

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

**ÇANKIRI İLİNDE BULUNAN TUZ OCAKLARINDAN TOPLANAN KAYA TUZU
ÖRNEKLERİNİN RADYONÜKLİT VE AĞIR METAL İÇERİKLERİNİN
BELİRLENMESİ**

Kemal EYÜBOĞLU

**Danışman
Jüri Üyesi
Jüri Üyesi**

**Doç. Dr. Aybaba HANÇERLİOĞULLARI
Prof. Dr. Şeref TURHAN
Doç. Dr. Necla ÇAKMAK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANA BİLİM DALI**

KASTAMONU – 2019

TEZ ONAYI

Kemal EYÜBOĞLU tarafından hazırlanan "**Çankırı İlinde Bulunan Tuz Ocaklarından Toplanan Kaya Tuzu Örneklerinin Radyonüklit ve Ağır Metal İçeriklerinin Belirlenmesi**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde savunulmuş ve **oy birliği** ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Fizik Ana Bilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman

Doç. Dr. Aybaba HANÇERLİOĞULLARI
Kastamonu Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Şeref TURHAN
Kastamonu Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç. Dr. Necla ÇAKMAK
Karabük Üniversitesi



28/05/2019


Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Hasbi YAPRAK



TAAHHÜTNAME

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


Kemal EYÜBOĞLU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÇANKIRI İLİNDE BULUNAN TUZ OCAKLARINDAN TOPLANAN KAYA TUZU ÖRNEKLERİNİN RADYONÜKLİT VE AĞIR METAL İÇERİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Kemal EYÜBOĞLU
Kastamonu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Aybaba HANÇERLİOĞULLARI

Bu tez kapsamında, Çankırı ili, Yenidoğan, Ballıbağı ve Doğantepe mevkilerinde bulunan 3 farklı tuz ocağından toplanan 45 adet kaya tuzu örneklerinde doğal olarak bulunan ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitinin aktivite seviyeleri, yüksek saflıklı germanyum dedektörlü (HPGe) gama-ışını spektrometresi kullanılarak ölçüldü. ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K 'ın aktivite derişimleri, sırasıyla $< \text{ÖEA} - 3,1 \text{ Bq/kg}$, $< \text{ÖEA} - 7,1 \text{ Bq/kg}$ ve $< \text{ÖEA} - 26,4 \text{ Bq/kg}$ aralığında bulundu. Kaya tuz örneklerinin tüketilmesinde dolayı erişkin bireylerin aldığı yıllık etkin radyasyon dozu, $1,6 \mu\text{Sv/y}$ olarak bulundu.

Tuz örneklerinin ağır metal (V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Mo ve Pb) içerikleri, X-ışını flüoresans spektrometresi kullanılarak analiz edildi. V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Mo ve Pb'nin derişimlerinin ortalama değerleri, sırasıyla $2,7 \text{ mg/kg}$, $2,3 \text{ mg/kg}$, $12,9 \text{ mg/kg}$, $504,0 \text{ mg/kg}$, $3,6 \text{ mg/kg}$, $1,9 \text{ mg/kg}$, $2,0 \text{ mg/kg}$, $0,1 \text{ mg/kg}$ ve $1,4 \text{ mg/kg}$ olarak bulundu. Tuz örneklerinde As, Co, Cd, Sn ve Hg derişimleri, ölçme sınırının altında gözlemlendi.

Sonuçlar, kaya tuzu örneklerinin tüketilmesinden dolayı radyolojik ve ağır metal açısından herhangi bir sağlık riski oluşturmadığını ortaya koydu

Anahtar Kelimeler: Kaya tuzu, radyum, toryum, radyoaktif potasyum, ağır metaller, yıllık etkin radyasyon dozu, gama-ışını spektrometresi, X-ışını spektrometresi

2019, 62 sayfa
Bilim Kodu: 202

ABSTRACT

MSc. Thesis

DETERMINATION OF RADIONUCLIDE AND HEAVY METAL CONTENTS OF ROCK SALT SAMPLES COLLECTED FROM SALT QUARRIES IN ÇANKIRI PROVINCE

Kemal EYÜBOĞLU
Kastamonu University
Institute of Science
Department of Physics

Supervisor: Assoc. Prof. Aybaba HANÇERLİOĞULLARI

In the scope of this thesis, the activity levels of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K radionuclides naturally occurring in 45 rock salt samples collected from 3 different quarries in Yenidoğan, Ballıbağı and Doğantepe located in Çankırı province were measured naturally by using a gamma-ray spectrometer with high-purity germanium detector (HPGe). Activity concentrations of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K were found in the range of $< \text{MDA} - 3.1$, $< \text{MDA} - 7.1$ and $< \text{MDA} - 26.4$ Bq/kg, respectively. The annual effective radiation dose received by adult individuals due to consumption of rock salt samples was found as $1.6 \mu\text{Sv/y}$.

The heavy metal (V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Mo and Pb) contents of the salt samples were analyzed by using an X-ray fluorescence spectrometry. The average values of concentrations of V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Mo and Pb were found as 2.7, 2.3, 12.9, 504.0, 3.6, 1.9, 2.0, 0.1 and 1.4 mg/kg, respectively. The concentration of As, Co, Cd, Sn and Hg in salt samples was observed below the detection limit.

The results revealed that there is no health risk due to consumption of rock salt samples from a radiological and toxicologically point of view.

Key Words: Rock salt, radium, thorium, radioactive potassium, heavy metals, annual effective radiation dose, gamma-ray spectrometer, X-ray spectrometer

2019, 62 pages
Science Code:202

TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam boyunca bilgi ve birikiminden faydalandığım, her zaman hoőgörü ve sabırla yardım eden, desteğini esirgemeyen, danışman hocam Doç. Dr. Aybaba HANçERLİOğULLARI'na, bilgi ve birikimlerini tez çalıőmam boyunca bana sunmaktan kaçınmayan hocam Prof. Dr. şeref TURHAN'a, Örneklerin XRF ölçümleri konusunda ve her konuda bana yardımcı olan hocam Doç. Dr. Aslı KURNAZ'a, deneysel ölçümlerimde yararlandığım Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarları Müdürlüğüne, Örnekleri toplarken sürekli benim yanımda olan, Dr. Cihan CILBIRCIOğLU'na, hayatımın tüm evrelerinde sonsuz destekleri için eőime ve oğlum R. Denizalp EYÜBOğLU'na, en içten teőekkürlerimi bildiririm.

Kemal EYÜBOğLU
Kastamonu, Haziran, 2019

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEZ ONAYI.....	i
TAAHHÜTNAME.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	ivi
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
TABLolar DİZİNİ	vii
GRAFİKLER DİZİNİ.....	viii
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	viii
HARİTALAR DİZİNİ	viiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Değerlendirmesi	5
2. MALZEME VE ANALİZ YÖNTEMLERİ.....	18
2.1. Kaya Tuzu Su Örneklerinin Toplanması	18
2.2. Kaya Tuzu Örneklerinin Analiz İşlemleri İçin Hazırlanması	19
2.3. Analiz Yöntemleri.....	19
2.3.1. İyonlaştırıcı Radyasyon	26
2.3.2. Elektromanyetik Radyasyonun Madde ile Etkileşmesi.....	27
2.3.3. Karakteristik X-ışınlarının Oluşumu	33
2.3.4. X ve Gama Işını Spektrometrik Yöntem	37
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	38
3.1. Kaya Tuzu Örneklerinin Radyonüklit İçerikleri	38
3.2. Yıllık Etkin Radyasyon Dozu	44
3.3. Kaya Tuzu Örneklerinin Element İçerikleri	45
3.4. Kaya Tuzu Örneklerinin Ağır Metal İçerikleri	54
3.5. Günlük Ağır Metal Alımı	56
5. SONUÇLAR	57

KAYNAKLAR	58
ÖZGEÇMİŞ	62

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Al	Alüminyum
As	Arsenik
Bq	Becquerel (Bekerel)
Br	Brom
Ca	Kalsiyum
CaO	Kalsiyum oksit
Ce	Seryum
Cd	Kadmiyum
Cs	Sezyum
CH ₄	Metan
Co	Kobalt
CO	Karbon monoksit
CO ₂	Karbon dioksit
Cr	Krom
Cu	Bakır
Eu	Evropiyum
F	Flor
Fe	Demir
Fe ₂ O ₃	Demir trioksit
g	gram
h	Saat
Hg	Cıva
J	Joule
K	Potasyum
⁴⁰ K	Potasyum-40
ka	Kuru ağırlık
kcal	Kilokalori
kg	Kilogram
km	Kilometre
L	Litre
La	Lantanyum
meq	Miliekivalen
mg	miligram
Mn	Mangan
MnO	Mangan oksit
Mo	Molibten
Mg	Magnezyum
MgO	Magnezyum oksit
MW	Megawatt
Na	Sodyum
Na ₂ O	Sodyum oksit
Ni	Nikel
NO	Azot monoksit
NO ₂	Azot dioksit
P ₂ O ₃	Difosfat trioksit
Pb	Kurşun

ppb	parts per billion
ppm	parts per million
Ra	Radyum
²²⁶ Ra	Radyum-238
Rb	Rubidyum
S	Kükürt
Sb	Antimon
Sc	Skandiyum
Se	Selenyum
SO ₂	Kükürt dioksit
SO ₃	Kükürt trioksit
SiO ₂	Silisyum dioksit
Sn	Kalay
Sr	Stronsiyum
Ta	Tantal
Tb	Terbiyum
Th	Toryum
²³⁸ Th	Toryum-232
Ti	Titanyum
TiO ₂	Titanyum oksit
TW	Terawatt
U	Uranyum
²³⁸ U	Uranyum-238
²³⁵ U	Uranyum-235
Yb	İterbiyum
Zn	Çinko
Zr	Zirkonyum

Kısaltmalar

AAS	Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi
DSÖ	Dünya Sağlık Örgütü (WHO)
EDXRF	Enerji Dağılımlı X-ışını Flüoresans
FAAS	Alevli Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi
GAAS	Grafit Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi
ICP-AES	Endüktif Eşlenmiş Plazma Atomik Emisyon Spektrometresi
ICP-OES	Endüktif Eşlenmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi
ICP-MS	Endüktif Eşlenmiş Plazma Kütle Spektrometresi
WDXRF	Dalga boyu Dağılımlı X-ışını Flüoresans
XRF	X-ışını Flüoresans
XRD	X-ışını Difraktometresi
YERD	Yıllık etkin radyasyon dozu
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
ÖEA	Ölçülebilir en düşük aktivite
NAA	Nötron Aktivasyon Analiz

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. X- veya gama-ışını etkileşme süreçleri ve fotopik oluşumu	22
Şekil 2.2. Fotoelektrik olayı	28
Şekil 2.3. Compton saçılması	29
Şekil 2.4. Çift oluşumu	31
Şekil 2.5. Foton etkileşmesinin bağıl önemi.....	31
Şekil 2.6. X- ve gama-ışını şiddetinin üstel zayıflaması.....	32
Şekil 2.7. Karakteristik X-ışınının oluşması.....	34
Şekil 2.8. Enerjiye karşı soğurulma	35
Şekil 2.9. K, L ve M elektronları için flüoresans verim.....	35
Şekil 2.10. Ana çizgiler ve elektron geçişleri.....	36

TABLolar DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 1.1. Türkiye’de Tuz Üretimi	3
Tablo 1.2. Türkiye’de Kaya Tuzu Potansiyelleri	4
Tablo 2.1. Yüksek saflıktı germanyum dedektörünün özellikleri	24
Tablo 3.1. Kaya tuzu örneklerinde ölçülen radyonüklit seviyeleri	39
Tablo 3.2. Aktivite sonuçlarına ilişkin tanımlayıcı istatistiki bilgi	40
Tablo 3.3. Element derişimlerine ilişkin tanımlayıcı istatistiki bilgi	45
Tablo 3.4. Kaya tuzu örneklerinin element içerikleri	47
Tablo 3.5. Mg, P, S, K ve Ca içeriklerinin Marketlerden toplanan göl, deniz ve Himalaya tuz örnekleri ortalamaları ile karşılaştırılması	48
Tablo 3.6. Kaya Tuzu örneklerinin eser element içerikleri	50
Tablo 3.7. V,Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Se ve Mo içeriklerinin Marketlerden toplanan göl, deniz ve Himalaya tuz örnekleri ortalamaları ile karşılaştırılması	51
Tablo 3.8. Kaya tuzu örneklerinin içerikleri	53
Tablo 3.9. Cl, Br ve I içeriklerinin Marketlerden toplanan göl, deniz ve himalaya tuz örnekleri ortalamaları ile karşılaştırılması	54
Tablo 3.10. Kaya tuzu örneklerinin ağır metal içerikleri	55
Tablo 3.11. Günlük ağır metal alımı	56

GRAFİKLER DİZİNİ

	Sayfa
Grafik 3.1. Kaya tuzu örneklerinde ölçülen ^{226}Ra aktivite seviyeleri.....	41
Grafik 3.2. ^{226}Ra aktivite derişim histogramı	41
Grafik 3.3. Kaya Tuzu örneklerinde ölçülen ^{232}Th aktivite seviyeleri	42
Grafik 3.4. ^{232}Th aktivite derişim histogramı	42
Grafik 3.5. Kaya Tuzu örneklerinde ölçülen ^{40}K aktivite seviyeleri	43
Grafik 3.6. ^{40}K aktivite derişim histogramı	43
Grafik 3.7. Radyonüklitlerin YERD'e olan katkıları	44

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

	Sayfa
Fotoğraf 2.1. HPGe dedektörlü gama-ışını spektrometresi.....	24
Fotoğraf 2.2. EDXRF spektrometresi	26

HARİTALAR DİZİNİ

	Sayfa
Harita 2.1. Kaya tuzu Örnek Kodları.....	18

1. GİRİŞ

Tuz, insan sağlığı ve vücutu için gerekli olan bir besin maddesidir. İnsan vücudunda protein, yağ, karbonhidratlar ve su ile birlikte, kalsiyum, fosfor, sodyum, klorür, potasyum, kükürt ve magnezyum gibi iyonlarda mevcuttur. Sodyum (Na), klorür (Cl), potasyum (K) ve kalsiyum (Ca) gibi iyonlar, vücudumuzun elektrolit dengesini sağlar. Bu elementlerden herhangi birinin, insan vücudunda az veya fazla olması, elektrolit dengeyi bozacağından, vücutta bazı hastalıkların ortaya çıkmasına neden olacaktır. Saf tuzun, yaklaşık olarak % 40'ını Na ve % 60'ını Cl oluşturmaktadır.

Tuz insan vücutu ve sağlığı için önemli olmasının yanı sıra tekstil, deri, kimya, metalürji vb. alanlarında ve ayrıca hayvancılıkta kullanılmaktadır. Endüstriyel amaçlar için kullanılacak tuzun yabancı maddelerden arındırılmış, temiz, kuru, saf ve akışkan bir hâlde olması gerekmektedir (URL-2,2016).

Tuz, katı ve sıvı olarak iki şekilde sınıflandırılabilir. Tuz, sıvı hâlde tuzlu gözlerde, tuzlu su kaynaklarında ve denizlerde bulunur. Katı hâlde ise kaya tuzu şeklinde doğada yer almaktadır. Denizler, tükenmeyen bir tuz kaynağı olarak dünyada en büyük tuz kaynağını oluşturur. Denizlerdeki tuzun saflık oranı; denizlerin bulunduğu coğrafik ortamlara ve iklim şartlarına bağlıdır. Hatta tatlı su kaynağı ile ne derecede karıştığına da bağlıdır. Örnek olarak Baltık Denizinde 1 m³ suda tuz oranı, 17 kg iken, Kızıldeniz'de 45 kg'dır (Ergin, 1988). Kapalı denizlerde tuzluluk seviyesi fazla olmasına karşın, okyanuslarla açık denizlerde hemen hemen aynıdır.

Yeraltında çeşitli seviyelerden katı fazda çıkarılabilen tuzlar kaya tuzu olarak isimlendirilir. Kaya tuzlarının elde edildiği bu yataklar, jeolojik denizlerin veya havzaların buharlaşmaları sonucunda oluşmuşlardır. Kaya tuzları içerdikleri maddeler ve miktarları konusunda da deniz tuzlarından oldukça farklıdır. Her yataktan elde edilen kaya tuzunun birleşimi değişik olabilmekle birlikte aynı yataktan elde edilen tuzların içerikleri bile farklılık gösterebilir. Dolayısıyla homojenlik ve stabiliteyi deniz tuzlarına oranla çok daha değişkendir. İçerdikleri kompozisyonlara göre renkleri de değişiklik göstermektedir. Hatta kristal yapısı içindeki boşluklar bile tuz rengine etkiyen bir faktördür. Yurdumuzda kaya

tuzu madenleri % 5 ila % 10 arasında şeffaf ve saf denecek derecede kaya tuzu kristalleri içermekle beraber, genellikle gri renkte olup bir kısmı da siyaha yakın renktedir.

Kaya tuzları eriyerek, karada bulunan akarsular, kuyular, kaynaklar ve göllere karışarak tuzlu sular da oluştururlar. Yeraltı suları da aynı şekilde bir kaya tuzu tabakasından geçerken, tuzların bir kısmı çözülerek su bünyesine karışarak; bir su kaynağı şeklinde yeryüzüne çıkarmaktadır. Bu suların içerdiği tuz oranı, su kaynağının tuz tabakasıyla temas süresi ve akıntı şiddeti ile orantılıdır. Yeraltından yeryüzüne çıkan tuz emmiş kaynaklar, çöküntü bir alana yerleşerek tuz göllerini oluşturmuşlardır. Bu göller yüksek oranda tuz içerdikleri için kış aylarında bir göl görüntüsüne sahip olsalar da yaz aylarında suyun buharlaşmasının etkisiyle yoğunlukları artar ve bir tuz birikintisi hâline dönerler. Dünyanın her yerinde bu tip göllere örnekler görmek mümkündür. Ülkemizde de Şereflikoçhisar Tuz Gölü en önemlilerinden biridir.

Bu bileşenlere sahip kalitede tuzların elde edilmeleri çok zordur. Fakat tuzun saflık oranının yüksekliği her zaman iyi sonuçlar doğurmaz. Ülkemizde Orta Anadolu'daki bazı göllerde NaCl ile birlikte NaSO₄, K ve benzeri bileşenlerin bulunması, bu kaynaklardan tuz üretilebilmesini ekonomik sebeplerden dolayı nerdeyse imkânsız kılar. Bu duruma Burdur Gölü, Acıgöl ve İznik Gölü'nü örnek olarak verilebilir.

Çok eski çağlardan beri tuzun kullanıldığı bilinmektedir. Hatta modern işletmecilik yöntemlerinin bilinmediği, buhar, elektrik gibi kolaylıkların daha keşfedilmediği eski zamanlarda, tuzun üretildiği bir gerçektir. Eski zamanlarda insanoğlu bol ve ucuz tuz üretebilmek için bütün zekâ ve becerilerini kullanarak o zamanki şartlara göre yöntemler geliştirmişlerdir (Ergin,1988). Tablo1.1 de Türkiye'de tuz üretimi ve tuz kaynakları hakkında bilgi verilmiştir.

Tablo 1.1. Türkiye’deki tuz üretimi (KUZKA, 2012)

Maden Adı		Üretim Miktarı (ton)						
		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Tuzlar	Kaya Tuzu	81.410	87.258	32.710	211.263	280.350	244.164	1.685.708
	Kaynak Tuzu	2.848	10.462	9.563	12.386	14.615	11.750	16.046
	Göl Tuzu	1.673.028	1.566.202	1.582.521	1.463.926	1.531.501	1.597.259	1.579.375
	Deniz Tuzu	556.532	582.440	529.234	535.598	537.166	616.958	484.435
	Magnezyum Tuzu	-	-	-	-	-	19.695	-

Ülkemizde tuz üretimi, deniz suyu, göl suyu, kaya tuz üretimi ve kaynak suyu olmak üzere 4 farklı doğal kaynak kullanılarak yapılmaktadır (Ergin, 1988). Deniz ve göl tuzu, rüzgâr ve güneş ışınlarının sayesinde doğal olarak buharlaşmasıyla üretilir. Kaya tuzu ise oda-topuk yöntemi ile üretilmektedir. Kaynak tuzu ise tuzlu su kaynaklarında ki suyun buharlaşma ve kristalleşme havuzlarında bome dereceleri yükseltilmesi yöntemiyle elde edilmektedir (Ergin, 1988).

Ülkemizde kaya tuzu üretimi, beş kaya tuzlasında kapalı madencilik yöntemi olarak bilinen oda topuk yöntemi ile yapılmaktadır. Bu yöntemde kullanılan teknoloji çok eskidir. Oda ve topuk'ların boyutu iş emniyeti ve cevherin ekonomik bir şekilde kazanılması için 10x10 ve 8x8 m boyutlarında bırakılmıştır. Yükseklik ise 6 metredir. Ülkemizde üretilen kaya tuzunun kullanım alanlarına bakıldığında; en büyük payı % 95 lik bir oranla kimya sanayii almaktadır. % 3’ü ise sofr tuzu olarak kullanılmaktadır. Kaya tuzu en fazla tüketimi kireçtaşı ile işlenmesinden elde edilen Na_2CO_3 bileşimli ‘soda külü’ yapımında gerçekleşmektedir. Ayrıca kömürlerden kükürdün temizlenmesi, seramik yapımı, tarım ilaçları, alçı yapımı ve zeolitlerin yeniden kullanılabilir hâle getirilmesi gibi alanlarda kaya tuzundan faydalanılmaktadır. Tablo 1.2’de verildiği gibi Türkiye’de önemli kaya tuzu yatakları, Çankırı, Nevşehir-Gülşehir ve Yozgat-Sekili’de bulunmaktadır (URL-3,2018).

Tablo 1.2. Türkiye’de Kaya Tuzu Potansiyelleri

Bölge	Rezervler (x1000 ton)				Kalite (%)
	Görünür	Muhtemel	Mümkün	Toplam	
Çankırı Bölgesi	800.000	350.000	600.000	1.750.000	80-95 NaCl
Erzurum-Oltu-Tekel	--	300.000	--	300.000	--
Kars-Kağızman	--	60.000	--	60.000	--
Kars-Tuzluca	613.450	--	226.700	840.137	91.4 NaCl
Kırşehir-Tepesidelik	--	20.000	--	20.000	
Nevşehir-Gülşehir-Tuzköy	75.050	491.200	1.845.600	2.411.842	93 NaCl
Yozgat-Yerköy-Sekili	107.000	359.000	466.000	932.000	92 NaCl
Toplam	1.595.495	1.580.211	2.538.273	5.713.979	

Kaya tuzu diğer gıda maddeleri gibi doğal olarak elementler ve uranyum (^{238}U), toryum (^{232}Th) radyoaktif serilerine ait radyonüklitleri ve doğal potasyumun (^{39}K 'un) izotopu olan radyoaktif potasyumu (^{40}K 'ı) içermektedir. Bu elementler aynı zamanda ağır metal niteliğindedir ve yüksek seviyeleri aşırı derecede zehirli (toksik) olabilir. Organlar, gıdaların sindirilmesi ile insan vücudunun farklı organlarında biriken doğal radyonüklitlerin radyoaktif bozunum süreçleri sonucunda yayınladıkları iyonlaştırıcı radyasyona (alfa-, beta- ve gama-ışınlarına) maruz kalırlar. Bu durum iç ışınlama (internal exposure) olarak isimlendirilir (UNSCEAR, 2000).

