

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

**KASTAMONU'DA TÜKETİLEN MUSLUK VE ŞİŞE SULARININ
RADYOMETRİK VE ELEMENT ANALİZLERİ**

Fatma Mohamed Najeeb Suleyman ALZARIDI

**Danışman
Jüri Üyesi
Jüri Üyesi**

**Doç. Dr. Aslı KURNAZ
Dr. Öğr. Üyesi Temel Kan BAKIR
Doç. Dr. Sebahaddin ALPTEKİN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANA BİLİM DALI**

KASTAMONU – 2020

TEZ ONAYI

Fatma Mohamed Najeeb Suleyman ALZARIDI tarafından hazırlanan "**Kastamonu'da Tüketilen Musluk ve Şişe Sularının Radyometrik ve Element Analizleri**" adlı tez çalışması **27/02/2020** tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde savunulmuş ve **oy birliği** ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Fizik Ana Bilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	Doç. Dr. Aslı KURNAZ Kastamonu Üniversitesi
Jüri Üyesi	Dr. Öğr. Üyesi Temel Kan BAKIR Kastamonu Üniversitesi
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Sebahaddin ALPTEKİN Çankırı Karatekin Üniversitesi

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

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.

Fatma Mohamed Najeeb Suleyman ALZARIDI

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KASTAMONU'DA TÜKETİLEN MUSLUK VE ŞİŞE SULARININ RADYOMETRİK VE ELEMENT ANALİZLERİ

Fatma Mohamed Najeeb Suleyman ALZARIDI
Kastamonu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Aslı KURNAZ

Bu çalışmada, Kastamonu ilinde tüketilen ambalajlı sular (21 farklı marka) ve musluk suyu örnekleri (31 adet) toplanmış ve su örneklerinin elementel içeriği ile doğal ve yapay radyonüklit konsantrasyonları belirlenmiştir. Çalışma kapsamında su örneklerindeki radon gazı ölçümleri AlphaGUARD PQ 2000PRO aktif radon monitörü kullanılarak yapılmıştır. Örneklerindeki doğal ve yapay radyonüklit konsantrasyonları HpGe gama spektrometresi kullanılarak, örneklerin elementel içeriği ise ICP-OES cihazı kullanılarak belirlenmiştir.

Ambalajlı su örneklerinde radon konsantrasyonlarının 4,09 ile 28,69 Bq/m³ arasında, musluk suyu örneklerinde ise 19,94 ile 60 Bq/m³ arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Ölçülen su örneklerindeki radon konsantrasyonları, ilgili kuruluşların referans değerleri ile karşılaştırılmış ve radon açısından, su örneklerinin tüketilmesinin insan sağlığına herhangi bir tehdit oluşturmadığı sonucuna varılmıştır. Tüm su örneklerinde analiz edilen elementler Al, Ag, As, Ba, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Sr, Mn, Ni, Zn, Pb, B, Ca, Mg, Na ve K 'dır. Elde edilen sonuçlara göre, su örneklerindeki element konsantrasyonlarının sağlık riskine yol açabilecek miktarda olmadığı belirlenmiştir. Su örneklerinde bulunan ²³⁸U, ²³²Th, ⁴⁰K ve ¹³⁷C radyonüklitlerinin ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla ambalajlı sular için, 1,5±0,04; 1,4±0,05; 2,9±0,05 ve 0,4±0,01 Bq/L, musluk suları için, 1,4±0,05; 1,0±0,03; 2,5±0,05 ve 0,4±0,01 Bq/L olarak belirlenmiştir. Elde edilen veriler uluslararası sağlık kuruluşlarının referans değerleri ile karşılaştırılmış ve suların tüketilmesi ile radyolojik açıdan bir sağlık riski oluşmayacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Su, radyoaktivite, radon, elementel içerik, Kastamonu

2020, 92 sayfa
Bilim Kodu: 202

ABSTRACT

MSc. Thesis

RADIOMETRIC AND ELEMENT ANALYSIS OF TAP AND BOTTLE WATERS CONSUMED IN KASTAMONU

Fatma Mohamed Najeeb Suleyman ALZARIDI
Kastamonu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Aslı KURNAZ

In this study, packaged waters (21 different brands) and tap water samples (31 samples) consumed in Kastamonu province were collected. The elemental content, natural and artificial radionuclide concentrations of water samples were determined. Radon gas measurements in water samples were made by using AlphaGUARD PQ 2000PRO active radon monitor. Natural and artificial radionuclide concentrations in the samples were determined by using HpGe gamma spectrometer and the elemental content of the samples were determined by using ICP-OES.

Radon concentrations in packaged water samples varied between 4.09 and 28.69 Bq/m³ and in tap water samples between 19.94 and 60 Bq/m³. Radon concentrations in the measured water samples were compared with the reference values of the relevant organizations and it was concluded that the consumption of water samples did not pose any threat to human health. The elements analyzed in all water samples are Al, Ag, As, Ba, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Sr, Mn, Ni, Zn, Pb, Ca, Mg, Na and K. According to the results, it was determined that element concentrations in water samples were not sufficient to cause health risks. The average activity concentrations of ²³⁸U, ²³²Th, ⁴⁰K and ¹³⁷C radionuclides in water samples were determined as 1.5 ± 0.04; 1.4 ± 0.05; 2.9 ± 0.05 and 0.4 ± 0.01 Bq/L for packaged waters, 1.4 ± 0.05; 1.0 ± 0.03; 2.5 ± 0.05 and 0.4 ± 0.01 Bq/L for tap water, respectively. The data obtained were compared with the reference values of international health institutions and it was concluded that there would be no radiological health risk by consuming water.

Key Words: Water, radioactivity, radon, elemental content, Kastamonu

2020, 92 pages

Science Code: 202

TEŞEKKÜR

İlk ve en önemlisi, bana sağlık, güç verdiği ve çalışmalarına devam edebilmemi sağladığı için Allah'ıma şükranlarımı sunmak istiyorum.

Tez çalışmam sürecinde bana her zaman hoşgörü yaklaşan, sabırla yardımcı olan, bilgi ve deneyimimden faydalandığım danışman hocam sayın Doç. Dr. Aslı KURNAZ'a içtenlikle teşekkür ediyorum.

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgilerinden yararlandığım sayın hocalarım Fizik Bölüm Başkanı Prof. Dr. Şeref TURHAN'a ve Doç. Dr. Aybaba HANÇERLİOĞULLARI'na da teşekkürlerimi sunuyorum.

Ayrıca bu çalışma Kastamonu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından KÜ-BAP01/2018-23 nolu proje ile desteklenmiştir, desteklerinden dolayı Kastamonu Üniversitesi'ne teşekkür ediyorum.

Ayrıca tez çalışmam sırasında vermiş oldukları maddi ve manevi destek dolayısı ile Libya Hükümeti'ne minnettarlığımı ifade ediyorum.

Bu çalışmayı çok sevdiğim değerli aileme adıyorum.

Fatma Mohamed Najeeb Suleyman ALZARIDI
2020

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEZ ONAYI.....	ii
TAAHHÜTNAME.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
TABLolar DİZİNİ.....	xii
GRAFİKLER DİZİNİ.....	xiii
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Genel Bilgiler.....	1
1.1.1. Temiz Su Kaynakları.....	3
1.2. Radyoaktivite.....	16
1.2.1. Sudaki Doğal Radyoaktivite Aktivite ve Kirlilik.....	17
1.2.2. İyonlaştırıcı Radyasyon.....	18
1.2.3. Radyoaktif Bozunma Süreci.....	19
1.3. Doğal Radyoaktivite.....	22
1.3.1. Doğal Radyasyon Kaynakları.....	23
1.3.1.1. Hava ve sudaki radon seviyesi.....	24
1.3.2. Yapay İyonlaştırıcı Radyasyon Kaynakları.....	25
1.4. Ölçüm Birimleri.....	27
1.4.1. Radyoaktivite Birimi.....	27
1.4.2. Radyasyon Enerji Birimi.....	27
1.4.3. Absorbe Edilen Radyasyon Dozu Birimi.....	28
1.4.4. Radyasyona Maruz Kalma.....	28
2. MATERYAL VE METOT.....	30
2.1. Çalışma Bölgesi.....	30
2.2. Su Örneklerinin Toplanması.....	31
2.3. Alpha Guard PQ 2000 Pro Aktif Radon Monitörü.....	31
2.3.1. Alpha Guard PQ 2000 Pro Aktif Radon Monitörü ile Sudaki Radon Ölçümü.....	33
2.4. Yüksek Saflıklı Germanyum Dedektörü (HpGe).....	34
2.4.1. HpGe Dedektörü ile Sudaki Radyonüklit Konsantrasyonlarının Belirlenmesi.....	38
2.5. Endüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES) Dedektörü.....	39
2.5.1. ICP-OES Spektrometresi ile Sudaki Element Analizleri.....	41
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	49
3.1. Su Örneklerinde Radon Konsantrasyonu.....	49
3.1.1. Yıllık Etkin Dozun Hesaplanması.....	51
3.2. Su Örneklerinin Element İçeriği.....	55
3.3. Su Örneklerinin Radyometrik Analizleri.....	67

3.3.1. Radyolojik Tehlike Parametrelerinin Hesaplanması	70
4. SONUÇLAR	81
KAYNAKLAR	83
ÖZGEÇMİŞ	92

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Ag	Gümüş
Al	Alüminyum
As	Arsenik
B	Bor
Ba	Baryum
Bi	Bizmut
Bq	Becquerel
Ca	Kalsiyum
Cd	Kadmiyum
Co	Kobalt
Ci	Curie
Cr	Krom
Cu	Bakır
Fe	Demir
Gy	Gray
K	Potasyum
⁴⁰ K	Radyoaktif potasyum
keV	Kilo elektron volt
L	Litre
Li	Lityum
MeV	Megaelektron volt
Mn	Mangan
Mg	Magnezyum
Na	Sodyum
Ni	Nikel
P	Fosfor
Pb	Kurşun
ppb	milyarda bir
²²⁶ Ra	Radyum-226
²²² Rn	Radon-222
Se	Selenyum
Sn	Kalay
Sr	Stronsiyum
Sv	Sievert
²³² Th	Toryum-232
²³⁸ U	Uranyum-238
²³⁵ U	Uranyum-235
W	Watt
Zn	Çinko
y	Yıl

Kısaltmalar

AAS	Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi
amu	Atomik Kütle Birimi
HpGe	Yüksek Saflıkta Germanyum Dedektörü
ICP-OES	İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrometresi
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TUIK	Türkiye İstatistik Kurumu
UNSCEAR	Birleşmiş Milletler Radyasyon Komitesi
USEPA	Amerika Çevre Koruma Ajansı
WHO	Dünya Sağlık Örgütü

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Türkiye’de içme suyu türlerinin şişelenmesinde kullanılan kaynak ve kuyular	3
Şekil 1.2. Uranyum ve toryum serileri	18
Şekil 1.3. Radyasyonun girişim gücü	19
Şekil 1.4. Doğal radyasyon dozları	24
Şekil 1.5. Radyasyon kaynaklarından alınan doz oranları	26
Şekil 2.1. Kastamonu ili haritası	30
Şekil 2.2. Gama spektrometre sisteminin şeması	35
Şekil 2.3. ICP-OES cihazının şematik gösterimi	40

TABLolar DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 1.1. Işımlar ve özellikleri	22
Tablo 1.2. Doğal kaynaklardan alınan ortalama radyasyon dozu	24
Tablo 2.1. Kalibrasyon kaynaklarının özellikleri.....	37
Tablo 2.2. ICP-OES çalışma parametreleri.....	41
Tablo 2.3. ICP-OES ölçümlerinde kullanılan elementler ve dalga boyları.....	42
Tablo 3.1. Ambalajlı su örneklerinin radon konsantrasyonları ve yıllık etkin doz değerleri	52
Tablo 3.2. Musluk suyu örneklerinin radon konsantrasyonları ve yıllık etkin doz değerleri	53
Tablo 3.3. Sudaki radon konsantrasyonlarının literatürle karşılaştırılması	54
Tablo 3.4. Ambalajlı sulardaki elementlerin ortalama konsantrasyonları.....	55
Tablo 3.5. Musluk sularındaki elementlerin ortalama konsantrasyonları.....	57
Tablo 3.6. Ambalajlı sulardaki elementlerin istatistiksel verileri.....	63
Tablo 3.7. Musluk suyundaki elementlerin istatistiksel verileri.....	64
Tablo 3.8. Farklı su örneklerindeki element içerikleri	66
Tablo 3.9. Su örneklerindeki radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları	68
Tablo 3.10. Su örneklerindeki radyoaktif elementlerin tanımlayıcı istatistiksel verileri	69
Tablo 3.11. Radyum eşdeğer aktivitesi (Raeq), absorbe edilen doz oranı (D), iç ve dış tehlike indeksleri (Hin, Hex)	72
Tablo 3.12. Yıllık etkin doz değerleri (bebekler için)	74
Tablo 3.13. Yıllık etkin doz değerleri (çocuklar için)	76
Tablo 3.14. Yıllık etkin doz değerleri (yetişkinler için)	78
Tablo 3.15. Sudaki radyonüklitlerin diğer ülkelerle karşılaştırılması	80

GRAFİKLER DİZİNİ

	Sayfa
Grafik 1.1. Yeryüzündeki tatlı su kaynakları.....	5
Grafik 2.1. Al için kalibrasyon grafiği.....	42
Grafik 2.2. Co için kalibrasyon grafiği.....	43
Grafik 2.3. Cr için kalibrasyon grafiği.....	43
Grafik 2.4. Ni için kalibrasyon grafiği.....	44
Grafik 2.5. Mn için kalibrasyon grafiği.....	44
Grafik 2.6. Zn için kalibrasyon grafiği.....	45
Grafik 2.7. Fe için kalibrasyon grafiği.....	45
Grafik 2.8. As için kalibrasyon grafiği.....	46
Grafik 2.9. Ba için kalibrasyon grafiği.....	46
Grafik 2.10. Ag için kalibrasyon grafiği.....	47
Grafik 2.11. Na için kalibrasyon grafiği.....	47
Grafik 2.12. Mg için kalibrasyon grafiği.....	48
Grafik 2.13. Ca için kalibrasyon grafiği.....	48
Grafik 3.1. Ambalajlı sulardaki radon konsantrasyonlarının dağılımı.....	50
Grafik 3.2. Musluk sularındaki radon konsantrasyonlarının dağılımı.....	50
Grafik 3.3. Ambalajlı sulardaki minor-major ve iz elementler.....	64
Grafik 3.4. Ambalajlı sulardaki toksik ve ağır metaller.....	65
Grafik 3.5. Musluk sularındaki temel elementler.....	65
Grafik 3.6. Musluk sularındaki toksik ve ağır metaller.....	65
Grafik 3.7. Su örneklerindeki radyonüklitlerin dağılımı.....	70

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

	Sayfa
Fotoğraf 2.1. Alpha GUARD PQ 2000 Pro radon görüntüleme sistemi.....	33
Fotoğraf 2.2. HpGe dedektör	38
Fotoğraf 2.3. ICP-OES spektrometresi	40

1. GİRİŞ

1.1. Genel Bilgiler

Yaşam için gerekli birçok parametre içerisinde su en önemli maddedir. Doğrudan içilmesinin yanı sıra, yıkama, balıkçılık, yüzme, yemek pişirme v.b. gibi işlemlerin hepsi eşzamanlı olmasa da, su kullanılarak yapılır. Bilindiği gibi, hayatın susuz devam etmesi mümkün değildir. Kıtlıklar kuraklıklar, ölüm ve hastalıklar genel olarak suyun ya fazlalığından ya da eksikliğinden kaynaklanmaktadır. Olağanüstü önemi nedeniyle, su dünyada üzerinde en çok araştırma yapılan maddelerden biridir. Uzmanlar tarafından bildirildiği gibi, oksijen yaşam için vazgeçilmezler sırasında birinci iken, su ikinci sırada yer almaktadır. Bir insanın yeterli besin olmasada haftalarca yaşaması mümkün iken su olmadan birkaç günün ötesinde yaşaması mümkün değildir. Çünkü insan vücudunun neredeyse üçte ikisi sudan oluşmakta ve bu da yaşamak için suya ihtiyacımız olduğu gerçeğini tartışmasız kılmaktadır.

Vücudunuzdaki her hücre su içermektedir. Hücre ve organlarınıza hem beslenme hem de atık ürünleri taşımak için su gerekmektedir. Su, vücudunuzu serin tutmak için sıcaklık düzenleme sisteminin bir parçası olarak kullanılır. Ayrıca, eklemlerinizde yastık görevi görürken, doku ve organlaa hasar ve şoklara karşı koruma sağlar. Su, eklemlerinizin yağlanmasına yardımcı olurken, ağzınız ve sindirim sisteminizde tükürük oluşumunda kullanılır. Aynı zamanda burnunuzda, gözlerinizde ve boğazınızda olduğu gibi midedeki mukus içinde de bulunur. Su, yiyeceklerin sindirilmesine, emilmesine ve atık ürünlerin vücudunuzdan atılmasına yardımcı olur (Cotruvo, 2015).

Sağlıklı bir vücut ağırlığı su ile korunur. Her gün terleme, idrara çıkma ve buharlaşma (ciğerler ve cilt yoluyla) ile vücudunuzdan 2-3 litre (8-12 bardak) su kaybedilir. Diyetiniz yüksek lif içeriyorsa ya da yüksek kafein veya alkol içeren likörler içiyorsanız, egzersiz yaparsanız, sıcak havalarda veya düşük nemli ortamlarda yaşarsanız, vücudunuzdaki su kaybı artar. Günde en az 8-10 bardak su içmek, sağlıklı bir vücut için yorgunluk veya sıcak çarpmasını önlemek için de çok önemlidir.

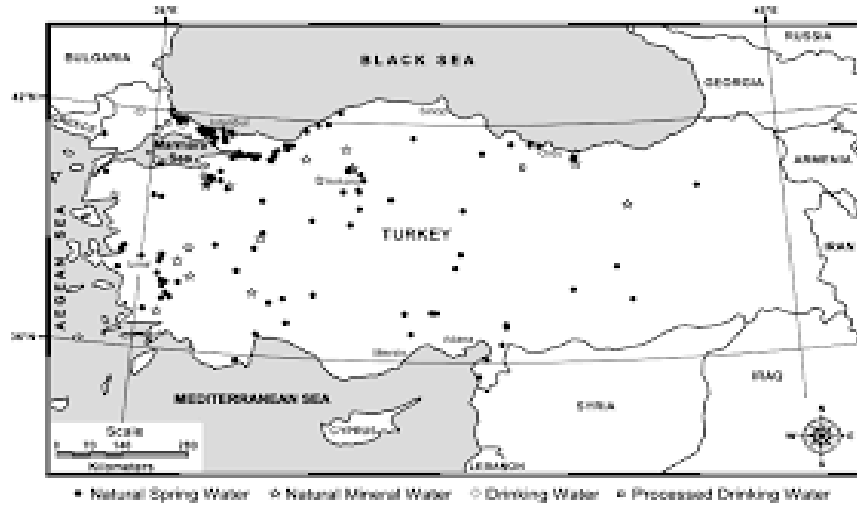
Kentsel alanlarda, günümüzde pek çok insan “doğallık” ile olan ilişkisi nedeniyle daha fazla şişelenmiş su içmektedir (Saad, Pok, Sujari ve Saleh, 1998). Halka açık su kaynaklarından, hoş olmayan tatları ve klor kokusu neden gösterilerek gittikçe uzaklaşmakta (Tamagnini ve Gonzalez, 1997) ve bunun yerini daha güvenli ve sağlıklı bulunan şişelenmiş sular almaktadır. Doğal (maden) suların iyileştirici ve terapötik etkileri dünyadaki çeşitli bölgelerde ortak bir inanç olarak karşımıza çıkmaktadır (Warburton vd., 1992).

Ayrıca, şişelenmiş temiz su, doğal afetler (kuraklık, deprem, sel, tayfun v.b) veya hem kamu hem de özel su kaynaklarını uzun süre ciddi şekilde bozabilecek insan yapımı felaketler (sabotaj, kuşatma, terörizm, silahlı çatışmalar v.b) nedeniyle afetlerde veya su kıtlığı durumlarında da kullanılmaktadır. Şişelenmiş suyun şöhreti dünya çapında kaç markanın (5000'den fazla) üretildiği ile ölçülebilir, bu ticari markaların önemli bir kısmı küresel olarak işlem görmektedir. Mesela, Türkiye'de şişelenmiş suyun ihracatı yaklaşık 60 farklı ülkeye ulaşmış, ihracatın çoğunluğunu Avrupa (%58), geri kalanını ise Afrika ve Asya (%42) oluşturmaktadır. 2002 yılında bir piyasa araştırma kurumu tarafından yayımlanan bir araştırmada, son otuz yılda dünyada şişelenmiş su tüketiminin sürekli arttığı görülmüştür. Yiyecek ve içecek endüstrisindeki en yaygın işletmeleri su üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Gelişmiş ülkelerdeki insanlar musluk suyuna kaliteli ve daha uygun maliyetle erişebilmelerine rağmen, küresel olarak, şişelenmiş su tüketimi, musluk suyuna kıyasla daha yüksek maliyetli de olsa, her yıl ortalama % 7 oranında artmaktadır. Türkiye'de son on yılda, şişelenmiş su tüketimi konusunda önemli bir artış olmuş ve günümüzde ailelerin % 70' inin günlük temiz su ihtiyacını karşılamak için şişelenmiş su kullandığı düşünülmektedir (Çelik, 2003). Yapılan çalışmalarda 2002 yılında Türk halkı yaklaşık 5.2×10^9 L şişelenmiş su tükettiği, bunun da kişi başına yaklaşık 78 L'ye tekabül ettiği tespit edilmiştir (Çelik, 2003). Türkiye'de satışı sunulan şişelenmiş suların %89' unun doğal kaynaklardan, geri kalan %11'i ise sondaj kuyularından sağlanmaktadır. Bununla birlikte, şu anda, doğal kaynak suyu (hala) kaynaklarının sadece %20' si ve doğal maden suyu (köpüklü) kaynaklarının %1'i Türkiye'de şişelenmiş su endüstrisi tarafından kullanılmaktadır. Sektörün kapasitesi yıllık olarak, mevsimsel (kış/yaz) farklılıkları ve belediyeler tarafından sağlanan musluk suyunun özelliklerinin iyileştirilmesinin sonucunda %35-55 arasında

değişmektedir. 1990'ların başından beri, özellikle kentsel alanlarda, Türkiye'de şişelenmiş su kullanımını artıran birçok neden olduğu düşünülmektedir (Çelik, 2003).

- (1) Su temin sistemlerinin hatalı tasarımı ve mimarisi;
- (2) Şehrin dağıtım sistemlerinden su temininde yetersizlik.
- (3) Musluk suyunun tadı, temizliği ve kokusu ile ilgili konular ve
- (4) Düzensiz göç

Tüm bu faktörler, musluk suyuna güvensizliğine neden oldum ve bu nedenle şişelenmiş su, Türkiye'de 500 milyon ABD Doları değerinde piyasa değeriyle (70 milyon civarında nüfus) cazip bir yatırım haline gelmiştir (Çelik, 2003). Bu, şişelenmiş su sektörünün, şebeke suyuna göre 250-600 kat daha yüksek maliyetine rağmen, şişelenmiş suyun musluk suyu için güvenli bir alternatif olduğu inancının güçlenmesinden kaynaklanmaktadır. İçme suyu olarak yararlanılan kaynak ve / veya kuyuların yerleri Şekil 1.1'de gösterilmektedir.



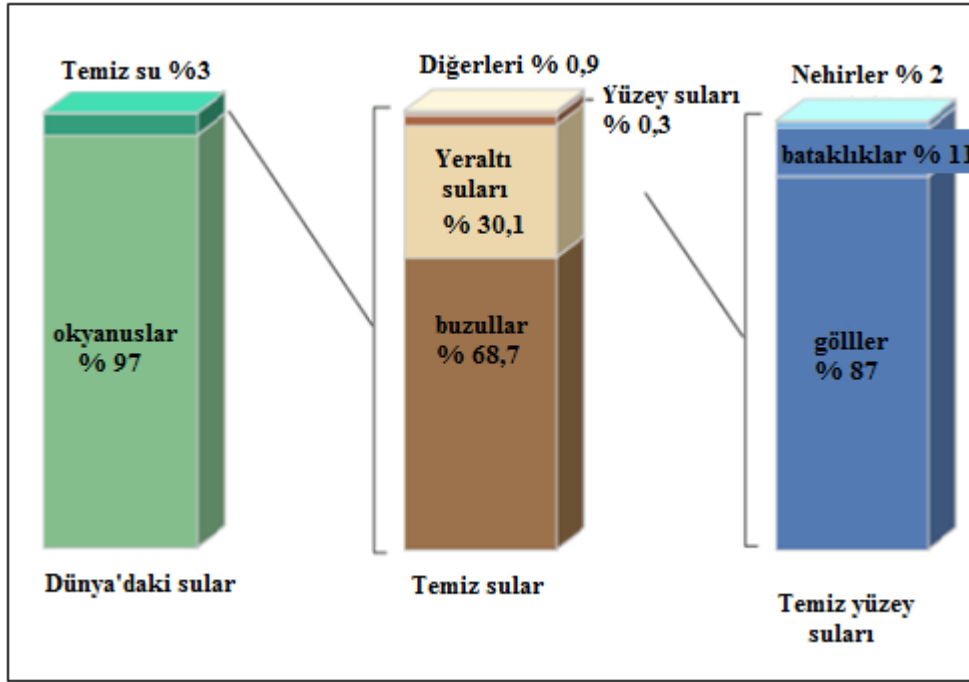
Şekil 1.1. Türkiye’de içme suyu türlerinin şişelenmesinde kullanılan kaynak ve kuyular (Güler, 2007)

1.1.1. Temiz Su Kaynakları

Su kaynakları hem yeraltı suyunu hem de yüzey sularını (nehir, dere, dere, baraj, göl, gölet vb.) içermektedir. Yeraltı sularının oluşumu, yağmur sularının toprağın ve

kayaların açıklıklarından veya çatlaklarından sızması sonucu oluşan bir hidrolojik devrin bir sonucudur (URL-1). Buharlaşma, kar ve yağmur, toprak yapısının yeraltı su kaynaklarını oluşturmasına katkıda bulunur. Yağış veya kar yağışı gerçekleştiğinde, suyun bir kısmı derhal buharlaşır, bir kısmı bitkiler tarafından emilir ve bir kısmı toprağa ve kayalara nüfuz ederken, diğer su kısımları nehirlerden denizlere taşınır. Tatlı su kaynakları dağılımı Grafik 1.1’de gösterilmiş olup burada; yeraltı topraklarında tatlı suların %30,1’i birikirken, %68,7’si buzullar şeklinde depolanmaktadır (URL-2). Genel olarak hali hazırda mevcut olan yüzey tatlı sularının yüzdesi %0,3’tür. Uluslararası ölçekte, 263 nehir havza alanı iki veya daha fazla ülkenin ulusal sınırlarını geçmektedir (URL-3). Bu su toplama alanları dünyadaki toprak yüzeyinin yaklaşık %50’si ve dünya nüfusunun% 40’ıdır (URL-3). Gelişmekte olan ülkelerde, tatlı su rezervlerinin %8’i evsel faaliyetler, sanayi için %10 ve tarım için %82, gelişmiş ülkelerde ise tatlı su rezervlerinin %11’i ev faaliyetleri, %59’u sanayi ve %30’u tarım için kullanılmaktadır. Türkiye’nin net su rezervi 112 milyar m³tür (URL-4). Tarımsal faaliyetler Türkiye’de tatlı su kaynaklarının %74’ünü kullanırken, evsel kullanımda bu oran %15 ve sanayi ise bu kaynakların %11’ini kullanmaktadır. Temel insan haklarından biri, bol ve güvenli içme suyu kaynaklarına ulaşabilmektir. Her ülkede, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve ilgili kurum / kuruluşlar sağlıklı içme suyu temini için gereken çabayı sarf etmektedir (URL-5).

Sel, taşkın, fırtına ve diğer su sıkıntılarından kaynaklanan su talepleri hariç, herkesin günlük olarak içme suyuna yeterli erişime sahip olması çok önemlidir. Su kaynaklı tehlikeler, meteorolojik koşullar ve gıda kaynaklarını etkileyen doğal felaketlerin %90’ından sorumludur ve suyun günlük yaşamımızdaki rolünü daha fazla etkilemektedir (WHO, 2011).



Grafik 1.1. Yeryüzündeki tatlı su kaynakları (URL-2)

Su canlı yaşamın devam edebilmesi için son derece önemli bir kaynak olduğu için dünyada birçok araştırmacı su üzerinde incelemelerde bulunmuştur ve halen de su ile ilgili çalışmalar devam etmektedir. Literatürde su örneklerindeki radyasyon düzeylerini ve sulardaki elementel içerikleri belirlemeye yönelik yapılmış birçok çalışmaya rastlamak mümkündür. Bu tür çalışmaların bazıları bölgesel bazıları da ülkeler bazında olabilmekte ve çalışma bölgelerindeki farklılıklar nedeniyle elde edilen bulgularda değişiklikler görülebilmektedir. Ülkemizde ve dünyada su örnekleri üzerinde yapılmış olan çalışmalara örnek vermek gerekirse;

Venezuela'da tüketilen ambalajlı su örneklerinin içerdiği doğal ve yapay radyoaktivite düzeyleri ölçülmüştür. Çalışma sonucunda, şişelenmiş mineral su örneklerinin % 54'ünün toplam alfa aktivitesinin 0,185 Bq/L'den daha küçük, % 12'sinin toplam alfa aktivitesinin 0,37 Bq/L'den daha büyük ve bu örneklerin tüketilmesinden kaynaklanan toplam yıllık radyasyon dozunun 2,3 mSv/y olduğu bulunmuştur (Sajo-Bohus vd., 1997).

Malanca vd. (1998) tarafından yapılan çalışmada, Brezilya'da 30 ayrı noktadan toplanan 69 adet su örneklerindeki toplam alfa/beta aktivite seviyesi, sıvı sintilasyon

sayacı kullanılarak ölçülmüştür. Çalışmada toplam alfa ve toplam beta aktivite seviyeleri, sırasıyla $< 2,8 \text{ Bq/m}^3 - 354 \text{ Bq/m}^3$ ve $50,5 \text{ Bq/m}^3 - 580 \text{ Bq/m}^3$ aralığında ölçülmüş ve su örneklerinin tüketilmesinden kaynaklanan yıllık etkin doz değeri ortalama $60 \pm 42 \mu\text{Sv}$ olarak hesaplanmıştır.

İspanya'da tüketilen ve Fransa, Portekiz ve İspanya'nın farklı yerlerinden gelen 43 farklı ambalajlı su örneklerinin radyoaktivite içeriği ve bazı radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları, gama-ışını spektrometresi kullanılarak araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, su örneklerindeki yüksek radyoaktivite düzeyinin, temelde yer altı kökenli su örneklerinin mineral yapısı ile ilgili olduğu bulunmuştur (Sánchez vd., 1999).

Öztürk ve Yılmaz (2000) tarafından yapılan bir çalışmada, Kütahya'daki Termik Santralin çevresinden toplanan 9 adet içme suyu örneğinin ağır metal içeriği (arsenik, civa, kurşun, kadmiyum, bakır, krom, demir, mangan ve çinko) atomik absorpsiyon spektrofotometresi (AAS) kullanılarak ölçülmüştür. Çalışma sonucunda, içme suyu örneklerinin ağır metal içeriklerinin Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından verilen sınır değerlerin altında olduğu bulunmuştur.

