

T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANA BİLİM DALI



**KASTAMONU'DA YETİŞTİRİLEN SİYEZ (*Triticum monococcum*
L.) BUĞDAYININ RADYONÜKLİT, ESANSİYEL VE AĞIR
METAL İÇERİKLERİNİN TAHRİBATSIZ ANALİZ YÖNTEMİ
İLE BELİRLENMESİ**

DALAL ABOBAKER OMAR SULTAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PROF. DR. ŞEREF TURHAN

TEMMUZ - 2020
KASTAMONU

TEZ ONAYI

DALAL ABOBAKER OMAR SULTAN tarafından hazırlanan “**KASTAMONU’DA YETİŞTİRİLEN SİYEZ (*TRITICUM MONOCOCCUM* L.) BUĞDAYININ RADYONÜKLİT, ESANSİYEL VE AĞIR METAL İÇERİKLERİNİN TAHRİBATSIZ ANALİZ YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı **21.07.2020** tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Fizik Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	Prof. Dr. Şeref TURHAN
	Kastamonu Üniversitesi
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Sebahaddin ALTPTEKİN
	Çankırı Karatekin Üniversitesi .
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Aybaba HANÇERLİOĞULLARI
	Kastamonu Üniversitesi .

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Enstitü Müdürü	Prof. Dr. İzzet ŞENER
----------------	-----------------------------

TAAHHÜTNAME

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde 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, bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini bildirir ve taahhüt ederim.



DALAL ABOBAKER OMAR SULTAN

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KASTAMONU'DA YETİŞTİRİLEN SİYEZ (*TRITICUM MONOCOCCUM* L.) BUĞDAYININ RADYONÜKLİT, ESANSİYEL VE AĞIR METAL İÇERİKLERİNİN TAHRİBATSIZ ANALİZ YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ

DALAL ABOBAKER OMAR SULTAN

KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANA BİLİM DALI
DANIŞMAN: PROF. DR. ŞEREF TURHAN

Tahıl, insanlar için ana besin kaynaklarından birini oluşturmaktadır. Farklı iklim şartlarında yetişebilen buğday, besin değeri, ekonomi, kültür ve tarih açısından önemli bir tahıl ürünüdür. Ülkemizde, özellikle Kastamonu ilinde yetişen ve yöresel ismi siyez olan einkorn (*Triticum monococcum* L.), bilinen en eski buğday olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmada, Kastamonu'daki farklı ekim alanlarından toplanan 21 adet siyez örneğinin doğal radyonüklit, esansiyel element ve ağır metal içerikleri belirlendi. Elde edilen veriler, literatürde siyez ve diğer buğday türleri için belirlenen veriler ile karşılaştırıldı. Ayrıca yıllık etkin radyasyon dozu hesaplanarak siyez örneklerinin gıda olarak tüketilmesinden kaynaklanan radyolojik risk değerlendirildi. Siyez örneklerinde, yüksek saflıklı germanyum dedektörlü gama-ışını spektrometresi kullanılarak ölçülen ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{232}Th radyonüklitlerinin ortalama aktivite derişimleri, sırasıyla $181,3 \pm 4,1$ Bq/kg, $10,0 \pm 0,7$ Bq/kg ve $6,1 \pm 0,2$ Bq/kg olarak bulundu. Yöre insanının siyez örneklerinin tüketilmesinde dolayı maruz kaldığı ortalama yıllık etkin radyasyon dozu $68,2 \pm 3,1$ $\mu\text{Sv/y}$ olarak hesaplandı. Siyez örneklerinin esansiyel element (Na, Mg, P, S, Cl, K, Ca ve I), hem esansiyel hem de zehirli ağır metal (Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu ve Zn) ve ağır metal (Ti, Ag, Cd, Sn, Te, Hf, Ta ve Pb) içerikleri, enerji dağılımlı X-ışını flüoresans spektrometresi kullanılarak analiz edildi. Ayrıca günlük ağır metal alımları hesaplandı. Siyez örneklerinde As, Zr ve Hg toksik ağır metalleri gözlenmedi. Siyez örneklerinde minör seviyesinde analiz edilen Na, Mg, P, S, Cl, K ve Ca esansiyel elementlerinin ortalama derişimleri (mg/kg), sırasıyla 585 ± 156 ; 626 ± 46 ; 3078 ± 114 ; 2734 ± 61 ; 644 ± 31 ; 5844 ± 131 ve 1570 ± 259 olarak belirlendi. Eser seviyesindeki I, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu ve Zn esansiyel elementlerinin ortalama derişimleri (mg/kg), sırasıyla $7,0 \pm 0,5$; $3,6 \pm 0,2$; $89,2 \pm 1,2$; $208,5 \pm 62,6$; $16,8 \pm 0,6$; $12,1 \pm 0,1$; $8,3 \pm 0,2$ ve $65,3 \pm 2,5$ olarak bulundu. Eser seviyesindeki Ti, Ag, Cd, Sn, Te, Hf, Ta ve Pb ağır metallerin ortalama derişimleri (mg/kg), sırasıyla $21,8 \pm 5,8$; $6,1 \pm 0,3$; $2,9 \pm 0,2$; $6,9 \pm 0,4$; $13,8 \pm 0,6$; $3,2 \pm 0,2$; $24,3 \pm 0,6$ ve $1,4 \pm 0,1$ olarak analiz edildi. Sonuçlar, araştırılan siyez örneklerinin gıda olarak tüketilmesinin, yöre halkının sağlığı için radyolojik açıdan önemli bir risk

oluşturmadığı oluşturmadığını ancak eser miktarda zehirli Cd ve Pb ağır metalini içerdiğini göstermiştir. Literatürel karşılaştırma, araştırılan siyez örneklerinin, K, Ca, Fe, Mn ve Zn içerikleri açısından ülkemizde ve farklı ülkelerde yetiştirilen einkorn, emmer, spelt, karabuğday ve durum buğday örneklerine göre daha zengin olduğunu ortaya koymuştur.

ANAHTAR KELİMELEER: Siyez, radyum, toryum, radyoaktif potasyum, esansiyel elementler, ağır metaller, EDXRF, gama-ışını spektroskopisi

Temmuz 2020, 78 Sayfa
Bilim Kodu: 202



ABSTRACT

MSC THESIS

DETERMINATION OF RADIONUCLIDE, ESSENTIAL AND HEAVY METAL CONTENTS OF SİYEZ (*TRITICUM MONOCOCCUM* L.) WHEAT GROWN IN KASTAMONU BY NON-DESTRUCTIVE ANALYSIS METHOD

DALAL ABOBAKER OMAR SULTAN

KASTAMONU UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
DEPAERTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING

SUPERVISOR: PROF. DR. ŞEREF TURHAN

Cereal is one of the main nutritional sources for human beings. Wheat, which can grow in different climatic conditions, is an important cereal product in view of nutritional value, economy, culture, and history. Einkorn (*Triticum monococcum* L.) locally called siyez, which grows especially in Kastamonu province in our country, is accepted as the oldest known wheat. In this study, the natural radionuclide, essential element and heavy metal contents of 21 siyez samples collected from different cultivation areas in Kastamonu were determined. The data obtained were compared with the data determined for einkorn and other wheat types in the literature. In addition, the radiological risk arising from the consumption of siyez wheat samples as food was evaluated by estimating the annual effective radiation dose. The average activity concentrations of ^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th radionuclides measured in siyez samples using a gamma-ray spectrometry with high purity germanium detector were found as 181.3 ± 4.1 , 10.0 ± 0.7 and 6.1 ± 0.2 Bq/kg, respectively. The average annual effective radiation dose that the local people are exposed to due to the consumption of siyez samples was estimated as 68.2 ± 3.1 $\mu\text{Sv/y}$. Essential elements (Na, Mg, P, S, Cl, K, Ca and I), both essential and toxic heavy metal (Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu and Zn) and heavy metal (Ti, Ag, Cd, Sn, Te, Hf, Ta and Pb) contents of siyez samples were analyzed using energy dispersed X-ray fluorescence spectrometry. In addition, daily heavy metal intakes were calculated. As, Zr and Hg toxic heavy metals were not observed in siyez samples. Average concentrations of Na, Mg, P, S, Cl, K and Ca essential elements at minor level analyzed in siyez samples were determined as 585 ± 156 ; 626 ± 46 ; 3078 ± 114 ; 2734 ± 61 ; 644 ± 31 ; 5844 ± 131 and 1570 ± 259 mg/kg, respectively. Average concentrations of I, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu and Zn essential elements at trace level were found as 7.0 ± 0.5 ; 3.6 ± 0.2 ; 89.2 ± 1.2 ; 208.5 ± 62.6 ; 16.8 ± 0.6 ; 12.1 ± 0.1 ; 8.3 ± 0.2 and 65.3 ± 2.5

mg/kg, respectively. Average concentrations of Ti, Ag, Cd, Sn, Te, Hf, Ta and Pb heavy metals at trace level were analyzed as $21,8 \pm 58$; 6.1 ± 0.3 ; 2.9 ± 0.2 ; $6,9 \pm 0,4$ $13,8 \pm 0,6$; $3,2 \pm 0,2$; $24,3 \pm 0,6$ and $1,4 \pm 0,1$ mg/kg, respectively. The results indicated that the consumption of the investigated siyez samples as food did not pose a significant radiological risk for local public health; however, siyez samples contain trace toxic Cd and Pb heavy metal. The literature comparison revealed that the investigated siyez samples were richer in terms of K, Ca, Fe, Mn and Zn contents compared to einkorn, emmer, spelt, buckwheat and durum wheat samples grown in our country and in different countries

KEYWORDS: Einkorn, radium, thorium, radioactive potassium, essential elements, heavy metals, EDXRF, gamma-ray spectroscopy

July 2020, 78 Page
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.

Siyez örneklerin toplanmasını sağlayan Dr. Burcu EMEKSİZOĞLU'na, örneklerin radyoaktivite ve 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.

Bu çalışmaya, KÜ-BAP03/2017-10 proje kodu ile bilimsel araştırma projesi kapsamında destek veren Üniversitemiz BAP Koordinatörlüğüne 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.

DALAL ABOBAKER OMAR SULTAN

Kastamonu, 2020

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
TEZ ONAYI	ii
TAAHHÜTNAME	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xii
GRAFİKLER DİZİNİ	xiii
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
1.1 Genel Bilgi	1
1.2 Tezin Kapsamı.....	7
1.3 Tezin Amacı	8
1.4 Tezin Yapısı	9
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI VE DEĞERLENDİRMESİ.....	10
2.1 Literatür Araştırması	10
2.2 Literatür Değerlendirmesi	20
3. MALZEME VE ANALİZ YÖNTEMLERİ.....	22
3.1 Siyez Örneklerinin Toplanması.....	22
3.2 Siyez Örneklerinin Radyonüklit Analizi İçin Hazırlanması.....	22
3.3 Siyez Örneklerinin Elementel Analizi İçin Hazırlanması	22
3.4 Analiz Yöntemleri	24
3.4.1 İyonlaştırıcı Radyasyon	24
3.4.2 Radyoaktivite ve İyonlaştırıcı Radyasyon Kaynakları	24
3.4.3 Radyasyonun Madde ile Etkileşmesi.....	27
3.4.4 Karakteristik Gama- ve X-ışınlarının Oluşumu.....	31
3.5. Gama-ışını ve XRF Spektrometrik Yöntem	33
3.5.1 Gama-ışını Spektrometresi	36
3.5.1.1 Tez kapsamında kullanılan gama-ışını spektrometresi.....	38
3.5.1.2 Aktivite derişiminin ölçülmesi	39
3.5.2 XRF Spektrometresi	41
3.5.2.1 Tez kapsamında kullanılan EDXRF spektrometresi.....	41
3.5.2.2 Elemental analiz.....	42
4. BULGULAR, TARTIŞMA VE SONUÇ	44
4.1 Siyez Örneklerinin Radyoaktivite Seviyesi.....	44
4.2 Radyolojik Riskin Değerlendirilmesi	50
4.3 Siyez Örneklerinin Element İçerikleri.....	50
4.3.1 Siyez Örneklerinin Esansiyel Element İçerikleri.....	52
4.3.2 Siyez Örneklerinin Esansiyel Ağır Metal İçerikleri	58
4.3.3 Siyez Örneklerinin Ağır Metaller İçerikleri	63
4.4 Günlük Ağır Metal Alımı	67
4.5 Element Derişimleri Arasındaki İlişki.....	67

4.6 Sonuçlar.....	69
KAYNAKLAR	71
ÖZGEÇMİŞ.....	78



ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1 Doğal uranyum serisi	28
Şekil 3.2 Doğal toryum serisi.....	28
Şekil 3.3 Fotoelektrik olayı (Ahmed, 2007)	29
Şekil 3.4 Compton saçılması (Ahmed, 2007)	31
Şekil 3.5 X-ışınlarının oluşması (Ahmed, 2007)	34
Şekil 3.6 Ana çizgiler ve elektron geçişleri (Abugoufa, 2019).....	35
Şekil 3.7 Bir gama spektrometresinin blok diyagramı (Ahmed, 2007)	36
Şekil 3.8 Gama- ve X- ışını etkileşme süreçleri ve fotopik oluşumu.....	37
Şekil 3.9 EDXRF spektrometresinin şematik gösterimi (Brouwer, 2010)	42

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 3.1 HPGe dedektörünün özellikleri	39
Tablo 4.1 Bazı tanımlayıcı istatistikî bilgi	44
Tablo 4.2 Siyez örneklerinde ölçülen radyonüklitlerin aktivite derişimleri	45
Tablo 4.3 Siyezin ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{232}Th içeriğinin literatür değerleri ile karşılaştırılması	46
Tablo 4.4 Yıllık etkin radyasyon doz değerleri.....	51
Tablo 4.5 Siyez örneklerinin esansiyel element içerikleri	53
Tablo 4.6 Siyez buğdayının Na, Mg, P, S, K ve Ca içeriğinin literatür değerleri ile karşılaştırılması.....	54
Tablo 4.7 Siyez örneklerinin esansiyel element ağır metal içerikleri	59
Tablo 4.8 Siyez buğdayının Mn, Fe, Cu ve Zn içeriğinin literatür değerleri ile karşılaştırılması.....	60
Tablo 4.9 Siyez örneklerinin ağır metal içerikleri	64
Tablo 4.10 Günlük ağır metal alımı	67
Tablo 4.11 Siyez örneklerinin element derişimleri için Pearson korelasyon katsayısı	68

GRAFİKLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Grafik 1.1 Türkiye'nin son yirmi yıldaki buğday üretimi	5
Grafik 1.2 Kastamonu ilinin son beş yıldaki siyez buğday üretimi	7
Grafik 3.1 Foton etkileşmesinin bağıl önemi (Knoll, 2000)	32
Grafik 3.2 X-ışını flüoresans verimi (Abugoufa, 2019).....	35
Grafik 3.3 10 nolu siyez örneğinin XRF spektrumu	43
Grafik 4.1. ^{40}K 'ın aktivite derişim dağılımı	47
Grafik 4.2 ^{226}Ra 'nin aktivite derişim dağılımı	48
Grafik 3.3 ^{232}Th 'nin aktivite derişim dağılımı	49
Grafik 4.4 Radyonüklitlerin yıllık etkin radyasyon dozuna katkıları	52



FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Fotoğraf 3.1 Siyez örnekleri.....	23
Fotoğraf 3.2 EDXRF spektrometresinin örnek alma cihazı.....	23
Fotoğraf 3.3 Gama-ışını spektrometresi.....	40
Fotoğraf 3.4 EDXRF spektrometresi	43



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Ag	: Gümüş
As	: Arsenik
B	: Bor
Ba	: Baryum
Bq	: Becquerel (Bekerel)
Br	: Brom
Ca	: Kalsiyum
Cd	: Kadmiyum
Ce	: Seryum
Cs	: Sezyum
Cl	: Klor
Co	: Kobalt
cm	: Santimetre
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
Eu	: Evropiyum
Fe	: Demir
g	: gram
Gd	: Gadolinyum
Hf	: Hafniyum
Hg	: Cıva
I	: İyot
K	: Potasyum
⁴⁰ K	: Radyoaktif potasyum
keV	: Kilo elektron volt
kg	: Kilogram
L	: Litre
La	: Lantan
Li	: Lityum
Lu	: Lutesyum
MeV	: Milyon elektron volt
mg	: miligram
mm	: milimetre
Mg	: Magnezyum
Mn	: Mangan
Mo	: Molibden
NaI	: Sodyum iyodür
Na	: Sodyum
Ni	: Nikel
P	: Fosfor
Pb	: Kurşun
²²⁶ Ra	: Radyum-226
Rb	: Ribudyum
²²² Rn	: Radon-222

Sb	: Antimon
Sc	: Skandiyum
Si	: Silisyum
Se	: Selenyum
Sm	: Samaryum
Sn	: Kalay
Sr	: Stronsiyum
Sv	: Sievert
Ta	: Tantal
Tb	: Terbiyum
Th	: Toryum
²³⁸ Th	: Toryum-232
Te	: Tellür
Ti	: Titanyum
Tl	: Talyum
²³⁸ U	: Uranyum-238
²³⁵ U	: Uranyum-235
y	: Yıl
Yb	: İterbiyum
Zn	: Çinko

Kısaltmalar

AAS	: Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi
ICP-AES	: İndüktif Eşlenmiş Plazma Atomik Emisyon Spektrometresi
ICP-OES	: İndüktif Eşlenmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi
ICP-MS	: İndüktif Eşlenmiş Plazma Kütle Spektrometresi
ICP-SFMS	: İndüktif Eşleşmiş Plazma Sektörü Alan Kütle Spektrometresi
NAA	: Nötron Aktivasyon Analiz
DNA	: Deoksinükleik asit
EDXRF	: Enerji Dağılımlı X-ışını Flüoresans
FAAS	: Alevli Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi
GFAAS	: Grafit Fırınlı Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi
HPGe	: Yüksek saflıklı germanyum (high purity germanium)
RNA	: Ribonükleik asit
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskopi (Scanning Electron Microscopy)
UNSCEAR	: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
SH	: Standart hata
SS	: Standart sapma
WDXRF	: Dalga boyu Dağılımlı X-ışını Flüoresans
XRF	: X-ışını Flüoresans

1 GİRİŞ

1.1 Genel Bilgi

Dünya nüfusu istikrarlı bir şekilde artmakta ve insanların büyük çoğunluğu kentsel alanlarda yaşamaktadır. Ekonomi gittikçe birbirine bağlı ve küreselleşirken, teknoloji baş döndürücü bir hızla gelişmiştir. Ancak pek çok ülke bu yeni ekonominin bir parçası olarak sürekli büyümeye tanık olamamıştır. Bir bütün olarak dünya ekonomisi beklendiği kadar büyüyememiştir. İklim değişikliği ve artan iklim değişkenliği, çiftçi sayısındaki düşüş de dâhil olmak üzere gıda sistemleri ve kırsal geçim kaynakları üzerindeki etkileriyle tarımsal verimliliği, gıda üretimini ve doğal kaynakları etkilemektedir. Bütün bunlar, gıdaların dünya çapında üretilmesi, dağıtılması ve tüketilmesi yolunda büyük değişimlere ve yeni gıda güvenliği, beslenme ve sağlık sorunlarına yol açmaktadır (FAO, 2019). Bu durum, tarımsal gıda üretimini sürdürülebilir bir şekilde büyütme yollarını bulmaya yönelik olarak baskı yapmaktadır. Modern tarım, üretim kapasitesini artırarak, mevcut doğal alanlarda ekim yaparak veya mahsul tüketim modellerini değiştirerek yeterli gıda temini etmek için büyük bir çaba göstermektedir.

Tahıllar (hububatlar), yenilebilir tohumlar veya çim (Gramineae) ailesinin üyesi olan taneler olarak bilinir (McKevith, 2004). Buğday, çeltik (pirinç), arpa, çavdar, yulaf, mısır, kaplıca, darı, kuşyemi, mahlut, tritikale ve sorgum birçok ülkede farklı iklim şartlarında yetiştirilen önemli tahıllardır. Tahıllar ve tahıl bazlı gıdalar, dünya nüfusu için vazgeçilemez besin değerine sahip protein ve mineralleri barındırırlar. Bazı tahıllar, medeniyetin başlangıcından bu yana hem doğrudan insan tüketimi için hem de dolaylı olarak hayvan yemi yoluyla temel gıdalar olmuştur. Tahılların üretimi genellikle ucuzdur. Tahıllar kolayca depolanır, taşınırlar ve kuru muhafaza edildikleri takdirde kolayca bozulmazlar. Tahıl ve türevleri (tahıldan elde edilen gıda ürünleri), hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde önemli bir besin grubudur. Tahıllar ve tahıl ürünleri, karbonhidrat, protein, lif, lipit, vitamin (E vitamini, bazı B vitaminleri) ve sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum, demir, çinko, selenyum gibi bir dizi esansiyel element kaynağıdır. Tahıllara ve türevlerine duyulan ilginin

artmasının sebebi, biyoaktif bileşenlerinden ve tahıl ve tahıl ürünlerinin düzenli tüketilmesinin potansiyel faydalarından kaynaklanmaktadır (McKevith, 2004).

Tahılların ve tahıl ürünlerinin büyüme, hasat ve depolama gibi birçok farklı aşamada zarar görme ve/veya kirlenme (kontaminasyon) potansiyeli mevcuttur (McKevith, 2004). Tahıl bitkilerinin haşereler (akarlar, kurt, böcek vb.) tarafından istila edilmesi, hasattan önce ve sonra özellikle depolanma sürecinde büyük bir sorun olabilir. Bu tür sorunlara ek olarak, tahıllar küfler ve mantarlar ile kontamine olabilir. Aflatoksinler (B1 ve B2) gibi mikotoksinler, belirli şartlar altında belirli küf formları tarafından üretilen zehirli (toksik) kimyasal maddelerdir (McKevith, 2004). Bunların yanı sıra sanayileşmenin hızlı gelişmesi, nüfus artışı, zararlı bitki ve haşere ile mücadele için kimyasal ilaçların (herbisitlerin ve pestisitlerin) ve verimi artırmak amacıyla gübrelerin gelişigüzel bir şekilde yoğun olarak kullanılması, katı atık yönetimi ve motorlu taşıt araçları, tarımsal toprağın kimyasal maddeler ile kirlenmesine yol açmaktadır (Abugoufa, 2019). Toprak, tarımsal uygulamaların yanı sıra kentsel ve endüstriyel faaliyetlerden salınan (yayınlanan) parçacıkların (partiküllerin) havada taşınması sonucunda gelen ağır metallerin biriktiği ve bitkilere aktarıldığı havuz gibi davranır (Duoay vd., 2008; Bermudez vd., 2011). Topraklardaki yüksek kirlilik seviyeleri, fitotoksositeye neden olabilir ve hayvanların otlatılmasıyla ağır metallerin, bitki alımından veya toprak alımından gıda zincirine dâhil olması ile sonuçlanır (Bermudez vd., 2011). Farklı türde toprak kirleticileri göz önüne alındığında, ağır metaller kalıcılıkları ve zehirli olmaları (toksisiteleri) sebebiyle özel bir tehlike oluşturur. İnsan vücudu için, bazı ağır metaller, proteinlerin ve enzimlerin yapısal ve katalitik bileşenleri olarak biyolojik sistemler için gereklidir (Bermudez vd., 2011). Dolayısıyla insanın ihtiyaç duyduğu vanadyum, krom, mangan, demir, kobalt, nikel, bakır ve çinko gibi esansiyel elementler aynı zamanda ağır metal olarak bilinir ve bu metallerin yüksek seviyeleri, aşırı derecede zehirli olabilir (Abugoufa, 2019). Arsenik, kadmiyum, cıva ve kurşun gibi diğer ağır metaller, eser miktarda bulunmalarına rağmen insan, hayvan ve bitki bünyesinde birikebildikleri ve ayrışmadıkları için insan ve çevre sağlığına yönelik bir tehdit oluşturmaktadır (Özkaynak, 2014; Abugoufa, 2019). Yapılan bir çalışmada mesleki maruziyet haricinde, kontamine gıdalar ile beslenmenin, insanın ağır metal alımı için ana yol hâline geldiği gösterilmiştir (Sharma vd., 2007). Bu bağlamda, Birleşmiş Milletlere

bağlı Gıda ve Tarım Örgütü (Food and Agriculture Organization, FAO) ve Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization, WHO), Avrupa Komisyonu (AK) ve diğer ülkelerin düzenleyici kurumları, gıda maddelerinde kabul edilebilir veya izin verilen azami zehirli ağır metal derişimlerini sıkı bir şekilde düzenlemektedir. Türkiye’de gıda ve gıda ile temas eden madde ve malzemelere ilişkin azami ağır metal derişimleri, Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından hazırlanan Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği tarafından düzenlenmektedir.

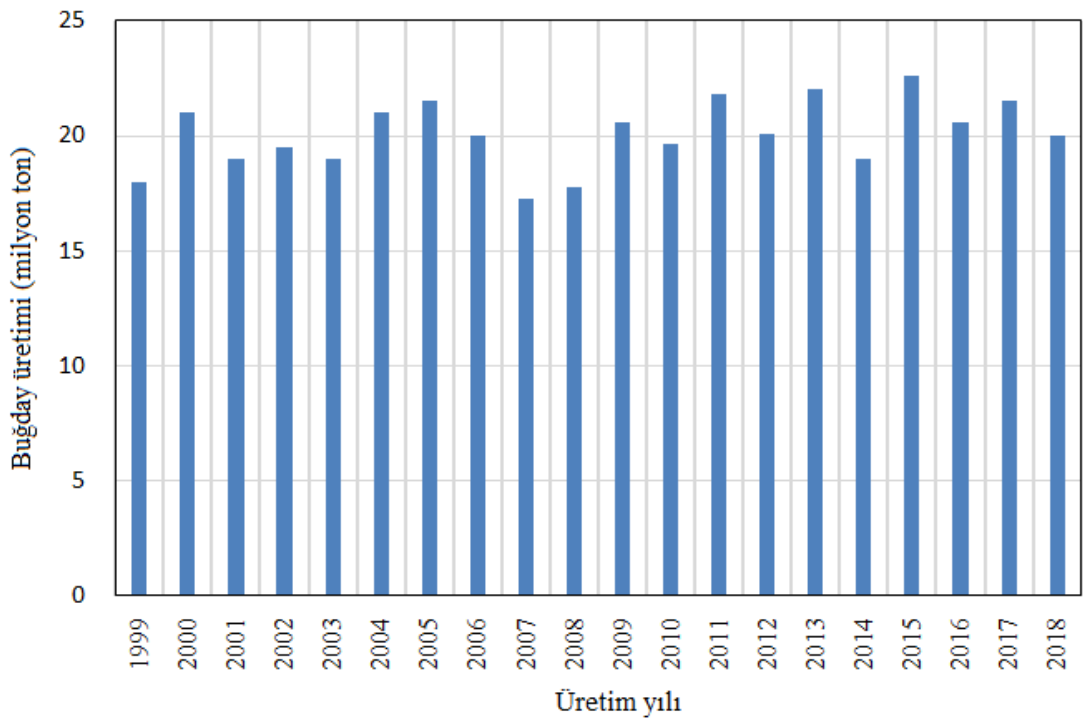
İnsanların, alfa-, beta-, X- ve gama-ışınları gibi iyonlaştırıcı radyasyona maruz kaldıkları kaçınılmaz bir gerçektir. İyonlaştırıcı radyasyon, doğal veya insan faaliyetlerinin (antropojenik) bir sonucu olan yapay radyoaktif kaynaklardan yayımlanır. Doğal radyoaktif kaynaklar, kozmojenik ve primordiyal (veya yer kabuğu kökenli) radyonüklitleri içerir (UNSCEAR, 2000). Doğal radyoaktif elementlerin derişimleri, bölgeden bölgeye değişiklik gösterir (UNSCEAR, 2000). Yapay radyoaktivite kaynaklarını, özellikle nükleer güç santral kazaları (1986 Çernobil ve 2011 Fukuşima nükleer santrali kazaları) ve atmosferik nükleer silah denemeleri (1945-1980 arasında yapılan toplam 543 atmosferik nükleer silah denemeleri) sonucunda meteorolojik şartlara göre serpinti ile yayılan radyonüklitler oluşturur (UNSCEAR, 2000). İyonlaştırıcı radyasyona maruz kalma, iç ve dış olmak üzere iki şekilde gerçekleşir. Dış ışınlama, tüm vücudun, kapalı ortamlarda (ev ve işyerleri) genelde yapı malzemelerinin içerdiği radyonüklitlerden yayımlanan gama-ışınlarına veya açık ortamlarda, kozmik radyasyona ve yer kabuğunun (toprak, kaya vb.) içerdiği radyonüklitlerden yayımlanan gama-ışınlarına maruz kalma olarak tanımlanır. İç ışınlama ise vücut içindeki organların, solunum, sindirim ve deri yolu ile alınan yapay ve/veya doğal radyonüklitlerin yayınladığı alfa-, beta- ve gama-ışınlarına maruz kalması olarak bilinir (UNSCEAR, 2000). Beslenme zincirinde yer alan tüm gıda ürünleri radyoaktif elementler içerir. Bu radyoaktif elementlerin bazıları, yapay radyoaktiviten kaynaklansa da, gıdalarda bulunan radyoaktif elementlerin çoğu doğal kökenlidir. Çeşitli gıda ürünlerindeki farklı radyoaktif elementlerin derişimleri, radyoaktif elementlerin bolluğu ve kimyası dâhil olmak üzere maruz kalan bitki ve hayvanların biyolojisi ve ortamı gibi birçok parametreye bağlıdır. Yapay radyoaktivite kökenli radyasyona maruziyet, genellikle doğal

radasyona göre daha düşük seviyededir ancak örneğin nükleer bir kaza durumunda hızla ve önemli ölçüde değişebilir (UNSCEAR, 2000).

