

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

**KAPADOKYA BÖLGESİNDE TÜKETİLEN AMBALAJLI
SULARIN RADYOLOJİK VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN
BELİRLENMESİ**

Nassrin Abdulwahed EM. ZRIBA

**Danışman
Jüri Üyesi
Jüri Üyesi**

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

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANA BİLİM DALI**

KASTAMONU – 2019

TEZ ONAYI

Nassrin Abdulwahed EM. ZRIBA tarafından hazırlanan "**Kapadokya Bölgesinde Tüketilen Ambalajlı Suların Radyolojik ve Kimyasal Özelliklerinin 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.

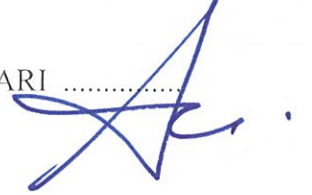
Danışman Prof. Dr. Şeref TURHAN
Kastamonu Üniversitesi



Jüri Üyesi Doç. Dr. Necla ÇAKMAK
Karabük Üniversitesi



Jüri Üyesi Doç. Dr. Aybaba HANÇERLİOĞULLARI
Kastamonu Üniversitesi



12/02/2019

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.

İmza

Nassrin Abdulwahed EM. ZRIBA



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KAPADOKYA BÖLGESİNDE TÜKETİLEN AMBALAJLI SULARIN RADYOLOJİK VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Nassrin Abdulwahed EM. ZRIBA

Kastamonu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Şeref TURHAN

Su, insan hayatı için elzemdir. Bu sebeple içme suyu, güvenli ve insani tüketim için yeterli nitelikte olmalıdır. Son zamanlarda, özellikle gelişmekte olan ülkelerin karşı karşıya kaldığı içme suyunun güvenli ve ulaşılabilir olmaması durumu, ambalajlı veya şişelenmiş içme sularının tüketimini arttırmıştır. Bu çalışmada, Kapadokya bölgesinde yer alan Nevşehir ilinde tüketilen 19 ticari markalı şişelenmiş içme suyu örneğinin kalitesi, insani tüketim uygunluğu için değerlendirildi. Su kalitesi ile ilgili analizler, toplam alfa (α), toplam beta (β) radyoaktivitesini ve çoğu ağır metal olan elementlerin nicel olarak belirlenmesini içermektedir.

Şişelenmiş içme suyu örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite derişimleri, gaz orantılı α/β sayacı kullanılarak ölçüldü. Toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite derişimlerinin ortalama değeri, sırasıyla 21 ± 5 mBq/L ve 59 ± 12 mBq/L olarak bulundu.

Şişelenmiş içme suyu örneklerindeki magnezyum (Mg), alüminyum (Al), krom (Cr), mangan (Mn), demir (Fe), kobalt (Co), nikel (Ni), bakır (Cu), çinko (Zn), arsenik (As), selenyum (Se), stronsiyum (Sr), gümüş (Ag), kadmiyum (Cd), antimon (Sb), cıva (Hg) ve kurşun (Pb) elementinin nicel analizleri, endüktif eşlenmiş - plazma optik emisyon spektrometresi (ICP-OES) kullanılarak yapıldı. Şişelenmiş içme suyu örneklerinin tamamında Al, As, Ag, Cu, Se ve Sb, ölçülebilir seviyenin altında bulundu. Mg, Sr, Fe, Pb, Hg, Zn, Cr, Co, Ni, Cd ve Mn'nin ortalama derişimi, sırasıyla 2898,95 $\mu\text{g/L}$, 62,89 $\mu\text{g/L}$, 3,35 $\mu\text{g/L}$, 3,08 $\mu\text{g/L}$, 2,03 $\mu\text{g/L}$, 1,97 $\mu\text{g/L}$, 1,89 $\mu\text{g/L}$, 1,70 $\mu\text{g/L}$, 1,69 $\mu\text{g/L}$, 1,23 $\mu\text{g/L}$ ve 1,03 $\mu\text{g/L}$ olarak ölçüldü

Deneysel sonuçlar, cıva hariç, şişelenmiş içme suyu örneklerinde ölçülen bütün radyolojik ve kimyasal değerlerin, ulusal yönetmelikler ve Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından belirlenen sınır değerlerden daha küçük olduğunu ortaya koydu. Şişelenmiş içme suyu örneklerinde ölçülen ortalama cıva seviyesi, ulusal yönetmeliklerin belirlediği sınır değerlerden 2 – 20 kat daha büyüktür.

Tüketilen şişelenmiş içme suyu örneklerindeki radyonüklitlerden yayınlanan iyonlaştırıcı radyasyonun oluşturduğu iç ışınlanmanın sebep olduğu yıllık etkin

radasyon dozunun ortalama değeri bebek, ocuk ve yetişkinlerin için, sırasıyla 9 $\mu\text{Sv/y}$, 13 $\mu\text{Sv/y}$ ve 25 $\mu\text{Sv/y}$ olarak hesaplandı. Bu doz değerleri, ulusal yönetmelikler ve DSÖ tarafından tavsiye edilen bireysel doz lit olan 100 $\mu\text{Sv/y}$ 'den önemli ölçüde daha küçüktür.

Anahtar Kelimeler: Şişelenmiş içme suyu, doğal radyoaktivite, etkin radasyon dozu, toplam alfa, toplam beta, iyonik bileşenler, esansiyel element, zehirli ağır metal.

2019, 100 Sayfa
Bilim Kodu: 202



ABSTRACT

MSc. Thesis

DETERMINATION OF RADIOLOGICAL AND CHEMICAL ASPECTS OF PACKAGED DRINKING WATERS CONSUMED IN CAPPADOCIA REGION

Nassrin Abdulwahed EM. ZRIBA

Kastamonu University
Institute of Science
Department of Physics

Supervisor: Prof. Dr. Şeref TURHAN

Water is essential for human life. Therefore, drinking water must be safe and quality enough to be consumed by humans. Recently, the consumption of packaged or bottled drinking water is increasing because the lack of safe and accessible drinking water frequently faced in developing countries. In this study, the quality of 19 brands of commercially available bottled drinking water samples consumed in Nevşehir province located in Cappadocia region were assessed for suitability for human consumption. Analyses related to water quality contain the quantitative determination of radioactivity of gross alpha (α), gross beta (β) and trace elements which most of them are heavy metals.

The radioactivity concentrations of gross alpha and gross beta of bottled drinking water samples were determined by using a gas proportional α/β counter. The average radioactivity concentration of the gross alpha and gross beta were found as 21 ± 5 mBq/L and 59 ± 12 mBq/L, respectively.

The quantitative analysis of magnesium (Mg), aluminum (Al), chromium (Cr), manganese (Mn), iron (Fe), cobalt (Co), nickel (Ni), copper (Cu), zinc (Ni), arsenic (As), selenium (Se), strontium (Sr), silver (Ag), cadmium (Cd), antimony (Sb), mercury (Hg) and lead (Pb) in bottled drinking water samples were performed by using an inductively coupled plasma - optical emission spectrometer (ICP-OES). Al, As, Ag, Cu, Se and Sb in all bottled drinking water samples were found to be below the detection limit. The average concentration of Mg, Sr, Fe, Pb, Hg, Zn, Cr, Co, Ni, Cd and Mn were measured as 2898.95 $\mu\text{g/L}$, 62.89 $\mu\text{g/L}$, 3.35 $\mu\text{g/L}$, 3.08 $\mu\text{g/L}$, 2.03 $\mu\text{g/L}$, 1.97 $\mu\text{g/L}$, 1.89 $\mu\text{g/L}$, 1.70 $\mu\text{g/L}$, 1.69 $\mu\text{g/L}$, 1.23 $\mu\text{g/L}$ and 1.03 $\mu\text{g/L}$, respectively.

The experimental results reveal that all radiological and chemical values measured in bottled drinking water samples, except for mercury, are lower than the limit values set by national regulations and World Health Organization (WHO). The average level of mercury measured in bottled drinking water samples is 2 - 20 times higher than the limit values set by national regulations.

The average annual effective radiation dose caused by internal exposure from ionizing radiations emitted from radionuclides in consumed bottled drinking water samples was estimated for infants, children, and adults as 9, 13, and 25 $\mu\text{Sv}/\text{y}$, respectively. These dose values are significantly lower than individual dose criterion of 100 $\mu\text{Sv}/\text{y}$ recommended by the national regulations and the WHO.

Key Words: Bottled drinking water, natural radioactivity, effective radiation dose, gross alpha, gross beta, essential element, toxic heavy metal.

2019, 100 Pages

Science Code: 202



TEŞEKKÜR

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

Örneklerin toplam alfa/beta ölçümleri için Dr. Halim TAŞKIN'a, örneklerin elementel analizleri için Dr. Yusuf Ziya YILMAZ'a ve Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi Müdürlüğüne içtenlikle teşekkür ederim.

Her ne zaman ihtiyaç duyduğumda, benden yardım ve desteklerini esirgemeyen Fizik Bölümü Öğretim üyesi Doç. Dr. Aslı KURNAZ'a ve Doç. Dr. Aybaba HANÇERLİOĞULLARI'na samimi duygularıyla teşekkür ederim.

Fizik Bölüm Başkanlığına teşekkür ederim.

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

Bu çalışmayı benim için çok kıymetli olan aileme ithaf ediyorum.

Nassrin Abdulwahed EM. ZRIBA
Kastamonu, Şubat, 2019

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	xiv
GRAFİKLER DİZİNİ	xv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xvi
TABLOLAR DİZİNİ	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1. Genel Bilgi	1
1.2. Tezin Amacı ve Kapsamı	9
1.3. Tezin Yapısı	10
2. LİTERATÜR TARAMASI VE ÖZETİ.....	12
3. MALZEME VE ANALİZ YÖNTEMLERİ.....	43
3.1. Şişelenmiş Su Örneklerinin Toplanması	43
3.2. Şişelenmiş Su Örneklerinin Analiz İşlemleri İçin Hazırlanması.....	43
3.2.1. Su Örneklerinin Radyoaktivite Analizi İçin Hazırlanması	44
3.2.1.1. Çöktürme yöntemi (SM 7110 C)	44
3.2.1.2. Buharlaştırma yöntemi (EPA 900.0).....	45
3.2.2. Su Örneklerinin Eser Element Analiz için Hazırlanması	46
3.3. Radyoaktivite Analizi.....	47
3.3.1. Radyoaktivite	47
3.3.2. Radyoaktif Bozunum Süreçleri	51
3.3.3. Radyoaktif Kaynaklar	53
3.3.4. İyonlaştırıcı Radyasyon ve Madde ile Etkileşmesi	57
3.3.5. Radyasyon Doz Birimleri ve Radyasyonun Biyolojik Etkileri	58
3.3.6. Toplam Alfa/Beta Radyoaktivite Analizi	61
3.4. Element Analizi	63

4. BULGULAR VE TARTIŞMA	66
4.1. Şişelenmiş Su Örneklerinin Toplam Alfa/Beta İçerikleri	66
4.2. Yıllık Etkin Radyasyon Dozunun Değerlendirilmesi.....	70
4.3. Şişelenmiş Su Örneklerinin Element İçerikleri	76
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	83
5.1. Öneriler.....	86
KAYNAKLAR	87
ÖZGEÇMİŞ	100



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AAS	Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi
AB	Avrupa Birliği
²²⁸ Ac	Aktinyum-228
Ag	Gümüş
Al	Alüminyum
²⁴¹ Am	Amerikyum-241
As	Arsenik
BDÖ	Bireysel doz ölçütü
²¹⁴ Bi	Bizmut-214
Bq	Becquerel (Bekerel)
kBq	10 ³ Bq
mBq	10 ⁻³ Bq
Cd	Kadmiyum
Co	Kobalt
⁶⁰ Co	Kobalt-60
Cr	Krom
¹³⁴ Cs	Sezyum-134
¹³⁷ Cs	Sezyum-137
Cu	Bakır
ÇŞB	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
d	Dakika
DL	Detection limit
DSÖ (WHO)	Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization)
E _α	Alfa parçacığının enerjisi
E _β	Beta parçacığının enerjisi
EPA	Environmental Protection Agency
¹⁸ F	Flor-18
Fe	Demir
FDA	Food and Drug Administration
g	gram
⁶⁷ Ga	Galyum-67
µg	10 ⁻⁶ gram
³ H	Tritiyum
Hg	Cıva
HPGe	Yüksek saflıklı germanyum (high purity germanium)
¹³¹ I	İyot-131
ICP-AES	Endüktif Eşlenmiş Plazma Atomik Emisyon Spektrometresi
ICP-OES	Endüktif Eşlenmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi
ICP-MS	Endüktif Eşlenmiş Plazma Kütle Spektrometresi

ICP-QMS	Endüktif Eşlenmiş Plazma Quadropol Kütle Spektrometresi
¹¹¹ In	İndiyum-111
¹⁹² Ir	İridyum-192
ISO	International Organization for Standardization
K	Kelvin
⁴⁰ K	Potasyum-40 (Radyoaktif potasyum)
kg	Kilogram
L	Litre
MeV	Milyon elektron volt
Mn	Mangan
Mg	Magnezyum
Ni	Nikel
³² P	Fosfor-32
PAH	Polisiklik aromatik hidrokarbonlar
²¹² Pb	Kurşun-212
²¹⁴ Pb	Kurşun-214
PET	Polietilen teraftalat
Pb	Kurşun
¹⁴⁷ Pm	Prometyum-147
²³⁸ Pu	Plütonyum-238
Ra	Radyum
²²⁶ Ra	Radyum-226
²²² Rn	Radon
s	Saniye
SB	Sağlık Bakanlığı
Sb	Antimon
Se	Selenyum
Sr	Stronsiyum
⁹⁰ Sr	Stronsiyum-90
Sv	Sievert
mSv	10 ⁻³ sievert
μSv	10 ⁻⁶ sievert
^{99m} Tc	Teknesyum-99m
TDS	Çözünen toplam katılar (Total dissolved solids)
TGD	Toplam gösterge dozu
Th	Toryum
²³⁴ Th	Toryum-234
²³² Th	Toryum-232
²⁰¹ Tl	Talyum-201
²⁰⁸ Tl	Talyum-208
TSE	Türk Standardları Enstitüsü
TS	Türk Standardı
U	Uranyum

UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
²³⁸ U	Uranyum-238
²³⁵ U	Uranyum-235
VOC	Uçucu organik bileşenler (Volatile organic compounds)
y	Yıl
Zn	Çinko



FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

	Sayfa
Fotoğraf 3.1. Bethold LB 770 markalı gaz orantılı toplam α/β sayacı.....	62
Fotoğraf 3.2. ICP-OES sistemi	65



GRAFİKLER DİZİNİ

	Sayfa
Grafik 1.1. Küresel ölçekte tatlı su kaynaklarının dağılımı (URL-1)	3
Grafik 4.1. Toplam alfa radyoaktivite değerlerinin histogramı	68
Grafik 4.2. Toplam alfa derişimlerinin sınır değerlerle karşılaştırılması.....	68
Grafik 4.3. Toplam beta radyoaktivite değerlerinin histogramı.....	69
Grafik 4.4. Toplam beta derişimlerinin sınır değerlerle karşılaştırılması	69
Grafik 4.5. Toplam YERD değerlerinin sınır değerlerle karşılaştırılması.....	76



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. İnsan vücudundaki su oranları	1
Şekil 1.2. Doğal su çevrimi (URL-1)	2
Şekil 1.3. Türkiye'nin tatlı su kaynakları (URL-1).....	3
Şekil 3.1. Uranyum radyoaktif serisi (URL-6).....	55
Şekil 3.2. Toryum radyoaktif serisi (URL-6).....	56



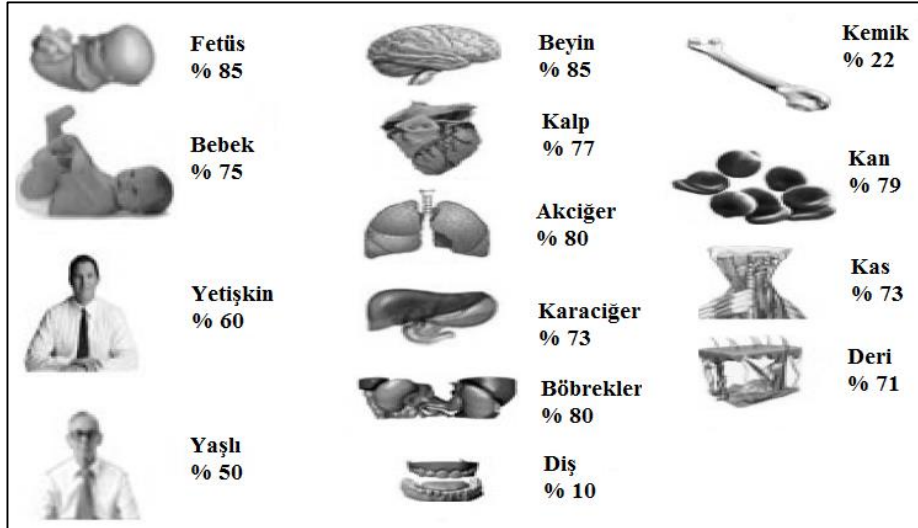
TABLULAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 3.1. Doğal radyoaktif serilere ait olmayan radyonüklitler	57
Tablo 3.2. Farklı radyasyonlar için KF değerleri	60
Tablo 3.3. Gaz orantılı toplam α/β sayacının teknik özellikleri	62
Tablo 3.4. Analiz edilen elementlerin dalga boyu	65
Tablo 4.1. Toplam alfa/beta radyoaktivite derişimleri.....	67
Tablo 4.2. Toplam alfa/beta derişimlerine ilişkin tanımlayıcı istatistiki bilgi..	67
Tablo 4.3. Toplam α/β değerlerinin literatür verileri ile karşılaştırılması	71
Tablo 4.4. α - ve β -ışını yayınlayan radyonüklitler için doz dönüşüm katsayısı	72
Tablo 4.5. Bebekler için hesaplanan yıllık etkin radyasyon doz değerleri	73
Tablo 4.6. Çocuklar için hesaplanan yıllık etkin radyasyon doz değerleri	74
Tablo 4.7. Yetişkinler için hesaplanan yıllık etkin radyasyon doz değerleri....	75
Tablo 4.8. Analiz edilen elementlerin ölçme sınırları.....	77
Tablo 4.9. Element derişimlerine ilişkin tanımlayıcı istatistiki bilgi	78
Tablo 4.10. Esansiyel element derişimleri	79
Tablo 4.11. Esansiyel olmayan eser element derişimleri.....	80
Tablo 5.1. İncelenen şişelenmiş içme suyu örneklerinin ağır metal içeriklerinin sınır değerlerle karşılaştırılması	84

1. GİRİŞ

1.1. Genel Bilgi

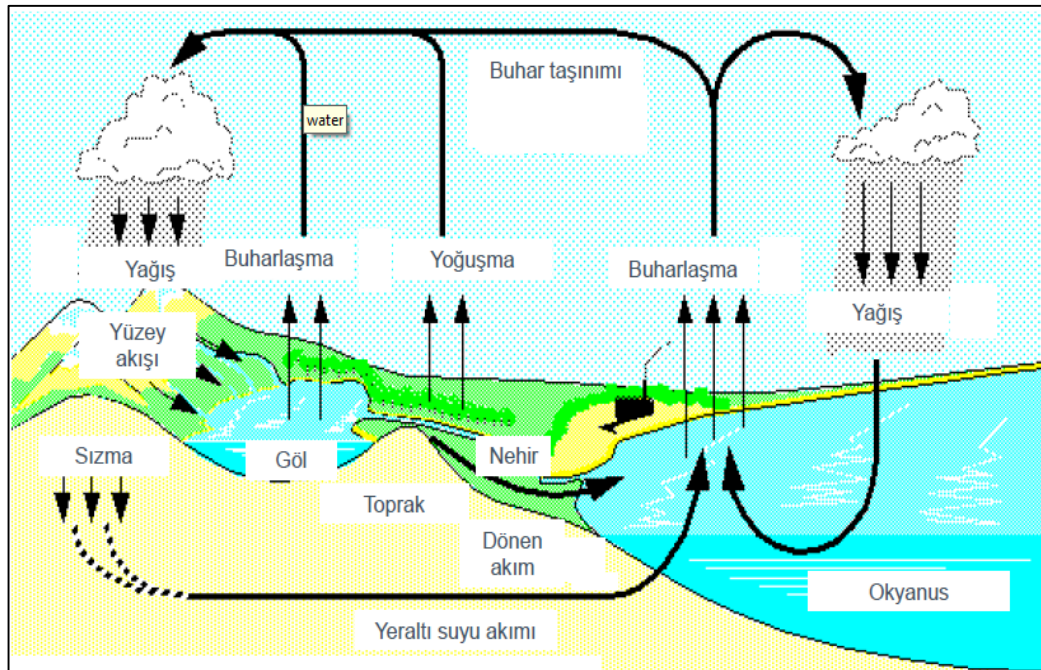
Su, insanın yaşamını sürdürebilmesi için elzem olan en önemli gıda maddesidir. Su olmadan insan hayatı kısa sürede sonlanır. İnsan vücudundaki su miktarı, yaşa, cinsiyete, kiloya ve boy uzunluğuna göre değişmektedir (Şekil 1.1). Vücudumuzdaki suyun büyük bir kısmı hücrelerde, diğer kalanı ise dokularda, damarlarda, sindirim sisteminde ve vücut boşluklarında bulunur. Vücut organlarının içerdiği su oranları, Şekil 1.1’de gösterilmektedir (Pandey, 2006). Sindirim sisteminde emildikten sonra kana geçen su, kan dolaşımı aracılığı ile vücuda dağılır ve daha sonra kılcal damarlardan çıkarak doku sıvısını oluşturur. Su, (1) vücut ısısını ayarlaması ve koruması, (2) hücrelerin içindeki ve dışındaki besin ve atık ürünlerin taşınmasına yardımcı olması, (3) vücutta bulunan karbondioksit, oksijen ve tuzları çözmesi ve bunları, kan dolaşım süreci ile farklı organlara dağıtması ve (4) suda çözünen vitaminlerin kullanılması ve ayrıca atık maddelerin vücuttan çıkarılması gibi hayati işlev görmektedir (Pandey, 2006).



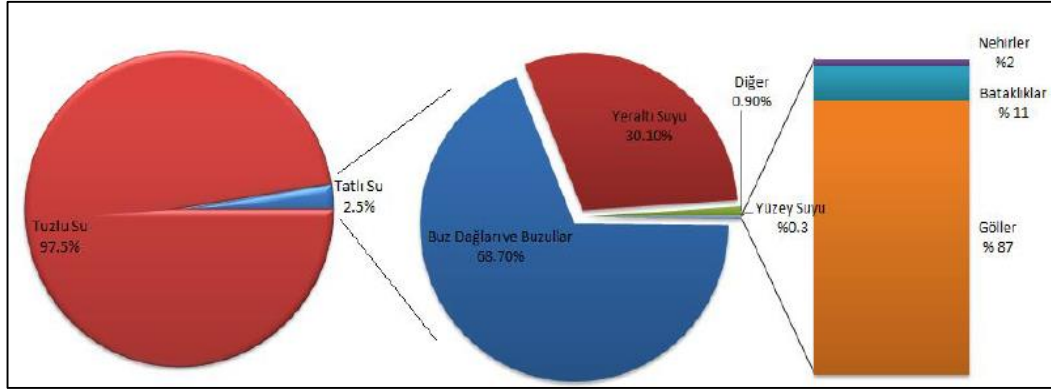
Şekil 1.1. İnsan vücudundaki su oranları (Pandey, 2006)

İçme suyu kaynaklarını, yer altı suları ile yüzey suları (nehir, çay, dere, baraj, göl, gölet vb.) oluşturmaktadır. Yer altı suları, hidrolojik döngü ile yağmur sularının toprak ve kayalar tarafından süzülmesi sonucunda meydana gelmektedir. Yağmur ve kar

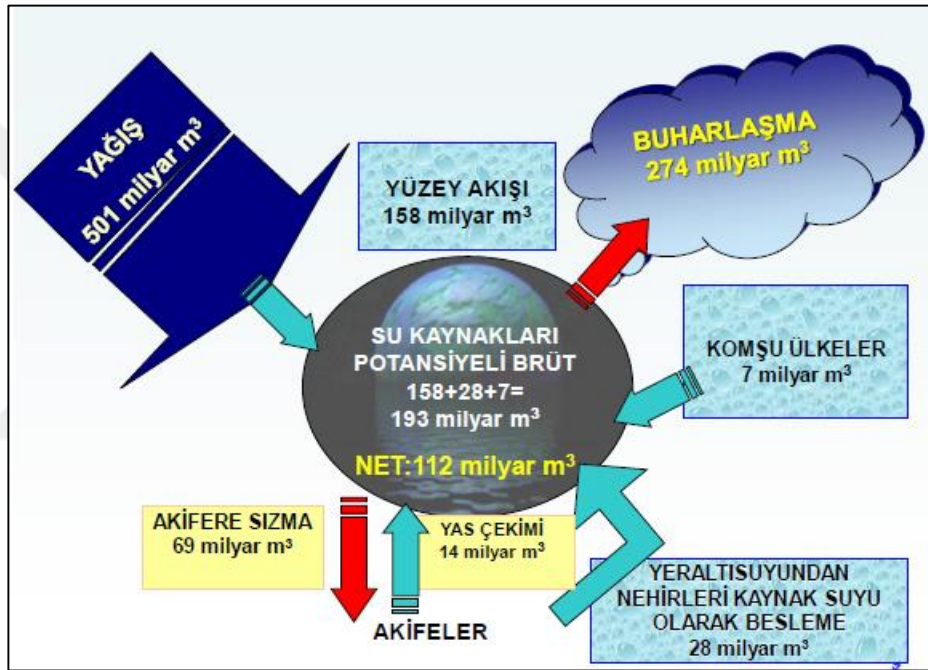
yağış miktarı, buharlaşma, toprağın yapısı vb. unsurlar, yer altı suyu kaynaklarının oluşmasında etkilidir. Şekil 1.2’de şematik olarak gösterilen su çevrimi içinde yağmur sularının bir kısmı doğrudan buharlaşmakta, bir kısmı bitkilerin terlemesi ile kaybolmakta, bir kısmı toprak ve kayalar tarafından süzülme ve bir kısmı da nehirlerle denizlere taşınmaktadır (Özçıtak, 2012). Dünyanın yaklaşık % 80’i su ile kaplı olmasına rağmen bu suların sadece % 2,5’inin, insani tüketime uygun tatlı su olduğu bilinmektedir. Tatlı su kaynaklarının dağılımı, Grafik 1.1’de gösterilmektedir. Tatlı suyun % 30,1’i yer altında ve % 68,7’si buzullarda depolanmaktadır. Kolaylıkla ulaşılabilir tatlı yüzey sularının, toplam içindeki oranı, % 0,3 mertebesindedir. Küresel ölçekte, iki veya daha fazla ülkenin politik sınırlarından geçen 263 nehir havzası vardır (URL-2). Bu havzalar, dünya toprak yüzeyinin yaklaşık % 50’sini ve küresel nüfusun % 40’ını temsil etmektedir (URL-2). Gelişmekte olan ülkelerde, tatlı su kaynaklarının % 8’i evsel, % 10’u endüstriyel ve % 82’si tarımsal faaliyetler için, gelişmiş ülkelerde ise % 11’i evsel, % 59’u endüstriyel ve % 30’u tarımsal faaliyetler için kullanılmaktadır (URL-1). Türkiye’nin su potansiyeli, Şekil 1.3’te verilmektedir. Türkiye’nin su potansiyeli net olarak 112 milyar m³’tür (URL-1). Türkiye’de, tatlı su kaynaklarının % 15’i evsel, % 11’i endüstriyel ve % 74’ü tarımsal faaliyetlerde kullanılmaktadır (URL-1).



Şekil 1.2. Doğal su çevrimi (URL-1)



Grafik 1.1. Küresel ölçekte tatlı su kaynaklarının dağılımı (URL-1)



Şekil 1.3 Türkiye'nin tatlı su kaynakları (URL-1)

Yeterli ve güvenli içme suyu kaynaklarına erişilebilir olmak sağlık için çok önemli olduğu kadar temel bir insan hakkıdır ve sağlığın korunması için etkili bir politikanın vazgeçilmez bir unsurudur. Bu sebeple, Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) ve her ülkenin ilgili kurum/kuruluşları tarafından, içme suyu elde etmek için güvenli olduğu kadar uygulanabilir her türlü çaba gösterilmektedir. Kuraklık, sel, fırtına ve diğer su olayları sonucunda oluşan su ihtiyacının dışında her insanın, her gün yeterli temiz suya erişmesi, hayati önem arz etmektedir. Doğal afetlerin % 90'ından sorumlu su ile ilgili tehlikeler ile iklimi ve gıda kaynaklarını etkileyen okyanus şartları, suyun hayatımızdaki rolünü daha da abartılı hâle getirmektedir (WHO, 2011). Suyun kalitesi, miktarı ve doğal çevrimindeki değişimler ve su sistemleri, insan hayatının bütün

unsurları üzerinde çok önemli etkilere sahiptir. İnsan nüfusunun sürekli büyümesi ve küresel boyutta temiz su kaynaklarının israf edilmesi, kirlenmesi ve iklim değişikliği sebebiyle azalması gibi devasa su problemleri, karmaşıklığı ve önemi ile insanlığın yirmi birinci yüzyılda da karşı karşıya kaldığı büyük bir sorun olmaya devam etmektedir. DSÖ tarafından yayınlanan 2017 yılı raporunda, 2015 yılı için aşağıda verilen istatistiki bilgi, durumun vahametini açıkça ortaya koymaktadır (WHO, 2017):

- 1) Küresel nüfusun yüzde 71'i (5,2 milyar insan), yerleşik müstemilat ile bulunan, gerektiğinde mevcut, kirlilikten arınmış ve güvenli bir şekilde yönetilen içme suyu hizmetlerinden faydalanmıştır.
- 2) Güvenli bir şekilde yönetilen içme suyuna yönelik tahmini hesaplamalar, sadece küresel nüfusun % 35'in temsil eden 96 ülke için mevcuttur.
- 3) Güvenli bir şekilde yönetilen içme suyu hizmetlerinden faydalanan üç kişiden biri (1,9 milyar insan), kırsal alanlarda yaşamaktadır.
- 4) On kişiden sekizi (5,8 milyar insan), ihtiyaç duyduğunda mevcut gelişmiş su kaynaklarından faydalanmaktadır.
- 5) Dört kişiden üçü (5,4 milyar insan), yerleşik müstemilata sahip gelişmiş su kaynaklarını kullanmaktadır.
- 6) Dört kişiden üçü (5,4 milyar insan) kirlilikten arınmış su kaynaklarını kullanmaktadır.
- 7) Küresel nüfusun yüzde 89'u (6,5 milyar insan), 30 dakikalık bir yolculuk içinde ulaşabildiği (su kaynağına gidiş-dönüş: 30 dakika) en az bir temel içme suyu hizmetinden faydalanmaktadır.
- 8) 844 milyon insan, hâlâ temel bir içme suyu hizmetinden faydalanamamaktadır.
- 9) 263 milyon insan, gelişmiş bir su kaynağına (sınırlı bir içme suyu hizmeti sağlayan kaynağa) ulaşabilmek için 30 dakikadan daha fazla zaman harcamaktadır.
- 10) 159 milyon insan hâlâ içme suyu olarak yüzey su kaynaklarını (nehir, baraj, göl, gölet, akarsu, kanal veya sulama kanalı) kullanmaktadır. Bu insanların % 58'i, Sahra-altı Afrika'da yaşamaktadır.

İçme suları, genellikle zamanla işleme tabi tutulmuş (arındırılmış) gelişmiş tesisler veya geliştirilmemiş basit tesislerden sağlanmaktadır. Geliştirilmiş tesisler

(kaynaklar), tasarım ve inşaatlarının doğası gereği güvenli su sağlama potansiyeline sahiptir. Bu kaynaklar, boru tesisatlı kaynaklar (konutlarında, bahçelerinde veya arsalarında musluk suyu bulunan hane halkları veya kamuya ait çeşme veya pınarlar) ve boru tesisatlı olmayan kaynaklar (sondaj delikleri, kuyu, yağmur suyu ve ambalajlanmış sular) olmak üzere iki grubu ayrılır (WHO, 2017). 2000 - 2015 yılları arasında, boru tedarikini kullanan nüfus, 3,5 milyardan 4,7 milyara ve boru tesisatı olmayan kaynakları kullanan nüfus ise, 1,7 milyardan 2,1 milyara yükseldi (WHO, 2017). Küresel ölçekte, kırsal alanlarda yaşayan beş kişiden ikisi ve kentsel alanlarda bulunan beş kişiden dördü boru tesisatlı kaynakları kullanmaktadır (WHO, 2017). Su sıkıntısı çekilen kurak veya yarı kurak bölgelerde, tuzundan arındırılmış deniz suyu, biriktirilmiş yağmur suyu ve arıtılmış atık su vb. alternatif veya alışılmamış olmayan su kaynakları öne çıkmakta ve şişelenmiş su tüketimi de giderek artmaktadır (Güler ve Alpaslan, 2009). Bununla birlikte günümüzde genellikle musluk suyundan daha güvenli olarak kabul edilen şişelenmiş doğal sular, belediye su kaynaklarından temin edilen musluk sularının hoş olmayan tadına ve kokularına (örneğin klor kokusuna) karşı olan kentsel alanlarda yaşayan birçok insan tarafından giderek artan oranda tüketilmektedir (Güler ve Alpaslan, 2009).

Ticari olarak ambalajlanmış (şişelenmiş ve poşetli su dâhil) içme suyu sektörü, geri dönüşümlü/dönüşümsüz suları ve maden sularını kapsamaktadır. Şişelenmiş su sektörü, bugün küresel çapta hızla gelişen bir pazar niteliğindedir (URL-3). Son 20 yılda şişelenmiş maden suyu, popülerlik kazanmış ve satış hacmi dünya çapında hızla artmıştır (Birke vd., 2010). Avrupa Birliği (AB) ülkelerinde, ticari olarak tanınan 1230'dan fazla şişelenmiş su markası bulunmaktadır (Birke vd., 2010). Türkiye'de çok dinamik ve rekabetçi bir pazar olan şişelenmiş su sektörü (veya endüstrisi), su kaynakları olarak doğal maden sularını, açılmış kuyulardan çıkarılan yer altı sularını ve serbest akışlı kaynak sularını kullanmaktadır. Türkiye'de göl, nehir, dere, çay vb. kaynaklardan temin edilen yüzey sularının, insani tüketim için ticari olarak şişelenip satılması yasaklanmıştır (Güler ve Alpaslan, 2009). Türk şişelenmiş suları; (1) doğal kaynak suyu, (2) doğal maden suyu, (3) içme suyu ve (4) işlenmiş içme suyu olarak sınıflandırılabilir. Türkiye'de 2011 yılında, şişelenmiş su üretimi, 9,3 milyar litreye ve kişi başına su tüketimi ise 135 litreye ulaşmıştır (URL-3). Şişelenmiş su tüketiminin, % 65'ini 19 L'lik PET şişe (damacana) suları oluştururken, geriye kalan % 35'lik

kısmını ise şişe suyu oluşturmaktadır. Türkiye’de, damacana ve şişe su kategorilerinde, ticari olarak 296 firma faaliyet göstermektedir (URL-3).