Karahan vd. (2000) tarafından yapılan çalışmada, İstanbul'dan toplanan toplam 25 adet musluk, kuyu, göl, deniz, kar ve yağmur suyu örneklerindeki 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 ölçülmüştür. İçme suyu örneklerindeki doğal radyoaktivite değerlerinin, Dünya Sağlık Örgütü ve Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından belirlenen sınır değerleri aşmadığı bulunmuştur.

Brezilya'da satılan ambalajlı 17 farklı suyu örneğinde ^{226}Ra , ^{228}Ra ve ^{210}Pb radyonüklitlerinin aktivite seviyeleri belirlenmiştir. Suyu örneklerinin içerdiği ^{226}Ra , ^{228}Ra ve ^{210}Pb aktivite konsantrasyonlarının sırasıyla 647 mBq/L , 741 mBq/L ve 85 mBq/L olduğu belirlenmiş ve bu suyu örneklerinin tüketilmesiyle yetişkin bir bireyin maruz kaldığı yıllık etkin doz miktarları sırasıyla ^{226}Ra , ^{228}Ra ve ^{210}Pb için ortalama

1,3 x 10⁻² mSv/y, 3,4 x 10⁻² mSv/y ve 9,4 x 10⁻³ mSv/y olarak hesaplanmıştır (Oliveira vd., 2001).

Ürdün'de termal su örneklerinin doğal olarak içerdiği ²³⁴Th, ²²⁶Ra, ²¹⁴Pb, ²¹⁴Bi, ²²⁸Ac, ²¹²Pb, ²⁰⁸Tl, ²³⁵U ve ⁴⁰K radyonüklitlerinin aktivite derişimleri, HpGe dedektörü kullanılarak belirlenmiştir. Çalışma sonucunda radyonüklit aktivitelerinin, 0,14 Bq/L – 34,8 Bq/L aralığında değiştii bulunmuştur (Sağan vd., 2001).

Macaristan'ın farklı bölgelerinden toplanan kaplıca ve ambalajlı su örneklerinin içerdiği ²²²Rn ve ²²⁶Ra aktivite seviyeleri, farklı radyoanalitik yöntemler ile belirlenmiştir. Çalışmada termal su örneklerinin yüksek seviyede ²²²Rn (100 kBq/m³) ve ²²⁶Ra (1 kBq/m³) içerdiği, ambalajlı mineralli su örneklerinde ise en yüksek ²²⁶Ra konsantrasyonunun 2 kBq/m³ 'ün üzerinde olduğu bulunmuştur (Baradács vd., 2001).

Brezilya'da bulunan 452 içme suyu kaynağının içerdiği doğal ²²⁶Ra, ²²⁸Ra ve ²²²Rn radyonüklitlerinin aktivite seviyeleri belirlenmiştir. İçme suyu olarak kullanılan kaynakların içerdiği ²²⁶Ra, ²²⁸Ra ve ²²²Rn aktivite konsantrasyonlarının sırasıyla 235 mBq/L, 131 mBq/L ve 315 Bq/L'ye ulaştığı belirlenmiştir. Su örneklerinin tüketilmesi nedeniyle yetişkin bir bireyin maruz kaldığı yıllık etkin dozu miktarları ise, ²²⁶Ra, ²²⁸Ra ve ²²²Rn için sırasıyla 6 x 10⁻³ mSv/y, 2 x 10⁻² mSv/y ve 3 x 10⁻¹ mSv/y olarak hesaplanmıştır (Oliveira vd., 2001).

Kumru (2002), Büyük Menderes Nehri'ni denize döküldüğü yerden başlayarak doğduğu yere kadar incelemiştir. Toprak, sediment ve su numuneleri toplayarak, bunların laboratuarda radyoaktivite ölçümlerini çeşitli yöntemler kullanarak yapmıştır. Sonuç olarak Büyük Menderes Nehri su, toprak ve sedimentlerinde yapılan radyometrik uranyum araştırmaları sonucu bazı anomali sahaları belirlenmiştir.

Avusturya'da ticari olarak satışı yapılan 60 markanın ambalajlı su örneklerinde ²²⁶Ra, ²²²Rn ve ²¹⁰Pb radyonüklitlerinin aktivite seviyeleri belirlenmiştir. Çalışmada su örneklerindeki ²²⁶Ra'nın en yüksek değerinin 0,23 Bq/L olduğu, ²²²Rn seviyesinin, < 0,12 Bq/L – 18 Bq/L aralığında değiştii ve ²¹⁰Pb seviyesinin, < 2 Bq/L – 34 Bq/L aralığında değiştii bulunmuştur (Kralik vd., 2003).

Elazığ ilinde yapılan bir çalışmada Hazar Gölü'nden alınan yüzey su örneklerinin ağır metal seviyeleri belirlenmiştir. Çalışma sonucuna göre örneklerde analiz edilen çinko, demir, mangan, nikel, bakır, kurşun, sodyum, potasyum, kalsiyum ve magnezyum seviyelerinin, WHO, Avrupa Komisyonu ve TSE tarafından belirlenen sınır değerleri aşmadığı bulunmuştur (Özmen vd., 2004).

Çin'de tüketilen 10 farklı markaya ait ambalajlı içme suyu örneklerindeki bromür ve klorür miktarları iyon kromatografisi kullanılarak ölçülmüştür. Çalışmada bazı örneklerde gözlenen bromür ve klorür miktarlarının sırasıyla 0,1 µg/L ve 0,9 µg/L olduğu tespit edilmiş ve analiz edilen değerlere göre şişelenmiş sular, doğal su > mineralli su > maden suyu > arındırılmış su şeklinde sıralanmıştır (Liu ve Mou, 2004).

Özmen vd. (2004) Elazığ'da yüzey suları ve sedimentlerinde ²²⁶Ra, gross α ve β ölçümleri yapmışlar ve sulara bu değerlerin sırasıyla 0,52-2,02 Bq/l, 0,65-2,52 Bq/L ve 0,01-0,14 Bq/L arasında değişim gösterdiğini, sedimentte ise ²²⁶Ra konsantrasyonunun 0,07-0,32 Bq/L değerleri arasında değiştiğini bulmuşlardır.

New York'ta yapılmış olan bir çalışmada doğal maden su örneklerinin radyonüklit ve kimyasal içerikleri belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, üç maden suyu örneğinde düşük seviyede radyonüklit ve kimyasal içerik tespit edilmiş, mineralli su örneklerinde gözlenen ²²⁴Ra, ²²⁶Ra ve ²²⁸Ra radyonüklitlerine ait en büyük aktivite konsantrasyonlarının, sırasıyla 1 Bq/L, 20 Bq/L ve 2 Bq/L olduğu belirlenmiş, su örneklerindeki doğal radyoaktivitenin % 80'ini, ²²⁶Ra'nın oluşturduğu sonucuna varılmıştır (Kitto vd., 2005).

Kam ve Bozkurt, 2006 yılında Kastamonu'da içme suyu örneklerindeki gross α, gross β ölçümleri yapılmış ve sırasıyla 0,0089 Bq/L, 0,271 Bq/L değerleri elde edilmiştir. Ayrıca bunların sebep olduğu toplam yıllık etkin doz eşdeğerleri de 1,83 µSv olarak hesaplanmıştır.

Doğu Karadeniz Bölgesinden toplanan 11 farklı musluk suyu örneğinin ²¹⁴Pb, ²¹⁴Bi, ⁴⁰K, ²²⁶Ra ve ¹³⁷Cs radyonüklitlerinin aktiviteleri, HpGe dedektörü kullanılarak

ölçülmüştür. Çalışmada, ^{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 belirlenmiştir. Su örneklerinde ölçülen ^{222}Rn aktivitesinin ortalama değeri 10,8 Bq/L olarak ve bu örneklerin tüketilmesinden dolayı ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{137}Cs ve ^{222}Rn radyonüklitlerinden yetişkin bir bireyin aldığı ortalama yıllık etkin doz oranları, 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 hesaplanmıştır (Çevik vd., 2006).

Yunanistan'da yapılmış olan bir çalışmada Attika bölgesindeki üç gölden toplanan içme suyu örneklerinin radyoaktivitesi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda gama spektrometresi ile yapılan ölçümlerde ^{238}U 'in aktivite konsantrasyonunun, 0,91 mBq/L-17,27 mBq/L aralığında değiştiği bulunmuştur (Kehagia vd., 2007). Yine Yunanistan'da yapılan başka bir çalışmada ticari olarak satılan 16 farklı marka ambalajlı su örneğindeki doğal radyonüklit ve ağır metal seviyeleri belirlenmiştir. Çalışmada su örneklerinde ölçülen ^{226}Ra 'nın aktivitesinin genelde, referans değer olan 1 Bq/L'den daha küçük olduğu ve su örneklerindeki vanadyum, krom, mangan, demir, nikel, bakır, çinko, kurşun, selenyum, kalay ve molibden seviyelerinin, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartlarının altında olduğu bulunmuştur (Karamanis vd., 2007).

Gaziantep ilinde yapılan bir çalışmada içme suyu örneklerinin içerdiği toplam alfa ve beta aktivite seviyeleri belirlenmiştir. Su örneklerinde ölçülen toplam alfa ve toplam beta aktivite değerlerinin sırasıyla ortalama, 0,049 Bq/L ve 0,128 Bq/L olduğu bulunmuştur ve içme suyunun tüketilmesinden dolayı bireylerin aldığı ortalama yıllık etkin dozu oranı, $1,8 \mu\text{Sv}$ olarak hesaplanmıştır (Osmanlıoğlu vd., 2007).

İtalya'dan toplanan musluk suyu örneklerinde radyoaktivite içeriği, toplam alfa/beta, ^{238}U , ^{234}U , ^{226}Ra , ^{222}Rn ve trityum aktivite değerleri araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, su örneklerinde ölçülen trityum seviyesinin, 6,75 Bq/L'den daha düşük olduğu, ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{238}U ve ^{234}U aktivite konsantrasyonlarının, sırasıyla $< 1,70 \text{ mBq/L}$ – $15,31 \text{ mBq/L}$, $0,69 \text{ mBq/L}$ – $20,3 \text{ mBq/L}$, $0,65 \text{ mBq/L}$ – $48,77 \text{ mBq/L}$ ve $0,78 \text{ mBq/L}$ – $51,50 \text{ mBq/L}$ aralığında değişim gösterdiği ve toplam alfa/beta

seviyelerinin uluslararası sınır değerden daha küçük olduğu bulunmuştur (Desideri vd., 2007).

Türkiye’de tüketilen 130 marka ticari şişelenmiş içme suyu, bu suların üretilmesine izin veren Sağlık Bakanlığında temin edilen veriler (34 farklı kimyasal ve fiziksel parametreler) kullanılarak geliştirilen çok değişkenli örnek tanıma yöntemleri ile karakterize edilmiştir. 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 tespit edilmiştir (Güler, 2007).

Türkiye genelinde marketlerden alınan 15 ticari ambalajlı su örneklerinin kimyasal bileşenleri analiz edilmiştir. Çalışmada ambalajlı maden suyu örneklerinin kimyasal bileşenlerinin, elde edildikleri bölgenin jeolojik yapısına bağlı olarak büyük değişiklikler gösterdiği, su örneklerinde analiz edilen alüminyum, bor, baryum, kadmiyum, krom, demir, mangan, kurşun ve çinko içeriklerinin, WHO ve TSE standart değerlerinden daha düşük düzeyde olduğu tespit edilmiştir (Baba vd., 2008).

Batman ili ve ilçelerinden toplanan su örneklerinin toplam alfa/beta aktivite seviyeleri, orantılı sayaç kullanılarak ölçülmüştür. Çalışma sonucunda, musluk, kuyu ve yüzey suyu örneklerindeki doğal radyonüklitlerden kaynaklanan yıllık etkin doz değerinin, WHO’nun tavsiye ettiği 0,1 mSv/y değerinden daha düşük seviyede olduğu belirlenmiştir (Damla vd., 2009).

Ürdün’de yapılan bir çalışmada tüketilen 8 farklı markaya ait ambalajlı içme suyu ve 1 adet musluk suyu örneğindeki ^{226}Ra ve ^{40}K radyonüklitlerinin aktivite konsantrasyonları, gama-ışını spektrometresi kullanılarak ölçülmüştür. Sulardaki ^{226}Ra ve ^{40}K aktivite değerleri kullanılarak hesaplanan toplam alfa ve beta aktivitesinin, sırasıyla 0,1 Bq/L ve 1 Bq/L değerinden büyük olduğu bulunmuştur (Ismail vd., 2009).

Tunus’ta tüketilen 10 farklı markaya ait ambalajlı mineralli su örneklerindeki ^{234}U ve ^{238}U aktivite seviyesi belirlenmiştir. Ambalajlı sulara 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 arasında değişim gösterdiği değiştiği, bu su örneklerinin tüketilmesinden dolayı ^{234}U ve ^{238}U radyonüklitinden yetişkin bir bireyin aldığı yıllık etkin radyasyon dozunun, 0,16 $\mu\text{Sv/y}$ - 2,02 $\mu\text{Sv/y}$ aralığında değiştiği sonucuna ulaşılmıştır (Gharbi vd., 2010).

Avrupa’da tüketilen 1785 adet ambalajlı mineralli su örneklerinin uranyum derişimleri belirlenmiştir. Almanya’da analiz edilen 908 ambalajlı su örneklerinde uranyum derişiminin, < 0,0005 $\mu\text{g/L}$ – 16,0 $\mu\text{g/L}$ aralığında değiştiği, 163 musluk suyu örneklerinde uranyum derişiminin, 0,001155 $\mu\text{g/L}$ –9,0 $\mu\text{g/L}$ aralığında değiştiği tespit edilmiştir (Birke vd., 2010).

Değerlier 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 belirlenmiştir. Çalışma sonucunda su örneklerinde ölçülen ortalama toplam alfa ve toplam beta aktivite seviyesinin, sırasıyla, 0,0096 Bq/L ve 0,086 Bq/L olduğu ve yetişkin bir bireyin aldığı ortalama yıllık etkin radyasyon doz değerinin, 0,005 mSv/y olduğu tespit edilmiştir.

Macaristan’da maden sularının radyoaktivite içeriğinin belirlenmesi amacıyla bir çalışma yapılmıştır. Toplanan su örneklerinde bulunan ^{238}U , ^{228}Ra , ^{224}Ra , ^{234}U ve ^{210}Po radyonüklitinin aktivite değerleri ölçülmüş ve ^{228}Ra , ^{224}Ra , ^{238}U , ^{234}U 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 belirlenmiştir (Jobbágy vd., 2010).

Dış Karpatlar (Polonya) bölgesinde bulunan yer altı maden suları ve kaynak sularının radyoaktivite içeriğinin belirlenmesi amacıyla yürütülmüş olan bir çalışmada, su örneklerindeki ^{222}Rn aktivite seviyesinin < 1 Bq/L–50 Bq/L, ^{226}Ra aktivite seviyesinin 10 Bq/L – 490 Bq/L ve ^{228}Ra aktivite seviyesinin 29 Bq/L – 397 Bq/L aralığında değiştiği bulunmuştur (Walencik vd., 2010).

Türkiye’de yapılmış olan bir çalışmada, Çankırı ili ve ilçelerinden toplanan içme suyu örneklerinin toplam alfa/beta aktivite seviyeleri, gaz orantılı sayaç kullanılarak ölçülmüştür. İçme suyu örneklerindeki ortalama toplam alfa ve beta aktivitesinin, sırasıyla, 0,25 Bq/L ve 0,26 Bq/L olduğu bulunmuştur (Kapdan vd., 2012). Erzincan ili ve ilçelerinden toplanan içme suyu örneklerinin toplam alfa/beta aktivite seviyeleri, yine bir orantılı sayaç kullanılarak ölçülmüş ve içme suyu örneklerindeki ortalama toplam alfa ve beta aktivitesi, sırasıyla, 0,048 Bq/L ve 0,10 Bq/L olarak bulunmuştur (Yalcin vd., 2012).

İsveç’te içme sularındaki uranyum ve eser element seviyelerinin belirlenmesi amacıyla yapılan bir çalışmada, analiz edilen su örneklerinde uranyum seviyesinin, dedeksiyon sınırından 100 µg/L’ye kadar değiştiği ve elde edilen 5548 verinin % 97’sinin 2011 yılında WHO tarafından tavsiye edilen 30 µg/L’den daha küçük olduğu bulunmuştur (Stalder vd., 2012).

Nijerya deltasının kıyılarındaki 3 petrol ve gaz alanından toplanan 54 adet nehir, sondaj ve kuyu sularında bulunan ^{226}Ra , ^{228}Ra ve ^{40}K radyonüklitlerinin aktivite seviyelerinin belirlenmesine yönelik yürütülmüş olan bir çalışmada, ^{226}Ra , ^{228}Ra ve ^{40}K ’ın ortalama aktivite konsantrasyonları, sırasıyla, kuyu suyu örnekleri için ortalama 18,9 Bq/L, nehir suyu örnekleri için ortalama 14,7 Bq/L ve sondaj suyu örnekleri için ortalama 12,5 Bq/L olarak bulunmuştur (Agbalagba vd., 2012).

Assalamia-Alhomira, Juban ve Dempt bölgelerinden (Yemen) toplanan yeraltı ve kaplıca suyu örneklerinin doğal olarak içerdiği ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitinin aktivite değerleri, NaI(Tl) dedektörü kullanılarak ölçülmüştür. Assalamia-Alhomira bölgesi yeraltı suyu örneklerinde ^{226}Ra ve ^{232}Th ’nin ortalama aktivite değerleri, sırasıyla 4,04 Bq/L ve 1,81 Bq/L, Juban bölgesi yer altı suyu örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K ’ın ortalama değerleri sırasıyla 2,95 Bq/L, 0,72 Bq/L ve 34,9 Bq/L ve Dempt bölgesi kaplıca suyu örneklerinde ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K ’ın ortalama değerleri sırasıyla 3,48 Bq/L, 1,01 Bq/L ve 16,05 Bq/L olarak bulunmuştur (El-Mageed vd., 2012).

Rožmarić vd. (2012) tarafından Hırvatistan’da yapılan çalışmada, marketlerde satılan ambalajlı kaynak suyu ve şişelenmiş mineralli su örneklerindeki ^{234}U , ^{238}U , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Po ve ^{210}Pb radyonüklitlerinin aktivite seviyeleri belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, su örneklerindeki radyonüklitlerin, $^{234}\text{U} > ^{238}\text{U} > ^{226}\text{Ra} > ^{228}\text{Ra} > ^{210}\text{Pb} > ^{210}\text{Po}$ şeklinde sıralandığı bulunmuştur.

Türkiye’de ticari olarak satılan şişelenmiş kaynak sularının içerdiği radyum aktivite seviyelerinin belirlenmesi amacıyla yapılmış olan bir çalışmada toplanan su örneklerinde ölçülen ^{226}Ra ’nin aktivite seviyesinin, 0,03 Bq/L – 0,43 Bq/L aralığında değiştiği bulunmuştur (Akar vd., 2012).

Türkiye’de farklı doğal su kaynaklarından toplanan ambalajlı maden suyu ve kaplıca suyu örneklerinin içerdiği toplam alfa ve beta aktivite seviyesinin belirlenmesine yönelik yapılan bir çalışmada, 40 adet ambalajlı maden suyu örneğinde ölçülen toplam alfa ve toplam beta aktivite derişimlerinin ortalama değerlerinin, sırasıyla, 164 mBq/L ve 555 mBq/L ve 24 adet ambalajlı kaplıca suyu örneklerinde ölçülen toplam alfa ve toplam beta aktivite derişimlerinin ortalama değerlerinin, sırasıyla, 663 mBq/L ve 3314 mBq/L olduğu tespit edilmiştir (Taşkın vd., 2013).

Samsun ilinden toplanan 52 adet içme suyu örneğinin ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklit aktivite konsantrasyonları, HpGe dedektörü kullanılarak ölçülmüştür. İçme suyu örneklerinde ^{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 bir içme suyu örneğinde analiz edilebilen ^{137}Cs aktivite seviyesinin 2576 mBq/L olduğu diğer örneklerde ^{137}Cs radyonüklitine rastlanmadığı görülmüştür (Altıkulaç vd., 2015).

Bosna-Hersek’te tüketilen içme suyu, kaynak suyu, ambalajlı maden suyu örneklerindeki uranyum izotoplarının (^{238}U ve ^{235}U) aktivite konsantrasyonları belirlenmiştir. İçme suyu örneklerinde ölçülen ^{238}U ve ^{235}U ’in aktivite konsantrasyonlarının sırasıyla 8 Bq/L – 10 Bq/L ve 2 Bq/L – Bq/L aralığında değişim gösterdiği bulunmuştur (Nuhanović vd., 2015).

Bangladeş'te satılan ambalajlı içme suyu örneklerinin HpGe dedektörü ile incelenmesi sonucunda ^{226}Ra ve ^{228}Ra 'ın aktivite değerlerinin, 1 Bq/L (^{226}Ra için) ve 0,1 (^{228}Ra için) Bq/L olan sınır değerlerin altında olduğu tespit edilmiştir (Asaduzzaman vd., 2016).

Osmaniye ilinden toplanan su örneklerindeki ^{222}Rn aktivite konsantrasyonları, aktif radon monitörü kullanılarak belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, su örneklerindeki ^{222}Rn 'nin ortalama aktivite değerinin, 0,44 Bq/L olduğu bulunmuştur (Erdoğan vd., 2016).

Malezya'da satılan ambalajlı su örneklerinin ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerinin aktivite konsantrasyonlarının belirlenmesi amacıyla yapılan bir çalışmada, su örnekleri içerisinde bulunan radyonüklitler HpGe dedektörü kullanılarak ölçülmüştür. Ambalajlı su örneklerinde bulunan ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K 'ın aktivite değerlerinin, 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 ^{226}Ra 'nin aktivite değerinin, WHO tarafından tavsiye edilen azami sınır değer olan 1,0 Bq/L'nin üzerinde olduğu tespit edilmiştir (Khandaker vd., 2017).

Romanya'da yapılmış olan bir çalışmada 11 adet mineral su kaynağından elde edilmiş olan ambalajlı su örneklerinin ^{238}U , ^{226}Ra ve ^{232}Th aktivite değerleri ölçülmüş ve su örneklerindeki ^{238}U , ^{226}Ra ve ^{232}Th 'nin aktivite değerlerinin, 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 aralığında değiştiği bulunmuştur (Radulescu vd., 2017).

Suudi Arabistan'ın Jizan bölgesinden toplanan içme suyu örneklerindeki eser element ağır metal analizleri yapılmış olup su örneklerinde bulunan eser element seviyelerinin, WHO'nun belirlediği sınır değerlerinden daha küçük olduğu, ağır metal seviyelerinin ise $\text{Sr} > \text{Ti} > \text{Fe} > \text{Al} > \text{Zn} > \text{Ba} > \text{As} > \text{Cu} > \text{Mo} > \text{Ni} > \text{Cr} > \text{Co} > \text{Se} > \text{Hg} > \text{Mn}$ şeklinde sıralandığı tespit edilmiştir (Amin, 2017).

Türkiye'nin Orta ve Doğu Karadeniz bölgesinden toplanan kaplıca suyu örneklerinin ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{40}K , ^{222}Rn ve ^{137}Cs radyonüklit seviyelerinin belirlenmesi amacıyla yapılmış olan bir çalışmada, su örneklerindeki ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{137}Cs , ^{40}K ve ^{222}Rn 'nin

ortalama aktivite değerlerinin 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 olduğu bulunmuştur (Duran vd., 2017).

Nevşehir ilinden toplanan 267 adet içme, yer altı ve yüzey suyu örneklerinin eser element seviyesinin belirlenmesine yönelik yapılan bir çalışmada su örneklerinde bulunan arsenik civa, antimon ve selenyum seviyelerinin, WHO ve TSE tarafından belirlenen sınır değerlerden daha yüksek olduğu görülmüştür (Bingöldağ, 2017).

Giresun Üniversitesi yerleşkesinin farklı kısımlarında bina içi radon konsantrasyonları ve yerleşkeden toplanan musluk suyu örneklerindeki radon aktivite derişimleri, pasif iz dedektörleri kullanılarak ölçülmüştür ve su örneklerindeki radon aktivitesinin, 0,98 Bq/L – 27,28 Bq/L aralığında değiştii bulunmuştur (Büyüksulu vd., 2018).

Kurigram (Bangladeş)'da yapılan bir çalışmada nehir, dere ve kuyulardan toplanan 43 su örneğinin doğal radyoaktivitesi araştırılmıştır. Kuyu suyu, dere suyu, nehir suyu örneklerinde ^{238}U 'nin ortalama aktivite konsantrasyonlarının, sırasıyla 8,9 Bq/L, 6,2 Bq/L ve 10 Bq/L, kuyu suyu ve dere suyu örneklerinde ^{232}Th 'nin ortalama aktivite konsantrasyonlarının, sırasıyla 3,6 Bq/L ve 1,82 Bq/L ve kuyu suyu, dere suyu, nehir suyu örneklerinde ^{40}K 'ın ortalama aktivite konsantrasyonlarının ise sırasıyla 52 Bq/L, 41 Bq/L ve 62 Bq/L olduğu bulunmuştur (Rahim vd., 2018).

Yapılan literatür incelemesinin değerlendirilmesinin ardından, bu çalışmadaki temel amaç da Kastamonu il merkezindeki tüketilen ambalajlı sulardaki ve musluk sularındaki taban seviye radyasyon düzeyinin belirlenmesi olarak düşünölmüştür. Buna ek olarak su örneklerinin kimyasal içeriklerinin de tespit edilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla, çalışma bölgesinden toplanan su örneklerindeki radyonüklit (^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs) ve radon (^{222}Rn) aktivite konsantrasyonları ile örneklerin element içerikleri ve bu elementlere ait konsantrasyon düzeyleri belirlenmiştir. Bütün bu incelemeler ışığında elde edilmiş olan veriler değerlendirilerek çalışma bölgesine ait su örneklerinde bulunan taban seviye radyasyon düzeyleri tanımlanmış ve bölgede yaşayan insanlar açısından radyolojik tehlike parametreleri hesaplanmıştır. Yine elementel analizler sonucu su örneklerinde

tespit edilen elementlerin insan sağlığını tehdit edici düzeyde olup olmadığı ilgili kuruluşların referans değerleri ile kıyaslanmıştır.

1.2. Radyoaktivite

Bilindiği gibi, atomların çekirdeği protonlardan ve nötronlardan oluşmaktadır. Atom numarası (Z) çekirdekdeki proton sayısı ile tanımlanırken, kütle sayısı veya atom ağırlığı proton ve nötron sayısı ile tanımlanır. Aynı elementin izotopları, aynı sayıda proton fakat farklı sayıda nötron içeren çekirdeklerdir. Daha düşük atom sayısına sahip olan çekirdekler genellikle aynı miktarda proton ve nötronları kapsar. Oysa atom sayısı daha yüksek olan çekirdeklerde protonlardan daha fazla sayıda nötron vardır. Protonlardan daha fazla nötrona sahip kararsız olan atom çekirdeği, doğal olarak ve gelişigüzel olarak daha istikrarlı bir nükleer duruma dönüşmek üzere bozunur. Bu bozunmanın bir sonucu olarak, kararsız çekirdeğin doğası değişir ve enerjik parçacıklar veya ışınlar (radyasyonlar) salınır. Kararsız çekirdeğin, enerjik parçacıkları serbest bırakarak veya elektromanyetik radyasyonu serbest bırakarak daha düzenli bir duruma gelmesi radyoaktivite olarak tanımlanabilir. Radyoaktivite, kontrol edilemeyen, yavaşlatılamayan ve durdurulamayan, dış kriterlere (sıcaklık, basınç, nem vb.) ve maddenin durumuna (katı, gaz ve sıvı) bağlı olmayan, zayıf bir ritim ile devam eden fiziksel bir olgudur (Krane, 1987). N tane radyoaktif çekirdeğin t zamanında bozunma sayısı,

$$\lambda = -\frac{(dN/dt)}{N} \quad (1.1)$$

olarak verilir. Burada λ bozunma sabitidir. Bu formülün integrasyonu radyoaktif bozunma kanunu olarak bilinmektedir.

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (1.2)$$

burada N_0 , $t=0$ anındaki çekirdek sayısını veren integrasyon sabitidir. Bozunma süreci ile başlangıçtaki çekirdek sayısının yarıya kadar azalması için geçen süreye yarı ömrü (t veya $t_{1/2}$) denir. Denklemden (1.2) N yerine $N_0/2$ alınması ile Aktivite (AC) değeri bulunur.

$$AC = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (1.3)$$

Ayrıca AC,

$$AC = \lambda \cdot N(t) = AC_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (1.4)$$

şeklinde de tanımlanabilir. Burada AC_0 , $t=0$ anındaki aktivitedir ve N_0 'a eşittir. Bir numunenin radyoaktifliği, birim zaman başına düşen numunenin bozunma sayısıdır ve geleneksel birimi bozunma/s'dir. Diğer radyoaktivite birimi, bir gram radyum (^{226}Ra) aktivitesini gösteren Curie (Ci) 'dir ve

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ bozunma/s} \quad (1.5)$$

olarak verilmektedir. Uluslararası radyoaktivite birimi (SI), bir saniyedeki bozunma sayısı olarak tanımlanabilen Becquereldir (Bq) ve

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ bozunma/s} \quad (1.6)$$

olarak temsil edilir. Aktivite konsantrasyonu kütle veya hacim ile ilişkilidir ve katı maddeler için Bq/kg, sıvı ve gazlar Bq/L veya Bq/m³ olarak temsil edilmektedir.

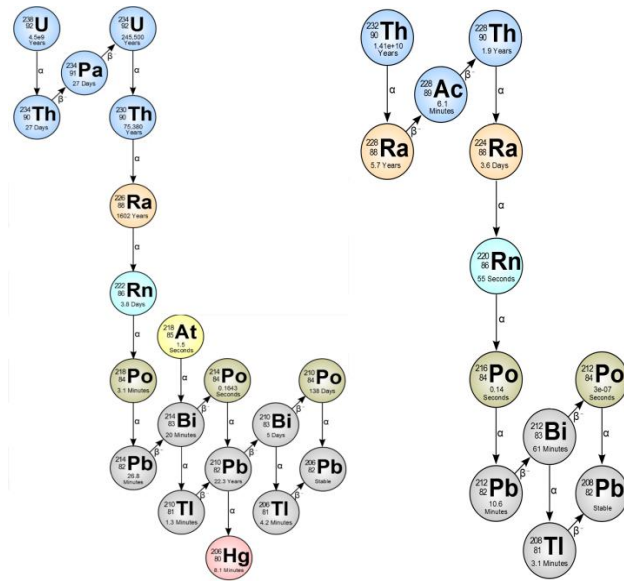
1.2.1. Sudaki Doğal Radyoaktivite ve Kirlilik

Su, dünya yüzeyinin yaklaşık üçte ikisini kaplayan ve insan vücudunun yaklaşık %60'ını oluşturan, canlı yaşamının temel sıvısıdır. Saf haliyle, kokusuz, tatsız, kalın tabakalarda mavi renkte görünen H₂O, hidrojenin hafifçe sıkıştırılabilir sıvı oksitidir. Donma noktası 0°C ve kaynama noktası 100°C olan, 997 kg/m³ yoğunluğa ve 18,01528 g/mol kütleyle sahip bir sıvıdır. İyonlaştırıcı radyasyonun zararlı biyolojik etkilerinin keşfedilmesinin ardından, birçok uluslararası grup, insanların maruz kaldığı ve ilgili biyolojik etkileri değerlendirdiği radyasyon seviyeleri ve kaynakları üzerine çalışmalar yapmıştır. Doğal radyoaktivite kaynakları,

- Uranyum ve toryum zincirlerinin neden olduğu doğal radyoaktivite (Şekil 1.2),

- İçme suyunda radyonüklid konsantrasyonunu artırabilen teknolojik faaliyetler,
- Nükleer yakıt istasyonlarından yayılan radyonüklidler,
- Geçmişte serbest bırakılan ve daha sonra içme suyuna iletilen çevresel radyonüklidler

şeklinde sınıflandırılabilir.

