T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SİİRT İLİNİN İÇME SULARINDA TOPLAM ALFA VE BETA AKTİVİTESİ

Ahmet ALTUN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Fizik Anabilim Dalı

Nisan-2016
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Ahmet ALTUN tarafından hazırlanan "SİİRT İLİNİN İÇME SULARINDA TOPLAM ALFA VE BETA AKTİVİTESİ" adlı tez çalışması 13.05.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri **İmza**

Başkan
Prof.Dr. Uğur ÇEVİK

Danışman
Doç.Dr. Nevzat DAMLA

Üye
Prof.Dr. Ali YILMAZ

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Doç. Dr. Tahir Nalbantçılar
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Ahmet ALTUN

26.04.2016

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SİİRT İLİNİN İÇME SULARINDA TOPLAM ALFA VE BETA AKTİVİTESİ

Ahmet ALTUN

Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Doç.Dr. Nevzat DAMLA

2016, 65

Jüri
Danışman Doç.Dr. Nevzat DAMLA

Prof.Dr. Uğur ÇEVİK

Prof.Dr. Ali Yılmaz

Güneydoğu Anadolu Bölgesinde yer alan Siirt ili kendine özgün tarihi ve kültürel farklılıklarıyla tercih edilen bir turizm durağıdır. Bu çalışmada, 12 farklı musluk suyu örneklerindeki toplam alfa ve beta aktivite derişimleri, Berthold LB 770 model çok detektörlü düşük seviyeli gaz orantılı aynı anda on ölçüm yapabilen α/β sayım cihazı kullanılarak ölçülmüştür.

Ölçümleri yapılan toplam alfa ve beta aktivite derişim değerleri tablo ve şekiller halinde verilmiş olup WHO ve TSE yönetmenlikleri tarafından tavsiye edilen limit değerler ile karşılaştırılmıştır. Toplam alfa ve beta aktivite derişim değerlerinin, sırasıyla $9 \pm 5 - 40 \pm 9$ mBq/L ile 21 ± 11- 252 ± 23 mBq/L arasında değiştiği bulundu.

Analizleri yapılan musluk sularının sindirilmesi nedeniyle oluşabilecek radyolojik riskleri, yetişkin bireyler için değerlendirmek amacıyla, yıllık etkin doz değerleri WHO tarafından önerilen doz dönüşüm katsayıları kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda ^{238}U, ^{226}Ra, ^{210}Po, ^{210}Pb, ^{228}Ra ve ^{232}Th'nın ortalama doz değerleri sırasıyla 0,9, 5,3, 22,6, 52,3, 52,3 and 4,3 $\mu Sv/y$' olarak bulundu.

Anahtar Kelimeler: Doğal radyoaktiflik, içme suyu, toplam alfa, toplam beta, yıllık etkin doz, Siirt (Türkiye)

ABSTRACT

MS THESIS

GROSS ALPHA AND BETA ACTIVITIES IN TAP WATERS OF SIIRT PROVINCE, TURKEY

Ahmet ALTUN

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF BATMAN UNIVERSITY

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Nevzat DAMLA

2016, 65

Jury
Advisor: Assoc. Prof.Dr. Nevzat DAMLA

Prof.Dr. Uğur ÇEVİK

Prof.Dr. Ali Yılmaz

Siirt, a province located in Southeastern Anatolia, is a highly preferred tourism destination with its own unique history and cultural diversities. In this study, the activity concentrations of the gross alpha and beta of 12 different tap water samples collected from 12 different sampling sites in Siirt province and its districts were measured using a Berthold LB 770 type, and a gas proportional α/β counter with low background multiple detector system which can measure ten samples at a time.

.

The gross alpha and activity concentrations measured were presented as tables and figures for each tap water sample and compared with limit values and criteria recommended by WHO and TSE regulation. The values of the activity concentrations of the gross alpha and beta were found to vary between 9 ± 5- 40 ± 9 mBq/L and 21 ± 11 – 252 ± 23 mBq/L, respectively.

To assess radiological risks for adult members, the annual effective doses were calculated using dose conversion factors of the public suggested by the WHO due to the fact that tap water in this area is ingested, and thus can cause radiological risks. The results of the calculations were found as ^{238}U, ^{226}Ra, ^{210}Po, ^{210}Pb, ^{228}Ra and ^{232}Th the average dose values, 0.9, 5.3, 22.6, 52.3, 52.3 and 4.3 μSv/y, respectively.

Keywords: Natural activity, drinking water, gross alpha, gross beta, annual effective dose, Siirt (Turkey)

ÖNSÖZ

Tez çalışmasında Siirt ili, ilçe ve beldelerinde tüketilen içme sularında Toplam Alfa ve Beta aktivitesinin belirlenmesi amaçlandı ve gerçekleştirildi. Tez çalışması, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı'nda " Yüksek Lisans Tezi" olarak hazırlanmıştır.

Siirt ili içme sularında toplam alfa, beta aktivitesi tez çalışmam boyunca desteğini esirgemeyen, bilgi ve birikiminden yararlandığım danışman hocam Doç. Dr. Nevzat DAMLA' ya desteğinden ötürü saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Örneklerin radyoaktivite analizlerinin yapılmasını sağlayan ÇNAEM Sağlık Fiziği Bölümü'ndeki Doç. Dr. Gürsel KARAHAN ve Halim TAŞKIN' a en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen değerli aileme teşekkür ederim.

Ahmet ALTUN
BATMAN-2016

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **ix**

ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **x**

ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **xi**

1. GİRİŞ VE KAYNAK ARAŞTIRMASI **1**

1.1. Radyoaktiflik 7

1.1.1.Doğal radyoaktiflik 7

1.1.2.Yapay radyoaktiflik 8

1.1.3.Radyoaktif bozunma kanunu 9

1.2. Radyoaktif Bozunma Türleri 11

1.2.1.Alfa bozunumu 12

1.2.2.Beta bozunumu 13

1.2.3.β^- bozunumu 13

1.2.4.β^+ bozunumu 14

1.2.5.Elektron yakalanması olayı 14

1.3.Radyasyonun Madde ile Etkileşmesi 15

1.3.1. Alfa parçacıklarının madde ile etkileşmesi 15

1.3.2.Beta parçacıklarının madde ile etkileşmesi 17

1.3.3.Gama ışınlarının madde ile etkileşmesi 18

1.3.4. Fotoelektrik olay 18

1.3.5.Compton olayı 19

1.3.6.Çift oluşumu olayı 20

1.4. Radyasyonun Biyolojik Etkileri 21

1.4.1.Somatik etkiler.....22
1.4.2.Genetik etkiler.....22
1.4.3.Radyasyonun insan sağlığı üzerine etkileri.....23
1.5.Yeraltı Sularında Bulunan Doğal Radyoaktivite.....24
1.5.1.Sulardaki radyoaktiflik limitleri.....25
1.6. Gaz İyonlaşmasına Dayalı Radyoaktivite Ölçme Sistemleri.....26
1.7.Çalışma Alanının Tespiti.....29
2.MATERYAL VE YÖNTEM.....30
2.1. Su Numunelerinin Toplanması.....30
2.1.1.Su numunelerinin ölçüm işlemine hazırlanması.....32
2.1.2.Deneysel sistem.....33
2.1.3.Su numunelerinin fiziksel değişkenliklerinin ölçülmesi.....36
2.1.4.Su numunelerinin toplam alfa aktivite ölçümüne hazırlanması.....37
2.1.5.Su numunelerinin toplam beta aktivite ölçümüne hazırlanması.....38
2.2.Su Numunelerinde Toplam Alfa ve Beta Aktivite Ölçümünün Yapılması.....39
2.2.1. Verim kalibrasyonu.....39
2.2.2.Aktivite hesaplanması.....40
3.ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....41
3.1.Toplam Alfa ve Beta Aktivite Sonuçları.....41
3.2.Yıllık Etkin Doz Değerleri.....44
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....48
4.1.Sonuçlar.....48
4.2.Öneriler.....50
KAYNAKLAR.....51
ÖZGEÇMİŞ.....54

SİMGELER VE KISALTMALAR

ÇNAEM : Çekmece Nükleer Araştırma Eğitim Merkezi

TSE : Türk Standartları Enstitüsü

TAEK : Türkiye Atom Enerjisi Kurumu

SB : Sağlık Bakanlığı

WHO : World Health Organization

DSÖ : Dünya Sağlık Örgütü

SI : Uluslararası Birim Sistemi

YED : Yıllık Etkin Doz

BDÖ : Bireysel Doz Ölçütü

DK : Doz Dönüşüm Katsayısı

EPA : Environmental Protection Agency

DNA : Deoksiribo Nükleik Asit

Bq : Becquerel

Ci : Curie

Z : Atom Numarası

H_2SO_4 : Sülfürik Asit

NH_4OH : Amonyum Hidroksit

$BaSO_4$: Baryum Sülfat

$Fe(OH)_3$: Demir Hidroksit

HNO_3 : Nitrik Asit

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Radyasyon geçirgenliği 12

Şekil 1.2. Alfa parçacıklarının özgül iyonizasyona göre ulaşma uzaklığı 18

Şekil 1.3. Beta parçacıklarının enerji spektrumu 19

Şekil 1.4. Compton saçılması 21

Şekil 1.5. Çift Oluşumu Olayı 22

Şekil 1.6. İçme sularındaki radyonüklit düzeyleri için uygulama kılavuzu 28

Şekil 1.7. Gaz ile çalışan radyasyon sayacı devresi 30

Şekil 1.8. Oluşan iyon sayısının uygulanan voltajla değişimi 31

Şekil 2.1. Su numunelerinin toplandığı yerlerin harita üzerinde gösterimi 32

Şekil 2.2. Toplam alfa, beta düşük seviyeli sayım cihazının blok diyagramı 35

Şekil 2.3. Toplam alfa ve beta ölçüm sistemi 36

Şekil 2.4. Toplam alfa ve beta ölçüm sisteminin üst görünümü 37

Şekil 3.1. Numunelerin toplam alfa ve beta aktivitelerinin karşılaştırılması 44

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 1.1. Yapay radyoaktif çekirdekler 8

Çizelge 1.2. Bazı izotopların yarı ömürleri 11

Çizelge 1.3. Beta parçacıklarının havadaki yaklaşık ulaşma uzaklıkları 19

Çizelge 2.1. Su numunelerinin toplandıkları yerlere ait bilgiler 33

Çizelge 2.2. Deneysel sistemde kullanılan araç, gereç ve cihaz bilgisi 34

Çizelge 2.3. Toplam α/β aktivite ölçümünde kullanılan reaktifler 35

Çizelge 2.4. Berthold LB 770 gaz orantılı α/β sayım cihazının özellikleri 36

Çizelge 2.5. Su Numunelerinin pH ve Sıcaklık Değerleri 38

Çizelge 3.1. Toplam alfa ve beta radyoaktif değerleri 43

Çizelge 3.2.Toplam alfa ve beta aktivite değerlerinin literatürdeki diğer kaynaklarla karşılaştırılması 45

Çizelge 3.3. Alfa ve beta yayınlayan radyonüklitler için doz dönüşüm katsayıları 48

Çizelge 3.4. Yetişkinler için yıllık etkin doz değerleri (YED) 49

1.GİRİŞ VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

Su, tüm canlıların canlılık faaliyetlerini sürdürebilmeleri ve biyolojik yaşamın devamının sağlanması için en temel ihtiyaçlardan biridir. Canlı mikroorganizmalardan en karmaşık yapıya sahip varlığa değin tüm yaşamı ve yaşam faaliyetlerin gerçekleşmesini sağlayan temel ihtiyaç maddesi sudur. İnsanların da hayatları boyunca en çok tükettikleri su, sağlık açısından da büyük bir önem arz etmektedir. Bilindiği üzere dünya üzerindeki su miktarı dünyanın %70'ini kaplamaktadır. Üzerinde yaşamış olduğumuz dünyanın büyük bir kısmını kaplayan su, insan vücudunun da büyük kısmını kapsamaktadır. İnsan vücudundaki su oranı cinsiyet ve yaşa göre farklılıklar göstermektedir. İnsanlar yaşam faaliyetlerini sürdürebilmeleri için farklı farklı gıdalar tüketirler. Vücuda alınan bu gıdaların çözünerek sindirilmesi, emilmesi ve oluşan atık maddelerin vücuttan dışarı atılması görevini su üstlenmektedir. İnsan vücudunda üstlendiği bu görevlerin yanında vücut ısısını ayarlamada, hücrelerin ihtiyaç duyduğu maddeleri hücrelere taşımada ve damarlarda kan dolaşımını sağlamakta önemli bir etkendir. İnsanoğlu günlük ortalama olarak 2- 2,5 L su kaybı yaşar, bedenin sağlığı için kaybedilen miktarda suyun vücuda geri alınması gerekmektedir.

Dünyamızdaki su kaynaklarının yaklaşık %3'ü kullanılabilir durumdadır. Yeryüzündeki mevcut su hacminin 141 milyar m^3 olduğu bilinmektedir. Sular, güneş enerjisinden dolayı sürekli bir çevrim halindedir. Canlılar su ihtiyaçlarını bu çevrimden karşılarlar ve ihtiyaçlarını karşıladıktan sonra tekrardan bu sisteme iade ederler. Güneş enerjisi ve yeryüzündeki suların bu çevrimleri sürecinde, sular kirliliğe maruz kalmaktadırlar. Aynı zamanda suların geçiş güzergâhlarında ya da bulundukları yerlere göre radyoaktif maddeler tarafından da kirlenebilirler. Yeraltında oluşan farklı jeolojik oluşumlar yeraltı sularıyla temas halindeler. Bu jeolojik teşekküllerin içersinde bulunan kimyasal bileşenler sudaki çözünme aşamalarına göre yeraltı sularına farklı oranlarda karışırlar. Yeraltında oluşan jeolojik oluşumlarda farklı oranlarda radyoaktif maddeler ortaya çıkmakta ve de bulunmaktadırlar. Suların toprak altında ilerleyişleri esnasında bulundukları ortamın özelliklerinden ve temas ettikleri yerlerden dolayı oluşan magmatik oluşumlar diğer etkenlerden daha fazla radyoaktif madde bulundurulmasına neden olur. Toprak altındaki suların geçişlerinden dolayı oluşan doğal radyoaktif maddeler suda bulunma oranlarına göre en fazla ^{222}Radon ve ^{226}Radyum bulunmaktadır. Ayrıca yeraltında bulunan radyoaktif maddelerden Aktinyum serisi radyonüklitler de

bulunmaktadır fakat bu serinin oranlarının tespiti oldukça zor ve olanaksız gibidir. ^{232}Toryum, ^{238}Uranyum diğer bulunan radyoaktif maddeler ve bu maddelerin bozunması sonucu oluşan radyoaktiflerdir. Bozunma sonucu oluşan Radonun yarılanma süresinin çok kısa olmasından dolayı su ve kayaçlarda birikinti oluşturmamaktadır. İnsanların yaşamları için çok önemli olan suyun sağlık açısından çok temiz olması gerekir. Bu sebepten ötürü sularda bulunan maddelere yönelik araştırmalar yapılmakta ve çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. İçme sularının kalitesinin belirlenmesi ve sağlıklı olarak tüketilmesi için; suyun fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesinin yanında toplam alfa ve beta aktivitelerinin ölçülmesi ölçülen ve belirlenen değerlerin sağlık teşkilatlarının, kurum, kuruluşların bu alanda yapılan çalışmalar neticesinde belirlenmiş en yüksek değerden düşük olması gerekmektedir.

Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) ve T.C. Sağlık Bakanlığı tarafından içme sularında sağlık açısından içilmesinde en güvenilir en yüksek toplam alfa ve beta aktivite değerleri sırasıyla; 0,5 Bq/L ve 1,0 Bq/L olarak belirlenmiştir (WHO,2006).

Bu çalışmanın amacı: Siirt il, ilçe ve beldelerinde tüketilen içme sularının radyoaktiflik açısından ulusal ve uluslararası değerlere göre güvenilebilir olup olmadığı, kaliteli içilebilir su değerleri standartlarına uygunluğunun araştırılması esas alınmıştır . Bununla birlikte içme sularındaki radyoaktivite doz değerlerinin değerlendirilerek bu doz miktarından dolayı maruz kalınan radyoaktif risklerin tespit edilmesi, analizleri yapılan suların fiziksel parametlerinin ölçülmesi ve yapılan bu araştırmalar, ölçümler sonucunda elde edilen değerlerin bir veri tabanı oluşturmasını sağlamaktır. Bu çalışma içme suyunun temiz, kaliteli ve güvenilir olma hususunda su analiz yönetmenliklerindeki değişikler için bir veri tabanı ve yol gösterici olma özelliği taşımaktadır. İl, ilçe ve beldelerinin herhangi birinde olası bir nükleer sızıntı sonucunda sularda meydana gelecek radyoaktif tahribatın ve kirliliğinin tespiti çalışmalarında kazanın neden olduğu radyasyon tahribat derecesinin belirlenebilmesi için iyi bir kaynaktır. Ayrıca oluşacak olan radyasyon tahribatının insan sağlığına etkileri, çevre üzerinde bırakacağı hasar ve kirliliğinin tespitinde de ön bilgi olarak kullanılacak bir kaynak olmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucunda tespiti yapılan değerlerin doz sınır değerlerinin üstünde bir değer çıkması halinde gerekli olan önlemlerin alınması ve yapılacakların planlanması için ilgili kurum ve kuruluşlarla paylaşılmasıdır. Bu amaç istikametinde tez kapsamında Siirt il, ilçe ve beldelerinden 12 farklı noktadan toplanan musluk suyu örneklerinin toplam alfa ve beta aktiviteleri ölçülmüştür.

Literatürde sulardaki radyoaktivite ölçümleri üzerine birçok çalışma mevcuttur. Son zamanlarda ülkemizin farklı bölge ve şehirlerinde kullanılan içme (musluk), yüzey ve kaplıca sularındaki doğal radyoaktivitenin belirlenmesine yönelik çalışmalar hız kazanmıştır. Literatürde Güney Doğu Anadolu Bölgesinde yer alan 6 ilçe ve 5 beldesi bulunan Siirt ilinde sularda toplam alfa, beta radyoaktivite ölçümüne ait bir çalışmaya rastlanmamıştır. Siirt ilinde yapılan bu çalışma musluk suyu ölçümleri için en önemli kaynağını oluşturmaktadır.Ülkemizde ve dünyanın birçok ülkesinde bu çalışmalara rastlamak mümkündür. Bu çalışmalar ülkeler genelinde olduğu gibi ülkelerin farklı bölgelerinde yapılmıştır. Yapılan çalışmalardan bazıları ise aynen bu çalışmada olduğu gibi belli bir bölgeye özgü çalışmalardır. Literatürde yer alan ve daha önce yapılmış olan çalışmalardan bazıları özet olarak verilmiştir.