Su kirliliği, istenmeyen maddeler suya girdiğinde, suyun kalitesini değiştirdiğinde, çevre ve insan sağlığına zararlı olduğunda oluşmaktadır. Su kirliliği, insan sağlığı için iyi olmayan niteliksiz zayıf kalitede su manasına gelmektedir. Yeterli miktarda güvenli içme suyu, sağlıklı bir yaşam için ön şartlardan biridir. Küresel ölçekteki hastalıkların % 80’ine karşılık gelen su kaynaklı hastalıklar, dünyanın birçok yerinde, özellikle de çocuklarda önemli bir ölüm sebebidir (Haseena ve Malik, 2017). İçme suyunun kirlenmesine bağlı hastalıklar, insan sağlığı üzerinde ciddi sorunlar ve büyük yükler oluşturmaktadır. Bu yüzden, içme suyunun kalitesini iyileştirmeye yönelik müdahaleler, sağlığa önemli faydalar sağlamaktadır. İçme suları, özellikle de suyun aktığı jeolojik tabakalardan kaynaklanan doğal kirletici ve insani faaliyetlerden kaynaklanan doğal olmayan kirletici maddeleri içermektedir. Genel olarak, yer altı suyu, yüzey sularına kıyasla kirliliğe karşı daha az savunmasızdır. İçme suyu kaynakları, insan nüfusunun hızlı bir şekilde büyümesinin sonucu olarak kentleşme ve endüstriyel büyüme sebebiyle kirlenmektedir. Evsel ve endüstriyel atıkların boşaltılması, deniz çöpleri, bertaraf edilen ağır metaller, radyoaktif atıklar ve atmosferik birikim su kirliliğinin başlıca nedenleridir.

Evsel kanalizasyon, sanayileşme, nüfus artışı, pestisitler, gübreler, plastikler, polietilen torbalar ve kentleşme gibi başlıca su kirliliği kaynakları, biyolojik (mikrobiyal) kirleticiler, kimyasal kirleticiler ve radyolojik kirleticiler olarak üç grupta toplanabilir. Hastalık yapan (patojenik) bakterileri, virüsleri, mantarları, algleri, amipleri ve parazitleri (protozoa ve helmintler) içeren biyolojik kirleticilerin sebep olduğu bulaşıcı hastalıklar, içme suyuyla ilişkili en genel ve en yaygın sağlık risklerini oluşturur (WHO, 2011). Bütün içme suyu kaynakları, doğal olarak oluşan ve/veya doğal olmayan bir dizi inorganik (arsenik, baryum, bor, krom, florür selenyum, kadmiyum, civa vb.) ve organik (benzen, karbon tetraklorür, diklorobenzen, dikloroetan, dikloroeten, diklorometan, edetik asit, etilbenzen, nitrilotriasetik asit, stiren, tolüen vb.) kimyasal kirleticileri içerir (WHO, 2011). Bu kimyasalların bazıları kanser yapıcı (kanserojen), bazıları muhtemel kanserojen, bazıları kansere neden olabilen ve bazıları da kanserojen olmayan niteliktedir.

İçme suları, insan sağlığı açısından risk oluşturabilecek radyoaktif maddeler (radyonüklitler) içerebilir. Bu riskler, normalde içme suyunda bulunabilecek mikroorganizma ve kimyasallardan kaynaklanan risklere kıyasla küçük olmasına rağmen, bireylerin sağlığını tehdit edecek seviyede riskler oluşturabilir. İçme sularındaki radyoaktivite, doğal ve yapay kaynaklardan ileri gelmektedir. Çevrede doğal olarak bulunan bazı kimyasal elementler (uranyum, toryum ve aktinyum doğal radyoaktif serilerine ait radyonüklitler, radyoaktif potasyum vb.) radyoaktiftir. Bunlara ek olarak dünya, kozmik radyasyon olarak bilinen hem güneşten hem de güneş sisteminin dışından gelen yüksek enerjili parçacıklar tarafından sürekli olarak bombalanmaktadır. Yapay radyoaktif kaynakları, (1) tıp (teşhis ve tedavi), tarım ve endüstriyel faaliyetlerde farklı amaçlar için kullanılan radyonüklitler ve (2) özellikle 1945-1980 arasında yapılan toplam 543 atmosferik nükleer silah denemesi ve 1986 yılında meydana gelen Çernobil Nükleer Santrali Kazası sonrasında doğrudan atmosfere salınan radyonüklitler oluşturmaktadır (UNSCEAR, 2000; Özçıtak, 2012). Yapay radyonüklitler, doğal radyonüklitlere göre ihmal edilebilir düzeydedir (WHO, 2011). Doğal radyonüklitler, kayalarda ve toprakta bölgeden bölgeye değişiklik gösterecek şekilde bulunmaktadır (UNSCEAR, 2000). Yer altı suyunun toprak ve kayalarla etkileşmesi sonucunda çözünen ve serbest kalan radyoaktif bileşenlerin miktarı, (1) toprağın jeokimyasal bileşenine, (2) kayaların mineralojik yapısına, (3) suyun kimyasal yapısına, (4) kayaların aşınma derecesine, (5) redoks şartlarına ve (5) yer altı suyunun toprak ve kayalarda bekleme süresine bağlı olarak değişebilmektedir (Özçıtak, 2012). Sonuç olarak yer altı sularıyla taşınan bu radyonüklitler, insanlar tarafından içme suyu olarak kullanılan yer altı suları ile doğrudan ve tarla bitkilerinin sulanmasında kullanılan yer altı veya yüzey suları aracılığıyla dolaylı olarak gıda zincirine girebilmektedir. İçme suyunun sindirilmesi ile vücuda alınabilen uzun yarı ömürlü radyonüklitler; böbreğin, karaciğerin, mesanenin, kemiklerin ve kemik iliğinin ışınlamasına dolayısıyla bireylerin sağlığını tehdit edebilecek boyutta radyasyon dozu almasına sebep olabilmektedir (Özçıtak, 2012). Ayrıca içme sularında bulunan radyumun (^{226}Ra) radyoaktif bozunum ürünü olan radon (^{222}Rn) gazının solunum yolu ile vücuda alınması, zaman içerisinde akciğer kanser riskini arttırabilmektedir.

İçme suyu güvenliğinin sorgulanmasının temelini, ulusal/uluslararası standartlar ve/veya mevzuatlar (yönetmelikler) oluşturmaktadır. Bunlardan en önemlisi,

DSÖ'nün oluşturduğu ve yayınladığı içme suyu kalitesi için hazırlanan yönergeler veya yol gösterici bilgilerdir (WHO, 2006; WHO, 2011). Bu tür yayınlar, düzenli olarak gözden geçirilmekte ve su güvenliğinin birçok yönünü açıklayan bir dizi ayrıntılı belge ile desteklenmektedir. İçme suyu standartlarının doğası ve biçimi, ülkeler ve bölgeler arasında farklılık gösterebilir. Evrensel olarak geçerli olan tek bir yaklaşım yoktur. Standartların geliştirilmesinde ve uygulanmasında, su, sağlık ve yerel yönetime ilişkin mevcut veya planlı mevzuatın dikkate alınması şarttır. Bir ülkede veya bölgede geçerli olan yaklaşımlar, başka ülkelere veya bölgelere aktarılmaz. Her ülkenin, düzenleyici bir çerçeve geliştirebilmesi için ihtiyaç ve kapasitelerini gözden geçirmesi zaruridir. Bugün birçok ülke, DSÖ'nün içme suyu kalitesine ilişkin olarak tavsiye ettiği yol gösterici bilgiyi dikkate alarak içme sularındaki mikrobiyal, kimyasal ve radyolojik kirlenmeyi sınırlayan standart veya yönetmelik hazırlamıştır (Avrupa Komisyonun direktifleri, EPA yönergeleri, ISO 2007, ISO 2008, ISO 2009b gibi uluslararası standartlar vb.). Türkiye'de, içme suyu kalitesi, Sağlık Bakanlığı (SB) tarafından hazırlanan İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik, Türk Standardları Enstitüsü (TSE) tarafından hazırlanan TS266 Standardı ve Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB) tarafından hazırlanan Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği ile kontrol ve takip edilmektedir.

DSÖ, içme sularındaki radyoaktivitenin, ölçülmesini, izlenmesini ve sınırlandırılmasını zorunlu hâle getirmiştir. DSÖ, içme suları için bireysel radyasyon doz ölçütü (BDÖ) olarak 0,1 mSv/y değerini tavsiye etmiştir (WHO, 2011). Bu ölçüt, Avrupa Komisyonu tarafından hazırlanan İçme Suyu Direktifinde toplam gösterge dozu (TGD) olarak isimlendirilmiş ve aynı değer kabul edilmiştir (Özçıtak, 2012). Bununla birlikte BDÖ veya TGD, içme sularında doğrudan ölçülememektedir. TGD, su örneklerinin içerdiği her bir doğal ve/veya yapay radyonüklitin katkısının belirlenmesiyle hesaplanabilmektedir. Radyonüklit katkısının belirlenmesi ise ancak radyonüklitin nicel olarak analiz edilmesiyle mümkün olabilmektedir. Tecrübeler, alfa-, beta- ve gama- ışını (radyasyonu) yayınlayabilen radyonüklitlerin nicel analizlerinin, pahalı ve zaman alan bir süreç olduğunu göstermiştir. Bu yüzden, radyonüklitlerin nicel analiz süreçleri yerine daha uygulanabilir bir yöntem olan ve içme sularının içerdiği toplam alfa/beta aktivitesinin ölçülmesini esas alan tarama yöntemi tercih edilmiştir (Özçıtak, 2012). Bu kapsamda toplam alfa/beta ölçümü, içme

sularının içerdiği radyonüklitlere (radyoizotoplara) yönelik ileri analizlerin, gerekli olup olmadığının belirlenmesi için ön tarama yöntemi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca ölçme sonucunda elde edilen toplam alfa/beta aktivite değerleri, içme su kaynaklarının radyolojik karakteristiğindeki değişimlerin algılanması ve içme sularının radyonüklit içeriğindeki uzaysal ve/veya zamansal yönelimlerin saptanması için de değerlendirilmektedir (Özçıtak, 2012). DSÖ, içme sularına yönelik tarama sınırını, toplam alfa radyoaktivite derişimi (seviyesi) için 0,5 Bq/L ve toplam beta radyoaktivite derişimi için ise 1 Bq/L olarak tavsiye etmiştir (WHO, 2006). İçme sularının radyonüklit içeriğinin hem güvenilir hem de uygun maliyette değerlendirilebilmesini mümkün olduğu kadar uygun hâle getiren bu sınır değerlerin aşılması, ileri analiz gerekmediği anlamına gelmektedir (Özçıtak, 2012). Türkiye’de ise SB tarafından hazırlanan İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelikte (URL-4) ve TSE tarafından hazırlanan İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardında (TS266, 2005) bireysel doz ölçütü olarak 0,1 mSv/y, toplam alfa radyoaktivitesinin sınırı değeri olarak 0,1 Bq/L ve toplam beta radyoaktivitesinin sınır değeri olarak 1 Bq/L değeri dikkate alınmıştır. Bununla birlikte, ÇŞB tarafından hazırlanan Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelikte (URL-5), “Sınıf I-Yüksek Kaliteli Su” için bireysel doz ölçütü ve toplam beta radyoaktivitesinin sınır değeri değiştirilmemiş ancak toplam alfa radyoaktivitesinin sınır değeri değiştirilerek 0,1 Bq/L yerine 0,5 Bq/L değeri kabul edilmiştir (Özçıtak, 2012).

İçme suyu kalitesinin yukarıda bahsedilen mevzuatlar kapsamında kontrol edilebilmesinin yegâne şartı, içme suyu kaynaklarının ve içme suyunun içerebileceği mikrobiyal, kimyasal ve radyolojik kirleticilerin, doğru, hızlı, kesin ve hassas olarak analiz edilebilmesidir.

1.2. Tezin Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı:

- 1) Kapadokya bölgesinin en önemli şehirlerinden biri olan Nevşehir’de içme suyu olarak tüketilen ticari olarak satılan şişelenmiş içme sularının kalitesinin,

radyolojik ve kimyasal açıdan ulusal/uluslararası yönetmeliklere uygun olup olmadığının araştırılması,

- 2) Bireylerin maruz kaldıkları olası radyolojik risklerin değerlendirilmesine ilişkin olarak şişelenmiş içme sularından kaynaklanan ilave radyasyon dozunu hesaplanması,
- 3) Şişelenmiş içme sularının kalitesi, yönetimi ve kullanılması ile ilgili standartların geliştirilmesine yönelik olarak yol gösterici bilgi elde edilmesi ve
- 4) Sınır değerlerin aşılması durumunda, gerekli tedbirlerin alınmasına yönelik olarak verilerin ilgili kurum ve/veya kuruluşlar ile paylaşılmasıdır.

Bu amaca yönelik olarak tez kapsamında, (1) Kapadokya Bölgesinde ticari olarak mevcut 19 farklı markalı şişelenmiş içme suyu örneğinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite derişimleri, gaz orantılı alfa/beta sayacı ile ölçüldü, (2) su örneklerinde bulunan alfa ve beta radyasyonu yayınlayan radyonüklitlerden kaynaklanan yıllık etkin radyasyon dozu, bebek, çocuk ve yetişkinler için hesaplandı ve (3) esansiyel, esansiyel olmayan eser element ve ağır metal (Mg, Al, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Cu, As, Se, Sr, Ag, Cd, Sb, Hg ve Pb) derişimleri, endüktif eşlenmiş - plazma optik emisyon spektrometresi (ICP-OES) kullanılarak ölçüldü.

1.3. Tezin Yapısı

Bu tez beş bölümden oluşmaktadır. Çalışmanın birinci bölümünde; içme suyunun önemi, tatlı su kaynakları, küresel ölçekte su sorunları, su kirliliği, şişelenmiş su sektörü, su kirliliği kontrolü, tezin amacı ve kapsamı hakkında bilgi verildi. İkinci bölümde, yer altı ve yüzey sularının, musluk sularının, şişelenmiş içme, maden ve kaynak sularının mikrobiyal, kimyasal ve radyolojik içerikleri ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar özetlendi. Üçüncü bölümde, şişelenmiş örneklerinin toplanmasına, örneklerin radyolojik ve kimyasal ölçme işlemleri için hazırlanmasına, radyoaktivite, radyoaktif bozunum süreçlerine, radyoaktif kaynaklara, iyonlaştırıcı radyasyona ve madde ile etkileşmesine, radyasyon birimlerine, radyasyonun biyolojik etkilerine ve ölçme yöntemlerine ilişkin bilgi verildi. Dördüncü bölümde, analizler sonucunda elde edilen her bir şişelenmiş içme suyu örneğine ait toplam alfa, toplam beta radyoaktivite seviyeleri ve element ve/veya ağır metaller seviyeleri, tablolar ve grafikler şeklinde

sunuldu. Beşinci bölümde, elde edilen ortalama değerler, ulusal yönetmelikler ve DSÖ tarafından belirlenen ölçütleri ile karşılaştırıldı ve içme suyu kalitesinin kontrolüne yönelik bazı öneriler yer aldı.



2. LİTERATÜR TARAMASI VE ÖZETİ

Bu kısımda, farklı suların (yer altı suları, yüzey suları, musluk suları, şişelenmiş maden suları, şişelenmiş kaynak suları vb.) kalitesine yönelik literatürde yer alan ulusal ve uluslararası çalışmalar hakkında öz bilgi verildi.

Sajo-Bohus vd., (1997) tarafından yapılan çalışmada, Venezuela'da tüketilen şişelenmiş mineral su örneklerinin içerdiği doğal ve yapay radyoaktivite ölçüldü. Çalışma sonucunda, (1) araştırılan şişelenmiş mineral su örneklerinin % 54'ünün toplam alfa aktivite derişiminin 0,185 Bq/L'den daha küçük, (2) % 12'sinin toplam alfa aktivitesinin 0,37 Bq/L'den daha büyük ve (3) su örneklerinin tüketilmesinden kaynaklanan toplam yıllık radyasyon dozunun 2,3 mSv/y olduğu bulundu.

Malanca, Repetti ve Macêdo (1998) tarafından yapılan çalışmada, Brezilyanın orta ve doğu bölgelerinden 30 ayrı noktadan toplanan 69 adet yüzey ve yer altı su örneklerindeki toplam alfa/beta aktivite seviyesi, sıvı sintilasyon sayacı kullanılarak ölçüldü. Çalışma sonucunda, (1) toplam alfa ve toplam beta aktivite seviyeleri, sırasıyla $< 2,8 \text{ Bq/m}^3$ - 354 Bq/m^3 ve $50,5 \text{ Bq/m}^3$ - 580 Bq/m^3 aralığında ölçüldü ve (2) su örneklerinin tüketilmesinden kaynaklanan ortalama yıllık etkin radyasyon doz değeri $60 \pm 42 \mu\text{Sv}$ olarak hesaplandı.

Sánchez, Montero, Escobar ve Vargas (1999) tarafından yapılan çalışmada, İspanya'da tüketilen ve Fransa, Portekiz ve İspanya'nın farklı yerlerinden gelen 43 farklı şişelenmiş maden suyu örneklerinin radyoaktivite içeriği, toplam alfa/beta aktiviteleri ve bazı radyonüklitlerin aktivitesi, gaz orantılı sayaç ve gama-ışını spektrometresi kullanılarak araştırıldı. Çalışma sonucunda, (1) bazı su örneklerinin içerdiği toplam alfa/beta aktivite seviyelerinin, İspanya Düzenleme Kurulu tarafından belirlenen referans değerleri aştığı, (2) örneklerin radyoaktivite içeriği ile buharlaştıktan sonra kalan kuru kalıntı arasında kuvvetli bir ilişki olduğu ve (3) yüksek radyoaktivite içeriğinin, esas olarak yer altı kökenli su örneklerinin mineral yapısı ile ilgili olduğu bulundu.

Öztürk ve Yılmaz (2000) tarafından yapılan çalışmada, Kütahya’da bulunan Tunçbilek Termik Santralının etrafından toplanan 9 adet içme suyu örneğinin içerdiği (1) toplam alfa/beta aktivite seviyesi gaz orantılı sayaç kullanarak ve (2) eser ağır metal (arsenik, cıva, kurşun, kadmiyum, bakır, krom, demir, mangan ve çinko) seviyeleri atomik absorpsiyon spektrofotometresi (AAS) kullanılarak ölçüldü. Çalışma sonucunda, (1) içme suyu örneklerinin toplam alfa ve toplam beta seviyeleri, sırasıyla 0,04 Bq/L - 0,40 Bq/L ve 0,04 Bq/L - 0,70 Bq/L aralığında ve (2) içme suyu örneklerinin ağır metal seviyelerinin ise DSÖ tarafından belirlenen sınır değerlerin altında olduğu bulundu.

Karahan, Öztürk ve Bayülken (2000) tarafından yapılan çalışmada, İstanbul’dan toplanan (1) 7 musluk suyu ve 8 kuyu suyu örneğinin içerdiği toplam alfa/beta aktivitesi gaz orantılı sayaç ile ve (2) 4 adet yüzey (göl) suyu, 4 adet deniz suyu, 1 adet kar ve 1 adet yağmur örneğinin içerdiği ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklitlerinin derişimi, yüksek saflıktaki germanyum (HPGe) dedektörlü bir gama-ışını spektrometresi ile ölçüldü. Çalışma sonucunda, (1) içme suyu örneklerindeki doğal radyoaktivite değerlerinin, DSÖ ve TSE tarafından belirlenen sınır değerleri aşmadığı, (2) 4 deniz ve yüzey su örneğinin aktivite seviyesinin, sınır değerleri aştığı ve (3) içme suyu örneklerinde ölçülen toplam alfa ve toplam beta aktivite seviyesinin, sırasıyla 0,007 Bq/L - 0,04 Bq/L ve 0,02 Bq/L - 0,1 Bq/L aralığında değiştiği bulundu.

Sawodni, Pazdur ve Pawlyta (2000) tarafından yapılan çalışmada, Polonya’nın Üst Silesia alanından toplanan yüzey su örneklerindeki trityum (^3H) aktivite derişimi ölçüldü. Çalışma sonucunda, su örneklerinin ^3H derişiminin, atmosferik nükleer silahların denenmesinden önceki dönemlere döndüğü teyit edildi.

Saqan, Kullab ve Ismail (2001) tarafından yapılan çalışmada, Ürdün’de sağlık amaçlı olarak kullanılan termal su örneklerinin doğal olarak içerdiği ^{234}Th , ^{226}Ra , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{228}Ac , ^{212}Pb , ^{208}Tl , ^{235}U ve ^{40}K radyonüklitlerinin aktivite derişimleri, HPGe dedektörlü bir gama-ışını spektrometresi kullanılarak ölçüldü. Çalışma sonucunda radyonüklitlerin aktivite seviyelerinin, 0,14 Bq/L – 34,8 Bq/L aralığında değiştiği bulundu.

Baradács, Hunyadi, Dezsö, Csige ve Szerbin (2001) tarafından yapılan çalışmada, Macaristan'ın farklı bölgelerinden temin edilen termal (kaplıca) ve şişelenmiş su örneklerinin içerdiği ^{222}Rn ve ^{226}Ra aktivite seviyeleri, farklı radyoanalitik yöntemler ile belirlendi. Çalışma sonucunda, (1) Tuna nehrinin kıyısı boyunca yer alan dünyaca ünlü termal tesislerden (kaplıcalardan) temin edilen termal su örneklerinin yüksek seviyede ^{222}Rn (100 kBq/m^3) ve ^{226}Ra (1 kBq/m^3) içerdiği, (2) Büyük Macar Ovasının kuzeydoğu bölgesinde bulunan jeotermal suların ^{226}Ra içeriğinin daha yüksek seviyede (birkaç kBq/m^3) olduğu ve (3) Macaristan, Avrupa ve Kuzey Amerika'da ticari olarak satılan ve tanınan Apenta marka şişelenmiş mineralli su örneğinin en yüksek ^{226}Ra derişiminin, 2 kBq/m^3 'ü aştığı bulundu.

Oliveira, Mazzilli, Sampa ve Bambalas (2001) tarafından yapılan çalışmada, Brezilya'nın Sao Paulo eyaletinde bulunan 452 içme suyu kaynağının doğal olarak içerdiği ^{226}Ra , ^{228}Ra ve ^{222}Rn radyonüklitlerinin aktivite seviyeleri belirlendi. Çalışma sonucunda (1) içme suyu kaynaklarının içerdiği ^{226}Ra aktivite derişiminin 235 mBq/L 'ye, ^{228}Ra aktivite derişiminin 131 mBq/L 'ye ve ^{222}Rn aktivite derişiminin 315 Bq/L 'ye ulaştığı gözlemlendi, (2) su örneklerinin tüketilmesi sebebiyle yetişkin bir bireyin maruz kaldığı yıllık etkin radyasyon dozu, ^{226}Ra için $6 \times 10^{-3} \text{ mSv/y}$, ^{228}Ra için $2 \times 10^{-2} \text{ mSv/y}$ ve ^{222}Rn için $3 \times 10^{-1} \text{ mSv/y}$ olarak hesaplandı ve (3) toplam doza en büyük katkının, ^{222}Rn 'den geldiği bulundu.

Oliveira, Mazzilli, Costa ve Tanigava (2001) tarafından yapılan çalışmada, Brezilya'nın güneydoğu bölgesinde ticari olarak satılan şişelenmiş 17 marka maden suyu örneğinde doğal olarak bulunan ^{226}Ra , ^{228}Ra ve ^{210}Pb radyonüklitlerinin aktivite seviyeleri belirlendi. Çalışma sonucunda (1) şişelenmiş maden suyu örneklerinin içerdiği ^{226}Ra aktivite derişiminin 647 mBq/L 'ye, ^{228}Ra aktivite derişiminin 741 mBq/L 'ye ve ^{210}Pb aktivite derişiminin ise 85 mBq/L 'ye ulaştığı gözlemlendi ve (2) şişelenmiş maden suyu örneklerinin tüketilmesi sebebiyle yetişkin bir bireyin maruz kaldığı ortalama yıllık etkin dozu, ^{226}Ra için $1,3 \times 10^{-2} \text{ mSv/y}$, ^{228}Ra için $3,4 \times 10^{-2} \text{ mSv/y}$ ve ^{210}Pb için $9,4 \times 10^{-3} \text{ mSv/y}$ olarak hesaplandı.

Rangel vd., (2002) tarafından yapılan çalışmada, Meksika'da marketlerde satılan 21 adet yerli ve uluslararası markalı şişelenmiş (arıtılmış ve maden) su örneğinin toplam

alfa/beta aktivite derişimleri, sıvı sintilasyon dedektörü kullanılarak ölçüldü ve bu suların tüketilmesi radyolojik açıdan değerlendirildi. Çalışma sonucunda, (1) arıtılmış bütün su örneklerinin içerdiği toplam beta aktivite seviyesinin, içme suyu için belirlenen sınır olan 1 Bq/L değerinden daha küçük ve (2) 3 markanın içerdiği toplam alfa seviyesinin, içme suyu için belirlenen sınır olan 0,1 Bq/L değerinden daha büyük olduğu bulundu.

Ikem, Oduyungbo, Egiebor ve Nyavor (2002) tarafından yapılan çalışmada, ABD'nin Alabama şehirlerinden rastgele toplanan hem arındırılmış hem de maden sularını içeren 25 marka şişelenmiş su örneğinin, insani tüketim için uygunluğunu araştırıldı. Su örneklerinin (1) pH'ı, iletkenliği, bazikliği, (2) klorür, nitrat+nitrit, fosfat, toplam karbon (TC), inorganik karbon (IC), toplam organik karbon (TOC) içeriği, (3) 27 element içeriği ölçüldü ve (4) elde edilen sonuçlar, EPA içme suyu standartları ve Avrupa Birliği (AB) direktifleri ile karşılaştırıldı. Çalışma sonucunda, (1) su örneklerinin bakır, kurşun, antimon, çinko, mangan, alüminyum, krom, magnezyum, fosfor, kalsiyum, sülfat, klorür ve nitrat+nitrit içeriklerinin, EPA standartlarından ve AB'nin izin verilen azami değerlerinden daha küçük olduğu, (2) bazı su örneklerinin iletkenlik ve pH değerlerinin, arsenik, kadmiyum, cıva, çinko, selenyum ve talyum içeriklerinin, EPA ve AB değerlerinde daha yüksek olduğu, (3) su örneklerinin büyük bir kısmında analiz edilen TOC değerlerinin, 3 mg/L'yi aştığı ve (4) su kalitesine yönelik olarak şişelenmiş maden suyu markalarında analiz edilen bileşen seviyelerinin, birçok durumda, şişelenmiş arındırılmış veya damıtılmış su markalarından daha büyük olduğu bulundu.

Kralik, Friedrich ve Vojir (2003) tarafından yapılan çalışmada, Avusturya'da ticari satılan yerli şişelenmiş maden suyu, soda, kaynak suyu, içme suyu ve kaplıca suyundan oluşan 60 markanın doğal olarak içerdiği ^{226}Ra , ^{222}Rn ve ^{210}Pb radyonüklitinin aktivite seviyeleri belirlendi. Çalışma sonucunda su örneklerindeki (1) ^{226}Ra 'nin derişiminin en yüksek değerinin 0,23 Bq/L ve geometrik ortalamasının ise 0,041 Bq/L, (2) ^{222}Rn seviyesinin, < 0,12 Bq/L – 18 Bq/L aralığında değiştiği ve geometrik ortalamasının ise 0,54 Bq/L ve (3) ^{210}Pb seviyesinin, < 2 Bq/L – 34 Bq/L aralığında değiştiği ve geometrik ortalamasının ise 4,7 Bq/L olduğu bulundu.

Özmen, Külahcı, Çukurovalı ve Doğru (2004) tarafından yapılan çalışmada, Elazığ ilinde bulunan Hazar Gölünden alınan sediment ve yüzey su örneklerinin toplam alfa/beta aktivite derişimi ve ağır metal seviyeleri belirlendi. Çalışma sonucunda, (1) incelenen örneklerde analiz edilen çinko, demir, mangan, nikel, bakır, kurşun, sodyum, potasyum, kalsiyum ve magnezyum seviyelerinin, DSÖ, Avrupa Komisyonu, EPA ve TSE tarafından belirlenen sınır değerleri aşmadığı, (2) yüzey suyu örneklerinin içerdiği ^{226}Ra , toplam alfa ve toplam beta seviyelerinin, sırasıyla 0,52 Bq/L – 2,02 Bq/L, 0,65 Bq/L – 2,52 Bq/L ve 0,01 Bq/L – 0,14 Bq/L aralığında değiştiği ve (3) Hazar Gölünde ciddi bir kirlenmenin olmadığı bulundu.

Liu ve Mou (2004) tarafından yapılan çalışmada, Çin’de tüketilen 10 marka şişelenmiş içme suyu örneklerindeki bromür, klorür ve klorlanmış haloasetik asit iyon kromatografisi ile ölçüldü. Çalışma sonucunda, (1) bazı örneklerde gözlenen bromür, klorür ve klorlanmış haloasetik asit derişimlerinin, sırasıyla 0,1 µg/L, 0,9 µg/L ve 0,6 µg/L olduğu ve (2) analiz edilen değerlere göre şişelenmiş suların doğal su > mineralli su > maden suyu > arındırılmış su olarak sıralandığı bulundu.

Kitto, Parekh, Torres ve Schneider (2005) tarafından yapılan çalışmada, New York, Saratoga Springs’in yakındaki doğal maden su örneklerinin radyonüklit ve kimyasal bileşenleri belirlendi. Çalışma sonucunda, (1) üç maden suyu örneğinin düşük seviyede radyonüklit ve kimyasal içerdiği, (2) mineralli su örneklerinin, klor iyonlarının yanında alkali ve toprak alkali elementleri yüksek seviyede içerdiği, (3) mineralli su örneklerinde gözlenen ^{224}Ra , ^{226}Ra ve ^{228}Ra radyonüklitlerinin en büyük derişim değerlerinin, sırasıyla 1 Bq/L, 20 Bq/L ve 2 Bq/L olduğu, (4) su örneklerindeki doğal radyoaktivitenin % 80’ini, ^{226}Ra ’nın oluşturduğu ve (5) mineralli su örneklerinde çözünen uranyum derişiminin, çok küçük olduğu bulundu.

Zikovsky (2006) tarafından yapılan çalışmada, Kanada Quebec’te tüketilen 236 adet içme suyu örneğinin toplam alfa aktivite derişimi ölçüldü. Çalışma sonucunda, (1) su örneklerinde ölçülen toplam alfa aktivite derişiminin medyan değerinin 52 mBq/L olduğu ve (2) su örneklerinin % 30’unun, azami kontaminasyon seviyesi olan 555 mBq/L değerinden daha büyük olduğu bulundu.

Moghadam ve Faghahati (2006) tarafından yapılan çalışmada, İran, Tahran'dan toplanan yer altı ve yüzey sularının içerdiği düşük seviyedeki trityum derişimi, özel olarak tasarlanmış orantılı sayım tekniği ile ölçüldü. Çalışma sonucunda geliştirilen tekniğin, su örneklerindeki düşük seviyeli trityum derişimlerinin belirlenmesinde etkili, verimli ve başarılı olduğu bulundu.

Damla, Çevik, Karahan ve Kobya (2006) tarafından yapılan çalışmada Doğu Karadeniz Bölgesinden toplanan 27 farklı musluk suyu örneğinin içerdiği toplam alfa ve beta aktivite seviyesi, gaz orantılı sayaç kullanılarak ölçüldü. Çalışma sonucunda, su örneklerinde ölçülen toplam alfa ve toplam beta aktivite seviyesinin, sırasıyla, 0,2 mBq/L - 15 mBq/L ve 25,2 mBq/L - 264,4 mBq/L aralığında değiştii bulundu.

Çevik, Damla, Karahan, Çelebi ve Kobya (2006) tarafından yapılan çalışmada, Doğu Karadeniz Bölgesinden toplanan 11 farklı musluk suyu örneğinin ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{137}Cs radyonüklitlerinin aktiviteleri, HPGe dedektörlü bir gama-ışını spektrometresi kullanılarak ölçüldü. Çalışma sonucunda, (1) ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{137}Cs 'nin ortalama aktivite değerleri, sırasıyla, 6,73 mBq/L, 6 mBq/L, 168,6 mBq/L, 19,2 mBq/L ve 5,5 mBq/L olarak bulundu, (2) su örneklerinde ölçülen radon (^{222}Rn) aktivitesinin ortalama değeri 10,8 Bq/L olarak bulundu ve (3) su örneklerinin tüketilmesi sebebiyle ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{137}Cs ve ^{222}Rn radyonüklitlerinin yayınladığı iyonlaştırıcı radyasyona maruz kalan yetişkin bir bireyin aldığı ortalama yıllık etkin radyasyon doz değerleri, sırasıyla $6,9 \times 10^{-4} \mu\text{Sv}$, $4,8 \times 10^{-4} \mu\text{Sv}$, $0,8 \mu\text{Sv}$, $3,9 \mu\text{Sv}$, $0,05 \mu\text{Sv}$ ve $5,8 \mu\text{Sv}$ olarak hesaplandı.

Palomo, Peñalver, Borrull ve Aguilar (2007) tarafından yapılan çalışmada, İspanya Katalonya'da tüketilen ticari 30 marka şişelenmiş mineralli içme suyu örneğindeki toplam alfa/beta aktivite derişimi, ZnS sintilasyon sayacı kullanılarak ölçüldü. Çalışma sonucunda, su örneklerinde ölçülen toplam alfa ve toplam beta aktivite seviyesinin, sırasıyla $< 0,03 \text{ Bq/L}$ - $0,86 \text{ Bq/L}$ ve $< 0,04 \text{ Bq/L}$ - $0,88 \text{ Bq/L}$ aralığında değiştii bulundu.

Kehagia, Koukouliou, Bratakos, Seferlis, Tzoumerkas ve Potiriadis (2007) tarafından yapılan çalışmada, Yunanistan'ın Attika bölgesindeki üç gölden toplanan içme suyu

örneklerinin radyoaktivitesi araştırıldı. Çalışma sonucunda, (1) su örneklerinde ölçülen toplam alfa seviyelerinin, 0,1 Bq/L'den ve toplam beta seviyelerinin de 1 Bq/L'den düşük olduğu, (2) gama-ışını spektrometresi ile yapılan ölçüm sonucunda ^{238}U 'ün aktivite derişiminin, 0,91 mBq/L - 17,27 mBq/L aralığında değiştii ve (3) alfa spektrometresi ile yapılan ölçümler sonucunda ^{234}U 'ün aktivite derişiminin, 2,13 mBq/L - 22,01 mBq/L aralığında değiştii bulundu.

Karamanis, Stamoulis ve Ioannides (2007) tarafından yapılan çalışmada, Yunanistan'daki marketlerden toplanan 16 marka şişelenmiş su örneğindeki doğal radyonüklit ve ağır metal seviyeleri belirlendi. Çalışma sonucunda, (1) su örneklerinde ölçülen toplam alfa seviyelerinin, 0,1 Bq/L'den ve toplam beta seviyelerinin de 1 Bq/L'den düşük olduğu, (2) su örneklerinde ölçülen ^{226}Ra 'nın aktivite derişiminin genelde, referans değer olan 1 Bq/L'den ve trityum aktivite derişiminin de referans değer olan 10 kBq/L'den daha küçük olduğu ve (3) su örneklerinde ölçülen vanadyum, krom, mangan, demir, nikel, bakır, çinko, kurşun, selenyum, kalay ve molibden seviyelerinin, DSÖ standartlarının altında olduğu bulundu.