Radyoaktiviteden kaynaklanan risk veya tehlikenin değerlendirilebilmesi için radyasyon, radyoaktif elementlerin bozunumu, yayılan radyasyon türleri, doz birimleri, eşdeğer ve etkili radyasyon dozları ve doz hızı gibi temel kavramların bilinmesi önemlidir. Dünya çapında söz konusu radyolojik risk(ler)in değerlendirilmesi, Uluslararası Radyolojik Koruma Komisyonu (International Commission on Radiological Protection, ICRP), Atomik Radyasyonun Etkileri Hakkında Birleşmiş Milletler Bilimsel Komitesi (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR), DSÖ'nün İyonlaştırıcı Radyasyonun Biyolojik Etkileri Komitesi (Committee of Biological Effects of Ionizing Radiation) ve Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (International Agency for Research on Cancer) gibi uluslararası kuruluşların düzenli olarak yayınladıkları raporlar esas alınarak yapılmaktadır. Radyasyonun sağlık üzerindeki etkileri doza (mSv) ve doz hızına (birim zaman başına alınan doz, mSv/zaman) bağlıdır. Düşük dozlar ve düşük doz hızları, kontamine gıda alımından kaynaklanabilecek olası sağlık etkileri tahminlerinde özellikle önemlidir. UNSCEAR düşük dozları 100 mSv'nin altındaki dozlar olarak tanımlar. 100 mSv'nin üzerindeki dozlarda, radyasyona maruz kalma ile kanser dâhil bir dizi hastalık arasında nedensel bir ilişki olduğuna dair güçlü bir epidemiyolojik kanıt vardır. Daha düşük dozlarda (<100 mSv), insan verileri tutarsızdır ve gözlemlenen etkiler, daha yüksek dozlardan ve deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlardan tahmin edilmektedir.

Buğday, pirinç ve mısır, dünya çapında en çok üretilen ve tüketilen tahıl ürünleridir. Buğday ve pirinç, dünya tahıl üretiminin % 50'sinden fazlasını oluşturan en önemli mahsuldür (McKevith, 2004). Dünyadaki tahıl üretiminin % 30'unu oluşturan buğday, hem kış hem de baharlık gıda olarak yetiştirebilen ve dolayısıyla yılın her döneminde hasat edilebilen bilinen en eski tahıl ürünüdür (McKevith, 2004; Şenoğlu, 2019). Binlerce türü olan buğday, *Triticum* ailesine aittir. Buğday, türlerinin ve çeşitlerin sayısı ve kolay adaptasyonları sebebiyle dünyadaki birçok ülkede (120'den fazla ülkede), farklı iklim şartlarında ve farklı ortamlarda, değişik tarımsal teknolojiler kullanılarak veya geleneksel olarak yetiştirilmektedir (Şenoğlu, 2019).

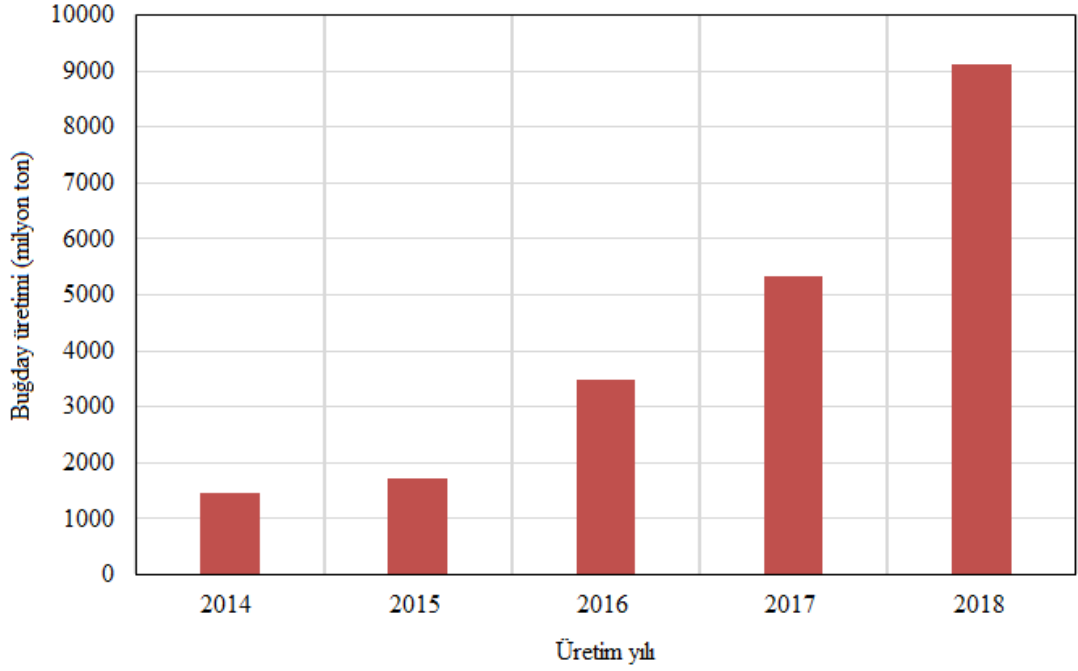
2019 yılı için küresel buğday üretim öngörüsü, hafif bir artışla 766,4 milyon tona ulaşmış ve bir önceki yılın aynı dönemine göre % 4,8 (34,8 milyon ton) artmıştır (URL-1). Türkiye, 2018 yılında, toplam 34,4 milyon ton tahıl üretmiştir (URL-2). Bu toplam tahıl üretiminin, % 58'ini buğday, % 20'sini arpa, % 17'sini mısır ve % 3'ünü ise pirinç üretimi oluşturmuştur (URL-2). Türkiye'nin 2004 - 2018 yılları arasındaki buğday üretimi, Grafik 1.1'de verilmiştir (URL-2). Grafik 1.1'den görülebileceği gibi son 20 yıldaki ortalama buğday üretimi, 20,1 milyon ton olarak gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte 2018 yılındaki 20 milyon tonluk buğday üretimi, ortalamanın altındadır. 1999 yılında buğday ekim alanı, yaklaşık 94 milyon dekar iken 2018 yılında ekim alanı % 22 azalarak 73 milyon dekara düşmüştür. Üretilen buğdayın büyük bir kısmı, bütün dünyada olduğu gibi Türkiye'de de insan tüketimi için kullanılmaktadır. Benzersiz özellikleri sebebiyle buğdaydan, buğday tohumu, kavuzlu buğday, kuskus, kırık buğday veya bulgur, un ve buğday nişastası dâhil olmak üzere çok çeşitli bileşenler ve gıdalar üretilir. Buğday türü olan *Triticum Aestivum* alt türleri vulgare ve sert buğday *Triticum durum* ticari olarak en önemli buğday türüdür (McKevith, 2004).



Grafik 1.1 Türkiye'nin son yirmi yıldaki buğday üretimi

Almanca “tek çekirdek” veya “tek tane” anlamına gelen einkorn, bilim insanları tarafından bilinen en eski buğday türüdür. Üretim tarihi, yaklaşık 12 bin yıla kadar uzanmaktadır (Emeksizoglu, 2016). Einkorn, kabuklu buğdayın 2n kromozom yapısına sahip diploid türleri arasındadır ve taneleri sert kabukları ile sıkıca kaplanmıştır (Emeksizoglu, 2016). Taksonomide, einkorn buğdayı, *Triticum boeoticum* (yabani buğday) veya *Triticum monococcum* (evcil türler) olarak bilinir. Yerli ve yabani buğday biçimleri, ayrı türler veya *Triticum monococcum*’un alt türleri olarak kabul edilebilir. Einkorn (*Triticum monococcum* L), Anadolu’da, “siyez”, “kabalca”, “kavılca” gibi çeşitli isimler ile bilinmektedir (Çelik, 2009). Siyez buğdayı, başaklarında genelde tek tane olması ve sıkı kavuz yapısından dolayı hastalık ve zararlılara dayanıklı, kurak şartlarda ve fakir topraklarda rekabet gücü yüksek bir tür olarak bilinmektedir (Atak, 2017). Her ne kadar einkorn buğdayı bin yıl önce bol miktarda bulunsu da, bugün sadece birkaç bölgeyle sınırlıdır. Siyez ekiminin, büyük bir kısmı, Kastamonu (özellikle İhsangazi, Seydiler ve Devrekâni ilçeleri) ilinde yapılmakta ve buğdaydan üretilen bulgur ise siyez bulguru olarak isimlendirilmektedir (Yılmaz, 2012). Kastamonu İl Tarım ve Orman Müdürlüğü Çiftçi Kayıt Sisteminden alınan verilerine göre Kastamonu’nun son 5 yıldaki siyez buğday üretimi, Grafik 1.2’de verilmiştir (URL-3). Grafikten de görülebileceği gibi siyez buğday üretimi, son beş yılda doğrusal olarak bir artış göstermiştir. 2018 yılındaki siyez üretimi (9 110 ton), 2014 yılı siyez üretimine (1 472 ton) göre yaklaşık 6,2 kat artmıştır. Aynı şekilde Kastamonu siyez ekim alanı, 2014 yılında 6 690 dekar iken 2018 yılında 41 409 dekara ulaşmıştır (URL-3). Kastamonu ve civarında sıcak suda kaynatılan siyez buğdayı doğal şartlarda kurutulur ve suyla çalışan değirmenlerde kabuklarından ayrılır (Atak, 2017). Yöre insanı siyez buğdayından bulgur olarak yararlanmaktadır. Buğday sapları da hayvanlar için besin kaynağıdır.

Son yıllarda siyez buğdayına olan talebin artmasının sebebi olarak, siyez buğdayının, çölyak hastalığını oluşturan zehirliliğe neden olmadığı ve/veya daha az etkili olduğu yönündeki çalışmaların öne çıkarılması gösterilebilir (Emeksizoglu, 2016).



Grafik 1.2 Kastamonu ilinin son beş yıldaki siyez buğday üretimi

1.2 Tezin Kapsamı

Son zamanlarda süper tahıl olarak popüler hâle gelen Kastamonu bölgesinde yetişen siyez buğdayı, esansiyel element, ağır metal ve radyolojik açıdan önemli olan doğal radyoaktif uranyum (^{238}U) serisinden ^{226}Ra , toryum (^{232}Th) serisinden ^{232}Th ve radyoaktif potasyum (^{40}K) radyonükliti bu tezin kapsamındadır.

Bu tez kapsamında esansiyel element, gıdaların besin değerleri ile ilgili literatürde, vücut temel yapısını oluşturan H, C, O, N ve S dışında vücudun normal yapı ve işlevleri için elzem olan elementler olarak tanımlanan “mineral” yerine kullanılmıştır. İlgili literatürde, günlük ihtiyacı, 100 mg’dan fazla olan minerallere makromineraler (Na, K, Cl, Ca, P, Mg) ve 100 mg’dan az olan mineraller ise mikromineraler veya vücuttaki derişimleri çok düşük olduğu için eser elementler olarak isimlendirilir. Yeterince alınmadığında, vücutta bir işlev bozukluğuna sebep olan ve fizyolojik alımı neticesinde ilgili bozukluğun düzelmesini sağlayan elementler esansiyel element ve vücudun yapı ve işlevleri için gerekli olmayan elementler esansiyel olmayan veya toksik elementler olarak bilinir.

Nispeten yüksek yoğunluklu (yaklaşık 5'ten büyük özgül ağırlığa sahip) veya yüksek nispi atom ağırlığı olan bir metal, ağır metal olarak tanımlanır. Son otuz yılda, "ağır metaller" terimi ekotoksikoloji hakkındaki bilimsel literatürde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ağır metal terimi, genellikle kontaminasyon ve potansiyel toksisite veya ekotoksisite ile bağlantılı metaller ve yarı metaller (metaloidler) için bir çatı adı olarak kabul edilir (Duffus, 2009; Armah vd., 2017). Bununla birlikte, "ağır metaller" terimi bilimsel literatürde tutarsız olarak kullanılmıştır. Bu, terimin öneminin büyük ölçüde yanlış algılanmasıyla sonuçlanmıştır. Ayrıca, "ağır metaller" olarak adlandırılan tüm metallerin, yüksek derecede toksik veya ekotoksik özelliklere sahip olduğunu varsayma eğilimi söz konusudur (Duffus, 2009; Armah vd., 2017). Genellikle As, Cd, Hg, Pb, Sb, Fe, Co, Cu, Ni, Zn, Mn ve Cr doğal yer kabuğunun bileşenleri olan ağır metaller olarak kabul edilen elementlerden bazılarıdır. "Ağır metaller" teriminin yanlış bir isim olduğunun kabul edilmesine rağmen, bu terimin yerine kimyasal olarak sağlam terminoloji ile yer değiştirme çabaları şimdiye kadar başarısız olduğundan ve gözden geçirilen tüm makalelerin özellikle "ağır metaller" terimini kullanmasından dolayı be tez kapsamında "ağır metal" terimi kullanılmıştır.

Ölçme tekniği olarak radyonüklitlerin aktivite derişimlerinin ölçülmesinde kullanılan gama-ışını spektrometrik yöntem ve element derişimlerinin analizinde kullanılan X-ışını flüoresans (XRF) spektrometrik yöntem bu tezin kapsamındadır.

1.3 Tezin Amacı

Bu tezin amacı,

(1) Kastamonu'da yetiştirilen siyez buğdayı örneklerinin doğal olarak içerdiği radyonüklitlerin (^{40}K , ^{232}Th ve ^{226}Ra) seviyelerini, gama-ışını spektrometresi ile belirleyerek literatürde eksik olan bilgiyi tamamlamak,

(2) siyez buğdayı örneklerinin tüketilmesi sonucunda yöre halkının maruz kaldığı iç ıslınama sebebiyle alabileceği radyolojik riski değerlendirmek amacıyla yıllık etkin radyasyon dozunu hesaplamak,

(3) siyez buğdayı örneklerinin içerdği esansiyel element ve ağır metal (Na, Mg, P, S, Cl, K, Ca, I, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ti, Ag, Cd, Sn, Te, Hf, Ta ve Pb) seviyelerini, enerji dağılımlı X-ışını flüoresans (EDXRF) spektrometresi ile belirlemek ve literatürdeki farkı yöntemler ile ölçülen değerlerle kıyaslamak ve

(4) siyez buğdayı örneklerinin tüketilmesi sonucunda yöre halkının günlük ağır metal alımını hesaplamaktır.

1.4 Tezin Yapısı

Bu tez dört bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünde, tahıl ürünleri ve önemi, ağır metal ve radyoaktif kirlilik, buğday ve buğday üretimi, siyez buğdayının özellikleri ve üretimi, tezin kapsamı ve amacı hakkında genel bilgi verildi. İkinci bölümde, siyez ve diğer buğday çeşitleri ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar özetlendi ve değerlendirildi. Üçüncü bölümde, siyez buğdayı örneklerinin toplanmasına, ölçme işlemi için hazırlanmasına, analiz yöntemlerine ilişkin bilgi verildi. Dördüncü bölümde, her bir siyez örneği için ölçülen radyonüklitlerin, esansiyel element ve/veya ağır metallerin derişimleri, tablolar ve grafikler şeklinde sunuldu. Elde edilen ortalama değerler tartışıldı, literatürdeki değerler ile karşılaştırıldı ve araştırılan siyez örneklerine ilişkin elde edilen sonuçlar verildi.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI VE DEĞERLENDİRMESİ

2.1 Literatür Araştırması

Bu kısımda, öncelikle siyez ile ilgili yapılan ve literatürde yer alan genel olarak da diğer buğday türlerinin radyonüklit, esansiyel element ve ağır metal içeriklerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar araştırıldı. Çalışmalara ilişkin öz, bilgi kronolojik olarak verildi.

Abdel-Aal vd. (1995) tarafından yapılan çalışmada, dört farklı yerde yetiştirilen einkorn ve dört farklı yerde yetiştirilen spelt buğday örneklerinin kimyasal ve besinsel özellikleri belirlenmiş ve sert kırmızı buğday ile durum buğdayının kimyasal ve besinsel özellikleri ile karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda, (1) einkorn ve spelt buğday örneğinin en yüksek çözünebilir şeker, protein ve kül miktarına (2) einkorn buğday örneğinin yüksek seviyede fosfor, riboflavin ve pridoksin içeriğine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Çakmak vd. (2000) tarafından yapılan çalışmada, yabani (ssp. *Urartu* ve ssp. *boeoticum*), ilkel (ssp. *monococcum*), diploit ve yabani tetraploit (ssp. *dicoccoides*) buğday tohumlarında çinko ve demir derişimlerdeki değişimi incelenmiştir. Çalışma sonucunda (1) çinko durumunda, buğday örnekleri arasında değişimin büyük olduğu, (2) en yüksek çinko derişimlerinin ssp. *boeoticum* ve ssp. *dicoccoides* türlerinde gözleendiği ve (3) modern olarak ekilen tetraploit ve hegzaploit buğdaylarda çinko ve demir derişimlerdeki genetik değişimin, yabani diploit ve tetraploit buğdaylarda bulunan değişim ile karşılaştırıldığında, son derece düşük olduğunu gösterilmiştir.

Bâlint vd. (2001) tarafından yapılan çalışmada, herhangi bir gübre kullanmadan optimal büyüme koşulları altında tamamen rastgele bir blok tasarımıyla tarlada yetiştirilen *Triticum* L. ve *Aegilops* L. türlerinin 20 gen bankası tohumu, mineral besin bileşimleri açısından incelenmiştir. Çalışmada, diploit (*T. urartu*, *T. monococcum* ve *T. sinskajae*), tetraploit (*T. turgidum* ve *T. imopheevii*) ve hegzaploit (*T. aestivum*) buğday türlerinin tanelerinin Cu, Zn, Fe, Ca ve Mg içerikleri, bir alevli

atomik absorpsiyon spektrofotometresi (FAAS) kullanılarak ölçüldü. Çalışma sonucunda, (1) *Aegilops* L. türlerinin, genellikle daha yüksek Cu, Zn, Ca ve Mg içerdiği, (2) *Triticum* L. türlerinin daha yüksek Fe içerdiği ve (3) eski buğday türlerinin (einkorn, emmer ve spelt), daha yüksek miktarda bulunan demir (Fe) hariç, son zamanlarda ekilen çeşitlerden daha yüksek mineral besin içeriğine sahip olduğu hipotezini geçerli olmadığı ortaya koyulmuştur.

Gabrovská vd. (2002) tarafından yapılan çalışmada, Çek Cumhuriyeti organik tarım çiftliğinden temin edilen az kullanılan tahıl ürünlerinin (spelt, emmer, einkorn, darı, çavdar, yulaf, arpa ve karabuğday) beslenme faktörleri değerlendirilmiştir. Tahıl örneklerinin element analizleri, AAS tekniği ile belirlenmiştir.

Løje vd. (2003) tarafından yapılan çalışmada, einkorn (*T. monococcum*) buğdayının 10 alt türüne ait 22, 2 emmer (*T. dicoccum*), 3 spelt (*T. spelta*) ve 1 buğday (*T. aestivum*) örneğinin kimyasal bileşim ve fonksiyonel özellikleri değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, incelenen einkorn örneklerinin toplam diyet lifi içeriğinin, genel buğdayla karşılaştırıldığında daha düşük olduğu bulunmuştur.

Pulhani vd. (2005) tarafından yapılan çalışmada, doğal uranyum, toryum, radyum ve potasyumun, Hindistan'ın morfolojik olarak farklı iki toprak ortamında yetiştirilen buğday bitki örnekleri tarafından alınması, doğal alan koşulları altında incelenmiş ve topraktan buğday tanesine transfer faktörleri hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda, (1) topraktaki kalsiyum ve potasyum mevcudiyeti, bitkinin uranyum, toryum ve radyum içeriğini etkilediği ve (2) bitki içindeki toplam ^{226}Ra , ^{238}U ve ^{232}Th aktivitesinin büyük bir yüzdesinin (% 54-75) köklerde yoğunlaştığı bulunmuştur.

Hosseini vd. (2006) tarafından yapılan çalışmada, İran tüketilen 11 çeşit ithal gıda maddesi dahil toplam 26 gıda örneğinin (pirinç, buğday, mısır, süt, çay vb.) içerdiği yapay (^{137}Cs) ve doğal (^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K) radyonüklitlerin derişimleri, yüksek saflıktaki germanyum detektörü (HPGe) gama-ışını spektrometresi kullanılarak ölçülmüştür. Çalışma sonucunda, farklı ithal gıda maddelerinde ölçülen ^{40}K ve ^{137}Cs 'nin aktivite seviyelerinin, literatürde rapor edilen değerler ile karşılaştırılabilir ancak ^{232}Th seviyesinin, rapor edilen değerlerin üzerinde olduğu bulunmuştur.

Özkan vd. (2007) tarafından yapılan çalışmada, 54 adet einkorn buğday (*Triticum monococcum*) tohumu, Adana bölgesinde, aynı şartlarda dağlık alanda ve ovada ekilerek buğdayların Zn, Fe, Mn ve Cu içerikleri analiz edilmiştir.

Serpen vd. (2008) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye'nin farklı illerinde yetiştirilen 6 adet siyez (einkorn), 12 adet gernik (emmer) ve 2 adet ekmeklik buğday örneğinin toplam flavanoid madde miktarı, fenolik içeriği, toplam sarı pigment miktarları, lutein ve fenolik asitleri analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda, (1) gernik buğdayının toplam antioksidan aktivitesi, flavanoid ve toplam fenolik madde miktarının diğer buğday türlerine göre ve (2) siyez buğdayının lutein miktarının, diğer buğday türlerine göre daha önemli ölçüde daha yüksek olduğu bulunmuştur.

Brandolini vd. (2008) tarafından yapılan çalışmada, einkorn (*Triticum monococcum* L. subsp. *Monococcum*) buğdayının, insan tüketimi ve gıda hazırlama potansiyelini daha iyi anlamak için farklı coğrafi kökenli 65 einkorn tohumu S. Angelo Lodigiano'da (İtalya) yetiştirilerek bu örneklerin kompozisyon ve yapışma özellikleri değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda einkornun yüksek protein ve karotenoid içeriği ile iyi yapışma özellikleri birleştiğinde, özellikle bebek ve özel gıda üretimi için uygun olduğu gösterilmiştir.

Zhao vd. (2009) tarafından yapılan çalışmada, farklı kökenli ekmeklik durum, spelt, einkorn ve emmer buğday türlerinin Fe, Zn ve Se içerikleri, indüktif eşleşmiş plazma atomik emisyon spektrometresi (ICP-AES) ile analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda, (1) spelt, einkorn ve emmer buğday türlerinin Se içeriğinin, durum buğdayına göre daha yüksek olduğu ve (2) ekmeklik buğday genotipleri arasında Fe ve Zn için önemli farklılıklar olduğu bulunmuştur.

Tezcan (2009) tarafından yapılan çalışmada, Tekirdağ, Edirne ve Kırklareli illerinden toplanan buğday ve arpadaki ağır metal kirlilik düzeyi ve illere göre değişimi araştırılmıştır. Çalışmada, buğday ve arpa örneklerindeki Pb, As, Cd, Cr, Cu, Ni ve Zn derişimleri, AAS ve indüktif eşleşmiş plazma optik emisyon spektrometresi (ICP-OES) kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda, Tekirdağ, Edirne ve Kırklareli illerinden 2007 hasat döneminde toplanan arpa ve buğday örneklerinin söz

konusu ağır metal içeriklerinin, Tarım Köy İşleri Bakanlığı 2008/26 no'lu Gıda Maddelerindeki Bulaşanların Maksimum Limitleri Hakkında Tebliğ EK-4' de verilen sınır değerleri aşmadığı bulunmuştur.

Erba vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada, dört farklı alanda yetiştirilen einkorn ve ekmeklik buğday örneğinin esansiyel minör ve eser element içeriği belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, (1) örneklerin element seviyelerini etkileyen en önemli faktörün genotip olduğu ve (2) einkorn örneğinin Zn, Fe, Mn, Cu, Mg ve P derişimlerinin, ekmeklik buğday örneğinin derişimlerinden daha büyük olduğu tespit edilmiştir.

Turtiainen vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada, Finlandiya'da üretilen tahıl ürünlerindeki (buğday: *Triticum aestivum*, çavdar: *Secale cereale*, yulaf: *Avena sativa* ve arpa: *Hordeum vulgare*) ^{210}Pb ve ^{210}Po aktivite derişimleri, alfa spektroskopisi ile ölçüldü. Tahıl ürünlerinin tüketilmesinden kaynaklanan yıllık radyasyon dozu da hesaplandı. Çalışma sonucunda (1) buğday taneleri, buğday unu, çavdar unu, yulaf taneleri ve arpa taneleri içindeki ortalama $^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Po}$ derişimleri, sırasıyla 0,29; 0,12; 0,29; 0,36 ve 0,36 Bq/kg olarak bulundu ve (2) erkek ve kadın nüfusun maruz kaldıkları yıllık etkin radyasyon dozu da, sırasıyla 22 ve 17 mSv olarak hesaplandı.

Bermudez vd.(2011) tarafından yapılan çalışmada, Córdoba (Arjantin) eyaletinin yedi bölgesinden temin edilen 34 adet buğday (*Triticum aestivum*) örneklerindeki ağır metal ve diğer eser element seviyeleri araştırıldı. Çalışmada, buğday örneklerindeki As, Ba, Br, Ca, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Gd, Hf, K, La, Lu, Na, Rb, Sb, Sc, Se, Sm, Ta, Tb, Th, Yb ve Zn'nin derişimi, nötron aktivasyon analiz (NAA) yöntemi ile araştırma reaktörü (8 MW gücündeki RA-3) kullanılarak analiz edildi.

Lindahl vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada, 2004-2007 döneminde Belçika'nın güneyindeki üç bölgeden toplanan toprak ve olgun kış buğdayı (*Triticum aestivum* L.) örneklerinin doğal olarak içerdiği ^{228}Th , ^{226}Ra , ^{228}Ra ve ^{40}K aktivite derişimleri, ultra düşük seviyeli gama ışını spektrometresi kullanılarak belirlenmiştir. Çalışma kapsamında, toprak-buğday derişim oranları, iki tarım sisteminde (organik ve geleneksel) yetiştirilen buğday bitkisinin farklı kısımları (kök, gövde ve tane) için

hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda, geleneksel ve organik olarak yetiştirilen buğday bitkileri arasında önemli bir fark gözlenmemiştir.

Tawalbeh vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada, Ürdün'de tüketilen ithal ve yerel olarak üretilen farklı 40 adet tahıl örneğindeki doğal radyonüklitlerin seviyesi araştırılmıştır. Çalışmada, tahıl örneklerinin ^{40}K , ^{232}Th ve ^{238}U içerikleri, yüksek saflıkta germanyum (HPGe) dedektörlü bir gama-ışını spektroskopi sistemi kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen verilerin, kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu bulunmuştur.