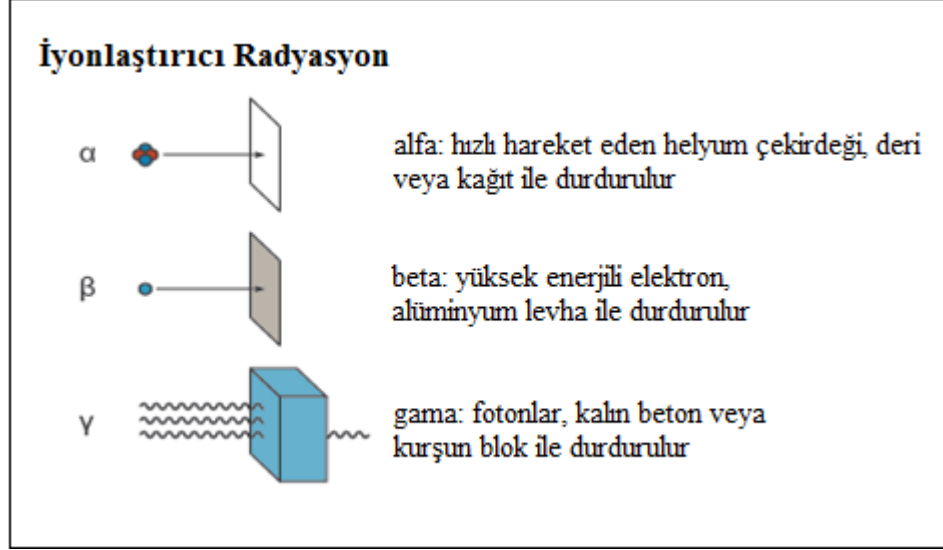


Şekil 1.2. Uranyum ve toryum serileri (URL-6)

1.2.2 İyonlaştırıcı Radyasyon

İyonlar, yeterli enerjiye sahip radyasyonlar aracılığıyla bir atomdaki bağlı elektronların koparılmasıyla oluşturulur. Radyasyon, elektromanyetik dalgalar (gama veya X ışınları) veya parçacıklar (nötronlar, beta veya alfa) şeklinde hareket eden atomların yaydığı enerji türüdür (Şekil 1.3). Bu şekilde gerçekleşen atom ayrışmasına radyoaktivite denir ve açığa çıkan enerji iyonlaştırıcı radyasyonun bir şeklidir. Buna göre, insanlar toprak, su, bitkiler gibi doğadaki iyonlaştırıcı radyasyon kaynaklarına ve x-ışınları ve tıbbi cihazlar gibi insanlar tarafından yapılan kaynaklardan yayımlanan radyasyona maruz kalırlar. İyonlaştırıcı radyasyonun tıp, sanayi, tarım ve araştırmadaki kullanımlar da dahil olmak üzere birçok faydalı

kullanımı vardır, bunun yanısıra, doğru kullanılmadığı durumlarda sağlık açısından olası riskler de barındırmaktadır.



Şekil 1.3. Radyasyonun girişim gücü (Zakariya ve Khan, 2014)

1.2.3. Radyoaktif Bozunma Süreci

Radyoaktif bozunma, kararsız bir atom çekirdeğinin daha kararlı bir duruma geçebilmek için radyasyon yayması olayıdır. Çekirdekler, alfa parçacıkları (helyum çekirdekleri), beta parçacıkları ve gamma ışınları yayınlamaya çalışırlar. Gama ışınları genellikle beta parçacıkları ile bazen de alfa parçacıkları ile beraber yayınlanırlar (Krane, 1987). Alfa ve beta radyoaktif bozunma işlemlerinde, kararsız bir çekirdek, daha kararlı bir duruma gelmek için α veya β parçacığı yayınlamaya çalışır. Gama radyoaktif bozunma işleminde, çekirdek nükleer elementlerde herhangi bir değişiklik yapmadan temel duruma bozunmaktadır. Alfa parçacıkları (${}^4_2\text{He}_2$), iki proton ve iki nötrondan oluşmuş bir helyum çekirdeğidir. Alfa radyoaktif bozunma, özellikle ağır çekirdeklerde etkili olan Coulomb itme etkisinin bir sonucudur ($A \geq 210$). α -parçacığının kendiliğinden yayınlanması aşağıdaki reaksiyonla ifade edilebilir (Krane, 1987).

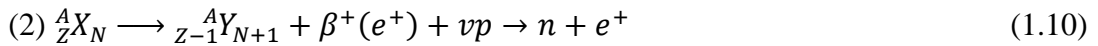
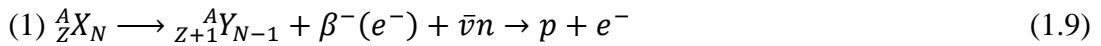


Burada A, çekirdeğin kütle numarasını, Z, atom numarasını göstermektedir. X, ana çekirdeği ve Y ise ürün çekirdeği temsil etmektedir. Bu bozunma sürecinde, doğrusal ve açısal momentuma ek olarak, nötron ve proton sayısının yanı sıra enerjinin korunması da vardır (Krane, 1987). Alfa bozulmasının bir örneği aşağıdaki gibidir,



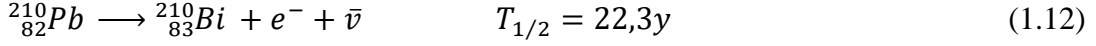
Alfa parçacığı yayınlanması, atom numarası büyük olan izotoplarda görülen bir olaydır. Alfa parçacıkları bir madde içinden geçerken sahip oldukları elektrik yükleri dolayısıyla, madde içinde iyonlaşmaya sebep olurlar ve bundan dolayı enerjilerini çabuk kaybederler. Yine alfa parçacıkları, radyoaktif bir çekirdekte 1,6x10⁷ m/sn gibi büyük bir hızla dışarı fırlatıldıkları için enerjileri fazla olmasına rağmen kütleleri diğer parçacıklara oranla büyük olduğundan erişim mesafeleri düşüktür. Ayrıca, doğal olarak bulunan radyoaktif maddelerin yayınladıkları alfa parçacıklarının enerjileri 9 MeV'in altında ve dalga boyları küçük olması sebebiyle bunları çok küçük kalınlıktaki bir madde ile durdurmak mümkündür. Bu sebeple bir dış radyasyon tehlikesi yaratmamaktadırlar. Ancak bu parçacıkların sindirim, solunum v.s yollarıyla vücuda girmeleri halinde oluşturacakları iyonizasyon, önemli bir iç radyasyon tehlikesi yaratabilmektedir (Kurnaz, 2009).

Çekirdek fazla proton veya nötronundan bir protonu nötrona veya bir nötronu protona dönüştürerek kurtulabilir (beta bozunumu). Beta radyoaktif bozunumunda, primer çekirdeğin Z ve N'si değişirken, A değişmez. Beta bozunma işlemi aşağıdaki gibi üç olası şekilde gerçekleşebilir.

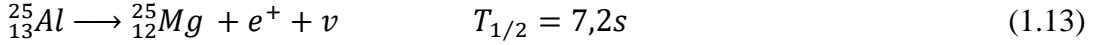


Üç işlemde, bir nötrino veya antineutrino (ν veya $\bar{\nu}$) olarak adlandırılan başka bir parçacık da yayınlanır ancak nötrinolar elektrik yüküne sahip değildirler (Krane,

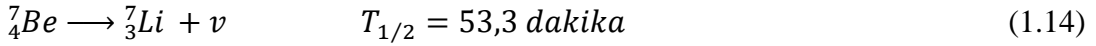
1987). İlk işlem negatif beta (β^-) bozunumu olarak adlandırılır ve bozunma sürecinin bir örneği aşağıdaki gibidir.



İkinci işlem pozitif beta (β^+) bozunumu veya pozitron bozunması olarak adlandırılır. Pozitron bozunma sürecinin bir örneği aşağıdaki gibidir.



Üçüncü işlem ise elektron yakalama olarak adlandırılır ve elektron yakalama sürecinin bir örneği aşağıdaki gibidir.



Bir çekirdekten α veya β parçacığı gibi bir parçacığın yayınlanması genellikle çekirdeği uyarılmış durumda bırakır. Uyarılmış bir durum daha düşük bir uyarılmış duruma veya taban duruma, nükleer durumlar arasındaki farka eşit bir enerjiyle bir gama ışını yayınlamakla geçer (Krane, 2001). Gama ışını yayınlanmasından sonra atom, başka bir atoma dönüşmez. Bozunmanın denklemi,



Kısa dalga boylu elektromanyetik radyasyon olarak bilinen gama ışınları, elektriksel yükleri olmadığı için Coulomb kuvvetine maruz kalmazlar. Bu durum, madde içerisindeki atomları iyonlaştırmadığı anlamına gelmemektedir. Gamma ışınları doğrudan doğruya iyonlaştırıcı değildirler fakat elektromanyetik kuvvet taşıyıcılarıdır. Atomun elektronları ile etkileştiklerinde enerjilerinin büyük bir kısmını hatta tamamını kaybedebilirler. Alfa ve beta parçacıklarından daha fazla giricidirler ve yüksüz oldukları için elektrik ve manyetik alanda sapmazlar.

Gama ışınları madde ile etkileşmesi çoğunlukla,

- Fotoelektrik olay

- Compton saçılması (Thomson ve Rayleigh Saçılmasını içeriyor)
- Çift oluşum

şeklinde gerçekleşir.

Bu etkileşmeler gama ışınlarının iki önemli özelliklerini açıklamaktadır. Birincisi gama ışınları madde içerisinde yüklü parçacıklarla karşılaştırıldığında daha uzun mesafelere nüfuz edebilirler, ikincisi ise gama ışınları belli bir kalınlıktaki malzemeyi geçince enerjilerinde bir azalma meydana gelmez, yalnızca şiddetlerinde bir azalma olur Özetle, fotoelektrik olay, Compton saçılması ve çift oluşumu gama ışınlarının madde ile etkileşmesinde katkıda bulunurlar (Krane, 1987). Tablo 1.1'de, parçacıkların özelliklerinden bazıları gösterilmiştir.

Tablo 1.1. Işımlar ve özellikleri

Parçacık	Sembol	Kütle	Nüfuz Gücü	İyonizasyon Gücü	Durdurma
Alpha	α	4 amu	Çok Düşük	Çok Yüksek	Kağıt, deri
Beta	β	1/2000 amu	Orta	Orta	Aluminyum
Gama	γ	0(yalnız enerji)	Çok Yüksek	Çok Düşük	2 inçlik kurşun

1.3. Doğal Radyoaktivite

Büyük patlamadan sonra güneş sisteminin oluşumuna kadar geçen 10×10^9 yıl boyunca oluşan elementlerin büyük bir kısmı radyoaktiftir ve o zamandan beri kararsız çekirdekler bozunmaktadırlar. Buna doğal radyoaktivite denmektedir. Kütle numarası (proton sayısı), $Z > 83$ olan tüm çekirdekler kendiliğinden radyoaktiftir. $Z < 83$ olan elementler hem kararlı hem de kararsız izotoplara sahiptir, bu elementlerin tümü nükleer bozunmaya uğrayarak farklı elementlere dönüşebilirler (Kurnaz, 2009).

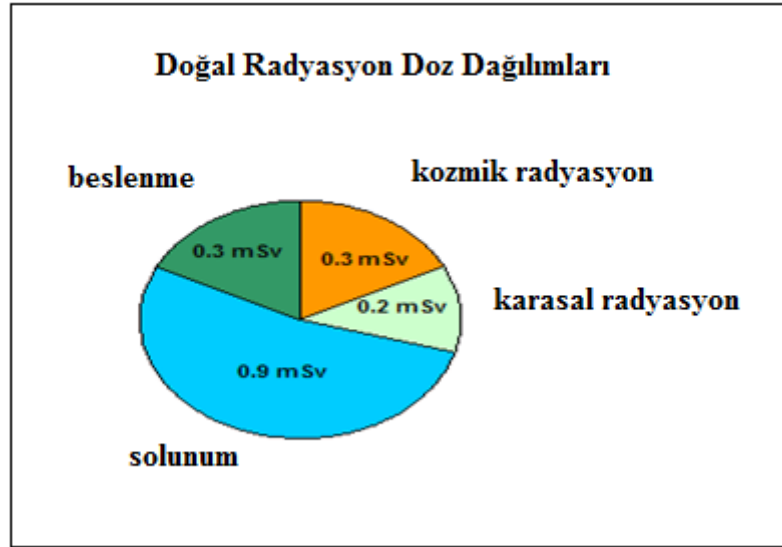
1.3.1. Doğal Radyasyon Kaynakları

Radyasyon doğanın bir bileşenidir. İnsanların maruz kaldıkları radyasyona en büyük katkı doğal radyoaktif elementlerden ileri gelmektedir. Tüm canlı organizmalar, zamanın başından beri, radyoaktiviteye maruz kalmış ve hâlâ kalmaktadırlar. Doğal radyasyon temelde üç kaynaktan meydana gelmektedir.

1. Dış uzay radyasyonu: Güneş ve yıldızlar kozmik radyasyon, dış uzaydan dünyaya ulaşır ve rakımdaki değişiklikler, iklim koşulları ve Dünya'nın manyetik alanı bu kozmik ışınların büyüklüğünü (veya dozunu) değiştirebilir. Kozmik ışınlar dolayısıyla maruz kaldığımız dozun ortalama 0,39 mSv/y'dır.
2. Karasal radyasyon: Dünyanın kendisi karasal radyasyon kaynağıdır. Karasal gama radyasyonun ana kaynağı ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th ve ^{40}K kökenlidir. ^{238}U elementinin bozunma ürünü olan radon (^{222}Rn) gazı %55 lik bir oranla doğal radyasyon düzeyini belirleyen etkenler arasında en büyük paya sahiptir. Radyoaktif elementler toprakta, kaya ve su içerisinde bulunurlar. Doğada mevcut olan radyoaktif elementlerin yaydığı gama ışınlarının katkısıyla maruz kaldığımız karasal radyasyon dozunun dünya ortalaması 0,46 mSv/yıl'dır.
3. Dahili (iç) radyasyon: Her insan, öncelikle vücutlarında bulunan radyoaktif ^{40}K ve ^{14}C 'den kaynaklanan iç radyasyona sahiptir. Solunum yoluyla akciğerlere alınan radon ve bozunma ürünleri de iç radyasyona katkı sağlayan diğer bir etkidir. Yiyecek, içecek ve tenefüs ettiğimiz havadan maruz kaldığımız dozun dünya ortalaması yaklaşık 0,25 mSv/yıl'dır. İnsanlardaki dahili radyasyon oranı, karasal ve dış uzay kökenli radyasyon ile kıyaslandığında daha düşüktür (Şekil 1.4 ve Tablo 1.2) (UNSCEAR, 2000).

Tablo 1.2. Doğal kaynaklardan alınan ortalama radyasyon dozu

Kaynak	Dünya çapında ortalama yıllık etkili doz (mSv/y)	Özgün aralık (mSv)
Harici maruz kalma		4 amu
Kozmik ışınlar	0,4	0,3-0,1
Karasal gama ışınları	0,5	0,3-0,6
Dahili maruz kalma		
Solunma (çoğunlukla radon)	1,2	0,2-10
Yutma (yemek ve içme suyu)	0,3	0,2-0,8
Toplam	2,4	1-10



Şekil 1.4. Doğal radyasyon dozları (UNSCEAR, 2000)

1.3.1.1. Hava ve sudaki radon seviyesi

Doğal radyoaktiviteye en büyük katkı, doğal olarak radyoaktiviteye sahip bir gaz olan radondan kaynaklanır (Tablo 1.2). Radon, uranyumun bozunma zincirinde yer alan, kayalarda ve toprakta bulunan radyumun bozunmasından kaynaklanan bir

gazdır. Radon terimi genellikle ^{222}Rn 'ye karşılık gelir. Radon dünyanın hemen her yerinde, özellikle havada, toprakta ve suda bulunur. Yeraltı kayaçları doğal uranyum içerir ve böylece sürekli temas eden suya (yeraltı suyu) radon bulaşmış olur. Radon yüzey suyundan kolayca yayılır. Sonuç olarak, yeraltı suyunun yüzey suyundan çok daha fazla radon konsantrasyonu içerdiği bilinen bir gerçekliktir. Ortalama radon konsantrasyonu, yüzey sularından alınan halka açık su kaynaklarında genel olarak 0,4 Bq/L'den ve yeraltı su kaynaklarında yaklaşık 20 Bq/L'den daha düşüktür. Suların içilmesiyle vücut içerisine doğrudan radon kaynaklı radyasyon dozunun alınmasının yanı sıra, evlerde musluktan akan su dolayısıyla iç mekan havasındaki radon seviyesinin yükselmesi de mümkündür (NCRP, 1989). Çünkü kapalı ortamlardaki radon, hem sudan hem de evin toprakla birleştiği zeminden kaynaklanmaktadır.

İnsan sağlığı ile ilgili kuruluşlar, içme suyunda bulunan radonun soluma yoluyla alınan dozunun 0,025 mSv/y ve sindirim yoluyla alınan dozunun da 0,002 mSv/y olduğunu hesaplamış ve bu değerlerin atmosferdeki radon ve bozunma ürünlerinden alınan dozla (1,1 mSv/y) ile karşılaştırıldığında oldukça düşük düzeyde olduğunu bildirmişlerdir (UNSCEAR, 2000).

1.3.2. Yapay İyonlaştırıcı Radyasyon Kaynakları

Doğal radyoaktiviteye ek olarak, uygarlığın evrimi sonucu radyasyon geçmişi yapay olarak büyütülmüştür (Şekil 1.5). Yapay radyasyon kaynakları temelde 3 ana başlık altında toplanabilmektedir.

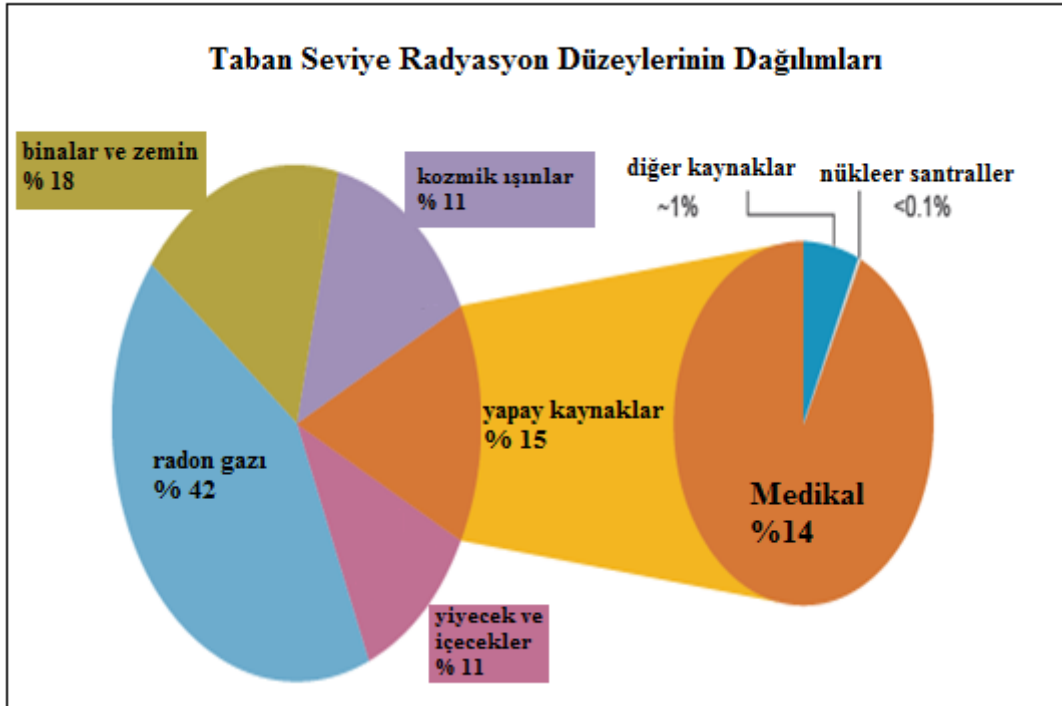
Atmosferik testler: İkinci Dünya Savaşı'nın sona ermesinden 1980'lerin sonlarına kadar yapılan nükleer silahlar deneyleri, serpinti adı verilen radyoaktif maddeleri havaya yaymıştır. Serpinti toprağa yerleştikçe, çevreye entegre olmuştur. Serpentinin çoğunluğu kısa yarı ömre sahip olduğundan artık görülmemektedir, ancak bazıları halen bozunmaya devam etmektedir. Hem insanlık hem de çevre, yıllık olarak serpinti miktarından daha düşük dozlara maruz kalmaktadır.

Tıbbi kaynaklar: Radyasyonun tıpta birçok kullanımı vardır. En yaygın kullanım, hastalıkların teşhisinde kullanılan X-ışını (röntgen) makineleridir. Bir başka örnek,

kanser gibi hastalıkların teşhisi ve tedavisi için radyoaktif izotoplar kullanan nükleer tıptır.

Endüstriyel kaynaklar: Radyasyon, yol yapımında kullanılan nükleer göstergelerden fabrikalardaki borulardan geçen malzemenin akışını ölçen yoğunluk göstergelerine kadar endüstride farklı birçok kullanım çeşitliliğine sahiptir. Ayrıca duman tespiti, bazı akkor ışıklı (karanlıkta parlayan) çıkış işaretleri için ve petrol yataklarındaki rezervlerin ölçülmesinde de kullanılmaktadır.

Nükleer Yakıt Döngüsü: Nükleer enerji santrallerinde (NES), sonuçta elektrik üretmek için türbinleri çalıştıran buhar üreten bir zincir reaksiyonu başlatmak için uranyum kullanılmaktadır. Normal faaliyetlerinin bir parçası olarak, NES'ler insanları düşük doz radyasyona maruz bırakacak seviyelerde radyoaktif madde yayarlar. Aynı şekilde, uranyum madenleri, yakıt üreten santraller ve radyoaktif atık fabrikaları, halkın maruz kaldığı dozdan bir miktar sorumludur.



Şekil 1.5. Radyasyon kaynaklarından alınan doz oranlarının dağılımı (UNSCEAR, 2000)

1.4. Ölçüm Birimleri

1.4.1. Radyoaktivite Birimi

Radyoaktivite birimi, Becquerel'dir (Bq). Bir Becquerel radyoaktif bir parçacığın saniyedeki bozunma miktarıdır. Eski ve hala güncel bir radyoaktivite ölçüm birimi olan Curie (Ci), Becquerel (Bq) ile bir bağıntı ile ilişkilendirilir.

$$1 Ci = 37 GBq = 37000 MBq \quad (1.16)$$

Bir Curie büyük bir radyoaktivite birimidir. Bir başka pratik dönüşüm ise,

$$1 Bq = 27 pCi \quad (1.17)$$

şeklindedir.

Becquerel ve Curie, bir kaynaktan salınan radyasyon enerjisinin değil bir oranının ölçüsüdür.

1.4.2. Radyasyon Enerji Birimi

İyonlaştırıcı radyasyonun enerjisi elektron volt (eV) ile birimlendirilir. Elektron volt çok küçük bir enerji miktarıdır. Sık kullanılan çoklu birimler, kilo elektron volt (KeV) ve mega elektron volt (MeV)'tur ve farklı ilişkilendirmeler de mevcuttur,

$$6200 \text{ milyar MeV} = 1 \text{ Joule} \quad (1.18)$$

$$1 \text{ Joule/saniye} = 1 \text{ Watt} \quad (1.19)$$

$$1 \text{ KeV} = 1000 \text{ eV} \quad (1.20)$$

$$1 \text{ MeV} = 1000 \text{ KeV} \quad (1.21)$$

1.4.3. Absorbe Edilen Radyasyon Dozu Birimi

İyonlaştırıcı radyasyon insan vücudu ile reaksiyona girdiğinde enerjisini vücudun dokularına salıverir. Emilen doz, doku veya organın her bir birim ağırlığında emilen enerji miktarıdır ve Gray (Gy) birimleriyle gösterilmiştir. Bir Gray dozu, organın kilosu veya doku ağırlığı başına absorbe edilen bir joule radyasyon enerjisine eşittir. SI sistemi kullanılmaya başlamadan önce radyasyon dozu, maddede enerji birikimi olan (havadan başka) Rad adlı bir birim ile belirtilirdi. En sık kullanılan ilişkilerden bazıları şunlardır:

$$1 Gy = 100 Rad \quad (1.22)$$

$$1 Rad = 100 \text{ erg/g} \quad (1.23)$$

$$1 Rad = 0.01 Gy \quad (1.24)$$

Farklı radyasyon türlerinin doku veya organa zarar verdiği yolu açıklamak için radyasyon dozu, Sievert (Sv) biriminde eşdeğer doz olarak gösterilir. Sv'deki doz, radyasyon ağırlıklandırma faktörü (W_R) ile çarpılan toplam (harici ve dahili) absorbe edilen doza eşittir. Eşdeğer doz, genellikle radyasyon terminolojisinin günlük kullanımında "Doz" olarak adlandırılır. Daha önceden doz eşdeğeri veya doz birimi olarak Rem kullanılırdı.

$$1 Sv = 100 Rem \quad (1.25)$$

1.4.4. Radyasyona Maruz Kalma

Radyasyona maruz kalma, fotonlardan iyonize edici radyasyona bağlı olarak bir kilogram havanın iyonlaşmasının bir ölçüsüdür; yani, gama ışınları ve X ışınları. Bu radyasyonla serbest kalan elektrik yükünün belirtilen havanın kütlesine bölünmesiyle tanımlanır. Bu doz X birimi ile tanımlanır,

$$1 X \text{ birimi} = 1 \text{ c/kg air} \quad (1.26)$$

X-ışını ve gama radyasyonuna maruz kalma, röntgen (R) olarak ifade edilir. Röntgen birimi atmosferde var olan iyonlaşma miktarını temsil etmektedir.

$$1 R = 0.877 Rad \quad (1.27)$$

$$1 R = 1 sc/cm^3 \quad (1.28)$$

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Çalışma Bölgesi

Kastamonu, Türkiye'nin Karadeniz Bölgesi'nin batısında bulunan, 41 derece 21' kuzey enlemi ile 33 derece 46' doğu boylamları arasında yer alan bir şehirdir (Şekil 2.1). Deniz seviyesinden yüksekliği 775m olan bölgenin yüzölçümü 13108 km² olup, Bartın, Karabük, Çankırı, Çorum ve Sinop illeri ile ortak sınırları vardır. Kastamonu'nun yüzölçümünün %74,6'sı dağlık ve ormanlık, %21,6'sı plato ve %3,8'i ovadandır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), 2018 yılı adrese dayalı nüfus kayıt sistemi sonuçları verilerine göre şehir nüfusu yaklaşık 384.000'dir. Yıllık yağış ortalaması, bölge için yaklaşık 481,9 mm'dir. Kastamonu'da şehir içi musluk suyunun büyük bir kısmı Karacomak Barajı'ndan sağlanmaktadır. Baraj, etraftaki derelerden ve yağmur suyundan beslenmektedir (Kurnaz ve Çetiner, 2016). Ayrıca Kastamonu ili Bayındırlık ve İskân Bakanlığı tarafından 1996 yılında yayımlanan, halen geçerli olan resmi deprem bölgeleri haritasına göre I. derece deprem bölgesinde yer almaktadır. Kastamonu il sınırlarının ise %46'sı I. derece, %22'si II. derece, %24'ü III. derece ve %8'i IV. derece deprem bölgesinde bulunmaktadır (Özmen, 2011).



Şekil 2.1. Kastamonu ili haritası (Kurnaz ve Çetiner, 2016)

2.2. Su Örneklerinin Toplanması

Kastamonu ili için yürütülmüş olan bu çalışmada kullanılacak su örnekleri için 2 farklı sınıflandırma gözönüne alınmıştır. 1. grup için şehir merkezinde ve Türkiye'nin çoğu şehrinde tüketilen, ticari olarak satılan, farklı markalara ait 21 adet 500 ml ambalajlı su örnekleri toplanmıştır. 2. grup olarak ise Kastamonu şehir merkezinde bulunan evlerden musluk suları (31 örnek) temin edilmiştir. Su örnekleri, hane halkının izni ile 500 ml'lik polietilen ve vida kapaklı şişelere doldurulmuş ve analizlerinin yapılabilmesi için Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarına getirilmiştir. Suların radon konsantrasyonlarının belirlenmesi için Kastamonu Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü bünyesinde bulunan Alpha Guard PQ 2000 Pro aktif radon monitörü, sulardaki elementel içeriğin belirlenebilmesi için Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı bünyesinde bulunan Spectro marka, SpectroBlue model İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES) ve sulardaki radyonüklit analizlerinin yapılabilmesi için yine Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı bünyesinde bulunan ORTEC marka, GEM50P4-83 model Yüksek Safılıkta Germanyum Dedektörlü Gama Ölçüm Sistemi (HpGe dedektörü) kullanılmıştır.

2.3. Alpha Guard PQ 2000 Pro Aktif Radon Monitörü

AlphaGUARD, büyük saklama kapasitesine sahip çok yönlü, ölçümler esnasında doğrudan bir güç kaynağına bağlanabildiği gibi yüksek kapasiteli dahili bataryası sayesinde 10 güne kadar sürekli ölçüm yapabilen, portatif bir radon gazı ölçüm cihazıdır. Alfa radyasyonunun iyonize edici özelliğe sahip olmasından dolayı cihaz buna uygun bir iyonizasyon odasına sahiptir. İyonizasyon odası paslanmaz çelikten yapılmıştır ve detektör besleme gerilimi DC 750 voltur. Cihazın toplam hacmi 0,62 litredir, ancak detektör etkin bir şekilde bunun 0,56 litrelik kısmını kullanmaktadır. Atmosferdeki radon konsantrasyonuyla birlikte ortam sıcaklıklarını, bağıl nemi ve kendine ait sensörlerle atmosferik basıncı değerlendirip ve kaydetme özelliklerine sahiptir.

Sahip olduğu ideal geometrisi sayesinde cihaz, 2-2000000 Bq/m³ arasındaki radon konsantrasyonlarının tutarlı bir şekilde gözlemlenebilmesi için uygun olarak tasarlanmıştır. AlphaGUARD mükemmel tanımlama etkinliği, kapsamlı bir tahmin alanı, hızlı yanıt ve uzun süreli kalibrasyon ayarlamaları ile bakım gerektirmeyen aktivite ölçümleri sağlamaktadır. Yazılımı ve donanımı sayesinde cihaz modülü iki farklı şekilde çalışabilmektedir.