Bu tezin amacı, (1) Çankırı’da üretilen ve Türkiye genelinde tüketilen kaya tuzu örneklerinin doğal olarak içerdiği ağır metal ve radyonüklit seviyelerinin belirlemek, (2) yetişkin bireylerin tuz tüketmesi sonucunda maruz kaldığı iç ışınlama sebebiyle alabileceği yıllık etkin radyasyon dozunu ve (3) günlük ağır metal alımını değerlendirmektir. Bu amaca yönelik olarak üç farklı ocaktan toplanan 45 kaya tuzu örneklerinin içerdiği radyonüklit (^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K) seviyeleri yüksek saflıktaki germanyum dedektörlü gama-ışını spektrometresi ve kaya tuzu örneklerinin içerdiği element ve/veya ağır metal seviyeleri ise enerji dağılımlı X-ışını flüoresans spektrometresi kullanılarak belirlendi. Yıllık etkin radyasyon dozu ve günlük ağır metal alımı, analiz verileri esas alınarak hesaplandı.

Tez dört bölümden oluşmaktadır. Çalışmanın birinci bölümünde; tuz, tuzun sağlık ile ilgisi, tuz kaynakları, tuz üretimine, tezin amacı, kapsamı, bölümleri ve literatür değerlendirilmesine ilişkin hakkında bilgi verildi. İkinci bölümde, kaya tuzu örneklerinin toplanmasına, ölçme işlemi için hazırlanmasına, ölçme yöntemlerine ilişkin bilgi verildi. Üçüncü bölümde, her bir kaya tuzu örneği için ölçülen radyonüklitlerin, ana ve/veya ağır metallerin derişimleri, tablolar ve grafikler şeklinde sunuldu. Dördüncü bölümde, elde edilen ortalama değerler, literatürdeki değerler ile ağır metal seviyeleri ise ulusal kodeks değerleri ile karşılaştırıldı ve ağır metal kirliliğine yönelik bazı öneriler yer aldı.

1.1. Literatür Değerlendirmesi

Bu kısımda, tuz ile ilgili olarak daha önce yapılan literatürde yer alan ulusal ve uluslararası çalışmalar hakkında öz bilgi verilmiştir.

Tahir ve Alaamer (2008) çalışmalarında, Pakistan'da bulunan Khewera Madenleri dünyanın en büyük ikinci kaya tuzu rezervini içermektedir. Pakistan'da yemek tariflerinde kaya tuzu kullanılıyor. Doğal olarak oluşan radyonüklitlerin kaya tuzundaki konsantrasyonlarını Khewera Madenleri'nden araştırmaya karar verilmiştir. 10 farklı yerden kaya tuzu örnekleri toplandı ve gama spektrometresi ile analiz edildi. ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K ortalama aktivite konsantrasyonları $790 \pm 262,640 \pm 162$ ve 23000 ± 6000 mBq/kg idi. Yetişkinler için kaya tuzundan doğal radyonüklit alımı nedeniyle ortalama yıllık etkin dozun, doğal radyonüklitlerin yutulması nedeniyle dünya çapında alınan ortalama 0,29 mSv'lik ortalama etkin dozdan daha düşük olduğu $0,0638 \pm 0,015$ mSv olduğunu belirtmiştir.

Jockwer (1981), çalışmasında, farklı Kuzey Alman tuz madenlerinden gelen kaya tuzu incelemesi, kaya tuzu içerisinde en az üç su bileşeni bulunduğunu göstermiştir. Suyun çoğunluğu, tuzdaki minör minerallerin hidrasyon suyundan ve kristal sınırlarına absorbe edilen tanecikli sudandır. Kuzey Alman madenlerinin tuzundaki sıvı kısımlarından gelen su miktarı nispeten düşüktür. Kaya tuzu içindeki farklı su bileşenlerinin termal serbestliğini araştırmak için, 90 ila 630° arasındaki farklı sabit sıcaklıklarda zamanın bir fonksiyonu olarak ağırlık kaybı

ölçüldü. Asse tuzlarından elde edilen tuz örnekleri farklı derinliklerden ve stratigrafik tabakalardan su içeriği bakımından analiz edildi. Su içeriği sabit değildi, fakat hidrasyon suyu içeren mevcut küçük minerallerin miktarına bağlıydı. Kaya tuzu içindeki suyun çoğunluğu, polialit ve kieserit mineralleri ile ilişkili olduğu için, ısıl davranış ve hidrasyon suyunun bu minerallerden arındırılması analiz edilmiştir. Suyun serbest bırakılma sıcaklığının numunenin üzerindeki havanın nemine bağlı olduğu bulundu. Kaya tuzu örneklerinin Asse tuzu madenlerinden yayılmasının ölçüldüğü ve sıcaklık arttıkça azaldığı bulundu, bu da bunun moleküller arası boşluklar içindeki su buharı ile ters orantılı olduğu anlamına geldiğini belirtmiştir.

Peach, vd. (1987) çalışmalarında, 1 Ocak 1984 - 30 Haziran 1985 döneminde tuzun taşınım özellikleri üzerine yapılan çalışmalar hakkında son rapordur. Bu çalışma, büyük ölçüde tuz kayalarında sünme kaynaklı geçirgenliğin ölçülmesine, geçirgenlik kalıcılığının belirlenmesine yöneliktir. Hidrostatik koşullar altında ve hem deforme olmuş hem de deforme olmayan malzemede iyon göçü / tutma deneylerinde sünme dilate edilmiş tuz kayağının bozulma özellikleri. Geçirgenlik çalışması, hem gaz (argon) hem de tuzlu su kullanılarak yapıldı ve dilatometrik üç eksenli test aparatı ile birlikte kullanılmak üzere ilgili sistemlerinin tasarımını ve yapımını içermiştir. İyon göç/tutma çalışmaları, Sr^{2+} , Cs^{+} , Fe^{3+} ve TcO gibi kirletici türlerin kullanımını içermiş olduğunu aktarmıştır.

Jockwer ve Gross (1985) çalışmalarında, kaya tuzu, hidratlanmış minerallerin kristal suyunu, tuzlu su kalıntıları formundaki suyu veya kristal sınırlarına absorbe olan birincil gazları içerir. Ana ve ikincil bileşenlerin ısıl ve radyolojik olarak ayrışmasından kaynaklanan atılan yüksek seviyeli, ısı üreten atıklar nedeniyle daha fazla gaz üretilir veya serbest bırakılır. Muhtemel serbest bırakılmış radyonüklitlerin yayılmasını teşvik eder, muhafazanın korozyonunu artırır ve bir boşaltma deliğinde basınç artışına yol açabilir. Bu nedenle, yüksek seviyeli atıkların bertarafı sonucu kaya tuzundan serbest bırakılabilecek bileşenlerin nitel ve nicel bir tespiti, son bir depo için önemli olduğundan bahsetmişlerdir.

Steinhausner (2006) çalışmalarında, Avusturya, Almanya, Pakistan, Polonya, İsviçre ve Ukrayna'dan kısmen ticari olarak temin edilebilen 18 adet kaya tuzu örneği, enstrümantal nötron aktivasyon analizi kullanılarak, eser element içerikleri bakımından incelenmiştir. Tespit edilen elementler Al, Ba, Br, Ca, Ce, Cl, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, La, Mn, Na, Rb, Sb, Sc, Sm, Sr, Ta, Tb, Th ve Zn, bazıları sadece bireysel durumlarda. Bu iz elementlerin biyo yararlanım tahminleri, sodyum klorür numunelerinin bir eşdeğerinin seyreltilmiş hidroklorik asit (simüle edilmiş mide asidi) içinde çözülmesi, çözülmeyen bileşenlerin süzülmesi ve buharlaştırılmış süzütünün analiz edilmesiyle yapıldı. Çoğu durumda Fe gibi biyoaktif iz elementlerin, neredeyse hiç çözünmeyen bileşikler şeklinde kaya tuzu içinde bulunabileceği ve bu nedenle önemli ölçüde biyolojik olarak temin edilemeyeceği, örneğin toryumun iki durumda kısmen biyolojik olarak temin edilebildiği gösterilebilir. Beslenme için kaya tuzu kullanarak önerilen günlük metal eser element alınmasına önemli bir katkı dâhil edilemez olduğunu bulmuştur.

Baloch vd. (2012) çalışmalarında, dünyanın en büyük ikinci tuz madeni olan Khewra Tuz Madenleri, Pakistan'ın başkenti İslamabad'ın 160 km güneyindedir. Bu madenlerden gelen tuzun uzaklaştırılması için yaklaşık 1000 işçi çalışıyor. Yılda 40.000'den fazla ziyaretçi mayını görmeye geliyor. Ziyaretçiler ve işçiler doğrudan bu madenlerde bulunan radon ve gama ışınlarının iç ve dış radyolojik tehlikelerine maruz kalmaktadır. Genel halk, doğal olarak oluşan radyonüklitleri içeren tuzun alımından etkilenir. Bu nedenle radon konsantrasyonu (^{222}Rn) Khewra Tuz Madenlerinde ve bu madenlerden gelen tuz örneklerinde doğal olarak oluşan radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları ölçüldü. Radon Alfa Dedektörü (RAD-7) ve SSNTD ile radon ölçümü için hem aktif hem de pasif teknikler kullanılmıştır. Konsantrasyonu, ^{222}Rn $26 \pm 4 \text{ Bq/m}^3$, $43 \pm 8 \text{ Bq/m}^3$ ise aktif yöntemi ile ölçülen Pasif yöntemle ölçülmüştür. Radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonu, HpGe detektörü ile gama ışını spektrometresi kullanılarak ölçülmüştür. Tuz numunelerinde ortalama ^{40}K aktivite $36 \pm 20 \text{ Bq/kg}$ ve ^{226}Ra ve ^{232}Th konsantrasyonlarında bulundu Tuz numunelerindeki tespit sınırlarının altındaydı. Gama radyasyonu tehlikesi, tuz levhalarından ve tuzdan yapılan odalardan harici gama dozu ve gama radyasyonu nedeniyle yıllık etkili doz açısından değerlendirildi. Radon kızlarına maruz kalma, yıllık etkili doz ve madenlerdeki radon

kaynaklı aşırı yaşam boyu kanser riski tahmin edilmiştir. Tuzdan ^{40}K alımına bağlı olarak ortalama yıllık etkin doz, doğal radyonüklitlerin yutulması ile alınan, 0.29 mSv'lik ortalama yıllık etkili doz hızından daha düşük olan $20.0 \pm 11.1 \mu\text{Sv}$ olarak hesaplandı. Tuz ve radon (^{222}Rn) içerisindeki primordial radyonüklitlerin düşük konsantrasyon değerleri nedeniyle, madenlerde “düşük seviye aktivite ölçüm laboratuvarı” kurulması önermektedirler.

Calin vd. (2011) çalışmalarında, Turda tuz madenindeki doğal radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonlarını ve dağılımını, bu tuz madeninde speleoterapinin geleceği ile ilgili gelişmeleri göz önüne alarak değerlendirmektedir. Radon, gama ışını ve brüt alfa ve beta radyasyon ölçümleri, tuz tuzunun ve tuz madeninin farklı noktalarından toplanan toprak örneklerinde düşük konsantrasyonlarda doğal radyonüklitlerin varlığını göstermiştir ve bu madende speleoterapi (mağara ortamından yararlanmak için yapılan tedavi) gelişimini sürdürmekte olduğunu belirtmiştir.

Ravisankar vd. (2007) çalışmalarında, Tuz alanlarındaki ve etrafındaki toprak örnekleri, gama ışını spektrometresi kullanılarak doğal radyoaktivite konsantrasyonu açısından analiz edilmiştir. ^{232}Th , ^{238}U ve ^{40}K için aktivite konsantrasyonu, sırasıyla 27.88 ile 45.27 Bq/kg, ÖEA ile 13.30 Bq/kg ve 135.54 ile 381.28 Bq/kg arasında değişmektedir. Bu radyonüklitleri için ölçülen aktivite konsantrasyonları, dünyadaki ortalama toprak aktivitesi ile karşılaştırıldı. Bu çalışmada ^{232}Th 'luk ortalama aktivite konsantrasyonu, dünya ortanca değerinden 1.19 kat yüksekken, ^{238}U ve ^{40}K daha düşük bulundu. Bu radyonüklitlere bağlı olarak emilen doz oranları hesaplandı. Toprak örneklerinde ^{232}Th , ^{238}U ve ^{40}K varlığına bağlı olarak ortalama soğurma gama dozu 36.99 nGy/h dir. Bu sonuçlar radyolojik anomali olmadığını göstermektedir. Bu çalışmada sunulan veriler, çalışma alanındaki primordial radyonüklit konsantrasyonları için temel bir hat araştırması görevi göreceğini belirtmiştir.

Kraemer ve Reid (1984) çalışmalarında, Radium, petrol rezervleri, gaz rezervleri ve su üreten coğrafi su akiferleri de dâhil olmak üzere çeşitli ABD Körfez Kıyısı yeraltı ortamlarından üretilen derin tuzlu sularda ölçülmüştür. Oluşum suyu tuzluluk oranı ve Ra aktivitesi arasında, oluşum suyunun akifer matrisi ile etkileşmesinden

kaynaklanan güçlü bir pozitif ilişki bulunmuştur. Ra izotopları, katı matrisin içindeki ve içindeki alanlara yerleştirilmiş olan U ve Th ana elementlerinin çürümesi sonucu üretildikten sonra sıvı fazına girer. Öncelikle Ra'nın matristen oluşum suyuna aktarılmasından sorumlu olduğu düşünülen süreç kimyasal ve alfa parçacık geri tepmesidir. Gözlenen tuzluluk derecesini kontrol eden faktörler - Ra ilişkisi, aşağıdaki faktörlerden biri veya bir kombinasyonu olabilir: (a) iyon değişimi; (b) çözelti ve kuvars taneleri arasında tuzluluk kontrollü bir silika dengeleme hızı ile birleştirilmiş Ra atomlarını çevreleyen matris silika çözünürlüğünün artırılması ve (c) Rakibinin çözeltideki akifer içindeki detrit barit ile dengelenmesi. Yağ veya gaz kuyularından elde edilen sudaki tuzlu su - Ra ilişkisinde ve sadece su taşıyan akiferlere giren su kaynaklarından çıkan sularda fark bulunmadı, ancak bu ilişki su taşıyan akiferler için hidrokarbon içeren rezervuarlardan çok daha fazla ilişkili olduğunu belirtmişlerdir.

McCaffrey ve Thomson(1980) çalışmalarında, bir Connecticut (ABD) tuz bataklığında tortu ve iz metallerin birikiminin analiz edilmesi için yapılan çalışma açıklanmaktadır. Çalışmada, New Haven yakınlarındaki Connecticut'ın sualtı kıyılarında bulunan bir haliç bataklığı olan Farm River tuz bataklığındaki turba, esasen bozulmamış, metre uzunluğunda çekirdeklerin yükselmesiyle örneklendi ve atmosferden iz metal birikimi kaydettiği tespit edildi. Geçtiğimiz yüzyıl boyunca topraklardan tortu erozyonu. ²¹⁰Pb aktivitesi ve Fe, Mn, Cu, Zn ve Pb konsantrasyonları bitişik, 2 cm kalınlığındaki turba dilimlerinde ölçülmüştür. Fazla ²¹⁰Pb dağılımı Tuz bataklığında derinliği olan, her dilimin altındaki tortu yaşını tahmin etmek için yüzeye sabit bir akı varsayarak kullanılmıştır. Ortaya çıkan yaş-derinlik ilişkisi, New York City gelgit ölçer tarafından kaydedilen deniz seviyesindeki yükselişin bağımsız ölçüsü ile karşılaştırıldı ve iyi bir genel anlaşmada olduğu bulundu. Sonuçlar ²¹⁰Pb'nin tuz bataklığı içerisinde kantitatif olarak tutulduğunu ve biriktirmeden sonra önemli ölçüde yeniden dağıtılmadığını göstermiştir. Sonuçlar, benzer kimyasal özelliklere sahip stabil elemanların da biriktirme kaydını temsil ettiği fikrini desteklemekte olduğunu belirttiler.

Talbot (1998) çalışmasında, Lyell'in jeolojik süreçleri saha gözlemlerinden çıkarmaya yaklaşımının, dinamik modelleri ölçeklendirmek için oranlarının saha ölçümlerini kullanarak geliştirilebileceğini göstermektedir. 1970'lerde, kristal kaya tuzunun yüzeyden akıp akamayacağına dair bir tartışma, Lyell'in buzun akıp ekzotik bloklar taşıp taşmayacağına dair yardımcı ile çözülen daha önceki bir tartışmayı tekrarladı. Bu çalışma, dış şekillerin, iç kumaşların ve yapıların ve Zagros Dağları'ndaki mevcut tuz ekstrüzyonlarının akış hızlarının sadece geçmiş ve gelecekteki tuz ekstrüzyonunu anlamak için değil aynı zamanda orojenilerin metamorfik çekirdeklerinin ekstrüzyonu için anahtar olduğunu öne sürmektedir. Tuzun ilk önce yarım küre şeklindeki kubbelerde salgılandığı, sonra kaynağından izole edilinceye kadar viskoz çeşmelerin şekillerine yayıldığı gösterilmiştir. Daha sonra hızlı bir şekilde artık toprak yığınlarına dönüşene kadar tuttukları viskoz damlacıkların şeklini alırlar. Tuz, doğrusal bir viskoz Bingham sıvısı olarak ortaya çıkar ve süzülme hızı, gevrek hale getirilmiş tuzun kalınlaştırılmış bir kalıbının altındaki bir güç yasası akışkanına ($n = 3$) iniş kuvvetini sertleştirir. İran'da ekstrüzyon tuzu tabakalarının ölçülmesiyle ortaya çıkan diyapirlerde sınırlanan tuzun hızları, nükleer atık depolamak veya hidrokarbonları çıkarmak için planlanan başka yerlerde veya altında gömülü eşdeğerler için tahmin edilen oranlarla karşılaştırıldığında oldukça hızlı olduğunu bulmuştur.

Erickson ve Duce (1988) çalışmalarında, Ortalama deniz seviyesinden (AMSL) 15 m yüksekliğe uygun bir deniz tuzu kütle dağılımının kullanılmasıyla elde edilen atmosferik deniz tuzu okyanus yüzeyine hesaplanan küresel ıslak ve kuru biriktirme alanları aylık bazda 5 ile incelenir. 5×5 enlem - boylam uzamsal çözünürlük. Her 5×5 alan için aylık Gauss frekans rüzgâr dağılımı hesaplanır. Bu küresel rüzgâr hızı klimatolojisi, atmosferik deniz tuzu giderme işlemlerini rüzgâr hızına bağlayan denklemlerle birleşti. Bu, log - normal deniz - tuz kütle dağılımının kütle ortanca yarıçapı, hem ıslak hem de kuru atmosferik deniz tuzu biriktirme hızı ve atmosferik küresel biriktirme alanı gibi atmosferik deniz tuzunun çeşitli küresel özelliklerini tahmin etmemize olanak sağlar. Deniz tuzu. 16 g/y . Atmosferik deniz - tuzunun küresel ıslak çökeltme akısı $0,15-0,45 \times 10^{16} \text{ g/y}$ 'dir. Atmosferik deniz tuzu küresel akı Böylece yaklaşık $1-3 \times 10^{16} \text{ g/y}$. En büyük atmosferik deniz tuzu birikimi, her iki yarım kürenin yüksek enlem bölgelerinde bulunur. Atmosferik deniz tuzunun kuru

birikimi küresel ölçekte ıslak birikilme giderimine hükmederken, İntertropik Yakınsama Bölgesi ile ilişkili alanlar üzerindeki atmosferik deniz tuzu, ıslak ve kuru birikim ile karşılaştırılabilir bir verimle giderileceğini belirtmişlerdir.

Lensky (2005) çalışmalarında, Ölü Deniz, son on yılda yaklaşık 1 m / yıl su seviyesi düşüşü yaşayan bir hipersalin terminal gölüdür. Gölün su dengesi için mevcut tahminler, değişken yeraltı su akışını, buharlaşma oranını ve göl tabanındaki tuz birikimi oranını yansıtan geniş ölçüde değişkendir. Bunları tahmin etmek için, 1996'dan 2001'e kadar ölçülen meteorolojik ve hidrografik verileri kullanarak Ölü Deniz için enerji ve kütle dengelerini hesaplıyoruz, düşürülmüş yüzey suyu aktivitesinin buharlaşma hızı üzerindeki etkisini hesaba katarak. Bu süre zarfında tuzun çökmesi, yaklaşık 0.1 m / yıl idi. Ortalama yıllık akış $265-325 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{yıl}$, 1.1-1.2 m / yıl buharlaşma oranına tekabül eder. Önceki çalışmalarda önerilen daha yüksek akışlar, buharlaşma oranının artmasını gerektirir ve bu nedenle enerji dengesi ile uyumlu olmadığını bulmuşlardır.

Eke (2017) çalışmasında, HpGe gama spektrometresi kullanılarak bazı ticari tuz örneklerinde doğal ve yapay radyonüklitlerin aktivite seviyelerini belirlemeyi hedeflemiştir. Bu çalışmasında, 5 rafine edilmiş, 5 rafine edilmemiş ve 1 bulaşık makinesi tuzu örneği olan toplam 11 ticari tuz örneği kullanmıştır. ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklitlerin aktivite seviyeleri, radyum eşdeğeri aktivite, emilen doz oranı, yıllık efektif doz eşdeğeri, ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K yıllık efektif doz değerleri Yetişkinler için tuz örneklerinin alımından K, tuz örneklerinde iç tehlike indeksi ve dış tehlike indeksi hesaplandı. Elde edilen radyum eşdeğeri aktivite, soğurulan gama dozu oranı, yıllık etkin doz eşdeğeri uluslararası raporlarda verilen ortalama değerlerle karşılaştırıldı ve tuz örneklerinin değerlerinin uluslararası raporlarda belirtilen ortalama değerlerden daha düşük olduğu sonucuna varıldı. Yetişkinlere yönelik tuz örneklerinin yutulmasından kaynaklanan ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K yıllık efektif doz değerleri, uluslararası raporlarda da verilen ortalama değerlerden daha yüksek olduğunu tespit etmiştir.

Yalçın ve Ertem (1997) çalışmalarında, Kimya sanayinin ve sofralarımızın önemli ürünlerinden NaCl tuzu göl, deniz, kaya ve kaynak olmak üzere dört değişik

kaynaktan üretilmektedir Bu kaynaklardan maliyet ve kalite olarak en uygunu göl tuzu olduğunu belirtiyor. Türkiye'nin üç tarafının denizlerle çevrili olması kalite ve maliyette ikinci derecede uygun deniz tuzlarını önemli bir duruma getirmektedir Bu çalışmada; Türkiye'nin mevcut deniz tuzu potansiyelini incelemişler. Barutoğlu (1961) çalışmasında tuz yataklarımızın nerelerde bulunduğu, Üretim şekli, yıllık üretim miktarı ile kaya tuzu yatağımızın yataklaşma, cevherleşme durumu ve kaya tuzu rezervlerinden bahsetmiştir.

Ersöz ve Doğan (2010) çalışmalarında, Bu çalışmada, bir akışkan yataklı sürekli kurutucu (AYSK) tasarımı yapılarak prototip imalatı gerçekleştirilmiştir. Endüstriyel alanda kullanılan göl tuzu, bu kurutucuda kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Kurutma esnasında kurutma havasının hızı, sıcaklığı ve tuzdaki kütle değişimi deneysel olarak incelenmiştir. Kurutucudaki kurutma havasının hızı işlem başlangıcında 4.5 m/s olarak ölçülmüştür. Yapılan bütün deneylerde sabit tutulmuştur. Deneylerde kullanılan göl tuzunun başlangıç nemi 0,044 g su/ g kuru madde olarak belirlenmiştir. Bu tuz, üç farklı kurutma havası sıcaklığında 90 dakikalık kurutma işlemlerine tabi tutulmuştur. 94 °C, 126 °C ve 171 °C sıcaklıklarda yapılan kurutma işlemleri sonrasında tuzun nemi, sırasıyla 0.033, 0.024 ve 0.009 g su/g kuru maddeye indirgenmiştir. Bu sonuçlardan yararlanılarak tuzda 0.005 gsu/gkuru madde nem miktarına ulaşılabilmesi için kurutma havası sıcaklığının 181.511 °C olması gerektiği hesaplamıştır.