Palomo, Peñalver, Aguilar ve Borrull (2007) tarafından yapılan çalışmada, İspanya Katalonya'nın farklı alanlarından toplanan çevresel su örneklerinin içerdiği trityum aktivite seviyesi, sıvı sintilasyon sayacı ile belirlendi. Çalışma sonucunda, (1) nehir suyu, yağmur suyu, şişelenmiş mineralli su ve musluk suyu örneklerinin trityum içeriklerinin, 0,6 Bq/L'den daha düşük olduğu ve (2) Ebro nehrinden alınan su örneklerinin ortalama trityum derişiminin, 3,6 Bq/L olduğu bulundu.

Osmanlıoğlu, Kam ve Bozkurt (2007) tarafından yapılan çalışmada, Gaziantep ilinde tüketilen içme suyu örneklerinin içerdiği toplam alfa ve beta aktivite seviyesi, gaz orantılı sayaç kullanılarak ölçüldü. Çalışma sonucunda, (1) su örneklerinde ölçülen toplam alfa ve toplam beta aktivite derişimlerinin ortalama değeri, sırasıyla, 0,049 Bq/L ve 0,128 Bq/L olarak bulundu ve (2) içme suyunun tüketilmesinden dolayı bireylerin aldığı ortalama yıllık etkin radyasyon dozu, 1,8 μSv olarak hesaplandı.

Vesterbacka (2007) tarafından yapılan çalışmada, 472 adet kuyudan toplanan yer altı suyu örneğindeki doğal radyoaktivite ölçüldü ve su örneklerinin tüketilmesinden

kaynaklanan yıllık etkin radyasyon doz değeri hesaplandı. Çalışma sonucunda, ortalama yıllık etkin radyasyon doz değeri 0,41 mSv olarak bulundu.

Desideri, Roselli, Feduzi ve Meli (2007) tarafından yapılan çalışmada, Orta İtalya'dan toplanan musluk sularının radyoaktivite içeriği, toplam alfa/beta, ^{238}U , ^{234}U , ^{226}Ra , ^{222}Rn ve trityum aktivite derişimleri ölçülerek araştırıldı ve sonuçlar, Avrupa ve İtalya yönetmelikleri ile kontrol edildi. Çalışma sonucunda, su örneklerinde ölçülen (1) trityum seviyesinin, 6,75 Bq/L'den daha düşük olduğu, (2) ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{238}U ve ^{234}U seviyesinin, sırasıyla $< 1,70$ mBq/L – 15,31 mBq/L, 0,69 mBq/L – 20,3 mBq/L, 0,65 mBq/L – 48,77 mBq/L ve 0,78 mBq/L – 51,50 mBq/L aralığında değiştiği ve (3) toplam alfa/beta seviyelerinin uluslararası düzenlemeler ile belirlenen sınır değerden daha küçük olduğu bulundu.

Güler (2007) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye'de tüketilen kaynak, maden, içme ve işlenmiş içme sularını içeren 189 ticari marka şişelenmiş içme suyunun insani tüketim için uygunluğu araştırıldı. Araştırmada, üretici firmaların ve/veya firmalara üretim lisans veren kurum/kuruluşların su örnekleri için rapor ettiği pH, bulanıklık, iletkenlik, baziklik, sertlik, alüminyum, baryum, bor, kadmiyum, klorür, florür, demir, kurşun, mangan, nikel, selenyum, sodyum, sülfat, polisiklik aromatik hidrokarbonlar, toplam fenolikler gibi fiziksel ve kimyasal parametrelere ilişkin veriler değerlendirildi. Şişelenmiş suların fiziksel ve kimyasal verileri, TSE, AB direktifleri. Amerika Birleşik Devletleri Food and Drug Administration (ABD FDA), EPA ve DSÖ tarafından belirlenen sınır değerler ile karşılaştırıldı. Çalışma sonucunda, incelenen şişelenmiş içme suyu örneklerinin birçoğunun içerdiği sodyum, klorür, sülfat, florür, polisiklik aromatik hidrokarbonlar ve birkaç ağır metal seviyesinin, TSE ve diğer kurumlar tarafından izin verilen azami değerlerin üzerinde olduğu bulundu.

Güler (2007) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye'de tüketilen 130 marka ticari şişelenmiş içme suyu, ticari şişelenmiş su markalarına üretim izni veren Sağlık Bakanlığından temin edilen veriler (34 farklı kimyasal ve fiziksel parametreler) kullanılarak geliştirilen çok değişkenli örnek tanıma yöntemleri ile karakterize edildi. Çalışma sonucunda, şişelenmiş doğal maden suyu markaları için rapor edilen birçok

su kalite bileşenlerinin değerlerinin genelde, şişelenmiş doğal kaynak suyu ve içme suyu markalarının bileşenlerinin değerlerine göre daha yüksek olduğu belirlendi.

Jia ve Torri (2007) tarafından yapılan çalışmada, İtalya'dan toplanan bazı içme suyu örneklerinin radyolojik kalitesi değerlendirildi. Çalışma sonucunda, (1) içme suyu tüketilmesinden dolayı radyonüklitlerden yayınlanan alfa ve beta radyasyonuna maruz kalan yetişkin bir bireyin aldığı yıllık etkin radyasyon dozunun, 1,80 $\mu\text{Sv/y}$ - 36,2 $\mu\text{Sv/y}$ arasında değiştiği, (2) sulara analiz edilen radyonüklitlerin doza olan katkılarının $^{210}\text{Po} > ^{228}\text{Ra} > ^{226}\text{Ra} > ^{234}\text{U} > ^{238}\text{U} > ^{224}\text{Ra} > ^{235}\text{U}$ şeklinde sıralandığı ve (3) radyumun doza olan katkısının % 48 ve polonyumun doza olan katkısının ise % 31,7 olduğu bulundu.

Kowlovska, Walencik, Dorda ve Przylibski (2007) tarafından yapılan çalışmada, Polonya'nın Dış Karpatlar bölgesinden toplanan 28 ticari şişelenmiş maden suyu örneklerinin radyoaktivite içeriği araştırıldı. Çalışma sonucunda, (1) su örneklerinde araştırılan ^{228}Ra , ^{226}Ra , ^{234}U ve ^{238}U izotopları arasında, teorik olarak hesaplanan suda çözülmüş ^{40}K iyonları ile korelasyon olduğu, (2) bu korelasyonun, çözünen toplam katılar (TDS) ile çözünen radyonüklitler arasında da olduğu, (3) $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ izotopik oranının, 1,6 – 7 aralığında değiştiği ve bu durumun, ^{238}U ile bozunum ürünü olan ^{234}U arasında kalıcı dengenin olmadığını gösterdiği ve (4) içme suyu tüketilmesinden dolayı radyonüklitlerden yayınlanan alfa ve beta radyasyonuna maruz kalan yetişkin bir bireyin aldığı ortalama yıllık etkin radyasyon dozunun, 4,3 $\mu\text{Sv/y}$ olduğu ve bu değer izin verilen sınır olan 100 $\mu\text{Sv/y}$ 'den önemli ölçüde daha küçük olduğu bulundu.

Bonotto ve Bueno (2008) tarafından yapılan çalışmada, Brezilya'da bulunan Guarani akiferinden toplanan yer altı suyu örneklerinin toplam alfa/beta, ^{238}U , ^{234}U , ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{232}Th , ^{228}Th , ^{228}Ra ve ^{40}K 'in aktivite seviyeleri araştırıldı. Çalışma sonucunda, su örneklerinde ölçülen (1) toplam alfa aktivite derişim değerlerinin büyük bir kısmının, ölçme kritik seviyesi olan 1 mBq/L'den daha küçük olduğu ve (2) toplam beta, ^{238}U , ^{234}U , ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{210}Po , ^{232}Th , ^{228}Th , ^{228}Ra ve ^{40}K 'in aktivite seviyeleri arasında büyük farklar olduğu bulundu.

Outola vd., (2008) tarafından yapılan çalışmada, 2004 yılında radyoaktivite seviyeleri, federal içme suyu standart değerlerini aşan içme suyu örnekleri, ABD Maryland'da bulunan iki ayrı laboratuvarında toplam alfa/beta aktiviteleri ölçülerek araştırıldı. Çalışma sonucunda, uranyum ve toryum doğal radyoaktif serilerindeki kalıcı radyoaktif dengenin, radyonüklit içeriğinde büyük bir etkiye sahip olduğu bulundu.

Osman vd., (2008) tarafından yapılan çalışmada, Sudan Kadugli civarında bulunan Miri Gölü ve yer altı suyu örneklerindeki doğal radyoaktivite, ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{222}Rn radyonüklitlerinin aktivite derişimleri ölçülerek araştırıldı. Çalışma sonucunda, (1) yüzey suyu örneklerinde ölçülen ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{222}Rn radyonüklitlerinin aktivite seviyelerinin, $< 1,0 \text{ mBq/L} - 7,5 \text{ mBq/L}$, $8,5 \text{ mBq/L} - 16,5 \text{ mBq/L}$, $< 0,1 \text{ mBq/L} - 0,39 \text{ mBq/L}$ ve $< 1,6$ ve (2) yer altı suyu örneklerinde ölçülen ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{222}Rn radyonüklitlerinin aktivite seviyelerinin, $< 16,1 \text{ mBq/L} - 1720 \text{ mBq/L}$, $7,7 \text{ mBq/L} - 14,3 \text{ mBq/L}$, $< 0,1 \text{ mBq/L} - 39 \text{ mBq/L}$ ve $3000 \text{ mBq/L} - 139000 \text{ mBq/L}$ aralığında değiştii bulundu.

Baba, Ereeş, Hiçsönmez, Çam ve Özdilek (2008) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye genelinde marketlerden rastgele satın alınan 15 ticari şişelenmiş maden suyu örneklerinin kimyasal bileşenleri analiz edildi. Çalışma sonucunda (1) araştırılan şişelenmiş maden suyu örneklerinin kimyasal bileşenlerinin, elde edildikleri bölgenin jeolojik yapısına bağlı olarak büyük değişiklikler gösterdiği (2) su örneklerinde ölçülen pH değerlerinin büyük bir kısmının, TSE tarafından içme suyu için belirlenen değerden daha büyük olduğu ve (3) su örneklerinde analiz edilen alüminyum, bor, baryum, kadmiyum, krom, demir, mangan, kurşun ve çinko içeriklerinin, DSÖ, EPA ve TSE standart değerlerinden daha küçük olduğu bulundu.

Baltacı, Onur ve Tahmiscioğlu (2008) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye'de Devlet Su İşleri (DSİ) kurumuna ait yüzey ve yer altı sularının kalitesini izlemek için kurulan 1150 istasyondan alınan su örneklerinde ölçülen fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik parametreler değerlendirildi. Çalışma sonucunda, (1) uygun kirlilik kontrol mekanizmaları olmadığından dolayı iç kısımlardaki su kaynaklarının çoğunun kötüleştiği, (2) endüstriyel, evsel ve tarımsal atıkların boşaltılması sebebiyle

havzaların çoğunun önemli ölçüde kirlendiği ve (3) bu kötüleşme ve kirliliğin alarm seviyesinde olduğu vurgulandı.

Jia, Torri ve Magro (2009) tarafından yapılan çalışmada, İtalya'dan toplanan bazı içme suyu örneklerinin doğal olarak içerdiği alfa ve beta yayınlayan radyonüklitler analiz edildi. Çalışma sonucunda, (1) içme suyu örneklerinde ölçülen alfa ve beta yayınlayan radyonüklitlerin aktivite derişimlerine göre ^{234}U (26 mBq/L) > ^{238}U (21 mBq/L) > ^{226}Ra (8,9 mBq/L) > ^{228}Ra (4,8 mBq/L) > ^{210}Pb (4 mBq/L) > ^{210}Po (3,2 mBq/L) > ^{212}Pb (2,7 mBq/L) > ^{224}Ra (1,4 mBq/L) > ^{235}U (1,1 mBq/L) > ^{228}Th (0,26 mBq/L) > ^{230}Th (0,0023 mBq/L) > ^{232}Th (0,0013 mBq/L) şeklinde sıralandığı, (2) su örneklerinin tüketilmesinden dolayı radyonüklitlerden yayınlanan alfa ve beta radyasyonuna maruz kalan yetişkin bir bireyin aldığı yıllık etkin radyasyon dozunun, 2,81 $\mu\text{Sv/y}$ - 38,5 $\mu\text{Sv/y}$ arasında değiştiği ve (3) sularda analiz edilen radyonüklitlerin doza olan katkılarının, ^{210}Po (2,8 $\mu\text{Sv/y}$) > ^{228}Ra (2,4 $\mu\text{Sv/y}$) > ^{210}Pb (2,1 $\mu\text{Sv/y}$) > ^{226}R (1,8 $\mu\text{Sv/y}$) > ^{234}U (0,94 $\mu\text{Sv/y}$) > ^{238}U (0,70 $\mu\text{Sv/y}$) > ^{224}R (0,069 $\mu\text{Sv/y}$) > ^{235}U (0,036 $\mu\text{Sv/y}$) > ^{228}Th (0,014 $\mu\text{Sv/y}$) > ^{212}Pb (0,012 $\mu\text{Sv/y}$) > ^{230}Th (0,00035 $\mu\text{Sv/y}$) > ^{232}Th (0,00022 $\mu\text{Sv/y}$) şeklinde sıralandığı bulundu.

Damla, Çevik, Karahan, Kobya, Koçak ve Işık (2009) tarafından yapılan çalışmada Batman ili ve ilçelerinden toplanan musluk suyu, kuyu suyu, yüzey suyu ve kaplıca suyu örneklerinin toplam alfa/beta aktivite seviyeleri, gaz orantılı sayaç kullanılarak ölçüldü. Çalışma sonucunda, (1) kaplıca suyu örneğinin ortalama toplam alfa ve beta değeri, sırasıyla 3909,5 mBq/L ve 2097,0 mBq/L olarak ölçüldü ve (2) musluk, kuyu ve yüzey suyu örneklerindeki doğal radyoaktiviteden kaynaklanan yıllık etkin radyasyon dozunun, DSÖ'nün tavsiye ettiği 0,1 mSv/y değerinden daha düşük olduğu bulundu.

Ismail, Kullab ve Saqan (2009) tarafından yapılan çalışmada, Ürdün'de tüketilen 8 marka şişelenmiş içme suyu ve 1 adet musluk suyu örneklerindeki ^{226}Ra ve ^{40}K radyonüklitinin aktivite derişimi, gama-ışını spektrometresi ile ölçüldü. Çalışma sonucunda, ^{226}Ra ve ^{40}K aktivite değerleri esas alınarak tahmini olarak hesaplanan toplam alfa ve beta aktivitesinin, sırasıyla 0,1 Bq/L ve 1 Bq/L değerinden büyük olduğu bulundu.

Bonotto, Bueno, Tessari ve Silva (2009) tarafından yapılan çalışmada, su örneklerinin içerdiği toplam alfa/beta aktivite seviyelerini ölçmek için yüzey engelleri dedektör kullanan alfa sayım sistemi ile NaI(Tl) sintilasyon dedektörü kullanan gama-ışını spektrometresinden oluşan alternatif bir yöntem geliştirildi. Çalışma sonucunda, (1) Brezilya'nın Sao Paulo ve Minas Gerais bölgesindeki kuyulardan ve kaplıcalardan toplanan yer altı suyu örneklerinin toplam alfa/beta aktivite seviyeleri, geliştirilen yöntem ile ölçüldü, (2) su örneklerinde ölçülen toplam alfa ve toplam beta aktivite seviyelerinin sırayla, $< 0,001$ Bq/L - $0,43$ Bq/L ve $0,12$ Bq/L - $0,86$ Bq/L aralığında değiştiği bulundu, (3) bu değerlerin daha önceki çalışmalardan elde edilen değerler ile uyumlu olduğu ve (4) geliştirilen yöntemin güvenli ve kullanışlı olduğu teyit edildi.

Akyil vd., (2009) tarafından yapılan çalışmada, İzmir civarında bulunan göl yüzey sularının içerdiği doğal radyoaktivite ile su örneklerinin pH değerleri, iletkenlikleri ve bazikliği araştırıldı. Çalışma sonucunda, (1) su örneklerinde analiz edilen toplam alfa ve toplam beta aktivite ortalama derişimlerinin, sırasıyla, Karagöl için $0,03$ Bq/L ve $2,62$ Bq/L, Gölcük gölü için $0,75$ Bq/L ve $2,35$ Bq/L ve Çakalboğaz gölü için $0,03$ Bq/L ve $1,77$ Bq/L olduğu ve (2) su örneklerinde analiz edilen uranyum derişiminin, Karagöl için $0,05$ μ g/L - 900 μ g/L, Gölcük gölü için $0,05$ μ g/L - $0,95$ μ g/L ve Çakalboğaz gölü için $3,33$ μ g/L - $10,00$ μ g/L aralığında değiştiği bulundu.

Sakcali, Yilmaz, Guçel, Yarci ve Ozturk (2009) tarafından yapılan çalışmada, Edirne'deki Tunca, Merih, Arda ve Ergene nehirlerinden alınan su örneklerinin fizikokimyasal parametreleri belirlendi. Çalışma sonucunda, su örneklerinde analiz edilen fosfor, kurşun, bakır, nikel, mangan ve kobalt seviyelerinin, AB eşik değerlerinden daha yüksek olduğu bulundu.

Al-Mudhaf, Alsharifi ve Abu-Shady (2009) tarafından yapılan çalışmada, Kuveyt'te tüketilen musluk suyu ile marketlerde satılan 71 marka şişelenmiş içme suyu örneklerinin uçucu organik bileşenler (VOC), yarı uçucular (SV) ve pestisit içerikleri araştırıldı. Çalışma sonucunda, (1) musluk su örneklerinde 9 VOC ve 8 SV analiz edildi, (2) şişelenmiş içme suyu markalarının % 93'ünde 1 - 12 arasında VOC analiz edildi, (3) şişelenmiş içme suyu markalarının tamamında SV gözlenmedi, (4) 200 mL - 250 mL'lik polistiren poşetlerdeki şişelenmiş içme suyu markalarının tamamında

ana kirleticinin stiren olduğu ve stiren seviyesinin de DSÖ'nün belirlediği 20 µg/L referans değerden daha büyük olduğu ve (5) stiren, tolüen, etil benzen ve ksilen seviyesinin, suların raflarda bekleme süresi ile arttığı bulundu.

Reimann, Birke ve Filzmoser (2010) tarafından yapılan çalışmada, Avrupa Birliği üye ülkelerinde satılan ağırlık olarak şişelenmiş mineralli su markalarından oluşan PET ve cam şişeli 294 adet içme suyu örneklerinde, 57 kimyasal element, endüktif eşlenmiş plazma quadropol kütle spektrometresi (ICP-QMS) kullanılarak ölçüldü. Çalışma sonucunda, PET ve cam şişelenmiş su örneklerinin element derişimleri arasında farklar olduğu ve cam şişenin renklerinin de element derişimleri üzerinde etkili olduğu bulundu.

Bitjukova ve Petersell (2010) tarafından yapılan çalışmada, Estonya'da ticari olarak satılan şişelenmiş mineralli su markalarının kalitesini belirlemek amacıyla 59 kimyasal element ICP-QMS ve eşlenmiş plazma atomik emisyon spektrometresi (ICP-AES) kullanılarak analiz edildi ve ayrıca 9 katyon ve anyon, pH ve elektrik iletkenliği belirlendi. Çalışma sonucunda, (1) Estonya'da tüketilen şişelenmiş mineralli su markalarda ölçülen ve belirlenen değerlerin, EPA, AB ve Estonya sınır değerleri içinde kaldığı, (2) Varska kökenli su örneklerinde analiz edilen bor değerinin, 1 mg/L olarak belirlenen sınır değerden daha büyük olduğu ve (3) şişelenmiş su örneklerinde analiz edilen kimyasal bileşen değerlerinin farklı olmasının, incelenen alandaki kayaların jeolojisinden kaynaklandığı belirlendi.

Peh, Šorša ve Halamić (2010) tarafından yapılan çalışmada, Hırvatistan'da satılan 14 marka şişelenmiş mineralli ve kaynak sularında analiz edilen fizikokimyasal parametreler değerlendirildi. Çalışma sonucunda, (1) kimyasal analiz sonuçlarının, analiz edilmiş 14 şişelenmiş su örneğinden sadece tek markanın, Hırvatistan su standartlarını aşmadığı ve (2) su markalarında belirlenen 41 parametreye (pH ve iletkenlik dâhil) yönelik yapılan istatistiki değerlendirmeler, su kimyasının, bölgesel jeolojiye bağlı olduğunu gösterdi.

Gharbi vd., (2010) tarafından yapılan çalışmada, Tunus'ta tüketilen 10 şişelenmiş mineralli su markasının doğal olarak içerdiği ²³⁴U ve ²³⁸U aktivite seviyesi belirlendi.

Çalışma sonucunda, (1) şişelenmiş su markalarında ölçülen ^{234}U ve ^{238}U 'in aktivite seviyesinin, sırasıyla 3,2 mBq/L – 40 mBq/L ve 1,5 mBq/L – 26,3 mBq/L aralığında değiştiği, (2) $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ oranının, 1,1 – 3 arasında değiştiği ve bu durum, ^{238}U 'in bozunum ürünü olan ^{234}U ile radyoaktif dengede olmadığı ve (3) incelenen su örneklerinin tüketilmesinden dolayı ^{234}U ve ^{238}U radyonüklitinden yayınlanan alfa ve beta radyasyonuna maruz kalan yetişkin bir bireyin aldığı yıllık etkin radyasyon dozunun, 0,16 $\mu\text{Sv/y}$ - 2,02 $\mu\text{Sv/y}$ aralığında değiştiği ve bu değerlerin DSÖ sınır değeri olan 100 $\mu\text{Sv/y}$ 'den önemli ölçüde daha küçük olduğu bulundu.

Fugedi, Kutı, Jordan ve Kerek (2010) tarafından yapılan çalışmada, Macaristan'daki marketlerden alınan 36 marka şişelenmiş içme sularının hidrokimyasal özellikleri araştırıldı. Çalışma sonucunda, (1) yer altı suyu kökenli şişelenmiş suların oksijen ilave edilmesi, hidrojen-sülfidin uzaklaştırılması gibi işlemde geçirilme süreci boyunca kimyasal kompozisyonlarının değiştiği ve (2) şişelenmiş suların basit ve kullanışlı sınıflandırılmasının, su örneklerinin doğal grupları esas alınarak da yapılabileceği gösterildi.

Smedley (2010) tarafından yapılan çalışmada, Britanya Adaları (İngiltere, Galler, İskoçya, Kuzey İrlanda ve İrlanda Cumhuriyeti) boyunca 67 kaynaktan toplanan şişelenmiş doğal kaynak ve mineral sulardan oluşan 85 adet örneğin inorganik kimyası araştırıldı. Çalışma sonucunda (1) sularda Ca-HCO_3 'den Na-HCO_3 'e kadar geniş yelpazede değişken majör iyon bileşenleri analiz edildi ve (2) analiz edilen bütün şişelenmiş suların, belirlenen ulusal ve Avrupa standart değerlere sahip olduğu bulundu.

Cicchella vd., (2010) tarafından yapılan çalışmada, İtalya'da tüketilen 158 farklı ticari markaya ait 186 adet şişelenmiş mineralli içme suyu örneklerinin insani tüketime yönelik olarak su kalitesini araştırmak için (1) su örneklerinin pH'ı, iletkenliği ve 69 element ve iyon derişimleri ölçüldü. Çalışma sonucunda, (1) su örneklerinde analiz edilen değerler arasında büyük farklar olduğu bulundu ve (2) içme sularında berilyum gibi bazı elementlerin sürpriz bir şekilde yüksek olduğu gözlemlendi.

Birke, Rauch, Lorenz ve Kringel (2010) tarafından yapılan çalışmada, Avrupa'da tüketilen 1785 adet şişelenmiş mineralli su örneklerinin uranyum derişimleri, ICP-QMS kullanılarak ölçüldü. Çalışma sonucunda, Almanya'daki 908 şişelenmiş su örneklerinde analiz edilen uranyum derişiminin, $< 0,0005 \mu\text{g/L} - 16,0 \mu\text{g/L}$ aralığında değiştii, (2) 163 musluk suyu örneklerinde analiz edilen uranyum derişiminin, $0,001155 \mu\text{g/L} - 9,0 \mu\text{g/L}$ aralığında değiştii, (3) analiz edilen Almanya şişelenmiş su örneklerinin % 14'ünün ve Avrupa şişelenmiş su örneklerinin % 15'inin uranyum içeriğinin, $2 \mu\text{g/L}$ 'den daha küçük olduğu ve (4) sadece bir Alman şişelenmiş su örneğinin uranyum içeriğinin, 2008 yılındaki referans değer olan $15 \mu\text{g/L}$ 'yi aştığı gözlemlendi.

Frengstad, Lax, Tarvainen, Jarger ve Wigum (2010) tarafından yapılan çalışmada, Norveç, İsveç, Finlandiya ve İzlanda'da tüketilen 22 marka şişelenmiş mineral ve kaynak sularındaki inorganik kimyasal parametreler analiz edildi. Çalışma sonucunda, (1) Norveç şişelenmiş yer altı sularının esas olarak Na-HCO₃-Cl su tiplerini içerdiği, (2) plastik şişelerde satılan suların, antimon ile kirlendiği ve (3) sulardaki antimon seviyelerinin, AB içme suyu sınır değerinin altında olduğu bulundu.

Küçükönder (2010) tarafından yapılan çalışmada, Kahramanmaraş'tan toplanan içme suyu örneklerinin toplam alfa ve beta aktivite içerikleri, gaz orantılı sayaç kullanılarak belirlendi. Çalışma sonucunda, su örneklerinde analiz edilen toplam alfa ve toplam beta aktivite seviyelerinin, DSÖ ve TSE tarafından tavsiye edilen sınır değerin altında olduğu bulundu.

Birke, Rauch, Harazim, Lorenz ve Glatte (2010) tarafından yapılan çalışmada, Avrupa'da şişelenmiş mineralli su markalarının en yüksek olduğu Almanya'dan temin edilen 908 şişelenmiş su örneklerinin içerdiği 71 element için ICP-QMS, ICP-AES, iyon kromatografisi, titrasyon, fotometrik, iletken ölçme ve potansiyometrik yöntemlerle analiz edilen veriler, hem şişelenmiş hem de musluk suları için AB, Almanya, EPA ve DSÖ tarafından belirlenen yasal sınır değerler ile karşılaştırıldı. Çalışma sonucunda, (1) 908 mineralli su örneklerinin % 70'inin, AB ve Almanya standartlarını karşıladığı, (2) şişelenmiş su örneklerinin yaklaşık % 5'ini, AB ve Almanya standartlarını karşılamadığı, (3) su örneklerinin % 42'sinde analiz edilen

arsenik, nitrat, nitrit, mangan, nikel ve baryum elementlerinin birinin veya daha fazlasının derişimlerinin, AB ve Almanya standart değerlerinden daha büyük olduğu ve (4) 10 şişeleniş su örneğinde analiz edilen uranyum derişiminin, tavsiye edilen sınır değer olan 10 µg/L'den daha büyük olduğu bulundu.

Degerlier ve Karahan (2010) tarafından yapılan çalışmada, Adana ili ve ilçelerinden toplanan 30 farklı musluk suyu ve yüzey suyu (göl, nehir ve deniz) örneğinin içerdiği toplam alfa/beta aktivite seviyeleri, gaz orantılı sayaç kullanılarak belirlendi. Çalışma sonucunda (1) su örneklerinde ölçülen ortalama toplam alfa ve toplam beta aktivite seviyesinin, sırasıyla, 0,0096 Bq/L ve 0,086 Bq/L olduğu ve (2) su örneklerinin tüketilmesinden kaynaklanan yetişkin bir bireyin aldığı ortalama yıllık etkin radyasyon doz değeri, 0,005 mSv/y olarak hesaplandı.

Muhammad, Jaafar ve Akpa (2010) tarafından yapılan çalışmada, Nijerya'nın kuzeydoğusundaki Katsiba bölgesinden toplanan 40 farklı yer altı suyu örneğinin içerdiği toplam alfa/beta aktivite seviyeleri, gaz orantılı sayaç kullanılarak belirlendi. Çalışma sonucunda, su örneklerinde ölçülen ortalama toplam alfa ve toplam beta aktivite seviyelerinin, sırasıyla, 80 Bq/m³ - 2300 Bq/m³ ve 120 Bq/m³ - 4970 Bq/m³ aralığında değiştiği bulundu.

Beyermann, Bünger, Schmit ve Obrikat (2010) tarafından yapılan çalışmada, Almanya'da kullanılan içme suyunun radyolojik açıdan kalitesinin tespitine yönelik olarak 564 su kaynağından temin edilen içme suyu örneklerindeki ²³⁸U, ²³⁴U, ²³⁵U, ²²⁸Ra, ²²⁶Ra, ²²²Rn, ²¹⁰Pb ve ²¹⁰Po radyonüklitinin aktivite derişimleri ölçüldü. Çalışma sonucunda, analiz edilen su örneklerinin tüketilmesi sebebiyle yetişkin bir bireyin maruz kaldığı yıllık etkin radyasyon dozunun büyük bir kısmının, ²²²Rn, ²²⁸Ra, ²¹⁰Po ve ²¹⁰Pb radyonüklitlerden ileri geldiği hesaplandı.

Jobbágy, Kávási, Somlai, Máte ve Kovács (2010) tarafından yapılan çalışmada, Macaristan'ın Balaton Upland bölgesindeki maden sularının radyoaktivite içeriğinin belirlenmesine yönelik olarak su örneklerinde doğal olarak bulunan ²³⁸U, ²²⁸Ra, ²²⁴Ra, ²³⁴U ve ²¹⁰Po radyonüklitinin aktivite derişimleri, alfa spektrometresi kullanılarak ölçüldü. Çalışma sonucunda, (1) su örneklerinde ölçülen ²²⁸Ra, ²²⁴Ra, ²³⁸U, ²³⁴U ve

^{210}Po 'un aktivite seviyelerinin, sırasıyla 2,1 mBq/L – 601 mBq/L, < 1,1 mBq/L – 65,4 mBq/L, 3,9 mBq/L – 741,9 mBq/L, < 0,44 mBq/L – 274,3 mBq/L ve 2 mBq/L – 15,2 mBq/L aralığında değiştiği, (2) birçok durumda, uranyum ve radyum izotopları arasında kalıcı radyoaktif dengenin olduğu ve (3) incelenen su örneklerinin tüketilmesinden dolayı radyonüklitten yayınlanan alfa ve beta radyasyonuna maruz kalan yetişkin bir bireyin aldığı yıllık etkin radyasyon dozunun, 3,59 $\mu\text{Sv/y}$ – 166,73 $\mu\text{Sv/y}$ aralığında değiştiği bulundu.

Walencik, Kozłowska ve Zipper (2010) tarafından yapılan çalışmada, Polonya'nın Dış Karpatlar bölgesinde bulunan yer altı maden suları ve kaynak sularının radyoaktivite içeriği, sıvı sintilasyon sayacı ve silikon yüzey engelli alfa spektrometresi gibi nükleer spektrometrik teknikler kullanılarak araştırıldı. Çalışma sonucunda, su örneklerinde analiz edilen (1) ^{222}Rn radyonüklitinin aktivite seviyesinin, < 1 Bq/L – 50 Bq/L, (2) ^{226}Ra radyonüklitinin aktivite seviyesinin 10 Bq/L – 490 Bq/L ve ^{228}Ra radyonüklitinin aktivite seviyesinin de 29 Bq/L – 397 Bq/L aralığında değiştiği bulundu ve (3) ^{226}Ra ve ^{228}Ra radyonüklitinin en yüksek aktivite derişimi, Krynica kaplıcasından alınan Zuber III için ölçüldü.

Marbaniang (2011) tarafından yapılan çalışmada, Hindistan'ın Batı Khasi Hills Bölgesi, Meghalaya'da bulunan Domiasia uranyum yatağının yakındaki su kaynaklarında temin edilen su örneklerinin toplam alfa/beta aktivite seviyeleri ölçüldü. Çalışma sonucunda su örneklerinin içerdiği alfa aktivitesinin, 0,5 Bq/L ve beta aktivitesinin de 1,0 Bq/L 'den daha küçük olduğu bulundu.

Görür, Keser, Dizman ve Okumuşoğlu (2011) tarafından yapılan çalışmada, Samsun ili ve ilçelerinden toplanan 19 farklı musluk suyu ve kaplıca suyu örneklerinin toplam alfa/beta aktivite seviyeleri, gaz orantılı sayaç ile ölçüldü. Çalışma sonucunda, musluk suyu örneklerinde ölçülen ortalama toplam alfa ve toplam beta aktivitesinin, sırasıyla, 51,9 mBq/L ve 77,8 mBq/L olduğu bulundu.

Cidu, Franco ve Tore (2011) tarafından yapılan çalışmada, İtalya'da marketlerde satılan 37 şişelenmiş su ve 15 musluk suyunun insani tüketime yönelik kalitesini araştırmak amacıyla su örneklerinde analiz edilen 57 adet çözünen inorganik bileşenler

değerlendirildi. Çalışma sonucunda, (1) incelenen şişelenmiş su örneklerinin % 20'sinde analiz edilen zehirli elementlerin (krom, kadmiyum, cıva ve kurşun) seviyelerinin DSÖ ve İtalyan içme suyu standart değerleri ile uyumlu olduğu, (2) bir veya daha fazla bileşenin (klorür, sülfat, nitrat, florür ve arsenik) seviyelerinin, özellikle bebekler için belirlenen DSÖ referans değerlerini aştığı, (3) şişelenmiş mineralli su örneklerinin içerdiği eser element seviyelerinin, içme suyu için kabul edilen değerlerden daha büyük olduğu ve (4) incelenen şişelenmiş su örneklerinin bütün olarak kalitesinin musluk suyunun kalitesinden her zaman daha iyi olmadığı bulundu.

Jobbágy, Kávási, Somlai, Dombovári, Gyöngyösi ve Kovács (2011) tarafından yapılan çalışmada, Macaristan'ın Balaton Upland bölgesindeki 30 adet termal, mineral ve maden su örneklerindeki toplam alfa/beta içerikleri belirlendi. Çalışma sonucunda, su örneklerindeki toplam alfa ve toplam beta aktivite seviyelerinin, sırasıyla 26 mBq/dm³ – 1749 mBq/dm³ ve 33 mBq/dm³ – 2015 mBq/dm³ aralığında değiştiği bulundu.

Idoeta, Herranz ve Legarda (2011) tarafından yapılan çalışmada, ²¹⁰Po ile ²¹⁰Pb arasındaki radyoaktif dengenin sağlanmaması durumunun, sularındaki doğal radyonüklit aktivitelerinin belirlenmesinde ne kadar önemli olduğunu araştırmak amacıyla işlemde geçirilmemiş su ve içme suyu örneklerindeki ²¹⁰Po ile ²¹⁰Pb aktivite seviyeleri, alfa spektrometresi ve gaz akışlı orantılı sayaç kullanarak ölçüldü. Çalışma sonucunda, (1) yüzey sularındaki ²¹⁰Po/²¹⁰Pb oranının, yer altı sularına göre daha küçük ve (2) içme sularındaki ²¹⁰Po/²¹⁰Pb oranının, işlemde geçirilmemiş sularına göre daha küçük olduğu bulundu.

Söğüt, Küçükönder, Şahin ve Doğru (2011) tarafından yapılan çalışmada, Kahramanmaraş'a bağlı Ekinözü kaplıcası ve Süleymanlı termal su kaynağından alınan kaplıca su örneklerinin toplam alfa/beta aktivite seviyesi belirlendi ve elemental analiz yapıldı. Çalışma sonucunda, Ekinözü su örneklerinde kalsiyum, demir, stronsiyum ve baryum gözlenirken Süleymanlı su örneklerinde kalsiyum, stronsiyum, baryum ve alüminyum gözlemlendi.