Wisser ve ark.(2006) Almanya'da yapmış oldukları çalışmada bazı musluk sularında toplam alfa ve beta aktivite araştırmaları sonucunda sırayla toplam alfa, beta aktiviteleri için üst değerleri 25-210 mBq/L hesaplanmıştır.

Ferdous ve ark.(2012) Bangladeş'te yapmış oldukları çalışmada 20 farklı musluk suyu örneği toplanmış ve ölçümleri yapılan bu suların toplam alfa ve beta aktivite değerleri toplam alfa için: 1,88- 8,16 mBq/L ve toplam beta için: 29,31- 115,740 mBq/L olduğu bulunmuştur.

Kehiga ve ark.(2007) yapmış oldukları çalışma, Yunanistan'ın Attika bölgesinden toplanan içme suyu örnekleri ile yapılmıştır. Ölçümü yapılan toplam alfa, beta aktivite değerleri sırasıyla 0,1 Bq/L ve 1 Bq/L' den düşük olduğu görülmüştür.

Malanca ve ark.(1998) yapmış oldukları çalışma, Brezilyanın orta ve doğu bölgeleri Rio Grande do Notre de 30 ayrı noktadan toplanan 69 adet yüzey ve yer altı su örneklerindeki toplam alfa ve beta aktivitesi hesaplanmıştır. Hesaplamalar neticesinde, toplam alfa ve beta aktivite değerlerinin, 2,8- 354 Bq/m^3 ve 50,5- 580 Bq/m^3 aralığında değişim gösterdiği bulunmuştur.

İspanya'da yapılan bir çalışmadan 30 ayrı içme suyu örneğinde ZnS sintilasyon sayacı ile ölçümü yapılan toplam alfa ve beta aktivitesi sırayla <0,03- 0,86 Bq/L ve <0,04- 0,88 Bq/L arasında olduğu tespit edilmiştir (Palemo ve ark. 2007).

Değerlier ve Karahan(2010) yaptıkları çalışmada, Adana İli ve ilçelerinde toplanan 30 farklı içme suyu ve yüzey suyu örneği gaz orantılı toplam α/β sayacı ile ölçülmüştür. Ölçümler sonucunda toplam alfa ve beta aktivitesinin ortalama değerleri sırasıyla 0,0096 Bq/L ve 0,086 Bq/L olarak hesaplanmıştır.

Damla ve ark.(2009) Batman İli ve ilçelerinde yapmış oldukları çalışmada toplanan musluk, kuyu ve kaplıca suyu örneklerinin toplam alfa ve beta aktivitesi gaz orantılı (Berhold LB770) toplam α/β sayacı ile ölçülmüştür. Ölçümler neticesinde musluk, kuyu ve yüzey suyu örneklerinin alfa ve beta aktivitesinin bulunan ortalama değerleri, 38,1 mBq/L (aralık değeri: 10,8- 73,4 mBq/L) ve 79,6 (aralık değeri:3- 347 mBq/L) olarak hesaplanmıştır.

Kapdan ve ark.(2012) Çankırı İli ve ilçelerinden topladıkları musluk suyu örneklerini gaz orantılı olan toplam α/β sayacı ile ölçülmüştür. Toplam alfa ve toplam beta aktivitesinin ortalama değerleri toplam alfa (α) : 0,25 Bq/L, toplam(β): 0,26 Bq/L olarak bulunmuştur.

Yalçın ve ark.(2012) yapmış oldukları çalışmada, Erzincan İli ve ilçelerinden toplanan içme suyu örneklerinde, ölçümleri sonrasında toplam alfa ve beta aktivitesinin ortalama değeri 0,048 Bq/L ve 0,10 Bq/L olduğu hesaplanmıştır.

Osmanlıoğlu ve ark. (2007) tarafından yapılan çalışmada, Güneydoğu Anadolu Bölgesinde bulunan Gaziantep İlinde toplanan içme suyu örnekleri gaz orantılı toplam α/β sayım sayacında ölçülmüştür. Toplam alfa ve beta aktivitelerinin ortalama değeri, 0,049 Bq/L ve 0,128 Bq/L ölçülmüştür.

Damla ve ark. (2006) Musluk sularında toplam alfa ve beta aktifliğini belirlemek amacıyla Doğu Karadeniz Bölgesinde yapmış oldukları çalışmada 27 farklı noktadan musluk suyu (içme suyu) örneği toplanmıştır. Toplanan bu örnekler gaz orantılı toplam α/β sayacı ile ölçülmüş ve toplam alfa, beta aktivitesinin ölçüm değerleri, toplam alfa: 0,2- 15 mBq/L ve toplam beta: 25,2- 264,4 mBq/L değerleri arasında değiştiği görülmüştür.

Karadeniz bölgesinde yapılan bir diğer çalışma Samsun ili ve ilçelerinden 19 farklı noktadan toplanan musluk suyu ve kaplıca suyu örnekleri toplam α/β sayacı ile ölçümleri yapılmıştır. Toplam alfa ve beta aktiviteleri 51,9 mBq/L ve 77,8 mBq/L olarak ölçülmüştür. Yıllık efektif doz sınırının da Dünya Sağlık Örgütünün tavsiye ettiği değerden daha düşük olduğu görülmüştür (Görür ve ark. 2011).

Bozkurt ve ark.(2007) Şanlıurfa'daki farklı noktalardan toplanan içme sularında toplam alfa ve beta radyoaktivitelerini toplam α: 38,0 mBq/L toplam β: 132,4 mBq/L olarak hesaplanmıştır.

Öztürk ve Yılmaz (2000) Kütahya da yapmış oldukları çalışmada, toplanan 9 adet içme suyu numunesinde, α/β sayacı ile ölçülen toplam alfa ve beta aktivitesinin, sonuçları sırasıyla, 0,04- 0,40 Bq/L ve 0,04- 0,70 Bq/L aralığında bulunmuştur.

Küçükönder(2010) Kahramanmaraş İlinde yapmış olduğu çalışmada toplanan içme suyu örnekleri, gaz orantılı toplam α/β sayacı ile ölçülen toplam alfa ve beta aktivitesi değerleri sırasıyla 66,8 mBq/L ve 208,3 mBq/l olarak ölçülmüştür. Ölçümü yapılan iki adet içme suyu haricin de diğerlerinin Dünya Sağlık Örgütü'nün tavsiye ettiği değerler ile uygun olduğu görülmüştür.

Karahan ve ark.(2000) yapmış oldukları çalışmada, İstanbul İlinin farklı noktalarından alınan 7 içme suyu ve 8 kuyu suyu örneğinde, toplam α/β sayacı ile ölçülen toplam alfa ve beta aktivitesinin değerleri, 0,007- 0,04 Bq/L ve 0.02- 0,1 Bq/L arasında hesaplanmıştır.

Turgay ve ark.(2015) yaptıkları çalışmada, Hatay il ve ilçelerinden 39 farklı noktadan toplamış oldukları içme suyu örneklerinde toplam alfa ve beta radyoaktivitesini ölçmüşlerdir. Alfa ve beta değerleri sırasıyla, 36.69 (10-86) mBq/L ve 116,36 (14-949) mBq/L olarak tespit edilmiştir.

Özçıtak ve ark.(2013) İç Anadolu da bulunan Nevşehir ilinde yaptıkları çalışmadan sularda toplam alfa ve beta aktivitesini tayin etmek için bunlardan 23 ü kuyu suyu, 1 musluk suyu, 3 yüzey suyu, 3 kaplıca suyu olmak üzere 30 ayrı noktadan toplanan su örneklerinde ölçüm yapılmıştır. Ölçümü yapılan su örneklerinin değerleri, toplam alfa: 192 mBq/L toplam beta: 579 mBq/L olarak hesaplanmıştır.

Görür ve Camgöz(2014) yapmış oldukları çalışmada, Bolu il ve ilçelerinden toplanan sularda toplam alfa ve toplam beta aktivite ölçümü için 48 ayrı noktadan su örneği toplamışlardır. Toplanmış bu su örneklerin 9' u musluk suyu, 16' sı göl suyu, 6'sı kaynak suyu, 10'u nehir suyu ve 7' si de maden suyudur. Yapılan ölçümler sonucunda toplam alfa ve toplam beta değerleri sırasıyla, 68,1 mBq/L ve 169,44 mBq/L olarak ölçülmüştür.

Bu tez kapsamında yapılan çalışma dört bölümden oluşmaktadır. Çalışmanın birinci bölümünü oluşturan bu bölümde giriş ve kaynak araştırması ile beraber yapılan çalışmanın konusunu, çalışmanın önemini ve diğer çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir. Yine bu bölümde radyoaktiflik, radyoaktivitenin madde ile etkileşimi, bozunum süreçleri, radyasyonun biyolojik ve insan sağlığı üzerine etkileri ilgili kaynaklar gösterilerek genel bir bilgi olarak sunulmuştur ve giriş bölümünde diğer çalışmalar özetlenmiştir. Çalışma alanının tespiti yapılmış çalışma alanına ait bilgiler verilmiştir.

İkinci bölümde Siirt ili, ilçeleri ve beldelerinden 12 ayrı noktadan toplanan su örneklerinin ölçme işlemine hazırlanması ve ölçme işlemlerinin yapılması için kullanılan kimyasal yöntemler, kullanılan radyoaktifler içme suyu örneklerinde toplam alfa ve beta aktivitesinin ölçülmesinde kullanılan TAEK'e bağlı ÇNAEM (Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezindeki) gaz orantılı, 10 kanallı, çoklu dedektörlü ve düşük zemin sayımına sahip alfa/beta sayacı (Berthold LB 770) detaylı olarak ele alınmıştır. Dedektörün özelliklerinin yanı sıra verim ölçümleme ve aktivite hesaplanması verilmiştir. Üçüncü bölümde sonuçlar çizelge ve şekiller ile verilmiştir. Literatürde daha önceden yapılmış olan çalışmalarla kıyaslanmıştır. Yetişkinler için yıllık etkin doz hesaplanmış ve çizelge olarak sunulmuştur. Dördüncü bölümde elde edilen veriler, tavsiye edilen standart limit değerler ile karşılaştırılmış ve öneriler sunulmuştur.

1.1. Radyoaktiflik

Atom çekirdeğinin kendiliğinden bozunuma uğrayarak tanecikler, elektromanyetik ışımalar veya bazı ışınlar yayınlayıp atom çekirdeğinin niteliğini değiştirip başka bir çekirdeğe dönüşmesi olayı *radyoaktiflik* olarak tanımlanır.

Radyoaktiflik, 19. Yüzyılın sonlarında Becquerel tarafından yapılan çalışmalar neticesinde keşfedildi. Radyoaktifliğin keşfinden sonraki yıllarda Curie ve sonralarda bu alanda bilim insanlarının yapmış oldukları çalışmalar, araştırmalar bu alanda yeni gelişmelere birer ön bilgi, yol gösterici olmuştur.

1.1.1. Doğal radyoaktiflik

Doğal radyoaktif izotoplar doğada kendiliğinden bozunama uğrarlar, hiçbir dış etkiye maruz kalmadan sahip oldukları fazla enerjilerini dışa atarlar. Böylelikle bozunuma uğramış olarak oluşan radyoizotop aynı zamanda doğada da mevcut olan diğer radyoizotopların bozunması neticesinde oluşuyorsa bu olaya *doğal radyoaktiflik* denilmektedir. Değerlerin tespitine dayalı çalışmalarda ve bunların hesaplanmalarında kullanılan doğal radyoaktiflik tanımı örneklendirilirse, maddenin yaş tayininde, çekirdek özelliklerinin belirlenmesi gibi farklı işlem ve analizler doğal radyoaktivite çalışmalarıyla yapmak mümkündür. Doğal radyoaktiflik değerinin belirlenmesi için canlıların yaşam alanlarında ve doğa da yapılacak olan çalışmalar sonucunda radyoaktiflik oranın tespit edilmesi sonrasında gelişecek nükleer sızıntı gibi olaylar neticesinde çevreye bulaşacak atığın hangi seviyelere ulaşmış olduğunu nükleer sızıntı öncesi verilerle karşılaştırmak için ve bu değerler sonucunda alınacak önlemler konusunda önem kazanmaktadır. Doğal radyoaktifliğin canlı cansız bütün varlıklarda oluşturduğu etkilerin gözlemlenmesi mümkündür. Rakamsal olarak ifade edilirse doğada varlığı bilinen üçyüzkırk radyoaktif çekirdek bulunmaktadır. $Z \geq 82$'den büyük olan elementler radyoaktif özelliğe sahiptir.

1.1.2. Yapay radyoaktiflik

Radyoizotoplar, nükleer reaktörlerde ya da hızlandırıcılarla üretilirler ve bu üretimin sonucunda ortaya çıkan radyoizotopun bozunması olayına *yapay radyoaktiflik* denir. Yapay radyoaktiflik laboratuar ortamında gerçekleşen nükleer tepkimeler neticesinde meydana gelir. Son yıllarda nükleer çalışmalar hız kazanmıştır buna bağlı olarak kurulan nükleer santral ve tesislerde üretime dayalı denemelerden dolayı yapay radyasyon dozunda artış meydana gelmiştir. Bu gibi çalışmaların artması genellikle nükleer enerji santrallerin enerji üretimi ve savunma sanayinin de nükleer silah yapımı için olağan çalışma düzeyinden daha fazla çalışma yapılmaktadır. Bu sebepten yapay radyasyon miktarında artış meydana gelmektedir. Radyasyon dozunun artışı insan sağlığına ve çevreye zararlı olduğu gibi, bilinçli bir şekilde kullanıldığında insanlara ve çevreye sağladığı yarar yaşamı daha da kolaylaştır.

Bilinen yapay radyoaktif çekirdeklerden bazıları çizelge 1.1'de yarı ömürleri ve yayınladıkları radyasyon türü bilgisi ile verilmiştir.

Çizelge 1.1. Yapay radyoaktif çekirdekler

Çekirdek	Yarılanma Süresi	Yayılan Radyasyon
^{60}Co	5.3 (yıl)	β, γ
^{65}Zn	244 (gün)	γ
^{90}Sr	29 (yıl)	β
^{90}Y	64 (saat)	β
^{125}I	60 (gün)	X
^{134}Cs	2.1(yıl)	β, γ
^{155}Eu	4.96(yıl)	β, γ
^{238}Pu	87.7(yıl)	α

1.1.3. Radyoaktif bozunma kanunu

Atom çekirdekleri doğada bulunmalarına göre iki halde bulunurlar. Bunlar kararlı ve kararsız durumda olmalarıdır. Doğal radyoaktiflikte, yüksek enerji ve kararsız yapıya sahip olan radyoaktif elementler kendiliğinden daima nükleer bozunuma uğrarlar. Kararsız halde bulunan çekirdek taşıdığı fazla enerjiyi parçacık çıkararak, ışıma yaparak bu fazla enerjiyi atmış olurlar bu olay bir nevi dönüşüm olayıdır. Çekirdeğin parçacık çıkararak, ışıma yaparak fazla enerji atmasıyla başka izotopa dönüşmesi veya aynı izotopun farklı bir haline dönmesi sürecine *radyoaktif bozunma* denir. Radyoaktifliğin keşfi yıllarında yapılan deneyler ve denemeler neticesinde deneylerde kullanılan radyoaktif maddelerin bozunma hızlarının üstel bir şekilde olduğu gözlenmektedir.

Radyoaktif bozunma olayında , λ bozunma sabitidir. Radyoaktif bozunma birim zamanda meydana gelme olasılığıdır. dt zamanda bozunma λdt'dır. t anındaki radyoaktif bozunmuş çekirdek sayısı N olarak verilmiş olursa, t+dt zaman aralığında gerçekleşen bozunma sonucunda çekirdek sayısında meydana gelen değişim:

$$dN = -\lambda N\, dt \tag{1.1}$$

bağıntısı ile verilir. Verilen denklemde (λ) kullanılan eksi (-) zamana göre radyoaktif olan atomun veya atomların azalmakta olmasına işarettir. t=0 anda N_0 tane radyoaktif çekirdek varsayılırsa ve (1.1) bağıntısının her iki tarafı N'ye bölünüp, bölündükten sonra işlemin integrali alınıp ve sınır şartı da denklemde yerine konursa;

$$N = N_0\, e^{-\lambda t} \tag{1.2}$$

Bağıntısı bulunmuş olur.

N, t anında radyoaktif çekirdeklerinin sayısı olmaktadır. Radyoaktif çekirdeklerin miktarları ise (1.2) bağıntısında görüldüğü gibi değişim belirtir ve gösterilen bu değişime

Radyoaktif bozunma kanunu denir. Bir radyoaktif çekirdeğin birim zaman da bozunması olayına aktiflik denilebilir.

Denklem (1.2)'den faydalanılarak;

$$A = -\frac{dN}{dt} \tag{1.3}$$

Bağıntısı bulunur. Burada A, aktivitedir yani saniyedeki bozunma olarak bilinir. Aktivitenin birimi Becquerel (Bq)' dır. 1 *Becquerel* 1 parçalanma/ saniye ye eşittir.

Radyoaktif bir maddenin bozunmadan önce var olan atomlarının yarısının bozunması için geçen zamana yarı ömür denir. Yarı ömür $T_{1/2}$ sembolü ile belirtilir. Bu yarı ömrü ifade etmek için (1.2) denkleminde $t=T_{1/2}$ ve $N=N_0/2$ olarak alınır ve yarılanma süresi ile parçalanma (bozunma) sabiti arasında

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda} \tag{1.4}$$

eşitliği elde edilir. Çizelge' 1.2 de bazı izotopların yarı-ömürleri ve radyoaktiflik türleri verilmiştir.