Doğanay (2006) çalışmasında, ülkemizdeki kaynak tuzlarından biri olan Aşkale tuzlası, Erzurum'un Aşkale ilçesinde bulunmaktadır. 100 yılı geçen süreden beri işletildiği bilinen tuzla, Aşkale ilçe merkezinin yaklaşık 3 km kadar batısındadır. Karasu vadi tabanında yer alır. Karasu vadisinin güneyindeki tepelik alanlarda yayılım gösteren jipsti seri, tuzlu suyun kaynağını oluşturur. Üretim faaliyetlerinin daha çok geleneksel yöntemlerle yapıldığı bu tuzlada, son yıllarda üretim 119194 ton arasında değişmektedir. Ancak tam kapasiteyle çalıştırılması durumunda, yılda 1000-1500 ton üretim yapılması mümkündür. Yaz mevsiminde gerçekleşen yağışlar, tuzlu su kaynağının akım miktarındaki azalmalar ve rafine tuz üretiminin yapılmaması çözüm bekleyen temel sorunlardır. Yılda 5 000 ton rafine tuzun üretileceği projenin

hayata geçirilmesi ile birlikte, üretim de tüm yıla yayılacaktır. Böylece Aşkale tuzlası, bölgeye daha fazla ekonomik yararlar sağlayabileceğini belirtmiştir.

Ergin (1988) çalışmasında, İnsanlığın ilk çağlarından beri gıda maddesi olarak tüketilen tuzun kullanım alanı çağımızda genişleyip, kimya sanayiinin önemli ürünlerinden biri haline geldiğini belirtiyor. Sanayide gelişmiş ülkelerde tuz tüketiminin % 60-70'ni kimya sanayii oluşturmaktadır. Gelişmekte olan ülkeler arasında yer alan ülkemizde de tuzun önemi küçümsenemez olduğunu belirtiyor. Bu yazıda genel olarak tuzun üretimi, teknolojisi, kullanım alanları ve sağlığımız için önemi anlatılmaya çalışılmıştır. Ayrıca, günlük hayatımızda çok kullanılan "Rafine Tuz", "İyotlu Tuz", "Florürlü Tuz" kavramlarına açıklık getirilmiştir.

Tıraş (2007) çalışmasında, Türkiye'nin en büyük deniz tuzlası olan Çamaltı Tuzlası coğrafi özellikler yönünden incelenmiştir. 1863 yılında üretime açılan söz konusu tuzla, İzmir ilinin kuzeyindedir. İl merkezine 28 km uzaklıktadır. Genel olarak tuzla I. ve II. tuzla, su depolama alanları ve kristalizasyon havuzları olarak 4 ana kısma ayrılır. Yılda yaklaşık 514 000 ton tuz üretilen tuzla, Türkiye toplam tuz üretiminin % 25 ini karşılamaktadır. Yatırımların yapılması durumunda ve üretim kapasitesinin artırılması durumunda yıllık üretimin 1 milyon tonu aşacağı tahmin edilmekte olduğunu belirtmiştir.

Faweyaand ve Babalola (2006) çalışmalarında, Nijerya'nın güney batısındaki seçilen şehirlerin atık toplama yerlerinden toplanan numunelerde radyonüklit içeriği ve ağır metalin gama spektroskopik tahlilleri gerçekleştirildi. Numunelerde ^{40}K , ^{226}Ra , ^{228}Th , ^{137}Cs , ^{109}Cd , ^{210}Pb , ^{214}Bi ve ^{208}Tl 'ye bağlı aktivite konsantrasyon seviyeleri, eş-eksenli Ge dedektörü kullanılarak belirlendi. Ölçümler sonucunda yaptığı bu çalışmada numenlerin toplandığı yerlerde tarım ve inşaat alanının uygun olamayacağı sonucuna varılmıştır.

Alaamer (2008) çalışmasında, Riyad kentinin çeşitli bölgelerinden alınan toprak numunelerinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K 'lık bir orana sahiptir. Aktivite konsantrasyonları yüksek çözünürlüklü gama ışını spektrometresi vasıtasıyla ölçülmüştür. Riyad şehrinin her yerinden 100 numune toplandı. Bu radyonüklitlerin ölçülen aktivite

konsantrasyonları dünya çapında bildirilen verilerle karşılaştırılmıştır. Ortalama ölçülen etkinlik konsantrasyonları ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K , 14.5 ± 3.9 Bq/kg, 11.2 ± 3.9 Bq/kg ve 225 ± 63 Bq/kg idi. Ortalama değerler radyum eşdeğer etkinliği, hava emilen gama radyasyon doz hızı ve dış radyasyon tehlike indeksi sırasıyla 47.8 Bq/kg, 23.3 nGy/h ve 0.13 Bq/kg idi. Yıllık etkili radyasyon dozu 0.14 mSv/y olarak hesaplandı.

Al-Juundi (2002) çalışmasında, Ürdün'ün russafia bölgesinde karasal gama radyasyonundan kaynaklanan maruz kalma oranları, eski bir fosfat madeni mevkiine yakın ve yoğun nüfuslu bir alanda ölçüldü. ^{238}U 'ya bağlı olarak havadaki emilen doz oranı 20.6'dan 223.4nGy/h'e değişir, ^{232}Th 'ye bağlı doz oranı 5.8'den 17.9nGy/h değişir. ^{40}K 'dan dolayı doz oranı 1.9-13.2nGy/h aralığındadır. Elde edilen değerler dünya çapında değerlerle karşılaştırılabilir olduğunu belirtmiştir

Bruzzi (2000) çalışmalarında İtalyan seramik endüstrisinde, fayanslarda ve seramik işlemlerinden kaynaklanan atık çamurlarda kullanılan zirkonyum mineralleri (zirkon ve baddeleyit) içerisindeki ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K değerindeki doğal radyoaktivite ölçülmüştür. Ölçümler, çok kanallı bir analizöre bağlı yüksek saflıkta bir germanyum (HPGe) detektörü bulunan γ -ışını spektrometresi ile yapıldı. Sonuçta Mineral numunelerde (sırasıyla > 3000 ve > 500 Bq/kg) gözlenen ^{238}U ve ^{232}Th 'lik ortalama konsantrasyonlar, yer kabuğunda bulunan konsantrasyonlardan bir veya iki büyüklük sırasıyla daha yüksektir. Fayans ve çamurların spesifik aktiviteleri zirkonyum minerallerinden çok daha düşüktür. Fayanstaki ^{238}U ve ^{232}Th konsantrasyonları (diğer bir deyişle 50-79 ve 52-66 Bq/kg) diğer yapı malzemelerinden daha yüksek değildir. Çamur konsantrasyonu ^{238}U (116-193 Bq/kg), yer kabuğunun ortalama değerinden 4-6 kat daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Farai ve Jibiri,(2000) çalışmalarında, Nijerya'daki farklı ortamlardaki toprakta ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th radyoaktivite konsantrasyonlarına bağlı radyasyona maruz kalma doz oranları, düşük maliyetli in situ metodu kullanılarak gerçekleştirildi. Ölçümler, ülkenin üç büyük bölgesine yayılmış 18 ilde yapıldı. Bu radyonüklitlerin topraktaki radyoaktivite konsantrasyonları, Havadaki radyasyon soğurma doz oranları. Doğu bölgesinde üç radyonüklitten dolayı ortalama toplam doz oranı, 0.025 ± 0.081 $\mu\text{Gy/h}$

arasındadır ve ortalama $0.040 \pm 0.006 \mu\text{Gy/h}$, 0.041 ve $0.214 \mu\text{Gy/h}$ 'dir Batı bölgesi için $0.089 \pm 0.014 \mu\text{Gy/h}$ ve $0.066-0.222 \mu\text{Gy/h}$ arasında, kuzey bölgesi için ortalama $0.102 \pm 0.032 \mu\text{Gy/h}$ olmuştur. Doğu, Batı ve Kuzey bölgelerinde sırasıyla $51 \pm 8 \mu\text{Sv/y}$, $114 \pm 18 \mu\text{Sv/y}$ ve $130 \pm 41 \mu\text{Sv/y}$ yıllık açık hava efektif doz eşdeğerleri tahmin edilmiştir. Ülkenin yıllık ortalama etkin doz eşdeğeri $98 \pm 15 \mu\text{Sv/y}$ ve toplu etkin doz eşdeğeri $9.7 \times 10^3 \text{ man.Sv/y}$ olarak tahmin edilmiştir. Ölçülen değerler, araştırılan herhangi bir bölgede hiçbir yapay radyonüklit tespit edilmediği için, doğal radyoaktivitenin temel değerlerini temsil ettiği düşüncesi sonucuna varmışlardır.

Farai ve Ademola (2001) çalışmalarında, Nijeryanın İbadan bölgesinde rastgele numunelenmiş bazı beton yapı bloklarının doğal radyonüklid içeriği NaI (TI) gama ışını spektrometresi kullanılarak belirlenmiştir. ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklidleri sırasıyla şehir ortalama özgül aktiviteleri $47 \pm 21 \text{ Bq/kg}$, $52 \pm 21 \text{ Bq/kg}$ ve $352 \pm 222 \text{ Bq/kg}$ ile belirlendi. Bu aktiviteler yaklaşık 150 Bq/kg radyum eşdeğeri tutarında olup, önerilen maksimum değer olan 370 Bq/kg 'den daha düşüktür. Dış tehlike indeksinin ortalama değeri 0.41 bulundu. Bu, Ibadan şehrinde kullanılan yapı taşlarının kabul edilebilir radyoaktif seviyede olduğunu ima etmektedir. Bireylerin duvarlara bağlı eşdeğer dozu $412 \mu\text{Sv/y}$ ve toplu doz eşdeğeri 563 man.Sv/y olarak sonucuna varılmıştır.

Fatima vd (2008) çalışmalarında, Pakistan'ın güney Pencap'unun en kalabalık bölgesinden toplanan toprak numunelerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları gama ışını spektrometresi ile ölçülmüştür. Bu radyonüklitlerin ölçülen aktivite konsantrasyonları, farklı ülkelerden gelen raporlanan verilerle karşılaştırılmakta ve ölçülen aktivite konsantrasyonlarının UNSCEAR tarafından rapor edilen dünya çapında ölçülen ortalama değerlerle karşılaştırılabilir olduğu bulunmuştur. Daha sonra radyolojik etkiler değerlendirildiğinde ortalama radyum eşdeğer etkinliğinin (R_{eq}) $96,7 \pm 15,2 \text{ Bq/kg}$ olduğu ve hava emilen doz oranı (D) $46,1 \pm 7,3 \text{ nGy/h}$ olduğu gösterildi. İç ve dış radyasyon tehlike indekslerinin değerleri birlikten daha düşük bulunmuştur. Yıllık etkin radyasyon dozu, $0,28 \pm 0,05 \text{ mSv}$ olarak hesaplanmıştır ve bu, Uluslararası Halkın Radyolojik Korunması

Komisyonu tarafından tavsiye edilen 1 mSv/y'in sınırının oldukça altındadır sonucuna varmışlardır.

Faweya ve Aduloju (2007) çalışmalarında, Nijerya'nın güneybatısındaki seçilen şehirler gerçekleştirildi. Atık toplama yerlerinden alınan toprak numunelerindeki radyonüklit içeriği ve ağır metalin gama spektroskopik tahlilleri Numunelerde ^{40}K , ^{226}Ra , ^{228}Th , ^{137}Cs , ^{109}Cd , ^{210}Pb , ^{214}Bi ve ^{208}Tl 'ye bağlı aktivite konsantrasyon seviyeleri, eş eksenli Ge dedektörü kullanılarak belirlendi. Maksimum ^{40}K , ^{226}Ra , ^{228}Th ve ^{137}Cs konsantrasyonları, Ado, Abeokuta, Lagos, ve diğer ülkelerde 357 ± 12 , 68 ± 7 , 132 ± 10 ve 0.96 Bq/kg ve Ibadan; Akure, Ado, Osogbo'da minimum konsantrasyonlar 180 ± 6 , 40 ± 5 , 22 ± 2 ve 0.19 Bq/kg'dir. Sırasıyla Abeokuta. ^{208}Ti , ^{210}Pb , ^{214}Bi ve ^{109}Cd ağır metallerin maksimum konsantrasyonları 35 ± 1 , 46 ± 5 , Lagos, Ibadan ve Ado'da 104 ± 7 ve 49 ± 1 Bq/kg, minimum konsantrasyonlar 5 ± 0.24 , 20 ± 3 , 17 ± 2 Bq/kg ve Ado ve Ibadan'da sırasıyla 40 ± 1 Bq/kg. En yüksek ve en düşük ortalama açık etkili doz oranları; Lagos ve Ibadan'da olduğu sonucuna varmışlardır.

Ibrahim (1999) çalışmasında, yedi çeşit yapı malzemesi ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için doğrudan γ sayma yöntemi kullanılarak analiz edildi. ^{238}U (30-448 Bq/kg) ve ^{40}K (328-7541 Bq/kg) için ölçülen etkinlik konsantrasyonları, tüm yapı malzemeleri için toprak için dünya ortalama aktivitesinden (sırasıyla 25 ve 370 Bq/kg) daha yüksekti analiz edildi ve ^{232}Th 'lik aktivite konsantrasyonlarının, kırmızı kil tuğlası (51 Bq/kg) ve tavan asbest sac malzemeleri (162 Bq/kg) için ortalama 25 Bq/kg'i (toprak) aştığı tespit edildi. Tüm malzemeler için hesaplanan Ra eşdeğeri aktiviteleri (Raeq), toprak için dünya ortalama değerinden (89 Bq kg^{-1}) daha yüksektir. Kırmızı tuğlalı tuğla ve tavan asbestinde, Raeq değerlerinin 370 Bq kg^{-1} sınırını aştığı ve bunun 1.5 mSv/y'lik bir γ dozuna denk olduğu sonucuna varmıştır.

Jibiri ve Adewuyi (2008) çalışmalarında, atık ürünlerdeki radyonüklit içeriği ve Lagos kentindeki bazı seçilmiş sanayilerin atık numunelerinin fiziko-kimyasal karakterizasyonu gerçekleştirildi. Katı atıklardaki ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{228}Th 'ye bağlı radyoaktivite konsantrasyon seviyeleri gamma-ışını spektrometresi kullanılarak belirlenirken, parametrelerin fiziko-kimyasal olarak belirlenmesi standart ölçüm

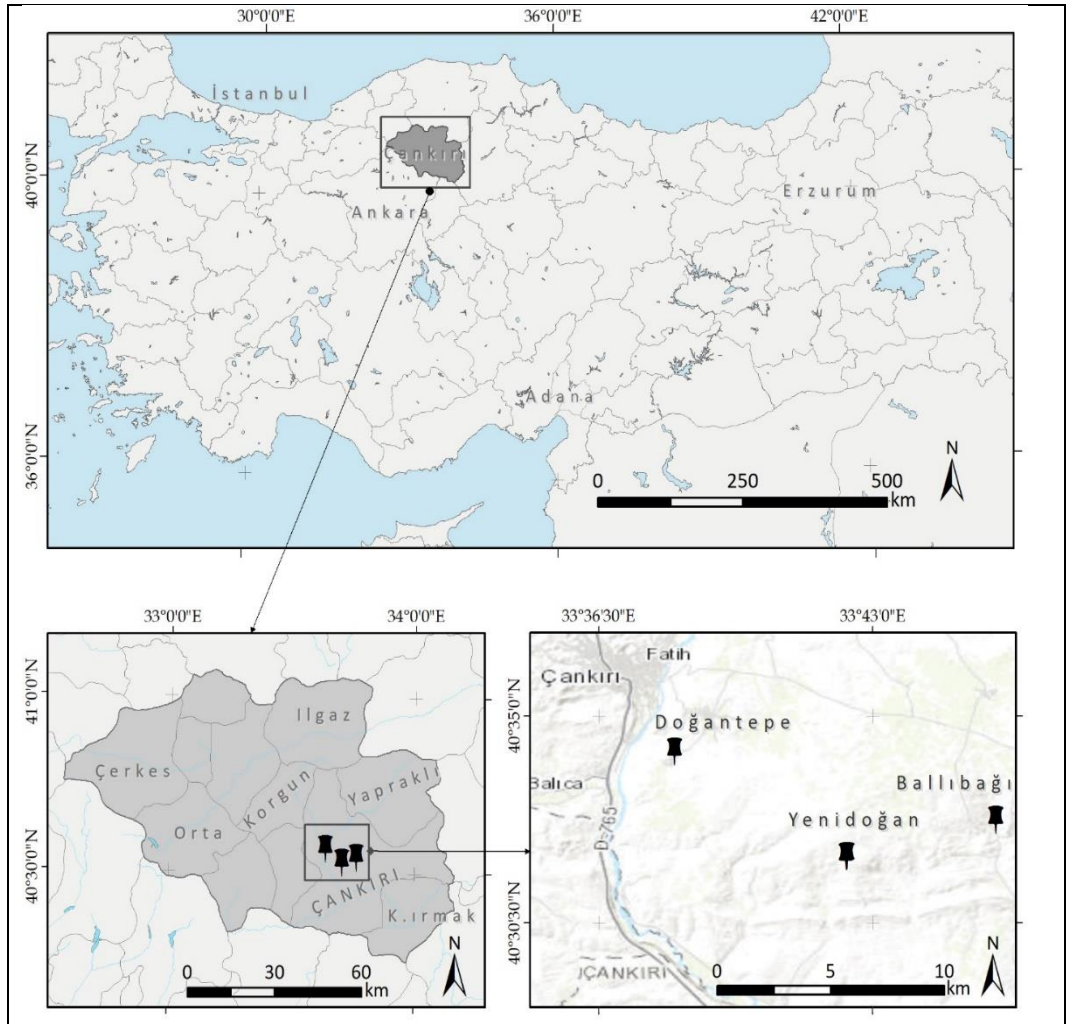
yöntemlerine dayanmaktadır. Elde edilen ortalama radyoaktivite seviyeleri, ^{40}K için 104 ± 14 Bq/kg, 1276 ± 31 Bq/kg, 866 ± 18 Bq/kg ve ^{226}Ra için 122 ± 23 Bq/kg arasında, ^{228}Th için ise 14 ± 2 Bq/kg ve 73 ± 10 Bq/kg. Numunelerin hiçbirinde hiçbir yapay radyoaktif element tespit edilmemiştir. Şehrin bu atık maddelerinden gama maruziyetine bağlı olarak ortalama açık etkili doz oranı, 0.12 mSv/y olarak hesaplandı. Birleşmiş Milletler Atom Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi (UNSCEAR) tarafından halkın üyeleri için 1 mSv/y tavsiye edilen sınırın çok altında. Atık numunelerin pH'ı hafif alkalinken, elektriksel iletkenlik 275 ve 455 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişirken toplam askıda katı madde 104 ila 5616 mg^{-1} arasında değişiyordu. Tüm bu aralıklar ve biyokimyasal ve kimyasal oksijen talep değerlerinin hepsi öngörülen sınırlardan daha yüksektir.

Yukarıdaki literatür çalışmalarının değerlendirilmesinden de anlaşılacağı gibi sonucunda, tez kapsamında yapılan bu çalışma, Türkiye'de önemli tuz üretim merkezi olan Çankırı iline ait tuz ocaklarından toplanan kaya tuzu örneklerinin içerdiği doğal radyonüklit ve ağır metal seviyelerinin belirlenmesine yönelik olarak yapılan ilk çalışmadır.

2. MALZEME VE ANALİZ YÖNTEMLERİ

2.1. Kaya Tuzu Örneklerinin Toplanması

Kaya Tuzu Örnekleri, Çankırı ili sınırları içerisinde Yenidoğan, Ballıbağı Köyü ve Doğan-tepe Mevkilerinde bulunan 3 farklı tuz madeni ocağından Harita 2.1’de gösterilen noktalardan toplandı. Her bir tuz maden ocağının farklı noktalarından 15’er adet numune olmak üzere toplamda 45 adet kaya tuzu örneği plastik poşetlerde muhafaza edilerek laboratuvara getirildi ve kurutulmaya bırakıldı.



2.2. Kaya Tuzu Örneklerinin Analiz İşlemleri İçin Hazırlanması

Kaya tuz örnekleri gama-ışını spektrometrik ölçülerde dedektörün kalibrasyon için kullanılan referans malzeme ile aynı geometriye sahip olabilmesi amacıyla fiziksel yollarla öğütülerek toz haline getirildi. Her bir örnek toplandıkları yer ve noktalara ait bilgileri içerecek şekilde T ile kodlandı. Gama-ışını spektrometrik analizler için her bir kaya tuzu örneği, kalibrasyon kaynakları ile aynı boyuta sahip 5x6 cm'lik ebatlara sahip polietilen örnek kaplarına aktarıldı ve tartma işleminden geçirilerek net ağırlıkları belirlendi. Parafilm bant ile kapak bölümlere sıkıca sarılan örnek kapları, radyum (^{226}Ra) ve bozunum ürünü olan radon (^{222}Rn) arasındaki kalıcı dengeyi sağlamak amacıyla 45 gün bekletildi.

2.3. Analiz Yöntemleri

Tez kapsamında, kaya tuzu örneklerinin doğal olarak içerdiği (1) radyonüklitlerin (^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K) aktivite derişimleri (seviyeleri), bir HPGe dedektörlü gama-ışını ve (2) ana element ve/veya ağır metal seviyeleri, X-ışını spektrometrik yöntem kullanılarak belirlendi.

Bu çalışmada, radyonüklitlerin aktivite derişimleri ise doğrudan, tahribatsız, hızlı, güvenilir bir yöntem olan gama-ışını spektrometresi kullanılarak belirlendi (Knoll, 2000). Tuz örneklerinin ağır metal içerikleri, güvenilir, hızlı, kesinliği ve tekrarlanabilirliği çok yüksek bir analiz yöntemi olan XRF spektrometrik analiz yöntemi kullanılarak belirlendi (Shackley, 2013; Grieken ve Margui, 2013; Brouwer, 2013; Yıldırım, 2018). X- ve gama-ışını spektrometreleri genelde kaynak, dedektör, dedektör zırhı, yüksek gerilim kaynağı, ön yükselteç, yükselteç, analog-sayısal dönüştürücü (ADC), çok kanallı analizör veya bilgisayar ve yazıcıdan oluşur (Temirci, 2017; Yıldırım, 2018).