Nucetelli, Rusconi ve Forte (2012) tarafından yapılan çalışmada, içme suları ve şişelenmiş mineralli sular ile ilgili yapılan radyoaktivite izleme verileri değerlendirilerek, içme sularındaki radyoaktivitenin izlenmesine yönelik yönetmelikler oluşturulması ve radyasyondan korunma süreçleri tartışıldı.

Kapdan vd., (2012) tarafından yapılan çalışmada, Çankırı ili ve ilçelerinden toplanan içme suyu örneklerinin toplam alfa/beta aktivite seviyeleri, gaz orantılı sayaç kullanılarak ölçüldü. Çalışma sonucunda, içme suyu örneklerindeki ortalama toplam alfa ve beta aktivitesi, sırasıyla, 0,25 Bq/L ve 0,26 Bq/L olarak bulundu.

Yalcin vd., (2012) tarafından yapılan çalışmada, Erzincan ili ve ilçelerinden toplanan içme suyu örneklerinin toplam alfa/beta aktivite seviyeleri, gaz orantılı sayaç kullanılarak ölçüldü. Çalışma sonucunda, içme suyu örneklerindeki ortalama toplam alfa ve beta aktivitesi, sırasıyla, 0,048 Bq/L ve 0,10 Bq/L olarak bulundu

Ferdous, Rahman ve Begum (2012) tarafından yapılan çalışmada, Dakka (Bangladeş) ilinden toplanan 20 adet musluk suyu örneğinin toplam alfa/beta aktivite seviyeleri, ZnS sintilasyon detektörlü gaz orantılı sayaç kullanılarak ölçüldü. Çalışma sonucunda, içme suyu örneklerindeki toplam alfa ve beta aktivite seviyelerinin, sırasıyla, 1,88 mBq/L - 8,16 mBq/L ve 29,31 mBq/L - 115,740 mBq/L aralığında değiştiği bulundu.

Wanda, Gulula ve Phiri (2012) tarafından yapılan çalışmada, Kuzey Malawi, Mzuzu ilinde tüketilen 72 musluk suyu örneğinin kimyasal kalite indeksini oluşturmak amacıyla su örneklerinin majör iyonları, pH'sı, çözünen toplam katıları, elektrik iletkenliği, bulanıklık, toplam sertlik, asıltı katılar ve bazikliği ölçüldü.

Stalder, Blanc, Haldimann ve Dudler (2012) tarafından yapılan çalışmada, İsveç içme sularında uranyum ve eser elementlerin seviyesi belirlendi. Çalışma sonucunda, (1) su örneklerinde analiz edilen uranyum seviyesinin, dedeksiyon sınırından 100 µg/L'ye kadar değiştiği ve (2) elde edilen 5548 verinin % 98'nin, DSÖ'nün 2004 yılında belirlediği referans değer olan 15 µg/L'den daha küçük ve % 97'sinin de 2011 yılında DSÖ tarafından tavsiye edilen 30 µg/L'den daha küçük olduğu bulundu.

Alonso, Valcárcel, Montero ve Catalá (2012) tarafından yapılan çalışmada, İspanya’da ticari olarak satılan 10 marka şişelenmiş mineralli su örneklerinde 12 ana tedavi grubuna ait 58 adet farmasötik olarak aktif bileşenler analiz edildi. Çalışma sonucunda, analiz edilen 10 şişelenmiş su örneklerinin beş tanesinde, 7 ng/L – 15 ng/L aralığında nikotin bulundu.

Agbalagba, Avwiri ve Ononugbo (2012) tarafından yapılan çalışmada, Nijerya deltasının kıyılarındaki 3 petrol ve gaz alanında (30, 58 ve 61) toplanan 54 adet nehir suları, sondaj ve kuyu sularında doğal olarak bulunan ^{226}Ra , ^{228}Ra ve ^{40}K radyonüklitlerinin aktivite seviyeleri, gama-ışını spektrometresi kullanılarak ölçüldü. Çalışma sonucunda, ^{226}Ra , ^{228}Ra ve ^{40}K ’ın ortalama aktivite derişimi, sırasıyla, (1) kuyu suyu örnekleri için 8,9 Bq/L, 8,1 Bq/L ve 39,8 Bq/L, (2) nehir suyu örnekleri için 8,2 Bq/L, 3,7 Bq/L ve 32,1 Bq/L ve (3) sondaj suyu örnekleri için 4,4 Bq/L, 4,6 Bq/L ve 28,5 Bq/L olarak bulundu.

El-Mageed, El-Kamel, Abbady, Harb ve Saleh (2012) tarafından yapılan çalışmada, Yemen’de Sana’nın güneydoğusunda bulunan Assalamia-Alhomira ve Juban bölgesinden toplanan yer suyu ve Sana’nın doğusunda bulunan Dempt bölgesinden toplanan kaplıca suyu örneklerinin doğal olarak içerdiği ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitinin aktivite derişimleri, NaI(Tl) dedektörlü bir gama-ışını spektrometresi kullanılarak ölçüldü. Çalışma sonucunda, (1) Assalamia-Alhomira yer altı suyu örneklerinde analiz edilen ^{226}Ra ve ^{232}Th ’nin ortalama derişimi, sırasıyla 4,04 Bq/L ve 1,81 Bq/L, (2) Juban yer altı suyu örneklerinde analiz edilen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K ’ın ortalama derişimi, sırasıyla 2,95 Bq/L, 0,72 Bq/L ve 34,9 Bq/L ve (3) Dempt kaplıca suyu örneklerinde analiz edilen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K ’ın ortalama derişimi, sırasıyla 3,48 Bq/L, 1,01 Bq/L ve 16,05 Bq/L olarak bulundu.

Janković, Todorović, Todorović ve Nikolov (2012) tarafından yapılan çalışmada, Sırbistan’da tüketilen şişelenmiş mineralli, musluk ve kaynak sularının kalitelerinin araştırılmasına yönelik olarak su örneklerinde ^3H , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve toplam alfa/beta aktivite seviyeleri belirlendi. Çalışma sonucunda, (1) 11 adet musluk suyu ve 1 adet kaynak sularında ölçülen toplam alfa/beta aktivite seviyelerinin, DSÖ’nün sınır değerleri aralığında, (2) şişelenmiş mineralli su örneklerinde ölçülen ^3H ’nin aktivite

seviyesinin, 0,023 Bq/L – 0,046 Bq/L aralığında ve (3) şişelenmiş mineralli su örneklerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K 'ın aktivite seviyesinin ölçülebilir aktivite sınır değerinin altında olduğu bulundu.

Janković, Todorović, Keleman ve Miljević (2012) tarafından yapılan çalışmada, yüzey sularının içerdiği trityum seviyeleri, elektrolitik olarak zenginleştirilmiş sıvı sintilasyon sayacı kullanılarak ölçüldü.

Bach, Dauchy, Chagnon ve Etienne (2012) tarafından yapılan çalışmada, Fransa'da tüketilen PET şişlerdeki su örnekleri ile ilgili zehirlilik konusu araştırıldı. Çalışma sonucunda, literatürde PET-şişelenmiş sulara ilişkin çelişkili sonuçların bildirildiği ancak farklılıkların, kullanılan çeşitli analitik yöntemler, biyo-analizler ve maruz kalma koşulları ile açıklanabileceğini gösterdi.

Rožmarić, Rogić, Benedik ve Štrok (2012) tarafından yapılan çalışmada, Hırvatistan'da marketlerde satılan şişelenmiş kaynak suyu ve şişelenmiş mineralli su örneklerindeki ^{234}U , ^{238}U , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Po ve ^{210}Pb radyonüklitinin aktivite seviyeleri belirlendi. Çalışma sonucunda, su örneklerinde analiz edilen radyonüklitlerin, $^{234}\text{U} > ^{238}\text{U} > ^{226}\text{Ra} > ^{228}\text{Ra} > ^{210}\text{Pb} > ^{210}\text{Po}$ şeklinde sıralandığı bulundu.

Saç, Ortabuk, Kumru, İçhedef ve Sert (2012) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye'nin batısında bulunan Bakırçay nehrinden toplanan yüzey suyu ve sediment örneklerinin radyoaktivite ve ağır metal kirliliği araştırıldı. Çalışma sonucunda, su örneklerinde ölçülen ^{226}Ra 'nın aktivite derişiminin, 0,09 Bq/L – 0,36 Bq/L aralığında değiştiği bulundu.

Taşkın, Kam ve Bozkurt (2012) tarafından yapılan çalışmada, Bursa ilinde tüketilen 43 adet içme suyu örneğinin içerdiği toplam alfa ve beta aktivite seviyesi, gaz orantılı sayaç kullanılarak ölçüldü. Çalışma sonucunda, (1) su örneklerinde ölçülen toplam alfa ve toplam beta aktivite derişimlerinin ortalama değeri, sırasıyla, 68,5 mBq/dm³ ve 67,1 mBq/dm³ olarak bulundu ve (2) içme suyunun tüketilmesinden dolayı bireylerin aldığı yıllık etkin radyasyon doza, alfa yayınlayan radyonüklitlerin katkısı 14 µSv ve beta yayınlayan radyonüklitlerin katkısı 33,8 µSv olarak hesaplandı.

Akar vd., (2012) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye’de ticari olarak satılan şişelenmiş kaynak sularının doğal olarak içerdiği radyum aktivite seviyeleri araştırıldı. Çalışma sonucunda, su örneklerinde ölçülen ^{226}Ra ’nin aktivite seviyesinin, 0,03 Bq/L – 0,43 Bq/L aralığında değiştiği bulundu.

Dinelli vd., (2012) tarafından yapılan çalışmada, İtalya’da içme suyu olarak tüketilen 157 musluk suyu ile 178 şişelenmiş mineralli su örnekleri, içerdikleri 68 element seviyeleri açısından karşılaştırıldı. Çalışma sonucunda (1) musluk sularında, bazı element seviyelerinin, korozyon sürecine ve su kaynaklarının bulunduğu yerlerin jeolojik yapılarına bağlı olarak yüksek olduğu ve (2) şişelenmiş sularda, PET şişelerden sızan antimon elementinin yüksek olduğu bulundu.

Acar, Kalfa, Yalçınkaya ve Türker (2013) tarafından yapılan çalışmada, Ankara’nın, Kızılcahamam, Haymana, Beypazarı ve Ayaş ilçelerinden toplanan kapılıca sularının toplam alfa/beta aktivite seviyeleri, çok dedektörlü sayım sistemi kullanılarak ölçüldü. Çalışma sonucunda, su örneklerinin toplam alfa ve toplam beta seviyelerinin, sırasıyla 0,09 Bq/L – 2,58 Bq/L ve 0,25 Bq/L – 2,61 Bq/L aralığında değiştiği bulundu.

Varrica, Tamburo ve Dongarrà (2013) tarafından yapılan çalışmada, 16 farklı Sicilya markalı şişelenmiş su, 11 doğal kaynak suyu ve 5 normal içme suyu örneklerindeki majör ve minör inorganik bileşenler, iyon kromatografisi ve ICP-MS spektrometresi kullanılarak analiz edildi. Çalışma sonucunda, (1) şişelenmiş su örneklerinde, tuzluluk, majör bileşenler ve eser element seviyeleri arasında büyük farklılıklar gözlemlendi, (2) Şişelenmiş su örneklerinin, kimyasal olarak Ca-HCO_3 ve Ca-SO_4 ile Na-HCO_3 tip aralığında değiştiği, (3)çözünen toplam katılar, 54 mg/L – 433 mg/L; toplam sertlik, 25 mg/L – 238 mg/L ve analiz edilen sodyum seviyesinin 5,7 mg/L – 57 mg/L aralığında değiştiği ve (4) musluk sularının HCO_3^- toprak alkali ve Cl-SO_4 toprak alkali olduğu bulundu.

Herrera vd., (2013) tarafından yapılan çalışmada, İspanya’da içme suyu olarak tüketilen ve 11 şehirdeki 67 belediyeden toplanan 227 musluk suyu örneklerinin içerdiği nitrat ve eser element seviyeleri belirlendi. Çalışma sonucunda, (1) su örneklerinde analiz edilen nitrat seviyesinin, < 1 mg/L – 29,0 mg/L aralığında değiştiği

bulundu ve (2) su örneklerinin % 94'ünde arsenik, nikel, krom, kadmiyum, kurşun, selenyum ve çinko elementleri nicel olarak analiz edilemedi.

Platikanov, Garcia, Fonseca, Rullán, Devesa ve Tauler (2013) tarafından yapılan çalışmada, İspanya'da tüketilen ticari 20 şişelenmiş su, 25 içme ve şişelenmiş içme suyu örneklerinde kemometrik ölçümler yapıldı.

Fasae (2013) tarafından yapılan çalışmada, Nijerya'nın güneydoğusunda bulunan Ado-Ekiti'de kuyulardan toplanan su örneklerinin toplam alfa/beta aktivite seviyeleri belirlendi. Çalışma sonucunda su örneklerinde ölçülen toplam alfa ve toplam beta seviyelerinin, sırasıyla 0,216 Bq/L - 1,299 Bq/L ve 0,064 Bq/L – 0,582 Bq/L aralığında değiştiği bulundu.

Landsberger ve George (2013) tarafından yapılan çalışmada, ABD Teksas'da tüketilen içme suyu örneklerindeki ²²⁶Ra ve ²²⁸Ra radyonüklit seviyeleri değerlendirildi. Çalışma sonucunda, Teksas'ın Llano Uplift bölgesindeki Hickory akiferinden toplanan su örneklerinde analiz edilen ²²⁶Ra ve ²²⁸Ra'in en yüksek seviyesinin, yasal sınır değerlerin üzerinde olduğu bulundu.

Agbalagba, Avwiri ve Umoren (2013) tarafından yapılan çalışmada, Nijerya Deltasının batısında bulunan 10 petrol yataklarından toplanan 30 adet nehir, kuyu ve musluk suyu örneklerinin toplam alfa/beta aktivite seviyeleri, gaz orantılı sayaç ile ölçüldü. Çalışma sonucunda, toplam alfa ve toplam beta aktivite seviyelerinin, sırasıyla (1) kuyu suyu örnekleri için 0,01 Bq/L – 0,7 Bq/L ve 1,1 Bq/L – 13,2 Bq/L, (2) musluk suyu örnekleri için 0,01 Bq/L – 0,5 Bq/L ve 0,7 Bq/L – 54,7 Bq/L (3) nehir suyu örnekleri için 0,02 Bq/L – 35,1 Bq/L ve 0,7 Bq/L – 151,2 Bq/L aralığında değiştiği bulundu.

Taşkın, Aslıyüksek, Kam ve Bozkurt (2013) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye'de farklı doğal su kaynaklarından toplanan şişelenmiş maden suyu ve kaplıca suyu örneklerinin içerdiği toplam alfa ve beta aktivite seviyesi, gaz orantılı sayaç kullanılarak ölçüldü. Çalışma sonucunda, (1) 40 adet şişelenmiş maden suyu örneklerinde ölçülen toplam alfa ve toplam beta aktivite derişimlerinin ortalama değeri, sırasıyla, 164 mBq/L ve 555 mBq/L ve (2) 24 adet şişelenmiş kaplıca suyu

örneklerinde ölçülen toplam alfa ve toplam beta aktivite derişimlerinin ortalama değeri, sırasıyla, 663 mBq/L ve 3314 mBq/L olarak bulundu.

Turhan, Özçıtak, Taşkın ve Varinlioğlu (2013) tarafından yapılan çalışmada, Nevşehir ilinde içme suyu olarak tüketilen ve belediye ve şahıslar tarafından açılan kuyulardan toplanan yer altı suyu örneklerinin içerdęi toplam alfa ve beta aktivite seviyesi, gaz orantılı sayaç kullanılarak ölçüldü. Çalışma sonucunda, (1) yer altı içme suyu örneklerinde ölçülen toplam alfa ve toplam beta aktivite derişimlerinin, sırasıyla, 80 mBq/L – 330 mBq/L ve 120 mBq/L – 3470 mBq/L aralığında değiştigi, (2) iki örnek hariç yer altı içme suyu örneklerinde ölçülen ortalama toplam alfa ve toplam beta aktivite derişimlerinin, DSÖ ve TSE tarafından belirlenen sınır değerlerden daha küçük olduğu, (3) ileri analize tabi tutulan toplam beta aktivite seviyesi yüksek olan 2 yer altı su örneğindeki toplam beta aktivitesinin ⁴⁰K radyonüklitinden kaynaklandığı ve (4) incelenen yer altı su örneklerinin tüketilmesinden dolayı radyonüklitinden yayınlanan alfa ve beta radyasyonuna maruz kalan yetişkin bir bireyin aldığı yıllık etkin radyasyon dozunun, 0,04 mSv/y – 0,20 mSv/y aralığında değiştigi bulundu.

Demir ve Ergin (2013) tarafından yapılan çalışmada, Tunceli'nin 7 belediyesinden ve şehir merkezindeki 21 farklı noktadan toplanan içme suyu örneklerinin içerdęi nitrat, nitrit, florür, bromür, pestisit, polisiklik aromatik hidrokarbonlar, trihalometanlar, ve diğer kimyasallar analiz edildi. Çalışma sonucunda, su örneklerinde analiz edilen kimyasalların, tavsiye edilen sınır değerlerden daha küçük olduğu bulundu.

Astel vd., (2014) tarafından yapılan çalışmada, Polonya'daki marketlerden toplanan 47 marka şişelenmiş mineralli su örnekleri, içerdikleri iyonlar ve metal seviyeleri belirlenerek karakterize edildi.

Görür ve Camgöz (2014) tarafından yapılan çalışmada, Bolu ilinden toplanan 55 farklı musluk, maden, mineral, nehir ve göl suyu örneklerinin içerdęi toplam alfa ve beta aktivite seviyesi, gaz orantılı sayaç kullanılarak ölçüldü. Çalışma sonucunda, musluk suyu örneklerinde ölçülen toplam alfa ve toplam beta aktivite derişimlerinin ortalama değeri, sırasıyla, 68,11 mBq/L ve 169,44 mBq/L olarak bulundu.

Cfarku vd., (2014) tarafından yapılan çalışmada, Arnavutluk'ta bulunan nüfusu en yoğun 12 şehirden toplanan içme suyu örneklerinin toplam alfa/beta aktivite seviyeleri, gaz orantılı sayaç ile ölçüldü. Çalışma sonucunda, ortalama toplam alfa ve toplam beta aktivite seviyeleri sırasıyla, (1) musluk suyu örnekleri için 36 mBq/L ve 269 mBq/L ve (2) şişelenmiş su örnekleri için 39 mBq/L ve 220 mBq/L olarak bulundu.

Tokatlı (2014) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye'nin pirinç bölgesi olarak bilinen Edirne'nin İpsala ilçesindeki 23 ayrı istasyondan toplanan içme suyu örneklerinin kalitesi, fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik analiz yapılarak belirlendi. Çalışma sonucunda elde edilen fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik verilerin, standart değerler ile uyumlu olduğu bulundu.

Gören vd. , (2014) tarafından yapılan çalışmada, Adana ilinden toplanan içme suyu örneklerindeki trityum aktivite seviyesi, sıvı sintilasyon sayacı kullanılarak ölçüldü. Çalışma sonucunda, (1) içme suyu örneklerinde analiz edilen trityum seviyesinin < 2 Bq/L – 9,1 Bq/L aralığına değiştiği bulundu ve (2) incelenen su örneklerinin tüketilmesinden dolayı trityumdan yayınlanan beta radyasyonuna maruz kalan bebek, çocuk ve yetişkin bir bireyin aldığı yıllık etkin radyasyon dozunun en yüksek değeri, sırasıyla, 0,041 μ Sv/y, 0,057 μ Sv/y ve 0,120 μ Sv/y olarak hesaplandı.

Altıkulaç, Turhan ve Gümüş (2015) tarafından yapılan çalışmada, Samsun ilinden toplanan 52 adet içme suyu örneğinin ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklit seviyeleri, HPGe dedektörlü gama-ışını spektrometresi kullanılarak ölçüldü. Çalışma sonucunda, (1) içme suyu örneklerinde analiz edilen ^{226}Ra , ^{228}Ra ve ^{40}K 'ın aktivite seviyesinin, sırasıyla < 27 mBq/L - 2431 mBq/L, < 36 mBq/L - 270 mBq/L ve < 47 mBq/L - 2880 mBq/L aralığında değiştiği ve (2) bir içme suyu örneğinde analiz edilen ^{137}Cs aktivite seviyesinin, 2576 mBq/L olduğu diğer örneklerde analiz edilmediği bulundu.

Nuhanović, Mulić, Mujezinović, Grgić ve Bajić (2015) tarafından yapılan çalışmada, Bosna-Hersek'te tüketilen içme suyu, kaynak suyu, şişelenmiş maden suyu örneklerindeki uranyum izotoplarının (^{238}U ve ^{235}U) aktivite derişimi, alfa spektrometresi ile ve toplam alfa/beta aktivite derişimi de gaz orantılı sayaç ile

ölçüldü. Çalışma sonucunda, (1) içme suyu örneklerinde ölçülen ^{238}U ve ^{235}U 'in aktivite derişimlerinin, sırasıyla 8 Bq/L – 10 Bq/L ve 2 Bq/L – Bq/L aralığında ve (2) su örneklerinde analiz edilen toplam alfa ve toplam beta aktivite seviyesinin, sırasıyla 3 Bq/L - 10 Bq/L ve 1 Bq/L – 10 Bq/L aralığında değiştiği bulundu.

Biswas, Ferdous, Begum ve Ferdous (2015) tarafından yapılan çalışmada, Bheramara ve Ishwardi (Bangladeş)'nin farklı yerlerinden rastgele toplanan çevresel örneklerin (toprak, su ve sebzeler) örneklerinin toplam alfa/beta aktivite seviyeleri ölçüldü. Çalışma sonucunda su örneklerinde analiz edilen toplam alfa ve toplam beta aktivite seviyesinin, sırasıyla 0,45 mBq/L – 1,36 mBq/L ve 61,49 mBq/L – 279 mBq/L aralığında değiştiği bulundu.

Janković, Sarap, Panteli ve Todorović (2015) tarafından yapılan çalışmada, içme suyu (musluk suyu ve şişelenmiş mineralli sular) örneklerinde toplam alfa ve beta aktivite seviyelerini belirlemek için kullanılan EPA 900.0 (küllü ve külsüz) yöntemi ile ISO yöntemi karşılaştırıldı.

Asaduzzaman vd., (2016) tarafından yapılan çalışmada, Bangladeş'in kırsal alanlarında satılan ticari markalı şişelenmiş içme suyu örnekleri ile ilgili radyolojik veri elde edildi. Çalışma sonucunda, HPGe dedektörlü gama-ışını spektrometresi ile ölçülen ^{226}Ra ve ^{228}Ra 'in aktivite derişimlerinin, 1 Bq/L (^{226}Ra için) ve 0,1 (^{228}Ra için) Bq/L olan sınır değerlerin altında olduğu bulundu.

Ibrahim, Dahuwa ve Bello (2016) tarafından yapılan çalışmada, Nijerya'nın Kaduna Eyaleti'nden toplanan 20 sondaj suyu ve kuyu suyu örneklerinin toplam alfa/beta aktivite seviyeleri belirlendi. Çalışma sonucunda, su örneklerinde ölçülen toplam alfa ve toplam beta aktivite seviyelerinin, sırasıyla $0,69 \times 10^{-3}$ Bq/L – $41,2 \times 10^{-3}$ Bq/L ve 286×10^{-3} Bq/L – 9506×10^{-3} Bq/L aralığında değiştiği bulundu.

Erdogdu vd., (2016) tarafından yapılan çalışmada, Osmaniye ilinden toplanan su örneklerinde ^{222}Rn aktivite derişimi, aktif radon gaz analizörü kullanılarak ölçüldü. Çalışma sonucunda, su örneklerinde ölçülen ^{222}Rn 'nin ortalama aktivite derişimi, 0,44 Bq/L olarak bulundu.

Turgay, Yazıcı, Taşkın, Kam ve Karahan (2016) tarafından yapılan çalışmada, Hatay ilinde tüketilen 39 içme suyu örneğinin içerdiği toplam alfa ve beta aktivite seviyesi, gaz orantılı sayaç kullanılarak ölçüldü. Çalışma sonucunda, içme suyu örneklerinde ölçülen toplam alfa ve toplam beta aktivite derişimlerinin ortalama değeri, sırasıyla, 36,69 mBq/L ve 116,36 mBq/L olarak bulundu. Alfa yayınlayan radyonüklitlerden kaynaklanan yıllık etkin radyasyon dozu 7,50 μ Sv/y ve beta yayınlayan radyonüklitlerden kaynaklanan yıllık etkin radyasyon dozu ise 58,61 μ Sv/y olarak hesaplandı.

Gunarsdottir, Gardarsson, Jonsson ve Bartram (2016) tarafından yapılan çalışmada, İzlanda'da 74'ü içme suyu kaynağı olan 79 akiferden toplanan 345 su örneğinin kalitesi, ölçülen 53 parametre ile değerlendirildi.

Avwiri, Osimobi ve Ononugbo (2016) tarafından yapılan çalışmada, Nijerya'nın Enugu Eyaleti'nde bulunan katı mineral üretim alanından toplanan yer altı suyu örneklerinin toplam alfa/beta aktivite seviyeleri belirlendi. Çalışma sonucunda, su örneklerinde ölçülen toplam alfa ve toplam beta aktivite seviyelerinin, 0,1 Bq/L (toplam alfa için) ve 1,0 Bq/L (toplam beta için) olan sınır değerleri aştığı gözlemlendi.

Ferdous, Begum, Sharmin ve Ahsan (2016) tarafından yapılan çalışmada, Dakka (Bangladeş) şehrinde içme suyu olarak tüketilen 16 marka şişelenmiş su örneğinin içerdiği toplam alfa ve beta aktivite seviyesi, çift fosfor çinko sülfid sintilasyon dedektörlü sayaç kullanılarak ölçüldü. Çalışma sonucunda, içme suyu örneklerinde ölçülen toplam alfa ve toplam beta aktivite derişimlerinin, sırasıyla, 0,73 mBq/L- 0,96 ve 65,54 mBq/L – 77,29 mBq/L aralığında değiştiği bulundu.

Khandaker vd., (2017) tarafından yapılan çalışmada, Malezya'da ticari olarak satılan şişelenmiş mineralli su örneklerinin ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerinin aktivite derişimleri, HPGe dedektörlü gama-ışını spektrometresi kullanılarak ölçüldü. Çalışma sonucunda, (1) şişelenmiş su örneklerinde analiz edilen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K 'ın aktivite derişimlerinin, sırasıyla 1,45 Bq/L – 3,30 Bq/L, 0,65 Bq/L – 3,39 Bq/L ve 21,12 Bq/L – 25,31 Bq/L aralığında değiştiği ve (2) ^{226}Ra 'nin aktivite derişimlerinin, DSÖ tarafından tavsiye edilen azami sınır değeri olan 1.0 Bq/L'nin üzerinde olduğu bulundu.

Walia, Fanas, Akbar, Eddin ve Adnan (2017) tarafından yapılan çalışmada, Birleşik Arap Emirlikleri'nde tüketilen 22 marka şişelenmiş su ve 5 musluk suyu örneklerinin florür seviyeleri belirlendi. Çalışma sonucunda, 81) musluk suyu örneklerinde analiz edilen florür seviyesinin, 0,04 mg/L – 0,3 mg/L aralığında ve (2) şişelenmiş içme suyu örneklerinde analiz edilen florür seviyesinin, 0,02 - 0,50 mg/L aralığında değiştiği bulundu.

Radulescu vd., (2017) tarafından yapılan çalışmada, Romanya'nın kuzeyinde bulunan karbonat içermeyen 11 mineral su kaynağından temin edilen şişelenmiş mineralli su örneklerinin ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th ve toplam alfa/beta aktivite derişimleri ölçüldü. Çalışma sonucunda, su örneklerinde analiz edilen (1) ^{238}U , ^{226}Ra ve ^{232}Th 'nin aktivite derişimlerinin, sırasıyla 0,07 Bq/L – 0,48 Bq/L, 0,03 Bq/L – 1,05 Bq/L ve 0,03 Bq/L – 0,29 Bq/L ve (2) toplam alfa ve toplam beta aktivite seviyesinin, sırasıyla 1,6 mBq/L – 8,4 mBq/L ve 4,7 mBq/L – 46,5 mBq/L aralığında değiştiği bulundu.

Amin (2017) tarafından yapılan çalışmada, Suudi Arabistan'ın Jizan bölgesinden toplanan içme suyu örneklerindeki eser element ve toplam alfa/beta aktivite derişimleri ölçüldü. Çalışma sonucunda, su örneklerinde analiz edilen (1) eser element seviyelerinin, DSÖ'nün belirlediği sınır değerlerinden daha küçük olduğu, (2) ağır metal seviyelerinin, $\text{Sr} > \text{Ti} > \text{Fe} > \text{Al} > \text{Zn} > \text{Ba} > \text{As} > \text{Cu} > \text{Mo} > \text{Ni} > \text{Cr} > \text{Co} > \text{Se} > \text{Hg} > \text{Mn}$ şeklinde sırlandığı ve (3) toplam alfa ve toplam beta aktivite seviyesinin, sırasıyla 0,06 Bq/L – 0,45 Bq/L ve 0,05 Bq/L – 2,95 Bq/L aralığında değiştiği bulundu.

Duran vd., (2017) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye'nin Orta ve Doğu Karadeniz bölgesinden toplanan kaplıca suyu örneklerinin toplam alfa/beta, ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{40}K , ^{222}Rn ve ^{137}Cs radyonüklit seviyeleri belirlendi. Çalışma sonucunda, su örneklerinde analiz edilen ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{137}Cs , ^{40}K ve ^{222}Rn 'nin ortalama aktivite derişimi, sırasıyla 2,96 Bq/L, 0,42 Bq/L, 0,069 Bq/L, 0,069 Bq/L, 0,19 Bq/L ve 267 Bq/L ve (2) su örneklerinde ölçülen ortalama toplam alfa ve toplam beta aktivite derişimi, 11,354 Bq/L ve 6,23 Bq/L olarak bulundu.

Karataşlı vd., (2017) tarafından yapılan çalışmada, Mersin ilinden toplanan musluk suyu, kuyu suyu ve maden suyu örneklerinin trityum aktivite seviyesi, sıvı sintilasyon

sayacı kullanılarak ölçüldü. Çalışma sonucunda, su örneklerinde analiz edilen trityum aktivite seviyesinin, $< 1,9$ Bq/L - $14,1$ Bq/L aralığında değiştiği bulundu.

Bingöldağ (2017) tarafından yapılan çalışmada, Nevşehir ilinin farklı yerlerinden toplanan 267 adet içme suyu, yer altı suyu ve yüzey suyu örneklerinin toplam alfa/beta aktivite derişimleri ve bu su örneklerinden 139 tanesinde 23 eser element seviyesi belirlendi. Çalışma sonucunda, (1) su örneklerinde analiz edilen ortalama toplam alfa ve beta aktivite derişimi, sırasıyla $0,179$ Bq/L ve $0,216$ Bq/L olarak ölçüldü ve (2) su örneklerinde analiz edilen arsenik cıva, antimon ve selenyum seviyelerinin, DSÖ ve TSE tarafından belirlenen sınır değerlerinden daha yüksek olduğu bulundu.

Shin vd., (2017) tarafından yapılan çalışmada, Kore Cumhuriyeti'nde bulunan 13 şişelenmiş mineralli su tesislerinden alınan su ve filtre örneklerindeki doğal radyoaktivite araştırıldı. Çalışma sonucunda, (1) yer altı suyu (tesislerde işlemden geçirilmemiş, filtrelenmemiş) örneklerinde doğal radyoaktivitenin çok düşük olduğu, (2) filtreleme işleminden sonra şişelenmiş su örneklerindeki uranyum ve radon derişiminin düşük olduğu ancak iki tesiste işlemden geçirilen su örneklerinde uranyum derişiminin biraz arttığı, (3) kullanılan filtrelerde analiz edilen kurşun ve polonyum gibi radyonüklitlerin derişimlerinin yüksek olduğu ve (4) su iyileştirme tesislerinde takılan filtrelerde ölçülen yüzey radyasyonunun, filtre tipinden bağımsız olarak keskin bir şekilde arttığı gözlemlendi.

Guisouma, Hakami, Al-Rajab ve Tarhouni (2017) tarafından yapılan çalışmada, Tunus'ta 100 su tüketim noktasında alınan musluk suyu örneklerinin florür içerikleri araştırıldı. Çalışma sonucunda, musluk suyu örneklerinde analiz edilen florür derişiminin, 0 mg/L – $2,4$ mg/L aralığında değiştiği bulundu.

Heibati vd., (2017) tarafından yapılan çalışmada, İsveç'te biyolojik olarak kararlı içme suyu dağıtım sistemlerine bağı evlerden temin edilen su örneklerine yönelik olarak çözünen organik maddelerin optik özellikleri, mikrobiyal indikatör organizmalar ile elementler arasındaki ilişki araştırıldı.

Jobbáby, Altitzoglou, Malo, Tanner ve Hult (2017) tarafından yapılan çalışmada, içme sularındaki radonun ölçülmesine ilişkin olarak standart ve rutin yöntemler; örnek

hazırlama, dedeksiyon sistemi, ölçülebilir en küçük aktivite, sayım verimi, girişim, ölçme belirsizliği vb. parametreler açısından karşılaştırıldı.

Samson, Ajala ve Adeyemi (2018) tarafından yapılan çalışmada, Nijerya'nın Abuja şehrindeki 60 farklı yerden toplanan içme suyu örneklerinin toplam alfa aktivite seviyeleri belirlendi. Çalışma sonucunda, su örneklerinde ölçülen toplam alfa aktivite seviyelerinin, sırasıyla 0,0025 mBq/L – 0,0969 mBq/L aralığında değiştiği bulundu.

Büyükuslu, Özdemir, Öge ve Gökçe (2018) tarafından yapılan çalışmada, Giresun Üniversitesi yerleşkesinin farklı yerlerindeki kapalı ortamlardaki (yapı içi) ve yerleşkeden toplanan musluk suyu örneklerindeki radon aktivite derişimleri, pasif iz dedektörü (CR-39) ile ölçüldü. Çalışma sonucunda, su örneklerinde ölçülen radon aktivite seviyesinin, 0,98 Bq/L – 27,28 Bq/L aralığında değiştiği bulundu.

Bulia ve Enzweiler (2018) tarafından yapılan çalışmada, Sao Paulo (Brezilya)'da bulunan 6 akiferden alınan yer altı suyu örnekleri ile volkanik, başkalaşım ve tortul kayaçlar arasındaki ilişkiyi araştırmak amacıyla 68 farklı şişelenmiş su örneği hidro-jeokimyasal analize tabi tutuldu. Çalışma sonucunda, (1) şişelenmiş suların dörtte birinde nadir toprak elementleri analiz edildi, (2) suların minerilizasyonu düşük bulundu, (3) su örneklerinin büyük bir kısmının, Na-Ca-HCO₃ tipte olduğu bulundu, (4) iki su örneğindeki uranyum derişimi 98 µg/L ve krom derişimi 73 µg/L olarak bulundu ve (5) 23 su örneğinde analiz edilen nitrat derişiminin, < 0,7 mg/L - 9,0 mg/L aralığında değiştiği bulundu.

Akbari vd., (2018) tarafından yapılan çalışmada, Torbat-e Heydarieh (İran) şehrindeki 20 fabrikadan alınan 1,5 L'lik farklı markalardaki 80 şişelenmiş su örneğinin nitrat derişimi ve mikrobiyal kalitesi araştırıldı. Çalışma sonucunda, şişelenmiş su örneklerinde analiz edilen nitrat derişiminin, 0,6 mg/L – 16 mg/L aralığında değiştiği ve bu nitrat değerlerinin, İran'da içme suları için belirlenen standart değer olan 50 mg/L'den daha küçük olduğu bulundu.