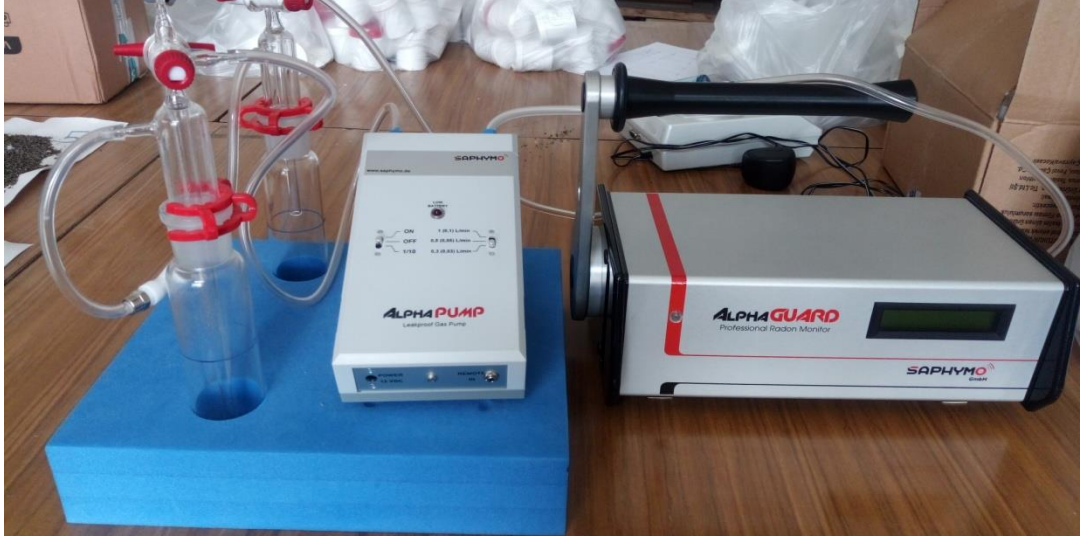
- 60 dakika ölçüm döngüsünde çalışan 10 yanıtlı difüzyon modu.
- 10 dakika ölçüm döngüsünde çalışan 1 dakika yanıtlı akış modu.

Difüzyon modu kullanılırken cihaz 10 dakikalık veya 1 saatlik döngülerle veri kaydederken, akış modunda 1 dakika veya 10 dakikalık veri kaydetme seçeneklerine sahiptir.

AlphaGUARD ile havadaki, sudaki ve topraktaki radon gazı konsantrasyonları ölçülebilmektedir. Havada yapılacak ölçümler için doğrudan cihazın kendisi kullanılırken, su ve toprakta yapılacak ölçümlerde ilave donanımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Difüzyon modunda çalışırken (uzun süreli ölçüm) pompa (cihaza ait ilave donanım) kullanılmasına ihtiyaç yoktur fakat akış modunda çalışırken Alpgapump adı verilen pompanın da sisteme bağlanması gerekmektedir (Fotoğraf 2.1). Cihazın temel kurulumu bir AlphaGUARD Radon Monitor ve DataEXPERT veritabanı programlama paketinden oluşmaktadır. DataEXPERT yazılımı, verilerin bilgisayara aktarılıp düzenlenebilmesine imkan sağlamanın yanı sıra, RS-232 üzerinden AlphaGUARD cihazının kurulum verilerine erişilmesine de olanak sunmaktadır.

1. AlphaGUARD, ²²²Rn, hava sıcaklığı, atmosferik basınç ve atmosferik nem, sistem durumu vb. Tarafından tahmin edilen tüm bilgileri veri tabanında tutar.
2. Çok sayıda değişken bilgisi kullanıcının tercihine göre gösterilebilir ve değiştirilebilir
3. Ölçülen verilerin sürekli değişimi için çevrimiçi kapasite.

4. DataEXPERT programı ile cihaz hafızasındaki veriler doğrudan elektronik tablo yazılımına dönüştürülebilir (örneğin, MS-EXCEL) (Genitron Instrument, 2012).



Fotoğraf 2.1. Alpha Guard PQ 2000 Pro radon görüntüleme sistemi

2.3.1. Alpha Guard PQ 2000 Pro Aktif Radon Monitörü ile Sudaki Radon Ölçümü

Su örneklerindeki radon konsantrasyonlarını belirlemek için Fotoğraf 2.1’de verilmiş olan sistemin kurulumu gerçekleştirilmiştir. Radon monitörü açılarak menülerinden 1 min FLOW (1 dakikalık akış mod) seçilmiştir. Ölçüm yapılacak olan şişe boşken bir ölçüm yapılmış ve bu değer background (doğal fon) değeri olarak kaydedilmiştir. Ölçümü yapılacak su örnekleri ölçümden önce hiçbir ön işlemde geçmeden doğrudan ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Öncelikle ölçüm ve güvenlik şişelerinin başlıkları saat 3 konumuna getirilmiş ve ölçümü yapılacak olan su örneği ölçüm şişesine doldurulmuştur. Şişelerin saat 3 konumundaki başlıkları hızlı şekilde saat 6 konumuna getirilip, radon monitörünün kendisi, pompa ve şişeler kullanılarak kapalı bir gaz çevrimi elde edilmesi amaçlanan sistem kurulmuştur. Radon monitörü çalıştırılmış ve Pompa (AlphaPUMP) ‘0,3 L/min’ hava akış oranına ayarlanarak ölçüm başlatılmıştır. 10 dakikalık döngü işleminden sonra pompa kapatılmış, fakat AlphaGUARD cihazı radon ölçümünün devam etmesi için 20 dakika daha açık bırakılmıştır. Bu işlemlerin sonucunda bir örnekteki radon konsantrasyonu

belirlenmiştir. Daha sonra ölçümü yapılan su örneği ölçüm şişesinden boşaltılmış, temizlenmiş ve düzenek tekrar kurulmuştur. Herbir ölçümden sonra AlphaGUARD'ın arka kısmında bulunan aktif adaptörün tüp bağlantısı kesilmiş ve pompanın performans seviyesi “1 L/min” hava akış oranına ayarlanarak ölçüm düzeneğinin ortam havası ile temizlenmesi sağlanmıştır. Cihazın hafızasında depolanan tüm verilerin analizlerinin yapılabilmesi için AlphaGUARD bilgisayara bağlanmış ve veri analizleri Dataexpert yazılımı kullanılarak yapılmıştır.

Su örneklerindeki cihazın verdiği radon konsantrasyonu değeri, ölçümü yapılan örneğin gerçek radon konsantrasyonu değildir. Çünkü su içindeki radon, cihaz içine düzenek içindeki hava ile sürüklenmektedir ve bu havanın da bu değere katkısı olduğu anlamına gelmektedir. Bu nedenle örnek içindeki radon konsantrasyonunun hesaplanması,

$$C_{su} = \frac{C_{hava} \left(\frac{V_{sistem} - V_{örnek}}{V_{örnek}} + k \right) - C_0}{1000} \quad (2.1)$$

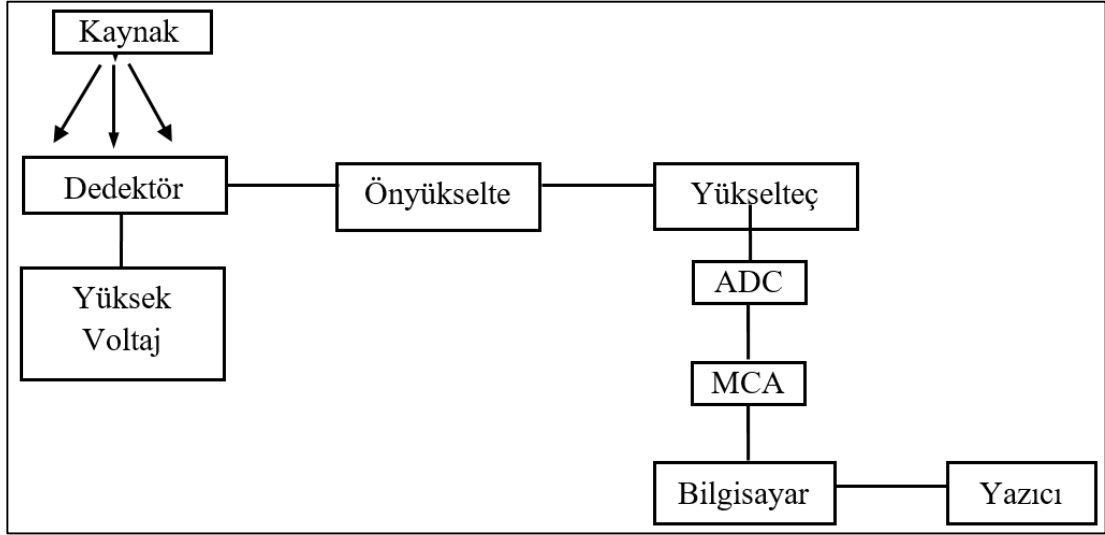
denklemleri ile gerçekleştirilir (Kurnaz ve Çetiner, 2016).

Burada; C_{su} : su örneğinin radon konsantrasyonu (Bq/L); C_{hava} : ölçüm sonucunda cihazda belirtilen konsantrasyon değeri (Bq/m³); C_0 : background (doğal fon) konsantrasyonu (Bq/m³); V_{sistem} : ölçüm düzeneğinin dahili hacmi (1102 mL); $V_{örnek}$: su örneğinin hacmi (100 mL); k : radon yayılma katsayısı'dır. Radon yayılma katsayısı (k), sıcaklığa bağlı olarak değişim göstermekte ve artan sıcaklık değerlerine karşılık azalmaktadır. Bunun nedeni sıcaklık artışı ile radon gazının sıvı halden gaz hale geçişinin hız kazanmasıdır.

2.4. Yüksek Saflıklı Germanyum Dedektörü (HpGe)

Çalışmada kullanılmış olan su örneklerinin radyoaktivite analizleri için, Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı'nda bulunan çok kanallı gama spektroskopisi kullanılmıştır. Gamma spektroskopik ölçümler 1332,5 keV'de 1,9 keV rezölüsyona ve % 50' lik relatif verime sahip olan ORTEC, GEM50P4-83 model yüksek saflıkta coaxial Ge dedektörü kullanılarak yapılmıştır (Fotoğraf 2.2.)

Dedektör, önyükselteç, spektroskopi yükselteci, analog sayımları elektronik sinyallere dönüştüren ADC sistemi, çok kanallı analizörden (MCA) oluşmaktadır. Şekil 2.2’de sistemin şeması verilmektedir.



Şekil 2.2. Gama spektrometre sisteminin şeması (Kurnaz, 2009)

a) Dedektör: Gama ışınlarını ölçmek için kullanılan dedektörlerde, gelen foton kristalle etkileşime girerek enerjisini kaybeder. Bu etkileşimlerin bir sonucu olarak, kristalde elektron çiftleri meydana gelir ve detektöre uygulanan yüksek voltaj aracılığıyla oluşturulan elektrik alan tarafından bu çiftler diyotlara sürüklenir. Radyasyonun enerjisiyle orantılı olan bu yük, analizörde ölçülebilen bir voltaj darbesi oluşturur.

b) Yüksek Voltaj Ünitesi: Dedektörün yük birikimi için gerekli elektrik alanını üretmek için voltaj sağlayan ünedir.

c) Ön yükselteç: Ön yükselteç, dedektörden gelen pulsları depolanan enerji ile orantılı olarak voltaj sinyaline dönüştürür. Elektronik devreler için gelen atımları şekillendirir ve genişletir. Dedektör ve elektronik devre arasında empedans eşleşmesi sağlar. Ön yükselticinin ilk devresi alan etkili bir transistördür ve dedektöre yakın konumlandırılır. Hemen hemen tüm dedektörler çok düşük genlik darbeleri ürettiğinden ve uzun bir kablo kullanımında sinyal kapasitif yüklenme gürültüsü arasında kaybolabileceğinden, ön yükselticiler düşük gürültülü gerçek sinyaller elde

etmek için dedektöre çok kısa kablolarla bağlanır ve ön yükselticinin girişi detektör ile aynı şekilde soğutulur, yani sıvı azot sıcaklığında tutulur.

d) Yükselteç: Ön yükselticinin darbelerinin, darbe yüksekliğinin analiz edilebileceği ve en iyi enerji ayrılmasını sağlayacak şekilde yükseltilmesini sağlar. Modern sistemler için maksimum çıkış darbesinin genliği 2 V ile 10 V arasında değişir. Çoğu yükselteç, hem tek kutuplu çıkış (sinyalin tepe noktası tamamen pozitif ya da tamamen negatif) hem de bipolar çıktı (sinyal hem pozitif hem de negatif bileşenlere sahiptir) ile donatılmıştır. En iyi sinyal-gürültü oranını elde etmek için, yükselticinin tek kutuplu çıkışı seçilir.

e) Analog Dijital Dönüştürücü (ADC): Spektroskopi yükselticisinden gelen sinyalleri, genlikleriyle orantılı olarak dijital bir sisteme dönüştürür. Burada ölü zaman çok önemlidir. Ölü zaman, birim zaman başına kazanç veya dönüşümdeki artışla orantılı olarak artar. ADC meşgul olduğunda bu durum oluşur. ADC genellikle darbe yüksekliği analizinde kullanılır.

f) Çok Kanallı Analiz Cihazı (MCA): Çok Kanallı Analiz cihazları genellikle darbe-yükseklik cihazlarıdır. MCA'daki en önemli devre veya bileşen, analog-dijital dönüştürücüdür (ADC). Burada, her gelen puls sayısal olarak dönüştürülür ve genliğine orantılı bir hafıza kanalına yerleştirilir. Her kanal belirli enerjiye tekabül eder ve sayma sırasında gelen darbelerin birikimi ile tepe noktaları üretilir.

Bilgisayar hafızasında toplanan spektrumların analiz edilebilmeleri için, hangi kanalın hangi enerjiye karşılık geldiğinin bilinmesi gerekir. Böylece örnekte bulunan radyoaktif çekirdek türleri bulunabilir. Enerji kalibrasyonunun yapılabilmesi için önceden enerjileri bilinen çekirdeklerden oluşmuş standart bir kaynağa ihtiyaç vardır. Enerji ve verim kalibrasyonu için enerjileri 80–1400 keV arasında değişen ^{109}Cd , ^{57}Co , ^{133}Ba , ^{22}Na , ^{137}Cs , ^{54}Mn , ve ^{60}Co 'ın piklerini içeren standart nokta kaynaklar kullanılmıştır. Tablo 2.1'de enerji kalibrasyonu için kullanılan standart kaynaklara ait bilgiler verilmektedir.

Tablo 2.1. Kalibrasyon kaynaklarının özellikleri

İzotoplar	Enerji (keV)	Yarı-ömür (gün)	Bolluk (%)
¹³³ Ba	81	3830	33
¹⁰⁹ Cd	88	464	3,72
⁵⁷ Co	122,1	271	86
⁵⁷ Co	136,5	271	11
¹³³ Ba	276,4	3830	6,9
¹³³ Ba	302,8	3830	19
¹³³ Ba	356	3830	62
¹³³ Ba	383,8	3830	8,7
²² Na	511	946	180
¹³⁷ Cs	661,6	11022	85
⁵⁴ Mn	834,8	313	100
⁶⁰ Co	1173,2	1922	100
²² Na	1274,5	946	100
⁶⁰ Co	1332,5	1922	100

Dedektör verimi, dedektörde sayılabilir büyüklükte puls üreten fotonların sayısının, dedektöre gelen fotonların sayısına oranı ya da dedektörde sayılabilir büyüklükte puls üreten fotonların yüzdesi olarak tanımlanır. Dedektörün saydığı gama sayımlarının gerçek değerini bulabilmek için dedektöre ait verim düzeltmesinin yapılması gerekir. Verim tayini için IAEA-RGK-1 (Potassium Sulfate), IAEA-RGTh-1 (Thorium Ore), IAEA-RGU-1 (Uranium Ore) standart kaynakları kullanmıştır.



Fotoğraf 2.2. HpGe dedektör

2.4.1. HpGe Dedektörü İle Sudaki Radyonüklit Konsantrasyonlarının Belirlenmesi

Kastamonu ilinden toplanan su örnekleri hiçbir ön işlemde geçirilmeden doğrudan deneysel sistemin geometrisine uygun olan, çapı 6 cm ve yüksekliği 5 cm olan şeffaf ve beyaz vida kapaklı polisteyn kutuların içine konulmuştur. Örnek kutularının ağızları sıkıca kapatmış ve parafilm ile sızdırmaz hale getirildikten sonra 1 ay süreyle bekletilmiştir. Böylece, ^{238}U ve ^{232}Th ürünleri arasındaki radyoaktif dengenin oluşması sağlanarak örnekler sayıma hazır hale getirilmiştir. Bekleme süresi dolan örnekler HpGe dedektörü kullanılarak 50000 sn sayılmış ve ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçümü tamamlanan örneklerden elde edilen spektrumların bilgisayar ortamında analizleri yapılmış ve aktivite konsantrasyonları hesaplanmıştır.

Ölçümler sonucu elde edilen radyonüklitlerin aktivitelerini hesaplamak için,

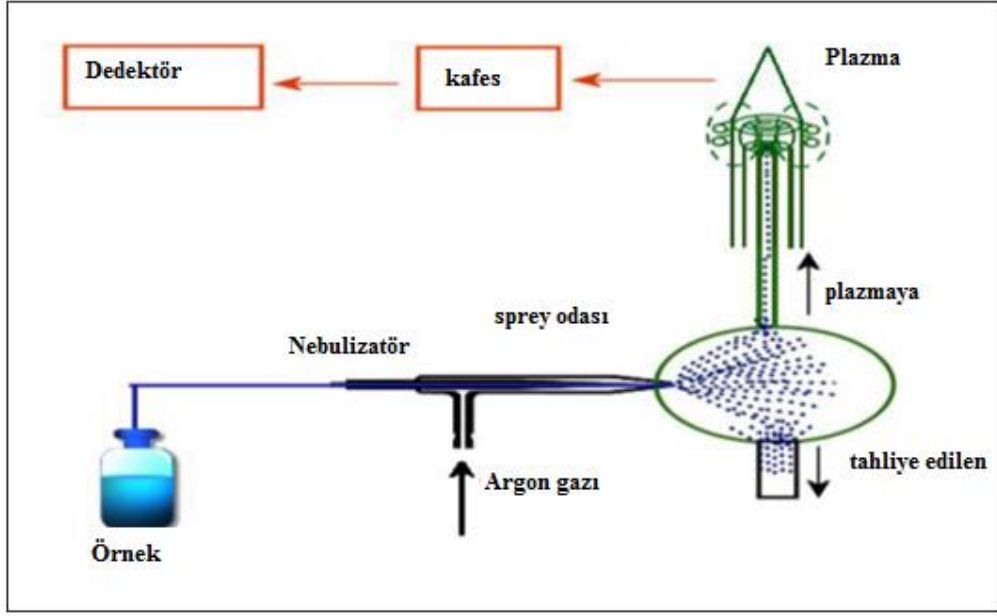
$$Aktivite = \frac{Net Alan}{Sayım Süresi \times Numune Miktarı \times Bolluk \times Verim} \quad (2.2)$$

denklemini kullanılmıştır.

2.5. Endüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES)

ICP-OES, birçok elementin nicel tayininde kullanılan ve düşük derişim seviyelerinin belirlenmesinde son derece başarılı olan analitik bir metottur. Cihazının temel prensibi, çözelti durumunda bulunan örneklerin içerisindeki elementlerin, yüksek sıcaklıktaki plazmaya (6000-10000 °C) püskürtülerek gaz fazına geçmesi esasına dayanmaktadır. Bu elementlerin, plazmada kurur, parçalanır, atomlaşır, iyonlaşır ve uyarılır. Uyarılmış durumageçen elementlerin yaydıkları ışın bir spektrometre ile ölçülür ve bir bilgisayar programı ile değerlendirilerek çözelti içindeki element miktarlarının belirlenmektedir. Plazma, katyon ve elektronları içeren, elektrik akımını ileten gaz karışımı olarak tanımlanır. ICP-OES cihazında plazmayı çoğunlukla inert bir gaz olan argon gazı oluşturmaktadır ve ICP kaynağı iyonlaşmış bir argon gazı akışı ile genellikle 27 veya 40 MHz' lik güçlü bir radyofrekans alanının eşleştirilmesi ile elde edilir. Metot, 1974'ten beri ticari olarak kullanılmakta olup güvenilirliği, çok elemanlı seçimleri ve yüksek başarısı sayesinde, daha spesifik analizlerde olduğu gibi geniş çapta araştırmada kullanılmaktadır.

Analiz edilecek çözelti, bir nebülizör vasıtasıyla spreyc bölmesine bir pompa ile gönderilir. Üretilen aerosol, argon plazmasına yönlendirilir. ICP-OES'de plazma, bir alternatif akımın geçtiği soğutulmuş bir endüksiyon bobini tarafından oluşturulur. Sonuç olarak, elektronları dairesel bir yörüngeye hızlandıran alternatif bir manyetik alan üretilir. Argon atomu ile elektronlar arasındaki çarpışma nedeniyle stabil plazmaya yol açan iyonizasyon gerçekleşir. Termal enerjiyi elektronlardan elde etmenin bir sonucu olarak, elektronlar daha büyük "uyarılmış" bir duruma geçerler. Elektronlar temel durumlarına geri döndüklerinde, enerji ışık şeklinde yayınlanır (foton). Her bileşenin spektrometre ile belirlenen, kendine özgü bir emisyon spektrumu vardır. Dalga boyu üzerindeki ışık yoğunluğu hesaplanır ve derecelendirme bir konsantrasyonda hesaplanır. Tipik bir ICP-OES cihazının tasarımı Şekil 2.3'de gösterilmektedir.



Şekil 2.3. ICP-OES cihazının şematik gösterimi (URL-4)

Çalışmada kullanılan su örneklerinin elementel analizleri için, Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı'nda bulunan SPECTRO, SpectroBlue model İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES) kullanılmıştır (Fotoğraf 2.3.)



Fotoğraf 2.3. ICP-OES spektrometresi

2.5.1. ICP-OES Spektrometresi ile Sudaki Element Analizleri

Su numuneleri, içerisinde partikül kalmayacak şekilde Whatman mikrofiltrelerden süzölmüş ve başka bir ön işlem uygulanmadan doğrudan işleme alınmıştır. ICP-OES için temin edilen multielement standart stok çözeltisi (Merck, Germany) kalibrasyon standartlarının hazırlanmasında kullanılmıştır. Standart stok çözeltisi istenilen elementlere göre farklılık göstermektedir. Bu yüzden analize başlanmadan önce analize uygun standart çözelti seçilmiştir. Daha sonra hazırlanan örnekler ve kalibrasyon çözeltileri ICP-OES cihazında analiz edilmiştir.

ICP-OES cihazında metallerin konsantrasyonları ölçölürken cihaz kendiliğinden üç ölçüm yapmaktadır (n=3). Daha sonra bu üç ölçümün ortalaması alınmakta ve standart sapma hesaplanmaktadır. Çalışmada kullanılan cihazın analiz parametreleri Tablo 2.2.'de verilmektedir.

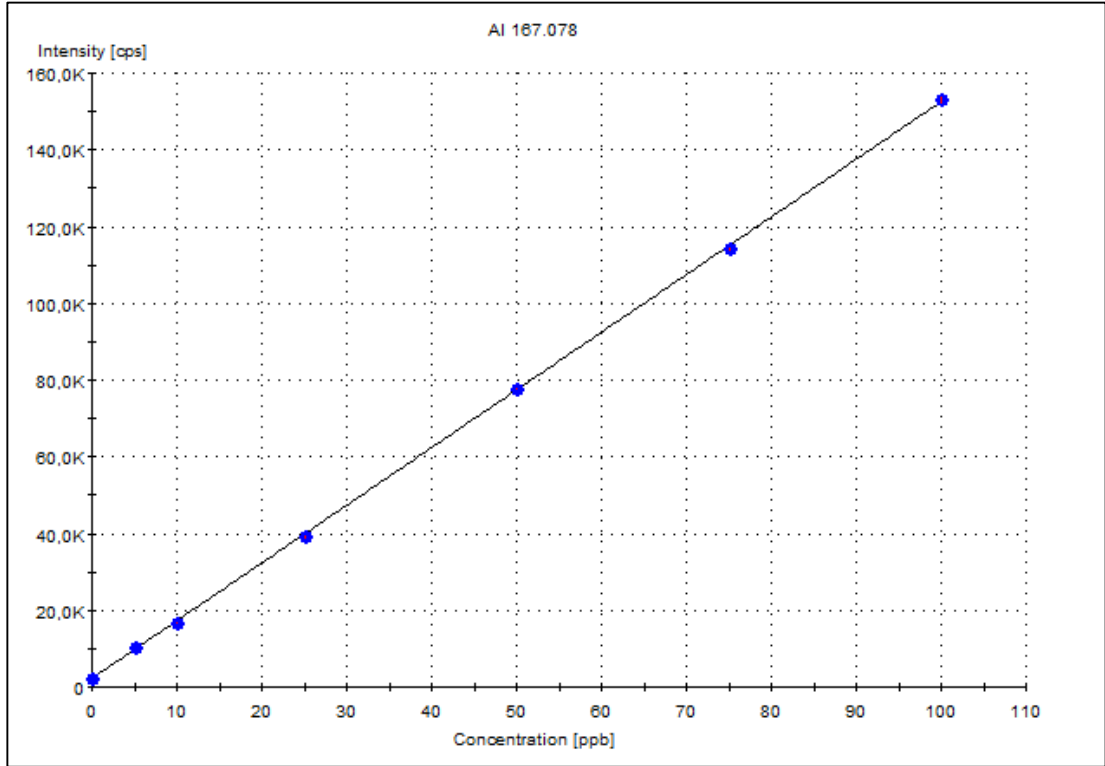
Tablo 2.2. ICP-OES çalışma parametreleri

Instrument	SPECTRO BLUE II
Dalga boyu	nm
Tekrarlayıcı	3
Püskürtme odası	Cyclonic
Nebulizatör akışı (L/min)	0,8
Plazma torku	Quartz
Soğutucu akışı (L/min)	13
Yardımcı gaz akışı (L/min)	0,8
Örnek pompalama hızı (rpm)	30
Plazma gücü (W)	1200

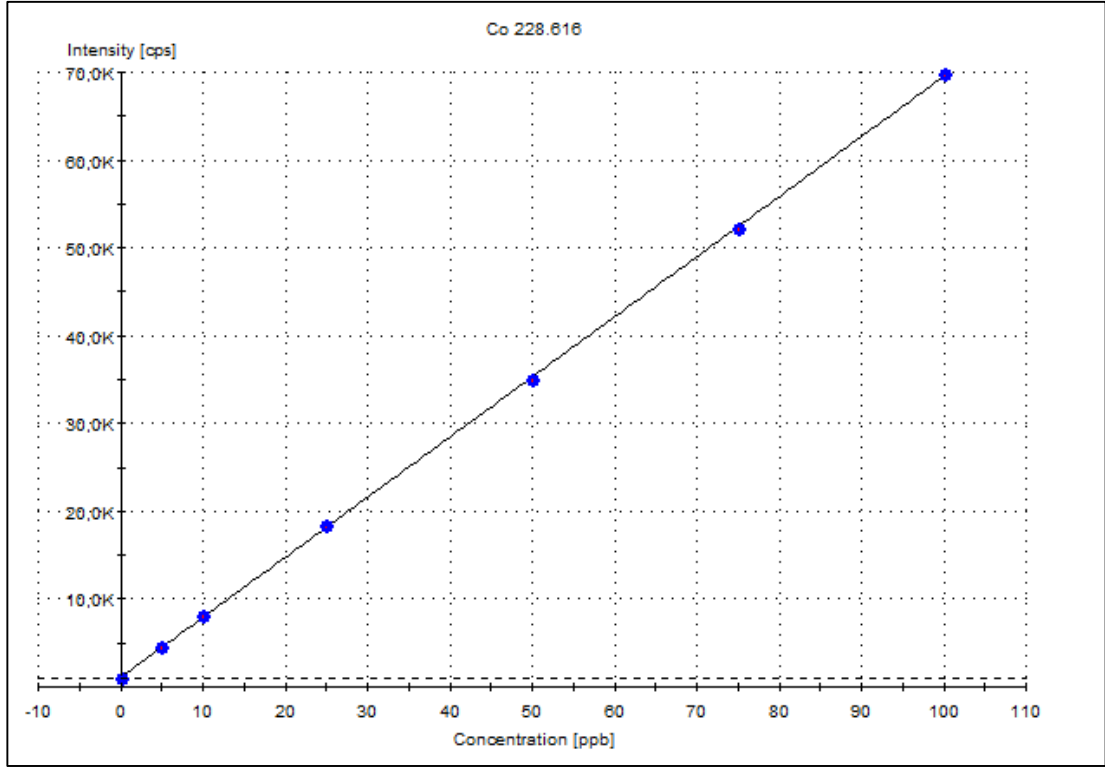
Su örneklerinin analiz işlemleri için ICP-OES ölçümlerinde kullanılan dalgaboyları Tablo 2.3'de, kalibrasyon grafikleri ise Grafik 2.1.- Grafik 2.13'de verilmektedir.