Son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte yükselteç ve ADC'nin yerine sayısal sinyal işleme (DSP, digital signal processing) elektroniği almıştır. Bu sistemin fonksiyonu, elektrik sinyal darbelerini oluşturan elektronları toplamak, bu darbeleri işlemek ve yüksekliğe veya enerjiye göre sıralamaktır. Gama-ışını spektrometresinde kaynak, gama-ışını yayınlayan radyonüklitlerin içeren analiz edilecek örnek oluştururken,

XRF spektrometrelerinde, kaynak olarak ^{241}Am gibi radyoaktif kaynak, sinkrotron radyasyonunu ve genellikle X-ışını tüpü kullanılmaktadır. Gama-ışını spektrometresinden farklı olarak dalga boyu dağılımlı (WDXRF) ve enerji dağılımlı (EDXRF) olmak üzere iki tip XRF spektrometresi mevcuttur. Bu iki sistem arasındaki fark, dedeksiyon sisteminden ileri gelmektedir. EDXRF spektrometresinde, örnekten doğrudan gelen farklı enerjilerdeki karakteristik ışını ölçme kapasitesine sahip bir dedektör kullanılmaktadır. Dedektör, örnekten gelen radyasyonu, örnek içindeki elementlerden gelen radyasyona ayırabilir. Bu ayırma işlemi dağılım olarak isimlendirilir. EDXRF spektrometreleri, 2D ve 3D optiklere sahip spektrometrelere ayrılabilir. Her ikisi de bir kaynak ve bir enerji dağılımlı dedektöre sahiptir ancak X-ışını optik yolunda fark olabilir. 2D spektrometreleri için X-ışını yolu bir düzlemedir (dolayısıyla iki boyutludur). 3D spektrometreleri optik için yol bir düzlemde sınırlı değildir ve üç boyut içerir. Bir WDXRF spektrometresinin ilk kısmı, 2D optikli ve ikinci hedefi olmayan bir EDXRF spektrometresine eş değerdir. Bir WDXRF spektrometresinde, algılama sistemi farklı olmasına rağmen EDXRF spektrometresinde olduğu gibi X-ışını tüpünden elde edilen X-ışını fotonları ile örnek bombardıman tabii tutular ve örnekten gelen karakteristik X-ışınları algılanır. Bir WDXRF spektrometresinde algılama sistemi, bir doğrultucu (kolimatör) setinden, bir kırınım (difraksiyon) kristalinden ve bir dedektörden oluşmaktadır. Örnekten gelen karakteristik X-ışını kristal üzerine düşer ve kristal aynı prizmanın beyaz ışığı kırınımına uğrattığı gibi X-ışınlarını farklı yönlerde farklı dalga boylarına (enerjilerine) ayıracak şekilde kırınımına uğratar. Dedektör belli açılara yerleştirilerek belirli dalga boyuna sahip X-ışınları şiddeti ölçülebilir. Ayrıca bir gönyometre üzerine bir dedektör monte edilerek bu dedektör, birçok dalga boyundaki X-ışınlarının şiddetini ölçebilmek için belli bir açı aralığında hareket ettirilebilir (Yıldırım, 2018).

X- veya gama-ışınlarının etkileşerek elektronları oluşturduğu ortam olarak bilinen detektör, spektrometrenin en önemli kısmıdır. Gama-ışını spektrometrelerinde NaI(Tl), CsI(Tl), Li(Eu), BGO, ZnS(Ag), CaF₂(Eu) vb. inorganik sintilasyon dedektörleri veya yarı iletken dedektörler kullanılmaktadır. Ancak, NaI(Tl) veya HPGe dedektörleri yaygın olarak kullanılmaktadır (Temirci, 2017). NaI(Tl) dedektörlerinin algılama verimi yüksek ancak ayırma gücü zayıf ve HPGe

dedektörünün ayırma gücü yüksek ancak algılama verimi düşüktür (Knoll, 2000). HPGe dedektörlerinin performansı, uzun süreden beri denenmiş ve uluslararası standartlar ile onaylanmıştır (Knoll, 2000; Temirci, 2017). X-ışını spektrometrelerinde ise Si(Li) veya Si yarıiletken dedektörler kullanılmaktadır. Gama-ışını fotonlarının algılanması ve ölçülmesine yönelik olarak uygun çözünürlük ve algılama verimi, bir HPGe dedektörünün, 4000 V'a kadar bir geri besleme geriliminde çalıştırılması ve 77 K sıcaklıktaki sıvı azot sıcaklığında tutulması ile temin edilmektedir (Knoll, 2000; Temirci, 2017). Sıvı azotun kullanılması aynı zamanda ısı ıyırılma ile sonuçlanabilecek elektronik gürültüyü en aza indirgeyebilir. X- veya gama-ışınının algılanması ve ölçülmesi, dedektör malzemesi ile etkileşme sürecine dayanır. Dedektörün boşaltım bölgesinde oluşan yük taşıyıcılar, foton ile dedektör malzemesi arasındaki fotoelektrik, Compton saçılması ve çift oluşumu süreci sonucunda oluşur. Bu etkileşme süreçleri ve süreç sonucunda meydana gelen foto piklerin oluşturduğu X- veya gama-ışını spektrum, Şekil 2.1'de gösterilmektedir.

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

$$N = \epsilon \cdot A \quad (2.1)$$

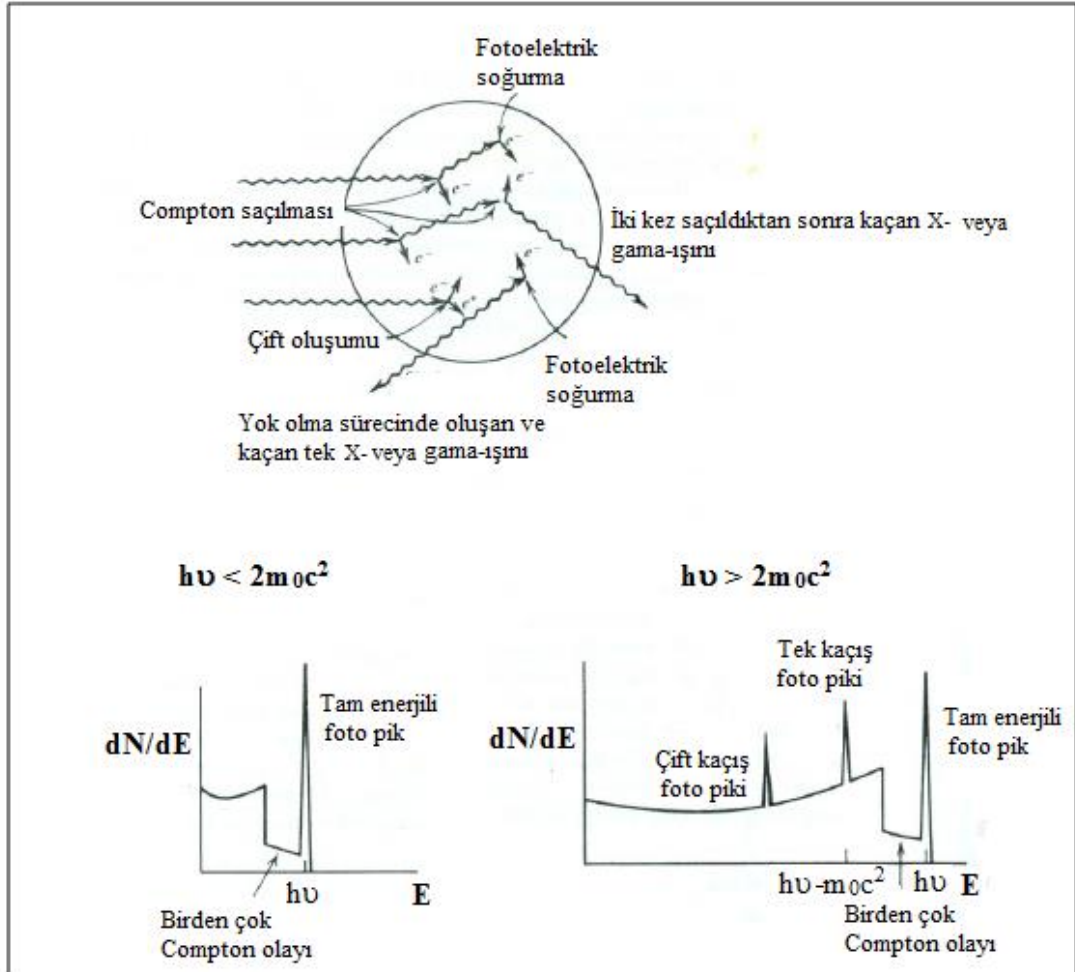
bağıntısı ile verilir. Burada,

A: Kaynağın aktivitesi ve

N: Dedektörde meydana gelen olay sayısıdır.

Bir HPGe dedektörü için mutlak verim, kristal özgün (intrinsic) verim, bağıl (relative) verim ve tam enerjili foto pik verimi olmak üzere dört farklı verim söz konusudur. Bağıl verim, HPGe dedektörlerinin tam enerjili foto pik veriminin, genelde, 7,62 cm x 7,62 cm ebadındaki NaI (Tl) sintilasyon dedektörüne 25 cm'lik mesafede bulunan bir ^{60}Co kaynağından yayınlanan 1,33 MeV enerjili gama-ışınının

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



Şekil 2.1. X- veya gama-ışını etkileşme süreçleri ve fotopik oluşumu

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

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

Kaya tuzu örneklerinin içerdiği ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerinin aktivite derişimleri, Çukurova Üniversitesi Gülten Günel Radyoaktivite Ölçme Laboratuvarında bulunan ve teknik özellikleri Tablo 2.1’de verilen eş eksenli ve p-tipi HPGe detektörlü (GX5020) gama-ışını spektrometresi (Fotoğraf 2.1) kullanılarak ölçüldü (Gören, 2016). Laboratuvar ortamındaki doğal radyasyonu en aza indirebilmek amacıyla detektör, 9,5 mm kalınlığındaki çelik iskelet içinde 100 mm kalınlığında kurşun ile zırhlanmıştır. Kurşun zırhın iç kısmı, 72–88 keV enerji aralığındaki Pb X-ışınlarını önlemek için 1 mm kalınlığında Cd ile ve 24-28 keV aralığındaki X-ışınlarını önlemek için 1,5 mm kalınlığında Cu ile kaplanmıştır. Zırh içerisindeki etrafa saçılan radyasyonu en aza düşürmek için detektör zırhın merkezine konumlandırılmıştır. 50 L hacimli vakumlu (çift duvarlı) sıvı azot kabı azot soğutması için kullanılmıştır (Gören, 2016). Detektör, ileri sayısal sinyal işleme (DSP) içeren ve tam özellikli 16-K çok kanallı sayısal spektrum analizörüne (DSA-1000) bağlıdır. DSA-1000, fotopikleri otomatik olarak bulan, fotopikleri değerlendiren, fotopiklerin belirsizliğini hesaplayan, kütüphanesi ile gerektiğinde radyonüklitleri belirleyen ve aktivite analizlerini yapabilen Genie-2000 gama spektroskopisi yazılım ile çalışmaktadır.

Tablo 2.1. Yüksek saflıkta germanyum dedektörünün özellikleri

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



Fotoğraf 2.1. HPGe dedektörlü gama-ışını spektrometresi

Tablo 2.1’de özellikleri verilen HPGe dedektörünün tam enerjili fotopik verim kalibrasyonu, Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu (International Atomic Energy Authority, IAEA) tarafından hazırlanan uranyum (RGU-1), toryum (RGTh-1) ve potasyum (RGK-1) referans malzemeler kullanılarak yapıldı (Gören, 2016). Örneklerin içerdiği radyonüklitlerin aktivitesi (A),

$$A = \frac{C}{\varepsilon(E_\gamma) \cdot P_\gamma \cdot M \cdot t} \quad (2.2)$$

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

$$\frac{\Delta A}{A} = \sqrt{\left(\frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon}\right)^2 + \left(\frac{\Delta P_\gamma}{P_\gamma}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{C}\right)^2} \quad (2.3)$$

bağıntısı ile bulundu. Burada,

A ve ΔA : Aktivite ve belirsizliği,

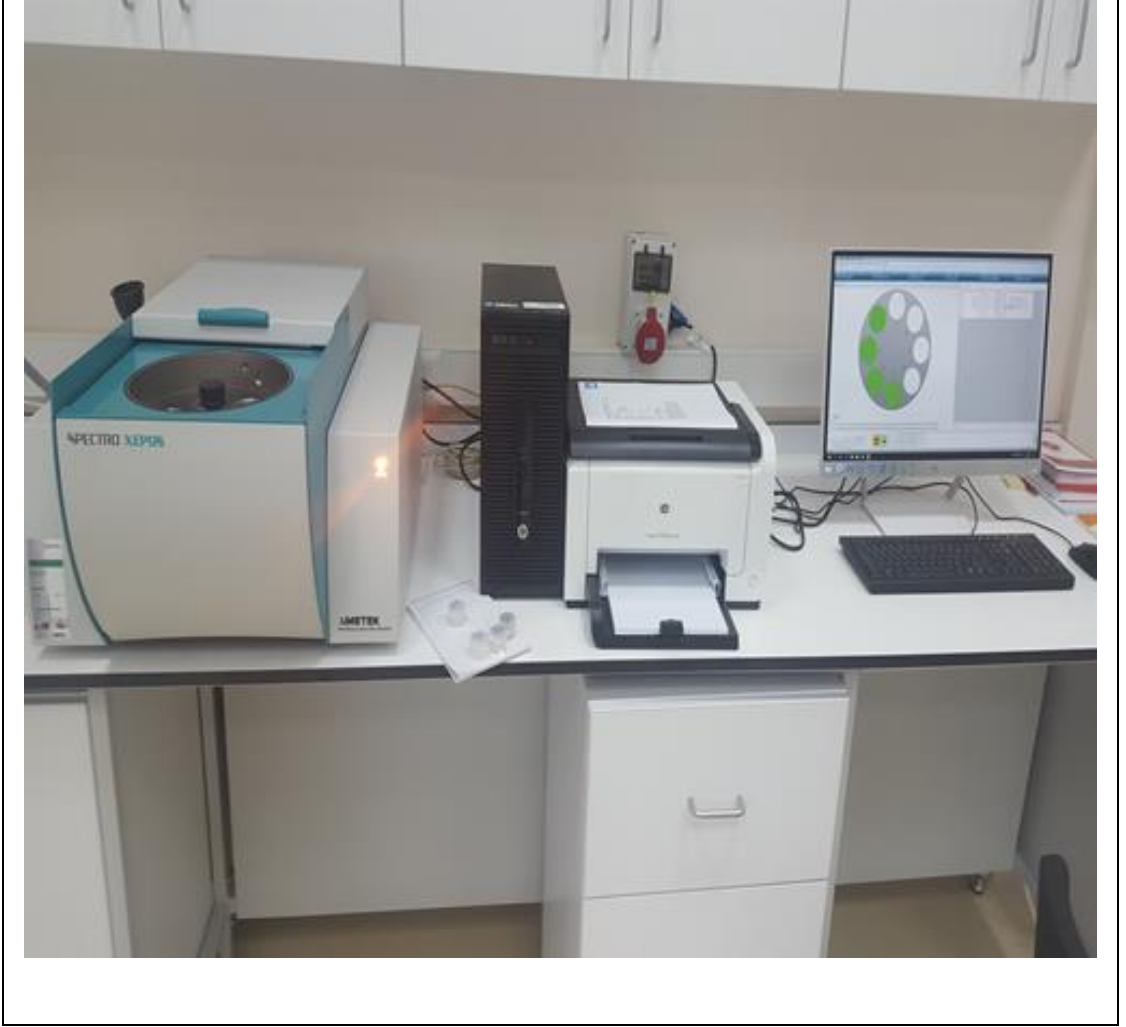
ε ve $\Delta \varepsilon$: İlgili fotopik için verim ve belirsizliği,

P_γ ve ΔP_γ : Yayınlanma olasılığı ve belirsizliği ve

C ve ΔC : İlgili fotopikin net alanı ve belirsizliğidir.

Kaya tuzu örneklerinin doğal olarak içerdiği ana (esansiyel) ve/veya ağır metal seviyeleri. Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan EDXRF spektrometresi (Spektro Xepos) kullanılarak yapıldı (Fotoğraf 2.2). 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’a kadar bütün elementlerin belirlenmesini en iyi şekilde yapmayı garanti eden birçok farklı uyarma şartlarına sahiptir. Ölçme işlemleri, helyum (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.



Fotoğraf 2.2. EDXRF spektrometresi

2.3.1. İyonlaştırıcı Radyasyon

Radyasyon, enerjinin parçacık veya elektromanyetik dalga olarak uzayda yayılması veya taşınması olarak tarif edilebilir (Temirci, 2017). Radyasyon etkileşmesine göre iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olmak üzere ikiye ayrılır. Etkileştiği maddenin içerdiği atom veya molekülün dış yörüngesinden bir elektron koparmak için yeterli enerjiye sahip radyasyon İyonlaştırıcı radyasyon olarak tanımlanır (Krane, 1988; Temirci, 2017). Alfa, beta vb. yüklü parçacıklar, doğrudan iyonlaştırıcı tanecik radyasyon olarak bilinirken elektromanyetik spektrumun yüksek

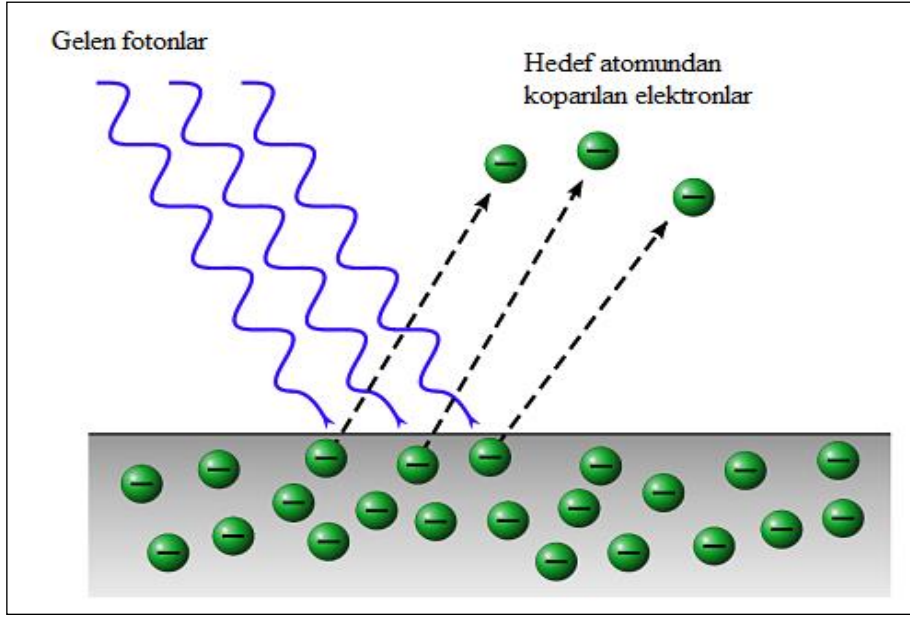
frekans bölgesinde yer alan elektromanyetik dalga özelliğine sahip X- ve gama-ışınları yükü olmayan dolaylı iyonlaştırıcı radyasyona olarak bilinir.

2.3.2. Elektromanyetik Radyasyonun Madde ile Etkileşmesi

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

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

Fotoelektrik olayında, bir foton, soğurucu malzemeyi oluşturan atomlar ile etkileşmeye maruz kalır. Fotoelektrik süreç sonucunda, enerjisi tamamen soğurulan fotonun yerini soğurucu atomun dış yörüngesinden fırlatılan enerjik foto-elektron alır (Temirci, 2017). Fotoelektrik olay, Şekil 2.2’de gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Fotoelektrik olayı

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

$$E_e = hv - E_b \quad (2.4)$$

bağıntısı ile verilir. Burada, h : Planck sabiti, v : Gelen ışının frekansı ve E_b : Foto-elektronun bağlanma enerjisidir.

Birkaç yüz keV'den daha büyük enerjili gama- ve X-ışınları için foto-elektronlar, orijinal foton enerjisinin büyük bir kısmına sahip olur. Foto-elektrona ilave olarak etkileşme aynı zamanda elektron tabakasında boşluk olan iyonlaşmış soğurucu atomu da meydana getirir. Bu elektron boşluğu, ortamdan serbest bir elektronun yakalanması ve/veya atomunun elektron tabakalarındaki elektronların yeniden düzenlenmesi ile hızlı bir şekilde doldurulur ve sonuç olarak bir veya daha fazla karakteristik X-ışınları yayınlanabilir. Birçok durumda, bu X-ışınları fotoelektrik soğurma ile en yakın bölgede tekrar soğurulmasına rağmen bunların hareketi ve radyasyon dedektörlerinde olası kaçışları dedektör tepkisini etkileyebilir. Bu durumların bazı bölümlerinde, bir Auger elektron yayınlanması, karakteristik X-ışının yerini alabilir. Fotoelektrik etki, bağıl olarak düşük enerjili X- ve gama-ışınları için baskın bir etkileşme sürecidir. Süreç, aynı zamanda atom sayısı yüksek soğurucular için de etkilidir. Bütün X- veya gama-ışını enerjilerini ve atom sayısını

kapsayacak şekilde atom başına foto-elektrik soğurma ihtimali için geçerli tek bir analitik tanım olmamakla birlikte kaba bir yaklaşım,

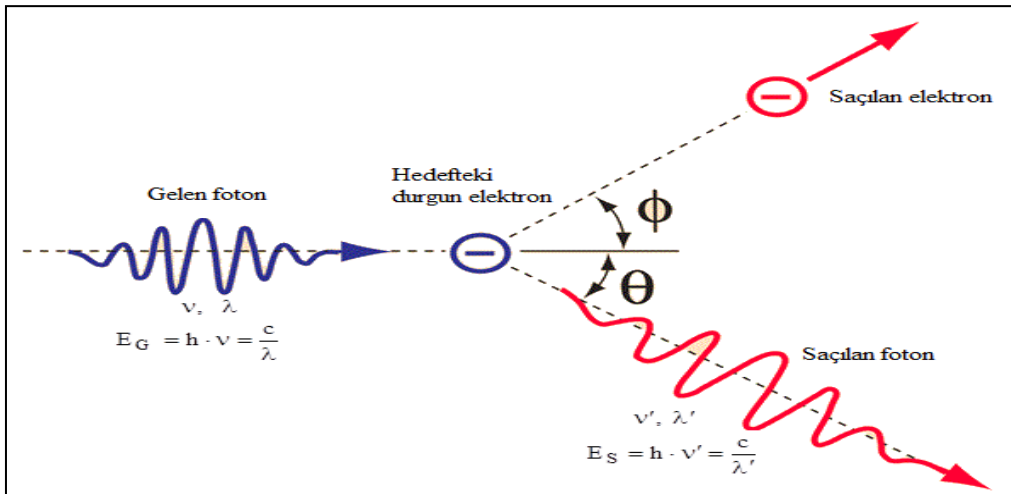
$$\tau \cong \text{sabit} \times \frac{Z^n}{E_{\gamma,X}^{3,5}} \quad (2.5)$$

bağıntısı ile verilebilir (Knoll, 2000; Temirci, 2017). Burada,

Z: Atom sayısı, E: Gelen X- ve gama-ışının enerjisidir ve: ilgilenilen gama-ışını ile ilgili olarak 4-5 aralığında değişmektedir.

Fotoelektrik soğurma ihtimalinin soğurucunun atom sayısına keskin bağımlılığı, atom sayısı yüksek olan soğurucu malzemelerin X- ve gama-ışını kaynaklarının zırlı için etkin bir şekilde tercih edilme sebebidir.

Compton saçılması süreci, gelen X- veya gama-ışını ile soğurucu malzemenin atomundaki bir elektron arasında gerçekleşir. Compton saçılması, Şekil 2.3'de gösterilmektedir. Compton saçılmasında, gelen foton orijinal yönüne (geliş açısına) göre bir θ açısı ile saçılır. Foton enerjisinin bir kısmını başlangıçta hareketsiz olarak kabul edilen elektrona aktararak onun da bir ϕ açısı ile saçılmasını sağlar. Saçılmalar bütün açılarda mümkün olduğundan elektrona aktarılan enerji, sıfırdan gama-ışını enerjisinin önemli bir kısmına kadar değişebilir (Knoll, 2000; Temirci, 2017).



