

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

FİZİK ANABİLİM DALI

**RİZE İLİ İÇME SULARINDA TOPLAM ALFA, TOPLAM BETA AKTİVİTESİ
VE DOZ DEĞERLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İlker Sadık İSLAM

EKİM 2016

TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK ANABİLİM DALI

**RİZE İLİ İÇME SULARINDA TOPLAM ALFA, TOPLAM BETA AKTİVİTESİ VE
DOZ DEĞERLERİ**

İlker Sadık İSLAM

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

“YÜKSEK LİSANS (FİZİK)”

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 19 / 09 / 2016

Tezin Savunma Tarihi : 07 / 10 / 2016

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Uğur ÇEVİK

Trabzon 2016

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Fizik Anabilim Dalında
İlker Sadık İSLAM Tarafından Hazırlanan**

**RİZE İLİ İÇME SULARINDA TOPLAM ALFA, TOPLAM BETA AKTİVİTESİ VE
DOZ DEĞERLERİ**

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 20/ 09/ 2016 gün ve 1668 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Belgin KÜÇÜKÖMEROĞLU

Üye : Prof. Dr. Uğur ÇEVİK

Üye : Prof. Dr. Hasan BALTAŞ





Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Rize ilinde sularda toplam alfa ve beta aktivite analizlerinin yapılmasını amaçlayan bu çalışma, TÜBİTAK 1002 Hızlı Destek Programı tarafından desteklenmiş bir araştırma projesidir. Ayrıca çalışmamız için yolluk giderlerini karşılamak amacıyla Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi BAB birimi tarafından da destek alınmıştır.

Projemiz, halk sağlığını ilgilendiren ve ciddi bir çevresel risk oluşturan sulardaki toplam alfa ve beta aktivite aktivitelerinin topraktan gelen etkileri dikkate alınarak yapılmıştır.

En başta aileme, maddi manevi destekleriyle bana güç verip güvendikleri için teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca projemize maddi destek sağlayan kurumlarımız TÜBİTAK ve RTEÜ-BAB'a teşekkür ediyorum. Yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmada karşılaşmış olduğum güçlüklerin aşılmasında beni yönlendiren ve bilgisini benimle paylaşan değerli tez ve proje danışmanım Prof. Dr. Uğur ÇEVİK'e, proje yürütücüsü olarak işin ilerleyişinde yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Songül AKBULUT'a ve numunelerin radyoaktivite analizlerinin yapılmasını sağlayan ÇNAEM Sağlık Fiziği Bölümü'ndeki Uzman Halim TAŞKIN'a katkılarından dolayı teşekkür ederim. Son olarak tez aşamasında yardımlarını esirgemeyen bilgilerimi benimle paylaşmaktan çekinmeyen, sürekli istişare içinde bulunduğumuz can dostum Arş. Gör. Ahmet ÇELİK'e teşekkür ederim.

İlker Sadık İSLAM
Ekim, 2016

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum "Rize İli İçme Sularında Toplam Alfa, Toplam Beta Aktivitesi ve Doz Değerleri" başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Uğur ÇEVİK'in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.
07/10/2016

İlker Sadık İSLAM

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	X
KISALTMALAR VE SEMBOLLER DİZİNİ	XI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Radyoaktivite.....	7
1.2.1. Radyoaktif Bozunma Kanunu	9
1.2.2. Radyoaktif Bir Numunenin Yarı ve Ortalama Ömrü	11
1.2.3. Peş Peşe Parçalanma Kanunu.....	12
1.2.4. Geçici Denge	14
1.2.5. Sürekli Denge	15
1.3. Radyoaktif Bozunma Türleri.....	15
1.3.1. Alfa Bozunumu	15
1.3.2. Beta Bozunumu	17
1.3.3. Gama Bozunumu	17
1.4. Aktivite ve Radyasyon Birimleri.....	19
1.4.1. Aktivite Birimleri	20
1.4.2. Işınlanma Birimi.....	20
1.4.3. Soğurulmuş Doz	20
1.4.4. Eşdeğer Doz	21
1.4.5. Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (AEDE).....	21
1.5. Radyasyon Kaynakları	21
1.5.1. Doğal Radyasyon Kaynakları.....	22

1.5.2.	Topraktaki Doğal Radyoaktivite	24
1.5.3.	Sulardaki Doğal Radyoaktivite	24
1.5.4.	İnsan Vücudunda Bulunan Radyoaktivite.....	26
1.6.	Dedektör Çeşitleri.....	27
1.6.1.	Orantılı Sayaç	27
1.6.2.	Yarı İletken Dedektörler.....	29
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	31
2.1.	Örnekleme Bölgesi	31
2.2.	Su Örneklerinde Toplam (Gross) Alfa ve Beta Analizleri	36
2.2.1.	Su Örneklerinin Toplanması ve Sayıma Hazırlanması	36
2.2.2.	Su Örneklerinde Toplam (Gross) Alfa ve Beta Analizleri	36
2.2.2.1.	Toplam Alfa Aktivitesi Analizi	37
2.2.2.2.	Toplam Beta Aktivitesi Analizi.....	38
2.3.	Toprakta Bulunan ²³⁸ U, ²³² Th, ⁴⁰ K, ²²⁶ Ra ve ¹³⁷ Cs Aktiviteleri Analizi.....	39
3.	BULGULAR VE TARTIŞMALAR	42
3.1.	Sulardaki Toplam Alfa ve Beta Aktivitesi	42
3.2.	Toprak Örneklerinin Radyoaktiflik Seviyeleri ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri ..	50
4.	SONUÇLAR	54
5.	ÖNERİLER	55
6.	KAYNAKLAR.....	56
	ÖZGEÇMİŞ	

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

RİZE İLİ İÇME SULARINDA TOPLAM ALFA, TOPLAM BETA AKTİVİTESİ VE
DOZ DEĞERLERİ

İlker Sadık İSLAM

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Uğur ÇEVİK
2016, 61 Sayfa

Bu çalışmada Rize il merkezi, ilçeleri ve ilçelere bağlı bazı köylerin yerleşim yerlerinden içme ve kullanma suyu örneklerinin toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyonlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Rize ili içinde ilçelere bağlı köylerden 61 adet su örneklerinin toplam alfa ve toplam beta aktivitelerini belirlemek için Berthold LB770 model 10 kanallı düşük seviyeli orantılı sayacı kullanılmıştır. Toplam alfa ve toplam beta analizleri “EPA 900,0” standart metoduna göre yapılmıştır. İçme ve kullanma su örneklerinin ortalama toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri sırasıyla 22 mBq/L ve 85 mBq/L olarak ölçülmüştür. Ölçülen aktivite değerleri kullanılarak bebekler, çocuklar ve yetişkinler için yıllık etkin doz değerleri ilçeler bazında hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Doğal Radyasyon, İçme Suları, Rize, Etkin Doz, Toplam Alfa ve Toplam Beta, Aktivite.

MSc. Thesis

TOTAL ALPHA, TOTAL BETA ACTIVITIES OF DRINKING WATER IN RIZE
PROVINCE AND DOSE VALUES

SUMMARY

İlker Sadık İSLAM

Karadeniz Technical University
Institute of Natural Sciences
Discipline of Physics
Advisor: Prof. Dr. Uğur ÇEVİK
2016, 61 Pages

The aim of the study is to detect gross alpha and beta activity concentrations of drinking waters in city center, counties and some villages of Rize. The Berthold LB770 multi-channel and low energetically detector was used to detect gross alpha and beta concentrations in the water, which are collected from sixty-one different locations (above mentioned). Gross alpha and beta analyses were performed according to “EPA 900.0” standard method. The average gross alpha and beta activities for drinking and tap waters were measured 22 mBq/L and 85 mBq/L, respectively. The annual effective-dose was calculated for babies, children and adults in all counties of Rize by using measured activity values.

Key Words: Natural radiation, drinking waters, Rize, Effective dose, Gross alpha, Gross beta, Activity

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Kararlı çekirdeklerin N-Z grafiği	9
Şekil 2. Aktifliğin zamana göre değişimi	10
Şekil 3. Peş peşe bozunma grafiği	14
Şekil 4. Gama ışınları şiddetinin soğurucu plaka kalınlığına bağlı olarak değişimi	19
Şekil 5. Doğal ve yapay radyasyon kaynakları.....	22
Şekil 6. Doğal radyasyon kaynakları	23
Şekil 7. Orantılı sayaç şeması	28
Şekil 8. Yarı iletken dedektör şeması	30
Şekil 9. Örnekleme bölgesi	32
Şekil 10. Berthold LB 770 Model Çok Kanallı Orantılı Sayaç	37
Şekil 11. Toprak örneği için sayım-enerji spektrumu.....	41
Şekil 12. Rize ili içme sularında toplam alfa aktivitesi dağılımları.....	43
Şekil 13. Rize ili içme sularında toplam beta aktivitesi dağılımları	44
Şekil 14. Gross alfa aktivitesi sıklık dağılımı	45
Şekil 15. Gross beta aktivitesi sıklık dağılımı	45

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Radyasyon özel birimler ile SI birimleri arasındaki ilişki.....	19
Tablo 2. Doğada bilinen dört radyoaktif seri	23
Tablo 3. Toprakta bulunan doğal radyonüklitler	24
Tablo 4. İçme sularındaki radyoaktivite limitleri	25
Tablo 5. İnsan vücudunda bulunan radyoaktif elementler.....	27
Tablo 6. Örnekleme bölgesinin koordinatları	33
Tablo 7. Su örneklerinde ortalama toplam α ve β aktivite konsantrasyonları	42
Tablo 8. Su örnekleri analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirmesi	46
Tablo 9. İçme sularındaki alfa ve beta yayınlayıcılarından dolayı maruz kalınan yıllık etkin doz değerleri ($\mu\text{Sv/y}$)	48
Tablo 10. Farklı bölgelerde ortalama toplam α ve β aktivite konsantrasyonları	50
Tablo 11. Topraktaki radyonüklit konsantrasyonları, absorblanan ve etkin doz değerleri.....	52
Tablo 12. Türkiye' de ve dünyada bazı bölge topraklarındaki radyonüklit seviyeleri	53

KISALTMALAR VE SEMBOLLER LİSTESİ

A	: Aktiflik
BEIR	: Biological Effects of Ionizing Radiation
Bq	: Becquerel
Ci	: Curie
D	: Soğurulan doz
Gy	: Gray
Sv	: Sievert
IAEA	: International Atomic Energy Agency
IARC	: International Agency for Research on Cancer
ICRP	: International Commission on Radiological Protection
NRPB	: National Radiological Protection Board
TAEK	: Türkiye Atom Enerji Kurumu
UNSCEAR	: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
$T_{1/2}$: Yarı ömür
WLM	: Working Level Month
WHO	: World Health Organization
λ	: Bozunma sabiti
τ	: Ortalama ömür

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

İnsanoğlu ve diğer canlılar, milyonlarca yıldan beri evrenden gelen kozmik ışınlar ve yerkürede bulunan doğal radyoaktif maddelerden yayılan radyasyonla ışınlanmakta olup; tüm canlılar varoluşlarından bu yana sürekli olarak doğal radyasyonla iç içe yaşamaktadırlar. Vücudumuza solunum ve sindirim yollarıyla, hava, su, tüm bitkisel ve hayvansal besinlerde az da olsa bulunan radyoaktif maddeler alınmakta, bunlarda zamanla çeşitli organlarda birikmektedir.

Buna ek olarak kozmik ışınlardan ve yerkürede bulunan doğal radyoaktif maddelerden etkilendiğimiz de düşünüldüğünde, insan vücudu hem iç hem de dış radyasyon ışınlanmasına doğal olarak maruz kalmaktadır (Durrani ve Iliç, 1997).

Bilindiği üzere, canlıların yaşamlarını sürdürebilmesi için gerekli olan en önemli elemanlarından biri sudur. En küçük canlı organizmadan en büyük canlı varlığa kadar, bütün biyolojik yaşamı ve bütün insan faaliyetlerini ayakta tutan sudur. Dünyamızın %70'ini kaplayan su, bedenimizin de önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Ancak yeryüzündeki su kaynaklarının yaklaşık %0,3'ü kullanılabilir ve içilebilir özelliktedir. Dünyadaki mevcut suyun hacmi 141 milyar m³'tür. Bu miktar dünya yüzeyini 3 km kalınlığında bir tabaka halinde sarabilecek büyüklüktedir.

İnsanoğlu, su ihtiyacını yüzeysel sular ve yeraltı su kaynaklarından temin etmektedir. Tatlı suların en önemli kaynağı yağışlardır. Küresel yıllık yağış 500 bin m³ olup, her yıl yeryüzüne inen yağış miktarı ortalama olarak aynı miktardadır (Damla, 2005).

Yeryüzündeki sular güneş enerjisi sayesinde sürekli hidrolojik bir döngü içerisinde. Bu döngü içerisindeki sular fiziksel ve kimyasal kirliliğe maruz kalabilecekleri gibi buldukları ortama bağlı olarak radyoaktif maddeler yönünden de kirlenebilirler. Bundan dolayı, sulardaki radyoaktif kirlenmelerin sağlıklı bir şekilde değerlendirilebilmesi için suların radyoaktivite konsantrasyonlarının yani toplam alfa ve beta aktivitelerinin ölçmesi gerekmektedir. Bu ölçülen değerlerin, insan sağlığı için ulusal ve uluslararası kuruluşlar tarafından belirlenmiş üst limitleri mevcuttur.

Doğal kaynakların yanı sıra, bir bölgedeki doğal radyasyon seviyesini nükleer olaylar, reaktör kazaları gibi insanlar tarafından üretilen yapay radyasyon kaynakları da

etkileyebilir. Dünyanın yapısında bulunan çok uzun ömürlü radyoaktif elementler, kozmik ışınlar, nükleer denemeler ve gelişen teknolojik ürünlerin kullanımı yaşadığımız çevrede radyasyon düzeyini arttırmaktadır. Dünyada bir insanın yıllık olarak aldığı radyasyon dozu yaklaşık 2,8 mSv' lik doza eşdeğerdir. Bu dozun yaklaşık %82'si doğal kaynaklardan meydana gelmektedir (IAEA, 1996). Doğal radyasyon kaynaklarından dolayı temel radyasyon seviyesini belirlemek için çevresel radyoaktivite ölçümleri yapmak gereklidir. Bu tez çalışmasında Rize' de içme sularında toplam alfa, beta aktivitesi ve doz değerleri hesaplanmıştır. Sulardaki doğal radyoaktifliği belirlemek amacıyla literatürde yapılmış birçok çalışmaya rastlamak mümkündür. Bu tür çalışmaların bazıları ülkelerin bütünü, bazıları bölgesel ve bazıları da bu çalışmada olduğu gibi belirli bir il kapsamında yapılmıştır. Yapılan çalışmalardan bazıları şunlardır;

İstanbul'da yapılan çalışmada, İstanbul ilinden alınan musluk ve kuyu sularında toplam alfa ve beta aktiviteleri incelenmiştir. İçme sularındaki toplam alfa ve beta için radyoaktiflik konsantrasyonları sırasıyla, 0,007-0,04 Bq/L ve 0,02-0,1 Bq/L olarak tespit edilmiştir. Elde edilen değerler içme suyu için müsaade edilen üst sınır değerlerinin oldukça altında bulunmuştur (Karahan ve ark., 2000).

Türkiye'nin Kütahya ilinde yer alan Tunçbilek maden ocağı yakınlarındaki içme sularında radyoaktivite seviyeleri ve eser element incelemesi yapılmıştır. Bu çalışmada ise sadece bir içme suyu numunesi hariç, tüm numuneler Dünya Sağlık Örgütü'nün içme suyu için müsaade ettiği üst sınır değerlerin altında bulunmuştur (Öztürk ve ark., 2000).

Sındırgı içme suyunda yapılan çalışmada, sulardaki radyoaktivitenin belirlenmesi ve yıllık doz eşdeğerinin hesaplanması amaçlanmıştır. Bu çalışmadan alınan su örneklerinde toplam alfa ve beta aktiviteleri ile su içinde bulunan doğal uranyum (U) ve sularda bulunabilen bazı elementlerin miktarları belirlenmiştir (Gelir, 2001).

Türkiye'nin Elazığ ili için çeşitli yüzey ve musluk sularında doğal radyoaktivite incelenmiştir. Toplam alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyonları 0,02-0,17 Bq/L ve 0,01-0,29 Bq/L aralığında değişim gösterdiği bulunmuştur (Doğru ve ark., 2002).

Konya ilinde yapılan bir çalışmada, 8 farklı su kaynağından alınan su numunelerinin toplam alfa ve beta aktiviteleri ölçülmüştür. Konya ilinin merkezinden alınan su örneklerinde yapılan ölçümlerde, genel itibari ile elde edilen tüm sonuçlar göz önüne alındığında, su kaynaklarında doğal radyasyon bakımından bir problem oluşmadığı görülmüştür (Esmeray, 2005).

Devlet Su İşlerinin yaptığı bir çalışmada, toplanan su örnekleri üzerinde toplam alfa ve beta analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçların Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) ve Türkiye Standartları Enstitüsü (TSE)'nin verdiği sınır değerleri aşmadığı görülmüştür (Temel Dilaver ve ark., 2005).

Tekirdağ ili ve çevresinin doğal radyasyon seviyeleri belirlenmiştir. Bu amaç doğrultusunda gaz akışlı orantılı sayıcı kullanılarak, çeşitli içme suyu kaynaklarından alınan su örneklerinin toplam alfa ve beta sayımları yapılmıştır. İçme suları genel olarak WHO'un tavsiye ettiği toplam alfa için 0,1 Bq/L ve toplam beta için 1 Bq/L değerlerinden daha düşük bulunmuştur. Ancak Kayı, Yenice, Ulaş ve Çorlu'dan alınan içme suyu örneklerinde toplam alfa WHO'nun tavsiye ettiği değerlerin çok üzerinde çıkmıştır. Söz konusu sular yüzeysel sular olup, tarımda kullanılan yapay gübrelerden dolayı radyoaktif kirlilik oranlarının yükseldiği düşünülmektedir. Toplam beta aktivitesinin ise tavsiye edilen sınır değerlerin altında olduğu görülmüştür (Kam ve ark., 2005).

Ceyhan, Yumurtalık ve Pozantı'nın köylerinden alınan toprak, su örnekleri için radyoaktivite çalışması yapılmıştır. Su örneklerindeki toplam alfa ve beta düzeylerini tayin etmek için, gaz akışlı orantılı sayaç kullanılmıştır. İncelenen su örnekleri arasında yalnızca Yumurtalık ilçesine bağlı İncirli deniz suyunun alfa aktivitesinin, WHO'nun üst limit olarak belirlediği 0,1 Bq/L sınırını aştığı gözlenmiştir. Yine tüm su örnekleri arasında yalnızca İncirli deniz suyunun beta aktivitesinin, WHO'nun üst limit olarak belirlediği 1,0 Bq/L sınırını aştığı gözlenmiştir. Deniz suyundaki toplam alfa ve beta aktivitelerinin yüksek çıkmasının nedeni olarak deniz suyundaki potasyum miktarının fazla olması gösterilmiştir (Özger, 2005).

Doğu Karadeniz Bölgesinde yapılan bir çalışmada, musluk sularında toplam alfa ve beta radyoaktifliği tespit edilmiştir. Bu çalışma sonucu toplam alfa ve beta radyoaktifliğinin sırasıyla 0,0002–0,015 Bq/L ve 0,0252–0,264 Bq/L arasında değiştiği görülmüştür (Damla ve ark., 2006).

Kırklareli ilinde yapılan bir çalışmada, doğal radyasyon seviyesi incelenmiştir. İl genelini kapsayacak şekilde, doğal gama ışınlama doz hızları, ev-içi radon konsantrasyonları, sulara toplam alfa ve beta radyoaktivitesi ve toprak örneklerinin içerdiği doğal radyoaktif izotoplar ile fisyon ürünü olan ¹³⁷Cs radyoizotopunun konsantrasyonları belirlenmiştir. İçme sularındaki toplam alfa aktivitesinin ilçelere göre dağılımı incelendiğinde en yüksek ortalama Babaeski'de $0,0557 \pm 0,0311$ Bq/L, olarak bulunmuştur. En yüksek aktivite ise Merkez ilçeye bağlı Yoğuntaş köyündeki bir kaynak

suyunda 0,4461 Bq/L olarak bulunmuştur. Bu değer WHO'nun sınır değerinden 4 kat daha yüksektir. İçme sularındaki toplam beta aktivitesinin ilçelere göre dağılımı incelendiğinde en yüksek ortalama Pınarhisar'da $0,0656 \pm 0,0491$ Bq/L olarak bulunmuştur. En yüksek aktivite 0,5827 Bq/L ile Merkez ilçede ölçülmüştür. Tüm içme sularındaki beta aktivitesi değerleri WHO'nun sınır değerinin (1,0 Bq/L) altında bulunmuştur (Taşkın, 2006).

Şanlıurfa'daki içme sularında toplam alfa ve beta radyoaktiflik seviyeleri belirlenerek yıllık doz eşdeğerleri hesaplanmıştır (Bozkurt ve ark., 2007).

Adana ili ve çevresinde yaptığı çalışmada, doğal kaynaklarda bulunan doğal radyoaktivite değerlerinin veya doğal radyonüklit konsantrasyonlarının tayin edilmesi ve bu doğal kaynaklardan yayınlanan farklı tipteki radyasyonların ölçümleri yapılmıştır. Bu çalışmada içme suyu, deniz, göl ve nehir sularındaki toplam alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyonları ölçülmüştür. Adana ilinde ölçümü yapılan deniz, göl ve nehir suları dâhil tüm sularda toplam alfa radyoaktivite konsantrasyonu 0,0003-0,8463 Bq/L değerleri arasında toplam beta radyoaktivite konsantrasyonu 0,0189-6,81 Bq/L değerleri arasında değişmektedir (Değerlier, 2007).