Tablo 2.3. ICP-OES ölçümlerinde kullanılan elementler ve dalgaboyları

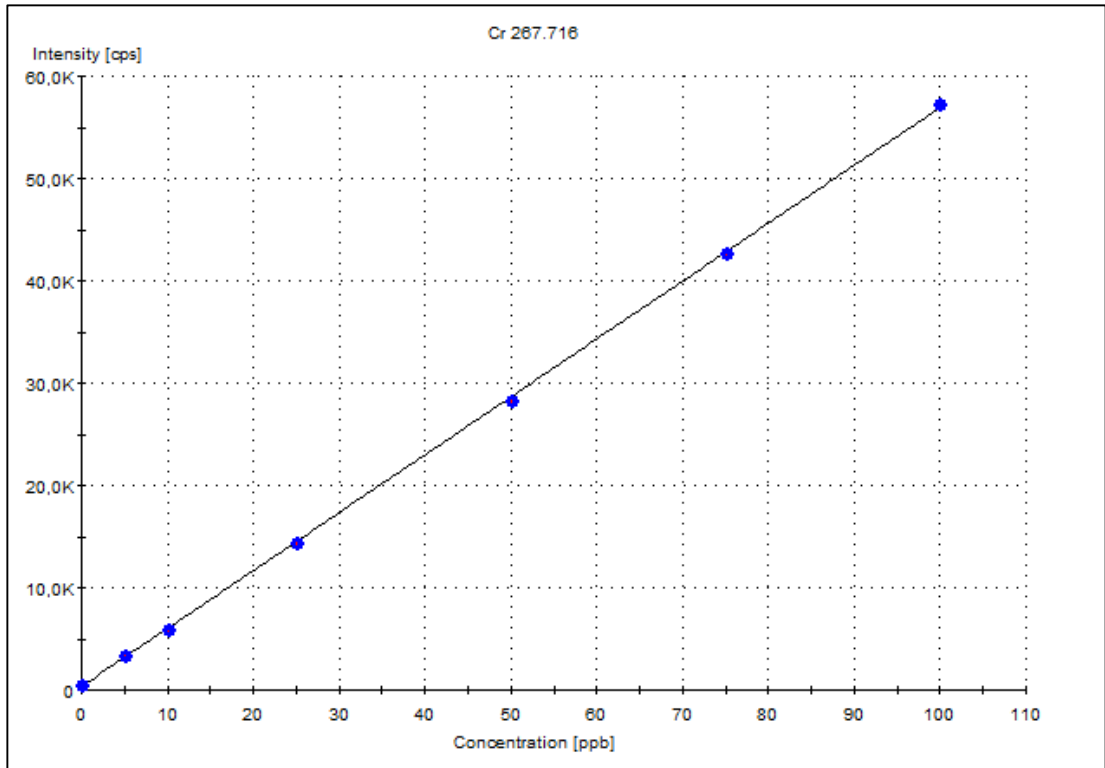
Element	Dalgaboyu (nm)	Element	Dalgaboyu (nm)
Al	167,078	Fe	259,941
Ag	328,068	Mg	202,647
As	189,042	Mn	257,611
Ba	455,404	Na	589,592
Ca	396,847	Ni	231,604
Co	228,616	Zn	213,856
Cr	267,716		



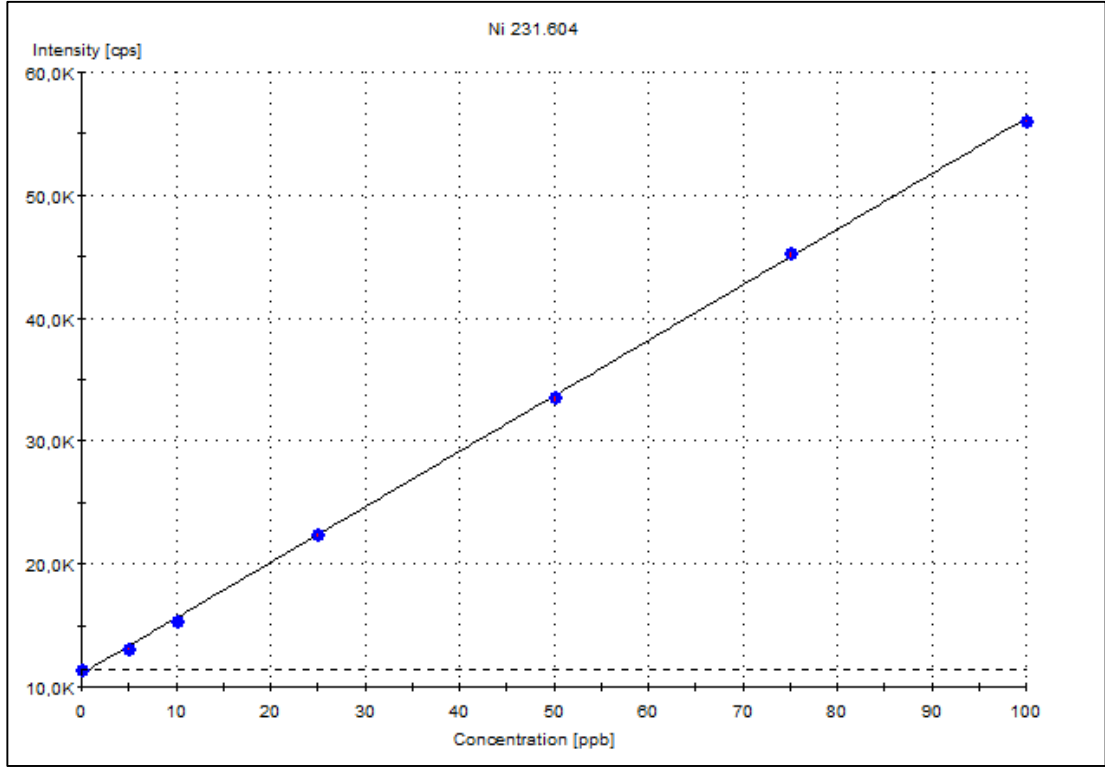
Grafik 2.1. Al için kalibrasyon grafiği



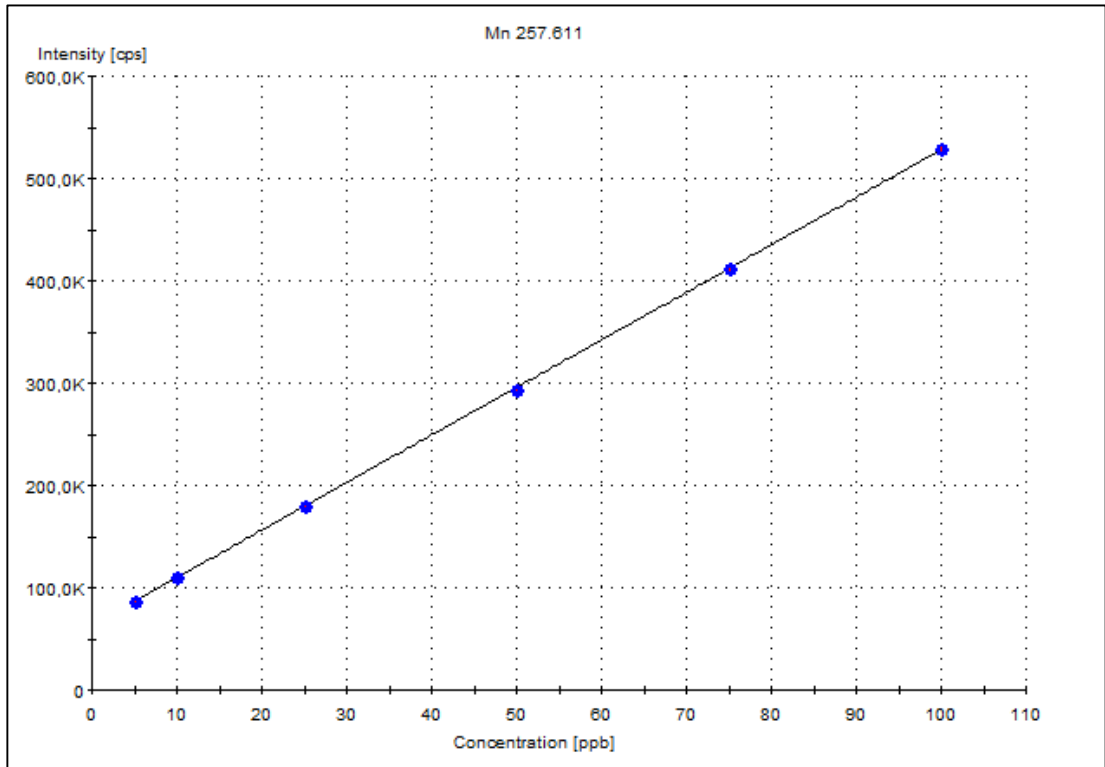
Grafik 2.2. Co için kalibrasyon grafiği



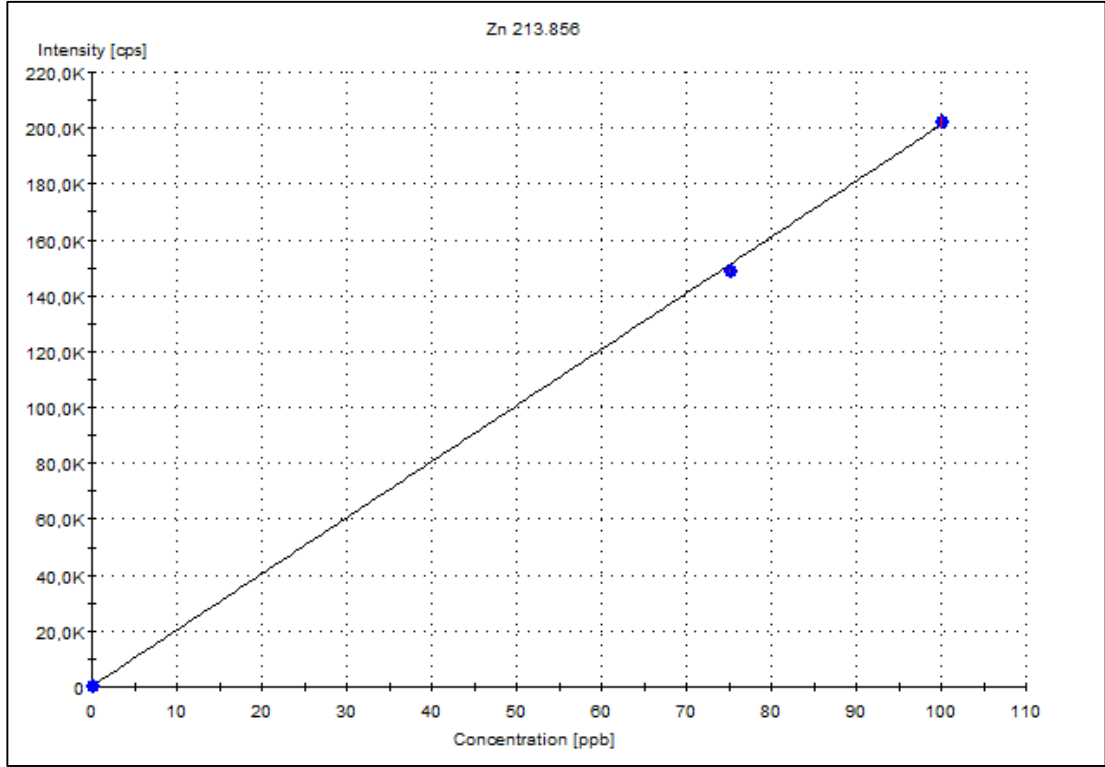
Grafik 2.3. Cr için kalibrasyon grafiği



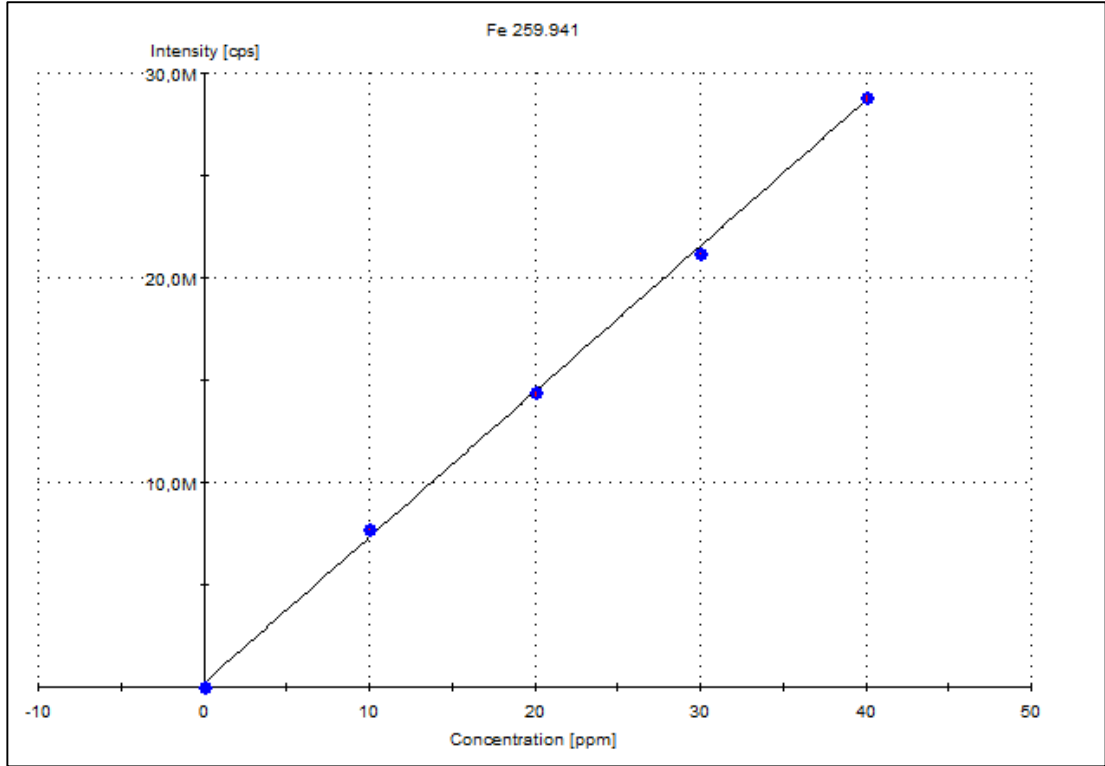
Grafik 2.4. Ni için kalibrasyon grafiği



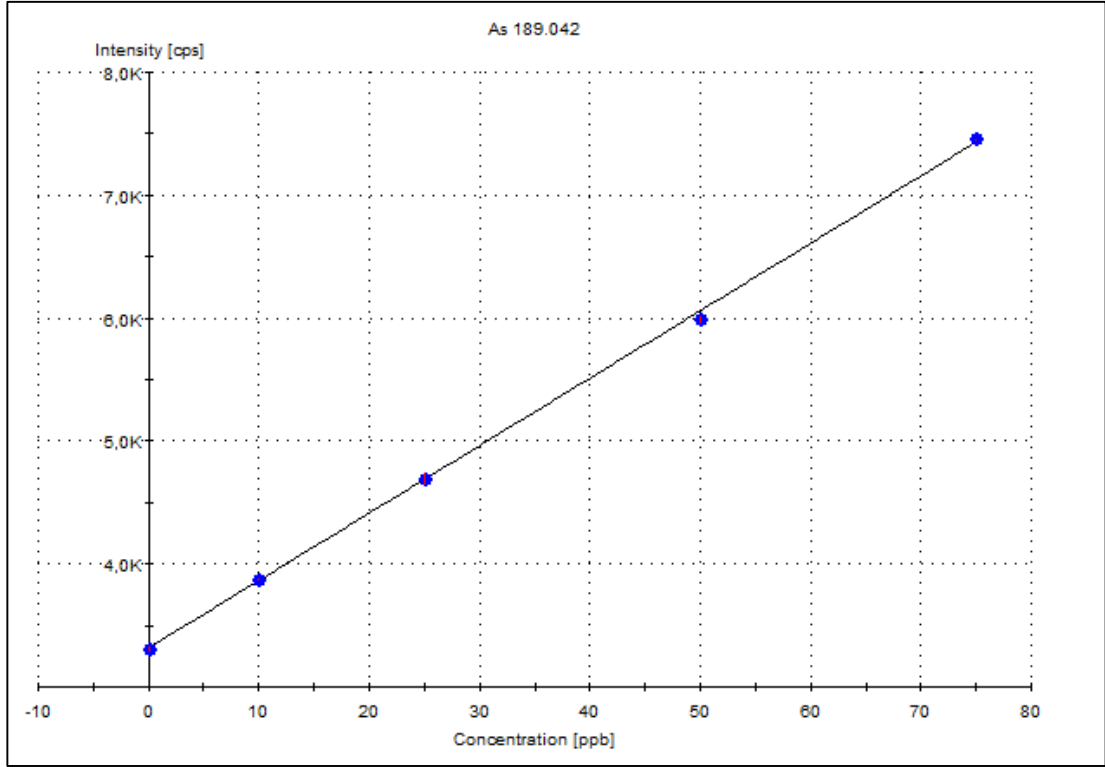
Grafik 2.5. Mn için kalibrasyon grafiği



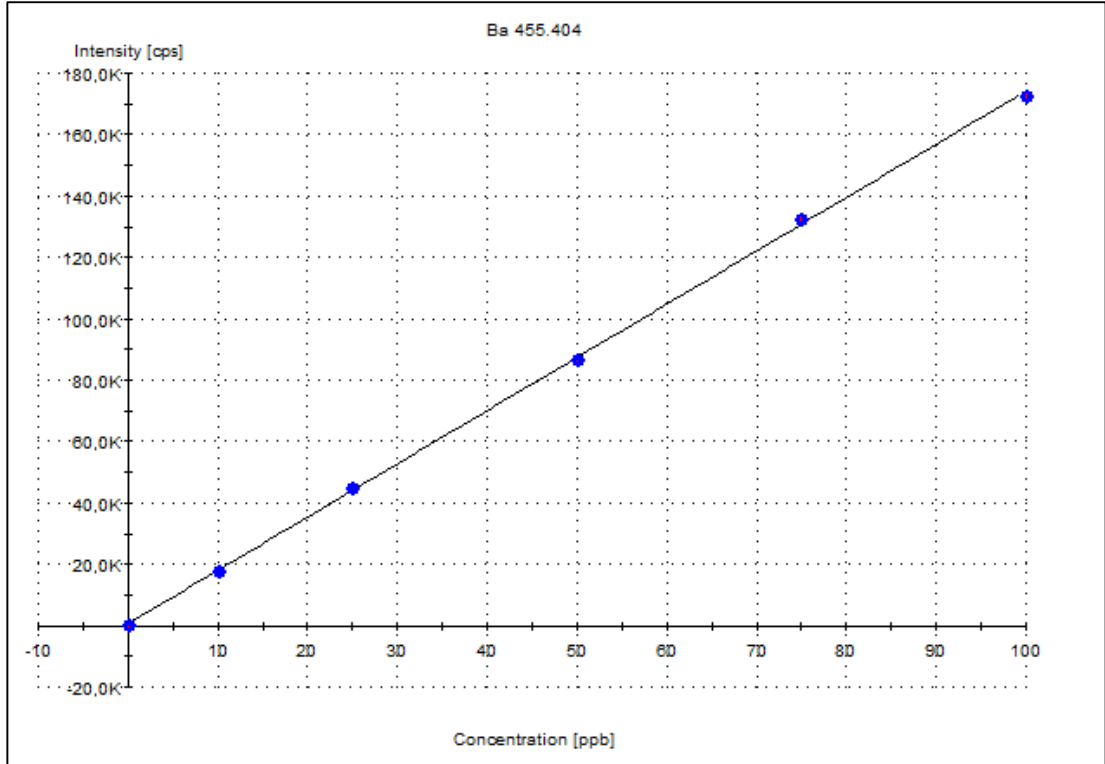
Grafik 2.6. Zn için kalibrasyon grafiği



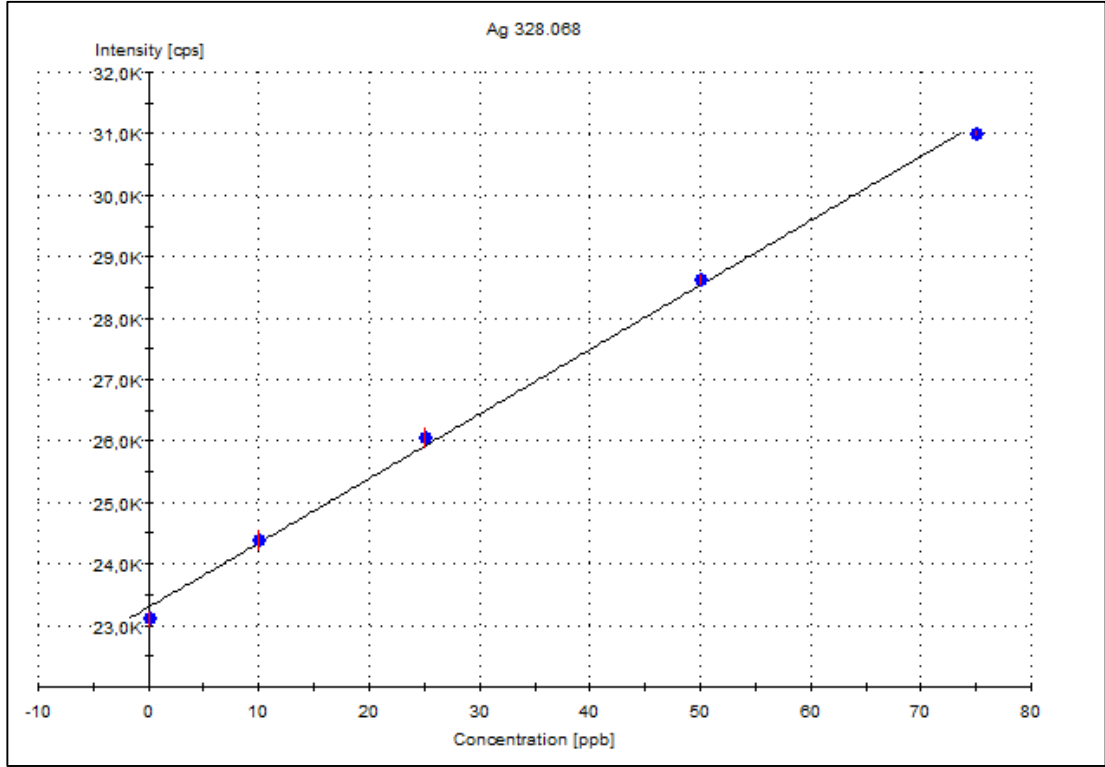
Grafik 2.7. Fe için kalibrasyon grafiği



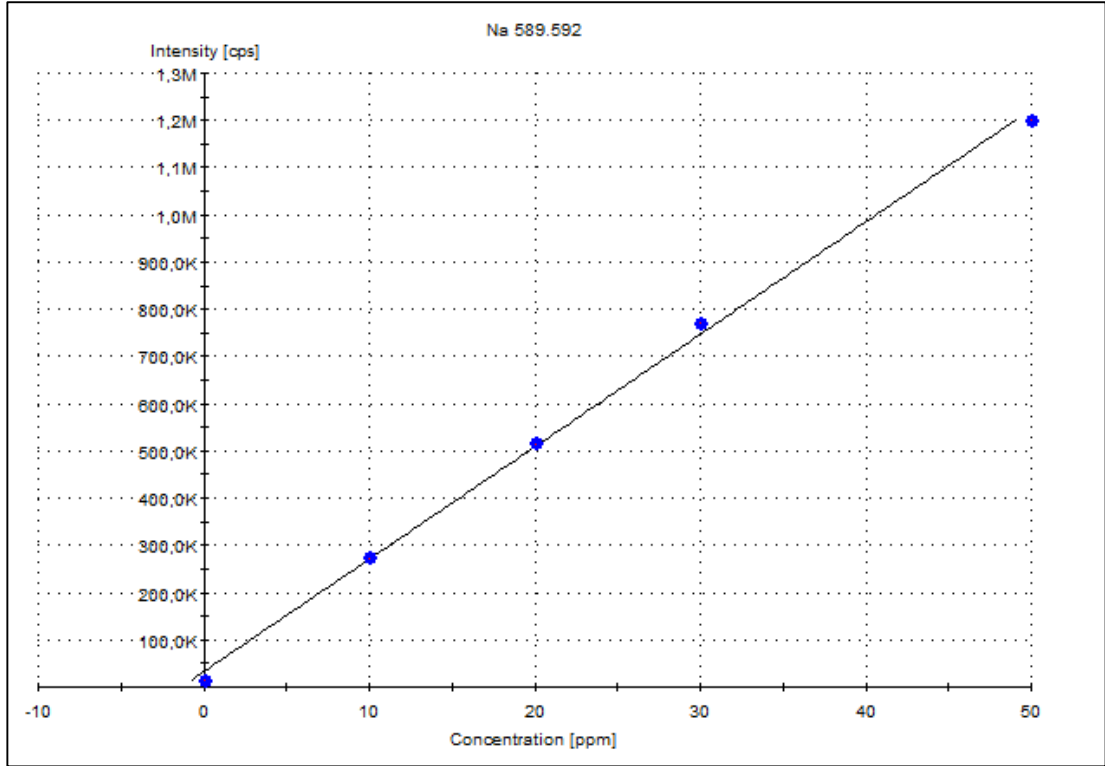
Grafik 2.8. As için kalibrasyon grafiği



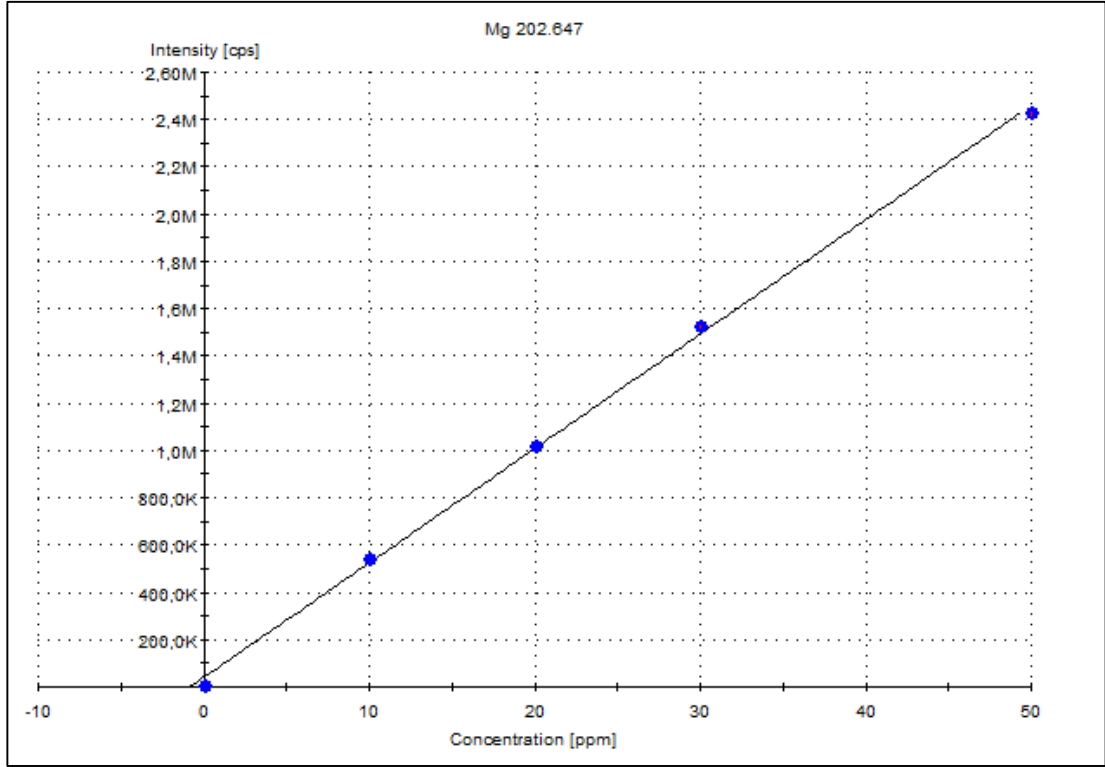
Grafik 2.9. Ba için kalibrasyon grafiği



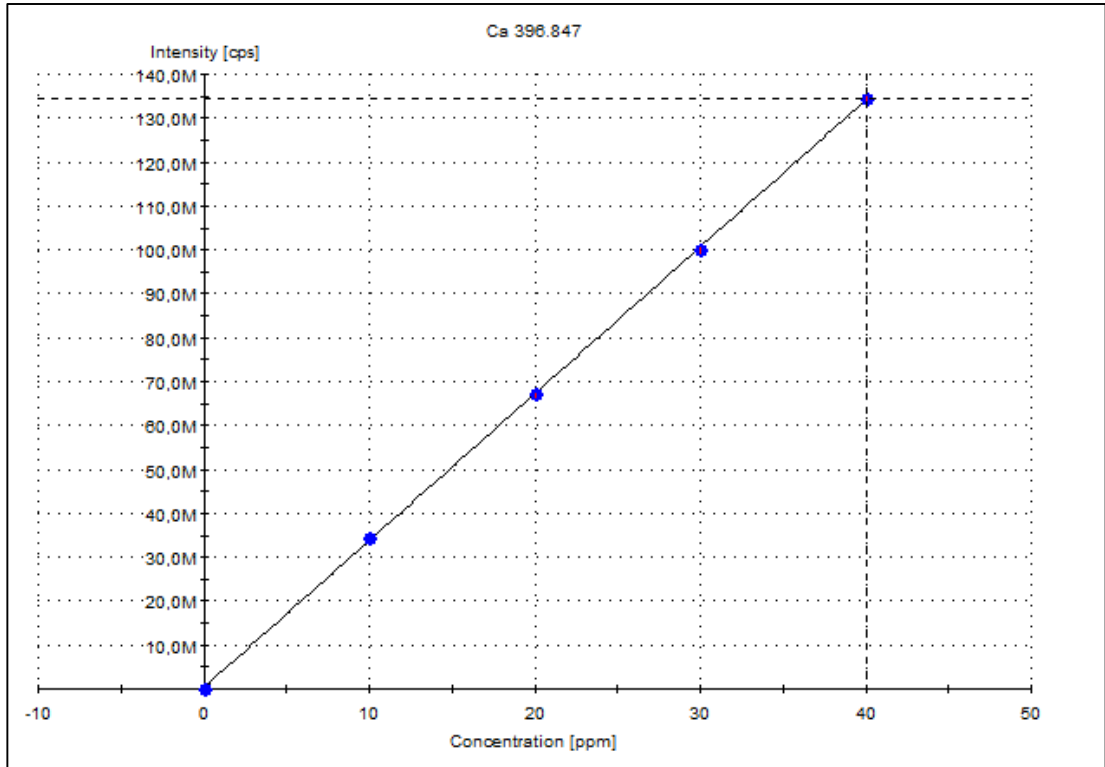
Grafik 2.10. Ag için kalibrasyon grafiği



Grafik 2.11. Na için kalibrasyon grafiği



Grafik 2.12. Mg için kalibrasyon grafiği



Grafik 2.13. Ca için kalibrasyon grafiği

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

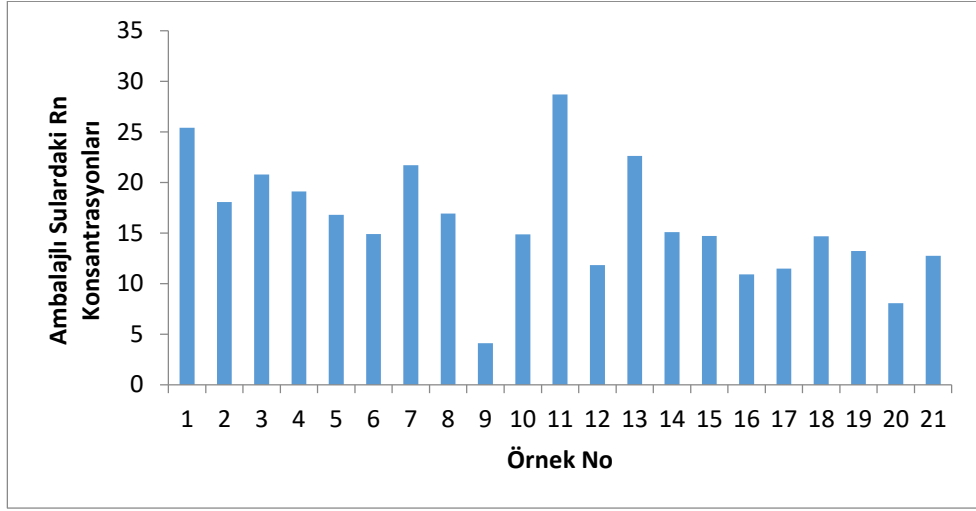
Bu çalışmada, Kastamonu ilinde tüketilen musluk suyu ve ticari olarak satılan ambalajlı sularda bulunan doğal (^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K) ve eğer var ise yapay radyonüklit (^{137}Cs) konsantrasyonlarının, element analizleri ile su örneklerindeki ana element ve ağır metal konsantrasyonlarının ve yine su örneklerinde bulunan (^{222}Rn) radon gazı miktarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Kastamonu ilinden toplanan su örneklerinin gamma spektrometrik analizi yapılmış ve radyoaktivite konsantrasyonları hesaplanmıştır. Ayrıca su örneklerinde ağır metallerin bulunduğu tespit edilmiş ve insan sağlığına verebileceği riskler değerlendirilmiştir. Çalışma bölgesinden toplanan su örneklerindeki ^{222}Rn konsantrasyonları belirlenmiş ve ilgili kuruluşların referans değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bölgesel sular için elde edilen sonuçların insan sağlığını etkileyip etkilemediği, ilgili kurumların tavsiye edilen referans değerleri ile karşılaştırılarak insan sağlığı açısından değerlendirilmiş, tablo ve grafikler halinde sunulmuştur.