Şekil 2. 3. Compton saçılması

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

$$E_S = \frac{E_G}{1 + \frac{E_G}{m_0 \cdot c^2} (1 - \cos \theta)} \quad (2.6)$$

bağıntısı ile verilir. Burada,

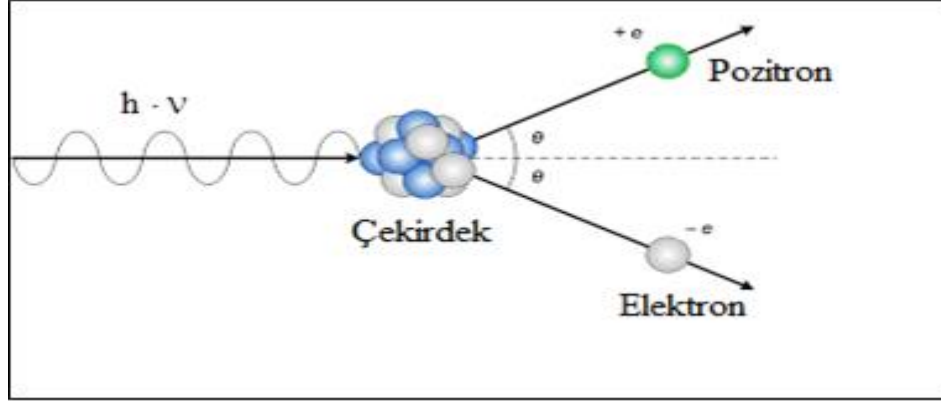
E_S : Saçılan fotonun enerjisi, ν : Saçılan fotonun frekansı, h ; Planck sabiti, E_G : Gelen fotonun enerjisi, ν : Gelen fotonun frekansı m_0 : Elektronun durgun enerjisi (0,511 MeV) ve θ : Gelen fotonun geliş açısına göre saçılma açısıdır. Compton kayması ($\Delta\lambda$) olarak bilinen saçılan fotonun dalga boyu (λ_S) ile gelen fotonun dalga boyu (λ_G) arasındaki fark,

$$\lambda_S - \lambda_G = \Delta\lambda = \frac{h}{m_0 \cdot c} (1 - \cos \theta) \quad (2.7)$$

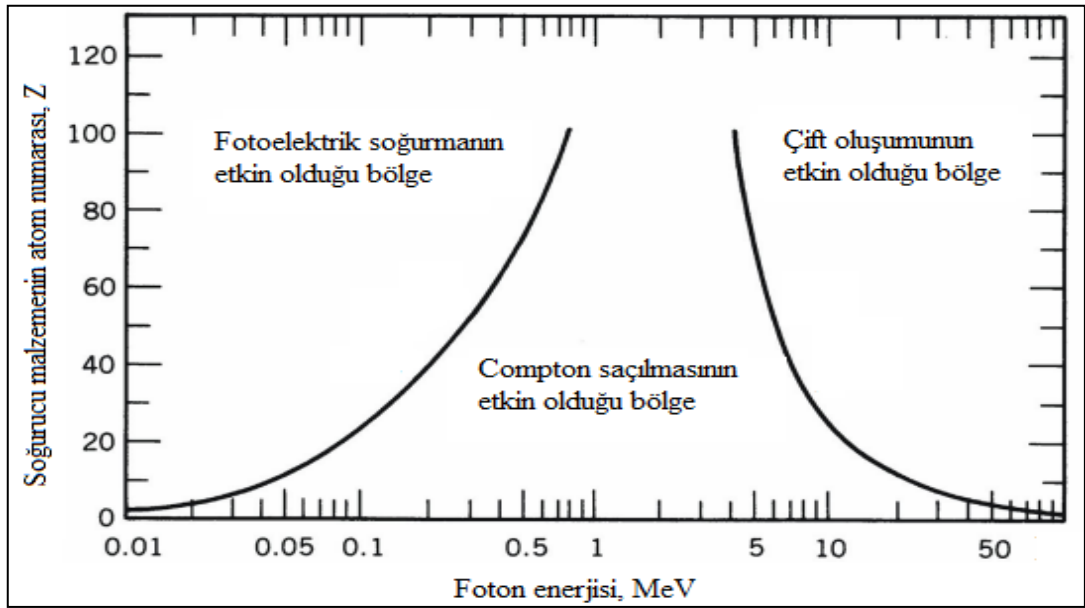
bağıntısı ile verilir. Soğurucu malzemenin içerdiği atom başına Compton saçılma ihtimali, hedef atomlarının elektron sayısına bağlıdır ve bu yüzden atom numarası Z ile doğru orantılı olarak artar (Temirci, 2017).

Çift oluşumu, foton ile madde etkileşmesinde üçüncü önemli süreçtir. Gelen fotonun enerjisi bir elektronun durgun kütle enerjisi olan 0,511 MeV'den iki kat daha büyükse ($>1,02$ MeV), çift oluşumu sürecinin meydana gelmesi enerjik olarak mümkündür. Uygulamada, bu etkileşmenin olma ihtimali, foton enerjisi birkaç MeV'e yaklaşıncaya kadar çok düşüktür ve bu yüzden çift oluşumu baskın olarak yüksek enerjili fotonlar için etkindir (Knoll, 2000; Temirci, 2017). Çift oluşumu, Şekil 2.4'te gösterilmektedir. Bir çekirdeğin Coulomb alanında meydana gelmesi gereken etkileşme sürecinde, X- veya gama-ışını fotonu, yerini bir elektron-pozitron çiftine bırakarak kaybolur. Çift oluşumu için gerekli olan 1,02 MeV enerjiden daha büyük enerjili fotonun sahip olduğu fazla enerjinin tamamı pozitron ve elektron tarafından paylaşılacak şekilde kinetik enerjiye dönüşür. Pozitron, soğurucu ortamda bir elektronla birleşerek yok olmak suretiyle yok olma radyasyonu olarak bilinen ve

X- ve gama-ışını dedektörlerinde önemli rol oynayan her birinin enerjisi 0,511 MeV olan iki gama-ışınına dönüşür. Çekirdek başına çift oluşumu ihtimalini veren basit bir formül olmamakla birlikte ihtimalin büyüklüğü, soğurucu malzemenin atom sayısını karesi ile değişmektedir (Knoll 2000, Temirci 2017).



Şekil 2.4. Çift oluşumu



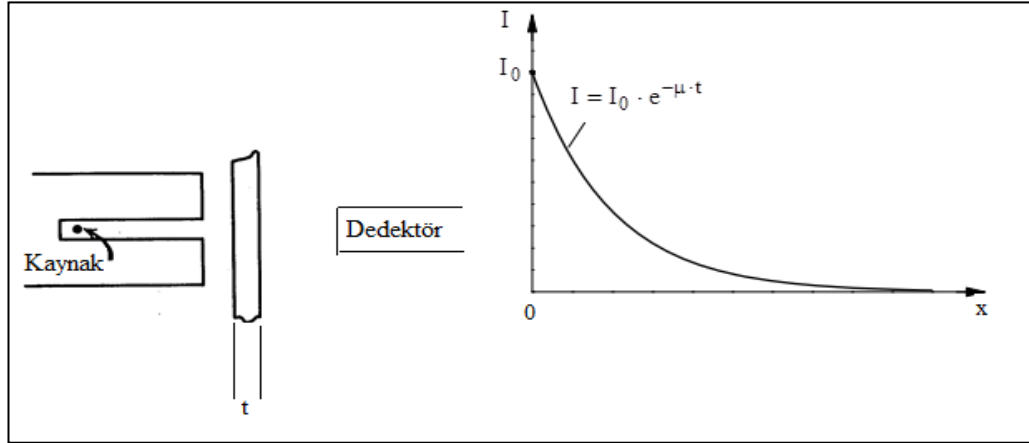
Şekil 2.5. Foton etkileşmesinin bağıl önemi (Knoll, 2000; Temirci, 2017)

Yukarıda sözü edilen üç etkileşme sürecinin farklı soğurucu malzemeler için izafi önemi veya hangi enerji aralıklarında etkili olabildikleri Şekil 2.5’de verilmektedir. Şekil 2.5’de gösterilen sol taraftaki çizgi, fotoelektrik soğurma ile Compton

saçılması ihtimallerinin, soğurucu malzemenin atom sayısına bağlı olarak eşit olduğu enerji değeridir. Sağ taraftaki çizgi ise, Compton saçılması ile çift oluşumu ihtimallerinin, soğurucu malzemenin atom sayısına bağlı olarak eşit olduğu enerji değeridir (Temirci, 2017).

Compton saçılmasına ilave olarak saçılmanın diğer bir tipi de X- veya gama-ışını fotonunun bağdaşık (uyumlu) olarak soğurucu malzemenin içerdiği atom elektronlarının tamamı ile etkileşmesidir. Etkileşme sonucunda herhangi bir elektron uyarmasının veya iyonlaşmanın olmadığı bu süreç, Rayleigh saçılması veya bağdaşık (coherent) saçılma olarak bilinir. Bununla birlikte meydana gelme ihtimali, tipik olarak birkaç yüz keV düşük enerjili fotonlar için önem kazanan ve atom numarası yüksek olan soğurucu malzemelerde belirgin olan bu saçılma sürecinde, fotonun yönü değişmektedir (Temirci, 2017).

Dar demet hâlinde kolime edilmiş tek enerjili X- veya gama-ışınlarının, Şekil 2.6'daki gibi t kalınlığında soğurucu malzemenin içinden geçtikten sonra dedektör üzerinde düştü kabul edildiğinde, X- veya gama-ışınlarının şiddeti, Şekil 2.6'nın sağ tarafındaki grafikte gösterildiği üstel olarak zayıflar.



Şekil 2.6. X- ve gama-ışını şiddetinin üstel zayıflaması (Knoll, 2000; Temirci, 2017)

Yukarıda sözü edilen etkileşme süreçlerinden her biri, soğurma veya saçılma yolu ile X- veya gama-ışını fotonunu demetten uzaklaştırır ve bu durum, soğurucu kalınlık içinde alınan birim yol uzunluğu başına meydana gelme ihtimali ile karakterize

edilebilir (Knoll, 2000). Bu ihtimallerin toplamı, basitçe X- veya gama-ışını fotonunun demetten uzaklaştırıldığı birim yol uzunluğu başına ihtimaliyettir ve

$$\mu = \tau \text{ (fotoelektrik)} + \sigma \text{ (Compton)} + \kappa \text{ (çift oluşumu)} \quad (2.8)$$

bağıntısı ile verilir. Burada, μ : Doğrusal zayıflatma katsayısı, τ : Fotoelektrik olma ihtimali, σ : Compton saçılması olma ihtimali, κ : Çift oluşum olma ihtimalidir. Böylece, yüzden geçen fotonların sayısının, başlangıçtaki (bir soğurucu olmadan) foton sayısına oranı,

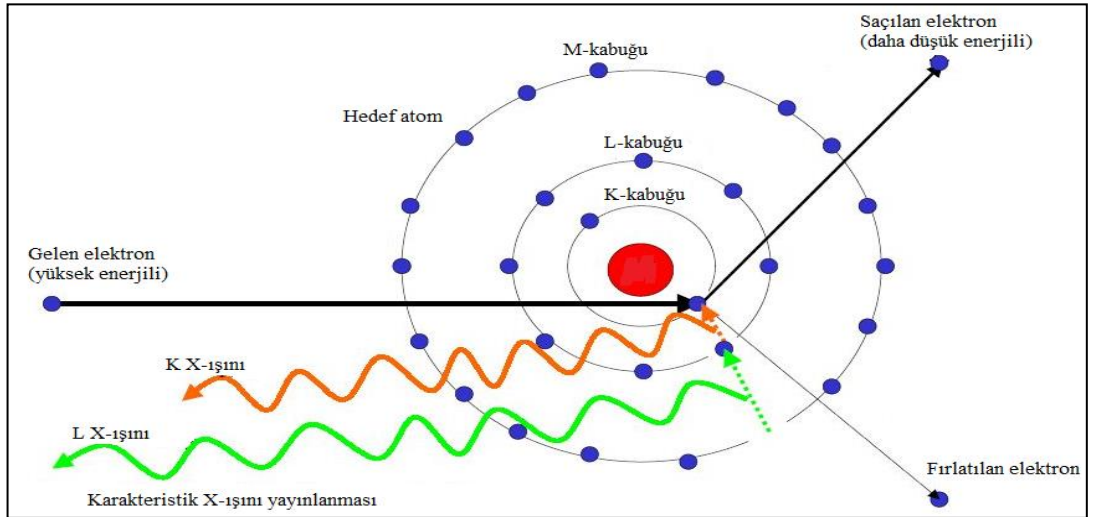
$$\frac{I}{I_0} = \exp(-\mu \cdot t) \quad (2.9)$$

bağıntısı ile ifade edilir. Burada, I : Yüzeyden geçen ışının şiddeti ve I_0 : Başlangıçtaki ışının şiddetidir.

2.3.3. Karakteristik X-ışınlarının Oluşumu

Atom çekirdeğinden dışa doğru elektronların bulunduğu kabuklar (tabakalar), K-kabuğu, L-kabuğu, M-kabuğu vb. olarak isimlendirilir (Yıldırım, 2018). L-kabuğu, L_I , L_{II} ve L_{III} olmak üzere üç alt kabuğa sahip iken M-kabuğu, M_I , M_{II} , M_{III} , M_{IV} ve M_V olmak üzere 5 alt kabuğa sahiptir. K-kabuğu 2, L-kabuğu 8 ve M-kabuğu 18 elektron içermektedir. Bir elektronun enerjisi, yer aldığı kabuğa ve ait olduğu elemente bağlıdır. X-, gama-ışını fotonu, yeterli enerjiye sahip elektronlar vb. enerjik parçacık veya elektromanyetik radyasyon hedef maddenin atomlarıyla etkileştiğinde, atomdan elektron(lar) koparır (Şekil 2.7). Bu durumda, elektronun koparıldığı kabukta, örneğin K-kabuğunda bir boşluk oluşur ve kararsız atom daha yüksek enerjili seviyeye uyarılmış olur. Atom uyarılmış durumdan kararlı durumuna (ilk durumuna) gelebilmek için meydana gelen elektron boşluğu daha dış kabuktaki (örneğin L-kabuğundaki) elektron ile doldurulur. K-kabuğuna göre daha yüksek enerjili L-kabuğundaki elektronun K-kabuğuna dönmesi sonucunda, fazla enerji karakteristik X-ışını fotonu olarak yayınlanır ve spektrumda bu bir çizgi olarak görülür. Yayınlanan X-ışınının enerjisi, ilk boşluğun yer aldığı kabuk ile boşluğun doldurulduğu kabuk arasındaki enerji farkına (örnek olarak K-kabuğu ile L-kabuğunun enerjileri arasındaki fark) bağlıdır. Her bir atom kendisine özgün enerji

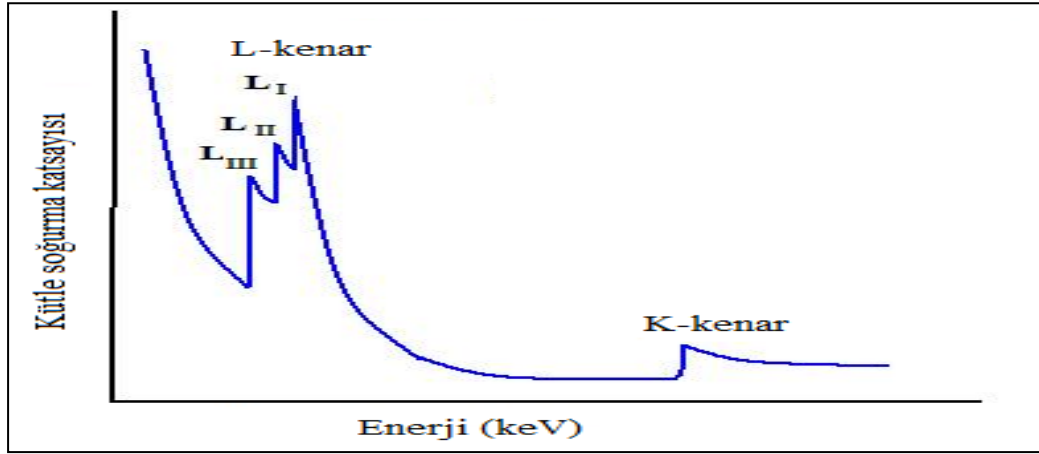
seviyelerine sahip olduğundan, yayınlanan radyasyonda, ilgili atomun bir karakteristiğidir. Elektron tabaklarında farklı boşluklar oluşabildiği ve bu boşluklarda farklı elektronlar tarafından doldurulabildiğinden, atom tek bir enerjiden (veya bir çizgiden) daha fazlasını yayınlar. Yayınlanan çizgiler, elementin karakteristiğidir ve elementin parmak izi olarak da kabul edilebilir (Yıldırım, 2018; Brouwer, 2013). Bir atomdan bir elektronun koparılması için gelen radyasyonun (veya ışının), elektronun bağlanma enerjisinden daha büyük bir enerjiye sahip olması gerekir. Eğer elektron koparılırsa, gelen radyasyon soğurulur ve yüksek soğurulma yüksek flüoresans oluşturur. Diğer taraftan enerji çok yüksekse, fotonların çoğu atomdan soğurulmadan geçer sadece birkaç elektron koparılır. Yüksek enerjilerin keskin bir şekilde soğurulduğu ve düşük flüoresans oluşturduğu Şekil 2.6'da gösterilmektedir. Gelen fotonların enerjisi daha düşük olursa ve K-kabuğu elektronlarının bağlanma enerjisine yakın gelirse, radyasyonun daha fazlası soğurulur. En yüksek verim, foton enerjisinin koparılacak elektronun bağlanma enerjisinin biraz üzerinde olduğu zaman elde edilir.



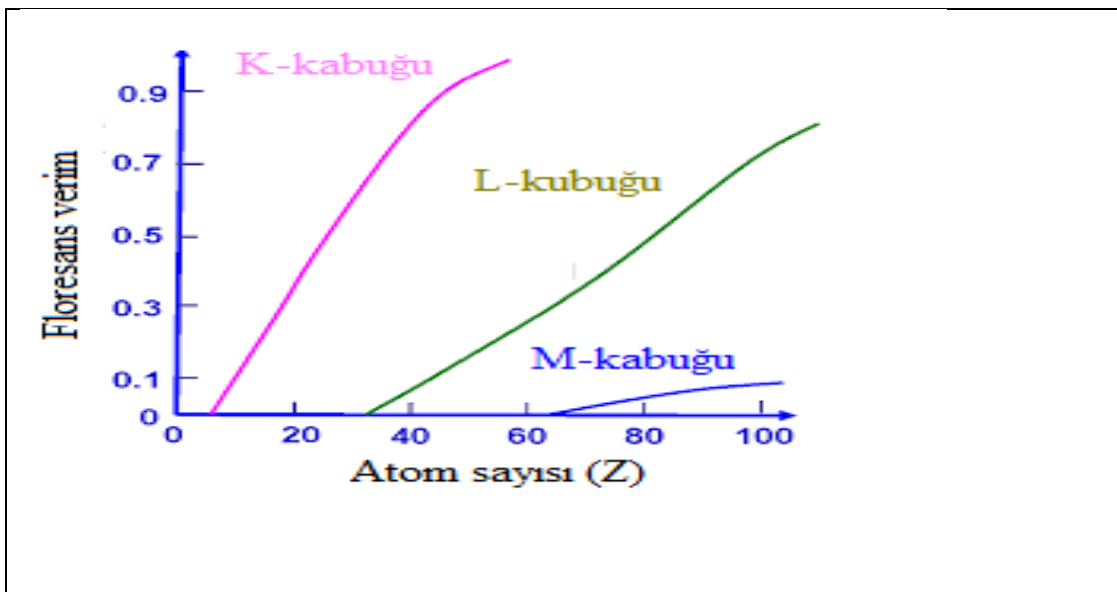
Şekil 2.7. Karakteristik X-ışınının oluşması (Brouwer, 2013; Yıldırım, 2018)

Gelen radyasyonun sebep olduğu başlangıçtaki boşlukların tamamı, flüoresans fotonlarını oluşturmayabilir. Bu durumda, Auger etkisi ile Auger elektronu yayınlanır. Flüoresans verimi, yayınlanan flüoresans fotonlarının başlangıçtaki

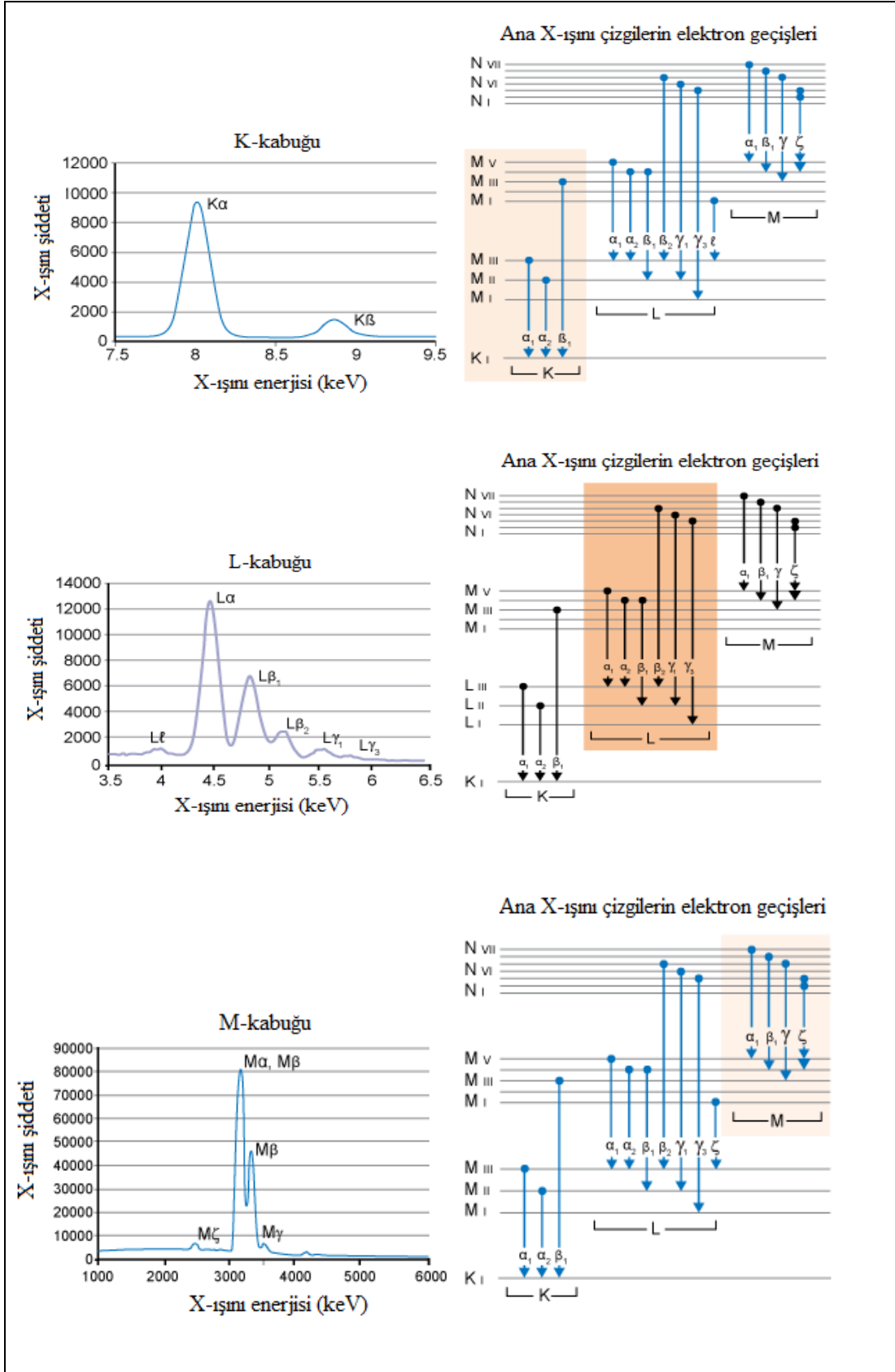
boşluk sayısına oran olarak tarif edilir. Şekil 2.9’da, K-, L- ve M-kabukları için flüoresans verimlerinin, atom sayısı Z ’nin fonksiyonu olarak nasıl değiştiğini gösterilmektedir. Hafif elementler için flüoresans verim düşük olduğundan, hafif elementlerin ölçümleri diğerlerine göre daha zordur. Farklı çizgileri göstermenin birkaç yolu vardır. Seigbahn notasyonu literatürde kullanılan notasyonlardan biridir. Seigbahn notasyonu, element sembolünü takip eden kabuk ismi ile bir çizgiyi gösterir. İlk elektron boşluğu, bağıl olarak çizgi şiddetine de işaret eden Yunan harfleri (α , β , γ vb.) ile gösterilir. Örneğin Fe $K\alpha$, K-kabuğundan koparılan bir elektron sebebiyle en kuvvetli demir çizgisidir.