Çizelge 1.2. Bazı Radyoizotopların yarı ömürleri

Radyoizotop	Yarılanma Süresi	Aktivite Türü
$_{90}Th^{232}$	$1{,}39x10^{10}$ yıl	α,γ
$_{92}U^{238}$	$4{,}5\ x10^{10}$ yıl	α,γ
$_{88}Ra^{226}$	1620 yıl	α,γ
$_{86}Rn^{222}$	3,82 gün	α

Bir çekirdeğin bozunma olayı bitinceye kadar geçirdiği süre *t* ortalama ömür ortalama süre olarak tanımlanır. *t* ortalama süre içersinde bozunmaya uğramayan yani bozunmayan çekirdek sayısı N' dir ve *t* ile *t* + *dt* denklem aralığında bozunanların sayısı ise |dN/dt |dt'dir. Ortalama ömür,

$$\tau = \frac{\int_0^\infty t\left|dN/dt\right|dt}{\int_0^\infty \left|dN/dt\right|dt} \qquad (1.5)$$

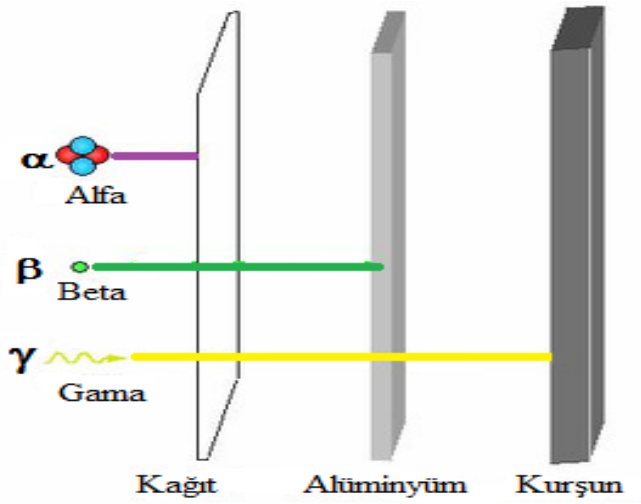
bağıntısı bulunur. Bozunma sayısı paydada bulunan terimdir. Bağıntının integrali alınırsa

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \qquad (1.6)$$

denklemi bulunur. Ortalama ömür bağıntılardan görüleceği gibi bozunma sabitinin tersidir.

1.2. Radyoaktif Bozunma Türleri

Radyoaktif çekirdeklerin bozunma olayı kendiliğinden gerçekleşmektedir. Bu bozunma olayının kendiliğinden geçirmesinin nedenin yüklü parçacıklardan mı yoksa elektromanyetik ışınlardan mı kaynaklandığını araştırmak için farklı metotlarda çalışmalar yapılmıştır. Bu araştırmalar neticesinde en önemli bilgi magnetik saptırmalar metodu ile elde edilmiştir. Bozunum olayında kararsız radyoaktif çekirdek alfa ve beta bozunumda, alfa veya beta ışıması yayarak kararlı hale ulaşmaya çalışır. Bilinen radyoaktif bozunum türlerinden alfa bozunumu ve beta bozunumu başlıklar halinde verilmiştir.



Şekil 1.1 Radyasyon geçirgenliği

1.2.1. Alfa bozunumu

Alfa parçacıklarının nüfuz etme yani geçirgenlikleri düşüktür. Geçirgenliklerinin düşük olduğu için bir kâğıt engel α taneciğinin geçmesini durdurabilir. Atom numarasının 83' ten büyük olan elementlerde görülen bozunma türüdür. Birden fazla ağır çekirdek ve genellikle doğal radyoaktif seride olan çekirdekler α ışıması yaparak bozunurlar. Bundan dolayı alfa bozunma olayı genellikle atom numarası 190'dan büyük olan atom çekirdeklerinde daha çok görülür. α taneciği çok kararlı bir taneciktir ve yapısı itibariyle de birbirine sıkıca bağlıdır. Sıkıca bağlı yapısından dolayı ayrı ayrı bileşenlerin toplam kütlesine göre alfa parçacıklarının kütlesi daha küçüktür. Buda alfa parçacıklarının hafif parçalanma ama en büyük kinetik enerjiyle yayınlanması demektir. Alfa ışınları Helyum çekirdeği ve enerjileri genellikle 4-9 MeV arasında değişkenlik gösteren pozitif yüklü parçacıklardır. Bozunma olayının gerçekleşmesi işleminde bozunan çekirdek ikişer proton ve nötrondan kaybederek kütlesinde 4 birim ve yükünde de 2 birim azalma olur. İşlem bağıntıda gösterildiği gibi:

$$ {}^{A}_{Z}X_{N} \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y_{N-2} + {}^{4}_{2}He_{2} \qquad (1.7) $$

Burada:

X: Ana çekirdek — A: Çekirdeğin kütle numarası

Y: Ürün çekirdek — Z: Atom numarası

1.2.2. Beta bozunumu

Beta bozunmasın da beta ışınları alfa ışınları gibi kararsız bir çekirdeğin kararlı hale geçerken yayınlanan ışınlardır. β parçacığı çekirdekten yayınlanan yüksek enerjili bir elektrondur. Atom çekirdeklerinin negatif elektron yayımlarının gözlemlendiği ilk radyoaktif bozunma olayıdır. Çekirdeğin kararsızlığının nedeni nötron ve proton sayılarındaki farktan dolayı ise β ışıması yayınlanır. Çekirdekteki protonlar ve nötronlar arasındaki enerji fazlalığından dolayı nükleonlarda bazı değişimler meydana gelir. Bu değişimler nötronların protona protonların nötronlara dönüşmesidir. Bu dönüşme olayında çekirdeğin fazla parçacıklardan kurtulabilmesi için 1 protonu nötrona ya da 1 nötronu protona çevirmesi gerekir. Temel olarak beta bozunması protonun nötrona ya da nötronun protona dönüşmesi olayıdır. Beta parçacıkları alfa parçacıklarından daha küçüktür bu özelliklerinden dolayı beta parçacıkları alfa parçacıklarından kıyasla nüfuz etmeleri daha çoktur.

1.2.3. β^- bozunumu

Çekirdeğin kararsızlığın da proton ve nötron sayılarının birbirinden farklı olması ve bu farklılığın N>Z şeklinde ise bir nötron bir protona dönüşür. Bu dönüşüm sonucun da elektronlar oluşur bu elektronlara β^- denir. Bozunma denklemi,

$$ {}^{1}_{0}n \rightarrow \mathrm{p} + \beta^- + \bar{\upsilon} \qquad (1.8) $$

$$ {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}e(\beta^-) \qquad (1.9) $$

şeklindedir. Bu bağıntı, nötronun bozunuma uğrayarak 1 proton, 1elektron ve 1 antinötrino parçacığının oluştuğunu göstermektedir. Bozunma enerjisi,

$$ Q_{\beta^-} = [\, M(A,Z) - M(A,Z+1) \,]\, c^2 \qquad (1.10) $$

Bağıntısı ile ifade edilir.

1.2.4. β^+ Bozunumu

Çekirdekteki kararsızlık Z>N ise 1 proton nötrona dönüşür buna pozitron adı verilir ve β+ ışınımı yayınlar. Çekirdeğin atom numarası bir değer azalır ve bozunma denklemi,

$$p \rightarrow n + \beta^+ + \upsilon \tag{1.11}$$

$${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + {}^{0}_{1}e(\beta^+) \tag{1.12}$$

Denklemde görüldüğü gibi pozitron yayımlayan radyonüklidin Z (atom numarası) bir değer eksilerek önceki elementin atom numarasına dönüşmüş olur, ama kütle sayısı aynı kalır.

1.2.5. Elektron yakalanması olayı

Pozitron saçılması ile aynı neticeye varan durumlardan biride elektron yakalaması olayıdır. Kararsız halde bulunan atom çekirdeğinin ve bu kararsızlığın nedenini proton fazlalığındansa çekirdek kararlı geçebilmesi için atomun en içteki çekirdeğe en yakın olan bir elektronu yakalayarak bir proton ile birleşir ve neticede nötrona (nötrino) dönüşür bu olaya elektron yakalaması denir. Bu olayda atom numarası bir azalırken kütle numarası aynı kalır.

$$p + e^- \rightarrow n + \nu \tag{1.13}$$

$${}^{A}_{Z}X_{N} + e^- \rightarrow {}^{A}_{Z-1}X_{N+1} + \nu \tag{1.14}$$

1.3. Radyasyonun Madde ile Etkileşmesi

Radyasyon yaşamın doğal bir parçasıdır. Yaşam faaliyetini sürdüren canlılar doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından yayınlanan radyasyona maruz kalmaktadır. Radyasyon yüksek hızlı parçacıklar ve elektromanyetik dalgalarla hızla yayılır. Yayılmasındaki bu hızlı ilerleyiş radyasyonun maddeye, insana ve tüm canlılara

kolaylıkla nüfuz etmesine neden olur. Hızlı yayınlanması ve geçirgen özelliğinden dolayı tüm canlılar bundan etkilenir.

Radyasyon, doğrudan ve dolaylı iyonlayıcı olmak üzere ikiye ayrılır. Alfa ve beta (α, β) ve ağır iyonlar gibi elektrik yüklü tanecikler doğrudan iyonlayıcı radyasyonlardır. X ve γ ışınları dolaylı radyasyonlardır. Dolaylı iyonlayıcı radyasyonlar, madde ile etkileşimleri iyonlayıcı özellikleri olan ikincil radyasyonlar hâsıl ettiklerinden bunların vasıtasıyla iyonlaşma oluşturur (Damla,2005).

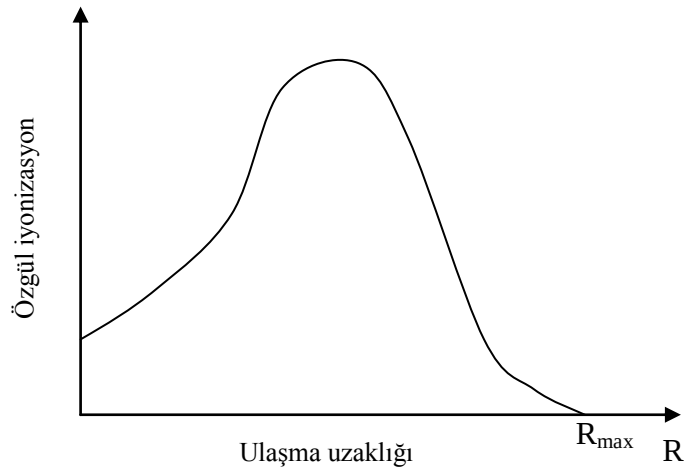
Radyasyonun yayınlanması ve bunun sonunca maddeyle etkileşmesi ile maddenin iç kısmında iyonizasyon oluşumu var ise bunlar iyonlaştırıcı radyasyonlardır. İyonlaştırıcı radyasyonlar sınıfına alfa tanecikleri, beta tanecikleri girmektedir. İyonlaştırıcı radyasyonlar sınıfından olan elektrik yüklü olanlar madde ile etkileştiklerinde ise sebep oldukları iyonizasyon doğrudan iyonizasyondur. Bu oluşum sonucunda meydana çıkan radyasyonlara " doğrudan iyonlaştırıcı radyasyonlar" denilmektedir. Elektrik yüklü olmayan radyasyonlarda iyonizasyona neden olanlarda vardır X ışınları, nötronlar ve gama ışınları gibi. Bu gibi radyasyonların da madde ile etkileşmeleri sırasında oluşan iyonizasyona " dolaylı iyonlaştırıcı radyasyonlar" denilmektedir. Radyasyonun madde ile etkileşmesinde alfa parçacıklarının, beta parçacıklarının ve gamma ışınlarının radyasyon ile etkileşimleri açıklanmıştır.

1.3.1. Alfa parçacıklarının madde ile etkileşmesi

Alfa parçacıkları, pozitif yüklü iki proton ve iki nötrondan oluştuklarından dolayı elektrona yaklaştıklarında, kendi aralarında kuvvetli bir elektrostatik çekim kuvveti belirir. Parçacıkların kütlesi elektronun kütlesinin 8000 katı kadardır. Hızları $1.6x10^7$ m/s seviyesindedir. Bu parçacıklar enerjilerini esnek ve esnek olmayan çarpışmalarla kaybederler. Alfa parçacıkları genellikle, içinden geçtikleri atomların elektronlarıyla etkileştikleri için geçtikleri yol üzerinde birden çok iyon çifti oluştururlar (Bilge,1985).

İki proton ve iki nötron yani +2 yüklü oldukları için madde içeresinden geçişleri sırasında iyonizasyona sebep verirler. Bulunulan ortamdaki atomların negatif yüklü olan elektronlarının koparılması atomlar arasında atmosferden çıkmalarına neden olarak pozitif ve negatif kollara ayrılırlar. Her defasında 32,5 eV değerinde bir enerji vererek iyon çifti oluştururlar. Bu olayla alfa parçacıklarının enerjileri soğurulmuş olur. Alfa parçacıklarının kütlesi ağır olması sebebiyle madde ile etkileşimi esnasında mesafesi uzun bir yol değildir. Parçacıkların yol almasını bir kâğıt ile durdurulabilir.

Belli bir radyoaktif kaynaktan yayımlanan alfa parçacıklarının havada neden oldukları özgül iyonizasyon (Hareket eden yüklü parçacığın malzemenin 1 cm' sinde bıraktığı iyon çifti sayısına özgül iyonizasyon denir.) değişik uzaklıklarda farklıdır. Buna göre çizilen eğri ''Bragg Eğrisi '' olarak anılmaktadır. Şekil 1.2'de söz konusu Bragg Eğrisi görülmektedir. Şekil 1.2'de de gözlendiği gibi özgül iyonizasyon radyoaktif kaynaktan uzaklaştıkça ilk önce yavaş, daha sonra hızlı artar ve bir maksimumdan geçtikten sonra hemen sıfıra indirgenir. Şekil 1.2'de R ile gösterilen nokta alfa parçacıklarının iyonizasyon yapabildikleri uzaklık olup ulaşma uzaklığı olarak adlandırılır (Bilge,1985).

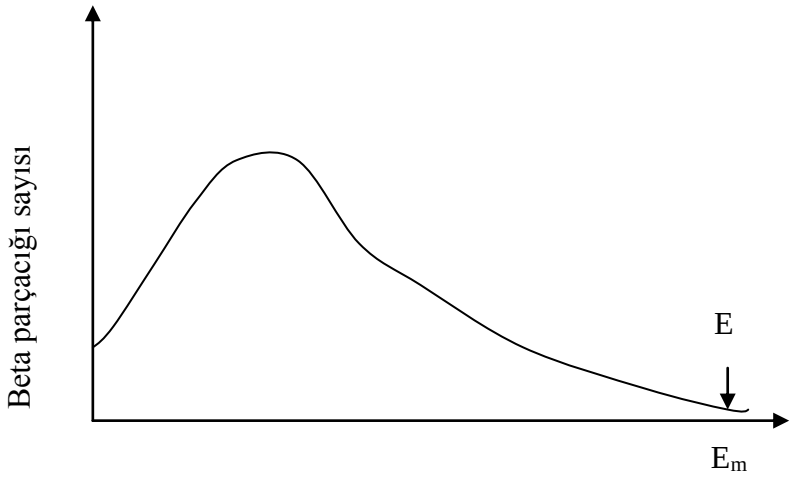


Şekil 1.2. Alfa parçacıklarının özgül iyonizasyona göre ulaşma uzaklığı

1.3.2. Beta parçacıklarının madde ile etkileşmesi

Beta parçacıklarının madde içinden yol alması bununla beraber iyon çifti oluşturmaları alfa parçacıklarına benzer. Bu benzerlik ile beraber aralında önemli farklılıklar vardır. Beta parçacıklarının kütlesi alfa parçacıklarının kütlesinden küçüktür, kütleler arasındaki bu farktan dolayı aynı enerjide oluşturdukları özgül iyonizasyon daha küçüktür. Alfa parçacıkları radyoaktif kaynaktan genellikle aynı enerjide, nadiren iki üç farklı enerjide çıkarlar. Beta parçacıkları ise sürekli enerji dağılımına sahiptirler, yani Şekil 1.3'te görüldüğü gibi sürekli spektrum verirler. Diğer taraftan beta parçacıklarının ortalama enerjisi maksimum değerin üçte birine eşittir. Beta parçacıkları, madde içinden geçerken atom çekirdekleri ve elektronlarla çarpışır ve yönlerinde değişiklik olur. Daha

ağır kütleli alfa parçacıkları için ise bu olay olmaz. Beta parçacıklarının soğurma eğrisi Şekil 1.3'te gösterilmektedir (Bilge,1985).



Şekil 1.3. Beta parçacıklarının enerji spektrumu

Beta taneciklerinin ağırlıkları küçüktür ve tek bir yükleri olması nedeniyle alfa parçacıkları gibi kolaylıkla durdurulamazlar ama bu durdurulmama olayı da çok yüksek enerji seviyelerine çıkılmadıkça da madde içinde fazlaca içine geçmez.

Çizelge 1.3. Beta parçacıklarının havadaki yaklaşık ulaşma uzaklıkları

Enerji (MeV)	Ulaşma Uzaklığı (m)
0.1	0.11
0.5	1.5
1.0	3.7

Beta taneciklerinin hızları yayınlamış oldukları maddelerin farklılıklarına göre $2x10^8$-$2.99x10^8$ m/s değerleri arasında değişkenlik gösterir. Alfa ve beta parçacıklarının ulaşma uzaklığına kıyasla beta parçacıkları alfa parçacıklarından ulaşma uzaklığı daha fazladır.

1.3.3. Gamma ışınlarının madde ile etkileşimi

Gamma ışınları, radyoaktif parçalanmadan sonra uyarılmış çekirdekten yayınlanan elektromanyetik radyasyondur. Gamma ışınlarının madde ile etkileşimi üç şekilde olur. Bunlar; fotoelektrik olay, compton olayı, çift oluşum olayıdır. Bu üç olay başlıklar halinde açıklanmıştır.

1.3.4. Fotoelektrik olay

Fotoelektrik olay, hν düşük enerjili bir fotonun, atoma bağlı elektrona tesir etmesi neticesinde elektronu yörüngesinden koparması olayıdır. Fotoelektrik olayda koparılan elektronun yayınlanmasına *fotoelektron* denir.