Alrefae vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada, Kuveyt'te tüketilen kahvaltılık tahıl örneklerinin doğal olarak içerdiği ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{232}Th radyonüklitinin aktivite derişimi, yüksek saflıktaki germanyum (HPGe) dedektörlü bir gama-ışını spektrometresi kullanılarak ölçülmüştür. Çalışmada ayrıca kahvaltılık tahıl örneklerinin tüketilmesinden kaynaklanan yıllık etkin radyasyon dozu da hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda, (1) elde edilen aktivite derişimlerinin, literatürde bildirilenlerle uyumlu olduğu ve (2) tahmini olarak hesaplanan yıllık etkin radyasyon dozunun güvenli olduğu bulunmuştur.

Suchowilska vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada, Bitki Genetik Kaynakları Ulusal Merkezi (Radzików, Polonya), Gatersleben Bitki Genetiği ve Bitki Araştırmaları Enstitüsü (Leibniz, Almanya) ve Ulusal Germplazma Kaynakları Laboratuvarından (Amerika Birleşik Devletleri) temin edilen 28 *Triticum* türü (yetiştirilen emmer, einkorn, spelt ve iki ortak buğday türü) aynı çevre şartlarında yetiştirilmiş ve bu türlerin içerdiği mikro elementin derişimleri, indüktif eşleşmiş plazma sektörü alan kütle spektrometresi (ICP-SFMS) ile ölçülerek karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, incelenen *Triticum* türlerinin P, Mg, Zn, Fe, Mn, Na, Cu, Sr, Rb ve Mo derişimlerine göre önemli ölçüde farklılık gösterdiği bulunmuştur.

Yılmaz (2012) tarafından yapılan çalışmada, Kastamonu ilinden temin edilen 2010 yılı mahsulü siyez ile Ankara'dan temin edilen durum (Eminbey çeşidi) buğdayından üç farklı pişirme (otoklav, mikrodalga ve geleneksel) ve iki farklı kurutma yöntemi

ile üretilen bulgur üretilerek buğday türleri, pişirme yöntemleri ve kurutma yöntemlerinin, bulgur kalitesi ve fonksiyonel özellikler üzerine etkileri araştırılmıştır.

Demirel (2013) tarafından yapılan çalışmada, Kastamonu'dan temin edilen 23 adet kavuzlu tetraploit gernik (*T. dicoccum*) ve siyez (*T. monococcum*) buğday popülasyonu ile 4 makarnalık ve 5 ekmeklik buğday çeşidinin morfolojik ve moleküler özellikleri incelenmiştir.

Akçura vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada, Bolu, Gümüşhane ve Tokat illerinden temin edilen ve Çanakkale'de iki tekrarlamalı olarak yetiştirilen 12 adet yerel ve 25 adet tescilli ekmeklik buğday genotipinin içerdiği 9 farklı element (Fe, Zn, B, K, Mn, Cu, Mg, Ca ve Mo) seviyesi belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, Bolu kökenli buğday genotipinin Fe, Zn ve Ca içeriğinin, 25 adet tescilli çeşidin tamamından daha yüksek olduğu bulunmuştur.

Aktaş (2014) tarafından yapılan çalışmada, Güneydoğu Anadolu Bölgesinin ekolojik şartlarında yetiştirilen on beş ekmeklik buğday (*T. aestivum* L.) çeşidinin verim ve kalite özellikleri, genotip-çevre etkileşimleri ve bazı element içerikleri araştırılmıştır.

Rachoń vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada, 2010-2013 yıllarında Lublin Yaşam Bilimleri Üniversitesine (Polonya) ait bir saha denemesinde yetiştirilen dört buğday türünün (*Triticum aestivum* ssp. *Aestivum* L., *Triticum durum*, *Triticum aestivum* ssp. ve *Triticum monococcum* L.) toplam protein, ham kül, ham yağ, ham elyaf, karbonhidratlar belirlendi ve fosfor, potasyum, magnezyum, kalsiyum, bakır, demir, mangan ve çinko içeriği FAAS kullanılarak analiz edildi. Çalışma sonucunda, einkorn buğdayının en yüksek protein, yağ, kül, fosfor, potasyum, magnezyum, kalsiyum, bakır, çinko, demir ve mangan seviyesine sahip olduğu kanıtlandı.

Zengin (2015) tarafından yapılan çalışmada, Kastamonu'dan temin edilen yumuşak karakterli 16 adet siyez (*Triticum monococcum*) ve Kars'tan temin edilen sert karakterli 9 adet gernik (*Triticum dicoccum*) buğdayları, bazı nitel ve besinsel değerleri açısından karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, (1) siyez buğdayının hektolitre, bin tane ağırlığı ve tane sertliği oranlarının, gernik buğday örneklerine göre daha düşük olduğu, (2) gernik buğdaylarının daha düşük protein içeriklerine

rağmen siyez buğdayına göre daha iyi protein kalitesine sahip olduğu ve (3) siyez buğdayının kül bileşeni ve esansiyel element (Ca, P, K, Mg, Mn ve Zn) içeriği açısından gernik buğdayına göre daha zengin olduğu bulunmuştur.

Demir vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada, Kastamonu'dan temin edilen siyez buğday tanesi ve yağının peroksit, kırılma indisi, yağ asitleri bileşimi, toplam karotenoidler, klorofil içeriği ve renk değerleri değerlendirilmiştir.

Ludajić vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada, Sırbistan'ın kuzey Voyvodina eyaletinde ekilen 300 ayrı numuneden on temsili buğday örneğinin değirmende öğütülmesi ile elde edilen buğday kepeği ve buğday ununun içerdiği toksik (Pb, Cd, As ve Hg) ve esansiyel (Zn, Cu, Fe ve Mn) elementlerin derişimleri, indüktif eşlenmiş plazma kütle spektrometresi (ICP-MS) kullanılarak analiz edildi.

Emeksizoglu (2016) tarafından yapılan çalışmada, 2011 yılında, Kastamonu'nun İhsangazi, Seydiler ve Devrekâni ilçelerine bağlı farklı köylerde yetiştirilen 30 adet siyez buğday örneğinin kimyasal (kuru madde, kül, protein, yağ ve mineral madde içerikleri), fiziksel (tane ağırlığı, hektolitre ağırlığı, renk, tane iriliği vb.) ve antioksidan özellikleri belirlenerek farklı ürünlere katkı olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Siyez örneklerinin potasyum, fosfor ve magnezyum içerikleri ICP-MS tekniği ile belirlendi. Çalışma sonucunda, siyez buğday örneklerinin protein içeriklerinin % 11 ila % 18 aralığında ve glüten miktarlarının ise % 19 ila % 46 aralığında değiştiği tespit edilmiştir.

Al-Othman vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada, yağmur, kuyu, nehir ve kanal gibi farklı sulama kaynakları kullanılarak Pakistan'daki Khyber Pukhtoon Khaw'da yetiştirilen buğday örneklerinin ağır metal içerikleri araştırılmıştır. Buğday örneklerindeki ağır metal (Mn, Zn, Cu, Ni, Cr, As, Pb ve Cd) derişimleri, atomik absorpsiyon spektrofotometresi kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda, buğday bitkisinin çeşitli kısımları arasında, köklerin en yüksek ağır metal seviyelerine sahip olduğu ve buğdayda biriken ağır metallerin genel olarak, $Mn > Zn > Cu > Ni > Cr > As > Pb > Cd$ şeklinde sıralandığı bulunmuştur.

Aslan vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada, Bolu ve Kastamonu illerinden temin edilen ve yedi farklı soğuk seviyesinde yetiştirilen 10 siyez buğday ve 12 ekmeklik buğday örneğinin, fiziksel özellikleri (çimlenme hızı, çim boyu, kök ağırlığı vb.) araştırılmıştır.

Aleksandra vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada, Üsküp (Makedonya) şehrinin farklı yerlerinden toplandı 14 adet buğday örneğinin içerdiği doğal (^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K) radyonüklitlerin derişimleri, yüksek saflıktaki germanyum detektörü (HPGe) gama-ışını spektrometresi kullanılarak ölçülmüştür.

Shobha ve Kalshetty (2017) tarafından yapılan çalışmada, kirlenmiş suyla sulanan bölgede bulunan topraklardaki ağır metallerin (Cu, Fe, Mn, Zn, Ni ve Cd), seçilmiş tahıllara ve yeşil sebzelere geçişi değerlendirilmiştir. Çalışmada, tahıl ve sebze örneklerindeki içerdiği ağır metal içerikleri, AAS kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda, (1) metal derişimlerinin, önerilen azami kabul edilebilir seviyelerin üzerinde olduğu, (2) buğday ekili alanlardaki ağır metallerin derişimlerinin $\text{Cu} > \text{Zn} < \text{Ni} < \text{Cd}$ olarak sıralandığı ve (3) yeşil sebzelerde analiz edilen Mn, Pb ve Fe derişimlerinin, önerilen diyet sınırlarının ötesinde olduğu bulunmuştur.

Khan vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada, yeraltı suyu ve kanalizasyon suyu ile sulanarak farklı şartlarda yetiştirilen buğday (*Triticum aestivum* L.) örneklerinin ağır metal içerikleri araştırıldı. Buğday örneklerindeki ağır metal (Pb, Cr, Cu, Ni, Cd, Zn ve Fe) derişimleri, AAS kullanılarak analize edildi ve ağır metallerden kaynaklanan sağlık riski değerlendirildi. Çalışma sonucunda, (1) buğday örneklerindeki ağır metalle derişimlerinin $\text{Cr} < \text{Cu} < \text{Pb} < \text{Cd} < \text{Ni} < \text{Fe} < \text{Zn}$ şeklinde sıralandığı, (2) Cd derişiminin izin verilen değeri aştığı ve (3) Pb derişimlerinin kabul edilebilir seviyede olduğu bulunmuştur.

Baz ve Alamoudi (2017) tarafından yapılan çalışmada, Cidde (Suudi Arabistan) ilinin yerel pazarlardan toplanan farklı türde baklagiller, tahıl ve gıda maddelerindeki ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{232}Th radyonüklitlerin aktivite derişimleri NaI(Tl) dedektörlü bir gama-

ışını spektrometresi kullanılarak ölçülmüştür. Çalışma sonucunda, incelenen gıda örneklerinin genel halk sağlığı için önemli bir risk oluşturmadığı bulunmuştur.

Zhang vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada, Henan (Çin) eyaletinde farklı azotlu gübre uygulamaları altında yetiştirilen buğday (*Triticum aestivum*) örneklerindeki ağır metal birikimi ve transferi araştırıldı. Çalışmada, buğday örneklerindeki ağır metal (Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, As, Cd ve Pb) derişimleri, ICP-MS cihazı kullanılarak ölçüldü ve bu metallerden kaynaklanan sağlık riski değerlendirildi. Çalışma sonucunda, (1) buğday örneklerinde analiz edilen Cr ve As içeriklerinin ilgili standartları aştığı ve (2) insan sağlığını korumak için, azotlu gübrenin mevcut uygulamasının kontrol edilmesi gerektiği gösterilmiştir.

Tekin vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada, Kayseri, Kastamonu ve Konya illerinden temin edilen ve iki farklı uygulama ile Antalya’da yetiştirilen 36 adet siyez (*Triticum monococcum* L. subsp. *Monococcum*) ve 49 emmer (*Triticum dicoccum*) buğday örneklerinin bazı element içerikleri, A ve B vitamin kompleksleri değerlendirilmiştir. Çalışmada, buğday örneklerinin element (Fe, Zn, Cu, Mn ve Se) içerikleri, ICP-OES ile analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda, emmer buğday örneklerinin, siyez ve durum buğday örneklerine kıyasla mikroblesinler, A ve B vitamini kompleksi açısından daha üstün olduğu açıkça görülmüştür.

Salih (2018) tarafından yapılan çalışmada, Malezya Penang şehrinin yerel pazarlarından toplanan 18 çeşit tahıl örneğindeki (buğday, yulaf, pirinç, mısır, karabuğday, arpa, çavdar, darı vb.) ²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K’ın aktivite derişimi, yüksek saflıktaki germanyum detektörü (HPGe) gama-ışını spektrometresi kullanılarak araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, elde edilen aktivite derişim değerlerinden hesaplanan yıllık etkin radyasyon doz değerinin, UNSCEAR tarafından bildirilen dünya çapındaki standart değerin (290 µSv/y) altında olduğu ve bu nedenle, incelenen tahıl örneklerinin radyolojik açısından herhangi bir risk içermediği bulunmuştur.

Çelik (2019) tarafından yapılan çalışmada, Kastamonu (Devrekâni, Seydiler ve İhsangazi), Bolu ve Kayseri illerinde yetişen siyez genotipleri ile Müfitbey, Yunus ve

Atay85 tescilli ekmeklik buğday çeşitleri ile ilgili denemeler yapılmıştır. Denemelerde, başak uzunluğu, bitki boyu, tohum ağırlığı, tohum sayısı, dekar başına tohum verimi, protein oranı, tohum ağırlığı, m²'de bitki sayısı, biyolojik verim ve hasat indeksi gibi buğday çeşitlerinin özellikleri karşılaştırmak amacıyla incelenmiştir. Çalışma sonucunda, (1) tescilli buğday çeşitlerinin birçok özellik yönünden siyez buğdaylarından daha üstün ve (2) siyez protein oranlarının ise, genel olarak tescilli buğday çeşitlerinin protein oranlarından daha yüksek olduğu bulunmuştur.

Ertop ve Atasoy (2019) tarafından yapılan çalışmada, Kastamonu'dan temin edilen dört adet siyez (*Triticum monococcum*) ve durum buğdayının (*Triticum durum*) bazı fizikokimyasal özellikleri karşılaştırıldı ve örneklerin morfolojik özellikleri SEM kullanılarak değerlendirildi. Çalışma sonucunda, siyez buğdayının özellikle Zn, Fe ve Al açısından durum buğdayına göre daha zengin olduğu bulundu.

Daelemans vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada, Belçika'da yerel tedarikçilerden temin edilen einkorn (*T. monococcum*), emmer (*T. dicoccum*) ve khorasan buğdayı (*T. turgidum spp. Turanicum*) dâhil olmak üzere bir dizi antik buğdayların besinsel bileşimleri birbiriyle karşılaştırmış ve bazı fonksiyonel özellikleri araştırılmıştır. Çalışma kapsamındaki buğday türlerinin esansiyel element analizleri, ICP-AES kullanılarak yapılmıştır. Çalışma sonucunda, antik buğdayların, yaygın buğday ile karşılaştırıldığında, yüksek mineral değerine ancak düşük lif içeriğine sahip oldukları bulunmuştur.

Abojassim vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada, Irak pazarında bulunan on ekmek ürünü örneğinin doğal olarak içerdiği ⁴⁰K, ²³²Th ve ²³⁸U radyonüklitinin aktivite derişimi, NaI(Tl) dedektörlü bir gama-ışını spektrometresi kullanılarak ölçülmüştür. Çalışma sonucunda (1) ekmek örneklerindeki ⁴⁰K, ²³²Th ve ²³⁸U'nin ortalama aktivite derişimi, sırayla 51, 6 ve 2 Bq/kg olarak belirlenmiş ve (2) tüm ekmek örneklerinin radyolojik açıdan güvenli olduğu bulunmuştur.

Levent (2019) tarafından yapılan çalışmada, Kastamonu'da yetiştirilen siyez buğdayından üretilen un ile yapılan geleneksel Türk eriştesinin bazı özellikleri

değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, (1) siyez unu kullanımının, eriştenin kül, protein, toplam fenolik madde içeriğinde ve antioksidan aktivitesinde önemli ölçüde artışlara sebep olduğu bulunmuş ve (2) erişte örneklerin fizikokimyasal, duyuşsal özellikleri ve pişme kaliteleri dikkate alındığında, Türk eriştesi formülasyonunda siyez buğday ununun oranının % 60 düzeyine kadar kullanılabileceğı sonucuna varılmıştır.

Şenoğlu (2019) tarafından yapılan çalışmada, kadim (antik) buğday türlerinin besin değerleri ile ilgili literatürde yer alan araştırmalar incelenmiş ve bunların besin değerleri ile günümüz buğday türlerinin besin değerleri karşılaştırılarak insan sağlığına olan faydalı ele alınmıştır. Çalışma sonucunda, (1) eski buğday türlerinin, kalp-metabolik hastalıklar ile inflamasyon (enflamasyon) ve oksidatif durumlara bağılı çeşitli parametreler üzerinde faydalı olduğu ve (2) eski buğday türlerinin kronik hastalık riskini azaltma yönünde etkisinin araştırıldığı sonucuna varılmıştır.

Karabak vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada, monografik (anket yolu) araştırma tekniğı kullanılarak Kastamonu’da yetiştirilen siyez buğdayının üretiminden tüketimine kadar olan sürecinin ayrıntılı analiz ve yorumu yapılmış ve değer zincirinde yer alan aktörler belirlenmiştir.

2.2 Literatür Değerlendirmesi

Yukarıda verilen çalışmalar değerlendirildiğinde,

(1) siyez buğdayı örnekleri ile ilgili yapılan çalışmaların, genellikle insani tüketim ve gıda hazırlama potansiyeline yönelik olduğu,

(2) buğday örneklerinin element içeriklerinin belirlenmesine yönelik literatürde ayrıntılı bir çalışmanın olmadığı ve yapılan çalışmaların Na, P, S, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Cu ve Zn elementlerinin analizi ile sınırlı olduğu,

(3) buğday örneklerinin element içeriklerinin, genellikle AAS, ICP-OES, ICP-MS gibi kimyasal analiz yöntemleri kullanılarak yapıldığı ve

(4) siyez örneklerinin doğal radyonüklit ve toksik ağır metal içeriklerinin belirlenmesine yönelik olarak literatürde herhangi bir çalışmanın yer almadığı görülmüştür.



3. MALZEME VE ANALİZ YÖNTEMLERİ

3.1 Siyez Örneklerinin Toplanması

Siyez örnekleri, Kastamonu iline bağlı İhsangazi ilçesinden 21 farklı ekim alanından toplandı. Her bir noktadan yaklaşık 0,5 kg kadar toplanan 21 siyez örneği, plastik poşetlerde örnek hazırlama laboratuvarına getirildi. Siyez örnekleri, atmosfer ortamında kurutulmaya bırakıldı.

3.2 Siyez Örneklerinin Radyonüklit Analizi İçin Hazırlanması

Radyonüklit analizi için kabuklarından ayıklanan siyez örnekleri, dedektör 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 kodlandı. Siyez örnekleri, nemlerinden arındırmak amacıyla 50 °C’de etüvde 3-4 saat bekletilerek kurutuldu. Her bir siyez örneği, kalibrasyon kaynaklarının bulunduğu kaplar ile aynı boyuta (5x6 cm) sahip polietilen kaplara aktarıldı. Tartma işlemi ile örneklerin net kütleleri belirlendi ve kaydedildi. Radon gazı sızdırmazlığını sağlamak amacıyla örnek kaplarının kapak bölümleri teflon bant ile sıkıca sarıldı (Fotoğraf 3.1). Daha sonra örnekler, radyum ve bozunum ürün olan radon arasındaki kalıcı dengeyi temin etmek için en az dört hafta ay bekletildi (Abugoufa, 2019).

3.3 Siyez Örneklerinin Elementel Analizi İçin Hazırlanması

Elemental analiz için toz hâlindeki her bir siyez örneğinden 5 gram alındı ve agat havan takımı ile homojen hâline getirildi. Daha sonra örnekler, Fotoğraf 3.2’de görüldüğü gibi elemental analiz için kullanılan kalibre edilmiş toz geometrisine sahip örnek alma cihazına yerleştirildi.



Fotoğraf 3.1 Siyez örnekleri



Fotoğraf 3.2 EDXRF spektrometresinin örnek alma cihazı

3.4 Analiz Yöntemleri

Tez kapsamında, siyez örneklerindeki (1) doğal radyonüklit (^{40}K , ^{226}Ra ve ^{232}Th) derişimleri, gama-ışını spektrometrik yöntem ve (2) esansiyel ve ağır metal derişimleri ise X-ışını spektrometrik yöntem kullanılarak analiz edildi. Bu kısımda, iyonlaştırıcı radyasyon, doğal radyasyon kaynakları, radyasyonun madde ile etkileşmesi, analiz yöntemleri ve kullanılan spektrometrelere ilişkin öz bilgi verildi. Daha ayrıntılı bilgi için okuyucular ilgili kaynaklara yönlendirildi.

3.4.1 İyonlaştırıcı Radyasyon

Yaşadığımız ortamın bir parçası olan radyasyon, bir kaynaktan gelen ve tanecik (parçacık) veya elektromanyetik dalga şeklinde uzayda yayılan veya taşınan enerji olarak tarif edilebilir (Abugoufa, 2019). Farklı malzemelere (maddelere) nüfuz edebilen radyasyon, etkileşmesine göre iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak iki kategoriye ayrılabilir. İyonlaştırıcı radyasyon, etkileştiği ortamdaki atom veya moleküllerin dış yörüngelerinden bir elektronu koparmak için yeterli enerjiye sahip radyasyon olarak tanımlanır (Krane, 1987; Abugoufa, 2019). Elektromanyetik spektrumun düşük frekans bölgesinde yer alan görünür ışık, kızıl ötesi (infrared), mikrodalga, televizyon ve radyo dalgalar iyonlaştırıcı olmayan radyasyon sınıfında yer almaktadır. İyonlaştırıcı radyasyon sınıfında olan alfa (α -) ve beta (β -) ışınları, enerjik proton vb. yüklü tanecikler, doğrudan iyonlaştırıcı radyasyon olarak isimlendirilirken nötronlar, elektromanyetik spektrumun yüksek frekans bölgesinde yer alan X- ve gama (γ)- ışınları ise yüksüz dolaylı iyonlaştırıcı radyasyon olarak isimlendirilir.

3.4.2 Radyoaktivite ve İyonlaştırıcı Radyasyon Kaynakları

Herhangi bir atomun çekirdeği fazla nötron veya proton içeriyorsa, bu bileşenler arasındaki kuvvet dengesizleşerek çekirdeğin kararsız duruma gelmesine sebep olur. Kararsız bir çekirdek sürekli titreşir ve radyoaktif bozunum ile kararlı duruma ulaşmaya çalışır. Radyoaktivite, kararsız atom çekirdeklerinin, daha kararlı bir duruma gelebilmek için kendiliğinden ve rastgele bir bozunuma uğrayarak yeni

elementlerin oluşumuyla sonuçlanan nükleer dönüşümleri olarak tanımlanabilir (Krane, 1987). Bu tür kararsız çekirdek, radyonüklit (veya radyoizotop) olarak isimlendirilir. Radyoaktif dönüşümler, alfa, beta ve pozitron taneciği yayınlanması ve yörünge (orbital) elektronunun yakalanması dâhil olmak üzere birçok farklı mekanizmadan biri ile karakterize edilir. Bu çekirdek tepkimelerinin her birine gama radyasyonu eşlik edebilir veya etmeyebilir. Radyoaktivite ve çekirdeklerin radyoaktif özellikleri, sadece nükleer faktörlerle belirlenir ve radyonüklitin kimyasal ve fiziksel durumlarından bağımsızdır (Cember ve Johnson, 2009). Bu sebeple atomların radyoaktif özellikleri hiçbir şekilde değiştirilemez ve ilgili radyonüklitlere özgüdür. Radyoaktif dönüşümün kesin modu, geçiş için mevcut enerjiye bağlıdır. Mevcut enerji, sırayla, 1) belirli nükleer dengesizlik türüne, yani, nötron-proton oranının söz konusu nüklit için çok yüksek veya çok düşük olup olmadığına ve 2) ana çekirdek, ürün çekirdek ve yayınlanan tanecik arasındaki kütle-enerji ilişkisine bağlıdır (Cember ve Johnson, 2009). Kararsız çekirdekler, alfa (α veya ^4He) ve beta (β veya enerjik elektronlar) olmak üzere iki temel radyoaktif bozunum süreci sonucunda daha kararlı hale gelir (Krane, 1987). Bu bozunum süreçlerinde, kararsız bir çekirdek, bir α veya β taneciği yayınlayarak daha kararlı duruma geçer ve bu süreçlerden sonra daha kararlı ancak uyarılmış durumda kalan çekirdek gama radyoaktif bozunum süreci ile γ -ışını (radyasyonu) yayınlayarak nükleer özelliğini kaybetmeden taban duruma geçiş yapar (Krane, 1987; Zriba, 2019). Radyoaktif bozunum sonucundaki kararsız çekirdeklerin sayısı radyoaktif bozunum yasası olarak bilinen,

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (3.1)$$

bağıntısı ile verilir. Burada, $N(t)$, t zaman aralığında bir örnek içindeki radyoaktif çekirdek sayısı; N_0 , başlangıçtaki ($t=0$) çekirdek sayısı ve λ , bozunum sabitidir. Başlangıçtaki kararsız çekirdek sayısının, yarıya düşmesi için geçen süreye yarılanma süresi veya yarılanma ömrü ($t_{1/2}$ veya $T_{1/2}$ ile gösterilir) denir ve $t_{1/2}$ ile λ aşağıdaki bağıntı,

$$t_{1/2} = \frac{\text{Ln}(2)}{\lambda} \quad \text{ve} \quad \lambda = \frac{\text{Ln}(2)}{t_{1/2}} \quad (3.2)$$

ile verilir. Birim zamandaki bozunum sayısı olarak tarif edilen aktivite (A), aşağıdaki bağıntı ile verilir (Krane, 1987; Zriba, 2019):

$$A = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda \cdot N_0 e^{-\lambda t} = \lambda \cdot N \quad (3.3)$$

Aktivitenin geleneksel birimi bir gram radyumun aktivitesine eşdeğer olan curie (Ci) ($1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10}$ bozunum/s) dir. Aktivitenin uluslararası birimi, saniye başına bozunum olarak tanımlanan becquerel (Bq) ($1 \text{ Bq} = 1$ bozunum/s) dir. Aktivite konsantrasyonu (derişimi) kütle veya hacim ile ilgilidir ve katılar için Bq/kg sıvı ve gazlar için ise Bq/L veya Bq/m³ ile verilir (Zriba, 2019).

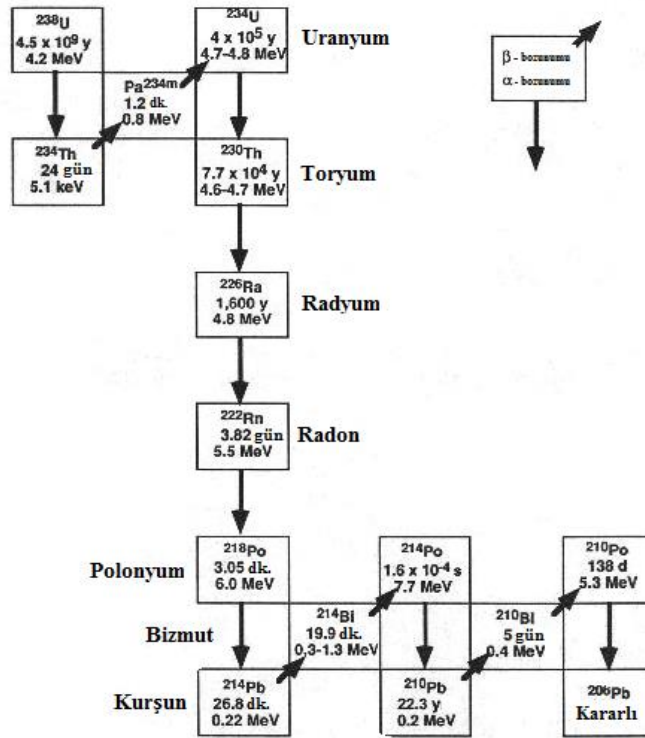
Zincirleme radyoaktif bozunum süreci olduğunda, ana çekirdek ile ürün çekirdekler arasında ayırt edilebilir üç durum söz konusudur: (1) Ana çekirdeğin yarılanma süresi, bozunum ürününün yarılanma süresinden çok büyükse ($t_{1/2} \gg t_{2/2}$), kalıcı radyoaktif denge (secular equilibrium) oluşur. Bu denge, ürün çekirdeğin yarılanma süresinin en dört katı kadar sonra kısmı olarak sağlanmış olabilir. (2) Ana çekirdeğin yarılanma süresi, bozunum ürününün yarılanma süresine eşit veya büyükse ($t_{1/2} \geq t_{2/2}$), geçici radyoaktif denge (transient equilibrium) oluşur. (3) Ana çekirdeğin yarılanma süresi, bozunum ürününün yarılanma süresinden küçükse ($t_{1/2} < t_{2/2}$) bu durumda, radyoaktif denge oluşmaz (Zriba, 2019).