Şekil 2. 8. Enerjiye karşı soğurulma (Brouwer, 2013; Yıldırım, 2018)



Şekil 2. 9. K, L ve M elektronları için flüoresans verim (Yıldırım, 2018)



Şekil 2.10. Ana çizgiler ve elektron geçişleri (Yıldırım, 2018)

2.3.4. X ve Gama Işını Spektrometrik Yöntem

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

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, kaya tuzu örneklerinde analiz edilen (1) ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitinin aktivite derişim değerleri, (2) kaya tuzu tüketilmesinden kaynaklanan yıllık etkin radyasyon dozu, (3) eser ağır metal (V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Mo ve Pb) derişim değerleri ve (4) günlük ağır metal alımı ile ilgili elde edilen veriler, tablolar ve grafikler hâlinde sunuldu.

3.1. Kaya Tuzu Örneklerinin Radyonüklit İçerikleri

Kaya tuzu örneklerinde ölçülen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K 'ın aktivite seviyeleri kuru ağırlık ve ölçme belirsizlikleri ile Tablo 3.1'de ve aktivite sonuçlarına ilişkin bazı tanımlayıcı istatistiki bilgi ise Tablo 3.2'de verilmiştir. Tuz örneklerinde ölçülen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K 'ın ortalama ölçülebilir en düşük aktivite (ÖEA) değeri, sırasıyla 0,2 Bq/kg, 0,3 Bq/kg ve 2,0 Bq/kg olarak bulundu.

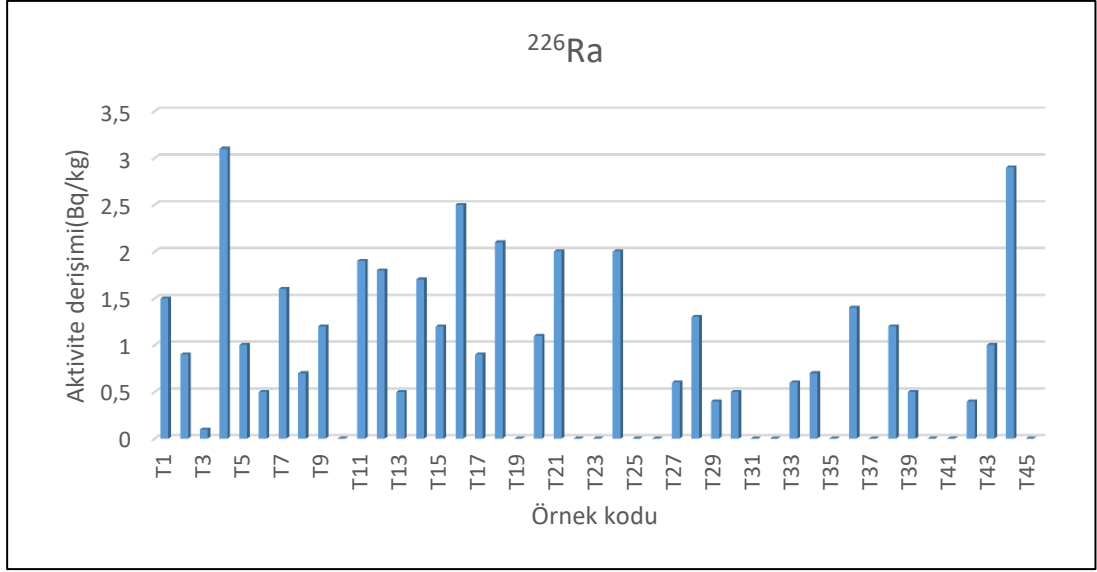
Tablo 3.1. Kaya tuzu örneklerinde ölçülen radyonüklit seviyeleri

Örnek kodu	Aktivite Derişimi (Bq/kg)		
	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K
T1	1,5 ± 0,2	< ÖEA	3,8 ± 0,2
T2	0,9 ± 0,1	< ÖEA	< ÖEA
T3	< ÖEA	< ÖEA	3,7 ± 0,3
T4	3,1 ± 0,4	0,6 ± 0,2	26,4 ± 1,4
T5	1 ± 0,2	< ÖEA	< ÖEA
T6	0,5 ± 0,1	< ÖEA	2,2 ± 0,1
T7	1,6 ± 0,1	< ÖEA	< ÖEA
T8	0,7 ± 0,1	< ÖEA	< ÖEA
T9	1,2 ± 0,2	< ÖEA	< ÖEA
T10	< ÖEA	< ÖEA	< ÖEA
T11	1,9 ± 0,2	< ÖEA	< ÖEA
T12	1,8 ± 0,2	< ÖEA	8,6 ± 0,5
T13	0,5 ± 0,1	< ÖEA	< ÖEA
T14	1,7 ± 0,2	1,3 ± 0,4	< ÖEA
T15	1,2 ± 0,1	< ÖEA	< ÖEA
T16	2,5 ± 0,2	< ÖEA	7,5 ± 0,4
T17	0,9 ± 0,1	< ÖEA	6 ± 0,4
T18	2,1 ± 0,2	1,4 ± 0,4	< ÖEA
T19	< ÖEA	< ÖEA	< ÖEA
T20	1,1 ± 0,2	< ÖEA	< ÖEA
T21	2 ± 0,2	< ÖEA	5,8 ± 0,4
T22	< ÖEA	0,7 ± 0,2	< ÖEA
T23	< ÖEA	< ÖEA	< ÖEA
T24	2 ± 0,2	7,1 ± 0,7	< ÖEA
T25	< ÖEA	< ÖEA	< ÖEA
T26	< ÖEA	< ÖEA	< ÖEA
T27	0,6 ± 0,1	< ÖEA	20,4 ± 1
T28	1,3 ± 0,1	< ÖEA	15,8 ± 0,8
T29	0,4 ± 0	< ÖEA	3,1 ± 0,2
T30	0,5 ± 0,1	< ÖEA	6 ± 0,4
T31	< ÖEA	< ÖEA	< ÖEA
T32	< ÖEA	< ÖEA	< ÖEA
T33	0,6 ± 0,1	< ÖEA	< ÖEA
T34	0,7 ± 0,1	< ÖEA	< ÖEA
T35	< ÖEA	< ÖEA	< ÖEA
T36	1,4 ± 0,1	< ÖEA	< ÖEA
T37	< ÖEA	< ÖEA	< ÖEA
T38	1,2 ± 0,2	< ÖEA	< ÖEA
T39	0,5 ± 0,1	< ÖEA	< ÖEA
T40	< ÖEA	< ÖEA	< ÖEA
T41	< ÖEA	< ÖEA	< ÖEA
T42	0,4 ± 0,1	0,8 ± 0,2	< ÖEA
T43	1 ± 0,1	< ÖEA	< ÖEA
T44	2,9 ± 0,2	< ÖEA	8 ± 0,5
T45	< ÖEA	< ÖEA	< ÖEA

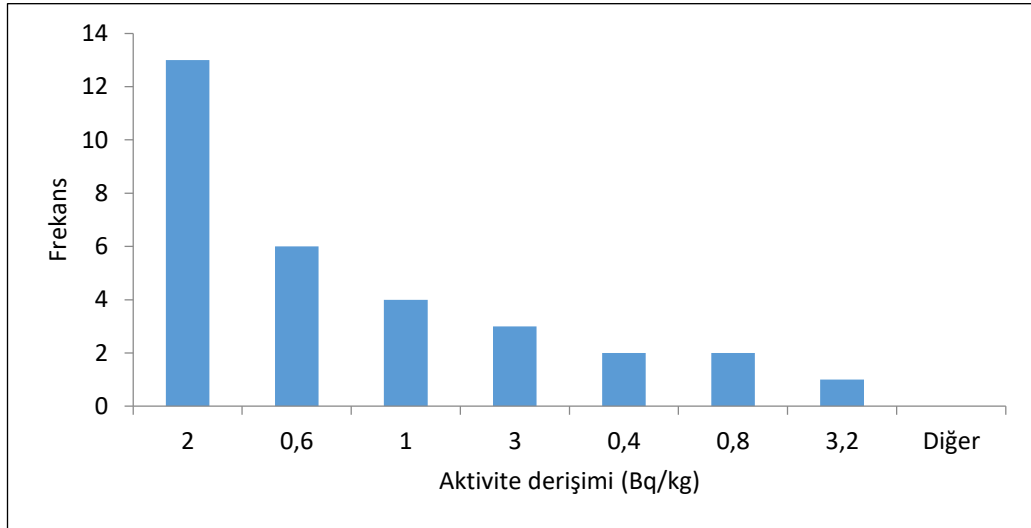
Tablo 3.2. Aktivite sonuçlarına ilişkin tanımlayıcı istatistik bilgi

	Aktivite derişimi (Bq/kg)		
	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K
Ortalama	1,3	2,0	9,3
Standart Hata	0,1	1,0	2,2
Ortanca	1,2	1,1	6,8
Standart Sapma	0,7	2,5	7,6
Basıklık	0,1	5,7	1,1
Çarpıklık	0,8	2,4	1,4
En küçük	< ÖEA	< ÖEA	< ÖEA
En büyük	3,1	7,1	26,4

Radyum, doğal radyoaktif uranyum serisinin bir üyesidir. Radyumun bir izotopu olan ²²⁶Ra, suda (özellikler yer altı sularında) çözülebildiği ve bitki kökleri vasıtasıyla gıda zincirine girebildiğinden dolayı sağlık fiziğinde ve çevre koruma çalışmalarında önemli bir radyonüklittir. ²²⁶Ra, kimyasal ve biyolojik davranış olarak Ca, Sr ve Ba gibi diğer toprak alkali metallere benzediğinden insan vücudundaki kemiklerde birikebilmektedir (Jia ve Jia, 2012). Tablo 3.2'den de görülebileceği gibi kaya tuzu örneklerinde ölçülen ²²⁶Ra'nın aktivite derişiminin ortalama değeri 1,3 Bq/kg olmak üzere < ÖEA – 3,1 ± 0,4 Bq/kg aralığında değişmektedir. T3, T10, T19, T22, T23, T25, T26, T31, T32, T35, T40, T41 ve T45 kodlu tuz örneklerinde ²²⁶Ra'nın aktivite derişimi ÖEA değerinin altında ölçülmüş iken ²²⁶Ra'nın en büyük seviyesi ise T4 kodlu tuz örneğinde ölçüldü. Tablo 3.2'deki basıklık ve çarpıklık değerlerinden de anlaşılacağı gibi ²²⁶Ra aktivite değerleri, Grafik 3.2'de gösterildiği gibi normal dağılım sergilememektedir. Toplam ²²⁶Ra aktivite değerlerinin %69'u 0,4 Bq/kg – 3,10 Bq/kg aralığındadır.



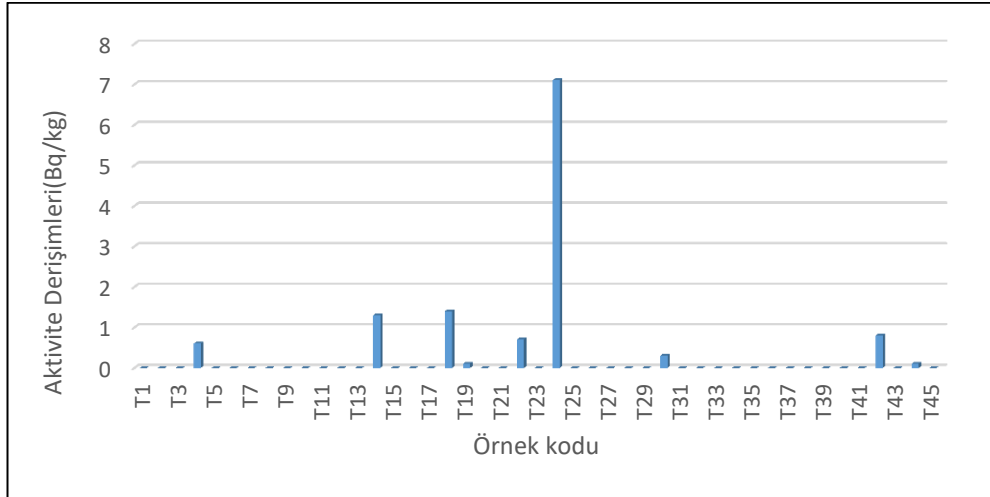
Grafik 3.1. Kaya tuzu örneklerinde ölçülen ^{226}Ra aktivite seviyeleri



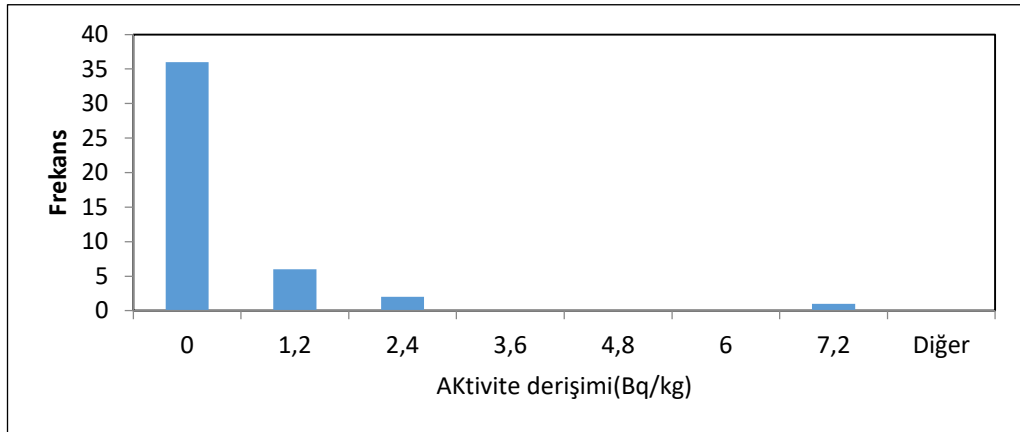
Grafik 3.2. ^{226}Ra aktivite derişim histogramı

Doğal radyoaktif toryum serisinin birinci radyonükliti olan ^{232}Th , bağışıklık sistemini zayıflatarak insan sağlığını olumsuz yönde etkileyebilir. ^{232}Th , kemik, akciğer, karaciğer ve iskelet dokularında biriktiğinde, farklı hastalıkları tetikleyebilir (Addo vd., 2013). Tablo 3.2'den de görülebileceği gibi kaya tuzu örneklerinde ölçülen ^{232}Th 'ın aktivite derişiminin ortalama değeri 2,0 Bq/kg olmak üzere $< \text{ÖEA} - 7,1 \pm 0,7$ Bq/kg aralığında değişmektedir. T4, T14, T18, T22, T24 ve T42 kodlu tuz örneklerinde ^{232}Th 'ın aktivite derişimleri ölçülmüştür, diğer örnekler de ise aktivite derişimi ÖEA değerinin altında ölçülmüştür ve Tablo 3.1 ve Grafik 3.3'ten

görülebileceği en yüksek ^{232}Th seviyesi, T24 örneğinde ölçüldü. Tablo 3.2'deki basıklık ve çarpıklık değerlerinden de anlaşılacağı gibi ^{232}Th aktivite değerleri, Grafik 3.4'te gösterildiği gibi normal dağılım sergilememektedir. Toplam ^{232}Th aktivite değerlerinin % 13'ü, 0,6 Bq/kg – 7,1 Bq/kg aralığındadır.



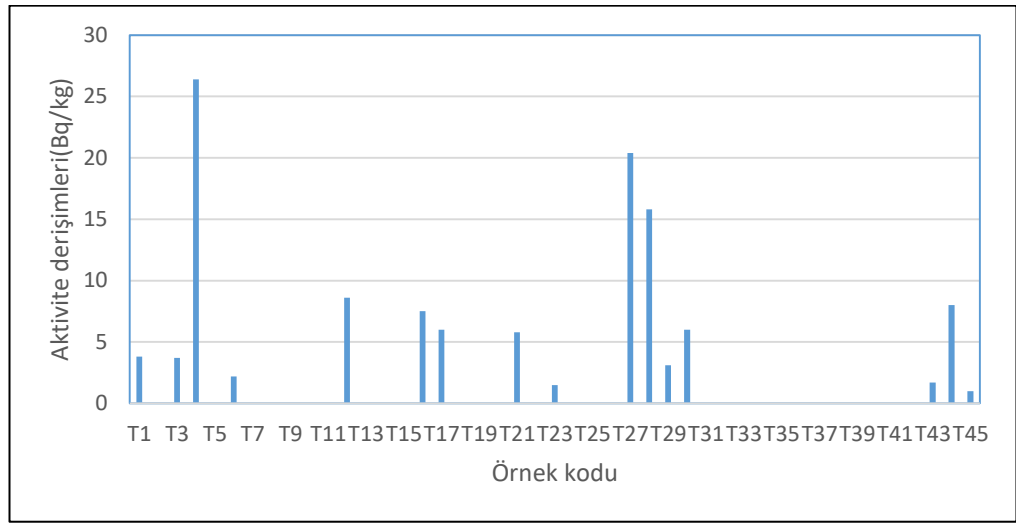
Grafik 3.3.Kaya Tuzu örneklerinde ölçülen ^{232}Th aktivite seviyeleri



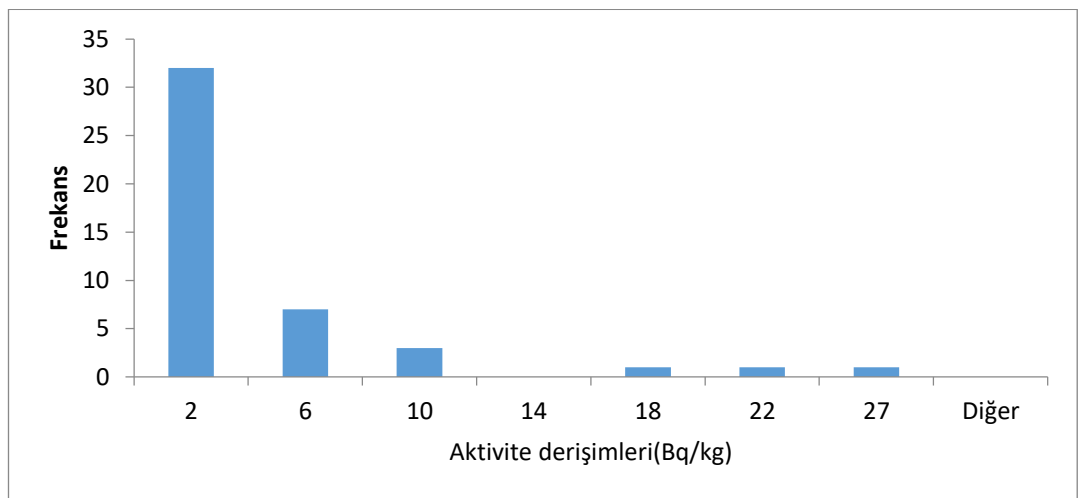
Grafik 3.4. ^{232}Th aktivite derişim histogramı

Radyoaktif potasyum (^{40}K), doğal olarak var olan potasyum (^{39}K) elementinin bir bolluk oranı % 0,0117 olan bir izotopudur. ^{40}K , çözülebilir bir inorganik tuz olarak hayvan ve bitki dokularında radyoaktivitenin ana kaynağıdır (UNSCEAR 2000). Böbreklerdeki potasyum birikimi, böbreklerin yetersiz ve dengesiz görev yapmasına hatta işlevsiz hâle gelmelerine sebep olabilir. Tablo 3.2'den görülebileceği gibi kaya tuzu örneklerinde ölçülen ^{40}K 'ın aktivite derişiminin ortalama değeri 9,3 Bq/kg

olmak üzere $< \text{ÖEA} - 26,4 \pm 1,4 \text{ Bq/kg}$ aralığında değişmektedir. T1, T3, T4, T6, T12, T16, T17, T21, T27, T28, T29, T30 ve T44 kodlu tuz örneklerinde ^{40}K 'ın aktivite derişimleri ölçülmüştür, diğer örnekler de ise aktivite derişimi ÖEA değerinin altında ölçülmüştür ve Tablo 3.1 ve Grafik 3.3'ten görülebileceği en yüksek ^{40}K seviyesi, T4 örneğinde ölçüldü. Tablo 3.2'deki basıklık ve çarpıklık değerlerinden de anlaşılacağı gibi ^{40}K aktivite değerleri, Grafik 3.6'da gösterildiği gibi normal bir dağılım sergilememektedir. Toplam ^{40}K aktivite değerlerinin % 29'ı, 2,2 Bq/kg – 26,4 Bq/kg aralığındadır.



Grafik 3.5. Kaya Tuzu örneklerinde ölçülen ^{40}K aktivite seviyeleri



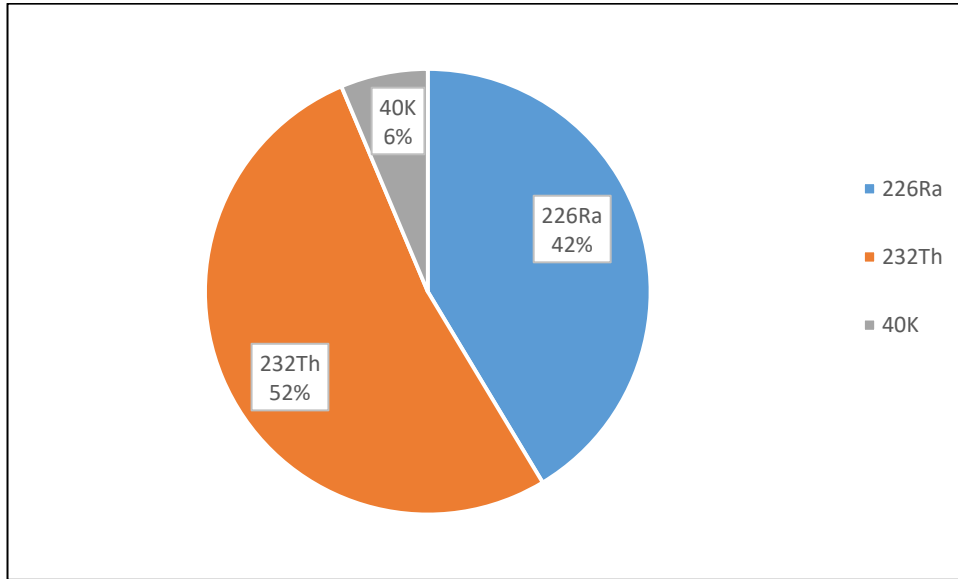
Grafik 3.6. ^{40}K aktivite derişim histogramı

3.2. Yıllık Etkin Radyasyon Dozu

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

$$YERD = YT \cdot O \cdot \sum A_i DF_i \quad (3.1)$$

Burada, YT: Kaya tuzunun yıllık tüketimi, O: Kaya tuzu örneklerinin ortalama kuru/yaş oranı, A_i : i. radyonüklitin aktivite derişimi (Tablo 4.1) ve DF_i : i. radyonüklit için dönüşüm faktörüdür. Kaya tuzu yıllık tüketimi 1,825 kg/yıl ve kaya tuzunun kuru/yaş oranı ise 0,98 olarak alındı (Karataşlı ve Özer, 2017). Dönüşüm faktörü ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitleri için sırasıyla 0,28 $\mu\text{Sv/Bq}$, 0,23 $\mu\text{Sv/Bq}$ ve 0,0062 $\mu\text{Sv/Bq}$ olarak alındı (ICRP, 1996). Her bir radyonüklitin YERD'e olan katkısı ise Grafik 3.7'de gösterildi. Ortalaması ise 0,59 $\mu\text{Sv/yıl}$ bulundu.