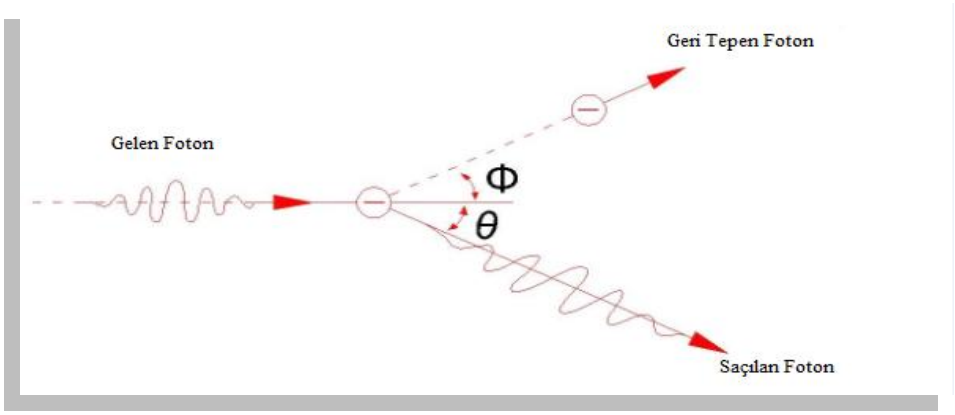
Fotoelektrik olayında, hν enerjili foton, atoma bağlı elektronu söker ve elektrona $h\nu-E_b$ kadar enerji verir. Burada E_b elektronun atoma bağlanma enerjisidir. Şayet elektron başlangıçta atoma bağlı ise, enerjinin toplam soğurulması mümkündür. Çünkü momentumun korunumu prensibi şartına göre elektronun atoma bağlı olması gerekmektedir. Serbest elektron, fotonu tam olarak soğuramayıp, fotoelektron olamayacağından, fotoelektrik etkileşme ihtimaliyeti elektronun bağlanma enerjisi ile artar. Bununla beraber fotoelektrik etkileşmenin olabilmesi için foton enerjisinin soğurucu elektronun bağlanma enerjisine eşit veya daha büyük olması gerekir (Tıraşlıoğlu 1991).

Fotoelektrik olayda foton enerjisinin gözlemlenebilirliğinde enerjisi yeter sayıda büyük olması durumunda katılarda olduğu gibi sıvı ve gazlarda da gözleminin yapılması mümkündür.

1.3.5. Compton olayı

Compton olayı bir gama ışınının çok zayıf olarak bağlı veya serbest bir elektronla çarpışmasıdır. Çarpışmada momentum ve enerji korunur, gelen foton enerjisinin bir kısmı elektrona transfer edilir ve foton geliş yolunda sapar. Pratik durumlarda, Compton saçılması için lüzumlu şart olmamasına rağmen saçılan elektronların çoğu bağlıdır.

Fotoelektrik olayında elektronun bağlı olması şartı vardır, böylece momentumun korunumu sağlanabilir. Fotoelektrik olay hemen hemen K ve L tabakalarına ait elektronlarla yapılır, çok sayıda karakteristik x-ışınları meydana gelir. Compton saçılması ise genellikle dış tabakalara ait elektronlara aittir ve hafif elementler hariç K ve L X-ışınları meydana getirmez. Böylece gelen fotonun enerjisi, atomdaki elektronun bağlanma enerjisinden çok yüksektir, elektron serbest kabul edilebilir (Tıraşlıoğlu 1991). Yapılan ve araştırmalara ve araştırmacıların ortaya koyduğu bilgilerle gösterilmiştir ki Compton olayı yalnızca serbest elektronlarla değil, atoma bağlı olan elektronlarla da oluşabileceği bilinmektedir.



Şekil 1.4. Compton Olayı

$$\Delta\lambda=\lambda^{1}-\lambda=\frac{h}{m_0 c}(1-\cos\theta) \qquad (1.15)$$

Bağıntıda:

λ: gelen fotonun dalga boyu

λ^{1}: saçılan fotonun dalga

m_0: elektronun durgun kütlesi

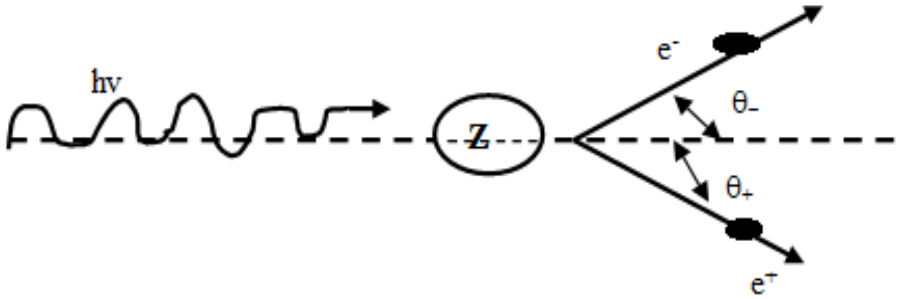
θ: fotonun saçılma açısı

c: ışık hızı

h: Plank sabitidir.

1.3.6. Çift oluşumu olayı

Bir fotonun enerjisi 1,02 MeV'den büyük olması durumunda ve bu foton atom çekirdeğinin yakınından geçiyor ve etkileşiyorsa, kütlesi olmayan fotonun enerjisinden aynı zamanda biri negatif yüklü elektron, diğeri pozitif yüklü pozitron olmak üzere elektron-pozitron çifti oluşur. Fotonun enerjisi elektron-pozitron çiftinin enerjisine ve durgun kütle enerjisine dönüşür. Böylelikle elektromanyetik bir dalgadan madde oluşur.



Şekil 1. 5. Çift oluşumu olayı

Çift oluşumunun meydana gelebilmesi foton enerjisinin en düşük hv $\approx 2m_ec^2$= 1.022 MeV olması gerekmektedir. Foton eğer daha fazla enerjiye sahip ise, fazla olan enerji elektron ve pozitrona kinetik enerji olarak aktarılır. Oluşan elektron, atomla serbest elektronlar gibi etkileşirken, oluşan pozitron ise bir yörünge elektronu ile birleşir ve zıt yönlü k gamma ışını yayınlayarak ortamda tekrar fotoelektrik olay ile soğurularak yok olur. Pratikte çift oluşumu 2 MeV'den daha büyük enerjili gammalar ve ağır elementler için göreceli olarak daha etkilidir.

1.4. Radyasyonun Biyolojik Etkileri

Doğal radyoaktif çekirdeklerin canlılar üzerindeki olumsuz etkisi, radyoaktif çekirdeklerden yayılan iyonlaştırıcı radyasyondan kaynaklanır. Radyoaktif çekirdekten yayılan radyasyon, canlı dokuya nüfuz etmemesi halinde insan üzerinde hiçbir zarara yol açmaz. Örneğin, genellikle vücudun dış tarafında bulunan α-kaynakları insan sağlığı

açısından herhangi bir tehlikeye neden olamazlar. Bu parçacıkların ağır ve hareket kabiliyetlerinin düşük olması onların madde içerisine nüfuz etmesini engeller. Bunun aksine γ kaynakları ve yüksek enerjili β-kaynaklarından yayılan radyasyon derinin ölü tabakasını geçip canlı dokuya erişerek canlı organizma için tehlike oluşturur (Maff,1990).

İyonlaştırıcı radyasyonların biyolojik etkileri yüzeysel olabilir, deri ve saçlara etki eder veya bedenin derinliklerinde olabilir, kanda düzensizlik, tümörler kemik iliğinde hasara neden olurlar. Radyasyon kaynağından biraz ötede bulunan bütün bedenin radyasyona maruz kalması ile tehlike harici olabilir veya radyoaktif madde ile bulaşmış yiyeceklerden, havadaki radyoaktif tozların solunulması da tehlike dâhili olabilir.

Bazı hücreler radyasyonun tahribatından sonra iyileşemezler. Radyasyonun etkileri kendini belli etmeden evvel gizli bir karakteristik periyot ile organlar üzerindeki etkileri birikir. Uzun zaman zararlı etkilere maruz kalmayan diğer hücreler zamanında iyileşirler. Bütün hallerde elimizde aşırı radyasyonun alındığını bildirecek doğru bir kanıt yoktur (Yaramış,1974).

İyonlaştırıcı radyasyonun sağlığa ne kadar zararlı olduğu ve alınan doz miktarlarına bağlı olarak oluşacak zararlı etkilerin ne olduğu konusu halk sağlığı açısından daima önem taşıyan bir konudur. Eğer alınan doz çok fazla ise birkaç saatten başlayıp bir haftaya kadar vücutta mutlaka biyolojik etkiler görülür. Bu tür kısa süreli etkilere *Akut etkiler* denir ve bunlar doğal radyasyondan alınan dozun dışındaki kaynaklardan oluşur. Düşük dozlar için biyolojik etkiler, yıllarca süren bir periyottan sonra kendini gösterir ve bu tip etkilere *Kronik etkiler* denir. Düşük dozlarda alınan radyasyon zamanla insan üzerinde genetik etkilere yol açar. Yüksek dozlarda alınan radyasyon ise kısa süre içerisinde somatik etkilere neden olur (Şeker ve Çerezci, 1997).

1.4.1. Somatik etkiler

Somatik etkiler kısa süreli olarak alınan çok yüksek radyasyon dozlarının meydana getirdiği şiddetli etkilerdir. Somatik etkiler *belirgin* ve *rasgele* etkiler olmak üzere ikiye ayrılır. *Belirgin etkile*r alınan doz miktarına bağlı olarak değişebilir ve etkisi, başlangıçta alınan doza göre gösterir. Bu etki göz bebeklerinde katarak oluşturmasının yanı sıra erkeklerde geçici kısırlık oluştururken, kadınlarda ise sürekli kısırlığa yol açar. *Rasgele etkiler* ise gelişigüzel olarak alınan doz miktarına bağlı olarak ortaya çıkar. Bu tür etkiler genelde kötü huylu tümörlerin oluşmasına yol açarak kanser hastalığına neden olurlar (Howe ve ark. 1993).

Gerçekten radyasyonların bir bütün olarak organizmaya etkileri incelendiği zaman bu etkilerin örneğin, insan vücudunun tümünün veya sadece bir bölümünün ışınlanmasına bağlı olarak değiştiği görülür. Ayrıca vücudun sadece bir bölümü ışınlandığı takdirde bu bölümün vücutta bulunduğu bölgenin ve alanının büyüklüğü, meydana gelecek etkiler bakımından büyük önem taşır. Belirli bir radyasyon dozuna maruz kalan kısım vücudun tümü ise meydana gelecek etki en büyük, aynı doza maruz kalan kısım sadece cildin ve kasların küçük bir hacmi ise etki en küçük olacaktır. Ayrıca radyasyon hasarı için tamir olayı meydana geldiğinden, radyasyon etkisi belirli bir dozun veriliş süresine bağlıdır. Genel olarak, bir radyasyon dozu uzun bir zaman süresine yayılmış olarak verildiği takdirde, aynı dozun kısa süreli bir tek doz olarak verilmesinden daha az etkin olacaktır (Göksel,1973).

1.4.2. Genetik etkiler

İyonlaştırıcı radyasyonların en önemli özelliklerinden biri de, canlı hücrelerinde kalıtsal bilgiyi içeren Deoksiribo Nükleik Asit (DNA) molekülünde farklılıklar yaparak kuşaktan kuşağa geçebilen değişiklikler oluşturmasıdır. Bu genetik değişimler, iyonlaştırıcı radyasyonun hücreye alınmasıyla birlikte hücre çekirdeğin saran sitoplâzmanın içerisinde bulunan su moleküllerinin yapısını bozmasıyla başlar. Su, hücre bölünmesinde aktif görev üstlendiği için radyasyonun etkisiyle yapısı bozulan su molekülleri, genlerde zararlı kalıtsal değişimlere neden olurlar (Kence, 2000).

Canlıların tüm özellikleri genler tarafından belirlendiği için genlerdeki bu değişiklikler sağlığımızın nerede ise her yönünü etkilemektedir. Kalıtsal yönden üreme hücrelerinde meydana gelen değişiklikler önemlidir. Çünkü oluşan bu değişiklikleri daha sonraki nesillere aktarılabilirler, böylece diğer nesiller de bu zararlı değişikliklerden etkilenmiş olurlar (Kence, 2000).

Üreme hücreleri dışında kalan, insan hücrelerinin her biri 46 kromozom ihtiva eder. Her kromozomda ise binlerce gen olduğu zannedilmektedir. Üreme hücrelerinin her birinde 23 kromozom olduğundan zigot yarısı babadan ve yarısı anadan gelmek üzere yine 46 kromozom taşıyacaktır. Gerek genlerin kişisel tabiatları ve gerekse kromozom içindeki düzenlenişlerinin ana ve babadan geçen karakteristik özellikler üzerinde etkileri vardır. Aralarında radyasyonun da bulunduğu çeşitli etkenlerin etkisi altında bu genlerden birinin yapısı değiştirilebilir veya kromozom ipliği bir veya daha fazla yerde kırılabilir.

Bu durumda gende hücrenin genetik materyalini oluşturan moleküllerde bir değişiklik meydana gelir ki buna gen mutasyonu adı verilir (Güngör, 1991; Önen,1993)

1.4.3. Radyasyonun insan sağlığı üzerine etkileri

İnsanların radon gazına maruz kalmasında bilinen en etkin yol solunum yolu aracılığıyla vücuda alınmasıdır. Radon gazı solunduğu zaman radon gazının yarılanma süresi kısa olan bozunma ürünlerinden (^{218}Po ve ^{214}Po) emilen iyonlaştırıcı alfa (α) tanecikleri akciğerlerde olan biyolojik dokuyla etkileşime geçip DNA'nın bozulmasına yol açabilir (WHO, 2009).

Doğal radyasyonların sindirim yolu ile vücuda alınması, insanoğlunun radyasyonla etkileşimdeki bir diğer nedendir. Radyasyonun sindirim sistemi ile vücuda girmesi yiyecek ve içeceklerin tüketim hızına ve radyoizotopların yoğunluğuna bağlıdır. Besinlerde bulunan radyasyonun yoğunluğu ise bölgenin şartlarına, iklimine, tarım çeşitliliği, tarımın uygulanma şekli ve bireylerin beslenme alışkanlıklarına bağlı olarak değişir.

İnsan vücudu belli değerlerden daha fazla radyasyona maruz kaldığı zaman istenmeyen neticeler ortaya çıkar. Bütün canlı hücreler sitoplâzma denilen bir sıvı ile çevrilen aktif bir çekirdek içerirler ve içinde bütün irsi faktörleri taşıyan kromozomlar bulunur. Canlı hücrenin davranışı, bileşiminde bulunan protein moleküllerinde son derece karışık kimyasal değişmelerle idare edilir ve kontrol edilebilirliği hassas denge ile sağlanır. Böyle olan hücrelerden girici radyasyonun geçişi olduğu zaman iyonizasyon meydana gelir. (Yaramış, 1974).

Vücuda giren radyasyon, atom ve molekülleri uyararak, vücut içinde çeşitli iyonlaşmalara neden olur. Bu fiziksel etki süratle gelişir ve tahminen 10^{-15} s' den daha kısa sürer. Bu etkiyi, insan vücudunda meydana gelen ve 10^{-6}s süren kimyasal süreç takip eder. Bu iki basamağı takiben biyolojik değişimi içeren ileri etkileşmeler başlar. Sonuç olarak, vücuda girmiş olan radyasyon 1 s'den daha kısa bir sürede atom ve molekülleri uyarır. Böylece vücutta fiziksel, kimyasal ve biyolojik değişimlerin oluşmasına neden olur. Vücuda giren tahrip edici radyasyonun genetik etkiler oluşturması ve bundan dolayı kanser görülmesi için uzun bir süre geçmesi gerekir. Radyasyona bağlı oluşan kanserler için gizli bir karakteristik süreç vardır. Örneğin, bu süreç, kemik kanseri ve lösemi için en az 2 yıl gibi bir gizlilik süreci gösterirken, vücutta bir tümör kitlesinin oluşumu için bu süreç 10 yıla kadar çıkabilir(Cohen,1996)

1.5. Yer Altı Sularda Bulunan Doğal Radyoaktivite

Yeraltında radyoaktif elementlerin olmasında dolayı yeraltında bulunan sular geçiş güzergâhlarında radyoaktif elementlere temas ederler. Bu temastan ve ortamda bulunan radyoaktif elementlerden dolayı yeraltı sularındaki doğal radyoaktivite miktarının belirlenebilmesi için çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Doğal radyoaktivite hesaplama çalışmaları ilkin kaplıca sularında ve belirlenen bazı mineraller üzerine yapılmaktaydı. Ölçümler sonucunda içme sularında da radyoaktif maddelerin olduğu tespit edilmiştir. Böylelikle içme sularında çalışmalarda rastlanan radyonüklitler sularda doğal radyoaktivite çalışmalarının kapsamını genişletmiştir. Araştırmalar neticesinde alınan sonuçlara göre radyoaktif madde içeren ve doz değeri düşük olan sular bazı hastalıkların tedavi sürecinde yardımcı olmuştur. Radyoaktif madde dozunun yüksek olduğu içme suları ise insanlar tarafından tüketildikleri takdirde sağlık açısından büyük risk taşımakta ve olumsuz yönde etkilemektedir.

Su, yapısı bakımından durgun bir bileşiktir. Ancak maddelerle temas edildiğinde fevkalade çözücü niteliğine sahiptir. Toprak katmanlarından yeraltına inen su temas ettiği maddeleri bünyesine çeker. Suyun bünyesine çektiği bu maddeler doğal radyoaktif maddeler, insanoğlunun çevreye bıraktığı artıklar ve sanayi artıkları olarak sayılabilir. Suyun yeraltında geçişi esnasında içine minerallerde karışır bu minerallerin bir kısmı sağlık açısından gerekli olmakla beraber bir kısmı da sağlık için tehlike oluşturmaktadır. Su toprak katmanlarından yeraltına geçişi sırasında güzergâhı boyunca kayaç maddeler, kum, çakıl kumtaşı gibi maddeleri de içine alarak mineral ve radyoaktif madde olma özelliğine sahip olmaktadır. Yeraltında kayaç, tortul gibi maddelerle etkileşen su bu maddelerle etkileşmesi neticesinde maddelerin suda çözünebilme oranlarına göre düşük seviyeli ya da yüksek seviyeli olarak tanımlanmaktadır.