Radyoaktif elementler (radyonüklitler), iyonlaştırıcı radyasyonun kaynağıdır, Ayrıca, yüklü taneciklerin (enerjik elektronların) ivmelenmesi sonucunda frenleme X-ışınları gibi iyonlaştırıcı radyasyon elde edilebilmektedir. İnsanların maruz kaldığı iyonlaştırıcı radyasyonun yayımlandığı radyoaktif kaynaklar, doğal ve yapay olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Bir insanın maruz kaldığı ortalama yıllık radyasyon dozunun % 14'ünden sorumlu olan yapay radyasyon kaynaklarını, tıpta, farklı endüstrilerde kullanılan radyoizotoplar, atmosferik nükleer silah denmeleri, nükleer tesisler, nükleer güç santralleri, nükleer santral kazaları oluşturmaktadır (UNSCEAR, 2010). Yerkabuğu kökenli primordiyal ve kozmojenik radyonüklitlerin oluşturduğu doğal radyasyon kaynakları, bir insanın maruz kaldığı ortalama yıllık radyasyon dozunun % 86'sından sorumludur (UNSCEAR, 2010). Kaya, toprak, su, hava, gıda

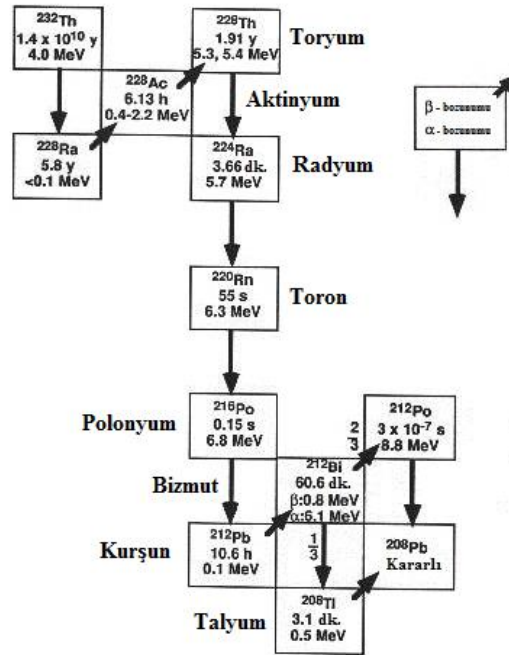
vb. her ortamda jeolojik ve jeokimyasal yapıya göre farklı seviyelerde bulunan yerkabuğu kökenli doğal radyoaktif kaynaklar, uranyum (^{238}U), toryum (^{232}Th), aktinyum (^{235}U) doğal radyoaktif serilerine ait radyonüklitler, potasyum (^{40}K), rubidyum (^{87}Rb), lantan (^{138}La), samaryum (^{147}Sm) ve lütesyum (^{176}Lu) gibi radyonüklitleri içermektedir. Bununla birlikte ^{235}U 'in, yer kabuğundaki ^{238}U içerisindeki izotopik bolluğunun (% 0,7) düşük olmasından dolayı aktinyum serisindeki radyonüklitlerin ve ^{87}Rb , ^{138}La , ^{147}Sm , ^{176}Lu gibi radyoizotopların ışınlamaya katkısı çok düşük seviyededir. Bu yüzden söz konusu radyonüklitler bu tez kapsamındadır. ^{238}U ana radyonükliti ile başlayan ve ^{206}Pb izotopu ile kararlı duruma gelen doğal uranyum radyoaktif serisindeki radyonüklitlerin, yarılanma süreleri, bozunum süreçleri ve yayınladıkları α - ve β - ışınlarının enerjileri Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Aynı şekilde ^{232}Th ana radyonükliti ile başlayan ve ^{208}Pb izotopu ile kararlı duruma gelen doğal toryum radyoaktif serisindeki radyonüklitlerin, yarılanma süreleri, bozunum süreçleri ve yayınladıkları α - ve β - ışınlarının enerjileri Şekil 3.2'de gösterilmiştir.

3.4.3 Radyasyonun Madde ile Etkileşmesi

Tez kapsamındaki analiz işlemlerinde kullanılan gama-ışını ve X-ışını flüoresan spektrometresin en önemli kısmını oluşturan dedektörlerin çalışma ilkesi, algılanacak ve/veya ölçülecek radyasyonun, dedektör malzemesi ile etkileşmesine bağlıdır. Dolayısıyla bu kısımda, sadece elektromanyetik radyasyon olan X-ışını (10^{16} Hz- 10^{20} Hz) ve gama-ışını ($> 10^{20}$ Hz) fotonlarının, madde ile etkileşmesi özetlenmiştir. Fotonlar öncelikle içinden geçtikleri malzeme ile fotoelektrik etki, Compton saçılması ve çift oluşumu olmak üzere üç farklı şekilde etkileşime girebilir. Bu etkileşim mekanizmaları farklı enerji eşiklerine ve farklı malzemeler için yüksek etkileşim (tesir) kesitli bölgelere sahiptir. Yeterli enerjiye sahip bir foton demeti bir malzemedan geçtiğinde, demetteki tüm fotonlar aynı etkileşimleri yapmazlar. Radyasyon tespiti ile ilgili etkileşim süreçleri, tamamen istatistiksel olarak gerçekleşir. Örneğin, demetteki fotonların çoğunun, malzeme ile nasıl etkileşime gireceğini bilmek istendiğinde, tüm etkileşimlerin tesir kesiti hesaplanır ve ilgili foton enerjisindeki en yüksek değer bulunur (Ahmed, 2007).



Şekil 3.1 Doğal uranyum serisi



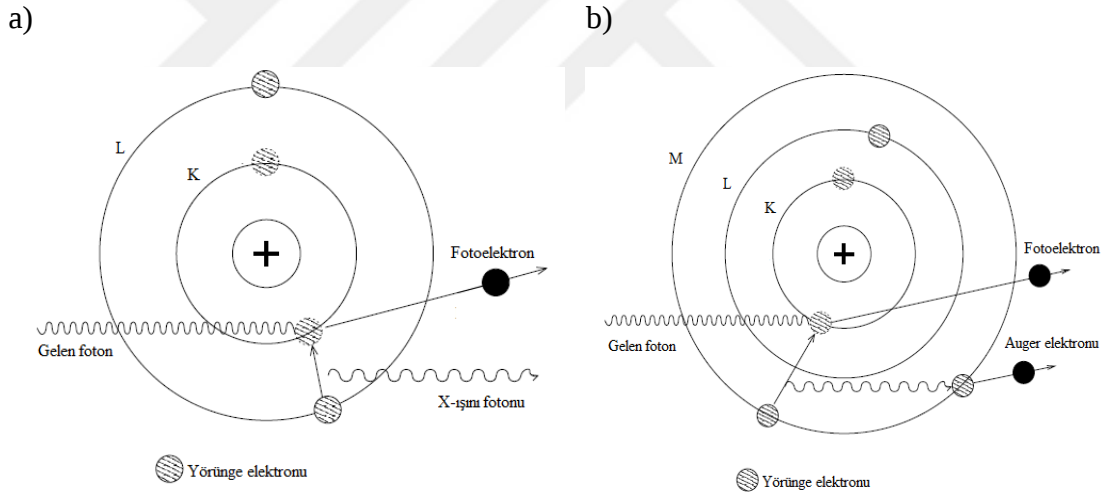
Şekil 3.2 Doğal toryum serisi

Fotoelektrik süreçte, bir foton enerjisinin tamamını atoma aktararak atomu kararsız duruma getirir. Daha sonra atom, kararlı duruma geri dönmek için, atomik kabuklarından birinden bir elektron fırlatır (Şekil 3.3. a). Doğal olarak fotoelektrik etki, gelen foton enerjisinin, atomdaki en gevşek bağlı elektronun bağlanma

enerjisine eşit veya daha büyük bir enerjiye sahip olmasını gerektirir. Fırlatılan elektronun (fotoelektronun) enerjisi (E_e),

$$E_e = h\nu - E_b \quad (3.4)$$

bağıntısı ile bulunur. Burada h , Planck sabiti; ν , gelen fotonun frekansı ve E_b , atomun bağlanma enerjisidir. Fotoelektrik etkinin ilginç bir yönü de, fırlatılan elektron boşluğunun bir dış kabuk elektronu ile doldurulması ve iki enerji seviyesinin farkına eşit enerjili bir foton yayınlanmasıdır. Bu fotonlar, genellikle elektromanyetik spektrumun X-ışını bölgesinde bulunur ve floresans fotonları olarak adlandırılır. Fotoelektrik etkinin bir sonucu olarak yayılan bir X-ışını fotonu, enerjisinin bağlanma enerjisine eşit olması şartıyla başka bir yörünge elektronunu koparabilir. Bu elektrona Auger elektronu denir (Şekil 3.3. b).



Şekil 3.3 Fotoelektrik olayı (Ahmed, 2007)

Fotoelektrik etkileşme kesiti, atom numarası (Z) ile orantılı ve gelen fotonunun enerjisi ile de ters orantılı olarak kuvvetli bir şekilde bağımlıdır. Dolayısıyla fotoelektrik etki olasılığı, hedef atomun atom numarasıyla hızla bir şekilde artar. Aynı zamanda fotoelektrik etki, bağıl olarak düşük enerjili X- ve gama-ışınları için baskın bir etkileşme sürecidir (Zriba, 2019). Fotoelektrik etkileşme kesiti (σ_{F0}), 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 ile aşağıdaki yarı ampirik bağıntı ile verilir (Knoll, 2000; Abugoufa, 2019):

$$\sigma_{Fo} \cong \text{sabit} \times \frac{Z^n}{E_\gamma^{3,5}} \quad (3.5)$$

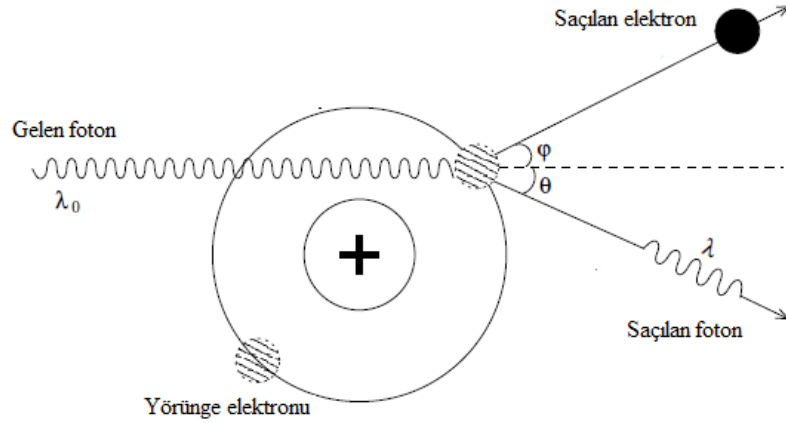
Burada, Z, atom numarası; E, gelen fotonun enerjisi ve n, ilgilenilen gama-ışını ile ilgili olarak 4 ila 5 aralığında değişen sabit sayıdır.

Compton saçılması, hareketsiz olan serbest veya gevşek bağlı elektronlardan fotonların esnek olmayan saçılmasıdır. Elektron hemen hemen serbest olduğu için, çarpışma sonucunda da saçılabilir. Compton olayında, fotoelektrik etkiden farklı olarak, foton enerjisinin sadece bir kısmını elektrona aktarır ve sürece sadece dış yörüngedeki serbest elektronlar dâhil olur. Dolayısıyla gelen foton, enerjisinin bir kısmını başlangıçta hareketsiz olarak kabul edilen elektrona aktararak kendisi geliş açısına göre bir θ açısı ile saçılırken elektronun da bir ϕ açısı ile saçılmasını sağlar (Şekil 3.4). Böylece esnek olmayan saçılmalar bütün açılarda mümkün olduğundan elektrona aktarılan enerji, sıfırdan X- veya gama-ışını enerjisinin önemli bir kısmına kadar değişebilir (Knoll, 2000; Abugoufa, 2019).

Compton kayması ($\Delta\lambda$), saçılan fotonun dalga boyu (λ) ile gelen fotonun dalga boyu (λ_0) arasındaki fark,

$$\lambda - \lambda_0 = \Delta\lambda = \frac{h}{m_0 \cdot c} (1 - \cos\theta) \quad (3.6)$$

bağıntısı ile verilir. Compton saçılma ihtimali, hedef atomlarının elektron sayısına bağlıdır ve bu yüzden atom numarası Z ile doğru orantılı olarak artar (Temirci, 2017; Abugoufa, 2019).



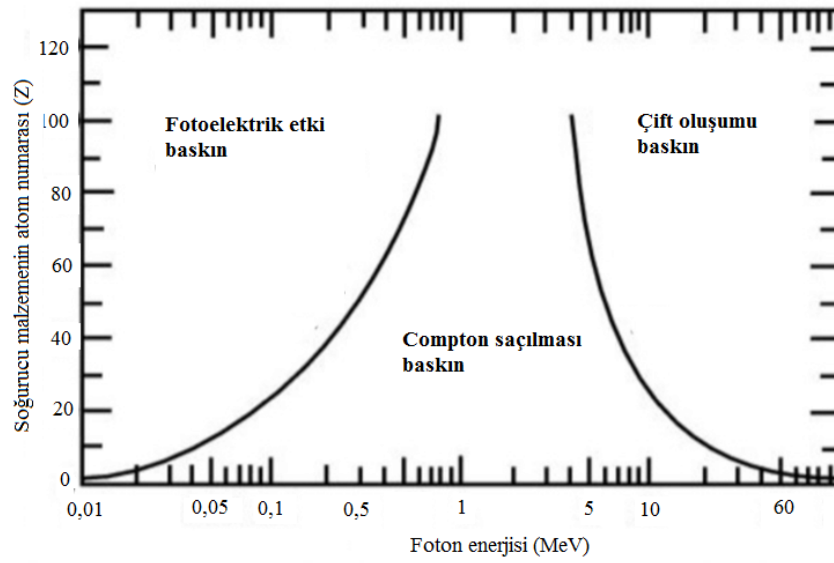
Şekil 3.4 Compton saçılması (Ahmed, 2007)

Çift oluşumu, bir fotonun elektron-pozitron çiftine dönüştürülmesiyle sonuçlanan süreçtir. Fotonun enerjisi, elektron-pozitron çiftinin durgun kütle enerji toplamından büyük ($> 1,022 \text{ MeV}$) olduğunda, 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; Abugoufa, 2019).

Grafik 3.1'de, iyonlaştırıcı radyasyon ile madde arasındaki sözü edilen üç etkileşme mekanizmasının, farklı soğurucu malzemeler için bağıl önemi veya hangi enerji aralıklarında etkili olabilecekleri gösterilmiştir (Knoll, 2000; Temirci, 2017; Abugoufa, 2019).

3.4.4 Karakteristik Gama- ve X-ışınlarının Oluşumu

Daha önce de ifade edildiği gibi gama ışınları, bazı doğal veya yapay radyonüklitlerin (^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{208}Tl , ^{40}K , ^{192}Ir , ^{137}Cs , ^{60}Co vb.) bozunumu sonucunda yayınlanan elektromanyetik radyasyondur. Gama-ışını yayınlandığı radyonüklite özgüdür, karakteristiktir, enerji seviyeleri sabittir ve enerji yoğunluğu zamanla azalır (Krane, 1987; Knoll, 2000).



Grafik 3.1 Foton etkileşmesinin bağıl önemi (Knoll, 2000)

X-ışınları durumunda, yüksek enerjili elektronlar tungsten gibi atom numarası büyük hedef malzemeler tarafından hızla yavaşlatıldığında (ivmelendiğinde) frenleme (bremsstrahlung) X-ışınları veya röntgen ışınları yayınlanır. Bu süreç, kesikli enerji geçişlerini içermediğinden yayılan röntgen fotonları sürekli enerji spektrumuna sahiptir (Şekil 3.5. b). Hedefe gelen elektronlar ayrıca hedef atomların iç atomik kabuklarından elektronları dengesiz hâlde bırakarak elektronları koparmak için yeterli enerjilere ulaşabilir. Atomik kararlılığı yeniden kazanmak için, yüksek enerji seviyelerinden gelen elektronlar, bu boşlukları hızla doldurur. Bu elektronların enerjisi, yeni yörüngelerde kalmak için gereken enerjiden daha yüksek olduğu için fazla enerji, X-ışını fotonları şeklinde yayınlanır (Şekil 3.5. a). Atomik enerji seviyelerindeki farka göre karakteristik enerjilere sahip olan bu fotonlar karakteristik X-ışınları olarak isimlendirilir. Elektronların bulunduğu 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. Bu kabuklardaki bir elektronun koparılması için gelen radyasyonun veya yüklü taneciğin, elektronun bağlanma enerjisinden daha büyük bir enerjiye sahip olması gerekir. Elektronun atomdan fırlatıldığı durumda, gelen radyasyon soğurulur ve yüksek soğurulma yüksek flüoresans oluşturur. Diğer taraftan enerji çok yüksekse, fotonların çoğu atomdan soğurulmadan geçer veya sadece birkaç elektron koparılır (Brouwer, 2010; Abugoufa, 2019). Gelen radyasyonun veya yüklü taneciğin neden olduğu başlangıçtaki boşlukların tamamı, flüoresans fotonlarını

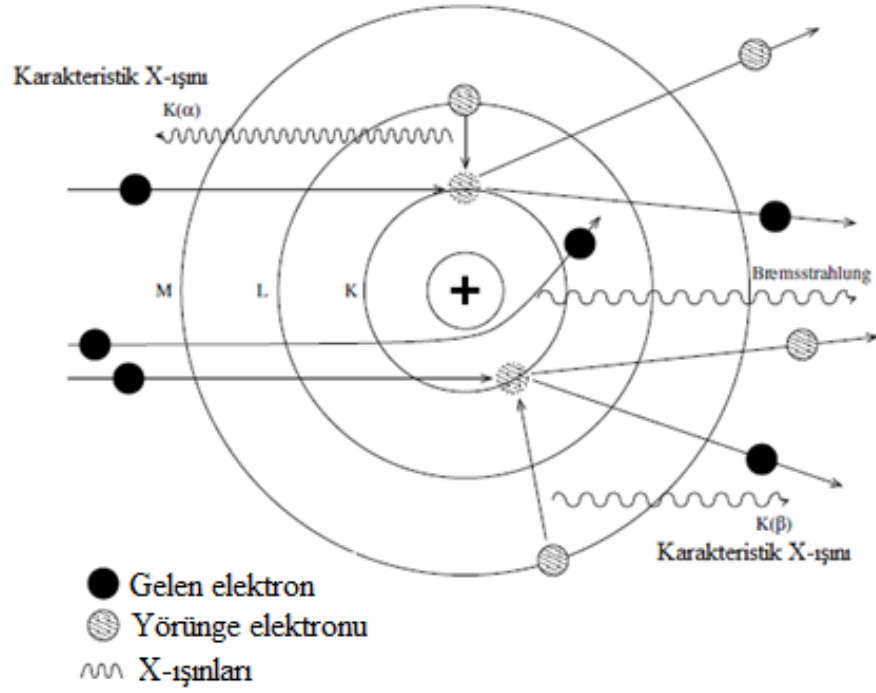
oluşturmayabilir. Bu durumda, Auger etkisi ile Auger elektronu yayınlanır. Flüoresans verimi, yayınlanan flüoresans fotonların, başlangıçtaki boşluk sayısına oranı olarak tarif edilir (Brouwer, 2010; Abugoufa, 2019). Grafik 3.2’de, flüoresans veriminin, atom sayısının fonksiyonu olarak nasıl değiştiği gösterilmiştir. Atom numarası düşük elementler için flüoresans verimi düşük olduğundan, bu elementlerin ölçülmeleri diğerlerine göre daha zordur. Şekil 3.6’da elektron geçişlerine karşılık gelen farklı çizgiler, Seigbahn notasyonu ile gösterilmiştir (Brouwer, 2010; Abugoufa, 2019).

3.5 Gama-ışını ve XRF Spektrometrik Yöntem

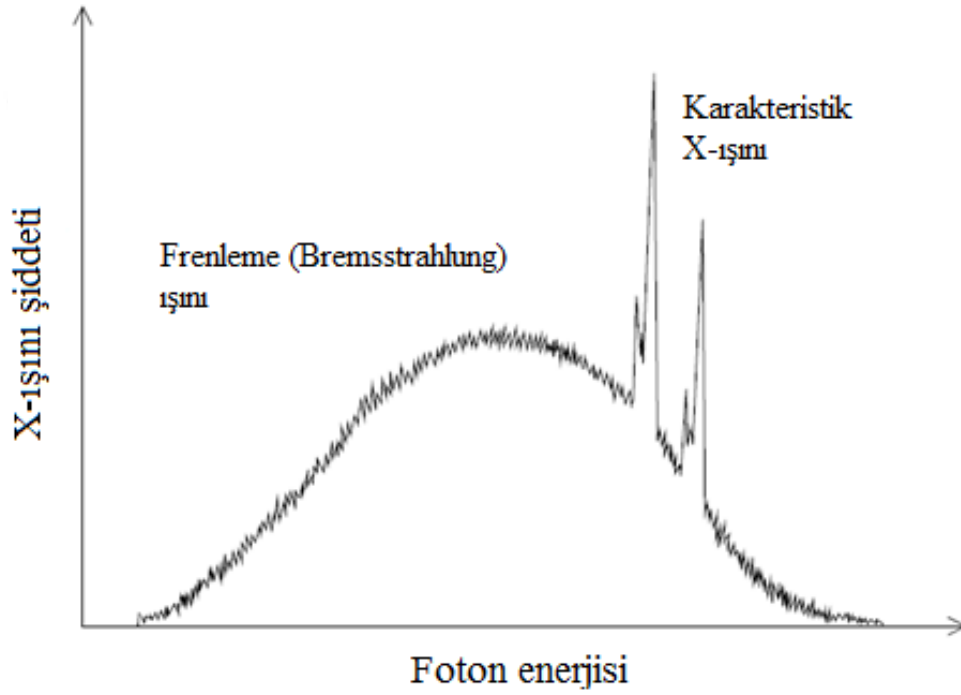
Gama-ışını spektrometrisi, farklı örneklerin oluşturduğu çeşitli matrislerde gam-radyasyonu yayınlayan radyoizotopların nitel ve nicel olarak ölçülmesini mümkün kılan analitik bir yöntemdir. Gama-ışını spektrometresi, diğer kimyasal analitik yöntemlere göre asgari düzeyde örnek hazırlama işlemi ile tek bir ölçümde birden fazla radyonüklitin tespit edilmesini sağlayabilir. Gama-ışını spektrometresi, nükleer tesislerde izleme, sağlık fiziği, nükleer tıp, adli tıp ve nükleer madde kaçakçılığı, malzeme araştırmaları, biyobilim, çevre bilimi, radyoizotopların endüstriyel kullanımları ve nötron aktivasyon analizi gibi uygulamalarda etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Düşük analiz maliyeti, hızlı, güvenilir, tekrarlanabilir, doğru ve kesin ölçme kapasitesinden dolayı, ihtiyatlı bir tahminle, dünya çapında akademik ve endüstriyel laboratuvarlarda ve tesislerde 200 000’den fazla gama-ışını spektrometresi mevcuttur (Ahmed, 2007).

XRF spektrometrisi, katı, sıvı, toz, filtrelenmiş veya başka bir formda olan her türlü malzemenin kimyasal bileşimini belirlemek için kullanılan analitik bir yöntemdir. XRF spektrometrisi hızlı, doğru, güvenilir, tahribatsız, genellikle sadece asgari örnek hazırlama işlemini gerektiren ve düşük analiz maliyeti gibi özelliklerinden dolayı arkeoloji, madencilik, mineraloji, jeoloji, su ve atık malzemelerin çevresel analizi, metal, çimento, yağ, polimer, plastik, gıda endüstrileri gibi çok geniş uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Brouwer, 2010).

