoaktif bozunum tipleri

3.3.3. Elektromanyetik Radyasyonun Madde ile Etkileşmesi

Hem X-ışını hem de gama-ışını spektrometresinde kullanılan radyasyon dedektörünün çalışma ilkesi, algılanacak ve/veya ölçülecek radyasyonun, dedektör malzemesi ile etkileşmesine bağlıdır. Bu sebeple bir dedektörün vereceği tepkinin anlaşılabilmesi için radyasyonun dedektör ile etkileştiği ve bu etkileşme sonucunda radyasyonun, dedektörü oluşturan ortam içinde enerji kaybettiği süreçlerin iyi bilinmesi gereklidir.

X-ışınları (frekans aralığı: 10^{16} Hz- 10^{20} Hz) ve gama ışınları (frekansları $> 10^{20}$ Hz), elektromanyetik spektrumun yüksek frekans aralığında yer almaktadır. X- ve gama-ışınlarının, madde ile birçok sayıda mümkün etkileşme süreçleri bilinmesine rağmen radyasyon ölçümlerinde, fotoelektrik, Compton saçılması ve çift oluşumu olarak bilenen üç etkileşme süreci büyük bir rol oynamaktadır. Bu etkileşme süreçlerinde, X- ve gama-ışını fotonlarının enerjisinin bir kısmı veya tamamı elektrona aktarılır.

Fotoelektrik olayında, bir foton, soğurucu malzemeyi oluşturan atomlar ile etkileşmeye maruz kalır. Fotoelektrik süreç sonucunda, enerjisi tamamen soğurulan fotonun yerini soğurucu atomun dış yörüngesinden fırlatılan enerjik foto-elektron alır (Temirci, 2017). Fotoelektrik olay, Şekil 3.3'te gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Fotoelektrik olayı (Temirci, 2017)

Yeterli enerjiye sahip X- ve gama-ışınları için foto-elektron, atoma en zayıf şekilde bağlı K-kabuğundan fırlatılan elektrondur ve foto-elektronun enerjisi,

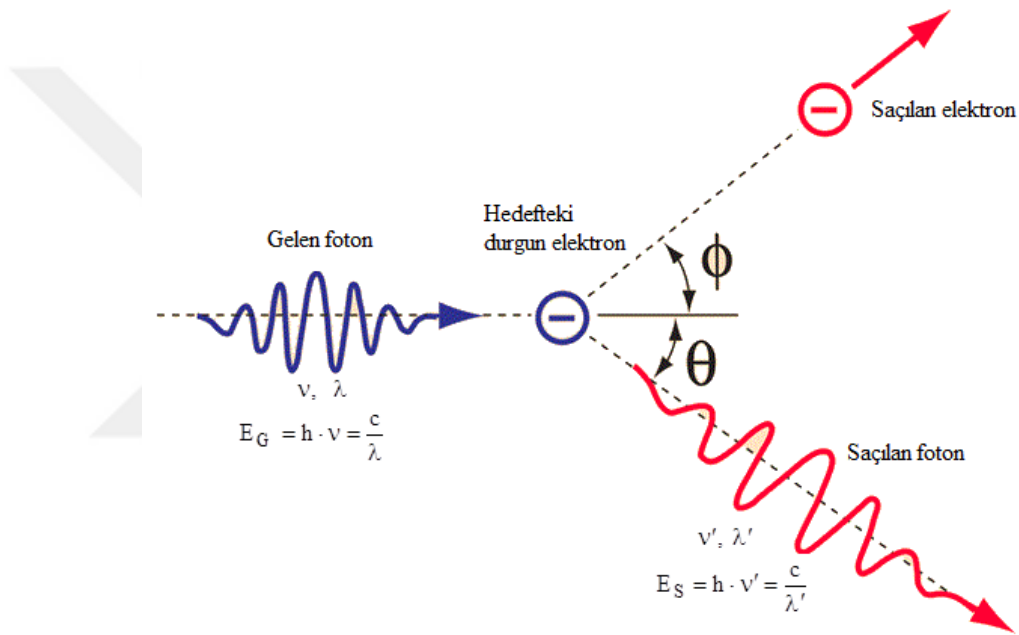
$$E_e = hv - E_b \quad (3.1)$$

bağıntısı ile verilir. Burada, h, Planck sabiti; v, gelen ışının frekansı ve E_b : Foto-elektronun bağlanma enerjisidir. Birkaç yüz keV'den daha büyük enerjili gama- ve X-ışınları için foto-elektronlar, orijinal foton enerjisinin büyük bir kısmına sahip olur. Foto-elektrona ilave olarak etkileşme aynı zamanda elektron tabakasında boşluk olan iyonlaşmış soğurucu atomu da meydana getirir. Bu elektron boşluğu, ortamdaki serbest bir elektronun yakalanması ve/veya atomunun elektron tabakalarındaki elektronların yeniden düzenlenmesi ile hızlı bir şekilde doldurulur ve sonuç olarak bir veya daha fazla karakteristik X-ışınları yayınlanabilir. Birçok durumda, bu X-ışınları fotoelektrik soğurma ile en yakın bölgede tekrar soğurulmasına rağmen bunların hareketi ve radyasyon dedektörlerinde olası kaçışları dedektör tepkisini etkileyebilir. Bu durumların bazı bölümlerinde, bir Auger elektron yayınlanması, karakteristik X-ışının yerini alabilir. Fotoelektrik etki, bağıl olarak düşük enerjili X- ve gama-ışınları için baskın bir etkileşme sürecidir. Süreç, aynı zamanda atom sayısı yüksek soğurucular için de etkilidir. Bir fotonun fotoelektrik soğurmaya maruz kalma ihtimali, fotoelektrik tesir kesiti (τ) olarak tanımlanabilir. Bütün X- veya gama-ışını enerjilerini ve atom sayısını kapsayacak şekilde atom başına fotoelektrik soğurma ihtimali için geçerli tek bir analitik tanım olmamakla birlikte kaba bir yaklaşım,

$$\tau \cong \text{sabit} \times \frac{Z^n}{E_{\gamma,X}^{3,5}} \quad (3.2)$$

bağıntısı ile verilebilir (Knoll, 2000; Temirci, 2017). Burada, Z, atom sayısı; E, gelen X- ve gama-ışının enerjisidir ve n, ilgilenilen gama-ışını ile ilgili olarak 4-5 aralığında değişmektedir. Fotoelektrik soğurma ihtimalinin soğurucunun atom sayısına keskin bağımlılığı, atom sayısı yüksek olan soğurucu malzemelerin X- ve gama-ışını kaynaklarının zırhı için etkin bir şekilde tercih edilme sebebidir.

Compton saçılması süreci, gelen X- veya gama-ışını ile soğurucu malzemenin atomundaki bir elektron arasında gerçekleşir. Compton saçılması, Şekil 3.4'de gösterilmektedir. Compton saçılmasında, gelen foton orijinal yönüne (geliş açısına) göre bir θ açısı ile saçılır. Foton enerjisinin bir kısmını başlangıçta hareketsiz olarak kabul edilen elektrona aktararak onun da bir ϕ açısı ile saçılmasını sağlar. Saçılmalar bütün açılarda mümkün olduğundan elektrona aktarılan enerji, sıfırdan X- veya gama-ışını enerjisinin önemli bir kısmına kadar değişebilir (Knoll, 2000; Temirci, 2017).



Şekil 3.4. Compton saçılması (Temirci, 2017)

Enerji aktarımı ile ilgili ifade ve verilen herhangi bir etkileşim için saçılma açısı enerji ve momentum korunumu formülleri ile kolayca elde edilebilir. Saçılan fotonun enerjisi,

$$h\nu' = \frac{h\nu}{1 + \frac{h\nu}{m_0 \cdot c^2} (1 - \cos\theta)} \quad (3.3)$$

bağıntısı ile verilir. Burada, $h\nu'$, saçılan fotonun enerjisi; ν' , saçılan fotonun frekansı, $h\nu$, gelen fotonun enerjisi; ν , gelen fotonun frekansı; m_0c^2 , elektronun durgun kütle

enerjisi (0,511 MeV) ve θ , gelen fotonun geliş açısına göre saçılma açısıdır. Compton kayması ($\Delta\lambda$) olarak bilinen saçılan fotonun dalga boyu (λ_S) ile gelen fotonun dalga boyu (λ_G) arasındaki fark,

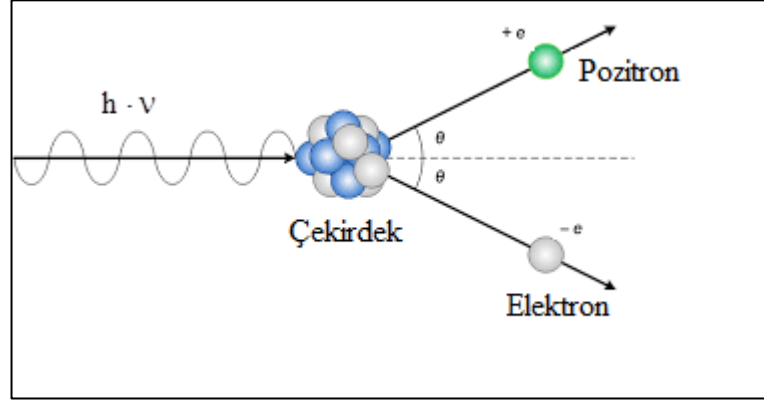
$$\lambda_S - \lambda_G = \Delta\lambda = \frac{h}{m_0 \cdot c} (1 - \cos \theta) \quad (3.4)$$

bağıntısı ile verilir. Soğurucu malzemenin içerdiği atom başına Compton saçılma ihtimali, hedef atomlarının elektron sayısına bağlıdır ve bu yüzden atom numarası Z ile doğru orantılı olarak artar (Temirci, 2017).

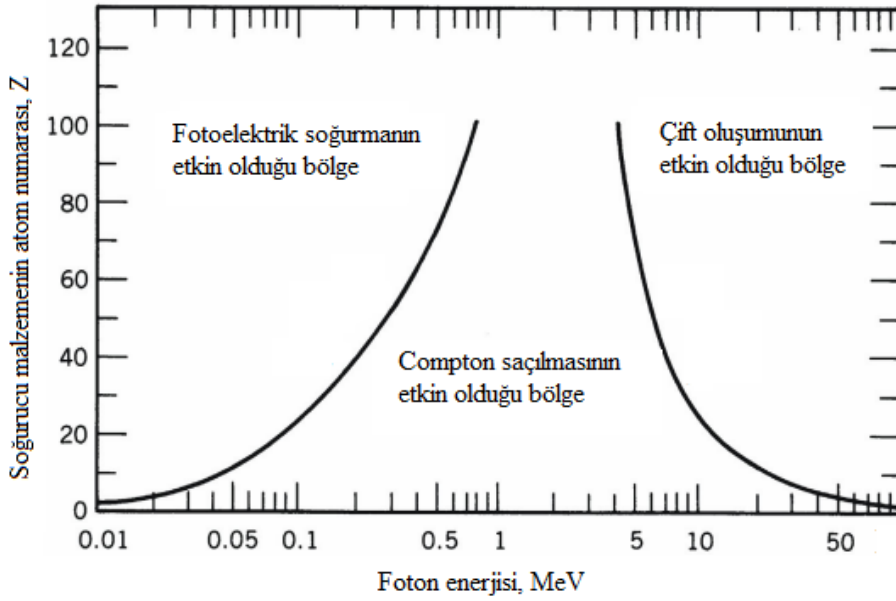
Çift oluşumu, foton ile madde etkileşmesinde üçüncü önemli süreçtir. Gelen fotonun enerjisi bir elektronun durgun kütle enerjisi olan 0,511 MeV'den iki kat daha büyükse ($>1,02$ MeV), çift oluşumu sürecinin meydana gelmesi enerjik olarak mümkündür. Uygulamada, bu etkileşmenin olma ihtimali, foton enerjisi birkaç MeV'e yaklaşıncaya kadar çok düşüktür ve bu yüzden çift oluşumu baskın olarak yüksek enerjili fotonlar için etkindir (Knoll, 2000; Temirci, 2017). Çift oluşumu, Şekil 3.5'te gösterilmektedir. Bir çekirdeğin Coulomb alanında meydana gelmesi gereken etkileşme sürecinde, X- veya gama-ışını fotonu, yerini bir elektron-pozitron çiftine bırakarak kaybolur. Çift oluşumu için gerekli olan 1,02 MeV enerjiden daha büyük enerjili fotonun sahip olduğu fazla enerjinin tamamı pozitron ve elektron tarafından paylaşılacak şekilde kinetik enerjiye dönüşür. Pozitron, soğurucu ortamda bir elektronla birleşerek yok olmak suretiyle yok olma radyasyonu olarak bilinen ve X- ve gama-ışını dedektörlerinde önemli rol oynayan her birinin enerjisi 0,511 MeV olan iki gama-ışınına dönüşür. Çekirdek başına çift oluşumu ihtimalini veren basit bir formül olmamakla birlikte ihtimalin büyüklüğü, soğurucu malzemenin atom sayısını karesi ile değişmektedir (Knoll, 2000; Temirci, 2017).

Yukarıda sözü edilen üç etkileşme sürecinin farklı soğurucu malzemeler için izafi önemi veya hangi enerji aralıklarında etkili olabildikleri Grafik 3.1'de verilmektedir. Grafik 3.1'de gösterilen sol taraftaki çizgi, fotoelektrik soğurma ile Compton saçılması ihtimallerinin, soğurucu malzemenin atom sayısına bağlı olarak eşit olduğu enerji değeridir. Sağ taraftaki çizgi ise, Compton saçılması ile çift oluşumu

ihtimallerinin, soğurucu malzemenin atom sayısına bağlı olarak eşit olduğu enerji değeridir (Temirci, 2017).



Şekil 3.5. Çift oluşumu

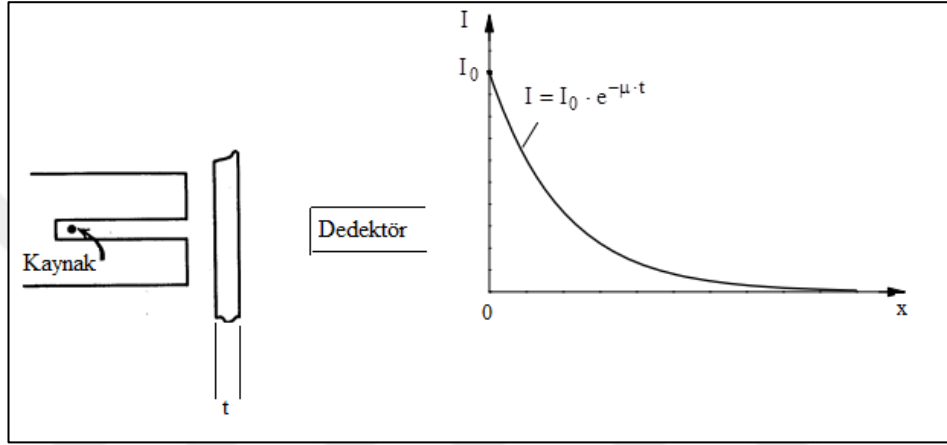


Grafik 3.1. Foton etkileşmesinin bağlı önemi (Knoll, 2000; Temirci, 2017)

Compton saçılmasına ilave olarak saçılmanın diğer bir tipi de X- veya gama-ışını fotonunun bağdaşık (uyumlu) olarak soğurucu malzemenin içerdiği atom elektronlarının tamamı ile etkileşmesidir. Etkileşme sonucunda herhangi bir elektron uyarılmasının veya iyonlaşmanın olmadığı bu süreç, Rayleigh saçılması veya bağdaşık (coherent) saçılma olarak bilinir. Bununla birlikte meydana gelme ihtimali, tipik olarak birkaç yüz keV düşük enerjili fotonlar için önem kazanan ve atom numarası

yüksek olan soğurucu malzemelerde belirgin olan bu saçılma sürecinde, fotonun yönü değişmektedir (Temirci, 2017).

Dar demet hâlinde kolime edilmiş tek enerjili X- veya gama-ışınlarının, Şekil 3.6'daki gibi t kalınlığında soğurucu malzemenin içinden geçtikten sonra dedektör üzerinde düştüğü kabul edildiğinde, X- veya gama-ışınlarının şiddeti, Şekil 3.6'nın sağ tarafındaki grafikte gösterildiği gibi üstel olarak zayıflar.



Şekil 3.6. X- ve gama-ışını şiddetinin üstel zayıflaması (Knoll, 2000; Temirci, 2017)

Yukarıda sözü edilen etkileşme süreçlerinden her biri, soğurma veya saçılma yolu ile X- veya gama-ışını fotonunu demetten uzaklaştırır ve bu durum, soğurucu kalınlık içinde alınan birim yol uzunluğu başına meydana gelme ihtimali ile karakterize edilebilir (Knoll, 2000). Bu ihtimallerin toplamı, basitçe X- veya gama-ışını fotonunun demetten uzaklaştırıldığı birim yol uzunluğu başına ihtimaliyettir ve

$$\mu = \tau \text{ (fotoelektrik)} + \sigma \text{ (Compton)} + \kappa \text{ (çift oluşumu)} \quad (3.5)$$

bağıntısı ile verilir. Burada, μ , doğrusal zayıflatma katsayısı; τ , fotoelektrik olma ihtimali; σ , Compton saçılması olma ihtimali ve κ , çift oluşum olma ihtimalidir. Böylece, yüzden geçen fotonların sayısının, başlangıçtaki (bir soğurucu olmadan) foton sayısına oranı,

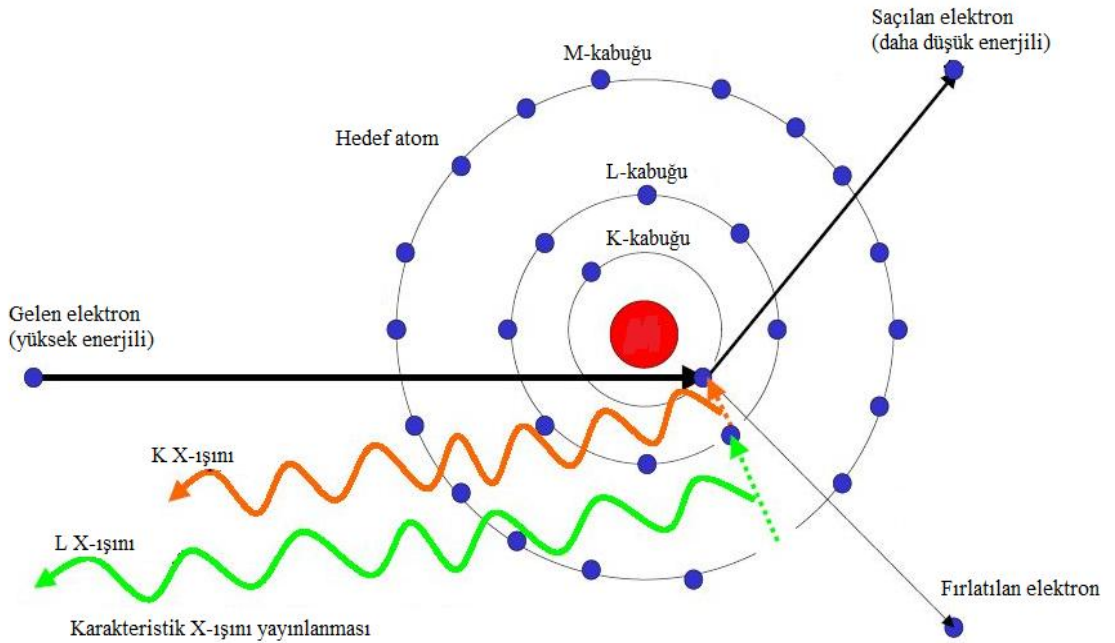
$$\frac{I}{I_0} = \exp(-\mu \cdot t) \quad (3.6)$$

bağıntısı ile ifade edilir. Burada, I , malzeme içinden geçen ışının şiddeti ve I_0 , başlangıçtaki ışının şiddetidir.