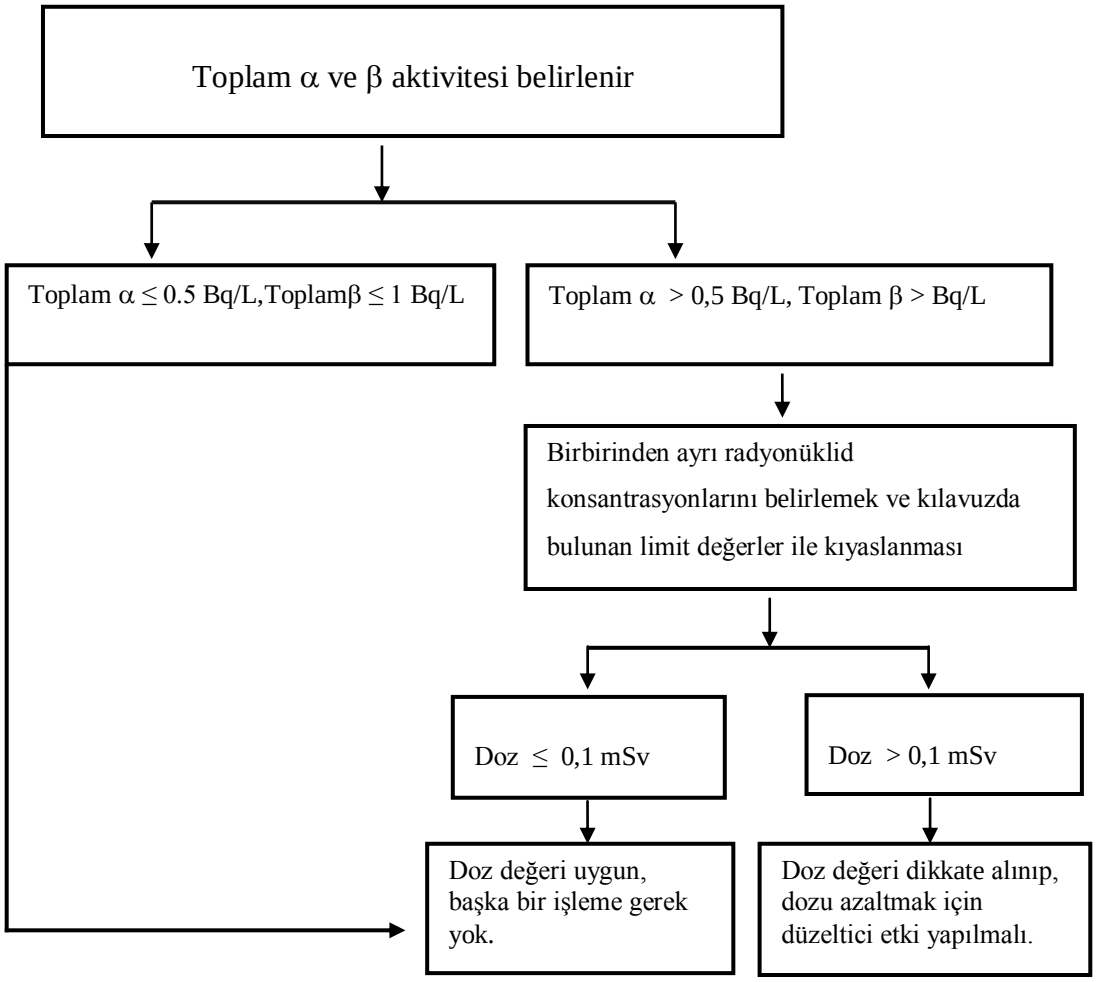
Su tüketiminin denetlenmesi, güvenilir ve temiz bir hale getirilebilmesi için sulardaki radyoaktif kalıntının, kirlenme miktarının belirlenmesi gerekmektedir. Yeraltı suları, yüzey sularından daha radyoaktiftir. Sulardaki radyoaktif kirlilik derecesinin saptanmasında spesifik α veya spesifik β yayımlayan radyoizotopların belirtilmesi için birtakım radyokimyasal ayırma ve saflaştırma işlemleri gerektiğinden dolayı buda radyoizotopların her biri için tayin yapmak demektir bu işlem fazlasıyla zaman

almaktadır. Yeraltı sularının radyoaktif maddelerle etkileşimleri sonucunda içinde ihtiva ettiği radyoaktif maddelerden uranyum, stronsiyum, baryum, radyum, radon ve bunların bozunumlarından oluşan diğer radyoaktif elementlerin analizlerinin yapılması da epey pahalı bir işlemdir. Bu sebeplerden dolayı suyun içersinde bulunan radyoaktivite tayininin saptanması oldukça zorlaşmaktadır. Şartların zor olması, çalışma yapmanın çok fazla olması ve radyoaktif madde tayini yapmanın pahalı bir işlem olması dolayısıyla sularda toplam α ve toplam β aktiviteleri tayin edilir ve belirlenen sulardaki radyoaktivite limit değerinin üzerinde bir aktivite tespit edilirse yalnızca o zaman radyoaktif bir kirlilikten söz edilebilir. Sularda radyoaktif maddelerin aktivitelerinin belirlenmesi hususunda ve bulundukları oranların tespiti için toplam alfa, beta ölçümleri bu işin belirtisidir denilebilir.

1.5.1. Sulardaki radyoaktiflik limitleri

Sular, içerisinde alfa ve beta parçacıkları yayan aktif radyoaktif elementlerin ihtiva etme olasılığı, gama yayan radyoaktif elementlere göre çok daha yüksektir. Sularda bulunan alfa ve beta aktif elementler, onlara genelde az miktarda radyoaktiflik kazandırırlar. Bu radyoaktivite değeri doğal radyoaktivite olarak nitelenmektedir. İster hava olsun, ister su her ortamda bir doğal radyoaktivite değeri tayin etmek mümkündür(Damla,2005).

Su ölçümleri için yapılan araştırmalarda sulardaki doğal radyoaktiflik değerleri ölçülmektedir. Yapılan ölçümler neticesinde bulunan değerler maksimum alfa ve beta radyasyon değerleri çeşitli kurum ve kuruluşlarca belirlenmiştir. En yüksek radyasyon seviyeleri DSÖ ve TSE tarafından belirlenen ve tavsiye edilen en üst sınır değerleri toplam alfa ve beta için sırasıyla 0,5 Bq/L, 1,0 Bq/L olarak belirlenmiştir. Şekil 1.6’ da içme sularında radyoaktife yoğunlaşmalarını belirlenmeye çalışılırken izlenen yol ve değerler neticesinde yapılacaklar gösterilmiştir.



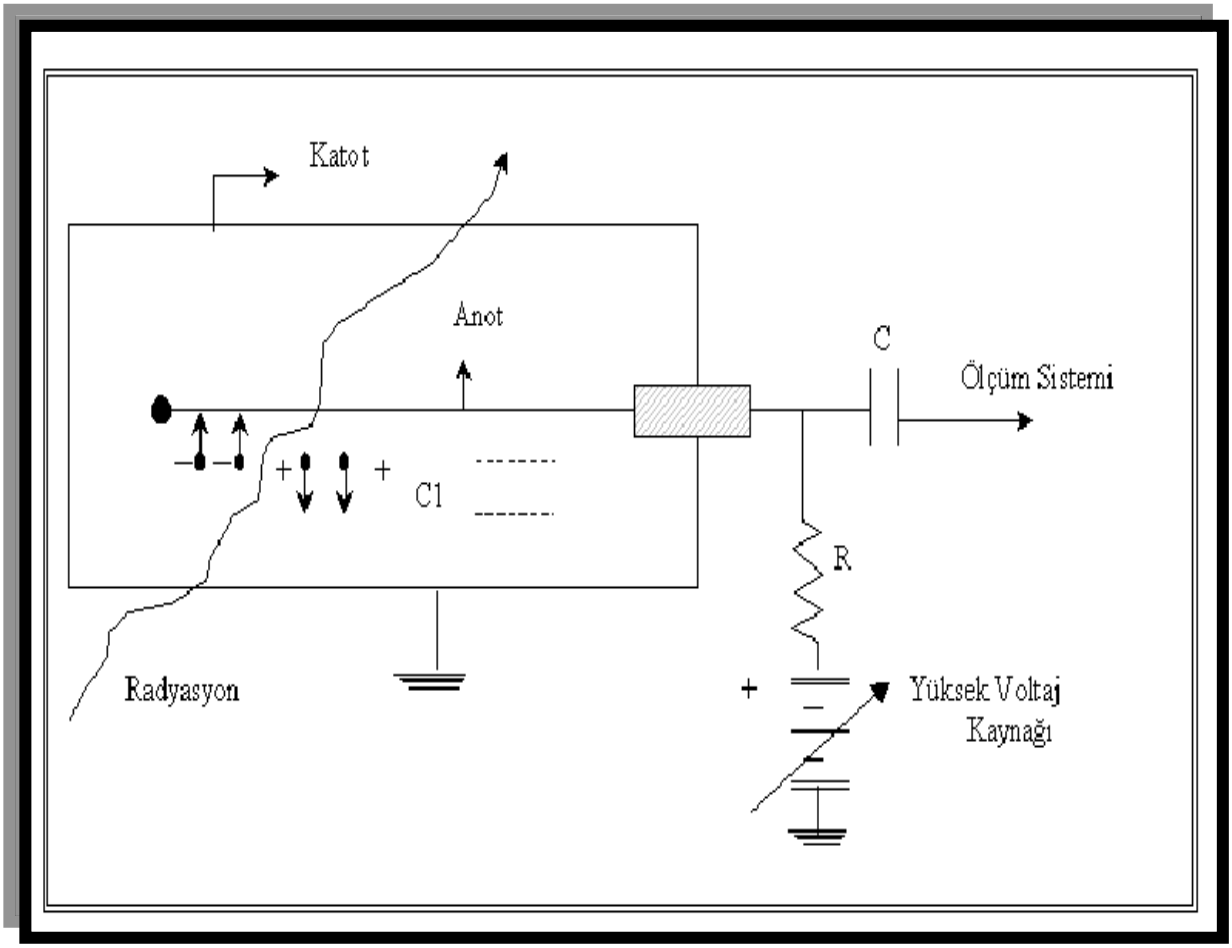
Şekil 1.6. İçme sularındaki radyonüklit düzeyleri için uygulama kılavuzu(WHO,2009)

1.6. Gaz İyonlaşmasına Dayanan Radyoaktivite Ölçme Sistemleri

Toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite ölçümlerinde alfa ve beta gibi yüklü parçacıkların sayımında kullanılan en yaygın yöntem, alfa ve beta parçacıklarının bir gaz içersinde meydana getirmiş oldukları iyonlaşmadan yararlanmaktadır. İyonlaştırıcı parçacıkların gaz içersinde meydana getirmiş oldukları iyonlar, bir elektrik alandan yararlanılarak bir elektrotun üstünde toplamak üzere yüklü olan taneciğin ölçülmesi sağlanır. Şekil 1.7 de gösterildiği gibi gaz orantılı sayıcılarda silindirik dış kılıf katot ile ortasında uzanan ince bir tel, anot olmak üzere iki elektrot vardır. Sayacın için Neon, Argon, Metan gibi uygun olan bir gazla doldurulur. Elektrik alan oluşturmak için iki

kutup arasına voltaj uygulanır böylelikle elektrik alan oluşturulmuş olur. Gelen bir yüklü parçacık ortamdaki gaz moleküllerini pozitif (+) ve negatif (-) yüklü iyonlarına ayırır.

(+) ve (-) kutuplara ayrılan bu iyonlar yüksek voltajın oluşturduğu elektrik alanının doğrultusunda anot ve katoda doğru hareket ederler. Anotta toplanan elektronlar bir anot akımı oluşturur ve oluşan bu akım RC devresiyle bir voltaj darbesi haline dönüştürülür. Bu darbeler ön yükselteç ve diğer darbe işleme devreleri tarafından sayıma uygun hale getirilerek bir sayıcıyla sayılır. Sayım sonucunda elde edilen sayımlar radyasyon miktarı ile doğrudan orantılıdır. Bu sayımlar değerlendirilerek radyoaktivite miktarı hesaplanır.

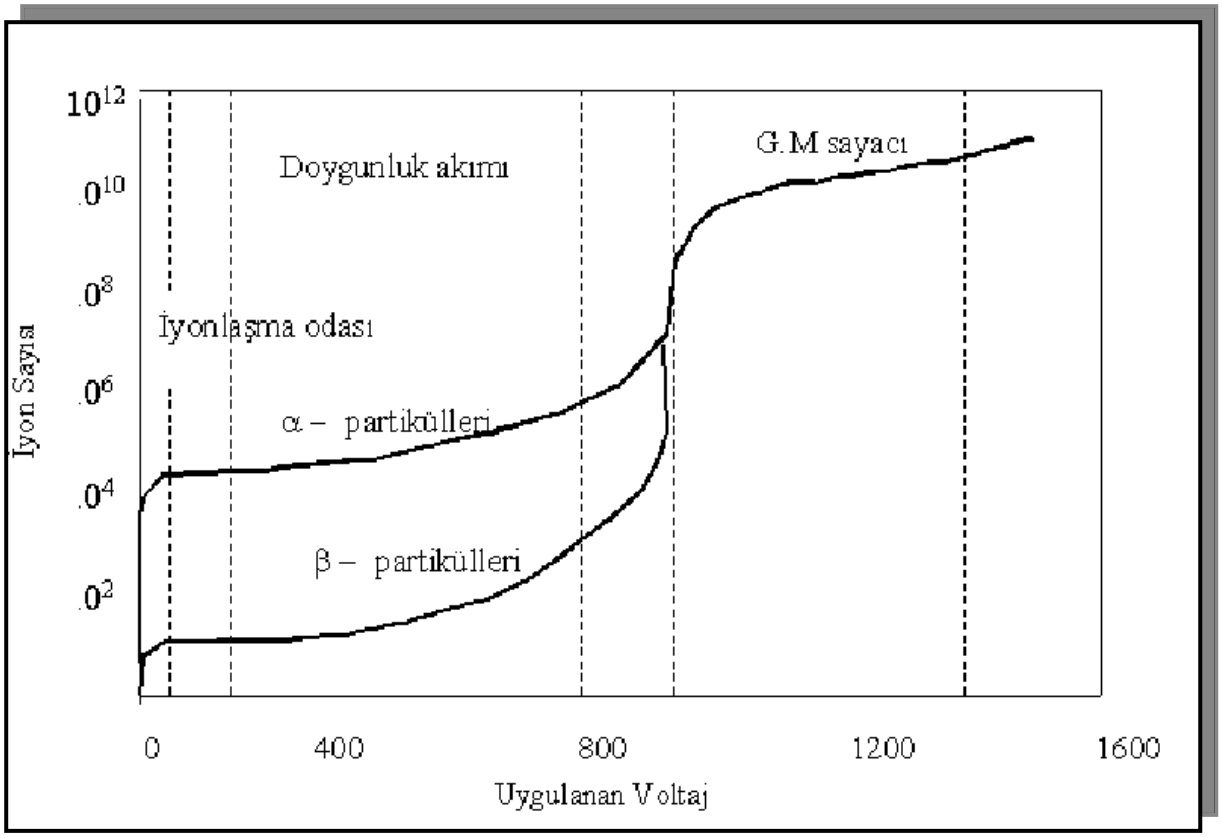


Şekil 1.7. Gaz ile çalışan radyasyon sayacı devresi

Elektronlar arasına uygulanan çalışma voltajı Şekil 1.7'deki orantılı bölgede bulunan uygun bir değere yükseltilirse, meydana gelen primer elektronlar, sekonder

iyonlaşmaya neden olurlar. Böylece α ve β ışınlarının oluşturduğu ilk iyon çiftlerinden daha çok iyon çifti meydana gelmiş olur. Alfaların iyonlaştırması betalarınkinden çok daha büyük olduğundan; her ikisinin de ansızın yayınlandığı yerde darbe boylarının birbirlerinden farklı olması sebebiyle, alfalar ve betaların sayımları birbirlerinden bağımsız olarak sayılabilir.

Gazla çalışan sayıcılar, iyon odaları, orantılı sayıcılar ve GM sayıcılarıdır. Orantılı sayaçlarda sürekli olarak gazla beslenirken, diğerlerinde dedektör gaz ile doldurulmuştur. Orantılı sayıcılarda ölü zaman düzeltmesine gerek yoktur. Şekil 1.8'de verildiği gibi, sayaca uygulanan voltaj değeri darbe sayısının voltaja göre değişmediği bir alana ulaşılır. Bu alana sayacın platosu denir. Alfaların etkileştiği ortamın moleküllerini daha kolay iyonlaştırmaları nedeniyle bu parçacıklar için sayacın platosuna ulaşmak için uygulanan voltaj betaların platosuna erişme voltajından daha küçüktür. Bu sebepten orantılı sayaçlarda çalışma voltajı beta platosundaki uygun değer voltaja ayarlanırsa alfalarla betalar aynı anda sayılabilir.



Şekil 1.8. Oluşan iyon sayısının uygulanan voltajla değişimi

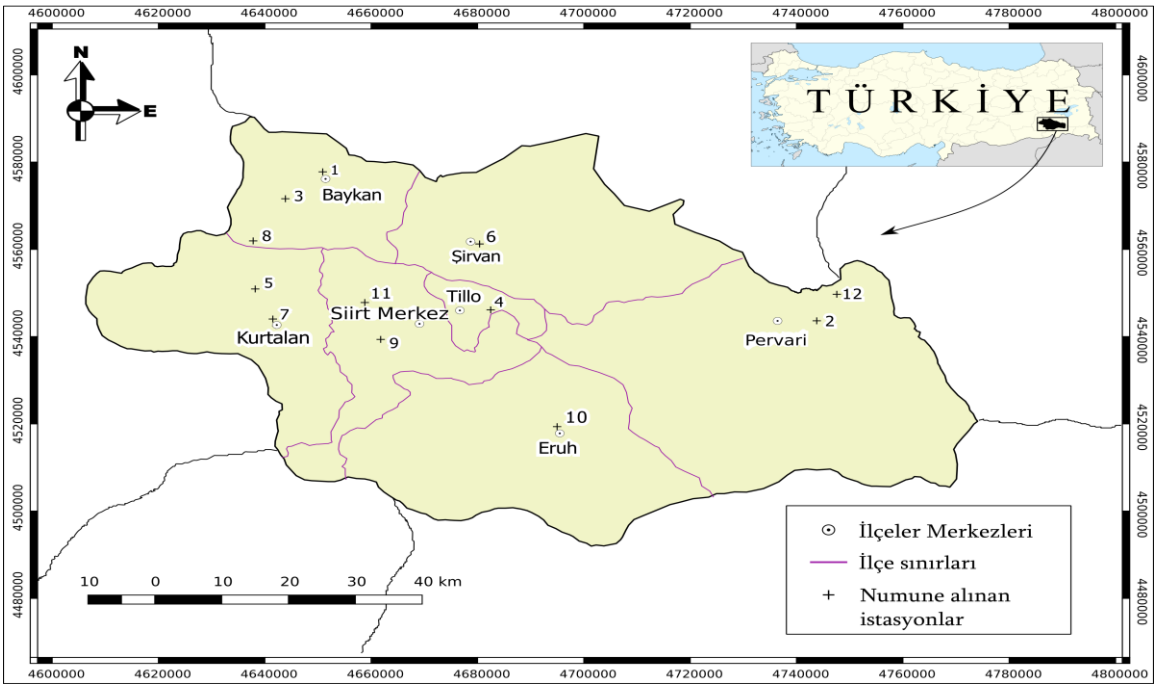
1.7. Çalışma Alanının Tespiti

Siirt ili 896 m rakımıyla 37°55' 38.6544" Kuzey, 41° 56' 1208" Doğu koordinatlarıyla ülkemizin Güney Doğu Anadolu Bölgesinde yer almaktadır. Siirt ilinde yeryüzü şekilleri daha fazla yüksek dağlar ve platolardan oluşmaktadır. Kurak iklime sahiptir, yazları sıcak ve kuru kışları soğuk ve yağışlı geçer. 6 ilçe ve 5 beldesi bulunan Siirt ilinin ilçeleri Kurtalan, Eruh, Şirvan, Tillo, Pervari ve Baykan'dır. Beldeleri ise Atabağı, Kayabağlar, Gökçebağ, Veyselkarani, Beğendik'tir. Güneydoğu Toroslar olarak anılan dağ sırasının doğudan güneydoğuya uzanan kesimindedir. Kurtalan ilçesinde petrol çıkarılmaktadır. Baykan ilçesinde de krom yatakları mevcut olmakla beraber üretime açılmıştır. Bu çalışmanın kapsama alanı Siirt il, ilçe ve beldelerin bulunduğu yerler tespit edildi.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Su Numunelerinin Toplanması

Siirt (merkez), Kurtalan, Tillo (aydınlar), Eruh, Şirvan, Baykan, Pervari, Atabağı, Kayabağlar, Veyselkarani, Gökçebağ, Beğendik İlçe ve beldelerden 12 ayrı noktadan su örneği toplanmıştır. Su numunelerinin toplandığı yerler Şekil 1.8 de ayrıntılı olarak verilmiştir.