Türkiye'nin kuzey batı bölgesinde yer alan Kastamonu'nda çevresel radyoaktivite ölçümleri yapılmıştır. Çalışma alanından toplanan su örneklerindeki ortalama toplam alfa ve beta aktivite konsantrasyonları sırasıyla 0,0089 Bq/L ve 0,271 Bq/L olarak ölçülmüştür. Yıllık etkin doz $1,83 \mu\text{Sv}$ ' dir (Kam ve ark., 2007).

Türkiye'nin güneydoğu bölgesinde bir sanayi ve ticaret merkezi olan Gaziantep ili için çevresel radyoaktivite seviyeleri ölçülmüştür. Bölgeden toplanan içme suyu örneklerindeki toplam alfa ve beta aktiviteleri 0,0493 Bq/L ve 0,1284 Bq/L olarak ölçülmüştür (Osmanlıoğlu ve ark., 2007).

Marmara bölgesinden alınan toprak, kömür ve su örnekleri üzerinde radyoaktivite ölçüm çalışmaları yapılmıştır. Örneklerin aktiviteleri TENNELEC LB 1000-PW detektör kullanılarak belirlenmiştir. Su örneklerinin beta aktiviteleri 0,06-0,74 Bq/L aralıklarında değiştiği gözlenmiştir (Yalçın ve ark., 2007).

Van ilinin Bendimahı Nehri Havzasındaki su içinde radyoaktivitesi ve bazı ağır metallerin konsantrasyonu değerlendirilmiştir. Mayıs ayında toplanan su örneklerinde toplam alfa ve beta aktivite konsantrasyonu 0,063-0,782, 0,021-0,816 Bq/L ve ağustos ayında toplanan su örneklerinde 0,009-0,037, 0,081-3,116 Bq/L arasında değiştiği görülmüştür (Zorer ve ark., 2008).

Türkiye'nin Doğu Karadeniz bölgesindeki Bayburt ili için çevresel radyoaktivite ölçümü yapılmıştır. Dört farklı örnekleme istasyonlarından toplanan içme suyu örneklerinde toplam alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyonları belirlenmiştir. İçme sularındaki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K ortalama aktivite konsantrasyonları 93, 30 ve 504 mBq/L olarak ölçülmüştür (Küçükömeroğlu ve ark., 2009).

Kahramanmaraş il merkezinden su, toprak ve gıda örnekleri alınarak, Kahramanmaraş yöresinin doğal radyoaktivite seviyesi tespit edilmiştir. Kahramanmaraş il merkezinde içme suyu olarak kullanılan D-13 ve ATV 2000 su depolarında toplam alfa aktivitesi hariç diğer tüm örneklerin toplam alfa ve beta aktiviteleri, müsaade edilen üst sınırların altında bulunmuştur (Küçükönder, 2009).

Batman iline ait yapılan bir çalışmada, içme sularında toplam alfa ve beta radyoaktiviteleri tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, yıllık etkin dozun WHO'nun belirlemiş olduğu değerin (0,1 mSv) altında olduğu gözlenmiştir (Damla ve ark., 2009).

İzmir çevresindeki göl yüzey sularından toplanan su örneklerinin radyoaktivite seviyeleri, yani toplam alfa, toplam beta ve uranyum konsantrasyonları incelenmiştir. Karagöl, Gölcük, Çakalbogaz Gölü yüzey sularındaki ortalama toplam alfa, beta ve uranyum aktivite konsantrasyonları sırasıyla 0,03-2,62 Bq/L, 0,75-2,35 Bq/L ve 0,03-1,77 Bq/L arasında bulunmuştur. Bu çalışma sonucu yüzey sularının radyoaktivite haritaları çıkarılmış ve veriler istatistiksel olarak da değerlendirilmiştir (Akyıl ve ark., 2009).

Doğu Karadeniz Bölgesinde yer alan 7 ildeki 53 istasyondan doğal kaynak suyu ve maden suyu örnekleri alınarak, bu örneklerde toplam alfa ve beta aktifliklerine, kimyasal element ve ağır metal analizleri yapılmıştır. Doğu Karadeniz Bölgesindeki doğal kaynak suları ve maden sularındaki doğal radyoaktiflik seviyelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir (Kobya, 2009).

Erzincan Kaplıca sularındaki doğal radyoaktivite seviyesi araştırılmıştır. Ölçülen ortalama toplam alfa aktivitesi için toplam yıllık etkin doz 6,65 μSv olarak hesaplanmıştır. Tüm örneklerdeki toplam alfa değerleri, Dünya Sağlık Örgütü'nün tavsiye ettiği toplam alfa aktivite konsantrasyonundan küçük olduğu görülmüştür. (Yalçın ve ark., 2009).

Adana'nın deniz, göl, nehir ve içme sularından toplanan su örneklerinin toplam alfa ve beta aktiviteleri belirlenmiştir. Toplam alfa ve toplam beta aktivitelerini saymak için kullanılan sistem 10 numuneyi bir arada ölçen Berthold LB770 marka düşük seviyeli bir detektördür. İçme sularındaki toplam alfa ve beta için ortalama aktiviteleri sırasıyla 0,0096 Bq/L ve 0,086 Bq/L olarak elde edilmiştir (Değerlier ve ark., 2010).

Ankara ve İzmir illerindeki termal su ve içme suları toplam alfa, beta ve trityum radyoaktifliği açısından incelenerek, bölgelerin kendi içerisinde ve bölgeler arasında termal su ve içme sularının radyoaktivitesi açısından karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışma bölgesinden her bir il için yaklaşık 11 farklı lokasyondan termal su (yeraltı suyu) ve içme suyu (yüzey suyu) numuneleri alınmıştır. Bu çalışmada İzmir ve Ankara'dan 2 ayrı dönemde alınan içme sularının tamamının toplam alfa ve beta aktiviteleri sınır değerlerinin altında bulunmuştur (Kırkpınar, 2010).

Türkiye'nin Batman ili için çevresel radyoaktivite değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışma alanından toplanan musluk sularında ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları sırasıyla 42 ± 15 , 35 ± 9 ve 524 ± 190 mBq/L olarak belirlenmiştir (Damla ve ark., 2010).

Brezilya'daki yeraltı sularında doğal radyoaktiflik seviyeleri belirlenmiştir. Yeraltı sularındaki ^{228}Ra , ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{210}Pb ve U_{nat} içerikleri sırasıyla 0,045, 0,014, 57,7, 0,040 Bq/L ve 1,2 µg/L olarak ölçülmüştür (Godoy ve ark., 2006).

Pakistan'da şişelenmiş içme sularında doğal radyoaktivite ölçülmüştür. Şişelenmiş içme sularının ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K ortalama konsantrasyonları $11,3\pm 2,3$, $5,2\pm 0,4$ ve $140,9\pm 30,6$ mBq/L olarak bulunmuştur (Fatıma ve ark., 2007).

İtalya'da üretilen bazı şişe sularında doğal radyoaktivite kontrolü yapılmıştır. Sulardaki toplam alfa ve beta aktiviteleri ve ^{238}U , ^{234}U , ^{226}Ra ve ^{210}Po konsantrasyonları ölçülmüştür. Toplam alfa ve beta aktiviteleri ISO 9696 ve ISO 9697 standartlarına göre belirlenmiştir. Ölçülen toplam alfa ve beta değerleri sırasıyla 4,02-277,50 mBq/L ve 24,91-930,00 mBq/L'den daha küçük elde edilmiştir (Desideri ve ark., 2007).

Yunanistan'da yapılan başka bir çalışmada, Yunanistan'da yer alan Attika'daki içme suyunda radyoaktivite gözlenmiştir. 2004 yılından beri, Yunanistan Attika bölgesinde üç gölden alınan içme suyunda radyoaktivite üzerine çalışmalar yapılmıştır. Toplam alfa ve beta aktivite ölçümünde bir tarama yöntemi kullanılmıştır. Tüm su örneklerindeki toplam alfa ve beta aktiviteleri izin verilen sınır değerlerin altında bulunmuştur. ^{238}U ve ^{234}U değerleri sırasıyla 0,91-17,27 ve 2,13-22,01 mBq/L arasında değişmektedir. $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ aktivite oranı 1,12-2,40 mBq/L arasında değişmektedir (Kehagia ve ark., 2007).

Güneybatı Nijerya'da özel kuyu sularında doğal radyoaktivite tayini edilmiştir. Ölçümler Canberra multichannel analiz sistemi ile birleştirilen yüksek saflıkta (HPGe) koaksiyel dedektörleri (Canberra, GC 2018-7500) kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmada

^{226}Ra , ^{228}Ra ve ^{40}K için aktivite konsantrasyonları 0,57-26,86, 0,20-60,06 ve 0,35-29,01 Bq/L aralığında değiştiği bulunmuştur (Ajayi ve ark., 2008).

Sudan'da yapılan bir çalışmada, Kadugli çevresindeki yer altı suları ve Miri gölünden alınan yüzey sularında doğal radyoaktivite seviyeleri araştırılmıştır. Yüzey sularında radyonüklit seviyeleri çok düşük seviyelerde sonuçlar göstermiştir. Bir yer altı su numunesi hariç diğerlerinin hepsinde yıllık etkin doz miktarı Dünya Sağlık Örgütünün (WHO) verdiği değerin (0,1 mSv/y) altında olduğu gözlenmiştir (Alfatih ve ark., 2008).

İtalya'dan alınan içme sularındaki doğal radyonüklitlerden alınan radyasyon doz miktarları incelenmiştir. Analiz edilen bütün örneklerdeki yıllık etkin doz miktarı 2,81-36,5 $\mu\text{Sv/yr}$ aralıklarında bulunmuştur (Jia ve ark., 2009).

Macaristan'da Balaton Upland' taki kaynak sularında toplam alfa ve beta aktivite konsantrasyonları incelenmiştir. Macaristan'ın Balaton Upland bölgesindeki düzenli olarak tüketilen kaynak sularında ve doğal alfa yayıcı radyonüklitler üzerine bir çalışma yapılmıştır. Macaristan'ın Balaton Upland bölgesindeki kaynak sularında önemli radyoaktivite seviyeleri bulunmuştur. Gaz akışlı orantılı sayaç ile su örneklerinin toplam alfa ve beta aktivite konsantrasyonları analiz edilmiştir. Toplam alfa ve beta aktivite konsantrasyonları sırasıyla 60-1749 mBq/L ve 33-2015 mBq/L aralığında değiştiği belirlenmiştir. Genel olarak, toplam beta aktivitesi toplam alfa aktivitesinden daha yüksek bulunmuştur (Jobbagy ve ark., 2011).

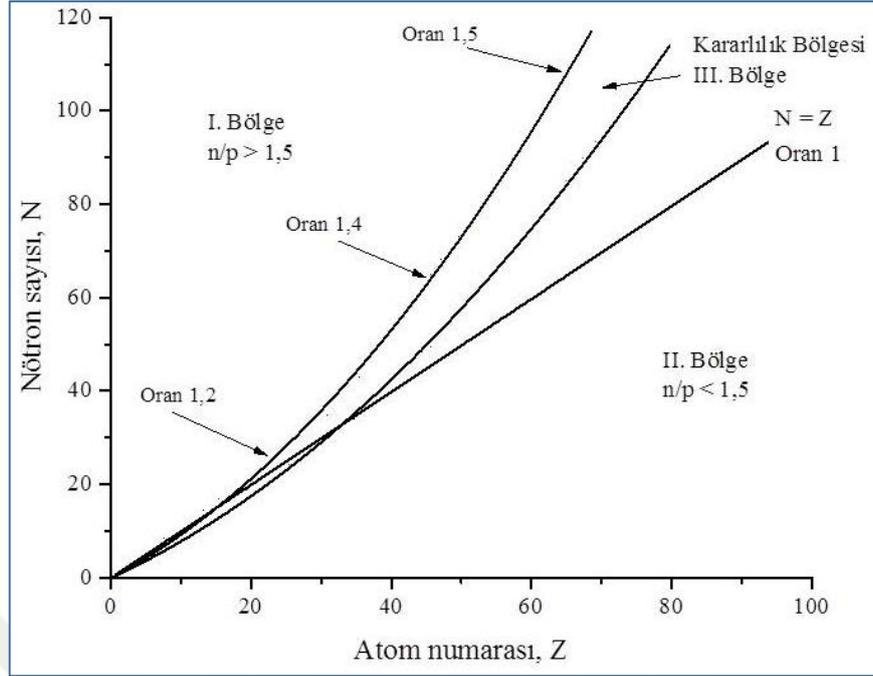
Kıbrıs'taki doğal su sistemlerinde toplam alfa radyoaktivite konsantrasyonlarının mevsimsel değeriklikleri incelenmiştir. Bu çalışmanın amacı Kıbrıs'taki yeraltı sularının ^{238}U ve ^{234}U konsantrasyonu ve toplam alfa, beta radyoaktivitesinin mevsimsel değerimini belirlemektir (Tsiaili ve ark., 2011).

1.2. Radyoaktivite

Radyoaktivite, 24 şubat 1896'da Henry Becquerel tarafından keşfedilmiştir. Becquerel radyoaktivite olayını tesadüfen keşfettiğinde belirli floresans tuzlarının güneş ışınlarıyla aktiflendikten sonra yayınladıkları radyasyonlar üzerinde çalışıyordu. şans eseri olarak kalın bir kâğda sarılmış uranyum ve potasyum sülfattan ibaret numuneyi karanlık bir odada fotoğraf levhalarının yanında bıraktı. Levhalar banyo edildiklerinde ışığa karşı tamamen korunmuş olmalarına rağmen ışıkta kalmış gibi bir sonuç verdiler. Bu deneyi tekrarlayan Becquerel fotoğraf levhalarının etkilenmesinin floresans veya X-ışınları ile

ilgisi olmadığını, sadece uranyum elementinin bir özelliği olduğunu ve fotoğraf levhalarını etkileyen bir tür radyasyonun uranyum tuzundan yayımlandıkları sonucuna varmıştır. Becquerel 'in keşfinden sonra radyasyonun özelliklerini anlamaya yönelik büyük çabalar sarf edilmiştir. İlk araştırmaların birçoğu Curie' ler, William Crokes, Ernest Rutherford ve Rutherford 'un Cambridge'deki arkadaşları tarafından yürütülmüştür. Doğal radyoaktif maddelerin radyasyonları, girme güçlerine bağlı olarak üç ayrı grupta sınıflandırılmışlardır. Birinci grup, girici güçleri çok zayıf olanları kapsamaktadır. Bunlar herhangi bir kâğıt parçası tarafından bile durdurulabilmekte, fakat havada yoğun iyonlaşmalara sebep olmaktadır. Bu radyasyonlar alfa parçacıkları (α -parçacıkları) olarak adlandırılmıştır. İkinci grubu oluşturan iyonlaştırma güçleri daha az, ancak α -parçacıklarından daha büyük girici güce sahip ve birkaç mm kalınlığındaki metal levhalardan kolayca geçebilen radyasyona beta parçacıkları (β -parçacıkları) adı verilmiştir. Üçüncü gruptakiler de az iyonlaşmaya sebep olurlar fakat farklı maddelerin santimetrelerce kalınlığından geçebilmektedirler. Bunlara da gama ışınları (γ -ışınları) adını verilmiştir. Gama ışınları çok yüksek enerjili, elektromanyetik dalgalardır ve ışık hızıyla hareket ederler. Alfa ve beta parçacıklarından daha fazla giricidirler (Arya, 1983).

Bir çekirdeğin kararlılığı sahip olduğu nötronların ve protonlarının oranına bağlıdır. Teorik olarak, nötronlarının, protonlarına oranı (N/P) yaklaşık olarak 1 olan elementler kararlıdır. Bu şart, düşük atom numaralı elementler için kolaylıkla sağlanabilmektedir. Yüksek atom numaralı elementlerde ise bu oranın 1'den uzaklaştığı ve çekirdeğin kararsız olma olasılığının arttığı görülmektedir. Bu durumda "kararsız veya Radyoaktif Çekirdek" ortaya çıkmaktadır. Kararsız olan çekirdekler alfa (α), beta (β) parçacıkları ve gama (γ) gibi yüksek enerjili fotonlar salarlar, bu olay çekirdek kararlı hale gelinceye kadar devam eder (Kara, 2008).



Şekil 1. Kararlı çekirdekler için N-Z grafiği

1.2.1. Radyoaktif Bozunma Kanunu

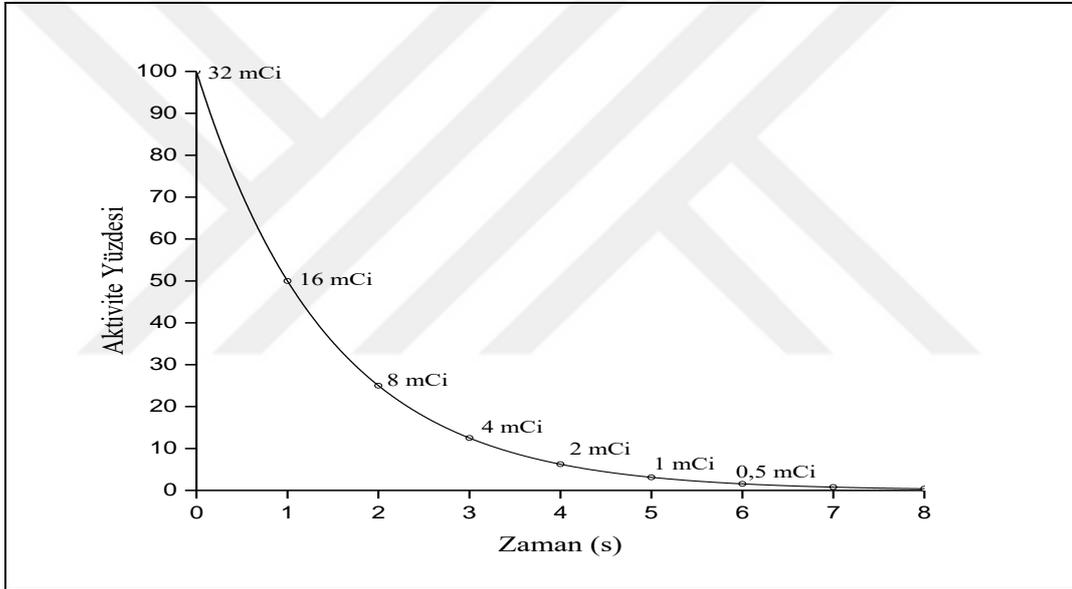
Fiziksel açıdan, bir radyoaktif numune içindeki herhangi bir atomun ne zaman bozunacağını bilmek mümkün değildir. Radyoaktif bozunma zamana göre rasgele gerçekleşir ve ancak istatistik ve de olasılık kuramları çerçevesinde bazı özellikleri bulunabilir. Önemli bir yaklaşım tek tek çekirdeklerle ilgilenmek değil zamana göre daima sabit kalan bir nicelik olan bir kavramı, bir radyoaktif çekirdeğin birim zamanda bozunma olasılığını incelemektir. Bu olasılık radyoaktif bozunma sabiti olarak adlandırılmakta ve genellikle λ ile gösterilmektedir. Radyoaktivitenin bozunma yasasına göre, radyoaktif çekirdeğin yaşı ne olursa olsun bozunma olasılığı λ sabittir. Radyoaktif bir çekirdekte birim zaman aralığında meydana gelen bozunma sayısı çekirdeğin bozunma hızı veya aktivitesi olarak tanımlanır. Eğer herhangi bir t anında N tane radyoaktif çekirdek varsa ve numuneye dışarıdan çekirdek ilave edilmiyorsa sonsuz küçük dt zaman aralığı içinde bozunan çekirdek sayısı N ile orantılı olacaktır.

$$\frac{dN(t)}{N(t)} = -\lambda N(t) \quad (1)$$

Eksi işareti zamanla radyoaktif atomların azaldığını gösteriyor. Denklem çözülerek radyoaktif üstel bozunma yasası elde edilir.

$$\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda N(t) \rightarrow \frac{dN(t)}{dt} = -\int \lambda dt \rightarrow N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2)$$

Denklemden t zamanı, N(t) t zamanı sonunda arta kalan çekirdek sayısını, N_0 başlangıçtaki (t=0 iken) çekirdek sayısını ve λ radyoaktif numunenin bozunma sabitini gösterir ve birimi s^{-1} dir. Şekil 2’de bir radyoaktif çekirdeğin üstel bozunma denkleminin ait çekirdek sayısı değişimi verilmektedir.



Şekil 2. Aktifliğin zamana göre değişimi

Her iki taraf da bozunma sabiti (λ) ile çarpılırsa aktivite denklemi elde edilir.

$$N\lambda = N_0\lambda e^{-\lambda t} \quad (3)$$

Burada $N\lambda$ birim zamandaki bozunma sayısını verecektir, buna N atomdan meydana gelen topluluğun “aktivitesi” denir, I ile gösterilir, birimi bozunma/saniyedir.

$I_0 = N_0\lambda =$ Radyoaktif izotopun t=0 anındaki aktivitesi (bozunma/saniye)

$I = N\lambda =$ Radyoaktif izotopun t anındaki aktivitesi (bozunma/saniye) göstermek üzere;

$$I = I_0 e^{-\lambda t} \quad (4)$$

olarak verilir.