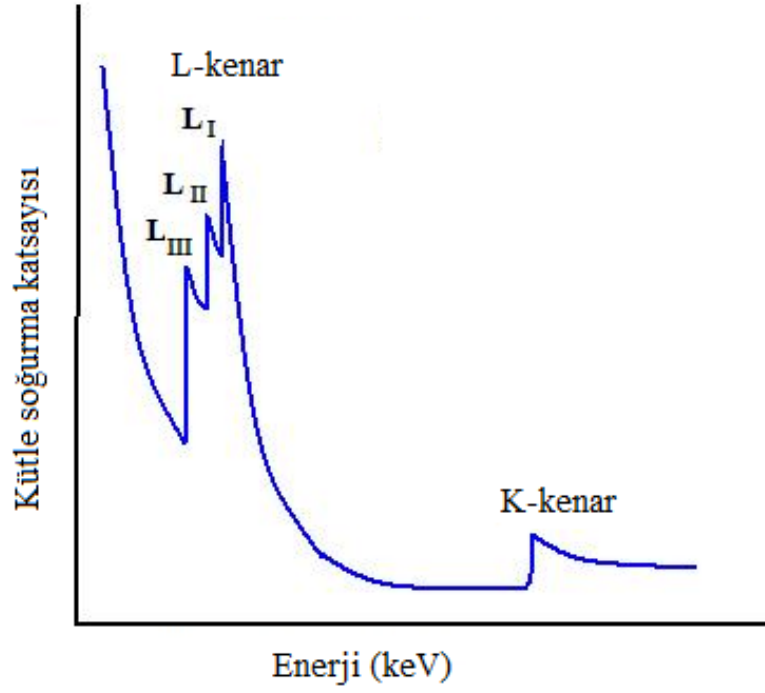
3.3.4. Karakteristik X-ışınlarının Oluşumu

Atom çekirdeğinden dışa doğru elektronların bulunduğu kabuklar (tabakalar), K-kabuğu, L-kabuğu, M-kabuğu vb. olarak isimlendirilir (Yıldırım, 2018). L-kabuğu, L_I , L_{II} ve L_{III} olmak üzere üç alt kabuğa sahip iken M-kabuğu, M_I , M_{II} , M_{III} , M_{IV} ve M_V olmak üzere 5 alt kabuğa sahiptir. K-kabuğu 2, L-kabuğu 8 ve M-kabuğu 18 elektron içermektedir. Bir elektronun enerjisi, yer aldığı kabuğa ve ait olduğu elemente bağlıdır. X-, gama-ışını fotonu, yeterli enerjiye sahip elektronlar vb. enerjik parçacık veya elektromanyetik radyasyon hedef maddenin atomlarıyla etkileştiğinde, atomdan elektron(lar) koparır (Şekil 3.7). Bu durumda, elektronun koparıldığı kabukta, örneğin K-kabuğunda bir boşluk oluşur ve kararsız atom daha yüksek enerjili seviyeye uyarılmış olur. Atom uyarılmış durumdan kararlı durumuna (ilk durumuna) gelebilmek için meydana gelen elektron boşluğu daha dış kabuktaki (örneğin L-kabuğundaki) elektron ile doldurulur. K-kabuğuna göre daha yüksek enerjili L-kabuğundaki elektronun K-kabuğuna dönmesi sonucunda, fazla enerji karakteristik X-ışını fotonu olarak yayınlanır ve spektrumda bu bir çizgi olarak görülür. Yayınlanan X-ışınının enerjisi, ilk boşluğun yer aldığı kabuk ile boşluğun doldurulduğu kabuk arasındaki enerji farkına (örnek olarak K-kabuğu ile L-kabuğunun enerjileri arasındaki fark) bağlıdır. Her bir atom kendisine özgün enerji seviyelerine sahip olduğundan, yayınlanan radyasyon da, ilgili atomun bir karakteristiğidir. Elektron tabakalarında farklı boşluklar oluşabildiği ve bu boşluklarda farklı elektronlar tarafından doldurulabildiğinden, atom tek bir enerjiden (veya bir çizgiden) daha fazlasını yayımlar. Yayınlanan çizgiler, elementin karakteristiğidir ve elementin parmak izi olarak da kabul edilebilir (Yıldırım, 2018; Brouwer, 2013). Bir atomdan bir elektronun koparılması için gelen radyasyonun (veya ışının), elektronun bağlanma enerjisinden daha büyük bir enerjiye sahip olması gerekir. Eğer elektron koparılırsa, gelen radyasyon soğurulur ve yüksek soğurulma yüksek flüoresans oluşturur. Diğer taraftan enerji çok yüksekse, fotonların çoğu atomdan soğurulmadan geçer sadece birkaç elektron koparılır. Yüksek enerjilerin keskin bir şekilde soğurulduğu ve düşük flüoresans oluşturduğu Şekil 3.8'de gösterilmektedir. Gelen

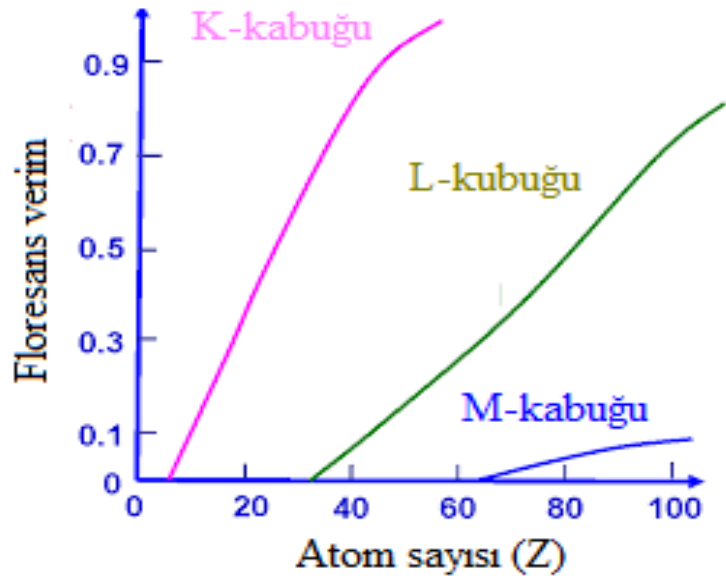
fotonların enerjisi daha düşük olursa ve K-kabuğu elektronlarının bağlanma enerjisine yakın gelirse, radyasyonun daha fazlası soğurulur. En yüksek verim, foton enerjisinin koparılacak elektronun bağlanma enerjisinin biraz üzerinde olduğu zaman elde edilir. Gelen fotonların enerjisi, bağlanma enerjiden daha küçük olduğunda, Şekil 3.8’de görüldüğü gibi K-kabuğuna karşılık gelen K-kenarı ve L-kabuğuna karşılık gelen L-kenarı gibi bir kenar görülebilir (Brouwer, 2013; Yıldırım, 2018). Gelen radyasyonun sebep olduğu başlangıçtaki boşlukların tamamı, flüoresans fotonlarını oluşturmayabilir. Bu durumda, Auger etkisi ile Auger elektronu yayınlanır. Flüoresans verimi, yayınlanan flüoresans fotonlarının başlangıçtaki boşluk sayısına oranı olarak tarif edilir. K-, L- ve M-kabukları için flüoresans verimlerinin, atom sayısı Z ’nin fonksiyonu olarak nasıl değiştiği, Şekil 3.9’da gösterilmektedir. Hafif elementler için flüoresans verimi düşük olduğundan, hafif elementlerin ölçülmeleri diğerlerine göre daha zordur. Farklı çizgileri göstermenin birkaç yolu vardır. Seigbahn notasyonu literatürde kullanılan notasyonlardan biridir. Seigbahn notasyonu, element sembolünü takip eden kabuk ismi ile bir çizgiyi gösterir. İlk elektron boşluğu, bağıl olarak çizgi şiddetine de işaret eden Yunan harfleri (α , β , γ vb.) ile gösterilir. Örneğin Fe $K\alpha$, K-kabuğundan koparılan bir elektron sebebiyle en kuvvetli demir çizgisidir. Geçişler ve bunlara eşlik eden notasyonlar, Şekil 3.10’da gösterilmektedir (Brouwer, 2013; Yıldırım, 2018).



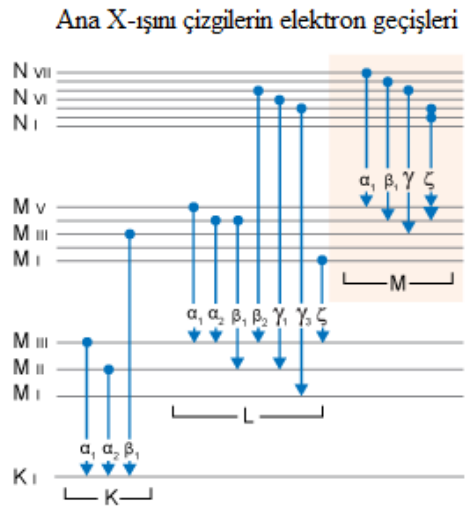
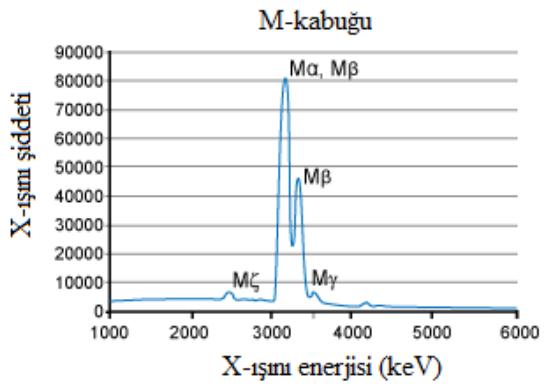
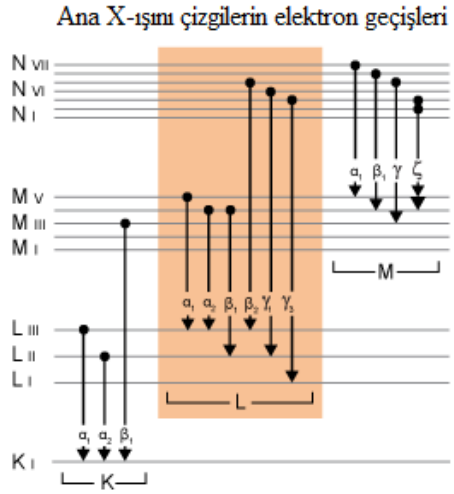
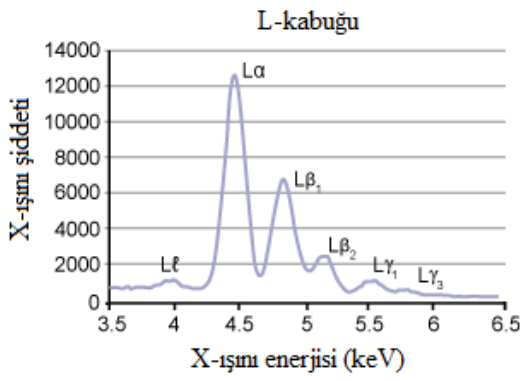
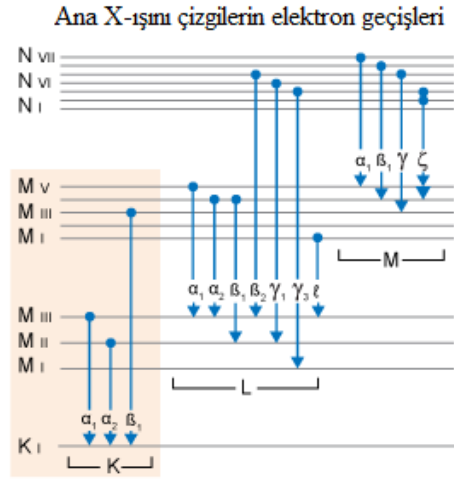
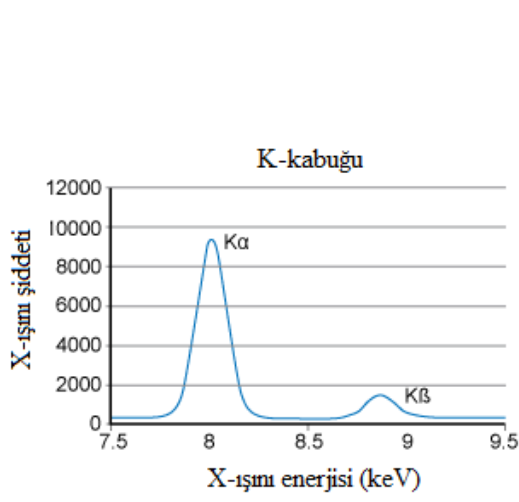
Şekil 3.7. Karakteristik X-ışınının oluşması (Brouwer, 2013; Yıldırım, 2018)



Şekil 3.8. Enerjiye karşı soğurulma (Brouwer, 2013; Yıldırım, 2018)



Şekil 3.9. K, L ve M elektronları için flüoresans verim (Yıldırım, 2018)



Şekil 3.10. Ana çizgiler ve elektron geçişleri (Yıldırım, 2018)

3.3.5. X- ve Gama-ışını Spektrometrik Yöntem

İkinci bölümde de ifade edildiği gibi çevre ve gıda (toprak, kayaç, su, hububat, baklagiller vb.) örneklerinin içerdiği elementlerin ve/veya ağır metallerin milyarda bir (ppb veya $\mu\text{g}/\text{kg}$) hassasiyetteki derişimleri (seviyeleri) genelde, FAAS, GAAS, ICP-AES, ICP-OES, ICP-MS vb. kimyasal analiz yöntemleri kullanılarak belirlenmektedir. Bununla birlikte çok az da olsa NAA ve X-ışını flüoresans (XRF) gibi tahribatsız analiz yöntemlerinin de kullanıldığı görülmektedir. Bu yöntemlerin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları vardır. Kimyasal analiz yöntemleri, ölçme işlemlerinden önce zor ve zaman alabilen örnek hazırlama süreçlerini gerektirirken tahribatsız analiz yöntemleri, asgari düzeyde örnek hazırlama işlemini gerektirmektedir (Yıldırım, 2018).

Bu çalışmada, ana (esansiyel) element ve/veya ağır metal içerikleri, güvenilir, hızlı, kesinliği ve tekrarlanabilirliği çok yüksek bir analiz yöntemi olan XRF spektrometrik analiz yöntemi kullanılarak belirlendi (Shackley, 2011; Grieken ve Margui, 2013; Brouwer, 2013; Yıldırım, 2018). Radyonüklitlerin aktivite derişimleri ise doğrudan, tahribatsız, hızlı, güvenilir bir yöntem olan gama-ışını spektrometresi kullanılarak belirlendi (Knoll, 2000). X- ve gama-ışını spektrometreleri genelde kaynak, dedektör, dedektör zırhı, yüksek gerilim kaynağı, ön yükselteç, yükselteç, analog-sayısal dönüştürücü (ADC), çok kanallı analizör veya bilgisayar ve yazıcıdan oluşur (Temirci, 2017; Yıldırım, 2018). Son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte yükselteç ve ADC'nin yerine sayısal sinyal işleme (DSP, digital signal processing) elektroniği almıştır. Bu sistemin fonksiyonu, elektrik sinyal darbelerini oluşturan elektronları toplamak, bu darbeleri işlemek ve yüksekliğe veya enerjiye göre sıralamaktır. Gama-ışını spektrometresinde kaynak, gama-ışını yayınlayan radyonüklitleri içeren örnek (analiz edilecek) oluştururken, XRF spektrometrelerinde, kaynak olarak ^{241}Am gibi radyoaktif kaynak, sinkrotron radyasyonu ve genellikle X-ışını tüpü kullanılmaktadır.