Şekil 2.1. Su numunelerinin toplandığı yerlerin harita üzerinde gösterimi

Su numunelerinin toplandığı yerlerin enlem, boylam, GPS değerleri ve nüfus bilgileri de not edildi. Çizelge 2.1'de toplanan örneklerin yer bilgileri ve koordinatları verilmiştir.

Çizelge 2.1. Su numunelerinin toplandıkları yerlere ait bilgiler

Numune No	Numunelerin alındığı yer	Enlem	Boylam	GPS Kuzey	GPS Doğu	Nüfus (2015)
1	Baykan	38.162.318	41.784.182	38° 9' 44,3448"	41°47' 3,0552"	26.615
2	Pervari	37.932.647	42.547.608	37° 55' 57,5292"	42°36' 51,3888"	31.696
3	Veyselkarani	38.131.469	41.716.558	38° 7' 53,2884"	41°42' 59,6088"	6.516
4	Tillo	37.950.437	42.013.402	37° 57' 1,5732"	42° 3' 48,2472"	4.136
5	Kayabağlar	37.984.527	41.665.589	37° 59'4.2972"	41° 39' 56,1204"	26.235
6	Şirvan	38.060.466	42.032.117	38°3'37.6776"	42° 1' 55,6212"	23.402
7	Kurtalan	37.924.409	41.699.877	37°55'27.8724"	41° 41' 59,5572"	58.343
8	Atabağı	38.062.864	41.662.106	38°3'46.3104"	41° 39' 43,5816"	14.505
9	Gökçebağ	37.902.136	41.877.283	37°54'7.6896"	41°52' 38,2188"	11.219
10	Eruh	37.749.043	42.179.426	37°44'56.5548"	42° 10' 45,9336"	19.796
11	Siirt Merkez	37.962.237	41.850.722	37°57' 44,0532"	41°51' 2,5992"	156.363
12	Beğendik	37.975.904	42.64.818	37° 58' 33,2544"	42°38' 53,4480"	26.011

Musluk suyu numuneleri 1,5 lt'lik polietilen şişelerle toplanmıştır. Toplanan şişelere aktarılmadan önce şişeler çalkanarak yıkanmış ağız üstü yere bırakılıp kuruması sağlanmıştır sonrasında şişelerin içerisinde hava boşluğu kalmayacak şekilde şişe ağızları iyice kapatılmıştır. Toplanan suların direk güneş ışınlarına maruz kalmaması için şişelerin etrafı alüminyum folyo ile kaplanmıştır. Toplanan sular kodlanarak numaralandırılmıştır. Sulardaki mikroorganizma sayısını indirgemek ve şişe etrafındaki radyonüklitin azalmasını önlemek için pH değerleri 2'ye düşürülünceye kadar HNO_3 ile asitlendirme uygulanmıştır. Yapılan bu işlemlerden sonra toplanan su numunelerinin toplam alfa (α) ve beta(β) aktivite ölçümlerinin yapılması için ÇNAEM Toplam Alfa, Beta Analizleri Sayım Laboratuarına gönderilmiştir.

2.1.1. Su numunelerinin ölçüm işlemine hazırlanması

Su numunelerinin ölçme işlemine hazırlanmasında kullanılan ve toplam alfa, beta aktivite hesaplamasının yapılması için deneysel sistemde kullanılacak olan araç, gereçler, cihaz ve donanım listesi Çizelge 2.2'de ve deneysel sistemde kullanılan reaktiflerde Çizelge 2.3'te verilmiştir.

Çizelge 2.2 Deneysel sistemde kullanılan araç, gereç ve cihaz bilgisi

Deneyde Kullanılan Araç ve Gereçler
** Planşet
* Desikatör
* Isıtıcı / manyetik karıştırıcı
* Hot plate
* pH metre
** Etüv
* Vakum pompası
* Süzgeç kâğıdı
* Çeker ocak
* Cam malzemeler
* Karıştırıcı
* Hassas terazi
**Membran filtre
* Cam fiber filtre
Toplam α/β sayım cihazı:
* Berthold LB 770 markalı düşük zeminli 10 detektörlü gaz orantılı α/β sayacı.

** : membran filtre çap: 47 mm ve gözenek büyüklüğü: 0.45mm

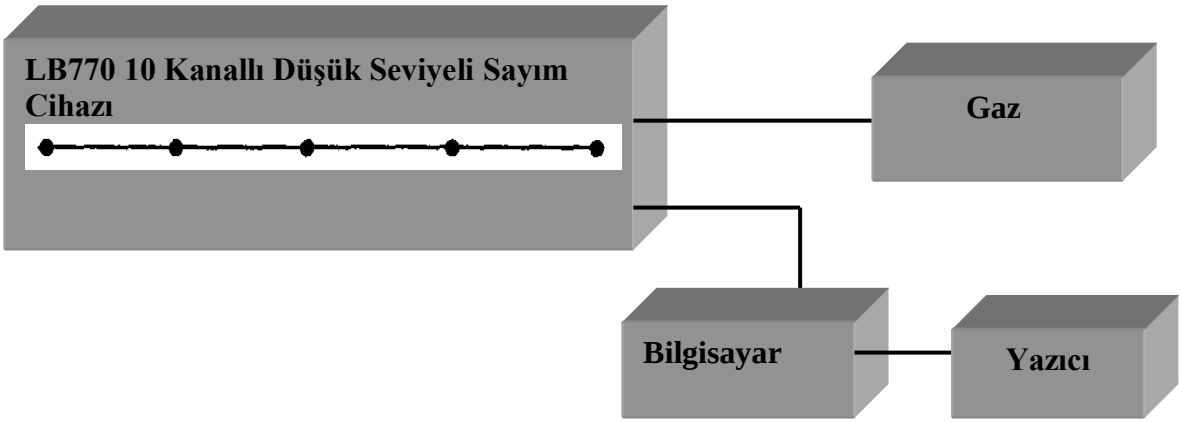
Planşet paslanmaz çelik, Etüv Membert UNB 4

Çizelge 2.3. Toplam α/β aktivite ölçümünde kullanılan reaktifler

- Baryum taşıyıcı, 5 mg Ba^{+2} /mL: 4,4 g $BaCl_2$. 2 H_2O (500 mL destile suda çözülmüş)
- Amonyum hidroksit, NH_4OH, 6N
- Deterjan (1+4) destile(damıtılmış) su ile seyreltilmiş
- Bromocresol purple [%0,1] : 100 mg gösterge 100 mL destile (damıtılmış) suda çözülmüş.
- Demir taşıyıcı, (5 mg Fe^{3+}/mL)= 17,5 g $Fe(NO_3)_3.9H_2O$ 200 mL damıtılmış suda çözülür ve 2 mL 16N HNO_3 (derişik asit) ilave edilir ve 1,5 L'ye damıtılmış su ile tamamlanır.
- Sülfat asidi, H_2SO_4, 2N= ~200-300 mL damıtılmış suya, ağır ağır 55 mL derişik H_2SO_4 ilave edilir ve 1,5 L'ye damıtılmış su ile tamamlanır.
- Tampon çözeltileri olarak da pH:7, pH: 10, pH: 14

2.1.2. Deneysel sistem

Toplanan su numunelerinin toplam alfa ve toplam beta aktivite ölçümleri için ÇNAEM Sağlık Fiziği Bölümü Toplam Alfa ve Beta Analizleri Sayım Laboratuarında bulunan Berthold markalı LB 770 model on kanallı düşük seviyeli toplam alfa ve beta sayım cihazı kullanılmıştır. Bu sayım cihazı aynı anda on örneğin alfa, beta ölçümleri yapabilecek şekilde üretilmiştir. Şekil 2.2' de cihazın blok diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Toplam alfa – beta düşük seviyeli 10 kanallı sayım cihazının blok diyagramı

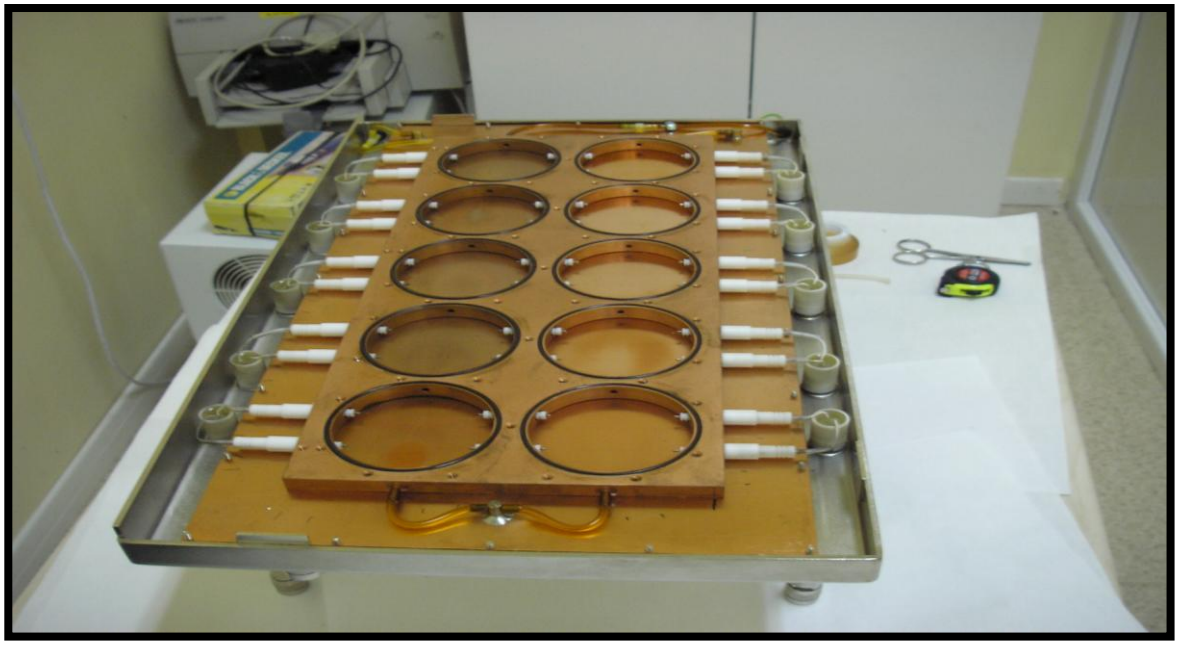
Deneysel sistemde su numunelerinin toplam alfa ve beta sayımı için kullanılan Berthold LB 770 model α/β sayacının özellikleri Çizelge 2.4' te verilmiştir.

Çizelge 2.4 Berthold LB 770 gaz orantılı α/β sayım cihazının özellikleri

- Aynı anda 10 adet örnekte toplam α/β analizi yapabilir.
- Ms işletim sistemi olarak Windows yazılımı
- Gaz orantılı olan cihazın sayım gazı Argon-metan, Argon-CO_2
- Numune ve korumalı dedektör için yüksek gerilimli olan [HV] PC ara yüzeyi
- İki ayrı zamanlamada Yükselme zamanı ve darbe yüksekliğinin ayrımını temel alan çok iyi bir alfa beta ayırma özelliğine sahiptir.
- 25, 30, 50 ve 60 mm çapındaki örneklerin ölçümüne uygun bir sayaçtır.



Şekil 2.3. Toplam alfa ve beta ölçüm sistemi



Şekil 2.4. Toplam alfa ve beta ölçüm sisteminin üst görünümü

Sistemde çoğunlukla kullanılan gazlar genellikle argon, ksenon, helyum, metan ve izobütandır. Kullanılan bu gazlardan bir veya iki tanesiyle oluşturulan karışımı deneyde bir tüpün içine doldurulup tüpün içerisine iki tane elektrot konulur. Gaz ve gaz

karışımının içinde oluşan iyonlar buradaki zıt elektrotlarda toplanırlar, iyonların elektrotlarda toplanmasından dolayı oluşan elektrik akımı ölçüm cihazının elektronik devresinde dedekte edilir. Sayım sisteminde kullanılan bu gaz akışlı orantılı sayıcılarda genelde yarı küreye benzeyen bir ölçüm odasına sahiptir. Aralarında tungstenden yapılmış bir tel levha mevcuttur. Sistemde tel levha anot görevi görürken odanın duvarları da katot görevi görür. Gaz oda içersinden geçirilerek odanın iç hacminde pozitif kutuplu iyonlar oluşturulmuş olunur. Dedektörün çalışma voltajı ise 1650 V' tur çapı da 5 cm'dır. Bu sayım sistemlerindeki sayaçlarda kullanılan akışkan olan gaz oranları ise %90 argon %10 metan gazı karışımıdır.

2.1.3. Su numunelerinin fiziksel değişkenliklerinin ölçülmesi

Ölçme işlemi yapılmadan önce toplanan suların bazı fiziksel değişkenlikleri ölçülmelidir. pH değerlerinin sıcaktan değişebileceğinden dolayı numunelerin pH değerleri ve sıcaklıkları ölçülüp not edilmiştir bu değerler Çizelge 2.5' te verilmiştir.

Çizelge 2.5. Su Numunelerinin pH ve Sıcaklık Değerleri

No	Numune Alınan Yer	pH	Sıcaklık (°C)
1	Baykan	8,33	19,5
2	Pervari	8,22	19,5
3	Veyselkarani	8,33	19,5
4	Tillo	8,25	20,0
5	Kayabağlar	8,35	21,5
6	Şirvan	8,35	19,5
7	Kurtalan	8,27	20,0
8	Atabağı	8,40	21,5
9	Gökçebağ	8,32	21,0
10	Eruh	8,33	20,5
11	Siirt	8,47	21,5
12	Beğendik	8,16	21,5

2.1.4. Su numunelerinin toplam alfa aktivite ölçümüne hazırlanması

Toplanan su numunelerinin toplam alfa ölçümleri SM 7110 C yöntemiyle ölçülmüştür. Alfa parçacıkları yayınlayan bütün radyonüklidler $BaSO_4$ ve $Fe(OH)_3$ ile çöktürme işlemi yapılır. SM 7110 uygulaması su numunelerinin çöktürme işlemi sonrasında kalıntıların elde edilmesi metodudur. Ölçüme hazırlanma işlemleri:

- Su numuneleri numaralandırıldıkları sırasıyla tek tek terazide ölçülerek 500 mL'lik beherlere eklendi.
- Numunelere 5 damla (1+4) destile su ile seyreltilmiş deterjan eklendi.
- Hazır hale gelmiş olan beherler ısıtıcı/magnetik karıştırıcı üzerine bırakıldı ve magnetik balık çözeltinin içine ortasına gelecek şekilde konuldu. Beherlerin her birine 20 mL 2N H_2SO_4 (sülfürik asit) eklendi.
- Ekleme işleminden sonra kaynamaya bırakıldı.
- Kaynadıktan sonra bir 10 dakika daha karışması sağlandı. Eğer numunelerde karbonat ve bikarbonatlar oluşmuşsa böylelikle CO_2 halinde ortamdan uzaklaştırılmış olur.
- Sıcaklık, kaynama noktasının altında olacak halde azaltılır, 1 mL baryum taşıyıcı eklendi ve 30 dakika boyunca karıştırma işlemine devam edildi.
- 1 mL demir taşıyıcı çözeltisi ve 5 mL *paper pulp* / su karışımı ilave edildi.
- İlavelerden sonra karıştırılmaya devam edildi ve damla damla 6 N NH_4OH ilave edildi. Bu ilave ile çözeltinin rengi sarıdan mora döndü.
- Isıtmaya ve karıştırma işlemine 30 dakika kadar devam edildi.
- Numunelerin çökelmesi için bekletildi. Oluşan çökelekler 0,45 μm gözenekli filtre kâğıdından süzüldü. Sonrasında beherler 25 mL destile edilmiş su ile yıkandı.

- Filtre kâğıdına bırakmış olduğumuz çökelekler 3 saat boyunca bekletildi. Bu bekletme işlemi radon ürünlerinin uzaklaştırılması için yapıldı.

- Çökelekler 105 $^{\circ}$C sıcaklıkta olan etüvde kurutuldu.

- Kurutma işleminden sonra numuneler planşetlere alındı ve ölçme işlemi için sayım sisteminin yapılması için sayaca yerleştirildi.

2.1.5. Su numunelerinin toplam beta aktivite ölçümüne hazırlanması

Toplanan su numunelerinin toplam beta aktivitelerini ölçmek için EPA 900,0 buharlaştırma yöntemi (Krieger ve Whittaker, 1980) kullanılarak ölçüm yapılmıştır. Bu metod içme suları ve kaynakları için belirlenen, güvenli içme limitlerine göre, ileri analize gerek olup olmadığını belirlemek için kullanılan bir tarama tekniğidir. EPA 900 ölçme tekniği suyu buharlaştırarak kalıntı elde edilmesi tekniğidir. Bu teknik maddeler halinde verilen bilgiler ile uygulanmıştır:

- Su numuneleri hassas terazide tartılıp 250 mL ölçülüp beherlere aktarıldı.