1.2.2 Radyoaktif Bir Numunenin Yarı ve Ortalama Ömrü

Radyoaktif bozunma yasasını ifade eden denklem (2) herhangi bir t anında bozunmadan kalabilen çekirdek sayısını vermektedir. Teorik açıdan bakıldığında numunedeki tüm çekirdeklerin bozunması için sonsuz zaman geçmesi gerekir. Yani ancak $t \rightarrow \infty$ için $N(t) = 0$ olur. Bu durumda radyoaktif maddenin ayırt edici bir özelliği olan yarı ömür kavramı kullanılır. Yarı ömür radyoaktif bir elementin başlangıçtaki çekirdek sayısının yarıya inmesi için geçen zaman olarak tanımlanmaktadır. $T_{1/2}$ ile gösterilen yarı ömür bulmak için denk. (1) de $N = \frac{N_0}{2}$ olarak alınırsa;

$$\begin{aligned} \frac{N_0}{2} &= N_0 e^{-\lambda t} \\ e^{-\lambda t} &= \frac{1}{2} \\ T_{\frac{1}{2}} &= \frac{0,693}{\lambda} \end{aligned} \quad (5)$$

elde edilir.

Radyoaktif izotopların yarı ömürleri çok değişiktir. Bilinen en kısa yarı ömürlü çekirdek 10^{-21} sn ile He, en uzun yarı ömürlü çekirdek ise 10^{17} yıl ile ^{204}Pb 'dür.

Radyoaktivitenin istatistiksel karakteri nedeni ile radyoaktif bir atomun ömrü, sıfır ile sonsuz arasında herhangi bir değer olabilir. Buna göre bir atomun ne kadar var olacağı bilinmez, ancak bir grup atomun ortalama ömründen söz edilebilir.

Bu nedenle radyoaktif atomlar için yarı ömürden farklı bir tanım verilir. τ ortalama ömür (bazen de yalnızca ömür de denir) radyoaktif atomların tek tek ömürleri toplamının ortalamasıdır. t_1, t_2 ömürlerine sahip atomların sayıları sırası ile $dN_1(t), dN_2(t)$ ise ortalama ömür aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$\tau = \frac{t_1 dN_1(t) + t_2 dN_2(t) + \dots}{dN_1(t) + dN_2(t) + \dots} = \frac{t dN(t)}{dN(t)}$$

Burada ($dN \rightarrow 0$) için

$$\tau = \frac{\int_0^{N_0} t dN(t)}{\int_0^{N_0} dN(t)} = \frac{\int_0^{N_0} t dN(t)}{N_0} \quad (6)$$

denklem 2, $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$ bağıntısı yerine konursa

$$\tau = -\lambda \frac{\int_0^{\infty} t N_0 e^{-\lambda t}}{N_0} = \int_0^{\infty} \lambda t e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}$$

elde edilir. Burada ortalama ömür, yarı ömürden daha büyüktür ve aralarındaki ilişki

$$T_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda} = 0,693\tau \quad (7)$$

şeklindedir. Bu üç kavramdan birinin bilinmesi diğerinin bulunması için yeterlidir (Arya, 1999).

1.2.3. Peş Peşe Parçalanma Kanunu

Hem tabii olarak bulunan radyoaktif izotoplarda hem de yapay olarak meydana getirilen radyoaktif izotoplarda bozunma peş peşe parçalanmalar şeklinde meydana gelebilir. Ana radyoaktif element başka bir ürüne bozunur. Eğer bu ürün de radyoaktif ise bu da başka bir elemente bozunur. Birçok durumda bu peş peşe bozunma ana maddenin ürüne ve ürünün de kararlı bir elemente bozunmasıyla sınırlıdır. Şayet radyoaktif ana izotopun belli sayıda atomlarıyla başlanmışsa verilen herhangi bir anda bozunma ürününün atomlarının sayısı ne olacaktır. Bu sayılar şu şekilde hesaplanabilir. Herhangi bir t anında, λ_1 bozunma katsayısıyla ürüne bozunacak ana elementin atomlarının sayısı N_1 olsun. Ürün elementin atomlarının sayısını N_2 ile gösterelim. Bunlar da λ_2 bozunma katsayısı ile başka bir elemente bozunacaktır. Bu kararlı elementteki atomların sayısı is N_3 olsun. Ayrıca, $t = 0$ iken $N_1 = N_{10}$, $N_2 = N_{20}$, $N_3 = N_{30}$ olduğunu farz edelim. Aktifliğin saniyede bozunma sayısı şeklindeki tanımından;

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1 \quad (8)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \quad (9)$$

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2 \quad (10)$$

(8) bağıntısı N_1 'in bozunma hızını verir. (9) bağıntısı N_2 tipindeki atomların $\lambda_1 N_1$ hızıyla üretildiklerini ve $\lambda_2 N_2$ hızıyla gözden kaybolduklarını göstermektedir. (10) bağıntısı N_3 atomlarının üretim hızı elde edilir.

(8) denkleminde $t = 0$ da $N_1 = N_{10}$ integrali alınır

$$N_1 = N_{10} e^{-\lambda_1 t} \quad (11)$$

elde edilir. N_1 'in bu değeri denk. (9) da yerine konursa;

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_{10} e^{-\lambda_1 t} - \lambda_2 N_2 \quad (12)$$

bu bağıntının iki tarafı $e^{\lambda_1 t}$ ile çarpılırsa,

$$\frac{d}{dt} (N_2 e^{\lambda_1 t}) = \lambda_1 N_{10} e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t} \quad (13)$$

bulunur. Gerekli işlemler yapılırsa,

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \quad (14)$$

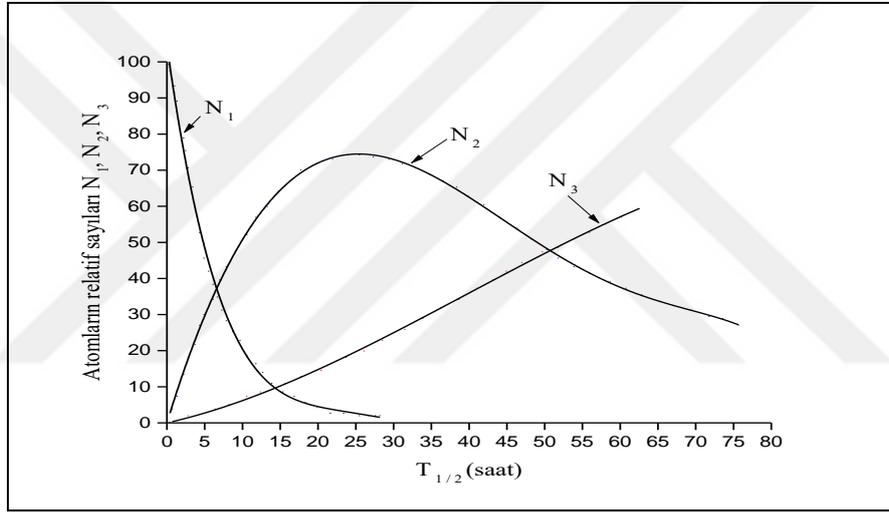
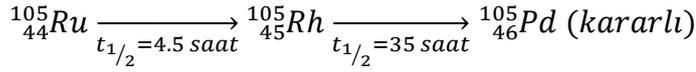
benzer şekilde (10) bağıntısı $t=0$ 'da $N_3 = N_{30} = 0$ şartıyla çözümlerse,

$$N_3 = N_{10} \left(1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t} - \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 t} \right) \quad (15)$$

elde edilir. (11), (14), (15) eşitlikleri yardımıyla herhangi bir t anında mevcut olan atomların sayısı bulunabilir. Bu eşitlikler, $t=0$ da $N_1 = N_{10}$ ve $N_{20} = N_{30} = 0$ özel durumları için üretildi.

Bundan sonra N_{20} ve N_{30} , $t=0$ iken sıfır olmasalar bile N_1 , N_2 ve N_3 için bağıntılar üretmek mümkündür.

(11), (14), (15) bağıntılarının nasıl kullanılacağına örnek olarak;



Şekil 3. Peş peşe bozunma grafiği

1.2.4. Geçici Denge

Bir ana çekirdeğin λ_1 bozunma sabitiyle birinci ürüne bozunduğunu ve bunun da λ_2 bozunma sabitiyle bozunduğunu düşünelim. Eşitlik 14,

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})$$

ifadesinde $\lambda_2 < \lambda_1$ olduğunda yeterli derecede uzun bir zaman sonunda $e^{-\lambda_1 t}$ terimi $e^{-\lambda_2 t}$ 'ye göre ihmal edilebilir olacağından,

$$N_2 = N_{10} \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t} \quad (16)$$

elde edilir. Bu ise belli bir zamanda sonra birinci ürün elementinin kendisi için belirlenmiş olan λ_2 bozunma sabitiyle bozunacağı anlamına gelir.

1.2.5. Sürekli Denge

Eşitlik (13) de $\lambda_1 \ll \lambda_2$ durumunu ele alalım $e^{-\lambda_1 t} \approx 1$ ve $\lambda_2 - \lambda_1 = \lambda_2$ yazabiliriz. Böylece bu ifade;

$$N_2 = N_{10} \frac{\lambda_1}{\lambda_2} (1 - e^{-\lambda_1 t}) \quad (17)$$

olarak elde edilir. Ürün çekirdeğin miktarı, zamanın artmasıyla terimi sıfıra gideceğinden bir denge durumuna yaklaşacak ve denge durumunda,

$$\lambda_1 N_{10} = \lambda_2 N_2 \quad (18)$$

elde edilir. λ_1 çok küçük olduğundan $\lambda_1 N_1 \approx 0$ olacaktır. Buradan ana çekirdeğin çok büyük yarı ömre sahip olduğu anlaşılır.

1.3. Radyoaktif Bozunma Türleri

1.3.1. Alfa Bozunumu

Alfa parçacıkları (${}^4_2\text{He}_2$), iki proton ve iki nötrondan oluşmuş bir helyum çekirdeğidir.

α -parçacığının kendiliğinden yayınlanması aşağıdaki reaksiyonla ifade edilebilir.



Burada A, çekirdeğin kütle numarasını, Z, atom numarasını göstermektedir. X, ana çekirdeği ve Y ise ürün çekirdeği temsil etmektedir. α bozunmasına bir örnek,



dır.

E_i ve E_f sistemin bozunmadan önceki ve sonraki toplam enerjileri olsun. Enerjinin korunumu yasasından,

$$E_i = E_f$$

olmalıdır. Buradan sistemin bozunma enerjisi (Q),

$$Q = [M(A, Z) - M_Y(A - 4, Z - 2) - M_\alpha(4, 2)]c^2 \quad (21)$$

bağıntısı ile verilir. Burada $M(A, Z)$ bozunan, $M_Y(A-4, Z-2)$ ürün çekirdeğin, $M_\alpha(4, 2)$ ise α parçacığının kütlesidir. Kendiliğinden bozunmanın olabilmesi için $Q > 0$ olması gereklidir.

Ayrıca Q değeri kinetik enerjideki artışa da eşit olduğundan (21) ifadesi,

$$Q = K_{\dot{U}} + K_\alpha \quad (22)$$

şeklinde olup sırasıyla $K_{\dot{U}}$ ve K_α ürün çekirdeğin ve α -parçacığının kinetik enerjileridir.

Enerji ve momentumun korunumundan yola çıkarak A, ana çekirdeğin, A-4, ürün çekirdeğin kütle numaraları olmak üzere α -parçacıklarının kinetik enerjileri için,

$$K_\alpha = \frac{M}{M+m} Q \quad (23)$$

ifadesini yazabiliriz. Büyük A'larda $\frac{A-4}{A}$ ifadesi denklem 19'a yakın olacağından α -parçacığı Q bozunma enerjisinin büyük bir kısmını alacaktır.

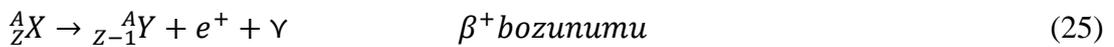
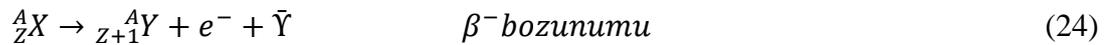
Alfa parçacığı yayınlanması, atom numarası büyük olan izotoplarda görülen bir olaydır. Alfa parçacıkları bir madde içinden geçerken sahip oldukları elektrik yükleri dolayısıyla, madde içinde iyonlaşmaya sebep olurlar ve bundan dolayı enerjilerini çabuk kaybederler. Yine alfa parçacıkları, radyoaktif bir çekirdekten $1,6 \times 10^7$ 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 vs. yollarıyla vücuda girmeleri halinde oluşturacakları iyonizasyon, önemli bir iç radyasyon tehlikesi yaratabilmektedir (BEIR VI, 1999).

1.3.2. Beta Bozunumu

Çekirdek içindeki kararsızlık, proton veya nötron sayısının diğerine göre fazla gelmesinden ileri geliyorsa, fazla olanın diğerine dönüşmesiyle çekirdeğin kararlı hale gelmesine beta bozunumu denir. Kararsızlık nötron fazlalığından ileri geliyorsa nötronlardan biri protona dönüşür ve çekirdekten negatif yüklü bir elektron fırlatılır (β^- bozunumu). Kararsızlık proton fazlalığından ileri geliyorsa protonlardan biri nötrona dönüşür ve çekirdekten bir pozitron (pozitif yüklü elektron) fırlatılır (β^+ bozunumu). Beta parçacıkları madde içinden geçerken meydana getirdikleri iyonizasyon ve uyarma ile tamamen söğürülürler ve enerjilerini kaybederler.

Beta parçacıklarının hızları, c ışık hızı olmak üzere 0,99c' ye kadar ulaşabilir. İzotopların çoğu tarafından salınan β -parçacıklarının maksimum enerjisi yaklaşık 0,5 ile 3,5 MeV arasındadır. Menzilleri alfa parçacıklarına oranla çok daha uzundur. Beta bozunumlarının şematik gösterimleri,



şeklindedir.

1.3.3. Gama Bozunumu

Radyoaktif gama yayınlaması, optik veya X-ışını geçişleri gibi atomik radyasyon yayınlamasına benzer. Bir çekirdekten α veya β parçacığı gibi bir parçacık yayınlaması

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 (yayınlanan çekirdeğin geri tepme enerjisi kadar eksik) (Krane, 2001). Gama ışını yayınlanmasından sonra atom, başka bir atoma dönüşmez. Bozunmanın denklemi,

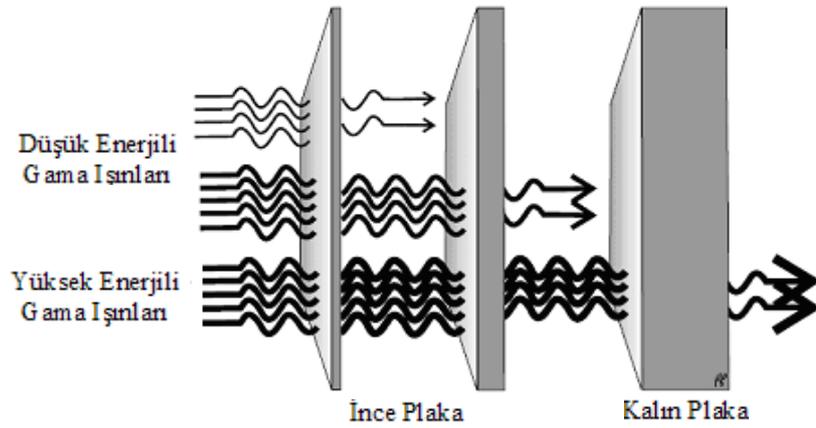


Kısa dalga boylu elektromanyetik radyasyon olarak bilinen gama ışınları (foton), elektriksel yükleri olmadığı için yüklü parçacıklarda olduğu gibi Coulomb kuvvetine maruz kalmazlar. Bu durum, madde içerisindeki atomları iyonlaştırmadığı anlamına gelmemektedir. Gamma ışınları doğrudan doğruya iyonlaştırıcı değildirler fakat elektromanyetik kuvvet taşıyıcılarıdır ve madde ile iyonlaşmayla ve ortama enerji depolamayla etkileşme yaparlar. Kısacası gama ışınlarının madde içerisindeki davranışları yüklü parçacıklarınkinden oldukça farklıdır. Özellikle, atomun elektronları ile etkileştiklerinde enerjilerinin büyük bir kısmını hatta tamamını kaybedebilir. Gama ışınlarının yüklü parçacıklarınki gibi menzilleri yoktur. Alfa ve beta ışınlarından daha fazla giricidirler ve yüksüz oldukları için elektrik ve manyetik alanda sapmazlar.

Gama ışınları madde içerisinden geçerken çoğunlukla Fotoelektrik olay, Compton saçılması (Thomson ve Rayleigh Saçılmasını içeriyor) ve Çift oluşumu şeklinde etkileşmeler yaparlar.

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.

Γ (Gama) yayınlanmasının yarı-ömrü çok kısadır, genellikle 10^{-9} sn'den daha küçüktür, ancak saat ve hatta gün mertebesinde yarı-ömürlü γ -yayınlanması da vardır. Bu geçişler, izomerik geçişler olarak bilinir.



Şekil 4. Gama ışınları şiddetinin soğurucu plaka kalınlığına bağlı olarak değişimi

1.4. Aktivite ve Radyasyon Birimleri

Doz, herhangi bir maddenin belli bir zaman içerisinde kullanılan veya tüketilen miktarı demektir. Radyasyon dozu ise hedef kütle tarafından, belli bir sürede soğurulan veya alınan radyasyon miktarıdır. Aktivite, ışınlama, absorblanan (soğurulma) doz ve eşdeğer doz Uluslararası Radyasyon Birimleri Komitesinin (ICRU) radyasyon çalışmalarında kullandığı kavramlardır. Bunların birimleri sırasıyla; Curie (Ci), Röntgen (R), Rad ve Rem' dir. Bu özel birimler, 1986 yılından itibaren terk edilmeye başlanmış ve yerine tüm dünyada kullanılan birimlerin aynı olması düşüncesi ile MKS sistemini esas alan "Uluslararası Birimler Sistemi (SI)" kullanılmaktadır. Aynı kavramlar için SI birimleri sırasıyla Becquerel (Bq), Coulomb/kg, Gray (Gy), ve Sievert (Sv) olarak seçilmiştir. Tablo-1'de radyasyon özel birimler ile SI birimleri arasındaki ilişki verilmiştir (Taşkın, 2011).

Tablo 1. Radyasyon özel birimler ile SI birimleri arasındaki ilişki

Terim	Eski Birim	Yeni Birim	Dönüşüm
Aktivite	Curie, Ci	Becquerel, Bq	1 Ci = $3,7 \times 10^{10}$ Bq
Işınlama Dozu	Röntgen, R	Coulomb/kilogram C/kg	1 R = $2,58 \times 10^{-4}$ C/kg
Soğurulmuş Doz	Radiation absorbed dose, rad	Gray, Gy	1 Gy = 100 rad 1 rad = 0,1 Gy 1 Gy = 1 J/kg
Doz Eşdeğeri	Röntgen equivalentman, rem	Sievert, Sv	1 Sv = 100 rem 1 rem = 10^{-2} Sv

1.4.1. Aktivite Birimleri

Aktivite birimi Becquerel olup saniyede bir bozunma meydana getiren herhangi bir radyoaktif madde miktarı olarak tanımlanmaktadır. Eskiden kullanılan aktivite birimi Curie'dir. Herhangi bir radyoaktif madde miktarı eğer saniyede $3,7 \times 10^{10}$ bozunma hızına sahipse aktivitesi 1 Curie olarak tanımlanmaktadır. Ancak Curie çok büyük bir birimdir. Bu nedenle alt birimleri kullanılmaktadır. Curie'nin yaygın olarak kullanılan alt birimleri microcurie ve picocurie'dir. Becquerel ve Curie arasındaki bağıntı şöyledir:

$$1 \mu Ci = 10^{-6} Ci = 37000 \text{ bozunma/saniye}$$

$$1 pCi = 10^{-12} Ci = 0,37 \text{ bozunma/saniye}$$

$$1 Bq = 2,7 \cdot 10^{-11} Ci = 27 pCi$$

1.4.2. Işınlama Birimi

Işınlama, X ve gama ışınlarının havayı iyonlaştırmalarının bir ölçüsüdür. Işınlama birimi ise Röntgen'dir ve normal hava şartlarında (0 °C ve 760 mm Hg basınçta) havanın 1 kg'ında $2,58 \times 10^{-4}$ C' luk elektrik yükü değerinde pozitif ve negatif iyonlar oluşturan X ve gama ışını miktarıdır.