X- veya gama-ışınlarının etkileşerek elektronları oluşturduğu ortam olarak bilinen dedektör, spektrometrenin en önemli kısmıdır. XRF spektrometrelerinde ise Si(Li) veya Si yarı iletken dedektörler kullanılmaktadır. Gama-ışını spektrometrelerinde

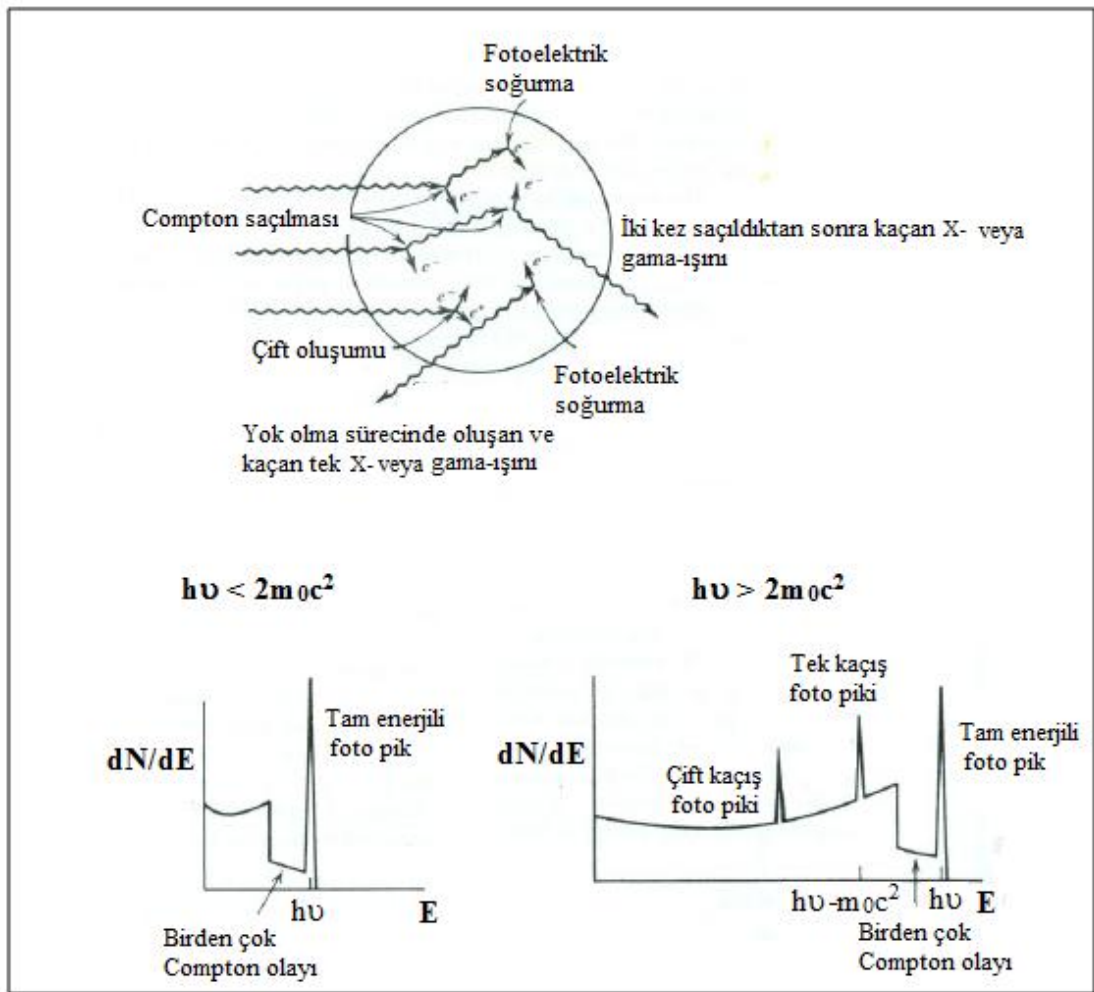
NaI(Tl), CsI(Tl), Li(Eu), BGO, ZnS(Ag), CaF₂(Eu) vb. inorganik sintilasyon dedektörleri veya yarı iletken dedektörler kullanılmaktadır. Ancak, yaygın olarak NaI(Tl) veya HPGe dedektörleri kullanılmaktadır (Temirci, 2017). NaI(Tl) dedektörlerinin algılama verimi yüksek ancak ayırma gücü zayıf ve HPGe dedektörünün ayırma gücü yüksek ancak algılama verimi düşüktür (Knoll, 2000). HPGe dedektörlerinin performansı, uzun süreden beri denenmiş ve uluslararası standartlar ile onaylanmıştır (Knoll, 2000; Temirci, 2017). Gama-ışını fotonlarının algılanması ve ölçülmesine yönelik olarak uygun çözünürlük ve algılama verimi, bir HPGe dedektörünün, 4000 volta kadar bir geri besleme geriliminde çalıştırılması ve 77 K sıcaklıktaki sıvı azot sıcaklığında tutulması ile temin edilmektedir (Knoll, 2000; Temirci, 2017). Sıvı azotun kullanılması aynı zamanda ısıl uyarılma ile sonuçlanabilecek elektronik gürültüyü en aza indirgeyebilir. X- veya gama-ışının algılanması ve ölçülmesi, dedektör malzemesi ile etkileşme sürecine dayanır. Dedektörün boşaltım bölgesinde oluşan yük taşıyıcılar, foton ile dedektör malzemesi arasındaki fotoelektrik, Compton saçılması ve çift oluşumu süreci sonucunda oluşur. Bu etkileşme süreçleri ve süreç sonucunda meydana gelen fotopiklerin oluşturduğu X- veya gama-ışını spektrum, Şekil 3.11’de gösterilmektedir.

Bir dedektör sisteminin duyarlılığı, doğrudan dedektör verimi ile orantılıdır. Verim, bir kaynaktan yayınlanan belli sayıdaki X- veya gama-ışınlarından kaç tanesinden elektrik darbesi meydana geldiğinin bir ölçüsüdür. Dolayısıyla verim, karakteristik X- ışını veya bir radyoaktif kaynaktan yayınlanan gama-ışını fotonlarının dedektörde bir olay oluşturma kesridir ve verim (ϵ),

$$N = \epsilon \cdot A \quad (3.7)$$

bağıntısı ile verilir. Burada, A, kaynağın aktivitesi ve N, dedektörde meydana gelen olay sayısıdır. Bir HPGe dedektörü için mutlak verim, kristal özgül (intrinsic) verim, bağıl (relative) verim ve tam enerjili fotopik verimi olmak üzere dört farklı verim söz konusudur. Bağıl verim, HPGe dedektörlerinin tam enerjili fotopik veriminin, genelde, 7,62 cm x 7,62 cm ebadındaki NaI (Tl) sintilasyon dedektörüne 25 cm’lik mesafede bulunan bir ⁶⁰Co kaynağından yayınlanan 1,33 MeV enerjili gama-ışınının tam enerjili fotopik verimine göre belirlenir. Tam enerjili fotopik verimi, gama-

ışınına ilişkin bir darbe veriminden ziyade sadece tam enerjili darbeler için oluşan verimdir. Bir dedektörün fotopik verimi, dedektör ile etkileşen gama-ışını fotonunun enerjisine bağlıdır. Tam enerjili fotopik verim kalibrasyonu, kaynak-dedektör uzaklığına, radyoaktif standart kaynağın geometrisine bağlıdır. Bir dedektörün tam enerjili fotopik verim kalibrasyonu, nükleer verileri (yarılanma süreleri, aktiviteleri, gama-ışını yayınlanma ihtimalleri) bilinen standart veya referans radyoaktif kaynaklar kullanılarak istenen enerji aralığında, gama-ışını enerjilerinin bir fonksiyonu olarak doğrudan deneysel ölçmeler sonucunda belirlenir.



Şekil 3.11. X- veya gama-ışını etkileşme süreçleri ve fotopik oluşumu

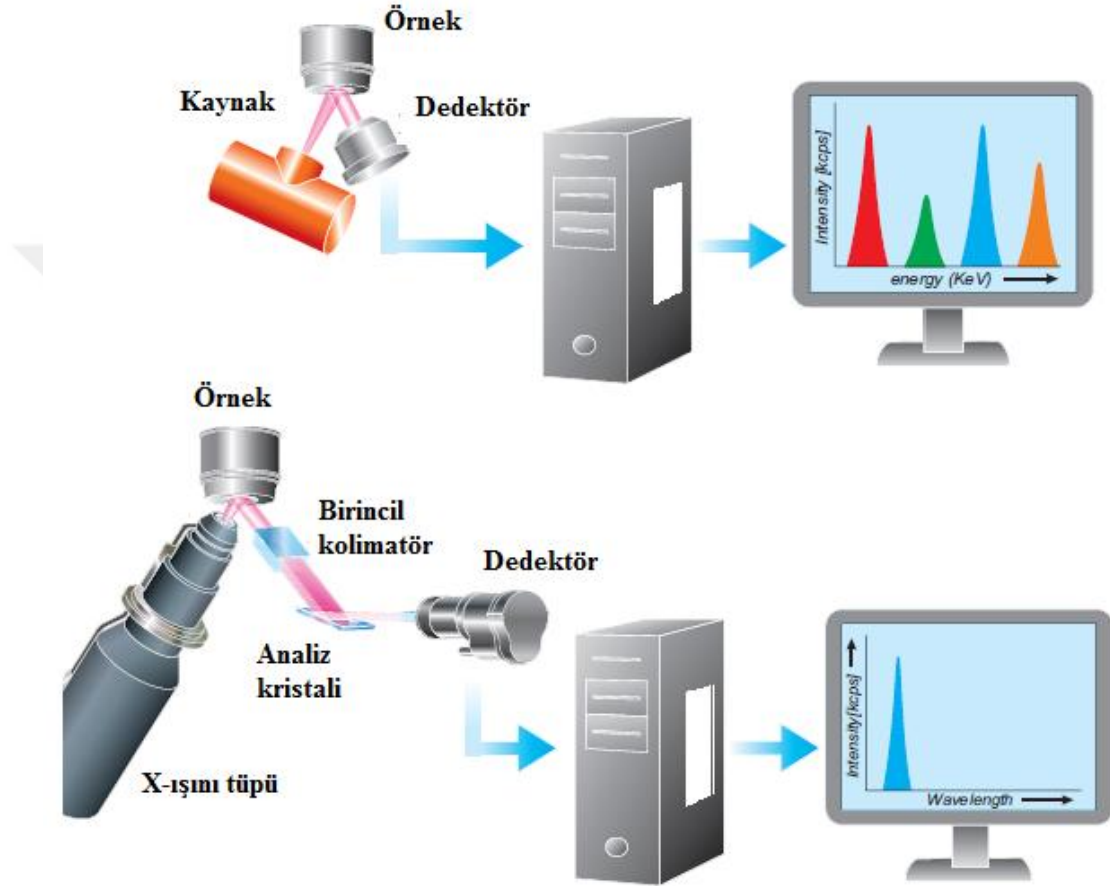
Bir dedektörün ayırma gücü, belirli bir enerjide tek bir enerji pikinin yarı yüksekliğindeki tam genişliğinin ölçüsüdür. HPGe dedektörleri için keV ve NaI(Tl) dedektörleri için ise ilgili enerjinin yüzdesi cinsinden verilir (Temirci, 2017).

Compton, çift oluşumu ve nihai olarak fotoelektrik süreci sonucunda soğurulan X-veya gama-ışını fotonlarının oluşturduğu elektrik darbeleri, çok kanallı analizörde veya bilgisayarda darbe yüksekliklerine karşılık gelen kanallarda toplanmaktadır. Enerji kalibrasyonu, kanal numarasına karşılık gelen enerji değerinin bilinmesi amacıyla gama-ışını enerjileri bilinen standart kaynaklar kullanılarak yapılmaktadır. Standart kaynak, spektrometrede belli bir süre sayılarak ilgili gama-ışını fotopik(ler)i elde edilir ve bu fotopik(ler)in orta noktasına karşılık gelen kanal numarası tespit edilerek kaydedilir. Bu veriler, birinci (gerektiğinde ikinci veya üçüncü) dereceden bir polinoma fit edilerek kanal sayısı ile gama-ışını enerjisi arasındaki ilişki bulunur.

Gama-ışını spektrometresinden farklı olarak dalga boyu dağılımlı (WDXRF) ve enerji dağılımlı (EDXRF) olmak üzere iki tip XRF spektrometresi mevcuttur. İki sistemin ana tasarımları Şekil 3.12’de gösterilmektedir. EDXRF spektrometresi ile sodyum ila uranyum (Na – U) arasındaki elementler ve WDXRF spektrometresi ile berilyum ila uranyum (Be – U) arasındaki elementler analiz edilebilmektedir. Bu iki sistem arasındaki fark, dedeksiyon sisteminden ileri gelmektedir. EDXRF spektrometresinde, örnekten doğrudan gelen farklı enerjilerdeki karakteristik ışını ölçme kapasitesine sahip bir dedektör kullanılmaktadır. Dedektör, örnekten gelen radyasyonu, örnek içindeki elementlerden gelen radyasyona ayırabilir. Bu ayırma işlemi dağılım olarak isimlendirilir. EDXRF spektrometreleri, 2D ve 3D optiklere sahip spektrometrelere ayrılabilir. Her ikisi de bir kaynak ve bir enerji dağılımlı dedektöre sahiptir ancak X-ışını optik yolunda fark olabilir. 2D spektrometreleri için X-ışını yolu bir düzlemdir (dolayısıyla iki boyutludur). 3D spektrometreleri optiği için X-ışını yolu bir düzlemde sınırlı değildir ve üç boyut içerir.

Bir WDXRF spektrometresinin ilk kısmı, 2D optikli ve ikinci hedefi olmayan bir EDXRF spektrometresine eş değerdir. Bir WDXRF spektrometresinde, algılama sistemi farklı olmasına rağmen EDXRF spektrometresinde olduğu gibi X-ışını tüpünden elde edilen X-ışını fotonları ile örnek bombardımana tabi tutulur ve örnekten gelen karakteristik X-ışınları algılanır. Bir WDXRF spektrometresinde algılama sistemi, bir doğrultucu (kolimatör) setinden, bir kırınım (difraksiyon) kristalinden ve bir dedektörden oluşmaktadır. Örnekten gelen karakteristik X-ışını kristal üzerine düşer ve kristal, aynı prizmanın beyaz ışığı kırınıma uğratması gibi X-

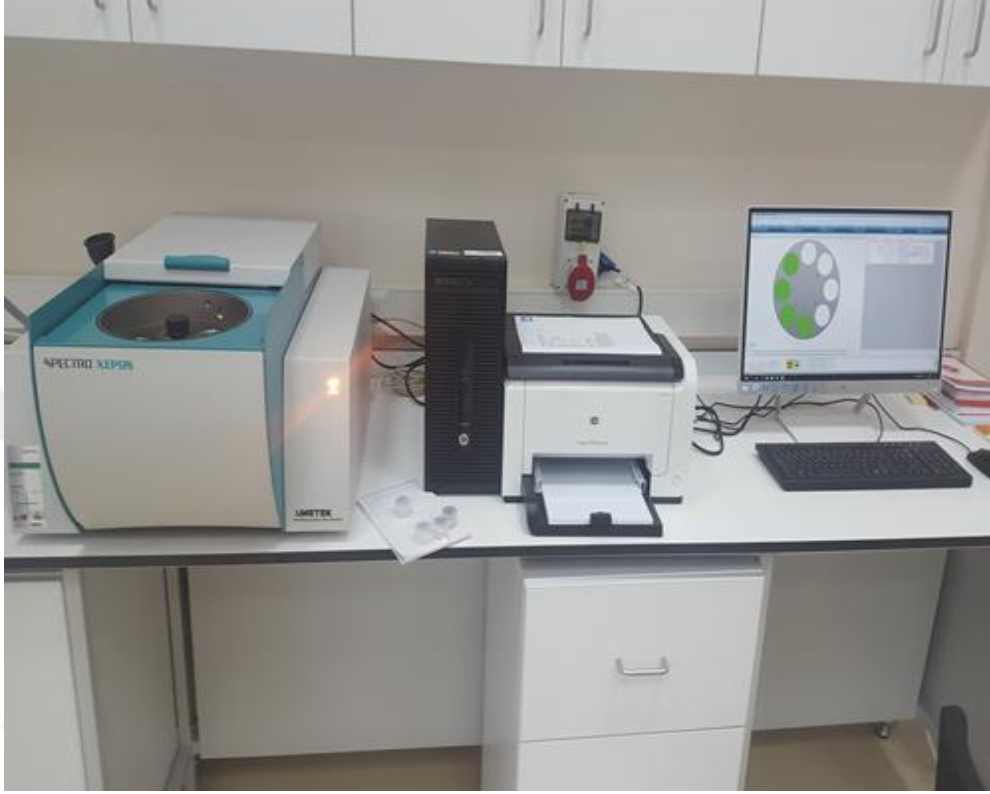
ışınlarını farklı yönlerde farklı dalga boylarına (enerjilerine) ayırarak şekilde kırınımına uğratar. Dedektör belli açılara yerleştirilerek belirli dalga boyuna sahip X-ışınları şiddeti ölçülebilir. Ayrıca bir gönyometre üzerine bir dedektör monte edilerek bu dedektör, birçok dalga boyundaki X-ışınlarının şiddetini ölçebilmek için belli bir açı aralığında hareket ettirilebilir (Yıldırım, 2018).



Şekil 3.12. EDXRF (üstteki) ve WDXRF spektrometrelerinin gösterimi (Brouwer, 2013)

Yer fıstığı örneklerinin doğal olarak içerdiği ana (esansiyel) ve/veya ağır metal seviyeleri. Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan EDXRF spektrometresi (Spektro Xepos) kullanılarak yapıldı (Fotoğraf 3.1). EDXRF spektrometresi ikili kalın Pd/Co karışımdan oluşan anot X-ışını tüpü (50 watt, 60 kV) ile donatılmıştır. Kutuplanma ve ikincil hedefleri kullanarak uyarmayı optimize eden EDXRF spektrometresinin sahip olduğu hedef değiştirici, Na'dan U'a kadar bütün elementlerin belirlenmesini en iyi şekilde yapmayı garanti eden birçok farklı uyarma şartlarına sahiptir. Ölçme işlemleri, helyum gazı ortamında yapılmaktadır. Sistemin

spektral çözünürlüğü, 155 eV'den daha düşüktür. EDXRF spektrometresi aynı anda otomatik olarak 12 adet örnek alma cihazına ve örnekleri analiz edecek yazılıma sahiptir.



Fotoğraf 3.1. EDXRF spektrometresi

Yer fıstığı örneklerinin içerdiği ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerinin aktivite derişimleri, Çukurova Üniversitesi Gülten Günel Radyoaktivite Ölçme Laboratuvarında bulunan ve teknik özellikleri Tablo 3.2'de verilen eş eksenli ve p-tipi HPGe dedektörlü (GX5020) gama-ışını spektrometresi (Fotoğraf 3.2) kullanılarak ölçüldü (Gören, 2016). Laboratuvar ortamındaki doğal radyasyonu en aza indirebilmek amacıyla dedektör, 9,5 mm kalınlığındaki çelik iskelet içinde 100 mm kalınlığında kurşun ile zırhlanmıştır. Kurşun zırhın iç kısmı, 72–88 keV enerji aralığındaki Pb X-ışınlarını önlemek için 1 mm kalınlığında Cd ile ve 24-28 keV aralığındaki X-ışınlarını önlemek için 1,5 mm kalınlığında Cu ile kaplanmıştır. Zırh içerisindeki etrafa saçılan radyasyonu en aza düşürmek için dedektör zırhın merkezine konumlandırılmıştır. 50 L hacimli vakumlu (çift duvarlı) sıvı azot kabı azot soğutması için kullanılmıştır (Gören, 2016). Dedektör, ileri sayısal sinyal işleme

(DSP) içeren ve tam özellikli 16-K çok kanallı sayısal spektrum analizörüne (DSA-1000) bağlıdır. DSA-1000, fotopikleri otomatik olarak bulan, fotopikleri değerlendiren, fotopiklerin belirsizliğini hesaplayan, kütüphanesi ile gerektiğinde radyonüklitleri belirleyen ve aktivite analizlerini yapabilen Genie-2000 gama spektroskopisi yazılım ile çalışmaktadır.