- 250 mL ölçülüp beherlere aldığımız su numunelerine 2,5 damla nitrik asit(HNO_3) ilave edildi. Burada değer 100 mL ye 1 mL nitrik asit olacak halde ayarlandı. Hazırlamış olduğumuz 12 numunenin pH değerlerinin de 2 olması sağlandı.

- Sıcaklığı 65 ve 70 ^{o}C' ye ayarlanmış olan ısıtıcının üzerinde su numunelerimiz 5 ila 10 mL kalıncaya kadar (kaynama olmadan) buharlaştırıldı. Planşetler, etüvde 105 ^{o}C sıcaklıkta takriben 2 saat tutuldu ve sabit tartıma alındı.

- Planşetlerin nemden etkilenmemeleri için desikatöre alınıp 30 dakika kadar soğultulma işlemi yapıldı.

- Planşetlerin soğutulma işlemi bittikten sonra buharlaştırma yöntemi uygulanan su numuneleri planşetlerden dışa akmayacak halde aktarımı yapıldı. Daha sonra planşetler kızılötesi lambanın altına yerleştirilerek buharlaştırıldı burada planşetlerdeki miktarın dağılımın doğru olması sağlandı.

- Planşetler etüv e alınarak 105 ^{o}C de takriben 2 tutuldu ve sabit tartıma konuldu.

- Kurutulan planşetler beta aktivite ölçümleri için sayım sistemine yerleştirildi.

2.2. Su Numunelerinde Toplam Alfa ve Beta Aktivite Ölçümünün Yapılması

Su numunelerinin LB770-PC 10 kanallı sayım sisteminde, toplam alfa aktivitesi ölçümü için iki defa 100 dakikalık, beta aktivitesi ölçümü içinde iki defa 500 dakikalık ölçme işlemi yapıldı. Aktivite sonuçları ikişer defa yapılan ölçümlerin ortalaması olarak belirlenmiştir. Toplam alfa ve beta aktivite ölçüm işlemine başlanmadan önce detektörün verim kalibrasyonu ve ortamın doğal radyasyon ölçümü yapıldı.

2.2.1. Verim kalibrasyonu

Detektör verimi, detektörde sayılabilir büyüklükte puls üreten fotonların sayısının, detektöre gelen fotonların sayısına oranı ya da detektörde sayılabilir büyüklükte puls üreten fotonların yüzdesi olarak tanımlanır. Detektör veriminin tayini için standart kaynaklara ihtiyaç vardır. Bu kaynakların bozunmalarında foton yayımlama ihtimali değerleri bilinmelidir. Verim kalibrasyonu ölçüm işlemi için alfa standart kaynağı olarak Amersham sertifikalı değeri bilinen ^{241}Am, beta standart kaynağı için ise Amersham sertifikalı değeri bilinen ^{90}Sr stok çözeltilerinden gerekli seyreltmelerle radyoaktif standart çözeltiler hazırlandı. Seyreltilen radyoaktif standardın tarih, zaman düzeltmesi de yapılarak radyoaktivite değeri (dpm/mL) hesaplandı. Hesaplanan radyoaktivite değerini ve tarihi de içeren bir etiket hazırlanarak seyreltilmiş radyoaktifin olduğu balon jojenin üzerine etiketlendi. Etiketli balon jojeler ağızları parafilm ile sıkıca kaplanarak kurşun zırhlı bölümde muhafaza edildi. Farklı hacimlerde (50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 mL) alınan içme suyu örneklerine radyoaktivite değeri bilinen ^{241}Am ve ^{90}Sr çözeltiler ilave edildi ve kızılötesi lamba altında miktarın 5 mL kalıncaya kadar buharlaştırılarak kalıntı ağırlığı farklı bir seri radyoaktif standart numune hazırlandı. Her bir standart numune için 10000 sayım alınacak şekilde sayımlar yapıldı. Sistem otomatik olarak bu ağırlıkları ayrıntılı hâle getirerek toplam alfa ve beta radyoaktiviteleri için farklı ağırlıklara karşı % cpm/dpm (sayım verimi) tablosunu ve grafiğini oluşturur. Elde edilen bu ölçümleme değerleri α/β sayım sisteminde otomatik olarak belleğe alınır. Hazırlanan bu ölçümleme numuneleri, alfa/beta sayım sisteminin performans kontrolünde

kullanılmak üzere desikatörde muhafaza edildi. Sayım verimi, aşağıda verilen formül ile hesaplandı:

η = Standardın sayım hızı (cpm) / Standardın bozunum hızı (dpm) (2.1)

^{241}Am (aktivitesi: 1 μCi/5 mL; Eα=5,49 MeV; T1/2 = 432 yıl)

^{90}Sr (aktivitesi:1 μCi/10 mL; Eβ=5,46 MeV; T1/2 = 29 yıl)

2.2.2. Aktivite hesabı

İçme suyu örneklerinin analiz ve ölçümler sonrasında elde edilen kalıntı miktarı, buharlaştırılmış olan suyun hacmi, sayım süresi, deneylerin yapıldığı ortamın doğal radyasyon sayım hızı sisteme alınır. Sistem alfa ve beta sayım verimleri, net sayım hızını ve geriye kalan tüm verileri kullanarak toplam alfa ve toplam beta aktivitelerini aşağıdaki formüllerle (2.2,2.3) yardımıyla hesaplanır:

$$A_{\alpha,\beta}\,(Bq/L) = \frac{1000 \div \left(N_{net} \pm \sigma_{\alpha,\beta}\right)}{60 \cdot \eta \cdot F \cdot V} \qquad (2.2)$$

$$\sigma_{\alpha,\beta} = \pm 1{,}96 \cdot \sqrt{\frac{N_{örnek}}{t_{örnek}} + \frac{B}{t_B}} \qquad (2.3)$$

$A_{\alpha,\beta}$: toplam alfa/ beta radyoaktivitesi

N_{net}: net sayım hızı

$\sigma_{\alpha,\beta}$: standart hata

η : Sayım verimi

F: Alfa öz soğurma faktörü

V: Hacim

$N_{örnek}$: Örneğin sayım hızı

$t_{örnek}$: Örneğin sayım süresi

t_B: Background ölçüm sayım süresi

3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

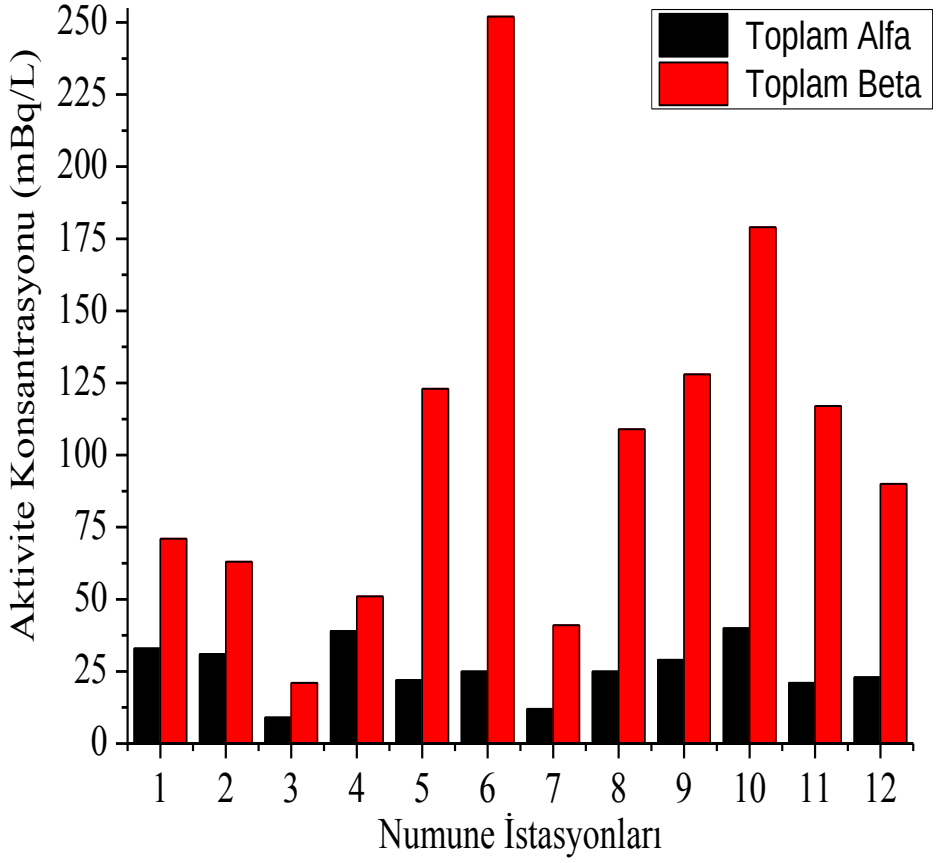
3.1. Toplam Alfa ve Beta Aktivite Sonuçları

Siirt Merkez, Kurtalan, Baykan, Eruh, Pervari, Şirvan ve Tillo ilçeleri, Veyselkarani, Beğendik, Gökçebağ, Atabağı ve Kayabağlar beldelerinden toplam 12 farklı noktadan musluk suyu örnekleri toplanmıştır. Toplanan bu örnekler Berhold LB 770 markalı düşük zeminli 10 detektörlü gaz orantılı α/β sayacı ile ölçülüp toplam alfa ve beta sayımları yapılmış olup radyoaktif değerleri Çizelge 3.1' de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Toplam alfa ve beta radyoaktif değerleri

No	Örnek alınan yer	Toplam Alfa (mBq/L)	Toplam Beta (mBq/L)
1	Baykan	33 ± 8	71 ± 14
2	Pervari	31 ± 8	63 ± 21
3	Veyselkarani	9 ± 5	21 ± 11
4	Tillo	39 ± 5	51 ± 12
5	Kayabağlar	22 ± 6	123 ± 27
6	Şirvan	25 ± 8	252 ± 23
7	Kurtalan	12 ± 6	41 ± 12
8	Atabağı	25 ± 7	109 ± 15
9	Gökçebağ	29 ± 7	128 ± 15
10	Eruh	40 ± 9	179 ± 19
11	Siirt merkez	21 ± 7	117 ± 15
12	Beğendik	23 ± 7	90 ± 14

Toplam alfa ve beta aktivitelerinin örneklerin alındığı numune istasyonları ile karşılaştırılması Şekil 3.1.' de gösterilmiştir. Şekil 3.1'de görüldüğü gibi toplam alfa aktivitesi en düşük değer Veyselkarani beldesinde, en yüksek değer ise Eruh ilçesinde bulunmuştur. Toplam beta aktivitesi en düşük değer Veyselkarani beldesinde, en yüksek değer ise Şirvan ilçesinde bulunmuştur. Bütün ölçümlerde toplam beta aktivitesi toplam alfa aktivitesinden yüksek olduğu görülmüştür. Su örneklerin alındığı İl, İlçe ve beldelerde yapılan tüm ölçüm sonuçlarındaki toplam alfa ve beta değerleri Dünya Sağlık Örgütü'nün belirlediği değerlerin altındadır.



Şekil 3.1. Numunelerin toplam alfa ve beta aktivitelerinin karşılaştırılması

Çizelge 3.2. Toplam alfa ve beta aktivite değerlerinin literatürdeki diğer kaynaklarla karşılaştırılması

Çalışma Yapılan Yer	Toplam Alfa (mBq/L)	Toplam Beta (mBq/L)	Referans
Kastamonu	9	271	(Kam ve ark.2007)
Trabzon	7	101	(Damla ve ark.2006)
Giresun	7	97	(Damla ve ark.2006)
Rize	8	83	(Damla ve ark.2006)
Adana	10	86	(Değerlier ve Karahan, 2010)
Gaziantep	49	128	(Osmanlıoğlu ve ark.2007)
Şanlıurfa	38	132	(Bozkurt ve ark. 2007)
Bolu	68	169	(Görür ve Camgöz,2014)
Batman	34	67	(Damla ve ark. 2009)
Bayburt	63	39	(Küçükömeroğlu ve ark. 2009)
Istanbul	23	66	(Karahan ve ark. 2000)
Samsun	52	78	(Görür ve ark. 2011)
Kahramanmaraş	67	208	(Küçükönder,2010)
Hatay	37	116	(Turgay ve ark. 2015)
Erzincan	48	104	(Yalçın ve ark. 2012)
Nevşehir	192	579	(Özçıtak ve ark. 2013)
Tekirdağ	44	100	(Kam ve ark. 2010)
Karaman	31	75	(Korkmaz ve ark. 2016)
WHO	500	1000	(WHO,2006)
Siirt	26	104	Bu çalışma

Çizelge 3.2.' de verilen değerler ile tez kapsamında çalışmanın yapılmış olduğu Siirt il, ilçe ve beldelerden alınan su örneklerinin Berhold LB 770 markalı düşük zeminli 10 detektörlü gaz orantılı α/β sayacı ile ölçülmesi sonucunda alınan toplam alfa ve beta değerlerinin Dünya Sağlık Örgütünün belirlediği değerlerin altındadır. Literatürdeki diğer çalışmalarla kıyaslandığında toplam alfa aktivitesi Kastamonu, Trabzon, Giresun, Rize, Adana, İstanbul'da yapılan çalışmaların toplam alfa aktivitelerine göre yüksektir. Bununla birlikte Gaziantep, Şanlıurfa, Bolu, Batman, Bayburt, Samsun, Kahramanmaraş, Hatay, Erzincan, Nevşehir, Tekirdağ, Karaman ve Dünya Sağlık Örgütü verilerine göre de aktivite değeri düşüktür. Toplam beta aktivitesini kıyasladığımızda Kastamonu, Gaziantep, Şanlıurfa, Bolu, Kahramanmaraş, Hatay, Nevşehir ve Dünya Sağlık Örgütünün değerlerine göre düşük, fakat Trabzon, Giresun, Rize, Adana, Batman, Bayburt, İstanbul, Samsun, Karaman'ın aktivite değerlerine göre yüksektir.

3.1.1. Yıllık etkin doz değerleri

Musluk suyu, insan sağlığına tehdit oluşturabilecek radyoaktif maddeleri içerebilir. Bu radyolojik tehlike, içme sularında bulunabilen mikroorganizmalar ve kimyasallardan kaynaklanan risk ile karşılaştırıldığında, minimum olabilir. Fakat radyasyondan korunma, herhangi bir durumda radyasyona maruz kalmanın ihmal edilemeyecek bir risk taşıdığı kabulünü temel alır. Kaldı ki radyonüklit içeren suyun sürekli olarak sindirilmesi sonucunda 100 μSv'in üzerinde bir doz alacak şekilde uzun süre iç ışınlamaya maruz kalmanın, bireylerde kanser riskini attırdığına ilişkin kanıtlar mevcuttur (Brenner, 2003).

Radyasyona maruz kalma ile tehlike arasında doğrusal bir bağlantının var olduğu, alt bir değerde tehlikenin olamayacağı ve herhangi bir eşik değerin var olmadığı kabul edilmiştir. 0,1 μSv/yıl değerindeki bireysel doz ölçütü gözlenebilir herhangi bir olumsuz sağlık etkisini doğuracağı beklenmeyen minimum bir risk seviyesine denk gelir. Çünkü radyasyondan korunma ile ilgili uluslararası komitenin en son tavsiyelerinde, radyasyonun tetiklediği kanser vakasına ilişkin anma risk katsayısı $5,5 \times 10^{-2}$ olarak yer almıştır.

Bu değer bireysel doz ölçütü (BDÖ) ile çarpıldığında, kanser riskinin tahmini değeri yaklaşık olarak $5,5 \times 10^{-6}$ hesaplanır. BDÖ'nün hesaplanmasında, içme sularında ölçülen toplam alfa aktivitesinin 500 mBq/L değeri ile toplam beta aktivitesinin 1000

mBq/L değeri temel alınmıştır. İzlenimler, içme sularının tüketilmesinden kaynaklanan 0,1 μSv'lik yıllık etkin doz (YED) değerinin, içme sularında ölçülen toplam alfa aktivitesinin, 500 mBq/L değerinden küçük veya eşit olacağını göstermektedir. Yıllık etkin dozun hesaplanması, bireylerin içme sularının tüketilmesinden kaynaklanan iç ışınlama sonucunda sağlık açısından oluşabilecek radyolojik risklerin değerlendirilmesi açısında büyük önem arz etmektedir. Yıllık etkin doz; radyonüklit derişimi, doz dönüşüm katsayısı ve yıllık su tüketimi dikkate alınarak aşağıda verilen bağıntı ile hesaplanmaktadır:

$$\text{YED}\left(\frac{\mu Sv}{yıl}\right) = A_D\left(\frac{mBq}{L}\right) \text{ x DK}\left(\frac{mSv}{Bq}\right) \text{x YTSM}\left(\frac{L}{yıl}\right) \quad (3.1)$$

Formülde:

A_D: Toplam alfa veya toplam beta aktivite derişimi

DK: Doz dönüşüm katsayısı.

YTSM: Yıllık tüketilen su miktarıdır. YTSM, yetişkinler için 730 L olarak alınmıştır.

Alfa ve beta yayınlayan radyonüklitler için doz dönüşüm katsayı değerleri, Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Alfa ve beta yayınlayan radyonüklitler için doz dönüşüm katsayıları (WHO,2011)

Radyasyon tipi	Radyonüklit	Doz dönüşüm katsayısı (μSv/Bq)
Alfa (α)	^{226}Ra	$2,8x\ 10^{-4}$
	^{230}Th	$2,1x\ 10^{-4}$
	^{232}Th	$2,3x\ 10^{-4}$
	^{210}Po	$1,2x\ 10^{-3}$
	^{238}U	$4,5x\ 10^{-5}$
	^{234}U	$4,9x\ 10^{-5}$
Beta (β)	^{228}Ra	$6,9x\ 10^{-4}$
	^{210}Pb	$6,9x\ 10^{-4}$

İçme sularında yapılan araştırmalar neticesinde bireylerin maruz kaldıkları yıllık etkin dozu yetişkinler için değerlendirilmiştir. Su örneklerindeki alfa yayınlayıcı ^{238}U, ^{226}Ra, ^{210}Po, ^{232}Th ve beta yayınlayıcı ^{210}Pb, ^{228}Ra radyonüklitlerden oluşan yıllık etkin doz değerleri ve ortalama yıllık etkin doz değerleri yetişkinler için çizelge 3.4'te verilmiştir. Çizelge de hesaplanan yıllık etkin doz değerleri yanı sıra ortalama yıllık etkin doz değerleri ve her radyonüklidin su örneklerinin alındığı yerlere göre ortalama değerleri hesaplanarak verilmiştir.