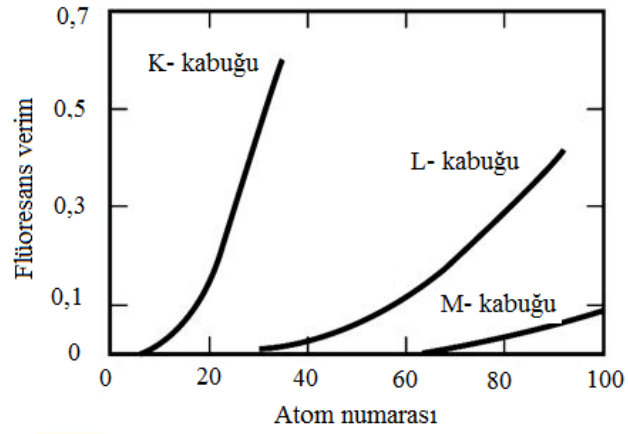
a)



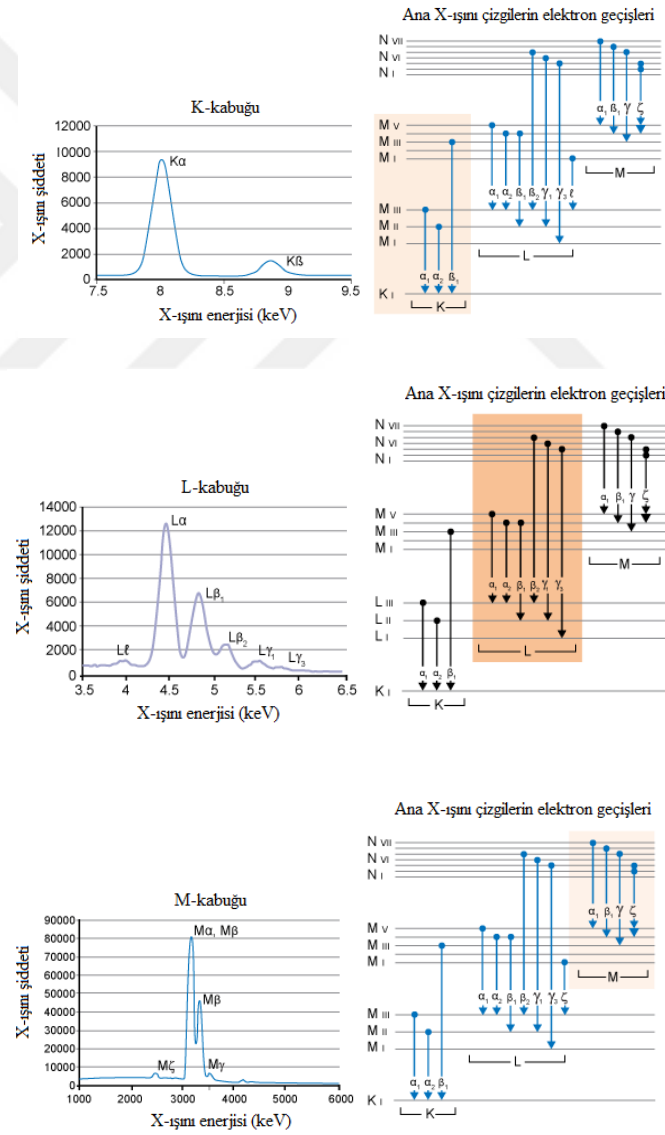
b)



Şekil 3.5 X-ışınlarının oluşması (Ahmed, 2007)



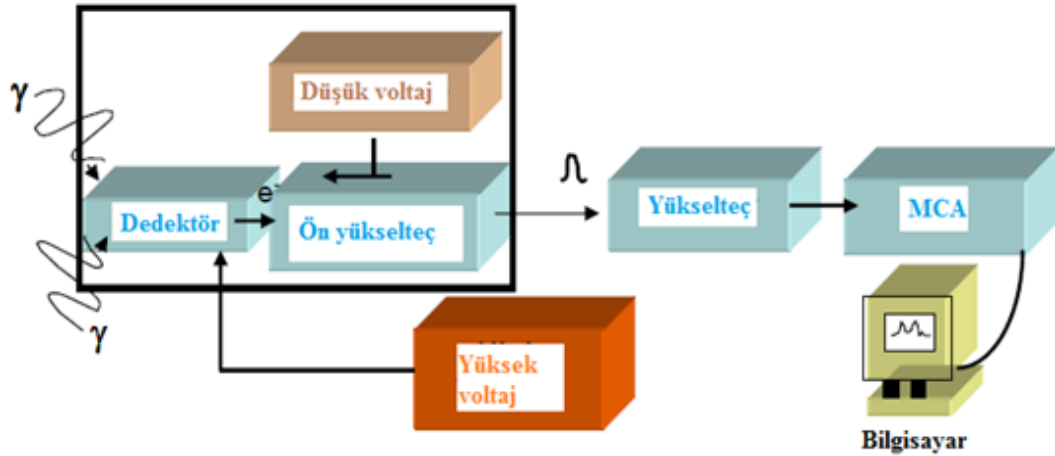
Grafik 3.2 X-ışını flüoresans verimi (Abugoufa, 2019)



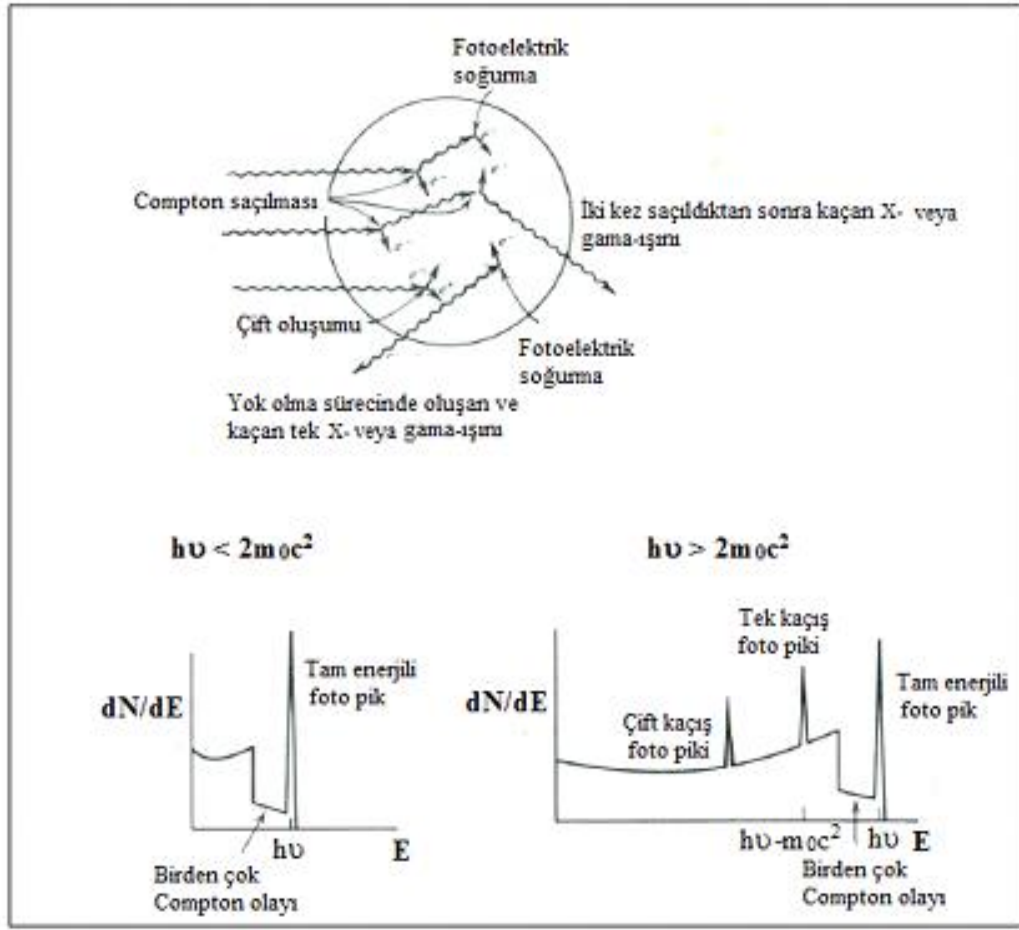
Şekil 3.6 Ana çizgiler ve elektron geçişleri (Abugoufa, 2019)

3.5.1 Gama-ışını Spektrometresi

Tipik bir analog tabanlı gama-ışını spektrometresi, bir dedektör, yüksek voltajlı güç kaynağı, ön yükselteç, yükselteç, analog-sayısal dönüştürücü (ADC) ve çok kanallı analizör (multi-channel analyzer, MCA) veya bilgisayar ve yazıcıdan oluşmaktadır (Şekil 3.7). Gelişen teknoloji ile birlikte yükselteç ve ADC'nin yerini sayısal sinyal işleme (digital signal processing, DSP) elektroniği almıştır (Abugoufa, 2019). Elektronik sistemin işlevi, sinyal darbelerinden üretilen elektronların toplamak, bu darbeler işlemek ve yükseklik veya enerjiye göre sınıflandırmak veya sıralamaktır. Bir gama-ışını spektrumu aşağıda verilen aşamalardan sonra elde edilir: 1) fotonun, dedektör malzemesi (kristali) ile daha önce bölüm 3.4.3'te anlatılan etkileşme süreçlerinden sonra elektronlar oluşur (Şekil 3.8), (2) uygulanan besleme (bias) voltajı, elektronları kristalden süpürür, (3) elektronlar tarafından üretilen akım sinyal darbesini oluşturur, (4) darbenin genliği ön yükselteç ile yükseltilir, 5) darbenin genliği, yükselteç ile daha da güçlendirilir ve şekillendirilir, 6) güçlendirilmiş sinyal darbesi bir ADC kullanılarak sayısal değerlere dönüştürülür ve 7) sayısal değerler, MCA'ya gönderilir ve MCA'da darbeler kanal numarasına veya enerjiye göre histogram oluşturularak bir gama-ışını spektrumu elde edilir. Bu darbelerin alanları radyonüklitin aktivitesiyle ve kanal numarası da radyonüklitin enerjisi ile ilgilidir.



Şekil 3.7 Bir gama spektrometresinin blok diyagramı (Ahmed, 2007)



Şekil 3.8 Gama- ve X- ışını etkileşme süreçleri ve fotopik oluşumu

Gama-ışını spektrometrelerinde, inorganik sintilasyon dedektörleri veya yarı iletken dedektörler kullanılmaktadır. Bununla birlikte genelde, sintilasyon dedektörü olarak NaI(Tl) ve yarı iletken dedektörü olarak da yüksek saflıkta germanyum (high purity germanium, HPGe) kullanılmaktadır (Knoll, 2000). Bir NaI(Tl) dedektörünün algılama (dedeksiyon) verimi yüksek ve ayırma gücü (rezölasyonu) zayıftır. Ancak bir HPGe dedektörünün ayırma gücü yüksek ve algılama verimi düşüktür (Knoll, 2000). 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; Abugoufa, 2019). Sıvı azotun kullanılması aynı zamanda ısı uyarılma ile sonuçlanabilecek elektronik gürültüyü en aza indirebilir. 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. Bir HPGe dedektörü için mutlak verim, kristal özgün (intrinsic) verim, bağlı (relative) verim ve tam enerjili fotopik verimi olmak üzere dört farklı verim söz konusudur (Knoll, 2000; Abugoufa, 2019). 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 (40-60 keV civarındadır) (Knoll, 2000; Abugoufa, 2019). 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 tepe noktasına karşılık gelen kanal numarası tespit edilerek kaydedilir. Daha sonra bu veriler, birinci (gerektiğinde ikinci veya üçüncü) dereceden bir polinoma fit edilerek kanal sayısı ile gama-ışını enerjisi arasındaki ilişki bulunur (Knoll, 2000; Abugoufa, 2019).

3.5.1.1 Tez kapsamında kullanılan gama-ışını spektrometresi

Siyez örneklerinin ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{232}Th aktivite seviyeleri, Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan ve Fotoğraf 3.3’de gösterilen gama-ışını spektrometresi kullanılarak belirlendi. Spektrometrenin kalbini oluşturan HPGe dedektörü (GEM50P4-83) ile ilgili teknik özellikler, Tablo 3.1’de verilmiştir. Dedektör, laboratuvar ortamı radyasyonunu (backgroundu) en aza indirmek amacıyla kurşundan yapılmış yüksek performanslı, ultra düşük backgrounda sahip kurşun zırh içine yerleştirilmiştir. 30 L hacimli vakumlu (çift duvarlı) sıvı azot kabı, azot soğutması için kullanılmıştır. Dedektör, dedektör ara yüz modülüne (detector interface module, DIM) ve ileri sayısal sinyal işleme (DSP) içeren ve tam özellikli 16-K çok kanallı sayısal spektrum analizörüne (DSPEC-50) bağlıdır. DSPEC-50, fotopikleri otomatik olarak bulan, fotopikleri değerlendiren, fotopiklerin belirsizliğini hesaplayan, kütüphanesi ile gerektiğinde radyonüklitleri belirleyen ve aktivite analizlerini yapabilen GammaVision gama spektroskopisi yazılım ile çalışmaktadır.

3.5.1.2 Aktivite derişiminin ölçülmesi

Her bir siyez örneğine ait gama-ışını spektrumu, zırh içindeki dedektör üzerine yerleştirilen örneklerin 50 000 s sayılması ile elde edildi. Daha sonra gama-ışını spektrumlarında, ^{226}Ra için 351,9 keV, 609,3 keV ve 1 764,5 keV enerjili, ^{232}Th için 911,2 keV ve 583,2 keV enerjili ve ^{40}K için 1 460,8 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. Siyez örneklerinin içerdiği radyonüklitlerin aktivite derişimleri (A),

$$A = \frac{C}{\varepsilon(E_\gamma) \cdot P_\gamma \cdot M \cdot t} \quad (3.7)$$

bağıntısı kullanılarak bulundu (Abugoufa, 2019). Burada, C, gama-ışını spektrumunda ilgilenilen gama-ışınına ait sayım (net alan); $\varepsilon(E_\gamma)$, ilgilenilen gama-ışını için hesaplanan verim; P_γ , ilgilenilen gama-ışınının yayınlanma ihtimali; t, sayım süresi ve M, örneğin kütlesidir. Sistemin tam enerjili fotopik verim (ε) 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 yapılmıştır (Abugoufa, 2019).

Tablo 3.1 HPGe dedektörünün özellikleri

Dedektör modeli	ORTEC GEM50P4-83
Bağıl verimi	% 50
Enerji ayırma gücü (çözünürlük)	1,9 keV (1,33 MeV enerjide)
Pik/Compton oranı	66:1
Dedektör geometrisi ve kristal tipi	Kapalı uçlu, eş eksenli ve p-tipi HPGe
Çapı ve yüksekliği	62,5 mm
Pencereden uzaklık	5 mm
Çalışma gerilimi	+3 000 V dc
Kriyostat ve azot kabı hacmi	Dikey geometrili ve 30 L



Fotoğraf 3.3 Gama-ışını spektrometresi

Gama-ışını ölçme sisteminin ölçülebilir en düşük aktivite derişimi (ÖEA), % 95 güveninilirlik seviyesinde aşağıda verilen bağıntı kullanılarak bulundu (Currie, 1968):

$$\text{ÖEA(Bq/kg)} = \frac{1,64 \cdot \sigma_B}{\varepsilon_\gamma \cdot P_\gamma \cdot t \cdot M} \quad (3.8)$$

Burada σ_B , ilgilenilen gama fotopikinin background değerinin standart sapmasıdır. ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için ortalama ÖEA değerleri, sırasıyla 0,3; 0,4 ve 7.0 Bq/kg olarak bulundu. Her bir ölçmenin belirsizliği,

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

bağıntısı ile hesaplandı. Burada, A ve ΔA , aktivite derişimi ve belirsizliği; ε ve $\Delta \varepsilon$, ilgili fotopik için verim ve belirsizliği; P_γ ve ΔP_γ , yayınlanma olasılığı ve belirsizliği;

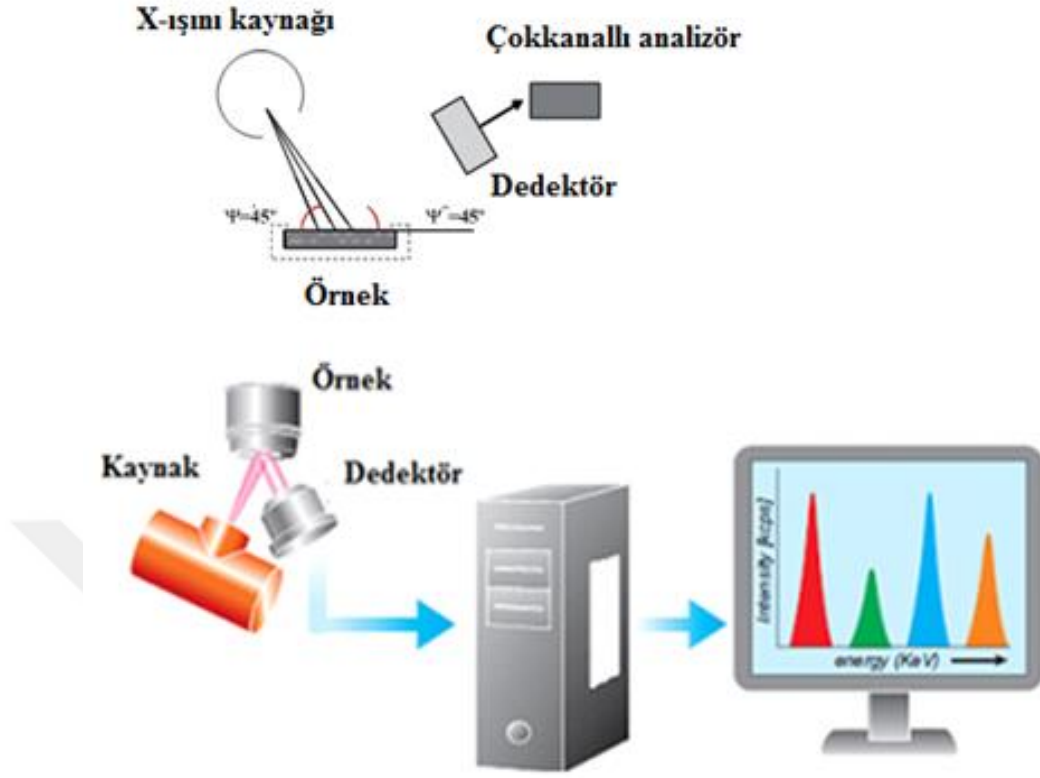
C ve ΔC , ilgili fotopikin net alanı ve belirsizliği; M ve ΔM , örneğin kütlesi ve belirsizliğidir (Abugoufa, 2019).

3.5.2 XRF Spektrometresi

XRF spektrometreleri, genel olarak dalga boyu dağılımlı (WDXRF) ve enerji dağılımlı (EDXRF) olmak üzere iki sınıfta toplanabilir. EDXRF spektrometresi ile sodyum ile uranyum (Na – U) arasındaki elementler analiz edilebilmektedir. Kaynak, örnek, dedektör ve sinyal darbelerinin işlendiği elektronik kısım ve spektrumun görüntülediği ortamdan oluşan EDXRF spektrometresi Şekil 3.9’da gösterilmiştir. XRF spektrometrelerinde, kaynak olarak sinkrotron radyasyonu veya genellikle de X-ışını tüpü ve dedektör olarak da Si(Li) veya Si yarı iletken dedektörler kullanılmaktadır.

3.5.2.1 Tez kapsamında kullanılan EDXRF spektrometresi

Siyez örneklerinin doğal olarak içerdiği esansiyel ve/veya ağır metal seviyeleri. Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan EDXRF spektrometresi (Spekro Xepos) kullanılarak belirlendi (Fotoğraf 3.4). EDXRF spektrometresi, ikili kalın Pd/Co karışımdan oluşan anot X-ışını tüpü (50 W, 60 kV) ile donatılmıştır. Kutuplanma ve ikincil hedefleri kullanarak uyarmayı optimize eden EDXRF spektrometresinin sahip olduğu hedef değiştirici, Na’dan U’ya kadar bütün elementlerin belirlenmesini en iyi şekilde yapmayı garanti eden birçok farklı uyarma şartlarına sahiptir. Ölçme işlemleri, He 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 (Garad, 2019). EDXRF spektrometresinde, genellikle temel parametreler yöntemine dayanan “standartsız” kalibrasyon gibi karmaşık kalibrasyon teknikleri kullanılmaktadır. EDXRF sisteminin kalite güvencesi için toprak sertifikalı referans malzeme (NIST SRM 2709) kullanılmıştır.



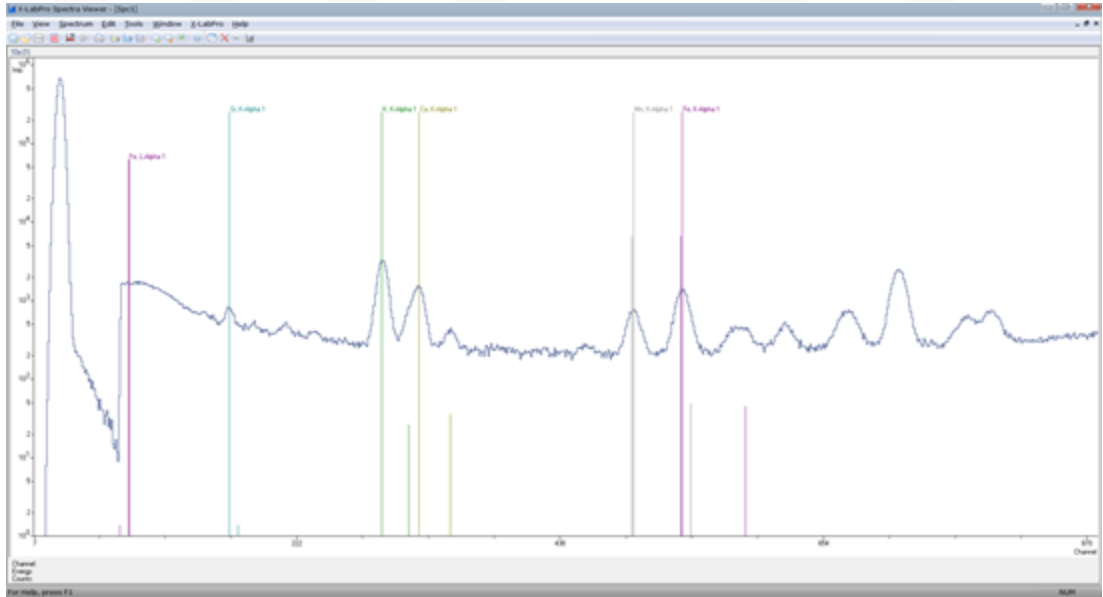
Şekil 3.9. EDXRF spektrometresinin şematik gösterimi (Brouwer, 2010)

3.5.2.2 Elemental analiz

Her bir siyez örneğine ait X-ışını spektrumu, otomatik örnekleyiciye yerleştirilen örneklerin 2 saat sayılması ile elde edildi. Sayım sonucunda elde edilen her bir spektrum, sistemde yüklü olan yazılım (SPECTRO XRF Analyzer Pro) yardımı ile değerlendirildi. Bir siyez örneğinin EDXRF spektrumu, Grafik 3.3’de gösterilmiştir.



Fotoğraf 3.4 EDXRF spektrometresi



Grafik 3.3 10 nolu siyez örneğinin XRF spektrumu

4 BULGULAR, TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu bölümde, her bir siyez örneğinde ölçülen (1) doğal radyonüklitlerin aktivite derişim değerleri, (2) siyez buğdayının tüketilmesinden kaynaklanan yıllık etkin radyasyon dozu, (3) siyez örneklerinde analiz edilen esansiyel element ve ağır metal seviyeleri ve (4) günlük ağır metal alımı ile ilgili elde edilen bulgular, tablolar ve grafikler şeklinde verildi, tartışıldı ve literatürde yer alan bulgular ile karşılaştırıldı.

4.1 Siyez Örneklerinin Radyoaktivite Seviyesi

Siyez örneklerinde ölçülen radyonüklitlerin aktivite seviyelerine ait bazı tanımlayıcı istatistiki bilgi, Tablo 4.1’de ve her bir siyez örneğinin içerdiği ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{232}Th ’nin aktivite derişimleri ise Tablo 4.2’de verilmiştir. Siyez örneklerinde ölçülen ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{232}Th ’nin ortalama aktivite derişimlerinin, literatürde farklı tahlil ürünleri için ölçülen değerler ile karşılaştırılması Tablo 4.3’te verilmiştir.

Tablo 4.1 Bazı tanımlayıcı istatistiki bilgi

	Aktivite derişimi (Bq/kg)		
	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th
Ortalama	181,3	10,0	6,1
Ortanca	183,2	8,8	5,9
Standart Sapma	18,7	3,3	1,1
Standart Hata	4,1	0,7	0,2
Basıklık	-1,2	-0,1	2,3
Çarpıklık	0,1	0,8	1,5
En küçük	152,4	4,8	4,7
En büyük	213,8	17,0	9,4

Potasyum (K) birçok izotopa sahiptir ve ^{40}K , yer kabuğunun içerdiği kararlı potasyum izotopunun (^{39}K) % 0,0117’sine temsil eden bir radyoizotoptur (Al-Dughmah ve Qurashy, 2012). ^{40}K ’ın yarılanma süresi $1,28 \times 10^9$ yıldır ve iki farklı çekirdeğe bozunum yapan alışılmadık bir özelliğe sahiptir. Bozunum sürecinin % 89’unda, beta-negatif bozunum sonucunda ortalama enerjisi 0,561 MeV olan beta

ışınımı (radyasyonu) yayınlayarak ve ^{40}Ca 'a dönüşürken bozunumu sürecinin % 10,72'sinde ise elektron yakalama bozunumu sonucunda 1460,8 keV enerjili gama radyasyonu yayınlayarak ^{40}Ar 'a dönüşür. ^{40}K , gıdaların sindirilmesinden kaynaklanan toplam yıllık etkin radyasyon dozunun yaklaşık % 60'ından sorumludur (UNSCEAR, 2008). Bu yüzden ^{40}K , hem çevresel hem de radyolojik korunma açısından önemli bir radyoizotopdur.

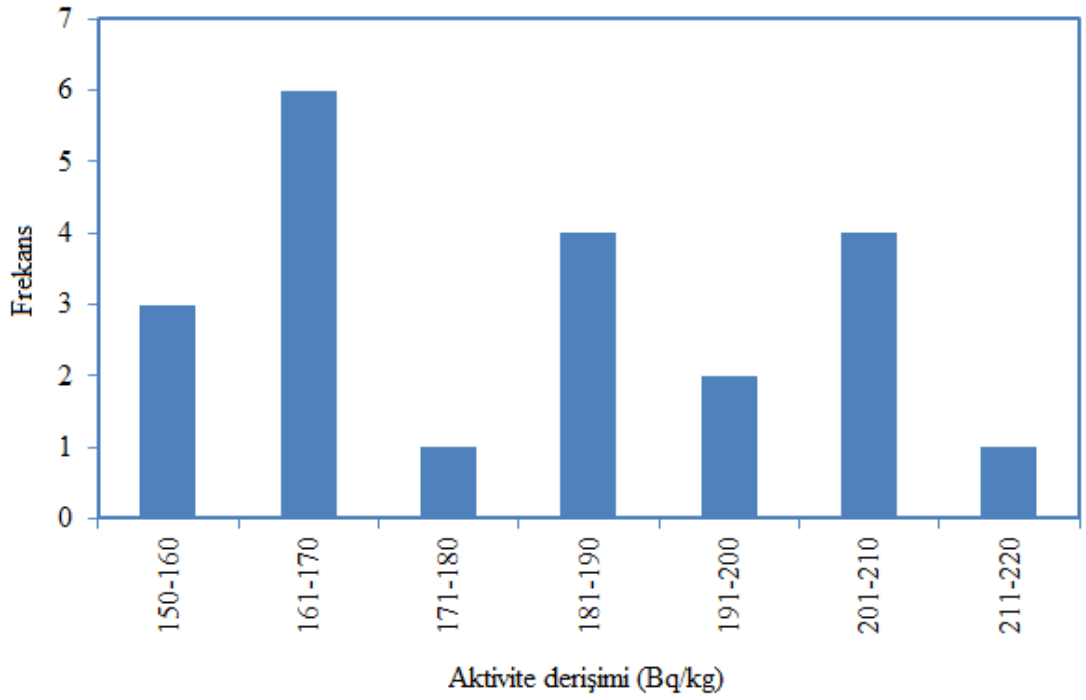
Tablo 4.2 Siyez örneklerinde ölçülen radyonüklitlerin aktivite derişimleri

Örnek kodu	Aktivite derişimi (Bq/kg)								
	^{40}K			^{226}Ra			^{232}Th		
Siyez-1	152,4	±	12,2	9,3	±	0,6	6,6	±	0,4
Siyez-2	200,0	±	15,1	14,2	±	0,3	7,9	±	0,3
Siyez-3	191,6	±	14,3	4,8	±	0,1	5,0	±	0,2
Siyez-4	203,0	±	15,1	12,2	±	0,4	4,7	±	0,1
Siyez-5	186,6	±	14,9	8,6	±	0,2	6,5	±	0,4
Siyez-6	208,6	±	16,8	12,9	±	0,2	8,1	±	0,3
Siyez-7	213,8	±	16,4	7,2	±	0,2	5,2	±	0,2
Siyez-8	167,5	±	13,2	6,5	±	0,2	5,5	±	0,2
Siyez-9	183,2	±	14,8	8,7	±	0,2	5,2	±	0,2
Siyez-10	169,2	±	12,6	17,0	±	0,4	5,9	±	0,2
Siyez-11	189,7	±	12,1	7,9	±	0,2	5,4	±	0,2
Siyez-12	186,6	±	14,8	10,8	±	0,3	5,4	±	0,2
Siyez-13	166,1	±	15,2	8,5	±	0,4	5,7	±	0,2
Siyez-14	203,5	±	14,6	16,5	±	0,3	9,4	±	0,3
Siyez-15	168,7	±	13,9	8,8	±	0,2	5,1	±	0,2
Siyez-16	160,4	±	11,7	9,9	±	0,3	6,5	±	0,2
Siyez-17	196,6	±	13,8	7,7	±	0,2	5,9	±	0,2
Siyez-18	156,0	±	12,0	14,4	±	0,3	6,2	±	0,2
Siyez-19	157,1	±	11,9	8,8	±	0,3	6,1	±	0,2
Siyez-20	169,3	±	13,1	7,9	±	0,3	6,1	±	0,2
Siyez-21	176,5	±	13,9	7,7	±	0,2	6,2	±	0,4

Tablo 4.1’den de görülebileceği gibi siyez örneklerindeki ortalama aktivite derişimi $181,3 \pm 4,1$ Bq/kg olan ^{40}K ’ın aktivite derişim değerleri, $152,4 \pm 12,2$ Bq/kg ile $213,8 \pm 16,4$ Bq/kg aralığında değişmektedir. Yetiştği çevreye bağı olarak farklılık gösteren ^{40}K aktivite değerlerinin en yüksek seviyesinin, Siyez-7 kodlu örnekte ve en düşük seviyesinin de Siyez-1 kodlu örnekte ölçüldüğü Tablo 4.2’den anlaşılmaktadır. Siyez örneklerinde ölçülen ^{40}K ’ın aktivite derişim dağılımı, Grafik 4.1’de gösterilmiştir. Aktivite derişim dağılımı normal dağılım sergilememektedir. ^{40}K aktivite değerlerinin % 67’si, 150 Bq/kg ile 190 Bq/kg ve % 33’ü de, 191 Bq/kg ile 220 Bq/kg aralığındadır. Tablo 4.3’ten de görülebileceği gibi tez kapsamında araştırılan siyez örneklerinin ortalama ^{40}K içeriği, Kuveyt’te tüketilen tahıl gevreği ve Fransa, Kazakistan ve Suudi Arabistan’da tüketilen buğday örneklerinin ^{40}K içeriğinden daha büyüktür. Bununla birlikte Türkiye’de tüketilen arpa ve Türkiye ve Malezya’da tüketilen buğday örneklerinin ^{40}K içeriğinden daha küçüktür.