Tablo 3.2’de özellikleri verilen HPGe dedektörünün tam enerjili fotopik verim kalibrasyonu, Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu (International Atomic Energy Authority, IAEA) tarafından hazırlanan uranyum (RGU-1), toryum (RGTh-1) ve potasyum (RGK-1) referans malzemeler kullanılarak yapıldı (Gören, 2016). Örneklerin içerdiği radyonüklitlerin aktivitesi (A),

$$A = \frac{C}{\varepsilon(E_\gamma) \cdot P_\gamma \cdot M \cdot t} \quad (3.8)$$

bağıntısı ile hesaplandı. Burada, C, gama-ışını spektrumunda ilgilenilen gama-ışınına ait sayım; $\varepsilon(E_\gamma)$, ilgilenilen gama-ışını için hesaplanan mutlak verim; P_γ , ilgilenilen gama-ışınının yayınlanma olasılığı; t, sayım süresi ve M, örneğin kütlesidir. Ölçme belirsizliği ise,

$$\frac{\Delta A}{A} = \sqrt{\left(\frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon}\right)^2 + \left(\frac{\Delta P_\gamma}{P_\gamma}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta M}{M}\right)^2} \quad (3.9)$$

bağıntısı ile bulundu. Burada, A ve ΔA , aktivite ve belirsizliği; ε ve $\Delta \varepsilon$, ilgili fotopik için verim ve belirsizliği; P_γ ve ΔP_γ , yayınlanma olasılığı ve belirsizliği; C ve ΔC , ilgili fotopik için alan ve belirsizliği; M ve ΔM , örneğin kütlesi ve belirsizliğidir.

Yer fıstığı örnek kaplarının her biri, dedektör üzerine yerleştirildi ve ilgilenilen gama-ışını fotopiklerinin alan belirsizlikleri % 3’ün altında olacak şekilde sayıldı ve böylece her örneğe ait gama-ışını spektrumu elde edildi. Gama-ışını spektrumlarında, ^{226}Ra için 351,9 keV, 609,3 keV ve 1764,5 keV enerjili, ^{232}Th için 911,2 keV ve 583,2 keV enerjili ve ^{40}K için 1460,8 keV enerjili gama-ışını fotopikleri seçildi. İlgili gama-ışınlarının net fotopik alanları (sayımları), belli aralıklarla yapılan laboratuvar

ortamı (background) ölçümlerine ait gama-ışını spektrumundaki ilgili gama-ışını fotopiklerin alanları çıkartılarak elde edildi.

Tablo 3.2. Yüksek saflıktaki germanyum dedektörünün özellikleri

Dedektör modeli	GX5020 HPGe
Bağıl verim	% 50
Enerji ayırma gücü (^{60}Co 'ın 1332,5 keV enerjideki yarı yükseklikteki tam genişliği)	2 keV
Fotopik tepesi/Compton oranı	60:1
Dedektör geometrisi ve kristal tipi	Kapalı uçlu, eş eksenli ve p-tipi Ge
Çapı ve yüksekliği	65,5 mm ve 62,5 mm
Pencere malzemesi, kalınlığı	Al, 1 mm ve 15,9 cm
Pencereden uzaklık	5 mm
Kriyostat ve azot kabı	Dikey geometrili



Fotoğraf 3.2. HPGe dedektörlü gama-ışını spektrometresi

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, yer fıstığı örneklerinde analiz edilen (1) ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitinin derişim değerleri, (2) yer fıstığının tüketilmesinden kaynaklanan yıllık etkin radyasyon dozu, (3) esansiyel minör-majör element (Mg, P, S, K ve Ca), esansiyel eser element (V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Se ve Mo), esansiyel eser halojen (Cl, Br ve I) ve esansiyel olmayan zehirli ağır metal (Cd, Sn, Hg ve Pb) olmak üzere dört gruptaki element seviyeleri ve (4) günlük ağır metal (V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Sn, Cd, Pb ve Hg) alımı ile ilgili elde edilen bulgular, tablolar ve grafikler hâlinde sunuldu.

4.1. Yer Fıstığı Örneklerinin Radyonüklit İçerikleri

Yer fıstığının aktivite sonuçlarına ilişkin tanımlayıcı istatistiki bilgi, Tablo 4.1’de verildi. Yer fıstığı örneklerinde ölçülen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K ’ın aktivite derişimleri (seviyeleri) kuru ağırlık cinsinden ölçme belirsizlikleri ile birlikte Tablo 4.2’de sunuldu.

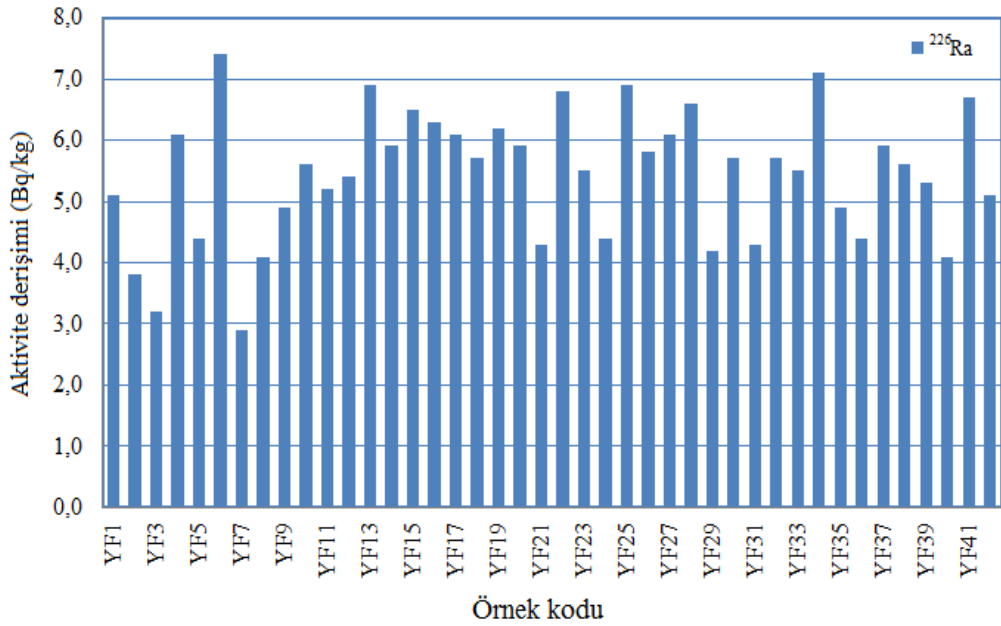
Tablo 4.1. Aktivite sonuçlarına ilişkin tanımlayıcı istatistiki bilgi

	Aktivite derişimi (Bq/kg)		
	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Ortalama	5,4	7,3	422,3
Standart Hata	0,2	0,2	14,5
Ortanca	5,6	7,6	456,3
Standart Sapma	1,1	1,5	94,1
Basıklık	-0,3	-0,3	-1,2
Çarpıklık	-0,4	-0,1	-0,5
En küçük	2,9	4,4	246,3
En büyük	7,4	10,7	541,8
Örnek sayısı	42	42	42

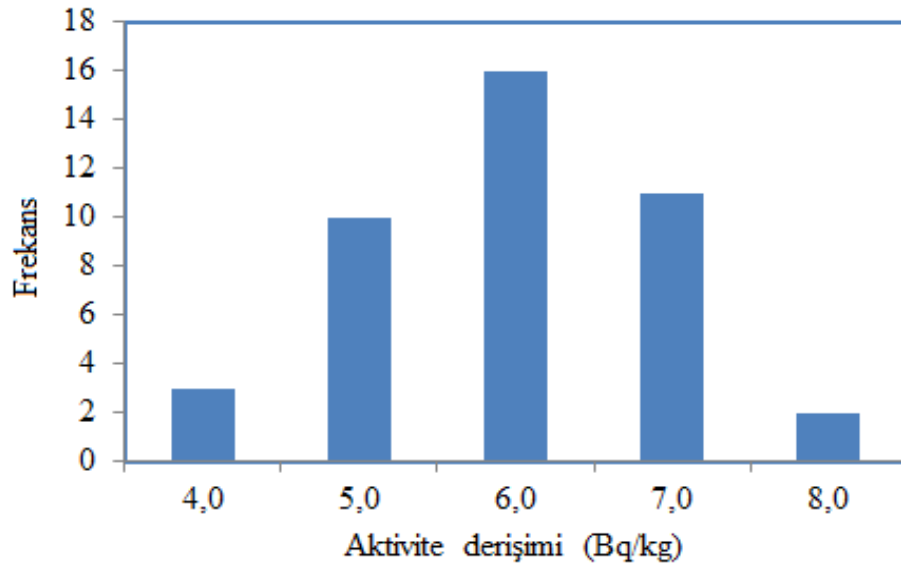
Tablo 4.2. Yer fıstığı örneklerinde ölçülen radyonüklit seviyeleri

Örnek kodu	Aktivite seviyesi (Bq/kg)		
	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K
YF1	5,1 ± 2,0	6,9 ± 1,6	500,8 ± 40,1
YF2	3,8 ± 1,5	5,9 ± 1,2	526,3 ± 36,8
YF3	3,2 ± 0,9	6,7 ± 1,4	414,7 ± 27,0
YF4	6,1 ± 1,3	5,6 ± 2,5	370,0 ± 27,4
YF5	4,4 ± 1,6	6,8 ± 2,6	457,0 ± 37,0
YF6	7,4 ± 1,0	5,2 ± 1,6	451,0 ± 31,5
YF7	2,9 ± 0,8	4,4 ± 1,3	528,6 ± 37,0
YF8	4,1 ± 1,0	8,4 ± 2,6	541,8 ± 40,1
YF9	4,9 ± 1,0	9,2 ± 2,4	470,9 ± 30,4
YF10	5,6 ± 2,1	4,9 ± 1,2	522,7 ± 36,0
YF11	5,2 ± 1,0	5,7 ± 1,9	461,8 ± 43,4
YF12	5,4 ± 0,9	5,6 ± 1,2	483,0 ± 37,7
YF13	6,9 ± 1,4	6,7 ± 1,5	496,6 ± 40,2
YF14	5,9 ± 2,1	8,7 ± 1,4	517,1 ± 42,4
YF15	6,5 ± 2,2	6,6 ± 1,9	472,0 ± 39,2
YF16	6,3 ± 1,2	4,4 ± 1,6	455,6 ± 38,3
YF17	6,1 ± 1,3	5,6 ± 1,5	490,9 ± 38,8
YF18	5,7 ± 0,6	6,3 ± 0,9	450,2 ± 31,4
YF19	6,2 ± 1,5	7,9 ± 0,8	521,7 ± 41,7
YF20	5,9 ± 1,3	5,5 ± 1,2	396,9 ± 27,0
YF21	4,3 ± 1,2	6,4 ± 1,1	476,4 ± 37,2
YF22	6,8 ± 0,8	7,8 ± 1,2	530,1 ± 41,4
YF23	5,5 ± 0,6	7,5 ± 1,3	511,4 ± 41,4
YF24	4,4 ± 0,9	8,1 ± 1,4	540,1 ± 44,3
YF25	6,9 ± 1,1	8,4 ± 3,2	478,1 ± 39,7
YF26	5,8 ± 1,2	8,5 ± 2,3	504,4 ± 42,4
YF27	6,1 ± 0,7	7,6 ± 1,6	490,3 ± 41,7
YF28	6,6 ± 0,5	7,9 ± 1,4	398,8 ± 33,9
YF29	4,2 ± 1,3	8,1 ± 2,3	252,2 ± 21,7
YF30	5,7 ± 1,4	8,4 ± 0,9	334,4 ± 23,4
YF31	4,3 ± 1,1	7,9 ± 0,8	296,0 ± 21,5
YF32	5,7 ± 1,5	6,9 ± 1,4	319,0 ± 22,3
YF33	5,5 ± 1,3	7,7 ± 1,3	339,0 ± 23,4
YF34	7,1 ± 0,6	7,3 ± 0,9	358,0 ± 30,8
YF35	4,9 ± 0,9	8,5 ± 1,6	302,9 ± 21,2
YF36	4,4 ± 0,9	6,8 ± 1,3	271,1 ± 20,1
YF37	5,9 ± 1,0	7,7 ± 1,6	311,1 ± 25,5
YF38	5,6 ± 1,2	7,8 ± 0,9	372,4 ± 30,9
YF39	5,3 ± 1,3	8,6 ± 1,5	275,9 ± 23,2
YF40	4,1 ± 0,8	9,5 ± 0,9	258,5 ± 22,0
YF41	6,7 ± 0,8	9,7 ± 1,6	246,3 ± 18,2
YF42	5,1 ± 1,8	10,7 ± 1,2	338,8 ± 26,1

Radyum, doğal radyoaktif uranyum serisinin bir üyesidir. Radyumun bir izotopu olan ^{226}Ra , suda (özellikler yer altı sularında) çözülebildiği ve bitki kökleri vasıtasıyla gıda zincirine girebildiğinden dolayı sağlık fiziğinde ve çevre koruma çalışmalarında önemli bir radyonüklittir. ^{226}Ra , kimyasal ve biyolojik davranış olarak Ca, Sr ve Ba gibi diğer toprak alkali metallere benzediğinden insan vücudundaki kemiklerde birikebilmektedir (Jia ve Jia, 2012). Yer fıstığı örneklerinde ölçülen ^{226}Ra aktivite derişimi, $2,9 \pm 0,8 \text{ Bq/kg} - 7,4 \pm 1,0 \text{ Bq/kg}$ aralığında değişmektedir. Tablo 4.2 ve Grafik 4.1'den görülebileceği en düşük ^{226}Ra seviyesi, YF7 örneğinde, en büyük seviyesi ise YF6 örneğinde ölçüldü. Tablo 4.1'deki basıklık ve çarpıklık değerlerinden de anlaşılacağı gibi ^{226}Ra aktivite değerleri, Grafik 4.2'de gösterildiği gibi normal dağılım sergilemektedir. Toplam ^{226}Ra aktivite değerlerinin % 88'i, $5 \text{ Bq/kg} - 7 \text{ Bq/kg}$ aralığındadır.

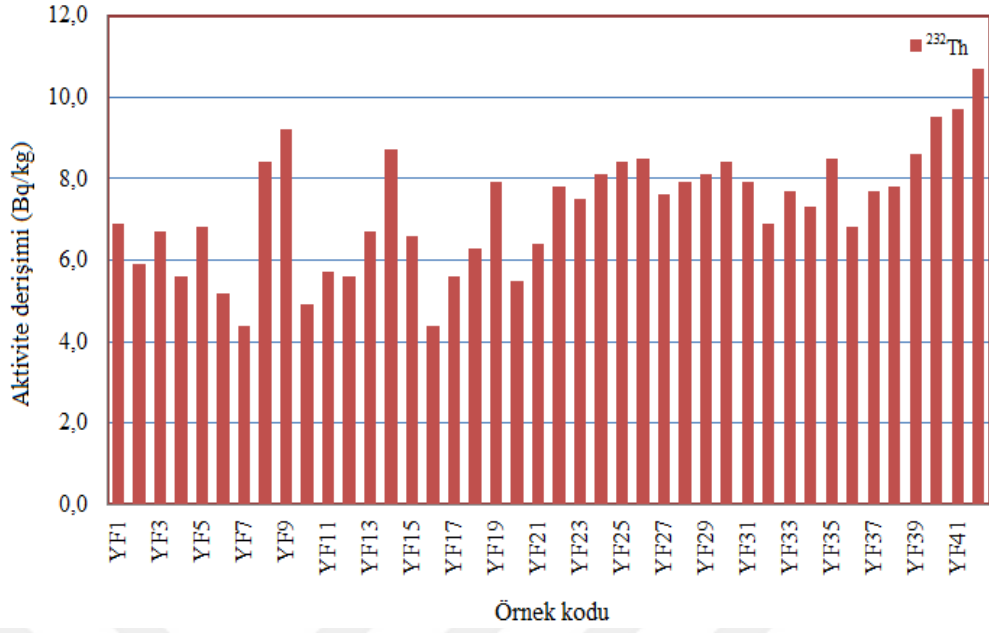


Grafik 4.1. Yer fıstığı örneklerinde ölçülen ^{226}Ra aktivite derişimleri

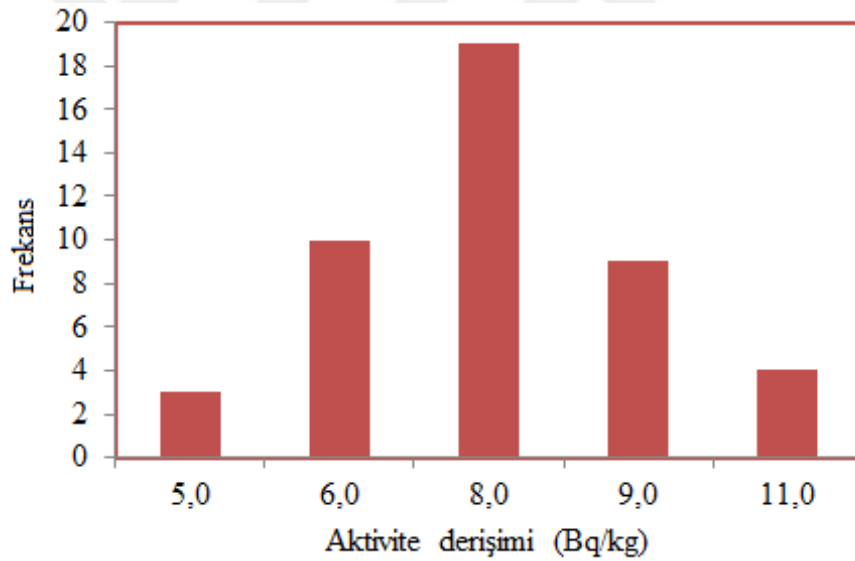


Grafik 4.2. ²²⁶Ra aktivite değerlerinin histogramı

Doğal radyoaktif toryum serisinin birinci radyonükliti olan ²³²Th, bağışıklık sistemini zayıflatarak insan sağlığını olumsuz yönde etkileyebilir. ²³²Th, kemik, akciğer, karaciğer ve iskelet dokularında biriktiğinde, farklı hastalıkları tetikleyebilir (Addo vd., 2013). Yer fıstığı örneklerinde ölçülen ²³²Th aktivite derişimi, $4,4 \pm 1,3$ Bq/kg – $10,7 \pm 1,2$ Bq/kg aralığında değişmektedir. Tablo 4.2 ve Grafik 4.3'ten görülebileceği gibi en düşük ²³²Th seviyesi, YF7 ve YF16 örneklerinde, en büyük seviyesi ise YF42 örneğinde ölçüldü. Tablo 4.1'deki basıklık ve çarpıklık değerlerinden de anlaşılacağı gibi ²³²Th aktivite değerleri, Grafik 4.4'te gösterildiği gibi normal dağılım sergilemektedir. Toplam ²³²Th aktivite değerlerinin % 90'ı, 6 Bq/kg – 9 Bq/kg aralığındadır.