1.4.3. Soğurulmuş Doz

Radyasyonlarla ışınlanan bir maddenin birim miktarındaki soğurulan radyasyon enerjisidir. SI birim sisteminde soğurulan doz birimi Gray (Gy) olup, 1 kg'lık bir maddeye 1 Joule (J)'lük enerji veren herhangi bir iyonlayıcı radyasyonun dozudur. Eski özel birimi rad (radiation absorbed dose) olup, 1 rad, herhangi bir maddenin gramı başına 100 erg' lik enerji soğurumuna eşdeğerdir.

$$1 Gy = 1 J \cdot kg^{-1}$$

$$1 rad = 10^{-2} J \cdot kg^{-1}$$

1.4.4. Eşdeğer Doz

Radyasyonun biyolojik etkileri göz önünde bulundurularak tanımlanan birim rem' dir. Doku ve organlarda, birim kütlede soğurulan enerji miktarlarıyla orantılı bir değerdir. Vücut için eşdeğer doz olarak tanımlanır. SI birim sisteminde eşdeğer doz birimi Sievert (Sv)'dir.

$$1 Sv = 1 J.kg^{-1}$$

$$1 Sv = 100 rem$$

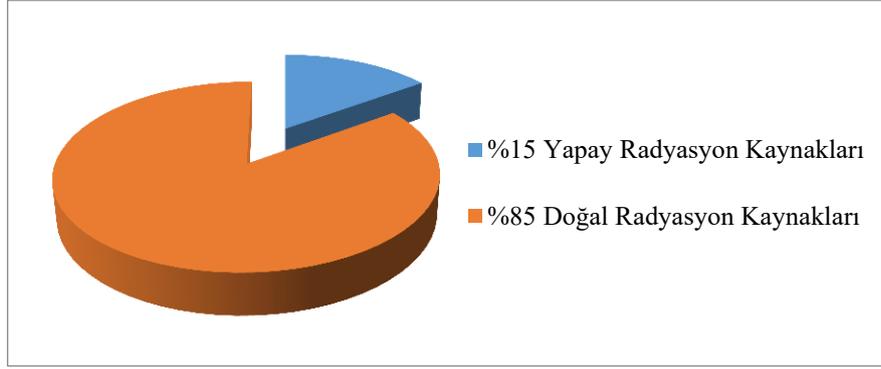
1.4.5. Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (AEDE)

Bu değer, insanın farklı radyasyon kaynaklarından yayılan ışınlarla gerek dışarıdan maruz kaldığı gerekse yediği gıdalar ve soluduğu havada bulunan değişik radyonüklitlerden yayınlanan ışınlarla içeriden maruz kalmak suretiyle bir yıl içerisinde alacağı radyasyon dozu olarak tanımlanır ve birimi sievert' tir. Her radyonüklitin yayınladığı radyasyon tipi ve enerjisi kullanılarak, her radyonüklit için birim aktivite başına yayınladığı radyasyonun doz dönüşüm faktörleri belirlenir ve birim hacim veya ağırlık başına tespit edilen aktivite konsantrasyonu ile doz dönüşüm faktörleri çarpılarak yıllık etkin doz eşdeğeri bulunur.

$$AEDE = \text{Dönüşüm faktörü} \times \text{Aktivite konsantrasyonu}$$

1.5. Radyasyon Kaynakları

Çevredeki doğal ortam, insanların maruz kaldığı radyasyon kaynaklarını içermektedir. Yeryüzündeki tüm canlılar ve cansızlar havada, suda, toprakta ve hatta kendi vücutları içerisindeki doğal radyasyon kaynakları ve bunlara ek olarak insanlar tarafından üretilen yapay radyasyon kaynaklarının her gün ışınımına maruz kalmaktadırlar. Şekil 5'de dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarının doz oranları gösterilmektedir.

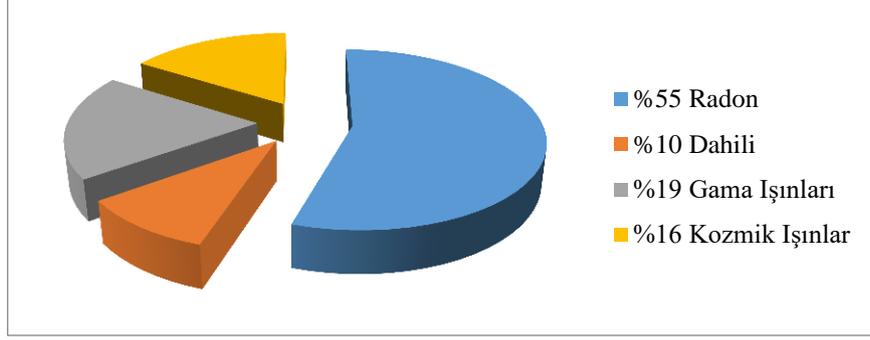


Şekil 5. Doğal ve yapay radyasyon kaynakları

1.5.1. Doğal Radyasyon Kaynakları

Doğal radyoaktivite çevremizde, toprakta, havada, suda ve bitkilerde yaygın miktarda bulunmaktadır. Bu çevresel gama radyasyonu kozmik ve karasal kaynaklar olmak üzere iki ana kısımdan oluşmaktadır. Kozmik ışınlar tüm uzayda olup güneş sisteminin içinde ve dışında bulunan kaynaklardan gelmektedir. Çevresel gama radyasyonun ana kaynağı ^{238}U , ^{232}Th serisindeki radyonüklitler ve ^{40}K 'dır (UNSCEAR, 2000) Yapay radyasyon kaynakları çevresel radyasyon seviyesini artırmaktadır. Ama bu değer doğal radyasyon kaynakları ile karşılaştırıldığında azdır. İnsanların doğal kaynaklardan dolayı maruz kaldığı doz miktarı ortalama % 85 iken yapay radyasyon kaynaklarından ise %15 kadardır (UNSCEAR, 2000; Kılıc vd., 2007).

Şekil 6' da doğal radyasyon düzeyini belirleyen etkenler görülmektedir. ^{238}U elementinin bozunma ürünü olan radon (^{222}Rn) gazı %55 lik bir oranla en büyük etkiye sahiptir. Kozmik ışınlar %16 ve gama ışınları ise %19 luk oranla önemli yer tutmaktadır. Ayrıca insan vücudun da bulunan bazı radyonüklitler özellikle ^{40}K insan iç ışınlamaya sebep olmaktadır (IAEA, 1996).



Şekil 6. Doğal radyasyon kaynakları

Doğada kararlı bir çekirdeğe sahip atom sayısı oldukça azdır. Daha önce değinildiği gibi bir çekirdeğin kararlı olması, belli sayıda nötrona ve protona sahip olmasına bağlıdır. Bu sayıların dışına çıkıldığı zaman, çekirdekler kararsız bir yapı kazanırlar. Kararlı hale gelebilmek için parçalanan bu tür çekirdekler, "radyoaktif çekirdek" ler olarak bilinirler. Ağır elementlerin çoğu radyoaktif özelliklere sahiptir. Radyoaktif çekirdekler kararlı bir nötron/proton oranına ulaşana kadar, bozunmaya uğrarlar. İlk bozunmaya uğrayan radyoaktif çekirdek "ana çekirdek", ve ana çekirdeğin radyoaktif bozunmaya uğraması sonucu oluşan çekirdek ise "yavru çekirdek" adını alırlar. Bozunma sürecindeki radyoaktif çekirdekler, alfa (α), beta (β) ve gama (γ) radyasyonlarından birini veya birkaçını yayınlamaya, rahatlama yolunu seçerler. Bir radyoaktif ana çekirdekten alfa (α), beta (β) ve gama (γ) bozunmaları sonucu yavru çekirdekler oluşturan seriler, "radyoaktif seriler" olarak tanımlanır. Radyoaktif seriler uranyum, toryum, aktinyum ve neptinyum serisi şeklinde dört grupta tanımlanmıştır. Her seri, bozunma zincirini tamamladıktan sonra kararlı bir çekirdek haline dönüşür. Tablo-2' de bu seriler gösterilmiştir (URL-1).

Tablo 2. Doğada bilinen dört radyoaktif seri

Seri Adı	Türü	Son Çekirdek (Kararlı)	En Uzun Ömürlü Üyesi Çekirdek Yarı Ömrü (Yıl)
Toryum	$4n$	^{208}Pb	$^{232}\text{Th} \rightarrow 1,41 \times 10^{10}$
Neptinyum	$4n + 1$	^{209}Bi	$^{237}\text{Np} \rightarrow 2,14 \times 10^6$
Uranyum	$4n + 2$	^{206}Pb	$^{238}\text{U} \rightarrow 4,47 \times 10^9$
Aktinyum	$4n + 3$	^{207}Pb	$^{235}\text{U} \rightarrow 7,04 \times 10^8$

1.5.2. Topraktaki Doğal Radyoaktivite

Toprakta bulunan ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K gibi doğal radyoaktif çekirdekler toprağın radyoaktif hale gelmesine sebep olmaktadır. Doğal radyoaktif çekirdekler volkanik, fosfat, granit ve tuz kayaçlarında yüksek konsantrasyonlarda bulunurlar (Damla, 2005). Toprakta bulunan radyonüklitlerin UNSCEAR'ın 2000 yılındaki raporuna göre konsantrasyonlarının limit değerleri Tablo 3' de verilmiştir.

Volkanik kayaçların radyoaktivite kütle konsantrasyonları, tortul kayaçlardan daha yüksektir. Tortul ve fosfat kayaçlarda oldukça yüksek radyoaktivite içermektedir. En düşük radyoaktivite konsantrasyonu kireç kayaçlarda bulunmaktadır. Başkalaşım kayaçları ise oluştukları kayaçların konsantrasyonuna sahiptirler (Celebi, 1997).

Tablo 3. Toprakta bulunan doğal radyonüklitler (UNSCEAR, 2000)

Radyonüklit Konsantrasyonu (Bq / kg)				
	^{40}K	^{238}U	^{226}Ra	^{232}Th
Değişim Aralığı	140-850	16-110	17-60	11-64
Ortalama	400	35	35	45

1.5.3. Sulardaki Doğal Radyoaktivite

Yeryüzündeki sular güneş enerjisi sayesinde sürekli bir hidrolojik çevrim (döngü) içerisinde. İnsanlar ihtiyaçları olan bu suyu bu döngüden alırlar ve kullandıktan sonra bu döngüye iade ederler. Bu süreç içerisinde suya karışan maddeler suların özelliklerini değiştirerek su kirliliğini ortaya çıkarırlar. Bu döngü sonucu suların içeriğinde çözülmüş olarak çeşitli katı maddelerin yanısıra, geçtikleri veya buldukları ortama bağlı olarak radyoaktif maddelerde bulunabilir. Özellikle yeraltı suları değişik jeolojik oluşumlarla (formasyonlarla) temas halindedir. Bu yeraltı formasyonlarının içeriğinde bulunan kimyasal bileşikler suda eriyebilme derecelerine göre yer altı sularına az ya da çok oranda karışır. Çözülmüş maddelerin miktarı, formasyonlarla yer altı suyunun temas süresine, suyun akış hızına ve sıcaklığına, formasyonun cinsine ve ortamın basıncına bağlı olarak değişir. Yeraltındaki çeşitli özellikteki jeolojik formasyonların içinde değişik oranlarda radyoaktif maddelerde bulunmaktadır. Bu maddeler, magmatik oluşumlarda en fazladır.

Ayrıca kil gibi tortul kütlelerde de radyoaktif maddelere rastlanmaktadır. Kum-çakıl kumtaşı, çatlaklı kalker gibi akifer özelliğindeki tortul kütlelerde ise çok az miktarda radyoaktif madde bulunmaktadır. Yer kabuğu içindeki doğal radyoaktif maddelerin bulunduğu ortamlarda geçen veya bulunan sular radyoaktivite içerir. Yeraltı sularında sık rastlanılan belli başlı radyoaktif maddeler ^{40}K , ^{232}Th , ^{238}U dir. Ayrıca ^{238}U in bozunması sonucu ortaya çıkan ^{222}Rn , ^{226}Ra yer altı sularında bulunabilir.

Ayrıca sulara doğal radyoaktivitenin seviyesi, insan aktiviteleriyle de artış gösterebilir. Yeryüzündeki nükleer enerjiden yararlanma hızla artmaktadır. Bu tip tesislerden çıkan reaksiyon ürünleri de (potasyum gibi) radyoaktiftir. Nükleer atıkların yeraltında veya deniz altında çok uzun zaman boyunca saklanması için kullanılan kaplardan kaynaklanabilecek sızmalar bu maddelerin oluşturabileceği toksit açıdan önem taşımaktadır. Radyoaktif kirlenme bunun dışında hastanelerden, araştırma kuruluşlarından ve bazı endüstri dallarından da kaynaklanabilmektedir. Atmosferde yapılan nükleer silah denemeleri sonucunda artan radyoaktivite, yağmur sularını kirletmekte ve bunun sonucu olarak yüzeysel sular, radyoaktif kirlenmeğe maruz kalabilmektedir. İçme sularının güvenilir bir şekilde tüketilmesi için radyoaktif madde konsantrasyonunun minimum seviyede olması gerekmektedir (Taşkın, 2011).

Avrupa Birliği mevzuatına uyum çerçevesinde Sağlık Bakanlığı tarafından hazırlanan “İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik’te içme suyuna ilişkin radyolojik parametre ve limit değerleri” (Resmi Gazete, 2005) Tablo 4’ de verilmiştir. Radyoaktiviteye ilişkin kalitenin belirlenmesine yönelik parametrelerden toplam gösterge dozu için öngörülen 0,1 mSv/yıl limit değeri, içme suyu nedeniyle alınan doğal radyasyon dozunu en aza indirmeye yönelik bir değer olup doğal kaynaklardan alınan dünya genelindeki ortalama radyasyon dozunun en düşük değerlerinin %10’ unu temsil etmektedir. Avrupa Birliğince kabul edilen bu değer, Dünya Sağlık Örgütü’ nün içme suyu kalitesine ilişkin kılavuzlarına da temel teşkil etmektedir.

Tablo 4. İçme sularındaki radyoaktivite limitleri

Parametre	Değer	Birim
Toplam gösterge dozu (TGD)	0,10	mSv/yıl
Alfa yayıcılar (α)	0,1	Bq/L
Beta yayıcılar (β)	1	Bq/L

Toplam gösterge dozunun doğrudan ölçülmesi mümkün olmadığından alfa ve beta radyoaktivitesine dayalı izleme sınır değerleri kullanılmaktadır. Bu bağlamda, daha önce Dünya Sağlık Örgütü tarafından toplam alfa aktivitesi için 0,1 Bq/L, toplam beta aktivitesi için 1,0 Bq/L olarak tavsiye edilen radyoaktivite limitleri, toplam gösterge dozu kavramı çerçevesinde yeniden düzenlenerek 2006 yılında yayımlanan “Guidelines for Drinking-water Quality, First Addendum. Volume 1, Recommendations, Third Edition,” adlı içme suyu kalitesi ile ilgili kılavuzunun 9. Bölümünde (Radiological aspects), alfa yayınlayıcılara ait izleme sınır değeri olarak (toplam alfa aktivitesi) 0,5 Bq/L, beta yayınlayıcılara ait izleme sınır değeri olarak ise (toplam beta aktivitesi) 1,0 Bq/L verilmiştir. Buna göre, toplam alfa aktivitesi 0,5 Bq/L ve toplam beta aktivitesi 1,0 Bq/L değerlerini karşılayan içme sularına ait toplam gösterge dozunun 0,1 mSv/yıl limit değerini aşmayacağı kabul edilmekte, bu aktivite değerleri üzerindeki sular için ileri inceleme yapılarak toplam gösterge dozunun hesaplanması tavsiye edilmektedir.

1.5.4. İnsan Vücudunda Bulunan Radyoaktivite

İnsan, doğal radyonüklidlerinin vücuduna sindirim veya solunum yoluyla alır. ^{40}K , ^{226}Ra , ^{238}U un bozunma ürünleri ve çok az oranlarda ^{14}C ve ^3H , vücuda sindirim yoluyla alınan doğal radyonüklidlerinin başında gelir. Potasyum doğada nispeten bol miktarda bulunur. 70 kg ağırlığında bir insanda ortalama 140 mg potasyum bulunur. Bu miktar potasyumda bulunan ^{40}K miktarı $3,7 \times 10^3$ μCi civarındadır. Biyosferde bulunan karbon, hidrojen ve kozmojenik radyonüklitlerden, kozmik ışın nötronlarının atmosferdeki azotla etkileşmeleri sonucu ortaya çıkarlar. Tablo 5’ de insan vücudunda bulunan bazı radyoaktif elementler belirtilmiştir.

Tablo 5. İnsan vücudunda bulunan radyoaktif elementler

Radyoizotop	Vücutta bulunan radyoizotopların toplam miktarı	Vücutta bulunan radyoizotopların toplam aktivitesi	Günlük alınan radyoizotoplar
Uranyum	90 µg	30 pCi (11 Bq)	1,9 µg
Toryum	30 µg	3 pCi (0,11 Bq)	3 µg
Potasyum-40	17 µg	120 nCi (4,4 kBq)	0,39 mg
Radyum	31 µg	30 pCi (11 Bq)	2,3 pg
Karbon-14	95 µg	0,490 µCi (15 kBq)	1,8 µg
Polonyum	0,2 pg	1 nCi (37 Bq)	0,6 µg
Tritiyum	0,06 pg	0,6 nCi (23 Bq)	0,003 pg

İnsan iç ışınlamalarda en büyük radyasyon dozunu radondan almaktadır. Bu radyoaktif gaz atomları, yerde ve atmosferde difüzyonla ortaya çıkan toryum ve uranyum atomlarının, bozunuma uğraması sonucu üretilirler. Radon (^{238}U 'in bozunum ürünü ^{222}Rn 'dir) ve toronun (^{232}Th 'nin bozunum ürünü ^{220}Rn 'dir) bozunma ürünlerine ilave olarak, alfa ve beta ışınlarıyla birlikte gama ışınları da yayınlayan ^{210}Po , ^{210}Pb ve ^{210}Bi atomları teneffüs yoluyla vücuda alınırlar.

1.6. Dedektör Çeşitleri

1.6.1. Orantılı Sayaç

Bir orantılı sayaç iyonlaşma odasının tadil edilmiş şekli olup iki bakımdan ondan farklıdır. Orantılı sayacın elektrotlarından biri içi boş bir silindir, diğeri ise silindirin içinden geçen ve silindir eksenini boyunca uzanan bir teldir. Elektrotlara uygulanan voltaj iyonlaşma odasındakilere uygulanandan çok daha fazladır. Pulsun büyüklüğü belli bir limite kadar artan voltajla artar. Bu noktanın altında pulsun büyüklüğü, parçacıkların birincil iyonlaşma miktarıyla doğru orantılıdır. Bu orantılılık karakteristikleri bu sayacın değişik iyonlaştırma gücü ve enerjisi olan parçacıkların ayırt edilmesinde kullanılmasını mümkün kılar.

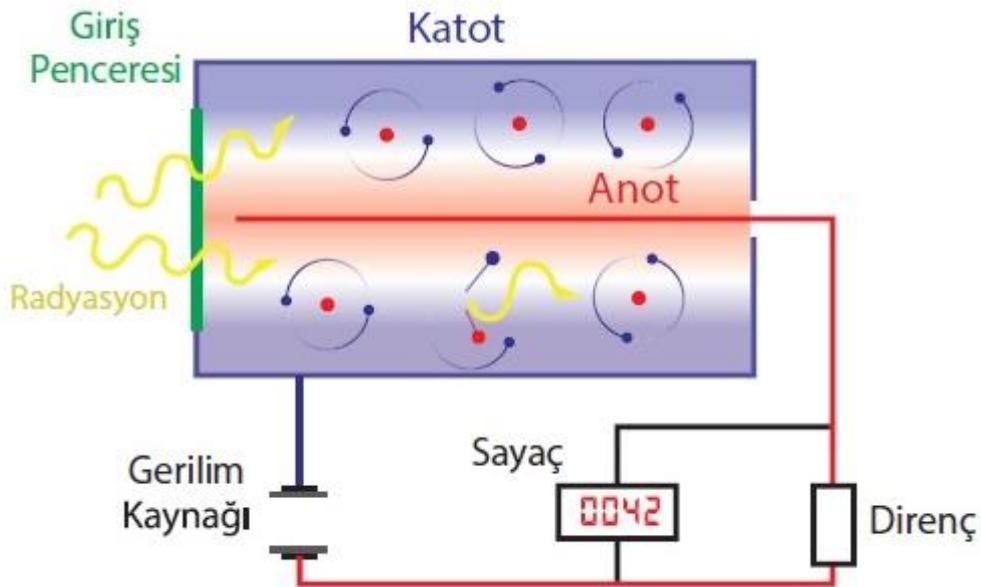
Tel elektrottan r mesafedeki elektrik alanı

$$E = \frac{V}{r \ln\left(\frac{b}{a}\right)} \quad (27)$$

ile verilir. Burada V , elektrotlara uygulanan voltaj, a ve b sırasıyla tel ve silindirik elektrotun yarıçaplarıdır. Şayet $a = 0,01 \text{ cm}$, $b = 1,0 \text{ cm}$ ve $V = 1000$ volt ise merkezi telin civarındaki elektrik alanı 10^4 volt/cm mertebesindedir. Gelen bir parçacık sayacın içinde herhangi bir yerde gazın iyonlaşmasına sebep olur. Merkezi telin civarındaki elektronlar (merkeze yakın yerlerdeki büyük alanlardan dolayı) daha fazla çarpışmalarla iyonlaşmalara sebep olurlar ve bu böylece devam eder gider. Netice, şayet sayaç orantılı bölgede çalıştırılmışsa büyüklüğü parçacığın ilk iyonlaştırma gücü ya da enerjisiyle orantılı olan bir elektron kümelenmesinin meydana gelmesidir. Başlangıçta şayet n sayıda iyon çifti varsa ve neticede mn sayıda elektron ve mn sayıda pozitif iyon oluşmuşsa buradaki m ye katlanma faktörü adı verilir. m 'nin değeri 10^3 ' e kadar çıkabilir.