Tablo 4.3 Siyezin ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{232}Th içeriğinin literatür değerleri ile karşılaştırılması

Tahıl ürünü/Kökeni	Aktivite derişimi (Bq/kg)			Kaynak
	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th	
Tahıl gevreği/Kuveyt	99	0,8	0,5	Alrefae vd. 2012
Buğday/Malezya	517	65	50	Salih (2018)
Karabuğday/Malezya	815	71	50	Salih (2018)
Buğday/Fransa	146	0,6	-	Hosseini vd. (2006)
Buğday/Kazakistan	99	1,1	-	Hosseini vd. (2006)
Buğday/S. Arabistan	139	4	3	Baz ve Alamoudi (2017)
Arpa/Türkiye	260	-	-	TAEK TR, 2009
Buğday/Türkiye	274	-	-	TAEK TR, 2009
Siyez/Kastamonu	181	10	6	Bu çalışma

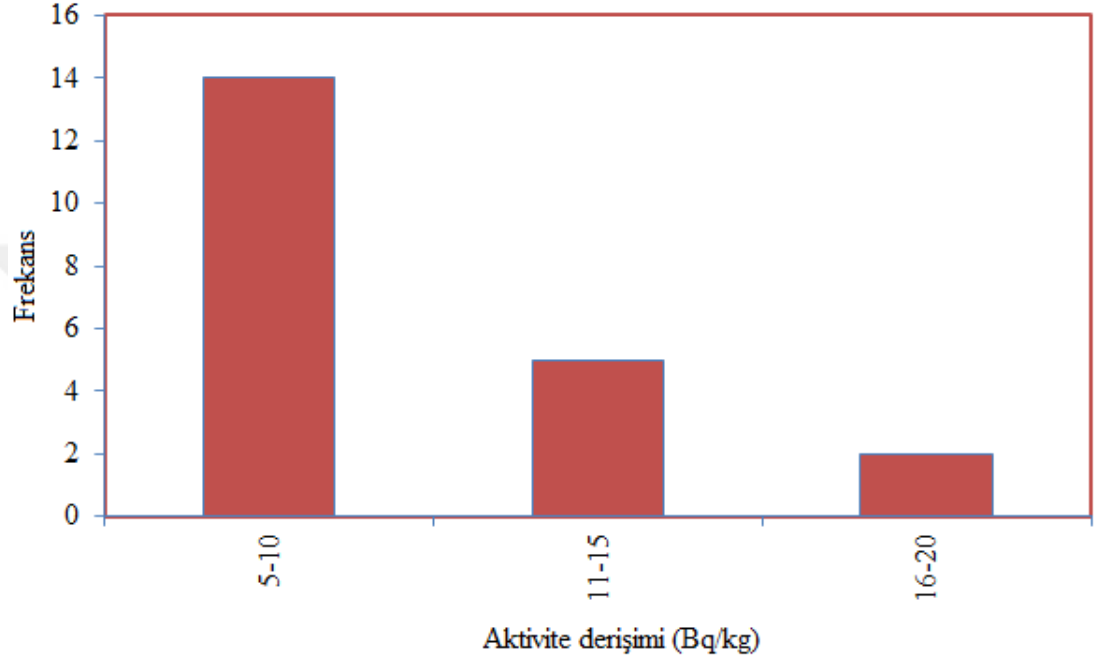


Grafik 4.1 ^{40}K 'ın aktivite dağılımı

Radyum (Ra), periyodik çizelgede Grup IIA'ya ait, atom numarası 88 olan bir toprak alkali metaldir. Hepsi radyoaktif olan 20'den fazla izotop vardır. İki radyum izotopu, ^{226}Ra (yarılanma süresi 1 600 yıl) ve ^{228}Ra (yarılanma süresi 5,8 yıl), nispeten uzun yarı ömürleri, doğada varlığı ve yüksek doz dönüşüm faktörleri nedeniyle radyolojik koruma açısından çok önemlidir (IAEA/AQ/19, 2010). Şekil 3.1'den de görülebileceği gibi ^{226}Ra , uranyum serisinin bir üyesidir ve alfa bozunumu sonucunda 4,871 MeV enerjili alfa radyasyonu ve 186 keV enerjili gama radyasyonu yayınlarken asal gaz olan radon (^{222}Rn) çekirdeğine dönüşür. Farklı radyonüklitlerin radyotoksisitesi göz önüne alındığında, radyum izotopları önemlidir, çünkü Grup IIA'de yer alan diğer elementlere (kalsiyum, stronsiyum, baryum vb.) benzer özelliklerden dolayı kemiklere kolayca dâhil olabilirler (IAEA/AQ/19, 2010).

Tablo 4.1'den de görülebileceği gibi siyez örneklerindeki ortalama aktivite dağılımı $10,0 \pm 0,7$ Bq/kg olan ^{226}Ra 'nın aktivite dağılım değerleri, $4,8 \pm 0,1$ Bq/kg ila $17,0 \pm 0,4$ Bq/kg aralığında değişmektedir. Yetiştigi çevreye bağlı olarak farklılık gösteren ^{226}Ra aktivite değerlerinin en yüksek seviyesinin, Siyez-10 kodlu örnekte ve en düşük seviyesinin de Siyez-3 kodlu örnekte ölçüldüğü Tablo 4.2'den anlaşılmaktadır. Siyez örneklerinde ölçülen ^{226}Ra 'nın aktivite dağılımı, Grafik 4.2'de

gösterilmiştir. Aktivite derişim dağılımı log-normal dağılım sergilemektedir. ^{226}Ra aktivite değerlerinin % 67'si, 5 Bq/kg ila 10 Bq/kg ve % 33'ü de, 11 Bq/kg ila 20 Bq/kg aralığındadır. Tablo 4.3'ten de görülebileceği gibi tez kapsamında araştırılan siyez örneklerinin ortalama ^{226}Ra içeriği, Malezya'da tüketilen tahıl örnekleri hariç diğer tahıl örneklerinin ^{226}Ra içeriğinden daha büyüktür.

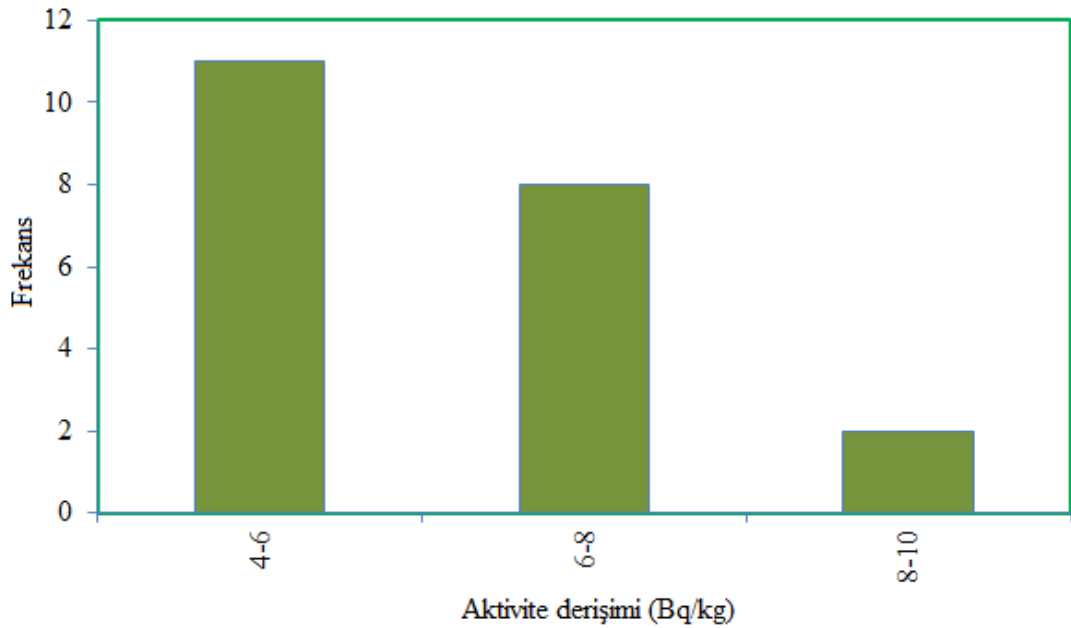


Grafik 4.2 ^{226}Ra 'nin aktivite derişim dağılımı

Toryum (Th) serisinin ilk ana radyonükliti ve yüzde yüz izotopik bolluğa sahip ^{232}Th (yarılanma süresi $1,4 \times 10^{10}$ yıl), Şekil 3.2'den de görülebileceği gibi alfa bozunumu sonucunda ortalama 3,8 MeV enerjili alfa radyasyonu yayınlayarak ^{228}Ra 'a dönüşür. Toryum, hava, su ve toprakta bulunan bir radyoaktif elementtir. Atmosferik toryum seviyeleri, esas olarak fosfat kayasından elde edilen fosfat gübre üretimi ve kömür yakıtlı tesisler gibi madencilik, öğütme ve işleme operasyonlarından oluşur (ATSDR, 2019). Bireyler toryuma, havanın solunması, toryum içeren gıdaların alınması ve toryumlu malzemelere temas sonucunda maruz kalırlar. Bu maruziyet nedeniyle oluşan sağlık etkileri hakkında çok az veri bulunmaktadır (ATSDR, 2019). Toryuma maruz kalma ile ilgili olumsuz sağlık etkilerinin, iyonlaştırıcı radyasyonun, toryumun kimyasal toksisitesinin veya radyasyon ve kimyasal toksisitenin bir kombinasyonunun sonucu olup olmadığı henüz belirlenememiştir. Az sayıdaki epidemiyoloji çalışması, öncelikle havadaki toryuma ve bozunum ürünlerine maruz

kalan işçilerin kanser ölümü riskindeki potansiyel artışlara odaklanmıştır (ATSDR, 2019).

Tablo 4.1’den de görülebileceği gibi siyez örneklerindeki ortalama aktivite derişimi $6,1 \pm 0,2$ Bq/kg olan ^{232}Th ’nin aktivite derişim değerleri, $4,7 \pm 0,1$ Bq/kg ila $9,4 \pm 0,3$ Bq/kg aralığında değişmektedir. Yetiştığı çevreye bağlı olarak farklılık gösteren ^{232}Th aktivite değerlerinin en yüksek seviyesinin, Siyez-14 kodlu örnekte ve en düşük seviyesinin de Siyez-4 kodlu örnekte ölçüldüğü Tablo 4.2’den anlaşılmaktadır. Siyez örneklerinde ölçülen ^{232}Th ’nin aktivite derişim dağılımı, Grafik 4.3’te gösterilmiştir. Aktivite derişim dağılımı log-normal dağılım sergilemektedir. Aktivite derişim dağılımı log-normal dağılım sergilemektedir. ^{232}Th aktivite değerlerinin % 52’si, 4 Bq/kg ila 6 Bq/kg, % 38’i, 6 Bq/kg ila 8 Bq/kg ve % 10’u, 8 Bq/kg ila 10 Bq/kg aralığındadır. Tablo 4.3’ten de görülebileceği gibi tez kapsamında araştırılan siyez örneklerinin ortalama ^{232}Th içeriği, Malezya’da tüketilen tahıl örnekleri hariç diğer tahıl örneklerinin ^{232}Th içeriğinden daha büyüktür.



Grafik 4.3 ^{232}Th ’nin aktivite derişim dağılımı

4.2 Radyolojik Riskin Değerlendirilmesi

Gıda olarak tüketilen siyez buğdayı örneklerinin doğal olarak içerdiği radyonüklitlerden yayınlanan α -, β - ve γ -radyasyonun sebep olduğu iç ışınlama sonucunda bölge insanının maruz kalabileceği radyolojik risk, yıllık etkin radyasyon dozu (D_{Etkin}) hesaplanarak değerlendirildi. D_{Etkin} , aşağıda verilen bağıntı ile hesaplandı (UNSCEAR, 2000):

$$D_{\text{Etkin}} = Y \times K \times (A_K \times DD_K + A_{\text{Ra}} \times DD_{\text{Ra}} + A_{\text{Th}} \times DD_{\text{Th}}) \quad (4.1)$$

Burada, Y , siyez buğdayının yıllık tüketimi (14,2 kg/y) (Karabak vd., 2019); K , siyez örneklerinin ortalama kuru-yaş oranı (0,90); A_K , A_{Ra} ve A_{Th} , sırasıyla, siyez örneklerinin içerdiği ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{232}Th 'nin aktivite derişimi (Bq/kg) ve DD_K , DD_{Ra} ve DD_{Th} , sırasıyla ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{232}Th 'nin doz dönüşüm katsayısıdır. Hesaplamalarda, bu katsayılar ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{232}Th için, sırasıyla 0,0062 $\mu\text{Sv/Bq}$, 0,28 $\mu\text{Sv/Bq}$ ve 0,23 $\mu\text{Sv/Bq}$ olarak alınmıştır (ICRP, 119). Her bir siyez örneği için hesaplanan yıllık etkin radyasyon dozu Tablo 4.4'te sunulmuştur. Bölgede yaşayan yetişkin bireyler için hesaplanan D_{Etkin} değerleri, 46,9 $\mu\text{Sv/y}$ ila 102,8 $\mu\text{Sv/yıl}$ aralığında değişmektedir. Yetişkin bireylerin siyez buğdayını gıda olarak tüketmesi sonucunda maruz kaldığı yıllık etkin radyasyon dozunun ortalama değeri $68,2 \pm 3,1$ $\mu\text{Sv/y}$ olarak bulunmuştur. ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{232}Th 'nin yıllık etkin radyasyon dozun olan katkıları Grafik 4.4'te gösterilmiştir. ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{232}Th radyonüklitlerinin yıllık doza ortalama katkısı, sırasıyla, 14,4 $\mu\text{Sv/y}$, 35,9 $\mu\text{Sv/y}$ ve 18,0 $\mu\text{Sv/y}$ olarak bulundu. Grafik 4.4'den de görülebileceği gibi yıllık etkin radyasyon dozuna esas katkı, % 53'lük oranla ^{226}Ra radyonüklitinden ileri gelmektedir.

4.3 Siyez Örneklerinin Element İçerikleri

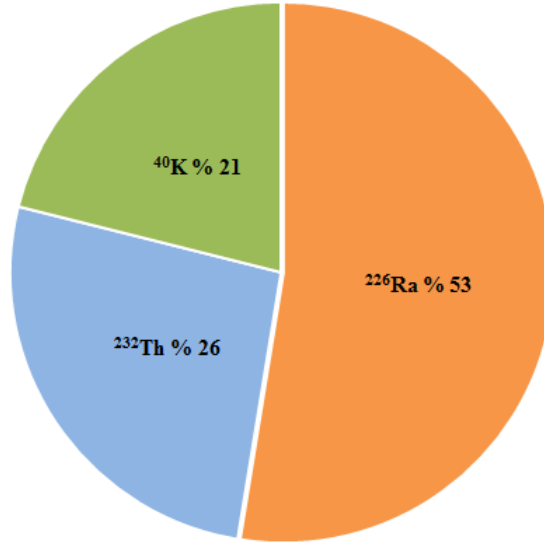
Bu kısımda, siyez örneklerinde analiz edilen elementler, (1) esansiyel elementler, (2) hem esansiyel hem de zehirli (toksik) ağır metaller ve (3) ağır metaller olarak üç grupta değerlendirildi. Element derişimleri, kuru ağırlık üzerinden belirlendi. Siyez örneklerindeki elementlerin ölçme belirsizliği, % 0,1 – % 12 aralığında bulundu.

Birinci derecede toksik olan arsenik (As), cıva (Hg) ve zirkonyum (Zr) siyez örneklerinde gözlenmedi.

Tablo 4.4 Yıllık etkin radyasyon doz değerleri

Örnek kodu	D _{etkin} (μSv/y)
Siyez-1	64,7
Siyez-2	89,9
Siyez-3	46,9
Siyez-4	73,8
Siyez-5	64,6
Siyez-6	86,7
Siyez-7	57,9
Siyez-8	52,6
Siyez-9	60,9
Siyez-10	91,6
Siyez-11	59,2
Siyez-12	69,4
Siyez-13	60,3
Siyez-14	102,8
Siyez-15	59,8
Siyez-16	67,2
Siyez-17	60,6
Siyez-18	82,2
Siyez-19	61,8
Siyez-20	59,7
Siyez-21	59,6
Ortalama	68,2
Ortanca	61,8
SS*	14,4
SH*	3,1
En küçük	46,9
En büyük	102,8

*SS: Standart sapma SH: Standart hata



Grafik 4.4 Radyonüklitlerin yıllık etkin radyasyon dozuna katkıları

4.3.1 Siyez Örneklerinin Esansiyel Element İçerikleri

Her bir siyez örneğinde analiz edilen esansiyel elementlerin derişimleri, Tablo 4.5'te verilmiştir. Tablo 4.5'ten de görülebileceği gibi ortalama derişim değerlerine göre esansiyel elementler, büyükten küçüğe $\text{K} > \text{P} > \text{S} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{Cl} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{I}$ olarak sıralanmaktadır. Bazı ülkelerde ve Türkiye'de yetiştirilen buğday türlerinde (einkorn, spelt, durum, emmer ve karabuğday) çeşitli analiz yöntemleri kullanılarak belirlenen bazı esansiyel elementlerin ortalama derişimleri ile bu tez kapsamında araştırılan siyez örneklerinde analiz edilen elementlerin ortalama derişimleri, Tablo 4.6'da karşılaştırıldı.

Potasyum (K), yer kabuğunda feldispatlar ve kil mineralleri olarak bulunur (URL-4). Makromineral sınıfında bulunan potasyum, insan vücudunda çeşitli biyolojik işlevler sergileyen en önemli elementlerden biridir. İnsanların fiziksel sıvı sisteminde önemli bir rol oynar ve sinir fonksiyonlarına yardımcı olur. Potasyum, insülin sekresyonu, kreatin fosforilasyonu, karbonhidrat metabolizması ve protein sentezi için gereklidir (Abugoufa, 2019). Vücuttaki potasyum eksikliği ishal ve kusmaya sebep olur ayrıca dolaşım bozukluğu, nefes almada güçlük, kas güçsüzlüğü, refleks yavaşlaması ve halsizlik görülebilir.

Tablo 4.5 Siyez örneklerinin esansiyel element içerikleri

Örnek kodu	Derişimi (mg/kg)							
	Na	Mg	P	S	Cl	K	Ca	I
Siyez-1	758,6	520,0	2 398,0	3 003,0	689,6	4 912,4	4097,4	3,2
Siyez-2	453,9	538,7	3 388,0	2 519,0	601,6	6 448,5	614,2	7,3
Siyez-3	3648,2	1 009,1	3 686,0	2 722,0	1 207,0	6 175,6	839,0	6,4
Siyez-4	348,5	1 079,1	3 539,0	3 154,0	503,5	6 544,4	4 222,6	8,1
Siyez-5	306,3	581,7	3 150,0	2 448,0	565,8	6 016,9	620,9	3,3
Siyez-6	460,9	739,8	3 590,0	2 521,0	578,1	6 724,1	967,8	7,8
Siyez-7	196,6	603,9	3 835,0	2 637,0	581,9	6 894,0	915,3	6,4
Siyez-8	463,8	375,3	2 471,0	2 505,0	646,7	5 400,4	1 126,1	8,1
Siyez-9	325,3	456,3	3 677,0	2535,0	564,9	5 907,4	2 342,0	7,7
Siyez-10	668,3	700,9	2 493,0	2 419,0	668,8	5 453,3	1 428,1	8,3
Siyez-11	210,6	597,1	3 342,0	2 570,0	584,8	6 114,1	807,6	3,4
Siyez-12	294,9	835,3	3 573,0	2 765,0	584,9	6 014,5	651,8	8,3
Siyez-13	425,2	440,6	2 806,0	3 055,0	589,5	5 356,3	773,0	6,9
Siyez-14	568,3	895,5	2 727,0	2481,0	702,0	6 559,2	3 737,1	8,9
Siyez-15	493,8	382,5	2 373,0	2 613,0	688,4	5 438,9	1 293,8	8,4
Siyez-16	488,8	491,0	2 551,0	3 073,0	619,1	5 170,4	768,4	5,3
Siyez-17	352,4	818,1	3 781,0	2 614,0	565,0	6 339,0	801,2	6,6
Siyez-18	592,0	369,1	2 550,0	2 626,0	674,3	5 028,0	1 018,8	12,9
Siyez-19	431,4	431,9	2 662,0	3 315,0	740,6	5 066,1	1 163,5	6,5
Siyez-20	384,5	498,9	2 758,0	2 604,0	649,4	5 458,3	3 030,6	7,0
Siyez-21	415,7	780,6	3 293,0	3 238,0	515,8	5 691,5	1 752,2	5,8
Ortalama	585,1	626,0	3 078,2	2 734,1	643,9	5 843,5	1 570,0	7,0
Ortanca	431,4	581,7	3 150,0	2 614,0	601,6	5 907,4	1 018,8	7,0
SS	715,3	211,3	521,1	281,2	143,3	602,1	1 184,9	2,2
SH	156,1	46,1	113,7	61,4	31,3	131,4	258,6	0,5
En küçük	196,6	369,1	2 373,0	2 419,0	503,5	4 912,4	614,2	3,2
En büyük	3 648,2	1 079,1	3 835,0	3 315,0	1 207,0	6 894,0	4 222,6	12,9

Tablo 4.6 Siyez buğdayının Na, Mg, P, S, K ve Ca içeriğinin literatür değerleri ile karşılaştırılması

Buğday türü/Kökeni	Derişimi (mg/kg)						Kaynak
	Na	Mg	P	S	K	Ca	
Siyez/Kastamonu	-	1 580	4 770	-	4 610	-	Zengin, 2015
Emmer/Kars	-	380	1 470	-	1 630	-	Zengin, 2015
Einkorn/Polonya	7	1630	5 200	1 930	4 290	420	Suchowilska vd. 2012
Spelt/Çek	29	1170	4 630	4 630	2 810	280	Gabrovská vd. 2002
Einkorn/Çek	18	1 310	4 930	-	3 940	290	
Emmer/Çek	71	1 300	5 170	-	3 730	260	
Karabuğday/Çek	28	2 060	4 720	-	4 550	200	
Siyez/Kastamonu	-	1 291	3 579	-	5 009	-	Emeksizoğlu, 2016
Einkorn	-	1 512	5 411	-	-	-	Erba vd. 2011
Einkorn/Kanada	-	-	4 150	1 960	3 900	-	Abdel-Aal vd. 1995
Spelt/Kanada	-	-	3 700	2 100	3 750	-	
Siyez/Kastamonu	60	1 295	3 924	-	4 964	549	Ertop ve Atasoy (2019)
Durum/Konya	26	1 119	3 349	-	4 770	479	
Einkorn/Polonya	-	1 490	5 030	-	4 890	690	Rachoń vd. 2014
Durum/Polonya	-	1 170	4 630	-	4 390	600	
Einkorn/Belçika	106	1 516	5 236	-	5 715	570	Daelemans vd. 2019
Emmer/Belçika	143	1 671	5 489	-	5 308	423	
Buğday/Belçika	26	1 300	3 871	-	4 448	371	
Einkorn/Macaristan	-	1 434	-	-	-	540	Bálint vd. 2001
Siyez /Kastamonu	585	626	3078	2 734	5 844	1 570	Bu çalışma

Tablo 4.5'ten de görülebileceği gibi siyez örneklerinde minör seviyesinde ortalama derişimi $5\,844 \pm 131$ mg/kg olan potasyum K'nın derişim değerleri, 4 912 mg/kg (% 0,5) ila 6 894 mg/kg (% 0,7) aralığında değişmektedir. Yetiştği çevreye bağlı olarak farklılık gösteren K değerlerinin en yüksek seviyesi, Siyez-7 kodlu örnekte ve en düşük seviyesi ise Siyez-1 kodlu örnekte ölçülmüştür. Tablo 4.6'dan da görülebileceği gibi tez kapsamında araştırılan siyez örneklerinin ortalama K içeriği,

(a) Kastamonu siyez örnekleri için analiz edilen K içeriklerinden % 18 - % 27 daha büyüktür, (b) farklı ülkelerde yetiştirilen einkorn örnekleri için analiz edilen K içeriklerinden % 2 - % 50 daha büyüktür, (c) farklı ülkelerde yetiştirilen emmer, spelt, karabuğday, durum ve diğer buğday türü için analiz edilen K içeriğinden daha büyüktür ve (d) Kars ilinde yetiştirilen emmer (gernik) buğdayın K içeriğinden dört kat ve Konya'da yetiştirilen durum buğdayının K içeriğinden de yaklaşık % 23 daha büyüktür.

Azot grubunun çok değerlikli ametali olan fosfor (P), doğada en yaygın olarak fosfat şeklinde bulunur ve organizmaların yaşamı için vazgeçilmez bir elementtir (URL-4). Fosfat, DNA ve RNA'nın ana yapısal bileşenidir ve enerji dağıtımında yer alır. Fosfat bir beslenme gereksinimidir ancak fosfatın aşırı alınması, böbrek hasarı ve osteoporoz gibi sağlık sorunlarına neden olabilir (URL-4). Tablo 4.5'ten de görülebileceği gibi siyez örneklerinde minör seviyesinde ortalama derişimi 3078 ± 114 mg/kg olan P'nin derişim değerleri, 2 373 mg/kg (% 0,2) ila 3 835 mg/kg (% 0,4) değişmektedir. Yetiştği çevreye bağılı olarak farklılık gösteren P değerlerinin en yüksek seviyesi, Siyez-7 kodlu örnekte ve en düşük seviyesi ise Siyez-15 kodlu örnekte ölçülmüştür. Tablo 4.6'dan da görülebileceği gibi tez kapsamında araştırılan siyez örneklerinin ortalama P içeriği, (a) Kastamonu siyez örnekleri için analiz edilen P içeriklerinden % 16 - % 55 daha küçüktür, (b) farklı ülkelerde yetiştirilen einkorn örnekleri için analiz edilen P içeriklerinden % 26 - % 76 daha küçüktür, (c) farklı ülkelerde yetiştirilen emmer, spelt, karabuğday, durum ve diğer buğday türü için analiz edilen P içeriğinden daha küçüktür ve (d) Kars ilinde yetiştirilen emmer (gernik) buğdayın P içeriğinden iki kat daha büyük iken Konya'da yetiştirilen durum buğdayının P içeriğinden yaklaşık % 9 daha küçüktür.

Kükürt veya sülfür (S), doğada saf element veya sülfid ve sülfat mineralleri olarak bulunur. Bütün canlılar, kükürte ihtiyaç duyar. İnsanlar için özellikle önemlidir, çünkü mutlak bir beslenme ihtiyacı olan amino asit metiyoninin bir parçasıdır. Amino asit sistein ayrıca kükürt içerir (URL-4). Tablo 4.5'ten de görülebileceği gibi siyez örneklerinde minör seviyesinde ortalama derişimi $2\ 734 \pm 61$ mg/kg olan S'nin derişim değerleri, 2 419 mg/kg (% 0,2) ila 3315 mg/kg (% 0,3) aralığında değişmektedir. Yetiştği çevreye bağılı olarak farklılık gösteren S değerlerinin en

yüksek seviyesi, Siyez-19 kodlu örnekte ve en düşük seviyesi ise Siyez-10 kodlu örnekte ölçülmüştür. Tablo 4.6'dan da görülebileceği gibi tez kapsamında araştırılan siyez örneklerinin ortalama S içeriği, farklı ülkelerde yetiştirilen einkorn örnekleri ile Kanada spelt örneği için analiz edilen S içeriklerinden daha büyük iken Çek spelt örneğinde ölçülen S içeriğinden daha küçüktür.

Kalsiyum (Ca) insan vücudunda en çok bulunan bir metaldir. Vücuttaki kemik ve dişlerin ana bileşeni olan kalsiyumun anahtar metabolik işlevleri vardır. Tablo 4.5'ten de görülebileceği gibi siyez örneklerinde minör seviyesinde ortalama derişimi $1\,570 \pm 259$ mg/kg olan Ca'nın derişim değerleri, 614 mg/kg (% 0,1) ila 4 223 mg/kg (% 0,4) aralığında değişmektedir. Yetiştği çevreye bağlı olarak farklılık gösteren Ca değerlerinin en yüksek seviyesi, Siyez-4 kodlu örnekte ve en düşük seviyesi ise Siyez-2 kodlu örnekte ölçülmüştür. Tablo 4.6'dan da görülebileceği gibi tez kapsamında araştırılan siyez örneklerinin ortalama Ca içeriği, (a) Kastamonu siyez örneği için analiz edilen Ca içeriğinden yaklaşık üç kat daha büyük, (b) farklı ülkelerde yetiştirilen einkorn örnekleri için analiz edilen Ca içeriklerinden yaklaşık iki ila beş kata daha büyüktür, (c) farklı ülkelerde yetiştirilen emmer, spelt, karabuğday, durum ve diğer buğday türü için analiz edilen Ca içeriğinden yaklaşık üç ila sekiz kata daha büyüktür ve (d) Konya'da yetiştirilen durum buğdayının Ca içeriğinden yaklaşık üç kat daha büyük daha büyüktür.