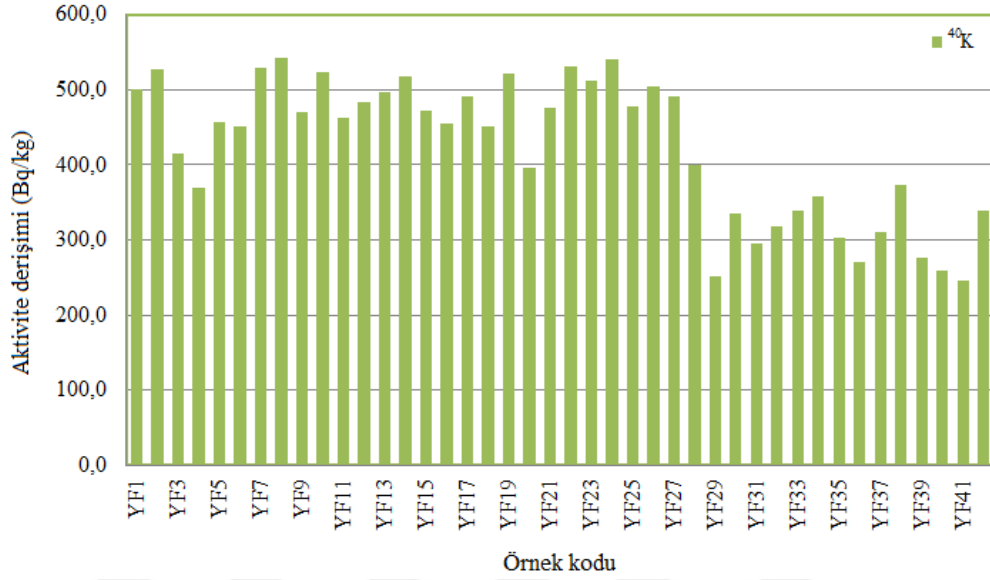
Grafik 4.3. Yer fıstığı örneklerinde ölçülen ^{232}Th aktivite derişimleri



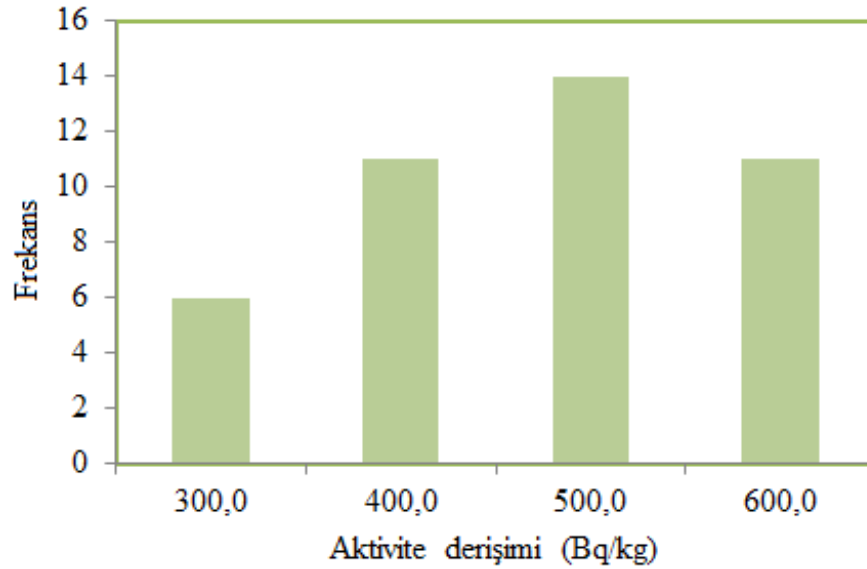
Grafik 4.4. ^{232}Th aktivite değerlerinin histogramı

Radyoaktif potasyum (^{40}K), doğal olarak var olan potasyum (^{39}K) elementinin bir bolluk oranı % 0,0117 olan bir izotopudur. ^{40}K , çözülebilir bir inorganik tuz olarak hayvan ve bitki dokularında radyoaktivitenin ana kaynağıdır (UNSCEAR, 2000). Böbreklerdeki potasyum birikimi, böbreklerin yetersiz ve dengesiz görev yapmasına hatta işlevsiz hâle gelmelerine sebep olabilir. Yer fıstığı örneklerinde ölçülen ^{40}K aktivite derişimi, $246,3 \pm 18,2$ Bq/kg – $541,8 \pm 40,1$ Bq/kg aralığında değişmektedir. Tablo 4.1 ve Grafik 4.5'ten görülebileceği en düşük ^{40}K seviyesi, YF41 örneğinde en

büyük seviyesi ise YF8 örneğinde ölçüldü. Tablo 4.2'deki basıklık ve çarpıklık değerlerinden de anlaşılacağı gibi ^{40}K aktivite değerleri, Grafik 4.6'da gösterildiği gibi normal dağılıma yakın dağılım sergilemektedir. Toplam ^{40}K aktivite değerlerinin % 86'sı, 400 Bq/kg – 550 Bq/kg aralığındadır.



Grafik 4.5. Yer fıstığı örneklerinde ölçülen ^{40}K aktivite derişimleri



Grafik 4.6. ^{40}K aktivite değerlerinin histogramı

İncelenen yer fıstığı örneklerinin içerdiği ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklit seviye aralığı, Osmaniye yer fıstığı örneklerinin içerdiği 3,1 Bq/kg – 7,6 Bq/kg ^{226}Ra , 3,2

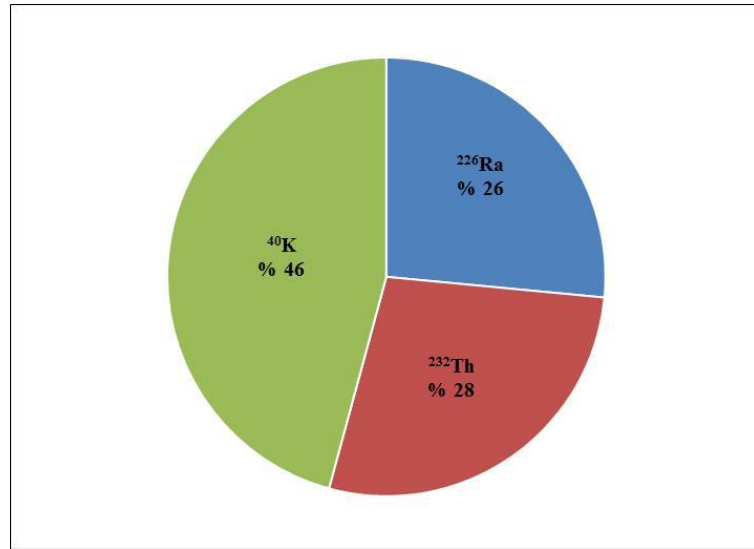
Bq/kg – 6,6 Bq/kg ²³²Th ve 256 Bq/kg – 304,5 Bq/kg ⁴⁰K radyonüklit aralığı ile uyumludur (Karataşlı ve Özer, 2017).

4.2. Yıllık Etkin Radyasyon Dozunun Değerlendirilmesi

Gıda zinciri sonucunda sindirim sistemine giren yer fıstığının doğal olarak içerdiği radyonüklitlerden yayımlanan iyonlaştırıcı radyasyonun sebep olduğu iç ışınlama sonucunda yetişkin bir bireyin alabileceği yıllık etkin radyasyon dozu (YERD) aşağıda verilen bağıntı ile hesaplandı (ICRP, 1996)

$$YERD = YT \cdot O \cdot \sum A_i DF_i \quad (4.1)$$

Burada, YT, yer fıstığının yıllık tüketimi; O, yer fıstığı örneklerinin ortalama kuru/yaş oranı; A_i, i. radyonüklitin aktivite derişimi (Tablo 4.2) ve DF_i, i. radyonüklit için dönüşüm faktörüdür. Yer fıstığının yıllık tüketimi 1,7 kg/yıl ve yer fıstığının kuru/yaş oranı ise 0,85 olarak alındı (Karataşlı ve Özer, 2017). Dönüşün faktörü ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K radyonüklitleri için sırasıyla 0,28 µSv/Bq, 0,23 µSv/Bq ve 0,0062 µSv/Bq olarak alındı (ICRP, 1996). Her bir radyonüklitin YERD'e olan katkısı ise Grafik 4.7'de gösterildi. İncelenen yer fıstığı örnekleri için hesaplanan YERD değerleri Tablo 4.3'te verildi. YERD değerleri, 6,5 – 10,1 µSv/yıl aralığında bulundu.



Grafik 4.7. Radyonüklitlerin YERD'e olan katkıları

Tablo 4.3. Yıllık etkin radyasyon doz değerleri

Örnek kodu	YERD ($\mu\text{Sv/y}$)
YF1	8,8
YF2	8,2
YF3	7,2
YF4	7,6
YF5	8,1
YF6	8,8
YF7	7,4
YF8	9,3
YF9	9,3
YF10	8,6
YF11	8,1
YF12	8,4
YF13	9,5
YF14	9,9
YF15	9,1
YF16	8,1
YF17	8,7
YF18	8,4
YF19	9,8
YF20	7,8
YF21	8,1
YF22	10,1
YF23	9,3
YF24	9,3
YF25	9,9
YF26	9,7
YF27	9,4
YF28	8,9
YF29	6,7
YF30	8,1
YF31	7,0
YF32	7,5
YF33	7,8
YF34	8,5
YF35	7,5
YF36	6,5
YF37	7,7
YF38	8,2
YF39	7,5
YF40	7,1
YF41	8,1
YF42	8,7

4.3. Yer Fıstığı Örneklerinin Esansiyel Element İçerikleri

Yer fıstığı örneklerinde analiz edilen 18 esansiyel elementin derişimlerine ilişkin tanımlayıcı istatistiki bilgi, Tablo 4.4'te verildi. Element derişimleri, kuru ağırlık üzerinden analiz edildi. Ölçme belirsizliği, % 0,1 – % 10 aralığındadır. Arsenik (< 0,5 mg/kg) ve zirkonyum (< 0,1 mg/kg) ağır metali, tüm yer fıstığı örneklerinde tespit edilebilir düzeyin altında bulundu.

Tablo 4.4. Esansiyel element derişimlerine ilişkin tanımlayıcı istatistiki bilgi

	Derişim (mg/kg)							
	Ortalama	Standart hata	Ortanca	Standart sapma	Basıklık	Çarpıklık	En küçük	En büyük
Mg	1758,6	48,7	1799,5	315,9	-0,4	0,1	1105,0	2481,0
P	5057,5	85,1	5022,0	551,8	-0,7	-0,1	3867,0	6138,0
S	3451,2	49,3	3484,0	319,6	0,01	0,05	2712,0	4294,0
K	13436,9	455,2	14575,0	2949,7	-1,1	-0,5	7880,0	17260,0
Ca	1786,1	46,7	1777,0	302,9	0,8	-0,2	1031,0	2536,0
V	6,0	1,2	1,5	7,7	0,6	1,4	0,3	24,7
Cr	3,5	0,2	3,4	1,2	2,4	1,3	1,1	7,0
Mn	38,0	1,0	40,5	6,6	-0,02	-1,0	22,0	46,9
Fe	59,4	3,6	65,1	23,1	-1,3	-0,3	18,1	97,8
Co	8,3	0,7	7,8	4,8	-0,6	0,5	2,1	20,0
Ni	17,9	0,5	18,9	3,5	-1,0	-0,4	11,7	23,7
Cu	23,3	0,7	24,3	4,4	1,7	-0,7	9,5	33,8
Zn	71,3	1,5	75,6	9,8	1,5	-1,4	41,9	82,1
Se	0,8	0,1	0,8	0,3	-1,1	0,1	0,2	1,4
Mo	2,6	0,1	2,4	0,9	3,1	1,8	1,4	5,3
Cl	209,1	10,9	218,6	70,3	-1,0	-0,2	71,9	321,7
Br	1,1	0,1	1,2	0,4	0,1	-0,9	0,2	1,7
I	4,6	0,4	3,9	2,4	1,8	1,4	2,1	11,9

Yer fıstığı örneklerinin içerdiği esansiyel minör-majör elementlerin derişimleri, Tablo 4.5'te sunuldu. Farklı ülkelerde ve Türkiye'de yetiştirilen yer fıstığı örneklerinin içerdiği K, P, Ca ve Mg derişim değer aralıkları (en küçük – en büyük) ile bu çalışmada elde edilen veri aralıklarının karşılaştırılması ise Tablo 4.6'te verildi. Tablo 4.4 ve Tablo 4.5'ten de görülebileceği gibi ortalama derişim değerlerine göre esansiyel minör-majör elementler, $K > P > S > Ca > Mg$ olarak sıralanmaktadır.

Tablo 4.5. Yer fıstığı örneklerinin esansiyel minör-majör element içerikleri

Örnek kodu	Derişim (mg/kg)				
	Mg	P	S	K	Ca
YF1	1862	5252	3562	16000	1710
YF2	2054	5238	3494	16900	1710
YF3	1516	4277	3302	13270	1703
YF4	1415	3867	2910	11850	1787
YF5	2050	5733	3735	14590	2236
YF6	2224	4603	3550	14440	2046
YF7	1916	5709	3704	16930	1674
YF8	1399	4718	3170	14670	1789
YF9	1812	4980	3474	14860	1956
YF10	1989	5154	3623	16700	1898
YF11	1731	5341	3558	14750	2207
YF12	1554	4741	3247	15420	1697
YF13	1639	5156	3383	15840	1943
YF14	1699	5770	3735	16480	1718
YF15	1415	4496	3144	15090	1846
YF16	1396	4383	3350	14560	1771
YF17	1605	4957	3500	15700	1605
YF18	1287	4634	3053	14410	1614
YF19	1875	5698	3741	16710	1846
YF20	1105	4040	2972	12700	1605
YF21	1893	4998	3659	15240	1753
YF22	1810	5797	3846	16970	1851
YF23	1815	5417	3789	16350	1822
YF24	1827	5792	3789	17260	1783
YF25	1789	5046	3568	15290	1956
YF26	1266	4952	3266	16140	1566
YF27	1328	4784	3207	15670	1727
YF28	1341	4256	3231	12750	1965
YF29	1557	4639	3068	8064	1615
YF30	2009	5724	3799	10710	2188
YF31	1696	4924	3151	9475	2008
YF32	2158	5205	3439	10210	2209
YF33	2222	5516	3633	10860	2219
YF34	2201	5825	3894	11460	2536
YF35	1861	4816	3172	9695	2051
YF36	1909	4443	3123	8672	1373
YF37	1669	5352	3686	9946	1088
YF38	2481	5780	4294	11910	1621
YF39	1924	4746	3379	8821	1332
YF40	1717	5053	3207	8266	1263
YF41	1503	4464	2712	7880	1031
YF42	2343	6138	3832	10840	1699

Tablo 4.6. K, P, Ca ve Mg içeriklerinin literatür değerleri ile karşılaştırılması

Ülke	Derişim aralığı (mg/kg)				Kaynak
	Mg	P	K	Ca	
Pakistan	1656-1722	2252-2906	6255-7175	490-580	Khalil ve Chughtai, 1983
Türkiye (ÇOM, Osmaniye)	166560*	402013*	207649*	79449*	Özcan ve Seven, 2003
Türkiye (NC-7, Osmaniye)	189381*	491860*	241206*	89378*	Özcan ve Seven, 2003
Gana	3080-4200	-	11800-16930	440-1340	Asibou vd., 2008
Türkiye (Mersin)	-	2770-3785	67620-98967	-	Özcan, 2010
Avustralya	1478-1845	3442-4212	5948-7795	471-721	Thien vd., 2010
Avustralya	1680*	3378*	6070*	411*	Thien vd., 2012
İran	-	-	2128*	38*	Alaviani vd., 2012
Nijerya	979-1120	3725-4029	5752-6112	437-626	Shokunbi vd., 2012
Tayland	1414*	-	6466*	539*	Parengam vd., 2010
Türkiye (Adana)	1105-2481	3867-6138	7880-17260	1031-2536	Bu çalışma

*Ortalama

Potasyum (K) önemli bir majör esansiyel elementtir. İncelenen yer fıstığı örneklerinde analiz edilen K seviyesi, 7880 mg/kg – 17260 mg/kg aralığında bulundu. En düşük K derişimi, YF41 kodlu yer fıstığı örneğinde ölçülmüş iken en büyük derişim YF24 kodlu yer fıstığı örneğinde ölçüldü. Tablo 4.6'dan, bu çalışmada elde edilen K seviyesinin, (1) Pakistan, Avustralya, İran, Nijerya ve Tayland yer fıstığı örnekleri için ölçülen K seviyesinden daha büyük, (2) Gana yer fıstığı örnekleri için ölçülen K seviyesi ile uyumlu ve (3) Osmaniye yer fıstığı örnekleri için ölçülen K seviyesinin de diğer yer fıstığı örnekleri için ölçülen K seviyelerinden önemli ölçüde büyük olduğu görülmektedir.

Fosfor (P) önemli bir minör esansiyel elementtir. İncelenen yer fıstığı örneklerinde analiz edilen P seviyesi, 3867 mg/kg – 6138 mg/kg aralığında bulundu. En düşük P derişimi, YF4 kodlu yer fıstığı örneğinde ölçülmüş iken en büyük derişim YF42 kodlu yer fıstığı örneğinde ölçüldü. Tablo 4.6'dan, bu çalışmada elde edilen P seviyesinin, (1) Pakistan, Türkiye (Mersin), Avustralya ve Nijerya yer fıstığı örnekleri için ölçülen P seviyesinden daha büyük ve (2) Osmaniye yer fıstığı örnekleri için ölçülen P seviyesinin de, diğer yer fıstığı örnekleri için ölçülen P seviyelerinden önemli ölçüde büyük olduğu görülmektedir.