Zhang, Zhou, Wang, Wang ve Xu (2018) tarafından yapılan çalışmada, Xi'an (Çin)'da tüketilen ve 12 noktadan toplanan içme suyu örneklerinin stronsiyum seviyeleri

araştırıldı. Çalışma sonucunda, su örneklerinde analiz edilen Sr(II) derişiminin, 0,06 mg/L – 1,69 mg/L aralığında değiştiği bulundu.

Alimohammadi vd., (2018) tarafından yapılan çalışmada, İran'da tüketilen 71 farklı markalı şişelenmiş içme suyu örneklerinin florür içerikleri araştırıldı. Çalışma sonucunda, şişelenmiş içme suyu örneklerinde analiz edilen ortalama florür derişimi olan 0,272 mg/L değerinin, DSÖ tarafından belirlenen standart değerden daha düşük olduğu bulundu.

Rahim, Sultana, Ferdous, Begum ve Islam (2018) tarafından yapılan çalışmada, Kurigram (Bangladeş)'da bulunan nehir, dere ve kuyulardan toplanan 43 su örneğinin doğal radyoaktivitesi araştırıldı. Çalışma sonucunda, (1) kuyu suyu, dere suyu, nehir suyu örneklerinde analiz edilen ²³⁸U'nin ortalama aktivite derişiminin, sırasıyla 8,9 Bq/L, 6,2 Bq/L ve 10 Bq/L, (2) kuyu suyu ve dere suyu örneklerinde analiz edilen ²³²Th'nin ortalama aktivite derişiminin, sırasıyla 3,6 Bq/L ve 1,82 Bq/L ve (3) kuyu suyu, dere suyu, nehir suyu örneklerinde analiz edilen ⁴⁰K'nin ortalama aktivite derişiminin, sırasıyla 52 Bq/L, 41 Bq/L ve 62 Bq/L olduğu bulundu.

Bu bölümde yapılan literatür araştırmalarının değerlendirilmesinden,

(1) İçme sularının mikrobiyal, kimyasal ve radyolojik yönleri ile ilgili literatürde yer alan birçok onlarca çalışma gözden geçirildiği ve özetlendiği,

(2) Bu kısmın, içme suları ile ilgili ileriye dönük olarak yapılacak çalışmalar için başlıca bir literatür kaynağı oluşturabileceği,

(3) Türkiye'de tüketilen şişelenmiş içme sularının mikrobiyal, kimyasal ve radyolojik içerikleri ile ilgili çalışmaların çok az sayıda olduğu,

(4) Nevşehir'de ticari olarak satılan şişelenmiş içme sularının radyonüklit, esansiyel element ve ağır metal içeriklerinin belirlenmesine yönelik olarak yapılan bu çalışmanın, ilk ayrıntılı çalışma olduğu açıkça görülebilmektedir.

3. MALZEME VE ANALİZ YÖNTEMLERİ

3.1. Şişelenmiş Su Örneklerinin Toplanması

Kapadokya bölgesini, Türkiye'nin Orta Anadolu bölgesinde yer alan Nevşehir, Aksaray, Niğde, Kırşehir ve Kayseri illerinin sınırları oluşturmaktadır. Jeolojisi, tarihi ve kültürü sayesinde Kapadokya, Türkiye'nin ve dünyanın en önemli kültür ve din turizmi merkezlerinden biridir. Kapadokya, her yıl yaklaşık 2,5 milyon turist tarafından ziyaret edilmektedir. Kapadokya bölgesinin kalbi durumunda ve büyük illerinden birisi olan, çok ilginç ve olağanüstü manzaralara sahip Nevşehir şehri, özgün jeolojik, tarih ve kültürel zenginliği sebebiyle en çok tercih edilen ünlü bir turizm durağıdır. 2017 yılında yapılan nüfus sayımına göre Nevşehir merkezinde 138.989 kişi yaşamaktadır. Nevşehir'de tüketilen içme suyunun en önemli kaynağını, belediye ve şahıslar tarafından açılan sondaj kuyulardan temin edilen yer altı suları oluşturmaktadır. Bütün Türkiye'de olduğu gibi Nevşehir'de de son yıllarda artan bir hızda, ticari olarak satılan farklı markalardan oluşan geri dönüşümlü/dönüşümsüz şişelenmiş sular, içme suyu olarak tüketilmektedir.

Tez kapsamında, şişelenmiş içme sularının kalitesinin, insani tüketime uygun olup olmadığını araştırmak için Nevşehir'de ve bazıları da Türkiye genelinde yaygın olarak tüketilen ve marketlerde ticari olarak 5 L'lik polistiren şişelerde satılan 19 farklı marka şişelenmiş içme suyu satın alınarak toplandı. Ticari kaygılar sebebiyle toplanan su örnekleri, marka bilgisini içerecek şekilde ve şişelenmiş içme suyuna atfen ŞİS olarak kodlanarak numaralandı. Daha sonra su örnekleri, radyolojik ve kimyasal analizler için Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM)'ne getirildi.

3.2. Şişelenmiş Su Örneklerinin Analiz İşlemleri İçin Hazırlanması

Toplanan şişelenmiş içme suyu örneklerinin her biri, ilk olarak içerdikleri mikroorganizma yoğunluğunu en aza indirmek ve şişe çeperlerindeki radyonüklit kaybını önlemek için, pH değerleri 2'ye eşit veya daha küçük oluncaya kadar % 65'lik nitrik asit (HNO_3) ile asitlendirmeyi içeren ön hazırlama işlemine tabi tutuldu. Daha sonra her bir şişelenmiş içme suyunun 3 L'si, toplam alfa/beta analizi için kullanılmak

üzere Radyoaktivite Ölçme ve Analiz Birimine bağlı Toplam Alfa ve Toplam Beta Ölçme Laboratuvarına ve 1 L'si eser element ve/veya ağır metal analizi için kullanılmak üzere ICP-OES Laboratuvarına temiz boş plastik kaplarda götürüldü. Örnekler, analiz işlemlerine kadar sıcaklığı 4 °C'ye ayarlı soğuk odada bekletildi.

3.2.1. Su Örneklerinin Radyoaktivite Analizi İçin Hazırlanması

Şişelenmiş su örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri, SM 7110 C çöktürme ve EPA 900.0 buharlaştırma olmak üzere uluslararası doğruluğu kabul edilmiş ve standartlaştırılmış iki yöntem kullanılarak analiz edildi. Her bir içme suyu örneğinin 20 mL'lik miktarı, buharlaştırılıp etüvde kurtulduktan sonra elde edilen tortu veya kalıntı (residue) miktarı, 500 mg'a eşit veya daha düşük olan su örneği için EPA 900.0 yöntemi ve 500 mg'dan daha büyük su örneği için SM 7110 C yöntemi kullanıldı (Bingöldağ, 2017).

3.2.1.1. Çöktürme yöntemi (SM 7110 C)

SM 7110 C standart yöntemi, su örneklerinin çöktürülmesi sonucunda kalıntı elde edilmesi esasına dayanır. Su örneklerinin içerdiği uranyum, radyum, toryum vb. alfa yayınlayan radyonüklitlerin, baryum sülfat ($BaSO_4$) ve demir hidroksil [$Fe(OH)_3$] ile birlikte çöktürülerek diğer çözülmüş katılardan ayrılmaları sağlanır. Çöken örnek filtre edilir ve sayım sisteminde sayılarak alfa aktivitesi belirlenir (Özçıtak, 2012; (Bingöldağ, 2017). Şişelenmiş içme suyu örnekleri, radyoaktivite analizi için aşağıda verilen süreçlerden geçirilerek hazırlandı:

- Her bir su örneğinden 250 mL'lik miktar, behere alındı.
- Viskoziteyi düşürmek için su örneklerine 2,5 damla seyreltilmiş deterjan ilave edildi.
- Beher, 100 °C'de ısıtıcı/manyetik karıştırıcı üzerine koyulduktan sonra manyetik karıştırıcı balık, çözeltinin içine atıldı.
- Daha sonra behere 20 mL 2N sülfürik asit (H_2SO_4) ilave edildi ve çözelti, kaynama noktasına ulaşana kadar beklendi.

- Kaynadıktan sonra çözeltinin, 10 dakika daha karışması için beklendi. Böylece örnekte olabilecek karbonat ve bikarbonatların, CO₂ formunda ortamdan uzaklaştırılması sağlandı.

- Çözeltinin sıcaklığı, kaynama noktasının altında olacak şekilde azaltıldı.

- Çözeltiye 0,5 mL baryum taşıyıcı eklendi ve karıştırma işlemine 30 dakika daha devam edildi.

- Çözeltiye 0,5 mL bromocresol purple indikatör çözeltisi, 1 mL demir taşıyıcı çözeltisi ve 5 mL kâğıt lifi/su karışımı ilave edildi.

- Daha sonra çözeltilere damla damla 6 N NH₄OH ilave edildi. Çözeltilerin rengi sarıdan mora dönmeye başladı.

- Isıtma ve karıştırma işlemine 30 dakika daha devam edildi.

- Örnekler çökmesi için bekletildi. Daha sonra oluşan çökelekler, vakum pompasıyla 0,45 µm gözenekli filtre kâğıdı üzerine süzüldü ve beherler 25 mL damıtık su ile yıkandı.

- Filtre kâğıdına alınan çökelekler, en az 3 saat radon ürünlerinin uzaklaşması için bekletildi.

- Çökelekler, sıcaklığı 105 C°'ye ayarlanmış etüvde kurutuldu ve planşetler üzerine alınan örnekler, analiz için toplam alfa/beta sayım cihazına yerleştirildi.

3.2.1.2. Buharlaştırma yöntemi (EPA 900.0)

EPA 900.0 standart yöntemi, su örneklerinin buharlaştırılması sonucunda kalıntı elde edilmesi esasına dayanır (Krieger and Whittaker, 1980). Şişelenmiş içme suyu örnekleri, radyoaktivite analizi için aşağıda verilen süreçlerden geçirilerek hazırlandı:

- Her bir su örneğinden 250 mL'lik miktar, behere alındı.

- Su örneklerine 2,5 damla HNO₃ ilave edildi.
- Örnekler, sıcaklığı 60-70 °C'ye ayarlı ısıtıcı üzerinde, 5 mL - 10 mL kalıncaya kadar kaynatılmadan buharlaştırıldı.
- Diğer yandan boş planşetler, etüvde 105 °C'de yaklaşık 2 saat tutularak sabit tartıma getirildi.
- Etüvden alınan boş planşetler, ortamdaki nemden etkilenmemeleri için yaklaşık 30 dakika desikatöre içinde soğutulmaya bırakıldı.
- Buharlaştırılan örnekler, soğutulan planşetlere taşmayacak şekilde aktarıldı.
- Planşetler, kızılötesi (infrared) lamba altında buharlaştırılarak dağılımın düzgün olması sağlandı.
- Daha sonra planşetler, etüvde 105 °C'de yaklaşık 2 saat tutularak sabit tartıma getirildi.
- Hassas terazide tartılan her bir örnek için kalıntı miktarları tayin edilerek kaydedildi. Planşetler, toplam alfa/beta sayım cihazında sayımı yapılamayana kadar desikatörde bekletildi.

3.2.2. Su Örneklerinin Eser Element Analizi İçin Hazırlanması

Analiz işlemine kadar soğuk hava odasında 1 L'lik plastik kaplarda bekletilen her bir örnek, analizi yapılmadan önce oda sıcaklığına getirildi. Şişelenmiş içme suyu örnekleri, elemental analiz için aşağıda verilen süreçlerden geçirilerek hazırlandı:

- Her bir su örneğinden A kalite mezür yardımıyla 45 mL alındı.
- Örneğin üzerine sayısal dispenserden % 2 (v/v) HNO₃ olacak şekilde 1,0 mL suprapur HNO₃ ilave edildi.

- Örnek, element analizi için 50 mL'lik yüksek yoğunluklu polietilen kaba aktarıldı ve kap ultra saf su ile 50 mL'ye tamamlandı

- Elde edilen her bir çözelti, iyice çalkalanarak analize hazır duruma getirildi.

Su örneklerinin elemental analiz sürecinde, analizi yapılacak elementlere ait kalibrasyon standart ve blank çözeltiler hazırlandı. Öncelikle, çoklu element içeren stok standart çözelti olan PEQCStd21 (Perkin Elmer Quality Control Standard, 21 elements)'den, 100 mg/L'lik çözelti alındı ve bu çözeltilere % 2 (w/v) suprapur HNO₃, eser (trace) tartarik asit, eser hidroflorür (HF) ilave edilerek ara standart çözeltisi hazırlandı. Daha sonra bu standart çözeltilerden yararlanılarak belli derişimlerde ppm (mg/L) veya ppb (µg/L) olmak üzere en az 3 adet kalibrasyon standart çözeltiler, balon joje içinde hazırlandı. Hazırlanan bu çözeltiler, daha sonra 50 mL'lik polietilen kaplara aktarıldı. Çözeltilere % 2 (v/v) HNO₃ olacak şekilde 1,0 mL suprapur HNO₃ ilave edildi ve iyice çalkalandı. Blank çözelti ise 49 mL ultra saf su içerisine % 2 (v/v) HNO₃ olacak şekilde 1,0 mL suprapur HNO₃ ilave edilerek hazırlandı. Çözelti, element analizi için 50 mL'lik polietilen kaplara aktarıldı ve aynı şekilde iyice çalkalandı. Böylece hem analizi yapılacak içme suyu örnekleri hem kalibrasyon standart çözeltileri hem de blank çözeltiler, aynı asit matrisi içinde hazırlandı (Bingöldağ, 2017).

3.3. Radyoaktivite Analizi

Bu kısımda, radyoaktivite, radyoaktif kaynaklar, iyonlaştırıcı radyasyon ve iyonlaştırıcı radyasyonun madde ile etkileşmesi, radyasyonun biyolojik etkileri, radyasyon doz birimleri ve şişelenmiş su örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite analizlerinde kullanılan gaz orantılı sayaca ilişkin özlü bilgi verildi. Daha ayrıntılı bilgi için okuyucular kaynaklara yönlendirildi.

3.3.1. Radyoaktivite

Bilindiği gibi bir atom çekirdeği (hidrojen hariç), proton ve nötronlardan oluşmaktadır. Atom numarası veya sayısı (Z), çekirdekdeki proton sayısı ile ve kütle numarası (A) ise çekirdekdeki proton ve nötron sayılarının toplamı ile verilir. Proton sayıları aynı

ancak nötron sayıları farklı olan çekirdekler, aynı elementin izotopları olarak isimlendirilir. Bir proton ve bir nötrona sahip döteryum (^2H) ile bir proton ve iki nötrona sahip trityum (^3H), bir protonu olan hidrojen (^1H) elementinin izotoplarıdır. Atom numarası küçük atom çekirdekler, genellikle eşit sayıda proton ve nötron içerirken atom numaraları daha büyük olan çekirdekler, protondan biraz daha fazla nötron içerirler. Nötron sayısı, protona göre daha fazla olan kararsız atom çekirdekleri, kendiliğinden ve rastgele bir bozunuma uğrayarak niteliğini değiştirip daha kararlı bir başka çekirdeğe dönüşme eğilimindedirler. Bu dönüşüm sonucunda, parçacıklar veya ışınlar yayınlanır. Radyoaktivite, kararsız olan bir atom çekirdeğinin, bozunum süreci sonucunda parçacıklar salarak veya elektromanyetik radyasyon yayınlarken, daha kararlı duruma gelmesi olarak tanımlanabilir. Radyoaktivite kontrol edilemeyen, yavaşlatılmayan veya durdurulamayan, her türlü dış parametreden (sıcaklık, basınç, nem vb.) ve maddenin katı, sıvı ve gaz olma hâlinde bağımsız olarak zayıflayan bir tempo ile devam eden fiziksel bir olaydır (Krane, 1987). Radyoaktif bozunum, bozunum sabitinin, herhangi bir t zamanındaki radyoaktif çekirdek sayısı ile orantılı olduğu istatistiksel bir süreçtir. Eğer t zaman aralığında bir örnek içinde N tane radyoaktif çekirdek varsa ve örnek içine yeni çekirdek ilavesi söz konusu değilse, bir dt süresinde bozunuma uğrayan çekirdek sayısı dN, N ile orantılıdır ve

$$\lambda = -\frac{(dN/dt)}{N} \quad (3.1)$$

bağıntısı ile verilir. Burada, λ ; bozunum sabitidir. (3.1) bağıntısının çözümünden,

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (3.2)$$

radyoaktif bozunumun üstel bağıntısı elde edilir ve bu bağıntı, radyoaktif bozunum yasası olarak isimlendirilir. Burada, N_0 ; başlangıçtaki ($t=0$) çekirdek sayısını verir. Başlangıçtaki çekirdek sayısının, bozunum süreci ile yarıya düşmesi için geçen süreye yarılanma süresi denir ve (3.2) bağıntısında, N yerine $N_0/2$ alındığında, yarılanma süresi (T veya $T_{1/2}$),

$$T_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (3.3)$$

olarak elde edilir. Bir kararsız çekirdeğin bozunum süreci boyunca geçirdiği ortalama süreye ise ortalama ömür denir ve τ ile gösterilir ve aşağıdaki bağıntı ile verilir (Krane, 1987):

$$\tau = \frac{\int_0^{\infty} t \cdot \left[\frac{dN}{dt} \right] \cdot dt}{\int_0^{\infty} \left[\frac{dN}{dt} \right] \cdot dt} \quad (3.4)$$

Paydadaki terim toplam bozunum sayısıdır ve integral alındığında ortalama ömür,

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \quad (3.5)$$

bağıntısı ile bozunum sabitinin tersi ile verilir (Krane,1987). (3.2) bağıntısının diferansiyeli alındığında, Aktivite (AC),

$$AC = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda \cdot N_0 e^{-\lambda t} \quad (3.6)$$

bağıntısı elde edilir ve A, aynı zamanda

$$AC = \lambda \cdot N(t) = AC_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (3.7)$$

ile de verilir (Krane, 1987). Burada, AC_0 başlangıçtaki ($t=0$) aktivitedir ve λN_0 'a eşittir. Bir radyoaktif örneğin aktivitesi tam olarak birim zaman başına örneğin içerdiği çekirdeklerin bozunum sayısıdır ve geleneksel birimi, bozunum/s dir. Diğer aktivite birimi ise, bir gram radyumun aktivitesine eşdeğer olan curie (Ci) dir ve basitçe

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ bozunum/s} \quad (3.8)$$

ile verilir. Laboratuvarlarda sıklıkla kullanılan radyoaktif kaynakların aktiviteleri, μCi - mCi aralığındadır. Aktivitenin uluslararası birimi, saniye başına bozunum olarak tanımlanan becquerel (Bq) dir ve

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ bozunum/s} \quad (3.9)$$

ile verilir. Aktivite derişimi (konsantrasyonu) kütle veya hacim ile ilgilidir ve katılar için Bq/kg sıvı ve gazlar için ise Bq/L veya Bq/m^3 ile verilir.

Yukarıda verilen radyoaktif bozunum yasası, sadece kararsız bir çekirdeğin kararlı bir bozunum çekirdeğine dönüştüğü tek bir bozunum süreci için geçerlidir. Ancak bozunum ürünü olan çekirdek de kararsız (radyoaktif) olduğunda, bu durum radyoaktif bozunum serisi olarak isimlendirilir ve aşağıdaki bağıntı ile verilir

$$\frac{dN}{dt} = \lambda_{i-1} \cdot N_{i-1} - \lambda_i \cdot N_i \quad (3.10)$$

Burada, N_i ; t zamanında, i. çekirdeğin radyoaktif çekirdek sayısı ve λ_i ; i. çekirdeğin bozunum sabitidir (Gruber, 2009). Bir radyoaktif seride, ana-bozunum ürünü dönüşümünün ara adımından sonra bozunum denklemleri,

$$a_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \cdot a_{10} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) = \frac{T_1}{T_1 - T_2} \cdot a_{10} \left(e^{-\frac{\ln 2}{T_1} t} - e^{-\frac{\ln 2}{T_2} t} \right) \quad (3.11)$$

ile verilir. Çoklu çekirdekler için Bateman bağıntısı uygulandığında,

$$a_n = a_{10} \cdot T_1 \left(K_1 e^{-\frac{\ln 2}{T_1} t} + K_2 e^{-\frac{\ln 2}{T_2} t} + \dots + K_n e^{-\frac{\ln 2}{T_n} t} \right) \quad (3.12)$$

$$K_n = \frac{T_n^{n-2}}{(T_n - T_1) \cdot (T_n - T_2) \dots (T_n - T_{n-1})} \quad (3.13)$$

bağıntıları elde edilir (Gruber, 2009). Burada a_n ; n. çekirdeğin aktivitesi, a_{10} ; $t=0$ 'da ana çekirdeğin aktivitesi, $\lambda_{1...n}$; 1...n. çekirdeğin bozunum sabiti ve $T_{1...n}$; 1...n çekirdeğin yarılanma süresidir. (3.13) bağıntısı, ana ve bozunum ürünü çekirdeklerin yarılanma sürelerine bağlı olarak radyoaktif dengeye ($a_1/a_2=\text{sabit}$) ulaşma zamanını gösterir. Ayırt edilebilir üç durum söz konusudur: (1) Eğer, ana çekirdeğin yarılanma süresi, bozunum ürününün yarılanma süresinden çok büyükse ($T_1 \gg T_2$) bu durumda, kalıcı radyoaktif denge (secular equilibrium) oluşur. Örnek olarak radyumun (^{226}Ra) yarılanma süresi 1600 yıl iken bozunum ürünü olan radonun (^{222}Rn) yarılanma süresi 3,8 gündür ve bu durumda $T_1 \gg T_2$ şartı sağlanır. (2) Eğer, ana çekirdeğin yarılanma süresi, bozunum ürününün yarılanma süresine eşit veya büyükse ($T_1 \geq T_2$) bu durumda, geçici radyoaktif denge (transient equilibrium) oluşur. Örnek olarak baryumun (^{140}Ba) yarılanma süresi 12,72 dakika iken bozunum ürünü olan lantanyumun (^{140}La) yarılanma süresi 1,68 dakikadır ve bu durumda $T_1 \geq T_2$ şartı sağlanır. (3) Eğer, ana çekirdeğin yarılanma süresi, bozunum ürününün yarılanma süresinden küçükse ($T_1 < T_2$) bu durumda, radyoaktif denge oluşmaz. Örnek olarak seryum (^{146}Ce) yarılanma süresi 13,52 dakika iken bozunum ürünü olan prasetyumun (^{146}Pr) yarılanma süresi 24,15 dakikadır ve bu durumda $T_1 < T_2$ şartı sağlanır.

3.3.2. Radyoaktif Bozunum Süreçleri

Daha önce de ifade edildiği gibi kararsız çekirdekler, enerjik parçacık yayınlamak kararlı duruma geçebildiği gibi diğer bir seçenek olarak uyarılmış durumda olan bir çekirdek, elektromanyetik radyasyon şeklinde enerji yayınlamak taban duruma geçebilmektedir. Bu durumda, alfa (α), beta (β) ve gama (γ) olmak üzere üç temel radyoaktif bozunum süreci vardır (Krane, 1988). Alfa ve beta radyoaktif bozunum sürecinde bir kararsız çekirdek, bir α veya β parçacığı yayınlamak daha kararlı duruma geçmeye çalışır. Gama radyoaktif bozunum sürecinde, alfa veya beta bozunum sonucunda uyarılmış durumda olan bir çekirdek, γ - ışını (radyasyonu) yayınlamak nükleer özelliğini kaybetmeden taban duruma geçiş yapar

Alfa parçacıkları (tanecikleri), iki proton ve iki nötrondan oluşan helyum atomunun çekirdeğidir. Alfa bozunumu, özellikle ağır çekirdeklerde ($A \geq 210$ olan çekirdekler) etkin olan Coulomb itmesi etkisi ile meydana gelmektedir. Çekirdek içindeki protonlar

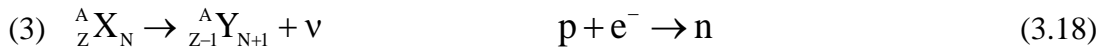
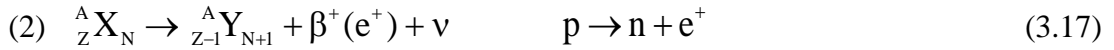
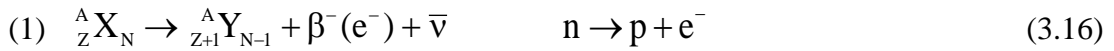
arasındaki Coulomb itme kuvveti, çekirdek büyüklüğü (kütle numarası) ile çekirdek bağlanma kuvvetine göre daha hızlı bir oranda artar. Başka bir ifadeyle, Coulomb kuvveti, proton sayısının karesi (Z^2) ile artarken kütle numarasının kendisi (A) ile artar. Bir alfa taneciğinin kendiliğinden yayınlanması,



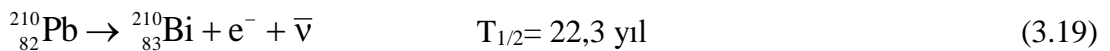
ile gösterilebilir. Burada, X; başlangıçtaki çekirdeğin kimyasal simgesi ve Y; nihai çekirdeğin kimyasal simgesidir. Alfa bozunumunda, başlangıçtaki çekirdeğin Z ve N'si iki azalırken A'sı 4 azalmaktadır. Bu bozunum sürecinde, nötron sayısı, proton sayısı, enerji, doğrusal ve açısal momentum korunur. Örnek olarak ${}^{226}_{88} \text{Ra}$ 'nın α bozunumu sonucunda, radyoaktif radon gazı oluşur ve 4,8 MeV enerjili α parçacığı yayınlanır (Krane, 1987; Temirci, 2017).



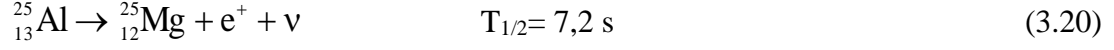
Beta bozunumunda, başlangıçtaki çekirdeğin Z ve N'si değişirken A'sı değişmemektedir. Beta bozunumunda, bir proton nötrona dönüşerek nötron sayısını, nötron protona dönüşerek proton sayısını artırabilir. Beta bozunumu aşağıda verildiği gibi üç farklı şekilde gerçekleşebilir:



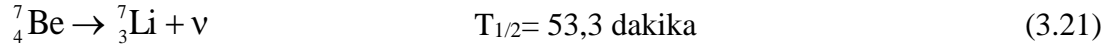
burada ν ve $\bar{\nu}$, elektrik olarak yüksüz olan nötrino ve anti-nötrinodur. (1)'de verilen bozunum süreci, negatif beta (β^-) bozunumu veya negatron bozunumu olarak isimlendirilir. Örnek olarak,



tepkimesi verilebilir. (2)'de verilen bozunum süreci, pozitif beta (β^+) bozunumu veya pozitron bozunumu olarak isimlendirilir. Örnek olarak,



tepkimesi verilebilir. (3)'te verilen bozunum süreci, elektron yakalama (EY) bozunumu olarak isimlendirilir. Örnek olarak



tepkimesi verilebilir.

Gama bozunum sürecinde, α veya β bozunumu sonucunda uyarılmış bir durumda olan kararsız bir çekirdek, nükleer durumlara arasındaki enerji farkına eşit bir enerjide gama-ışını (radyasyonu) yayınlamak için daha düşük (daha az uyarılmış) seviyeye veya taban (uyarılmamış) duruma geçer. Gama-ışını yayını, uyarılmış bağlı durumlara sahip olan $A > 5$ olan bütün çekirdeklerde gözlenir. Yarılanma süreleri saat veya gün olan gama-ışını yayınları hariç gama-ışını yayınlarının yarılanma süreleri çok kısadır ve genellikle 10^{-9} s'de daha küçüktür. Yarılanma süreleri uzun olan geçişler, izomerik geçişler ve uzun ömürlü uyarılmış durumlar ise izomerik durumlar veya izomerler veya yarı kararlı durumlar olarak isimlendirilir (Krane, 1987; Temirci, 2017). Bu sürecin diğer bir seçeneği, iç dönüşüm olarak isimlendirilen bozunum sürecidir. Bu süreçte fazla enerji foton olarak yayınlanmaz ve gama fotonu, çekirdeğe en yakın olan iç yörüngedeki elektronla etkileşerek elektronun atomdan koparılmasına sebep olur. Bu durumda, atomun Z'si veya N'si değişmez ancak atom iyonlaşır (Krane, 1987; Temirci, 2017).

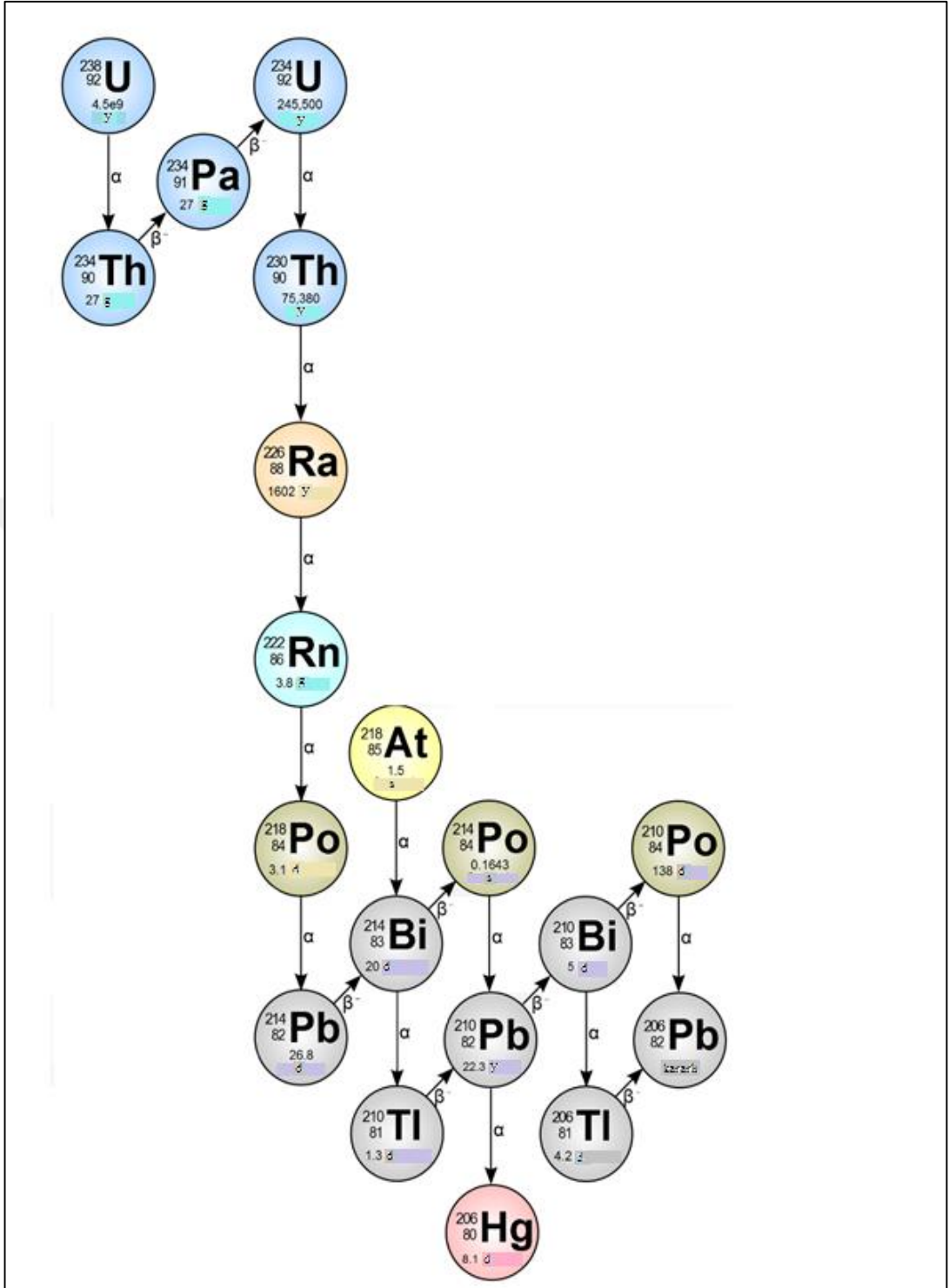
3.3.3. Radyoaktif Kaynaklar

Aynı zamanda iyonlaştırıcı radyasyon (alfa-, beta- ve gama-ışını) kaynağı da olan radyoaktif kaynaklar, doğal ve yapay radyoaktif kaynaklar olarak iki sınıfta toplanabilir. Bir kişinin doğal ve/veya yapay radyonüklitlerden yayınlanan iyonlaştırıcı radyasyon sebebiyle aldığı ortalama yıllık etkin radyasyon dozu, yaklaşık

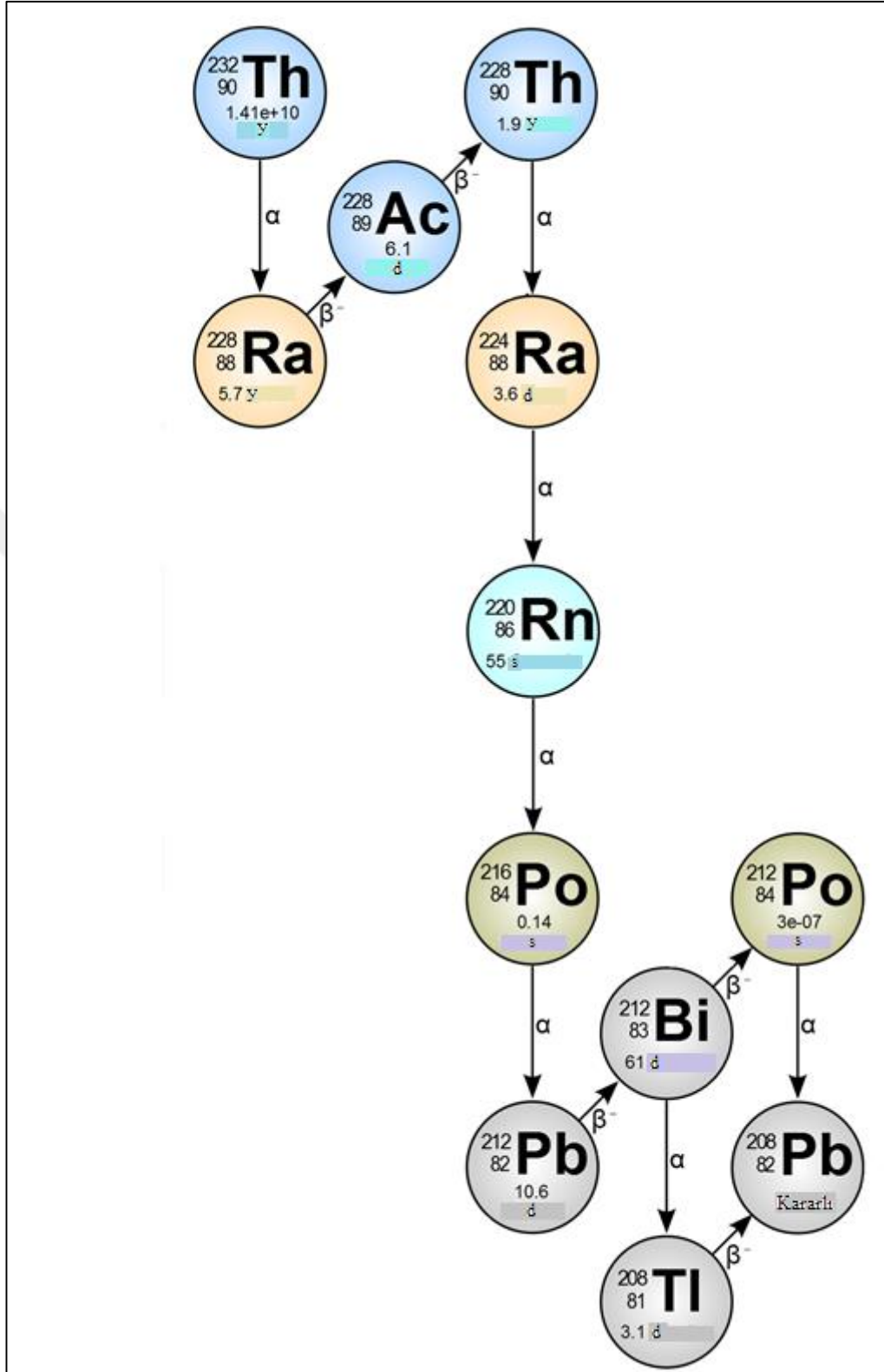
3 mSv'tir. Bu ortalama dozun 2.4 mSv'i (toplam dozun % 80'i), doğal radyoaktif kaynaklarından ve 0.6 mSv'i (toplam dozun % 20'si) ise yapay radyoaktif kaynaklardan ileri gelmektedir (UNSCEAR, 2008). Doğal radyoaktif kaynaklar, kozmik radyonüklitler (^3H , ^7Be , ^{14}C , ^{22}Na vb.) ve yer kabuğu kökenli (terrestrial) radyonüklitler olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır (UNSCEAR, 2000; Temirci, 2017).