Grafik 3.7. Radyonüklitlerin YERD'e olan katkıları

3.3. Kaya Tuzu Örneklerinin Element İçerikleri

Kaya Tuzu örneklerinde analiz edilen 18 elementin derişimlerine ilişkin tanımlayıcı istatistiki bilgi, Tablo 3.3'te verildi. Element derişimleri, kuru ağırlık üzerinden analiz edildi. Ölçme belirsizliği, % 0,1 – % 10 aralığındadır. Co (< 3,0 mg/kg) ağır metali, tüm örneklerinde tespit edilebilir düzeyin altında bulundu.

Tablo 3.3. Element derişimlerine ilişkin tanımlayıcı istatistiki bilgi

	Ortalama	Standart Hata	Ortanca	Standart Sapma	Basıklık	Çarpıklık	En Büyük	En Küçük
Mg	1340,0	55,03	1220,00	369,14	-	1,11	1840,00	960,00
P	113,58	3,49	114,00	23,44	0,12	-0,10	169,00	52,00
S	6162,07	503,69	6230,00	3378,85	1,94	0,83	18200,0	1187,00
Cl	219764,44	1039,27	220300,00	6971,63	-0,42	-0,36	230600	201900,00
K	291,32	38,98	206,20	261,50	1,96	1,52	1086,00	12,20
Ca	5531,12	437,42	5057,00	2934,30	1,81	0,90	15200,0	133,20
V	2,74	0,18	3,30	1,22	-2,12	-0,03	4,50	1,30
Cr	2,33	0,18	1,70	1,19	-	1,59	4,00	1,30
Mn	12,95	1,49	10,90	10,02	2,35	1,55	45,60	1,70
Fe	504,56	74,58	324,60	500,29	1,22	1,39	1836,00	15,80
Co	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00
Ni	3,63	0,30	3,00	1,99	1,88	1,52	9,70	1,50
Cu	1,89	0,11	1,80	0,77	2,43	1,26	4,50	0,70
Zn	2,03	0,12	1,80	0,82	1,18	1,34	4,20	0,90
Se	0,34	0,01	0,30	0,06	0,51	1,23	0,50	0,30
Br	2,20	0,27	1,40	1,80	2,00	1,88	7,10	1,00
Mo	0,13	0,01	0,10	0,07	4,00	2,12	0,30	0,10
I	4,27	0,19	4,55	1,26	-0,18	-0,36	6,60	1,10

Kaya tuzu örneklerinin içerdiği elementlerin derişimleri, Tablo 3.4'te verildi. Çankırı bölgesinde çıkarılan kaya tuzu örneklerinin içerdiği K, P, Ca ve Mg derişim değer aralıkları (en küçük – en büyük) ile bu çalışmada elde edilen veri aralıklarının karşılaştırılması ise Tablo 3.3'te verildi. Tablo 3.3 ve Tablo 3.4'ten de görülebileceği gibi ortalama derişim değerlerine göre elementler, S > Ca > K > P > Mg olarak sıralanmaktadır.

Potasyum (K) önemli bir majör esansiyel elementtir. İncelenen kaya tuzu örneklerinde analiz edilen K seviyesi, 12,2 – 1086 mg/kg aralığında bulundu. En düşük K derişimi, T31 kodlu kaya tuzu örneğinde ölçülmüş iken en büyük derişim T18 kodlu kaya tuzu örneğinde ölçüldü. Tablo 3.7 da ise marketlerde toplanan diğer tuz çeşitleri ile kaya tuzunu karşılaştırdığımızda Deniz tuzu ve Göl tuzu örneklerinden daha az, Himalaya tuz örneğine göre daha fazla Potasyum (K) değerine sahip olduğunu görmekteyiz.

Fosfor (P) önemli bir minör esansiyel elementtir. İncelenen kaya tuzu örneklerinde analiz edilen P seviyesi, 52 – 169 mg/kg aralığında bulundu. En düşük P derişimi, T3 kodlu kaya tuzu örneğinde ölçülmüş iken en büyük derişim T19 kodlu kaya tuzu örneğinde ölçüldü. Tablo 3.5’de ki değerlere bakıldığında Kaya tuzunun diğer tuz çeşitlerine göre daha fazla Fosfor(P) değerine sahip olduğunu görmekteyiz.

Kükürt (S) minör esansiyel elementtir. İncelenen kaya tuzu örneklerinde analiz edilen S seviyesi, 1187 – 18200 mg/kg aralığında bulundu. En düşük S derişimi, T31 kodlu kaya tuzu örneğinde ölçülmüş iken en büyük derişim T1 kodlu Kaya tuzu örneğinde ölçüldü. Tablo 3.5’de değerlere bakıldığında Kaya Tuzu’nun ortalama Kükürt değeri Deniz ve Göl Tuzu değerine göre yüksek, Himalaya Tuzuna göre az olduğu görülmüştür.

Kalsiyum (Ca) önemli bir elementtir. İncelenen kaya tuzu örneklerinde analiz edilen Ca seviyesi, 133,2 – 15200mg/kg aralığında bulundu. En düşük Ca derişimi, S32 kodlu kaya tuzu örneğinde ölçülmüş iken en büyük derişim T18 kodlu kaya tuzu örneğinde ölçüldü. Tablo 3.5’deki değerlere bakıldığında Kaya tuzunun diğer tuz çeşitlerine göre daha fazla Kalsiyum(Ca) değerine sahip olduğunu görülmektedir.

Magnezyum (Mg) önemli elementtir. İncelenen kaya tuzu örneklerinde analiz edilen Mg seviyesi sadece 3 örnekte ölçülebilmştir. Diğer 42 örnekte ölçülebilecek seviyenin altında kalmıştır. T4, T7 ve T18 kodlu kaya tuzu örneklerinde sırasıyla 1840, 960 ve 1220 mg/kg aralığında bulundu. Tablo 3.5’deki değerlere bakıldığında diğer tuz örneklerinde Magnezyum değerine rastlanmadığı görülmüştür.

Tablo 3.4. Kaya tuzu örneklerinin element içerikleri

Örnek kodu	Derişim(mg/kg)				
	Mg	P	S	K	Ca
T1	< 20	154	18200	144,3	12660
T2	< 20	79	6395	69,3	3901
T3	< 20	52	4348	70,1	2245
T4	1840	135	4594	1047	7201
T5	< 20	80	3998	149,4	2354
T6	< 20	78	5510	206,2	4548
T7	960	145	7415	845,4	8606
T8	< 20	97	3573	395,8	4419
T9	< 20	87	1408	285	1601
T10	< 20	104	7787	95,1	4983
T11	< 20	114	3148	441,1	4645
T12	< 20	102	4521	382,5	4584
T13	< 20	139	3182	710,2	6498
T14	< 20	110	5106	279,9	4887
T15	< 20	143	3755	471,7	5123
T16	< 20	106	1469	321,4	1891
T17	< 20	97	1504	239,8	1395
T18	1220	169	8657	1086	15200
T19	< 20	107	8448	80,4	5916
T20	< 20	128	2165	300,4	2770
T21	< 20	117	2909	576,4	5089
T22	< 20	97	1791	292,9	1981
T23	< 20	121	9345	154,3	7581
T24	< 20	97	6230	116,3	4212
T25	< 20	137	6027	163,9	4409
T26	< 20	104	7453	92	5090
T27	< 20	121	9563	801,5	9798
T28	< 20	140	10060	532,1	9339
T29	< 20	118	6253	291,4	4952
T30	< 20	127	6402	416,6	6805
T31	< 20	75	1187	12,2	< 10
T32	< 20	114	1375	20,6	133,2
T33	< 20	98	2316	60,2	1174
T34	< 20	88	6883	120	5025
T35	< 20	124	9628	151,8	7444
T36	< 20	91	6675	68,1	4577
T37	< 20	125	7778	57,5	5315
T38	< 20	122	6189	66,4	4386
T39	< 20	103	8845	197,1	7118
T40	< 20	125	11600	99,1	8349
T41	< 20	139	10220	217,4	8230
T42	< 20	111	9858	56,5	6412
T43	< 20	123	6223	269,2	5097
T44	< 20	152	8975	478	8731
T45	< 20	116	8325	177,1	6695

Tablo 3.5. Mg, P, S, K ve Ca içeriklerinin Marketlerden toplanan göl, deniz ve himalaya tuz örnekleri ortalamaları ile karşılaştırılması

Örnekler	Derişim aralığı(mg/kg)				
	Mg	P	S	K	Ca
Kaya Tuzu	1340	114	6162	291	5531
Deniz Tuzu	-	97,5	5104	421,7	1038
Göl Tuzu	-	71	4441	330	1274
Himalaya	-	77	6868	190	3514

Kaya tuzu örneklerinin içerdiği elementlerin derişimleri, Tablo 3.6'de sunuldu. Tablo 3.6'da toplanan kaya tuzu örnekleri ile diğer tuz örneklerinin element içerikleri karşılaştırılmıştır. Tablo 3.6'dan de görülebileceği gibi ortalama derişim değerlerine göre elementler, Fe > Mn > Ni > V > Cr > Zn > Cu > Se > Mo > Co olarak sıralanmaktadır.

Vanadyum (V), ağır metaldir. İncelenen kaya tuzu örneklerindeki V seviyesi, 1,3 – 4,5 mg/kg aralığında bulundu. V'nin en küçük değeri T21 kodlu örnekte ölçülmüş iken en büyük değeri ise T18 kodlu örnekte ölçüldü. Çankırı bölgesinde çıkarılıp toplanan kaya tuzu örneklerinde V ortalaması 2,74 mg/kg bulundu. Diğer tuz örneklerinde bu element ölçülen değerin altında kalmıştır.

Krom (Cr), esansiyel element olmasının yanında aynı zamanda zehirli ağır metaldir. Cr'nin günlük olarak 250 mg'a kadar alınmasının, insan vücut sağlığı açısından bir tehlike arz etmemektedir (Karcık, 2017). Cr, vücutta glikoz tolerans faktörü olduğundan şeker metabolizması üzerinde etkilidir ve insülin ile birlikte hareket ederek glikozun, hücre içine girmesini temin eder (Karcık, 2017). Cr'nin optimum seviyesi, vücudun gerek duyduğu insülin miktarını azaltır. İncelenen kaya tuzu örneklerindeki Cr seviyesi sadece 3 örnekte ölçülebilmştir. Diğer Örnekler ölçülebilecek değerin altında kalmıştır. Bu değerlerde 1,3 – 4,0 mg/kg aralığındadır. Cr'nin en küçük değeri T27 kodlu örnekte ölçülmüş iken en büyük değeri ise T18 kodlu örnekte ölçüldü. Tablo 3.7'de Diğer tuz örneklerinde bu element ölçülen değerin altında kalmıştır.

Mangan (Mn), esansiyel element olmasının yanında aynı zamanda zehirli ağır metaldir. İncelenen kaya tuzu örneklerindeki Mn seviyesi, 1,7 – 45,6 mg/kg aralığında bulundu. Mn'nin en küçük değeri T33 kodlu örnekte ölçülmüş iken en büyük değeri ise T18 kodlu örnekte ölçüldü. Tablo 3.7'de görüldüğü gibi kaya tuzunun haricinde sadece Deniz tuzu örneğinde 1,2 mg/kg değeri bulunmuştur. Diğer tuz örneklerinde bu element ölçülen değer in altında kalmıştır.

Demir (Fe), esansiyel element olmasının yanında aynı zamanda zehirli ağır metaldir. Fe elementi hayati tepkimeler için kritik bir elementtir (Karcık, 2017). İnsan vücudundaki Fe dengesinin korunması esas itibarıyla besinlerle alınan demirin proksimal ince bağırsaktan emiliminin kontrol edilmesi ile sağlanmaktadır (Karcık, 2017). İncelenen kaya tuzu örneklerindeki Fe seviyesi, 15,8 – 1836 mg/kg aralığında bulundu. Fe'nin en küçük değeri T3 kodlu örnekte ölçülmüş iken en büyük değeri ise T4 kodlu örnekte ölçüldü. Tablo 3.7'de görüldüğü gibi diğer tuz örneklerinde bu element ölçülen değer in altında kalmıştır.

Kobalt (Co), esansiyel element olmasının yanında aynı zamanda zehirli ağır metaldir. İncelenen 45 adet kaya tuzu örneğinin hiç birinde Co seviyesi ölçülebilecek değer in altında kalmıştır. Tablo 3.7'de görüldüğü gibi diğer tuz örneklerinde bu element ölçülen değer in altında kalmıştır.

Nikel (Ni), esansiyel element olmasının yanında aynı zamanda ağır metaldir. Günlük olarak 150 µg'dan az alınması tavsiye edilmektedir (Karcık, 2017). İncelenen kaya tuzu örneklerindeki Ni seviyesi, 1,5 – 9,7 mg/kg aralığında bulundu. Ni'nin en küçük değeri T31 kodlu örnekte ölçülmüş iken en büyük değeri ise T18 kodlu örnekte ölçüldü. Tablo 3.7'de görüldüğü gibi diğer tuz örneklerinde bu element kaya tuzuna göre daha yüksek çıktığı görülmüştür.

Tablo 3.6. Kaya Tuzu örneklerinin eser element içerikleri

Örnek kodu	Derişim(mg/kg)									
	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Se	Mo
T1	< 0,9	< 1,0	6,2	127,2	< 3,0	2,3	1,3	1,2	0,3	< 1,0
T2	< 1,0	< 1,0	1,7	28,8	< 3,0	1,6	< 0,4	1,4	< 0,5	< 1,0
T3	< 1,0	< 1,0	1,8	15,8	< 3,0	2,3	1,6	1,3	0,4	< 1,0
T4	3,4	< 1,3	40,6	1836	< 3,0	8,5	2,6	4,1	0,3	0,1
T5	< 1,0	< 1,0	4,2	113,2	< 3,0	1,9	1	1,4	0,3	< 1,0
T6	< 1,0	< 1,0	7,6	268,8	< 3,0	2,5	1,8	1,8	0,4	0,3
T7	3,8	1,7	33,8	1566	< 3,0	7,6	4,5	4,2	0,4	< 1,0
T8	< 1,0	< 1,0	15,2	544,8	< 3,0	4,1	2,8	2,4	< 0,3	< 1,0
T9	< 1,0	< 1,0	11	425,5	< 3,0	3,2	2,3	1,9	0,4	< 1,0
T10	< 1,0	< 1,0	3,6	48,8	< 3,0	2,5	1,9	1,8	0,3	< 1,0
T11	< 1,0	< 1,0	16,8	710,4	< 3,0	4,6	3,3	3,1	< 0,5	< 1,0
T12	< 1,0	< 1,0	15,3	679,3	< 3,0	4,2	2,2	2,1	< 0,3	< 1,0
T13	1,4	< 1,0	29,1	1306	< 3,0	6,4	2	3,2	< 0,3	< 1,0
T14	< 1,0	< 1,0	11,7	390,9	< 3,0	3,4	2,2	2,2	0,5	0,1
T15	< 1,0	< 1,0	18,7	763,1	< 3,0	4,6	1,9	2,1	0,4	< 1,0
T16	< 1,0	< 1,0	12,9	524,9	< 3,0	4	2,1	1,8	< 0,3	< 1,0
T17	< 1,0	< 1,0	8,6	316,4	< 3,0	3,1	1,5	1,6	0,3	< 1,0
T18	4,5	4	45,6	1835	< 3,0	9,7	3,2	4,2	< 0,3	< 1,0
T19	< 1,0	< 1,0	6,3	112,5	< 3,0	2	1	1,3	0,3	< 1,0
T20	< 1,0	< 1,0	11,3	512,9	< 3,0	3,8	2,1	2,1	< 0,3	< 1,0
T21	1,3	< 1,0	23,8	977,6	< 3,0	5,2	2,4	2,3	0,3	0,1
T22	< 1,0	< 1,0	11,2	492,4	< 3,0	3,5	2	2	< 0,5	0,1
T23	< 0,3	< 1,0	11,2	280,8	< 3,0	2,9	1,5	2,1	0,5	< 1,0
T24	< 1,0	< 1,0	4,6	190	< 3,0	2,4	< 0,8	1,5	0,3	< 1,0
T25	< 1,0	< 1,0	6,9	280,6	< 3,0	2,8	1,8	1,4	< 0,5	< 1,0
T26	< 1,0	< 1,0	5,5	80,6	< 3,0	2	1,4	1,4	0,3	< 1,0
T27	3,3	1,3	25,5	1684	< 3,0	8,9	2,1	3,7	< 0,3	< 1,0
T28	< 2,3	< 1,0	18	1053	< 3,0	6,5	1,8	2,8	< 0,3	< 1,0
T29	< 1,0	< 1,0	9,8	543,7	< 3,0	4,3	2	2	0,3	< 1,0
T30	< 1,0	< 1,0	19,9	790,8	< 3,0	4,7	1,7	2,4	< 0,3	< 1,0
T31	< 1,0	< 1,0	< 0,7	< 1,0	< 3,0	1,5	0,8	0,9	0,3	< 1,0
T32	< 1,0	< 1,0	< 0,7	< 1,0	< 3,0	1,6	1,2	1,2	< 0,3	< 1,0
T33	< 1,0	< 1,0	1,7	43	< 3,0	1,8	1,4	1,4	0,3	< 1,0
T34	< 1,0	< 1,0	6,8	160,2	< 3,0	2,4	0,9	1,6	0,3	< 1,0
T35	< 1,0	< 1,0	10,3	324,6	< 3,0	3	1,9	1,6	0,3	0,1
T36	< 1,0	< 1,0	5,2	55	< 3,0	2,3	1,7	1,3	< 0,3	0,2
T37	< 1,0	< 1,0	3,4	45	< 3,0	1,8	1,2	1,3	< 0,3	< 1,0
T38	< 1,0	< 1,0	5,4	47,1	< 3,0	2,1	1,1	1,9	0,3	< 1,0
T39	< 1,0	< 1,0	12	273,4	< 3,0	3	1,5	1,4	0,3	< 1,0
T40	< 1,0	< 1,0	6,8	106,2	< 3,0	1,9	< 1,0	1,4	< 0,5	0,1
T41	< 1,0	< 1,0	13,6	382	< 3,0	3	1,8	1,6	0,4	0,1
T42	< 1,0	< 1,0	5,7	43,8	< 3,0	2,2	2,1	2,5	0,4	< 1,0
T43	< 1,0	< 1,0	10,7	431,4	< 3,0	3,3	1,2	1,7	< 0,3	< 1,0
T44	1,5	< 1,0	25,8	980,8	< 3,0	5,1	3,7	3,1	< 0,3	< 1,0
T45	< 0,9	< 1,0	10,9	303,8	< 3,0	2,9	0,7	1,6	< 0,3	< 1,0

Bakır (Cu), esansiyel element olmasının yanında aynı zamanda zehirli ağır metaldir. Cu, sindirim (gıda-zinciri sonucunda) ve solunum (havanın ve toz) yolu ile vücuda girebilir. Böylece Cu, kan dolaşımı vasıtasıyla vücudun diğer taraflarına da dağılır. Vücut, kan dolaşımına yüksek seviyede Cu girişini son derece iyi bloke eder. Bununla birlikte aşırı derecede Cu alımı, karaciğerin işlevini kaybetmesine sebep olabilir (Karcık, 2017). İncelenen kaya tuzu örneklerindeki Cu seviyesi, 0,7 – 4,5 mg/kg aralığında bulundu. Cu'nun en küçük değeri T45 kodlu örnekte ölçülmüş iken en büyük değeri ise T7 kodlu örnekte ölçüldü. Tablo 3.7'de görüldüğü gibi diğer tuz örneklerinde bu element kaya tuzuna göre daha az çıktığı görülmüştür.

Çinko (Zn), esansiyel element olmasının yanında aynı zamanda zehirli ağır metaldir. Zn enerji metabolizması, protein sentezi, gen dizilişi gibi metabolik olaylarda kofaktör olarak görev alan bir elementtir (Karcık, 2017). Vücuda yeterli seviyede (15-50 mg/gün) Zn alınmaması, 60-70 kadar enzimin daha az etkin olmasına sebep olabilir (Karcık, 2017). İncelenen kaya tuzu örneklerindeki Zn seviyesi, 0,9 – 4,2 mg/kg aralığında bulundu. Zn'nin en küçük değeri T31 kodlu örnekte ölçülmüş iken en büyük değeri ise T7 kodlu örnekte ölçüldü. Tablo 3.7'de görüldüğü gibi diğer tuz örneklerinde bu element kaya tuzuna göre daha yüksek çıktığı görülmüştür.

Tablo 3.7. V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Se ve Mo içeriklerinin Marketlerden toplanan göl, deniz ve himalaya tuz örnekleri ortalamaları ile karşılaştırılması

Örnekler	Derişim (mg/kg)									
	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Se	Mo
Kaya Tuzu	2,74	2,33	12,94	504	-	3,63	1,88	2,02	0,34	0,13
Deniz Tuzu	-	-	1,2	-	-	4,45	0,7	1,5	0,3	-
Göl Tuzu	-	-	-	-	-	4,35	1,25	1,3	0,3	-
Himalaya	-	-	-	-	-	4	0,9	1,6	0,4	0,1

Selenyum (Se), esansiyel eser elementtir. İncelenen kaya tuzu örneklerindeki Se seviyesi, 0,3 – 0,5 mg/kg aralığında bulundu. Tablo 3.7'de görüldüğü gibi bütün tuz çeşitlerinde birbirine yakın değerler çıktığını görmekteyiz.

Molibden (Mo) esansiyel element olmasının yanında aynı zamanda zehirli ağır metaldir. İncelenen kaya tuzu örneklerindeki Mo seviyesi, 0,1 – 0,3 mg/kg

aralığında bulundu. Tablo 3.7'e bakıldığında sadece himalaya tuzu 0,1 mg/kg değeri çıktı. Deniz ve göl tuzu'nda bu element ölçülen değerin altında kalmıştır.

Kaya tuzu örneklerinin içerdiği Cl, Br ve I elementlerinin derişimleri, Tablo 3.9'da sunuldu. Tablo 3.3 ve Tablo 3.9'dan da görülebileceği gibi ortalama derişim değerlerine göre, Cl > I > Br olarak sıralanmaktadır.

Klor (Cl) esansiyel eser halojendir. İncelenen Kaya tuzu örneklerindeki Cl seviyesi, 201900 – 230600 mg/kg aralığında bulundu. Cl'nin en küçük değeri, T31 kodlu örnekte ölçülmüş iken en büyük değeri ise T34 kodlu örnekte ölçüldü. Tablo 3.9'da görüldüğü gibi diğer tuz örneklerinde bu element kaya tuzunda daha yüksek çıktığı görülmüştür.