3.1. Su Örneklerinde Radon Konsantrasyonu

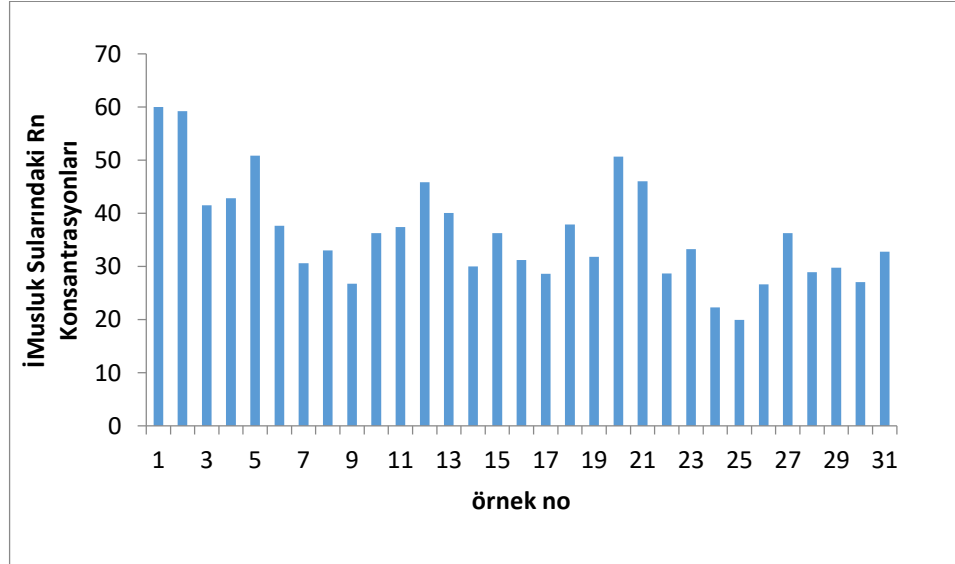
İçme suyunun radon konsantrasyonu insan sağlığına etki eden faktörlerin değerlendirilmesi açısından önemli bir konudur, çünkü halka açık doğal radyasyon maruziyetine en büyük katkı radondan kaynaklanmaktadır. Radona bağlı radyasyon dozu, sindirim yolu ile alınan doz ve solunum ile alınan doz şeklinde iki bölüme ayrılabilir. Radon suda çözünür ve içme suyunda yüksek konsantrasyonlar bulunursa bu durum önem arz eder (Kendall ve Smith, 2002). Bazı durumlarda su, musluktan çıktıktan hemen sonra, radonu havaya salmadan önce tüketilir. Bu su doğrudan sindirim sistemine gider. Burada bozunuma uğrayan radon ve kısa yarı ömürlü bozunma ürünlerinden alfa radyasyonu yayınlanır. Yayınlanan bu radyasyon kan yolu ile tüm vücutta taşınır (WHO, 2004).

Çalışma bölgesinden temin edilen su örneklerinin analizlerinde aktif radon monitörü kullanılmıştır. Sonuçlar cihazdan Bq/m^3 birim sisteminde elde edilmiş ve Bq/L 'ye çevirilmiştir. Ambalajlı su ve musluk suyu örneklerinde elde edilmiş olan ^{222}Rn konsantrasyonları sırasıyla Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de verilmektedir. Radon, ^{238}U 'nun

beşinci bozunma ürünü olan ^{226}Ra 'nın radyoaktif bozunumundan kaynaklanan doğal olarak oluşan bir radyoaktif gazdır. Ambalajlı su örneklerinde radon konsantrasyonları 4,09 ile 28,69 Bq/m³ arasında değişim göstermektedir. Ambalajlı sulardaki en düşük radon konsantrasyonunun 9 numaralı numune içinde ölçüldüğü, en yüksek radon konsantrasyonunun 11 numaralı numune içinde ölçüldüğü görülmektedir (Tablo 3.1 ve Grafik 3.1).



Grafik 3.1. Ambalajlı sulardaki radon konsantrasyonlarının dağılımı



Grafik 3.2. Musluk sularındaki radon konsantrasyonlarının dağılımı

Musluk suyu örneklerinde ölçülen radon konsantrasyonları 19,94 ile 60 Bq/m³ arasında değişmektedir. Tablo 3.2 ve Grafik 3.2'den, musluk suyunda en düşük radon

konsantrasyonunun 25 numaralı örnek içinde ölçüldüğü, en yüksek radon konsantrasyonunun ise 1 numaralı örnekte ölçüldüğü görülmektedir.

Ölçülen su örneklerindeki radon konsantrasyonları ABD Çevre Koruma Ajansı (USEPA) ve BM Radyasyon Etkisi Komitesi (UNSCEAR) nin verdiği sınır değerler ile karşılaştırılmış ve Kastamonu ilinde tüketilen gerek ambalajlı (21 farklı marka) gerekse musluk sularının (31 musluk suyu örneği) hiçbirinin USEPA'nın verdiği 11 Bq/L ve UNSCEAR'ın verdiği 40 Bq/L'yi aşmadığı tespit edilmiştir (UNSCEAR, 1993; USEPA, 1994).

3.1.1. Yıllık Etkin Dozun Hesaplanması

İnsanların maruz kaldığı radyasyon dozu ile ilgili olarak, su kaynaklı radon sudaki diğer tüm kirleticilerden daha yüksek bir risk olabilmektedir (Kurnaz ve Çetiner, 2016). Musluk suyundaki radona, su kullanıldığında havaya salınan radonun solunmasından ve suyun doğrudan içilmesinden dolayı maruz kalınabilmektedir. Solunun yoluyla alınan radon için yıllık etkin doz eşdeğeri AEDE ($\mu\text{Sv}/\text{y}$) denklem kullanılarak hesaplanır.

$$AEDE_{inh}(\mu\text{Sv}/\text{y}) = A(\text{Bq}/\text{L}) \times A_{WC} \times O \times EF \times DCF \times 1000 (\text{L}/\text{m}^3) \quad (3.1)$$

burada, A, sudaki ^{222}Rn aktivite konsantrasyonu (Bq/L), A_{WC} , hava su konsantrasyon oranı (10^{-4}), O, yılda 7.000 saatlik iç mekan kullanımı, EF, radon ve bozunma ürünleri arasındaki denge faktörü (0,4) ve DCF, radon maruziyeti 9 ($\text{nSv} / \text{Bqm}^{-3}\text{h}$) için doz dönüşüm faktörüdür (UNSCEAR, 2000).

Sindirim yoluyla alınan radon için yıllık etkin doz eşdeğeri ise,

$$AEDE_{ing}(\mu\text{Sv}/\text{y}) = DCF \times A_{Rn} \times VA \quad (3.2)$$

denklemini kullanılarak hesaplanır. Burada; DCF, doz dönüşüm faktörü veya doz katsayısı ($(3,5 \times 10^{-9} \text{ Sv}/\text{Bq})$), A_{Rn} , içme suyundaki ortalama radon aktivitesi VA, tüketilen yıllık su miktarıdır (UNSCEAR, 2000).

İnsanların içme suyundan kaynaklanan radondan dolayı maruz kaldıkları yıllık etkin doz değeri ER_n , su kaynaklı radonun hem solunması ($AEDE_{inh}$) hem de sindirilmesiyle ($AEDE_{ing}$) alınan doz değerlerinin toplamı kadardır.

Kastamonu ilinde tüketilen ambalajlı ve musluk sularının yıllık etkin doz değerleri solunum, sindirim ve toplam olarak ayrı ayrı hesaplanmıştır (Tablo 3.1-3.2).

Tablo 3.1. Ambalajlı su örneklerinin radon konsantrasyonları ve yıllık etkin doz değerleri

Örnek no	$^{222}Rn(Bq/m^3)$	$^{222}Rn(Bq/L)$	Yıllık Etkin Doz ($\mu Sv/y$)		
			solunum	sindirim	Toplam
1	25,4	0,0254	0,0640	0,0053	0,0693
2	18,06	0,0181	0,0455	0,0038	0,0493
3	20,79	0,0208	0,0524	0,0044	0,0568
4	19,1	0,0191	0,0481	0,0040	0,0521
5	16,81	0,0168	0,0424	0,0035	0,0459
6	14,91	0,0149	0,0376	0,0031	0,0407
7	21,72	0,0217	0,0547	0,0046	0,0593
8	16,93	0,0169	0,0427	0,0036	0,0462
9	4,09	0,0041	0,0103	0,0009	0,0112
10	14,88	0,0149	0,0375	0,0031	0,0406
11	28,69	0,0287	0,0723	0,0060	0,0783
12	11,83	0,0118	0,0298	0,0025	0,0323
13	22,63	0,0226	0,0570	0,0048	0,0618
14	15,1	0,0151	0,0381	0,0032	0,0412
15	14,71	0,0147	0,0371	0,0031	0,0402
16	10,91	0,0109	0,0275	0,0023	0,0298
17	11,48	0,0115	0,0289	0,0024	0,0313
18	14,68	0,0147	0,0370	0,0031	0,0401
19	13,21	0,0132	0,0333	0,0028	0,0361
20	8,06	0,0081	0,0203	0,0017	0,0220
21	12,73	0,0127	0,0321	0,0027	0,0348

Tablo 3.2. Musluk suyu örneklerinin radon konsantrasyonları ve yıllık etkin doz değerleri

Örnek no	$^{222}\text{Rn}(\text{Bq}/\text{m}^3)$	$^{222}\text{Rn}(\text{Bq}/\text{L})$	Yıllık Etkin Doz ($\mu\text{Sv}/\text{y}$)		
			solunum	sindirim	Toplam
1	60	0,060	0,1512	0,0126	0,1638
2	59,26	0,059	0,1493	0,0124	0,1618
3	41,55	0,042	0,1047	0,0087	0,1134
4	42,88	0,043	0,1081	0,0090	0,1171
5	50,84	0,051	0,1281	0,0107	0,1388
6	37,67	0,038	0,0949	0,0079	0,1028
7	30,6	0,031	0,0771	0,0064	0,0835
8	33,03	0,033	0,0832	0,0069	0,0902
9	26,74	0,027	0,0674	0,0056	0,0730
10	36,29	0,036	0,0915	0,0076	0,0991
11	37,46	0,037	0,0944	0,0079	0,1023
12	45,87	0,046	0,1156	0,0096	0,1252
13	40,09	0,040	0,1010	0,0084	0,1094
14	30,03	0,030	0,0757	0,0063	0,0820
15	36,27	0,036	0,0914	0,0079	0,0990
16	31,21	0,031	0,0786	0,0066	0,0852
17	28,66	0,029	0,0722	0,0060	0,0782
18	37,49	0,038	0,0956	0,0080	0,1036
19	31,84	0,032	0,0802	0,0067	0,0869
20	50,69	0,051	0,1277	0,0106	0,1384
21	46,06	0,046	0,1161	0,0097	0,1257
22	28,67	0,029	0,0722	0,0060	0,0783
23	33,28	0,033	0,0839	0,0070	0,0909
24	22,34	0,022	0,0563	0,0047	0,0610
25	19,94	0,020	0,0502	0,0042	0,0544
26	26,66	0,027	0,0672	0,0056	0,0728
27	36,27	0,036	0,0914	0,0076	0,0990
28	28,95	0,029	0,0730	0,0061	0,0790
29	29,78	0,030	0,0750	0,0063	0,0813
30	27,07	0,027	0,0682	0,0057	0,0739
31	32,78	0,033	0,0826	0,0069	0,0895

Çalışmada incelenen tüm su örneklerindeki, radondan kaynaklı yıllık etkin doz eşdeğerlerinin, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından 100 $\mu\text{Sv}/\text{y}$ olarak belirlenen sınır değerinden çok daha düşük düzeyde olduğu tespit edilmiştir (WHO, 2011).

Tablo 3.3'te, bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ile literatürde içme suyu örneklerinde bulunan radon konsantrasyonlarının karşılaştırılması yapılmıştır.

Tablo 3.3. Sudaki radon konsantrasyonlarının literatürle karşılaştırılması

	Radon Konsantrasyonu (Bq/	Referans
Portekiz	2-1690	Inacio et al 2017
Ürdün	2,5-4,7	Al-Bataina et al., 1997
Venezuela	0-2	Horvath et al., 2000
Brezilya	0,39-0,47	Marques et al., 2004
Kenya	0,80-4,70	Otwoma and Mustapha, 1998
Cezayir	0,26-2,28	Amrani and Cherouati, 1999
Güney Kıbrıs	0,1-2,00	Sarrou and Pashalidis, 2003
Mısır	0,007-2,33	Abbadly et al., 1995
Hindistan	0,87-32,10	Singh et. al., 2009
İtalya	1,80-52,70	Alessandro et. al., 2003
İstanbul/ Türkiye	0,019-0,048	Karahan et al., 2000
Denizli / Türkiye	0,67-25,90	Ereeş et al., 2007
Afyonkarahisar/	0,7-31,7	Yalım et al., 2007
İzmir-Dikili/ Türkiye	0,029-3,08	Yarar et al., 2006
Bursa / Türkiye	0,91-53,64	Tarım et al., 2012
Amasya / Türkiye	0,28-2,4	Öner et al., 2009
Tokat / Türkiye	0,09-1,30	Yiğitoğlu et al., 2010
Bursa/ Türkiye	1,42-53,64	Akar et. al., 2012
Kütahya/ Türkiye	0,1-48,6	Şahin et al., 2013
Konya / Türkiye	1,44-27,45	Erdoğan et al., 2013
Zonguldak/ Türkiye	0,32-88,22	Koray et al., 2014
Yalova/ Türkiye	0,21-5,82	Tabar and Yakut, 2014
Kastamonu/Türkiye	0,025-0,128	Kurnaz ve Çetiner, 2016
Kastamonu/Türkiye	0,0041-0,0287 Bq/L	Bu çalışma
Kastamonu/Türkiye	0,027-0,060 Bq/L	Bu çalışma

Sonuçlar değerlendirildiğinde Kastamonu’da tüketilen içme sularında bulunan radon konsantrasyon değerlerinin, içme suyu örnekleri üzerinde radon konsantrasyonlarının belirlenmesi amacıyla yapılmış olan diğer çalışmaların hemen hemen tümünden daha düşük düzeyde olduğu görülmektedir (Tablo 3.3).

3.2. Su Örneklerinin Element İçeriği

Tüm su örneklerinde bulunan Al, Ag, As, Ba, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Sr, Mn, Ni, Zn, Pb, B, Ca, Mg, Na ve K elementlerini analiz etmek için ICP-OES cihazı kullanılmış ve elde edilen sonuçlar ambalajlı su örnekleri için Tablo 3.4.'de ve musluk suyu örnekleri için Tablo 3.5.'de verilmektedir.

Tablo 3.4. Ambalajlı sulardaki elementlerin ortalama konsantrasyonları

Örnek no	Element Konsantrasyonları (ppb)									
	Al	Ag	As	Ba	Bi	Cd	Co	Cr	Cu	Fe
1	2,058	12,232	0,765	7,993	36,278	1,738	1,037	5,479	10,888	4,186
2	1,491	6,469	0,926	3,970	31,751	0,936	0,56	4,499	4,353	2,341
3	0,907	4,284	2,492	3,346	39,885	0,589	0,378	3,938	2,414	< -1,678
4	0,585	4,606	1,505	5,787	32,997	0,597	0,292	4,081	0,902	< -2,384
5	0,268	4,186	1,709	2,158	23,422	0,803	0,461	3,302	1,784	< -2,150
6	0,317	5,780	1,809	5,399	26,159	0,611	0,406	3,259	150,860	< -2,461
7	1,087	2,561	2,184	1,235	33,548	0,424	0,195	3,069	2,604	< -4,115
8	0,592	2,406	<0,277	8,600	26,726	0,454	0,185	3,349	< -0,753	< -2,801
9	0,881	4,439	0,717	3,670	26,240	0,408	0,165	3,056	1,35	< -3,304
10	<0,046	1,117	1,562	2,363	20,699	0,443	0,346	2,963	< -0,725	< -3,790
11	1,301	1,155	1,243	11,231	25,751	0,37	0,211	3,251	< -2,740	< -3,785
12	0,863	<0,545	1,782	17,415	28,575	0,356	0,214	3,222	< -2,524	< -4,313
13	0,919	<0,064	1,980	15,086	27,068	0,355	0,200	3,279	< -4,500	< -3,561
14	0,350	<0,300	1,463	17,983	22,719	0,348	0,168	2,735	< -4,170	< -4,974
15	0,548	1,484	<-1,394	0,729	16,072	0,338	0,254	2,488	< -4,064	< -4,410
16	<-0,625	<-1,279	7,127	6,577	22,993	0,31	0,151	3,628	< -7,118	< -5,885
17	1,376	1,145	8,428	1,135	22,063	0,356	<0,053	2,536	< -6,239	< -5,339
18	14,633	16,858	<-4,413	9,260	9,260	15,648	18,903	13,801	4,463	16,838
19	<0,116	3,082	<-5,840	4,215	4,215	0,812	<0,105	<0,385	< -0,986	< 0,375
20	<0,353	<0,485	<-4,467	3,886	3,886	<0,294	<0,127	<0,564	< -1,428	< 0,601
21	<-0,265	<0,725	<-5,866	2,508	2,508	<0,139	<-0,073	<0,421	< -1,859	< 0,249

Tablo 3.4'ün devamı

Örnek no	Element Konsantrasyonları (ppb)									
	Li	Sr	Mn	Ni	Zn	Pb	B	Ca	Mg	Na
1	7,171	20,109	1,165	3,539	4,639	9,500	76	9,103	5,668	1,687
2	7,497	34,268	0,442	2,707	1,615	8,189	59	9,928	38,148	2,536
3	6,570	197,496	0,304	3,130	0,426	10,095	56	31,863	18,933	3,727
4	5,938	52,252	0,349	3,090	3,521	9,041	61	17,765	48,332	5,701
5	6,433	69,477	0,221	2,967	2,397	8,144	52	14,969	34,081	5,862
6	6,280	75,518	0,353	2,777	11,914	8,043	51	15,787	34,499	5,887
7	6,292	48,823	1,144	3,221	1,471	9,175	44	22,273	35,123	3,785
8	5,364	57,566	0,320	2,952	2,130	8,125	41	7,706	12,085	4,309
9	5,829	27,637	0,299	2,929	1,006	8,153	44	7,636	19,121	5,319
10	5,169	54,321	0,153	2,611	3,970	7,367	87	10,658	37,395	3,997
11	6,224	43,467	0,072	2,762	< -0,017	7,880	38	19,912	27,426	2,708
12	8,508	174,236	< -0,008	2,991	< 0,041	8,198	42	25,512	49742	3,792
13	3,422	92,226	< 0,010	2,818	< -0,114	8,141	394	23,784	39,153	6,376
14	3,424	601,107	< -0,066	2,654	1,107	7,143	5	13,656	4,968	12,137
15	8,131	4,533	0,093	2,245	0,182	5,897	36	1,914	3,509	2,503
16	4,980	12,977	< -0,164	2,376	< -0,309	7,009	337	10,874	22,905	76,118
17	3,206	19,613	< -0,029	2,408	0,570	6,956	226	12,644	21,928	13,921
18	3,424	12,279	16,246	18,723	15,960	12,688	48	14,065	395	744
19	4,135	32,409	0,083	< 0,096	0,628	< -0,053	53	9,873	3,663	4,285
20	5,649	15,663	0,193	< 0,133	< -1,077	< -0,015	42	26,219	2,681	4,674
21	3,768	5,121	< -0,007	< -0,076	< -0,468	< -0,286	36	6,401	982	1,631

Tablo 3.5. Musluk sularındaki elementlerin ortalama konsantrasyonları

Örnek no	Element Konsantrasyonları (ppb)						
	Al	As	Ba	Se	Sn	Mn	Ni
22	< -1,046	19,381	3,484	7,635	12,958	< -0,043	< -0,162
23	< -0,753	7,592	2,558	0,842	5,413	< -0,050	< -0,065
24	20,604	9,234	3,903	1,826	6,079	< -0,027	< 0,011
25	1,046	< -2,909	0,195	< -4,924	< -0,560	< -0,044	< -0,064
26	2,967	1,654	2,867	2,231	1,984	0,675	6,937
27	0,958	1,547	1,206	< -2,303	1,823	< -0,040	< 0,004
28	< -0,258	2,598	2,453	< -0,886	1,859	< 0,016	< -0,032
29	25,853	4,657	4,713	< -0,989	2,569	< -0,025	< 0,141
30	1,034	2,087	2,796	< -2,213	1,565	< -0,030	< 0,178
31	< -0,421	10,911	3,138	3,902	7,304	< -0,065	< -0,066
32	24,360	3,394	4,792	< -1,669	1,278	< -0,035	< 0,160
33	25,298	2,244	4,636	< -2,071	1,003	< 0,007	< 0,141
34	26,232	3,222	4,554	< -1,349	1,281	< -0,039	< 0,115
35	< 0,568	< -4,017	< 0,013	< -5,632	< -1,416	< -0,047	< -0,077
36	25,953	2,185	4,565	< -1,675	1,121	< -0,030	< 0,154
37	< 0,450	3,955	2,426	< -0,908	3,161	< 0,010	< 0,291
38	< 0,261	< -4,363	0,288	< -6,103	< -1,699	0,253	< -0,003
39	24,633	0,646	4,045	< -2,824	< 0,125	< 0,007	< 0,149
40	31,959	2,948	4,822	< -2,025	1,607	< -0,028	< 0,221
41	27,219	0,842	4,831	< -2,674	< -0,174	< -0,017	< 0,207
42	1,446	< -1,418	2,263	< -3,367	< -0,464	0,120	13,489
43	20,210	< -0,576	3,122	< -2,973	< -0,337	< -0,045	< 0,422
44	1,389	< -1,999	2,348	< -4,022	< -1,078	< -0,041	< -0,026
45	31,433	0,501	4,585	< -2,789	< -0,238	< -0,005	< 0,136
46	31,544	0,730	5,213	< -2,328	< -0,275	< -0,003	< 0,173
47	32,712	< 0,185	4,340	< -2,962	< -0,352	< -0,050	< 0,128
48	35,452	0,406	4,908	< -3,265	< -0,042	0,140	< 0,644
49	30,130	< -3,297	4,882	< -5,379	< -1,004	< -0,042	< 0,112
50	35,059	1,485	4,722	< -2,724	1,844	< -0,047	< 0,134
51	1,500	< -6,771	0,161	< -6,444	< -2,200	< -0,028	< -0,036
52	32,419	< -0,564	4,342	< -1,521	< -0,090	< -0,058	< 0,140

Tablo 3.5'in devamı

Örnek No	Element Konsantrasyonları (ppb)						
	Zn	P	B	Mg	Na	K	Sr
22	< -2,607	30,378	16,460	17,693	24,465	411	740
23	< -2,454	15,182	< -0,621	9,819	2,245	147	< -0,048
24	0,362	17,594	16,481	18,343	15,719	2192	436
25	< -1,336	4,905	6,548	999	2,185	< 0,007	< -0,242
26	2,132	8,978	18,564	12,756	14,687	23111	345
27	< -1,611	9,677	28,932	8,448	13,518	1554	45
28	0,467	9,961	< -1,151	9,673	3,031	192	< -0,054
29	< -0,806	12,537	27,769	23,452	23,524	3349	679
30	5,720	9,233	< -0,417	9,521	2,813	134	< -0,058
31	0,482	116,441	5,368	20,817	11,371	1132	524
32	1,922	11,926	26,883	23,344	24,173	3537	680
33	< -0,949	9,390	28	23,537	23,941	3468	667
34	< -1,982	9,603	26,150	23,163	23,431	3445	638
35	< -2,055	3,459	20,611	859	2,681	134	< -0,227
36	< -1,566	10,466	27,691	23,335	23,719	3,409	651
37	< -0,494	11,712	< 0,132	9,771	4,699	624	< -0,041
38	2,384	3,402	< -3,185	882	128	< -0,166	< -0,242
39	1,423	7,580	18,199	19,235	17,183	246	447
40	2,180	9,399	26,638	23,685	23,814	3,545	685
41	3,755	6,464	24,754	22,399	22,293	3,281	584
42	2,697	5,258	11,248	12,344	5,168	144	< -0,066
43	1,086	6,041	11,470	1,615	12,378	1,765	302
44	< -0,997	4,455	< -1,670	9,707	3,023	259	< -0,053
45	< -1,735	7,258	27,235	23,701	24,083	3,549	663
46	12,441	7,737	28,302	23,826	24,352	3,737	716
47	0,854	6,683	27,834	24,034	24,569	3,572	670
48	1,136	>128,635	28,781	24,454	25,008	367	724
49	< -2,127	2,506	29,882	23,432	23,673	3,453	676
50	< -2,066	7,116	32,150	24,398	24,893	3,578	709
51	47,342	0,897	17,674	115	4,001	271	< -0,212
52	5,119	5,726	31,621	25,111	25,034	3,525	671

Ambalajlı su örneklerindeki elementler için Tablo 3.4 ve musluk suyu örneklerindeki elementler için Tablo 3.5' de görülen tüm elementlerin konsantrasyonlarına ilişkin istatistiksel verileri hazırlanmıştır. ICP-OES tarafından analiz edilen elementlerin konsantrasyonlarına ilişkin tanımlayıcı istatistiksel veriler Tablo 3.6 ve Tablo 3.7' de verilmektedir. Grafikler 3.3-3.6 ise örneklerdeki elementlerin hem ambalajlı hemde musluk suları için ayrı ayrı dağılımlarını göstermektedir.

Elde edilen bu veriler ışığında elementler iki gruba ayrılmaktadırlar. Birinci grup; Temel elementler, insan sağlığı için kesin olarak gerekli olan bu elementlerin bir kısmı içme suyunda bulunmaktadır. İkinci bir grup; insanların sağlığını olumsuz yönde etkileyen metalleri ve ağır elementler içermektedir. Bu metallerin çoğu çok az miktarlarda olmak koşuluyla, yaşamı desteklemek için gereklidir. Bununla birlikte, daha büyük miktarlarda toksik etki gösterebilmekte, biyolojik sistemlerde birikebilmekte ve önemli bir sağlık tehlikesi haline gelebilmektedirler.

Na (Sodyum) insan beslenmesi için önemli bir unsurdur ve birçok kimyasal işlem için önemlidir. Ambalajlı su örneklerinde analiz edilen temel iz elementi olarak Na konsantrasyonları 744 ile 76118 ppb arasında değişmektedir. En düşük Na konsantrasyonu, 18 nolu örnekte görülürken, en yüksek Na konsantrasyonu, 16 nolu örnekte elde edilmiştir. Musluk suyu numunelerinde tespit edilen Na elementinin konsantrasyonları 128 ile 25034 ppb arasında değişmektedir. En düşük Na konsantrasyonuna, 38 numaralı örnekte rastlanırken, en yüksek Na konsantrasyonu, 52 numaralı örnekte görülmüştür.

Mn (Manganez), bütün organizmaların az miktarda alması gereken temel eser elementtir. Ambalajlı su örneklerinde elde edilen Mn konsantrasyonları, 0,072 ile 16,246 ppb arasında değişiklik göstermektedir. En düşük Mn konsantrasyonu, 11 numaralı örnekte görülürken, en yüksek Mn konsantrasyonu, 18 numaralı örnekte elde edilmiştir. Musluk suyu örneklerinde ise Mn konsantrasyonları 0,12 ile 0,140 ppb arasında değişmektedir. En düşük Mn konsantrasyonu, 42 numaralı örnekte, en yüksek Mn konsantrasyonu ise 48 numaralı örnekte belirlenmiştir.

Mg (Magnezyum) temel bir eser elementtir. Ambalajlı su örneklerinde elde edilen Mg konsantrasyonları 395 ile 49742 ppb arasında değişmektedir. En düşük Mg konsantrasyonu, 18 numaralı örnekte, en yüksek Mg konsantrasyonu, 12 numaralı örnekte görülmüştür. Musluk suyu örneklerinde Mg konsantrasyonları 115 ile 25111 ppb arasında değişim göstermiştir. En düşük Mg konsantrasyonu, 51 numaralı örnekte iken en yüksek Mg konsantrasyonu, 52 numaralı örnekte elde edilmiştir.

Ca (Kalsiyum) birçok organda, kanda ve diğer vücut sıvılarında bulunmakta, ancak kemik ve dişlerde yoğunlaşmakta ve bazı vücut enzimleri işlev görmek için kalsiyuma ihtiyaç duymaktadırlar. Ambalajlı su örneklerinde elde edilen Ca konsantrasyonları 1914 ile 31863 ppb arasında değişmektedir. En düşük Ca konsantrasyonu, 15 numaralı örnekte ve en yüksek Ca konsantrasyonu, 3 numaralı örnekte saptanmıştır.

Cu (Bakır) sadece önemli bir iz element değil, aynı zamanda toksik bir ağır metaldir. Cu elementini vücuttan atmak birkaç gün sürebilmektedir ve çok miktarda alındığında karaciğer hasarına yol açabilmektedir (Karcık, 2017). Ambalajlı su örneklerinde Cu konsantrasyonları 0,902 ile 150,860 ppb arasında değişmektedir. En düşük Cu konsantrasyonu, 4 numaralı örnekte ve en yüksek Cu konsantrasyonu, 6 numaralı örnek içerisinde görülmüştür.

Temel bir iz element ve toksik ağır metal olan Cr (Krom) vücuttaki glikoz tolerans faktörüdür ve dolayısıyla şeker metabolizmasında etkilidir. Uygun Cr düzeyi, vücudun ihtiyaç duyduğu insülin miktarını azaltır (Karcık, 2017). Ambalajlı su örneklerinde analiz edilen Cr konsantrasyonları 2,488 ile 13,801 ppb arasında değişmektedir. En düşük Cr konsantrasyonu, 15 numaralı örnekte, en yüksek Cr konsantrasyonu ise 18 numaralı örnekte tespit edilmiştir.

Temel iz element ve toksik ağır metal olan Zn (Çinko), metabolizma ile ilgili olaylarda (enerji metabolizması, protein sentezi, gen dizilimi vb.) görev yapan bir elementtir (Karcık, 2017). Ambalajlı su örneklerinden elde edilen Zn konsantrasyonları, 0,182 ile 15,960 ppb arasında değişmektedir. En düşük Zn konsantrasyonu 15 numaralı örnekte ve en yüksek Zn konsantrasyonu 18 numaralı

örnekte tespit edilmiştir. Musluk suyu örneklerinde analiz edilen Zn konsantrasyonları, 0,362 ile 47,342 ppb arasında değişmektedir. En düşük Zn konsantrasyonu, 24 numaralı örnekte ve en yüksek Zn konsantrasyonu ise 51 numaralı örnekte görülmüştür.

Toksik ağır bir metal olan Pb (Kurşun), doğada yok olmayan ve bozulmayan ikinci sınıf kanserojen madde sınıfına ait bir elementtir (Karcık, 2017). Analiz edilen ambalajlı su örneklerinde Pb konsantrasyonları, 5,897 ile 12,688 ppb arasında değişmektedir. En düşük Pb konsantrasyonu, 15 numaralı örnekte, en yüksek Pb konsantrasyonu ise 18 numaralı örnekte tespit edilmiştir.