Yer kabuğu kökenli radyonüklitler, uranyum (^{238}U), toryum (^{232}Th) ve aktinyum (^{235}U) doğal radyoaktif serilerine ait radyonüklitlerden ve bu serilere ait olmayan diğer radyonüklitlerden oluşmaktadır. Bu doğal radyonüklitler, kayalarda, toprakta, sulara, bitkilerde, hayvanlarda ve vücudumuzda olduğu gibi çevremizde her yerde bulunmaktadır (UNSCEAR, 2000). Aktinyum serisinin ana çekirdeği olan ^{235}U 'in, doğal uranyum içindeki bolluk oranı % 0,7 olduğu için genelde çevresel ve gıda örneklerinde, aktinyum serisine ait radyonüklitlerin seviyeleri, uranyum serisindeki radyonüklitlerin seviyelerine göre çok düşüktür. Uranyum serisi ve bozunum ürünleri, Şekil 3.1'de, toryum serisi ve bozunum ürünleri ise Şekil 3.2'de verildi. Bu doğal radyoaktif serilere ait olmayan bazı radyonüklitler ile ilgili bilgi, Tablo 3.1'de verildi. Uranyum ve toryum doğal radyoaktif serilerine ait radyonüklitler ile radyoaktif potasyum, bozunum (alfa, beta ve gama bozunumu) süreçlerine bağlı olarak alfa-, beta- ve gama-ışını gibi iyonlaştırıcı radyasyon yayınlarlar.

Yapay radyoaktif kaynakları, (1) tıpta teşhis - tedavi için ve tarım ve endüstriyel faaliyetlerde farklı amaçlar için kullanılan radyonüklitler (^{60}Co , ^{137}Cs , ^{111}In , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{131}I , ^{201}Tl , ^{67}Ga , ^{18}F , ^{147}Pm , ^{32}P , ^{241}Am , ^{192}Ir vb.), (2) atmosferik nükleer silah denemesi ve nükleer santral kazaları sonrasında doğrudan atmosfere salınan radyonüklitler (^3H , $^{89-90}\text{Sr}$, $^{137-134}\text{Cs}$, ^{238}Pu vb.) oluşturmaktadır (Özçitak, 2012).



Şekil 3.1. Uranyum radyoaktif serisi (URL-6)



Şekil 3.2. Toryum radyoaktif serisi (URL-6)

Tablo 3.1. Doğal radyoaktif serilere ait olmayan radyonüklitler

Radyonüklit	Yarılanma süresi (yıl)	Yayınlanan radyasyon	Yer kabuğu aktivite derişimi (Bq/kg)
⁴⁰ K	1,26 x 10 ⁹	β, γ	6,3 x 10 ²
⁸⁷ Rb	4,8 x 10 ¹⁰	β	7 x 10 ¹
¹⁴⁷ Sm	1,05 x 10 ¹¹	α	7 x 10 ⁻¹
¹⁷⁶ Lu	2,20 x 10 ¹⁰	β^-, γ	4 x 10 ⁻²
¹³⁸ La	1,12 x 10 ¹¹	β, γ	2 x 10 ⁻²

3.3.4. İyonlaştırıcı Radyasyon ve Madde ile Etkileşmesi

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

Alfa ve beta gibi yükü olan parçacıklar, herhangi bir madde içinden geçerken enerji kaybına uğrarlar ve/veya geliş doğrultularından saparlar. Alfa radyasyonu, ağır ve yüklü olduğu için soğurucu bir ortama girdiğinde, ortamdaki atomların yörünge elektronları ile Coulomb etkileşmesi yapar. Alfa parçacığının kinetik enerjisi, atomun iyonlaşma enerjisinden yeterince büyük olduğunda, enerjisini etkileştiği maddenin atomlarını iyonlaştırmak için maddeye aktarır ve böylece madde içerisinden geçerken, elektronlar ile esnek çarpışmalar sonucunda enerjisinin büyük bir kısmını kaybeder. Alfa parçacığının enerjisi, atomun iyonlaşma enerjisinden küçükse, alfa parçacıkları, enerjisinin bir kısmını madde atomunun elektronlarına aktarır ve böylece onları uyatarak onların daha yüksek enerji seviyelerine çıkmalarını sağlar. Sonuç olarak alfa

parçacıkları enerjilerini çok kısa mesafede ve çok kısa aralıkta kaybederler. Bu yüzden α - radyasyonu, yüksek doğrusal enerji aktarımına ve düşük nüfuz etme derinliğine sahip yüksek derecede iyonlaştırıcı radyasyondur. Alfa parçacıklarının enerjileri, 4 MeV ila 10 MeV arasında değişmektedir. Bir radyoizotoptan yayınlanan alfa parçacıklarının hepsi aynı kesikli enerjiye sahiptir ve dolayısıyla alfa parçacıkları kesikli, karakteristik spektrum arz ederler (Gruber, 2009).

Beta parçacıkları (enerjik elektronlar), alfa parçacıkları gibi içinden geçtikleri maddenin atom ve moleküllerin elektronları ile Coulomb etkileşmesi yaparlar. Beta radyasyonu, elektronları kopararak atomu veya moleküle iyonlaştırır veya elektronları daha üst enerji seviyesine uyarırlar. Beta radyasyonu, bağıl hızda ilerlerler. İlave olarak enerjik elektronlar, atomun çekirdek alanından geçtiği zaman, radyasyon yolu ile enerji kaybına uğrar. Bu enerji, bremsstrahlung veya frenleme radyasyonu denilen sürekli X ışını spektrumu şeklinde görülür. Beta parçacıkları sürekli spektrum arz ederler.

3.3.5. Radyasyon Doz Birimleri ve Radyasyonun Biyolojik Etkileri

Radyasyonun en önemli özelliği, etkileştikleri ortamdaki atomları iyonlaştırmaktır. Hava içinden geçen alfa-, beta-, gama- ve X-ışını, havanın içerdiği atom ve molekülleri iyonlaştırır ve kütlesi m olan havada oluşturulan iyonların toplam yükü Q ise ışınlama X ,

$$X = \frac{Q}{m} \quad (3.22)$$

bağıntısı ile verilir ve uluslararası birim sisteminde birimi kilogram başına coulomb (C/kg) olarak ifade edilir (Krane, 1987; Temirci, 2017). Önceki yıllarda bu birim yerine, normal şartlar altında (0 °C ve 760 mm basınçta) 1 cm³ (0,001293 g) havada, 1 elektrostatik yük birimi (eyb) (yaklaşık 2,08 x 10⁹ iyon çifti) oluşturan ışınlama olarak tarif edilen röntgen (R) birimi kullanılmaktaydı. 1 R, ışınlama (X) cinsinden,

$$1 R = \frac{1 \text{ eyb}}{0,001293 \text{ g}} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C/kg} \quad (3.23)$$

ile verilir. Havadan başka diğer malzemeler iyonlaştırıcı radyasyona maruz kaldığında, bu malzemelerin enerji soğurma hızları havanınkinden farklı olacaktır. Bu yüzden iyonlaşma sebebiyle farklı malzemelerin soğurduğu enerjiyi tanımlamak için başka bir birim veya standart gerekmektedir. Bu nicelik, malzeme tarafından soğurulan doz (D) olarak isimlendirilir ve malzemenin birim kütlesi başına iyonlaştırıcı radyasyonun sebep olduğu soğurulan enerjinin ölçüsünü verir. Yaygın olarak kullanılan soğurulan doz birimi, bir gram kütle başına 100 erg değerini gösteren “rad” dır (rad=100 erg/g). Böylece havada 1 R’lik ışınlama, 0,88 rad soğurulmuş doza eşittir (1 R=0,88 rad). Uluslararası birim sisteminde soğurulan doz değeri gray (Gy) dir ve bir kilogram kütle başına 1 J’luk enerji değerini gösterir (1 Gy=J/kg).

Radyasyonun, canlı organizmalar üzerindeki etkileri değerlendirildiğinde, farklı ışınlama şartlarında, birim kütle başına eşit miktarda enerji soğurulması aynı biyolojik etkiyi göstermez. İyonlaştırıcı radyasyonun oluşturduğu biyolojik hasar, radyasyonun sebep olduğu uyarma veya iyonlaşma etkisinde olan biyolojik moleküllerin kimyasal değişimi ile izlenebilir. Bu değişimlerin büyüklüğü ve kalıcılığı, doğrudan doğrusal enerji aktarımı olarak bilinen radyasyonun aldığı yol boyunca enerji birikimin yerel hızı ile ilgilidir (Krane, 1987; Temirci, 2017). Bu yüzden bireylerin radyasyondan korunması için standartlar tanımlamak için farklı tipteki iyonlaştırıcı radyasyonların bazı biyolojik etkilerinin ölçülmesi gereklidir. Belirli bir radyasyon dozunun, aynı biyolojik etkiyi oluşturan X-ışınlarının dozuna oranı olarak bilinen bağıl biyolojik etkinlik (RBE) tanımlanmıştır. RBE’nin, bağıl olarak ölçülmesi zor olduğundan RBE’nin yerini, birim yol boyunca biriken enerjiye göre bir iyonlaştırıcı radyasyonun enerjisi ve tipi için hesaplanabilen kalite faktörü (KF) almıştır. Bazı iyonlaştırıcı radyasyon tipleri için KF değerleri Tablo 3.2’de verilmektedir. Böylece belirli bir radyasyonun bir biyolojik sistem üzerindeki etkisi, soğurulan doza (D) ve radyasyonun kalite faktörüne bağlıdır. Bu niceliklerin çarpımı olan eşdeğer doz (ED),

$$ED = D \cdot KF \quad (3.24)$$

ile verilir. Burada D, rad olarak verildiğinde, eşdeğer dozun birimi rem (İngilizce “roentgen equivalent man” teriminin baş harfleri) dir. D, Gy olarak verildiğinde, eşdeğer dozun birimi sievert (Si) dir ve 1 Sv=100 rem dir (Temirci, 2017).

Tablo 3.2. Farklı radyasyonlar için KF değerleri (Temirci, 2017)

Radyasyonun tipi	KF
Beta, gama ve X-ışınları	1
Düşük enerjili (~ keV) proton ve nötronlar	2-5
Enerjik (~ MeV) proton ve nötronlar	5-10
Alfa ışınları	20

İyonlaştırıcı radyasyonun, bir canlı üzerinde biyolojik etki yapabilmesi için radyasyon enerjisinin canlıyı oluşturan hücreler ve dokular tarafından soğurulması ve bu enerjinin dokularda dağılması gerekmektedir. Radyasyon enerjisinin soğurulması ile biyolojik etkinin ortaya çıkması arasında geçen süre içinde birbirini izleyen aşağıda verilen dört kademeli olay meydana gelir:

- 1) Radyasyonu soğuran maddenin moleküllerinde uyarılma ve/veya iyonlaşma olayları meydana gelir. Bu ilk kademedeki etkileşmeler sonucu ortaya çıkan ürünler, çok kısa süre içinde (10^{-10} s) ikincil tepkimelerin oluşmasına sebep olurlar ve ikincil tepkime ürünleri ortaya çıkar.
- 2) İkincil tepkimeler, radyasyon etkisinin ikinci kademesini, fizikokimyasal olayları içerir.
- 3) Kimyasal kademedeki serbest atom veya radikaller hem birbirleriyle hem de ortamdaki moleküller ile tepkimeye girerler.
- 4) Bir organizmada radyasyon etkisi ile oluşan moleküler değişiklikler ise biyolojik kademe olarak isimlendirilen dördüncü kademeyi başlatır (Temirci, 2017).

Bu kademeler sonucunda, kromozomda meydana gelen hasarlar bir takım biyolojik etkilerin oluşmasına yol açar. Genlerde hasar meydana gelirse, kanser oluşabilir. Üreme organlarındaki genler hasar görürse, mutasyon meydana gelebilir. Kanserler ve kalıtsal mutasyonlar, ihtimali olan (stokastik) etkiler olarak adlandırılır. Tüm vücut, çok yüksek dozlara (1 Sv-10 Sv aralığında) kısa süre içinde maruz kaldığında, hayati organların ve sistemlerin işlevlerini yerine getiremeyecek şekilde çok sayıda hücre ölür. Mide bulantısı, kusma, cilt ve derin doku yanıkları, vücudun enfeksiyonla

mücadele kabiliyetinin bozulması gibi ani görülen (akut) sağlık etkileri saatler, günler veya haftalar sonrasında ortaya çıkabilir. Tüm vücut aşırı radyasyon dozuna (10 Sv veya üzerinde) kısa süre içinde maruz kaldığında, iç organlar ve vücudun dokular öyle zarar görür ki hayati sistemlerin işlevleri sona erer ve ölüm günler veya haftalar içinde gerçekleşir. Zararın büyüklüğü radyasyon dozu arttıkça artar. Bu etkilere, belirli (deterministik) etkiler denir ve eşik değerlerin altındaki radyasyon dozlarında gözlenmez. Radyasyon dozları, eşik değerlerin altındaki seviyelere sınırlandırılırsa, belirli etkiler tamamen engellenebilir (Temirci, 2017).

3.3.6. Toplam Alfa/Beta Radyoaktivite Analizi

Şişelenmiş içme suyu örneklerinin toplam alfa/beta radyoaktivite derişimlerinin ölçümünde, özellikleri Tablo 3.3'te verilen Berthold LB 770 markalı gaz orantılı α/β sayacı kullanıldı (Fotoğraf 3.1). Bu sayaç ile aynı anda 10 adet örneğin toplam alfa/beta analizi yapılabilmektedir. Şişelenmiş su örneklerinin toplam alfa/beta radyoaktivite derişimleri ölçülmeden önce dedektör verim kalibrasyon ve ortamdaki doğal radyasyon (background) ölçümleri yapıldı. Su örneklerinin toplam alfa aktivitesi, 100 dakikalık ve toplam beta aktivitesi ise 500 dakikalık ölçme süresi ile iki kez yapılarak belirlendi.

Dedektör verim kalibrasyon işlemi için alfa standart kaynağı olarak Amersham sertifikalı radyoaktivitesi bilinen ^{241}Am , beta standart kaynağı olarak ise Amersham sertifikalı radyoaktivitesi bilinen ^{90}Sr stok çözeltilerinden gerekli seyreltmelerle radyoaktif standart çözeltiler hazırlandı. Seyreltilen radyoaktif standardın zaman düzeltmesi de yapılarak radyoaktivite değeri hesaplandı. Hesaplanan radyoaktivite değerini ve tarihi de içeren bir etiket hazırlanarak seyreltilmiş radyoaktif standardın olduğu balon jojenin üzerine yapıştırıldı. Deneylerde kullanılan radyoaktif standart çözeltiler, etiketli balon jojelerde ağızları parafilm ile sıkıca sarılarak kurşun zırlı bölümde muhafaza edildi. Farklı hacimlerde (50, 100, 150, 200, 250, 300 ve 350 mL) alınan içme suyu örneklerine radyoaktivitesi bilinen ^{241}Am (aktivitesi: 1 $\mu\text{Ci}/5$ mL; $E_{\alpha}=5,49$ MeV; $T_{1/2} = 432$ yıl) ve ^{90}Sr (1 $\mu\text{Ci}/10$ mL; $E_{\beta}=5,46$ MeV; $T_{1/2} = 29$ yıl) radyoaktif standart çözeltiler ilave edildi ve kızılötesi lamba altında 5 mL kalıncaya kadar buharlaştırılarak kalıntı ağırlığı farklı bir seri radyoaktif standart numune hazırlandı. Her bir standart numune için 10000 sayım alınacak şekilde sayımlar

yapıldı. Sistem otomatik olarak bu ağırlıkları ayrıntılı hâle getirerek toplam alfa ve beta radyoaktiviteleri için farklı ağırlıklara karşı sayım verimi tablosunu ve grafiğini oluşturdu. Elde edilen bu kalibrasyon değerleri, alfa/beta sayım sisteminde otomatik olarak belleğe alındı. Hazırlanan bu kalibrasyon örnekleri, alfa/beta sayım sisteminin performans kontrolünde kullanılmak üzere desikatörde muhafaza edildi (Özçıtak, 2012).

Tablo 3.3. Gaz orantılı toplam α/β sayıcının teknik özellikleri (Özçıtak, 2012)

Dedektörler	25, 30, 50 ve 60 mm çapındaki planşet ölçümüne uygun korumalı sayaç
Ön yükselteç	Yükselme zamanı ve darbe yüksekliği ayırımını esas alan mükemmel alfa beta ayırma özelliğine sahip
Sayım gazı	Argon-Metan, Argon-CO ₂
Sayım elektroniği	Örnek ve korumalı dedektör için yüksek gerilimli (HV) PC ara yüzey
Yazılım	MS işletim sistemleri için Windows yazılımı



Fotoğraf 3.1. Berthold LB 770 markalı gaz orantılı toplam α/β sayacı

Su örneklerinin çöktürülmesi veya buharlaştırma sonrasında elde edilen ve sabit tartıma getirilmiş olan net kalıntı miktarı, buharlaştırılan su hacmi, örnek sayım süresi, ortam doğal radyasyon sayım hızı sisteme girildi. Daha sonra, sistemin belleğinde yüklü olan sayım verim kalibrasyonu, örneğin çöktürülmesi veya buharlaştırması ile elde edilen kalıntıya karşı gelen alfa ve beta sayım verimleri, net sayım hızlar ve diğer veriler kullanarak toplam alfa ve toplam beta radyoaktiviteleri ($AC_{\alpha,\beta}$) aşağıda verilen bağıntı yardımı ile hesapladı (Özçitak, 2012):

$$AC_{\alpha,\beta} \text{ (Bq/L)} = \frac{1000 \div (N_{\text{net}} \pm \sigma_{\alpha,\beta})}{60 \cdot \eta \cdot F \cdot V} \quad (3.25)$$

$$\sigma_{\alpha,\beta} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{N_{\text{örnek}}}{t_{\text{örnek}}} + \frac{B}{t_B}} \quad (3.26)$$

Burada, $AC_{\alpha,\beta}$; örneğin toplam alfa/beta radyoaktivitesi, N_{net} ; örneğin sayım hızı, $\sigma_{\alpha,\beta}$; standart sapma, η ; sayım verimi, F ; alfa öz soğurma faktörü, V ; örneğin hacmi (mL), $N_{\text{örnek}}$; örneğin sayım hızı, $t_{\text{örnek}}$; örneğin sayım süresi ve t_B ; background sayım süresidir. Ölçülebilir en küçük aktivite derişimi (ÖEA) aşağıda verilen formül kullanılarak hesaplandı:

$$\text{ÖEA (Bq/L)} = \frac{L_D}{60 \cdot \eta \cdot t \cdot V} \quad (3.27)$$

$$L_D = 2,71 + 4,65 \cdot \sqrt{N_B \cdot t} \quad (3.28)$$

Burada, V ; örneğin hacmi (mL), t ; sayım süresi, η ; verim ve N_B ; background sayım hızıdır. Şişelenmiş su örnekleri için ortalama ÖEA, toplam alfa için 6 mBq/L ve toplam beta için 7 mBq/l olarak hesaplandı.

3.4. Element Analizi

Şişelenmiş içme suyu örneklerinin Mg, Al, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Sr, Ag, Cd, Sb, Hg ve Pb nicel analizleri, Optima 7000 DV model (Perkin Elmer) ICP-OES

kullanılarak yapıldı (Fotoğraf 3.2). Esas olarak plazma üretici (atomlaşmanın olduğu bölüm) ve spektrometre (yayım okumalarının yapıldığı bölüm)'den oluşan ICP-OES, örneklerin yüksek sıcaklıktaki (6000 °K – 10000 °K) plazmaya püskürtülmesi ile gaz fazına geçerek uyarılan atomların yaptıkları yayımın (emisyonun) dedektör ile ölçülmesi ve böylece örnekteki element miktarının belirlenmesi ilkesi ile çalışır (Bingöldağ, 2017). Ayrıca sistemde, 1) örneklerin yerleştirildiği otomatik yıkamalı oto örnekleyici, (2) peristaltik pompa, (3) kompresör, (4) yüksek saflıkta azot gazı tüpü ve (5) analiz boyunca çalışmaların ekran üzerinden kontrol edilmesini sağlayan WinLab32 bilgisayar yazılımı bulunmaktadır. Analizler için aşağıda verilen adımlar gerçekleştirildi:

- 1) İlk olarak oda sıcaklığına getirilen şişelenmiş içme suyu örnekleri, blank ve kalibrasyon standart çözeltileri, oto örnekleyiciye yerleştirildi.
- 2) ICP-OES cihazı ve kuru hava için kompresör çalıştırıldı.
- 3) Yüksek saflıkta argon gazı ve yüksek saflıkta azot gazı bulunan tüplerin vanaları açıldı.
- 4) Oluşan atığın atıldığı bağlantılar kontrol edildikten sonra çekiş hızı 2,5 L/dakikaya ayarlanan peristaltik pompa çalıştırıldı.
- 5) Bilgisayar ekranı üzerinde, WinLab32 yazılım programı aktif duruma getirilerek belirlenecek elementler ve Tablo 3.4'de verilen elementlere ait dalga boyları, analiz süresi, kalibrasyon grafiklerine ait bilgiler ve kalibrasyon standartlarının oto örnekleyicideki yerlerinin belirlendiği "Metot" oluşturuldu (Bingöldağ, 2017).

Analizi yapılacak elementlerin ölçme sınırlarının belirlenebilmesi için blank çözeltisi 10 defa okutuldu ve standart sapması hesaplandı. Her bir element analizi için örnekler 3 kez okutuldu. Sonuçlar verilirken analiz edilen elementin ortalama derişim değeri, % 95 güven aralığı içinde verildi.



Fotoğraf 3.2. ICP-OES sistemi (Bingöldağ, 2017)

Tablo 3.4. Analiz edilen elementlerin dalga boyu

Element	Dalga boyu (nm)
Mg	285,213
Al	396,153
Cr	267,716
Mn	257,610
Fe	238,204
Co	228,616
Ni	231,604
Cu	327,393
Zn	206,200
As	193,696
Se	196,026
Sr	407,771
Ag	328,068
Cd	228,802
Sb	206,836
Hg	253,652
Pb	220,353

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, incelenen şişelenmiş içme suyu örneklerinde (1) analiz edilen toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite derişim değerlerine, (2) şişelenmiş su örneklerinin tüketilmesinden kaynaklanan yıllık etkin radyasyon dozuna, (3) analiz edilen esansiyel elementlere ve (4) esansiyel olmayan ve zehirli ağır metallere ilişkin olarak elde edilen bulgular, tablolar ve grafikler hâlinde sunuldu.

4.1. Şişelenmiş Su Örneklerinin Toplam Alfa/Beta İçerikleri

Her bir şişelenmiş içme suyu örneklerinde ölçülen toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite derişim değerleri, ölçme belirsizlikleri ile birlikte Tablo 4.1’de ve radyoaktivite sonuçlarına ilişkin bazı tanımlayıcı istatistiki bilgi ise Tablo 4.2’de sunuldu. Üç örneğin (ŞİS6, ŞİS7 ve ŞİS10) dışında, şişelenmiş su örneklerinin içerdiği toplam beta radyoaktivitesi, toplam alfa radyoaktivitesinden daha büyük olarak ölçüldü. Tablo 4.1’den şişelenmiş içme suyu örneklerinde ölçülen toplam alfa ve toplam beta derişim değerleri arasında farklar olduğu görülmektedir. Bu farklılığın sebebi olarak, Nevşehir’de ticari olarak satılan 19 marka şişelenmiş su, Nevşehir ilinin dışından farklı illerden geldiği için bu sularının elde edildikleri kaynakların özellikleri, jeolojisi ve jeokimyası gösterilebilir.

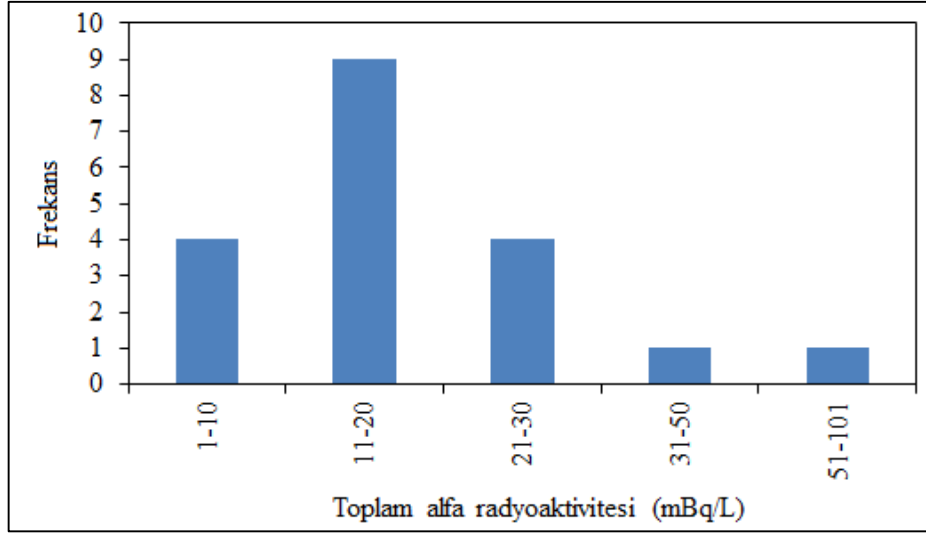
Analiz edilen şişelenmiş içme suyu örneklerinin içerdiği ^{238}U , ^{234}U , ^{226}Ra , ^{210}Po ve ^{232}Th gibi alfa-ışını (radyasyonu) yayınlayan radyonüklitlerin oluşturduğu toplam alfa radyoaktivite değerleri, 8 mBq/L – 101 mBq/L aralığında bulundu. Tablo 4.1’den görülebileceği gibi en düşük toplam alfa radyoaktivite seviyesi, ŞİS13 ve ŞİS18 kodlu örnekte ve en büyük seviyesi ise ŞİS10 kodlu örnekte ölçüldü. Tablo 4.2’deki basıklık ve çarpıklık değerlerinden de anlaşılacağı gibi toplam alfa radyoaktivite değerleri, Grafik 4.1’de gösterildiği gibi normal dağılım sergilememektedir. Toplam alfa radyoaktivite değerlerinin % 89’u, 8 mBq/L – 30 mBq/L aralığındadır. Su örneklerinde ölçülen toplam alfa radyoaktivite değerlerinin birbirleriyle ve DSÖ, TSE, Sağlık Bakanlığı (SB) ve Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB) ölçüt değerleri ile karşılaştırılması, Grafik 4.2’de gösterildi.

Tablo 4.1. *Toplam alfa/beta radyoaktivite derişimleri*

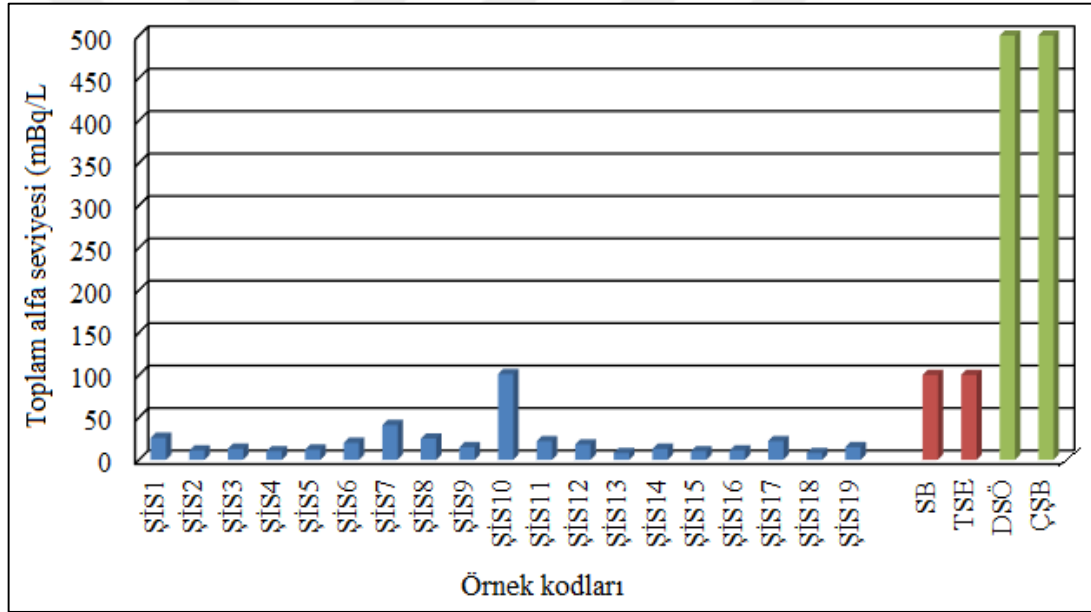
Örnek kodu	Aktivite derişimi (mBq/L)					
	Toplam alfa			Toplam beta		
ŞİS1	26	±	8	32	±	13
ŞİS2	11	±	5	24	±	14
ŞİS3	13	±	5	19	±	12
ŞİS4	10	±	4	18	±	9
ŞİS5	12	±	4	32	±	7
ŞİS6	20	±	4	17	±	9
ŞİS7	41	±	9	35	±	8
ŞİS8	25	±	7	36	±	12
ŞİS9	15	±	6	24	±	10
ŞİS10	101	±	16	88	±	14
ŞİS11	22	±	6	65	±	28
ŞİS12	18	±	6	33	±	12
ŞİS13	8	±	4	41	±	24
ŞİS14	13	±	5	19	±	10
ŞİS15	10	±	7	177	±	17
ŞİS16	11	±	4	168	±	13
ŞİS17	22	±	7	123	±	12
ŞİS18	8	±	4	87	±	16
ŞİS19	15	±	6	92	±	17

Tablo 4.2. *Toplam alfa/beta derişimlerine ilişkin tanımlayıcı istatistiki bilgi*

	Radyoaktivite derişimi (mBq/L)	
	Toplam alfa	Toplam beta
Ortalama	21	59
Standart Hata	5	12
Ortanca	15	35
Standart Sapma	21	50
Basıklık	13	1
Çarpıklık	3	1
En küçük	8	17
En büyük	101	177
Örnek sayısı	19	19



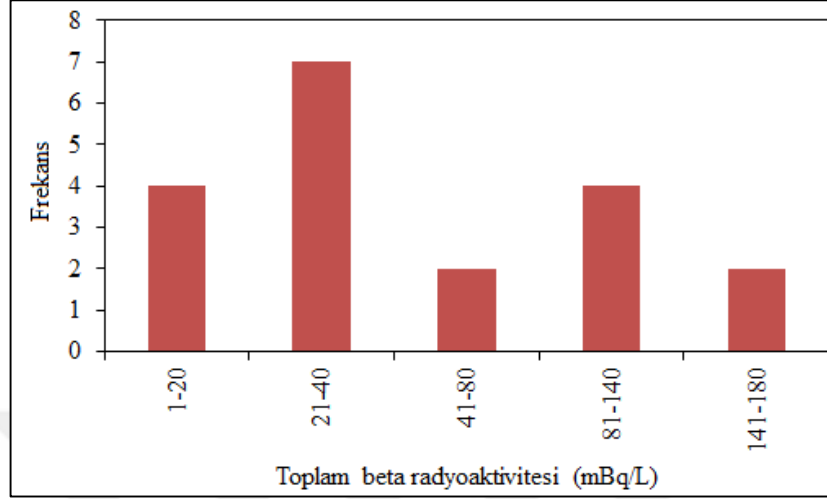
Grafik 4.1. Toplam alfa radyoaktivite değerlerinin histogramı



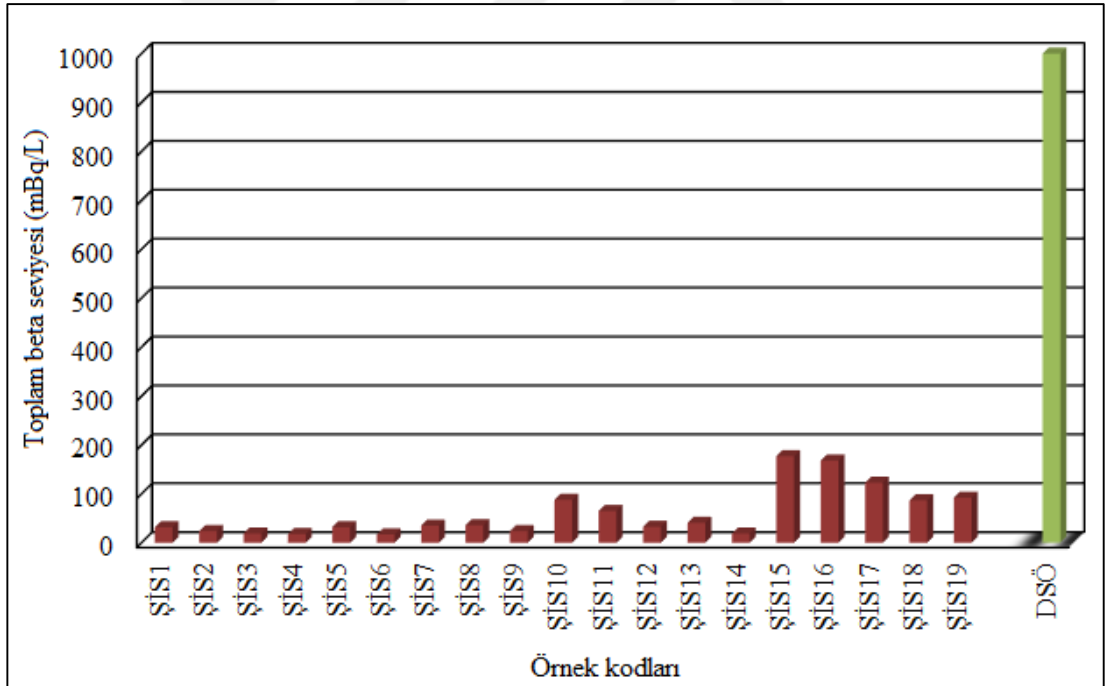
Grafik 4.2. Toplam alfa derişimlerinin sınır değerlerle karşılaştırılması

Analiz edilen şişelenmiş içme suyu örneklerinin içerdiği ^{210}Po , ^{228}Ra ve ^{40}K gibi beta-ışını (radyasyonu) yayınlayan radyonüklitlerin oluşturduğu toplam beta radyoaktivite değerleri, 17 mBq/L – 177 mBq/L aralığında bulundu. Tablo 4.1’den görülebileceği gibi en düşük toplam beta radyoaktivite seviyesi, ŞİS6 kodlu örnekte ve en büyük seviyesi ise ŞİS15 kodlu örnekte ölçüldü. Tablo 4.2’deki basıklık ve çarpıklık değerlerinden de anlaşılacağı gibi toplam beta radyoaktivite değerleri, Grafik 4.3’te gösterildiği gibi normal dağılım sergilememektedir. Toplam beta radyoaktivite değerlerinin % 89’u, 17 mBq/L – 140 mBq/L aralığındadır. Su örneklerinde ölçülen

toplam beta radyoaktivite değerlerinin birbirleriyle ve DSÖ (TSE, SB ve ÇŞB) ölçüt değeri ile karşılaştırılması, Grafik 4.4’de gösterildi.