Çizelge 3.4. Yetişkinler için yıllık etkin doz değerleri (YED) (µSv/yıl)

NO	Örneklerin alındığı yer	Su örneklerinde bulunan alfa ve beta yayınlayan radyonüklitlerden kaynaklanan yıllık etkin doz değerleri (µSv/yıl)						Toplam yıllık etkin doz değerleri (µSv/yıl)
		^{238}U	^{226}Ra	^{210}Po	^{232}Th	^{210}Pb	^{228}Ra	
1	Baykan	1,1	6,7	28,9	5,5	35,8	35,8	113,8
2	Pervari	1,0	6,3	27,2	5,2	31,7	31,7	102,0
3	Veyselkarani	0,3	1,8	7,9	1,5	10,6	10,6	32,7
4	Tillo	1,3	8,0	34,2	6,5	25,7	25,7	101,4
5	Kayabağlar	0,7	4,5	19,3	3,7	62,0	62,0	152,2
6	Şirvan	0,8	5,1	21,9	4,2	126,9	126,9	285,8
7	Kurtalan	0,4	2,5	10,5	2,0	20,7	20,7	56,8
8	Atabağı	0,8	5,1	21,9	4,2	54,9	54,9	141,8
9	Gökçebağ	1,0	5,9	25,4	4,9	64,5	64,5	166,2
10	Eruh	1,3	8,2	35,0	6,7	90,2	90,2	231,6
11	Siirt(Merkez)	0,7	4,3	18,4	3,5	58,9	58,9	144,7
12	Beğendik	0,8	4,7	20,1	3,9	45,3	45,3	120,1
ORTALAMA		0,9	5,3	22,6	4,3	52,3	52,3	137,4

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

4.1. Sonuçlar

Su canlıların yaşamları boyunca ihtiyaç duydukları temel maddelerdendir. Canlıların doğal ihtiyacı olduğu kadar yaşam faaliyetlerinin devamı içinde önemlidir bundan dolayı sağlık yönünü de etkileyeceği için içme sularında radyasyon miktarını saptamak için ve bu radyasyon dozuna bir standart getirmekte önemlidir. Dünya Sağlık Örgütü ve ülkemizde de TAEK in tavsiye ettiği doz sınır değerleri, canlılar tarafından ömür boyu tüketilmeleri durumunda insanoğlunun maruz kalacağı radyasyon doz miktarının sağlık yönünden risk oluşturup oluşturmayacağı tespitinin yapılması amacıyla bu çalışma yapılmış ve değerler tespit edilmiştir. Bu değerler; T.C. Sağlık Bakanlığı (SB) tarafından 2001 senesinde , "İçilebilir Nitelikteki Suların İstihsali Ambalajlanması, Satışı ve Denetlenmesi Hakkında Yönetmelik" ile yayınlanmıştır. Tez kapsamında Siirt ili, Kurtalan, Eruh, Şirvan, Pervari, Baykan, Tillo ilçeleri, Beğendik, Gökçebağ, Veyselkarani, Kayabağlar, Atabağı beldeleri olmak üzere 12 farklı noktadan musluk suyu örnekleri toplanarak toplam alfa ve beta aktiviteleri, düşük zeminli gaz orantılı sayım cihazı (Berthold, LB 770- PC 10) ölçülmüştür. Su örneklerinin toplandığı bölgede yaşayan yetişkin bireyler için ölçülen su örneklerinin tüketilmesi sonucunda kaynaklanacak radyolojik riskin hesaplanarak değerlendirilmesi amacıyla sularda yapılan toplam alfa ve toplam beta aktivite sonuçları kullanılarak yıllık etkin doz hesaplanmıştır.

Bu tez, Siirt ili, ilçeler ve beldelerinde musluk sularına yönelik olarak yapılan ayrıntılı radyolojik çalışmalarda bir ilki oluşturmaktadır. Musluk sularının ölçüm işlemleri, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezinde yapılmıştır.

Yapılan ölçümler sonucunda toplam alfa aktifliği 0,005 ± 0,009 Bq/L ile 0,012 ±0,040 Bq/L arasında değiştiği ve ortalama toplam alfa aktifliği ise 0,0125 ± 0,0257 Bq/L değeri aldığı bulunmuştur. Toplam Beta aktifliğinin değerleri ise 0,011 ± 0,027 Bq/L ile 0,041 ± 0,252 Bq/L arasında değiştiği ve ortalama toplam beta aktiflik değeri ise 0,0165± 0,103 Bq/L olarak bulunmuştur. Toplam alfa ortalama değeri 26 mBq/L toplam beta ortalama değeri 104 mBq/L olarak ölçülmüştür. Tüm örneklerin toplam beta aktivite değerleri, toplam alfa aktivite değerlerinden yüksektir.

Şekil 3.1.'den de görüldüğü gibi toplam alfa aktifliğinin en yüksek olduğu yer Eruh ilçesi, en düşük olduğu yer ise Veyselkarani beldesidir.

Şekil 3.1.'den de görüldüğü gibi toplam beta aktifliğinin en yüksek olduğu yer Şirvan ilçesi, en düşük olduğu yer ise Veyselkarani beldesidir.

Çizelge 3.1.'de de Su örneklerinin toplandıkları tüm yerlere ait toplam alfa ve toplam beta aktivite değerleri görülmektedir. Yapılan ölçümler sonucu çizelge 3.1.' de verilen değerlere göre su örneklerinden toplam alfa değeri en yüksek ilçelerde en düşük değer beldeden toplanan örneklerde olduğu tespit edilmiştir. Toplam beta aktivitesinde de en yüksek değer su örneklerinin toplandıkları yerlerden ilçede en düşük değerde belde de tespit edilmiştir. Ayrıca çizelge 2.5.'de de toplanan su örneklerin pH ve sıcaklık değerleri verilmiştir. Çizelge 3.2.'de de yapılan bu çalışmanın literatürdeki diğer çalışmalarla kıyası yapılmıştır.

DSÖ ve TSE tarafından belirlenmiş üst limit değerleri toplam alfa ve beta aktiflikleri için sırayla 0,5 Bq/L ve 1,0 Bq/L'dir. Bütün örnekler için bulduğumuz aktivite değerleri belirlenen standart değerlerin altındadır.

Çizelge 3.4'te yetişkinler için yıllık etkin doz miktarı hesaplanarak değerleri verilmiştir. Çizelge 3.4' te görülebileceği gibi yıllık etkin doza en çok katkıda bulunan alfa yayınlayıcılar ^{210}Po, ^{226}Ra, ^{238}U, ^{232}Th radyonüklitleri iken beta yayınlayıcılar dan da yıllık etkin doza en çok katkıda bulunanlar ^{210}Pb, ^{228}Ra radyonüklitidir. İçme sularının alındıkları alanlarda yaşayan yetişkin bir bireyin yıllık olarak aldığı yıllık etkin doz değeri ortalama olarak ^{226}Ra, ^{228}Ra sırasıyla 5,3 μSv/yıl ve 52,3 μSv/yıl tür.

Sonuç olarak;

- Analizleri yapılan içme sularında ölçülen toplam alfa aktivite değerlerinin tamamı Dünya Sağlık Örgütünün belirlediği 0,5 Bq/L değerinin altındadır. İçme suyu örneklerinde ölçülen toplam beta aktivite değerlerinin tamamı, Dünya Sağlık Örgütünün belirlediği 1,0 Bq/L değerinden daha düşüktür. Toplam alfa ve toplam beta aktivite değerlerine göre Siirt ili, ilçe ve beldelerindeki içme suları Dünya Sağlık Örgütünün içme suyu için belirlediği standart değerlere ve yönetmeliğe uymaktadır. Bu suların içme suyu olarak kullanılmasında herhangi bir risk görülmektedir.

- Bu tez kapsamında elde edilen veriler ilgili kurum ve kuruluşlarla paylaşılması durumunda su örneklerinin alındığı yerlerde olası bir nükleer kaza, nükleer sızıntı ve herhangi bir radyolojik kirlilikten kaynaklanabilecek sağlık açısından risk

oluşturması durumunda içme suyundan faydalanan bireylerin bilgilendirilmesi sağlanabilir ve alınacak önlemler için ön bilgi olur.

- Bu tez kapsamında elde edilen veriler literatürde Siirt iline ait bilgilerle ülkemizde içme suyu kalitesine dair standartların oluşturulmasına yönelik olarak kullanılabilinir ve yol gösterici özelliktedir.

4.2. Öneriler

Tez kapsamında içme sularında radyonüklitlerin aktivitesi hesaplanmıştır. Siirt ili, ilçeleri ve beldelerinde kullanılan bütün sularda radyasyon aktivitesini tam olarak tespit etmek için alfa ve beta analizlerinin yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Radyasyonun insan sağlığı üzerindeki etkileri bir gerçekliktir. Bundan dolayı belli yıl aralıklarıyla aynı noktalardan su örnekleri alınıp çalışma aynen tekrarlanmalıdır. Bu tekrar yapılan çalışmalarda bir değişim söz konusu olursa bunlar not edilip ilgili kurum ve kuruluşlarla paylaşmak gerekir. Ülkemizdeki radyasyon kaynaklarının tam olarak belli ve bilinmemesi nedeniyle insan sağlığının korunması hususunda ve bu tez kapsamında yapılan içme sularında toplam alfa ve beta aktivitesi belirleme çalışması tüm Ülke genelinde yapılmalıdır. Böylelikle radyolojik risklerin tahminine ve çalışmalarına yönelik gelecek zamanlarda oluşacak radyoaktif kirliliğin değişmesinin değerlendirilmesi hususunda Ülkemizdeki tüm yerleşim yerlerinde kullanılan içme sularının, maden sularının, deniz, nehir sularının, yağmur ve baraj sularının doğal düşük zeminli haritasının çıkarılması yararlı olacaktır. Doğal kaynaklardan yayılan radyasyondan alınan dozu daha az miktarlara indirgemek insanların çalışmalarıyla mümkün olmakla beraber tamamen bu yayılan radyasyondan kurtulmak veya kaçınmak tam olarak mümkün değildir. Bundan dolayı sularda yapılan bu çalışmalar periyodik bir hale getirilerek değişimler izlenilmelidir.

KAYNAKLAR

Brenner D., et al. 2003, Cancer risks attributable to low doses of ionizing radiation: Assessing what we really know. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 100(24) 13761–13766.

Bozkurt,A., Yorulmaz, N., Kam, E., Karahan, G. ve Osmanlıoglu, A.E., 2007, Assessment of Environmental Radioactivity for Sanliurfa Region of Southeastern Turkey, Radiation Measurements, 42, 1387-1391.

Bilge, A.N. 1985 Nükleer Tekniklerin Endüstriye Uygulanması, *Bilimsel Yayın No:1, TAEK/ÇNAEM Matbaası*, İstanbul,

Cohen, B.,1996,Çok Geç Olmadan, *TÜBİTAK Yayınları*, Ankara.

Damla, N. 2005, Doğu Karadeniz bölgesi içme sularında toplam alfa, toplam beta ve gama aktivitesi, yüksek lisans tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Trabzon,13-14.

Damla N., Çevik U., Karahan G., Kobya A.İ., 2006, Gross α and β activities in tap waters in Eastern Black Sea region of Turkey, Chemosphere 62 957–960.

Damla N., Çevik U., Karahan G., Kobya A.İ., Koçak M., Işık U., 2009, Determination of gross alpha and beta activities in waters of Batman, Turkey, Desalination 244 208-214.

Değerlier M., G. Karahan, 2010, Natural radioactivity in various surface waters in Adana, Turkey, Desalination 261 126-130.

Ferdous M. J., Rahman M. M., Begum A., 2012, Gross alpha and gross beta activities of Tap water samples from different locations of Dhaka City. Sri Lankan Journal of Physics 13-12, 01-08.

Güngör N., 1991,*Sağlık Fiziği, İ.T.Ü. Matbaası*, İstanbul.

Görür F.K., Keser R., Dizman S., Okumuşoğlu N.T., 2011, Annual effective dose and concentration levels of gross α and β in various waters from Samsun, Turkey, Desalination 279 135-139.

Görür FK, Camgöz H, 2014, Natural radioactivity in various water samples and radiation dose estimations in Bolu province, Turkey. Chemosphere 112; 134-140.

Göksel S.,1973,Radyasyonun Biyolojik Etkileri ve Korunma, *İ.T.Ü. Matbaası*,İstanbul.

Howe, J, Bresford, N. And Shaw, P.V., 1993, A Comparison of Caesium 137 and 134 Activity in Sheep Remaining on Upland Areas Contaminated by Chernobyl fallout with House removed to Less Active Pasture, 7, 71-73

Kam E. and Bozkurt A. 2007,Environmental radioactivity measurements in Kastamonu region of northern Turkey, Appl.Radiat.Isotopes, 65-440-444.

Kam E.,Yarar Y.,Bozkurt A., 2010. A study background radioactivity level for Tekirdag, Turkey, Radiat. Protect. Dosimetry 138(1), 40-44.

Kapdan E.,Taskin H., Kam E., Osmanlıoğlu A. E., Karahan G., Bozkurt A.,2012, A study of environmental radioactivity measurements for Cankiri, Turkey. Radiat Prot Dosimetry 150-3,398-404

Karahan G, Öztürk N, Bayülken A, 2000, Natural radioactivity in various surface waters in İstanbul, Turkey, Water Research 34 4367-4370.

Kehiga K., Koukouliou V., Bratakos S., Seferlis S., Tzoumerkas F., Potiriadis C., 2007, Radioactivity monitoring in drinking water of Attika, Greece. Desalination 213 98-103.

Kence, A., 2000, *Bilim ve Teknik dergisi*, Sayı 388, Ankara.

Korkmaz E.K., Ağar O., Şahin M.,2016, Gross a and b activity concentrations in various water from Karaman, Turkey, *Environ Earth Sci* 75:14 DOI 10.1007/s12665-015- 4909-2

Krieger H.L., E.L. *Whittaker*1980, Prescribed procedures for measurement of radioactivity in drinking water, EPA-600/4-80-032. *US Environmental Protection Agency*, Cincinnati, Ohio.

Küçükönder E. 2010, Determination of the gross radioactivity in drinking water of Kahramanmaras, Turkey, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 285 589-592.

Kucukomeroglu B.,Kurnaz A, Damla N.,Cevik U., Celebi N.,Ataksor B., Taskin H., 2009, Enviromental radioactivity assesment for Bayburt, Turkey J.Radiol.Prot.29.417-428.

Malanca A., Milena Repetti, Harim Revorêdo de Macêdo. 1998, Gross alpha- and beta-activities in surface and ground water of Rio Grande do Norte, Brazil. Applied Radiation and Isotopes 49-7,893–898.

Maff, 1990, Radyoactivity in Food and Agricultural Products in England and Wales, Report for, London *MAFF Publications*

Osmanlıoğlu A. E., Kam E., Bozkurt A.,2007, Assessment of background radioactivity level for Gaziantep region of southeastern Turkey. Radiation Protection Dosimetry 124-4, 407 410.

Önen S.,1993,Radyasyon Biyofiziği, *İ.Ü. Cerrahpaşa Tıp Fak. Yayınları*, İstanbul

Öztürk N.,Yılmaz Y. Z., 2000, Trace elements and radioactivity levels in drinking water nearTunçbilek coal-fired power plant in Kütahya, Turkey, Water Research 34 704-708.

Özçıtak E,Turhan S, Taşkın H, Varinlioğlu A 2013, Determination of natural radioactivity by gross alpha and beta measurements in ground water samples in Nevşehir province, Turkey. *Water reserach* 47; 3103-3108.

Palemo M., A. Peñalver, F. Borrull, C. Aguilar, 2007, Measurement of radioactivity in bottled drinking water in Spain. Applied Radiation and Isotopes 65 1165- 1172

Şeker, S.,Çerezci, O.,1997, Çevremizdeki Radyasyon ve Koruma Yöntemleri, *Boğaziçi Üniversitesi Yayınları*, İstanbul

Turgay ME,Yazici AN, Taskin H, Kam E, and Karahan G., 2015, Assessment of gross α and β radioactivity for drinking water in Hatay province,Turkey, Deselination *Water Treatment*, DOI: 10.1080/1944399.2014.1000384.

Tıraşoğlu, E. 1991, Toz Halindeki Numunelerde XRF Tekniği ile Konsantrasyon Tayininde Parçacık Büyüklüğün Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *A.T.A.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum,10-26.

Yalçın P.,Taskin H., E. Kam, Taskin H., Terzi M., Varinlioglu A., Bozkurt A., Bastug A.,Tasdelen B.,2012, Investigation of radioactivity level in soil and drinking water samples collected from the city of Erzincan, Turkey. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 292-3 ,999-1006.

Yaramış, B.1974, Neutron Fiziği, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Basımevi, İstanbul.

WHO, 2006, Guidelines for Drinking-water Quality, Third Edition, Volume 1, Recommendations, *World Health Organization , ISBN 92 4 154696 4*.

WHO, 2009,Handbook on Radon: *A Public Health Perspective*,

WHO, 2011, Guidelines for Drinking-water Quality, 4th edition, WHO Library Cataloguing-in-Publication Data NLM classification: WA 675, Geneva.

Wisser, S. Frenzel, E. and Dittmer, M., 2006. Innovative Procedure for the Determination of Gross Alpha/Gross Beta Activities in Drinking Water, Applied Radiation and Isotopes, 64, 368-372.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ahmet ALTUN
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Batman 15.01.1988
e-mail : ahmetaltun8@hotmail.com

EĞİTİM

Derece		**Adı**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	Batman Lisesi(Turgut Özal Anadolu Lisesi)	2005
Üniversite	:	Batman Üniversitesi	2013
Yüksek Lisans:		Batman Üniversitesi	-

UZMANLIK ALANI: Nükleer fizik, Radyasyon
YABANCI DİLLER: İngilizce

YAYINLAR

1- Altun A., Damla N., Taskın H., Gross alpha and beta activities ın tap waters of Siirt provınce, Turkey. 9th Internatıonal Physics conference of the Balkan Physical Union, Nuclear Physics and Nuclear Energy 01_PP3 s.295