Kükürt (S) minör esansiyel elementtir. İncelenen yer fıstığı örneklerinde analiz edilen S seviyesi, 2712 mg/kg – 4294 mg/kg aralığında bulundu. En düşük S derişimi, YF41 kodlu yer fıstığı örneğinde ölçülmüş iken en büyük derişim YF38 kodlu yer fıstığı örneğinde ölçüldü.

Kalsiyum (Ca) önemli bir minör esansiyel elementtir. İncelenen yer fıstığı örneklerinde analiz edilen Ca seviyesi, 1031 mg/kg – 2536 mg/kg aralığında bulundu. En düşük Ca derişimi, YF41 kodlu yer fıstığı örneğinde ölçülmüş iken en büyük derişim YF34 kodlu yer fıstığı örneğinde ölçüldü. Tablo 4.6'dan, bu çalışmada elde edilen Ca seviyesinin, (1) Pakistan, Gana, Avustralya, İran, Nijerya ve Tayland yer fıstığı örnekleri için ölçülen Ca seviyesinden daha büyük ve (2) Osmaniye yer fıstığı örnekleri için ölçülen Ca seviyesinin de, diğer yer fıstığı örnekleri için ölçülen Ca seviyelerinden önemli ölçüde büyük olduğu görülmektedir.

Magnezyum (Mg) önemli bir minör esansiyel elementtir. İncelenen yer fıstığı örneklerinde analiz edilen Mg seviyesi, 1105 mg/kg – 2481 mg/kg aralığında bulundu. En düşük Mg derişimi, YF20 kodlu yer fıstığı örneğinde ölçülmüş iken en büyük derişim YF38 kodlu yer fıstığı örneğinde ölçüldü. Tablo 4.6'ten, bu çalışmada elde edilen Mg seviyesinin, (1) Pakistan yer fıstığı için ölçülen Mg seviyesi ile uyumlu, Gana yer fıstığı için ölçülen örnekleri için ölçülen Mg seviyesinden küçük, Avustralya, Nijerya ve Tayland yer fıstığı örnekleri için ölçülen Mg seviyesinden daha büyük ve (2) Osmaniye yer fıstığı için ölçülen Mg seviyesinin de, diğer yer fıstığı örnekleri için ölçülen Mg seviyelerinden önemli ölçüde büyük olduğu görülmektedir.

Yer fıstığı örneklerinin içerdiği esansiyel eser elementlerin derişimleri, Tablo 4.7'de sunuldu. Farklı ülkelerde ve Türkiye'de yetiştirilen yer fıstığı örneklerinin içerdiği Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Zn ve Se derişim değer aralıkları (en küçük – en büyük) ile bu çalışmada elde edilen veri aralıklarının karşılaştırılması ise Tablo 4.8'de verildi. Tablo 4.4 ve Tablo 4.7'den de görülebileceği gibi ortalama derişim değerlerine göre esansiyel eser elementler, $Zn > Fe > Mn > Cu > Ni > Co > V > Cr > Mo > Se$ olarak sıralanmaktadır.

Vanadyum (V), esansiyel element olmasının yanında aynı zamanda ağır metaldir. İncelenen yer fıstığı örneklerindeki V seviyesi, 0,3 mg/kg – 24,7 mg/kg aralığında bulundu. V'nin en küçük değeri YF22 kodlu örnekte ölçülmüş iken en büyük değeri ise YF34 kodlu örnekte ölçüldü. Özcan ve Seven (2003) tarafından yapılan çalışmada, Osmaniye'de yetiştirilen iki farklı yer fıstığı örneğinin ortalama V içeriği, 327 mg/kg ve 420 mg/kg olarak bulundu (Özcan ve Seven, 2003). Bu çalışmada elde edilen V içeriği, Osmaniye yer fıstığı için ölçülen V içeriğinden önemli ölçüde daha küçüktür.

Krom (Cr), esansiyel element olmasının yanında aynı zamanda zehirli ağır metaldir. Cr'nin günlük olarak 250 mg'a kadar alınmasının, insan vücut sağlığı açısından bir tehlike arz etmemektedir (Karcık, 2017). Cr, vücutta glikoz tolerans faktörü olduğundan şeker metabolizması üzerinde etkilidir ve insülin ile birlikte hareket ederek glikozun, hücre içine girmesini temin eder (Karcık, 2017).

Tablo 4.7. Yer fıstığı örneklerinin esansiyel eser element içerikleri

Örnek kodu	Derişim (mg/kg)									
	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Se	Mo
YF1	1,0	3,9	40,0	66,0	6,5	19,4	24,0	76,8	0,8	2,6
YF2	0,8	3,2	42,2	87,2	10,3	23,7	20,6	67,6	1,1	1,9
YF3	1,3	3,2	42,2	49,2	4,0	16,1	26,4	80,8	1,2	1,9
YF4	1,3	2,6	41,0	58,6	4,0	17,9	25,6	73,8	0,3	1,7
YF5	1,5	3,7	38,7	65,1	7,0	14,0	20,6	76,7	0,4	1,9
YF6	1,3	3,5	38,0	76,6	15,9	21,1	33,8	72,8	1,3	3,8
YF7	2,0	4,2	42,4	88,3	9,0	21,3	24,2	76,0	0,8	2,2
YF8	1,4	3,4	41,0	74,7	10,2	18,1	27,5	76,8	0,8	2,6
YF9	1,3	3,3	40,8	75,8	11,2	19,4	29,5	80,2	0,7	2,9
YF10	0,8	3,0	42,4	84,9	14,0	20,9	24,9	77,3	1,1	2,3
YF11	1,2	3,4	40,1	76,0	9,9	15,5	24,8	75,6	0,7	2,2
YF12	1,0	4,3	44,1	79,9	10,7	20,0	27,1	76,8	0,8	2,2
YF13	0,9	3,4	42,3	80,3	9,8	20,1	28,4	78,3	1,0	2,7
YF14	1,7	3,8	42,8	73,4	20,0	20,0	23,3	75,6	1,1	2,2
YF15	0,6	3,7	40,0	75,2	12,3	20,9	26,9	74,3	0,8	2,0
YF16	1,1	3,0	40,2	63,3	15,4	19,5	25,9	80,1	1,1	1,8
YF17	1,4	3,3	40,6	62,8	12,2	18,5	24,1	78,9	1,1	2,5
YF18	0,6	3,3	41,3	88,3	14,4	21,6	22,0	71,1	1,0	2,0
YF19	1,7	3,9	42,7	87,9	11,2	19,7	23,7	75,8	0,6	1,9
YF20	1,5	2,8	43,3	58,0	6,3	18,5	26,5	78,8	0,5	1,8
YF21	1,7	3,4	43,5	69,4	10,2	18,8	24,7	77,1	0,6	2,2
YF22	0,3	3,3	44,0	84,0	15,4	21,8	23,8	75,0	1,1	2,6
YF23	1,0	3,3	45,9	64,8	6,7	19,0	26,0	82,1	1,2	2,0
YF24	0,6	3,9	43,8	97,8	12,3	21,6	24,5	78,1	0,8	2,0
YF25	0,9	3,7	42,1	65,3	7,9	18,3	27,5	78,9	1,0	2,3
YF26	1,8	3,5	43,4	70,2	17,0	22,1	24,4	78,3	1,3	2,3
YF27	0,8	4,3	40,4	81,9	7,6	18,9	24,5	78,4	0,6	2,2
YF28	2,0	3,1	46,9	65,1	8,6	20,5	24,3	70,8	0,5	1,4
YF29	11,8	2,6	25,5	24,1	3,5	23,4	18,8	65,8	0,3	2,5
YF30	23,7	6,6	35,4	27,7	3,6	13,4	21,2	67,1	0,7	2,7
YF31	10,7	3,1	27,3	24,6	3,4	14,2	19,3	65,9	0,3	2,4
YF32	17,8	2,5	30,0	35,8	3,1	13,3	21,5	63,5	0,8	2,7
YF33	11,4	4,5	32,9	25,8	3,2	12,4	19,0	66,3	0,3	2,6
YF34	24,7	7,0	39,6	38,8	5,3	15,3	25,4	72,0	1,4	2,6
YF35	5,9	2,3	27,6	32,9	2,3	12,3	17,8	53,4	0,9	2,6
YF36	11,8	1,7	27,6	35,2	2,1	11,7	20,3	56,4	0,3	4,5
YF37	14,3	1,1	22,0	29,5	3,2	11,7	19,7	60,7	0,2	5,1
YF38	22,9	6,0	34,7	43,6	3,5	17,8	28,3	80,7	0,5	5,3
YF39	16,8	2,0	29,6	29,1	3,4	12,2	20,0	56,8	0,3	4,0
YF40	10,5	2,7	30,7	25,0	2,9	13,9	14,0	45,5	0,5	3,0
YF41	10,6	2,0	22,4	18,1	2,4	12,8	9,5	41,9	0,5	3,4
YF42	24,2	7,0	33,9	34,2	5,3	20,4	16,1	56,4	0,3	3,0

Tablo 4.8. Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Zn ve Se içeriklerinin literatür değerleri ile karşılaştırılması

Ülke	Değişim aralığı (mg/kg)							Kaynak
	Cr	Mn	Fe	Co	Cu	Zn	Se	
Pakistan	2,0-4,0	17-17	12,0-14,0	-	15-16	40-56	-	Khalil ve Chughtai, 1983
Türkiye (ÇOM, Osmaniye)	31*	1414*	1918*	29*	829	2778	204	Özcan ve Seven, 2003
Türkiye (NC-7, Osmaniye)	28*	1414*	2312*	32*	486*	3229*	396*	Özcan ve Seven, 2003
Gana	-	15-29	2.0-37.0	-	17-27	44-65	-	Asibuo vd., 2008
Avustralya	0,012-0,025	16,7-22,6	13,4-17,9	0,062-0,101	5,29-7,56	25,2-29,8	0,061-0,108	Thien vd., 2010
Avustralya	-	16*	16,4*	-	4,93*	26,3*	-	Thien vd., 2012
İran	4,4*	1,3*	399,6*	-	-	63,8*	-	Alaviani vd., 2012
Nijerya	-	241-309	13,3-16,7	-	202-271	27,9-41,4	0,4-1,1	Shokunbi vd., 2012
Tayland	-	21,1*	26,5*	-	-	39,1*	-	Parengam vd., 2010
Türkiye (Adana)	1,1-7,0	22,0-46,9	18,1-97,8	2,1-20,0	9,5-33,8	41,9-82,1	0,2-1,4	Bu çalışma

*Ortalama

Cr'nin optimum seviyesi, vücudun gerek duyduğu insülin miktarını azaltır. İncelenen yer fıstığı örneklerindeki Cr seviyesi, 1,1 mg/kg – 7,0 mg/kg aralığında bulundu. Cr'nin en küçük değeri YF37 kodlu örnekte ölçülmüş iken en büyük değeri ise YF34 ve YF42 kodlu örneklerde ölçüldü. Tablo 4.8'den, bu çalışmada elde edilen Cr derişim seviyesinin, (1) Pakistan ve İran yer fıstığı örnekleri için elde edilen Cr seviyeleri ile uyumlu, (2) Osmaniye'de yetişen yer fıstığı örnekleri için ölçülen Cr seviyesinin, diğer seviyelere göre önemli ölçüde büyük ve (3) Avustralya'da yetişen yer fıstığı örnekleri için ölçülen Cr seviyesinin ise diğer seviyelere göre önemli ölçüde küçük olduğu görülmektedir.

Mangan (Mn), esansiyel element olmasının yanında aynı zamanda zehirli ağır metaldir. İncelenen yer fıstığı örneklerindeki Mn seviyesi, 22,0 mg/kg – 46,9 mg/kg aralığında bulundu. Mn'nin en küçük değeri YF37 kodlu örnekte ölçülmüş iken en büyük değeri ise YF28 kodlu örnekte ölçüldü. Tablo 4.8'den, bu çalışmada elde edilen Mn derişim seviyesinin, (1) Pakistan, Gana, Avustralya ve Tayland yer fıstığı örnekleri için elde edilen Mn seviyeleri ile uyumlu, (2) Osmaniye ve Nijerya'da yetişen yer fıstığı örnekleri için ölçülen Mn seviyesinin, diğer seviyelere göre önemli ölçüde büyük ve (3) İran'da yetişen yer fıstığı örnekleri için ölçülen Mn seviyesinin ise diğer seviyelere göre önemli ölçüde küçük olduğu görülmektedir.

Demir (Fe), esansiyel element olmasının yanında aynı zamanda zehirli ağır metaldir. Fe elementi hayati tepkimeler için kritik bir elementtir (Karcık, 2017). İnsan vücudundaki Fe dengesinin korunması esas itibarıyla besinlerle alınan demirin proksimal ince bağırsaktan emiliminin kontrol edilmesi ile sağlanmaktadır (Karcık, 2017). İncelenen yer fıstığı örneklerindeki Fe seviyesi, 18,1 mg/kg – 97,8 mg/kg aralığında bulundu. Fe'nin en küçük değeri YF41 kodlu örnekte ölçülmüş iken en büyük değeri ise YF24 kodlu örnekte ölçüldü. Tablo 4.8'den, bu çalışmada elde edilen Fe derişim seviyesinin, (1) Pakistan, Gana, Avustralya, Nijerya ve Tayland yer fıstığı örnekleri için elde edilen Fe seviyelerinden daha büyük ve (2) Osmaniye ve İran'da yetişen yer fıstığı örnekleri için ölçülen Fe seviyesinin, diğer seviyelere göre önemli ölçüde büyük olduğu görülmektedir.

Kobalt (Co), esansiyel element olmasının yanında aynı zamanda zehirli ağır metaldir. İncelenen yer fıstığı örneklerindeki Co seviyesi, 2,1 mg/kg – 20,0 mg/kg aralığında bulundu. Co'nun en küçük değeri YF36 kodlu örnekte ölçülmüş iken en büyük değeri ise YF14 kodlu örnekte ölçüldü. Tablo 4.8'den, bu çalışmada elde edilen Co derişim seviyesinin, (1) Osmaniye'de yetişen yer fıstığı örnekleri için ölçülen Co seviyesinden daha küçük ve (2) Avustralya'da yetişen yer fıstığı örnekleri için ölçülen Co seviyesinden ise daha büyük olduğu anlaşılmaktadır.

Nikel (Ni), esansiyel element olmasının yanında aynı zamanda ağır metaldir. Günlük olarak 150 µg'dan az alınması tavsiye edilmektedir (Karcık, 2017). İncelenen yer fıstığı örneklerindeki Ni seviyesi, 11,7 mg/kg – 23,7 mg/kg aralığında bulundu. Ni'nin en küçük değeri YF36 ve YF37 kodlu örnekte ölçülmüş iken en büyük değeri ise YF2 kodlu örnekte ölçüldü. Avustralya'da yetiştirilen yer fıstığı örneklerinin Ni seviyesi, 4,15 mg/kg – 7,45 olarak bulundu (Thien vd., 2010). Bu çalışmada elde edilen Ni seviyesi, Avustralya yer fıstığı örnekleri için ölçülen Ni seviyesinden daha büyüktür.

Bakır (Cu), esansiyel element olmasının yanında aynı zamanda zehirli ağır metaldir. Cu, sindirim (gıda-zinciri sonucunda) ve solunum (havanın ve toz) yolu ile vücuda girebilir. Böylece Cu, kan dolaşımı vasıtasıyla vücudun diğer taraflarına da dağılır. Vücut, kan dolaşımına yüksek seviyede Cu girişini son derece iyi bloke eder. Bununla birlikte aşırı derecede Cu alımı, karaciğerin işlevini kaybetmesine sebep olabilir (Karcık, 2017). İncelenen yer fıstığı örneklerindeki Cu seviyesi, 9,5 mg/kg – 33,8 mg/kg aralığında bulundu. Cu'nun en küçük değeri YF41 kodlu örnekte ölçülmüş iken en büyük değeri ise YF6 kodlu örnekte ölçüldü. Tablo 4.8'den, bu çalışmada elde edilen Cu derişim seviyesinin, (1) Pakistan ve Gana yer fıstığı örnekleri için elde edilen Cu seviyeleri ile uyumlu, (2) Avustralya yer fıstığı örnekleri için ölçülen Cu seviyesinden daha büyük, (3) Osmaniye ve Nijerya yer fıstığı örnekleri için ölçülen Cu seviyelerinin, diğer fıstık örnekleri için ölçülen Cu seviyelerinden önemli ölçüde büyük olduğu anlaşılmaktadır. Türkiye'de tüketilen gıdalardaki Cu seviyesi, Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliğinde, 0,05 mg/kg – 25 mg/kg olarak belirlenmiştir (URL-2). İncelenen yer fıstığı örneklerinin yüzde % 33'ünün (14 tanesinin) Cu derişimi, müsaade edilen azami seviyenin üzerindedir.

Çinko (Zn), esansiyel element olmasının yanında aynı zamanda zehirli ağır metaldir. Zn enerji metabolizması, protein sentezi, gen dizilişi gibi metabolik olaylarda kofaktör olarak görev alan bir elementtir (Karcık, 2017). Vücuda yeterli seviyede (15-50 mg/gün) Zn alınmaması, 60-70 kadar enzimin daha az etkin olmasına sebep olabilir (Karcık, 2017). İncelenen yer fıstığı örneklerindeki Zn seviyesi, 41,9 mg/kg – 82,1 mg/kg aralığında bulundu. Zn'nin en küçük değeri YF41 kodlu örnekte ölçülmüş iken en büyük değeri ise YF23 kodlu örnekte ölçüldü. Tablo 4.8'den, bu çalışmada elde edilen Zn derişim seviyesinin, (1) Pakistan, Gana Avustralya, İran, Nijerya ve Tayland yer fıstığı örnekleri için elde edilen Zn seviyeleri ile uyumlu ve bu değerlerden biraz daha büyük ve (2) Osmaniye yer fıstığı örnekleri için ölçülen Zn seviyesinin, diğer seviyelere göre önemli ölçüde büyük olduğu görülmektedir.