Grafik 4.3. Toplam beta radyoaktivite değerlerinin histogramı



Grafik 4.4. Toplam beta derişimlerinin sınır değerlerle karşılaştırılması

Analiz edilen şişelenmiş içme suyu örneklerinde ölçülen toplam alfa/beta radyoaktivite seviyesi ile Türkiye’de ve farklı ülkelerde tüketilen içme sularının toplam alfa/beta radyoaktivite seviyelerinin karşılaştırılması, Tablo 4.3’te verildi. Tablo 4.3’ten de görülebileceği gibi analiz edilen şişelenmiş sularının toplam alfa

radioaktivite seviyesi, Trabzon, Rize, Giresun, Kastamonu, Adana ve Bangladeş (Dakka) tüketilen musluk (içme) sularının toplam alfa aktivitesinden daha büyük iken Şanlıurfa, Gaziantep, Batman, Tekirdağ, Çankırı, Samsun, Elazığ, Bolu, Hatay, Suudi Arabistan ve İtalya’da tüketilen musluk sularının toplam alfa aktivitesinden daha küçüktür. Bununla birlikte analiz edilen şişelenmiş sularının toplam alfa radyoaktivite seviyesi, Yunanistan ve Bangladeş’te tüketilen şişelenmiş içme sularının toplam alfa aktivitesinden daha büyük iken İspanya ve Türkiye’de tüketilen bazı şişelenmiş içme sularının toplam alfa aktivitesinden daha küçüktür. Ancak analiz edilen şişelenmiş sularının toplam beta radyoaktivite seviyesi, Elazığ hariç Tablo 4.2’te verilen bütün musluk ve şişelenmiş suların toplam beta aktivite derişiminden daha küçüktür.

4.2. Yıllık Etkin Radyasyon Dozunun Değerlendirilmesi

Daha önce de ifade edildiği gibi içme suyu, insan sağlığı açısından tehlike oluşturabilecek radyonüklitleri içerebilir. Bu yüzden, içme sularının sindirim sistemine girmesinden dolayı radyonüklitlerden yayınlanan alfa ve beta gibi iyonlaştırıcı radyasyona (iç ışınlamaya) maruz kalan bireyin alabileceği yıllık etkin radyasyon dozunun belirlenmesi, radyolojik riskin değerlendirilmesi açısından önem arz etmektedir. Yıllık etkin radyasyon dozu (YERD), şişelenmiş su örneklerinde ölçülen toplam alfa/beta aktivite derişimi, doz dönüşüm katsayısı ve yıllık su tüketimi dikkate alınarak aşağıda verilen formül ile hesaplanmaktadır (WHO, 2011; Özçıtak, 2012):

$$YERD(\mu S/y) = AC_{\alpha,\beta} \times DDK \times YTSM \quad (4.1)$$

Burada, $AC_{\alpha,\beta}$; toplam alfa veya toplam beta radyoaktivite derişimi (mBq/L), DDK; doz dönüşüm katsayısı (mSv/Bq) ve YTSM; yıllık tüketilen su miktarıdır (L). Alfa ve beta yayınlayan radyonüklitler için DDK değerleri, Tablo 4.4’de verildi (WHO, 2011). YTSM, bebekler için 250 L, çocuklar için 350 L ve yetişkinler için 730 L olarak alındı (WHO, 2011).

Tablo 4.3. Toplam α/β aktivite değerlerinin literatür verileri ile karşılaştırılması

Musluk suyu	Toplam α (mBq/L)	Toplam β (mBq/L)	Kaynak
Trabzon	7	101	Damla vd., (2006)
Rize	8	83	Damla vd., (2006)
Giresun	7	97	Damla vd., (2006)
Kastamonu	9	271	Kam vd., (2007)
Şanlıurfa	38	132	Bozkurt vd., (2007)
Gaziantep	49	128	Osmanlioğlu vd., (2007)
İtalya	8 - 349	25 - 273	Forte vd., (2007)
Batman	34	80	Damla vd., (2009)
Tekirdağ	44	100	Kam vd., (2010)
Adana	10	86	Değerlier vd., (2010)
Çankırı	250	260	Kapdan vd., (2012)
Samsun	52	78	Görür vd., (2011)
Bangladeş	4	60	Ferdous vd., (2012)
Elazığ	91	37	Canbazoglu vd., (2012)
Bolu	68	169	Görür ve Camgoz (2014)
Hatay	37	116	Turgay vd., (2016)
S. Arabistan	60 - 450	50 - 2950	Amin (2017)
Şişelenmiş			
İspanya	< 30 - 860	< 40 - 880	Palomo vd., (2007)
Yunanistan	8 - 94	71 - 350	Karamanis vd., (2007)
Türkiye	164	555	Taşkın vd., (2013)
Bangladeş	0,7 – 0,96	65 - 77	Ferdous vd., (2016)
Nevşehir	21	59	Bu çalışma

Analiz edilen şişelenmiş içme suyu örneklerinin tüketilmesi sonucunda bireylerin aldığı YERD, bebekler, çocuklar ve yetişkinler için ayrı ayrı değerlendirildi. YERD'in hesaplanmasında ortalama DDK, α - ışını yayınlayan ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{210}Po ve ^{232}Th radyonüklitler için $3,4 \times 10^{-4}$ mSv/Bq ve β - ışını yayınlayan ^{210}Pb , ^{228}Ra ve ^{40}K radyonüklitler için $4,6 \times 10^{-4}$ mSv/Bq olarak alındı. Hesaplanan YERD değerleri, bebekler için Tablo 4.5'te, çocuklar için Tablo 4.6'da ve yetişkinler için Tablo 4.7'de verildi. Tablo 4-7'den, alfa yayınlayan radyonüklitlerin toplam YERD'e olan katkısının, yaklaşık % 20 ve beta yayınlayan radyonüklitlerin toplam YERD'e olan katkısının ise yaklaşık % 80 olduğu görülmektedir. Bebekler, çocuklar ve yetişkinler için hesaplanan toplam YERD değerleri ile bireysel doz ölçütünün karşılaştırılması, Grafik 4.5'te gösterildi.

Tablo 4.4. α - ve β - ışını yayınlayan radyonüklitler için doz dönüşüm katsayısı

Radyasyon	Radyonüklit	DDK (mSv/Bq)
α -	^{238}U	$4,5 \times 10^{-5}$
	^{234}U	$4,9 \times 10^{-5}$
	^{230}Th	$2,1 \times 10^{-4}$
	^{226}Ra	$2,8 \times 10^{-4}$
	^{210}Po	$1,2 \times 10^{-3}$
	^{232}Th	$2,3 \times 10^{-4}$
Ortalama: $3,4 \times 10^{-4}$		
β -	^{210}Pb	$6,9 \times 10^{-4}$
	^{228}Ra	$6,9 \times 10^{-4}$
	^{40}K	$6,2 \times 10^{-6}$
Ortalama: $4,6 \times 10^{-4}$		

Tablo 4.5. *Bebekler için hesaplanan yıllık etkin radyasyon doz değerleri*

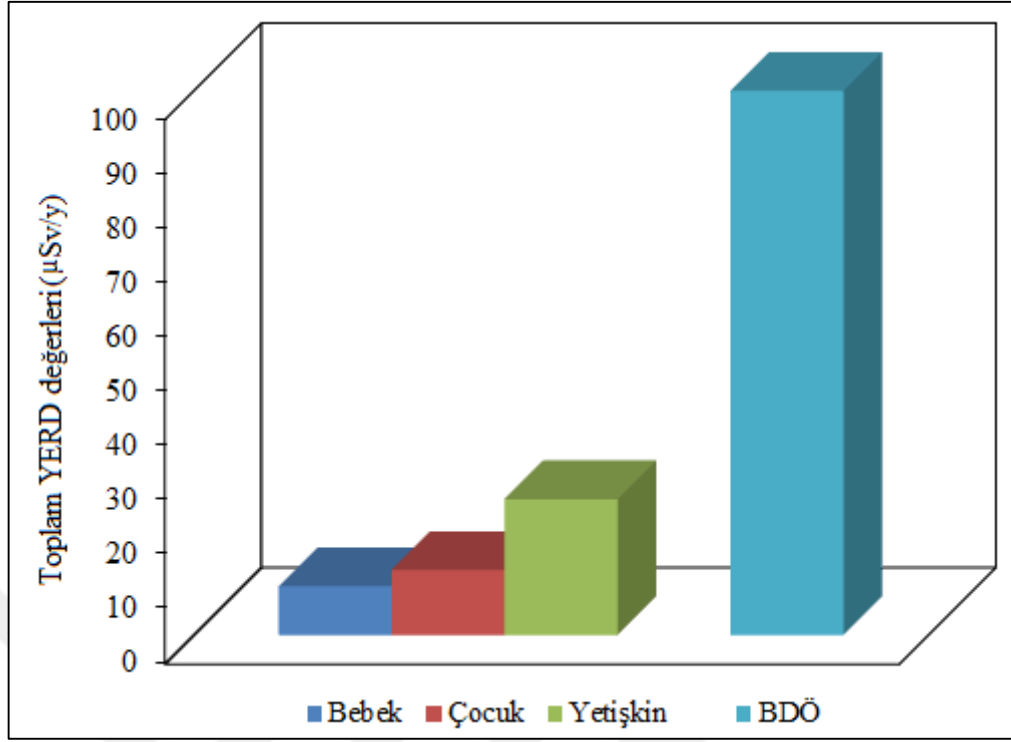
Örnek kodu	YERD ($\mu\text{Sv/y}$)		Toplam
	α -ışını yayınlayan radyonüklitlerin doza olan ortalama katkısı	β -ışını yayınlayan radyonüklitlerin doza olan ortalama katkısı	
ŞİS1	2	4	6
ŞİS2	1	3	4
ŞİS3	1	2	3
ŞİS4	1	2	3
ŞİS5	1	4	5
ŞİS6	2	2	4
ŞİS7	3	4	8
ŞİS8	2	4	6
ŞİS9	1	3	4
ŞİS10	9	10	19
ŞİS11	2	7	9
ŞİS12	2	4	5
ŞİS13	1	5	5
ŞİS14	1	2	3
ŞİS15	1	20	21
ŞİS16	1	19	20
ŞİS17	2	14	16
ŞİS18	1	10	11
ŞİS19	1	11	12
Ortalama	2	7	9
Standart sapma	2	6	6
Standart hata	0,4	1	1
En küçük	1	2	3
En büyük	9	20	21

Tablo 4.6. Çocuklar için hesaplanan yıllık etkin radyasyon doz değerleri

Örnek kodu	YERD ($\mu\text{Sv/y}$)		Toplam
	α -ışını yayınlayan radyonüklitlerin doza olan ortalama katkısı	β -ışını yayınlayan radyonüklitlerin doza olan ortalama katkısı	
ŞİS1	3	5	8
ŞİS2	1	4	5
ŞİS3	2	3	5
ŞİS4	1	3	4
ŞİS5	1	5	6
ŞİS6	2	3	5
ŞİS7	5	6	11
ŞİS8	3	6	9
ŞİS9	2	4	6
ŞİS10	12	14	26
ŞİS11	3	10	13
ŞİS12	2	5	8
ŞİS13	1	7	8
ŞİS14	2	3	5
ŞİS15	1	28	29
ŞİS16	1	27	28
ŞİS17	3	20	23
ŞİS18	1	14	15
ŞİS19	2	15	17
Ortalama	3	10	13
Standart sapma	2	8	9
Standart hata	1	2	2
En küçük	1	3	4
En büyük	12	28	30

Tablo 4.7. Yetişkinler için hesaplanan yıllık etkin radyasyon doz değerleri

Örnek kodu	YERD ($\mu\text{Sv/y}$)		Toplam
	α -ışını yayınlayan radyonüklitlerin doza olan ortalama katkısı	β -ışını yayınlayan radyonüklitlerin doza olan ortalama katkısı	
ŞİS1	6	11	17
ŞİS2	3	8	11
ŞİS3	3	6	10
ŞİS4	2	6	9
ŞİS5	3	11	14
ŞİS6	5	6	11
ŞİS7	10	12	22
ŞİS8	6	12	18
ŞİS9	4	8	12
ŞİS10	25	30	55
ŞİS11	5	22	27
ŞİS12	4	11	16
ŞİS13	2	14	16
ŞİS14	3	6	10
ŞİS15	2	59	62
ŞİS16	3	56	59
ŞİS17	5	41	47
ŞİS18	2	29	31
ŞİS19	4	31	35
Ortalama	5	20	25
Standart sapma	5	17	18
Standart hata	1	4	4
En küçük	2	6	9
En büyük	25	59	62



Grafik 4.5. Toplam YERD değerlerinin sınır değerlerle karşılaştırılması

4.3. Şişelenmiş Su Örneklerinin Element İçerikleri

Şişelenmiş içme suyu örneklerinde analiz edilen 17 elementin ölçme sınırı (DL), Tablo 4.8’de verildi. Bütün element ölçümlerindeki belirsizlik, % 0,2 – % 5 aralığında değişti. Alüminyum (Al), Arsenik (As), gümüş (Ag), bakır (Cu), selenyum (Se) ve antimon (Sb) bütün su örneklerinde, ölçme sınırının (tespit edilebilir düzeyin) altında bulundu. Su örneklerinde analiz edilen elementlerin derişimlerine ilişkin bazı tanımlayıcı istatistiksel bilgi, Tablo 4.9’da sunuldu. Tablodan da görülebileceği gibi analiz edilen elementler, ortalama derişimlerine göre magnezyum (Mg) > stronsiyum (Sr) > demir (Fe) > kurşun (Pb) > cıva (Hg) > çinko (Zn) > krom (Cr) > kobalt (Co) > nikel (Ni) > kadmiyum (Cd) > mangan (Mn) şeklinde sıralandı. Her bir şişelenmiş içme suyu örneğinde analiz edilen, Mg hariç, esansiyel eser ve aynı zamanda ağır metal olan elementlerin derişimleri, Tablo 4.10’da ve Sr hariç esansiyel olmayan aynı zamanda zehirli ağır metal olan eser elementlerin derişimi, 4.11’de verildi.

Tablo 4.8. Analiz edilen elementlerin ölçme sınırları

Element	DL ($\mu\text{g/L}$)
Al	0,06
As	1,82
Pb	1,58
Cd	0,72
Co	0,68
Ag	2,98
Mg	0,43
Sr	0,24
Hg	0,68
Cr	0,15
Cu	3,14
Fe	0,44
Mn	0,27
Ni	0,76
Zn	0,61
Se	5,71
Sb	9,33

Mg, önemli bir minör esansiyel elementtir. İncelenen şişelenmiş içme suyu örneklerinin içerdiği Mg derişimi, 170 $\mu\text{g/L}$ – 8020 $\mu\text{g/L}$ aralığında değişti. En düşük Mg derişimi, ŞİS17 kodlu ve en büyük Mg derişimi ise ŞİS7 kodlu su örneğinde ölçüldü.

Fe, esansiyel eser element, zehirli ağır metal ve aynı zamanda hayati tepkimeler için kritik bir elementtir. İncelenen şişelenmiş içme suyu örneklerinin içerdiği Fe derişimi, < 0,44 $\mu\text{g/L}$ – 5,43 $\mu\text{g/L}$ aralığında değişti. Fe, 7 su örneğinde (ŞİS3, ŞİS7, ŞİS15, ŞİS16, ŞİS17, ŞİS18 ve ŞİS19) ölçme sınırının üzerinde bulundu. Bu 7 su örneği içinde, en düşük Fe derişimi, ŞİS15 kodlu ve en büyük Fe derişimi ise ŞİS19 kodlu su örneğinde ölçüldü.

Tablo 4.9. *Element derişimlerine ilişkin tanımlayıcı istatistiki bilgi*

	Element derişimi ($\mu\text{g/L}$)										
	Mg	Sr	Fe	Pb	Hg	Zn	Cr	Co	Ni	Cd	Mn
Ortalama	2898,95	62,89	3,35	3,08	2,03	1,97	1,89	1,70	1,69	1,23	1,03
Standart Hata	540,64	14,49	0,60	0,52	0,22	0,37	0,65	0,12	0,13	0,06	0,10
Ortanca	1960,00	35,94	2,54	3,53	1,69	1,64	1,27	1,60	1,64	1,21	0,94
Standart Sapma	2356,59	63,16	1,59	0,91	0,95	1,16	1,59	0,41	0,37	0,22	0,23
Basıklık	-0,39	0,71	-1,88	0,01	-0,20	6,52	5,66	-0,62	-0,38	3,72	0,01
Çarpıklık	0,85	1,25	0,38	-1,69	0,64	2,37	2,36	0,10	0,68	1,57	1,06
En küçük	170,00	1,75	< 0,44	< 1,58	< 0,68	< 0,61	< 0,15	< 0,68	< 0,76	< 0,72	< 0,27
En büyük	8020,00	220,00	5,43	3,67	4,01	5,04	5,10	2,38	2,33	1,85	1,38

Tablo 4.10. Esansiyel element derişimleri

Örnek kodu	Derişimi ($\mu\text{g/L}$)						
	Mg	Fe	Zn	Cr	Co	Ni	Mn
ŞİS1	2960	< DL	< DL	< DL	< DL	1,43	< DL
ŞİS2	4290	< DL	< DL	1,15	< DL	1,80	< DL
ŞİS3	1960	5,25	< DL	1,58	< DL	2,33	< DL
ŞİS4	360	< DL	2,40	< DL	< DL	2,03	< DL
ŞİS5	5910	< DL	< DL	5,10	< DL	1,50	< DL
ŞİS6	3570	< DL	1,53	1,24	< DL	1,38	< DL
ŞİS7	8020	2,29	1,53	1,29	< DL	1,25	< DL
ŞİS8	1610	< DL	5,04	< DL	1,29	1,77	< DL
ŞİS9	6970	< DL	2,10	< DL	1,47	< DL	< DL
ŞİS10	1410	< DL	< DL	< DL	1,67	< DL	< DL
ŞİS11	5330	< DL	1,72	< DL	1,46	< DL	< DL
ŞİS12	610	< DL	< DL	< DL	1,52	< DL	< DL
ŞİS13	1420	< DL	< DL	< DL	1,51	< DL	< DL
ŞİS14	1410	< DL	< DL	< DL	0,97	< DL	< DL
ŞİS15	990	1,44	1,80	0,96	1,75	< DL	1,14
ŞİS16	1150	2,54	1,22	< DL	2,16	< DL	1,38
ŞİS17	170	2,30	0,82	< DL	2,17	< DL	0,83
ŞİS18	2030	4,21	1,56	< DL	2,04	< DL	0,88
ŞİS19	4910	5,43	< DL	< DL	2,38	< DL	0,94

Zn, esansiyel eser element ve aynı zamanda zehirli ağır metaldir. Zn, metabolizma ile ilgili olaylarda (enerji metabolizması, protein sentezi, gen dizilişi vb.) kofaktör olarak görev alan bir elementtir (Karcık, 2017). İncelenen şişelenmiş içme suyu örneklerinin içerdiği Zn derişimi, < 0,61 $\mu\text{g/L}$ – 5,04 $\mu\text{g/L}$ aralığında değiştii. Zn, 9 su örneğinde (ŞİS1, ŞİS2, ŞİS3, ŞİS7, ŞİS12, ŞİS14, ŞİS15, ŞİS16 ve ŞİS19) ölçme sınırının altında bulundu. Ölçme sınırının üzerindeki 10 su örneğinin içinde, en düşük Zn derişimi, ŞİS17 kodlu ve en büyük Zn derişimi ise ŞİS8 kodlu su örneğinde ölçüldü.

Cr, esansiyel eser element ve aynı zamanda zehirli ağır metaldir. Cr, vücutta glikoz tolerans faktörü olduğu için şeker metabolizması üzerinde etkilidir. İnsülin ile birlikte hareket ederek glikozun, hücre içine girmesini temin ettiğinden dolayı Cr'nin uygun seviyesi, vücudun gerek duyduğu insülin miktarını azaltır (Karcık, 2017). İncelenen şişelenmiş içme suyu örneklerinin içerdiği Cr derişimi, < 0,15 $\mu\text{g/L}$ – 5,10 $\mu\text{g/L}$

aralığında değişti. Cr, 6 su örneğinde (ŞİS2, ŞİS3, ŞİS5, ŞİS6, ŞİS7 ve ŞİS15) ölçme sınırının üzerinde bulundu. Bu 6 su örneği içinde, en düşük Cr derişimi, ŞİS15 kodlu ve en büyük Cr derişimi ise ŞİS5 kodlu su örneğinde ölçüldü.

Tablo 4.11. *Esansiyel olmayan eser element derişimleri*

Örnek kodu	Derişimi ($\mu\text{g/L}$)			
	Sr	Pb	Hg	Cd
ŞİS1	85,62	< DL	1,95	1,13
ŞİS2	70,64	< DL	2,77	1,15
ŞİS3	41,59	3,53	3,38	1,31
ŞİS4	6,89	< DL	< DL	1,05
ŞİS5	19,88	2,03	4,01	1,09
ŞİS6	97,91	3,67	2,76	1,25
ŞİS7	143,00	< DL	1,33	1,25
ŞİS8	130,00	< DL	2,18	< DL
ŞİS9	14,84	< DL	1,69	< DL
ŞİS10	14,15	< DL	3,34	0,97
ŞİS11	58,44	< DL	1,62	0,96
ŞİS12	23,38	< DL	1,77	< DL
ŞİS13	21,41	< DL	1,45	< DL
ŞİS14	23,69	< DL	1,43	1,21
ŞİS15	35,94	< DL	1,13	1,34
ŞİS16	11,69	< DL	1,07	1,09
ŞİS17	1,75	< DL	2,42	1,45
ŞİS18	174,00	< DL	1,12	1,31
ŞİS19	220,00	< DL	1,06	1,85

Co, esansiyel eser element ve aynı zamanda zehirli ağır metaldir. İncelenen şişelenmiş içme suyu örneklerinin içerdiği Co derişimi, < 0,68 $\mu\text{g/L}$ – 2,38 $\mu\text{g/L}$ aralığında değişti. Co, 7 su örneğinde (ŞİS1, ŞİS2, ŞİS3, ŞİS4, ŞİS5, ŞİS6 ve ŞİS7) ölçme sınırının altında bulundu. Ölçme sınırının üzerindeki 12 su örneğinin içinde, en düşük Co derişimi, ŞİS14 kodlu ve en büyük Co derişimi ise ŞİS19 kodlu su örneğinde ölçüldü.

Ni, esansiyel eser element ve aynı zamanda ağır metaldir. İncelenen şişelenmiş içme suyu örneklerinin içerdiği Ni derişimi, < 0,76 $\mu\text{g/L}$ – 2,33 $\mu\text{g/L}$ aralığında değişti. Ni,

8 su örneğinde (ŞİS1, ŞİS2, ŞİS3, ŞİS4, ŞİS5, ŞİS6, ŞİS7 ve ŞİS8) ölçme sınırının üzerinde bulundu. Bu 8 su örneği içinde, en düşük Ni derişimi, ŞİS7 kodlu ve en büyük Ni derişimi ise ŞİS3 kodlu su örneğinde ölçüldü.

Mn, esansiyel eser element ve aynı zamanda zehirli ağır metaldir. İncelenen şişelenmiş içme suyu örneklerinin içerdiği Mn derişimi, $< 0,27 \mu\text{g/L} - 1,38 \mu\text{g/L}$ aralığında değiştii. Mn, 5 su örneğinde (ŞİS15, ŞİS16, ŞİS17, ŞİS18 ve ŞİS19) ölçme sınırının üzerinde bulundu. Bu 5 su örneği içinde, en düşük Mn derişimi, ŞİS17 kodlu ve en büyük Mn derişimi ise ŞİS16 kodlu su örneğinde ölçüldü.

Sr, esansiyel olmayan eser elementtir. İncelenen şişelenmiş içme suyu örneklerinin içerdiği Sr derişimi, $1,75 \mu\text{g/L} - 220,00 \mu\text{g/L}$ aralığında değiştii. En düşük Sr derişimi, ŞİS17 kodlu ve en büyük Sr derişimi ise ŞİS19 kodlu su örneğinde ölçüldü.

Pb, zehirli olma niteliğini her durumda taşıyabilen, doğada yok olmayan, bozulmayan, zehirlilik dercesine göre ağır metallerin başında gelen ve ikinci sınıf kanserojen maddeler grubundan olan bir eser elementtir (Karcık, 2017). İncelenen şişelenmiş içme suyu örneklerinin içerdiği Pb derişimi, $< 1,58 \mu\text{g/L} - 3,67 \mu\text{g/L}$ aralığında değiştii. Pb, sadece 3 su örneğinde (ŞİS3, ŞİS5 ve ŞİS6) ölçme sınırının üzerinde bulundu. Bu 3 su örneği içinde, en düşük Pb derişimi, ŞİS5 kodlu ve en büyük Pb derişimi ise ŞİS6 kodlu su örneğinde ölçüldü.

Hg, organizmada hiçbir biyokimyasal ve fizyolojik görevi olmayan zehirli bir ağır metaldir. İnsan vücuduna girdiği andan itibaren, alzheimer, epilepsi, parkinson ve kronik olarak yorgunluk sendromları gibi beyinde birtakım hasarlara sebep olabilmektedir (Karcık, 2017). İncelenen şişelenmiş içme suyu örneklerinin içerdiği Hg derişimi, $< 0,68 \mu\text{g/L} - 4,01 \mu\text{g/L}$ aralığında değiştii. Hg, sadece 1 su örneğinde (ŞİS4) ölçme sınırının altında bulundu. En düşük Hg derişimi, ŞİS19 kodlu ve en büyük Hg derişimi ise ŞİS5 kodlu su örneğinde ölçüldü.

Cd, zehirlilik dercesine göre ağır metallerin başında gelen ve kanserojen maddeler grubundan olan bir eser elementtir. İncelenen şişelenmiş içme suyu örneklerinin içerdiği Cd derişimi, $< 0,72 \mu\text{g/L} - 1,85 \mu\text{g/L}$ aralığında değiştii. Cd, 4 su örneğinde (ŞİS8, ŞİS9, ŞİS12 ve ŞİS13) ölçme sınırının altında bulundu. Ölçme sınırının

üzerindeki 15 su örneğinin içinde, en düşük Cd derişimi, ŞİS11 kodlu ve en büyük Cd derişimi ise ŞİS19 kodlu su örneğinde ölçüldü.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İncelenen şişelenmiş içme suyu örneklerinde analiz edilen toplam alfa radyoaktivite derişiminin ortalama değeri, 21 mBq/L olarak bulundu. Ortalama toplam alfa radyoaktivite derişimi, DSÖ ve ÇŞB tarafından tavsiye edilen sınır değer olan 500 mBq/L'den yaklaşık 24 kat ve TSE ve SB tarafından tavsiye edilen sınır değer olan 100 mBq/L'den yaklaşık 5 kat daha küçüktür. Grafik 4.2'den görülebileceği bütün örneklerde analiz edilen toplam alfa radyoaktivite seviyeleri, ŞİS10 kodlu örnek hariç, tavsiye edilen sınır değerlerin altındadır. ŞİS10 kodlu örneğin toplam alfa radyoaktivite seviyesi, TSE ve SB'nin sınır değerinden biraz daha büyüktür. Tablo 4.3'den görülebileceği gibi incelenen şişelenmiş içme sularının içerdieği toplam alfa aktivite derişimi, Türkiye'de tüketilen birçok musluk suyunun içerdieği toplam alfa derişiminden daha küçüktür.

İncelenen şişelenmiş içme suyu örneklerinde analiz edilen toplam beta radyoaktivite derişiminin ortalama değeri, 59 mBq/L olarak bulundu. Ortalama toplam beta radyoaktivite derişimi, DSÖ, ÇŞB, TSE ve SB tarafından tavsiye edilen sınır değer olan 1000 mBq/L'den yaklaşık 17 kat daha küçüktür. Grafik 4.4'de görülebileceği bütün örneklerde analiz edilen toplam beta radyoaktivite seviyeleri, tavsiye edilen sınır değerlerden önemli ölçüde daha düşüktür.

Analiz edilen şişelenmiş içme suyu örneklerinin tüketilmesi sonucunda, bebekler, çocuklar ve yetişkinlerin aldıkları ortalama yıllık etkin radyasyon dozu, sırasıyla 9 µSv/y, 13 µSv/y ve 25 µSv/y olarak hesaplandı. Grafik 4.5'ten görülebileceği gibi hesaplanan yıllık etkin radyasyon dozları, DSÖ, ÇŞB, TSE ve SB tarafından tavsiye edilen bireysel doz ölçütü olan 100 µSv/y değerinden önemli ölçüde küçüktür. Tablo 4.5, Tablo 4.6 ve Tablo 4.7'den görülebileceği gibi hesaplanan bütün YERD değerleri, bireysel doz ölçütünün altındadır.

Radyolojik sonuçlar, incelenen şişelenmiş içme suyu örneklerinin tüketilmesinin radyolojik açıdan herhangi bir risk oluşturmadığını ve bu su örneklerinin içme suyu olarak tüketilmesi için yeterli kaliteye sahip olduğunu göstermektedir.

İncelenen şişelenmiş içme suyu örneklerinde analiz edilen esansiyel minör element magnezyumun ortalama derişimi, 2898,92 µg/L olarak bulundu. Şişelenmiş içme suyu örneklerinde analiz edilen esansiyel olmayan eser element stronsiyumun ortalama derişimi, 62,89 µg/L olarak bulundu.

Şişelenmiş içme suyu örneklerinde ölçülen ağır metallerin ortalama değerleri ile SB, TS, ÇŞB ve DSÖ tarafından belirlenen sınır değerler, Tablo 5.1’de karşılaştırıldı.

Tablo 5.1. *İncelenen şişelenmiş içme suyu örneklerinin ağır metal içeriklerinin sınır değerlerle karşılaştırılması*

Ağır metal	Ağır metal derişimi (µg/L)				Bu çalışmada analiz edilen şişelenmiş içme suyu örneklerinin ortalama değeri
	SB (URL-4)	TSE (TS266, 2005)	ÇŞB (URL-5)	DSÖ (WHO, 2011)	
Fe	200	50	300	-	3,35
Pb	10	10	10	10	3,08
Hg	1,0	1,0	0,1	-	2,03
Zn	-	-	200	-	1,97
Cr	50	50	2	50	1,89
Co	-	-	10	-	1,70
Ni	20	20	20	-	1,69
Cd	5	5	3	3	1,23
Mn	50	20	100	-	1,03

İncelenen şişelenmiş içme suyu örneklerinde ölçme sınırının üzerinde analiz edilen demirin ortalama derişimi, 3,35 µg/L olarak bulundu. Ortalama demir içeriği, TSE sınır değerinden yaklaşık 15 kat, SB sınır değerinden yaklaşık 60 kat ve ÇŞB sınır değerinden ise yaklaşık 80 kat daha küçüktür.

İncelenen şişelenmiş içme suyu örneklerinde ölçme sınırının üzerinde analiz edilen kurşunun ortalama derişimi, 3,08 µg/L olarak bulundu. Ortalama kurşun içeriği, SB, TSE, ÇŞB ve DSÖ sınır değerinden yaklaşık 3 kat daha küçüktür.

İncelenen şişelenmiş içme suyu örneklerinde ölçme sınırının üzerinde analiz edilen cıvanın ortalama derişimi, 2,03 µg/L olarak bulundu. Ortalama cıva içeriği, SB ve TSE sınır değerinden yaklaşık 2 kat ve ÇŞB sınır değerinden ise yaklaşık 20 kat daha

büyüktür. Su örneklerinde ölçülen en küçük cıva seviyesi, SB ve TSE sınır değerinde % 6 ve ÇŞB sınır değerinden 11 kat daha büyüktür. Su örneklerinde ölçülen en büyük cıva seviyesi, SB ve TSE sınır değerinde 4 ve ÇŞB sınır değerinden 40 kat daha büyüktür.

İncelenen şişelenmiş içme suyu örneklerinde ölçme sınırının üzerinde analiz edilen çinkonun ortalama derişimi, 1,97 µg/L olarak bulundu. Ortalama çinko içeriği, ÇŞB sınır değerinden yaklaşık 102 kat daha küçüktür.

İncelenen şişelenmiş içme suyu örneklerinde ölçme sınırının üzerinde analiz edilen kromun ortalama derişimi, 1,89 µg/L olarak bulundu. Ortalama krom içeriği, SB, TSE ve DSÖ sınır değerinden yaklaşık 26 kat ve ÇŞB sınır değerinden ise yaklaşık % 6 daha küçüktür.

İncelenen şişelenmiş içme suyu örneklerinde ölçme sınırının üzerinde analiz edilen kobaltın ortalama derişimi, 1,70 µg/L olarak bulundu. Ortalama kobalt içeriği, ÇŞB sınır değerinden yaklaşık 6 kat daha küçüktür.

İncelenen şişelenmiş içme suyu örneklerinde ölçme sınırının üzerinde analiz edilen nikelin ortalama derişimi, 1,69 µg/L olarak bulundu. Ortalama nikel içeriği, SB, TSE ve ÇŞB sınır değerinden yaklaşık 12 kat daha küçüktür.

İncelenen şişelenmiş içme suyu örneklerinde ölçme sınırının üzerinde analiz edilen kadmiyumun ortalama derişimi, 1,23 µg/L olarak bulundu. Ortalama kadmiyum içeriği, SB ve TSE sınır değerinden yaklaşık 4 kat, ÇŞB ve DSÖ sınır değerinden ise yaklaşık 2 kat daha küçüktür.

İncelenen şişelenmiş içme suyu örneklerinde ölçme sınırının üzerinde analiz edilen manganın ortalama derişimi, 1,03 µg/L olarak bulundu. Ortalama mangan içeriği, TSE sınır değerinden yaklaşık 19 kat, SB sınır değerinden yaklaşık 49 kat ve ÇŞB sınır değerinden ise yaklaşık 97 kat daha küçüktür.

Kimyasal sonuçlar, incelenen şişelenmiş içme suyu örneklerinin, cıva hariç analiz edilen kimyasal element açısından içme suları için gerekli kaliteye sahip olduğunu göstermektedir.