Ni (Nikel), temel iz element ve toksik bir ağır metaldir ve günlük 150 µg'dan az alınması tavsiye edilmektedir (Karcık, 2017). Ambalajlı su örneklerinde Ni konsantrasyonları 2,215-18,723 ppb arasında değişmektedir. En düşük Ni konsantrasyonu, 15 numaralı örnekte, en yüksek Ni konsantrasyonu 18 numaralı örnekte tespit edilmiştir. Musluk suyu örneklerinde Ni konsantrasyonları, 6,937-13,489 ppb arasında değişim göstermektedir. En düşük Ni konsantrasyonu, 26 numaralı, en yüksek Ni konsantrasyonu ise 42 numaralı örnekte tespit edilmiştir.

As (Arsenik) temel iz element ve toksik bir ağır metaldir. Element, embriyolarda kronik etkilere, DNA hasarına veya kansere neden olabilen bir elementtir (Karcık, 2017). Analiz edilen ambalajlı su örneklerinde As konsantrasyonları, 0,717 ile 8,428 ppb arasında değişmektedir. En düşük As konsantrasyonu 9 numaralı örnekte ve en yüksek As konsantrasyonu ise 17 numaralı örnekte tespit edilmiştir. Musluk suyu örneklerinde As konsantrasyonları, 0,406-2,948 ppb arasında değişmektedir. En düşük As konsantrasyonu 48 numaralı örnekte tespit edilirken, en yüksek As konsantrasyonu 40 numaralı örnekte tespit edilmiştir.

Co (Kobalt), temel iz elementi ve toksik bir ağır metaldir. Ambalajlı su örneklerinde elde edilen Co konsantrasyonları 0,151-18,903 ppb arasında değişmektedir. En düşük Co konsantrasyonu 16 numaralı örnekte, en yüksek Co konsantrasyonu 18 numaralı örnekte tespit edilmiştir.

Hayati reaksiyonlar için gerekli bir element olan Fe (Demir), temel iz element ve toksik ağır metaldir. Ambalajlı su örneklerinde tespit edilen Fe konsantrasyonları 2,341-16,838 ppb arasında değişmektedir. En düşük Fe konsantrasyonu 2 numaralı örnekte ve en yüksek olarak 18 numaralı örnekte tespit edilmiştir.

K (Potasyum) önemli bir temel elementtir. Musluk suyu örneklerinde elde edilen K konsantrasyonları, 0,958-35,452 ppb arasında değişmektedir. En düşük K konsantrasyonu 30 numaralı örnekte ve en yüksek K konsantrasyonu ise 26 numaralı örnekte tespit edilmiştir.

Cd (Kadmiyum) birinci sınıf kanserojen bir elementtir (Karcık, 2017). Ambalajlı su örneklerinde rastlanan Cd konsantrasyonları 0,310 ile 15,648 ppb arasında değişmektedir. En düşük Cd konsantrasyonu 16 numaralı örnekte, en yüksek Cd konsantrasyonu ise 18 numaralı örnekte görülmüştür.

P (Fosfor) bir önemli elementtir. Analiz edilen musluk suyu örneklerinde P konsantrasyonları 0,897 ile 116,441 ppb arasında değişmektedir. En düşük P konsantrasyonu 51 numaralı örnekte, en yüksek P konsantrasyonu ise 31 numaralı örnekte analiz edilmiştir.

Se (Selenyum) önemli bir eser elementtir. Musluk suyu örneklerinde Se konsantrasyonları 0,842 ile 7,635 ppb arasında değişmektedir. En düşük Se konsantrasyonuna 23 numaralı örnekte ve en yüksek Se konsantrasyonuna 22 numaralı örnekte rastlanılmıştır.

Sn (Kalay) vücut için gerekli olmayan bir ağır metaldir. Musluk suyu örneklerinde Sn konsantrasyonları 1,003-1,844 ppb arasında değişmektedir. En yüksek Sn konsantrasyonu 33 numaralı örnekte, en yüksek Se konsantrasyonu ise 22 numaralı örnekte tespit edilmiştir.

Sr (Stronsiyum) da vücut için gerekli olmayan bir elementtir. Ambalajlı su örneklerinde Sr konsantrasyonu 4,533 ile 601,246 ppb arasında değişmektedir. En düşük Sr konsantrasyonu 15 numaralı örnekte, en yüksek konsantrasyonu ise 14 numaralı örnekte analiz edilmiştir. Musluk suyu örneklerinde konsantrasyonu 45-

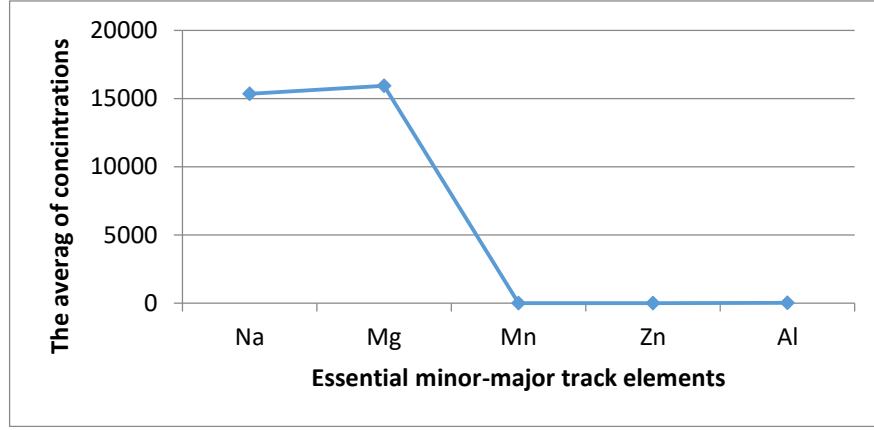
740 ppb arasında değişiklik göstermiş, en düşük Sr konsantrasyonuna 27 numaralı örnekte ve en yüksek konsantrasyona da 22 numaralı örnekte rastlanılmıştır.

Ag (gümüş) önemli bir iz elementidir. Ambalajlı su örneklerinde Ag konsantrasyonu, 1,117 ile 16,858 ppb arasında değişmektedir. En düşük Ag konsantrasyonu 10 numaralı örnekte analiz edilirken, en yüksek Ag konsantrasyonu 18 numaralı örnekte analiz edilmiştir.

Al (alüminyum) önemli bir temel elementtir. Ambalajlı su örneklerinde Al konsantrasyonu, 0,268 ile 14,633 ppb arasında değişmektedir. En düşük Al konsantrasyonu 5 numaralı örnekte, en yüksek Al konsantrasyonu ise 18 numaralı örnekte analiz edilmiştir. Musluk suyu örneklerinde ise Al konsantrasyonu 0,958 ile 35,452 ppb arasında değişmiş, en düşük Al konsantrasyonu 27 numaralı örnekte ve en yüksek Al konsantrasyonu 28 numaralı örnekte tespit edilmiştir.

Tablo 3.6. Ambalajlı sulardaki elementlerin istatistiksel verileri

Elementler	Konsantrasyon (ppb)					
	Min	Max	Ortalama	Ortanca	ST DIV	SEKW
Al	0,268	14,633	1,761	0,268	3,466	3,871
Ag	1,117	16,858	4,787	1,117	4,392	1,992
As	0,717	8,428	2,379	0,717	2,260	2,229
Ba	0,729	17,983	6,407	1,619	5,201	1,150
Bi	2,508	39,885	22,991	2,508	10,356	-0,696
Cd	0,310	15,648	1,363	0,310	3,376	4,293
Co	0,151	18,903	1,419	0,151	4,511	4,107
Cr	2,488	13,801	3,996	2,488	2,551	3,715
Cu	0,902	150,860	19,958	0,902	49,181	2,979
Fe	2,341	16,838	7,788	2,341	7,891	1,626
Li	3,206	8,508	5,591	3,487	1,583	0,014
Sr	4,533	601,107	78,624	4,827	129,917	3,597
Mn	0,072	16,246	1,429	0,072	4,113	3,829
Ni	2,245	18,723	3,717	2,245	3,759	4,192
Zn	0,182	15,960	3,436	0,182	4,532	2,147
Pb	5,897	12,688	8,319	5,897	1,476	1,440
B	5	394	87,048	20,500	101,981	2,375
Ca	1914	31863	14882,952	4157,500	7636,756	0,581
Mg	395	49742	21939,857	688,500	16419,965	0,128
Na	744	76118	8176,143	1187,500	15882,566	4,301

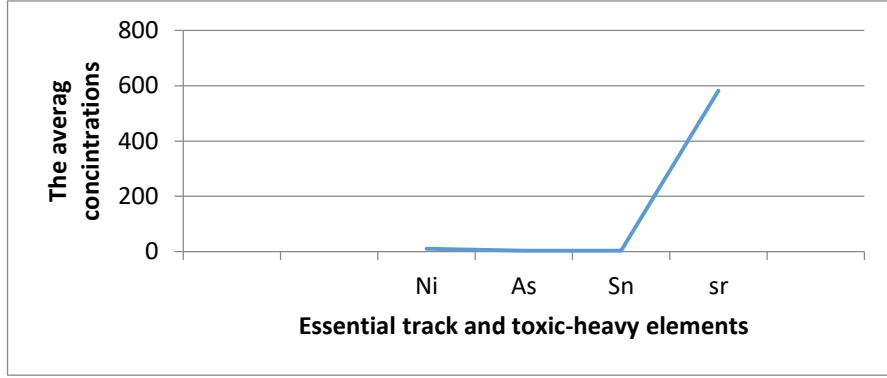


Grafik 3.3. Ambalajlı sulardaki minor-major ve iz elementler

Grafik 3.3 'ten tüm analiz edilen ambalajlı su örneklerinde ortalama element konsantrasyonunun sırasıyla Mg>Ca>Na>Ag>Cr>Zn>Al>Mn olduğu görülebilmektedir.

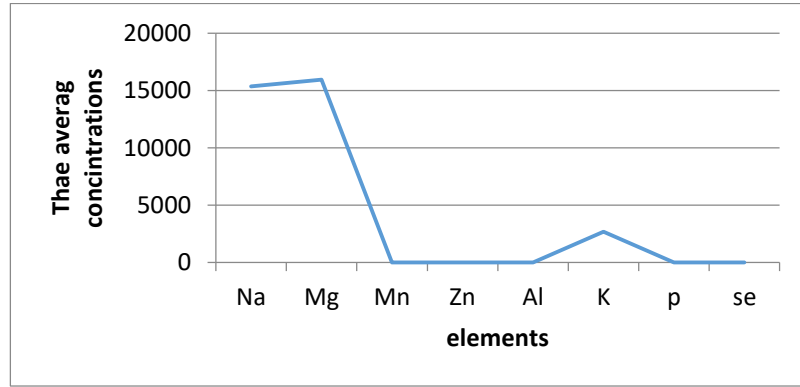
Tablo 3.7. Musluk sularındaki elementlerin istatistiksel verileri

Elementler	Konsantrasyon (ppb)					
	Min	Max	Ortalama	Ortanca	ST DIV	SEKW
Al	0,958	35,452	20,475	25,576	13,055	-0,683
As	0,406	2,948	3,915	2,244	4,549	2,350
Ba	0,161	5,213	3,439	3,974	1,512	-0,922
Se	0,842	7,635	3,287	2,231	2,670	1,390
Sn	1,003	1,844	3,303	1,852	3,207	2,157
Mn	0,12	0,140	0,297	0,197	0,259	1,714
Ni	6,937	13,489	10,213	10,213	4,633	-
Zn	0,362	47,342	5,383	2,132	11,204	3,697
P	0,897	116,441	12,399	8,358	20,394	4,902
B	5,368	32,150	22,610	26,638	7,814	-0,887
Mg	115	25111	15951	19235	8757	-0,638
Na	128	25034	15349	17183	9526	-0,391
K	134	37377	2694	2192	4206	4,307
Sr	45	740	583	667	176	-1,824



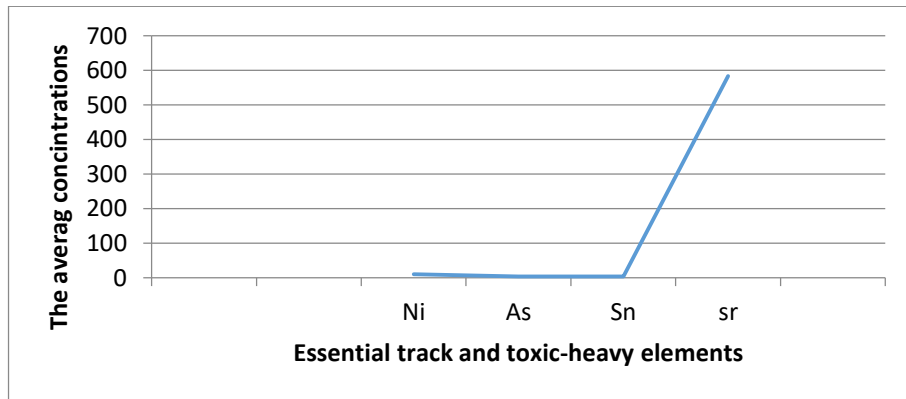
Grafik 3.4. Ambalajlı sulardaki toksik ve ağır metaller

Grafik 3.4'ten de görüleceği gibi analiz edilen ambalajlı sulardaki ortalama element konsantrasyonu sırasıyla Cu>Pb>Fe>Ni>As>Co>Cd şeklinde olarak belirlenmiştir.



Grafik 3.5. Musluk sularındaki temel elementler

Analizleri yapılmış olan tüm musluk sularındaki ortalama element konsantrasyonları Mg>Na>K>Al>P>Zn>Se>Mn sıralamasıyla değişiklik göstermektedir (Grafik 3.5).



Grafik 3.6. Musluk sularındaki toksik ve ağır metaller

Tablo 3.8. Farklı su örneklerindeki element içerikleri

Su tipi	Element konsantrasyonları (µg/L)								Referans	Ülke
	Mg	Mn	Cu	Zn	Fe	Pb	As	Cr		
Kuyu	0,98-1,82	0	0,02-0,07	1,23-1,87	0,14-1,01	0,12-0,5	14,02-37,60	7,37-18,98	Orosun, 2016	Nijerya
Musluk	-	0,13-16,5	-	13,02-1615	35-1425	-	1,03-6,24	0,36-5,29	Albedri, Abdul ghani, 2010	Irak
Doğal kaynak	-	0,08-4,8	21,7-23,9	1,7-10,2	14,4-98,9	1,02-12,6	0,05-0,31	0,14-0,51	Avino.et.al, 2011	İtalya
Ambalajlı	370-96600	DL-78900	DL-22300	DL-331000	DL-84	DL-2340	DL-13000	DL-92900	Rosborg.et.al 2005	İsveç
Ambalajlı	170-8020	0,27-1,38	-	0,61-5,04	0,44-5,43	1,58-3,67	-	0,15-5,10	Zriiba, 2019	Türkiye
Ambalajlı	395-49742	0,072-16,246	0,902-150,860	0,182-15,960	2,341-16,838	5,897-12,688	0,717-8,428	2,488-13,801	Bu çalışma	Türkiye
Musluk	115-25111	0,12-0,140	-	0,362-47,342	-	-	0,406-2,948	-	Bu çalışma	Türkiye

Bu değerler ışığında, ölçümü yapılan su örneklerindeki element içerikleri ve bu elementlerin konsantrasyonları hem bölgeden bölgeye, hem de örnek alınan suyun çeşidine göre değişiklik gösterebilmektedir. Sanayi bölgelerinden ve yerleşim yerlerinden uzak olan doğal kaynak suları ile bunlardan elde edilen ambalajlı sulardaki toksik ve ağır metal konsantrasyonları diğer su tiplerine oranla daha düşük düzeyde bulunmaktadır (Tablo 3.8).

3.3. Su Örneklerinin Radyometrik Analizleri

Radyometrik analizler için Kastamonu ilinde ticari olarak satılan 21 (örnek numaraları 1-21 arası) adet farklı markaya ait ambalajlı su örnekleri ve evlerden toplanmış olan 31 (örnek numaraları 22-52 arası) adet musluk suyu örneği kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları tüm örnekler için belirlenmiştir.

^{238}U (Uranyum) önemli bir doğal radyoaktif elementtir. Analiz edilen bütün örneklerde ^{238}U aktivite konsantrasyonlarının 0,6 ile 3 Bq/L arasında değiştiği tespit edilmiştir. En düşük ^{238}U konsantrasyonu 42 (musluk suyu) numaralı örnekte analiz edilirken en yüksek ^{238}U konsantrasyonu 32 numaralı örnekte (musluk suyu) analiz edilmiştir.

^{232}Th (Toryum) da tıpkı ^{238}U gibi önemli bir doğal radyoaktif elementtir. Tüm su örneklerinde ^{232}Th konsantrasyonlarının 0,5-2,5 Bq/L arasında değiştiği belirlenmiştir. En düşük ^{232}Th konsantrasyonuna 31 (musluk suyu) numaralı örnekte ve en yüksek ^{232}Th konsantrasyonuna ise 28 (musluk suyu) numaralı örnekte rastlanılmıştır.

Su örneklerinde analizi yapılan diğer bir doğal radyoaktif element ^{40}K (Potasyum)'dır. Analiz edilen tüm örneklerde ^{40}K konsantrasyonlarının 1,7 ile 4,1 Bq/L arasında değiştiği bulunmuştur. En düşük ^{40}K konsantrasyonu 14 (ambalajlı su) numaralı örnekte analiz edilirken, en yüksek ^{40}K konsantrasyonu ise 49 ve 50 (musluk suyu) numaralı örneklerde analiz edilmiştir.

^{137}Cs (Sezyum) analizi yapılan diğer radyoaktif elementlerden farklı olarak yapay bir radyoaktif elementtir. Aktivite konsantrasyonları çok düşük bile olsa analizi yapılan tüm su örneklerinde ^{137}Cs 'ye rastlanılmıştır. Örneklerdeki ^{137}C konsantrasyonlarının 0,2 ile 0,6 Bq /L arasında değiştiği gözlenmiştir. En düşük ^{137}Cs konsantrasyonu 7-13-20-25 arasındaki örneklerde, en yüksek ^{137}Cs konsantrasyonu ise 4-15-31-36-48 numaralı örneklerde tespit edilmiştir.

Tablo 3.9, HpGe dedektörü kullanılarak ölçülen su örneklerindeki radyoaktif elementlerin konsantrasyonunu göstermektedir.

Tablo 3.9. Su örneklerindeki radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları

Örnek no	Aktivite (Bq/L)							
	²³⁸ U	±stn. sap.	²³² Th	±stn. sap.	⁴⁰ K	± stn. sap.	¹³⁷ Cs	± stn. sap.
1	1,3	0,1	1,5	0,1	2,8	0,2	0,3	0,02
2	1,9	0,2	2,2	0,2	2,9	0,2	0,5	0,04
3	2,2	0,2	1,3	0,1	2,5	0,2	0,4	0,03
4	1,5	0,1	1,5	0,1	3,8	0,3	0,6	0,05
5	1,7	0,1	1,5	0,1	2,0	0,2	0,5	0,04
6	1,9	0,2	1,9	0,2	3,5	0,3	0,4	0,03
7	2,1	0,2	1,9	0,2	2,7	0,2	0,2	0,02
8	1,2	0,1	1,8	0,2	2,6	0,2	0,3	0,02
9	1,3	0,1	1,1	0,1	3,4	0,3	0,4	0,03
10	1,5	0,1	2,2	0,2	2,4	0,2	0,5	0,04
11	1,1	0,1	2,0	0,2	3,9	0,3	0,3	0,03
12	1,3	0,1	1,7	0,2	2,3	0,2	0,4	0,04
13	1,4	0,1	1,2	0,1	2,4	0,2	0,2	0,02
14	0,9	0,1	0,9	0,1	4,1	0,3	0,5	0,04
15	1,2	0,1	0,8	0,1	2,0	0,2	0,6	0,05
16	1,1	0,1	0,8	0,1	3,2	0,3	0,3	0,03
17	1,8	0,1	0,8	0,1	2,1	0,2	0,3	0,03
18	1,4	0,1	1,4	0,1	2,5	0,2	0,4	0,04
19	1,7	0,1	1,5	0,1	3,4	0,3	0,4	0,03
20	1,7	0,1	0,9	0,1	2,9	0,2	0,2	0,02
21	2,2	0,2	0,8	0,1	3,9	0,3	0,3	0,03
22	2,1	0,2	0,7	0,1	3,8	0,3	0,3	0,02
23	2,5	0,2	0,7	0,1	2,0	0,2	0,4	0,03
24	0,9	0,1	0,8	0,1	3,3	0,3	0,5	0,04
25	1,8	0,1	0,7	0,1	2,5	0,2	0,2	0,03
26	1,9	0,2	0,8	0,1	2,4	0,2	0,4	0,05
27	1,6	0,1	0,7	0,1	3,0	0,3	0,3	0,04
28	1,5	0,1	2,5	0,2	2,3	0,2	0,4	0,02
29	1,9	0,2	1,2	0,1	2,9	0,2	0,5	0,04
30	1,7	0,1	1,1	0,1	2,2	0,2	0,4	0,03
31	1,4	0,1	0,5	0,0	2,1	0,2	0,6	0,06
32	3,0	0,2	0,6	0,1	3,1	0,3	0,5	0,05
33	0,9	0,1	0,8	0,1	2,1	0,2	0,3	0,03
34	0,9	0,1	0,6	0,1	3,3	0,3	0,5	0,04
35	1,4	0,1	0,7	0,1	2,2	0,2	0,5	0,04

Tablo 3.9'un devamı

36	0,8	0,1	1,7	0,2	2,4	0,2	0,6	0,05
37	0,9	0,1	1,5	0,1	1,9	0,2	0,4	0,03
38	2,0	0,2	1,6	0,1	2,2	0,2	0,3	0,03
39	2,5	0,2	1,2	0,1	3,1	0,3	0,3	0,03
40	1,0	0,1	1,1	0,1	2,8	0,2	0,5	0,04
41	0,9	0,1	0,7	0,1	2,4	0,2	0,5	0,03
42	0,6	0,0	0,9	0,1	3,0	0,3	0,4	0,03
43	1,0	0,1	0,9	0,1	2,8	0,2	0,4	0,03
44	0,9	0,1	0,8	0,1	2,6	0,2	0,5	0,02
45	0,9	0,1	0,8	0,1	2,4	0,2	0,4	0,03
46	0,9	0,1	0,6	0,1	2,7	0,2	0,4	0,02
47	2,0	0,2	0,9	0,1	1,9	0,2	0,5	0,03
48	1,6	0,1	1,2	0,1	1,8	0,2	0,6	0,04
49	0,8	0,1	0,9	0,1	1,7	0,1	0,3	0,02
50	1,2	0,1	1,0	0,1	1,7	0,1	0,4	0,03
51	1,4	0,1	1,3	0,1	2,0	0,2	0,4	0,02
52	2,0	0,2	1,5	0,1	1,9	0,2	0,3	0,02

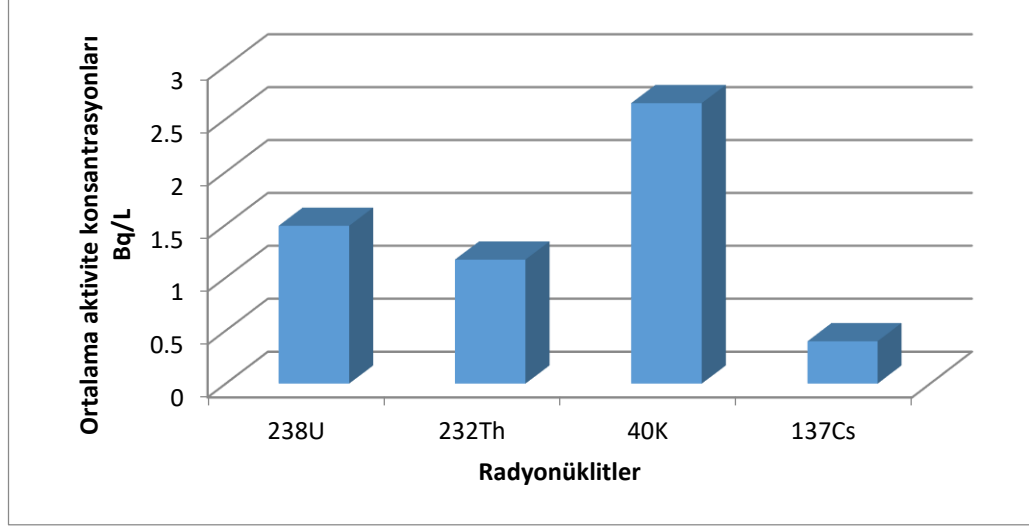
HpGe dedektörü ile analiz edilen tüm su örneklerindeki radyoaktif elementlerin konsantrasyonları hakkında tanımlayıcı istatistiksel veriler Tablo 3.10' da verilmektedir.

Tablo 3.10. Su örneklerindeki radyoaktif elementlerin tanımlayıcı istatistiksel verileri

Radyonüklit	Aktivite (Bq/L)					
	Ortalama	Ortanca	Standart Sapma	Skewness	En Düşük	En Yüksek
²³⁸ U	1,49	1,4	0,53	0,56	0,6	3
²³² Th	1,17	1,05	0,48	0,86	0,5	2,5
⁴⁰ K	2,65	2,5	0,62	0,57	1,7	4,1
¹³⁷ Cs	0,40	0,4	0,11	0,01	0,2	0,6

Su örneklerinde bulunan ²³⁸U, ²³²Th, ⁴⁰K ve ¹³⁷C radyonüklitlerinin ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla ambalajlı sular için, $1,5\pm 0,04$; $1,4\pm 0,05$; $2,9\pm 0,05$ ve $0,4\pm 0,01$ Bq/L, musluk suları için, $1,4\pm 0,05$; $1,0\pm 0,03$; $2,5\pm 0,05$ ve $0,4\pm 0,01$ Bq/L

olarak belirlenmiştir. Tüm su örnekleri birlikte değerlendirildiğinde ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklitlerinin ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla $1,49\pm 0,53$; $1,17\pm 0,48$; $2,65\pm 0,62$ ve $0,40\pm 0,11$ Bq/L olarak bulunmuştur (Tablo 3.10, Grafik 3.7).



Grafik 3.7. Su örneklerindeki radyonüklitlerin dağılımı

Analiz edilem tüm su örneklerindeki ortalama radyonüklit konsantrasyonlarının $^{40}\text{K} > ^{238}\text{U} > ^{232}\text{Th} > ^{137}\text{Cs}$ sırasıyla değişim gösterdiği belirlenmiştir (Grafik 3.7).

3.3.1. Radyolojik Tehlike Parametrelerinin Hesaplanması

İnsanların doğal radyonüklitlerden ne oranda etkilendiklerinin belirlenmesinde radyolojik tehlike parametrelerinin hesaplanması önemli bir rol oynamaktadır. Doğal radyonüklitlerin havadaki (D) absorbe edilen doz oranına katkısı, ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerinin doğal spesifik aktivite konsantrasyonuna bağlıdır. Havadan absorbe edilen doz oranı Denklem 3.3 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$D(nGy/h) = 0.462 \times A_U + 0.621 \times A_{Th} + 0.041 \times A_K \quad (3.3)$$

Burada A_U , A_{Th} ve A_K , sırasıyla ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için aktivite konsantrasyonları ve 0,462; 0,621 ve 0,041 sırasıyla ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için dönüşüm katsayılarıdır (Ahmad vd., 2019).

Çalışmadan elde edilen sonuçların radyasyon güvenliği açısından değerlendirilebilmesi için, Ra eşdeğer aktivitesi (R_{aeq}), dış tehlike endeksi (H_{ex}) ve iç tehlike endeksi (H_{in}) hesaplanmıştır. Radium eşdeğer aktivitesi yaygın olarak kullanılan bir tehlike endeksi olup Denklem 3.4 kullanılarak hesaplanmaktadır (Beretka ve Mathew, 1985).

$$R_{aeq}(Bq/L) = A_U + (1.43 \times A_{Th}) + 0.077 \times A_K \quad (3.4)$$

Burada A_U , A_{Th} ve A_K sırasıyla, ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için spesifik aktivite konsantrasyonlarıdır.

^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K nedeniyle radyasyona maruz kalma hem vücut içerisine alınan kaynaklardan hem de vücudun dışarısındaki kaynaklardan meydana gelebilmektedir. Dış ortam (H_{ex}) ve iç ortam (H_{in}) radyasyon tehlikesi olarak adlandırılan bu parametrelerin hesaplanmasında Denklem 3.5. ve Denklem 3.6. kullanılmıştır (Krieger, 1981).

$$H_{ex} = A_U/370 + A_{Th}/259 + A_K/4810 \leq 1 \quad (3.5)$$

$$H_{in} = A_U/185 + A_{Th}/259 + A_K/4810 \leq 1 \quad (3.6)$$

Denklem 3.7 sulara bulunan radyonüklitler dolayısıyla yetişkinler, çocuklar ve bebekler için yıllık etkin doz değerlerinin ayrı ayrı hesaplanmasında kullanılmıştır.

$$AEDE(mSv/y) = A \times ST \times DF \quad (3.7)$$

Burada A , ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için spesifik aktivite konsantrasyonlarıdır. ST , yıllık su tüketim miktarlarıdır ve yetişkinler, çocuklar ve bebekler için sırasıyla 730, 365 ve 274 L/y olarak kullanılmaktadır. DF ise doz dönüşüm katsayısıdır ve ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için sırasıyla 4.5×10^{-8} Sv/Bq, 2.3×10^{-7} Sv/Bq ve $6,2 \times 10^{-9}$ Sv/Bq olarak verilmektedir (WHO, 2011).

Çalışma bölgesinden toplanmış olan su örneklerinden elde edilen ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerinin aktivite konsantrasyonları kullanılarak hesaplanan radyolojik

tehlike parametreleri Tablo 3.11-3.14'te verilmektedir. Radyum eşdeğeri aktivitesi (Raeq) ve absorbe edilen doz oranı (D), iç ve dış tehlike indeksleri Tablo 3.11'de verilmektedir. Bebekler, çocuklar ve yetişkinler için hesaplanan yıllık etkin doz değerleri (AEDE) ise sırasıyla Tablo 3.12, Tablo 3.13 ve Tablo 3.14'te verilmektedir.