Selenyum (Se), esansiyel eser elementtir. İncelenen yer fıstığı örneklerindeki Se seviyesi, 0,2 mg/kg – 1,4 mg/kg aralığında bulundu. Se'nin en küçük değeri YF37 kodlu örnekte ölçülmüş iken en büyük değeri ise YF34 kodlu örnekte ölçüldü. Tablo 4.8'den, bu çalışmada elde edilen Se derişim seviyesinin, (1) Nijerya'da yetiştirilen yer fıstığı örnekleri için elde edilen Se seviyesi ile uyumlu, (2) Avustralya yer fıstığı örnekleri için ölçülen Se seviyesinden daha büyük ve (3) Osmaniye yer fıstığı örnekleri için ölçülen Se seviyesinin, diğer seviyelere göre önemli ölçüde büyük olduğu görülmektedir.

Molibden (Mo) esansiyel element olmasının yanında aynı zamanda zehirli ağır metaldir. İncelenen yer fıstığı örneklerindeki Mo seviyesi, 1,4 mg/kg – 5,3 mg/kg aralığında bulundu. Mo'nun en küçük değeri YF28 kodlu örnekte ölçülmüş iken en büyük değeri ise YF38 kodlu örnekte ölçüldü. Avustralya'da yetiştirilen yer fıstığı örneklerinin Mo seviyesi, 0,212 mg/kg – 0,721 mg/kg olarak bulundu (Thien vd., 2010). Bu çalışmada elde edilen Mo seviyesi, Avustralya yer fıstığı Mo seviyesinden daha büyüktür.

Yer fıstığı örneklerinin içerdiği esansiyel halojenlerin derişimleri, Tablo 4.9'da sunuldu. Tablo 4.4 ve Tablo 4.9'dan da görülebileceği gibi ortalama derişim değerlerine göre esansiyel eser halojenler, Cl > I > Br olarak sıralanmaktadır.

Tablo 4.9. Yer fıstığı örneklerinin esansiyel eser halojen içerikleri

Örnek kodu	Derişim (mg/kg)		
	Cl	Br	I
YF1	304,3	1,5	5,0
YF2	272,4	1,3	6,7
YF3	178,3	0,8	5,1
YF4	154,4	1,3	6,8
YF5	281,9	0,5	2,8
YF6	231,4	1,3	10,3
YF7	300,4	1,2	4,0
YF8	218,3	1,2	4,5
YF9	263,1	1,2	4,3
YF10	312,4	1,7	11,9
YF11	287,3	1,1	3,6
YF12	169,7	1,2	4,3
YF13	270,9	1,4	2,5
YF14	261,1	1,2	2,6
YF15	240,0	1,5	8,6
YF16	186,4	1,0	5,2
YF17	234,7	1,0	3,8
YF18	234,4	1,5	10,0
YF19	321,7	1,4	3,5
YF20	134,2	1,4	5,3
YF21	223,4	1,1	4,8
YF22	282,2	1,5	6,8
YF23	268,9	1,2	5,2
YF24	294,1	1,4	2,8
YF25	223,4	1,2	3,5
YF26	211,9	1,3	5,1
YF27	297,4	1,3	6,0
YF28	115,9	1,5	7,8
YF29	83,9	0,2	2,2
YF30	201,9	1,3	2,9
YF31	148,9	0,5	2,1
YF32	184,8	1,1	2,8
YF33	218,9	0,2	2,6
YF34	204,0	1,3	2,7
YF35	167,6	0,8	2,9
YF36	112,4	0,8	2,2
YF37	135,0	0,9	3,7
YF38	161,9	1,2	3,8
YF39	116,3	0,7	3,9
YF40	105,7	0,4	2,5
YF41	71,9	0,3	2,3
YF42	96,4	0,8	2,2

Klor (Cl) esansiyel eser halojen elementtir. İncelenen yer fıstığı örneklerindeki Cl seviyesi, 71,9 mg/kg – 321,7 mg/kg aralığında bulundu. Cl'nin en küçük değeri, YF41 kodlu örnekte ölçülmüş iken en büyük değeri ise YF19 kodlu örnekte ölçüldü. Pakistan'da yetiştirilen yer fıstığı örnekleri için ölçülen Cl seviyesi, 580 mg/kg – 660 mg/kg olarak bulundu (Khalil ve Chughtai, 1983). Bu çalışmada elde edilen Cl seviyesi, Pakistan yer fıstığı örnekleri için elde edilen Cl seviyesinden daha küçüktür.

İyot (I) esansiyel eser halojen elementtir. İncelenen yer fıstığı örneklerindeki I seviyesi, 2,1 mg/kg – 11,9 mg/kg aralığında bulundu. I'nın en küçük değeri, YF31 kodlu örnekte ölçülmüş iken en büyük değeri ise YF10 kodlu örnekte ölçüldü.

Brom (Br) esansiyel eser halojen elementtir. İncelenen yer fıstığı örneklerindeki Br seviyesi, 0,2 mg/kg – 1,7 mg/kg aralığında bulundu. Br'nin en küçük değeri, YF29 ve YF33 kodlu örnekte ölçülmüş iken en büyük değeri ise YF10 kodlu örnekte ölçüldü.

4.4. Yer Fıstığı Örneklerinin Esansiyel Olmayan Ağır Metal İçerikleri

Yer fıstığı örneklerinin içerdiği esansiyel olmayan ağır metal derişimleri, Tablo 4.10'da sunuldu. Tablo 4.10'dan da görülebileceği gibi ortalama derişim değerlerine göre esansiyel olmayan ağır metaller, Sn > Pb > Cd > Hg olarak sıralanmaktadır.

Kalay (Sn), esansiyel olmayan zehirli ağır metaldir. İncelenen yer fıstığı örneklerindeki Sn seviyesi, 3,0 mg/kg – 15,7 mg/kg aralığında bulundu. Sn'nin en büyük değeri, YF10 kodlu örnekte ölçüldü.

Kurşun (Pb), atmosfere metal veya bileşik olarak yayılan ve zehirlilik özelliğini her durumda taşıyan ağır metallerin başında gelen ve doğada yok olmayan ve bozulmayan ikinci sınıf kanserojen maddeler grubundan olan bir ağır metaldir (Karcık, 2017). İncelenen yer fıstığı örneklerindeki Pb seviyesi, 0,5 mg/kg – 2,6 mg/kg aralığında bulundu. Pb'nin en büyük değeri YF14 kodlu örnekte ölçüldü.

Tablo 4.10. Yer fıstığı örneklerinin esansiyel olmayan ağır metal içerikleri

Örnek kodu	Derişim (mg/kg)			
	Cd	Sn	Hg	Pb
YF1	2,8	5,2	< 0,2	1,1
YF2	2,7	5,5	1	0,5
YF3	0,9	3,7	< 0,2	1,3
YF4	0,8	4,9	0,3	0,9
YF5	1,2	6,1	0,5	1,2
YF6	3,9	9,8	0,6	2,1
YF7	1,4	4,4	0,6	1,4
YF8	1,4	3,9	0,8	1,5
YF9	1,5	4,8	0,8	1,4
YF10	4,8	11,4	1,4	2,2
YF11	1,0	3,7	< 0,2	1,4
YF12	0,5	3,6	0,9	1,4
YF13	1,3	4,8	0,8	1,8
YF14	1,0	6,9	1,4	2,6
YF15	3,4	8,9	0,8	1,5
YF16	0,7	4,0	< 0,2	1,4
YF17	1,5	4,5	0,6	1,5
YF18	4,6	12,8	1,3	2,2
YF19	0,6	3,1	0,4	1,5
YF20	0,9	4,0	0,9	1,5
YF21	0,8	7,1	0,8	1,3
YF22	0,9	7,4	1,4	2,3
YF23	0,6	3,0	0,5	1,4
YF24	0,6	3,7	0,8	1,6
YF25	0,1	3,0	0,6	1,3
YF26	1,1	6,3	1,2	2,3
YF27	0,6	3,6	0,7	1,2
YF28	1,9	9,5	0,9	1,4
YF29	0,3	12,0	< 0,2	1,1
YF30	0,1	13,4	0,7	2,1
YF31	0,1	11,8	< 0,2	1,0
YF32	0,1	14,7	< 0,1	1,5
YF33	0,3	12,9	0,3	1,2
YF34	0,1	12,4	0,8	2,6
YF35	0,1	11,2	< 0,2	1,1
YF36	0,4	11,8	< 0,2	0,6
YF37	0,5	10,9	0,4	0,7
YF38	0,1	12,6	1	2,4
YF39	0,1	15,7	< 0,2	0,8
YF40	0,2	12,2	< 0,2	0,8
YF41	0,1	12,1	< 0,2	0,7
YF42	0,1	10,4	1,3	2,6

Türkiye’de tüketilen gıdalardaki Pb seviyesi, Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliğinde, 0,02 mg/kg – 1,5 mg/kg olarak belirlenmiştir (URL-2). İncelenen yer fıstığı örneklerinin yüzde % 26’sının (11 tanesinin) Pb derişimi, müsaade edilen azami seviyenin üzerindedir.

Kadmiyum (Cd), topraktan bitkiye geçiş oranı çok yüksek ve toprakta çok hareketli olan, çok düşük derişimlerde bile özellikle Zn noksanlığında bitkiler tarafından kolaylıkla alınan, biriken, çok düşük dozlarda bile yüksek zehirlilik etkisi gösteren, insan ve çevre sağlığı açısından büyük bir tehlike arz eden zehirli bir ağır metaldir (Karcık, 2017). Birinci sınıf kanserojen olan Cd, aynı zamanda kardiyovasküler hastalıklara da sebep olabilmektedir (Karcık, 2017). İncelenen yer fıstığı örneklerindeki Cd seviyesi, 0,1 mg/kg – 4,8 mg/kg aralığında bulundu. Cd’nin en büyük değeri YF10 kodlu örnekte ölçüldü. Türkiye’de tüketilen gıdalardaki Cd seviyesi, Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliğinde, 0,05 mg/kg – 1,0 mg/kg olarak belirlenmiştir (URL-2). İncelenen yer fıstığı örneklerinin yüzde % 33’nün (14 tanesinin) Cd derişimi, müsaade edilen azami seviyenin üzerindedir.

Cıva (Hg), organizmada hiçbir biyokimyasal ve fizyolojik işlevi olmayan zehirli bir ağır metaldir. Bitkisel ürünlerde Hg bulunmaz, ancak tarımsal uygulamalar esnasında Hg içeren spreylere kullanılmasıyla gıda zinciri ile insan vücuduna taşınabilir. İnsan vücuduna girdiği andan itibaren, alzheimer, epilepsi, parkinson ve kronik olarak yorgunluk sendromları gibi beyinde birtakım hasarlara sebep olabilmektedir (Karcık, 2017). İncelenen yer fıstığı örneklerindeki Hg seviyesi, < 0,2 mg/kg – 1,4 mg/kg aralığında bulundu. Hg’nin en büyük değeri YF10, YF14 ve YF22 kodlu örneklerde ölçüldü. Türkiye’de tüketilen gıdalardaki Hg seviyesi, Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliğinde, 0,1 mg/kg – 1,0 mg/kg olarak belirlenmiştir (URL-2). İncelenen yer fıstığı örneklerinin yüzde % 14’ünün (6 tanesinin) Hg derişimi, müsaade edilen azami seviyenin üzerindedir.

4.5. Günlük Ağır Metal Alımı

Günlük ağır metal alımı (GMA $\mu\text{g/gün.kg}$ cinsinden), aşağıda verilen bağıntı ile hesaplandı (Khan vd., 2008):

$$GMA = \frac{MD \cdot O \cdot GT}{M} \quad (4.2)$$

Burada, MD, yer fıstığı örneklerinde analiz edilen ağır metal derişimi ($\mu\text{g/g}$); O, yer fıstığı örneklerinin ortalama kuru/yaş oranı (0,85); GT, yer fıstığının günlük tüketimi (5 g/gün) ve M, Yetişkin bir bireyin ortalama ağırlığıdır (70 kg). V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Sn, Cd, Pb ve Hg ağır metalleri için hesaplanan GMA değerleri Tablo 4.11'de verildi.

Tablo 4.11. *Günlük ağır metal alımı*

Ağır metal	GMA ($\mu\text{g/gün kg}$)
V	0,36
Cr	0,21
Mn	2,31
Fe	3,61
Co	0,50
Ni	1,09
Cu	1,41
Zn	4,33
Sn	0,48
Cd	0,07
Pb	0,09
Hg	0,05

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

İncelenen yer fıstığı örneklerinde analiz edilen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerin ortalama aktivite derişimleri, sırasıyla 5,4 Bq/kg, 7,3 Bq/kg ve 422,3 Bq/kg olarak bulundu. Bu radyonüklitlerden kaynaklanan yıllık etkin radyasyon dozunun ortalama değeri 8,4 $\mu\text{Sv/y}$ olarak hesaplandı. Bu yıllık doza, ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerinin ortalama katkısı, sırasıyla, 2,2 $\mu\text{Sv/y}$, 2,4 $\mu\text{Sv/y}$ ve 3,8 $\mu\text{Sv/y}$ olarak belirlendi. Grafik 4.7'den de görülebileceği gibi yıllık etkin radyasyon dozuna esas katkı, % 46'lık oranla ^{40}K radyonüklitinden ileri gelmektedir. Ortalama yıllık etkin radyasyon dozu değeri, dünya çapında bir bireyin, gıda ve su tüketiminden dolayı aldığı ortalama yıllık etkin radyasyon dozu değeri olan 300 $\mu\text{Sv/y}$ 'den önemli ölçüde düşüktür. Sonuç olarak, hem radyonüklitlerin değeri hem de yıllık etkin radyasyon doz değeri, incelenen yer fıstığı örneklerinin gıda olarak tüketilmesinin radyolojik açıdan herhangi bir risk oluşturmadığını ve yer fıstığının radyolojik açıdan güvenli bir gıda olduğunu göstermektedir.

İncelenen yer fıstığı örneklerinin içerdiği 18 esansiyel element $\text{K} > \text{P} > \text{S} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{Cl} > \text{Zn} > \text{Fe} > \text{Mn} > \text{Cu} > \text{Ni} > \text{Co} > \text{V} > \text{I} > \text{Cr} > \text{Mo} > \text{Br} > \text{Se}$ olarak sıralanmaktadır. Yer fıstığı örneklerinde, esansiyel minör-majör olarak analiz edilen K, P, S, Ca ve Mg'nin ortalama değerleri, sırasıyla 13437 mg/kg, 5058 mg/kg, 3451 mg/kg, 1786 mg/kg ve 1759 mg/kg olarak bulundu. Yer fıstığı örneklerinde, esansiyel eser olarak analiz edilen Zn, Fe, Mn, Cu, Ni, Co, V, Cr, Mo ve Se'nin ortalama değerleri, sırasıyla 71,3 mg/kg, 59,4 mg/kg, 38,0 mg/kg, 23,3 mg/kg, 17,9 mg/kg, 8,3 mg/kg, 6,0 mg/kg, 3,5 mg/kg, 2,6 mg/kg ve 0,8 mg/kg olarak bulundu. Hem esansiyel hem de ağır metal olan Cu'nun ortalama değeri, Türkiye'de tüketilen gıdalar için belirlenen azami sınır değerinden daha küçüktür. Yer fıstığı örneklerinde, esansiyel eser halojen olarak analiz edilen Cl, I ve Br'nin ortalama değerleri, sırasıyla 209,1 mg/kg, 4,6 mg/kg ve 1,1 mg/kg olarak bulundu. Sonuç olarak, yer fıstığında analiz edilen 18 esansiyel element seviyeleri, yer fıstığının mineral açısından zengin ve son derece besleyici bir gıda olduğunu bir daha kanıtlamıştır.

İncelenen yer fıstığı örneklerinde, esansiyel olmayan eser ağır metal olarak analiz Sn, Pb, Cd ve Hg'nin ortalama değerleri, sırasıyla 7,9 mg/kg, 1,5 mg/kg, 1,1 mg/kg ve 0,8 mg/kg olarak bulundu. Pb'nin ortalama değeri, Türkiye'de tüketilen gıdalar için belirlenen azami sınır değerine eşittir. Cd'nin ortalama değeri, Türkiye'de tüketilen gıdalar için belirlenen azami sınır değerinden biraz daha büyüktür. Günlük ağır metal alımları, müsaade edilen miktarlara uygundur. Sonuçlar, yer fıstığı örneklerinin içerdiği zehirli ağır metal seviyelerinin, makul seviyede ve belirlenen sınır değerler dâhilinde olduğunu ve bu açıdan da yer fıstığının güvenli bir gıda olduğunu göstermektedir.

5.1. Öneriler

Bu çalışma, Adana ili ve ilçelerinde yetiştirilen yer fıstığı örneklerinin içerdiği hem radyonüklit hem de esansiyel element ve ağır metal içeriklerin belirlenmesine yönelik olarak yapılan ilk ayrıntılı çalışmadır. Bu çalışma sonucunda elde edilen veriler, gıda kontrolüne yönelik yol gösterici bilgi mahiyetindedir. Çalışma sonucunda,

- Protein, yağ ve mineral açısından çok zengin olan yer fıstığına Türkiye'de gerektiği kadar önem verilmediği anlaşılmıştır ve bu yüzden yer fıstığına gereken önemin verilmesi,
- Yer fıstığı türlerinin artırılması ve bunların daha verimli hâle getirilmesine yönelik araştırmaların yok denecek kadar az olması tespit edilmiştir ve bu tür çalışmaların özellikle Çukurova bölgesinde yer alan üniversiteler tarafından yapılması,
- Yer fıstığının katkı ham maddesi olarak farklı gıdalarda kullanılmasının yaygınlaştırılması ve bu tür besleyici ve ucuz gıda maddesinin üretiminin artırılması ve
- Yer fıstığının ne kadar besleyici olduğu hakkında farkındalık oluşturulması ve halkımızın bilgilendirilmesi önerilir.