5.1. Öneriler

Bu tez, Kapadokya Bölgesinde yer alan Nevşehir ilinde içme suyu olarak tüketilen ve bazı markaların ülke genelinde ticari olarak satıldığı 19 ticari markalı şişelenmiş içme suyu örneklerinin içerdiği toplam alfa/beta radyoaktivitesi, esansiyel element ve ağır metal içeriklerin belirlenmesine yönelik ayrıntılı olarak yapılan ilk çalışmadır. Bu çalışma sonucunda elde edilen veriler, içme sularının kontrolüne yönelik yol gösterici bilgi mahiyetindedir. Bu çalışma sonucunda,

- Türkiye’de tüketilen ve ticari olarak satılan şişelenmiş içme, maden ve kaplıca sularının mikrobiyal, kimyasal ve radyolojik yönlerinin ve ambalajlardan (PET, cam vb.) sulara kimyasalların geçip geçmediği gibi hususların araştırılmasına yönelik çalışmaların yeteri kadar yapılmadığı görülmüştür.
- Bu yüzden, bu tür çalışmaların, ilgili bakanlıklar tarafından desteklenerek sayılarının artırılması önerilir.
- İncelenen şişelenmiş içme suyu örneklerinde belirlenen cıva derişiminin, Türkiye’deki yönetmelikler ile belirlenen sınır değerlerden önemli ölçüde yüksek çıkması, piyasada satılan içme sularının insani tüketim için uygunluğunun kontrol edilmediği kanaatini oluşturmuştur.
- Bu yüzden şişelenmiş içme sularında, cıva gibi insan sağlığına son derece zararlı olan ağır metal kontrollerinin sıklıkla ve özenle yapılması önerilir.

KAYNAKLAR

- Acar, O., Kalfa, O.M., Yalçinkaya, Ö., Türker, A.R. (2013). Determination and evaluation of gross alpha and beta activity concentrations and metal levels in thermal waters from Ankara, Turkey. *Turkish Journal of Chemistry*, 37, 805-811.
- Agbalagba, E.O., Avwiri, G.O., Ononugbo, C.P. (2012). Activity concentration and radiological impact assessment of ^{226}Ra , ^{228}Ra and ^{40}K in drinking waters from (OML) 30, 58 and 61 oil fields and host communities in Niger delta region of Nigeria. *Journal of Environmental Radioactivity*, 116, 197-200.
- Agbalagba, E.O., Avwiri, G.O., Umoren, Y.E.C. (2013). Gross α and β activity concentrations and estimation of adults and infants dose intake in surface and ground water of ten oil fields environment in western Niger Delta of Nigeria. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 17(2), 267-27.
- Akar, U., Gürlür, O., Kahraman, A., Yalçın, S., Kaynak, G., Gündoğdu, Ö. (2012). Measurements of radium levels in bottled natural spring water of Marmara region of Turkey. *Romanian Journal of Physics*, 57, 1204-1210.
- Akbari, H., Soleimani, H., Radfard, M., Abasnia, A., Hashemzadeh, B., Akbari, H., Adibzadeh, A. (2018). Data on investigating the nitrate concentration levels and quality of bottled water in Torbat-e Heydarieh Khorasan razavi province, Iran. *Data in Brief*, 20, 463-467.
- Akyil, S., Aytas, S., Turkozu, D.A., ASlani, M.A.A., Yusan S.D., Eral M. (2009). Radioactivity levels in surface water of lakes around Izmir/Turkey. *Radiation Measurements*, 44, 390-395.
- Alimohammadi, M., Nabizadeh, R., Yaghmaeian, K., Mahvi, A.H., Foroohar, P., Hemmati, S., Heidarinejad, Z. (2018). Data on assessing fluoride risk in bottled waters in Iran. *Data in Brief*, 20, 825-830.
- Al-Mudhaf, H.F., Alsharifi, F.A., Abu-Shady, A.S.I. (2009). A survey of organic contaminants in household and bottled drinking waters in Kuwait. *Science of the Total Environment*, 407, 1658-1668.
- Alonso, S. G., Valcárcel, Y., Montero, J.C., Catalá, M. (2012). Nicotine occurrence in bottled mineral water: Analysis of 10 brands of water in Spain. *Science of the Total Environment*, 416, 527-531.
- Altıkulaç, A., Turhan, Ş., Gümüş, H. (2015). The natural and artificial radionuclides in drinking water samples and consequent population doses. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 8(4), 578-582.

- Amin R.M. (2017). Gross alpha and beta activities and trace elements levels in drinking water of Saudi Arabia. *Advances in Applied Science Research*, 8(1), 62-69.
- Asaduzzaman, Kh., Mannan, F., Khandaker, M.U., Farook, M.S., Elkezza, A., Amin, Y.M. (2016). Natural radioactivity levels in commercialized bottled drinking water and their radiological quality assessment. *Desalination and Water Treatment*, 57, 11999-12009.
- Astel, A., Michalski, R., Lyko, A., Czaplá, M.J., Bigus, K., Szopa, S., Kwiecinska, A. (2014). Characterization of bottled waters marketed in Poland using hierarchical cluster analysis. *Journal of Geochemical Exploration*, 143, 136-145.
- Avwiri, G.O., Osimobi, J.C., Ononugbo, C.P. (2016). Gross alpha and gross beta activity concentrations and committed effective dose to intake of water in solid mineral producing areas of Enugu State, Nigeria. *International Journal of Physics and Applications*, 8(1), 33-43.
- Baba, A., Ereeş, F.S., Hiçsönmez, Ü., Çam, S., Özdilek, H.G. (2008). An assessment of the quality of various bottled mineral water marketed in Turkey. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 139, 277-285.
- Bach, C., Dauchy, X., Chagnon, M.C., Etienne, S. (2012). Chemical compounds and toxicological assessments of drinking water stored in polyethylene terephthalate bottles: A source of controversy reviewed. *Water Research*, 46, 571-583.
- Baltacı, F., Onur, A.K., Tahmiscioğlu, S. (2008). Water quality monitoring studies of Turkey with present and probable future constraints and opportunities. *Desalination*, 226, 321-327.
- Baradács, E., Hunyadi, I., Dezsö, Z., Csige, I., Szerbin, P. (2001). ^{226}Ra in geothermal and bottled mineral waters of Hungary. *Radiation Measurements*, 34, 385-390.
- Beyermann, M., Bünger, T., Schmidt, K., Obrikat, D. (2010). Occurrence of natural radioactivity in public water supplies in Germany: ^{238}U , ^{234}U , ^{235}U , ^{228}Ra , ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{210}Pb , ^{210}Po and gross α activity concentrations. *Radiation Protection Dosimetry*, 141(1), 72-81.
- Bingöldağ, N. (2017). Nevşehir ilinin toprak, su ve tarım ürünlerinde doğal radyoaktivitenin ve ağır metallerin belirlenmesi. Doktora Tezi. *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Birke, M., Rauch, U., Lorenz, H., Kringel, R. (2010). Distribution of uranium in German bottled and tap water. *Journal of Geochemical Exploration*, 107, 272-282.

- Birke, M., Rauch, U., Harazim, B., Lorenz, H., Glatte, W. (2010). Major and trace elements in German bottled water, their regional distribution, and accordance with national and international standards. *Journal of Geochemical Exploration*, 107, 245-271.
- Birke, M., Reimann, C., Demetriades, A., Rauch, U., Lorenz, H., Harazim, B., Glatte, W. (2010). Determination of major and trace elements in European bottled mineral water-Analytical methods. *Journal of Geochemical Exploration*, 107, 217-226.
- Biswas, S., Ferdous, J., Begum, A., Ferdous, N. (2015). Study of gross alpha and beta radioactivities in environmental samples. *Journal of Scientific Research*, 7, 35-44.
- Bitjukova, L., Petersell, V. (2010). Chemical composition of bottled waters in Estonia. *Journal of Geochemical Exploration*, 107, 238-244.
- Bonotto, D.M., Bueno, T.O. (2008). The natural radioactivity in Guarani aquifer groundwater, Brazil. *Applied Radiation and Isotopes*, 66, 1507-1522.
- Bonotto, D.M., Bueno, T.O., Tessari, B.W., Silva, A. (2009). The natural radioactivity in water by gross alpha and beta measurements. *Radiation Measurements* 44, 92-101.
- Bozkurt, A., Yorulmaz, N., Kam, E., Karahan, G., Osmanlioglu, A.E. (2007). Assessment of environmental radioactivity for Sanliurfa region of Southeastern Turkey. *Radiation Measurements*, 42, 1387-1391.
- Bulia, I.L., Enzweiler, J. (2018). The hydrogeochemistry of bottled mineral water in Sao Paulo state, Brazil. *Journal of Geochemical Exploration*, 188, 43-54.
- Büyükuslu, H., Özdemir, F.B., Öge, T.Ö., Gökçe, H. (2018). Indoor and tap water radon (^{222}Rn) concentration measurements at Giresun University campus areas. *Applied Radiation and Isotopes*, 139, 285-291.
- Canbazoglu, C., Dogru, M., Çelebi, N., Kopuz, G. (2012). Assessment of Natural Radioactivity in Elazig Region, Eastern Turkey. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 292, 375-380.
- Cfarku, F., Xhixha, G., Bylyku, E., Zdruli, P., Mantovani, F., Përpunja, F., Callegari, I., Guastaldi, E., Kaçeli, M.X., Thoma, H. (2014). A preliminary study of gross alpha/beta activity concentrations in drinking waters from Albania. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 301, 435-422.
- Cicchella, D., Albanese, S., De Vivo, B., Dinelli, E., Giaccio, L., Lima, A., Valera, P. (2010). Trace elements and ions in Italian bottled mineral waters: Identification of anomalous values and human health related effects. *Journal of Geochemical Exploration*, 107, 336-349.

- Cidu, R., Franco, F., Tore, P. (2011). Drinking water: Comparing inorganic components in bottled water and Italian tap water. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24, 184-193.
- Çevik, U., Damla N., Karahan, G., Çelebi, N., Kobya, A.İ. (2006). Natural radioactivity in tap waters of Easter Black Sea Region of Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*, 118(1), 88-92.
- Damla, N., Çevik, U., Karahan, G., Kobya, A.İ., (2006). Gross α and β activities in tap waters in Eastern Black Sea region of Turkey. *Chemosphere*, 62, 957–960.
- Damla, N., Cevik, U., Karahan, G., Kobya, A.İ., Kocak, M., Isık, U. (2009). Determination of gross alpha and beta activities in waters of Batman, Turkey. *Desalination*, 244, 208-214.
- Degerlier, M., Karahan, G. (2010). Natural radioactivity in various surface waters in Adana, Turkey. *Desalination*, 261, 126-130.
- Demir, V., Ergin, S. (2013). Occurrence and assessment of chemical contaminants in drinking water in Tunceli, Turkey. *Journal of Chemistry*, 213, 1-6.
- Desideri, D., Roselli, C., Feduzi, L., Meli, M.A. (2007). Radiological characterization of drinking waters in Central Italy. *Microchemical Journal*, 87, 13-19.
- Dinelli, E., Lima, A., Albanese, S., Birke, M., Cichella, D., Giaccio, L., Valera, P., De Vivo, B. (2012). Comparative study between bottled mineral and tap water. *Journal of Geochemical Exploration*, 112, 368-389.
- Duran, S.U., Kucukomeroglu, B., Damla, N., Taskin, H., Celik, N., Cevik, U., Ersoy, H. (2017). Radioactivity measurements and risk assessment of spa waters in some areas in Turkey. *Isotopes in Environmental and health Studies*, 53(1), 91-103.
- El-Mageed, A.I., El-Kamel, A.H., Abbady, A.B., Harb, S., Saleh, I.I. (2012). Natural radioactivity of ground and hot spring water in some areas in Yemen. *Desalination*, 321, 28-31.
- Erdogdu, M., Damla, N., Kara, A., Sahan, H., Işık, U., Tel, E., Sahan, M. (2016). Spatial distribution of ^{222}Rn concentrations and dose estimations in various waters. *Human and Ecological Risk Assessment*, 22(4), 927-940.
- Fasae, K.P. (2013). Gross alpha and beta activity concentrations and committed effective dose due to intake of ground water in Ado-Ekiti Metropolis; the capital of Ekiti State, southwestern, Nigeria. *Journal of Natural Sciences Research*, 3(12), 61-66.
- Ferdous, M.J., Rahman, M.M., Begum, A. (2012). Gross alpha and gross beta activities of tap water samples from different locations of Dhaka City. *Sri Lankan Journal of Physics*, 13(12), 01-08.

- Ferdous, M.J., Begum, A., Sharmin, N.J., Ahsan, M.H. (2016). Study of gross alpha and gross beta activity in bottled water in Dhaka City of Bangladesh. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, 13(1), 59-64.
- Forte, M., Rusconi, R., Cazzaniga, M.T., Sgorbati, G. (2007). The measurement of radioactivity in Italian drinking waters. *Microchemical Journal*, 85, 98-102.
- Frengstad, B.S., Lax, K., Tarvainen, T., Jørgen, Ø., Wigum, B.J. (2010). The chemistry of bottled mineral and spring waters from Norway, Sweden, Finland and Iceland. *Journal of Geochemical Exploration*, 107, 350-361.
- Fugedi, U., Kuti, L., Jordan, G., Kerek, B. (2010). Investigation of the hydrogeochemistry of some bottled mineral waters in Hungary. *Journal of Geochemical Exploration*, 107, 305-316.
- Gharbi, F., Baccouche, S., Abdelli, W., Samaali, M., Oueslati, M., Trabelsi, A. (2010). Uranium isotopes in Tunisian bottled mineral waters. *Journal of Environmental Radioactivity*, 101, 589-590.
- Gören, E., Turhan, Ş., Uğur, F.A., Gezer, F., Özdemir, B., Ufuktepe, Y. (2014). Tritium activity levels in drinking water of Adana, Turkey. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 299(3), 1427-1431.
- Görür, F.K., Keser, R., Dizman, S., Okumuşoğlu, N.T. (2011). Annual effective dose and concentration levels of gross α and β in various waters from Samsun, Turkey. *Desalination*, 279, 135-139.
- Görür, F.K., Camgoz, H. (2014). Natural radioactivity in various water samples and radiation dose estimations in Bolu province, Turkey. *Chemosphere*, 112, 134-140.
- Gruber, V. (2009). Radiation exposure by natural radionuclides in drinking water in Upper Austria. Doktora Tezi. *Universität Für Bodenkultur*. Wien, Austria.
- Guisouma, W., Hakami, O., Al-Rajab, A.J., Tarhouni, J. (2017). Risk assessment of fluoride exposure in drinking water of Tunisia. *Chemosphere*, 177, 102-108.
- Gunarsdottir, M.J., Gardarsson, S.M., Jonsson, G.S., Bartram, J. (2016). Chemical quality and regulatory compliance of drinking water in Iceland. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 219, 724-733.
- Güler, C. (2007). Evaluation of maximum contaminant level in Turkish bottled drinking waters utilizing parameters reported on manufacturer's labeling and government-issued production licenses. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20, 262-272.
- Güler, C. (2007). Characterization of Turkish bottled waters using pattern recognition methods. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 86, 86-94.

- Güler, C., Alpaslan, M. (2009). Mineral content of 70 bottled water brands sold on the Turkish market: Assessment of their compliance with current regulations. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22, 728–737.
- Haseena, M., Malik, M.F. (2017). Water pollution and human health. *Environmental Risk Assessment and Remediation*, 1(3), 16-19.
- Heibati, M., Stedmon, C.A., Stenroth, K., Rauch, S., Toljander, J., Söderbergh, M.S., Murphy, K. (2017). Assessment of drinking water quality at the tap using fluorescence spectroscopy. *Water Research*, 125, 1-10.
- Herrera, N.E., Kogevinas, M., Vinyals, G.C., Aragones, N., Boldo, E., Ardanez, E., Azpiroz, L., Ulibarrena, E., Tardon, A., Molina, A.J., Rojo, C.L., Moleon, J.J.J., Capelo, R., Acebo, I.G., Ripoll, M., Villanueva, C.M. (2013). Nitrate and trace elements in municipal and bottled water in Spain. *Gaceta Sanitaria*, 27(2), 156-160.
- Ibrahim, A., Dahuwa, D., Bello, I. (2016). Measurement of gross alpha and beta radioactivity in ground water from some bore holes and wells in Kaduna North Local Government Area of Kaduna State. *Journal of Applied Physics*, 8(4), 92-99.
- Janković, M.M., Todorović, D.J., Todorović, N.A., Nikolov, J. (2012). Natural radionuclides in drinking water in Serbia. *Applied Radiation and Isotopes*, 70, 2703-2710.
- Janković, M.M., Todorović, D.J., Keleman, Z., Miljević (2012). The measurement of tritium in water samples with electrolytic enrichment using liquid scintillation counter. *Nuclear Technology and Radiation Protection*, 27(3), 239-246.
- Janković, M.M., Sarap, N.B., Panteli, G.K., Todorović, D.J. (2015). Comparison of two different methods for gross alpha and beta activity determination in water samples. *Open Chemistry*, 13, 668-674.
- Jia, G., Torri, G. (2007). Estimation of radiation doses to members of the public in Italy from intakes of some important naturally occurring radionuclides (^{238}U , ^{234}U , ^{235}U , ^{226}Ra , ^{224}Ra and ^{210}Po) in drinking water. *Applied Radiation and Isotopes*, 65, 849-857.
- Jia, G., Torri, G., Magro, L. (2009). Concentrations of ^{238}U , ^{234}U , ^{235}U , ^{232}Th , ^{230}Th , ^{228}Th , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{224}Ra , ^{210}Po , ^{210}Pb and ^{212}Pb in drinking water in Italy: reconciling safety standards based on measurements of gross α and β . *Journal of Environmental Radioactivity*, 100, 941-949.
- Jobbágy, V., Kávási, N., Somlai, J., Máte, B., Kovács, T. (2010). Radiochemical characterization of spring waters in Balaton Upland, Hungary, estimation of radiation doses to members of public. *Microchemical Journal*, 94, 159-165.

- Jobbágy, V., Kávási, N., Somlai, Dombóvári, P., Gyöngyösi, C., Kovács, T (2011). Gross alpha and beta activity concentrations in spring waters in Balaton Upland, Hungary. *Radiation Measurement*, 46, 159-163.
- Jobbágy, V., Altitzoglou, T., Malo, P., Tanner, V., Hult, M. (2017). A brief on radon measurements in drinking water. *Journal of Environmental Radioactivity*, 173, 18-24.
- Idoeta, R., Herranz, M., Legarda, F. (2011). The disequilibrium between ^{210}Po and ^{210}Pb in raw and drinking waters. *Applied Radiation and Isotopes*, 69, 196-200.
- Ikem, A., Oduyungbo, S., Egiebor, N.O, Nyavor, K. (2002). Chemical quality of bottled waters from three cities in eastern Alabama. *Science of the Total Environment*, 285, 165-175.
- Ismail, M.A., Kullab, M.K., Saqan, S.A. (2009). Natural radionuclides in bottled drinking water in Jordan and their committed effective doses. *Jordan Journal of Physics*, 2(1), 47-57.
- Kam, E., Bozkurt, A. (2007). Environmental radioactivity measurements in Kastamonu Region of northern Turkey. *Applied Radiation Isotopes*, 65, 440-444.
- Kam, E., Yazar, Y., Bozkurt, A. (2010). A study of background radioactivity level for Tekirdağ, Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*, 138(1), 40-44.
- Kapdan, E., Taşkın, H., Kam, E., Osmanlioğlu, A.E., Karahan, G., Bozkurt, A. (2012). A study of environmental radioactivity measurements for Cankiri, Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*, 150(3), 398-404.
- Karahan, G., Öztürk, N., Bayülken, A. (2000). Natural radioactivity in various surface waters in İstanbul, Turkey. *Water Research*, 34, 4367-4370.
- Karamanis, D., Stamoulis, K., Ioannides, K.G. (2007). Natural radionuclides and heavy metals in bottled water in Greece. *Desalination*, 213, 90-97.
- Karataşlı, M., Turhan, Ş., Kurnaz, A., Varinlioğlu, A., Gören, E., Yeğingil, Z. (2017). Determination of tritium activity concentration in natural water samples. *Environmental Forensics*, 18(2), 162-166.
- Karcık, H. (2017). Çeşitli organik kuruyemişlerin ağır metal içeriklerine yönelik bir araştırma. Yüksek Lisans Tezi, *Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Tekirdağ.
- Kehagia, K., Koukouliou, V., Bratakos, S., Seferlis, S. Tzoumerkas, F., Potiriadis, C. (2007). Radioactivity monitoring in drinking water of Attika, Greece. *Desalination*, 213, 98-103.

- Khandaker, M.U., Nasir, N.L.M., Zakirin, N.S., Kassim, H.A., Asaduzzaman, K., Bradley, D.A., Zulkifli, M.Y., Hayyan, A. (2017). Radiation dose to the Malaysian populace via the consumption of bottled mineral water. *Radiation Physics and Chemistry*, 140, 173-179.
- Kitto, M.E., Parekh, P.P., Torres, M.A., Schneider, D. (2005). Radionuclide and chemical concentrations in mineral waters at Saratoga Springs, New York. *Journal of Environmental Radioactivity*, 80, 327-339.
- Kowlowska, B., Walencik, A., Dorda, J., Przylibski, T.A. (2007). Uranium, radium and ^{40}K isotopes in bottled mineral waters from Outer Carpathians, Poland. *Radiation Measurements*, 42, 1380-1386.
- Kralik, C., Friedrich, M., Vojir, F. (2003). Natural radionuclides in bottled water in Austria. *Journal of Environmental Radioactivity*, 65, 233-241.
- Krane, K.S. (1987). Introductory nuclear physics. New York, USA. John Willey & Sons.
- Krieger, H.L., Whittaker, E.L. (1980). Prescribed procedures for measurement of radioactivity in drinking water, EPA-600/4-80-032. US Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, USA.
- Küçükönder, E. (2010). Determination of the gross radioactivity in drinking water of Kahramanmaraş, Turkey. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 285, 589-592.
- Landsberger, S.G., George, G. (2013). An evaluation of ^{226}Ra and ^{228}Ra in drinking water in several counties in Texas, USA. *Journal of Environmental Radioactivity*, 125, 2-5.
- Liu, Y., Mou, S. (2004). Determination of bromate and chlorinated haloacetic acids in bottled drinking water with chromatographic methods. *Chemosphere*, 55, 1253-1258.
- Marbaniang, D.G. (2011). Radioactivity (gross α and gross β) studies of surface water collected from Domiasiat area, West Khasi Hills District, Meghalaya, India. *International Journal of Environmental Protection*, 1(4), 17-21.
- Muhammad, B.G., Jaafar, M.S., Akpa, T.C. (2010). A survey of gross alpha and beta activity concentrations in groundwater from Katsina area of Northern Nigeria. *Radiation Protection Dosimetry*, 141(2), 127-133
- Nuccetelli, C., Rusconi, R., Forte, M. (2012). Radioactivity in drinking water: regulations, monitoring results and radiation protection issues. *Annali dell'Istituto Superiore di Sanita*, 48(4), 362-373.

- Nuhanović, M., Mulić, M., Mujezinović, A., Grgić, Z., Bajić, I. (2015). Determination of gross alpha and beta activity and uranium isotopes content in commercially available, bottled, natural spring waters. *Bulletin of the Chemists and Technologists of Bosnia and Herzegovina*, 45, 31-34.
- Malanca, A., Repetti, M., Macêdo, H.R.D. (1998). Gross alpha- and beta-activities in surface and ground water of Rio Grande do Norte, Brazil. *Applied Radiation and Isotopes*, 49(7), 893–898.
- Moghadam, M.S., Faghahati, E. (2006). Tritium concentration study of surface and ground water with a specially designed proportional-counting techniques. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 9(4), 681-685.
- Oliveira, J.D., Mazzilli, B.P., Sampa, M.H.D.O., Bambalas, E. (2001). Natural radionuclides in drinking water supplies of Sao Paulo State, Brazil and consequent population doses. *Journal of Environmental Radioactivity*, 53, 99-109.
- Oliveira, J.D., Mazzilli, B.P., Sampa, Costa, P.D., Tanigava, P.A. (2001). Natural radioactivity in Brazilian bottled mineral waters and consequent doses. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 249(1), 173-176.
- Osman, A.A.A., Salih, İ., Shaddad, İ.A., El Din, S., Siddeeg, M.B., Eltayeb, H., İdriss, H., Hamza, W., Yousif, E.H. (2008). Investigation of natural radioactivity levels in water around Kadugli, Sudan. *Applied Radiation and Isotopes*, 66, 1650-1653.
- Osmanlıoğlu, A.E., Kam, E., Bozkurt, A. (2007). Assessment of background radioactivity level for Gaziantep region of southeastern Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*, 124(4), 407-410.
- Outola, I., Nour, S., Kurosaki, H., Inn, K., La Rosa, J. Lucas, L., Volkovitsky, P., Koepenick, K. (2008). Investigation of radioactivity in selected drinking water samples from Maryland. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 277(1), 155–159.
- Özçıtak, E. (2012). Nevşehir ili ve ilçelerinde tüketilen içme ve kaplıca sularındaki radyoaktivitenin ölçülmesi. Yüksek Lisans Tezi. *Nevşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Nevşehir.
- Özmen, H., Külahcı, F., Çukurovalı, A., Doğru, M. (2004). Concentrations of heavy metal and radioactivity in surface water and sediment of Hazar Lake (Elazığ), Turkey. *Chemosphere*, 55, 401-408.
- Öztürk, N., Yılmaz, Y.Z. (2000). Trace elements and radioactivity levels in drinking water near Tunçbilek coal-fired power plant in Kütahya, Turkey. *Water Research*, 34, 704-708.

- Palomo, M., Peñalver, A., Borrull, F., Aguilar, C. (2007). Measurement of radioactivity in bottled drinking water in Spain. *Applied Radiation and Isotopes*, 65, 1165-1172.
- Palomo, M., Peñalver, A., Aguilar, C., Borrull, F. (2007). Tritium activity levels in environmental water samples from different origins. *Applied Radiation and Isotopes*, 65, 1048-1056.
- Pandey, S. (2006). Water Pollution and Health. *Kathmandu University Medical Journal*, 4(13), 128-134.
- Peh, Z., Šorša, A., Halamić, J. (2010). Composition and variation of major and trace elements in Croatian bottled waters. *Journal of Geochemical Exploration*, 107, 227-237.
- Platikanov, S., Garcia, V., Fonseca, I., Rullán, E., Devesa, R., Tauler, R. (2013). Influence of minerals on the taste of bottled and taps water: A chemometric approach. *Water Research*, 47, 693-704.
- Radulescu, I., Calin, M.R., Ion, I., Ion, A.C., Capra, L., Simion, C.A. (2017). Gross alpha, gross beta and gamma activities in bottled natural mineral water from Romania. *Romanian Reports in Physics*, 69, 1-10.
- Rahim, A., Sultana, M.S., Ferdous, J., Begum, A., Islam, M.A. (2018). A study of activity concentrations in water samples from Kurigram, Bangladesh. *Journal of Environmental Pollution and Management*, 1(1), 1-7.
- Rangel, J.J.D., Rio, H.L.D., Garcia, F.M., Torres, L.L.Q., Villalba, M.L., Sujo, L.C., Cabrera, M.E.M. (2002). Radioactivity in bottled waters sold in Mexico. *Applied Radiation and Isotopes*, 56, 931-936.
- Reimann, C., Birke, M., Filzmoser, P. (2010). Bottled drinking water: Water contamination from bottle materials (glass, hard PET, soft PET), the influence of colour and acidification. *Applied Geochemistry*, 25, 1030-1040.
- Rožmarić, M., Rogić, M., Benedik, L., Štok, M. (2012). Natural radionuclides in bottled drinking waters produced in Croatia and their contribution to radiation dose. *Science of the Total Environment*, 437, 53-60.
- Saç, M.M., Ortabuk, F., Kumru, M.N., İçhedef, M., Sert, Ş. (2012). Determination of radioactivity and heavy metals of Bakırçay river in Western Turkey. *Applied Radiation and Isotopes*, 70, 2494-2499.
- Sakcali, M.S., Yilmaz, R., Gucel, S., Yarci, C., Ozturk, M. (2009). Water pollution studies in the rivers of the Edirne Region-Turkey. *Aquatic, Ecosystem Health and Management*, 12(3), 313-319.

- Samson, D.O., Ajala, E.O., Adeyemi, O.F. (2018). Determination of gross alpha activity concentrations and annual effective dose in portable drinking water in Abuja Metropolis, Nigeria. *International Journal of Advanced Research in Physical Science*, 5(2), 3-15.
- Sánchez, A.M., Montero, M.P.R., Escobar, V.G., Vargas, M.J. (1999). Radioactivity in bottled mineral waters. *Applied Radiation and Isotopes*, 50, 1049-1055.
- Sajo-Bohus, L., Gómez, J., Capote, T., Greaves, E.D., Herrera, O., Salazar, V., Smith, A. (1997). Gross alpha radioactivity of drinking water in Venezuela. *Journal of Environmental Radioactivity*, 35(3), 305-312.
- Saqan, S.A., Kullab, M.K., Ismail, A.M. (2001). Radionuclides in hot mineral spring waters in Jordan. *Journal of Environmental Radioactivity*, 52, 99-107.
- Sawodni, A., Pazdur, A., Pawlyta, J. (2000). Measurements of tritium radioactivity in surface water on the Upper Silesia region. *Geochronmetria*, 18, 23-28.
- Shin, W., Choung, S., Han, J.H., Han, W.S., Jeon, S., Ryu, J.S., Chang, B.U. (2017). Accumulation of naturally occurring radioactive materials on the filters utilized in bottled mineral-water facilities. *Applied Geochemistry*, 85, 154-161.
- Smedley, P.L. (2010). A survey of the inorganic chemistry of bottled mineral waters from the British Isles. *Applied Geochemistry*, 25, 1872-1888.
- Söğüt, Ö., Küçükönder, E., Şahin, S., Doğru, M. (2011). Measurement of gross alpha-beta activity concentration of water of the Suleymanli Thermae and the Ekinozu Spa and elemental analysis in Kahramanmaras, Turkey. *KSU Journal of Engineering Sciences*, 14(2), 11-18.
- Stalder, E., Blanc, A., Haldimann, M., Dudler, V. (2012). Occurrence of uranium in Swiss drinking water. *Chemosphere*, 86, 672-679.
- Taşkın, H., Kam, E., Bozkurt, A. (2012). Determination of gross alpha and beta activity concentrations in drinking waters in Bursa region of North-western Turkey. *Desalination and Water Treatment*, 45, 21-25.
- Taşkın, H., Asliyüksük, H., Kam, E., Bozkurt, A. (2013). Natural radioactivity in bottled mineral and thermal spring waters of Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*, 157(4), 575-578.
- 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.

- Tokatlı, C. (2014). Drinking water quality of rice land in Turkey by statistical and GIS perspectives. *Polish Journal of Environmental Studies*, 23(6), 2247-2258.
- TS 266. (2005). Türk Standardları Enstitüsü. Türk Standardı. *Sular-insanî tüketim amaçlı sular*. Ankara.
- Turgay, M.E., Yazıcı, A.N., Taşkın, H., Kam, E., Karahan, G. (2016). Assessment of gross alpha and beta radioactivity for drinking water in Hatay province, Turkey. *Desalination and Water Treatment*, 57, 4960-4965.
- Turhan, Ş., Özçıtak, E., Taşkın, H. Varinlioğlu, A. (2013). Determination of natural radioactivity by gross alpha and beta measurements in ground water samples. *Water Research*, 47(9), 3103-3108.
- UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation). (2000). *Sources and effects of ionizing radiation*. United Nations Publication, New York, USA, 2000.
- UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation). (2008). *Sources and effects of ionizing radiation*. Volume I: Sources, Report to the General Assembly Scientific Annexes A and B. United Nations Publication, New York, USA, 2010.
- URL-1 İstanbul Üniversitesi web sayfası, 26/10/2018 tarihinde http://cdn.istanbul.edu.tr/statics/subilimleri.istanbul.edu.tr/wp-content/uploads/2017/09/SU_BILIMLERI_FAK_ACILIS_DERSI_22.09.2017.pdf kurumsal adresinden alınmıştır.
- URL-2 Drinking Water – Sources, Sanitation and Safeguarding web sayfası 26/10/2018 tarihinde http://www.formas.se/PageFiles/5257/Drinking_water.pdf adresinden alınmıştır.
- URL-3 Kuzeydoğu Anadolu Kalkınma Ajansı, web sayfası, 26/10/2018 tarihinde https://www.kudaka.org.tr/ekler/cb048-ambalajli_icme_suyu_projesi.pdf adresinden alınmıştır.
- URL-4 Mevzuat Bilgi Sistemi. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik. Resmi Gazete Tarihi: 17.02.2005 Resmi Gazete Sayısı: 25730. Web sayfası, 10/11/2018 tarihinde <http://www.mevzuat.gov.tr/> adresinden alınmıştır.
- URL-5 Mevzuat Bilgi Sistemi. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği. Resmi Gazete Tarihi: 31.12.2004 Resmi Gazete Sayısı: 25687. Web sayfası, 10/11/2018 tarihinde <http://www.mevzuat.gov.tr/> adresinden alınmıştır.
- URL-6 Nuclear Forensic Search, web sayfası, 10/11/2018 tarihinde <http://metadata.berkeley.edu/nuclear-forensics/Decay%20Chains.html> adresinden alınmıştır.

- Walencik, A., Kozłowska, B., Zipper, J.D. (2010). Natural radioactivity in underground water from the Outer Carpathians in Poland with the use of nuclear spectrometry techniques. *Applied Radiation and Isotopes*, 68, 839-843.
- Walia, T., Fanas, S.A., Akbar, M., Eddin, J., Adnan, M. (2017). Estimation of fluoride concentration in drinking water and common beverages in United Arab Emirates (UAE). *The Saudi Dental Journal*, 29, 117-122.
- Wanda, E.M.M., Gulula, L.C., Phiri, G. (2012). Determination of characteristics and drinking water quality index in Mzuzu City, Northern Malawi. *Physics and Chemistry of the Earth*, 50, 92-97.
- Who (World Health Organization) (2006). *Guidelines for drinking-water quality. Volume 1: Recommendations*. 3th edition, WHO Library Cataloguing-in-Publication Data NLM classification: WA 675, Geneva.
- Who (World Health Organization). (2011). *Guidelines for Drinking-water Quality*. 4th edition, WHO Library Cataloguing-in-Publication Data NLM classification: WA 675, Geneva.
- Who (World Health Organization). (2017). *Progress on Drinking Water, Sanitation and Hygiene*. World Health Organization and the United Nations Children's Fund (UNICEF), Switzerland.
- Varrica, D., Tamburo, E., Dongarrà, G. (2013). Sicilian bottled natural waters: Major and trace inorganic components. *Applied Geochemistry*, 34, 102-113.
- Vesterbacka, P. (2007). Natural radioactivity in drinking water in Finland. *Boreal Environment Research*, 12, 11-16.
- Yalcin, P., Taskin, H., Kam, S., Terzi, M., Varinlioglu, A., Bozkurt, A., Bastug, A., Tasdelen, B. (2012). Investigation of radioactivity level in soil and drinking water samples collected from the city of Erzincan, Turkey. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 292(3), 999-1006.
- Zhang, H., Zhou, X., Wang, L., Wang, W., Xu, J. (2018). Concentrations and potential health risks of strontium in drinking water from Xi'an, Northwest China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 164, 181-188.
- Zikovsky, L. (2006). Alpha radioactivity in drinking water in Quebec, Canada. *Journal of Environmental Radioactivity*, 88, 306-309.

ÖZGEÇMİŞ

Adı, Soyadı : Nassrin Abdulwahed EM. ZRIBA
Doğum yeri ve tarihi :15.05.1985 Tripoli-Libya
Medeni hali : Evli
Yabancı dil : İngilizce
E-mail : elhajyounis092@gmail.com



Eğitim

Lise : Tripoli High School (Libya)
Lisans : Physics Department of Tripoli University (Libya)