Tel tarafından çekilen elektronların etkileri halihazırda merkezi telin yakınında bulunan yavaş hareketli pozitif iyonlar tarafından nötrleştirildiğinden, bu elektronlar potansiyelde bir düşüşe sebep olmazlar. Ancak pozitif iyonların uzağa sürüklenmesi potansiyel düşmesine sebep olur. Orantılı sayacın katlanma faktörü (m) ve puls şekli için teorik ifadeler M. Rose and S. Korff ve C. Montgomery and D. Montgomery tarafından üretilmiştir. Deneyle teori arasında iyi bir uyum vardır.

Orantılı sayacın büyük bir dezavantajı orantılılık karakteristiklerinin muhafaza edilebilmesi için oldukça kararlı ve pahalı güç kaynaklarına ihtiyaç duyulmasındandır. Şekil 7' de orantılı sayacın şeması görülmektedir.



Şekil 7. Orantılı sayaç şeması

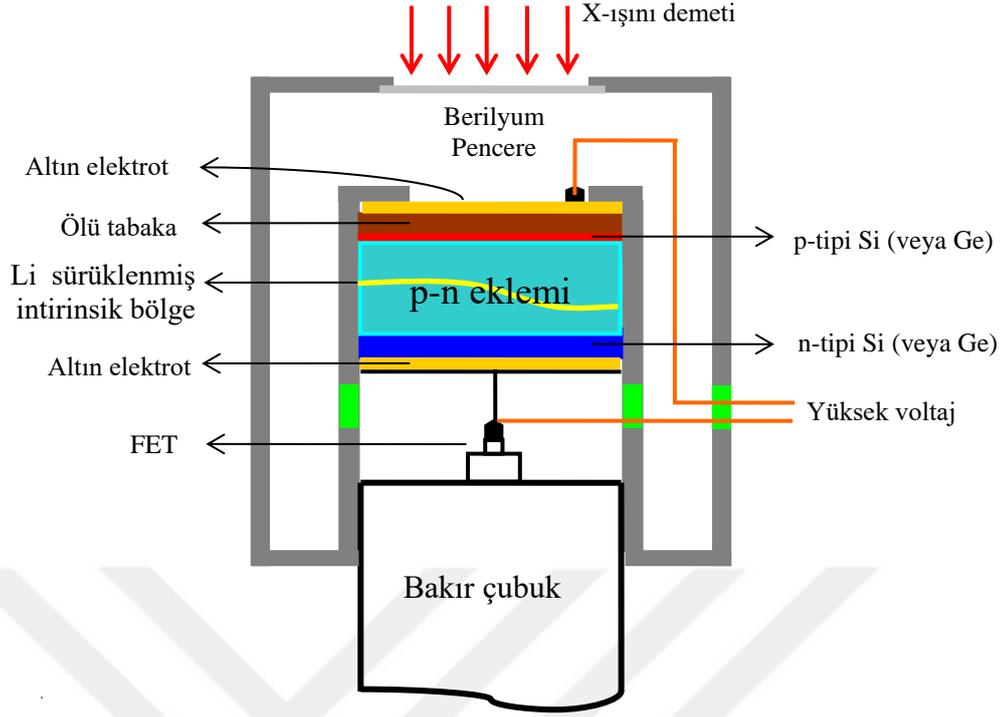
1.6.2. Yarı İletken Dedektörler

Gama ölçümleri için uygundur. Gelen foton soğurular ve bunun sonucunda elektron ve pozitif boşluk birlikte ortaya çıkar. Elektrik alanı sayesinde birbirinden ayrılırlar ve foto diot sayesinde de sayılırlar.

Örneğin silisyum ve germanyum kristallerini düşünürsek bunların iletim bandı boştur ve bantlar arası enerji farkı 1 eV' dan daha azdır. Bundan dolayı oda sıcaklığında bile uyarılabilirler. Ayrılan e^- (elektron) yerine başka bir komşu e^- düşer. Bu durum böylece devam ederken sanki boşluk hareket ediyor gibi görünür.

Gelen radyasyon e^- ve pozitif boşluk oluşturur. Rekombinasyon olmadan elektrik alanı yardımı ile çekilen kutba gider. Burada yük taşıyıcıları olan elektronların sayısı, gelen ışının enerjisi ile orantılıdır. Eğer madde de yük taşıyıcısı elektron fazlaysa n-tipi, eğer pozitif boşluklar çoğunluktaysa p-tipi yarı iletken denir.

Şekil 10' da, üzeri çok ince bir silikon ile kaplanmış lityumlu bir dedektör görülmektedir. Kristalde üç tabaka vardır; bunlar, p-tipi yarı iletken bir tabaka, merkezi bir intrinstik (gerçek) bölge ve n-tipi bir tabakadır. p-tipi tabakanın dış yüzeyi elektrik iletiminin sağlanması için ince bir altın tabakasıyla kaplanmıştır; çoğu zaman altın yerine X-ışınlarını geçiren ince bir berilyum pencere de kullanılabilir. n-tip silikonu kaplayan bir alüminyum tabakadan alınan sinyal yükseltme faktörü 10 kadar olan bir ön amplifikatörle beslenir. Ön amplifikatör dedektörün bir parçasıdır. Dedektör ve ön amplifikatör, elektronik gürültüyü uygun bir seviyeye düşürebilmek için sürekli olarak sıvı azot sıcaklığında (-196°C) tutulur. Oda sıcaklığında lityumun hızla silisyum içine difüzenmesiyle dedektörün algılama özelliği bozulur. Şekilde yarı iletken dedektör şeması görülmektedir.



Şekil 8. Yarı iletken dedektör şeması

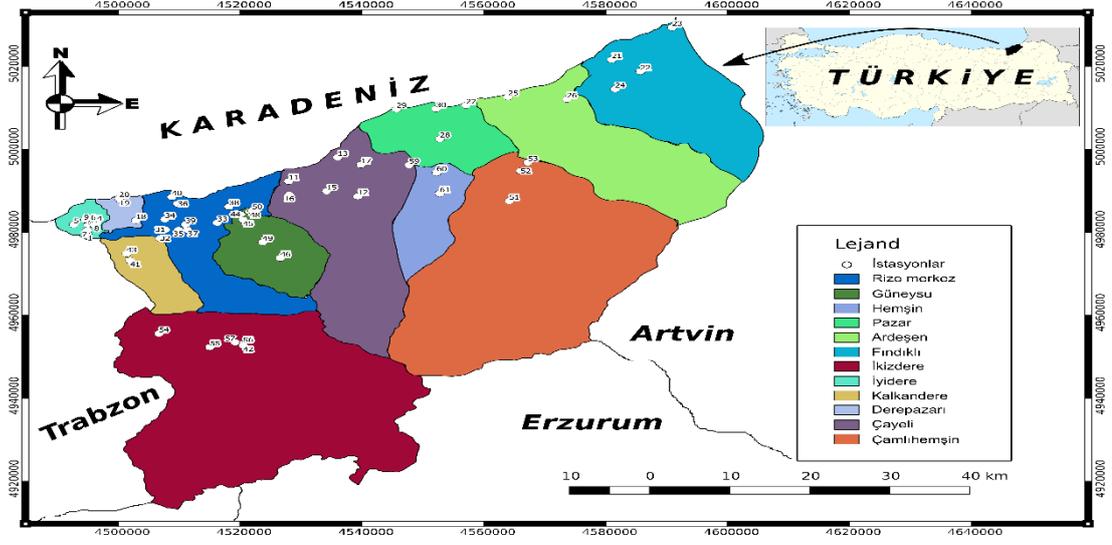
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Örnekleme Bölgesi

Türkiye'nin kuzeyinde Doğu Karadeniz bölgesinde bulunan Rize ilinde yapılan çalışma; içme sularında toplam alfa ve beta aktiviteleri ölçümlerini kapsamaktadır. Engebeli arazi yapısına sahip Rize ilinde genel sonuç alabilmek için tüm ilçelerinde genel bir çalışma yapılmıştır. Yerleşim bölgelerinde musluk sularının toplanmasının yanı sıra su örnekleri aldığımız bölgeden toprak örnekleri de alındı. Toprak örneklerinin alınmasının nedeni Rize ilinde doğal su kaynaklarının tüm coğrafyada yer alması ve bu suların topraktan da radyonüklitleri taşıyabilme ihtimali göz önünde bulundurulmuştur. Rize ilinin coğrafi yapısından söz edecek olursak;

Akarsu vadilerinden dolayı alüvyal topraklara, kıyı kesimlerde ise volkanik örtü ve tüflerin oluşturduğu yapılara rastlanmaktadır. Yüksek bölgeler de magmatik elemanlar göze çarpmaktadır. Toprak yapısı podzolik (iğne yapraklı ağaçların altında kalan toprak, madensel tuzlar yönünden zayıf, nemli bölgelerin karakteristik toprağıdır), kahverengi kireçsiz orman toprakları, alüvyal ve kolüvyal (eğimli yamaçlar boyunca, kumlu, çakıllı birikinti üzerinde oluşan yapı) topraklardır. Sahil kesiminde denizden gelen fosil içerikli yapılar belirlemektedir. Fındıklı, Ardeşen ve Çamlıhemşin taraflarında özellikle granit, andesite ve basalt kompozisyonlarına yoğun olarak rastlanmaktadır.

Örnekleme bölgemiz yoğunlukla kıyı bölgelerinde olmak üzere; İyidere'den on (10), Çayeli'nden yedi (7), Derepazarı'ndan üç (3), Fındıklı'dan dört (4), Ardeşen'den üç (3), Pazar'dan üç (3) ve Merkez'den on (10) örnek ile toplamda 40 ve iç kesimlerde Kalkandere'den üç (3), Güneysu'dan yedi (7), Çamlıhemşin'den üç (3), İkizdere'den beş (5) ve Hemşin'den üç (3) örnek ile toplamda yirmi bir (21) numune ile il genelinde altmış bir (61) örnekleme bölgesi alınmıştır. Örnekleme bölgesinin koordinatları tablo 6' da gösterilmiştir.



Şekil 9. Örnekleme bölgesi

Örnekleme bölgemizin coğrafi konum değerleri ve yükseltileri tablo 6' da detaylandırılmıştır.

Tablo 6. Örnekleme bölgesinin koordinatları

Koordinatlar											Toplam Alfa		Toplam Beta	
RİZE	H(m)		B				L				mBq/L	±	mBq/L	±
S-1	202	İYİDERE	40,96758432810	40	58	3,3036	40,37871679563	40	22	43,3805	22	8	182	22
S-2	165	İYİDERE	40,99152360000	40	59	29,4850	40,37538050000	40	22	31,3698	21	6	133	14
S-8	202	İYİDERE	40,98392440000	40	59	2,1278	40,37960890000	40	22	46,5920	16	5	33	16
S-9	227	İYİDERE	40,98702680000	40	59	13,2965	40,39278560000	40	23	34,0282	13	4	98	12
S-20	245	İYİDERE	40,98338320000	40	59	0,1795	40,35843890000	40	21	30,3800	6	3	27	15
S-23	270	İYİDERE	40,98873920000	40	59	19,4611	40,38373930000	40	23	1,4615	13	4	86	10
S-25	223	İYİDERE	40,97375450000	40	58	25,5162	40,37810150000	40	22	41,1654	7	3	67	9
S-29	193	İYİDERE	40,98323000000	40	58	59,6280	40,38867600000	40	23	19,2336	5	4	70	9
S-30	281	İYİDERE	40,98941200000	40	59	21,8832	40,37720310000	40	22	37,9312	11	4	61	9
S-2-B	165	İYİDERE	40,99152360000	40	59	29,4850	40,37538050000	40	22	31,3698	33	5	129	11
S-13	169	ÇAYELİ	41,05447086	41	3	16,095095	40,67527184	40	40	30,978627	5	3	63	10
S-31	202	ÇAYELİ	41,0298568	41	1	47,48448	40,7773412	40	46	38,42832	7	3	22	6
S-33	176	ÇAYELİ	41,0936706	41	5	37,21416	40,7476155	40	44	51,4158	21	14	40	13
S-34	160	ÇAYELİ	41,0321917	41	1	55,89012	40,6762334	40	40	34,44024	20	15	37	11
S-40	367	ÇAYELİ	41,038177	41	2	17,4372	40,7313829	40	43	52,97844	23	16	90	9
S-45	160	ÇAYELİ	41,0321917	41	1	55,89012	40,6762334	40	40	34,44024	17	5	19	7
S-43	178	ÇAYELİ	41,0816312	41	4	53,87232	40,7820689	40	46	55,44804	10	3	43	8
S-21	209	DEREPAZARI	40,99028747	40	59	25,034898	40,45034736	40	27	1,2504896	7	3	139	12
S-27	53	DEREPAZARI	41,0249949	41	1	29,98164	40,4259262	40	25	33,33432	7	4	26	8
S-7	36	DEREPAZARI	41,0262877	41	1	34,63572	40,4255497	40	25	31,97892	22	8	45	11

Tablo 6'nın devamı

S-38	57	FINDIKLI	41,2530478	41	15	10,97208	41,1517118	41	9	6,16248	20	14	47	8
S-44	6	FINDIKLI	41,2341368	41	14	2,89248	41,1939734	41	11	38,30424	25	15	12	7
S-48	6	FINDIKLI	41,276862	41	16	36,7032	40,5089093	40	30	32,07348	24	5	38	15
S-42	6	FINDIKLI	41,276862	41	16	36,7032	40,5089093	40	30	32,07348	21	13	117	11
S-41	53	ARDEŞEN	41,1924368	41	11	32,77248	40,9989688	40	59	56,28768	13	4	129	11
S-47	257	ARDEŞEN	41,1885756	41	11	18,87216	41,08563	41	5	8,268	11	4	20	7
S-8-B	22	ARDEŞEN	41,1786022	41	10	42,96792	40,9367579	40	56	12,32844	17	6	63	13
S-37	65	PAZAR	41,12377068	41	7	25,574448	40,89836345	40	53	54,108427	18	11	70	12
S-39	2	PAZAR	41,172333	41	10	20,3988	40,8344611	40	50	4,05996	24	16	131	11
S-35	88	PAZAR	41,1729501	41	10	22,62036	40,8926159	40	53	33,41724	20	50	54	7
S-5	384	MERKEZ	40,97507583	40	58	30,272981	40,49362777	40	29	37,059989	34	7	85	10
S-6	616	MERKEZ	40,9608233	40	57	38,96388	40,4858117	40	29	8,92212	40	7	108	19
S-14	376	MERKEZ	40,9864933	40	59	11,37588	40,5702414	40	34	12,86904	6	3	12	7
S-15	310	MERKEZ	40,9920783	40	59	31,48188	40,4929568	40	29	34,64448	6	4	28	8
S-16	384	MERKEZ	40,9746501	40	58	28,74036	40,51284	40	30	46,224	15	5	187	16
S-17	72	MERKEZ	41,0174948	41	1	2,98128	40,5118815	40	30	42,7734	14	8	14	8
S-18	245	MERKEZ	40,97483	40	58	29,388	40,5265241	40	31	35,48676	9	4	34	18
S-19	175	MERKEZ	41,0129754	41	0	46,71144	40,5873882	40	35	14,59752	13	7	85	25
S-24	320	MERKEZ	40,9836023	40	59	0,96828	40,5232198	40	31	23,59128	10	4	48	11
S-46	7	MERKEZ	41,0288226	41	1	43,76136	40,5032313	40	30	11,63268	10	4	164	13
S-3	290	KALKANDERE	40,92448405	40	55	28,142596	40,44173708	40	26	30,253496	21	6	82	13
S-4	849	KALKANDERE	40,7850281	40	47	6,10116	40,6083752	40	36	30,15072	41	9	61	11

Tablo 6'nın devamı

S-5-B	114	KALKANDERE	40,9356673	40	56	8,40228	40,4365349	40	26	11,52564	29	7	89	26
S-4-B	120	GÜNEYSU	41,0001173	41	0	0,42228	40,6045932	40	36	16,53552	26	6	787	89
S-7-B	154	GÜNEYSU	40,9911573	40	59	28,16628	40,6082752	40	36	29,79072	39	7	90	16
S-11	584	GÜNEYSU	40,9285202	40	55	42,67272	40,6632891	40	39	47,84076	41	7	94	15
S-12	99	GÜNEYSU	41,001964	41	0	7,0704	40,5980985	40	35	53,1546	164	32	391	36
S-22	223	GÜNEYSU	41,0052427	41	0	18,87372	40,6181184	40	37	5,22624	9	6	27	13
S-26	350	GÜNEYSU	40,9545674	40	57	16,44264	40,6370906	40	38	13,52616	7	2	29	6
S-28	254	GÜNEYSU	41,0063494	41	0	22,85784	40,6214154	40	37	17,09544	8	5	57	10
S-32	362	ÇAMLIHEMŞİN	41,07577348	41	4	32,784513	40,50369893	40	30	13,31615	6	3	39	8
S-49	432	ÇAMLIHEMŞİN	41,0713429	41	4	16,83444	41,0175642	41	1	3,23112	18	5	24	12
S-50	335	ÇAMLIHEMŞİN	41,0851912	41	5	6,68832	41,0281068	41	1	41,18448	13	4	19	12
S-10	655	İKİZDERE	40,8044849	40	48	16,14564	40,4840852	40	29	2,70672	12	4	95	11
S-1-B	513	İKİZDERE	40,7821975	40	46	55,911	40,5593157	40	33	33,53652	66	12	113	15
S-2-C	918	İKİZDERE	40,7879674	40	47	16,68264	40,6081854	40	36	29,46744	24	7	73	21
S-3-B	931	İKİZDERE	40,7903189	40	47	25,14804	40,5964847	40	35	47,34492	57	24	74	12
S-4-B	849	İKİZDERE	40,7850281	40	47	6,10116	40,6083752	40	36	30,15072	41	9	61	11
S-36	336	HEMŞİN	41,0809888	41	4	51,55968	40,853036	40	51	10,9296	19	10	20	5
S-9-B	225	HEMŞİN	41,0685485	41	4	6,7746	40,8935337	40	53	36,72132	24	7	28	10
S-10-B	302	HEMŞİN	41,03423145	41	2	3,2332073	40,89813054	40	53	53,269936	30	7	91	19

2.2. Su Örneklerinde Toplam (Gross) Alfa ve Beta Analizleri

2.2.1. Su Örneklerinin Toplanması ve Sayıma Hazırlanması

Rize il merkezi ve merkeze yakın yerleşim yerlerinden 2013 yılının Eylül ayında içme suyu örnekleri alındı. Alınan içme suyu örnekleri önceden temizlenmiş 1,5 litrelik plastik şişelere dolduruldu. Tüm örnekler numaralandırılıp etiketlendirildi. Su örnekleri asitlendirilerek koruma altına alınmadığı için en az üç (3) gün içinde ÇNAEM laboratuvarına gönderildi. Örneklerimiz laboratuvarında orijinal kabının içinde asitlendirilerek koruma altına alındı ve en az 16 saat analiz etmek için bekletildi. Sonra beher kaplarına, sayım sisteminin ölçebileceği miktarda tortu elde etmek için incelenerek her bir su örneğinden 500 mL'lik miktar konuldu. Toplam alfa ve beta sayımlarını yaptığımız sayım sistemi en fazla 600 mg'a kadar olan rezidü (tortu) miktarlarının ölçümünü yapmaktadır. Bu sebeple 500 mL'lik bir örnek, kullandığımız sayım sistemi için yeterli miktarda rezidüyü vermektedir. Bir sonraki adım olarak örneklerin üzerine (%1) nitrik asit (HNO_3) eklendi. Bu işlemi yapmamızın sebebi buharlaşma sırasında beherin iç yüzeyine ve çeperlerine yapışan tortu ve partiküllerin beherin dibine inmesini sağlamaktır. Beher kaplarındaki su örnekleri, yaklaşık 70 °C sıcaklıkta, su miktarları 500 mL'den 100 mL kalana kadar yavaşça buharlaştırıldı. Daha sonra 100 mL'lik su, darası alınmış planşetler içerisine aktarıldı. Kullandığımız planşetler 2,5 cm yarıçapında ve 2 mm yüksekliğinde paslanmaz çelikten imal edilmiştir. Aktarma işlemi yapılırken, beherin iç yüzeyine ve çeperlerine yapışan tortu ve partiküllerin kaybı, saf su ve %1'lik HNO_3 kullanılarak engellendi. Planşetlerdeki su, 40 °C'de kuruluk seviyesine gelinceye kadar buharlaşma işlemine devam edildi. Su tamamen buharlaşınca planşetler bir desikatörde oda ısısına getirilip hassas terazide tartıldı ve tortu (rezidü) miktarı tayin edildi. Sonra çelik kaplar 105 °C sıcaklığındaki bir etüv fırını içine konularak iyice kurutuldu. Ardından bütün numunelerin toplam alfa ve beta aktiflikleri tayin edildi.

2.2.2. Su Örneklerinde Toplam Alfa ve Beta Analizleri

Su örneklerinin toplam alfa ve beta radyoaktivite analizleri için düşük fon sayımlı, gaz akışlı, aynı anda hem alfa hem de betaları sayabilen Şekil 10' da gösterilen çoklu dedektör sistemli orantılı sayaç (Berthold LB 770 Model) kullanılmıştır. Toplam alfa ve

beta sayım sistemi 5 çekmeceli, 10 dedektörlü olup, aynı anda 10 örneğin sayımı yapılabilmektedir.