İyot (I) esansiyel eser halojendir. İncelenen kaya tuzu örneklerindeki I seviyesi, 1,1 – 6,6 mg/kg aralığında bulundu. I'nın en küçük değeri, T13 kodlu örnekte ölçülmüş iken en büyük değeri ise T2 kodlu örnekte ölçüldü. Tablo 3.9'da görüldüğü gibi diğer tuz örneklerinde bu element kaya tuzuna göre daha az çıktığı görülmüştür.

Brom (Br) esansiyel eser halojendir. İncelenen kaya tuzu örneklerindeki Br seviyesi, 1– 7,1 mg/kg aralığında bulundu. Br'nin en küçük değeri, T32 kodlu örnekte ölçülmüş iken en büyük değeri ise T2 kodlu örnekte ölçüldü. Tablo 3.9'da görüldüğü gibi diğer tuz örneklerinde bu element kaya tuzuna göre daha az çıktığı görülmüştür.

Tablo 3.8. Kaya tuzu örneklerinin içerikleri

Örnek kodu	Derişim (mg/kg)		
	Cl	Br	I
T1	213400	6,3	4,1
T2	228900	7,1	6,6
T3	216900	6,9	6,3
T4	219700	6,2	< 3,0
T5	214300	6,5	4,7
T6	215100	5,4	5,2
T7	209200	2,5	< 3,0
T8	229300	1,2	5,2
T9	215600	1,6	2,9
T10	220300	5,5	3,4
T11	227300	1,5	< 3,0
T12	229200	1,3	3,8
T13	224800	1,7	1,1
T14	229700	1,7	< 3,0
T15	209100	1,2	4,6
T16	215500	1,3	< 3,0
T17	213700	1,4	3,2
T18	222000	1,4	< 3,0
T19	221500	1,5	2,5
T20	221800	1	2,6
T21	225900	1,7	2,7
T22	221600	1,6	< 3,0
T23	221700	1,2	5,3
T24	227200	1,3	< 3,0
T25	210300	1,4	< 3,0
T26	217400	1,5	5,9
T27	207500	2,7	< 3,0
T28	219400	2,4	2,9
T29	218200	1,7	4,7
T30	226100	1,4	5,1
T31	201900	1,1	4,9
T32	208700	1	3,7
T33	230400	1,1	< 3,0
T34	230600	1,3	3,9
T35	211300	1,2	3
T36	229600	1,2	5,9
T37	220900	1,2	4,5
T38	219800	1,1	< 3,0
T39	225200	1,7	< 3,0
T40	218700	1,3	< 3,0
T41	219200	1,9	5
T42	220900	1,1	4,2
T43	213200	1,2	< 3,0
T44	221900	1,2	5
T45	224500	1,1	5,3

Tablo 3.9. Cl, Br ve I içeriklerinin Marketlerden toplanan göl, deniz ve himalaya tuz örnekleri ortalamaları ile karşılaştırılması

Örnekler	Derişim (mg/kg)		
	Cl	Br	I
Kaya tuzu	219764	2,2	4,27
Deniz tuzu	199650	29,4	9,95
Göl tuzu	199600	17	8,45
Himalaya	200900	27	7,1

3.4. Kaya Tuzu Örneklerinin Ağır Metal İçerikleri

Kaya tuzu örneklerinin içerdiği ağır metal derişimleri, Tablo 3.10'de sunuldu. Tablo 3.10'den de görülebileceği gibi ortalama derişim değerlerine göre esansiyel olmayan ağır metaller, Pb > Sn > Cd > Hg olarak sıralanmaktadır. Kalay (Sn), esansiyel olmayan zehirli ağır metaldir. İncelenen 45 kaya tuzu örneklerinden sadece T35 kodlu örnekte 0,1mg/kg olarak ölçüldü, diğer 44 örnekte Sn seviyesi ölçülebilecek seviyenin altında kalmıştır.

Kurşun (Pb), atmosfere metal veya bileşik olarak yayılan ve zehirlilik özelliğini her durumda taşıyan ağır metallerin başında gelen ve doğada yok olmayan ve bozulmayan ikinci sınıf kanserojen maddeler grubundan olan bir ağır metaldir (Karcık, 2017). İncelenen kaya tuzu örneklerindeki Pb seviyesi, 0,8 – 2,5 mg/kg aralığında bulundu. Pb'nin en büyük değeri T18 kodlu örnekte ölçüldü. Türkiye'de tüketilen gıdalardaki Pb seviyesi, Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliğinde, 0,02 – 1,5 mg/kg olarak belirlenmiştir (URL-2). İncelenen Kaya tuzu örneklerinin yüzde % 29'sının (13 tanesinin) Pb derişimi, müsaade edilen azami seviyenin üzerindedir.

Kadmiyum (Cd), topraktan bitkiye geçiş kolaydır. Toprakta çok hareketli olan, çok düşük derişimlerde bile özellikle Zn noksanlığında bitkiler tarafından kolaylıkla alınan, biriken, çok düşük dozlarda bile yüksek zehirlilik etkisi gösteren, insan ve çevre sağlığı açısından büyük bir tehlike arz eden zehirli bir ağır metaldir (Karcık, 2017). Birinci sınıf kanserojen olan Cd, aynı zamanda kardiyovasküler hastalıklara

da sebep olabilmektedir (Karcık, 2017). İncelenen 45 adet kaya tuzu örneğinin hiç birinde Cd seviyesi, ölçülebilecek seviyenin altında kalmıştır.

Tablo 3.10. *Kaya tuzu örneklerinin ağır metal içerikleri*

Örnek	Derişim(mg/kg)			
	Cd	Sn	Hg	Pb
T1	< 2,0	< 3,0	< 0,6	1,1
T2	< 2,0	< 3,0	< 0,6	1,3
T3	< 2,0	< 3,0	< 0,4	0,9
T4	< 2,0	< 3,0	< 0,4	2,1
T5	< 2,0	< 3,0	< 1,0	1
T6	< 2,0	< 3,0	< 1,0	1,3
T7	< 2,0	< 3,0	< 1,0	2,2
T8	< 2,0	< 3,0	< 0,6	1,5
T9	< 2,0	< 3,0	< 1,0	1,6
T10	< 2,0	< 3,0	< 0,6	1,3
T11	< 2,0	< 3,0	< 1,0	1,9
T12	< 2,0	< 3,0	< 0,4	1,4
T13	< 2,0	< 3,0	< 1,0	2,1
T14	< 2,0	< 3,0	< 0,1	1,6
T15	< 2,0	< 3,0	< 1,0	1,8
T16	< 2,0	< 3,0	< 1,0	1,8
T17	< 2,0	< 3,0	< 1,0	1,4
T18	< 2,0	< 3,0	< 0,3	2,5
T19	< 2,0	< 3,0	< 0,6	1,2
T20	< 2,0	< 3,0	< 0,6	1,6
T21	< 2,0	< 3,0	< 0,6	1,5
T22	< 2,0	< 3,0	< 0,1	1,8
T23	< 2,0	< 3,0	< 0,6	1,4
T24	< 2,0	< 3,0	< 1,0	0,8
T25	< 2,0	< 3,0	< 0,4	1,4
T26	< 2,0	< 3,0	< 0,6	0,9
T27	< 2,0	< 3,0	< 1,0	1,5
T28	< 2,0	< 3,0	< 1,0	1,3
T29	< 2,0	< 3,0	< 0,6	1,4
T30	< 2,0	< 3,0	< 0,6	1,4
T31	< 2,0	< 3,0	< 1,0	< 0,5
T32	< 2,0	< 3,0	< 1,0	0,8
T33	< 2,0	< 3,0	< 0,6	1
T34	< 2,0	< 3,0	< 0,6	1,2
T35	< 2,0	0,1	< 0,5	1,3
T36	< 2,0	< 3,0	< 0,1	1
T37	< 2,0	< 3,0	< 1,0	1
T38	< 2,0	< 3,0	< 0,5	1
T39	< 2,0	< 3,0	< 1,0	1,1
T40	< 2,0	< 3,0	< 1,0	1,2
T41	< 2,0	< 3,0	< 0,4	1,3
T42	< 2,0	< 3,0	< 0,6	1,4
T43	< 2,0	< 3,0	< 1,0	1,1
T44	< 2,0	< 3,0	< 0,4	1,6
T45	< 2,0	< 3,0	< 0,6	1,1

Civa (Hg), organizmada hiçbir biyokimyasal ve fizyolojik işlevi olmayan zehirli bir ağıt metaldir. Bitkisel ürünlerde Hg bulunmaz, ancak tarımsal uygulamalar esnasında Hg içeren spreylere kullanılmasıyla gıda zinciri ile insan vücuduna taşınabilir. İnsan vücuduna girdiği andan itibaren, alzheimer, epilepsi, parkinson ve kronik olarak yorgunluk sendromları gibi beyinde birtakım hasarlara sebep olabilmektedir (Karcık, 2017). İncelenen 45 adet kaya tuzu örneğinin hiç birinde. Hg seviyesi, ölçülebilecek seviyenin altında kalmıştır.

3.5. Günlük Ağır Metal Alımı

Günlük ağır metal alımı (GAMA), aşağıda verilen bağıntı ile hesaplandı (Khan vd. 2008).

$$GAMA (\mu\text{g/gün} \cdot \text{kg}) = \frac{MD (\mu\text{g/g}) \cdot O \cdot GT (\text{g/gün})}{M (\text{kg})} \quad (3.2)$$

Burada,

MD: Kaya tuzu örneklerinde analiz edilen ağır metal derişimi,

O: Kaya tuzu örneklerinin ortalama kuru/yaş oranı (0,98),

GT: Kaya tuzu günlük tüketimi (5 g/gün)

M: Yetişkin bir bireyin ortalama ağırlığıdır (70 kg).

V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Sn, Cd, Pb ve Hg ağır metalleri için hesaplanan GAMA değerleri Tablo 3.11’de verildi.

Tablo 3.11. Günlük ağır metal alımı

Ağır metal	Günlük ağır metal alımı ($\mu\text{g/gün kg}$)
V	0,19
Cr	0,16
Mn	0,91
Fe	35,28
Ni	0,25
Cu	0,13
Zn	0,14
Sn	0,02
Cd	0,01
Pb	0,19

4. SONUÇLAR

İncelenen kaya tuzu örneklerinde analiz edilen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerin ortalama aktivite derişimleri, sırasıyla 1,09 Bq/kg, 1,28 Bq/kg ve 6,94 Bq/kg olarak bulundu. Bu radyonüklitlerden kaynaklanan yıllık etkin radyasyon dozunun ortalama değeri 1,6 $\mu\text{Sv/y}$ olarak hesaplandı. Bu yıllık doza, ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerinin ortalama katkısı, sırasıyla, 0,15 $\mu\text{Sv/yıl}$, 0,17 $\mu\text{Sv/yıl}$ ve 0,27 $\mu\text{Sv/yıl}$ olarak belirlendi. Grafik 4.7'den de görülebileceğı gibi yıllık etkin radyasyon dozuna esas katkı, %46'lık oranla ^{40}K radyonüklitinden ileri gelmektedir. Ortalama yıllık etkin radyasyon dozu değeri, dünya çapında bir bireyin, gıda ve su tüketiminden dolayı aldığı ortalama yıllık etkin radyasyon dozu değeri olan 300 $\mu\text{Sv/y}$ 'den önemli ölçüde düşüktür. Sonuç olarak, hem radyonüklitlerin değeri hem de yıllık etkin radyasyon doz değeri, incelenen kaya tuzu örneklerinin gıda olarak tüketilmesinin radyolojik açıdan herhangi bir risk oluşturmadığını ve kaya tuzunun radyolojik açıdan güvenli bir gıda olduğunu göstermektedir.

İncelenen kaya tuzu örneklerinin içerdiği $\text{Fe} > \text{Mn} > \text{Ni} > \text{V} > \text{Cr} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Se} > \text{Mo} > \text{Co}$ olarak sıralanmaktadır. Kaya tuzu örneklerinde, analiz edilen K, P, S, Ca ve Mg'nin ortalama değerleri, sırasıyla 291 mg/kg, 114 mg/kg, 6162 mg/kg, 5531 mg/kg ve 1340 mg/kg olarak bulundu. Kaya tuzu örneklerinde, analiz edilen Zn, Fe, Mn, Cu, Ni, Co, V, Cr, Mo ve Se'nin ortalama değerleri, sırasıyla 2,02 mg/kg, 504 mg/kg, 12,94 mg/kg, 1,88 mg/kg, 3,63 mg/kg, 0 mg/kg, 2,74 mg/kg, 2,33 mg/kg, 0,13 mg/kg ve 0,34 mg/kg olarak bulundu. Kaya tuzu örneklerinde, analiz edilen Cl, I ve Br'nin ortalama değerleri, sırasıyla 21976 mg/kg, 2,2 mg/kg ve 4,27 mg/kg olarak bulundu.

İncelenen kaya tuzu örneklerinde, ağır metal olarak yapılan ölçümlerde Cd ve Hg elementleri ölçülen seviyenin altında kalmıştır. Sn 0,1mg/kg, Pb 1,38 mg/kg olarak bulundu. Sonuçlar, kaya tuzu örneklerinin içerdiği zehirli ağır metal seviyelerinin, makul seviyede ve belirlenen sınır değerler dâhilinde olduğunu ve bu açıdan da kaya tuzunun güvenli bir gıda olduğunu göstermektedir.

KAYNAKLAR

- Alam, M. N., Chowdhury, M. I., Zafar, M., Kamal, M., Ghose, S., & Kamal, A. H. M. (1998). Radionuclide concentrations in salt pans in the coastal area of Cox's bazar, Bangladesh. *Journal of environmental radioactivity*, 41(3), 257-267
- Arya, P. A., 1999. Çekirdek Fizikinin Esasları. Yusuf Şahin. Balkan Matbacılık, Erzurum.
- Baloch, M. A., Qureshi, A. A., Waheed, A., Ali, M., Ali, N., Tufail, M., ... & Manzoor, S. (2012). A study on natural radioactivity in Khewra Salt Mines, Pakistan. *Journal of radiation research*, 53(3), 411-421
- Barutoğlu, Ö. H. (1961). TÜRKİYE TUZ YATAKLARI. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 1(2), 68-78
- Brouwer, P. (2013). Theory of XRF-Getting acquainted with the principles. PANalytical. EA Elmelo.
- Calin, M., Calin, M., Simionca, G., & Mera, O. (2011). Indoor radon levels and natural radioactivity in Turda salt mine, Romania. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 292(1), 193-201
- Çağatay, N., Eler A., Güleç N., Savaşçın Y., ve Tokel S., 1994. Jeokimya Temel Kavramlar ve İlkeler. 2. Baskı TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: 32.
- Çankırı Tuz Çalıştayı 2012-MİGEM
- Doğanay, S. kaynak tuzlarına bir örnek: aşkale tuzlası. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 11(15), 155-174.
- Duran S.U (2013)Orta ve Doğu Karadeniz Bölgesindeki Kaplıçalarda ve Çevresinde Doğal Radyoaktivite seviyelerinin Belirlenmesi Doktora Tezi.Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Trabzon.
- E. B. Faweya and K. A. Aduloju, "Annual Effective Dose and Integral Effective Dose Due to Activity Concentration of Radionuclides in Rocks in Ekiti State, Southwestern Nigeria", *J. of Res. In Phy. Sci.*, 3(2)(2007),pp. 8–10.
- E. B. Faweyaand And A. I. Babalola ,Radiological Safety Assessment and Occurrence Of Heavy Metals In Soil From Designated Waste Dumpsites Used For Building and Composting In Southwestern Nigeria.A. G. E. Abbadey and A. M. El-Arabi, "Naturally Occurring Radioactive Material from the Aluminium Industry. ACase Study. The Egyptian Aluminium Company Nag Hammady, Egypt", *J. Radiol. Protect.*, 20(2006),pp. 415–422.

- Eke, C. (2017). Bazı ticari tuz örneklerinde doğal ve yapay radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonlarının belirlenmesi. *Sakarya University Journal of Science*, 21(6), 1422-1433.
- Ergin, Z. (1988). Tuzun üretim teknolojisi ve insan sağlığındaki yeri. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 27(1), 9-30.
- ERGİNAL, A. E., & öztürk, b. kuvaterner eolinit (bozcaada) ve eosen kumtaşı (gelibolu yarımadası) üzerinde deniz tuzu ayrıştırması: mikroanalitik verilerin katkısı. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 139(139), 51-59.
- Erickson III, D. J., & Duce, R. A. (1988). On the global flux of atmospheric sea salt. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 93(C11), 14079-14088.
- Ersöz, M. A., & Doğan, H. (2010). Akışkan Yataklı Sürekli Bir Kurutucuda Göl Tuzu Kurutulmasının Deneysel İncelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(2), 155-163.
- Fatima, J. H. Zaidi, M. Arif, M. Daud, S. A. Ahmad, and S. N. A. Tahir, "Measurement of Natural Radioactivity and Dose Rate Assessment of Terrestrial Gamma Radiation in the Soil of Southern Punjab, Pakistan", *Radiat. Prot. Dosim.*, 128(2)(2008), pp. 206–212.
- ICRP (International Commission on Radiological Protection). (1996). Age-depended doses to members of the public from intake of radionuclides. Vol. 72, Part 5: compilations of ingestion and inhalation dose coefficient. Kanada.
- J. Al-Juundi, "Population Doses from Terrestrial Gamma Exposure in Areas Near to Old Phosphate Mine", *Russafia, Jordan, Radiation Measurement*, 35(1), pp. 23–28.
- Jockwer, N. (1981). Laboratory investigation of water content within rock salt and its behavior in a temperature field of disposed high-level waste. In *Scientific basis for nuclear waste management. Volume 3*.
- Jockwer, N., & Gross, S. (1985). Natural, thermal and radiolytical gas liberation in rock salt as a result of disposed high-level radioactive waste. *MRS Online Proceedings Library Archive*, 50.
- Karadeniz A.(2013) Ordu,Giresun ve Trabzon İleri sahil Kumlarında Doğal Gama Radyoaktivitesinin Belirlenmesi.Yüksek Lisans Tezi. .Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Trabzon.
- Karahan, G., 1997. İstanbul'un Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Tayini ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 118.
- Knoll G. F. (2000). *Radiation Detection and Measurements*. 3rd ed., John Wiley & Sons, Inc. ISBN: 0-471-07338-5, New York.

- Koday, S. (1998). Tuz Gölü Tuzlaları.
- Kraemer, T. F., & Reid, D. F. (1984). The occurrence and behavior of radium in saline formation water of the US Gulf Coast region. *Chemical geology*, 46(2), 153-174.
- Krane, K. S., 2001, Nukleer Fizik, Basar Sarer, 1. Cilt, Palme Yayıncılık, Ankara
- Krane, Kenneth S. (1988). *Introductory nuclear physics*. John Wiley and Sons, ISBN: 047180553X, New York.
- Kurnaz A. (2009) Trabzon İlinin ve Şebinkarahisar ilçesinin Doğal Radyoaktivite Düzeylerinin Belirlenmesi ve Yıllık Etkin Doz ;Eşdeğerleri.Doktora Tezi.Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Trabzon.
- L. Bruzzi, M. Baroni, G. Mazzotti, R. Mele, and R. Serena, "Radioactivity in Raw Material and End Products in the Italian Ceramics Industry", *J. Environm. Radioact.*, 47(2000), pp. 157–170.
- Lensky, N. G., Dvorkin, Y., Lyakhovsky, V., Gertman, I., & Gavrieli, I. (2005). Water, salt, and energy balances of the Dead Sea. *Water Resources Research*, 41(12).
- McCaffrey, R. J., & Thomson, J. (1980). A record of the accumulation of sediment and trace metals in a Connecticut salt marsh. In *Advances in geophysics* (Vol. 22, pp. 165-236). Elsevier
- N. N. Jibiri and G. O. Adewuyi, "Radionuclide Contents and Physico-Chemical Characterization of Solid Waste and Effluent Samples of Some Selected Industries in the City of Lagos, Nigeria", *Radioprotection*, 43(2)(2008), pp. 203–212.
- Özşen, H. (2009). Kaya tuzuna ait kısa ve uzun dönemli mekanik özelliklerin belirlenmesi ve matematiksel modellenmesi (Doctoral dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- P. Farai and J. A. Ademola, "Population Dose Due to Building Materials in Ibadan, Nigeria", *Radiat. Prot.Dosim.*, 95(2001), pp. 69–73.
- P. Farai. and N. N. Jibiri, "Baseline Studies of Terrestrial Outdoor Gamma Dose Rate Levels in Nigeria", *Radiat. Prot. Dosim.*, 88(2000), pp. 247–254.
- Peach, C. J., Spiers, C. J., Tankink, A. J., & Zwart, H. J. (1987). Fluid and ionic transport properties of deformed salt rock (No. EUR--10926). Commission of the European Communities.
- Ravisankar, R., Rajalakshmi, A., Eswaran, P., Gajendiran, V., & Meenakshisundram, V. (2007). Radioactivity levels in soil of salt field area, Kelambakkam, Tamilnadu, India. *Nuclear Science and Techniques*, 18(6), 372-375.

- S. Alaamer, "Assessment of Human Exposures to Natural Sources of Radiation in Soil of Riyadh, Saudi Arabia", *Turkish J. Eng. Env. Sci.*, 32(2008), pp. 229–234.
- Steinhauser, G., Sterba, J. H., Poljanc, K., Bichler, M., & Buchtela, K. (2006). Trace elements in rock salt and their bioavailability estimated from solubility in acid. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 20(3), 143-153.
- TAEK,2002.Türkiye Atom Enerjisi Kurumu ve Biz.Ankara.
- Tahir, SNA ve Alaamer, AS (2008). Kaya tuzu ve radyasyon dozlarında doğal radyoaktivitenin yutulmasından dolayı belirlenmesi. *Radyolojik Koruma Dergisi* , 28 (2), 233.
- Talbot, C. J. (1998). Extrusions of Hormuz salt in Iran. Geological Society, London, Special Publications, 143(1), 315-334.
- 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.
- Tıraş, M. çamaltı tuzlası. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 12(18), 291-300.
- 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 2000, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Annex B Exposure from natural radiation sources .
- URL-1, <http://physics.isu.edu/radinf/natural.html>, 19 Temmuz 2012.
- URL-2, http://www.billurtuz.com.tr/tuz_nedir.php,2016.
- URL-3, <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/kaya-tuzu>,2018
- URL-4,www.taek.gov.tr/bilgi-koşesi/radyasyon-insan-ve-cevre/81-radyasyonla-birlikte-yasiyoruz/233-yapay-radyasyon-kaynaklari.html, 5 Temmuz 2012.
- URL-5, www.nuclearnewcomer.com, Erişim Tarihi: 28 Aralık 2008.
- W. Ibrahim, "Natural Activities of ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K in Building Materials", *J. Environm. Radioact.*, 45(1999), pp. 255–258.
- Yalçın, E., & Ertem, M. E. (1997). Deniz tuzlarının Türkiye tuz potansiyelindeki yeri. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Kemal EYÜBOĞLU
Doğum Yeri ve Yılı : Çaycuma-1980
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : keyuboglu@kastamonu.edu.tr



Eğitim Durumu

Lise : Trabzon Anadolu Meslek Lisesi
Lisans : Karadeniz Teknik Üniversitesi

Mesleki Deneyim

İş Yeri : 2003-2012 MEB Öğretmenlik
İş Yeri : 2012- Devam Ediyor(Kastamonu Üniversitesi Taşköprü MYO
Öğretim Görevlisi