Klor (Cl) esansiyel halojen elementtir. Klorun, insan sağlığı üzerindeki etkileri, mevcut olan klor miktarına ve maruz kalma süresine ve sıklığına bağlıdır. Tablo 4.5'ten de görülebileceği gibi siyez örneklerinde minör seviyesinde ortalama derişimi 644 ± 31 mg/kg olan Cl'un derişim değerleri, 504 mg/kg (% 0,05) ila 1207 mg/kg (% 0,12) aralığında değişmektedir. Yetiştği çevreye bağlı olarak farklılık gösteren Cl değerlerinin en yüksek seviyesi, Siyez-3 kodlu örnekte ve en düşük seviyesi ise Siyez-4 kodlu örnekte ölçülmüştür.

Esansiyel metalik bir element olan magnezyum (Mg), insan vücudunda sadece 300'den fazla enzimi aktive etmekle kalmaz, aynı zamanda kas ve sinir işlevlerinin etkin olmasına da yardımcı olur (Abugoufa, 2019). Tablo 4.5'ten de görülebileceği gibi siyez örneklerinde minör seviyesinde ortalama derişimi 626 ± 46 mg/kg olan

Mg'un derişim değerleri, 369 mg/kg (% 0,04) ila 1 079 mg/kg (% 0,1) aralığında değişmektedir. Yetiştiiği çevreye bağlı olarak farklılık gösteren Mg değerlerinin en yüksek seviyesi, Siyez-4 kodlu örnekte ve en düşük seviyesi ise Siyez-18 kodlu örnekte ölçölmüştür. Tablo 4.6'dan da görölebileceği gibi tez kapsamında araştırılan siyez örneklerinin ortalama Mg içeriği, (a) Kastamonu siyez örnekleri için analiz edilen Mg içeriklerinden yaklaşık iki ila üç kat daha küçüktür, (b) farklı ölkelerde yetiştirilen einkorn örnekleri için analiz edilen Mg içeriklerinden yaklaşık iki kat daha küçüktür, (c) farklı ölkelerde yetiştirilen emmer, spelt, karabuğday, durum ve diğer buğday türü için analiz edilen Mg içeriğinden yaklaşık iki ila üç kat daha küçüktür ve (d) Kars ilinde yetiştirilen emmer (gernik) buğdayın Mg içeriğinden yaklaşık iki kat daha büyük iken ve Konya'da yetiştirilen durum buğdayının Mg içeriğinden yaklaşık iki kat daha küçüktür.

Sodyum (Na), insan vücudundaki sıvı sisteminin dengesinin koruması ve sinir ve kasların çalışması için gerekli olan bir elementtir. Tablo 4.5'ten de görölebileceği gibi siyez örneklerinde minör seviyesinde ortalama derişimi 585 ± 156 mg/kg olan Na'un derişim değerleri, 197 mg/kg (% 0,02) ila 3 648 mg/kg (% 0,4) aralığında değişmektedir. Yetiştiiği çevreye bağlı olarak farklılık gösteren Na değerlerinin en yüksek seviyesi, Siyez-3 kodlu örnekte ve en düşük seviyesi ise Siyez-7 kodlu örnekte ölçölmüştür. Tablo 4.6'dan da görölebileceği gibi tez kapsamında araştırılan siyez örneklerinin ortalama Na içeriği, (a) Kastamonu siyez örneği için analiz edilen Na içeriğinden yaklaşık 10 kat daha büyüktür, (b) farklı ölkelerde yetiştirilen einkorn örnekleri için analiz edilen Na içeriklerinden yaklaşık beş ila seksen beş kat daha büyüktür, (c) farklı ölkelerde yetiştirilen emmer, spelt, karabuğday, durum ve diğer buğday türü için analiz edilen Na içeriğinden yaklaşık dört ila yirmi üç kat daha büyüktür ve (d) Konya'da yetiştirilen durum buğdayının Na içeriğinden yaklaşık yirmi iki kat daha büyüktür.

İyot (I), esansiyel halojen elementtir. İyot büyüme, sinir sistemi ve metabolizma için gerekli olan tiroit hormonlarının bir yapı malzemesidir (URL-4). Tablo 4.5'ten de görölebileceği gibi siyez örneklerinde eser seviyesinde ortalama derişimi $7,0 \pm 0,5$ mg/kg olan I'un derişim değerleri, 3,2 mg/kg ile 12,9 aralığında değişmektedir.

Yetiştigi çevreye bağılı olarak farklılık gösteren I değerlerinin en yüksek seviyesi, Siyez-18 kodlu örnekte ve en düşük seviyesi ise Siyez-1 kodlu örnekte ölçülmüştür.

4.3.2 Siyez Örneklerinin Esansiyel Ağır Metal İçerikleri

Her bir siyez örneklerinde analiz edilen esansiyel ağır metallerin derişimleri, Tablo 4.7.'de verilmiştir. Tablo 4.7'ten de görülebileceğı gibi ortalama derişim değerlerine göre esansiyel ağır metaller, büyükten küçüğe $Fe > Mn > Zn > Co > Ni > Cu > Cr$ olarak sıralanmaktadır. Literatürde yer alan farklı ülkelerde ve Türkiye'de yetiştirilen buğday türlerinde (einkorn, spelt, durum, emmer ve karabuğday) çeşitli analiz yöntemleri kullanılarak belirlenen bazı ağır metallerin ortalama derişimleri ile bu çalışma kapsamında incelenen siyez örneklerinde analiz edilen ağır metallerin ortalama derişimleri, Tablo 4.8'de karşılaştırıldı.

Demir (Fe), insanın sağlıklı bir yaşam sürdürülebilmesi için önemli olan esansiyel ağır metaldir. Demir elementi hayati tepkimeler için kritiktir (Abugoufa, 2019). Tablo 4.7'den de görülebileceğı gibi siyez örneklerinde eser seviyesinde ortalama derişimi $208,5 \pm 62,6$ mg/kg olan Fe'nin derişim değerleri, 35,8 mg/kg ile 1 065,0 aralığında değişmektedir. Yetiştigi çevreye bağılı olarak farklılık gösteren Fe değerlerinin en yüksek seviyesi, Siyez-4 kodlu örnekte ve en düşük seviyesi ise Siyez-8 kodlu örnekte ölçülmüştür. Tablo 4.8'den de görülebileceğı gibi tez kapsamında araştırılan siyez örneklerinin ortalama Fe içeriğı, (a) Kastamonu siyez örnekleri için analiz edilen Fe içeriklerinden yaklaşık üç ila sekiz kat daha büyüktür, (b) farklı ülkelerde yetiştirilen einkorn örnekleri için analiz edilen Fe içeriklerinden yaklaşık dört ila yedi kat daha büyüktür, (c) farklı ülkelerde yetiştirilen emmer, spelt, karabuğday, durum ve diğer buğday türü için analiz edilen Fe içeriklerinden yaklaşık beş ila dokuz kat daha büyüktür ve (d) Türkiye'de yetiştirilen emmer (gernik) buğdayın Fe içeriğinden yaklaşık beş kat ve durum buğdayının Fe içeriğinden ise yaklaşık altı kat daha büyüktür.

Manganez veya mangan (Mn), enzim metabolizması için gerekli olan bir esansiyel ağır metaldir (Abugoufa, 2019). Mn, kemiklerin gelişimi ve amino asitler, lipitler ve

karbonhidratların metabolizması için gerekli olmasının yanı sıra şeker hastalığının kontrol edilmesinde de önemli bir rol oynamaktadır (Abugoufa, 2019).

Tablo 4.7 Siyez örneklerinin esansiyel ağır metal içerikleri

Örnek kodu	Derişim (mg/kg)						
	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
Siyez-1	2,8	92,6	1 005,0	17	12,3	9,0	80,9
Siyez-2	3,0	86,3	153,7	18,4	12,5	8,6	67,8
Siyez-3	3,4	94,3	151,6	13,9	11,6	8,5	67,5
Siyez-4	7,2	88,6	1 065,0	15,3	13,2	9,6	69,6
Siyez-5	2,8	86,4	45,8	15,5	12,1	8,3	64,5
Siyez-6	4,7	98,3	269,7	16,4	12,6	8,1	67,0
Siyez-7	4,0	93,2	154,9	15,2	11,4	8,7	70,4
Siyez-8	3,5	75,5	35,8	14,9	11,5	8,0	49,0
Siyez-9	3,2	90,8	154,3	11,9	11,0	7,6	62,3
Siyez-10	3,5	87,3	53,4	18,8	11,9	7,6	53,2
Siyez-11	3,1	93	104,6	18,7	11,8	8,6	66,7
Siyez-12	3,1	92,5	71,7	14,5	11,5	8,6	71,9
Siyez-13	3,4	96,2	105,1	17,4	11,5	8,8	80,0
Siyez-14	3,3	91,7	98,8	24,1	13,4	6,0	50,3
Siyez-15	3,7	85,2	99,7	11,7	11,9	6,9	51,9
Siyez-16	2,8	92,6	83,6	16,7	12,5	9,2	81,5
Siyez-17	3,4	83,2	94,2	16	12,2	8,5	64,5
Siyez-18	2,8	80,2	74,6	22,5	12,5	7,3	45,6
Siyez-19	3,4	90,8	102,7	18,7	12,2	9,5	87,3
Siyez-20	3,5	84,1	57,2	17,1	11,6	7,7	52,2
Siyez-21	4,3	89,6	396,8	18	12,6	10,1	68,1
Ortalama	3,6	89,2	208,5	16,8	12,1	8,3	65,3
Ortanca	3,4	90,8	102,7	16,7	12,1	8,5	67,0
SD	1,0	5,5	286,7	3,0	0,6	1,0	11,6
SH	0,2	1,2	62,6	0,6	0,1	0,2	2,5
En küçük	2,8	75,5	35,8	11,7	11,0	6,0	45,6
En büyük	7,2	98,3	1 065,0	24,1	13,4	10,1	87,3

Tablo 4.8 Siyez buğdayının Mn, Fe, Cu ve Zn içeriğinin literatür değerleri ile karşılaştırılması

Buğday türü/Kökeni	Derişim (mg/kg)				Kaynak
	Mn	Fe	Cu	Zn	
Siyez/Kastamonu	39	36	-	42	Zengin, 2015
Emmer/Kars	32	46	-	34	
Siyez/Adana	56	51	6	59	Özkan vd. 2007
Einkorn/Polonya	28	49	4	53	Suchowilska vd. 2012
Spelt/Çek	28	29	-	31	Gabrovská vd. 2002
Einkorn/Çek	34	29	-	42	
Emmer/Çek	29	36	-	40	
Karabuğday/Çek	17	23	-	28	
Einkorn	47	52	9	72	Erba vd. 2011
Einkorn/Kanada	44	-	6	-	Abdel-Aal vd. 1995
Spelt/Kanada	37	-	-	-	
Siyez/Kastamonu	-	73	6	-	Ertop ve Atasoy (2019)
Durum/Konya	-	28	6	-	
Einkorn/Polonya	55	54	4	66	Rachoń vd. 2014
Durum/Polonya	41	41	3	53	
Einkorn/Belçika	-	41	6	46	Daelemans vd. 2019
Emmer/Belçika	-	61	7	38	
Buğday/Belçika	-	44	5	33	
Einkorn/Macaristan	-	41	6	35	Bálint vd. 2001
Einkorn/İsrail	-	48	-	56	Çakmak vd. 2000
Durum/İsrail	-	32	-	31	
Durum/Türkiye	-	39	-	26	
Emmer/Türkiye	18	42	3	17	Tekin vd. (2018)
Siyez/Kastamonu	19	27	2	7	
Durum/Türkiye	30	37	14	3	
Siyez/Kastamonu	89	209	8	65	Bu çalışma

Tablo 4.7’den de görülebileceği gibi siyez örneklerinde eser seviyesinde ortalama derişimi $89,2 \pm 1,2$ mg/kg olan Mn’nin derişim değerleri, 75,5 mg/kg ila 98,3 mg/kg aralığında değişmektedir. Yetiştği çevreye bağlı olarak farklılık gösteren Mn

değerlerinin en yüksek seviyesi, Siyez-6 kodlu örnekte ve en düşük seviyesi ise Siyez-8 kodlu örnekte ölçülmüştür. Tablo 4.8'den da görülebileceği gibi tez kapsamında araştırılan siyez örneklerinin ortalama Mn içeriği, (a) Kastamonu siyez örnekleri için analiz edilen Mn içeriklerinden yaklaşık iki ila beş kat daha büyüktür, (b) farklı ülkelerde yetiştirilen einkorn örnekleri için analiz edilen Mn içeriklerinden yaklaşık iki ila üç kat daha büyüktür, (c) farklı ülkelerde yetiştirilen emmer, spelt, karabuğday ve durum buğday türü için analiz edilen Mn içeriklerinden yaklaşık iki ila beş kat daha büyüktür ve (d) Türkiye'de yetiştirilen emmer (gernik) buğdayın Mn içeriğinden yaklaşık üç ila beş kat ve durum buğdayının Mn içeriğinden ise yaklaşık beş kat daha büyüktür.

İnsan vücudundaki DNA'lara olabilecek oksidatif hasarı azaltarak ve çocukluk ve ergenlik döneminde normal büyümeyi ve gelişmeyi destekleyerek bir antioksidan görevi yapan çinko (Zn), insan sağlığı için gerekli olan bir esansiyel ağır metaldir (Abugoufa, 2019). Tablo 4.7'den de görülebileceği gibi siyez örneklerinde eser seviyesinde ortalama derişimi $65,3 \pm 2,5$ mg/kg olan Zn'nin derişim değerleri, 45,6 mg/kg ila 87,3 mg/kg aralığında değişmektedir. Yetiştği çevreye bağılı olarak farklılık gösteren Zn değerlerinin en yüksek seviyesi, Siyez-19 kodlu örnekte ve en düşük seviyesi ise Siyez-18 kodlu örnekte ölçülmüştür. Tablo 4.8'den da görülebileceği gibi tez kapsamında araştırılan siyez örneklerinin ortalama Zn içeriği, (a) Kastamonu siyez örnekleri için analiz edilen Zn içeriklerinden (Adana'da yetiştirilen hariç) önemli ölçüde (yaklaşık 33 kat) daha büyüktür, (b) farklı ülkelerde yetiştirilen einkorn örnekleri için analiz edilen Zn içeriklerinden ikisi hariç diğerlerinden daha büyüktür, (c) farklı ülkelerde yetiştirilen emmer, spelt, karabuğday ve durum buğday türü için analiz edilen Zn içeriklerinden daha büyüktür ve (d) Türkiye'de yetiştirilen emmer (gernik) buğdayın Zn içeriğinden yaklaşık iki ila dört kat ve durum buğdayının Zn içeriğinden ise yaklaşık 3 ile 22 kat daha büyüktür.

İnsan sağlığı için gerekli olan B12 vitamininin bir parçası olan ve dolayısıyla metiyonin metabolizmasında rol oynayan ve kırmızı kan hücrelerinin üretimini uyaran kobalt (Co), insan sağlığı için faydalı bir esansiyel metaldir. Tablo 4.7'den de görülebileceği gibi siyez örneklerinde eser seviyesinde ortalama derişimi $16,8 \pm 0,6$

mg/kg olan Co'nun derişim değerleri, 11,7 mg/kg ila 24,1 mg/kg aralığında değişmektedir. Yetiştiiği çevreye bağlı olarak farklılık gösteren Co değerlerinin en yüksek seviyesi, Siyez-14 kodlu örnekte ve en düşük seviyesi ise Siyez-15 kodlu örnekte ölçölmüştür.

Nikel (Ni), bağırsaklardaki demirin emiliminde bir kofaktör olarak fizyolojik süreçlerde rol oynadığı düşünölen önemli bir esansiyel metaldir (Abugoufa, 2019). Tablo 4.7'den de görölebileceği gibi siyez örneklerinde eser seviyesinde ortalama derişimi $12,1 \pm 0,1$ mg/kg olan Ni'nin derişim değerleri, 11,0 mg/kg ila 13,4 mg/kg aralığında değişmektedir. Yetiştiiği çevreye bağlı olarak farklılık gösteren Ni değerlerinin en yüksek seviyesi, Siyez-14 kodlu örnekte ve en düşük seviyesi ise Siyez-9 kodlu örnekte ölçölmüştür.

Bakır (Cu), birçok yiyecekte, içme suyunda ve havada bulunabilir. Bu nedenle insanlar her gün yiyerek, içerek ve nefes alarak önemli miktarda bakır alırlar. Bakır, insan sağlığı için gerekli olan bir esansiyel metaldir. Bununla birlikte bakırın aşırı derecede alımı, karaciğerin işlevini kaybetmesine sebep olabilir (Abugoufa, 2019). Tablo 4.7'den de görölebileceği gibi siyez örneklerinde eser seviyesinde ortalama derişimi $8,3 \pm 0,2$ mg/kg olan Cu'nun derişim değerleri, 6,0 mg/kg ila 10,1 mg/kg aralığında değişmektedir. Yetiştiiği çevreye bağlı olarak farklılık gösteren Cu değerlerinin en yüksek seviyesi, Siyez-21 kodlu örnekte ve en düşük seviyesi ise Siyez-14 kodlu örnekte ölçölmüştür. Tablo 4.8'den de görölebileceği gibi tez kapsamında araştırlan siyez örneklerinin ortalama Cu içeriği, (a) Kastamonu siyez örnekleri için analiz edilen Cu içeriklerinden daha büyüktür, (b) farklı ölkelerde yetiştirilen einkorn örnekleri için analiz edilen Cu içeriklerinden biri hariç diğerlerinden daha büyüktür, (c) farklı ölkelerde yetiştirilen emmer durum buğday türü için analiz edilen Cu içeriklerinden daha büyüktür ve (d) Türkiye'de yetiştirilen emmer (gernik) buğdayın ve Konya'da yetiştirilen durum buğdayının Cu içeriğinden daha büyüktür.

Krom (Cr), insanların, solunum, yeme veya içme ve krom veya krom bileşikleri ile cilt teması yoluyla maruz kalabildikleri bir esansiyel metaldir. Cr (III), insanlar için vazgeçilmezdir ve eksikliği, kalp rahatsızlıklarına, metabolizmanın ve diyabetin

bozulmasına sebep olabilir. Tablo 4.7’den de görülebileceği gibi siyez örneklerinde eser seviyesinde ortalama derişimi $3,6 \pm 0,2$ mg/kg olan Cr’nin derişim değerleri, 2,8 mg/kg ila 7,2 mg/kg aralığında değişmektedir. Yetiştigi çevreye bağlı olarak farklılık gösteren Cr değerlerinin en yüksek seviyesi, Siyez-4 kodlu örnekte ve en düşük seviyesi ise Siyez-1 kodlu örnekte ölçülmüştür.

4.3.3 Siyez Örneklerinin Ağır Metaller İçerikleri

Her bir siyez örneklerinde analiz edilen ağır metallerin derişimleri, Tablo 4.9’da verilmiştir. Tablo 4.9’dan da görülebileceği gibi ortalama derişim değerlerine göre ağır metaller, büyükten küçüğe $Ta > Ti > Te > Sn > Ag > Hf > Cd > Pb$ olarak sıralanmaktadır.

Tantal (Ta) bulunduğunda, yutulduğunda veya cilt tarafından emildiğinde zararlı olabilen bir zehirli ağır metaldir. Göz ve cilt tahrişine neden olur. Tablo 4.9’dan da görülebileceği gibi siyez örneklerinde eser seviyesinde ortalama derişimi $21,8 \pm 5,8$ mg/kg olan Ta’nın derişim değerleri, 7,2 mg/kg ila 103,0 mg/kg aralığında değişmektedir. Yetiştigi çevreye bağlı olarak farklılık gösteren Ta değerlerinin en yüksek seviyesi, Siyez-4 kodlu örnekte ve en düşük seviyesi ise Siyez-5 kodlu örnekte ölçülmüştür.

Kalay (Sn) esas olarak çeşitli organik maddelere uygulanır. Organik kalay bağları insanlar için en tehlikeli kalay formlarıdır (URL-4). Tehlikelere rağmen, boya endüstrisi ve plastik endüstrisi gibi çok sayıda endüstride ve tarımda pestisitler aracılığıyla uygulanmaktadır. Organik kalay maddelerinin etkileri değişebilir. Mevcut olan maddenin türüne ve maruz kalan organizmaya bağlıdır. İnsanlar kalaya sindirim, solunum ve cilt yoluyla maruz kalabilirler. Kalayın alınması akut ve uzun vadeli etkilere neden olabilir (URL-4). Tablo 4.9’dan da görülebileceği gibi siyez örneklerinde eser seviyesinde ortalama derişimi $6,9 \pm 0,4$ mg/kg olan Sn’nin derişim değerleri, 4,3 mg/kg ila 9,9 mg/kg aralığında değişmektedir. Yetiştigi çevreye bağlı olarak farklılık gösteren Sn değerlerinin en yüksek seviyesi, Siyez-10 kodlu örnekte ve en düşük seviyesi ise Siyez-21 kodlu örnekte ölçülmüştür.

Tablo 4.9 Siyez örneklerinin ağır metal içerikleri

Örnek kodu	Derişim (mg/kg)							
	Ti	Ag	Cd	Sn	Te	Hf	Ta	Pb
Siyez-1	93,3	5,6	2,6	6,7	12,7	3,6	23,6	1,3
Siyez-2	15,7	8,2	2,7	8,2	16,0	2,8	21,1	1,8
Siyez-3	14,7	6,7	2,8	9,2	14,5	2,8	20,8	1,0
Siyez-4	103,0	6,0	3,8	5,8	11,8	3,0	22,5	1,6
Siyez-5	7,2	6,7	2,3	6,9	11,2	2,8	25,1	1,3
Siyez-6	25,1	7,7	2,3	8,6	13,3	4,2	28,1	1,6
Siyez-7	15,2	6,1	2,3	7,7	12,6	2,4	21,9	1,3
Siyez-8	7,6	5,4	3,1	4,8	9,1	2,0	23,4	1,3
Siyez-9	15,8	6,4	3,1	5,0	16,3	3,0	24,4	1,0
Siyez-10	8,5	8,7	4,7	9,9	19,4	4,5	28,1	1,7
Siyez-11	11,8	2,1	2,8	7,0	9,7	2,1	21,5	1,5
Siyez-12	7,8	5,6	3,0	6,4	14,8	3,8	26,8	1,0
Siyez-13	12,3	5,9	2,7	5,9	10,0	3,2	22,3	1,4
Siyez-14	13,4	6,4	3,2	6,7	13,8	5,7	30,2	2,3
Siyez-15	12,3	6,8	4,5	8,6	18,5	3,7	27,4	1,1
Siyez-16	11,8	4,8	1,4	4,4	11,8	3,5	24,1	1,1
Siyez-17	10,7	4,9	2,3	5,6	15,0	2,7	22,8	1,0
Siyez-18	10,5	7,8	3,7	9,3	17,4	3,4	24,2	1,9
Siyez-19	11,9	5,4	2,5	7,2	14,4	2,8	22,0	1,7
Siyez-20	8,7	6,6	2,7	6,2	15,2	2,8	25,0	1,2
Siyez-21	41,2	5,2	3,1	4,3	12,2	3,2	24,0	1,3
Ortalama	21,8	6,1	2,9	6,9	13,8	3,2	24,3	1,4
Ortanca	12,3	6,1	2,8	6,7	13,8	3,0	24,0	1,3
SS	26,5	1,4	0,8	1,6	2,8	0,8	2,6	0,3
SE	5,8	0,3	0,2	0,4	0,6	0,2	0,6	0,1
En küçük	7,2	2,1	1,4	4,3	9,1	2,0	20,8	1,0
En büyük	103,0	8,7	4,7	9,9	19,4	5,7	30,2	2,3

Titanyum (Ti) bilinen bir biyolojik rolü olmayan bir ağır metaldir. İnsan vücudunda saptanabilir miktarda titanyum vardır ve günde yaklaşık 0,8 mg aldığımız tahmin edilmektedir, ancak çoğu soğurulmadan vücut içinden geçer. Zehirli bir metal değildir ve insan vücudu büyük dozda titanyum tolere edebilir (URL-4). Solunum yoluyla titanyum dioksite maruz kalan kobay sıçanlarının akciğerlerinde küçük lokalize koyu renkli toz birikintiler gözlenmiştir. Dolayısıyla titanyuma aşırı maruz kalma durumu, akciğerlerde hafif değişikliklere neden olabilir (URL-4). Tablo 4.9'dan da görülebileceği gibi siyez örneklerinde eser seviyesinde ortalama derişimi $21,8 \pm 5,8$ mg/kg olan Ti'nin derişim değerleri, 7,2 mg/kg ila 103,0 mg/kg aralığında değişmektedir. Yetiştği çevreye bağlı olarak farklılık gösteren Ti değerlerinin en yüksek seviyesi, Siyez-4 kodlu örnekte ve en düşük seviyesi ise Siyez-5 kodlu örnekte ölçülmüştür.

Tellür (Te) bileşikleri çoğu insan tarafından nadiren görülen bir ağır metaldir. Tellür bileşikleri, sadece yetkin kimyagerler tarafından kontrolü bir şekilde işleme alınmalıdır, çünkü küçük miktarlarda bile yutulması korkunç nefes ve vücut kokusuna neden olur (URL-4). Tablo 4.9'dan da görülebileceği gibi siyez örneklerinde eser seviyesinde ortalama derişimi $13,8 \pm 0,3$ mg/kg olan Te'nin derişim değerleri, 9,1 mg/kg ila 19,4 mg/kg aralığında değişmektedir. Yetiştği çevreye bağlı olarak farklılık gösteren Ti değerlerinin en yüksek seviyesi, Siyez-10 kodlu örnekte ve en düşük seviyesi ise Siyez-8 kodlu örnekte ölçülmüştür.

Gümüş (Ag) bileşikleri vücut dokuları tarafından yavaşça emilebilir, bunun sonucunda mavimsi veya siyahımsı cilt pigmentasyonu (argyria) oluşabilir. Aşırı gümüş derişimleri, uyuşukluğa, şaşırtıcı, karışıklığa, bilinç kaybına, komaya veya ölüme neden olabilir (URL-4). Tablo 4.9'dan da görülebileceği gibi siyez örneklerinde eser seviyesinde ortalama derişimi $6,1 \pm 0,3$ mg/kg olan Ag'nin derişim değerleri, 2,1 mg/kg ila 8,7 mg/kg aralığında değişmektedir. Yetiştği çevreye bağlı olarak farklılık gösteren Ag değerlerinin en yüksek seviyesi, Siyez-10 kodlu örnekte ve en düşük seviyesi ise Siyez-11 kodlu örnekte ölçülmüştür.

Hafniyum (Hf) bilinen bir zehirliliği olmayan bir ağır metaldir (URL-4). Hafniyum, suda, tuzlu su çözeltilerinde veya vücut kimyasallarında tamamen çözünmez.

Hafniyuma maruz kalma, soluma, yutma ve göz veya cilt teması ile ortaya çıkabilir. Hafniyum ve bileşiklerine aşırı maruz kalma, gözler, cilt ve mukoza zarlarında hafif tahrişe neden olabilir (URL-4). Tablo 4.9'dan da görülebileceği gibi siyez örneklerinde eser seviyesinde ortalama derişimi $3,2 \pm 0,2$ mg/kg olan Hf'nin derişim değerleri, 2,0 mg/kg ila 5,7 mg/kg aralığında değişmektedir. Yetiştği çevreye bağlı olarak farklılık gösteren Ag değerlerinin en yüksek seviyesi, Siyez-14 kodlu örnekte ve en düşük seviyesi ise Siyez-8 kodlu örnekte ölçülmüştür.