Tablo 3.11. Radyum eşdeğeri aktivitesi (Raeq), absorbe edilen doz oranı (D), iç ve dış tehlike indeksleri (Hin, Hex)

Örnek no	Raeq (Bq/l)	D(nGy/h)	Hex≤1	Hin≤1
1	3,66	1,65	0,01	0,01
2	5,27	2,36	0,01	0,02
3	4,25	1,93	0,01	0,02
4	3,94	1,78	0,01	0,01
5	4,00	1,80	0,01	0,02
6	4,89	2,20	0,01	0,02
7	5,02	2,26	0,01	0,02
8	3,97	1,78	0,01	0,01
9	3,13	1,42	0,01	0,01
10	4,83	2,16	0,01	0,02
11	4,26	1,91	0,01	0,01
12	3,91	1,75	0,01	0,01
13	3,30	1,49	0,01	0,01
14	2,50	1,14	0,01	0,01
15	2,50	1,13	0,01	0,01
16	2,49	1,14	0,01	0,01
17	3,11	1,41	0,01	0,01
18	3,59	1,62	0,01	0,01
19	4,11	1,86	0,01	0,02
20	3,21	1,46	0,01	0,01
21	3,64	1,67	0,01	0,02
22	3,39	1,56	0,01	0,01
23	3,66	1,67	0,01	0,02
24	2,30	1,05	0,01	0,01
25	2,99	1,37	0,01	0,01
26	3,23	1,47	0,01	0,01
27	2,83	1,30	0,01	0,01
28	5,25	2,34	0,01	0,02
29	3,84	1,74	0,01	0,02
30	3,44	1,56	0,01	0,01
31	2,28	1,04	0,01	0,01
32	4,10	1,89	0,01	0,02
33	2,21	1,00	0,01	0,01
34	2,01	0,92	0,01	0,01

Tablo 3.11'in devamı

35	2,57	1,17	0,01	0,01
36	3,42	1,52	0,01	0,01
37	3,19	1,43	0,01	0,01
38	4,46	2,01	0,01	0,02
39	4,45	2,03	0,01	0,02
40	2,79	1,26	0,01	0,01
41	2,09	0,95	0,01	0,01
42	2,12	0,96	0,01	0,01
43	2,50	1,14	0,01	0,01
44	2,24	1,02	0,01	0,01
45	2,23	1,01	0,01	0,01
46	1,97	0,90	0,01	0,01
47	3,43	1,56	0,01	0,01
48	3,45	1,56	0,01	0,01
49	2,22	1,00	0,01	0,01
50	2,76	1,25	0,01	0,01
51	3,41	1,54	0,01	0,01
52	4,29	1,93	0,01	0,02
ortalama	3,36	1,52	0,01	0,01

Radyum eşdeğeri aktivitesi (Raeq) ve absorbe edilen gama dozu (D) için değerlerin sırasıyla 1,97 ile 5,27 mBq/L ve 0,90 ile 2,36 nGy/h arasında değişim gösterdiği ve ortalama değerlerin yine sırasıyla 3,36 Bq/L ve 1,52 nGy/h olduğu belirlenmiştir. Ölçümü yapılan tüm su örnekleri içinde radyum eşdeğer aktivitesinin dünya ortalaması olarak verilen 49 Bq/L (Almayahi ve ark., 2012) değerini ve absorbe edilen gama dozu için uluslararası kuruluşların önerdiği sınır değer olan 55 nGy/h (UNSCEAR, 2000) değerini aşan bir değere rastlanılmamıştır. Benzer şekilde hesaplanmış olan iç ve dış tehlike indekleri incelendiğinde tüm değerlerin 1'den küçük olduğu görülmektedir (Tablo 3.11).

Tablo 3.12. Yıllık etkin doz eşdeğerleri (bebekler için)

Örnek no	AEDE mSv/y			Toplam
	²³⁸ U	²³² Th	⁴⁰ K	
1	0,016	0,095	0,005	0,115
2	0,023	0,139	0,005	0,167
3	0,027	0,082	0,004	0,113
4	0,018	0,095	0,006	0,119
5	0,021	0,095	0,003	0,119
6	0,023	0,120	0,006	0,149
7	0,026	0,120	0,005	0,150
8	0,015	0,113	0,004	0,133
9	0,016	0,069	0,006	0,091
10	0,018	0,139	0,004	0,161
11	0,014	0,126	0,007	0,146
12	0,016	0,107	0,004	0,127
13	0,017	0,076	0,004	0,097
14	0,011	0,057	0,007	0,075
15	0,015	0,050	0,003	0,069
16	0,014	0,050	0,005	0,069
17	0,022	0,050	0,004	0,076
18	0,017	0,088	0,004	0,110
19	0,021	0,095	0,006	0,121
20	0,021	0,057	0,005	0,083
21	0,027	0,050	0,007	0,084
22	0,026	0,044	0,006	0,076
23	0,031	0,044	0,003	0,078
24	0,011	0,050	0,006	0,067
25	0,022	0,044	0,004	0,071
26	0,023	0,050	0,004	0,078
27	0,020	0,044	0,005	0,069
28	0,018	0,158	0,004	0,180
29	0,023	0,076	0,005	0,104
30	0,021	0,069	0,004	0,094
31	0,017	0,032	0,004	0,052

Tablo 3.12'nin devamı

32	0,037	0,038	0,005	0,080
33	0,011	0,050	0,004	0,065
34	0,011	0,038	0,006	0,055
35	0,017	0,044	0,004	0,065
36	0,010	0,107	0,004	0,121
37	0,011	0,095	0,003	0,109
38	0,025	0,101	0,004	0,129
39	0,031	0,076	0,005	0,112
40	0,012	0,069	0,005	0,086
41	0,011	0,044	0,004	0,059
42	0,007	0,057	0,005	0,069
43	0,012	0,057	0,005	0,074
44	0,011	0,050	0,004	0,066
45	0,011	0,050	0,004	0,066
46	0,011	0,038	0,005	0,053
47	0,025	0,057	0,003	0,085
48	0,020	0,076	0,003	0,098
49	0,010	0,057	0,003	0,069
50	0,015	0,063	0,003	0,081
51	0,017	0,082	0,003	0,103
52	0,025	0,095	0,003	0,122
ortalama	0,018	0,074	0,005	0,096

Bebekler için yıllık etkin doz değerlerine içme suyunda bulunan ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerinden gelen katkılar ayrı ayrı hesaplanmış ve sırasıyla ortalama 0,018; 0,074 ve 0,005 mSv/y olarak bulunmuştur. Bu değerlerin, uluslararası kuruluşlarının belirlediği 0,1 mSv/y (WHO, 2011) ve 0,29 mSv/y (UNSCEAR, 2000) sınır değerlerinden daha düşük düzeyde olduğu tespit edilmiştir.

Table 3.13. Yıllık etkin doz eşdeğerleri (çocuklar için)

Örnek no	AEDE mSv/y			Toplam
	²³⁸ U	²³² Th	⁴⁰ K	
1	0,021	0,126	0,006	0,154
2	0,031	0,185	0,007	0,222
3	0,036	0,109	0,006	0,151
4	0,025	0,126	0,009	0,159
5	0,028	0,126	0,005	0,158
6	0,031	0,160	0,008	0,199
7	0,034	0,160	0,006	0,200
8	0,020	0,151	0,006	0,177
9	0,021	0,092	0,008	0,121
10	0,025	0,185	0,005	0,215
11	0,018	0,168	0,009	0,195
12	0,021	0,143	0,005	0,169
13	0,023	0,101	0,005	0,129
14	0,015	0,076	0,009	0,100
15	0,020	0,067	0,005	0,091
16	0,018	0,067	0,007	0,092
17	0,030	0,067	0,005	0,101
18	0,023	0,118	0,006	0,146
19	0,028	0,126	0,008	0,162
20	0,028	0,076	0,007	0,110
21	0,036	0,067	0,009	0,112
22	0,034	0,059	0,009	0,102
23	0,041	0,059	0,005	0,104
24	0,015	0,067	0,007	0,089
25	0,030	0,059	0,006	0,094
26	0,031	0,067	0,005	0,104
27	0,026	0,059	0,007	0,092
28	0,025	0,210	0,005	0,240
29	0,031	0,101	0,007	0,139
30	0,028	0,092	0,005	0,125
31	0,023	0,042	0,005	0,070

Tablo 3.13'ün devamı

32	0,049	0,050	0,007	0,107
33	0,015	0,067	0,005	0,087
34	0,015	0,050	0,007	0,073
35	0,023	0,059	0,005	0,087
36	0,013	0,143	0,005	0,161
37	0,015	0,126	0,004	0,145
38	0,033	0,134	0,005	0,172
39	0,041	0,101	0,007	0,149
40	0,016	0,092	0,006	0,115
41	0,015	0,059	0,005	0,079
42	0,010	0,076	0,007	0,092
43	0,016	0,076	0,006	0,098
44	0,015	0,067	0,006	0,088
45	0,015	0,067	0,005	0,087
46	0,015	0,050	0,006	0,071
47	0,033	0,076	0,004	0,113
48	0,026	0,101	0,004	0,131
49	0,013	0,076	0,004	0,093
50	0,020	0,084	0,004	0,108
51	0,023	0,109	0,005	0,137
52	0,033	0,126	0,004	0,163
ortalama	0,024	0,098	0,006	0,128

Çocuklar için yıllık etkin doz değerlerine içme suyunda bulunan ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerinden gelen katkılar ayrı ayrı hesaplanmış ve sırasıyla ortalama 0,024; 0,098 ve 0,006 mSv/y olarak bulunmuştur. Toplam yıllık ortalama doz değeri ise ortalama 0,128 mSv/y olarak hesaplanmıştır. Bu değerin, uluslararası kuruluşlarının belirlediği 0,29 mSv/y (UNSCEAR, 2000) sınır değerinden daha düşük düzeyde olduğu belirlenmiştir.

Tablo 3.14. Yıllık etkin doz eşdeğerleri (yetişkinler için)

Örnek no	AEDE mSv/y			Toplam
	²³⁸ U	²³² Th	⁴⁰ K	
1	0,043	0,252	0,013	0,307
2	0,062	0,369	0,013	0,445
3	0,072	0,218	0,011	0,302
4	0,049	0,252	0,017	0,318
5	0,056	0,252	0,009	0,317
6	0,062	0,319	0,016	0,397
7	0,069	0,319	0,012	0,400
8	0,039	0,302	0,012	0,353
9	0,043	0,185	0,015	0,243
10	0,049	0,369	0,011	0,430
11	0,036	0,336	0,018	0,390
12	0,043	0,285	0,010	0,339
13	0,046	0,201	0,011	0,258
14	0,030	0,151	0,019	0,199
15	0,039	0,134	0,009	0,183
16	0,036	0,134	0,014	0,185
17	0,059	0,134	0,010	0,203
18	0,046	0,235	0,011	0,292
19	0,056	0,252	0,015	0,323
20	0,056	0,151	0,013	0,220
21	0,072	0,134	0,018	0,224
22	0,069	0,118	0,017	0,204
23	0,082	0,118	0,009	0,209
24	0,030	0,134	0,015	0,179
25	0,059	0,118	0,011	0,188
26	0,062	0,134	0,011	0,208
27	0,053	0,118	0,014	0,184
28	0,049	0,420	0,010	0,479
29	0,062	0,201	0,013	0,277
30	0,056	0,185	0,010	0,250
31	0,046	0,084	0,010	0,139

Tablo 3.14'ün devamı

32	0,099	0,101	0,014	0,213
33	0,030	0,134	0,010	0,173
34	0,030	0,101	0,015	0,145
35	0,046	0,118	0,010	0,173
36	0,026	0,285	0,011	0,323
37	0,030	0,252	0,009	0,290
38	0,066	0,269	0,010	0,344
39	0,082	0,201	0,014	0,298
40	0,033	0,185	0,013	0,230
41	0,030	0,118	0,011	0,158
42	0,020	0,151	0,014	0,184
43	0,033	0,151	0,013	0,197
44	0,030	0,134	0,012	0,176
45	0,030	0,134	0,011	0,175
46	0,030	0,101	0,012	0,143
47	0,066	0,151	0,009	0,225
48	0,053	0,201	0,008	0,262
49	0,026	0,151	0,008	0,185
50	0,039	0,168	0,008	0,215
51	0,046	0,218	0,009	0,273
52	0,066	0,252	0,009	0,326
ortalama	0,049	0,196	0,012	0,257

Yetişkinler için yıllık etkin doz değerlerine içme suyunda bulunan ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerinden gelen katkılar ayrı ayrı hesaplanmış ve sırasıyla ortalama 0,049; 0,196 ve 0,012 mSv/y olarak bulunmuştur. Toplam yıllık ortalama doz değeri ise ortalama 0,257 mSv/y olarak hesaplanmıştır. Bu doza en büyük katkının ^{232}Th radyonüklitinden ileri geldiği belirlenmiştir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar dünyanın diğer ülkelerinde yapılan çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılmıştır (Tablo 3.15). Tablodaki ^{232}Th ve ^{40}K değerleri kıyaslandığında Kastamonu ili için yürütülmüş olan bu çalışmadan elde edilen

değerlerin diğerlerinin hemen hemen hepsinden daha düşük düzeyde olduğu belirlenmiştir.

Tablo 3.15. Sudaki radyonüklitlerin diğer ülkelerle karşılaştırılması

ülke	²³² Th	⁴⁰ K	Referens
Yemen	1,01 Bq/L	16,05 Bq/L	El-Mageed et al ,2013
Ürdün	1,42 Bq/L	23,2 Bq/L	Saqan et al , 2001
Mısır	210-1100 mBq/L	970-23000 mBq/L	El-Arabi et al , 2006
Türkiye	BDL-41 mBq/L	BDL-511 mBq/L	Kobyas et al , 2010
Malezya	2,71 mBq/L	186,3 mBq/L	Ahmad et al , 2019
Pakistan	1,34 mBq/L	48,08 mBq/L	Ahmad et al ,2019
Türkiye ambalajlı-musluk suyu	0,5-2,5 Bq/L	1,7-4,1 Bq/L	Bu çalışma

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Kastamonu ilinde satılmakta olan 21 adet ambalajlı su ve evlerden toplanmış olan 31 adet musluk suyu örneğinde radon ölçümleri Alpha Guard PQ2000 Pro cihazı kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen ^{222}Rn sonuçları; ambalajlı su örneklerinde 4,09 ile 28,69 Bq/m³ ve musluk suyu örneklerinde 19,94 ile 60 Bq/m³ arasında değişmekte olup, Avrupa Birliği tarafından önerilen (100 Bq/L) değerinin altında olarak bulunmuştur (UNSCEAR, 2000). Ayrıca bu araştırmadan elde edilen sonuçlar içme suyunda radona bağlı olarak yıllık etkin doz eşdeğerlerinin, WHO tarafından önerilen su örnekleri için 0,1 mSv/y referans seviyesinin altında olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, hem ambalajlı su örnekleri hem de musluk suyu örneklerinin ^{222}Rn konsantrasyonları açısından içmesinin güvenli olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Bu çalışmada ayrıca Kastamonu şehrindeki içme suları hakkında toksikolojik bilgileri verilmektedir. Tüm element konsantrasyonları ICP-OES cihazı ile ppb seviyelerinde tespit edilmiştir. Yapılan analizlerde ambalajlı su örneklerinde yaklaşık 20 element ve musluk suyu örneklerinde ise 14 element belirlenmiştir. Analiz edilen tüm elementlerin değerlendirmesi yapılmış ve hiçbir örnekte insan sağlığını tehdit edecek düzeyde bir kirliliğe rastlanmamıştır.

İncelenen ambalajlı su örneklerinde yer alan 20 temel element ve konsantrasyonlarına göre sıralamaları Ca> Na> Mg> B> Sr> Bi> Cu> Pb> Fe> Ba> Li> Ag> Cr> Ni> Zn> As> Al> Co> Mn> Cd şeklindedir. Analiz edilen örneklerdeki temel minör- major elementler; Mg, Na, Ag, Cr, Zn, Al ve Mn'dır ve konsantrasyonları sırasıyla 21940, 8176, 4,787, 3,996, 3,436, 1,761 ve 1,429 ppb olarak bulunmuştur. Örneklerde temel iz elementler ve toksik ağır elementler olarak; Cu, Pb, Fe, Ni, As, Co ve Cd tespit edilmiş ve konsantrasyonları sırasıyla 19,958, 8,319, 7,788, 3,717, 2,379, 1,419 ve 1,363 ppb olarak belirlenmiştir.

İncelenen musluk suyu örneklerinde yer alan 14 temel elementler Mg> Na> K> Sr> B> Al> P> Ni> Zn> As> Ba> Sn> Se> Mn şeklinde sıralanmaktadır. Örneklerde analiz edilen temel minör-major elementler; Mg, Na, K, Al, P, Zn, Se ve Mn'dır ve

ortalama konsantrasyonları sırasıyla 15951, 15349, 2694, 20,474, 12,399, 5,383, 3,287 ve 0,297 ppb olarak bulunmuştur. Temel iz elementler ve toksik ağır elementler olarak Sr, Ni, As ve Sn analiz edilmiş olup, ortalama konsantrasyonları sırasıyla 583, 10,213, 3,915 ve 3,303 ppb olarak bulunmuştur.

HpGe detektörü ile ölçülen tüm örneklerde bulunan radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları ^{40}K > ^{238}U > ^{232}Th > ^{137}Cs şeklinde sıralanmış ve ortalama değerleri sırasıyla 2,65; 1,49; 1,17; 0,40 Bq/L olarak bulunmuştur. Örneklerde bulunan ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K nedeniyle ortalama yıllık etkin doz değerleri sırasıyla; bebeklerde 0,018, 0,074 ve 0,005 mSv/y, çocuklarında 0,024, 0,998 ve 0,006 mSv/y ve yetişkinlerde ise 0,049; 0,196 ve 0,012 mSv/y şeklinde hesaplanmıştır. Bu durum içme suyundaki üç doğal radyonüklit arasında, ^{232}Th katkısının en yükseği olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, ^{238}U ve ^{40}K alımına bağlı yıllık etkin doz değerlerinin içme suyu için WHO tarafından önerilen 0,1 mSv/y ve UNSCEAR tarafından önerilen 0,29 mSv/y değerlerinin altında olduğu bulunmuştur. ^{232}Th 'nin yıllık etkin doz değerine katkısı ise WHO tarafından önerilen 0,1 mSv/y değerine eşit ve UNSCEAR tarafından önerilen 0,29 mSv/y değerlerinin altında olarak tespit edilmiştir.

Su örneklerinde bulunan radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları kullanılarak hesaplanan Radyum eşdeğeri aktivitesinin ortalama değeri 3,36 Bq/L ile dünya ortalaması olan 49 Bq/L değerinin altında olarak bulunmuştur. Benzer şekilde, iç ve dış tehlike indekslerinin ortalama değerleri (0,01), bu değerler için önerilmiş olan 1 değerinden küçük olarak bulunmuştur. Tüm yaş grupları için yıllık etkin doz değerleri, WHO tarafından önerilen dünya ortalaması (0,1 mSv/y) değerinin altında bulunmuştur. Bu nedenle, bu çalışmada analizi yapılmış olan ambalajlı ve musluk suyu örneklerinin radyoaktivite ile ilişkili olarak sağlık tehlikesi oluşturmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

KAYNAKLAR

- Abbady, A., Ahmed, N.K., Saied, M.H., El-Kamel, A.H. & Ramadan, S. (1995). Variation of ^{222}Rn concentration in drinking water in Qena. *Bull Fac Sci*, 24, 101–106.
- 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.
- Ahmad, N., Khan, A., Ahmad, I., Hussain, J. & Ullah, N. (2019). Health implications of natural radioactivity in spring water used for drinking in Harnai, Balichistan. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, DOI: 10.1080/03067319.2019.1679805.
- Akar, U., Gürler, 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.
- Al-Bataina, B.A., Ismail, A.M., Kullab, M.K., Abmurad, K.M. & Mustafa, H. (1997). Radon measurements in different types of natural waters in Jordan. *Radiation Measurements*, 28, 591–594.
- Al-Bedri, M.B. & Abdul Ghani, I. (2010). Pixe Elemental Analysis of Mineral, Tap and Ground Water. *International Journal of PIXE*, 20(3-4), 93–100.
- Alessandro, D.W. & Vita, F. (2003). Groundwater radon measurements in the Mt. Etna area. *Journal of Environmental Radioactivity*, 65, 187–201.
- Almayahi, B. A., Tajuddin, A. A. & Jaafar, M.S. (2012). Radiation hazard indices of soil and water samples in Northern Malaysian Peninsula. *Applied radiation and isotopes*, 70 (11), 2652–60.
- 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.
- Amrani, D. & Cherouati, D.E. (1999). Health Effects from Radon-222 in Drinking Water in Algiers. *Journal of Radiological Protection*, 19, 275.
- 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.
- Avino, P., Capannesi, G. & Rosada, A. (2011). Ultra-trace nutritional and toxicological elements in Rome and Florence drinking waters determined by Instrumental Neutron Activation Analysis. *Microchemical Journal*, 97(2), 144-153.
- 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.
- 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.
- Beretka, J. & Mathew, P.J. (1985). Natural radioactivity of Australian building materials, industrial wastes and by-products. *Health Physics*, 48, 87-95.
- 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.
- 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.
- Cotruvo, D.J. (2015). *Professor Pou/Poe: Healthy Drinking Water Intake*. Retrieved April 20, 2016, from <http://www.watertechonline.com>: <http://www.watertechonline.com/professor-poupoe-may-2015/>
- Çelik, P. (2003). Milliyet Business: İlk suçumuz Hamidiye'ydi. Link accessed October 2004 /<http://www.milliyet.com.tr/2003/09/01/business/bus06.html#S> (in Turkish)
- 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., 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.
- Değerlier, M. & Karahan, G. (2010). Natural radioactivity in various surface waters in Adana, Turkey. *Desalination*, 261, 126-130.

- Desideri, D., Roselli, C., Feduzi, L. & Meli, M.A. (2007). Radiological characterization of drinking waters in Central Italy. *Microchemical Journal*, 87, 13-19.
- 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-Arabi, A.M., Ahmed, N.K. & Salahel D.K. (2006). Natural radionuclides and dose estimation in natural water resources from Elba protective area, Egypt. *Radiation Protection Dosimetry*, 121(3), 284–292.
- El-Mageed, A.I., El-Kamel, A.H., Abbady, A.B., Harb, S. & Saleh, I.I. (2013). Natural radioactivity of ground and hot spring water in some areas in Yemen. *Desalination*, 321, 28-31.
- Erdoğan, M., Eren, N., Demirel, S. & Zedef, V. (2013). Determination of Radon Concentration Levels in Well Water in Konya, Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*, 156 (4), 489-494.
- Erdoğan, 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.
- Erees, F.S., Aytas, S., Sac, M.M., Yener, G. & Salk, M. (2007). Radon concentrations in thermalwaters related to seismic events along faults in the Denizli Basin, Western Turkey. *Radiation Measurements*, 42, 80- 86.
- Genitron Instrument GmbH. (2012). *AlphaGUARD Portable Radon Monitor*. 1–59.
- 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.
- 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.
- Horvath, A., Bohus, L.O., Urbani, F., Marx, G., Piroth, A. & Greaves, E.D. (2000). Radon concentrations in hot spring waters in northern Venezuela. *Journal of Environmental Radioactivity*, 47, 127–133.

- Inacio, M., Soares, S. & Almeida, P. (2017). Radon concentration assessment in water sources of public drinking of Covilhã's county, Portugal. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 10(2), 135-139
- 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.
- Jobbágy, V., Kávási, N., Somlai, J., Máté, 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.
- Kapdan, E., Taşkın, H., Kam, E., Osmanlıoğlu, A.E., Karahan, G. & Bozkurt, A. (2012). A study of environmental radioactivity measurements for Cankiri, Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*, 150(3), 398-404.
- Kam, E. & Bozkurt, A. (2007). Environmental radioactivity measurements in Kastamonu Region of northern Turkey. *Applied Radiation Isotopes*, 65, 440-444.
- Karahan, G., Öztürk, N. & Bayülken, A. (2000). Natural Radioactivity in Various Surface Waters in Istanbul, Turkey. *Water Research*, 34 (18), 4367-4370.
- Karamanis, D., Stamoulis, K. & Ioannides, K.G. (2007). Natural radionuclides and heavy metals in bottled water in Greece. *Desalination*, 213, 90-97.
- 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.
- Kendall, G.M. & Smith, T.J. (2002). Doses to organs and tissues from radon and its decay products. *Journal of Radiological Protection*, 22(4), 389-406.
- 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.
- Koby, Y., Cevik, U., Damla, N., Koby, A.I., Taskın, H. & Kemer, B. (2010). Radiological characterization of natural spring waters in Eastern Black Sea Region, Turkey. *Environmental Forensics*, 11(1-2), 187-192.

- Koray, A., Akkaya, G., Kahraman, A. & Kaynak, G. (2014). Measurements of Radon Concentrations in waters and Soil Gas of Zonguldak, Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*, 162 (3), 375–381.
- 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*. 2nd ed., New York, USA. John Wiley & Sons.
- Krane, K. S. (2001). *Nükleer Fizik, Başar Şarer*, 1. Cilt, Palme Yayıncılık, Ankara.
- Krieger, R. (1981). Radioactivity of construction materials. *Betonwerk.Fertigteilt-Tech.* 47, 468.
- Kumru, M.N. (2002). Gediz Nehri'nden Ege Denizi'ne Taşınan Doğal Radyoaktivitenin (Radyum) Belirlenmesi, *Çev-Kor.*, Cilt: 10, Sayı: 43, 22-25.
- Kurnaz, A. (2009). Determination of Radioactivity Levels of Trabzon Province and Şebinkarahisar County. Karadeniz Technical University, Doctoral Thesis, Trabzon, Turkey.
- Kurnaz, A. & Çetiner, M.A. (2016). Exposure assessment of the radon in residential tap water in Kastamonu. *International Journal of Radiation Research*, 14(3), 245-250.
- Liu, Y., Mou, S. (2004). Determination of bromate and chlorinated haloacetic acids in bottled drinking water with chromatographic methods. *Chemosphere*, 55, 1253-1258.
- 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.
- Marques, A.L., Santos, W. & Geraldo, L.P. (2004). Direct measurements of radon activity in water from various natural sources using nuclear track detectors. *Applied Radiation and Isotopes*, 60, 801–804.
- NCRP, (1989). National Council on Radiation Protection and Measurements, Guidance on Radiation Received in Space Activities, NCRP Report No. 98, National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, Maryland.
- 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.

- 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.
- Orosun, M.M., Tchokossa, P., Nwankwo, L.I., Lawal, T.O., Bello, S.A. & Ige, S.O. (2016). Assessment of Heavy Metal Pollution in Drinking Water due to Mining and Smelting Activities in Ajaokuta, Nigeria. *Nigerian Journal of Technological Development*, 13 (1), 31-39.
- 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.
- Otwoma, D. & Mustapha, A.O. (1998). Measurement of ^{222}Rn Concentration in Kenyan Groundwater. *Health Physics*, 74, 91.
- Öner, F., Yalim, H.A., Akkurt, A. & Orbay, M. (2009). The Measurements of Radon Concentrations in Drinking Water and The Yesilirmak River Water in the Area of Amasya in Turkey, *Radiation Protection Dosimetry*, 133(4), 223-226.
- Özmen, B. (2011). Earthquake Probability Forecasts for Kastamonu and Near Surroundings. *Geological Bulletin of Turkey*, 54(3), 109-122.
- 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.
- 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, ISSN: 2639-7269
- 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.
- Rosborg, I., Nihlgård, B., Gerhardsson, L., Gerneresson, M. L., Ohlin, R. & Olsson, T. (2005). Concentrations of inorganic elements in bottled waters on the Swedish market. *Environmental Geochemistry and Health*, 27(3), 217-227.

- 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.
- Saad, B., Pok, F.W., Sujari, A.N.A. & Saleh, M.I. (1998). Analysis of anions and cations in drinking water samples by capillary ion analysis. *Food Chemistry*, 61, 249–254.
- 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.
- 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.
- 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.
- Sarrou, I. & Pashalidis, I. (2003). Radon Levels in Cyprus. *Journal of Environmental Radioactivity*, 68, 269.
- Singh, J., Singh, H., Singh, S. & Bajwa, B.S. (2009). Estimation of uranium and radon concentration in some drinking water samples of Upper Siwaliks, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 154, 15–22.
- Stalder, E., Blanc, A., Haldimann, M. & Dudler, V. (2012). Occurrence of uranium in Swiss drinking water. *Chemosphere*, 86, 672-679.
- Şahin, L., Çetinkaya, H., Saç, M.M. & İçhedef, M. (2013). Determination of Radon and Radium Concentrations in Drinking Water Samples Around the City of Kütahya. *Radiation Protection Dosimetry*, 155 (4), 474–482.
- Tabar, E. & Yakut, H. (2014). Radon measurements in water samples from the thermal springs of Yalova basin, Turkey. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 299, 311-319.
- Tamagnini, L.M. & Gonzalez, R.D. (1997). Bacteriological stability and growth kinetics of *Pseudomonas aeruginosa* in bottled water. *Journal of Applied Microbiology*, 83, 91–94.
- Tarim, U.A., Gurler, O., Akkaya, G., Kilic, N., Yalcin, S., Kaynak, G. & Gundogdu, O. (2012). Evaluation of Radon Concentration in Well and Tap Waters in Bursa, Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*, 150 (2), 207-212.
- 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.

- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). (1993). 1993 Report to the General Assembly, with scientific annexes. United Nations sales publication E.94.IX.2. United Nations, New York.
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). (2000). UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with scientific annexes, Vol. 1, Sources, Annex B, Exposures from natural radiation sources, United Nations, New York.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). (1994). Report to the United States Congress on Radon in Drinking Water, Multimedia Risk and Cost Assessment of Radon. *United States Environmental Protection Agency, Office of Water, 4601, EPA 811-R-94-001.*
- URL-1 Ohio Department of Natural Resources, web page, date of November 2018, <http://water.ohiodnr.gov/portals/soilwater/pdf/greatlakescompact/ODNR%20DS&WR-Fact%20Sheet%2093-18%20The%20Hydrologic%20Cycle.pdf>.
- URL-2 Chapter 15 hydrological cycle and cities, web page, date of November 2018, <https://www.researchgate.net/publication/308983893>.
- URL-3 Drinking Water–Sources, Sanitation and Safeguarding web page, date October 2018, http://www.formas.se/PageFiles/5257/Drinking_water.pdf.
- URL-4 University of Istanbul, web page, October, 2018 http://cdn.istanbul.edu.tr/statics/subilimleri.istanbul.edu.tr/wp-content/uploads/2017/09/SU_BILIMLERI_FAK_ACILIS_DERSI.pdf (in Turkish)
- URL-5 Kuzeydoğu Anadolu Kalkınma Ajansı, web page, October, 2018 https://www.kudaka.org.tr/ekler/cb048-ambalajli_icme_suyu_projesi.pdf (in Turkish).
- URL-6 Nuclear Forensic Search, web page, date of November 2018 <http://metadata.berkeley.edu/nuclear-forensics/Decay%20Chains.html>.
- 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.
- Warburton, D.W. & Austin, J.W. (1997). Bottled water (Chapter 34). In: *Microbiology of Food*. Chapman & Hall, London.
- World Health Organization (WHO). (2004). *Guidelines for Drinking-Water Quality*, Geneva, Switzerland.

- World Health Organization (WHO). (2011). Guidelines for Drinking-Water Quality, Fourth Edition, ISBN 978 92 4 154815 1, Geneva, Switzerland.
- 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.
- Yalim, H.A., Sandıkcıoğlu, A., Unal, R. & Orhun, O. (2007). Measurements of radon concentrations in wellwaters near the Aksehir fault zone in Afyonkarahisar, Turkey. *Radiation Measurements*, 42, 505- 508.
- Yarar, Y., Günaydi, T. & Çelebi, N. (2006). Determination of Radon Concentrations of The Dikili Geothermal Area in Western Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*, 118 (1), 78-81.
- Yiğitoğlu, I., Öner, F., Yalim, H.A., Akkurt, A., Okur, A. & Özkan, A. (2010). Radon Concentrations in Water in The Region of Tokat City in Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*, 142 (2-4), 358–362.
- Zakariya, N. I. & Kahn, M.T.E. (2014). Benefits and Biological Effects of Ionizing Radiation. *Scholars Academic Journal of Biosciences*, 2(9), 583–591.
- Zriba, N.A.E.M.. (2019). Determination of Radiological and Chemical Aspects of Packaged Drinking Waters Consumed in Cappadocia Region, Kastamonu University, Physics Department, master thesis, Kastamonu, Turkey.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Fatma Mohamed ALZARIDI
Doğum yeri, tarih : Misrata (Libya) –07/01/1986
Medeni hali : Evli
E-mail : fatmaalzrady@yahoo.com



EĞİTİM

Lise : Misrata High School (Libya)
Lisans : Physics Department of Misrata
University (Libya) (2009)