Dedektörlerin etrafı 10 cm kalınlığında kurşun tuğlalarla kapatılarak çevresel radyasyonun etkisi minimize edilmiştir. Fon ölçümleri için her bir dedektör çekmecesine birer temiz boş planşet yerleştirilmiş ve $500 \times 2 = 1000$ dakika sayılmıştır. Sistemin verim kalibrasyonu için sertifikalı ^{241}Am ve $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ standart solüsyonları kullanılarak, örnek geometrisiyle benzer spike örnekler hazırlanmış ve kullanılmıştır.



Şekil 10. Berthold LB 770 model çok kanallı orantılı sayaç

- En Düşük Ölçülebilir Aktivite

En düşük ölçülebilir aktivitenin tayini için Currie tarafından geliştirilen aşağıdaki formül kullanılmıştır (Currie, 1968)

$$MDA(mBqL^{-1}) = \frac{2,7+4,65\sqrt{CR_B T}}{V.t.\epsilon.60} \quad (28)$$

burada CR_B , fon sayım oranı (bir dakikadaki sayım sayısı), V , örnek hacmi (L), t , sayım süresi (dakika) ve ϵ , sistem verimidir. Toplam alfa ve beta için MDA sırasıyla 7 ve 8 mBq/L olarak belirlenmiştir.

2.2.2.1. Toplam Alfa Aktivitesi Analizi

Toplam alfa radyoaktivitesinin tayini için "Standard Method 7110 C" analiz yöntemi kullanılmıştır. Alfa partikülleri yayınlayan tüm radyonüklidler (Ra, U, Th izotopları) BaSO_4 ve $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ile birlikte çöktürülür. Böylece, çöktürme ile alfa yayınlayan radyonüklidler diğer çözülmüş katılardan ayrılırlar. Çökelek filtre edilir ve sayım

sisteminde alfa aktivitesi ölçülür. Toplam alfa radyoaktivitesi tayini için analiz edilecek örnekten 500 mL alınır ve 5 damla seyreltilmiş deterjan ilave edilir. Beher, ısıtıcı/magnetik karıştırıcı üzerine konur ve magnetik balık çözeltinin içine atılır. 20 mL' ye 2 M H₂SO₄ eklenir, kaynadıktan sonra 10 dakika daha karışması sağlanır. (Örnekte karbonat ve bikarbonatlar varsa CO₂ şeklinde ortamdan uzaklaştırılmış olur). Sıcaklık, kaynama noktasının altında olacak şekilde azaltılır. 1 mL baryum taşıyıcı eklenir ve 30 dakika karıştırmaya devam edilir. 1 mL bromocresol purple indikatör çözeltisi, 1 mL demir taşıyıcı çözeltisi ve 5 mL paper pulp/su karışımı ilave edilir. Damla damla 6 M NH₄OH ilavesiyle çözeltinin rengi sarıdan mora döner. Isıtmaya ve karıştırmaya 30 dakika daha devam edilir. Çökmesi için bekletilir ve çökelek 0,45 µm gözenekli filtre kâğıdından süzülür, 25 mL destile su ile yıkanır. Filtre kâğıdındaki çökelek en az 3 saat radon ürünlerinin uzaklaşması için bekletilir ve 105 °C etüvde veya lamba altında kurutulur. Aynı işlemler blank için uygulanır (background). Sayım sisteminde örneklerin toplam alfa aktivitesi ölçülür. Toplam alfa aktivitesi,

$$A_{\alpha} (Bq/L) = \frac{C_a - C_b}{\varepsilon \cdot V} \quad (29)$$

burada ε , sayım sisteminin verimi (cpm/Bq), V , analiz edilen örneğin hacmi (L), C_a , dakikada örnek sayımı (cpm), C_b , dakikada blank sayımı (cpm).

2.2.2.2. Toplam Beta Aktivitesi Analizi

Örneklerin toplam beta radyoaktivite tayini için EPA 900.0 olarak bilinen buharlaştırma yöntemi (Krieger ve Whittaker, 1980; USA-EPA, 1988) kullanılmıştır. Bu yöntemde öncelikle örnekten 20 mL su örneği alınır, 70 °C' de buharlaştırılır ve planşet üzerinde kalan rezidü miktarı tartılarak tayin edilir ve kullanılacak örnek hacmi belirlenir. Planşet yüzeyine yayılacak rezidü kalınlığı betalar için 10 mg/cm²'yi geçmemelidir, aksi takdirde betalar dedeksiyon ortamına ulaşmadan örnek rezidüsü içinde soğurulacaktır. Örnek her 100 mL'ye 1mL HNO₃ ilave edilerek 70 °C'de 30-40 mL kalıncaya dek buharlaştırılır ve pastör pipetiyle planşete aktararak kuruluğa ulaşmaya kadar buharlaştırmaya devam edilir. Daha sonra 105 °C' de etüve alınır, sabit tartıma gelmesi için 2 saat tutulur, desikatöre alınarak oda ısısına geldikten sonra hassas terazide tartılarak

orantılı sayıcıda $500 \times 2 = 1000$ dakika sayılır. Toplam beta radyoaktivitesi aşağıdaki formüle göre hesaplanır;

$$A_{\beta}(\text{Bq/L}) = \frac{N}{60 \times E_{ff} \times V} \quad (30)$$

burada A_{β} , numunenin toplam beta radyoaktivitesi (Bq/L), N , numunenin net sayım hızı (cpm), E_{ff} , β standardından (Sr-90) elde edilen sistemin sayım verimi (cpm/dpm), V , su numunesinin hacmi (L), 60 dakikadan saniyeye olan dönüşüm katsayısıdır.

2.3. Toprakta Bulunan ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{137}Cs Aktiviteleri Analizi

Toprakta bulunan radyoizotopların sudaki toplam alfa ve toplam betaya katkı sağlayacağı için su örneği alınan noktalardan toprak örnekleri alınarak aktivite ölçümleri yapılmış ve ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları belirlenmiştir. Bununla birlikte toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri ile aralarındaki ilişki istatistiksel pearson korelasyonu uygulanarak açıklanmaya çalışıldı.

Toprak örnekleri çalışma kapsamında su örneği alınan Rize şehrinde il, ilçe ve köyleri de kapsayan örnekleme noktalarından alınmıştır. Toprak numunelerinin toplanması yüzeyden 10-15 cm derinliğe inilerek yapılmıştır. Toprak numuneleri radyoaktif sayımlara yetecek miktarda (1-1,5 kg) alınmıştır. Numuneler önceden etiketlenmiş temiz, ağızları kapanabilen naylon torbalara konulup laboratuvara getirilmiştir.

Toplanan numuneler öncelikle sınıflandırılmış ve oda sıcaklığında kurutulmuşlardır. Daha sonra, numunelerin öğütme ve eleme işlemleri yapılmıştır. Toprak örnekleri homojen olması için 80 mesh'lik elekten geçirilerek neminin alınması için $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de bir etüve konulmuştur. Etüvde bir kaç gün kaldıktan sonra deney geometrisine uygun biçimde hazırlanan, çapı 6 cm ve yüksekliği 5 cm olan plastik kutuların içine konulmuş ve kutuların ağızları sıkıca kapatılarak 1 ay süreyle bekletilmiştir. Böylece, ^{238}U ve ^{232}Th ürünleri arasındaki radyoaktif dengenin oluşması sağlanmış ve numuneler sayıma hazır hale getirilmiştir.

Bekleme süresi dolan örneklerin çok kanallı gama dedektörü ile ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca ölçümlerin tamamlanmasının ardından örneklerden elde edilen

spektrumların bilgisayar ortamında analizlerinin yapıp aktivite konsantrasyonları hesaplanmıştır.

Çalışmada toprak numunelerinin radyoaktivite analizleri için, KTÜ Fen Fakültesi Fizik Bölümü Laboratuvarında bulunan çok kanallı gama spektroskopisi kullanılmıştır. Gamma spektroskopik ölçümler 1332,5 keV’de 1,9 keV rezülasyona ve % 15’lik relatif verime sahip olan Canberra, GC 1519 model yüksek saflıkta coaxial HpGe dedektörü kullanılarak yapılmıştır. Dedektör, önyükselteç, spektroskopi yükselteci, analog sayımları elektronik sinyallere dönüştüren ADC sistemi, çok kanallı analizörden (MCA) oluşmaktadır.

Enerji kalibrasyonu için önceden enerjileri bilinen çekirdeklerden oluşmuş standart kaynaklar kullanılmıştır. Enerji ve verim kalibrasyonu için enerjileri 80–1400 keV arasında değişen ^{109}Cd , ^{57}Co , ^{22}Na , ^{137}Cs , ^{54}Mn ve ^{60}Co ’ın piklerini içeren standart nokta kaynaklar kullanıldı.

Alınan spektrumlardaki ^{238}U bozunma ürünü olan ^{226}Ra (186,21 keV), ^{214}Pb (295,2 keV), ^{214}Pb (351,9 keV), ^{214}Bi (609,3 keV), ^{232}Th serisinin bozunma ürünü olan ^{212}Pb (238,6 keV) ^{208}Tl (583,2 keV) ve ^{228}Ac (911,2 keV), ^{40}K (1460,8 keV) ve ^{137}Cs (661,6 keV) pikleri dikkate alınmış ve her bir pik için ilgili alan (ROI) bölgeleri seçilmiştir. Yine her bir pik için piklerin alanları, en büyük alan ve en küçük hatayı verecek şekilde işaretlenmiştir. Yapılan enerji kalibrasyonundan yararlanılarak, çıkan bu piklerin hangi enerji değerlerine karşılık geldiği belirlenmiş olup bu enerjilere karşılık gelen radyoizotoplar tespit edilmiştir.

- Aktivite Hesabı

Ölçümler sonucu elde edilen radyonüklitlerin aktivitelerini hesaplamak için dedektör verimini de hesaba katarak,

$$\text{Aktivite} = \frac{\text{Net Alan}}{\text{Sayım Süresi} \times \text{Numune Miktarı} \times \text{Bolluk} \times \text{Verim}} \quad (31)$$

ifadesinden yararlanılmıştır. Piklerin altındaki net alanlar, toplam alandan background çıkarılarak elde edilmiştir.

Şekil 11’ de örnek olması açısından, Rize ilinden alınan bir toprak numunesinin aktivitesi hesaplanırken alınan pikler gösterilmektedir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

3.1. Sulardaki Toplam Alfa ve Beta Aktivitesi

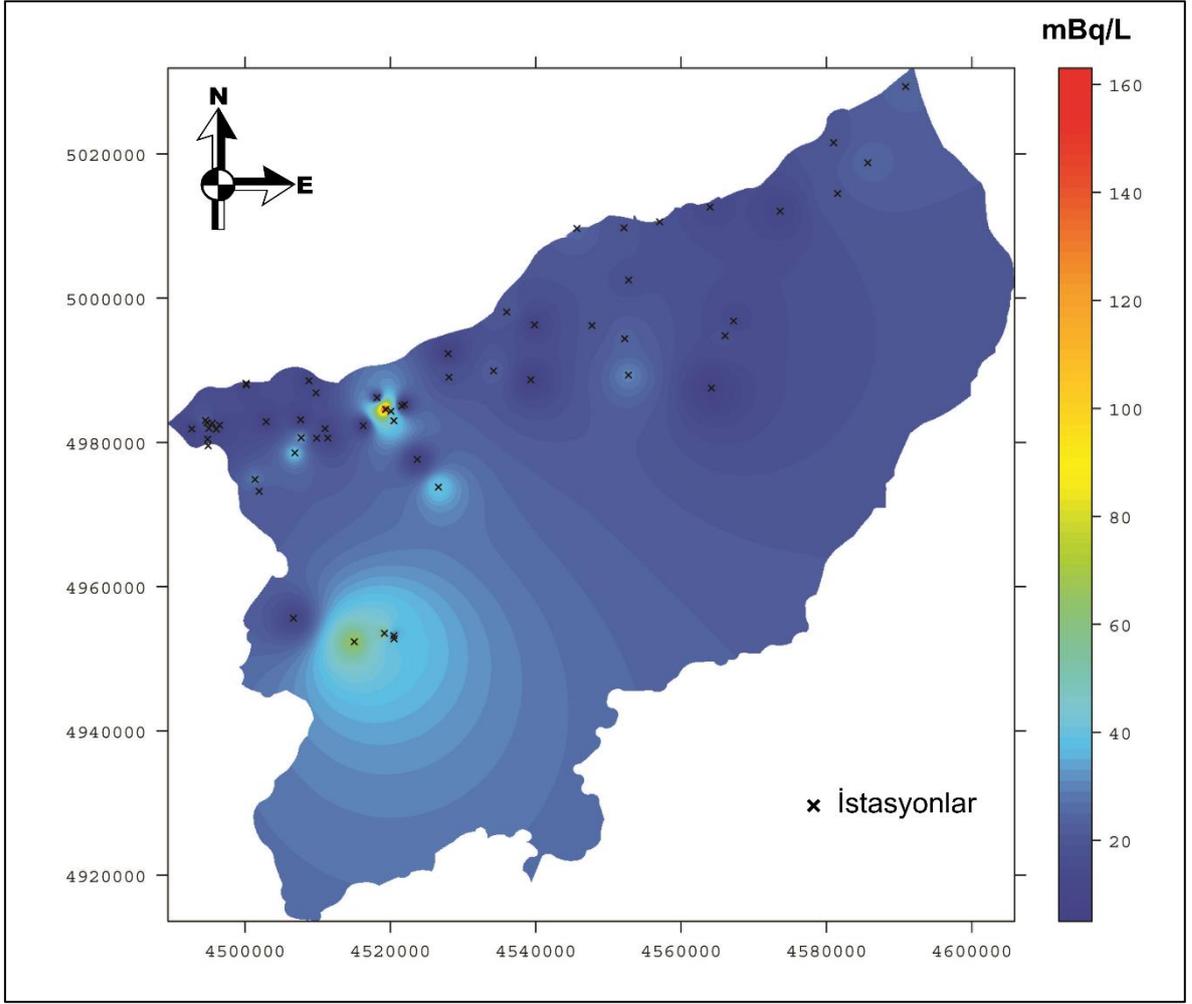
Rize ilinde 61 (altmış bir) içme suyu örneğinde, toplam alfa ve beta aktivitelere bakıldı. Tablo 7’ de de görüldüğü üzere toplam alfa aktivitesi İkizdere ve Güneysu ilçelerinde diğerlerinden yüksek bulunmuştur. İkizdere ve Güneysu vadilerinde Rize’nin geneline yayılan Granitoid ve Diyorid kayaç yapısının yanı sıra toprak yapısı bu bölgelerde kahverengi ve kırmızı renkli toprak yoğunlukta Fındıklı, Ardeşen ve Çamlıhemşin tarafında toprak yapısı andesite, basalt ve granit yoğun olarak görülmektedir. Veriler incelendiğinde toplam beta aktivitesi ise Güneysu, Merkez, İkizdere, Kalkandere, İyidere ve Fındıklı ilçesinin doğu kısımlarında diğerlerine göre yüksek bulunmuştur. İl geneli toplam alfa ve toplam beta aktivite değerlerinin dağılımı Şekil 12 ve Şekil 13’ de gösterilmiştir.

Tablo 7. Su örneklerinde ortalama toplam α ve β aktivite konsantrasyonları

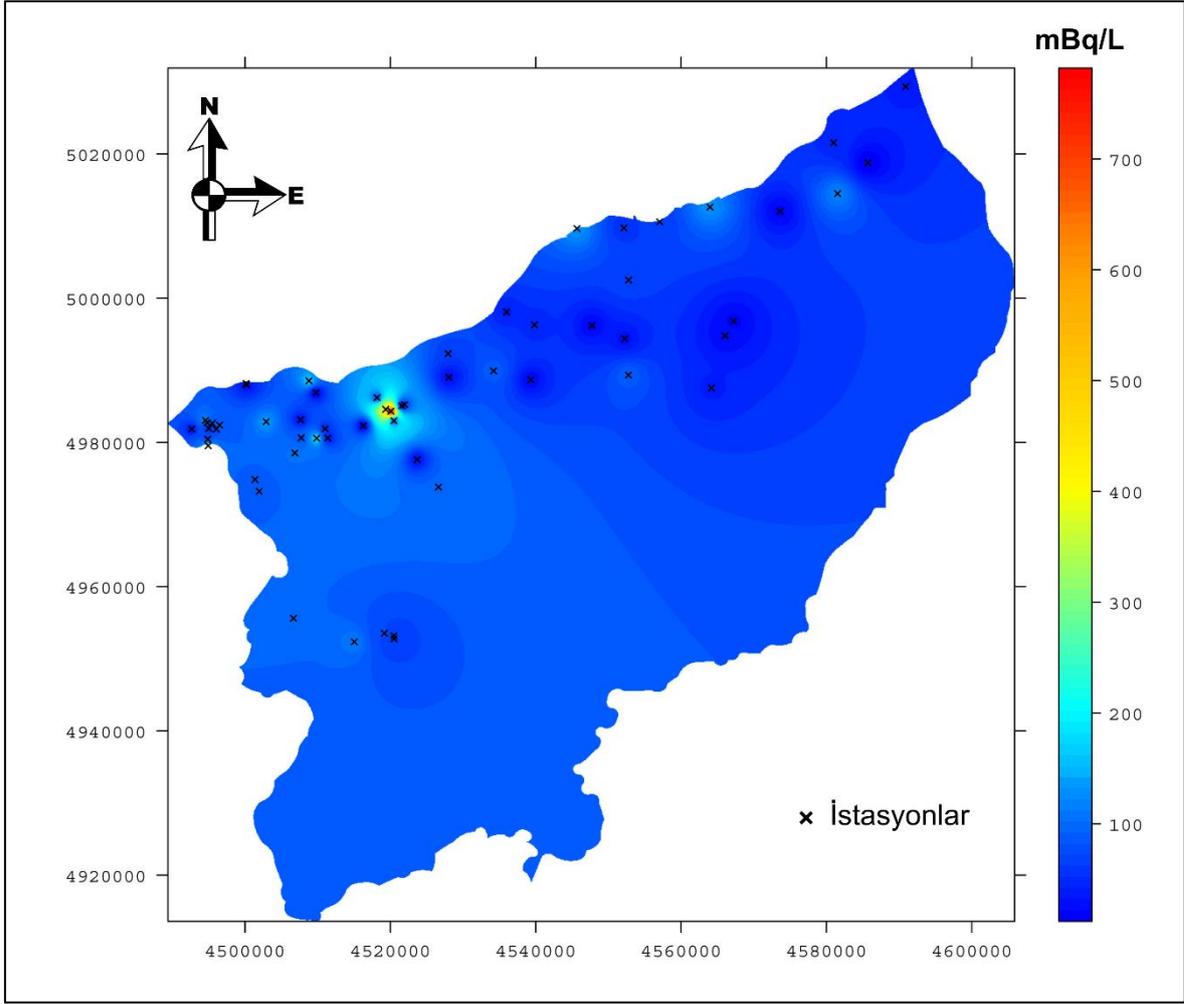
İlçeler	Numune Sayısı	Toplam α		Toplam β		TDS mg/L	Kullanıcı Sayısı
		mBq/L	±	mBq/L	±		
İyidere	10	14,70	4,60	88,60	12,70	131	7602
Kalkandere	3	30,33	7,33	77,33	16,67	131	11602
Güneysu	7	42,00	9,29	210,71	26,43	359	12541
Çayeli	7	14,71	8,43	44,86	9,14	116	41081
Derepazarı	3	12,00	5,00	70,00	10,33	202	6969
Çamlıhemşin	3	12,33	4,00	27,33	10,67	135	5901
Fındıklı	4	22,50	11,75	53,50	10,25	163	15666
Ardeşen	3	13,67	4,67	70,67	10,33	166	40181
Pazar	3	20,67	10,67	85,00	10,00	258	28559
Merkez	10	15,70	5,30	76,50	13,50	140	11062
İkizdere	5	40,00	11,12	83,2	14,00	172	5379
Hemşin	3	24,33	8,00	46,33	11,33	190	2022
Ortalama	61	21,82	7,30	85,25	13,61	180	188565

*TDS: Toplam Çözünen Madde Miktarı (Total Dissolved Solid),

*Kullanıcı sayıları, (URL-2, 2012). adresinden alınmıştır.