Kadmiyum (Cd), topraktan bitkiye geçiş oranı çok yüksek olan ve çok düşük dozlarda bile yüksek zehirlilik etkisi gösteren, insan ve çevre sağlığı açısından büyük bir tehlike arz eden birinci sınıf kanserojen ağır metaldir (Abugoufa, 2019). Kadmiyum, ilk önce kan yoluyla karaciğere taşınır. Orada, böbreklere taşınan kompleksler oluşturmak için proteinlere bağlanır. Kadmiyum, filtreleme mekanizmalarına zarar verdiği böbreklerde birikir. Bu, esansiyel proteinlerin ve şekerlerin vücuttan atılmasına ve daha fazla böbrek hasarına neden olur. Böbreklerde biriken kadmiyumun vücuttan atılması çok uzun zaman alır (URL-4). Tablo 4.9'dan da görülebileceği gibi siyez örneklerinde eser seviyesinde ortalama derişimi $2,9 \pm 0,2$ mg/kg olan Cd'nin derişim değerleri, 1,4 mg/kg ila 4,7 mg/kg aralığında değişmektedir. Yetiştği çevreye bağlı olarak farklılık gösteren Ag değerlerinin en yüksek seviyesi, Siyez-10 kodlu örnekte ve en düşük seviyesi ise Siyez-16 kodlu örnekte ölçülmüştür.

Kurşun (Pb), doğada yok olmayan, bozulmayan, insan vücudunda temel bir işlevi yerine getirmeyen ve ikinci sınıf kanserojen maddeler grubunda yer alan ağır metaldir (Abugoufa, 2019). Kurşun, hemoglobin ve anemi biyosentezinin bozulması, kan basıncında bir artış, böbrek hasarı, sinir sistemlerinin bozulması, beyin hasarı, vb. istenmeyen etkilere neden olabilir (URL-4). Tablo 4.9'dan da görülebileceği gibi siyez örneklerinde eser seviyesinde ortalama derişimi $1,4 \pm 0,1$ mg/kg olan Pb'nin derişim değerleri, 1,0 mg/kg ila 2,3 mg/kg aralığında değişmektedir. Yetiştği çevreye bağlı olarak farklılık gösteren Pb değerlerinin en yüksek seviyesi, Siyez-14 kodlu örnekte ölçülmüştür.

4.4 Günlük Ağır Metal Alımı

Günlük ağır metal alımı (HM_{Alm} , $\mu\text{g/gün}$, kg cinsinden), aşağıda verilen bağıntı ile hesaplandı (Abugoufa, 2019):

$$HM_{Alm} = \frac{C_{Metal} \times KYO \times YT}{W} \quad (4.2)$$

Burada, C_{metal} , siyez örneklerinde analiz edilen ağır metal derişimi ($\mu\text{g/g}$); KYO, siyez örneklerinin ortalama kuru/yaş oranı (0,9); YT, siyez buğdayının günlük tüketimi (39 g/gün) ve W, Yetişkin bir bireyin ortalama ağırlığıdır (70 kg). Hesaplanan HM_{Alm} değerleri Tablo 4.10’da verilmiştir.

Tablo 4.10 Günlük ağır metal alımı

Ağır metal	HM_{Alm} ($\mu\text{g/kg gün}$)
Cr	1,81
Mn	44,73
Fe	104,55
Co	8,42
Ni	6,07
Cu	4,16
Zn	32,74
Ta	12,18
Ti	10,93
Te	6,92
Sn	3,46
Ag	3,06
Hf	1,60
Cd	1,45
Pb	0,70

4.5 Element Derişimleri Arasındaki İlişki

Siyez örneklerinde analiz edilen elementlerin arasındaki önemli pozitif ilişki ($p \leq 0.01$; 0,5’den büyük) ile ilgili Pearson katsayıları, Tablo 4.11’de verilmiştir.

Tablo 4.11 Siyez örneklerinin element derişimleri için Pearson korelasyon katsayısı

Elementler	Pearson korelasyon katsayısı
$^{40}\text{K}:\text{Mg}/\text{Mg}:\text{Mg}:\text{Mg}$	0,63
$^{40}\text{K}:\text{P}/\text{P}:\text{P}:\text{P}$	0,80
$^{226}\text{Ra}:\text{Th}/\text{Th}:\text{Th}:\text{Th}$	0,60
$^{226}\text{Ra}:\text{I}/\text{I}:\text{I}:\text{I}$	0,51
$^{226}\text{Ra}:\text{Co}/\text{Co}:\text{Co}:\text{Co}$	0,61
$^{226}\text{Ra}:\text{Ni}/\text{Ni}:\text{Ni}:\text{Ni}$	0,58
$^{226}\text{Ra}:\text{Ag}/\text{Ag}:\text{Ag}:\text{Ag}$	0,55
$^{226}\text{Ra}:\text{Hf}/\text{Hf}:\text{Hf}:\text{Hf}$	0,73
$^{226}\text{Ra}:\text{Ta}/\text{Ta}:\text{Ta}:\text{Ta}$	0,58
$^{226}\text{Ra}:\text{Pb}/\text{Pb}:\text{Pb}:\text{Pb}$	0,76
$^{232}\text{Th}:\text{Co}/\text{Co}:\text{Co}:\text{Co}$	0,64
$^{232}\text{Th}:\text{Ni}/\text{Ni}:\text{Ni}:\text{Ni}$	0,61
$^{232}\text{Th}:\text{Hf}/\text{Hf}:\text{Hf}:\text{Hf}$	0,61
$^{232}\text{Th}:\text{Pb}/\text{Pb}:\text{Pb}:\text{Pb}$	0,65
$\text{Na}:\text{Cl}/\text{Cl}:\text{Cl}:\text{Cl}$	0,94
$\text{Mg}:\text{P}/\text{P}:\text{P}:\text{P}$	0,57
$\text{Mg}:\text{K}/\text{K}:\text{K}:\text{K}$	0,63
$\text{Mg}:\text{Cr}/\text{Cr}:\text{Cr}:\text{Cr}$	0,54
$\text{P}:\text{K}/\text{K}:\text{K}:\text{K}$	0,80
$\text{S}:\text{Cu}/\text{Cu}:\text{Cu}:\text{Cu}$	0,76
$\text{S}:\text{Zn}/\text{Zn}:\text{Zn}:\text{Zn}$	0,71
$\text{S}:\text{Ti}/\text{Ti}:\text{Ti}:\text{Ti}$	0,50
$\text{Ca}:\text{Fe}/\text{Fe}:\text{Fe}:\text{Fe}$	0,70
$\text{Ca}:\text{Ti}/\text{Ti}:\text{Ti}:\text{Ti}$	0,72
$\text{Cr}:\text{Fe}/\text{Fe}:\text{Fe}:\text{Fe}$	0,59
$\text{Cr}:\text{Ti}/\text{Ti}:\text{Ti}:\text{Ti}$	0,61
$\text{Mn}:\text{Zn}/\text{Zn}:\text{Zn}:\text{Zn}$	0,64
$\text{Fe}:\text{Ti}/\text{Ti}:\text{Ti}:\text{Ti}$	1,00
$\text{Co}:\text{Ni}/\text{Ni}:\text{Ni}:\text{Ni}$	0,59
$\text{Co}:\text{Pb}/\text{Pb}:\text{Pb}:\text{Pb}$	0,84
$\text{Ni}:\text{Hf}/\text{Hf}:\text{Hf}:\text{Hf}$	0,50
$\text{Ni}:\text{Pb}/\text{Pb}:\text{Pb}:\text{Pb}$	0,65
$\text{Cu}:\text{Zn}/\text{Zn}:\text{Zn}:\text{Zn}$	0,77
$\text{Ag}:\text{Sn}/\text{Sn}:\text{Sn}:\text{Sn}$	0,60
$\text{Ag}:\text{Te}/\text{Te}:\text{Te}:\text{Te}$	0,65
$\text{Cd}:\text{Te}/\text{Te}:\text{Te}:\text{Te}$	0,55
$\text{Sn}:\text{Te}/\text{Te}:\text{Te}:\text{Te}$	0,58
$\text{Hf}:\text{Ta}/\text{Ta}:\text{Ta}:\text{Ta}$	0,84

4.6 Sonuçlar

İncelenen siyez örneklerinde analiz edilen ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{232}Th radyonüklitlerden kaynaklanan yıllık etkin radyasyon dozunun ortalama değeri 68,2 $\mu\text{Sv/y}$ olarak hesaplandı. Bu yıllık doza, ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{232}Th radyonüklitlerinin ortalama katkısı, sırasıyla, 14,4 $\mu\text{Sv/y}$, 35,9 $\mu\text{Sv/y}$ ve 18,0 $\mu\text{Sv/y}$ olarak belirlendi. Ortalama yıllık etkin radyasyon dozu değeri, bir bireyin, gıda ve su tüketiminden dolayı aldığı ortalama yıllık etkin radyasyon dozu değeri olan 300 $\mu\text{Sv/y}$ 'den dört kat daha küçüktür. Radyometrik sonuçlar,

- Araştırılan siyez buğdayının, bulgur veya herhangi bir şekilde gıda ürünü olarak tüketilmesinin radyolojik açıdan kayda değer herhangi bir risk oluşturmayacağını ortay koymuştur.

Araştırılan siyez örneklerinde (1) Na, Mg, P, S, Cl ve K minör ve I ise eser seviyesinde esansiyel element ve (2) Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu ve Zn eser seviyesinde esansiyel toksik ağır metal olarak analiz edildi. Esansiyel element analiz sonuçları,

- Kastamonu İhsangazi'de yetiştirilen siyez buğdayının, potasyum içeriği açısından, ülkemizde ve farklı lkelerde yetiştirilen einkorn, emmer, spelt, karabuğday, durum ve diğer buğday örneklerine göre daha zengin olduğunu
- Kastamonu İhsangazi'de yetiştirilen siyez buğdayının, kalsiyum içeriği açısından, ülkemizde ve farklı lkelerde yetiştirilen einkorn, emmer, spelt, karabuğday, durum ve diğer buğday örneklerine göre daha zengin olduğunu,
- Kastamonu İhsangazi'de yetiştirilen siyez buğdayının, demir içeriği açısından, ülkemizde ve farklı lkelerde yetiştirilen einkorn, emmer, spelt, karabuğday, durum ve diğer buğday örneklerine göre daha zengin olduğunu,
- Kastamonu İhsangazi'de yetiştirilen siyez buğdayının, mangan içeriği açısından, ülkemizde ve farklı lkelerde yetiştirilen einkorn, emmer, spelt, karabuğday, durum ve diğer buğday örneklerine göre daha zengin olduğunu ve

- Kastamonu İhsangazi’de yetiştirilen siyez buğdayının, çinko içeriği açısından, ülkemizde ve farklı ülkelerde yetiştirilen einkorn, emmer, spelt, karabuğday, durum ve diğer buğday örneklerine göre daha zengin olduğunu göstermiştir.

Araştırılan siyez örneklerinde Ti, Ag, Cd, Sn, Te, Hf, Ta ve Pb eser seviyesinde ağır metal olarak analiz edildi. Ağır metal analiz sonuçları,

- Kastamonu İhsangazi’de yetiştirilen siyez buğdayının kalay içeriğinin, Tarım ve Ormancılık Bakanlığı tarafından hazırlanan Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliğinde (URL-5), gıdalar için belirtilen azami sınır değeri olan 200 mg/kg’dan daha küçük olduğunu,
- Kastamonu İhsangazi’de yetiştirilen siyez buğdayının kurşun içeriğinin, Tarım ve Ormancılık Bakanlığı tarafından hazırlanan Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliğinde tahıl (yaş ağırlık) için belirtilen azami sınır değeri olan 0,2 mg/kg’dan daha büyük olduğunu ve
- Kastamonu İhsangazi’de yetiştirilen siyez buğdayının kadmiyum içeriğinin, Tarım ve Ormancılık Bakanlığı tarafından hazırlanan Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliğinde buğday (yaş ağırlık) için belirtilen azami sınır değeri olan 0,2 mg/kg’dan daha büyük olduğunu göstermiştir.

KAYNAKLAR

- Abdel-Aal, E.S.M., Hucl, P., & Sosulski, F.W. (1995). Compositional and nutritional characteristics of spring einkorn and spelt wheats, *Cereal Chemistry*, 72(6), 621-624.
- Ahmed, S.N. (2007). *Physics and Engineering of Radiation Detection*. First ed., Amsterdam: Elsevier.
- Abojassim, A.A., Dhahir, D.M., Idris, H.A., & Jawad, A.A. (2019). Measurement of natural radioactivity in bread product samples available in Iraqi markets. *International Journal of Energy and Environment*, 10, 135-142.
- Abugoufa, H.A.A. (2019). Adana Bölgesinde Yetişen Yer Fıstığı (*Arachis hypogaea* L.) Örneklerinin Radyonüklit, Ana Element ve Ağır Metal İçeriklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Kastamonu.
- Akçura, M., Hocaoglu, O., Kılıç, H., & Kökten, K. (2013). Karadeniz bölgesine ait yerel ekmeklik buğday hatlarının tanedeki besin elementleri içerikleri yönünden tescilli ekmeklik buğday çeşitleri ile karşılaştırılması. *Türkiye 10. Tarla Bitkileri Kongresi*, 53-60, Konya.
- Aktaş, H. (2014). Güneydoğu Anadolu şartlarında bazı ekmeklik buğday çeşitlerinin kalite yönüyle stabilite yetenekleri ve mikro element içeriklerinin araştırılması. Doktora Tezi, *Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Hatay.
- Al-Dughmah, M., & Qurashy, F. (2012). Determination of K-40 radionuclide content and the resulting radiation doses in some foodstuffs and drinking water in KSA. *Environmental Science An Indian Journal*, 7(10), 365-370.
- Aleksandra, A., Elizabeta, D.S., Radmila, C.N., Zehra, H.M., Biljana, D., Riste, U., & Dean, J. (2017). Evaluation of doses of radiation due to natural radioactivity in wheat as animal feed in the surrounding of the city of Skopje (Macedonia). *IOSR Journal of Pharmacy*, 7, 20-23.
- Al-Othman, Z.A., Ali, R., Al-Othman, A.M., Ali, J., & Habila, M.A. (2016). Assessment of toxic metals in wheat crops grown on selected soils, irrigated by different water sources. *Arabian Journal of Chemistry*, 9, 1555-1562.
- Alrefae, T., Nageswaran, T.N., & Al-Shemali, T. (2012). Radioactivity of long lived gamma emitters in breakfast cereal consumed in Kuwait and estimates of annual effective doses. *Iranian Journal Radiation Research*, 10(3-4), 117-122.

- Aslan, D., Ordu, B., & Zencirci, N. (2016). Einkorn wheat (*Triticum monococcum* ssp. *monococcum*) tolerates cold stress better than bread wheat (*Triticum aestivum* L.) during germination. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25, 182-192.
- Atak, M. (2017). Buğday ve Türkiye buğday köy çeşitleri. *Journal of Agricultural Faculty of Mustafa Kemal University*, 22, 71-88.
- ATSDR, (2019). *Toxicological profile for thorium*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, the Public Health Service, or the U.S. Department of Health and Human Services. <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp147.pdf> Erişim tarihi: 09/02/2020.
- Bâlint, A.F., Kovács, G., Erdei, & L., Sutka, J. (2001). Comparison of the Cu, Zn, Fe, Ca and Mg contents of the grains of wild, ancient and cultivated wheat species. *Cereal Research Communications*, 29, 375-382.
- Baz, S.S., & Alamoudi, M.Z. (2017). Naturally occurring radioactive nuclides from cereal grains, legumes and some foodstuffs consumed in Saudi Arabia. *Life Science Journal*, 14, 35-39.
- Bermudez, G.M.A., Jasan, R., Plá, R., & Pignata, M.S. (2011). Heavy metal and trace element concentrations in wheat grains: Assessment of potential non-1 carcinogenic health hazard through their consumption. *Journal of Hazardous Materials*, 193, 264-271.
- Brandolini, A., Hidalgo, A., & Moscaritolo, S. (2008). Chemical composition and pasting properties of einkorn (*Triticum monococcum* L. subsp. *monococcum*) whole meal flour. *Journal of Cereal Science*, 47, 599-609.
- Brouwer, P. (2010). *Theory of XRF-Getting acquainted with the principles*. 2nd ed., Netherlands: PANalytical.
- Cember, H., & Johnson, T.E. (2009). *Introduction to Health Physics*. Fourth Edition, New York: McGraw-Hill.
- Currie, L.A. (1968). Limits for qualitative detection and quantitative determination. *Analytical Chemistry*, 40, 586-593.
- Çakmak, I., Özkan, H., Braun, H.J., Welch, R.M., & Romheld, V. (2000). Zinc and iron concentrations in seeds of wild, primitive, and modern wheats. *Food and Nutrition Bulletin*, 21, 401-403.
- Çelik, N. (2019). Bazı Siyez Buğday (*Triticum monococcum*) Genotiplerinin Isparta Koşullarında Verim ve Verim Ögelerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Isparta.
- Daelemans, L., De Leyn, I., Camerlinck, M., Raes, K., Vermeir, P., & Van Bockstaele, F. (2019). Nutritional properties of ancient wheats available on

the Belgian market. *19th ICC conference, Science meets technology*, Vienna, Austria.

- Demir, M.K., Ünver, A., Arslan, D., Üçok, G., Terlemez, F., & Türker, S. (2015). Characterisation of einkorn (*Triticum monococcum* L. subsp. *Monococcum*) wheat oil. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 7 (5), 707-712.
- Demirel, F. (2013). Kastamonu'dan Toplanan Diploid (*T. Monococcum*) ve Tetraploid (*T. Dicoccum*) Kavuzlu Buğday Köy Çeşitlerinin Moleküler ve Morfolojik Tanımlanması. Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Kayseri.
- Duffus, J.H. (2009). Heavy metals a meaningless term? IUPAC Technical Report. *Pure and Applied Chemistry*, p. 793.
- Duoay, F., Roussel, H., Pruvot, C., & Waterlot, C. 2008. Impact of a smelter closedown on metal contents of wheat cultivated in the neighborhood. *Environmental Science and Pollution Research*, 15, 162-169.
- Emeksizozğlu, B. (2016). Kastamonu Yöresinde Yetiştirilen Siyez (*Triticum monococcum* L.) Buğdayının Bazı Kalite Özellikleri ile Bazlama ve Erişte Yapımında Kullanımının Araştırılması. Doktora Tezi, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Samsun.
- Erba D., Hidalgo A., Brescianni J., & Brandolini A. (2011). Environmental and genotypic influences on trace element and mineral concentrations in whole meal flour of einkorn (*Triticum monococcum* L. subsp. *monococcum*). *Journal of Cereal Science*, 54, 250-254.
- Ertop, M.H., & Atasoy, R. (2019). Comparison of physicochemical attributes of einkorn wheat (*Triticum monococcum*) and durum wheat (*Triticum durum*) and evaluation of morphological properties using scanning electron microscopy and image analysis. *Journal of Agricultural Sciences*, 25, 93-99.
- FAO (Food and Agriculture Organization), 2019. *The state of food security and nutrition in the world. Safeguarding against economic slowdowns and downturns*. United Nations, Rome.
- Gabrovská, D., Fiedlerova, V., Holasova, M., Masckova, E., Smrcinov, H., Winterova, R., Michalova, A., & Hutar, M. (2002). The nutritional evaluation of underutilized cereals and buckwheat. *Food and Nutrition Bulletin*, 23, 246-253.
- Garad, A. M.K. (2019). Kangal Termik Santrali Çevresindeki Yüzey Toprağındaki Ağır Metal Kirliliğinin ve Asitleşmenin Ekolojik Açıdan Değerlendirilmesi. Doktora Tezi, *Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*. Kastamonu.

- Hosseini, T., Fathivand, A.A., Barati, H., & Karimi, M. (2006). Assessment of radionuclides in imported foodstuffs in Iran. *Iranian Journal of Radiation Research*, 4, 149-153.
- IAEA/AQ/19. (2010). *Analytical methodology for the determination of radium isotopes in environmental samples*. International Atomic Energy Agency. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/IAEA-AQ-19_web.pdf, Erişim tarihi: 08/02/2020.
- ICRP, 119. (2012). Compendium of dose coefficients based on ICRP Publication 60. Ottawa.
- Karabak, S., Taşcı, R., Ceyhan, V., Özbek, K., & Arslan, H.Y. (2019). İhsangazi tarlalarından soframıza k lt r mirası siyez buğdayı. *Toprak Su Dergisi,  zel sayı*, 86-93.
- Khan, Z.I., Ahmad, K., Rehman, S., Siddique, S., Bashir, H., Asma Zafar, A. Sohail, M., Ali, S.A., Cazzato, E., & De Mastro, G. (2017). Health risk assessment of heavy metals in wheat using different water qualities: implication for human health. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 947–955.
- Knoll G.F. (2000). *Radiation detection and measurements*. 3rd ed., New York: John Wiley & Sons.
- Krane, K.S. (1987). *Introductory nuclear physics*. 2nd ed., New York: John Willey & Sons.
- Levent, H. (2019). Performance of einkorn (*Triticum monococcum* L.) flour in the manufacture of traditional Turkish noodle. *The Journal of Food (GIDA)*, 44, 932–942.
- Lindahl, P., Maquet, A., Hult, M., Gasparro, J., Marissens, G., & González de Ordu a, R. (2011). Natural radioactivity in winter wheat from organic and conventional agricultural systems. *Journal of Environmental Radioactivity* 102, 163-169.
- L je, A., M ller, B., Laustsen, A.M., & Hansen, A. (2003). Chemical composition, functional properties and sensory profiling of einkorn (*Triticum monococcum* L.). *Journal of Cereal Science*, 37, 231–240.
- Ludaji , G.I., Pezo, L.L., Filipovi , N.K., & Filipovi , J.N. (2015). The content of essential and toxic elements in wheat bran and flour. *Hemijska Industrija*, 69, 417–423.
- McKevith, B. (2004). Nutritional aspects of cereals. *Nutrition Bulletin*, 29, 111-142.
-  zkan, H., Brandolini, A., Torun, A., Altintas, S., Eker, S., Kilian, B., Braun, H., Salamini, F., & Cakmak, I. (2007). Natural variation and identification of microelements content in seeds of einkorn wheat (*Triticum monococcum*).

Wheat Production in Stressed Environments. Proceedings of the 7th International Wheat Conference, 455-462, New York.

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.

Pulhani, V.A., Dafauti, S., Hegde, A.G., Sharma, R.M., & Mishra, U.C. (2005). Uptake and distribution of natural radioactivity in wheat plants from soil. *Journal of Environmental Radioactivity*, 79, 331–346.

Rachoń , L., Szumiło, G., Brodowska, M., & Woźniak, A. (2014). Nutritional value and mineral composition of grain of selected wheat species depending on the intensity of a production technology. *Journal of Elementology*, 20(3), 705-715.

Ringer, J., Bartlett, & Y. (2007). The significance of potassium. *Pharmaceutical Journal*, 278, 497-500.

Salih, N.F. (2018). Determination of natural radioactivity and radiological hazards of ²²⁶Ra, ²³²Th, and ⁴⁰K in the grains available at Penang markets, Malaysia, using high-purity germanium detector. *The Scientific Journal of Koya University*, VI, 71-77.

Serpen, A., Gökmen, V., Karagöz, A., & Köksel, H. (2008). Phytochemical quantification and total antioxidant capacities of emmer (*Triticum dicoccum* Schrank) and einkorn (*Triticum monococcum* L.) wheat landraces. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 7285-7292.

Sharma, R.K., Agrawal, M., & Marshall, F. (2007) Heavy metal contamination of soil and vegetables in suburban areas of Varanasi, India. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 66, 258-266.

Shobha, N., & Kalshetty, B.M. (2017). Assessment of heavy metals in green vegetables and cereals collected from Jamkhandi local market, Bagalkot, India. *Rasayan Journal of Chemistry*, 10, 124-135.

Suchowilska, E., Wiwart, M., Kandler, W., & Krska, R. (2012). A comparison of macro-and microelement concentration in the whole grain of flour *Triticum* species. *Plant Soil and Environment*, 58, 141-147.

Şenoğlu, T. (2019). Antik Buğday Türlerinin İnsan Sağlığıyla İlintisi. Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.

TAEK TR, (2009). *Türkiye’deki çevresel radyoaktivitenin izlenmesi, 2007*. Teknik Rapor, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu. <http://kurumsalarsiv.taek.gov.tr/bitstream/1/340/1/4780.pdf> Erişim tarihi: 09/02/2020.

- Tawalbeh, A.A., Abumurad, K.M., Samat, S.B., & Yasir, M.S. (2011). A study of natural radionuclide activities and radiation hazard index in some grains consumed in Jordan. *The Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 15, 61–69.
- Tekin, M., Cengiz, M.F., Abbasov, M., Aksoy, A., Canci, H., & Akar, T. (2018). Comparison of some mineral nutrients and vitamins in advanced hulled wheat lines. *Cereal Chemistry*, 95, 436–444.
- 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.
- Tezcan, N. (2009). Trakya Bölgesinde Üretimi Yapılan Buğday ve Arpanın Ağır Metal Bulaşanlarının Tespiti. Yüksek Lisans Tezi, *Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Tekirdağ.
- Turtiainen, T., Kostianen, E., & Hallikainen, A. (2011). ^{210}Pb and ^{210}Po in Finnish cereals. *Journal of Environmental Radioactivity*, 102, 438–442.
- 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.
- UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation). (2008). *Sources and effects of ionizing radiation*. United Nations Publication, New York, USA, 2010.
- URL-1. FAO web sayfası, 25/12/2019 tarihinde http://www.fao.org_kurumsal adresinden alınmıştır.
- URL-2. Türkiye İstatistik Kurumu web sayfası, 25/12/2019 tarihinde <http://www.tuik.gov.tr/kurumsal> adresinden alınmıştır.
- URL-3. Emeksizoglu B. Kastamonu İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, 30/12/2019 tarihinde <https://kastamonu.tarimorman.gov.tr/> adresinden alınmıştır.
- URL-4. Lenntech, 11/02/2020 tarihinde <https://www.lenntech.com/periodic/elements/p.htm#ixzz6DcjlyJsV> adresinden alınmıştır.
- URL-5. Resmi Gazete (29/12/2011 tarih ve 28157 sayılı) 15/02/2020 tarihinde <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2011/12/20111229M3-8.htm> adresinden alınmıştır.

- Yılmaz, V.A. (2012). Siyez (*Triticum monococcum* L.) ve Durum (*Triticum durum*) Buğdayların Bulgura İşlenmesinde Bulgur Kalitesi, Biyoaktif Bileşenler ve Antioksidan Aktivitedeki Değişmeler. Yüksek Lisans Tezi, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Samsun.
- Zhang, Y., Yin, C., Cao, S., Cheng, L., Wu, G., & Guo, J. (2018). Heavy metal accumulation and health risk assessment in soil-wheat system under different nitrogen levels. *Science of the Total Environment*, 622, 1499–1508.
- Zhao, F.J., Su, Y.H., Dunham, S.J., Rakszegi, M., Bedo, Z., McGrath, S.P., & Shewry, P.R. (2009). Variation in mineral micronutrient concentrations in grain of wheat lines of diverse origin, *Journal of Cereal Science*, 49, 290-295.
- Zengin, G. (2015). Bazı İlkel Buğdaylarda Kalite Parametrelerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Konya.
- Zriba, N.A.E.M. (2019). Kapadokya Bölgesinde Tüketilen Ambalajlı Suların Radyolojik ve Kimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Kastamonu.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Dalal Abobaker Omar SULTAN
Doğum Yeri ve Yılı : Al Ajelat, 28/07/1987
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : Arapça
E-posta : dalalsultan87@gmail.com



Eğitim Durumu

Lise : Life sciences secondary school (Medical sciences), 2005
Lisans : Physics Department, Al Zawia University, 2009

Mesleki Deneyim

İş Yeri : College of Science, Al Zawia University, 2013-

Yayın Listesi

Sultan, D.A.O. Turhan, Ş, Kurnaz, A., Hançerlioğulları, H., Kamberli, A.K., Emeksizoglu, B. (2020). Investigation of natural radionuclide and essential metal contents of ancient wheat einkorn (*Triticum monococcum* L.) grown in Turkey. *Radiochimica Acta* (Under review).