KAYNAKLAR

- Addo M.A., Darko E.O., Gordon C., Nyarko B.J.B. (2013). A preliminary study of natural radioactivity ingestion from cassava grown and consumed by inhabitants around a cement production facility in the Volta region, Ghana. *International Journal of Environmental Science*, 3(6), 2312-2323.
- Adotey, D.K., Armah, Y.S., Fianko, J.R., Yeboah, P.O. (2009). Essential elements content in core vegetables grown and consumed in Ghana by instrumental neutron activation analysis. *African Journal of Food Science*, 3(9), 243-249.
- Akhtar, S., Khalid, N., Ahmed, I., Shahzad, A., Suleria, H.A.R. (2014). Physicochemical characteristics, functional properties, and nutritional benefits of peanut oil: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54, 1562-1575.
- Alaviani, S., Mahmoudyar, F., Miraftebi, S.F., Salehisormghi, M.H., Qomi, M. (2012). Determination of Iranian almond, peanut and hazelnut mineral content. *Journal of Basic and Applied Chemistry*, 2(7), 50-54.
- Alper, C.M., Mattes, R.D. (2003). Peanut consumption improves indices of cardiovascular disease risk in healthy Adults. *Journal of the American College of Nutrition*, 22(2), 133-141.
- Akkaya, M.R., Yücel, H., Duman, A.D., Didin, M., Özer, E.A., Kola, O. (2017). Yerfistiği (*Arachis hypogaea* L.)'nda bazı kalite özelliklerinin yakın kızılötesi spektroskopisi (NIRS) ile belirlenmesi. *Derim*, 34(1), 37-42.
- Anyasor, G.N., Ogunwenmo, K.O., Oyelana, O.A., Ajayi, D., Dangana, J. (2009). Chemical analyses of groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Pakistan Journal of Nutrition*, 8(3), 269-272.
- Asibuo, J.Y., Akromah, R., Safo-Kantanka, O. Adu-Dapah, H.K., Ohemang-Dapaah, S., Agyeman A. (2008). Chemical composition of groundnut, *Arachis hypogaea* Landraces. *African Journal of Biotechnology*, 7(13), 2203-2208.
- Atasie, V.N., Akinhanmi, T.F., Ojiodu, C.C. (2009). Proximate analysis and physico-chemical properties of groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Pakistan Journal of Nutrition*, 8(2), 194-197.
- Awad, A.B., Chan, K.C., Downie, A.C., Fink, C.S. (2000). Peanuts as a source of β -sitosterol, a sterol with anticancer properties. *Nutrition and Cancer*, 36(2), 238-241.
- Ayoola, P.B., Adeyeye, A. (2010). Effect of heating on the chemical composition and physico-chemical properties of *Arachis hypogaea* (groundnut) seed flour and oil. *Pakistan Journal of Nutrition*, 9(8), 751-754.

- Badmaev, V., Prakash, S., Majeed, M. (2007). Vanadium: a review of its potential role in the fight against diabetes. *Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 5(3), 273-291.
- Brouwer, P. (2013). *Theory of XRF-Getting acquainted with the principles*. PANalytical. EA Elmelo.
- Casini, C., Dardanelli, J.L., Martinez, M.J., Balzarini, M., Borgogno, C.S., Nassetta, M. (2003). Oil quality and sugar content of peanuts (*Arachis hypogaea*) grown in Argentina: their relationship with climatic variables and seed yield. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 6309-6313.
- Childers, D.L., Corman, J., Edwards, M., Elser, J.J. (2011). Sustainability challenges of phosphorus and food: solutions from closing the human phosphorus cycle. *BioScience* 61(2),117–124.
- Ching, J.A., Binag, C.A., Alejandro, G.J.D. 2008. Uptake and distribution of some heavy metals in peanut (*Arachis hypogaea* L.) grown in artificially contaminated soil. *The Philippine Agricultural Scientists*, 91(2), 134-142.
- Chowdhury, S., Pandit, K., Roychowdury, P., Bhattacharya, B. (2003). Role of chromium in human metabolism, with special reference to type 2 diabetes. *JAPI*, 51, 701-705.
- Çıkkılı, Y., Samet, H., Dursun, S. (2015). Mutual effects of boron and zinc on peanut (*Arachis hypogaea* L.) growth and mineral nutrition. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 46, 641-651.
- Çınar, N., Aydınşakir, K., Dinç, N., Büyüktaş, D., Işık, M. (2016). Yerfıstığında (*Arachis hypogaea* L.) su stresinin stoma özellikleri üzerindeki etkisi. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 29(2), 79-84.
- Çil, A.N., Çil, A., Akkaya, M.R., Şahin, V. (2016). Investigation of some agricultural properties of some peanut (*Arachis hypogaea* L.) genotypes in Cukurova irrigated conditions. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25, 18-23.
- Das, K.K., Das, S.N., Dhundasi, S.A. (2008). Nickel, its adverse health effects & oxidative stress. *Indian Journal of Medical Research*, 128, 412-425.
- Desideri, D., Meli, M.A., Roselli, C., Feduzi, L. (2011). Polarized X ray fluorescence spectrometer (EDPXRF) for the determination of essential and non essential elements in tea. *Microchemical Journal*, 98, 186-189.
- Faryadi, Q. (2012). The magnificent effects of magnesium to human health: a critical review. *International Journal of Applied Science and Technology*, 2(3), 118-126.

- Fraga, C.G. (2005). Relevance, essentiality and toxicity of trace elements in human health. *Molecular Aspects of Medicine*, 26, 232-244.
- Gad, N. (2012). Role and importance of cobalt nutrition on groundnut (*Arachis hypogaea* L.) production. *World Applied Sciences Journal*, 20 (3), 359-367.
- Galvao, L.C.A., Lopez, A., Williams, H.L. (1976). Essential mineral elements in peanuts and peanut butter. *Journal of Food Science*, 41(6), 1305-1307.
- Gashti, A.H., Vishekaei, M.N.S., Hosseinzadeh, M.H. (2012). Effect of potassium and calcium application on yield, yield components and qualitative characteristics of peanut (*Arachis hypogaea* L.) in Gulian province, Iran. *World Applied Sciences Journal*, 16(4), 540-546.
- Georgievski, B., Kostik, V., Georgievska, L.S., Kochubovski, M., Memeti, S.H. (2016). Qualitative and quantitative analysis of aflatoxins in raw peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 17(3), 961-969.
- Golombek, S.D., Sridhar, R., Singh, U. (1995). Effect of soil temperature on the seed composition of three Spanish cultivars of groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43, 2067-2070.
- Grieken, R.V.G., & Margui, E. (2013). *X-ray fluorescence spectrometry and related techniques*. US-Canada: Momentum Press.
- Grosso, N.R., Guzman, C.A. (1995). Chemical composition of aboriginal peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43, 102-105.
- Grosso, N.R., Lucini, E.I., López, A.G., Guzmán, C.A. (1999). Chemical composition of aboriginal peanut (*Arachis hypogaea* L.) seeds from Uruguay. *Grasas y Aceites*, 50(3), 203-207.
- Grosso, N.R., Nepote, V., Guzmán, C.A. (2000). Chemical composition of some wild peanut species (*Arachis* L.) seeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 806-809.
- Gören, E. (2016). Kangal Termik Santralinin çevreye etkileri ve termik santral atıklarının kullanımının radyolojik açıdan değerlendirilmesi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Adana.
- Gulluoglu, L. (2011). Effects of regulator applications on pod yield and some agronomic characters of peanut in Mediterranean Region. *Turkish Journal of Field Crops*, 16(2), 210-214.
- Gulluoğlu, L., Bakal, H., Onat, B., El Sabagh, A., Arioğlu, H. (2016). Characterization of peanut (*Arachis hypogaea* L.) seed oil and fatty acids composition under different growing season under Mediterranean

- environment. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 4, 564-571.
- Holzhauser, T., Vieths, S. (1999). Indirect competitive ELISA for determination of traces of peanut (*Arachis hypogaea* L.) protein in complex food matrices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47, 603-611.
- ICRP (International Commission on Radiological Protection). (1996). Age-depended doses to members of the public from intake of radionuclides. Vol. 72, Part 5: *compilations of ingestion and inhalation dose coefficient*.
- Ingenbleek, Y., Kimura, H. (2013). Nutritional essentiality of sulfur in health and disease. *Nutrition Reviews*, 71(7), 413-432.
- Işık, H., Gül, A., (2004). Peanut production and problems in Turkey. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 7(4), 472-477.
- Janila, P., Nigam, S.N., Abhishek, R., Kumar, V.A. (2015). Iron and zinc concentrations in peanut (*Arachis hypogaea* L.) seeds and their relationship with other nutritional and yield parameters. *Journal of Agricultural Science*, 153(6), 975-994.
- Jia G., Jia J. (2012). Determination of radium isotopes in environmental samples by gamma spectrometry, liquid scintillation counting and alpha spectrometry: a review of analytical methodology. *Journal of Environmental Radioactivity*, 106, 98-110.
- Jonnala, R.S., Dunford, N.T., Dashiell, K.E. (2005). New high-oleic peanut cultivars grown in the Southwestern United States. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 82(2), 125-128.
- Kadiroğlu, A. (2018). *Yerfıstığı yetiştiriciliği*. Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Antalya.
- Karataşlı, M., Özer, T. (2017). Osmaniye'de yetişen yer fıstığının radyasyon aktivitesinin incelenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 21(3), 1017-1023.
- Karcık, H. (2017). Çeşitli organik kuruyemişlerin ağır metal içeriklerine yönelik bir araştırma. Yüksek Lisans Tezi, *Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Tekirdağ.
- Karpagavalli, K., Raju, K. (2017). Effect of heavy metal pollution on groundnut (*Arachis hypogaea* L.) cultivar- A spectroscopic study. *Advances in Natural and Applied Sciences*, 11(4), 120-122.
- Khalil, J.K., Chughtai, M.I.D. (1983). Chemical composition and nutritional quality of five peanut cultivars grown in Pakistan. *Plant Foods for Human Nutrition (formerly Qualitas Plantarum)*, 33, 63-70.

- Khan, S., Cao, Q., Zheng, Y.M., Huang, Y.Z., Zhu, Y.G. (2008). Health risks of heavy metals in contaminated soils and food crops irrigated with wastewater in Beijing, China. *Environmental Pollution*, 152, 686-692.
- Knoll G. F. (2000). *Radiation detection and measurements*. 3rd ed., John Wiley & Sons, Inc. ISBN: 0-471-07338-5, New York.
- Krane, K.S. (1987). *Introductory nuclear physics*. 2nd ed., New York, USA. John Wiley & Sons.
- Lukaniuk, K.S., Jaromin, A., Korycinska, M., Kozubek, A. (2011). Health benefits of peanut (*Arachis hypogaea* L.) seeds and peanut oil consumption. Victor R., R.R Watson & Vinood B. Pate (Eds.), *Nuts and seeds in health and disease prevention* (pp. 873-880). Elsevier: Academic Press.
- McLaughlin, M.J., Bell, M.J., Wright, G.C., Cozens, G.D. (2000). Uptake and partitioning of cadmium by cultivars of peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Plant and Soil*, 222, 51-58.
- Meena, H.N., Meena, M., Yadav, R.S. (2016). Comparative performance of seed types on yield potential of peanut (*Arachis hypogaea* L.) under saline irrigation. *Field Crops Research*, 196, 305-310.
- Mondragón, M.G.C., De La Barca, A.M.C., Prado, A.D., Reyes, L.C.C., Ros, R.M.O., Garcia, J. O., Juárez, L.A.M., Angulo, O. (2009). Nutritional composition of new peanut (*Arachis hypogaea* L.) cultivars. *Grasas y Aceites*, 60(2), 161-167.
- Nagajyoti, P.C., Dinakar, N. Prasad, T.N.V.K.V., Suresh, C., Damodharam, T. (2008). Heavy metal toxicity: industrial effluent effect on groundnut (*Arachis hypogaea* L.) seedlings. *Journal of Applied Sciences Research*, 4(1), 110-121.
- Novotny, J.A. (2011). Molybdenum nutriture in humans. *Journal of Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 16(3), 164-168.
- Nwkolo, E. (1996). Peanut (*Arachis hypogaea* L.). E. Nwokolo & J. Smartt (Eds.), *Food and feed from legumes and oilseeds* (pp. 49-63). New York: Chapman and Hall.
- Onat, B., Bakal, H., Gulluoglu, L., Arioğlu, H. (2017). The effects of row spacing and plant density on yield and yield components of peanut grown as a double crop in Mediterranean environment in Turkey. *Turkish Journal of Field Crops*, 22(1), 71-80.
- Özcan, M., Seven, S. (2003). Physical and chemical analysis and fatty acid composition of peanut, peanut oil and peanut butter from ÇOM and NC-7 cultivars. *Grasas y Aceties*, 54(1), 12-18.

- Özcan, M.M. (2010). Some nutritional characteristics of kernel and oil of peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Journal of Olea Science*, 59(1), 1-5.
- Özkaynak, S. (2014). Türkiye’de tüketilen bazı baklagil, kuruyemiş ve şifalı bitkilerde grafit fırınlı atomik absorpsiyon spektrometri ile eser element tayini. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Parengam, M., Judprasong, K., Srianujata, S., Jittinandana, S., Laoharojanaphand, S., Busamongko, A. (2010). Study of nutrients and toxic minerals in rice and legumes by instrumental neutron activation analysis and graphite atomic absorption spectrophotometry. *Journal of Food Composition and Analysis*, 23, 340-345.
- Prashanth, L., Kattapagari, K.K., Chitturi, R.T., Baddam, V.R.R., Prasad, L.K. (2015). A review on role of essential trace elements in health and disease. *Journal of Dr. NTR University of Health Sciences*, 4(2), 75-85.
- Rayman, M.P. (2000). The importance of selenium to human health. *Lancet* 356, 232-241.
- Ringer, J., Bartlett, Y. (2007). The significance of potassium. *Pharmaceutical Journal*, 278, 497-500.
- Sanders, T.H., McMichael, R.W., Hendrix, K.W. (2000). Occurrence of resveratrol in edible peanuts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 1243-1246.
- Sarvamangala, C., Gowda, M.V.C., Varshney, R.K. (2011). Identification of quantitative trait loci for protein content, oil content and oil quality for groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Field Crops Research*, 122, 49-59.
- Sathe, S.K. (1996). The nutritional value of selected Asiatic pulses: chickpea, black gram, mung bean and pigeon pea. E. Nwokolo & J. Smartt (Eds.), *Food and feed from legumes and oilseeds* (pp. 12-32). New York: Chapman and Hall.
- Settaluri, V.S., Kandala, C.V.K., Puppala, N., Sundaram, J. (2012). Peanuts and their nutritional aspects-A review. *Food and Nutrition Sciences* 3, 1644-1650.
- Shackley, M.S. (2011). *X-ray fluorescence spectrometry (XRF) in geoarchaeology*. USA: Springer Science, Business Media, LLC
- Shi, G., Su, G., Lu, Z., Liu, C., Wang X. (2014). Relationship between biomass, seed components and seed Cd concentration in various peanut (*Arachis hypogaea* L.) cultivars grown on Cd-contaminated soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 110, 174-181.

- Shokunbi, O.S., Fayomi, E.T., Sonuga, O.S., Tayo, G.O. (2012). Nutrient composition of five varieties of commonly consumed Nigerian groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Grasas y Aceites*, 63(1), 14-18.
- Singh, S.B., Abrol, I.P. (1985). Effect of soil sodicity on the growth, yield and chemical composition of groundnut (*Arachis hypogaea* Linn.). *Plant and Soil*, 84, 123-127.
- Soetan, K.O., Olaiya, C.O., Oyewole, O.E., 2010. The importance of mineral elements for humans, domestic animals and plants: A review. *African Journal of Food Science*, 4(5), 200-222.
- Stalker, H.T. (1997). Peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Field Crops Research*, 53, 2015-217.
- Temirci, A.T. (2017). Kastamonu’da kullanılan yapı malzemelerinde doğal olarak bulunan radyonüklitlerin (^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Th , ^{222}Rn ve ^{40}K) aktivite derişimlerinin ve bu malzemelerin radon salım hızlarının ölçülmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Kastamonu.
- Thien, K.Y.P., Wright, G.C., Lee, N.A. (2010). Genotype-by-environment interaction affects the essential mineral composition of peanut species (*Arachis hypogaea* L.) kernels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 9204-9213.
- Thien, K.Y.P., Wright, G.C., Lee, N.A. (2012). Inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS) and -optical emission spectroscopy (ICO-OES) for determination of essential minerals in closed acid digestates of peanuts (*Arachis hypogaea* L.). *Food Chemistry*, 134, 453-460.
- URL-1. Türkiye İstatistik Kurumu web sayfası, 01/09/2018 tarihinde http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1029 kurumsal adresinden alınmıştır.
- URL-2. Türk Gıda Kodeksi Mevzuat Gıda, Tarım ve Orman Bakanlığı web sayfası, 13/10/2018 tarihinde <https://www.tarimorman.gov.tr/> kurumsal adresinden alınmıştır.
- UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation). (2000). *Sources and effects of ionizing radiation*. United Nations Publication, New York, USA, 2000.
- Waliyar, F., Umeh, V.C., Traore, A., Osiru, M., Ntare, B.R., Diarra, B., Kodio, O., Kumar, K.V.K., Sudini, H. (2015). Prevalence and distribution of aflatoxin contamination in groundnut (*Arachis hypogaea* L.) in Mali, West Africa. *Crop Protection*, 70, 1-7.

Yıldırım, A. (2018). Türkiye'deki mevcut volkanik tuf ocaklarının elemental dağılımlarının belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. *Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Kastamonu.

Yol, E., Furat, S., Upadhyaya, H.D., Uzun, B. (2018). Characterization of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) collection using quantitative and qualitative traits in the Mediterranean Basin. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(1), 63-75.

Zuo, Y., Ren, L., Zhang, F., Jiang, R.F. (2007). Bicarbonate concentration as affected by soil water content controls iron nutrition of peanut plants in a calcareous soil. *Plant Physiology and Biochemistry*, 45, 357-364.



ÖZGEÇMİŞ

Adı soyadı : Amena H. Abdussalam
ABUGOUFA
Doğum yeri, tarihi : Subratah (Libya) – 17/01/1986
Medeni hali : Evli
E-posta : nori_abdussalam@yahoo.com



ÖĞRENİM DURUMU

Lise : South School Zouagha (Libya)
Lisans : Physics Department of
Zawia University (Libya)

ULUSLARARASI BİLİMSEL TOPLANTILARDA YAPILAN SUNUMLAR (TAM METİN VEYA ÖZET)

- 1) N. TURFAN, A. KURNAZ, A. H. A. ABUGOUFA, M. KARATAŞLI, T. ÖZER, and Ş. TURHAN. Analysis of nutrition contents in peanut (*Arachis hypogaea* L.) samples grown in Adana province, Turkey. ICELIS 2018- International Congress on Engineering and Life Science, 2018, Kastamonu, Turkey.
- 2) A. KURNAZ, A. H. A. ABUGOUFA, M. KARATAŞLI, T. ÖZER, N. TURFAN, and Ş. TURHAN. Determination of essential elements and heavy metals of groundnuts by XRF spectrometric method. International Symposium Ecology 2018, 2018, Kastamonu, Turkey.