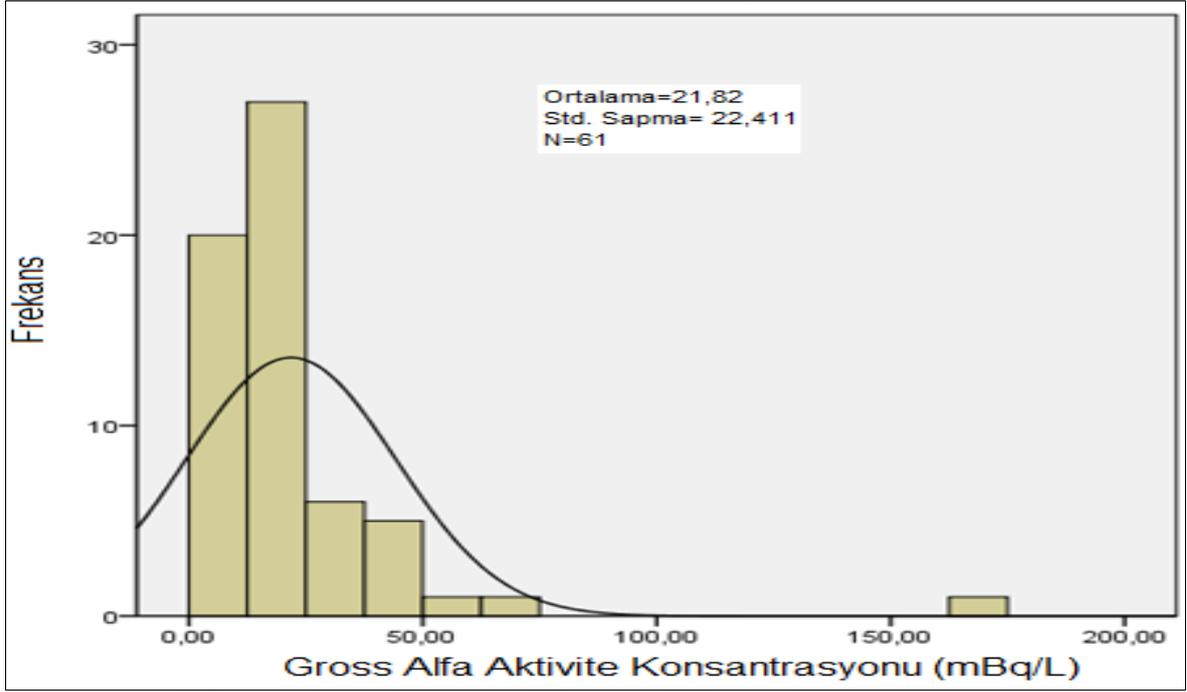
Şekil 12. Rize ili içme sularında toplam alfa aktivitesi dağılımları



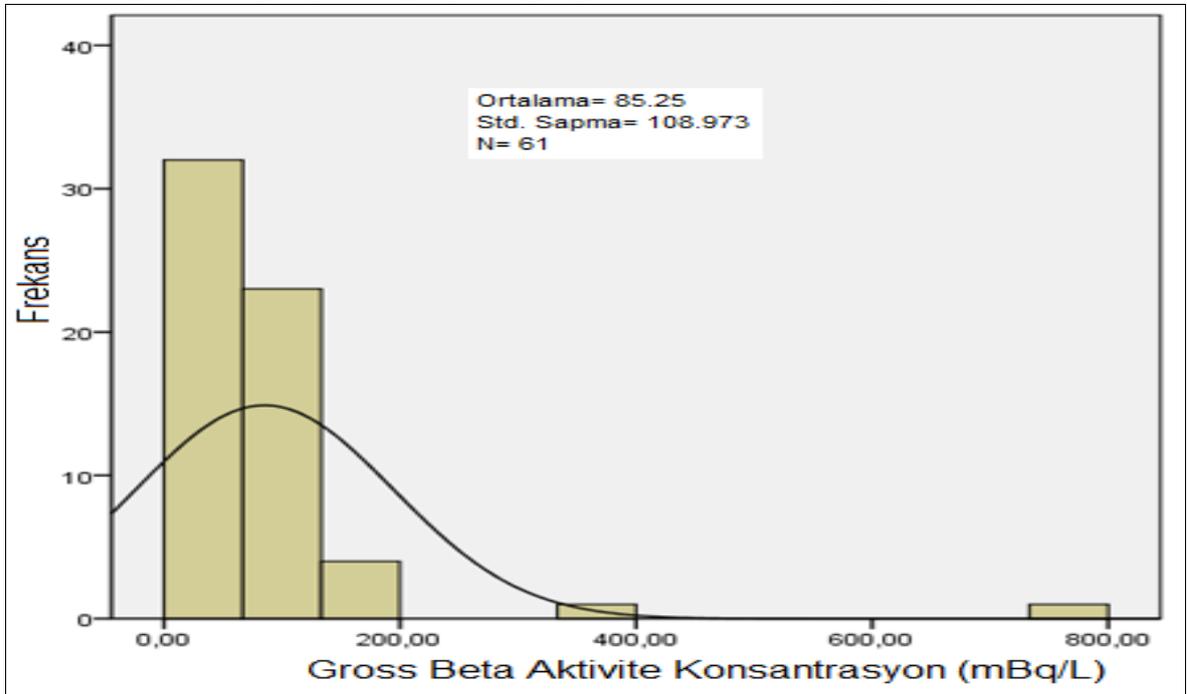
Şekil 13. Rize ili içme sularında toplam beta aktivitesi dağılımlar

Tablo 7’den de görüldüğü üzere toplam beta aktivitesi daima alfa aktivitesinden yüksek çıkmıştır. Toplam alfa ve beta ortalama aktivite değerleri Dünya Sağlık Örgütü (WHO)’ nun 2006 raporunda bildirdiği 0,5 Bq/L alfa aktivitesi ve 1 Bq/L beta aktivitesi olarak belirlenen değerler Türk İçme Suyu Standartlarına da aynen yansıtılmıştır. (TSE-266). Bu bilgiler ışığında ölçtüğümüz alfa ve beta değerleri limit değerlerinin altında çıkmıştır. Ölçtüğümüz toplam alfa ve beta değerleri sırasıyla $19,75 \pm 9,47$, $82,57 \pm 13,07$ mBq/L ortalama değere sahiptir.

Ayrıca Şekil 14 ve 15’ de toplam alfa aktivite konsantrasyonunun % 98’inin 50 mBq/L’den düşük, beta aktivitesinin ise % 92’sinin 150 mBq/L’den büyük olduğu görülmektedir.



Şekil 14. Gross alfa aktivitesi sıklık dağılımı



Şekil 15. Gross beta aktivitesi sıklık dağılımı

Su örneklerinin istatistiksel sonuçları Tablo 8’de gösterilmiştir.

Tablo 8. Su örnekleri analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirilmesi

	Toplam α (mBq/L)	Toplam β (mBq/L)
Aritmetik Ortalama	22	85
Standard Sapma	22	109
Standard Hata	3	14
Ortanca	18	63
Minimum	5	12
Maximum	164	787
Skewness	5	5
Kurtosis	272	30
Örnek Sayısı	61	61

Tablo 8’de gösterilen pozitif skewness ve kurtosis katsayıları dağılımın orta seviyede asimetric olduğunu göstermektedir.

Toryumun suda çözünürlüğü düşük olduğu için, toplam alfa aktivitesinin büyük olasılıkla uranyum ve radyum izotoplarından kaynaklanmaktadır. Çoğunlukla ^{226}Ra , nadiren ^{232}Th , ^{210}Po veya ^{224}Ra alfa aktivitesine katkı sağlamaktadır. Beta aktivitesi ise genellikle ^{40}K ve ^{228}Ra ’dan kaynaklanmaktadır.

Aşağıda verilen eşitlikten faydalanılarak içme sularından alınan yıllık etkin doz eşdeğerleri hesaplanmıştır (USA-EPA, 1988).

$$DR_w = A_w \times IR_w \times IDF \quad (32)$$

burada DR_w yıllık etkin doz eşdeğeri ($\mu\text{Sv/yıl}$). A_w toplam α ve toplam β aktivitesi (mBq/L). IR_w yılda bir kişi tarafından alınan su miktarı. IDF ise yıllık etkin doz dönüşüm katsayısıdır (mSv/Bq). Yıllık etkin doz eşdeğeri yetişkinler, çocuklar ve bebeklik çağındaki çocuklar için hesaplanmıştır, Bu üç grubun sırasıyla yılda 730, 350 ve 250 Litre su tükettiği dikkate alınmıştır. Toplam alfa aktivitesinin ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{210}Po ve ^{232}Th ve toplam beta aktivitesinin ise ^{210}Pb ve ^{228}Ra kaynaklarından geldiği dikkate alınmıştır. Hesaplama her bir radyonüklit için doz dönüşüm katsayıları WHO’nun 2004 raporunda sıralandığı şekilde verilmiştir: $4,5 \times 10^{-5}$ mSv/Bq ^{238}U için, $4,9 \times 10^{-5}$ mSv/Bq

^{234}U için, $2,1 \times 10^{-4}$ mSv/Bq ^{230}Th için, $2,8 \times 10^{-4}$ mSv/Bq ^{226}Ra için, $1,2 \times 10^{-3}$ mSv/Bq ^{210}Po için, $2,3 \times 10^{-4}$ mSv/Bq ^{232}Th için, $6,9 \times 10^{-4}$ mSv/Bq ^{210}Pb için ve $6,9 \times 10^{-4}$ mSv/Bq ise ^{228}Ra içindir.

Alfa ve beta yayınlanması dolayısıyla maruz kalınacak yıllık etkin doz değerleri Tablo 9' da verilmiştir. Toplam yıllık toplam etkin doza musluk sularından gelen katkı farklı izotoplardan kaynaklanmaktadır. Toplam etkin doz değerleri ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{210}Po , ^{232}Th , ^{210}Pb ve ^{228}Ra için sırasıyla 0,74, 0,81, 3,47, 4,62, 19,80, 3,80, 43,99 ve 43,99 $\mu\text{Sv/y}$ yetişkinler için (yaş > 17 yıl), 0,35, 0,38, 1,62, 2,16, 9,24, 1,77, 20,53 ve 20,53 $\mu\text{Sv/y}$ çocuklar için (2-7 yıl), 0,25, 0,27, 1,16, 1,54, 6,60, 1,27, 14,66 ve 14,66 $\mu\text{Sv/y}$ bebeklik çağı için (bebekler < 1 yıl) olarak hesaplanmıştır (Tablo 9). Sonuçlara bakıldığında, yetişkin bir bireyin maruz kaldığı toplam yıllık etkin doz değeri 121,22 $\mu\text{Sv/y}$ olup, WHO'nun müsaade ettiği 100 $\mu\text{Sv/y}$ değerinden biraz yüksektir.

Örneğin İyidere ilçesinde, çocuklar için içme sularındaki alfa yayıcılarından olan ^{230}Th için maruz kalınan yıllık etkin doz eşdeğerini hesaplayacak olursak;

$$DR_w(Th^{230}) = 14,70 \frac{mBq}{L} \times 350 L \times 2,1 * 10^{-4} \frac{mSv}{y}$$

$$DR_w(Th^{230}) = 1,08 \mu\text{Sv/y}$$

Ayrıca beta yayıcılar için Çayeli ilçesinde çocuklar için ^{238}U için maruz kalınan yıllık etkin doz eşdeğerini hesaplayacak olursak;

$$DR_w(U^{238}) = 44,86 \frac{mBq}{L} \times 350 L \times 4,9 * 10^{-5} \frac{mSv}{y}$$

$$DR_w(U^{238}) = 10,83 \mu\text{Sv/y}$$

olduğu görülmektedir.

Tablo 9. İçme sularındaki alfa ve beta yayınlayıcılarından dolayı maruz kalınan yıllık etkin doz değerleri ($\mu\text{Sv/y}$)

YETİŞKİNLER								
İlçeler	U-238	U-234	Th-230	Ra-226	Po-210	Th-232	Pb-210	Ra-228
İyidere	0,48	0,53	2,25	3,00	12,88	2,47	44,63	44,63
Kalkandere	1,00	1,08	4,65	6,20	26,57	5,09	38,95	38,95
Güneysu	1,38	1,50	6,44	8,58	36,79	7,05	106,13	106,13
Çayeli	0,48	0,53	2,26	3,01	12,89	2,47	22,60	22,60
Derepazarı	0,39	0,43	1,84	2,45	10,51	2,01	35,26	35,26
Ç.Hemşin	0,41	0,44	1,89	2,52	10,80	2,07	13,77	13,77
Fındıklı	0,74	0,80	3,45	4,60	19,71	3,78	26,95	26,95
Ardeşen	0,45	0,49	2,10	2,79	11,97	2,30	35,60	35,60
Pazar	0,68	0,74	3,17	4,22	18,11	3,47	42,81	42,81
Merkez	0,52	0,56	2,41	3,21	13,75	2,64	38,53	38,53
İkizdere	1,31	1,43	6,13	8,18	35,04	6,72	41,91	41,91
Hemşin	0,80	0,87	3,73	4,97	21,31	4,09	23,34	23,34
Ortalama	0,72	0,78	3,35	4,46	19,11	3,66	42,94	42,94
ÇOCUKLAR								
İyidere	0,23	0,25	1,08	1,44	6,17	1,18	21,40	21,40
Kalkandere	0,48	0,52	2,23	2,97	12,74	2,44	18,68	18,68
Güneysu	0,66	0,72	3,09	4,12	17,64	3,38	50,89	50,89
Çayeli	0,23	0,25	1,08	1,44	6,18	1,18	10,83	10,83
Derepazarı	0,19	0,21	0,88	1,18	5,04	0,97	16,91	16,91
Ç.Hemşin	0,19	0,21	0,91	1,21	5,18	0,99	6,60	6,60

Tablo 9'un devamı

Fındıklı	0,35	0,39	1,65	2,21	9,45	1,81	12,92	12,92
Ardeşen	0,22	0,23	1,00	1,34	5,74	1,10	17,07	17,07
Pazar	0,33	0,35	1,52	2,03	8,68	1,66	20,53	20,53
Merkez	0,25	0,27	1,15	1,54	6,59	1,26	18,47	18,47
İkizdere	0,63	0,69	2,94	3,92	16,80	3,22	20,09	20,09
Hemşin	0,38	0,42	1,79	2,38	10,22	1,96	11,19	11,19
Ortalama	0,34	0,37	1,60	2,14	9,16	1,76	20,59	20,59
BEBEKLER								
İyidere	0,17	0,18	0,77	1,03	4,41	0,85	15,28	15,28
Kalkandere	0,34	0,37	1,59	2,12	9,10	1,74	13,34	13,34
Güneysu	0,47	0,51	2,21	2,94	12,60	2,42	36,35	36,35
Çayeli	0,17	0,18	0,77	1,03	4,41	0,85	7,74	7,74
Derepazarı	0,14	0,15	0,63	0,84	3,60	0,69	12,08	12,08
Ç.Hemşin	0,14	0,15	0,65	0,86	3,70	0,71	4,71	4,71
Fındıklı	0,25	0,28	1,18	1,58	6,75	1,29	9,23	9,23
Ardeşen	0,15	0,17	0,72	0,96	4,10	0,79	12,19	12,19
Pazar	0,23	0,25	1,09	1,45	6,20	1,19	14,66	14,66
Merkez	0,18	0,19	0,82	1,10	4,71	0,90	13,20	13,20
İkizdere	0,45	0,49	2,10	2,80	12,00	2,30	14,35	14,35
Hemşin	0,27	0,30	1,28	1,70	7,30	1,40	7,99	7,99
Ortalama	0,25	0,27	1,15	1,53	6,55	1,25	14,71	14,71

Tablo 10’da farklı bölgelerden farklı su örneklerinde ortalama toplam alfa ve beta aktivite konsantrasyonları verilmiştir.

Tablo 10. Farklı bölgelerde ortalama toplam α ve β aktivite konsantrasyonları

Örnek	Bölge	Örnek alınan noktaların sayısı	Toplam α aktivitesi (mBq/L)	Toplam β aktivitesi (mBq/L)	Referanslar
İçme Suyu	Batman	12	33,8	80,3	[Damla et al., 2009]
	Adana	26	9,6	86,0	[Degerlier et al., 2010]
	İstanbul	5	30,0	70,0	[Karahan et al., 2000]
	Samsun	14	51,9	77,8	[Gorur et al., 2011]
	Kastamonu	10	8,9	271,0	[Kam et al., 2007]
	Trabzon	11	6,5	100,8	[Damla et al., 2006]
	Giresun	7	7,1	97,1	[Damla et al., 2006]
	Sırbistan	11	8,0	86,8	[Jankovic et al., 2012]
	Rize	61	22,0	85,0	Bu çalışmada
Yer altı Suyu	Nevşehir	20	192,0	579,0	[Turhan et al., 2013]
Kaynak Suyu	Batman	1	3909,5	2097,0	[Damla et al., 2009]
	Samsun	2	76,0	155,4	[Gorur et al., 2011]
	Sırbistan	1	8,0	41,0	[Jankovic et al., 2012]
	İspanya	84	<20–2420	<50–5800	[Duenas et al., 1998]

Bu çalışmada bulunan değerlerin Türkiye ortalamasına yakın olduğu görülmektedir. Toplam alfa değerleri karadeniz bölgesinde bulunan Kastamonu, Trabzon ve Giresun illerinden yüksek olmakla beraber Samsun ilinden düşük değerlere ulaşılmıştır. Toplam beta değerleri, Samsun iline yakın bir değerdeyken Kastamonu, Trabzon ve Giresun illerinden düşük değerlere rastlanmıştır.

3.2. Toprak Örneklerinin Radyoaktiflik Seviyeleri ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

Su örnekleri aldığımız bölgelerden alınan toprak örneklerinde radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları Tablo 11’de belirtilmiştir. Topraktaki radyonüklitlerin aktiviteleri biliniyorsa, yerden bir metre yükseklikte soğurulan doz hızı belirlenebilmektedir. Bu çalışma da toprak örneklerinin analizinden elde edilen radyonüklit aktivitelerinden yararlanılarak, toprak örneklerindeki gama dozu (D) değerleri

UNSCEAR'in 2000 raporundan yararlanılarak hesaplanmış ve her ilçe için hesaplanan gama dozu değerleri Tablo 6'da verilmiştir.

$$D(nGy/s) = 0,462 \times {}^{238}_{92}U + 0,604 \times {}^{232}_{90}Th + 0,0417 \times {}^{40}_{19}K + 0,30 \times {}^{137}_{55}Cs \quad (33)$$

Bulunan gama dozları kullanılarak, yıllık etkin doz eşdeğeri (AEDE) yani insanın bir yılda maruz kaldığı, farklı radyonüklitlerin yaydığı radyasyonlardan alacağı toplam doz miktarı bulunabilmektedir. Eşitlik 32 kullanılarak yıllık etkin doz eşdeğeri hesaplanmaktadır (UNSCEAR, 2000a-c).

$$AEDE(\mu Sv/y) = \text{Soğurulan Gama Dozu} \times \text{Çevresel Gama Dönüşüm Faktörü} \times \text{Meşguliyet Faktörü} \times \text{Zaman} \quad (34)$$

Bu eşitlikte Çevresel Gama Dozu Dönüşüm Faktörü 0,7 Sv/Gy olarak belirlenmiştir ve bu değer hem ev içinde hem de ev dışında yapılan ölçümlerde değişmemektedir. Yine bu eşitlikte bilinmesi gereken diğer bir faktör, Meşguliyet Faktörü yani insanların bu ışınlara maruz kaldıkları süredir. Bu çalışmada yapılan hesaplarda, insanların zamanlarının % 20'sini açık alanlarda ve % 80'ini kapalı alanlarda geçirdikleri göz önüne alınmıştır (Meşguliyet faktörü ev içi için 0,8 ve ev dışı için ise 0,2 olarak alınır). Zaman ise, bir yıldaki saat sayısıdır (8760 s/y). Rize merkez ve ilçeleri için hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri Tablo 11'de verilmektedir.

Tablo 11. Topraktaki radyonüklit konsantrasyonları, absorblanan ve etkin doz değerleri

İlçeler	Radyonüklidler (Bq/kg)					Absorblanan Doz D (nGy/h)	Etkin Doz AEDE (μ Sv/yıl)
	^{238}U	^{232}Th	^{40}K	^{226}Ra	^{137}Cs		
İyidere	123,02	71,97	403,98	106,75	31,83	164,16	201,33
Kalkandere	118,43	83,83	118,43	193,7	0	193,89	237,79
Güneysu	173,27	60,41	467,79	152,1	101,91	202,19	247,97
İkizdere	52,44	14,29	167,08	134,43	27,27	97,29	119,32
Merkez Köyler	151,95	49,94	238,08	104,97	124,34	156,78	192,28
Çayeli	130,15	44,93	273,86	121,34	192,81	154,74	189,78
Merkez	80,15	45,41	378,08	117,45	40,54	131,99	161,87
Derepazarı	240,71	65,01	520,37	58,4	34,15	194,26	238,24
Çamlıhemşin	82,81	25,71	214,38	97,76	10,02	103,69	127,16
Ardeşen	66,52	38,07	221,56	73,31	81,05	96,91	118,85
Pazar	60,87	27,43	206,85	93,79	89,44	95,82	117,51
Fındıklı	74,17	42,76	145,2	147,76	219,19	135,92	166,69
Genel Ortalama	114,93	51,95	313,74	116,40	86,24	149,31	183,11

Tablo 11'deki verilere göre; Rize ilinde yaşayan insanların topraktaki doğal radyonüklitlerden dolayı maruz kaldıkları yıllık etkin doz değeri UNSCEAR'ın belirttiği 70 μ Sv/yıl 'ın üzerindedir. Tablo 11'de görüldüğü üzere; Rize geneli ortalama ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{137}Cs aktivite değerleri sırasıyla 114,93, 51,95, 313,74, 116,40 ve 86,24 Bq/kg'dır. Literatürde ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{226}Ra aktivite konsantrasyonu için dünya ortalama değerleri sırasıyla 35, 30, 400 ve 32 olarak verilmektedir (UNSCEAR, 2000,a-c). Rize de bulunan ortalama değerler UNSCEAR'ın verdiği değerlerden yüksektir. En yüksek ^{238}U (240,71 Bq/kg) ve ^{40}K (520,37 Bq/kg) aktivitesi Derepazarı'nda, ^{232}Th (83,83 Bq/kg) ve ^{226}Ra (193,70 Bq/kg) aktivitesi ise Kalkandere ilçelerinde gözlenmiştir. Yapay radyoaktivite ürünü olan ^{137}Cs aktivite değeri Çayeli (192,81 Bq/kg), Fındıklı (219,19 Bq/kg), Güneysu (101,91 Bq/kg) ilçelerinde ve Merkez köyler (124,34 Bq/kg) de 100 Bq/kg'ın üzerinde bulunmuştur.

Türkiye ve dünyada yapılan bazı çalışmalarla ilgili topraktaki radyonüklit seviyeleri Tablo 12' de gösterilmiştir.

Tablo 12. Türkiye’de ve dünyada bazı bölge topraklarındaki radyonüklit seviyeleri

		²²⁶ Ra (Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)	¹³⁷ Cs (Bq/kg)	Referans
Türkiye	İstanbul	21	37	342	18	Karahan ve Bayülgen (2000)
	Manisa	28,5	27	340	-	Ereeş vd. (2006)
	Çanakkale	290,36	532,04	1160,75	0-6,57	Örgün vd. (2006)
	Kastamonu	37,4	27,2	431,4	8	Kam ve Bozkurt (2007)
	Şanlıurfa	20,5	24,6	298,6	9,1	Bozkurt vd. (2007)
	Gaziantep	33	24	289	8	Osmanlıoğlu vd. (2007)
	Ardahan	35,9	30,7	342,1	10,7	Yeşilbağ (2008)
	Artvin	22,4	20	357	53,7	Yeşilbağ (2008)
	Rize, Fırtına Vadisi	50	42	643	85	Kurnaz vd. (2007)
	Rize	116,4	51,95	313,74	86,24	Bu çalışmada
Diğer Ülkeler	Mısır (Güney bölgesi)	5-24	2-10	293-660	-	Sroor vd. (2001)
	Kıbrıs	31,8	41,5	575	-	Tzortzis vd. (2004)
	Nijerya	16,2	24,4	34,8	-	Arogunjo vd (2004)
	Nijerya	20,3	21,2	219,8	-	Jibiri ve Bankole (2006)
	Pakistan (Güney Punjab)	21,7	31	393,2	1,6	Fatima vd. (2007)
	Hindistan (Bangalore) Bölgesi)	26,2	53,1	635,1	-	Prasad Shiva vd. (2008)
Dünya ortalaması		35	30	400	-	UNSCEAR (2000)

²³⁸U ve ²³²Th değerleri dünya ortalamasının üzerinde, ⁴⁰K değeri ise altında bulunmuştur. Bir çok çalışmada uranyum ve radyum seviyeleri yayınlanma olasılıkları aynı olduğu için tek birisinin temsili ile gösterilmiştir. Tablo 7’ye göre ¹³⁷Cs düşük bir konsantrasyonla Pakistan’ın güneyinde gözlenmiş olup, ülkemizde Doğu Karadeniz kesiminde kendini göstermiştir. Ayrıca, Kurnaz ve arkadaşlarının 2007’de Fırtına Vadisi’nde yapmış oldukları çalışmadaki ¹³⁷Cs değeri ile bizim çalışmamız sonucunda hesaplanan ortalama ¹³⁷Cs değerinin örtüştüğü de görülmektedir.

4. SONUÇLAR

Rize geneli ortalama ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{137}Cs aktivite değerleri sırasıyla 114,93, 51,95, 313,74, 116,40 ve 86,24 Bq/kg'dır. Rize ilinde yaşıyan insanların topraktaki doğal radyonüklitlerden dolayı maruz kaldıkları yıllık etkin doz değeri UNSCEAR'ın belirttiği $70 \mu\text{Sv/yıl}$ 'ın hayli üzerinde hesaplanmıştır.

Çernobil (Chernobyl)' de yaşıyan radyoaktif sızıntı sonucu salınan yapay radyoaktivite ürünü Cs-137'nin izlerine rastlanmakta olup çalışma kapsamında hesaplanan topraktaki Cs-137 aktivitesi ortalama 86,24 Bq/kg'dır.

Toplam alfa ve beta ortalama aktivite deęerleri, WHO'nun 2006 raporunda bildirdięi 0,5 Bq/L alfa aktivitesi ve 1 Bq/L beta aktivitesi deęerlerinden dūřüktür. Sonuçlar yıllık etkin doz deęerinin WHO'nun müsaade ettięi deęer olan $100 \mu\text{Sv/y}$ deęerinden yüksek olduęu görölmüřtür.

5. ÖNERİLER

Rize ilinde bölgesel olarak yapılan sulara toplam alfa ve toplam beta aktivesi ölçümü proje kapsamında akciğer rahatsızlığı geçiren aileler baz alınarak yapıldığı için homojen bir dağılım sağlanamadığı için ileride yapılacak çalışmalarda bölgenin radyoaktivite haritasını daha kolay çıkarabilmemiz için homojen bir dağılım sağlanması uygun olacaktır kanaatindeyim.

Bundan sonraki çalışmalarda sulara sadece toplam alfa ve beta aktivitesinin yanı sıra sulardaki ağır metallerinde araştırılması jeolojik yapıyla korolasyon açısından önemli bir veri oluşturabilir.

Ayrıca topraktaki doğal ve yapay radyonüklitlerin aktivitelerinin belirlenmiş olması ve bu tarz çalışmaların belirli aralıklarla tekrarlanması herhangi bir Çernobil Nükleer Kazası benzeri durumunda radyasyon takibi açısından faydalı olacaktır.

6. KAYNAKLAR

- Ajayi, OS. ve Owolabi, TP., 2008. "Determination of natural radioactivity in drinking water in private dug wells in Akure, Southwestern Nigeria", *Radiat Prot Dosimetry*, 128, 4, 477-484.
- Akyil, S., Aytas, S., Turkozu, D.A., Aslani, A.A.M., Yusan, S.D. ve Eral, M., 2009. "Radioactivity levels in surface water of lakes around Izmir/Turkey", *Radiation Measurements*, 44, 390-395.
- Alfatih, A. A. Osman, Salih, I., Shaddad, Ibrahim A., Saif El Din, Siddeeg, M. B., Eltayeb, H., Idriss, H., Hamza, W. ve Yousif, E. H., "Investigation of natural radioactivity levels in water around Kadugli, Sudan", *Applied Radiation and Isotopes*, 66: 1650-1653 (2008).
- Arogunjo, A. M., Farai, I. P. ve Fuwape, A., 2004. Dose rate assessment of terrestrial gamma radiation in the Delta region of Nigeria. *Radiation Protection Dosimetry*, 108, 73-77.
- Arya A. P. (Edit: Sahin, Y.), 1999. "Çekirdek Fiziğinin Esasları", Aktif Yayın, Dağıtım LTD. ŞTİ., İstanbul.
- Arya, A. P. 1983. Çekirdek fiziğinin esasları (Çeviri: Y. Şahin). Atatürk Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, Erzurum, 3, 28-30.
- BEIR VI, 1999. Health Effects of Exposure to Radon. Committee on Health Risks of Exposure to Radon. Board on Radiation Effects Research (BEIR VI). National Academy Press.
- Bozkurt, A., Yorulmaz, N., Kam, E., Karahan, G. ve Osmanlioglu, A.E., 2007. "Assessment of environmental radioactivity for Sanliurfa region of southeastern Turkey", *Radiation Measurements*, 42, 1387-1391.
- Currie, L. A., 1968. Limits for qualitative detection and quantitative determination. *Analytical Chemistry*, 40, 586-593.
- Çelebi, N. ve Alkan, H., 1997. *Radiation Protection Dosimetry*, 69, 227-230.
- Damla N., 2005. Doğu Karadeniz Bölgesi İçme Sularında Toplam Alfa, Toplam Beta ve Gama Aktivitesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Damla, N., Cevik, U., Karahan, G. ve Koby A.I., 2006. Gross α and β activities in tap waters in Eastern Black Sea region of Turkey. *Chemosphere*, 62, 957-960.
- Damla, N., Cevik, U., Karahan, G., Koby, A. I., Kocak, M. ve Isık, U., 2009 "Determination of gross α and β activities in waters from Batman, Turkey", *Desalination*, 244, 208-214.

- Damla, N., Cevik, U., Kobya, A.I., Ataksor, B. ve Isık, U., 2010. "Assessment of environmental radioactivity for Batman, Turkey", *Environ Monit Assess*, 160, 401-412.
- Degerlier, M., 2007. "Adana ili ve çevresinin çevresel doğal radyoaktivitesinin saptanması ve doğal radyasyonların yıllık etkin doz eşdeğerinin bulunması", Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 17-191.
- Degerlier, M. ve Karahan, G., 2010. Natural radioactivity in various surface waters in Adana, Turkey. *Desalination*, 261, 126-130.
- Desideri, D., Meli, M. A., Feduzi, L., Roselli, C., Rongoni, A. ve Saetta, D., 2007. "238U, 234U, 226Ra, 210Po concentrations of bottled mineral waters in Italy and their dose contribution", *Journal of Environmental Radioactivity*, 94, 86-97.
- Dogru, M. ve Canbazoglu, C., 2002. "Natural gross radioactivity in various surface and tap waters in Elazig, Turkey", *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 254, 2, 379-382.
- Duenas, C., Fernandez, M.C., Enriquez, C., Carretero, J. ve Liger, E., 1998. Natural radioactivity levels in Andalusian spas, *Water Research*, 32, 2271-2278.
- Durrani, S.A. ve Iliç, R., 1997. Radon measurements by etched track detectors : applications in radiation protection, earth sciences, and the environment, World Scientific, Singapore.
- Ereeş., F. S., Aközcan, S., Parlak, Y. ve Çam, S., 2005. Assessment of dose rates around Manisa (Turkey). *Radiation Measurement*, 41, 598-601.
- Esmeray, E., 2005. "Konya ve çevresinde bulunan su kaynaklarındaki doğal radyasyonun incelenmesi", Yüksek lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 55.
- Fatima, I., Zaidi, JH., Arif, M. ve Tahir, SN., 2007. "Measurement of natural radioactivity in bottled drinking water in Pakistan and consequent dose estimates", *Radiat Prot Dosimetry*, 123, 2, 234-240.
- Fatima, I., Zaidi, H. J., Arif, M., Daud, M. ve Tahir, S. N. A., 2007, Measurement of natural radioactivity and dose rate assessment of terrestrial gamma radiation in the soil of southern Punjab, Pakistan. *Radiation Protection Dosimetry*, 1-7
- Gelir, A., 2001. "İçme suyundaki radyoaktivitenin belirlenmesi ve yıllık doz eşdeğerinin hesaplanması", Yüksek lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Üniversitesi*, İstanbul, 13-68.
- Godoy, M. J. ve Godoy, L. M., 2006. "Natural radioactivity in Brazilian groundwater", *Journal of Environmental Radioactivity*, 85, 71-83.
- Gorur, F.K., Keser, R., Dizman, S. ve Okumuşoğlu, N.T., 2011, Annual effective dose and concentration levels of gross α and β in various waters from Samsun, Turkey. *Desalination*, 279, 135-139.

- IAEA 1996. International Atomic Energy Agency, "Radiation Safety" IAEA Division of Public Information, 96-00725 IAEA/PI/A47E.
- Jankovic, M.M., Todorovic, D.J., Todorovic, N.A. ve Nikolov, J., 2012. Natural radionuclides in drinking waters in Serbia. *Applied Radiation and Isotopes*, 70, 2703–2710.
- Jia, G., Torri, G. ve Magro, L., 2009. "Concentrations of ^{238}U , ^{234}U , ^{235}U , ^{232}Th , ^{230}Th , ^{228}Th , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{224}Ra , ^{210}Po , ^{210}Pb and ^{212}Pb in drinking water in Italy: reconciling safety standards based on measurements of gross α and β ", *Journal of Environmental Radioactivity*, 100, 941-949.
- Jibiri, N. N. ve Bankole, O. S., 2006, Soil radioactivity and radiation absorbed dose rates at roadsides in high-traffic density areas in Ibadan metropolis, southwestern Nigeria. *Radiation Protection Dosimetry*, 118, 453–458.
- Jobbagy, V., Kavasi, N., Somlai, J., Dombovari, P., Gyöngyösi, C. ve Kovacs, T., 2011. "Gross alpha and beta activity concentrations in spring waters in Balaton Upland, Hungary", *Radiation Measurements*, 46, 159-163.
- Kam, E. ve Bozkurt, A., 2007. Environmental radioactivity measurements in Kastamonu region of northern Turkey. *Applied Radiation and Isotopes*. 65, 4, 440-444.
- Kam, E., Yazar, Y., Karahan, G., Çelebi, N. ve Özüağ, C., 2005. "Tekirdağ İli ve çevresinin doğal radyasyon seviyelerinin belirlenmesi".
- Kara, A., 2008. "Karaca ve Çal mağaraları radon konsantrasyonu ve radyoaktivite seviyesinin belirlenmesi" Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Trabzon, 6.
- Karahan, G. ve Bayülken, A., 2000. Assesment of gamma dose rates around Istanbul (Turkey), *Journal of Environmental Radioactivity*, 47, 213-221.
- Karahan, G., Öztürk, N. ve Bayülken, A., 2000. "Natural radioactivity in various surface waters in İstanbul, Turkey", *Water Research*, 34, 18, 4367-4370 (2000).
- Kehagia, K., Koukoulidou, V., Bratakos, S., Seferlis, S., Tzoumerkas, F. ve Potiriadis, C., 2007. "Radioactivity monitoring in drinking water of Attika, Greece", *Desalination*, 213, 98-103.
- Kılıç, Ö., Belivermiş, M., Topçuoğlu, S., Çotuk, Y., Coşkun, M., Çayır, A. ve Küçer, R., 2007. Radioactivity Concentrations and Dose Assessment in Surface Soil Samples from East and South of Marmara Region, Turkey, *Radiation Protection Dosimetry*, 1-7.
- Kırkpınar, A., 2010. "İzmir ve Ankara ili çevrelerindeki termal su ve içme sularının radyoaktivite açısından incelenerek, bölgelerin kendi içerisinde ve bölgeler arasında termal su ve içme sularının radyoaktivitesi açısından karşılaştırılması", Yüksek lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 52.

- Kobyay, Y., 2009. "Doğu Karadeniz Bölgesindeki doğal kaynak suları ve maden sularındaki doğal radyoaktiflik Tayini", Doktora Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 12-86.
- Krane, S. K. (Edit: Şarer, B.), 2001. Nükleer Fizik 1. Cilt Ders Kitabı, Birinci Baskı, Palme Yayın Dağıtım Ltd. Şti., Ankara.
- Krieger, H.L. ve Whittaker, E.L., 1980. Prescribed Procedures for Measurement of Radioactivity in Drinking Water, EPA-600/4- 80-032. US Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.
- Küçükömeroğlu, B., Kurnaz, A., Damla, N., Çevik,U., Çelebi,N., Ataksor,B. ve Taşkın,H., 2009. "Environmental radioactivity assessment for Bayburt, Turkey", *J. Radiol. Prot.*, 29, 417-428.
- Kurnaz, A., Küçükömeroğlu, B., Keser, R., Okumusöğlu, N. T., Kormaz, F., Karahan, G. ve Çevik, U., 2007. Determination of Radioactivity Levels and Hazards of Soil and sediment samples in Firtına Valley (Rize,Turkey), *Applied Radiation and Isotopes*, 65, 1281-1289.
- Küçükönder, E., 2009. "Kahramanmaraş yöresinde doğal radyoaktivitenin tayini", Doktora Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 79.
- Osmanlioglu, A.E., Kam, E. ve Bozkurt, A., 2007. "Assessment of background radioactivity level for Gaziantep region of southeastern Turkey", *Radiat. Prot. Dosimerty*, 124, 407-410.
- Örgün, Y., Altınsoy, N., Gültekin, A.H., Karahan, G. ve Çelebi, N., 2005. Natural radioactivity levels in granitic plutons and groundwaters in Southeast part of Eskişehir, Turkey. *Applied Radiation and Isotopes*, 63, 267-275.
- Özger, G. Ayşe, 2005. "Ceyhan, Yumurtalık ve Pozantı bölgelerinin doğal radyoaktivite düzeylerinin belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 100.
- Öztürk, N. ve Yılmaz, Y. Z., 2000. "Trace elements and radioactivity levels in drinking water near tuncbilek coal-fired power plant in Kütahya, Turkey", *Wat. Res.*, 34, 2, 704-708.
- Prasad Shiva, G. N., Nagaiyah, N., Ashok, G. V. ve Karunakara, N., 2008. Concentrations of ²²⁶Ra, ²³²Th and ⁴⁰K thesoils of Bangaloreregion, India. *Health Physics*, 94.
- T. C. Resmi Gazete, İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik'te içme suyuna ilişkin radyolojik parametre ve limit değerleri, (25730), 17.02.2005.
- Sanchez, A.M., Saenz, Garcia, G. ve Jurado Vargas, M., 2009. "Study of self-absorption for the determination of gross alpha and beta activities in water and soil samples", *Applied Radiation and Isotopes*, 67, 817-820.

- Sroor, A., El-Bahi, S. M., Ahmed, F. ve Abdel-Haleem, A. S., 2001. Natural radioactivity and radon exhalation rate of soil in southern Egypt. *Applied Radiation and Isotopes*, 55, 873-879.
- Taşkın, H., 2011. “Erzincan İl Merkezi ve Yakın Yerleşim Alanlarındaki İçme ve Kullanma Sularında Doğal Radyasyon Tayini”, Yüksek Lisans Tezi, Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, 21-22.
- Taşkın, H., 2011. “Erzincan İl Merkezi ve Yakın Yerleşim Alanlarındaki İçme ve Kullanma Sularında Doğal Radyasyon Tayini”, Yüksek Lisans Tezi, Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, 47.
- Taşkın, H., 2006. “İnsan sağlığı ve çevre kirliliği açısından Kırklareli ilinin fon radyasyonunun belirlenmesi ve haritalandırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 114.
- Temel Dilaver, A., Çifter, C. ve Altay, T., 2005. “The determination of gross alpha and beta activity of drinking water in Turkey”, Adana, Ekim, Hidrolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu, 35-45.
- Tsiaili, A., Kiliari, T. ve Pashalidis, I., 2011. “Seasonal variation of the alpha radioactivity concentration in natural water systems in Cyprus”, *Radiation Measurements*, 46, 145-148.
- Turhan, S., Ozcıtak, E., Taskın, H. ve Varinlioglu, A., 2013. Determination of natural radioactivity by gross alpha and beta measurements in ground water samples. *Water research*, 47, 3103 -3108.
- Tzortzis, M. ve Tsertos, H., 2004, Determination of Thorium, Uranium and Potassium Elemental Concentrations in Surface Soils in Cyprus, *Journal of Environmental Radioactivity*, 77, 325-338.
- UNSCEAR, 2000a. Effects and Risks of Ionizing Radiations. UN, New York.
- UNSCEAR, 2000b. Exposure and Effects of the Chernobyl Accident. UN, New York.
- UNSCEAR, 2000c. Exposures from Natural Radiation Sources. UN, New York.
- UNSCEAR, 2000. Report, United Nations Scientific Committee on The Effects of Atomic Radiation Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiations, New York.
- URL-1, https://www.google.com.tr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwjGoJWenuHMAhUmKpoKHaOGAzEQFggaMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.kimyaevi.org%2FTR%2Fyonlendir.aspx%3FF6E10F8892433CFF679A66406202CCB0BA31873D26AB328B&usq=AFQjCNGhKyz25koQSnE0N4LNosxzLmrlXw&sig2=tseDKziA_WjxiwRLluWjTg&bvm=bv.122129774,d.bGs, 23.02.2016
- URL-2, 2012, http://rize.yerelnet.org.tr/il_ilce_nufus.php?iladi=R%DDZE, 06.04.2012.

- USA-EPA, 1988. Federal Guideline Report No. 11. Limiting Values of Radionuclide Intake and Air Concentration and Dose Conversion Factors for Inhalation EPA520/1-88-020, Submersion and Ingestion, Washington, DC, USA.
- Yalçın, S. ve Gürlü, O., 2007. "The radioactivity measurements in soil, coal and water in south Marmara region of Turkey", *Radiation Measurements*, 42, 281-285.
- Yalçın, P., Kam, E. ve Bozkurt, A., 2009. "Erzincan Kaplıca Sularındaki Doğal Radyoaktivite Düzeyi", *X. Ulusal Nükleer Bilimleri ve Teknolojileri Kongresi*, Muğla.
- Yeşilbağ, Y.Ö., 2008. Artvin ve Ardahan İlleri Ev İçi Radon Konsantrasyonu ve Çevresindeki Topraklarda Radyoaktivitenin Tayini, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Zorer, S. Ö., Ceylan, H. ve Doğru, M., 2008. "Assessment of some trace heavy metals and radioactivity concentration in water of Bendimahi River Basin (Van, Turkey)", *Environ Monit Assess*, 147, 183-190.

ÖZGEÇMİŞ

06.02.1979 tarihinde İzmir' de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İzmir' de tamamladı. 2001 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Rize Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik bölümünde üniversite öğrenimine başladı. 2005 yılında üniversite öğrenimini bitirdi. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Fizik Ana Bilim Dalında Tezli yüksek lisans öğrenimine başladı. 2013 yılında TÜBİTAK destekli projede görev alarak tez konusunda çalışmalara başladı.

- Projeden Çıkarılan Bazı Eserler

1. İ. S. İslam, S. Akbulut, and U. Çevik, Cs-137 activity concentration in Rize province after a quarter-century from the Chernobyl disaster, 31. Turkish Physical Society, Bodrum/Turkey (Oral Presentation).
2. S. Akbulut, İ. S. İslam, A. Çelik and U. Çevik, Natural radionuclide concentrations in soil and life time cancer risk due to gamma radioactivity in Rize, Turkey, 31. Turkish Physical Society, Bodrum/Turkey (Oral Presentation).
3. S. Akbulut, H. Taşkın. (2015). Determination of natural radioactivity by gross α and β measurements in tap waters in Rize province, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 303; 413-420.